

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

BUDOVY S TĚMĚŘ NULOVOU POTŘEBOU ENERGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

SOUHRN

Tato bakalářská práce se zabývá studii a následným návrhem budovy s téměř nulovou potřebou energie. Je řešena pro dva výpočtové modely a tři normované hodnoty součinitele prostupu tepla, které jsou jedním z kritérií pro budovu s téměř nulovou potřebou energie. Práce zkoumá potřebu tepla na vytápění a ohřev teplé vody daných modelů, vhodnou volbu zdroje tepla a roční spotřebu energií, která stanovuje, s počáteční pořizovací cenou zdrojů tepla, návratnost investic. Konečné srovnání vhodných modelů pro budovu s téměř nulovou potřebou energie obsahuje poměr ceny energií ku konečné ceně modelu budovy.

SUMMARY

This bachelor thesis examines the study and the design of nearly zero energy buildings. It is solved with two computational models and three standard values of heat transfer coefficient which is one of the criteria for nearly zero energy buildings. The thesis examines the need for heating and hot water, the appropriate choice of heat source and annual energy consumption which determines the return on investments. The final comparison of models suitable for a building with nearly zero energy includes a ratio of energy prices to the final cost of the building model.

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

V Praze 27.7.2016

Ondřej Bartoš

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při tvorbě mé bakalářské práce.

OBSAH

1. Úvod	9
2. VYSVĚTLENÍ POJMU „NULOVÝ DŮM“	10
2.1. Historie.....	10
2.2. Definice nulového domu	11
2.3.2 Nulový dům.....	11
2.4. Směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov	13
2.5. Rozdělení podle součinitele prostupu tepla U.....	14
3. KONSTRUKCE NULOVÉHO DOMU	15
3.1. Model masivní konstrukce	15
3.1.1. Obvodové zdivo	15
3.1.2. Podlaha	16
3.1.3. Strop	16
3.1.4. Okna a dveře	17
3.2. Model lehké konstrukce	17
3.2.1. Obvodové stěny	18
3.2.2. Podlaha	18
3.2.3. Strop	19
3.2.4. Okna a dveře.....	19
4. TEPELNÉ ZTRÁTY	19
4.1. Součinitele prostupu tepla neprůsvitných částí	20
4.1.1. Součinitel prostupu tepla obvodových stěn a stropu	20
4.1.1. Součinitel prostupu tepla podlahy	20
4.2. Součinitele prostupu tepla průsvitných částí.....	22
4.3. Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}	23
4.4. Celková tepelná ztráta	24
4.4.1. Výpočet měrných součinitelů tepelných ztrát prostupem	25

4.4.2.	Výpočet měrného součinitele tepelné ztráty větráním	27
4.5.	Celkové přenesené teplo	28
5.	TEPELNÉ ZISKY	29
5.1.	Vnitřní tepelné zisky	29
5.2.	Solární tepelné zisky	30
5.3.	Výsledné hodnoty tepelných zisků.....	35
5.4.	Rozdělení variant modelů podle tepelné kapacity	35
5.5.	Celkové množství přeneseného tepla	36
5.6.	Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění.....	38
5.7.	Celková potřeba tepla na vytápění	40
5.7.1.	Roční potřeba tepla.....	40
5.8.	Měrná potřeba tepla na vytápění	41
6.	POTŘEBA TEPLA NA OHŘEV TEPLÉ VODY	41
6.1.	Poměr spotřeby energie na ohřátí teplé vody, spotřeby energie na vytápění a pomocné energie	43
7.	VOLBA VHODNÉHO ZDROJE TEPLA	45
7.1.	Výběr solárního kolektoru.....	45
7.2.	Výběr tepelného čerpadla.....	49
7.3.	Ceny energií	33
7.3.1.	Plyn.....	51
7.3.2.	Elektřina	54
7.3.3.	Cena energií pro domácnost	56
7.4.	Návratnost investic do zdrojů energie	60
7.4.1.	Zhodnocení návratnosti investic do zdrojů energie.....	65
7.5.	Výsledné hodnoty energie vyrobené plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory vyjádřené v primární energii z neobnovitelných zdrojů.....	66
8.	POROVNÁNÍ CELKOVÝCH NÁKLADŮ.....	67
8.1.1.	Zhodnocení návratnosti investic do konstrukcí modelů budovy.	69
9.	ZÁVĚR.....	71
10.	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE.....	72

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Veličina	Rozměr
$U_{rec,20}$	doporučená hodnota prostupu tepla danou konstrukcí	$W/m^2.K$
$U_{pas,20}$	doporučená hodnota součinitele prostupu tepla damou konstrukcí pro pasivní budovy	$W/m^2.K$
λ	součinitel tepelné vodivosti	$W/m.K$
S	tloušťka	mm
U_{skla}	součinitel prostupu tepla zasklením	$W/m^2.K$
$U_{rámu}$	součinitel prostupu tepla rámu	$W/m^2.K$
Ψ_{okna}	lineární činitel prostupu tepla zasklením a rámu okna	$W/m.K$
y	délka skla	m
x	výška skla	m
h_r	výška rámu	m
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu neprůhledné části	K/W
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu neprůhledné části	K/W
U_k	součinitel prostupu tepla neprůsvitné části konstrukce	$W/m^2.K$
α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně	$W/m^2.K$
α_e	součinitel přestupu tepla na venkovní straně	$W/m^2.K$
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stavební konstrukce	$W/m.K$
S_n	tloušťka stěny n-té stavební konstrukce	m
d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	m
w	celková tloušťka stěny obsahující všechny vrstvy	m
λ_{zeminy}	tepelná vodivost zeminy	$W/m.K$
S_{skla}	plocha zasklení	m^2
$S_{rámu}$	plocha rámu	m^2

l_{skla}	viditelný obvod zasklení	m
ψ_{skla}	lineární činitel prostupu tepla zasklením a rámu okna	W/m.K
$U_{\text{rámu}}$	součinitel prostupu tepla rámu	W/m ² .K
a_o	délka okna	m
b_o	šířka okna	m
U_{okna}	součinitel prostupu tepla průsvitné části konstrukce	W/m ² .K
U_{skla}	součinitel prostupu tepla zasklením	W/m ² .K
$U_{\text{rámu}}$	součinitel prostupu tepla rámu	W/m ² .K
a_d	výška dveří	m
b_d	šířka dveří	m
B'	charakteristický parametr	-
U_{podlahy}	součinitel prostupu tepla přilehlou zeminou	W/m ² .K
ϕ	celková měrná tepelná ztráta	W
$\phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru	W
$\phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním prostoru	W
$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy	W/K
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem	W/K
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy	W/K
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do sousedního prostoru	W/K
t_{iv}	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru	°C
t_{ev}	výpočtová venkovní teplota	°C
t_{ep}	střední teplota	°C
Δt_{er}	průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy	°C
e_k	korekční součinitele vystavení povětrnostním vlivům	-

G_w	korekční činitel zohledňující vliv spodní vody	-
f_r	redukční činitel	[-]
S_{podlahy}	plocha podlahy	m^2
O_{podlahy}	obvod uvažované podlahové části	m
U_{em}	navrhnutý průměrný součinitel prostupu tepla budovy	$[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$
$U_{em,N}$	jmenovitý průměrný součinitel prostupu tepla budovy	$[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$
$U_{n, 20, j}$	požadovaný součinitel prostupu tepla j-té teplosměnné konstrukce pro budovu	$[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$
A_j	plocha j-té konstrukce	$[\text{m}^2]$
b_j	činitel teplotní redukce j-té konstrukce	[-]
$\Delta U_{em,N}$	přirážka na vliv tepelných vazeb	$[\text{W}/\text{m}^2.\text{K}]$
CI	klasifikační ukazatel	[-]
\dot{V}_i	objemový tok vzduchu ve vytápěném prostoru	m^3/s
ρ	hustota vzduchu	kg/m^3
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při $\theta_{int,i}$	$\text{kJ}/\text{kg.K}$
η_r	účinnost rekuperační jednotky	-
$\dot{V}_{inf,i}$	množství vzduchu infiltrací ve vytápěné místnosti	m^3/h
$\dot{V}_{min,i}$	hygienické množství vzduchu ve vytápěné místnosti	m^3/h
n_{min}	minimální intenzita výměny venkovního vzduchu za hodinu	h^{-1}
ϕ	průměrný tepelný tok	W/m^2
Q_{vz}	výkon vnitřních zisků	W
$Q_{int,kWh}$	celkový vnitřní tepelný zisk objektu	kWh
t	délka uvažovaného časového úseku	h
n	počet dnů v měsíci	den
n_{hod}	počet hodin v měsíci	hod

$\phi_{sol,k}$	solární tepelný tok	W
$F_{sh,ob,k}$	korekční činitel stínění na externí překážky pro solární účinnou svěrnou plochu k	-
$A_{sol,k}$	účinná sběrná plocha s danou orientací a úhlem sklonu	m ²
$I_{sol,k}$	sluneční ozáření	W/m ²
$F_{r,k}$	faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou	-
$\phi_{r,k}$	přídavný tepelný tok v důsledku sálení mezi oblohou a prvkem k	W
$F_{sh,gl}$	korekční činitel stínění	-
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky konstrukce	-
$g_{gl,n}$	celková propustnost zasklení	[-]
F_F	podíl plochy rámu	-
$A_{w,p}$	celková pohledová plocha zaskleného prvku	m ²
A_c	pohledová plocha neprůhledné části	m ²
F_w	korekční činitel pro nerozptylující zasklení	-
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků konstrukce	-
U_c	součinitel prostupu tepla neprůhledné části	W/m ² .K
h_r	součinitel přestupu tepla sálením na vnější stěně	W/m ² .K
C_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	J/K
τ	výpočet časové konstanty budovy	h
a_H	bezrozměrný časový koeficient	-
$a_{H,0}$	bezrozměrný číselný parametr pro měsíční výpočtovou hodnotu	-
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta	h
$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	kWh
$Q_{H,tr}$	celkové množství přeneseného tepla prostupem	kWh
$Q_{H,ve}$	celkové množství přeneseného tepla větráním	kWh

$Q_{H,ht}$	celkový přenos tepla	kWh
$Q_{H,nd}$	výsledná celková potřeba tepla	kWh
Q_{TV}	celková potřeba tepla na ohřev vody	kWh
γ_H	bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění	-
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelných tepelných zisků pro vytápění	-
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušené vytápění	-
E_A	měrná potřeba tepla	kWh/m ² .rok
z	koeficient energetických ztrát pro přípravu TV	-
V_{2p}	množství spotřebované vody jedním obyvatelem za den	m ³ /os.den
c	měrná tepelná kapacita vody	J/kg.K
t_1	teplota studené vody	°C
t_2	teplota ohřáté vody	°C
p	počet osob	-
Q_{sol}	celkový tepelný tok solárních zisků za měsíc	kWh
Q_D	spotřeba energie pro chod domácnosti	kWh
S_{PF}	sezónní faktor pro vytápění	-
$P_{TV,TČ}$	roční sazba za energii pro ohřev TV při použití tepelného čerpadla	Kč
P_{en}	roční sazba za odebranou energii	Kč/MWh
$P_{TV,P}$	roční sazba za energii potřebnou pro ohřev TV při použití plynového kondenzačního kotle	Kč
P_{pl}	roční sazba za odebraný plyn	Kč/MWh
P_{el}	roční sazba za odebranou elektrickou energii	Kč/MWh
$P_{VYT,TČ}$	roční sazba za vytápění při použití tepelného čerpadla	Kč
$P_{VYT,P}$	roční sazba za vytápění použitím plynového kondenzačního kotle	Kč
$P_{D,TČ}$	roční sazba pro chod domácnosti při použití tepelného čerpadla	Kč

$P_{D,P}$	roční sazba pro chod domácnosti při použití plynového kondenzačního kotle	Kč
P_C	roční sazba za energie celkem	Kč
η_{el}	účinnost elektrokotle	-
η_{pl}	účinnost plynového kotle	-
η_{reg}	účinnost regulace	-
$Q_{C,fp}$	Celková potřeba energie se zohledněním faktorů energetické přeměny	[kWh/rok]
Q_{pe}	Potřeba pomocné elektrické energie	[kWh/rok]
PE_A	E_A vyjádřená v primární energii z neobnovitelných zdrojů	[kWh/m ² .a]
$f_{p,p}$	faktor energetické přeměny zemního plynu	[kWh/kWh]
$f_{p,s}$	faktor energetické přeměny solárních systémů	[kWh/kWh]
COP	topný faktor	[-]
SPF	průměrný sezónní faktor pro vytápění	[-]

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce řeší problematiku návrhu zjednodušeného modelu budovy s téměř nulovou potřebou energie, zkráceně nulového domu. Model pracuje se dvěmi různými variantami konstrukcí. Těžkou konstrukci tvoří cihly a lehkou konstrukci představuje dřevostavba. Hodnoty součinitele prostupu tepla zvolené pro oba typy konstrukcí odpovídají hodnotám doporučeným U_{rec} , horním pro pasivní domy U_{pas-h} a spodním pro pasivní domy U_{pas-s} (cílové), které jsou dány normou ČSN 73 0540-2. Pro splnění těchto kritérií, je nutné navrhnout vhodné zateplení budovy. Měrná potřeba tepla na vytápění je s ohledem na roční bilanci potřeby energie nižší než u pasivních budov. Energetická bilance je vyjádřena pomocí hodnot primární energie. Jsou navrženy tři zdroje energie pro vytápění a ohřev teplé vody a s ohledem na výkon, cenu a návratnost je vybrán vyhovující zdroj.

2. VYSVĚTLENÍ POJMU „NULOVÝ DŮM“

2.1. Historie

Téma nulových domů (dále jen ND) je, v posledních letech, tématem velice zvučným. Společnosti a odborníci zvyšují svůj zájem o systémy tvořící ND, protože ekologické a ekonomické vyhlídky, které tyto systémy nabízí, mají v našem světě budoucnost a díky rostoucím cenám energie se nulové domy začínají dostávat i do podvědomí širší veřejnosti. Hlavními vlastnostmi ND je tedy značná úspora energií pomocí velmi dobře zaizolované obálky domu, využití obnovitelných zdrojů energie a menší zátěž na životní prostředí.

ND jsou dalším bodem ve vývoji domů nízkoenergetických (dále jen NED) a pasivních (dále jen PD). Liší se hlavně kvalitnější tepelnou ochranou budovy, systémy větrání a využitím obnovitelných zdrojů energie. NED se začaly postupně objevovat ve formách experimentů. Poprvé v roce 1939 v USA. Postupem času se začaly principy výstavby NED ustalovat. Zrodily se dva hlavní směry. První byl maximalizováním energetických zisků a druhý byl minimalizováním tepelných ztrát. První PD byl však postaven až v Německu roku 1990. V roce 2010 Evropská Unie stanovila svou směrnicí nové požadavky na novostavby a snižování spotřeby energií u rekonstrukcí stávajících budov. Hlavním důvodem vydání této směrnice byla úleva životnímu prostředí, protože vytápění a celkový provoz budov ve vyspělejších zemích tvoří až 40 % celkové potřeby energie. Tomu odpovídá množství CO₂ uvolněné do atmosféry a protože dlouhá životnost budov je jedním z hlavních problémů, musí se přemýšlet dopředu a volit ty nejvhodnější řešení pro přítomnost i budoucnost.

2.2. Definice nulového domu

ND je navržen tak, aby jeho potřeba energie na vytápění byla co nejnižší. To zaručí kvalitní tepelná izolace celého domu a kvalitní okna. Velkou mírou přispívají energií tepelné solární zisky, které tvoří sluneční záření prostupující okny a vnitřní tepelné zisky, které tvoří osoby a technologie v domě. Takřka nezbytnou součástí domu je i větrání se zpětným získáváním tepla (tzv. rekuperace). Hodnocení ND zajišťuje roční bilance energetické potřeby a produkce energie uvnitř domu a v jeho okolí, která se vyjadřuje v hodnotách primární energie. Důležitým požadavkem je faktor tvaru budovy, kterým je poměr ochlazované plochy obálky budovy a objemu budovy (A/V). Čím vyšší bude plocha ochlazované obálky, tím vyšší bude faktor tvaru budovy a následná potřeba tepla na vytápění. Dalším důležitým parametrem je orientace domu vůči světovým stranám. Prosklené plochy obytných částí orientujeme směrem k jihu, kvůli využití již zmíněných solárních zisků.

2.3. Rozdělení domů podle měrné potřeby tepla

2.3.1. Nízkoenergetický a Pasivní dům

NED popisuje ČSN 730540-2 jako budovu s roční měrnou potřebou tepla do 50 kWh/m².a (bez ohledu na tvar budovy). U PD činí tato hodnota v případě rodinného domu maximálně 20 kWh/m².a a v ostatních případech nepřekračuje 15 kWh/m².a, přičemž celková neprůvzdušnost budovy musí dosahovat hodnoty $n_{50}=0,6h^{-1}$ a celkové množství primární energie nesmí přesahovat hodnotu 120 kWh/m².a. Plocha v tomto údaji je vztažená na podlahovou plochu vytápěné části domu. Součinitele prostupu tepla těchto konstrukcí by se měly pohybovat okolo doporučených hodnot dle ČSN 730540-2.

2.3.2. Nulový dům

Budovy, jejichž potřeba tepla na vytápění je blízká nule. Nulová a téměř nulová spotřeba je tedy pouze teoretická. Část spotřeby energie se pokryje obnovitelnými zdroji z okolí budovy. Nároky na prostupnost obálky jsou oproti pasivnímu domu a nízkoenergetickému domu podstatně vyšší.

	Současné novostavby	Nízkoenergetické stavby	Pasivní stavby	Nulové stavby	Aktivní stavby
Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]	140 až 80	50 až 20	20 až 5	5 až 0	0 >

Tab.1 – Rozdělení typů budov dle měrné potřeby tepla na vytápění

Typ Budovy		Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} [W/(m ² ·K)]		Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/(m ² ·a)]		Měrná spotřeba primární energie PE_A [kWh/(m ² ·a)]	
						Úroveň A	Úroveň B
Obytná budova – Rodinný dům	Nulová	≤ 0,25 požadováno	≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno	≤ 15 doporučeno	0	0
	Blízká nulové	≤ 0,25 požadováno	≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno	≤ 15 doporučeno	80	30
Neobytná budova s převažující teplotou 18 °C až 22 °C	Nulová	≤ 0,35 ¹⁾		≤ 30		0	0
	Blízká nulové					120	0
1) Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$							

Tab.2 – Rozdělení nulových, respektive téměř nulových budov

2.4. Směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov

Cílem Evropské směrnice je stav 20-20-20 do roku 2020. Tento číselný kód představuje zvýšení energetické účinnosti o 20 %, zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie v celkové spotřebě v EU na 20 %, snížení emisí skleníkových plynů o 20 % oproti úrovni z roku 1990.

Směrnice určuje:

- a) 31. 12. 2020, jako nejzazší datum, od kterého mají být všechny nové budovy s téměř nulovou spotřebou energie
- b) 31. 12. 2018, jako nejzazší datum, od kterého mají být nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci, budovami s téměř nulovou spotřebou energie

V ČR byla tato směrnice začleněna do zákona 318/2012 o hospodaření energií a do vyhlášky z března roku 2013 o energetické náročnosti budov.

2.5. Rozdělení podle součinitele prostupu tepla U

Norma ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov udává hodnoty tohoto součinitele, který vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejich povrchů 1 K. Norma hovoří o třech výpočtových modelech. První model musí splňovat nároky NED, kdy se nesmí přesáhnout doporučená hodnota součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$. Druhý model musí splňovat nároky PD, kdy se nesmí přesáhnout horní doporučená hodnota pro PD $U_{pas,20}$. Třetí model musí splňovat nároky PD, kdy se nesmí přesáhnout dolní doporučená hodnota pro PD $U_{pas,20}$ viz. tab. 3.

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro PD $U_{pas,20}$
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 do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střešou bez tepelné izolace)	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
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného	1,4	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9

Tab.3 – Vybrané hodnoty součinitele prostupu tepla podle ČSN 73 0540-2

3. KONSTRUKCE NULOVÉHO DOMU

Navrhované konstrukce odpovídají dvěma základním modelům:

- a) Model těžké (masivní) konstrukce
- b) Model lehké konstrukce (dřevostavba)

Oba modely byly navrženy tak, aby dosáhly kritérií nejbližším ND.

3.1. Model masivní konstrukce

Model budovy je dvoupodlažní, nepodsklepený a zabírá plochu 100 m². Půdorys má tvar čtverce o straně $a = 10$ m. Výška modelu budovy činí 6 m. Model má osm oken a jedny prosklené dveře. Čtyři okna jsou orientována směrem na jih, dvě okna na západ, jedno okno s vchodovými dveřmi na východ a jedno okno na sever. Okna i dveře jsou z kvalitního trojskla, osazeny ve dřevěném rámu. Model budovy je bez vnitřních stěn. Prostory obou podlaží mají stejnou vnitřní teplotu. Pro všechny tři varianty součinitele prostupu tepla zůstává model, konstrukce i materiály použité na konstrukci stejné. Mění se pouze šířka vybraných materiálů.

3.1.1. Obvodové zdivo

Obvodové zdivo se skládá z broušené cihly Heluz Family 44, na kterou je z vnější strany nalepena izolace ve formě pěnového polystyrenu ISOVER EPS GreyWall 40. Z obou stran stěny je nanesena omítka Baumit Termo.

Materiál	λ [W/m.K]	Tloušťka s materiálu pro hodnoty U_{rec} [m]	Tloušťka s materiálu pro horní hodnoty U_{pas-h} [m]	Tloušťka s materiálu pro spodní hodnoty U_{pas-s} [m]
vnější omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03	0,03
vnitřní omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03	0,03
pěnový polystyren ISOVER EPS GreyWall P 40	0,031	0,02	0,08	0,16
pálená cihla Heluz Family 44 broušená	0,17	0,8	0,44	0,44

Tab.4 – přehled hodnot materiálů obvodových stěn

3.1.2. Podlaha

Pro konstrukci podlahy byl zvolen podkladní beton, pěnový polystyren ISOVER EPS 70 F, který má vhodné vlastnosti pro použití s podkladním betonem. Jako krycí materiál byla vybrána keramická dlažba.

Materiál	λ [W/m.K]	Tloušťka s materiálu pro hodnoty U_{rec} [m]	Tloušťka s materiálu pro horní hodnoty U_{pas-h} [m]	Tloušťka s materiálu pro spodní hodnoty U_{pas-s} [m]
keramická dlažba	1,01	0,008	0,008	0,008
pěnový polystyren ISOVER EPS 70 F	0,039	0,01	0,03	0,07
Podkladní beton	1,16	0,6	0,6	0,6

Tab.5 – přehled hodnot materiálů pro podlahovou konstrukci

3.1.3. Strop

Pro stropní konstrukci byly zvoleny stropní dílce YTONG P3,3-600, které byly zaizolovány pomocí skelné izolace isover EVO.

Materiál	λ [W/m.K]	Tloušťka s materiálu pro hodnoty $U_{rec, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro horní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro spodní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]
stropní dílce YTONG P3,3-600	0,16	0,2	0,2	0,2
skelná izolace Isover EVO	0,035	0,13	0,2	0,3

Tab.6 – přehled hodnot materiálů pro stropní konstrukci

3.1.4. Okna a dveře

Pro ND jsou kvalitní dveře a okna velmi důležitá. Přes sklo se nejlépe získávají solární tepelné zisky. Nicméně právě okna a dveře způsobují největší tepelné ztráty v obálce domu. Proto je důležité najít správně uzpůsobená okna pro danou budovu v daném prostředí. Pro oba typy modelů byla vybrána eurookna z trojskla a dřevěného rámu Solid Comfort SC92-C a dveře Sapeli Lotos 200/90.

Materiál	U_{skla}	$U_{\text{rámu}}$	Ψ_{okna} [W/m.K]	Výška rámu h_r	Výška skla x	Délka skla y
	[W/m ² .K]			[m]		
Dřevěná eurookna Solid Comfort SC 92-C	0,6	0,7	0,06	0,06	1,5	1,5
Dveře Lotos Sapeli 200/90	0,6	0,7	0,06	0,2	2	0,9

Tab.7 – přehled hodnot pro okna

3.2. Model lehké konstrukce

Model budovy je dvoupodlažní, nepodsklepený a zabírá plochu 100 m². Půdorys má tvar čtverce o straně $a = 10$ m. Výška modelu budovy činí 6 m. Model má osm oken a jednu prosklené dveře. Čtyři okna jsou orientována směrem na jih, dvě okna na západ, jedno okno s vchodovými dveřmi na východ a jedno okno na sever. Okna i dveře jsou z kvalitního trojskla, osazeny ve dřevěném rámu. Model budovy je bez vnitřních stěn. Prostory obou podlaží mají stejnou vnitřní teplotu. Pro všechny tři varianty součinitele prostupu tepla zůstává model, konstrukce i materiály použité na konstrukci stejné. Mění se pouze šířka vybraných materiálů.

3.2.1. Obvodové stěny

Obvodové stěny dřevostavby jsou složeny z nosných dřevěných sloupků, mezi které je vložena vrstva měkké izolace z minerální vlny ISOVER FASSIL. Z vnější i vnitřní strany je měkká izolace zakryta difúzně propustnými sádrovláknitými tuhými deskami FERMACELL, na kterých je nanášena vrstva omítky Baumit Termo.

Materiál	λ [W/m.K]	Tloušťka s materiálu pro hodnoty $U_{rec, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro horní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro spodní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]
vnější omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03	0,03
vnitřní omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03	0,03
Tuhá sádrovláknitá deska FERMACELL	0,32	0,03	0,03	0,03
Izolace z minerální vlny ISOVER FASIL	0,035	0,3	0,16	0,26

Tab.8 – přehled hodnot obvodových stěn

3.2.2. Podlaha

Pro konstrukci podlahy byl zvolen podkladní beton a pěnový polystyren ISOVER EPS 70 F, který má vhodné vlastnosti pro použití s podkladním betonem. Jako krycí materiál byla vybrána keramická dlažba.

Materiál	λ [W/m.K]	Tloušťka s materiálu pro hodnoty $U_{rec, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro horní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro spodní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]
keramická dlažba	1,01	0,008	0,008	0,008
pěnový polystyren ISOVER EPS 70 F	0,039	0,1	0,3	0,07
Podkladní beton	1,16	0,6	0,6	0,6

Tab.9 – přehled hodnot pro podlahovou konstrukci

3.2.3. Strop

Stop dřevostavby nesou střešní vazníky, mezi které je vložena skelná izolace Isover EVO. Izolaci kryjí OSB desky.

Materiál	λ [W/m.K]	Tloušťka s materiálu pro hodnoty $U_{rec, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro horní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]	Tloušťka s materiálu pro spodní hodnoty $U_{pas, 20}$ [m]
OSB deska 25 mm	0,13	0,025	0,025	0,025
skelná izolace Isover EVO	0,035	0,16	0,22	0,35

Tab.10 – přehled hodnot pro stropní konstrukci

3.2.4. Okna a dveře

U modelu lehké konstrukce byly použity stejná okna i dveře jako u modelu těžké konstrukce. Zachovány byly i rozměry oken a dveří.

4. TEPELNÉ ZTRÁTY

Správné určení energetické náročnosti budov, je nezbytné pro posouzení objektu. Tepelné ztráty a tepelné zisky jsou jedny z klíčových hodnot pro stanovení potřeby a spotřeby energie na vytápění.

Tepelné ztráty byly vypočteny dle normy ČSN EN 12831. Venkovní výpočtová teplota $t_{iv} = -12$ °C a vnitřní výpočtová teplota $t_{ev} = 20$ °C. Poloha budovy hodnocena jako chráněná a krajina v okolí budovy jako normální. Norma počítá s nepřerušovaným vytápěním.

Tepelné ztráty:

- a) Prostupem – je nutné zjistit součinitele prostupu tepla U pro dané konstrukce
- b) Větráním

4.1. Součinitele prostupu tepla neprůsvitných částí

4.1.1. Součinitel prostupu tepla obvodových stěn a stropu

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

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2.\text{K}] \quad (1)$$

Kde

R_{si} – vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2.\text{K/W}$]

R_{se} – vnější tepelný odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2.\text{K/W}$]

λ_n – součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce [W/m.K]

s_n – tloušťka stěny n-té stavební konstrukce [m]

Směr tepelného toku je vodorovný. Dle ČSN EN ISO 6946 se uvažuje pro:

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} \quad (2) \quad \text{a} \quad R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} \quad (3), \quad \text{kde} \quad \alpha_i = 8 \text{ W/m}^2.\text{K} \quad \text{a} \quad \alpha_e = 23 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

4.1.2. Součinitel prostupu tepla podlahy

Výpočet součinitelů prostupu tepla přilehlou zeminou (podlaha) byl proveden dle normy ČSN EN ISO 13 370.

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [\text{m}] \quad (4)$$

Kde

d_t – celková ekvivalentní tloušťka podlahy [m]

w – celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy

R_f – tepelný odpor podlahy (tj. všech celoplošných tepelně-izolačních vrstev, včetně nášlapné vrstvy) [$\text{W/m}^2.\text{K}$]

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (Dle ČSN EN ISO 6946 směrem dolů je $R_{si}=0,17$)

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (Dle ČSN EN ISO 6946 směrem dolů je $R_{se}=0,04$)

λ_{zeminy} – tepelná vodivost zeminy [W/m.K]

Podkladovou vrstvu pod základovým betonem tvoří písky a šěrky, což dle ČSN 13 370 udává $\lambda_{zeminy} = 2,0$ [W/m.K].

$$d_t \geq B' \rightarrow U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (5)$$

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0,5 \cdot O_{podlahy}} \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Kde

B' – charakteristický parametr [m]

S – plocha podlahy [m²]

O – obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí [m]

4.2. Součinitele prostupu tepla průsvitných částí

Pro jednoduchá okna se zasklením jednoduchým nebo vícenásobným dle ČSN EN ISO 10 077-1 a 2

$$U_{okna} = \frac{\sum S_{skla} \cdot U_{skla} + \sum S_{rámu} \cdot U_{rámu} + \sum l_{skla} \cdot \psi_{skla}}{\sum S_{skla} + \sum S_{rámu}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (7)$$

Kde

U_{okna} – součinitel prostupu tepla okna (window) [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

U_{skla} – součinitel prostupu zasklení (glass) [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

S_{skla} – plocha zasklení (glass) [m^2]

$U_{rámu}$ – součinitel prostupu tepla rámu (frame) [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

$S_{rámu}$ – plocha rámu (frame) [m^2]

l_{skla} – viditelný obvod zasklení (glass) [m]

ψ_{skla} – lineární činitel prostupu tepla zasklení a rámu okna (glass) [$\text{W/m} \cdot \text{K}$]
(pro trojsklo – nepokovené sklo plněné vzduchem nebo plynem a dřevěný rám se uvažuje $\psi_{skla} = 0,06$)

Způsob výpočtu $U_{dveří}$ byl zcela identický s výpočtem U_{okna} .

Části konstrukce	Model těžké konstrukce			Model lehké konstrukce		
	$U_{k, rec}$	$U_{k, pas-h}$	$U_{k, pas-s}$	$U_{k, rec}$	$U_{k, pas-h}$	$U_{k, pas-s}$
	[$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]					
Obvodové stěny	0,25	0,17	0,12	0,20	0,18	0,12
Podlaha	0,27	0,21	0,14	0,29	0,22	0,15
Strop	0,20	0,14	0,10	0,20	0,15	0,10
Okna	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Dveře	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Tab.11 – přehled výsledných hodnot součinitele prostupu tepla pro danou

konstrukci U_k

Některé vypočtené hodnoty součinitelů prostupu tepla dané konstrukce se liší od jmenovitých hodnot daných ČSN 75 0540-2. Odlišnost je zapříčiněna výrobními rozměry izolace a je minimální. Na výsledky třech hlavních kritérií pro ND nemá takřka žádný dopad.

4.3. Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}

Jeden z požadavků na ND je stanovení třídy energetické náročnosti budovy dle ČSN 73 0540-2 energetické náročnosti budov je průměrný součinitel prostupu tepla:

$$U_{em} \leq U_{em,N} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (8)$$

Kde

U_{em} – navržený průměrný součinitel prostupu tepla budovy [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

$U_{em,N}$ – jmenovitý průměrný součinitel prostupu tepla budovy [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

$$U_{em,N} = f_R \cdot \left(\frac{\sum (U_{N,20,j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + \Delta U_{em,N} \right) \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (9)$$

$$U_{em} = \frac{\sum (U_{N,20,j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + \Delta U_{em,N} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (10)$$

Kde

f_R – redukční činitel, který pro ND = 0,7 [-]

$U_{n,20,j}$ – požadovaný součinitel prostupu tepla j-té teplosměnné konstrukce pro budovu [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

A_j – plocha j-té konstrukce [m^2]

b_j – činitel teplotní redukce j-té konstrukce = 1 [-]

$\Delta U_{em,N}$ – Přirážka na vliv tepelných vazeb = 0,02 [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]

$$CI = \frac{U_{em}}{U_{em,N}} \quad [-] \quad (7)$$

Kde

CI – je klasifikační ukazatel, podle kterého se určí třída energetické náročnosti budovy. Díky známé třídě budovy je pak možné vystavit průkaz energetické náročnosti budovy PENB

Typ konstrukce	Model těžké konstrukce			Model lehké konstrukce		
	U _{rec}	U _{pas-h}	U _{pas-s}	U _{rec}	U _{pas-h}	U _{pas-s}
Průměrný součinitel prostupu tepla U _{em} [W/m ² .K]	0,287	0,219	0,17	0,276	0,229	0,17
Klasifikační ukazatel CI [-]	1	0,79	0,61	0,95	0,83	0,62
Klasifikační třída	C	C	B	C	C	B
Slovní vyjádření třídy	vyhovující	vyhovující	Velmi úsporná	vyhovující	vyhovující	Velmi úsporná

Tab.12 – Klasifikace prostupu tepla obálkou

Kritérium stanovené hodnotou jmenovitého požadovaného průměrného součinitele prostupu tepla obálkou (viz. tab. 2) nespĺňuje model těžké i lehké konstrukce navrhované pro hodnoty součinitele prostupu tepla U_{rec,20}. Proto nebude tento model nadále uvažován jako vhodný návrh ND.

4.4. Celková tepelná ztráta

$$\phi = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad [W] \quad (12)$$

Kde

ϕ – celková měrná tepelná ztráta [W]

$\phi_{T,i}$ – návrhová tepelná ztráta prostupem tepla [W]

$\phi_{V,i}$ – návrhová tepelná ztráta větráním [W]

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (t_{iv} + t_{ev}) \quad [\text{W}] \quad (13)$$

Kde

$H_{T,ie}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy [W/K]

$H_{T,iue}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostoru nevytápěným prostorem [W/K] – pro tento případ se neuvažuje = 0

$H_{T,ig}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do zeminy v ustáleném stavu [W/K]

$H_{T,ij}$ – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do sousedního prostoru vytápěného na výrazně jinou teplotu [W/K] – pro tento případ se neuvažuje = 0

t_{iv} – vnitřní výpočtová teplota [°C]

t_{ev} – venkovní výpočtová teplota [°C]

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{W}] \quad (14)$$

Kde

$H_{V,i}$ – součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]

4.4.1. Výpočet měrných součinitelů tepelných ztrát prostupem

$$H_{T,ie} = \sum S_k \cdot U_k \cdot e_k \quad [\text{W/K}] \quad (14)$$

Kde

S_k – plocha stavební části [m²]

U_k – součinitel prostupu tepla dané stavební části [W/m².K]

e_k – korekční čítel vystavením povětrnostním vlivům = 1 – národní úroveň dle ČSN EN 12831

V konstrukci nebyly uvažovány tepelné mosty.

$$H_{T,ig} = \left[S_{podlahy} \cdot \left(U_{podlahy} + \frac{2 \cdot \Psi_{g,e}}{B'} \right) + O_{podlahy} \cdot (\Psi_g + \Psi_{g,e}) \right] \cdot G_W \quad [\text{W/K}] \quad (15)$$

Kde

Ψ_g – lineární čítel prostupu tepla zastupující vliv napojení stěna/podlaha






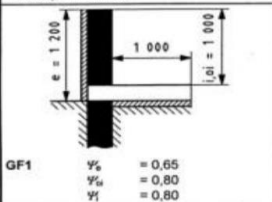
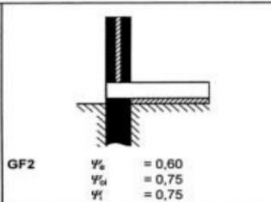
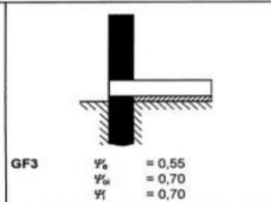
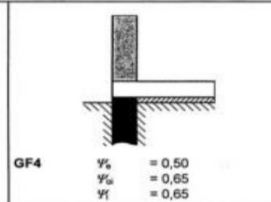
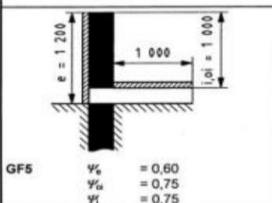
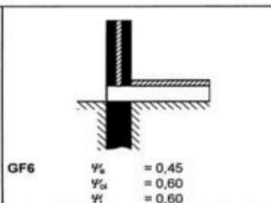
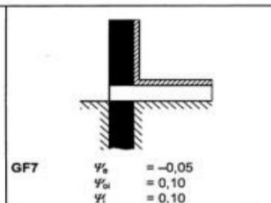
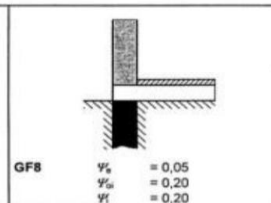
[W/m.K] – Ψ_g pro danou konstrukci = 0

$\Psi_{g,e}$ – lineární čítel prostupu tepla zastupující vliv okrajové izolace podlahy

[W/m.K] – okrajová izolace použita, $\Psi_{g,e} = 0,80$ stanoveno dle obr.1 (GF1)

G_W – korekční čítel zahrnující vliv spodní vody [-], $G_W = 1$, protože vzdálenost L mezi úrovní základů a hladinou spodní vody je větší než 1 m

B' – charakteristický parametr viz vzorec (6) = 5 [m]

 Stěna	 Lehká stěna (včetně lehkého zdiva a stěn z dřevěných rámy)	 Tepelně izolační vrstva	 Deska/sloup	 Rám okna
Podlahy na zemině				
 GF1 $\Psi_g = 0,65$ $\Psi_{g,e} = 0,80$ $\Psi_l = 0,80$	 GF2 $\Psi_g = 0,60$ $\Psi_{g,e} = 0,75$ $\Psi_l = 0,75$	 GF3 $\Psi_g = 0,55$ $\Psi_{g,e} = 0,70$ $\Psi_l = 0,70$	 GF4 $\Psi_g = 0,50$ $\Psi_{g,e} = 0,65$ $\Psi_l = 0,65$	
 GF5 $\Psi_g = 0,60$ $\Psi_{g,e} = 0,75$ $\Psi_l = 0,75$	 GF6 $\Psi_g = 0,45$ $\Psi_{g,e} = 0,60$ $\Psi_l = 0,60$	 GF7 $\Psi_g = -0,05$ $\Psi_{g,e} = 0,10$ $\Psi_l = 0,10$	 GF8 $\Psi_g = 0,05$ $\Psi_{g,e} = 0,20$ $\Psi_l = 0,20$	

Obr. 1 (výtah z normy ČSN EN ISO 14 683 – Tabulka A.2)

4.4.2. Výpočet měrného součinitele tepelné ztráty větráním

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \approx \dot{V}_i \cdot 0,34 \quad [\text{W/K}] \quad (16)$$

Kde

$H_{V,i}$ – součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [W/K]

\dot{V}_i – objemový tok vzduchu [m³/s]

ρ – hustota vzduchu = 1,188 [kg/m³]

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu = 1,01 [kJ/kg.K]

Pro dosažení tepelné pohody člověka je nutné určit správné hygienické množství vzduchu $\dot{V}_{min,i}$ [m³/h]. K tomu dopomůže součinitel minimální intenzity výměny vzduchu pro přízemí $n_{min1} = 0,5$ [1/h] a pro první patro $n_{min2} = 0,3$ [1/h] dle dat pro obytnou místnost získaných z normy ČSN EN 12 831. Objem větraného prostoru pro přízemí a první patro je stanoven na $V_i = 300$ [m³].

$$\dot{V}_{min,i} = V_i \cdot (n_{min1} + n_{min2}) \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (17)$$

Jednou z podstat ND je velké snížení tepelných ztrát, čehož se docílí zpětným získáváním tepla – nainstalováním rekuperační jednotky. Byla vybrána nejslabší rekuperační jednotka DUPLEX Multi s maximálním elektrickým příkonem do 0,3 kW a účinností rekuperace $\eta_r = 90$ %. Upravený vzorec pro výpočet měrného součinitele tepelné ztráty větráním rekuperační jednotkou viz vzorec (18)

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p \cdot (1 - \eta_r) \quad [\text{W/K}] \quad (18)$$

Části konstrukce	Model těžké konstrukce		Model lehké konstrukce	
	U_{pas-h}	U_{pas-s}	U_{pas-h}	U_{pas-s}
Tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i}$ [W]	2 796	2 099	2 957	2 112
Tepelná ztráta větráním $\phi_{V,i}$ [W]	922	922	922	922
Celková tepelná ztráta ϕ [W]	3 720	3 020	3 880	3 033

Tab. 13 – navržené tepelné ztráty

Nejnižší tepelné ztráty má model masivní konstrukce s navrženými součiniteli prostupu tepla pro U_{pas-s} .

4.5. Celkové přenesené teplo

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,vet} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

Kde

$Q_{H,ht}$ – celkové množství přeneseného tepla [kWh]

$Q_{H,tr}$ – celkové množství přeneseného tepla prostupem za měsíc [kWh]

$Q_{H,vet}$ – celkové množství přeneseného tepla větráním za měsíc [kWh]

$$Q_{H,tr} = n_{hod} \cdot H_{T,i} \cdot (t_{iv} - t_{ep}) \quad [\text{kWh}] \quad (20)$$

$$Q_{H,vet} = n_{hod} \cdot H_{V,i} \cdot (t_{iv} - t_{eov}) \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

$$t_{eov} = t_{ep} + \eta_r \cdot (t_{iv} - t_{ep}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (22)$$

Kde

n_{hod} – počet hodin za měsíc [hod]

t_{ep} – střední měsíční teplota dle TNI 0331 [$^{\circ}\text{C}$]

t_{eov} – teplota ohřátého venkovního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

5. TEPELNÉ ZISKY

Tepelné zisky obou modelů jsou vypočteny dle ČSN EN ISO 13790.

5.1. Vnitřní tepelné zisky

Tyto zisky jsou dány součtem jednotlivých vnitřních zdrojů tepla. Průměrný tepelný tok od osob a spotřebičů je dle TNI 73 0331, pro rodinný dům, stanoven na:

$$\phi = 4 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$Q_{int} = A_n \cdot \phi \quad \text{[W]} \quad (23)$$

Kde

Q_{int} – tepelný výkon vnitřních zisků [W]

A_n – nášlapná plocha [m²]

$$Q_{int,kWh} = Q_{int} \cdot t \quad \text{[kWh]} \quad (24)$$

Kde

$Q_{int,kWh}$ – tepelný výkon vnitřních zisků vypočtený pomocí jednoduché hodinové metody [kWh]

t – čas, v tomto případě počet hodin v daném měsíci [hod]

měsíc	počet dnů	počet hodin	Vnitřní tepelné zisky
	n[den]	n _{hod} [hod]	Q _{int,kWh} [kWh]
leden	31	744	595
únor	28	672	538
březen	31	744	595
duben	30	720	576
květen	31	744	595
červen	30	720	576
červenec	31	744	595
srpen	31	744	595
září	30	720	576
říjen	31	744	595
listopad	30	720	576
prosinec	31	744	595

Tab. 14 – Vnitřní zisky budovy za daný měsíc

Roční vnitřní tepelné zisky $Q_{int,c} = 7\,008 \text{ kWh}$

5.2. Solární tepelné zisky

Pasivní solární zisky u ND výrazně snižují potřebu tepla na vytápění.

$$\phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot l_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \phi_{r,k} \quad [\text{W}] \quad (25)$$

Kde

$\phi_{sol,k}$ – solární tepelný tok přes k-tý prvek [W]

$F_{sh,ob,k}$ – korekční činitel stínění na externí překážky pro solární účinnou svěrnou plochu k – viz tab.

$A_{sol,k}$ – účinná sběrná plocha prvku k s danou orientací a úhlem sklonu v uvažované zóně [m²]

$l_{sol,k}$ – sluneční ozáření, průměrná energie slunečního záření za časový krok výpočtu [W/m²] – národní hodnoty viz tab.

$F_{r,k}$ – faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou [-] – viz tab.

$\phi_{r,k}$ – přídavný tepelný tok v důsledku sálání mezi oblohou a prvkem k [W]

Vlastnosti prvků se obecně mění v čase, jak po hodinách, tak i v průběhu toku. V důsledku toho mají být vybrány adekvátní průměrné hodnoty vhodné pro daný účel výpočtu.

TNI 73 0331							
Měsíc	Počet dnů	Střední teplota	Celkové solární záření za měsíc				
	n [den]		t _{ep} [°C]	I _{s,j} [kWh/m ²]			
		Sever		Jih	Východ	Západ	Průměr (střecha)
Leden	31	-1,3	8	34	14	14	17,5
Únor	28	-0,1	13	51	26	26	29
Březen	31	3,7	25	74	47	47	48,3
Duben	30	8,1	36	86	74	74	67,5
Květen	31	13,3	49	87	87	87	77,5
Červen	30	16,1	52	76	90	90	77
Červenec	31	18	51	78	84	84	74,3
Srpen	31	17,9	42	96	80	80	74,5
Září	30	13,5	29	78	53	53	53,3
Říjen	31	8,3	19	74	39	39	42,8
Listopad	30	3,2	9	45	18	18	22,5
Prosinec	31	0,5	6	29	11	11	14,3

Tab.15 – národní hodnoty středních teplot a solárních záření za měsíc

Z Tab.15 je zřejmé, že největší energie slunečního záření dopadá směrem na jih a proto je z hlediska maximalizace solárních zisků nutné volit nejvíce průsvitných sběrných ploch, právě směrem na jih.

Korekce stínění externí překážky		
F _{sh,ob,k} [-]	1	
Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou		
F _{r,k} [-]	Horizontální	1
	Vertikální	0,5

Tab. 16– Korekční činitele na stínění a osálení

Mezi sběrné plochy připadající v úvahu patří:

- zasklení (včetně jakýchkoli integrovaných nebo přidaných zařízení)
- obvodové neprůhledné prvky

$$A_{sol,p} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \quad [m^2] \quad (26)$$

Kde

$A_{sol,p}$ – Účinná sběrná solární plocha zasklených prvků [m²]

$F_{sh,gl}$ – korekční činitel stínění [-]

g_{gl} – celková prostupnost sluneční energie průhlednými částmi prvku

F_F – podíl plochy rámu, podíl pohledové plochy rámu k celkové ploše zaskleného prvku

$A_{w,p}$ – celková pohledová plocha zaskleného prvku

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl.n} \quad [-] \quad (27)$$

Kde

g_{gl} – celková prostupnost sluneční energie prosklených prvků [-]

F_w – korekční činitel pro nerozptylující zasklení [-]

$g_{gl.n}$ – celková propustnost zasklení

Korekční činitel stínění		
$F_{sh,gl}$ [-]	0,9	
Celková propustnost zasklení pro trojsklo		
g_n [-]	0,7	
Korekční činitel pro nerozptylující zasklení		
F_w [-]	0,9	
Celková propustnost sluneční eng. Průhlednými částmi prvku		
g_{gl} [-]	0,63	
Podíl pohledové plochy rámu k celkové pohledové ploše zaskleného prvku		
F_F [-]	oken	0,2
	dveří	

Tab.17 – činitele a parametry pro výpočet solární sběrné plochy

Orientace	Počet oken	Celková plocha oken	Celková plocha dveří	Celková pohledová plocha	účinná sběrná plocha
	n_{oken} [-]	$A_{wp,oken}$ [m ²]	$A_{wp,orient,dveř}$ [m ²]	A_{wp} [m ²]	$A_{sol,orient,A}$ [m ²]
sever	1	2,25	-	2,25	1,02
jih	4	9,00	-	9,00	4,08
východ	2	4,50	-	4,50	2,04
západ	1	2,25	1,80	4,05	1,84
střecha	-	-	-	-	-

Tab.18 – solární sběrné plochy průsvitných částí konstrukce

$$A_{sol,n} = \alpha_{s,c} \times R_{se} \times U_c \times A_c \quad [m^2] \quad (28)$$

Kde

$A_{sol,n}$ – účinná solární sběrná plocha neprůhledné části obálky budovy [m^2]

$\alpha_{s,c}$ – bezrozměrná pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků = 0,6

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu = 0,04 $m^2/K.W$

U_c – součinitel prostupu tepla neprůhledné části stanovený dle tabulky 3.2

A_c – pohledová plocha neprůhledné části [m^2]

A_{sol}				masivní konstrukce	lehká konstrukce	
Orientace	Rozměry stěn konstrukce [m]		Celková plocha neprůhledné části dle orientace	Pohledová plocha neprůhledné části	Účinná solární sběrná plocha dle orientace	Účinná solární sběrná plocha dle orientace
	a	b	$A_{nepruhledné}$ části [m^2]	A_c [m^2]	$A_{sol,orient,A}$ [m^2]	$A_{sol,orient,A}$ [m^2]
Navrženo pro U_{pas-h}						
sever	10	6	60	58	0,24	0,25
jih	10	6	60	51	0,21	0,22
východ	10	6	60	56	0,23	0,24
západ	10	6	60	56	0,23	0,24
střecha	10	10	100	100	0,34	0,36
Navrženo pro U_{pas-s}						
sever	10	6	60	58	0,16	0,16
jih	10	6	60	51	0,14	0,15
východ	10	6	60	56	0,16	0,16
západ	10	6	60	56	0,16	0,16
střecha	10	10	100	100	0,24	0,23

Tab. 19 – Hodnoty ploch neprůhledných částí

$$\phi_r = R_{se} \times U_c \times A_c \times h_r \times \Delta t_{er} \quad [\text{W}] \quad (29)$$

Kde

 ϕ_r – přídatný tok v důsledku sálání vůči obloze pro určitou část obálky [W] h_r – součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně [°C] Δt_{er} – průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy [°C] U_c – součinitel prostupu tepla neprůhledné části stanovený dle tabulky 3.2

emisivita vnějšího povrchu neprůhledných konstrukcí	
ε [-]	0
emisivita vnějšího povrchu průhledných konstrukcí	
ε [-]	0
rozdíl zdánlivé teploty oblohy a venkovní teploty - průměr	
Δt_{er} [K]	13,9
Součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně neprůhlednou konstrukcí	
h_r [W/m ² .K]	0
Součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně průhlednou konstrukcí	
h_r [W/m ² .K]	0
bezrozměrná pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	
$\alpha_{S,c}$ [-]	0,6

Tab. 20 – hodnoty potřebné k výpočtu ϕ_r

	počet dnů	počet hodin	těžká konstrukce		lehká konstrukce	
			U_{pas-h}	U_{pas-s}	U_{pas-h}	U_{pas-s}
			Celkový tepelný tok měsíčních solárních zisků			
měsíc	n[den]	n _{hod} [hod]	Q _{sol} [kWh]			
leden	31	744	222	216	224	216
únor	28	672	358	347	360	347
březen	31	744	569	551	573	551
duben	30	720	758	733	763	732
květen	31	744	838	809	844	809
červen	30	720	807	779	813	778
červenec	31	744	790	760	793	760
srpen	31	744	838	808	842	809
září	30	720	619	599	623	599
říjen	31	744	525	509	528	509
listopad	30	720	290	282	292	282
prosinec	31	744	184	179	185	179

Tab. 21 – hodnoty celkového tepelného toku solárních zisků

Hodnoty celkových tepelných solárních zisků jsou téměř stejné. Odlišnost v řádu jednotek kWh je zapříčiněna rozdílnými součiniteli prostupu tepla pro modely U_{pas-h} a modely U_{pas-s} . Zde je ukázáno, že solární tepelný tok neprůsvitných částí konstrukce není zdaleka tak velký, jako solární tok průsvitnými částmi konstrukce.

5.3. Výsledné hodnoty tepelných zisků

$$Q_{h,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (30)$$

Model těžké i lehké konstrukce			U_{pas-h}	U_{pas-s}
měsíc	počet dnů	počet hodin	Celkové tepelné zisky [kWh]	
	n[den]	n _{hod} [hod]	$Q_{h,gn}$ [kWh]	
leden	31	744	810	
únor	28	672	890	
březen	31	744	1150	
duben	30	720	1310	
květen	31	744	1410	
červen	30	720	1360	
červenec	31	744	1360	
srpen	31	744	1400	
září	30	720	1180	
říjen	31	744	1100	
listopad	30	720	860	
prosinec	31	744	770	

Tab. 22 – Přehled tepelných zisků pro obě varianty součinitele prostupu tepla U

5.4. Rozdělení variant modelů podle tepelné kapacity

Vnitřní tepelná kapacita modelu těžké i lehké konstrukce byla určena dle ČSN EN ISO 13790.

Typ konstrukce	Koeficient $C_{m,i}$ [J/K]	Třída
Model těžké konstrukce	260 000	Těžká
Model lehké konstrukce	80 000	velmi lehká

Tab.22 – přehled koeficientu tepelné kapacity

$$C_m = C_{m,i} \times A_k \quad [\text{J/K}] \quad (31)$$

Kde

C_m – vnitřní tepelná kapacita budovy [J/K]

A_k – celková plocha (obou podlaží)

Typ konstrukce	C_m [J/K]	
	$U_{\text{pas-h}}$	$U_{\text{pas-s}}$
Model těžké konstrukce	20 317 860	19 589 020
Model lehké konstrukce	7 159 330	6 859 810

Tab.23 – přehled vnitřní tepelné kapacity obou modelů

5.5. Celkové množství přeneseného tepla

$$Q_{H,tr} = n_{\text{hod}} \cdot (H_{T,iue} + H_{T,ig}) \cdot (t_i - t_{ep}) \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (32)$$

Kde

$Q_{H,tr}$ – celkové množství přeneseného tepla prostupem [kWh]

n_{hod} – počet hodin za daný měsíc [hod]

t_i – vnitřní výpočtová teplota [°C]

t_{ep} – střední teplota dle TNI 73 0331 [°C]

měsíc	n[den]	n_{hod} [hod]	model těžké konstrukce		model lehké konstrukce	
			$U_{\text{pas-h}}$	$U_{\text{pas-s}}$	$U_{\text{pas-h}}$	$U_{\text{pas-s}}$
			QH,vet [kWh]			
leden	31	744	1385	1039	1465	1046
únor	28	672	1180	886	1248	891
březen	31	744	1060	795	1121	800
duben	30	720	749	562	792	565
květen	31	744	436	327	461	329
červen	30	720	245	184	260	185
červenec	31	744	130	98	138	98
srpen	31	744	137	102	144	103
září	30	720	409	307	433	309
říjen	31	744	761	571	804	574
listopad	30	720	1057	793	1118	798
prosinec	31	744	1268	952	1341	957

Tab.24 – přehled celkového množství přeneseného tepla prostupem

$$Q_{H,ve} = n_{hod} \cdot H_{V,i} \cdot (t_i - t_{ep}) \cdot 0,001 \quad [\text{kWh}] \quad (33)$$

Kde

$Q_{H,ve}$ – celkové množství přeneseného tepla větráním [kWh]

měsíc	n[den]	n _{hod} [hod]	Q _{H,ve} [kWh]
leden	31	744	456
únor	28	672	389
březen	31	744	349
duben	30	720	247
květen	31	744	144
červen	30	720	81
červenec	31	744	43
srpen	31	744	45
září	30	720	135
říjen	31	744	251
listopad	30	720	348
prosinec	31	744	418

Tab.25 – přehled celkového množství přeneseného tepla větráním

$$Q_{H,ht} = Q_{H,ve} + Q_{H,tr} \quad [\text{kWh}] \quad (34)$$

Kde

$Q_{H,ht}$ – celkové množství přeneseného tepla [kWh]

	model těžké konstrukce		model lehké konstrukce	
	Upas-h	Upas-s	Upas-h	Upas-s
	Q _{H,ht} [kWh]			
leden	1 841	1 496	1 921	1 502
únor	1 569	1 275	1 637	1 280
březen	1 409	1 145	1 470	1 150
duben	995	809	1 039	812
květen	579	470	604	473
červen	326	265	340	266
červenec	173	140	180	141
srpen	182	147	189	148
září	544	442	567	444
říjen	1 011	822	1 055	825
listopad	1 405	1 142	1 466	1 147
prosinec	1 686	1 369	1 759	1 375

Tab.26 – přehled celkového množství přeneseného tepla

5.6. Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění

Bezrozměrný faktor využitelnosti tepelných zisků pro režim vytápění $\eta_{H,gn}$ je dle ČSN EN ISO 13790 funkcí bilančního poměru γ_H a číselného parametru a_H , který závisí na tepelné setrvačnosti budovy. [2]

$$\text{Když } \gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad [-] \quad (35)$$

$$\text{Když } \gamma_H = 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad [-] \quad (36)$$

$$\text{Když } \gamma_H < 0: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [-] \quad (37)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad (38)$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (39)$$

$$\tau = \frac{C_m}{\frac{H_{t,ie}}{H_{v,e}}} \quad [\text{hod}] \quad (40)$$

Kde

γ_H – bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění [-]

$\eta_{H,gn}$ – bezrozměrný faktor využitelnosti tepelných zisků [-]

a_H – bezrozměrný číselný parametr [-]

$Q_{H,gn}$ – celkové množství přeneseného tepla v režimu vytápění [kWh]

$Q_{H,ht}$ – celkové tepelné zisky v režimu vytápění [kWh]

τ – časová konstanta zóny budovy [h]

$\tau_{H,0}$ – referenční časová konstanta

		číselný parametr - měsíční výpočtová metoda	referenční časová konstanta	časová konstanta zóny budovy	číselný parametr	faktor přerušovaného vytápění
		$a_{H,0}$ [-]	$\tau_{H,0}$ [h]	τ_b [h]	a_H [-]	$a_{H,red}$ [-]
Těžká konstrukce	U_{pas-h}	1	15	48,6	4,2	1
	U_{pas-s}			57,7	4,8	
Lehká konstrukce	U_{pas-h}			16,4	2,1	
	U_{pas-s}			20,1	2,3	

Tab.27 – přehled hodnot pro výpočet potřeby tepla na vytápění

měsíc	model těžké konstrukce		model lehké konstrukce	
	U_{pas-h}	U_{pas-s}	U_{pas-h}	U_{pas-s}
$\eta_{H,gn}$ [-]				
leden	0,98	0,98	0,90	0,88
únor	0,96	0,94	0,85	0,82
březen	0,88	0,83	0,75	0,70
duben	0,68	0,59	0,59	0,52
květen	0,40	0,33	0,38	0,32
červen	0,24	0,20	0,24	0,19
červenec	0,12	0,10	0,13	0,10
srpen	0,13	0,11	0,13	0,11
září	0,45	0,37	0,42	0,35
říjen	0,81	0,83	0,66	0,59
listopad	0,95	0,92	0,83	0,79
prosinec	0,98	0,97	0,89	0,87

Tab.28 – přehled hodnot faktoru využitelnosti tepelných zisků

5.7. Celková potřeba tepla na vytápění

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,ht} - Q_{H,gn} \cdot \eta_{H,gn}) \cdot a_{H,red} \quad [\text{kWh}] \quad (41)$$

	model těžké konstrukce		model lehké konstrukce	
	U_{pas-h}	U_{pas-s}	U_{pas-h}	U_{pas-s}
	$Q_{H,nd} [\text{kWh}]$			
leden	1038	704	1187	792
únor	712	443	876	558
březen	387	195	593	345
duben	93	32	252	127
květen	7	2	61	25
červen	1	0	14	5
červenec	0	0	2	1
srpen	0	0	2	1
září	11	2	69	29
říjen	105	94	319	170
listopad	586	350	746	465
prosinec	922	617	1064	704

Tab.29 – přehled hodnot celkové potřeby tepla na vytápění

5.7.1. Roční potřeba tepla

Typ konstrukce	U_{pas-h}	U_{pas-s}
	$Q_{H,nd} [\text{kWh/rok}]$	
Model těžké konstrukce	3863	2 251
Model lehké konstrukce	5 186	3 222

Tab.30 – přehled hodnot roční potřeby tepla

Pro obě varianty součinitelů prostupu tepla byly použity stejné materiály pro konstrukci. Z hodnot roční potřeby tepla lze vyčíst, že zvyšující se vrstvou izolace a tím pádem snižujícím se součinitelem prostupu tepla se dá snadno omezit hodnota vypočítané potřeby tepla na vytápění. Dalším důležitým poznatkem je rozdíl mezi lehkou a těžkou konstrukcí, kdy je těžká konstrukce nastavená na stejný součinitel prostupu tepla jako dřevostavba, přesto potřebuje méně tepla. Je to zapříčiněno tepelnou kapacitou konstrukce.

5.8. Měrná potřeba tepla na vytápění

Je hodnotící ukazatel tepelné kvality obálky budovy. Kritérium stanovené pro ND viz tab. 2

$$E_A = \frac{\sum Q_{H,nd}}{A} \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (42)$$

Kde

$Q_{H,nd}$ – celková potřeba tepla na vytápění budovy

A – náslapná plocha vč. šířky obvodového zdiva [m^2]

Typ konstrukce	$U_{\text{pas-h}}$	$U_{\text{pas-s}}$
	E_A [$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$]	
Model těžké konstrukce	19,3	11,3
Model lehké konstrukce	25,9	16,1

Tab. 31 – přehled měrné potřeby tepla na vytápění

Z výsledků v Tab. 31 je vidět, že model lehké konstrukce navrhnutý pro horní hodnotu součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy $U_{\text{pas-h}}$ nesplňuje kritérium měrné potřeby tepla na vytápění pro hodnotu ND viz Tab. 2

6. POTŘEBA TEPLA NA OHŘEV TEPLÉ VODY

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot p \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [\text{Wh/den}] \quad (43)$$

Kde

z – koeficient energetických ztrát pro přípravu TV [-]

ρ – hustota vody = 1000 kg/m^3

c – měrná tepelná kapacita vody = 4186 [$\text{J/kg} \cdot \text{K}$]

p – počet osob

V_{2p} – množství spotřebované vody jedním obyvatelem za den [l/os.den]

t_2 – teplota ohřáté vody = 55 $^\circ\text{C}$

t_1 – teplota studené vody = 10 $^\circ\text{C}$

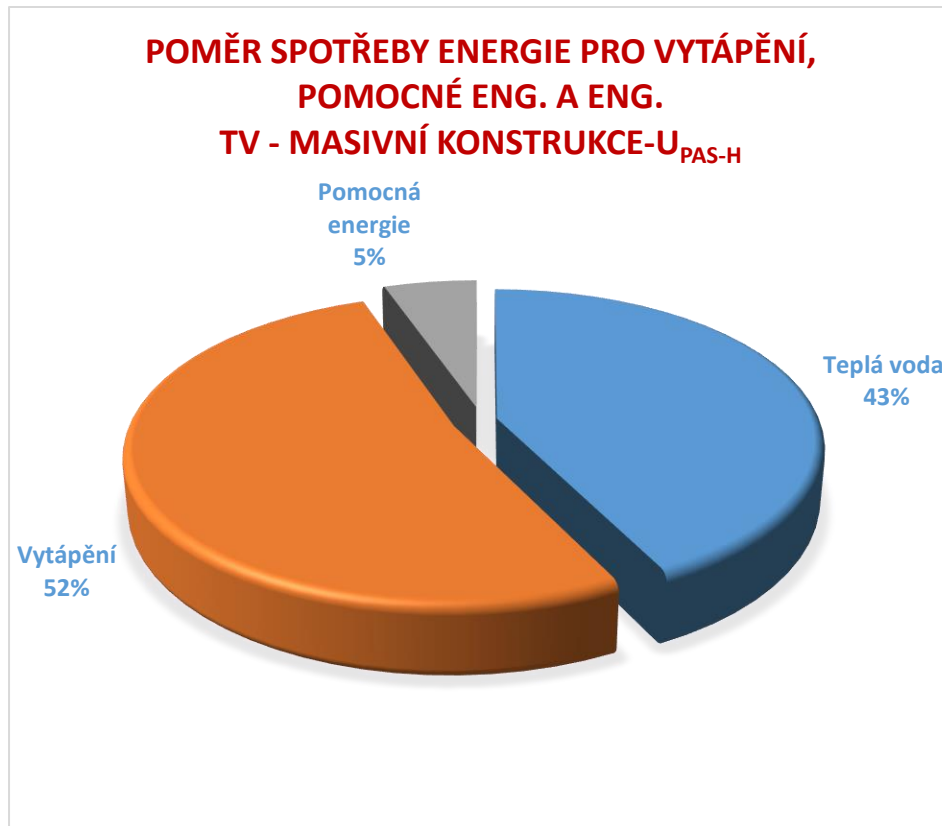
V ND uvažují 4 obyvatele. Každý obywatel spotřebuje 40 l/den vody.

TV	U_{pas-h}	U_{pas-s}
	$Q_{TV,r}$ [kWh/rok]	
Bez uvažování sezóních změn	3 667	
S uvažováním sezóních změn	3 160	

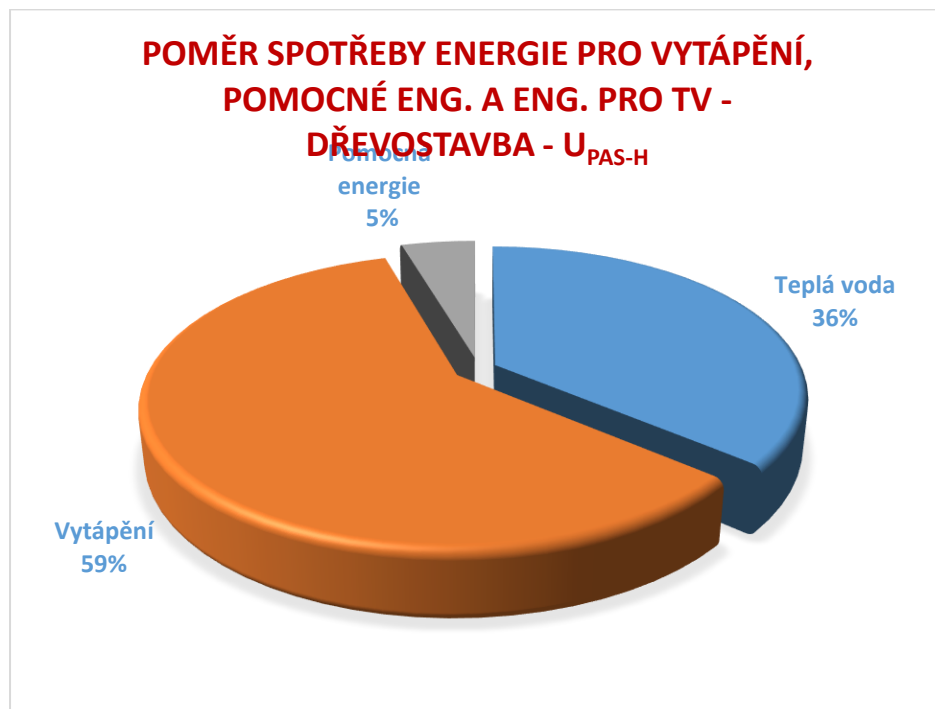
Tab.31 – přehled hodnot potřeby tepla na ohřátí TV

Hodnoty $Q_{TV,r}$ s uvažováním sezóních změn byly vypočteny pomocí počítačového programu

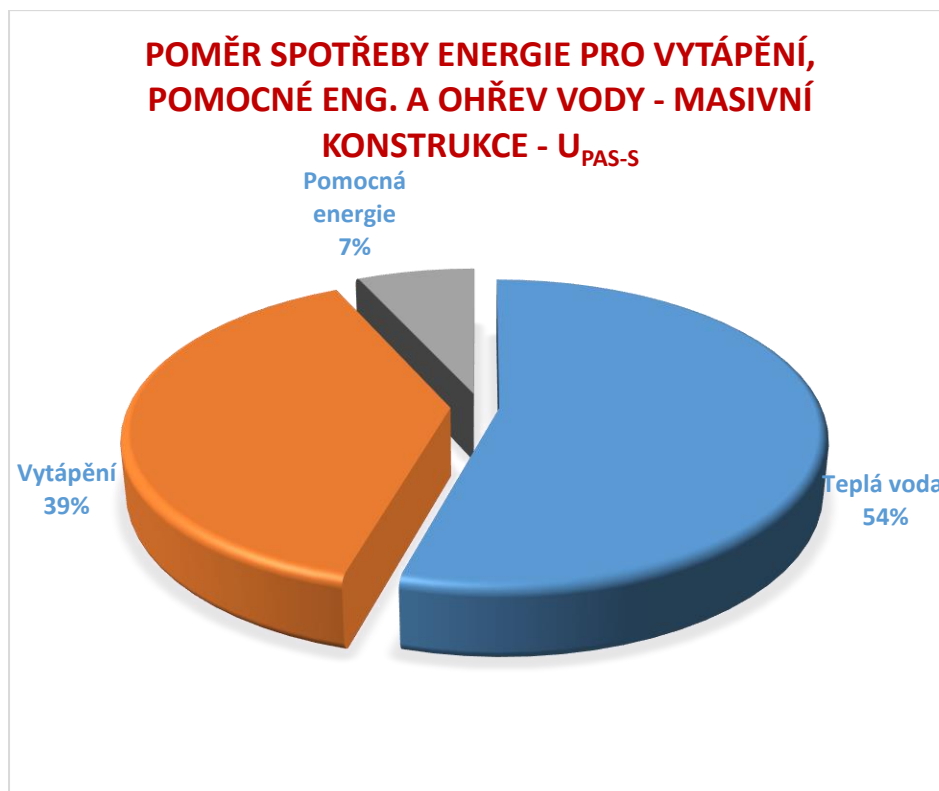
6.1. Poměr spotřeby energie na ohřátí teplé vody, spotřeby energie na vytápění a pomocné energie



Obr.2



Obr.3



Obr.4



Obr. 5

Z porovnání všech čtyř případů je patrné, že s klesající hodnotou součinitele prostupu tepla, klesá i podíl energie potřebné pro vytápění, a podíl energie potřebné pro ohřev teplé vody se stává stejně velikým, v případě masivní konstrukce navrhnuté pro U_{pas-s} dokonce i větším. Tento fakt se řeší vhodným zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody.

7. VOLBA VHODNÉHO ZDROJE TEPLA

Volba vhodného zdroje tepla je nedílnou součástí návrhu budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Navrhnuty byly tři typy zdrojů energie pro vytápění a ohřev teplé vody (dále jen TV) s ohledem na počáteční náklady, ceny energií a návratnost investic.

Vybrané zdroje tepla	Výkon [kW]	cena za zařízení s DPH [Kč]
Nástěnný kondenzační kotel Buderus Logamax plus GB 172-14 se zásobníkem teplé vody 160l	13	70 301 Kč
Nástěnný kondenzační kotel se solárním ohřevem TV, zásobníkem 300l a dvoutrubkovou stanicí	14	108 416 Kč
Tepelné čerpadlo WPLS 8.2 comfort s ohřevnou tyčí a zásobníkem 300l	8	181 379 Kč

Tab. 32 – přehled vybraných zdrojů tepla

7.1. Výběr solárního kolektoru

Budova s téměř nulovou potřebou energie by měla mít část své potřeby energie na vytápění a ohřev TV pokrytou z obnovitelných zdrojů energie, což se může vyřešit výběrem správného solárního kolektoru. U solárních kolektorů je důležité zvolit správné proporce, neboť v letních měsících, kdy je produkce sluneční energie o mnoho vyšší než v zimě, dochází i k přehřívání kolektorů a to má špatný vliv na jejich životnost.

Byly vybrány 3 typy solárních kolektorů a následně zvolen nejvhodnější.

kolektor	Logasol CKN 1.0-s	Logasol SKN 4.0-s	Logasol SKR6.1R CPC
cena za 1 ks bez DPH [Kč]	8 900	15 400	19 880
počet [ks]	2	2	3
cena celkem bez DPH [Kč]	17 800	30 800	59 640
energie na ohřev TV Q_p [MWh/rok]	3,02	3,02	3,02
energetický zisk solárními kolektory [MWh/rok]	1,65	1,92	1,85
měrný solární zisk [kWh/m ² .rok]	431	427	482
solární pokrytí [%]	54,8	63,7	61,4

Tab. 33 – porovnání výkonu solárních kolektorů

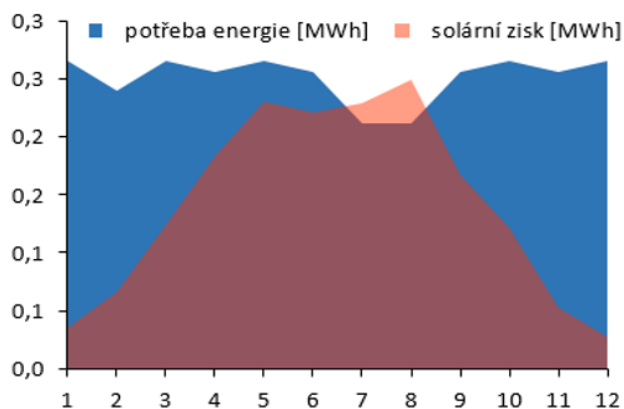
Na výpočet energetického zisku solárních kolektorů byl použit počítačový program

a) Plochý – Buderus Logasol CKN 1.0-s pro přípravu TV

Optická účinnost η_0 [-]	0,756
Koeficient ztráty a_1 [W/m ² .K]	4,052
Koeficient ztráty a_2 [W/m ² .K]	0,0138
Vztažná plocha kolektoru [m ²]	1,92
Počet kolektorů [ks]	2
Plocha apertury kolektoru [m ²]	1,92
Sklon kolektorů [°]	45
Azimut kolektorů [°]	0

Tab. 34 – přehled parametrů kolektorů č. 1

Souhrnné výsledky	
Energetický zisk soustavy	1,65 MWh/rok
Měrný solární zisk	431 kWh/m ² .rok
Solární pokrytí	54,8 %



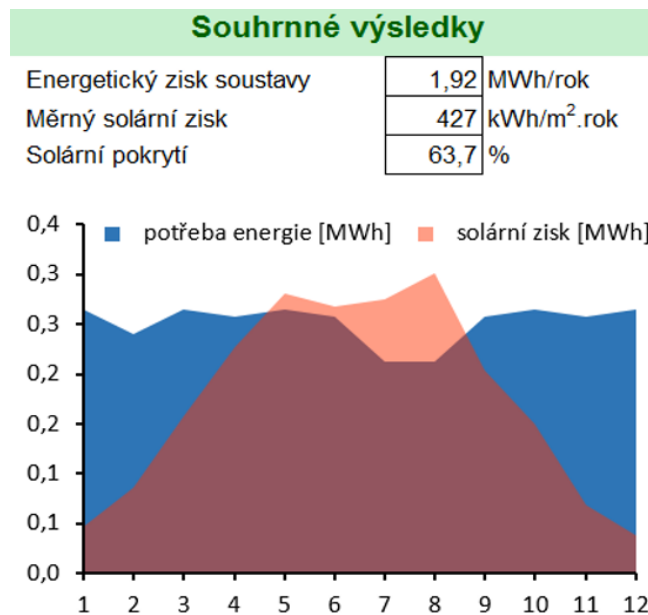
Obr. 6 – Graf výkonu solárních kolektorů č. 1

Z grafu výkonu solárních kolektorů lze vyčíst, že v měsíci červenci a srpnu dochází k možnému přehřívání kolektorů.

b) Plochý – Buderus Logasol SKN 4.0-s pro přípravu TV

Optická účinnost η_0 [-]	0,77
Koeficient ztráty a_1 [W/m ² .K]	3,216
Koeficient ztráty a_2 [W/m ² .K]	0,015
Vztažná plocha kolektoru [m ²]	2,25
Počet kolektorů [ks]	2
Plocha apertury kolektoru [m ²]	2,25
Sklon kolektorů [°]	45
Azimut kolektorů [°]	0

Tab. 35 – přehled parametrů kolektorů č. 2



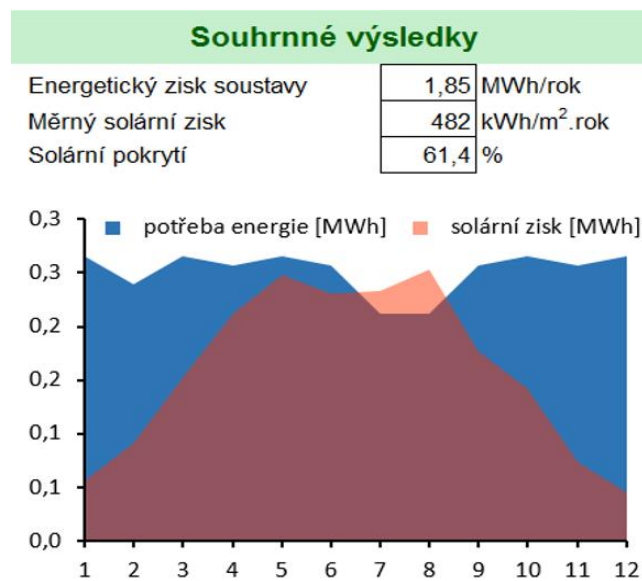
Obr. 7 – Graf výkonu solárních kolektorů č. 2

Z grafu výkonu solárních kolektorů lze vyčíst, že od měsíce dubna, a zejména v letních měsících, dochází k velkému přehřívání kolektorů. Tento typ kolektorů je nevhodný pro počítaný model ND.

c) Vakuový trubicový – Buderus Logasol CKN 1.0-s pro přípravu TV

Optická účinnost η_0 [-]	0,644
Koeficient ztráty a_1 [W/m ² .K]	0,749
Koeficient ztráty a_2 [W/m ² .K]	0,005
Vztažná plocha kolektoru [m ²]	1,28
Počet kolektorů [ks]	3
Plocha apertury kolektoru [m ²]	1,28
Sklon kolektorů [°]	45
Azimut kolektorů [°]	0

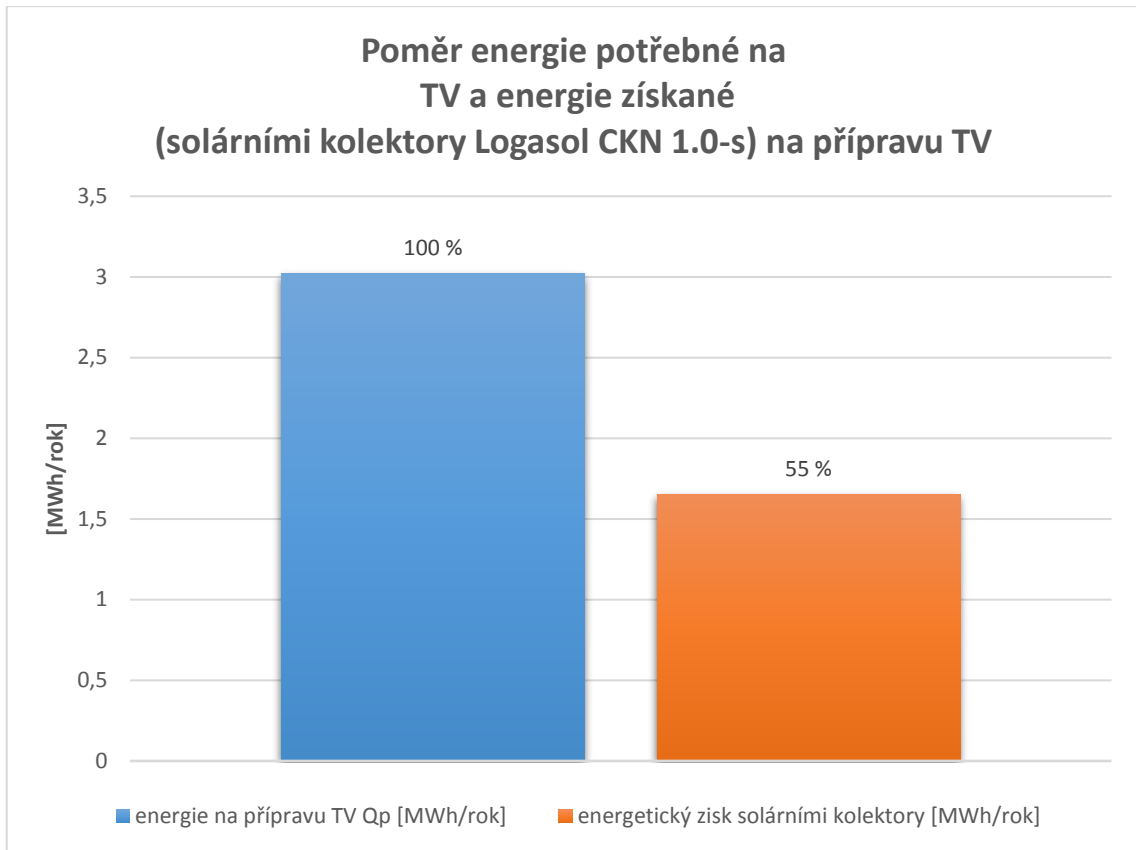
Tab. 36 – přehled parametrů kolektorů č. 3



Obr. 8 – Graf výkonu solárních kolektorů č. 3

Z grafu výkonu solárních kolektorů lze vyčíst, že v měsících červnu, červenci a srpnu dochází k možnému přehřívání kolektorů.

Podle výsledných hodnot byly jako vhodné solární kolektory, s ohledem na cenu, výkon a životnost, vybrány dva kolektory č. 1 – Buderus Logasol CKN 1.0-s. V letních měsících se kolektory přehřívají, čemuž by se mohlo předejít například menší plochou apertury kolektoru. Nicméně rozměry kolektoru jsou pevně dány firmou Buderus a tak nemohl být nadimenzován. Výsledné solární pokrytí energie na ohřev TV činí 55 %.



Obr.9 – pokrytí energie na ohřev TV solárními kolektory

7.2. Výběr tepelného čerpadla

Bylo vybráno tepelné čerpadlo (dále jen TČ) typu voda/vzduch Logatherm WPLS 8.2 comfort s ohřevnou tyčí o výkonu 8 kW. Díky dobře zateplené obálce počítané budovy je tepelné čerpadlo velmi ekonomické.

Logatherm WPLS 8.2	
Topný výkon [kW] při A2/W35	8
Topný výkon [kW] při A7/W35	5,4
COP při A7/W35	4,8
SPF při A7/W35	4,18

Tab. 37 – hodnoty tepelného čerpadla

$$SPF = \frac{\sum COP \cdot n}{\sum n} \quad [-] \quad (44)$$

Kde

COP – topný faktor (z 1 kW dodané energie/ 4,8 kW vyrobené)

SPF – průměrný sezónní faktor pro vytápění (poměr dodaného množství tepla TČ v průběhu celého roku a celkového množství spotřebované elektrické energie)

n – počet dní v daném období [dny]

Leistungskurven Logatherm WPLS8.2

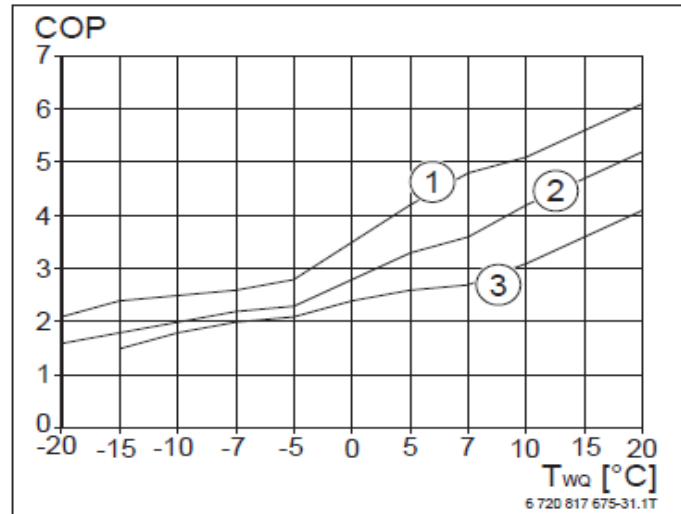


Bild 50 Leistungszahl Logatherm WPLS8.2

[1] 35 °C

[2] 45 °C

[3] 55 °C

COP Leistungszahl

T_{wq} Temperatur Wärmequelle

Obr. 10 – použitý diagram pro určení COP TČ

Výpočet SPF byl proveden pomocí počítačového programu [5]. SPF TČ pro režim vytápění byl vypočten pro otopné období od září do května.

Vytápění					
Měsíc	Počet dnů	Průměrné měsíční venkovní teploty v ČR [°C]	WPLS 8,2		
			35 °C	45 °C	55 °C
září	30	12,5	5,38	4,52	3,36
říjen	31	7,4	4,90	3,68	2,76
listopad	30	2,4	3,88	3,12	2,47
prosinec	31	-1	3,32	2,64	2,28
leden	31	-7,1	2,60	2,20	1,88
únor	28	-1,2	3,30	2,62	2,24
březen	31	2,6	3,91	3,13	2,50
duben	30	7,3	4,90	3,67	2,75
květen	31	12,4	5,38	4,52	3,35
273		SPF	4,18	3,35	2,62

Tab. 38 – přehled COP a SPF TČ pro režim vytápění

SPF TČ pro režim ohřevu TV byl vypočten pro období celého kalendářního roku.

Ohřev teplé vody						
Měsíc	Počet dnů	Průměrné měsíční venkovní teploty v ČR [°C]	WPLS 8,2			
			35 °C	45 °C	55 °C	
září	30	12,5	5,38	4,52	3,36	
říjen	31	7,4	4,90	3,68	2,76	
listopad	30	2,4	3,88	3,12	2,47	
prosinec	31	-1	3,32	2,64	2,28	
leden	31	-7,1	2,60	2,20	1,88	
únor	28	-1,2	3,30	2,62	2,24	
březen	31	2,6	3,91	3,13	2,50	
duben	30	7,3	4,90	3,67	2,75	
květen	31	12,4	5,38	4,52	3,35	
červen	30	15,8	5,71	4,79	3,71	
červenec	31	17,5	5,85	4,95	3,85	
srpen	31	15,9	5,73	4,81	3,73	
365			SPF	4,58	3,73	2,91

Tab. 39 – přehled COP a SPF TČ pro režim vytápění

7.3. Ceny energií

Jako distributor energie byl zvolen E.ON. (nejvyšší cena energií)

7.3.1. Plyn

Zdroj energie na vytápění a ohřev teplé vody – nástěnný kondenzační plynový kotel. Jmenovité hodnoty cen plynu byly zvoleny podle hodnot na serveru tzb.info.cz

Ceník pro dodávky zemního plynu konečným zákazníkům kategorie domácnost/maloodběr			
	Roční odběr v pásmu nad - do MWh/rok	Dvousložková cena (včetně DPH)	
		Cena za odebraný plyn v Kč/MWh	Stálý měsíční plat v Kč
		od 1.1.2016	od 1.1.2016
E.ON (býv. Jihočeská plynárenská) Standard plyn	do 1,89	1 831,37	115,56
	nad 1,89 do 7,56	1 420,03	182,77
	nad 7,56 do 15	1 336,11	321,99
	nad 15 do 25	1 319,15	343,18
	nad 25 do 30	1 282,41	419,74
	nad 30 do 45	1 282,41	572,20
	nad 45 do 63	1 248,70	698,63
	nad 63	1 196,50	- *
* Cena za kapacitu - Roční sazba platu za vypočtené denní maximum Kč/tis. m ³ : 274 789,61			

Obr. 11 – přehled cen plynu dle serveru tzb.info.cz za rok 2016

PLYN	Roční odběr v pásmu [MWh/rok]	Cena za odebraný plyn [Kč/MWh]	Měsíční plat [Kč]
E.ON	nad 1,89 do 7,56	1420	183

Tab. 40 – zvolené ceny plynu pro počítané modely

7.3.1.1. Cena energií při použití plynového kotle v režimu vytápění

$$P_{VYT,P} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{pl} \cdot \eta_{reg}} \cdot \frac{P_{pl}}{1000} \quad [\text{Kč}] \quad (45)$$

Kde

$P_{VYT,P}$ – roční sazba energií při použití plynového kondenzačního kotle v režimu vytápění [Kč]

P_{pl} – roční sazba za odebraný plyn při použití plynového kondenzačního kotle v režimu vytápění [Kč/MWh]

TNI 73 0329		
účinnost sol. Kolektoru	η_{sol} [-]	0,77
účinnost plynového kondenzačního kotle	η_{pl} [-]	0,95
účinnost regulace	η_{reg} [-]	0,98

Tab. 40 – přehled účinností

7.3.1.2. Cena energií při použití plynového kotle v režimu ohřevu TV

$$P_{TV,P} = \frac{Q_{TV}}{\eta_{pl} \cdot \eta_{reg}} \cdot \frac{P_{pl}}{1000} \quad [\text{Kč}] \quad (46)$$

Kde

$P_{TV,P}$ – roční sazba energií při použití plynového kondenzačního kotle v režimu ohřevu TV [Kč]

P_{pl} – roční sazba za odebraný plyn při použití plynového kondenzačního kotle v režimu ohřevu TV [Kč/MWh]

η_{pl}, η_{reg} – viz tab. 40

U_{pas-h}	model těžké konstrukce		model lehké konstrukce	
	Nástěnný kondenzační kotel	Nástěnný kondenzační kotel se solárním ohřevem TV	Nástěnný kondenzační kotel	Nástěnný kondenzační kotel se solárním ohřevem TV
cena eng. - ohřev TV [Kč/rok]	4 820 Kč	2 186 Kč	4 820 Kč	2 186 Kč
cena eng. - vytápění [Kč/rok]	5 892 Kč	5 892 Kč	7 909 Kč	4 930 Kč
Cena eng. - chod domácnosti [Kč/rok]	4 930 Kč	4 930 Kč	7 909 Kč	4 930 Kč
Cena eng. celkem [Kč/rok]	17 834 Kč	15 201 Kč	19 852 Kč	17 219 Kč

Tab. 41 – přehled výsledných cen roční sazby energií – plyn U_{pas-h}

U_{pas-s}	model těžké konstrukce		model lehké konstrukce	
	Nástěnný kondenzační kotel	Nástěnný kondenzační kotel se solárním ohřevem TV	Nástěnný kondenzační kotel	Nástěnný kondenzační kotel se solárním ohřevem TV
cena eng. - ohřev TV [Kč/rok]	4 820 Kč	2 186 Kč	4 820 Kč	2 186 Kč
cena eng. - vytápění [Kč/rok]	3 433 Kč	3 433 Kč	4 915 Kč	4 915 Kč
Cena eng. - chod domácnosti [Kč/rok]	4 930 Kč	4 930 Kč	4 930 Kč	4 930 Kč
Cena eng. celkem [Kč/rok]	15 376 Kč	12 743 Kč	16 857 Kč	14 224 Kč

Tab. 42 – přehled výsledných cen roční sazby energií – plyn U_{pas-s}

7.3.2. Elektřina

Zdroj energie na vytápění a ohřev teplé vody – TČ. Jmenovité hodnoty cen elektrické energie byly zvoleny podle hodnot na serveru tzb.info.cz

Sazba D 56d - Dvoutarifová sazba pro vytápění s tepelným čerpadlem uvedeným do provozu od 1. dubna 2005 a operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin				
		E.ON	PRE	ČEZ
cena 1 MWh v Kč	vysoký tarif	3074,72	2545,24	2655,26
	nízký tarif	2401,60	2138,35	2355,83
jistič		měsíční plat v Kč		
jistič do 3x10 A do 1x25 A včetně		203,98	229,39	233,02
jistič nad 3x10 A do 3x16 A včetně		279,00	304,41	324,98
jistič nad 3x16 A do 3x20 A včetně		329,82	355,23	385,48
jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně		392,74	418,15	461,71
jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně		481,07	506,48	568,19
jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně		581,50	606,91	690,40
jistič nad 3x40 A do 3x50 A včetně		707,34	732,75	842,86
jistič nad 3x50 A do 3x63 A včetně		870,69	896,10	1041,30
jistič nad 3x63A za každou 1 A k celk. ceně se připočte E.ON 77,96 PRE 103,55 ČEZ 80,56		12,58	12,58	15,25
jistič nad 1x25 A za každou 1 A k celk. ceně se připočte E.ON 77,96 PRE 103,55 ČEZ 80,56		4,20	4,20	5,08

Obr. 12 – přehled cen elektrické energie dle serveru tzb.info.cz za rok 2016

Elektřina		Jistič	Nízký tarif [MWh/Kč]	Měsíční plat [Kč]
E.ON	sazba D56d-TČ (nízký tarif)	jistič do 3x25 A	2402	393

Tab. 43 – zvolené ceny plynu pro počítané modely

7.3.2.1. Cena energií při tepelného čerpadla v režimu vytápění

$$P_{VYT,T\check{c}} = \frac{Q_{H,nd}}{SPF} \cdot \frac{P_{en}}{1000} \quad [\text{Kč}] \quad (47)$$

Kde

$P_{VYT,T\check{c}}$ – roční sazba energií při použití TČ v režimu vytápění [Kč]

P_{en} – roční sazba za odebranou elektrickou energii při použití TČ v režimu vytápění [Kč/MWh]

7.3.2.2. Cena energií při tepelného čerpadla v režimu ohřevu TV

$$P_{TV,T\check{c}} = \frac{Q_{TV}}{SPF} \cdot \frac{P_{en}}{1000} \quad [\text{K}\check{c}] \quad (48)$$

Kde

$P_{TV,T\check{c}}$ – roční sazba energií při použití TČ v režimu ohřevu TV [Kč]

P_{en} – roční sazba za odebranou elektrickou energii při použití TČ v režimu vytápění [Kč/MWh]

Tepelné čerpadlo WPLS 8.2 comfort s ohřevnou tyčí a zásobníkem 300 l		
U_{pas-h}	Model těžké konstrukce	Model lehké konstrukce
cena eng. - ohřev TV [Kč/rok]	1 658 Kč	1 658 Kč
cena eng. - vytápění [Kč/rok]	2 220 Kč	2 981 Kč
Cena eng. - chod domácnosti [Kč/rok]	1 858 Kč	1 858 Kč
Cena eng. celkem [Kč/rok]	10 449 Kč	11 209 Kč

Tab. 44 – přehled výsledných cen roční sazby energií – plyn U_{pas-h}

Tepelné čerpadlo WPLS 8.2 comfort s ohřevnou tyčí a zásobníkem 300 l		
U_{pas-s}	Model těžké konstrukce	Model lehké konstrukce
cena eng. - ohřev TV [Kč/rok]	1 658 Kč	1 658 Kč
cena eng. - vytápění [Kč/rok]	1 294 Kč	1 852 Kč
Cena eng. - chod domácnosti [Kč/rok]	1 858 Kč	1 858 Kč
Cena eng. celkem [Kč/rok]	9 522 Kč	10 081 Kč

Tab. 45 – přehled výsledných cen roční sazby energií – plyn U_{pas-s}

7.3.3. Cena energií pro domácnost

Na celkovou spotřebu elektrické energie má velký vliv i energie spotřebována na chod domácnosti (kuchyňské spotřebiče, pračka, rekuperace vzduchu, osvětlení, televize, počítač, atd.). Tato energie se nezapočítává do primární energie, neboť nepředstavuje stálou energetickou zátěž. Nicméně tvoří velkou část celkové spotřebované energie a proto je důležité brát ji v potaz při výpočtu celkové roční sazby energie. Jmenovitá hodnota spotřeby energie pro domácnost Q_D je dána jako součet spotřeby energií daných spotřebičů. Pro tento výpočtový model je navrhována hodnota Q_D :

Celková roční spotřeba energie domácnosti [kWh]
3232

$$P_{D,P} = \frac{Q_D}{\eta_{pl} \cdot \eta_{reg}} \cdot \frac{P_{pl}}{1000} \quad [\text{Kč}] \quad (49)$$

Kde

$P_{D,P}$ – roční sazba energií při použití plynového kondenzačního kotle [Kč]

P_{pl} – roční sazba za odebraný plyn při použití plynového kotle [Kč/MWh]

$$P_{D,T\check{c}} = \frac{Q_D}{SPF} \cdot \frac{P_{pl}}{1000} \quad [\text{Kč}] \quad (50)$$

Kde

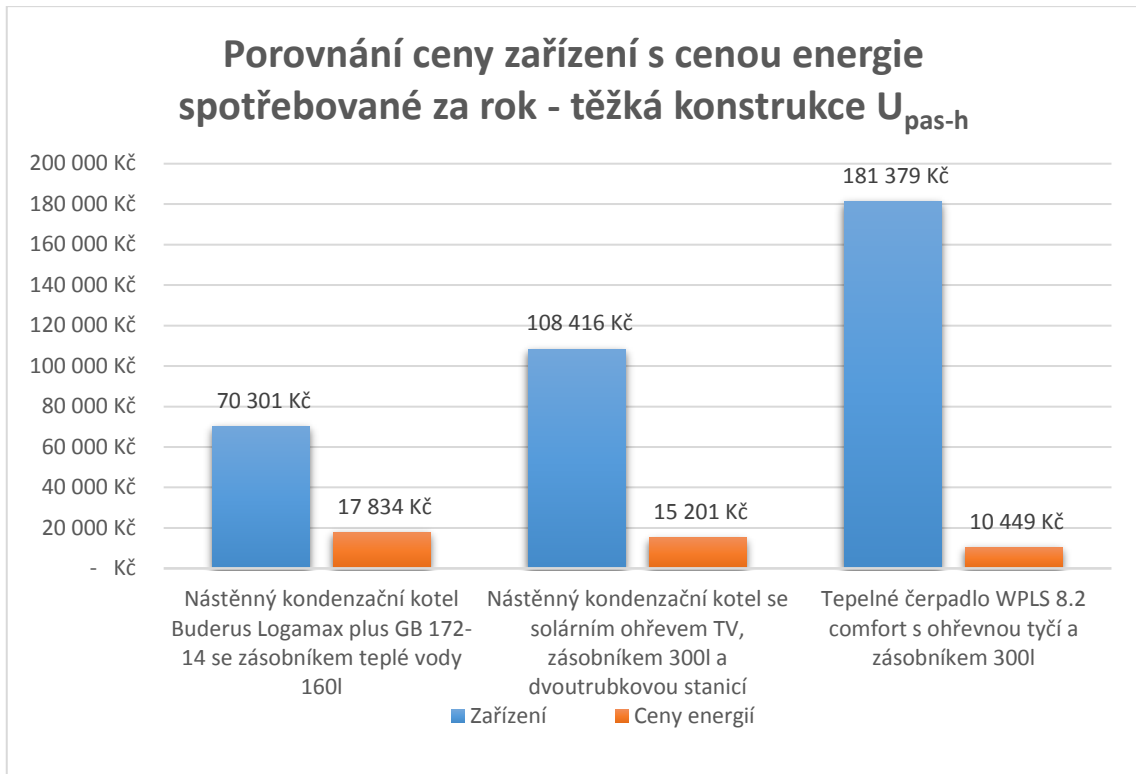
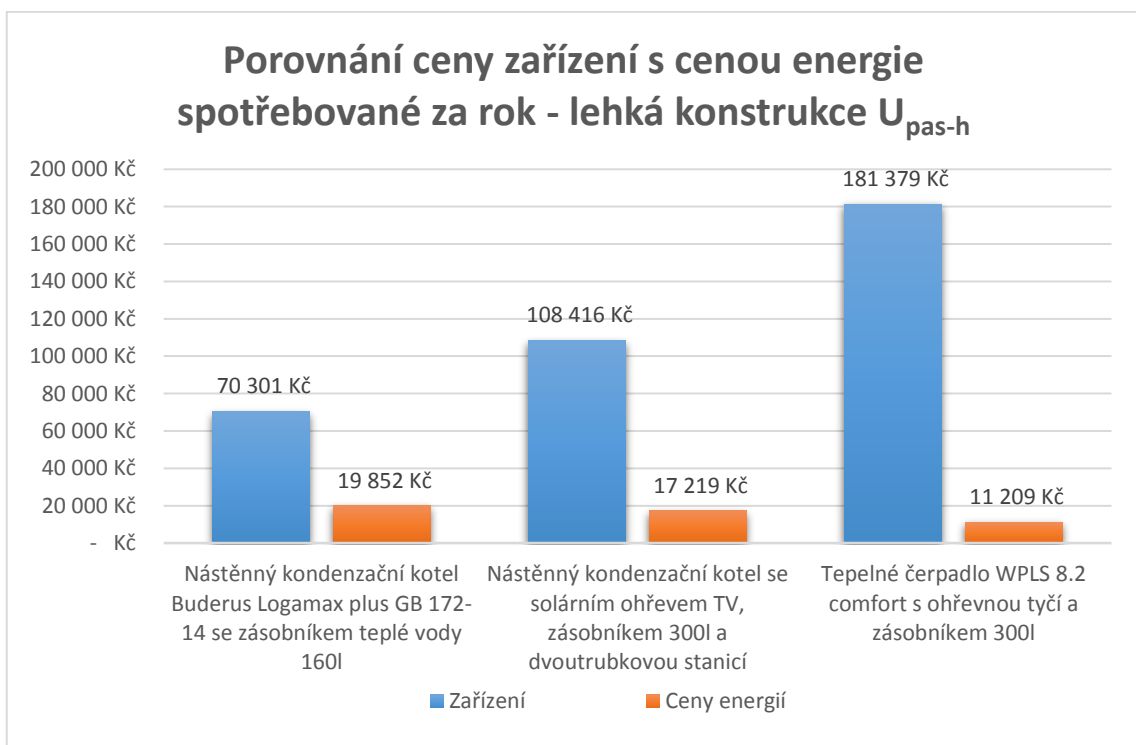
$P_{D,T\check{c}}$ – roční sazba energií při použití TČ [Kč]

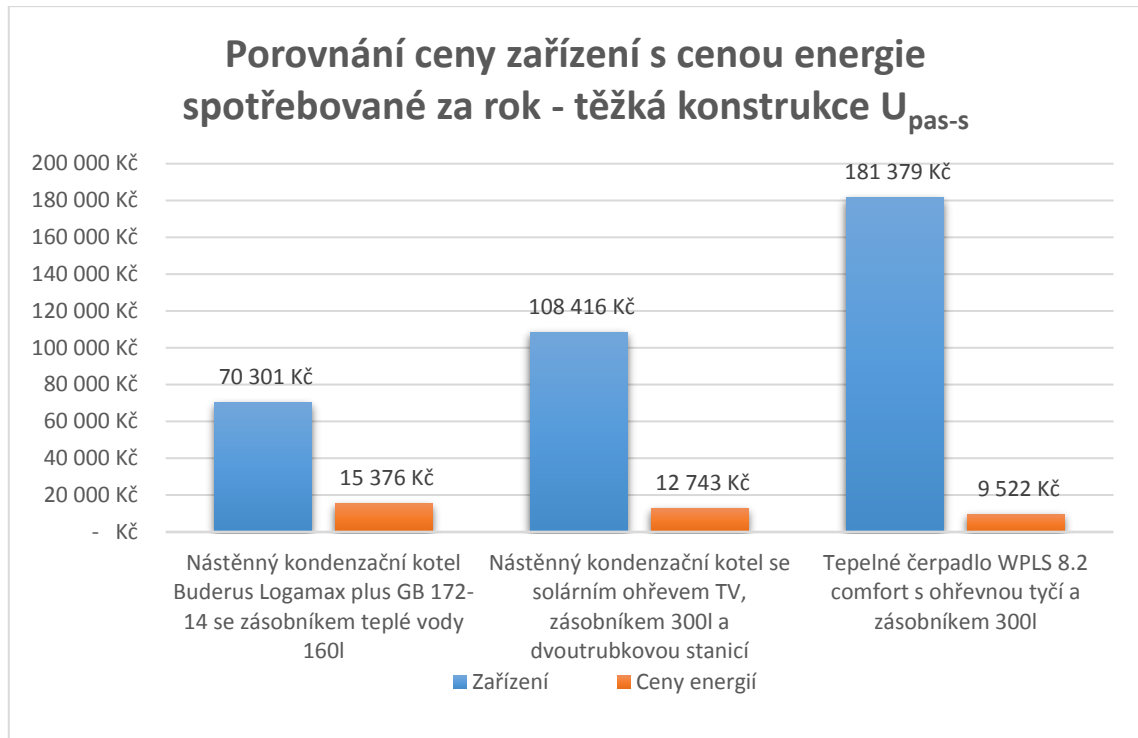
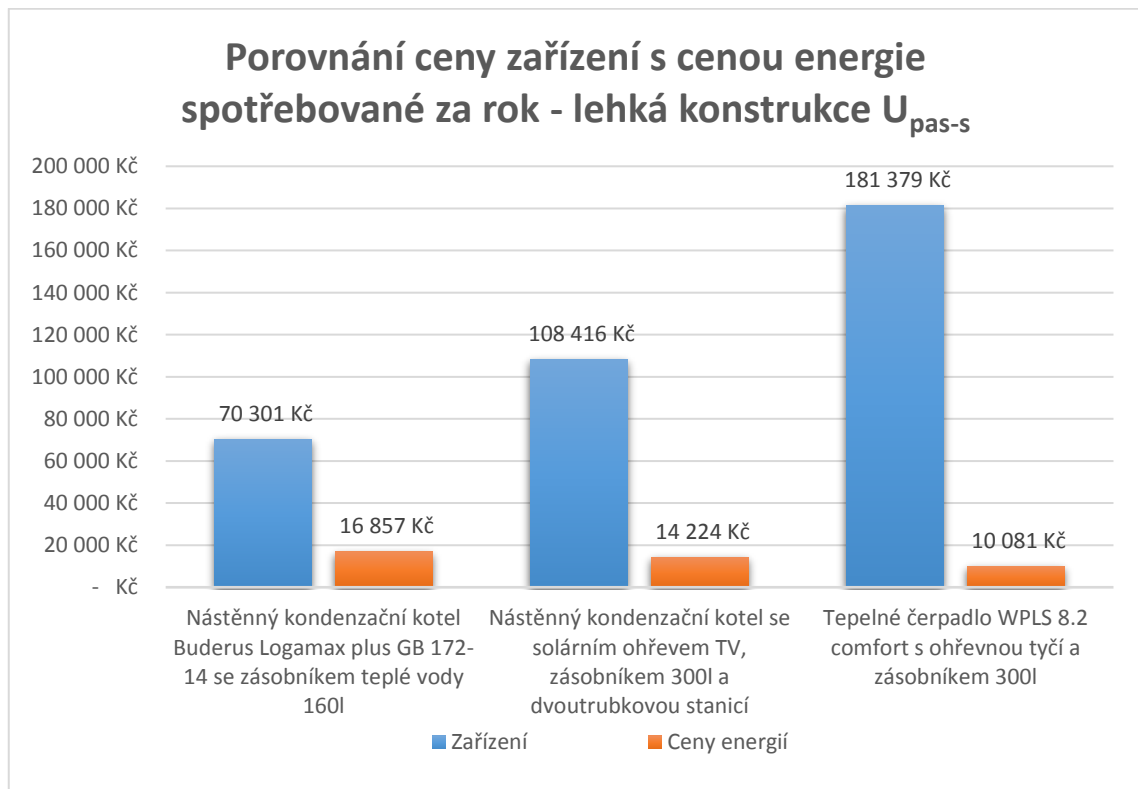
P_{en} – roční sazba za odebraný plyn při použití TČ [Kč/MWh]

zdroj tepla	Výkon [kW]	cena za zařízení s DPH [Kč]	model těžké konstrukce		model lehké konstrukce	
			U_{pas-h}	U_{pas-s}	U_{pas-h}	U_{pas-s}
			cena energií celkem [Kč]			
Nástěnný kondenzační kotel	13	70 301 Kč	17 834 Kč	15 376 Kč	19 852 Kč	16 857 Kč
Nástěnný kondenzační kotel se solárním ohřevem TV	14	130 414 Kč	15 201 Kč	12 743 Kč	17 219 Kč	14 224 Kč
Tepelné čerpadlo	8	169 279 Kč	10 449 Kč	9 522 Kč	11 209 Kč	10 081 Kč

Tab. 46 – přehled celkové ceny energií za rok

TČ má oproti nástěnnému kondenzačnímu kotli bez solárních kolektorů téměř o polovinu nižší náklady na celkovou spotřebu energie za rok, ale jeho pořizovací cena je více než dvakrát větší. Je nutné spočítat návratnost investic a zjistit, zda se TČ vyplatí.

Obr. 13 – Poměr cen zařízení a cen energií – těžká konstrukce U_{pas-h} Obr.14 – Poměr cen zařízení a cen energií – lehká konstrukce U_{pas-h}

Obr. 15 – Poměr cen zařízení a cen energií – těžká konstrukce U_{pas-s} Obr. 16 – Poměr cen zařízení a cen energií – lehká konstrukce U_{pas-s}

7.4. Návravnost investic do zdrojů energie

Roční nárůst cen energie [%]	plyn	4
	elektřina	6

Tab. 46 – přehled ročního nárůstu cen energií

Hodnota nárůstu byla zvolena jako horní mezní hodnota možného nárůstu.

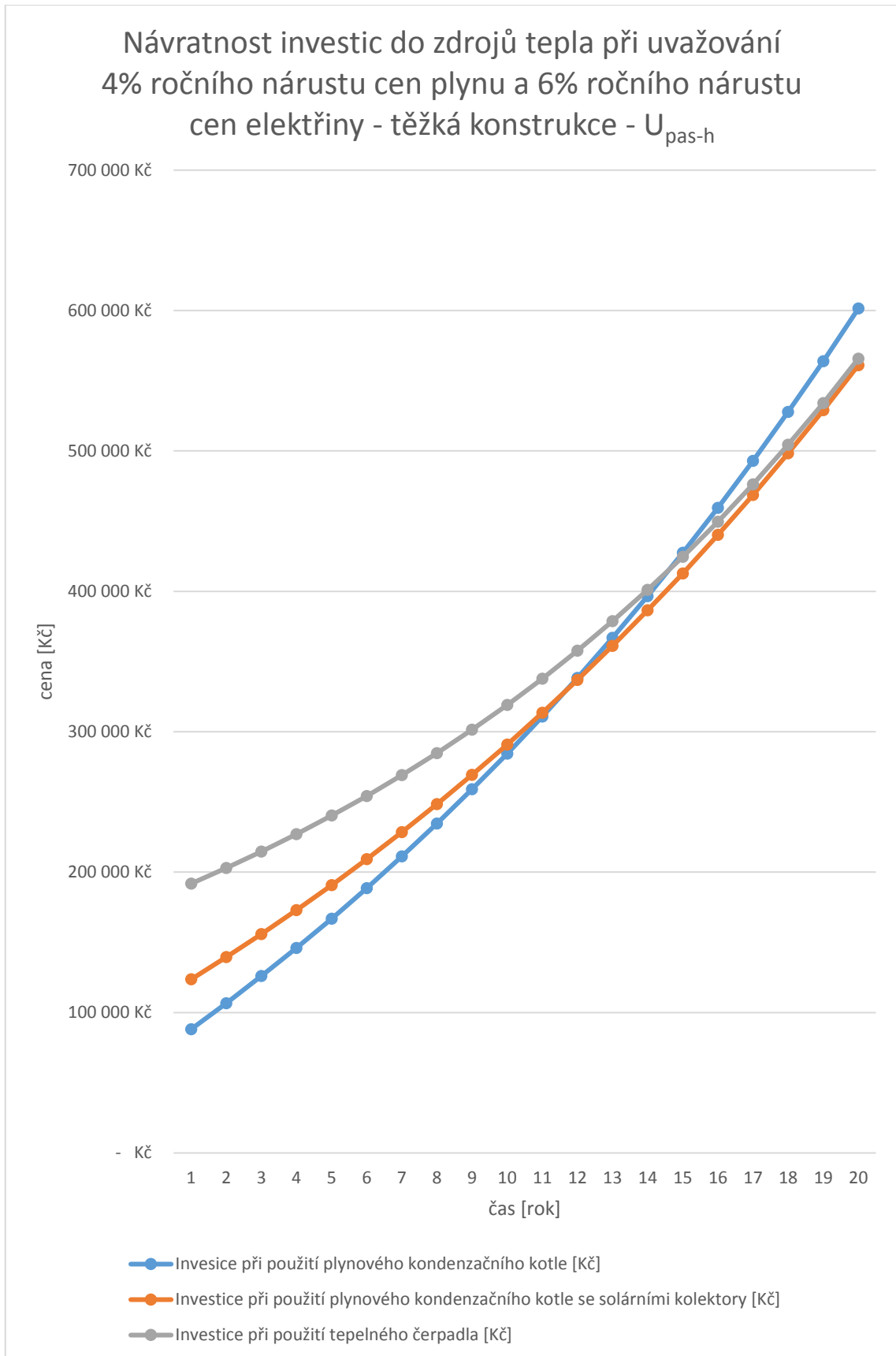
Návravnost investic byla simulována na období 20 let.

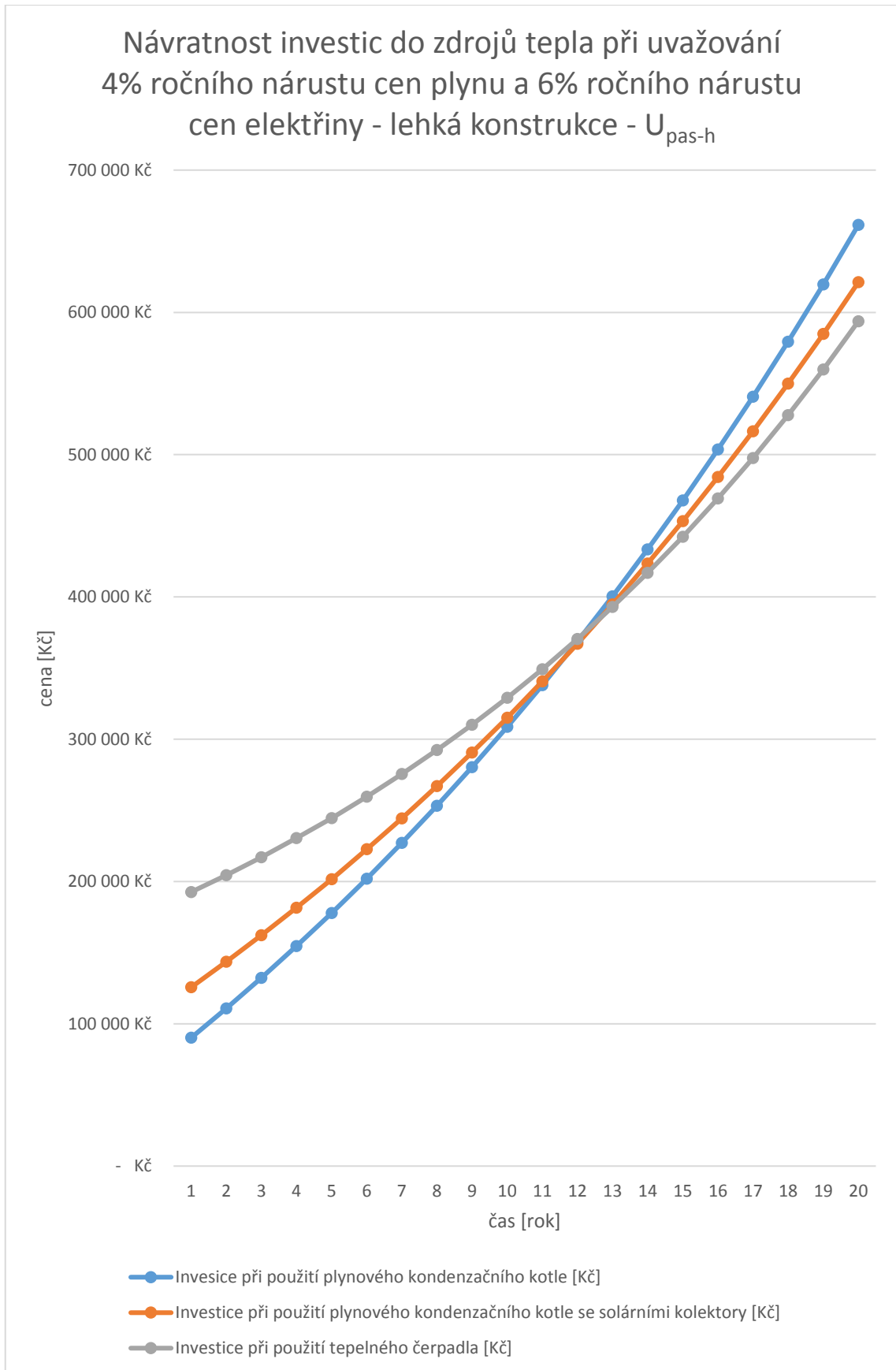
návravnost pro U_{pas-h}	masivní konstrukce			dřevostavba		
	nárůst ve zlomovém roce) [Kč]		rok návratnosti	nárůst ve zlomovém roce) [Kč]		rok návratnosti
PK se SK oproti PK bez SK	26 399	22 501	11,7	30 561	26 508	11,6
TČ oproti PK	30 883	23 624	14,6	31 784	22 555	12,2
TČ oproti PK se SK	Zlomový rok nenadešel			27 568	22 555	12,7

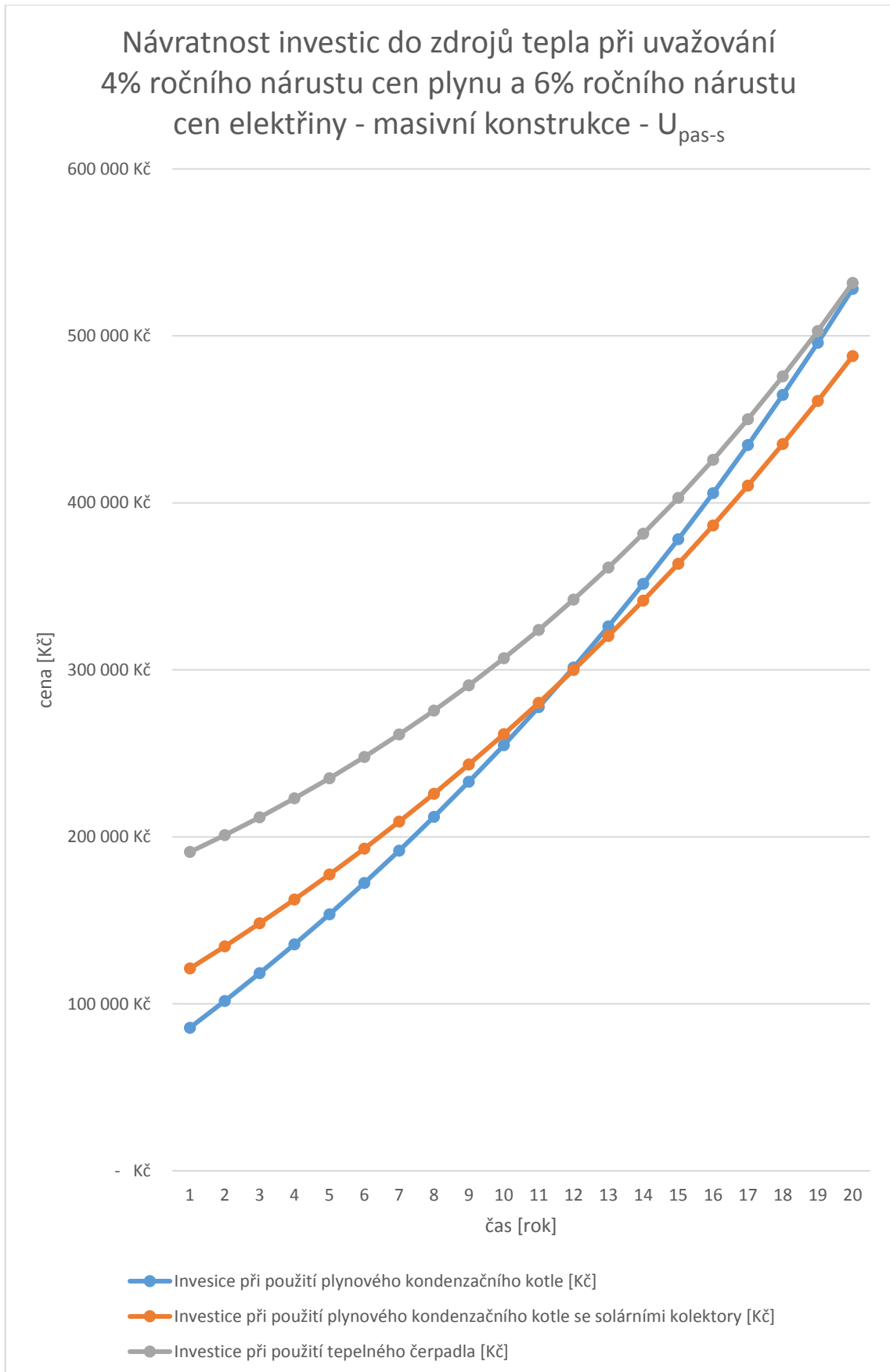
Tab. 47 – přehled návratnosti zdrojů tepla pro U_{pas-h}

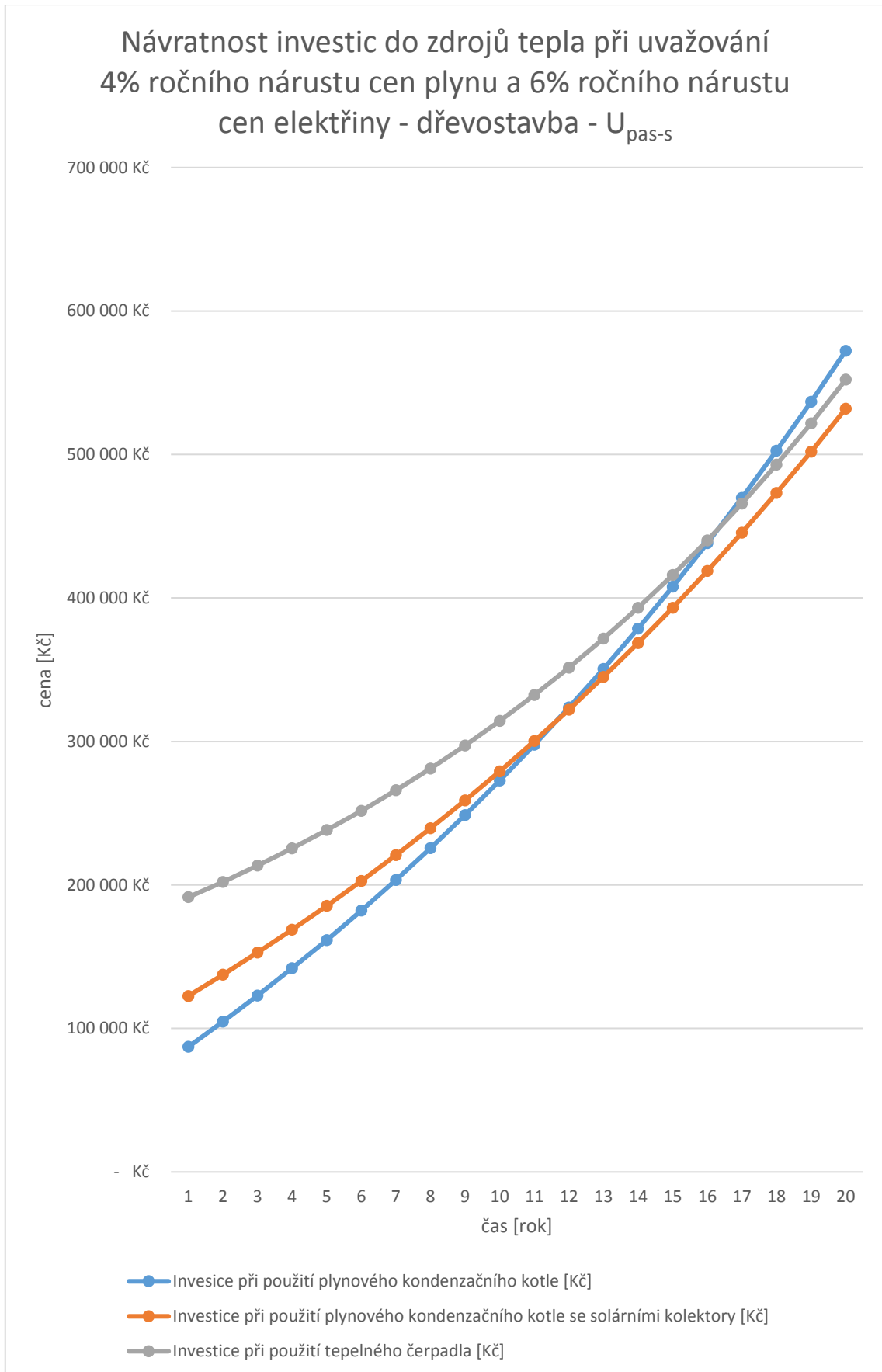
návravnost pro U_{pas-s}	masivní konstrukce			dřevostavba		
	nárůst ve zlomovém roce) [Kč]		rok návratnosti	nárůst ve zlomovém roce) [Kč]		rok návratnosti
PK se SK oproti PK bez SK	23 671	19 617	11,6	25 951	21 897	11,6
TČ oproti PK	Zlomový rok nenadešel			31 574	25 608	16,3
TČ oproti PK se SK				Zlomový rok nenadešel		

Tab. 48 – přehled návratnosti zdrojů tepla pro U_{pas-s}

Obr. 17 – graf návratnosti investic do zdrojů tepla pro U_{pas-h} – těžká konstrukce

Obr. 18 – graf návratnosti investic do zdrojů tepla pro U_{pas-h} – lehká konstrukce

Obr. 19 – graf návratnosti investic do zdrojů tepla pro U_{pas-s} – těžká konstrukce

Obr. 20 – graf návratnosti investic do zdrojů tepla pro U_{pas-s} – lehká konstrukce

7.4.1. Zhodnocení návratnosti investic do zdrojů energie

Z výsledných hodnot je patrné, že se vyplatí investovat do nástěnného plynového kotle se solárními kolektory. Ten oproti normálnímu kotli získává více jak polovinu energie na ohřátí TV ze solárních kolektorů. Ačkoli je zapotřebí pořízení většího zásobníku a dvou solárních kolektorů, což se odráží v celkové ceně, návratnost investice je 11,6 let. To je s ohledem na životnost přístrojů stále nejvýhodnější varianta.

Tepelné čerpadlo je kvůli své pořizovací ceně velmi nevýhodná varianta. Pouze u modelu s největšími tepelnými ztrátami (model lehké konstrukce $U_{\text{pas-h}}$) je díky své nízké celkové roční sazbě za energii výhodnou variantou, kterou se stává po třinácti letech užívání. Nicméně životnost takovýchto čerpadel bývá kolem patnácti let užívání.

Jako zdroj energie pro výpočtové modely budovy je vybrán **nástěnný plynový kondenzační kotel se dvěma solárními kolektory pro ohřev TV.**

7.5. Výsledné hodnoty energie vyrobené plynovým kondenzačním kotlem a solárními kolektory vyjádřené v primární energii z neobnovitelných zdrojů

$$Q_{c,fp} = f_{p,p} \cdot (Q_{H,nd} + Q_{TV,r,45\%}) + f_{p,s} \cdot Q_{TV,r,55\%} + Q_{pe} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (51)$$

$$Q_{cn,fp} = f_{p,p} \cdot (Q_{H,nd} + Q_{TV,r,45\%}) + Q_{pe} \quad [\text{kWh/rok}] \quad (52)$$

$$PE_A = \frac{Q_{cn,fp}}{A} \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (53)$$

Kde

Hodnoty pro výpočet PE_A	Model těžké konstrukce		Model lehké konstrukce	
	U_{pas-h}	U_{pas-s}	U_{pas-h}	U_{pas-s}
faktor energetické přeměny zemního plynu $f_{p,p}$ [kWh/kWh]	1,10			
faktor energetické přeměny solárních systémů $f_{p,s}$ [kWh/kWh]	0,05			
celková potřeba energie na vytápění $Q_{H,nd}$ [kWh]	3 863	2 251	5 186	3 222
celková potřeba energie na ohřátí 45 % TV kondenzačním plynovým kotlem $Q_{TV,r,45\%}$ [kWh]	1 422			
celková potřeba energie na ohřátí 55 % TV solárními kolektory $Q_{TV,r,55\%}$ [kWh]	1 738			
Potřeba pomocné elektrické energie Q_{pe} [kWh/rok]	400			
Celková potřeba energie $Q_{c,fp}$ se zohledněním faktorů energetické přeměny [kWh]	6 300	4 527	7 755	5 595
Celková nášlapná plocha včetně šířky obvodových zdí A [m ²]	200			
E_A vyjádřená v primární energii z neobnovitelných zdrojů PE_A [kWh/m ² ·a]	25,1	15,3	38,3	27,5
E_A vyjádřená v primární energii z obnovitelných i neobnovitelných zdrojů $PE_{A,C}$ [kWh/m ² ·a]	25,6	15,8	38,8	28,0

Tab. 49 – přehled primární energie

Posledním kritériem budovy s téměř nulovou potřebou tepla je požadavek na měrnou roční bilanci potřeby a produkce energie vyjádřenou v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů $PE_A < 30 \text{ kWh/m}^2$. a viz Tab. 1. Kritérium nesplňuje model lehké konstrukce navrhnutý pro $U_{\text{pas-h}}$.

8. Porovnání celkových nákladů

Přehled užitého materiálu			Upas-h	Upas-s
Část konstrukce	Zvolený materiál	λ [w/m*K]	tloušťka vrstvy [m]	
obvodové stěny - těžká konstrukce	vnější omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03
	vnitřní omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03
	Pěnový polystyren ISOVER EPS GreyWall Plus 40	0,031	0,08	0,16
	Heluz Family 44 broušená	0,17	0,44	0,44
obvodové stěny - lehká konstrukce	vnější omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03
	vnitřní omítka Baumit Termo	0,11	0,03	0,03
	tuhá deska-sádrovláknitá deska FERMACELL	0,32	0,03	0,03
	Izolace z minerální vlny ISOVER FASSIL	0,035	0,16	0,26
Strop - těžká konstrukce	stropní dílce YTONG P3,3-600	0,16	0,2	0,2
	skelná izolace Isover EVO	0,035	0,2	0,3
Strop - lehká konstrukce	OSB deska 25mm	0,13	0,025	0,025
	skelná izolace Isover EVO	0,035	0,22	0,35
Podlaha - těžká konstrukce	Keramická dlažba	1,01	0,008	0,008
	Pěnový polystyren ISOVER EPS 70 F	0,039	0,03	0,07
	Podkladní beton	1,16	0,6	0,6
Podlaha - lehká konstrukce	Keramická dlažba	1,01	0,008	0,008
	Pěnový polystyren ISOVER EPS 70 F	0,039	0,03	0,07
	Podkladní beton	1,16	0,6	0,6

Tab. 50 – přehled použitého materiálu

ceník oken a dveří	cena okna 1,5x1,5 SC92 s DPH [Kč]	18 445 Kč
	cena dveří 2x0,9 s DPH [Kč]	4 590 Kč
	počet oken	8
	počet dveří	1
	cena celkem za okna s DPH [Kč]	147 560 Kč
	cena celkem za dveře s DPH [Kč]	4 590 Kč
	Montáž oken a dveří [Kč]	7 560 Kč

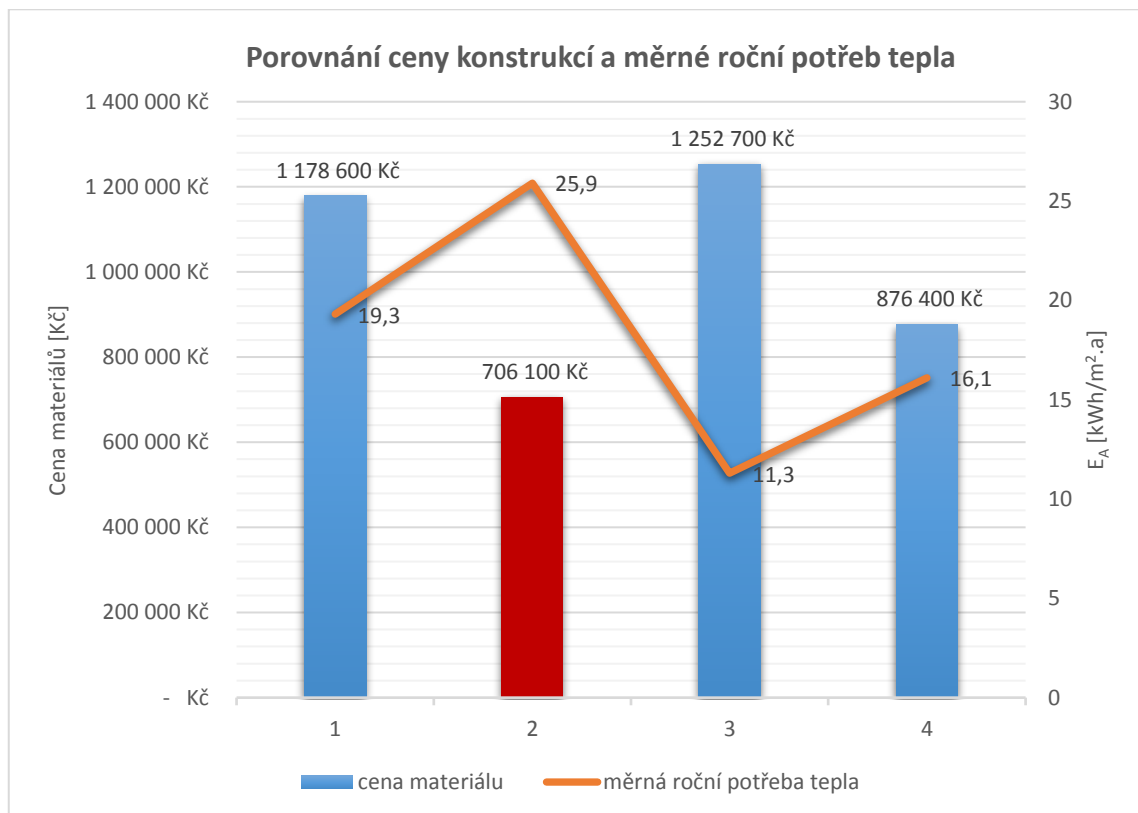
Tab. 51 – ceník oken a dveří

Orientační cenové ukazatele stavebních/zednických prací - těžká konstrukce		
název procesu	cena za jednotku [Kč]	cena celkem [Kč]
příprava podkladního betonu [m2]	15	15 000 Kč
zdění z cihel [m2]	350	84 000 Kč
zateplení [m2]	300	72 000 Kč
pokládka dlažby [m2]	220	16 575 Kč
omítka i/e [m2]	100	48 000 Kč
střecha [m2]	400	40 000 Kč
		275 575 Kč

Tab. 52 – orientační cena stavebních/zednických prací – těžká konstrukce

Orientační cenové ukazatele stavebních/zednických prací - dřevostavba		
název procesu	cena za jednotku [Kč]	cena celkem [Kč]
příprava podkladního betonu [m2]	150	15 000 Kč
stavba obvodových stěn [m2]	400	96 000 Kč
zateplení [m2]	300	72 000 Kč
pokládka dlažby [m2]	220	18 864 Kč
omítka i/e [m2]	100	48 000 Kč
střecha [m2]	350	35 000 Kč
		284 864 Kč

Tab. 53 – orientační cena stavebních/zednických prací – lehká konstrukce

Obr. 21 – Závislost E_A na ceně konstrukce

Výsledná orientační cena dané konstrukce a práce [Kč]			
Model těžké konstrukce		Model lehké konstrukce	
U_{pas-h}	U_{pas-s}	U_{pas-h}	U_{pas-s}
1	3	2	4
1 178 600 Kč	1 252 700 Kč	706 100 Kč	876 400 Kč

Tab. 54 – přehled celkových cen daných konstrukcí

Ačkoli jsou hodnoty nákladů pouze orientační, je zde vidět velký rozdíl mezi náklady na těžkou a lehkou konstrukci. Kromě ceny, je další výhodou lehké konstrukce také doba výstavby, která zabere kratší časový interval. Výhoda těžké konstrukce spočívá v delší životnosti a větší tepelné kapacitě, která se odráží v menších tepelných ztrátách a měrné roční potřebě tepla.

8.1.1. Zhodnocení návratnosti investic do konstrukcí modelů budovy

Při použití nástěnného kondenzačního plynového kotle na vytápění a ohřev TV se solárními kolektory pro ohřev TV je u **těžké konstrukce typu U_{pas-h} a U_{pas-s}** rozdíl v ceně energií pro vytápění a ohřev TV 2 458 Kč. Rozdíl v ceně konstrukce činí 74 100 Kč. Návratnost investic je 30 let. Jelikož se jedná o těžkou konstrukci s velkou životností, je tato výše návratnosti vyhovující.

Při použití nástěnného kondenzačního plynového kotle na vytápění a ohřev TV se solárními kolektory pro ohřev TV je u **lehké konstrukce typu U_{pas-h} a U_{pas-s}** rozdíl v ceně energií pro vytápění a ohřev TV 2 995 Kč. Rozdíl v ceně konstrukce činí 170 400 Kč. Návratnost investic je 57 let, což je velmi dlouhá doba návratnosti investic, která se, zejména u velmi lehkých konstrukcí, nevyplácí.

9. ZÁVĚR

Shrnutí práce v číslech						
Typ modelu	Model těžké konstrukce			Model lehké konstrukce		
U	U _{rec}	U _{pas-h}	U _{pas-s}	U _{rec}	U _{pas-h}	U _{pas-s}
U_{em}<0,25 [W/m ² .K]	0,29	0,22	0,17	0,26	0,23	0,17
E_A<20 [kWh/m ² .a]	31,1	19,3	11,3	32,2	25,9	16,1
PE_A<30 [kWh/m ² .a]	40,3	25,1	15,3	46,1	38,3	27,5
Φ [W]	4 674	3 718	3 020	4 382	3 879	3 033
Q _{H,nd} [kWh.a]	6 221	3 863	2 251	6 437	5 186	3 222
Q _{TV,r} [kWh.a]	3160					
Cena konstrukce [Kč]	1 093 000	1 147 100	1 221 200	613 500	643 700	814 100
Splňuje kritéria ND dle Tab. 2	NE	ANO	ANO	NE	NE	ANO

Tab. 55 – přehled výsledných hodnot práce

Cílem bakalářské práce byl návrh šesti modelů budov s normovanými součiniteli prostupu tepla dle ČSN EN 73 0540-2. Modely měli splňovat kritéria pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Z hodnot součinitelů prostupu tepla se určily tepelné ztráty a zisky budovy a roční měrná spotřeba tepla. Stanovila se potřeba energie pro ohřev teplé vody a poté se navrhl vhodný zdroj tepla. Nejlevnější konstrukcí byla lehká konstrukce, navrhovaná na hodnotu součinitele prostupu tepla U_{rec} . Naopak nejdražší konstrukcí byla těžká konstrukce, navrhovaná pro U_{pas-s} . Rozdíly v ceně konstrukce byly zapříčiněny materiály použitými v konstrukci. Levnější lehká konstrukce má, díky těmto materiálům, menší tepelnou kapacitu budovy, což se odráží na měrné roční potřebě tepla a stává se tak horší variantou. Dvě ze tří variant dřevostavby nesplnily kritérium měrné potřeby tepla na vytápění E_A , oproti tomu varianta z masivního zdiva toto kritérium nesplnila pouze pro U_{rec} . Návržnosti investic byly vypočítány na základě zvoleného typu zdroje energie na vytápění a ohřev teplé vody. Pro vyšší hodnoty součinitele prostupu tepla U zateplení obálky budovy se vyplatilo investovat do tepelného čerpadla. Pro nižší hodnoty U se vyplatilo investovat do kondenzačního plynového kotle se solárními kolektory. Ačkoli byly dodrženy normované hodnoty součinitele prostupu tepla U , některé modely kritéria nesplnily.

Dle směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, mají být všechny nově postavené a rekonstruované budovy (od roku 2020), budovami s téměř nulovou potřebou energie. EU se tímto rozhodnutím snaží snížit celkovou spotřebu energie a vzrůstající množství skleníkových plynů v atmosféře. Podle mého názoru je to dobrý, ale i poněkud nekompromisní způsob, jak plánů docílit. Nekompromisní proto, že investice do těchto domů nejsou malé a přesto, že mají velkou návratnost, je třeba disponovat velkým počátečním kapitálem. Navíc je pojem domů s téměř nulovou potřebou energie, pro většinu veřejnosti, pojmem velice novým a tím také vidím problémy v realizaci cílů této směrnice.

10. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- [1] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. 2011.
- [2] ČSN EN ISO 13790: Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby na vytápění a chlazení. Český normalizační institut. 2009.
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov.
- [4] ČSN EN 12 831: Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Český normalizační institut 2005.
- [5] TNI 73 0329: Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy. Český normalizační institut. 2010.
- [8] TNI 73 0331: Energetická náročnost budov- Typické hodnoty pro výpočet. Český normalizační institut. 2010.
- [7] Vavříčka, R.: VYT_cv_1_2011
Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/VYT_cv_1_2011.pdf
- [8] Vavříčka, R.: Program Bilance_energie_1.1.
- [9] Šourek, B., Matuška, T.: Program BilanceSS_5.4.
Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=158
- [10] Přehled cen zemního plynu. TZB-info.(cit. 2016-07-13).
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/13-prehled-cen-zemnihoplynu>
- [15] Přehled cen elektrické energie. TZB-info.(cit. 2016-07-13).
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie>
- [16] Co je to nulový dům? nulovedomy.org. (cit. 2016-05-16)
Dostupné z: <http://www.nulovedomy.org/co-jsou-nulove-domy/co-je-nulovy-dum.htm>

PŘÍLOHY

Příloha 1

Masivní konstrukce Urec																	
orientace	stavební část	celková tloušťka stěny	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	součinitel prostupu tepla	rozdíl teplot	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Základní tepelná ztráta prostupem	součinitel celkové tepelné ztráty prostupem	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková tepelná ztráta budovy
-	-	m	m	m	S [m ²]	-	S _{ot} [m ²]	m ²	U _{rec,20} [w/m ² *K]	U[w/m ² *K]	Δt[K]	H _T [W/K]	Φ _{T,i} [W]	H _{rc} [W/K]	H _{vi} [W/K]	Φ _{v,i} [W]	Φ [W]
sever	vnější stěna	0,52	10,00	6,00	60,00	1	2,25	57,75	0,25	0,25	32	14,6	468	117,3	28,8	922	4 674
jih	vnější stěna	0,52	10,00	6,00	60,00	4	9,00	51,00			32	12,9	413				
západ	vnější stěna	0,52	10,00	6,00	60,00	2	4,50	55,50			32	14,1	450				
východ	vnější stěna	0,52	10,00	6,00	60,00	2	4,05	55,95			32	14,2	453				
-	podlaha	0,62	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00			0,3	0,27	32				
	strop	0,33	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,2	0,20	32	19,6	627				
	okno	-	1,50	1,50	2,25	-	-	-	1,2	0,76	32	13,7	439				
	dveře	-	0,90	2,00	1,80	-	-	1,80	1,2	0,80	32	1,4	46				
												celková tepelná ztráta	3 753			celkem zaokrouhleno	4 670

Příloha 2

Dřevostavba Urec																	
orientace	stavební část	celková tloušťka stěny	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	součinitel prostupu tepla	rozdíl teplot	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Základní tepelná ztráta prostupem	Celková tepelná ztráta prostupem	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková tepelná ztráta budovy
-	-	m	m	m	S [m ²]	-	S _{ot} [m ²]	m ²	$U_{rec,20}$ [W/m ² *K]	U [W/m ² *K]	Δt [K]	H _T [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]	H _{TC} [W/K]	H _{wi} [W/K]	$\Phi_{v,i}$ [W]	Φ [W]
sever	vnější stěna	0,24	10,00	6,00	60,00	1	2,25	60,00	0,2	0,20	32	11,8	377	108,1	28,8	922	4382
jih	vnější stěna	0,24	10,00	6,00	60,00	4	9,00	51,00			32	10,0	320				
západ	vnější stěna	0,24	10,00	6,00	60,00	2	4,50	55,50			32	10,9	349				
východ	vnější stěna	0,24	10,00	6,00	60,00	2	4,05	55,95			32	11,0	351				
-	podlaha	0,62	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,3	0,29	32	28,9	925	108,1	28,8	922	4382
	strop	0,19	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,2	0,20	32	20,4	653				
	okno	-	1,50	1,50	2,25	-	-	-	1,2	0,76	32	13,7	439				
	dveře	-	0,90	2,00	1,80	-	-	1,80	1,2	0,80	32	1,4	46				
celková tepelná ztráta													3460		celkem zaokrouhleno	4 380	

Příloha 3

Masivní konstrukce Upas-h																	
orientace	stavební část	celková tloušťka stěny	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	součinitel prostupu tepla	rozdíl teplot	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Základní tepelná ztráta prostupem	součinitel celkové tepelné ztráty prostupem	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková tepelná ztráta budovy
-	-	m	m	m	S [m ²]	-	S _{ot} [m ²]	m ²	U _{rec,20} [w/m ² *K]	U[w/m ² *K]	Δt[K]	H _T [W/K]	Φ _{T,i} [W]	H _{Tc} [W/K]	H _{vi} [W/K]	Φ _{vi} [W]	Φ [W]
sever	vnější stěna	0,58	10,00	6,00	60,00	1	2,25	57,75	0,18	0,17	32	9,8	314	87,4	28,8	922	3 718
jih	vnější stěna	0,58	10,00	6,00	60,00	4	9,00	51,00			32	8,7	277				
západ	vnější stěna	0,58	10,00	6,00	60,00	2	4,50	55,50			32	9,4	302				
východ	vnější stěna	0,58	10,00	6,00	60,00	2	4,05	55,95			32	9,5	304				
-	podlaha	0,64	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,22	0,21	32	20,7	663	87,4	28,8	922	3 718
	strop	0,40	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,15	0,14	32	14,1	450				
	okno	-	1,50	1,50	2,25	-	-	-	0,9	0,76	32	13,7	439				
	dveře	-	0,90	2,00	1,80	-	-	1,80	0,8	0,80	32	1,4	46				
													2 796	celkem zaokrouhleno		3 720	
celková tepelná ztráta																	

Příloha 4

Dřevostavba Upas-h																	
orientace	stavební část	celková tloušťka stěny	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	součinitel prostupu tepla	rozdíl teplot	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Základní tepelná ztráta prostupem	Celková tepelná ztráta prostupem	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková tepelná ztráta budovy
-	-	m	m	m	S [m ²]	-	S _{ot} [m ²]	m ²	U _{rec,20} [w/m ² *K]	U[w/m ² *K]	Δt[K]	H _τ [W/K]	φ _{τ,i} [W]	H _{rc} [W/K]	H _{vi} [W/K]	φ _{vi} [W]	φ [W]
sever	vnější stěna	0,27	10,00	6,00	60,00	1	2,25	60,00	0,18	0,18	32	10,8	345	92,4	28,8	922	3879
jih	vnější stěna	0,27	10,00	6,00	60,00	4	9,00	51,00			32	9,2	293				
západ	vnější stěna	0,27	10,00	6,00	60,00	2	4,50	55,50			32	10,0	319				
východ	vnější stěna	0,27	10,00	6,00	60,00	2	4,05	55,95			32	10,1	322				
-	podlaha	0,64	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00			0,22	0,22	32				
-	strop	0,25	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,15	0,15	32	15,1	484				
-	okno	-	1,50	1,50	2,25	-	-	-	0,9	0,76	32	13,7	439				
-	dveře	-	0,90	2,00	1,80	-	-	1,80	0,8	0,80	32	1,4	46				
													2957			celkem zaokrouhleno	3 880
													celková tepelná ztráta				

Příloha 5

Masivní konstrukce Upas-s																	
orientace	stavební část	celková tloušťka stěny	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	součinitel prostupu tepla	rozdíl teplot	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Základní tepelná ztráta prostupem	součinitel celkové tepelné ztráty prostupem	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková tepelná ztráta budovy
-	-	m	m	m	S [m ²]	-	S _{ot} [m ²]	m ²	$U_{rec,20}$ [W/m ² *K]	U [W/m ² *K]	Δt [K]	H _T [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]	H _{Tc} [W/K]	H _{vi} [W/K]	$\Phi_{v,i}$ [W]	Φ [W]
sever	vnější stěna	0,66	10,00	6,00	60,00	1	2,25	57,75	0,12	0,12	32	6,8	218	65,6	28,8	922	3 020
jih	vnější stěna	0,66	10,00	6,00	60,00	4	9,00	51,00			32	6,0	193				
západ	vnější stěna	0,66	10,00	6,00	60,00	2	4,50	55,50			32	6,6	210				
východ	vnější stěna	0,66	10,00	6,00	60,00	2	4,05	55,95			32	6,6	212				
-	podlaha	0,68	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,15	0,14	32	14,4	460	65,6	28,8	922	3 020
	strop	0,50	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,1	0,10	32	10,0	321				
	okno	-	1,50	1,50	2,25	-	-	-	0,6	0,76	32	13,7	439				
	dveře	-	0,90	2,00	1,80	-	-	1,80	0,9	0,80	32	1,4	46				
													2 099	celkem zaokrouhleno		3 020	
													celková tepelná ztráta				

Příloha 6

Dřevostavba Upas-s																	
orientace	stavební část	celková tloušťka stěny	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů	požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2	součinitel prostupu tepla	rozdíl teplot	Součinitel tepelné ztráty prostupem	Základní tepelná ztráta prostupem	Celková tepelná ztráta prostupem	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková tepelná ztráta budovy
-	-	m	m	m	S [m ²]	-	S _{ot} [m ²]	m ²	U _{rec,20} [w/m ² *K]	U[w/m ² *K]	Δt[K]	H _T [W/K]	Φ _{T,i} [W]	H _{Tc} [W/K]	H _{vi} [W/K]	Φ _{v,i} [W]	Φ [W]
sever	vnější stěna	0,37	10,00	6,00	60,00	1	2,25	57,75	0,12	0,12	32	6,9	219	66,0	28,8	922	3033
jih	vnější stěna	0,37	10,00	6,00	60,00	4	9,00	51,00			32	6,1	194				
západ	vnější stěna	0,37	10,00	6,00	60,00	2	4,50	55,50			32	6,6	211				
východ	vnější stěna	0,37	10,00	6,00	60,00	2	4,05	55,95			32	6,6	213				
-	podlaha	0,68	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,15	0,15	32	15,0	480	66,0	28,8	922	3033
	strop	0,38	10,00	10,00	100,00	-	-	100,00	0,1	0,10	32	9,7	310				
	okno	-	1,50	1,50	2,25	-	-	-	0,6	0,76	32	13,7	439				
	dveře	-	0,90	2,00	1,80	-	-	1,80	0,9	0,80	32	1,4	46				
celková tepelná ztráta													2112	celkem zaokrouhleno		3 033	

Příloha 7 – schéma OS

