

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD

KATEDRA MECHANIKY – STUDIJNÍ OBOR: STAVITELSTVÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vybrané faktory ovlivňující účinnost energeticky pasivních domů

Vypracovala:

Bc. Aneta Fejtová

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.

Akademický rok:

2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Aneta FEJTOVÁ**
Osobní číslo: **A18N0065P**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavatelství**
Téma práce: **Vybrané faktory ovlivňující účinnost energeticky pasivních domů**
Zadávající katedra: **Katedra mechaniky**

Zásady pro vypracování

1. Rešerše obecných požadavků pro návrh energeticky pasivních budov.
2. Analýza tepelných zisků a tepelných ztrát.
3. Vliv orientace domu na světové strany na tepelné zisky a ztráty.
4. Ideální tvar budovy a vliv objemového faktoru na tepelné ztráty budov.
5. Vliv dispozičního uspořádání budovy na tepelné ztráty a zisky.
6. Vliv konstrukčně materiálového řešení.
7. Vliv systémů TZB na celkovou účinnost budovy.
8. Tepelné zisky a ztráty prosklenými plochami.
9. Porovnání a zhodnocení modelového objektu v různých variantách.
10. Analýza a odhad očekávaného vývoje.



Rozsah diplomové práce: **textová část 50 – 60 stran A4**
Rozsah grafických prací: **výkresové přílohy 20 – 30 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. Zákony, normy, vyhlášky, odborné časopisy v oblasti stavebnictví
2. ČSN 730540-2 (2007) – Tepelná ochrana budov
3. ČSN 730542 Způsob stanovení energetické bilance zasklených ploch obvodového pláště budov
4. Bin Su: The impact of passive design factors on house energy efficiency, 2011
5. Yuehonglu: Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings, 2015

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **1. července 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. ledna 2020**


Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka




Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci na zadané téma „Vybrané faktory ovlivňující účinnost energeticky pasivních domů“ zhotovila samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce pana doc. Ing. Jana Paška, Ph.D. Pro vypracování práce byla dále využita odborná literatura, normy a dalších zdrojů, jejichž seznam je součástí této diplomové práce.

V Plzni, dne 10.1.2020

.....

Bc. Aneta Fejtová

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Janu Paškovi, Ph.D. za jeho čas, který mi věnoval při konzultacích, doporučení, trpělivost a rady při vedení mé práce.

Také bych ráda své rodině a přátelům za podporu během celé doby mého studia.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou vybraných faktorů, které mohou ovlivňovat účinnost energeticky pasivních domů a jejich potřebu energie.

V teoretické části jsou popsány základní požadavky pro návrh energeticky pasivních objektů. V praktické části jsou provedeny různé analýzy. V prvním oddílu praktické části jsou analýzy ideálního tvaru a vlivu orientace ke světovým stranám, které ovlivňují objekty v energeticky pasivním standardu. Další oddíly se zabývají analýzou technického zařízení budov a čtyř vybraných konstrukčně materiálových možností pro výstavbu energeticky pasivních domů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Energeticky pasivní dům, objemový faktor, solární zisky, orientace na světové strany

ABSTRACT

The dissertation work deals with the analysis of selected factors that can influence the efficiency of energy passive houses and their energy consumption.

In the theoretical part are describes the basic requirements for design of energy passive objects. In the practical part are made various analyzes. In the first section of the practical part there are an analysis of the ideal shape and influence of orientation towards the cardinal points influencing objects in the energy-passive object standard. The next sections deal with the analysis of the technical equipment of buildings and four selected constructional-material options for the construction of passive energy houses.

KEY WORDS

Energy passive house, form factor, solar gains, orientation on cardinal points

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

FEJTOVÁ, Aneta. Vybrané faktory ovlivňující účinnost energeticky pasivních domů. Plzeň, 2019. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra mechaniky. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Pašek, Ph.D.

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 1 |
| Cíl práce | 1 |
| Hypotéza | 1 |
| 1 Základní parametry pro návrh energeticky pasivních domů | 2 |
| 1.1 Měrná potřeba tepla na vytápění | 3 |
| 1.2 Neprůvzdušnost obálky budovy n_{50} | 4 |
| 1.3 Celkové množství primární energie | 9 |
| 1.4 Kompaktnost budovy | 10 |
| 1.5 Získávání tepla z odpadního vzduchu rekuperací s účinností min. 75% | 10 |
| 1.6 Součinitel prostupu tepla U | 10 |
| 1.7 Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} | 13 |
| 1.8 Lineární tepelné mosty Ψ a bodové tepelné mosty X | 15 |
| 1.9 Lokalita umístění..... | 19 |
| 1.10 Pohoda vnitřního prostředí | 19 |
| PRAKTICKÁ ČÁST | 21 |
| 2 Analýza vlivu objemového faktoru a ideálního tvaru | 21 |
| 2.1 Objemový faktor | 21 |
| 2.2 Porovnání vybraných tvarů dle solárních zisků | 25 |
| 3 Analýza orientace domu na světové strany | 29 |
| 3.1 Vnitřní dispozice | 30 |
| 3.2 Vliv natočení budovy na solární zisky | 32 |
| 4 Analýza prosklených ploch | 45 |
| 4.1 Vlastnosti..... | 47 |
| 4.2 Části okna..... | 47 |
| 4.3 Porovnání | 52 |
| 5 Analýza technického zařízení..... | 55 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.1 | Větrání..... | 55 |
| 5.2 | Vytápění | 57 |
| 5.3 | Chlazení..... | 60 |
| 5.4 | Ohřev teplé vody | 60 |
| 5.5 | Solární systémy | 61 |
| 6 | Analýza konstrukčně materiálového řešení | 63 |
| 6.1 | Keramické tvárnice | 64 |
| 6.2 | Vápenopískové tvárnice | 65 |
| 6.3 | Ztracené bednění | 66 |
| 6.4 | Dřevostavba..... | 67 |
| 7 | Očekávaný vývoj | 71 |
| | Závěr | 72 |
| | Seznam použité literatury a ostatních zdrojů: | 74 |
| | Použitý software..... | 76 |
| | Seznam příloh | 76 |

SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK:

SEZNAM OBRÁZKŮ:

| | |
|--|----|
| Obrázek č. 1 – Schéma prvků pasivního domu | 3 |
| Obrázek č. 2 – Ukázka osazení ventilátoru do vchodových dveří při měření blower door testu, | 5 |
| Obrázek č. 3 – Ukázka vzduchotěsného opracování instalačních prostupů OSB deskou | 7 |
| Obrázek č. 4 – Místa nejčastějšího výskytu netěsností v obálce budovy | 8 |
| Obrázek č. 5 – Ukázka lineárních a bodových tepelných mostů | 16 |
| Obrázek č. 6 – Ukázka bodového tepelného mostu | 17 |
| Obrázek č. 7 – Ukázka lineárních a bodových tepelných mostů | 18 |
| Obrázek č. 8 – Ukázka tepelných mostů | 18 |
| Obrázek č. 9 – Poměr obestavěné plochy k objemu a vliv na měrnou potřebu tepla na vytápění | 22 |
| Obrázek č. 10 – koule | 22 |
| Obrázek č. 11 – válec, | 22 |
| Obrázek č. 12 – pravidelný šestiboký hranol | 23 |
| Obrázek č. 13 – krychle | 23 |
| Obrázek č. 14 – rotační kužel | 23 |
| Obrázek č. 15 – kvádr | 23 |
| Obrázek č. 16 – čtyřboký jehlan | 24 |
| Obrázek č. 17 – Koncepce výpočtu solárních zisků | 25 |
| Obrázek č. 18 – Schéma posuzovaných tvarů a jejich natočení k severní straně, modré plochy značí okna | 26 |
| Obrázek č. 19 – Schéma trasy slunce v průběhu roku | 29 |
| Obrázek č. 20 – Zónování rodinného domu, modrá tvoří nevytápěnou část a červená vytápěnou | 31 |
| Obrázek č. 21 – Vnitřní rozmístění dispozice dle orientace ke světovým stranám | 32 |

| | |
|---|----|
| Obrázek č. 22 – Schéma postupného natáčení vstupu do objektu na jednotlivé světové strany podle hodinových ručiček | 33 |
| Obrázek č. 23 – Pohledy na posuzovanou administrativní budovu | 34 |
| Obrázek č. 24 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na sever | 35 |
| Obrázek č. 25 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na severovýchod | 36 |
| Obrázek č. 26 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na východ | 37 |
| Obrázek č. 27 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na jihovýchod | 38 |
| Obrázek č. 28 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na jih | 39 |
| Obrázek č. 29 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na jihozápad | 40 |
| Obrázek č. 30 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na západ | 41 |
| Obrázek č. 31 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na severozápad | 42 |
| Obrázek č. 32 – Řez izolačního trojskla | 45 |
| Obrázek č. 33 – Srovnání jednotlivých druhů zasklení dle roční energetické bilance | 46 |
| Obrázek č. 34 – Vliv pokovení na propustnost okna | 48 |
| Obrázek č. 35 – Porovnání kvalitního a nekvalitního zaklení s vlivem na tepelnou pohodu | 48 |
| Obrázek č. 36 – Ukázka předsazené montáže okna pomocí L profilů | 51 |
| Obrázek č. 37 – Rozdíl mezi letním a zimním sluncem | 52 |
| Obrázek č. 38 – Princip větrání vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací | 56 |
| Obrázek č. 39 – Princip větrání vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací | 59 |
| Obrázek č. 40 – Průměrný roční slunečního záření v České republice | 61 |
| Obrázek č. 41 – Keramická tvárnice plněná polystyrenem | 64 |
| Obrázek č. 42 – Keramická tvárnice plněná minerální vatou | 65 |
| Obrázek č. 43 – Poměr jednotlivých surovin vápenopískové cihly | 66 |
| Obrázek č. 44 – Ztracené bednění tvořené šedým polystyrenem | 67 |
| Obrázek č. 45 – Ukázka montáže dřevěného masivního panelu na stavbě | 68 |

SEZNAM GRAFŮ:

| | |
|---|----|
| Graf č. 1 – Vliv neprůvzdušnosti n_{50} na hodnotu tepelných ztrát | 9 |
| Graf č. 2 – Výpis jednotlivých geometrických tvarů dle objemového faktoru..... | 24 |
| Graf č. 3 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na sever | 35 |
| Graf č. 4 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na severovýchod | 36 |
| Graf č. 5 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na východ | 37 |
| Graf č. 6 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na jihovýchod | 38 |
| Graf č. 7 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na jih | 39 |
| Graf č. 8 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na jihozápad..... | 40 |
| Graf č. 9 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na západ | 41 |
| Graf č. 10 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na severozápad | 42 |
| Graf č. 11 – Tepelné ztráty objektu s trojskly | 52 |
| Graf č. 12 – Tepelné ztráty objektu s dvojskly | 53 |
| Graf č. 13 – Tepelné ztráty objektu s dvojskly bez pokovení..... | 53 |
| Graf č. 14 – Tepelné ztráty objektu s jednosklem..... | 54 |

SEZNAM TABULEK:

| | |
|---|----|
| Tabulka č. 1 – Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění..... | 4 |
| Tabulka č. 2 – Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu n_{50N} ,..... | 6 |
| Tabulka č. 3 – Tabulka hodnot faktoru energetické přeměny F | 10 |
| Tabulka č. 4 – Tabulka vybraných normových hodnot součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí..... | 11 |
| Tabulka č. 5 – Tabulka tepelných odporů při přestupu tepla | 12 |
| Tabulka č. 6 – Tabulka požadovaných hodnot průměrného součinitele prostupu tepla..... | 13 |
| Tabulka č. 7 – Tabulka klasifikace tepelné obálky | 14 |
| Tabulka č. 8 – Požadované a doporučené hodnoty lineárního a bodového činitele prostupu tepla tepelných vazeb mezi konstrukcemi | 15 |

| | |
|---|----|
| Tabulka č. 9 – Porovnání geometrických tvarů dle výnosnosti solárních zisků..... | 27 |
| Tabulka č. 10 – Porovnání geometrických tvarů z hlediska výnosnosti solárních zisků na podlahovou plochu..... | 27 |
| Tabulka č. 11 – Porovnání geometrických tvarů z hlediska výnosnosti solárních zisků na plochu oken..... | 27 |
| Tabulka č. 12 – Porovnání vlivu orientaci objektu na světové strany | 43 |
| Tabulka č. 13 – Porovnání výnosnosti solárních zisků jednotlivých případů natočení..... | 44 |
| Tabulka č. 14 – Porovnání jednotlivých vlastností distančních rámečků..... | 49 |
| Tabulka č. 15 – Porovnání jednotlivých vlastností distančních rámečků..... | 54 |
| Tabulka č. 16 – Porovnání tepelných zdrojů dle potřeby primární energie | 60 |
| Tabulka č. 17 – Porovnání fázového posunu teplotního kmitu jednotlivých skladeb materiálůvých možností stěn..... | 69 |
| Tabulka č. 18 – Porovnání stavebních materiálů dle dopadu na životní prostředí..... | 70 |

SEZNAM ZKRATEK A ZNAKŮ:

| | |
|--------------|---|
| n_{50} | Celková intenzita výměny vzduchu |
| $n_{50,N}$ | Doporučená celková intenzita výměny vzduchu |
| F | Faktor energetické přeměny |
| K | Kelvin |
| U | Součinitel prostupu tepla |
| $U_{N,20}$ | Požadované hodnoty součinitele prostupu tepla |
| $U_{rec,20}$ | Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla |
| $U_{pas,20}$ | Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní objekty |
| e_1 | Součinitel typu budova |
| R | Tepelný odpor |
| R_{si} | Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce |
| R_{se} | Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce |
| d | Tloušťka vrstvy konstrukce |
| λ | Součinitel tepelné vodivosti |
| ZTM | Činitel tepelných mostů |
| U_{em} | Průměrný součinitel prostupu tepla budovy |
| $U_{em,N}$ | Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla budovy |
| Ψ | Lineární tepelné mosty |
| X | Bodové tepelné mosty |
| DP | Diplomové práce |
| LT | Světelná propustnost |
| g | Propustnost slunečního záření |
| COP | Topný faktor |

| | |
|------|-----------------------------------|
| EER | Chladicí faktor |
| PEI | Spotřeba primární energie |
| GWP | Potenciál globálního oteplování |
| AP | Potenciální okyselování prostředí |
| EP | Potenciální eutrofizace prostředí |
| ODP | Potenciální ničení ozónové vrstvy |
| POCP | Potenciál tvorby přízemního ozonu |

Úvod

Pozemní stavby mají za úkol ochránit osoby, zvířata a majetek před vnějšími povětrnostními vlivy a zajištění vhodného vnitřního prostředí dle konkrétního způsobu užívání. Realizace staveb i jejich provoz jsou spojeny se spotřebou energie, jejíž množství se z důvodu udržitelného rozvoje postupně snižuje. Až polovina celkové spotřebované energie v rozvinutých zemích je spotřebována pro budovy (jejich provoz a vytápění). Nejen z ekonomického, ale hlavně z ekologického hlediska je nutné tuto spotřebovanou energii a energetickou náročnost budov stále snižovat. Nutností je tedy navrhovat objekty s minimálními náklady na vytápění a chlazení.

Nejvíce energie v standardních objektech se spotřebuje na vytápění, poté na ohřev teplé vody a samotný provoz. Z důvodu udržitelného rozvoje je tedy nutné poměr objektů v energeticky pasivním a vyšším standardu v největší možné míře zvyšovat, jak u novostaveb, tak i u rekonstrukcí. Evropská unie v tomto ohledu vypracovala několik směrnic, které tento trend podporují.

Diplomová práce je zaměřena na základní požadavky návrhu energeticky pasivních objektů, které by mohly ovlivňovat nárůst tepelných zisků či pokles tepelných ztrát. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány základní parametry pro návrh energeticky pasivních objektů. Praktická část doplňuje teoretickou kapitolu o výpočty, analýzy jednotlivých faktorů, možnosti provedení a vzájemné porovnání jejich vlivu na celkový návrh energeticky pasivních objektů. Od faktorů, které jsou patrné na první pohled jako tvar objektu, až po jeho technologii uvnitř objektu.

Cíl práce

Hlavním cílem diplomové práce je vyhodnocení jednotlivých faktorů. Provedení analýz, výpočtů a vyhodnocení jednotlivých možností návrhu a jejich celkový dopad na energetickou náročnost budovy.

Hypotéza

Předpokládá se, že jen díky vhodnému natočení ke světovým stranám a návrhu obálky budovy lze výrazně snížit množství tepelných ztrát a nákladů na vytápění.

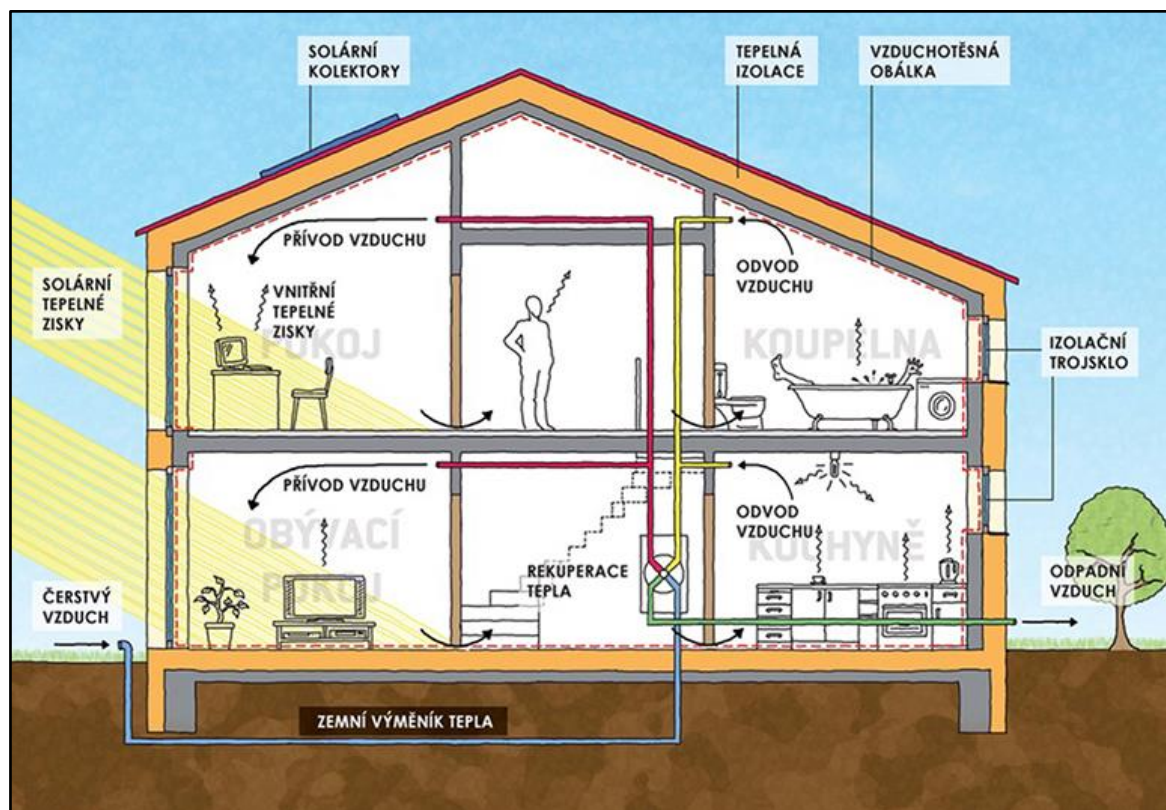
TEORETICKÁ ČÁST

1 Základní parametry pro návrh energeticky pasivních domů

Energeticky pasivní dům (dále jen pasivní dům) – pojmenování pasivní vychází z principu maximálního využívání pasivních tepelných zisků, jak z vnějšího (sluneční záření), tak i z vnitřního (ze spotřebičů, osob) prostředí. Pro uchování těchto tepelných zisků uvnitř objektu je zásadní mít kvalitně navrženou, ale i provedenou tepelněizolační obálku objektu (vytápěných zón) s minimem tepelných mostů a možností získané teplo v objektu akumulovat.

Za předpokladu maximální eliminace úniku tepelné energie prostupem jednotlivých stavebních konstrukcí, je potřeba minimalizovat druhou skupinu tepelných ztrát, a to tepelné ztráty větráním. Pro minimalizaci tepelných ztrát větráním je vhodné využívat systém nuceného větrání s rekuperací. Základní princip je založen na zpětném získávání tepelné energie. Ohřátý odváděný vzduch ve výměníku ohřeje čerstvý přiváděný vzduch a zmenší tím množství energie, která by musela být vynaložena na ohřátí čerstvého přiváděného vzduchu.

Nejvíce pozornosti je věnováno množství energie vynaložené na vytápění vnitřního prostoru. Tato část spotřebované energie tvoří největší podíl celkové potřebné energie pro stavební objekty. Pro minimalizování negativního dopadu na životní prostředí je proto nutné postupně snižovat potřebu množství této energie, a to hlavně spotřebu energie z neobnovitelných zdrojů. Množství spotřebované energie závisí na kvalitě návrhu a samotné realizace objektu.



Obrázek č. 1 – Schéma prvků pasivního domu, zdroj: [3]

Pasivní dům musí splňovat požadavky:

1.1 Měrná potřeba tepla na vytápění

Patří mezi základní ukazatele energetické náročnosti budovy. Měrná potřeba tepla na vytápění udává množství tepelné energie za časový úsek, většinou za rok na jednotku plochy 1 m² obvodového pláště. Množství této energie musí být do objektu dodáno pro udržení požadovaných parametrů vnitřního prostředí. Aby objekt mohl být zařazen do kategorie pasivní dům, musí být jeho množství spotřebované energie na vytápění menší nebo rovno hodnotě **15 kWh/(m²*a)** viz tabulka č.1 s hodnotami i pro ostatní kategorie.

Tabulka č. 1 – Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění, zdroj: [10]

| Kategorie | Potřeba tepla na vytápění |
|--|---|
| Starší stavby | často dvojnásobek hodnot pro obvyklé novostavby i více |
| Obvyklá novostavba podle aktuálních závazných požadavků platných do r.2017 | 80- 140 kWh/(m ² a) v závislosti na kařtoru tvaru A/V |
| Nízkoenergetický dům | ≤ 50 kWh/(m ² a) |
| Pasivní dům | ≤ 15 kWh/(m ² a) |
| Dům s nulovou potřebou tepla na vytápění | ≤ 5 kWh/(m ² a) |
| Energeticky nulov dům | potřeba konečné energie pro provoz domu = 0 kWh/(m ² a) |
| Dům s energetickým přebytkem, Energie-plus, energy-plas | potřeba konečné energie pro provoz domu < 0 kWh/(m ² a) |
| Energeticky nezávislý dům | nelze jednoznačně stanovit; nezávislost na obvyklém energetickém zásobování |

Tabulka popisuje hodnoty pouze pro potřebu tepla na vytápění a nezahrnuje ostatní náklady na spotřebu energie (na provoz budovy, na ohřev teplé vody, chlazení, osvětlení, ...). Hodnotu měrné potřeby tepla na vytápění ovlivňuje velikost plochy obálky a její vlastnosti (součinitel prostupu tepla), technologie a výskyt tepelných mostů. [2]

1.2 Neprůvzdušnost obálky budovy n_{50}

Neprůvzdušnost hodnotí kvalitu provedení vzduchotěsnosti obálky hodnoceného objektu. Stanovuje se pomocí blower door testu, který měří objem vzduchu unikajícího netěsnostmi při tlakovém rozdílu 50 Pa (podtlak, přetlak). Test se provádí pomocí velkopřůměrového ventilátoru osazeného do rámu vchodových dveří nebo okna v obvodové stěně, zbytek otvoru je zakryt plachtou viz obrázek č.2. Při vyhodnocení se zjišťuje, kolik vzduchu bylo zapotřebí dodat, aby byl zachovaný požadovaný tlak.



Obrázek č. 2 – Ukázka osazení ventilátoru do vchodových dveří při měření blower door testu, zdroj: [12]

Posuzovaný objekt musí splňovat podmínku:

$$n_{50} < n_{50,N} \quad (1.2.1)$$

Kde: n_{50} – Naměřená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu v hodnoceném objektu

$n_{50,N}$ - Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa dle tabulky č.2

Pasivní objekty musí splňovat hodnotu celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50N} = 0,6 \text{ [h}^{-1}\text{]}$ viz tabulka č.2. Pro získání dotací Nová zelená úsporám se předkládají výsledky blower door testu, které vypovídají o kvalitě provedení vzduchotěsné obálky měřeného objektu.

Tabulka č. 2 – Doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$, zdroj: [4]

| Větrání v budově | Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ [h^{-1}] | |
|---|---|-----------|
| | Úroveň I | Úroveň II |
| Přirozené nebo kombinované | 4,5 | 3,0 |
| Nucené | 1,5 | 1,2 |
| Nucené se zpětným získáváním tepla | 1,0 | 0,8 |
| Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní budovy) | 0,6 | 0,4 |

Úroveň I určuje požadované hodnoty a úroveň II doporučené hodnoty. Hodnota určuje kolikrát se objem vzduchu vymění za hodinu při rozdílných tlacích. [4]

Metody měření:

Pro zajištění nejvyšší kvality vzduchotěsnosti obálky celého objektu je doporučeno provádět dva testy. Ke stanovování vzduchotěsnosti lze použít dvě metody dle ČSN EN 13 829 Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov.

- Metoda „B“ – Těsnost obálky touto metodou je zjišťována v průběhu stavby, a to po dokončení parozábran (nebo jiného vzduchotěsnícího opatření), utěsnění záměrných otvorů v obvodové konstrukci, technologické prostupy (pro vzduchotechniku, vedení kanalizace) se utěsní speciálními přípravky. Hlavním cílem tohoto testu je zjištění defektů a opravení vzduchotěsné obálky.
- Metoda „A“ – Měření se provádí v provozním stavu. Větrací mřížky se uzavřou a všechny záměrné otvory (komíny, odvětrávání kanalizačního potrubí, ...) se zanechají ve stavu jako při užívání budovy.

Netěsnosti a jejich detekce:

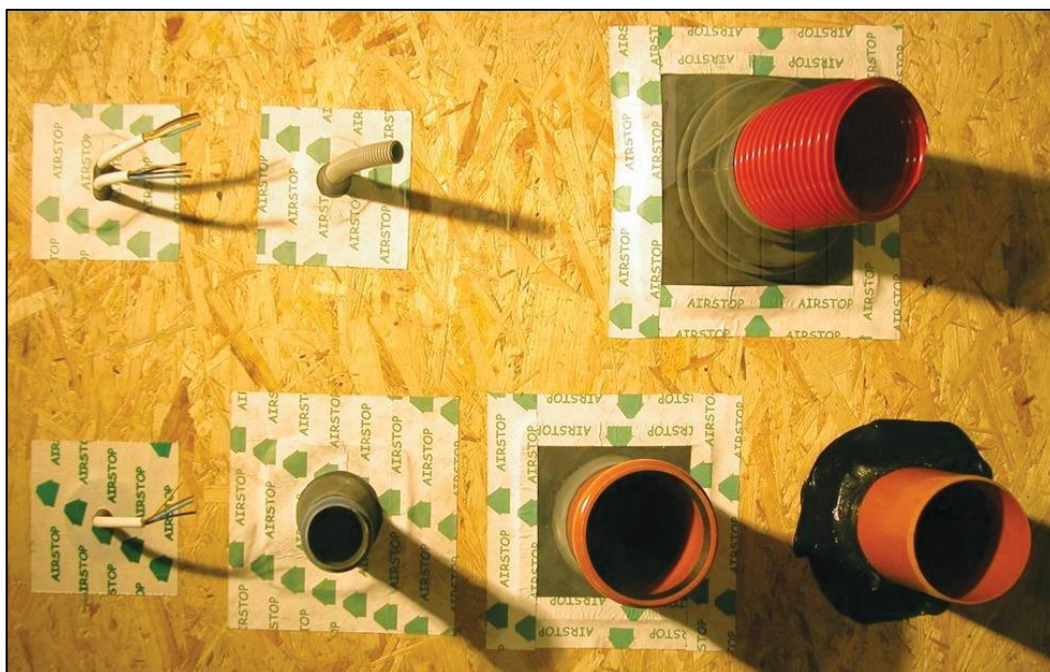
Nejslabší místa nejsou plochy, ale spoje. Můžeme je rozdělit na dvě skupiny:

-záměrné: otvory vytvořené v obálce z důvodu větrání (umístění a velikost jsou známé)

-druhotné: tyto netěsnosti vznikly například chybou návrhu nebo provedení. U těchto netěsností nelze regulovat tepelné ztráty a u objektů se zpětným získáváním tepla lze pozorovat negativní nárůst potřeby tepla na vytápění.

Netěsnosti se dají detekovat pomocí termovizní kamery v exteriéru a například pomocí vyvíječe kouře v interiéru. Negativní dopady netěsností může být například snížení účinnosti rekuperace, proudící chladný vzduch, navýšení energetických ztrát nebo snížení povrchové teploty v místě netěsnosti (možný vznik povrchové kondenzace). Vzduchotěsnost u masivních (zděných, monolitických) konstrukcí lze dosáhnout vnitřní omítkou, která je aplikována po celé ploše. Pro zajištění vzduchotěsnosti u napojení jednotlivých konstrukcí se doplňují tyto přechody speciálními systémovými prostředky (např. stěna x konstrukce krovu).

Speciální důraz na vzduchotěsnost by měl být hlavně u dřevostaveb, kdy při nekvalitním provedení je riziko kondenzace vlhkosti uvnitř konstrukce a její následná degradace. První způsob provedení vzduchotěsné vrstvy jsou desky na bázi dřevoštěpných OSB desek. Spojy jsou provedené na pero a drážku, slepené tmelem/lepidlem. Pro zajištění požadovaných vlastností spoju se ještě přelepují systémovými parotěsnými lepenkami. Druhý způsob jsou fólie, u kterých je důležité hlídat dostatečné přesahy spoju a jejich zajištění pomocí systémové pásky. Nevýhodou použití fólií je riziko jejího potrhání při provádění stavby. Riziková místa, na které je nutné klást důraz je napojení na ostatní konstrukce a vedení prostupů skrz vzduchotěsnou vrstvu.

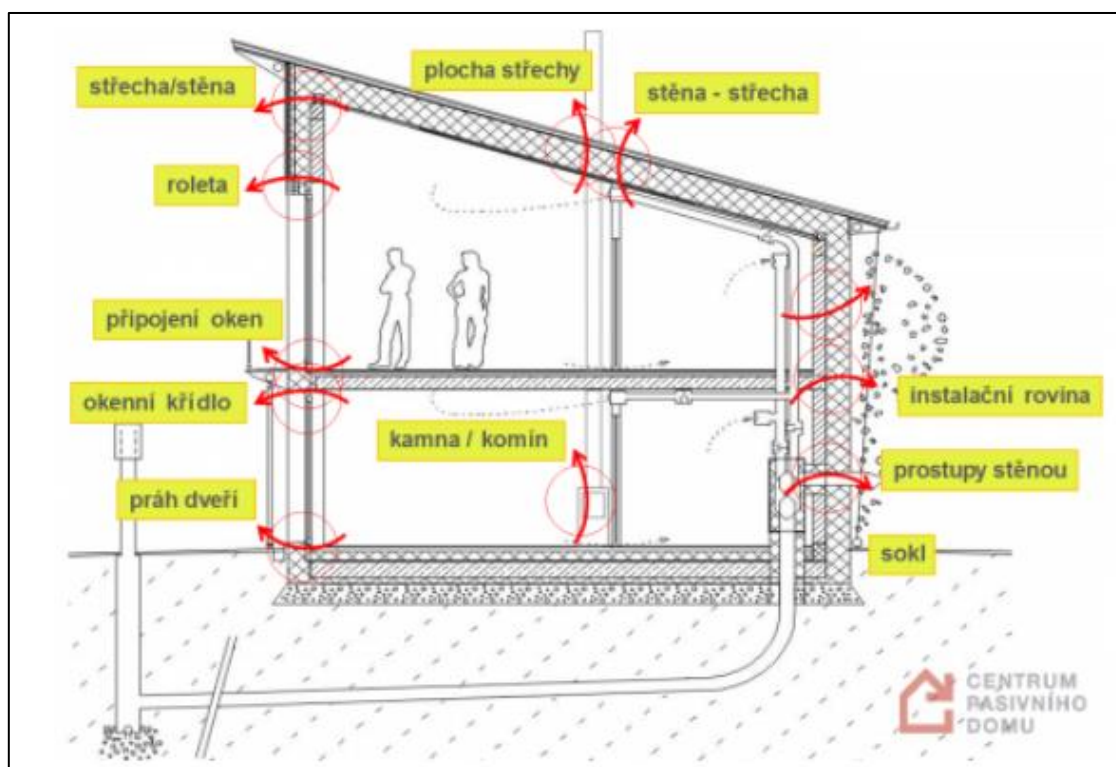


Obrázek č. 3 – Ukázka vzduchotěsného opracování instalačních prostupů OSB deskou, zdroj:

[16]

Nejčastější místa výskytu netěsností:

Nedostatečné vzduchotěsné opracování instalačních prostupů a prvků skrz vzduchotěsnicí vrstvu, prostupy skrz obvodové konstrukce, připojovací spára oken, netěsné napojení jednotlivých konstrukcí, netěsnosti v oblasti komínů a nadokenních kastlíků, ...

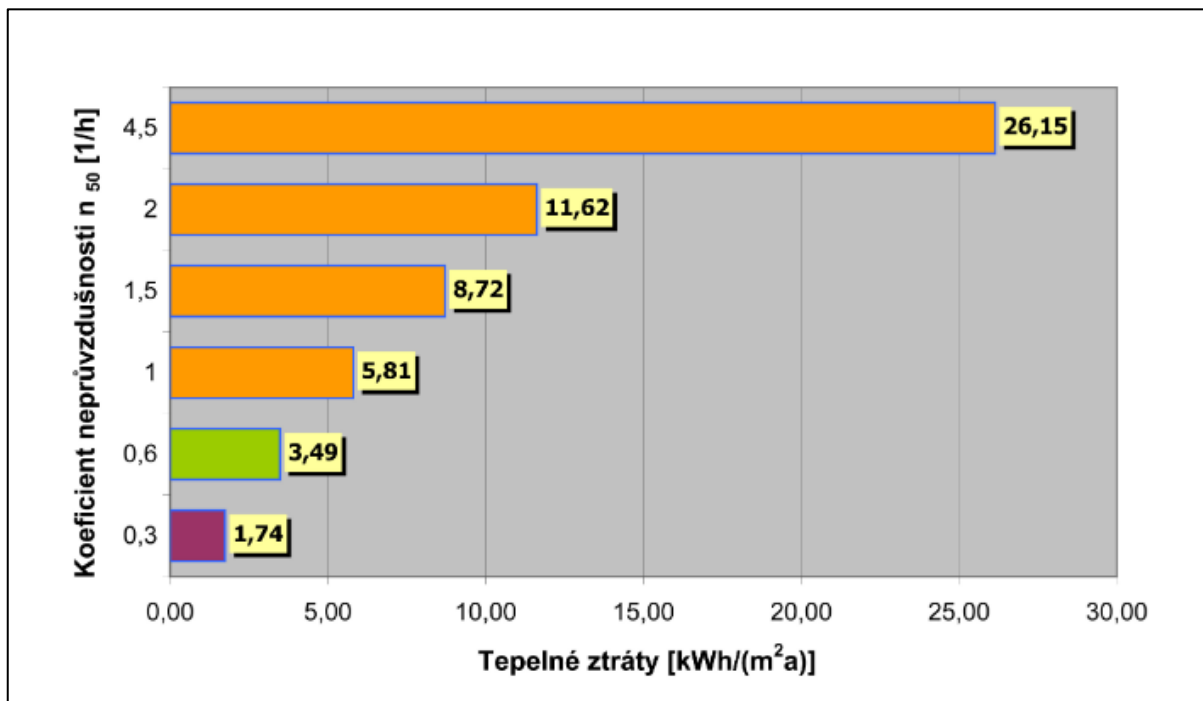


Obrázek č. 4 – Místa nejčastějšího výskytu netěsností v obálce budovy, zdroj: [3]

Důsledek zanedbání netěsností:

Zanedbání netěsností může mít za následek rozdílnost realizovaného objektu oproti navrhovanému stavu a s tím spojené například vyšší tepelné ztráty a poddimenzování tepelného zdroje.

Dle grafu č. 1 lze pozorovat nárůst tepelných ztrát závisle na vyšší hodnotě neprůvzdušnosti n_{50} . Při hodnotě neprůvzdušnosti n_{50} pro běžné budovy = 4,5 [1/h] jsou ztráty netěsnostmi 26 [kWh/(m²*a)], což tvoří cca 1,7násobek měrné potřeby tepla na vytápění u pasivních objektů. Pro hodnotu neprůvzdušnosti n_{50} pro pasivní objekty = 0,6 [1/h] tvoří tepelné ztráty netěsnostmi pětinu celkového množství měrné potřeby tepla na vytápění. Je proto nutné tepelné úniky netěsnostmi nepodceňovat a počítat s jejich maximální eliminací již v projektu.



Graf č. 1 – Vliv neprůvzdušnosti n_{50} na hodnotu tepelných ztrát, zdroj: [3]

1.3 Celkové množství primární energie

Další z hlavních parametrů hodnotící energetickou náročnost budovy je množství primární energie spotřebované v objektu. Pasivní objekty musí splnit požadované množství primární energie **<120 kWh(m²*a)**. Primární energii dělíme dle energonositele (palivo použité pro výrobu energie) do dvou skupin a to obnovitelnou (vodní energie, solární energie, ...) a neobnovitelnou (uhlí, ropa, ...). Do celkové primární neobnovitelné energie se započítávají i vázané energie. Je to množství spotřebovaného energonositele, ale i samotná energie použitá na jeho těžbu, dopravu a další s ním spojené náklady.

Pro možnost porovnání jednotlivých energonositelů byl stanoven faktor energetické přeměny F viz tabulka č.3. Tento faktor udává podíl mezi potřebnou primární energií pro samotný objekt a energií spotřebovanou na pokrytí potřeb, než se dostala do objektu. Z tohoto pohledu je nejméně vhodná elektrická energie, jejíž spotřeba se násobí 3x. Pro celkovou energetickou náročnost objektu je z tohoto důvodu vytápění pouze elektrickou energií nevhodné a objekt by nesplnil požadavky pro pasivní standard. Naopak nejlepší výsledky poskytují obnovitelné zdroje energie čerpající solární energii. [6]

Tabulka č. 3 – Tabulka hodnot faktoru energetické přeměny F , zdroj: [6]

| Energetické médium | $f_p[-]$ |
|---|-----------|
| zemní plyn | 1,1 |
| zkapalněný plyn | 1,1 |
| černé uhlí | 1,1 |
| palivové dřevo | 0,2 |
| centrální zásobování teplem - bloková kotelna na plyn | 1,5 |
| centrální zásobování teplem - bloková kotelna na plyn, s kogenerační jednotkou 70% (společná výroba tepla a elektrické energie) | 0,7 |
| elektrický proud (mix v síti) | 2,7 - 3,0 |

1.4 Kompaktnost budovy

Kompaktnost budovy lze posoudit dle objemového faktoru dle (2.1), který porovnává ochlazovanou plochu v poměru s celkovým objemem budovy. Za kompaktní lze prohlásit ty budovy, které se pohybují kolem hodnoty $0,5 \left[\frac{m^2}{m^3} \right]$ objemového faktoru. Narůstající hodnota objemového faktoru ovlivňuje měrnou potřebu tepla na vytápění, viz obrázek č.9. U staveb v pasivním standardu se obvykle nenavrhují balkóny, vikýře a jiné vyčnívající konstrukce. Tyto konstrukce by navyšovaly členitost budovy, ochlazovanou plochu a možnost vzniku tepelných mostů. Řešení těchto kritických míst, a to přerušením tepelných mostů dle jednotlivých případů by mohlo být ekonomicky náročné.

1.5 Získávání tepla z odpadního vzduchu rekuperací s účinností min. 75%

Pro minimalizování již zmíněných tepelných ztrát je u pasivních budov hodnocena neprůvzdušnost, ale nesmí se opomíjet ztráta tepla větráním. V pasivních domech je pro udržení požadované teploty a úsporu energie nucené větrání se zpětným získáváním tepla již nutností. Při větrání okny se ohřátý vzduch vymění za studený čerstvý, který je potřeba znovu ohřát. Při výměně vzduchu pomocí vzduchotechniky si čerstvý a odpadní vzduch vymění teplo v rekuperátoru. Minimální hodnota, kterou musí rekuperace splňovat je úspora 75% energie, která by byla vynaložena na ohřátí čerstvého studeného vzduchu na vnitřní pokojovou teplotu. Současné jednotky již běžně tuto hodnotu splňují a značně ji už i převyšují. [8]

1.6 Součinitel prostupu tepla U

Veličina vyjadřuje vlastnost konstrukce, kolik tepelné energie unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 , když je rozdíl teplot na jednotlivých površích 1 K . Veličina je udávána v jednotkách $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$. Norma ČSN 730540-2 udává požadované hodnoty U_{N20} , doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ a doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ pro splnění standardu.

Hodnocená konstrukce musí splňovat podmínku:

$$U \leq U_N \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (1.6.1)$$

Kde: U_N – Normový součinitel prostupu tepla $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

U – Součinitel prostupu tepla hodnocené konstrukce $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

Požadované hodnoty U_N lze stanovit:

- Pro budovy s převažující vnitřní návrhovou teplotou v rozmezí od 18 do 22 °C (obytné budovy, nevýrobní, školní a administrativní prostory, ...) lze určit hodnotu z tabulky dle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky viz tabulka č.4 s vybranými hodnotami součinitele prostupu tepla.
- Pro budovy s odlišnými návrhovými vnitřními teplotami se hodnota určí ze vztahu:

$$U_N = U_{N,20} * e_1 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Kde: $U_{N,20}$ – požadované hodnoty součinitele prostupu tepla $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

e_1 – součinitel typu budovy

Tabulka č. 4 – Tabulka vybraných normových hodnot součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí, zdroj: [4]

| Popis konstrukce | Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)] | | |
|---|---|---------------------------------|--|
| | Požadované hodnoty $U_{N,20}$ | Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ | Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ |
| Stěna vnější | 0,3 | těžká: 0,25 lehká: 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 |
| Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině | 0,45 | 0,3 | 0,22 až 0,15 |
| 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 |

Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí se vypočítá za vztahu:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (1.6.2)$$

Kde: R_{si} – Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

R – Tepelný odpor konstrukce $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

R_{se} – Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $\left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

U jednovrstvých konstrukcí se součinitel prostupu tepla počítá jako součet převrácených hodnot odporu konstrukce R , odporu při přestupu tepla na vnitřní (R_{si}) a vnější (R_{se}) straně konstrukce viz vztah (1.6.2). Hodnoty R_{si} a R_{se} lze stanovit výpočtem anebo dle normových tabulek viz tabulka č. 5. U vícevrstvých konstrukcí se sečtou odpory jednotlivých vrstev konstrukce. [6] [7]

Tabulka č. 5 – Tabulka tepelných odporů při přestupu tepla, zdroj: [13]

| Povrch | Účel výpočtu | Konstrukce / povrch | Tepelný odpor při přestupu tepla R_{se} a R_{si} [$m^2 \cdot K/W$] |
|---------|--|----------------------------|---|
| vnější | souč. prostupu tepla, povrchové teploty | jednoplášťová | 0,04 |
| | | dvouplášťová | stejně jako R_{si} |
| zemina | | styk se zeminou | 0 |
| vnitřní | souč. prostupu tepla, tepelné toky | stěna (horizont. tep. tok) | 0,13 |
| | | střecha (tep. tok vzhůru) | 0,10 |
| | | podlaha (tep. tok dolů) | 0,17 |

Do výpočtu součinitele prostupu tepla se započítává i vliv tepelných mostů a dalších faktorů ovlivňující vyšší tepelný tok v konstrukci.

Výpočet tepelného odporu konstrukce R závisí na tloušťce hodnocené konstrukce a na součiniteli tepelné vodivosti za vztahu (1.6.3):

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (1.6.3)$$

Kde: d – tloušťka vrstvy konstrukce [m]

λ – součinitel tepelné vodivosti konstrukce $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

Při výpočtu odporu konstrukce musíme počítat s návrhovou (výpočtovou) hodnotou součinitele tepelné vodivosti λ_n viz ČSN 730540–3: Tepelná ochrana budov – Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování. Všechny ostatní hodnoty se musí přepočítat pomocí součinitele ZTM – čísel tepelných mostů (vliv vlhkosti, kotvení, ...).

1.7 Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}

Jedním z parametrů, který se užívá při hodnocení energetické náročnosti. Tato veličina udává pouze tepelněizolační vlastnost obálky budovy, bez přihlédnutí na zdroje tepla či vlivu vnějších klimatických podmínek dle vztahu (1.7.1). Jedná se o průměrnou měrnou tepelnou ztrátu obálky na 1 m² při rozdílu teplot 1 K. Průměrný součinitel prostupu tepla se stanovuje buď pro celý objekt nebo jeho vytápěnou část. [4]

Hodnocená budova musí splnit podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (1.7.1)$$

Kde: U_{em} – Průměrný součinitel prostupu tepla budovy nebo její části $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

$U_{em,N}$ – Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla budovy nebo její části $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

Požadované hodnoty U_{em} lze stanovit:

- a) Pro budovy s převažující vnitřní návrhovou teplotou v rozmezí od 18 do 22 °C lze určit hodnotu z tabulky dle ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky viz tabulka č. 6.

Tabulka č. 6 – Tabulka požadovaných hodnot průměrného součinitele prostupu tepla, zdroj: [4]

| | Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20}$ [W/(m ² *K)] |
|--------------------|---|
| Nové obytné budovy | Výsledek výpočtu podle $U_{em,N,20} = \Sigma(U_{N,j} \cdot A_i \cdot b_i) / \Sigma A_j + 0,02$, nejvýše však 0,5 |
| Ostatní budovy | Výsledek výpočtu podle $U_{em,N,20} = \Sigma(U_{N,j} \cdot A_i \cdot b_i) / \Sigma A_j + 0,02$, nejvýše však hodnota: -pro objemový faktor tvaru: $A/V \leq 0,2$: $U_{em,N,20} = 1,05$ $A/V > 1,0$: $U_{em,N,20} = 0,45$ -pro ostatní hodnoty A/V : $U_{em,N,20} = 0,30 + 0,15 / (A/V)$ |

b) Pro budovy s odlišnými návrhovými vnitřními teplotami se hodnota určí ze vztahu:

$$U_{em,N} = U_{em,N,20} * e_1 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (1.7.2)$$

Kde : $U_{em,N,20}$ – Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla viz tabulka č.6 $\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$

e_1 – součinitel typu budovy

Průměrný součinitel prostupu tepla hodnocené budovy se spočítá:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{\sum A_i * U_i * b_i + A * \Delta U_{tbn}}{A} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (1.7.3)$$

Kde: H_T – Měrný tepelný tok prostupem tepla $\left[\frac{W}{K} \right]$

A – Celková plocha obálky ohraničující vytápěný objem objektu nebo jeho části $[m^2]$

U_i – Součinitel prostupu tepla i-té konstrukce $\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$

A_i – Plocha i-té konstrukce ohraničující vytápění prostor $[m^2]$

b_i – Teplotní redukční čísel i-té konstrukce [-]

ΔU_{tbn} – Průměrný vliv tepelných vazeb na hranici budovy nebo její části $\left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$

Tabulka č. 7 – Tabulka klasifikace tepelné obálky, zdroj: [4]

| Klasifikační třídy | Kód barvy (CMYK) | Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em} $[W/(m^2 \cdot K)]$ | Slovní vyjádření klasifikační třídy | Klasifikační ukazatel CI |
|--------------------|------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| A | X0X0 | $U_{em} \leq 0,5 \cdot U_{em,N}$ | Velmi úsporná | $\Leftrightarrow 0,5$ |
| B | 70X0 | $0,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 0,75 \cdot U_{em,N}$ | Úsporná | $\Leftrightarrow 0,75$ |
| C | 30X0 | $0,75 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq U_{em,N}$ | Vyhovující | $\Leftrightarrow 1,0$ |
| D | 00X0 | $U_{em,N} < U_{em} \leq 1,5 \cdot U_{em,N}$ | Nevyhovující | $\Leftrightarrow 1,5$ |
| E | 03X0 | $1,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,0 \cdot U_{em,N}$ | Nehospodárná | $\Leftrightarrow 2,0$ |
| F | 07X0 | $2,0 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,5 \cdot U_{em,N}$ | Velmi nehospodárná | $\Leftrightarrow 2,5$ |
| G | 0XX0 | $U_{em} > 2,5 \cdot U_{em,N}$ | Mimořádně nehospodárná | $\Leftrightarrow 2,5$ |

Dle tabulky č. 7 se klasifikují veškeré posuzované objekty. Klasifikace pasivních objektů spadá do klasifikační třídy A – velmi úsporná.

1.8 *Lineární tepelné mosty Ψ a bodové tepelné mosty χ*

Tepelné mosty jsou místa v obálce budovy, kde je tepelný tok nejvyšší stejně jako tepelné ztráty, které mají negativní vliv na celkovou energetickou bilanci objektu. Mohou mít energetické, ekonomické, hygienické, ale i statické důsledky na celou stavbu. V interiéru v tomto místě klesá teplota a roste relativní vlhkost až po rosný bod (nasyčená vlhkost ve vzduchu se mění z plynného skupenství na kapalinu a vlhkost zkondenzuje). Zvýšená vlhkost ve vnitřním prostředí může mít za následek vznik plísní, které mohou mít u uživatelů objektu za následek vznik různých onemocnění.

Pro splnění podmínek pro pasivní dům je nutné mít projekt, který neobsahuje tepelné mosty. V opačném případě je nutné tepelné mosty přerušit vhodným řešením, které ho vyloučí nebo minimalizuje. Kvalitu provedení stavby a existenci tepelných mostů lze ověřit buď termovizní kamerou nebo testem neprůvzdušnosti.

Rozlišujeme dva základní typy tepelných mostů a to lineární $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$ a bodové $\left(\frac{W}{K}\right)$ tepelné mosty. Oba typy tepelných mostů musí splňovat požadované hodnoty dle normy ČSN EN 73 0540 viz tabulka č.8.

Tabulka č. 8 – Požadované a doporučené hodnoty lineárního a bodového činitele prostupu tepla tepelných vazeb mezi konstrukcemi, zdroj: [4]

| Typ lineární tepelné vazby | Lineární činitel prostupu tepla [W/(m·K)] | | |
|---|--|------------------------------------|---|
| | Požadované hodnoty Ψ_N | Doporučené hodnoty Ψ_{rec} | Doporučené hodnoty pro pasivní budovy Ψ_{pas} |
| Vnější stěna navazující na další konstrukci s výjimkou výplně otvoru, např. na základ, strop nad nevytápěným prostorem, jinou vnější stěnu, střechu, lodžii či balkon, markýzu či arkýř, vnitřní stěnu a strop (při vnitřní izolaci), aj. | 0,20 | 0,10 | 0,05 |
| Vnější stěna navazující na výplň otvoru, např. na okno, dveře, vrata a část prosklené stěny v parapetu, bočním ostění a v nadpraží | 0,10 | 0,03 | 0,01 |
| Střecha navazující na výplň otvoru, např. střešní okno, světlík, poklop výlezu | 0,30 | 0,10 | 0,02 |
| Typ bodové tepelné vazby | Bodový činitel prostupu tepla [W/K] | | |
| | χ_N | χ_{rec} | χ_{pas} |
| Průnik tyčové konstrukce (sloupy, nosníky, konzoly, apod.) vnější stěnou, podhledem nebo střešou | 0,4 | 0,1 | 0,02 |

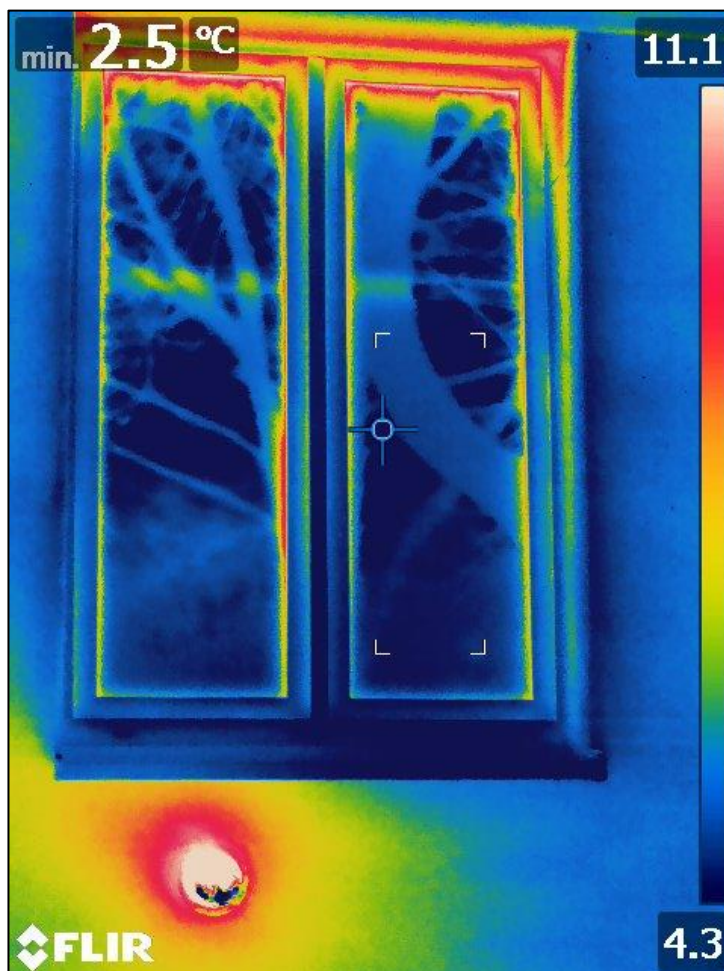
Typickými **lineárními mosty** jsou např. styky konstrukcí (roh, kout, obvodová stěna s oknem, obvodová stěna se základem), místa se sníženou tepelně izolační schopností (nadokenní kastlík na žaluzie, železný překlad), místa s nedostatečnou tloušťkou izolační vrstvy.



Obrázek č. 5 – Ukázka lineárních a bodových tepelných mostů, zdroj: autorka DP

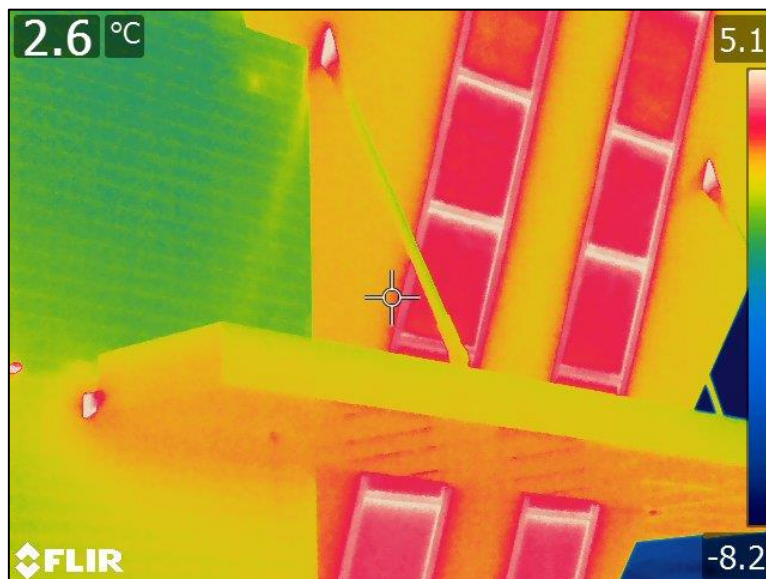
Na obrázku č. 5 je zateplený objekt (kromě soklu) 5 cm bílého polystyrénu se špaletovými okny. Největší úniky lze pozorovat v místě rámu oken, které tvoří lineární tepelný most. Dalším lineárním mostem je napojení stěny na střechu, napojení stěn v koutě a napojení vikýře na střechu a nezateplený sokl. Bodové tepelné mosty na obrázku tvoří kotvy kontaktního zateplovacího systému a větrání kanalizačního potrubí nad úrovní střechy. V levém horním rohu je na termosnímku zachycen kousek oblohy, který má za následek pokles teploty na $-11,2$ °C, teplota při měření byla kolem 3 °C.

Bodové tepelné mosty jsou například kotvy kontaktního zateplovacího systému bez termo úpravy viz obrázky č. 5, bodové ukotvení zavěšeného balkónu nebo stříšky a veškeré prostupy skrz obálku vytápěné zóny.



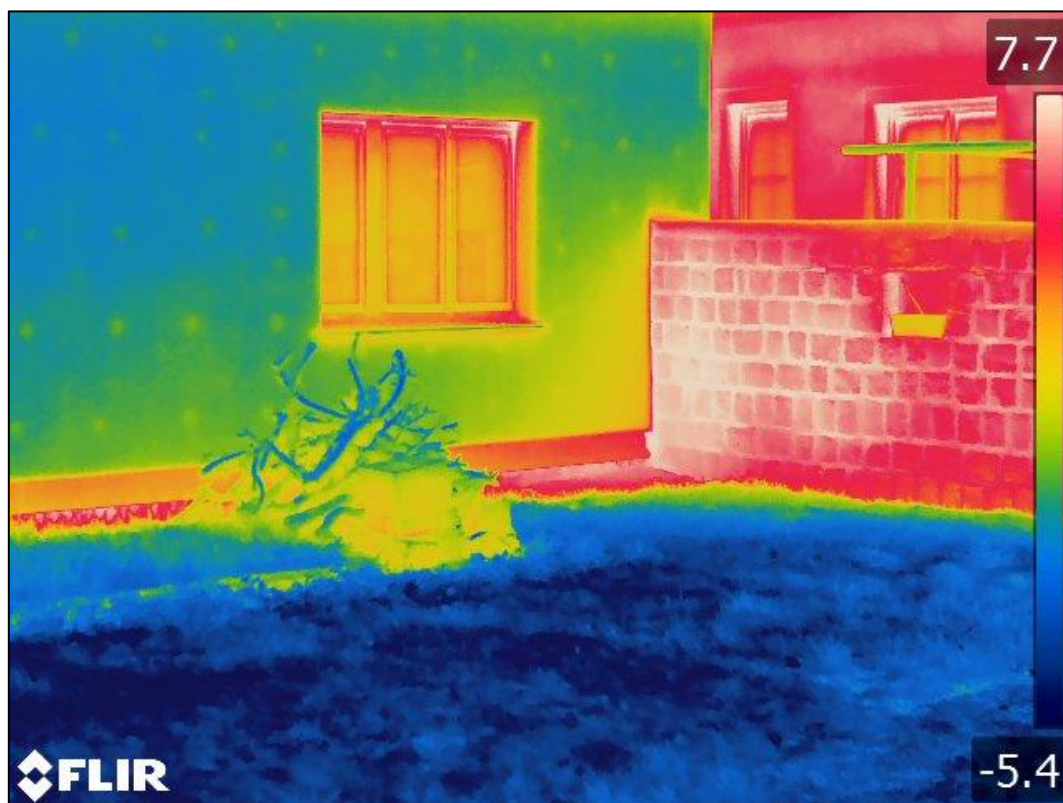
Obrázek č. 6 – Ukázka bodového tepelného mostu, zdroj: autorka DP

Na obrázku č. 6 je bodový tepelný most v místě vyústění výdechu lokálního plynového topidla na obvodové stěně. Velké tepelné úniky v horní části okna mohou být způsobeny netěsnostmi anebo otevřenou mikroventilací. Úniky na okraji zasklení po skoro celém obvodu jsou způsobeny tepelným mostem, a to distančním rámečkem.



Obrázek č. 7 – Ukázka lineárních a bodových tepelných mostů, zdroj: autorka DP

Na obrázku č. 7 jsou bodové tepelné mosty způsobené kotvením táhel zavěšeného přístřešku a v místě ukotvení přístřešku. Další tepelné mosty tvoří okna a největší tepelné úniky lze pozorovat v místě rámu. V pravém dolním rohu je na termo snímku zachycena obloha, které způsobila pokles teploty snímku na $-8,2^{\circ}\text{C}$.



Obrázek č. 8 – Ukázka tepelných mostů, zdroj: autorka DP

Na obrázku č. 8 lze pozorovat dva samostatně stojící objekty a zídku plotu. Objekt v popředí je zateplený na rozdíl od nezatepleného objektu v pozadí. Lze pozorovat výrazný rozdíl teplot obvodových konstrukcí jednotlivých objektů. U obou staveb jsou největší tepelné lineární úniky v místě oken a nejslabšími místy jsou okenní rámy. U objektu v popředí lze pozorovat velké tepelné úniky v místě propojení se zídkou plotu. Z důvodu tohoto spoje zídka a stěny objektu jsou zde velké úniky i po zateplení objektu. Na obrázku jsou patrné i bodové tepelné mosty způsobené kotvami kontaktního zateplovacího systému.

1.9 Lokalita umístění

Na celkovou energetickou náročnost objektu může mít vliv jak zeměpisné umístění, tak i samotné umístění objektu na pozemku. Dle zeměpisné polohy se budou lišit vnější klimatické podmínky – zatížení sněhem, větrem, Umístění v příznivé klimatické oblasti může ovlivnit velikost klimatického zatížení a s tím spojenou potřebnou tloušťku tepelné izolace a množství dodané energie na vytápění. Další parametr ovlivňující návrh je nadmořská výška, při jejím navýšení o 100 metrů klesá vnější teplota o 0,5 až 0,8 °C.

Ideální pozemek by měl mít na severní straně komunikaci, kam by se orientoval vchod a jiné studenější prostory. Objekt by měl být na pozemku umístěn nejblíže severní straně respektující odstupové vzdálenosti. Na jižní straně by se nacházel prostor pro zahradu, na kterou by navazovaly vnitřní obytné prostory. Důležitým faktorem je také velikost zastínění. Vliv může mít stávající zástavba a zeleň, které svým zastíněním snižují množství solárních zisků. Rozhodovat může i svažitost terénu. Při umístění v blízkosti vodní plochy lze očekávat menší výkyvy teploty vzduchu, díky akumulacím schopnostem vody. Negativním faktorem může být výskyt mlhy, který ztěžuje pronikání slunečních paprsků a solárních zisků k objektu.

1.10 Pohoda vnitřního prostředí

Pohoda vnitřního prostředí je stav, kdy osobám v hodnoceném prostoru není ani příliš zima ani příliš teplo a nevyskytují se zde žádné rušivé elementy např. pocit průvanu. Pro zachování příjemné teploty by se nemělo vytápět na více než 24 °C. Povrchová teplota podlahy by měla být mezi 19 a 26 °C. Nutné je zajistit také potřebnou výměnu vzduchu dle velikosti prostoru, počtu osob, odvodu škodlivin, zápachu, a zároveň nepřekračovat střední rychlost proudění vzduchu v hodnoceném prostoru vyšší než 0,25 m/s. Vertikální rozdíl teplot by neměl být více než 3 K tzn. teplota nad podlahovou plochou a teplota ve výšce 1,1m nad podlahou. V letních měsících by neměla teplota vzduchu překročit hodnotu 27 °C a zároveň u

klimatizovaných objektů by rozdíl teplot vnitřního klimatizovaného a venkovního prostředí neměl být větší než 10 °C.

Návrh jednotlivých konstrukcí je nutné provést tak, aby uvnitř nevznikala vlhkost. U konstrukcí, na které vlhkost nemá negativní vliv je možné připustit malé množství, které v letních měsících vyschne. Doporučená hodnota relativní vlhkosti vzduchu se pohybuje v letním období kolem 65 % a v zimním období 30 %. Příliš nízká nebo vysoká vlhkost by mohla mít za následek vznik různých onemocnění a vlhkost nad 70 % může způsobit růst plísní a hub. Jako optimální hodnota se udává rozmezí 40–50 procent.

U pasivních objektů díky kvalitní obálce je zaručeno dodržení maximální hodnoty hluku, a to 50 dB přes den a 40 dB v noci. Pro vzduchotechnickou jednotku platí maximální hodnota 35 dB.

PRAKTICKÁ ČÁST

2 Analýza vlivu objemového faktoru a ideálního tvaru

Už na první pohled lze odlišit standardní rodinný dům od pasivního domu jeho tvarovou jednoduchostí. Cílem hledání ideálního tvaru pro pasivní budovy je nalezení takového rozložení objemu v prostoru s minimem ochlazovaných ploch a hran (potenciální tepelné mosty). Velkou část ovlivňující potřebu energie na vytápění objektu má právě jeho kompaktnost a minimální členitost. Z tohoto pohledu je ideální podoba objektu koule, tvořená jednou celistvou plochou s absencí hran. Z ekonomického a realizačního hlediska je koule pro běžnou výstavbu nepraktická.

Pro hledání ideálního tvaru objektů se standardem pasivní dům bylo porovnáno několik základních geometrických útvarů. Tvary budou porovnávány z hlediska objemového faktoru a dle vánosnosti solární energie. Všechny porovnávané tvary mají stanovený jednotný objem $V = 2000 \text{ m}^3$ pro možnost porovnávání.

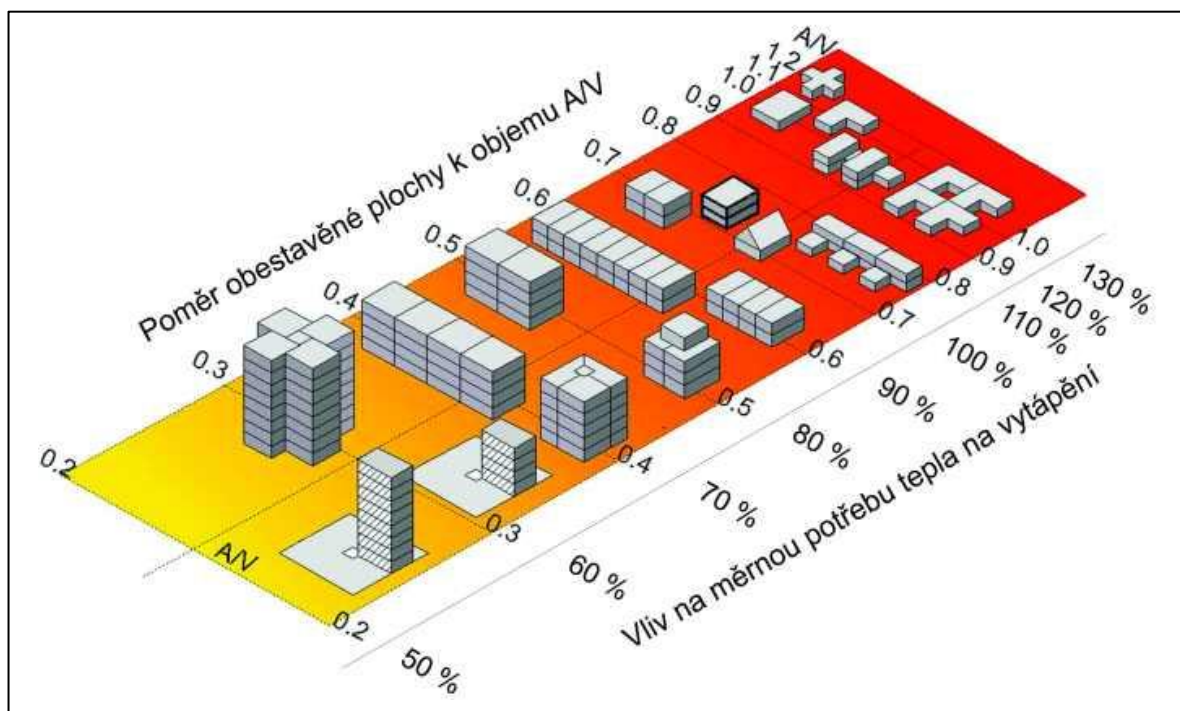
2.1 Objemový faktor

Už jen díky vhodně vymyšlenému architektonickému návrhu lze minimalizovat tepelné ztráty. Toho lze docílit vhodným rozmístěním objemu stavby a minimalizováním ochlazovaných ploch obálky objektu. Z toho důvodu budou řadové domy vycházet lépe, než samostatně stojící bungalov a 10 patrový objekt bude mít lepší výsledky v objemovém faktoru, než dvoupodlažní stavba. Díky nižším hodnotám objemového faktoru lze očekávat i menší potřebu energie na vytápění. Když nelze docílit dostatečného objemového faktoru, je nutné zlepšit součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí U pro dosažení lepších výsledků průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} . Z tohoto důvodu je realizace balkónů, sklepů a jiných vyčnívajících konstrukcí nevhodná. Kompaktnost objektu lze spočítat z poměru (2.1.1):[1]

$$\text{Objemový faktor: } \frac{A}{V} \quad \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \text{ nebo } \frac{1}{\text{m}^1} \right] \quad (2.1.1)$$

Kde: A – Vnější ochlazovaná plocha objektu [m^2]

V – Celkový objem budovy určený z vnějších rozměrů [m^3]



Obrázek č. 9 – Poměr obestavěné plochy k objemu a vliv na měrnou potřebu tepla na vytápění, zdroj: [3]

Porovnávání geometrické tvary:

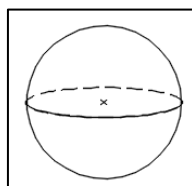
Sedm základních tvarů je seřazeno od nejlepšího po nejhorší, dle výsledků poměru objemového faktoru (2.1.1).

KOULE

$r = 7,816 \text{ m}; S = A = 767,68 \text{ m}^2;$

$V = 2000,06 \text{ m}^3$

$\frac{A}{V} = \frac{767,68}{2000,06} = 0,38 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$



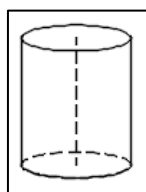
Obrázek č. 10 – koule, zdroj: autorka DP

VÁLEC

$r = 7,11 \text{ m}; v = 12,6 \text{ m};$

$S = A = 880,07 \text{ m}^2; V = 2000,04 \text{ m}^3$

$\frac{A}{V} = \frac{880,07}{2000,04} = 0,44 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$



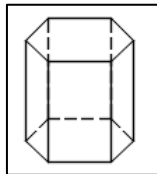
Obrázek č. 11 – válec, zdroj: autorka DP

PRAVIDELNÝ ŠESTIBOKÝ HRANOL

$$n= 6; a= 7,816 \text{ m}; v= 12,6 \text{ m};$$

$$S = A = 908,376 \text{ m}^2; V = 2000 \text{ m}^3$$

$$\frac{A}{V} = \frac{908,376}{2000} = 0,45 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$



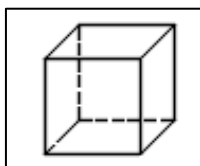
Obrázek č. 12 –pravidelný šestiboký hranol, zdroj: autorka DP

KRYCHLE

$$a= 12,6 \text{ m}; S = A = 952,56 \text{ m}^2;$$

$$V = 2000,38 \text{ m}^3$$

$$\frac{A}{V} = \frac{952,56}{2000,38} = 0,48 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$



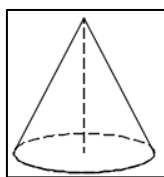
Obrázek č. 13 –krychle, zdroj: autorka DP

ROTAČNÍ KUŽEL

$$r= 10 \text{ m}; v= 19,11 \text{ m}; p= 21,57 \text{ m};$$

$$S = A = 991,298 \text{ m}^2; V = 2000,18 \text{ m}^3$$

$$\frac{A}{V} = \frac{991,298}{2000,18} = 0,50 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$



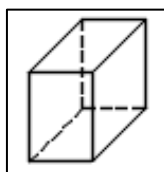
Obrázek č. 14 –rotační kužel, zdroj: autorka DP

KVÁDR

$$a= 8,4 \text{ m}; b= 12,6 \text{ m}; c= 18,89;$$

$$S = A = 1005,331 \text{ m}^2; V = 2000 \text{ m}^3$$

$$\frac{A}{V} = \frac{1013,99}{2000} = 0,50 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$



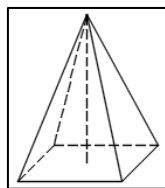
Obrázek č. 15 –kvádr, zdroj: autorka DP

JEHLAN ČTYŘBOKÝ

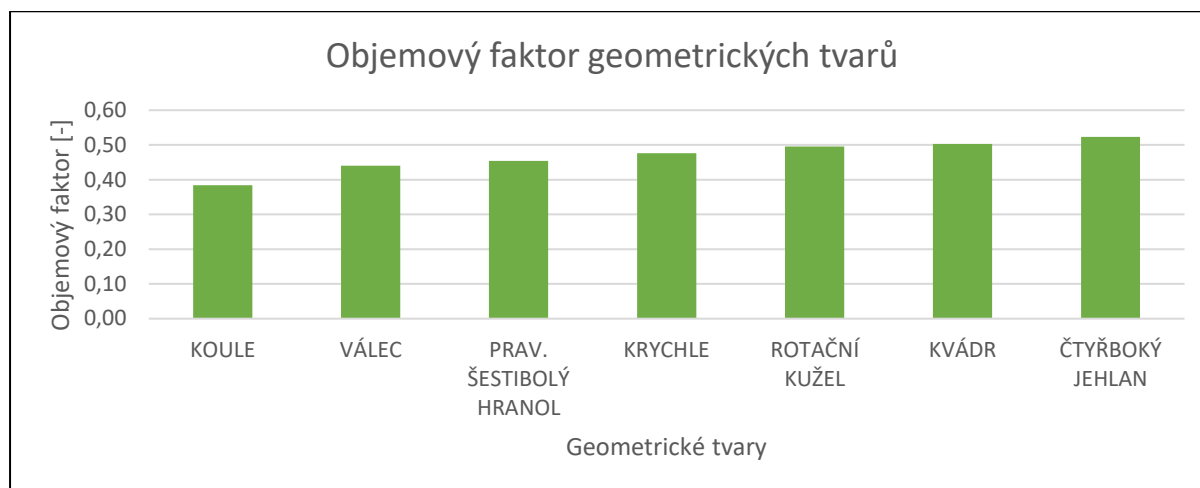
$v = 23 \text{ m}$; $a = 16,16 \text{ m}$;

$S = A = 1048,3 \text{ m}^2$; $V = 2002,12 \text{ m}^3$

$$\frac{A}{V} = \frac{1048,3}{2002,12} = 0,52 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right]$$



Obrázek č. 16 – čtyřboký jehlan, zdroj: autorka DP



Graf č. 2 – Výpis jednotlivých geometrických tvarů dle objemového faktoru, zdroj: autorka DP

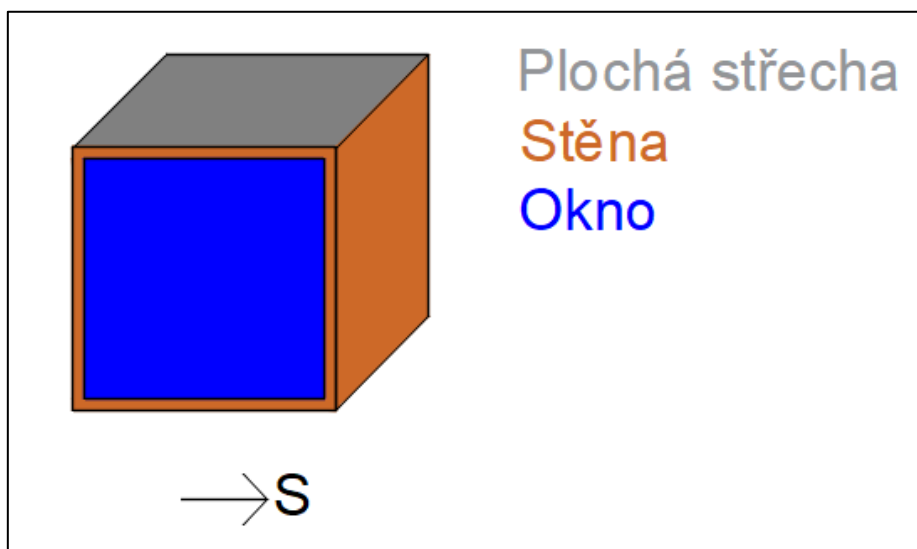
Vyhodnocení výsledků:

Z analýzy objemových faktorů sedmi hodnocených geometrických obrazců viz graf č. 1 vycházejí jako nejlepší tvary koule a válec. Tyto tvary jsou z realizačního, ekonomického i dispozičního hlediska nevhodné. Pravidelný šestiboký hranol díky své podobnosti válci vyšel jako třetí nejlepší tvar. Krychle a kvádr mají horší výsledky objemového faktoru než šestiboký hranol, ale z pohledu menšího počtu hran a rohů s úhlem 45° jsou pro typizovanou výstavbu vhodnější. Rotační kužel i přes jeho výsledky je také nevhodný z hlediska realizace jako koule a válec. Z výsledků čtyřbokého jehlanu, který je na posledním místě z porovnávaných geometrických tvarů, je patrné, že objekty s plochou střechou budou mít nejspíše lepší výsledky než se střechou valbovou.

Pro další porovnávání z hlediska solárních zisků budou použity pouze tři tvary, které jsou vhodné z konstrukčního a ekonomického hlediska pro běžnou výstavbu: pravidelný šestiboký hranol, krychle a kvádr.

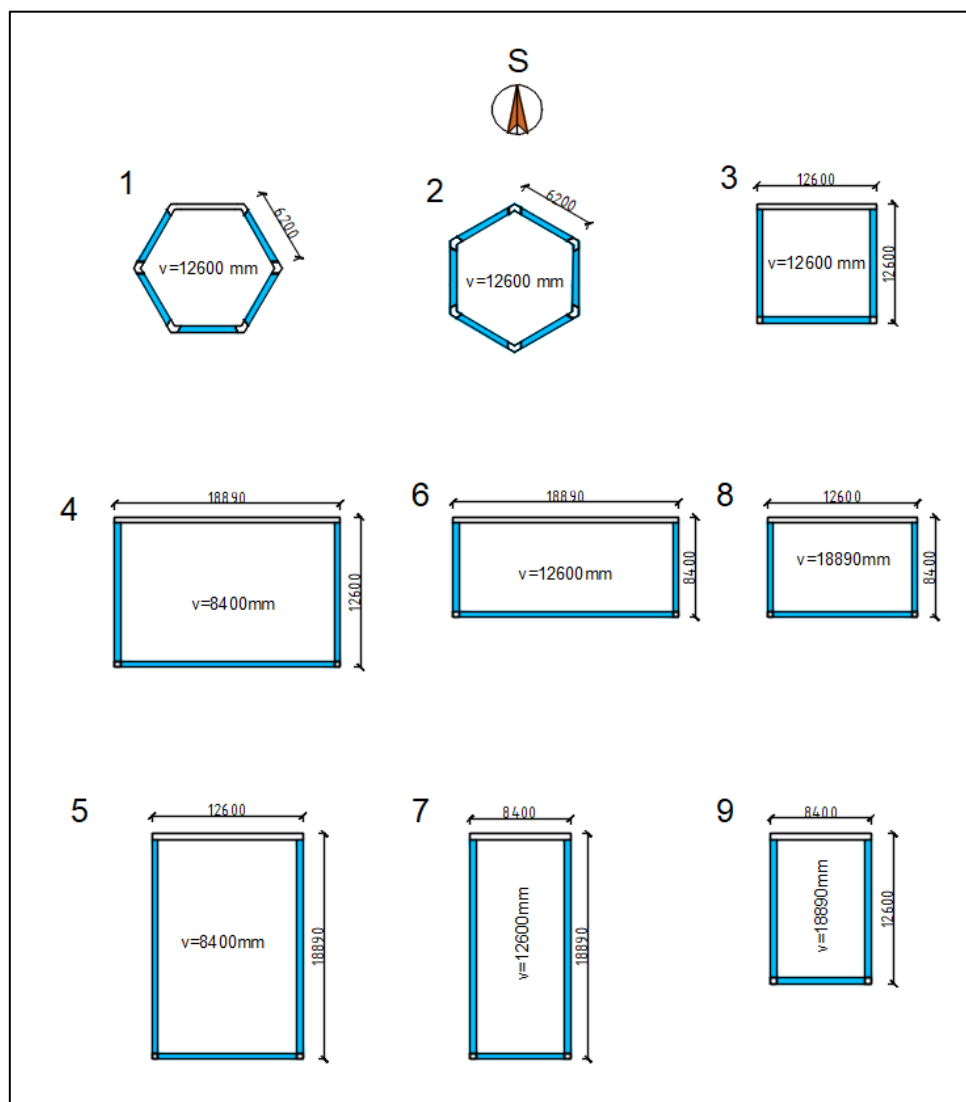
2.2 Porovnání vybraných tvarů dle solárních zisků

Solární zisky jsou důležité pasivní energetické zisky, které objekt získává přes průhledné konstrukce – okna. Množství solárních zisků ovlivňují vlastnosti zasklení. Pro výpočet jsou vlastnosti všech prosklených ploch uvažovány stejné pro všechny tvary. Negativní vliv může mít zastínění a ve výpočtu je uvažováno s ideálními podmínkami bez stínění. Pro maximální využití ploch obrazců je plocha stěn uvažována jako „okno“. A rám okna tvoří stěna v tloušťce konstrukce 0,5 m viz obrázek č. 17.



Obrázek č. 17 – Koncepce výpočtu solárních zisků, zdroj: autorka DP

Strana orientovaná na sever bude celá uvažována jako stěna z důvodu minimálních solárních zisků a velkých tepelných ztrát během zimního období viz obrázek č. 17. Z tohoto důvodu jsou plochy oken u stejných obrazců rozdílné dle jeho natočení. Pro zjednodušený výpočet solárních zisků vybraných obrazců byl použit excelový program NKN.



Obrázek č. 18 – Schéma posuzovaných tvarů a jejich natočení k severní straně, modré plochy značí okna, zdroj: autorka DP

V tabulce č.9 jsou geometrické tvary seřazené dle předchozích výsledků objemového faktoru. Plocha oken je u jednotlivých tvarů rozdílná z důvodu různé orientace na světové strany. Výnosnost solárních zisků je posuzována dle plochy oken a podlahové plochy jednotlivých tvarů.

Tabulka č. 9 – Porovnání geometrických tvarů dle výnosnosti solárních zisků, zdroj: autorka DP

| Geometrický tvar | Pravidelný šestiúhelník | | Krychle | Kvádr | | | | | |
|--|-------------------------|---------|---------|-------------|--------|--------------|---------|-------------|---------|
| | 1 | 2 | | Výška 8,4 m | | Výška 12,6 m | | Výška 18,89 | |
| Označení | | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Ochlazovaná plocha [m ²] | 908,376 | | 952,56 | 1013,99 | | | | | |
| Celkový objem [m ³] | 2000 | | 2000 | 2000 | | | | | |
| Objemový faktor [-] | 0,45 | | 0,48 | 0,5 | | | | | |
| Solární zisky [kWh/rok] | 136443 | 155744 | 149358 | 115612 | 126627 | 148409 | 177173 | 179756 | 197523 |
| Plocha oken [m ²] | 395,3 | 474,6 | 403,68 | 304 | 350 | 379,1 | 500,8 | 472,3 | 547,4 |
| Plocha stěn [m ²] | 195,644 | 116,344 | 231,36 | 233,99 | 187,99 | 317,49 | 195,79 | 330,01 | 254,91 |
| Plocha střechy [m ²] | 158,716 | | 158,76 | 238 | | 158,7 | | 105,84 | |
| Podlahová plocha [m ²] | 136,1 | | 134,56 | 207,524 | | 132,386 | | 85,84 | |
| Solární zisky na 1 m ² podlahové plochy [kWh/rok] | 1002,52 | 1144,34 | 1109,97 | 557,10 | 610,18 | 1121,03 | 1338,31 | 2094,08 | 2301,06 |
| Solární zisky na 1 m ² plochy oken [kWh/rok] | 345,16 | 328,16 | 369,99 | 380,30 | 361,79 | 391,48 | 353,78 | 380,60 | 360,84 |

Tabulka č. 10 – Porovnání geometrických tvarů z hlediska výnosnosti solárních zisků na podlahovou plochu, zdroj: autorka DP

| | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 9 | 8 | 7 | 2 | 6 | 3 | 1 | 5 | 4 |
| 2301,06 | 2094,08 | 1338,31 | 1144,34 | 1121,03 | 1109,97 | 1002,52 | 610,18 | 557,10 |

Tabulka č. 11 – Porovnání geometrických tvarů z hlediska výnosnosti solárních zisků na plochu oken, zdroj: autorka DP

| | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6 | 8 | 4 | 3 | 5 | 9 | 7 | 1 | 2 |
| 391,48 | 380,60 | 380,30 | 369,99 | 361,79 | 360,84 | 353,78 | 345,16 | 328,16 |

Vyhodnocení dle množství solárních zisků na podlahovou plochu dle tabulky č. 10: Největší výnosnost solárních zisků mají případy 9 a 8, které mají nejmenší podlahovou plochu a zároveň nejvyšší solární zisky. Nejmenší výnosnost mají případy 4 a 5, které mají největší podlahovou plochu. Ostatní případy víceméně odpovídají velikosti podlahové plochy.

Vyhodnocení dle množství solárních zisků na plochu oken dle tabulky č. 11: Největší množství solárních zisků na plochu oken má kvádr konkrétně případy 6, 8 a 4. Z tohoto výsledků vyplývá, že největších solárních zisků lze dosáhnout při natočení delší strany na jih a kratší na východ a západ. Nejhorších výsledků dosáhl pravidelný šestiboký hranol a to o 16% nižší hodnotou solárních zisků než nejvýnosnější případ 6. Krychle sice vychází lépe z hlediska objemového faktoru, ale má menší solární zisky, které jsou pro pasivní objekty zásadní.

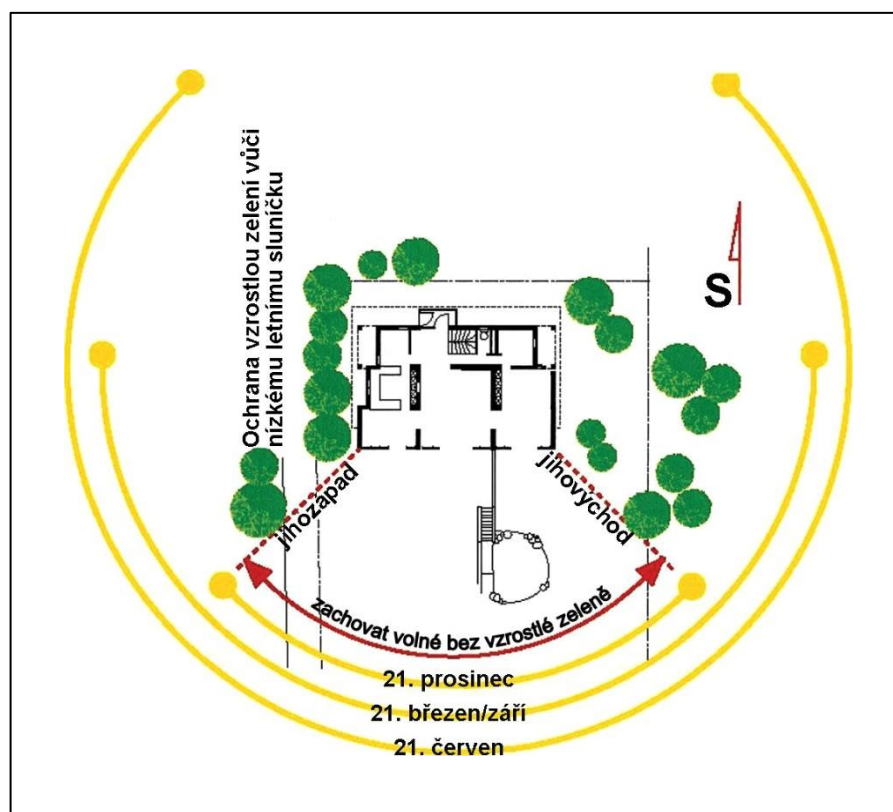
Krychle a kvádr měly horší výsledky při hodnocení objemovým faktorem než šestiboký pravidelný hranol, ale dosahují lepších výsledků při hodnocení dle solárních zisků. Pravidelný šestiúhelník má nejhorší výsledky z hlediska solárních zisků. S přihlédnutím na počet hran a největší konstrukční náročnost, je nevhodným tvarem pro běžnou výstavbu pasivních domů.

Z hlediska větších solárních zisků a větší vnitřní dispoziční variability je kvádr vhodnějším tvarem pro pasivní objekty. Hned druhým nejlepším tvarem je krychle.

3 Analýza orientace domu na světové strany

Při použití vhodného tvaru lze dosáhnout různých výsledků bez změny vlastností, vnějších nebo vnitřních podmínek. Různým použitím jednoho stejného tvaru lze dosáhnout rozdílných hodnot solárních zisků. Rozdílná hodnota záleží na orientaci budovy a prosklených ploch ke světovým stranám. Plochou a orientací průsvitných ploch lze ovlivnit tepelné zisky, ztráty a celkovou bilanci budovy.

Dalším aspektem ovlivňující hodnotu solárních zisků je i roční období, které ovlivňuje délku trasy, úhel slunečního svitu a intenzitu jeho záření. Z toho důvodu je nutné klást důraz na výběr správného umístění objektu na pozemku a případně tím eliminovat negativní zastínění. V letním období je trasa slunce nejdelší a solární zisky všech světových stran jsou největší, dosahují od severovýchodní až po severozápadní světovou stranu. Na podzim a na jaře se trasa zkracuje, a to od východu k západu. V zimě je trasa slunce nejkratší a je omezena pouze od jihozápadu až po jihovýchod viz obrázek č. 19. [1]



Obrázek č. 19 – Schéma trasy slunce v průběhu roku, zdroj: [14]

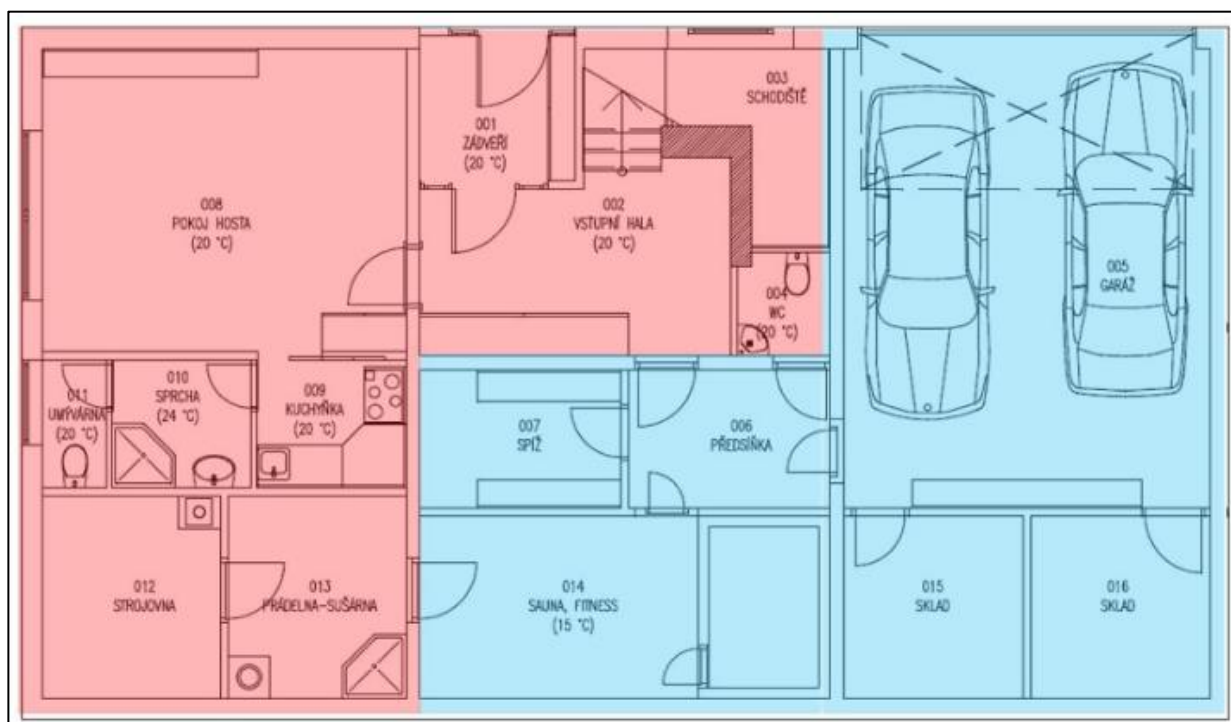
Z energetických obnovitelných zdrojů jsou nejdůležitější právě pasivní solární zisky. Je důležité uvažovat při umístění objektu na pozemku i možné nežádoucí stínění prosklených ploch stávající zástavbou či zelení, které by mohly výrazně solární zisky snížit.

Největších solárních zisků je možno docílit při orientaci největší prosklené plochy na jižní stranu, kde zásadně převažují tepelné zisky okny nad jejich tepelnými ztrátami. Naopak minimální nebo žádné prosklené plochy by měly být na severní stranu, kde jsou sluneční zisky minimální. Při pootočení prosklené jižní fasády o 90° na východ nebo západ, lze pozorovat úbytek solárních zisků. Hodnota se bude lišit podle plochy oken. Při dalším otáčení bude úbytek narůstat. Dle celkového orientování objektu se odvíjí i vnitřní dispozice.

3.1 Vnitřní dispozice

Vnitřní dispozici by měla odpovídat vnější fasádě a její orientaci vůči světovým stranám. Umístění na pozemku ke světovým stranám, rozložení a velikost oken, dle provozu, ... Na návrh vnitřní dispozice má hlavní vliv teplotní zónování. Základní rozdělení vnitřní dispozice je na vytápěné a nevytápěné zóny, popřípadě pak temperované. V temperovaných prostorech není předpokládán pobyt osob. Teplota je vyšší než výpočtová venkovní a zároveň je výrazně nižší než ve vytápěném prostoru. Prostor je většinou vytápěn na hodnotu nižší než 15 °C přímo v zóně topným tělesem anebo nepřímo tepelnými ztrátami z ostatních vytápěných prostor. Pro zamezení tepelných ztrát z teplých provozů do studených je nutné tyto provozy oddělit konstrukcí s dostatečnými tepelně izolačními vlastnostmi.

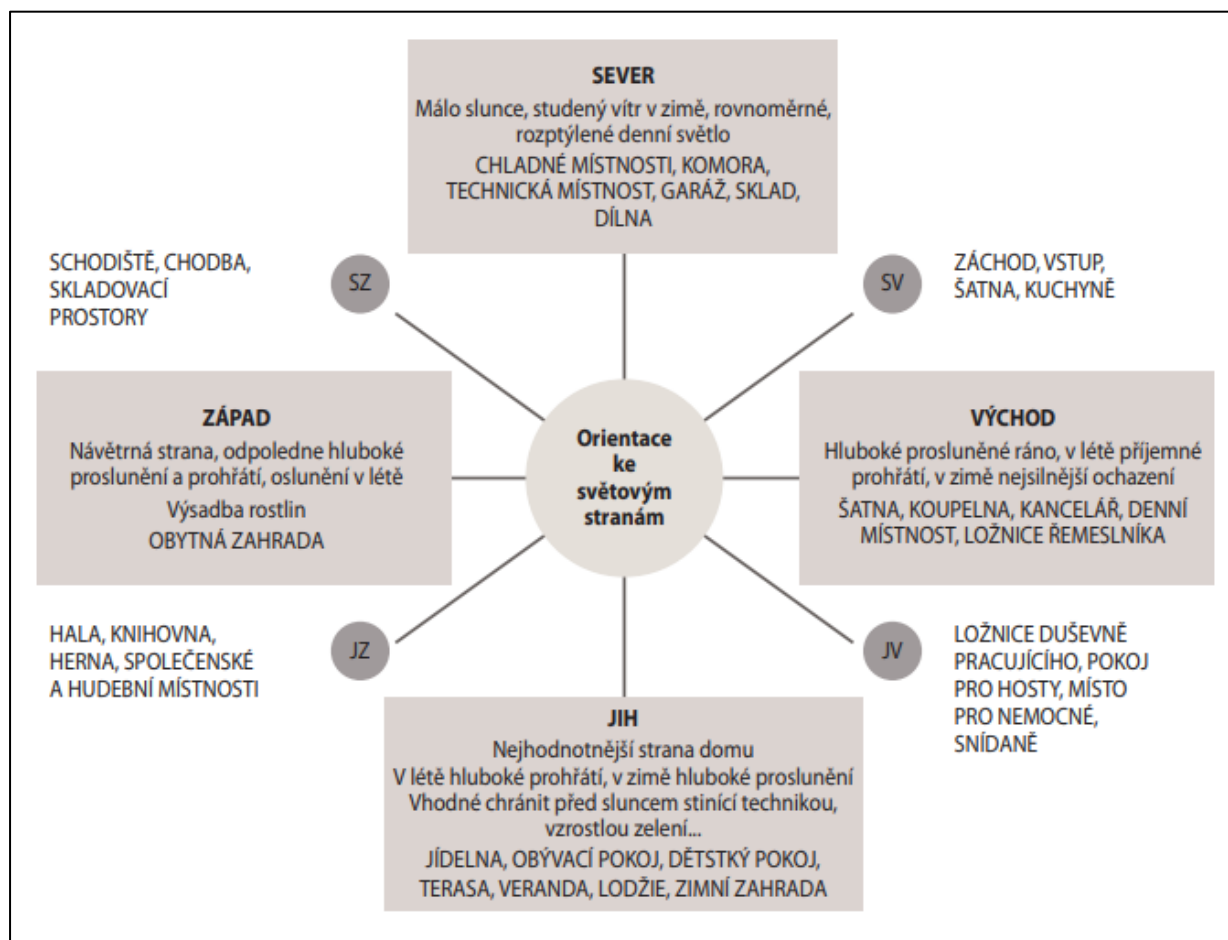
Na obrázku č. 20 je rodinný dům rozdělený do dvou barevně oddělených zón. Modrá barva značí nevytápěnou zónu, kde se nachází garáž a sklady. V zóně je jedna temperovaná místností (sauna, fitness) na teplotu 15°C. Červená barva značí vytápěnou část objektu, do které spadá i strojovna a prádelna z důvodu vlastností dělicí konstrukce. Teplejší prostory jako je koupelna (24°C) je vhodné umístit dále od hranice vytápěné zóny. Tepelné ztráty nejsou tak velké jako kdyby koupelna byla umístěna vedle nevytápěného prostoru např. garáže.



Obrázek č. 20 – Zónování rodinného domu, modrá tvoří nevytápěnou část a červená vytápěnou, zdroj: [17]

Dalším faktorem dělení vnitřního prostoru je způsob užívání, potřeba denního osvětlení a další. Největší prosklené plochy by měly být orientované na jih a jihozápad, kde se umístí užívané prostory pro pobyt osob. U jižní strany bude umístěna teplá zóna s dostatkem solárních zisků. Naopak na severní stranu orientovat pouze minimální nebo žádné prosklené plochy. Severní strana z důvodu minimálních solárních zisků je vhodnější pro studené prostory. Při nedodržení teplých a studených zón by se zvětšovaly náklady na vytápění a na tepelněizolační nároky jednotlivých dělicích konstrukcí. Místnosti s potřebou teplé vody je vhodné umístit blízko sebe nebo nad sebou, pro snížení tepelných ztrát příliš dlouhými rozvody. [6]

U budov s celou prosklenou fasádou, například administrativní budovy se vnitřní dispozice může trochu měnit. Z důvodu velkých prosklených ploch lze očekávat až negativně velké solární zisky, které by zvyšovaly náklady na chlazení objektu. V tomto případě je vhodnější pro zamezení přehřívání na jih orientovat komunikační prostory a kanceláře na ostatní strany s vnější stínící technikou. Obecně jsou místnosti s okny vhodné pro pobyt osob, z tohoto důvodu jsou komunikační prostory uvnitř dispozice a objekt má dostatečný stínící systém.



Obrázek č. 21 – Vnitřní rozmístění dispozice dle orientace ke světovým stranám, zdroj:[11]

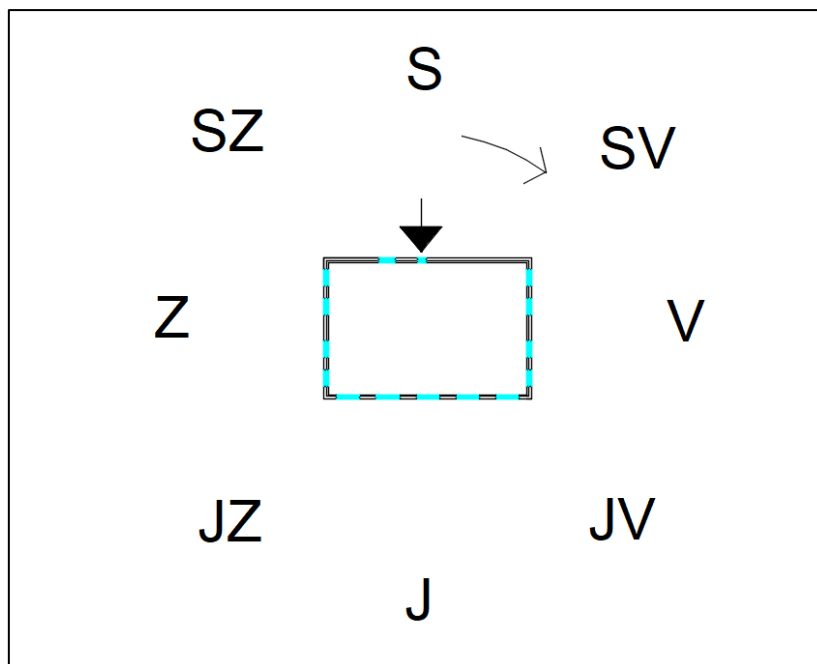
3.2 Vliv natočení budovy na solární zisky

Pro účely výpočtu vlivu natočení budovy ke světovým stranám na množství solárních zisků, byl stanoven jednotný objekt administrativní budovy viz výkresová příloha č.1. Objekt má čtyři nadzemní podlaží a je nepodsklepený s plochou střechou. Pro zjednodušení je objekt počítán jako jedna zóna o vnitřní výpočtové teplotě 20°C. Půdorysné rozměry budovy jsou 17x 25 m a výška budovy je 14,23 m.

Plocha prosklených ploch orientovaná na jih činí necelých 40 %, větší procento by mělo za následek přílišné solární zisky a přehřívání objektu. Okna orientovaná na západní a východní stranu tvoří necelých 20% fasády. Velikost oken orientovaných na západní a východní stranu jsou shodná. Na severní fasádě je minimální procento prosklených ploch 6 % z důvodu převažujících tepelných ztrát.

Vstup do administrativní budovy je orientovaný na sever viz šipka na obrázku č. 22. Pro všechny případy natočení zůstaly veškeré vstupní údaje včetně vlastností vnějších konstrukcí, technologie a velikost prosklených ploch shodné. Při analýze byla budova postupně

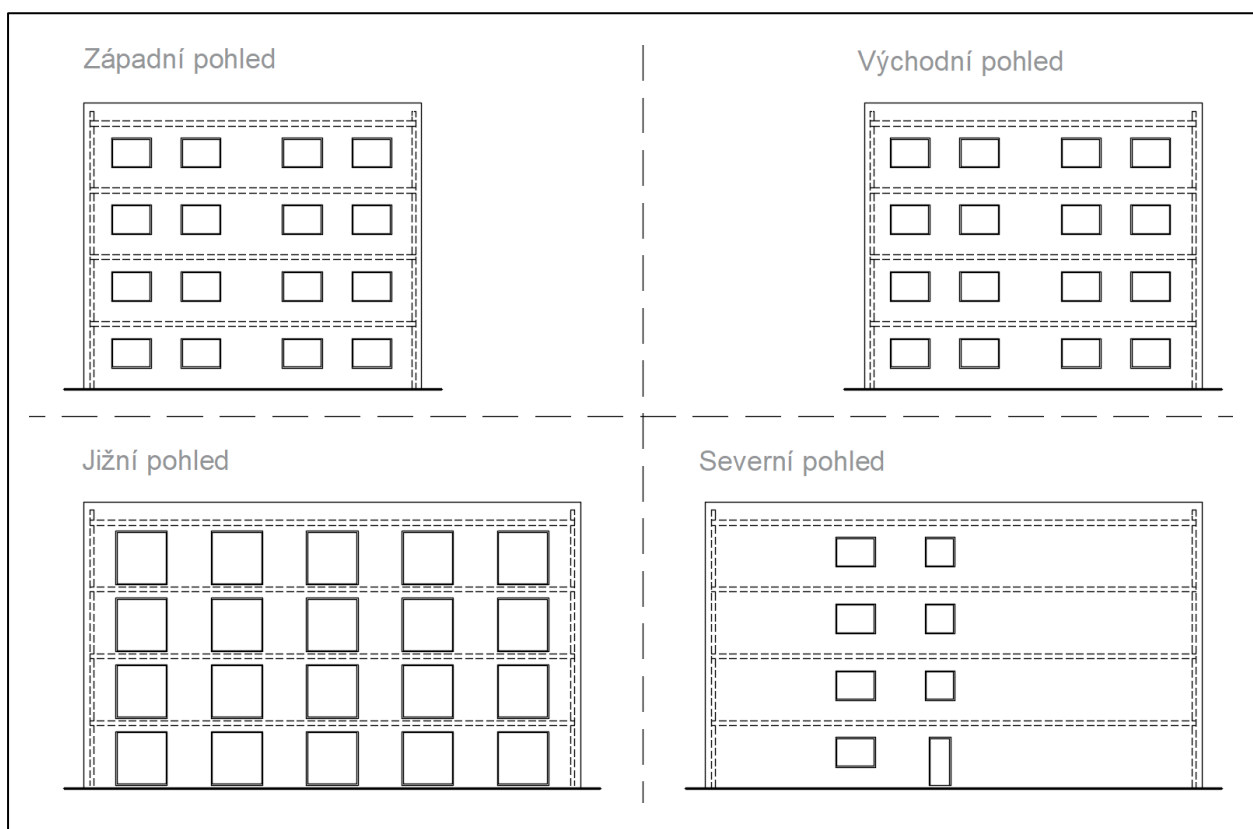
natáčena vchodem o úhel 45° po směru hodinových ručiček. Z toho vyplývá osm různých případů orientace budovy označené od A do H. Počáteční poloha je případ A s orientací vchodu a minimální plochou prosklených ploch na sever a největší plochou zasklení na jih. Až po poslední případ H, kdy je vchod orientovaný na severozápadní stranu a prosklená fasáda na jihovýchod.



Obrázek č. 22 – Schéma postupného natáčení vstupu do objektu na jednotlivé světové strany podle hodinových ručiček, zdroj: autorka DP

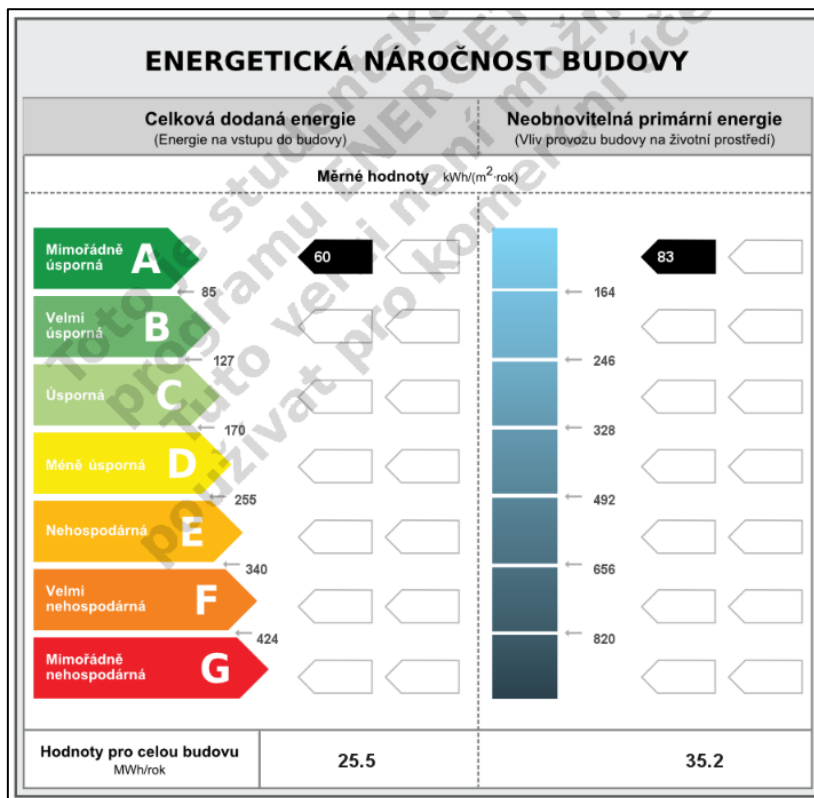
Seznam jednotlivých případů:

- A – vchod orientovaný na sever
- B – vchod orientovaný na severovýchod
- C – vchod orientovaný na východ
- D – vchod orientovaný na jihovýchod
- E – vchod orientovaný na jih
- F – vchod orientovaný na jihozápad
- G – vchod orientovaný na západ
- H – vchod orientovaný na severozápad



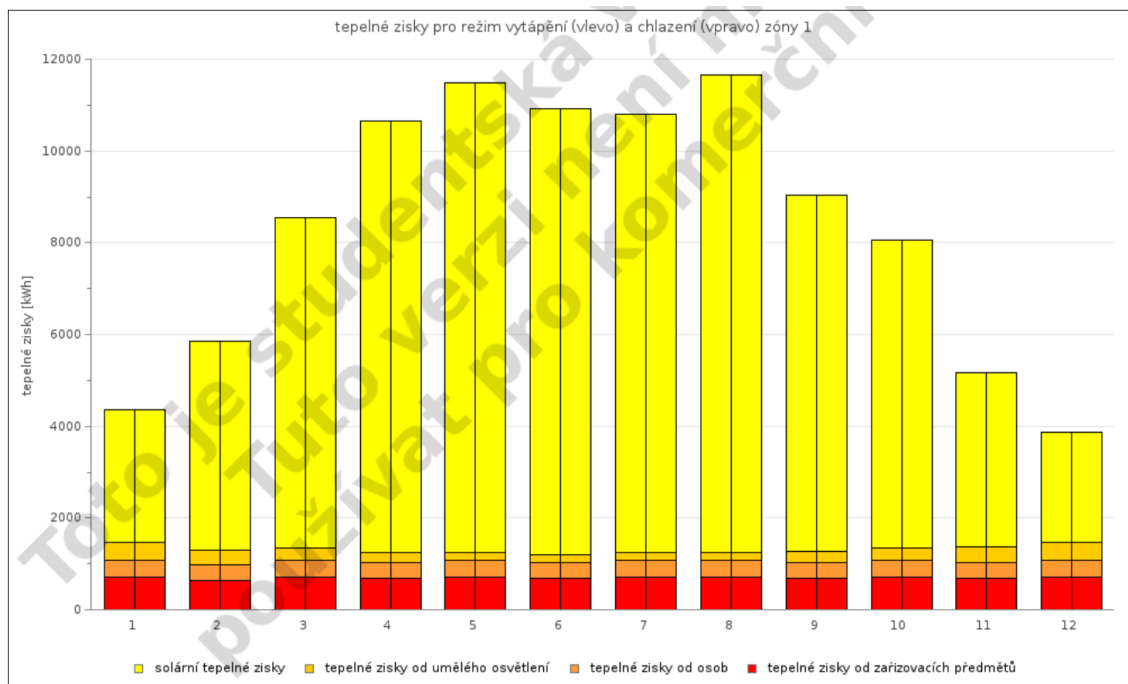
Obrázek č. 23 – Pohledy na posuzovanou administrativní budovu, zdroj: autorka DP

A – vchod orientovaný na sever



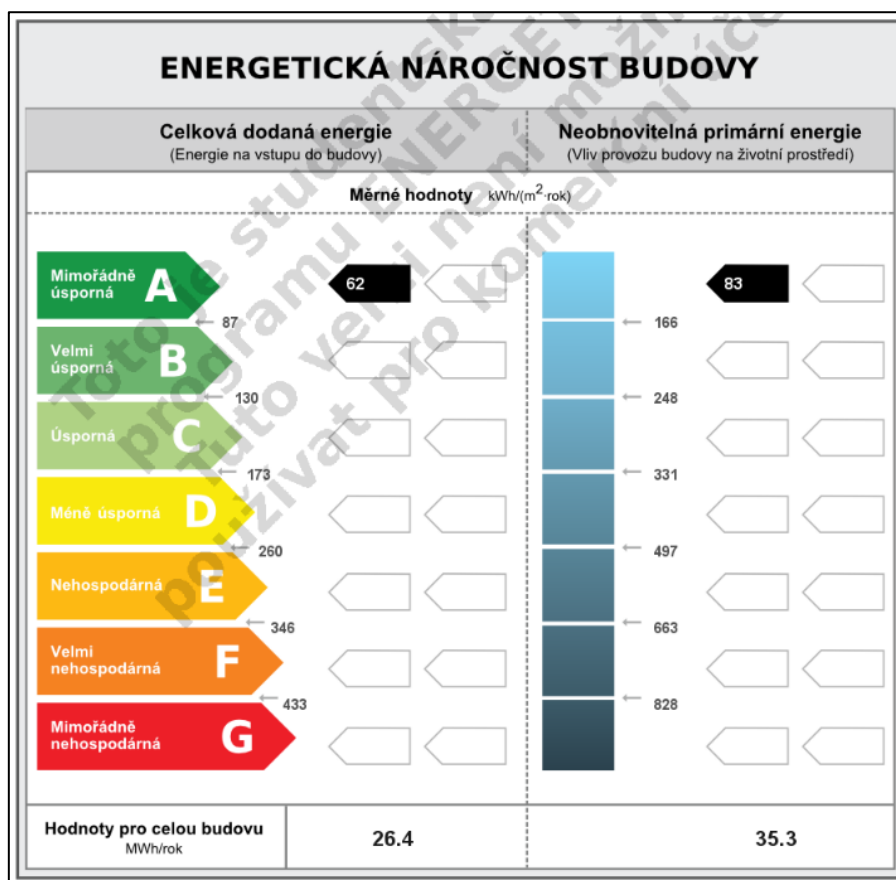
Obrázek č. 24 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na sever, zdroj: autorka

DP

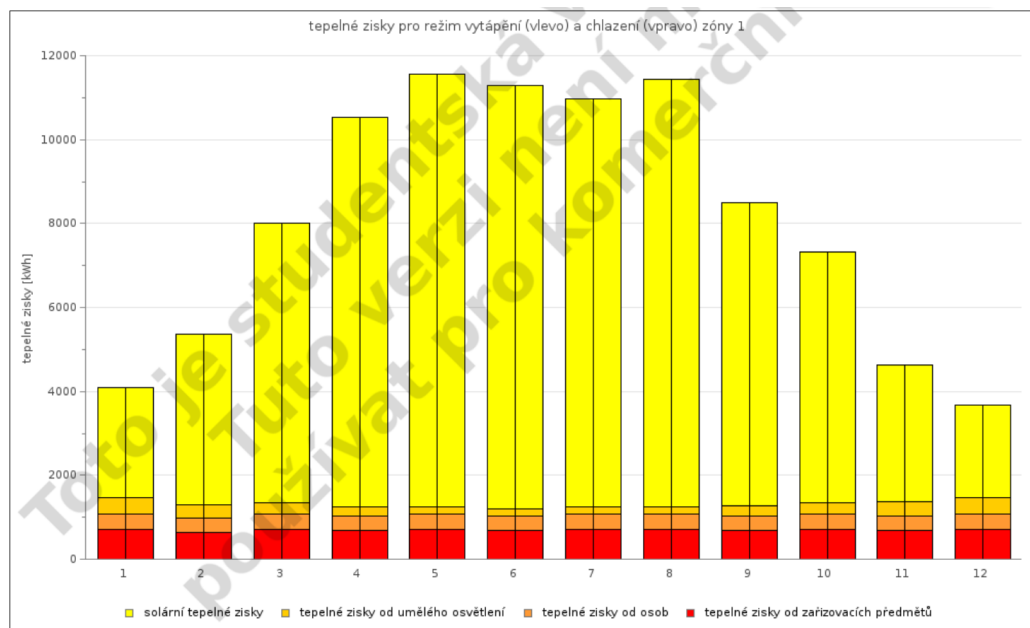


Graf č. 3 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na sever, zdroj: autorka DP

B – vchod orientovaný na severovýchod

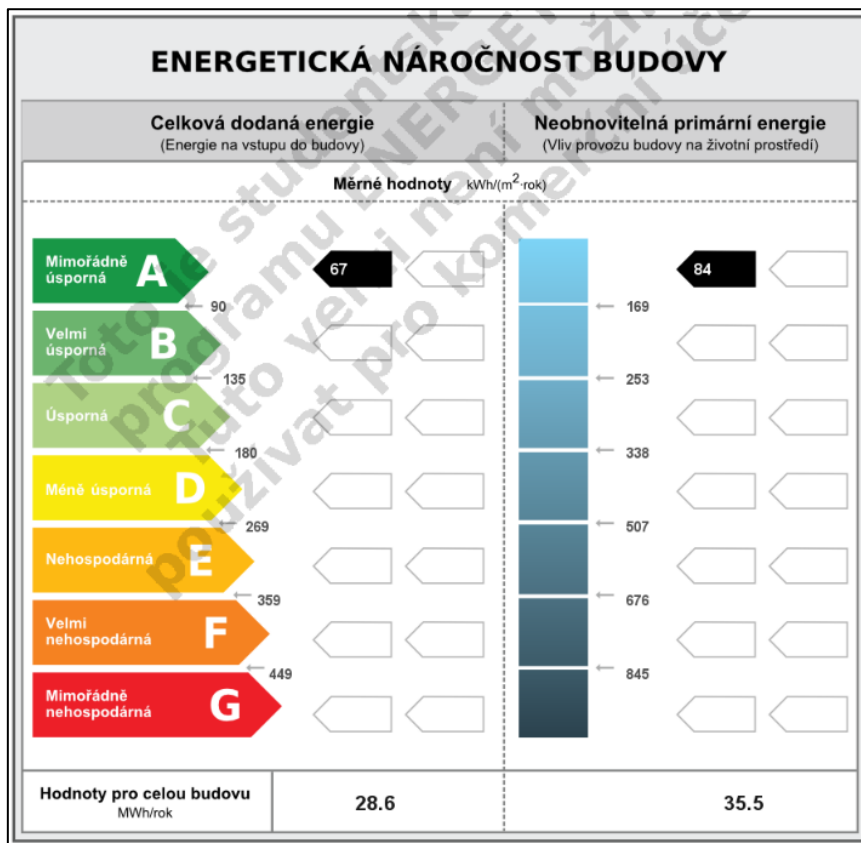


Obrázek č. 25 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na severovýchod, zdroj: autorka DP

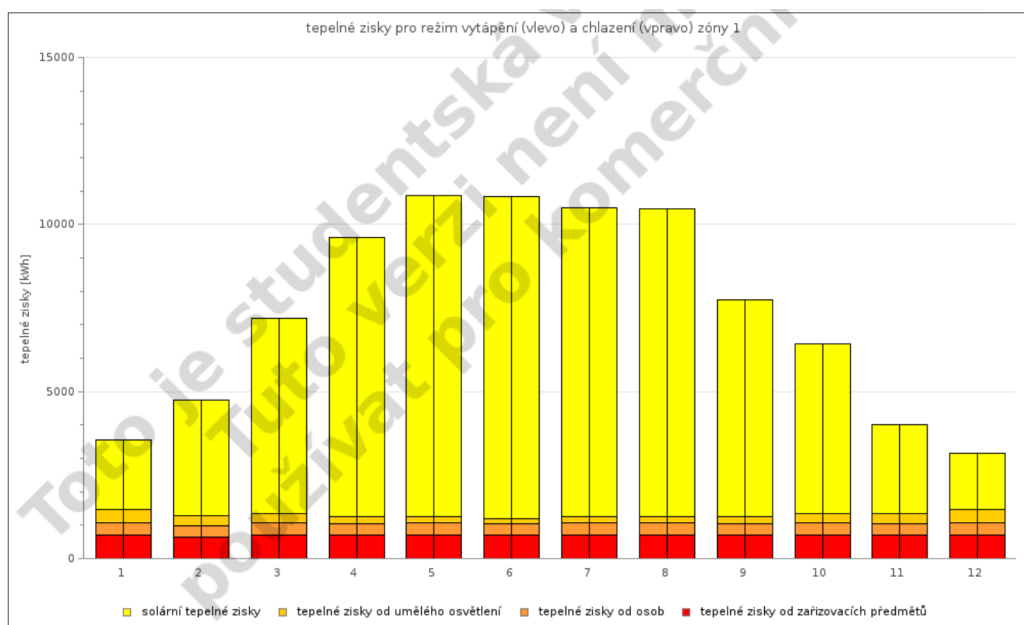


Graf č. 4 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na severovýchod, zdroj: autorka DP

C – vchod orientovaný na východ

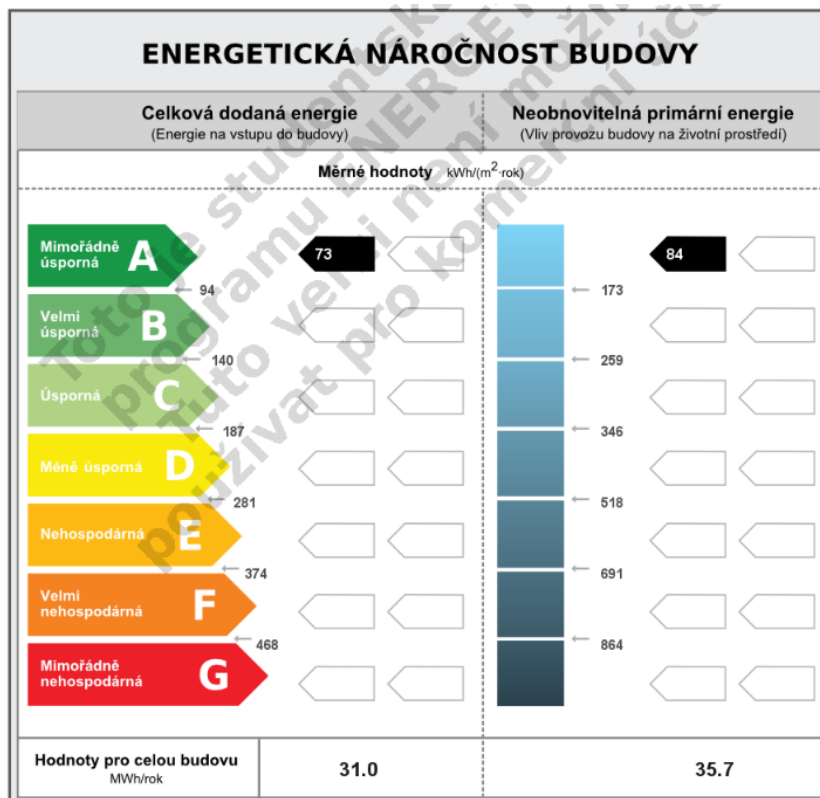


Obrázek č. 26 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na východ, zdroj: autorka DP

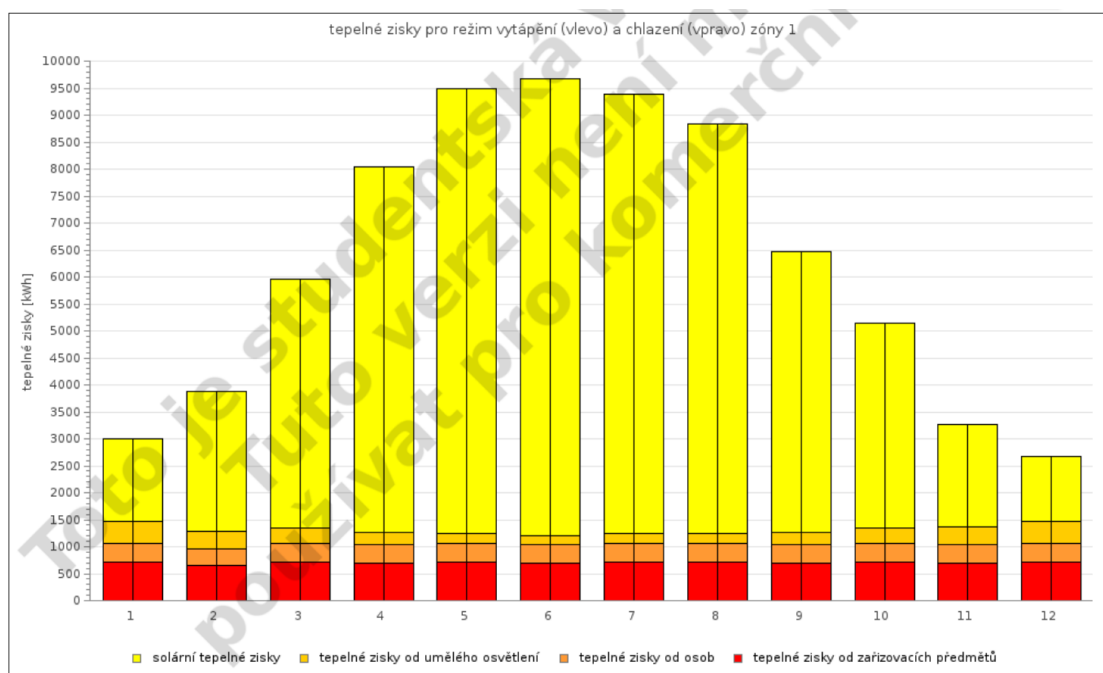


Graf č. 5 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na východ, zdroj: autorka DP

D – vchod orientovaný na jihovýchod

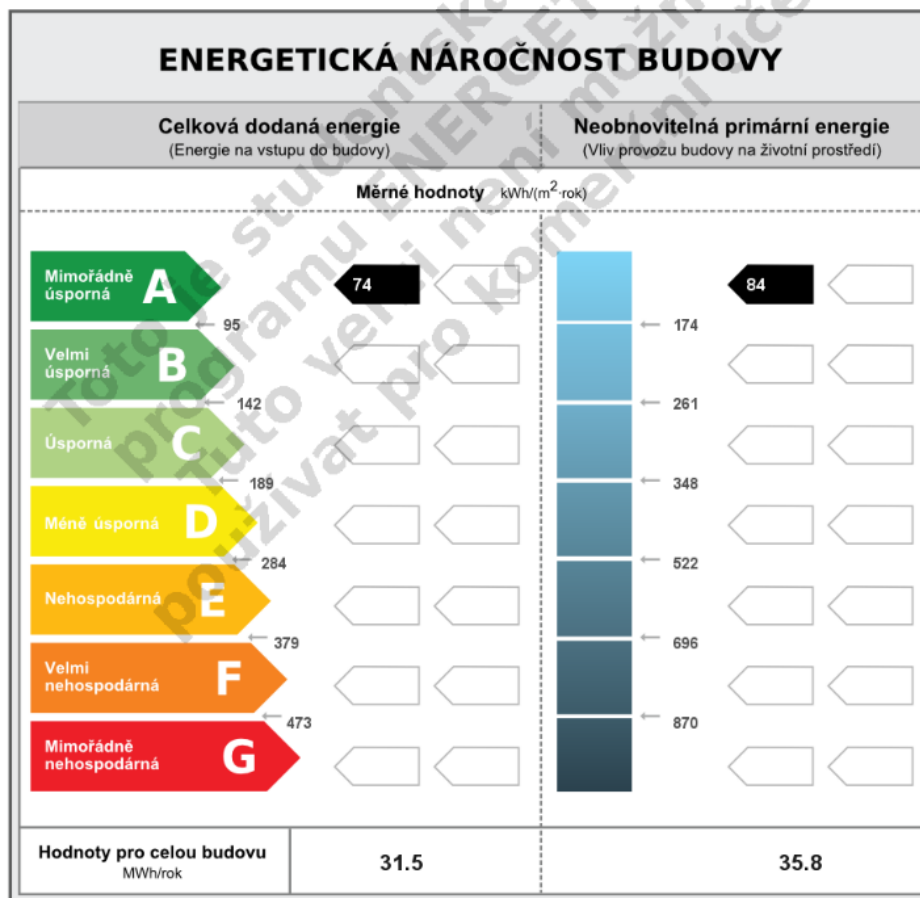


Obrázek č. 27 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na jihovýchod, zdroj: autorka DP

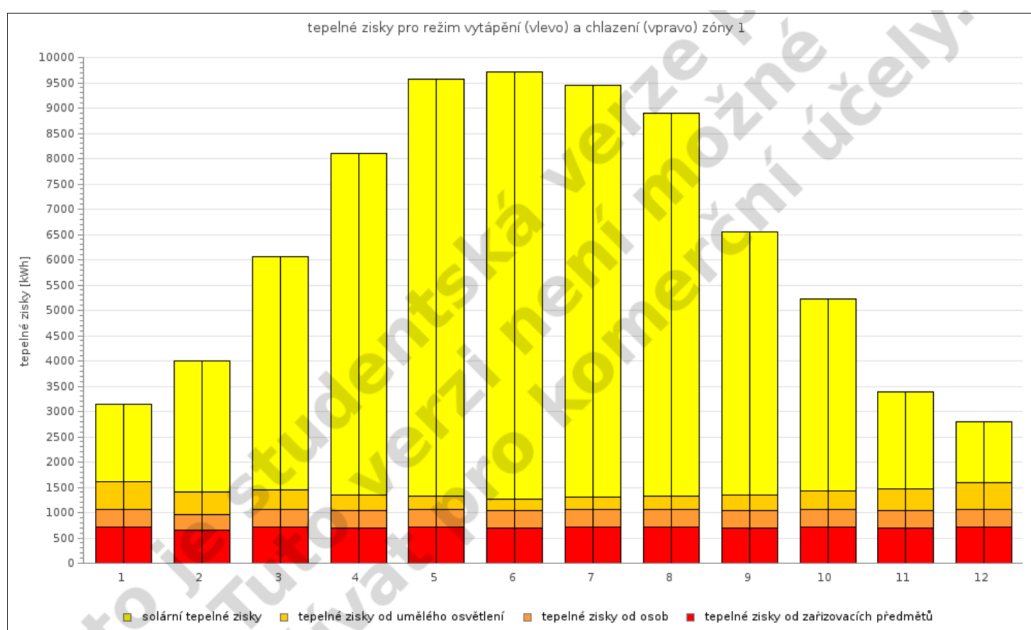


Graf č. 6 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na jihovýchod, zdroj: autorka DP

E – vchod orientovaný na jih

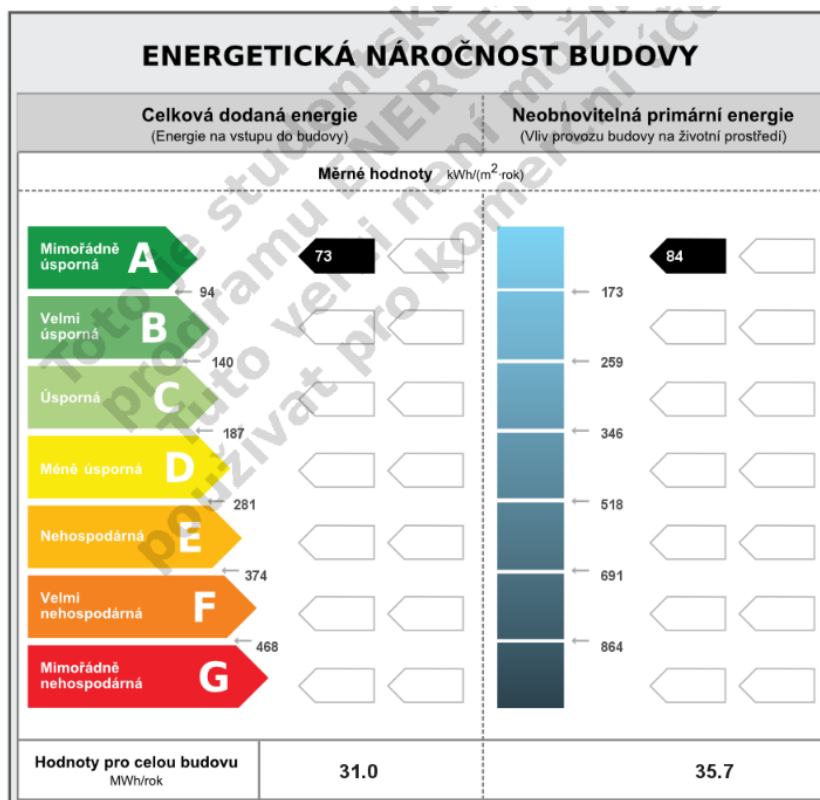


Obrázek č. 28 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na jih, zdroj: autorka DP

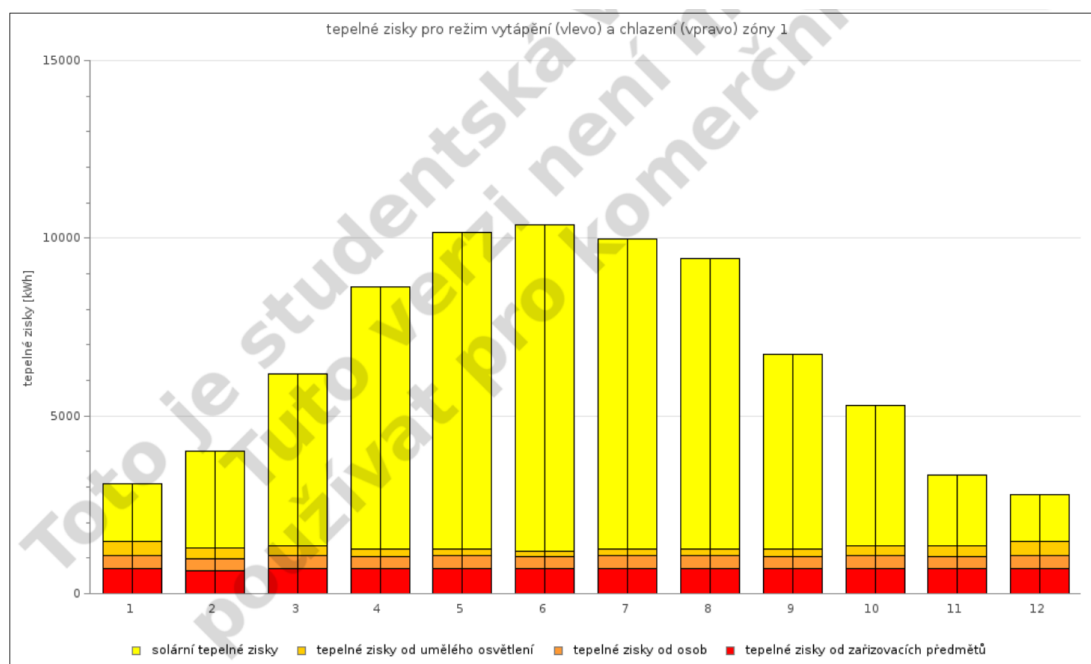


Graf č. 7 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na jih, zdroj: autorka DP

F – vchod orientovaný na jihozápad

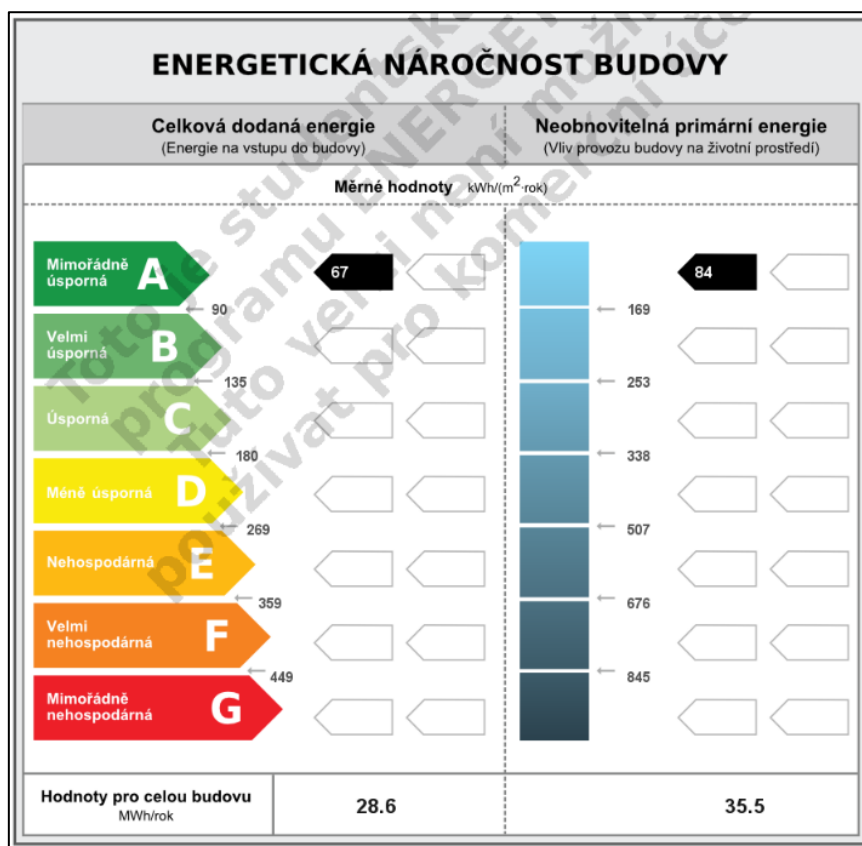


Obrázek č. 29 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na jihozápad, zdroj: autorka DP



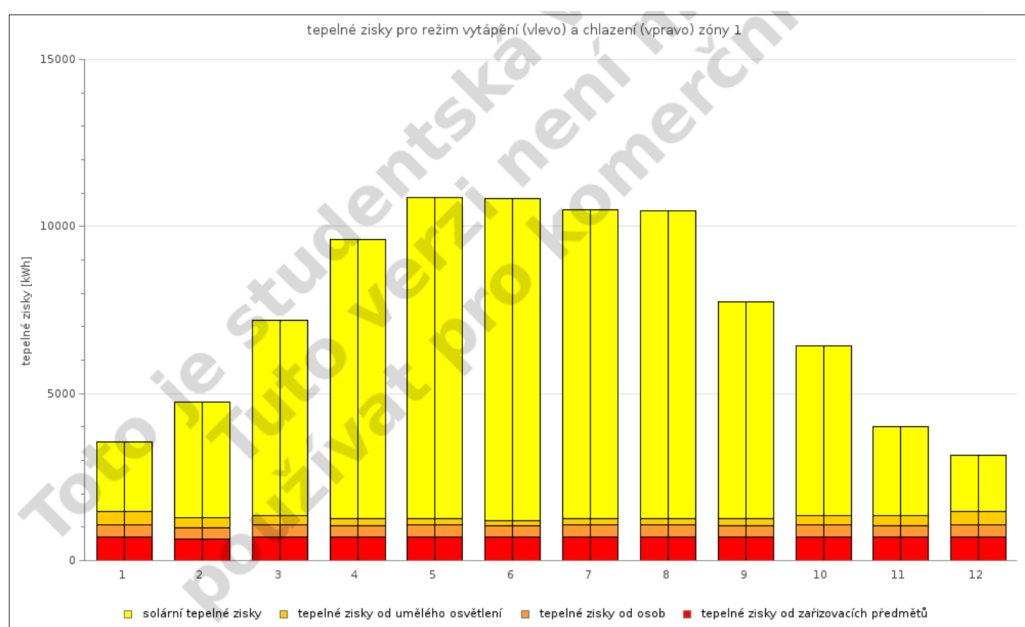
Graf č. 8 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na jihozápad, zdroj: autorka DP

G – vchod orientovaný na západ



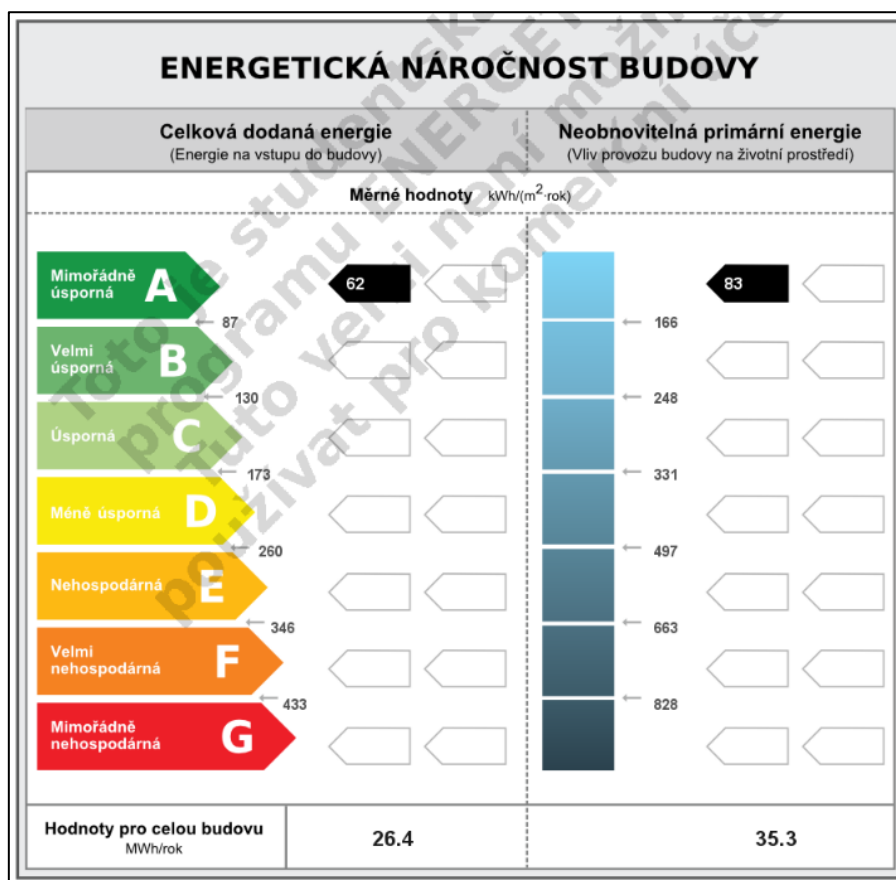
Obrázek č. 30 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na západ, zdroj: autorka

DP

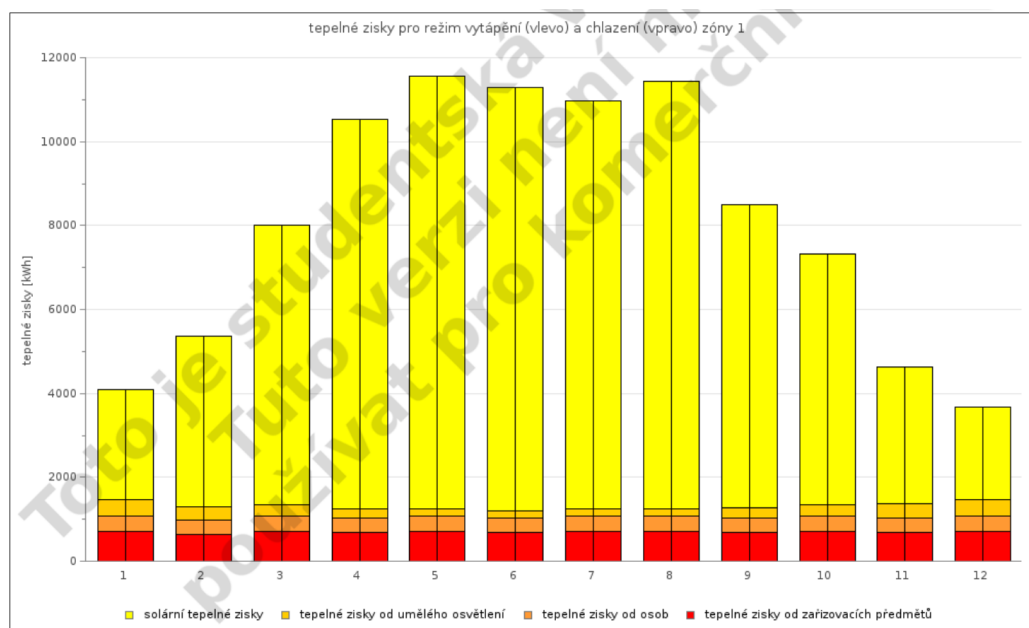


Graf č. 9 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na západ, zdroj: autorka DP

H – vchod orientovaný na severozápad



Obrázek č. 31 – Energetická náročnost budovy při orientaci vchodu na severozápad, zdroj: autorka DP



Graf č. 10 – Tepelné zisky budovy při orientaci vchodu na severozápad, zdroj: autorka DP

Souhrn výsledků rozdílné orientaci objektu na světové strany:

Tabulka č. 12 – Porovnání vlivu orientaci objektu na světové strany, zdroj: autorka DP

| Označení | A | B | H | C | G | D | F | E |
|---|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Světová strana | S | SV | SZ | V | Z | JV | JZ | J |
| Celková dodaná energie [MWh/rok] | 25,5 | 26,4 | 26,4 | 28,6 | 28,6 | 31 | 31 | 31,5 |
| Nárůst celkové dodané energie [MWh/rok] | 0,00 | 0,90 | 0,90 | 3,10 | 3,10 | 5,50 | 5,50 | 6,00 |
| Procentuální rozdíl [%] | 100,00 | 103,53 | 103,53 | 112,16 | 112,16 | 121,57 | 121,57 | 123,53 |
| Rozdíl převeden na [Kč] | 0,00 | 4 347,00 | 4 347,00 | 14 973,00 | 14 973,00 | 26 565,00 | 26 565,00 | 28 980,00 |
| | S | SV | SZ | V | Z | JV | JZ | J |
| Neobnovitelná primární energie [MWh/rok] | 35,2 | 35,3 | 35,3 | 35,5 | 35,5 | 35,7 | 35,7 | 35,8 |
| Nárůst neobnovitelné primární energie [MWh/rok] | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | 0,50 | 0,50 | 0,60 |
| Procentuální rozdíl [%] | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,02 |
| Rozdíl převeden na [Kč] | 0,00 | 483,00 | 483,00 | 1 449,00 | 1 449,00 | 2 415,00 | 2 415,00 | 2 898,00 |
| | S | SV | SZ | V | Z | JV | JZ | J |
| Dodaná energie na vytápění [MWh/rok] | 5,9 | 6,9 | 6,9 | 9 | 9 | 11,4 | 11,4 | 12 |
| Nárůst celkové dodané energie [MWh/rok] | 0 | 1 | 1 | 3,1 | 3,1 | 5,5 | 5,5 | 6,1 |
| Procentuální rozdíl [%] | 100 | 116,949 | 116,949 | 152,5424 | 152,5424 | 193,2203 | 193,2203 | 203,3898 |
| Rozdíl převeden na [Kč] | 0,00 | 4 830,00 | 4 830,00 | 14 973,00 | 14 973,00 | 26 565,00 | 26 565,00 | 29 463,00 |

Průměrná cena 1kWh elektřiny: 4,83

Průměrná cena 1MWh elektřiny: 4830

Zdroj: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/> [31.12.2019]

Při porovnávání jednotlivých výsledků se hodnoty shodují ve třech případech: B–severovýchod a H-severozápad, C-východ a G-západ, D-jihovýchod a F-jihozápad. Při hodnocení z hlediska neobnovitelné primární energie se jednotlivé případy lišily o minimální hodnotu 0,6 [MWh/rok].

Hodnocení dle celkové dodané energie už jsou rozdíly mezi jednotlivými natočeními vyšší. Při odklonu o 45° od ideální orientace vchodem na sever je rozdíl 3,53 %, což je minimální rozdíl. Při dalším natočení se hodnota na východní a západní stranu výrazněji zvětšila. Při porovnání hodnot případů orientace na severní a jižní stranu je rozdíl celkové dodané energie vyšší o 23,53 %.

Největší rozdíly lze pozorovat při porovnávání dle dodané energie na vytápění. Při natočení o 45° od severu na obě strany je nárůst energie 16,95 %. Další natočení na západ a východ už přináší nadpoloviční nárůst potřebné energie na vytápění. Hodnota jihovýchodu a

jihozápadu už se od jižní zásadně neliší, ale při porovnání se severní stranou rozdíl činí nárůst o 103 %. Vysoký nárůst potřebné energie na vytápění je způsoben nižšími solárními zisky a velkými ztrátami prosklené fasády orientované na sever.

Nejlepší výsledky měl objekt při natočení vchodu na severní stranu a prosklená fasáda byla na jižní stranu. Při pootočení vchodu objektu o 45° na severovýchod a severozápad, byly nárůsty energie kolem 16,9% potřebné energie na vytápění. Dalším pootočením potřeba energie na vytápění již razantně stoupala. Pro pasivní objekty je nejlepší orientace největší prosklené fasády na jih. Jihovýchodní a jihozápadní strany jsou vhodné alternativy k jižní straně. Další pootočení má již nežádoucí nárůst nákladů energie potřebné na vytápění.

Tabulka č. 13 – Porovnání výnosnosti solárních zisků jednotlivých případů natočení, zdroj: autorka DP

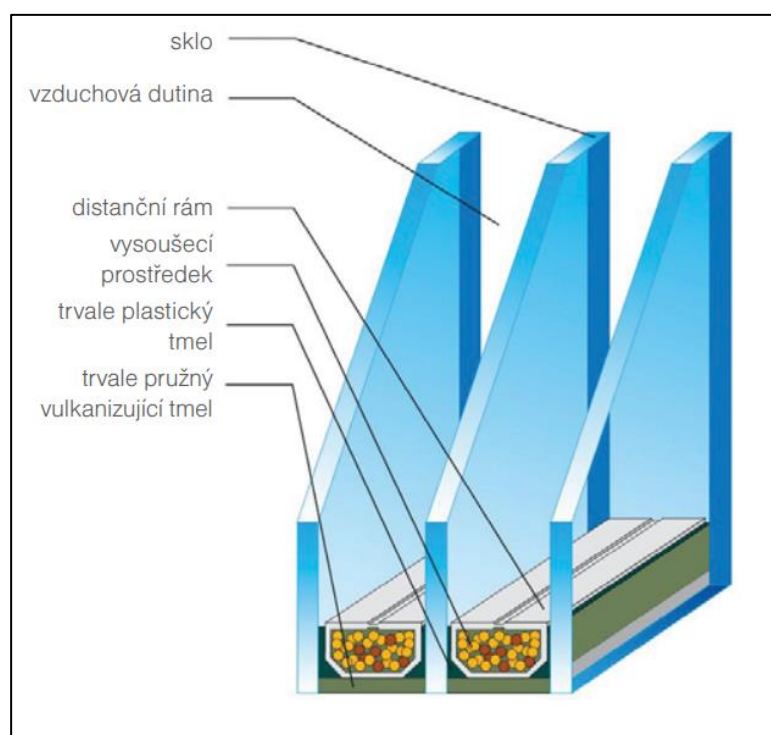
| Označení | A | B | H | C | G | D | F | E |
|---------------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Světová strana | S | SV | SZ | V | Z | JV | JZ | J |
| Měsíc | | | | | | | | |
| Solární zisky [kWh/měsíc] | 1 | 2 898 | 2 613 | 2 613 | 2 071 | 2 071 | 1 637 | 1 533 |
| | 2 | 4 568 | 4 079 | 4 079 | 3 442 | 3 442 | 2 704 | 2 589 |
| | 3 | 7 201 | 6 662 | 6 662 | 5 853 | 5 853 | 4 830 | 4 625 |
| | 4 | 9 383 | 9 265 | 9 265 | 8 350 | 8 350 | 7 376 | 6 775 |
| | 5 | 10 233 | 10 302 | 10 302 | 9 623 | 9 623 | 8 895 | 8 895 |
| | 6 | 9 707 | 10 086 | 10 086 | 9 616 | 9 616 | 9 184 | 8 458 |
| | 7 | 9 557 | 9 742 | 9 742 | 9 248 | 9 248 | 8 724 | 8 151 |
| | 8 | 10 392 | 10 182 | 10 182 | 9 213 | 9 213 | 8 188 | 7 579 |
| | 9 | 7 768 | 7 236 | 7 236 | 6 483 | 6 483 | 5 462 | 5 197 |
| | 10 | 6 723 | 5 995 | 5 995 | 5 101 | 5 101 | 3 964 | 3 795 |
| | 11 | 3 798 | 3 265 | 3 265 | 2 663 | 2 663 | 1 984 | 1 909 |
| | 12 | 2 409 | 2 215 | 2 215 | 1 678 | 1 678 | 1 317 | 1 202 |
| | Celkem za rok: | 84 637 | 81 642 | 81 642 | 73 341 | 73 341 | 64 265 | 64 265 |

Při pozorování solárních zisků jednotlivých případů natočení se výsledky z tabulky č. 13 a porovnání dle dodané energie na vytápění potvrzují. Největší solární zisky objekt získává při orientaci vchodu na sever a největší prosklená fasáda na jih. Při natočení o 45° je mírné snížení solárních zisků. Další otáčení už má negativně velký pokles solárních zisků. Mezi nejlepším a nejhorším případem je rozdíl 24 580 [kWh/rok], který vyrovnává rozdíl potřebné energie na vytápění objektu dle tabulky č. 12.

4 Analýza prosklených ploch

Hlavními požadavky na prosklené plochy je umožnění prostupu solárních zisků, energetická úspora a dostatečné proslunění interiéru. Pro udržení tepelných zisků uvnitř objektu je snaha vytvořit dokonalou tepelněizolační obálku objektu, jejíž provedení lze ověřit blower door testem. Nejslabším místem obálky vytápěného prostoru jsou právě prosklené plochy – konkrétně okna, a to až 5krát horší než obvodová stěna.

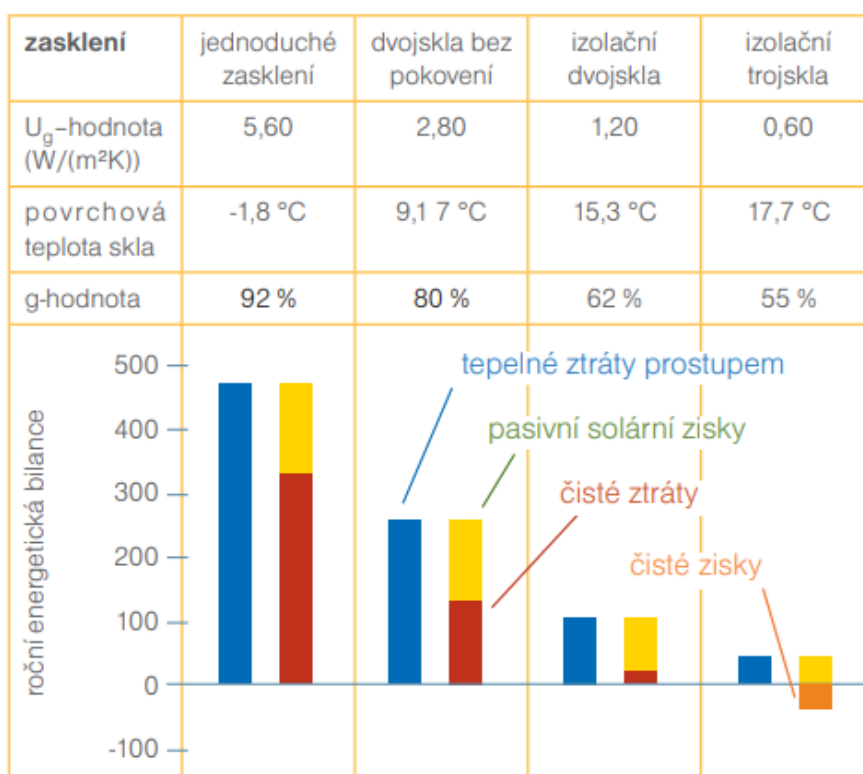
Okna neznamenaají pouze zasklení, ale celý soubor dalších s nimi spojených prvků. Od zasklení, okenního rámu, kotvení okna k obvodové konstrukci a distanční rámeček. Každá část okna musí splňovat vysoké nároky pro pasivní objekty. Při pohledu do minulost se vlastnosti oken výrazně zlepšily. Tepelné ztráty okny v zimním období mohou činit až 40 % celkových ztrát objektu. Naopak v letním období může docházet k negativnímu přehřívání při velkých plochách oken (nad 40% fasády) orientované na jih. Pro minimalizování negativních dopadů prosklených ploch je nutný jejich vhodný návrh se zastíněním.



Obrázek č. 32– Řez izolačního trojskla, zdroj: [3]

Pro pasivní objekty se používají tepelně izolační trojskla. Rozdíly oproti izolačnímu dvojsklu jsou jeho lepší akustické a tepelně izolační vlastnosti. Přidáním dalšího skla se zvětšuje jeho hmotnost. Při celoročním pozorování dvojskla a trojskla bylo dvojsklo celoročně ztrátové, naopak trojsklo vykazovalo tepelné zisky při orientaci na jižní světovou stranu viz

obrázek č. 33. U jednotlivých zasklení lze pozorovat i rozdílnou povrchovou teplotu, která může mít vliv na tepelnou pohodu. Nevýhodou trojskel je při zlepšování jejich vlastností klesání propustnosti světla do interiéru, kdy u jednoduchého zasklení je hodnota $g = 92\%$ u trojskla je $g = 52\%$. V důsledku této nízké hodnoty mohou být skla příliš tmavá, až nerealisticky zabarvená. Tuto hodnotu parametru g nenabývají všechna trojskla. Na trhu jsou okna i s lepšími vlastnostmi a hodnotou $g = 65\%$. Větší hmotnost oken je spojená s vyšším nárokem na jejich kotvení k nosné konstrukci.



Obrázek č. 33 – Srovnání jednotlivých druhů zasklení dle roční energetické bilance, zdroj:[3]

Okna se nejčastěji hodnotí podle součinitele prostupu tepla celým oknem U_w udávané v jednotkách $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$, ale pro okna jsou zásadní i jiné parametry:

4.1 Vlastnosti

U_w – Součinitel prostupu tepla oknem (window) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. Tato hodnota zohledňuje vlastnosti celého okna (zasklení + rám + distanční rámeček) a typ otevírání (pevné, otevíravé). Musí splňovat hodnotu: $U_w \leq 0,8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

U_f – Součinitel prostupu tepla rámem (frame) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. Udává vlastnosti zasklení. Musí splňovat hodnotu: $U_f \leq 0,85 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

U_g – Součinitel prostupu tepla zasklením (glass) $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. Udává hodnotu rámu. Musí splňovat hodnotu: $U_g \leq 0,7 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$.

g – Prostupnost slunečního záření (solární faktor) [%]. Určuje množství propuštěné solární energie do interiéru. Vyšší hodnota solárního faktoru určuje více tepelné energie okna propustila do interiéru. Nabývá hodnot od 0 do 100 % a neměla by být nižší než 45 %.

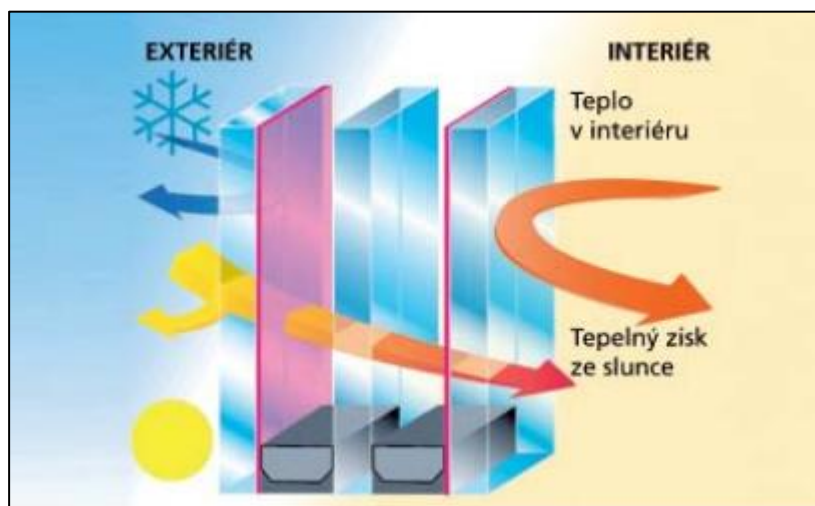
LT – Světelná propustnost [%]. Hodnota udává, kolik světla sklo propustí do interiéru. Hodnota je závislá na tloušťce zasklení, pokovené vrstvy. Čím je hodnota vyšší, tím více světla se do interiéru dostane.

R_w – hodnotící ochranu proti hluku, třída bezpečnosti a další, které ale nezasahují do vlivů pro pasivní standart.

4.2 Části okna

Zasklení:

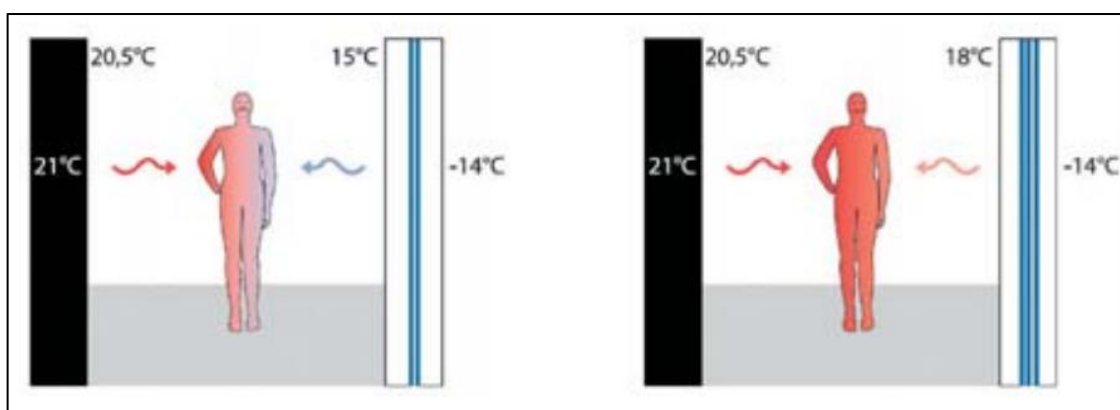
U pasivních objektů se používá tepelně-izolační zasklení. Jeho vlastnosti jsou vylepšené nanesením tenké vrstvy ušlechtilých kovů pomocí elektromagnetického procesu. Okno s touto úpravou propouští krátkovlnné solární zisky do interiéru a dlouhovlnné tepelné záření z interiéru odrazí zpět do vnitřního prostoru.



Obrázek č. 34 – Vliv pokovení na propustnost okna, zdroj:[3]

Nejpoužívanější typ zasklení je zasklení trojsklem. Počet skel ovlivňuje přenos tepla vedením (konvekcí). Pro zlepšení tepelných vlastností se prostor mezi skly plní inertními plyny, které zlepšují vlastnosti okna jejich nižší tepelnou vodivostí než vzduch. Nejpoužívanějším plynem je argon, dalšími dražšími variantami jsou xenon a krypton. Mezera mezi jednotlivými skly je od 6 do 20 mm. Pro každý plyn je ideální použít jinou tloušťku k nabytí jejich nejlepších vlastností. Pro nejběžnější výplňový plyn argon se používá mezera mezi skly 18 mm, při této tloušťce plyn dosahuje nejlepších vlastností.

Vlastnosti zasklení mají vliv na tepelnou pohodu v interiéru. Při použití nekvalitního zasklení je povrchová teplota nízká a v blízkosti okna lze cítit chlad. Naopak u kvalitního zasklení pocit chladu odpadá a tepelná pohoda je zajištěna viz obrázek č. 35.



Obrázek č. 35 – Porovnání kvalitního a nekvalitního zasklení s vlivem na tepelnou pohodu, zdroj:[3]

Distanční rámeček:

Distanční rámeček plní funkci stabilizování stejné vzdálenosti mezi izolačními skly po celém obvodu a tvoří meziskelní prostor. V minulosti se nejvíce používal převážně hliníkový rámeček, ale z důvodu velkých tepelných ztrát vedením v místě rámečku se již nepoužívá. V současné době se používá plast s kovovou fólií, který dosahuje mnohem menších hodnot lineárního tepelného mostu Ψ . Samotný plast má lepší tepelné vlastnosti než hliník, ale difúze plynu mezi skly byla příliš velká. Z tohoto důvodu se k plastru přidala kovová fólie, která zlepšila difuzní vlastnosti a zároveň nemá velký dopad na tepelně izolační vlastnosti distančního rámečku. S touto úpravou rámečku je možné redukovat tepelné ztráty oproti původnímu hliníkovému rámečku až o 15 %.

Tabulka č. 14 – Porovnání jednotlivých vlastností distančních rámečků, zdroj:[3]

| Materiál | Hliník | Nerezová ocel | Plast s výztuží skelnými vlákny |
|---|--------|---------------|---------------------------------|
| ekv. tepelná vodivost λ [W/(m.K)] | 3,05 | 2,15 | 0,26 |
| U_w celého okna [W/(m ² .K)] | 0,89 | 0,84 | 0,79 |
| Min. povrchová teplota [°C] | 10,2 | 12,3 | 13,6 |

Okenní rám:

Rám je nejslabší místo celého okna, a proto by jeho plocha měla být nejmenší, kolem 30% celkové plochy okna. S tím souvisí i jejich vývoj, kdy se z úzkých a vysokých rámu stávají nízké a širší. Hlavní změnou je skrytí kování oken, které neprochází rovinou vnitřního těsnění, nedeformuje ho a díky tomu je okno těsnější. Vlastnosti okenních rámu ovlivňuje, jestli je okno pevné nebo otevíravé. Při použití neotevíravého provedení lze dosáhnout lepších výsledků těsnosti a tím i menších tepelných ztrát. Další možností pro minimalizování plochy okenních rámu a s tím spojených tepelných úniků je částečné překrytí rámu tepelnou izolací. Pro zlepšení vlastností rámu se některé plní tepelnou izolací. Nejpoužívanější materiálové varianty jsou plastové a dřevěné. Další varianty jsou plasthliník a dřevohliník, kde hliník slouží jako vnější ochrana proti povětrnostním vlivům.

U oken rozlišujeme tři základní spáry:

Zasklívací: nachází se mezi sklem a křídlem

Funkční: nachází se mezi křídlem okna a rámem

Připojovací: nachází se mezi rámem okna a stěnou objektu. Jediná tato spára se realizuje na stavbě a je na ní kladena řada požadavků. Nejdůležitějšími požadavky jsou neprůvzdušnost, vodotěsnost, tepelně izolační požadavky, schopnost dilatace,

Kotvení okna:

Dalším faktorem, který má vliv a tepelně izolační vlastnosti okna je jeho kotvení k obvodové konstrukci. Z tepelně izolačního hlediska je vhodné okna osazovat do tepelné izolace tzv. předsazenou montáží. Při použití standardního typu kotvení se v jeho místě navýší tepelný tok a může dojít až ke kondenzaci a růstu plísní.

Dalšími důležitými faktory je zajištění vzduchotěsného napojení pro eliminace tepelných ztrát netěsnostmi. Kotvení musí zaručit nosnou funkci, dilataci a další požadavky kladené na připojovací spáru. S rostoucím zasklením roste i váha okna a může být v rozmezí mezi 35 až 50 kg na m². [18]

Předsazená montáž se provádí ocelovými nebo kompozitními kotvami nebo například vytvořením kastlíku z OSB desek. Při kotvení pomocí kotev – např. L profilů, se k rámu okna přilepí purenit, do kterého se L profily přivrtají, tudíž nedojde k porušení rámu.

Dalším způsobem ke kotvení oken jsou turbo šrouby. Hlavní nevýhodou je provrtání samotného rámu a neumožnění oknu dilatovat. Kolem provrtaného otvoru šroubu se časem tepelnými pohyby může vytvořit větší otvor, kterým se může do rámu dostat vlhkost.

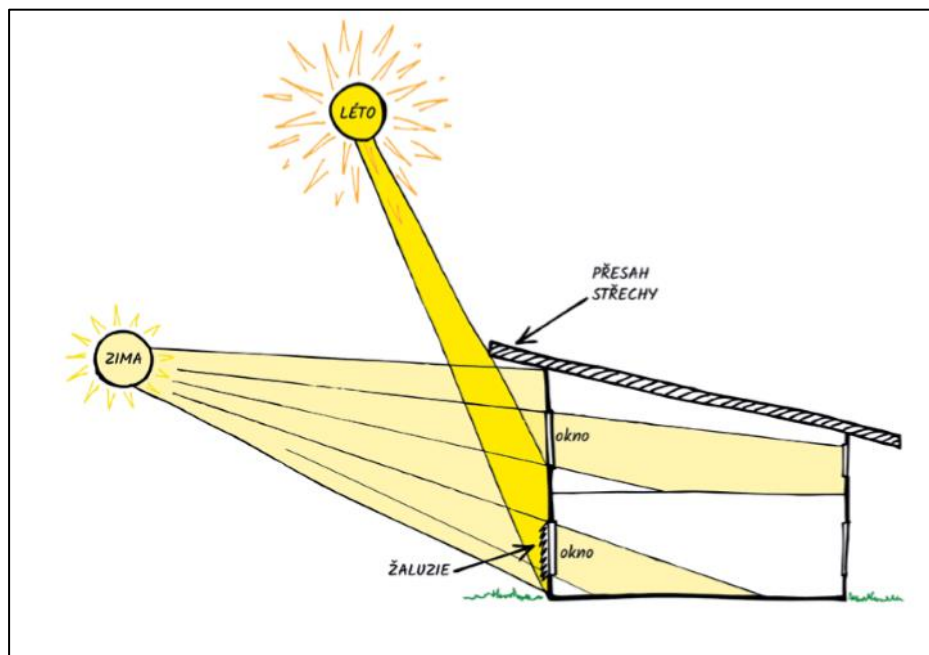


Obrázek č. 36 – Ukázka předsazené montáže okna pomocí L profilů, zdroj:[19]

Stínění

Z důvodu možného přehřívání velkých prosklených ploch je nutné počítat i s návrhem vhodného systému zastínění. Nejjednodušší jsou pevné stínící prvky na fasádě, tento typ je účinný pro vysoké letní sluneční záření. Při nízkém východním a západním záření jsou vhodné celoplošné stínící prvky. Nejčastěji používané jsou venkovní žaluzie uložené v nadokenním kastlíku. Při nedodržení vhodného řešení tohoto místa by mohlo dojít k tepelnému mostu.

I z hlediska ukládání kastlíku je vhodná předsazená montáž, kdy se dá box na žaluzie uložit do tepelné izolace a tepelný most tím minimalizovat. U keramických tvárnic plněných tepelnou izolací, které se dodatečně nezateplují, mohou vznikat tepelné mosty v místě oslabení stěny kastlíkem.

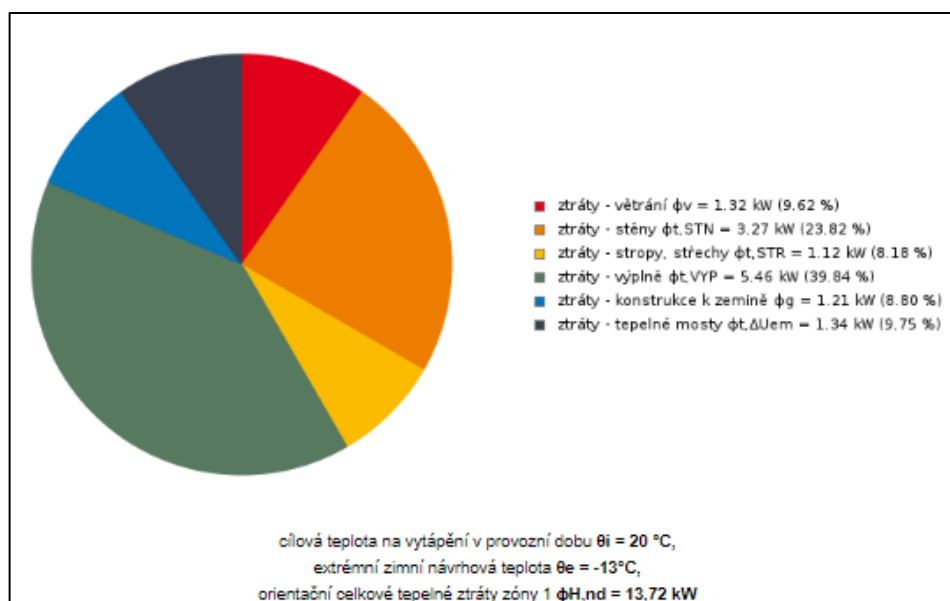


Obrázek č. 37 – Rozdíl mezi letním a zimním sluncem, zdroj:[22]

4.3 Porovnání

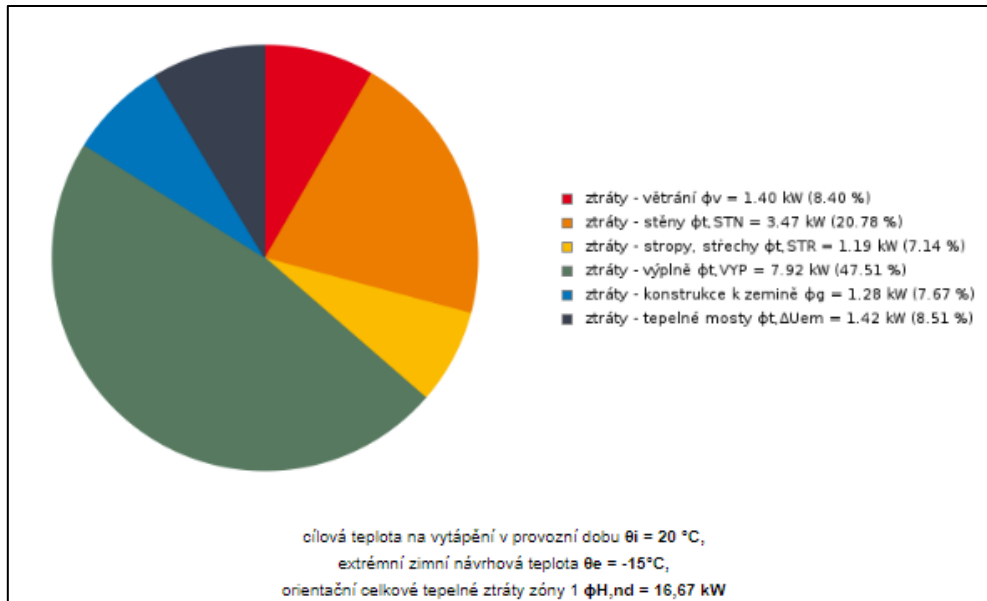
Pro porovnání jednotlivých druhů zasklení byla použita administrativní budova popsaná v kapitole 3. Analyzovány budou jednotlivé druhy zasklení a vliv jejich vlastností na tepelné ztráty a potřebnou energii na vytápění. Všechny ostatní vlastnosti budovy zůstanou neměnné. Hodnocené zasklení: trojsklo, dvojsklo, dvojsklo bez pokovení a jednoduché sklo.

Trojsklo: $U_w = 0,6; \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$,



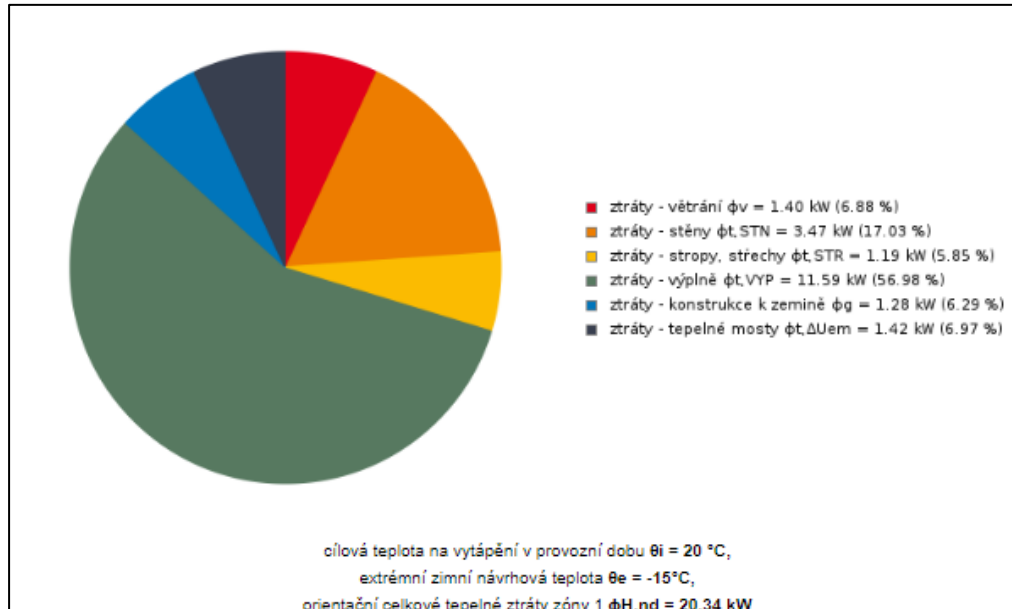
Graf č. 11 – Tepelné ztráty objektu s trojskly, zdroj: autorka DP

Dvojsklo: $U_w = 0,82; \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$,



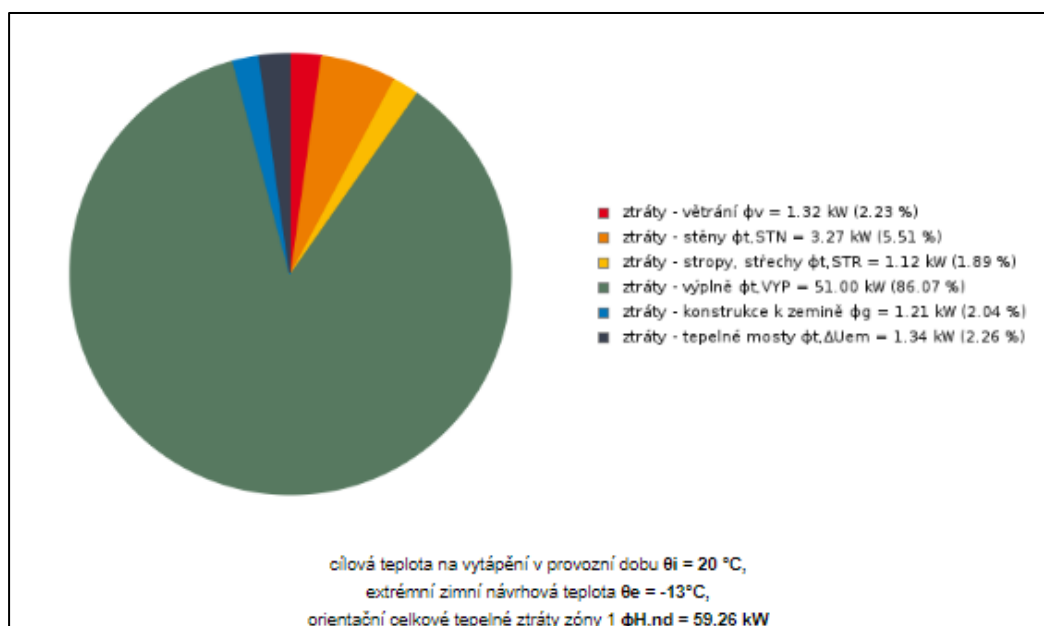
Graf č. 12 – Tepelné ztráty objektu s dvojskly, zdroj: autorka DP

Dvojsklo bez pokovení: $U_w = 1,2; \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$,



Graf č. 13 – Tepelné ztráty objektu s dvojskly bez pokovení, zdroj: autorka DP

Jednoduché zasklení: $U_w = 5,6; \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$,



Graf č. 14 – Tepelné ztráty objektu s jednosklem, zdroj: autorka DP

Tabulka č. 15 – Porovnání jednotlivých vlastností distančních rámečků, zdroj: autorka DP

| | Trojasklo | Dvojsklo | Dvojsklo bez pokovení | Jednoduché zasklení |
|--|-----------|----------|-----------------------|---------------------|
| $U_w \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]}$ | 0,6 | 0,82 | 1,2 | 5,6 |
| Potřebná energie na vytápění [MWh/rok] | 5 | 7,92 | 12,8 | 81,1 |
| Ztráty výplněmi [kW] | 5,46 | 7,92 | 10,93 | 51 |
| Celkové ztráty [kW] | 13,72 | 16,67 | 19,18 | 59,26 |
| Ztráty okny [%] | 39,80 | 47,51 | 56,99 | 86,06 |

Tepelné ztráty výplněmi v případě použití trojitého zasklení činí necelých 40 % celkových ztrát budovy. Rozdíl mezi tepelnými ztrátami dvojsklem a trojsklem se na první pohled nemusí zdát tak velký. Z toho důvodu se lze občas setkat s dvojskly na jižní straně z důvodu lepší propustnosti solárních zisků. Celoročně je dvojsklo ztrátové, a proto se u pasivní výstavby používá pouze trojsklo, které už je částečně ziskové. Při použití dvojskla bez pokovení lze pozorovat rapidní nárůst. Ztráty objektu pouze okny jsou srovnatelné jako ztráta celého objektu s použitím trojskla. Jednoduché zasklení má už fatální následky na hodnoty tepelných ztrát objektu. Čtyřsklo není zařazené do porovnávání, běžně se nepoužívá kvůli jeho velké hmotnosti a nepříznivému ztmavení samotného skla.

Okna jsou stále nejslabší částí tepelně izolační obálky, proto je nutné používat výhradně výplně otvorů s trojitým zasklením.

5 Analýza technického zařízení

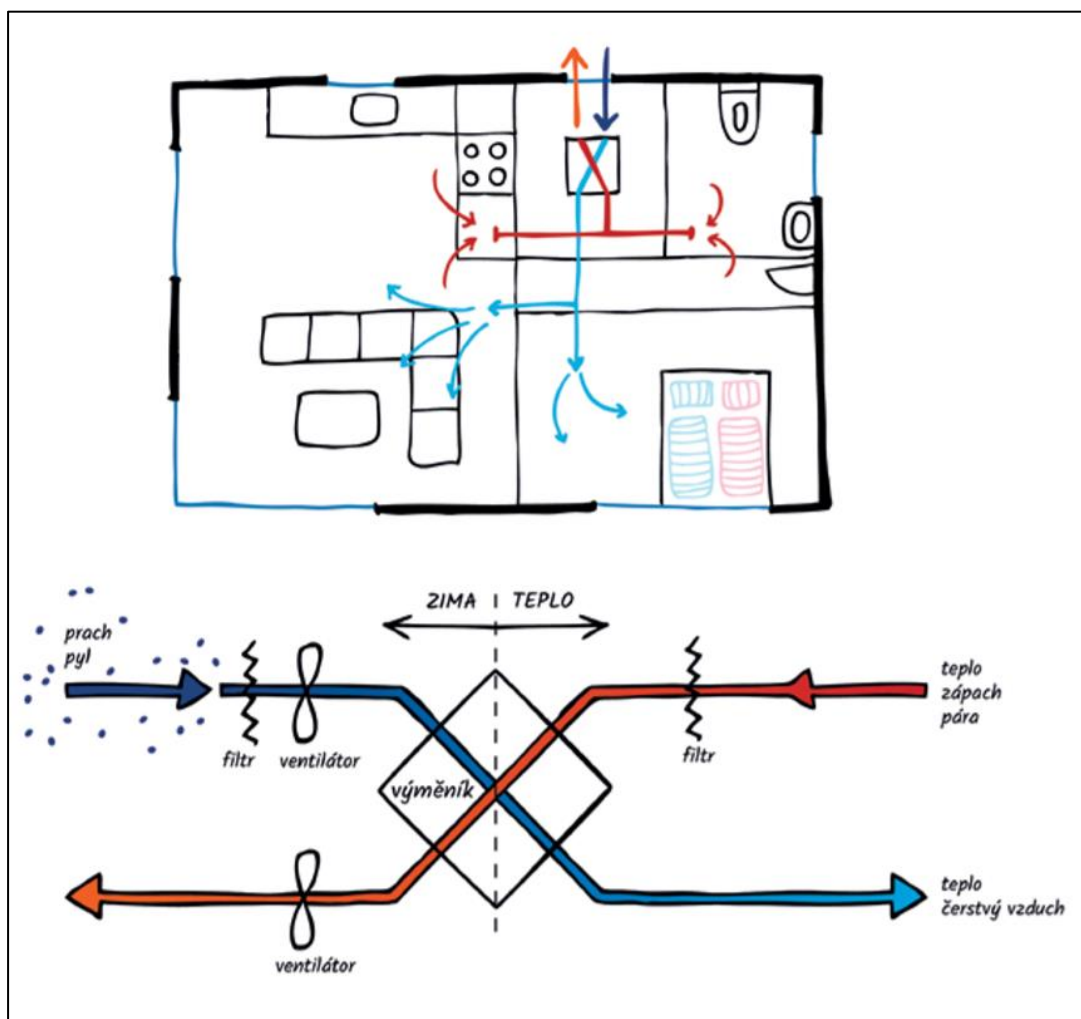
Hlavní parametry pasivních objektů jsou celková dodaná energie a energie potřebná k vytápění objektu. Množství dodané energie ovlivňuje obálka budovy, ale také její technické zařízení. Pro snížení energie pro vytápění, ohřev teplé vody, chlazení a další je nutné navrhnout vhodný systém technického zařízení budovy. Pro každý objekt je podstatné navrhnout vhodný systém s regulací, v opačném případě se mohou energetické potřeby navyšovat. Pro umístění veškeré technologie je nutné v projektu počítat s technologickou místností splňující prostorové nároky.

5.1 Větrání

Pro snížení potřebné energie na vytápění je nutné minimalizovat tepelné ztráty větráním. Nucené větrání s rekuperační jednotkou je schopné ušetřit 75 % a více energie (záleží na účinnosti rekuperační jednotky), která by byla spotřebovaná na ohřátí čerstvého vzduchu. Základní princip rekuperace je zpětné získávání tepla. Odváděný teplý vzduch ve výměníku předá své teplo čerstvému studenému přiváděnému vzduchu dle obrázku č 38.

Výměníky dělíme na rekuperační (deskové, trubkové) a regenerační (rotační, přepínací). Některé novodobé vzduchotechnické jednotky jsou schopné upravovat nejen teplotu, ale i vlhkost přiváděného vzduchu. Aby vzduchotechnická jednotka mohla účinně fungovat, je nutné zajistit již zmíněnou vzduchotěsnou obálku budovy. Vzduchotechniku lze dle objemu větraného vzduchu rozdělit na zónové (pouze jednotlivé pokoje) anebo ústřední (jedna jednotka větrá potrubím celý objekt).

Díky řízenému větrání nehrozí překročení koncentrace CO₂ a jiných škodlivin, které se přirozeným větráním nestačí odvětrat. Rozvody vzduchu se dělí na potrubí přívodní a odtahové. Čerstvý vzduch se přivádí do obytných místností a odvádí se z koupelny, kuchyně a dalších prostor produkujících různé pachy. Distribuce vzduchu v budově je zaručena větracími mřížkami anebo například dveřmi bez prahu. Vzduchotechnická jednotka je schopná udržet teplo v objektu, ale potřebuje nějaký primární zdroj, který do prostoru dodá tepelnou energii. Pro minimalizování tlakových ztrát a spotřeby energie ventilátorů je vhodné navrhovat rozvody co nejkratší.



Obrázek č. 38 – Princip větrání vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací, zdroj:[22]

Dle účinnosti dělíme rekuperaci do dvou kategorií:

Rekuperace pasivní: Základní princip spočívá v tom, že odpadní vzduch z interiéru předá tepelnou energii nově přivedenému čerstvému vzduchu. Navzájem se nesmíchají pouze si přes stěny výměníku předávají teplo. Minimální požadovaná účinnost je nad 50 %, za velmi kvalitní jednotky se považují rekuperace s účinností nad 80 %. Tento typ jednotky zaručuje nucené větrání se zpětným získáváním tepla.

Rekuperace aktivní: Tato jednotka pracuje na principu tepelného čerpadla, tudíž je schopna do interiéru vracet vzduch o teplotě vyšší, než je teplota odpadního vzduchu. Jednotka může ohřívat vzduch díky elektrickému ohřívači anebo teplovodně, kdy odebírá teplo z akumulární nádrže. Účinnost vzduchotechnických jednotek s aktivní rekuperací se pohybuje kolem 95 %.

5.2 Vytápění

Systém vytápění by měl být navržen tak, aby v co největší možné míře využíval energie z obnovitelných zdrojů. Tepelný zdroj pro pasivní objekty by měl být nízkoteplotní s možností akumulárního systému. Obálka pasivního objektu při splnění požadovaných vlastností účinně udržuje teplo v interiéru, tudíž pro vytopení objektu stačí tepelné zdroje s výrazně nižším výkonem než u standardních objektů. K vytápění lze použít například teplovodní podlahové vytápění nebo stěnové radiátory. Další variantou je vytápění vzduchotechnickou jednotkou, která ohřívá přiváděný vzduch.[20]

Zdroje tepla:

Zdroje tepla dodávají do objektu tepelnou energii pro vytápění, ohřev teplé vody, popřípadě další napojené systémy. Ideální zdroj tepla je takový, který pro svůj provoz spotřebovává maximální množství obnovitelných zdrojů s maximální účinností. V pasivním objektu je i celá řada pasivních tepelných zdrojů poskytujících tepelné zisky z elektronických spotřebičů, od osvětlení a osob v objektu.

Elektrický kotel a ohřívače: Zařízení využívající elektrickou energii jsou relativně levná a mají široké použití od elektrických kotlů, zásobníkových ohřívačů, až po elektrické podlahové vytápění. Účinnost přeměny elektrické energie je poměrně vysoká v rozmezí od 98 do 100 %. Při přihlédnutí k nepříznivé bilanci potřeby primární energie je vytápění a ohřev vody pouze elektrickou energií ze sítě nevhodné. Nelze splnit požadavky na dodané množství primární a celkové energie. Lze ji využívat jako doplňkový či záložní zdroj k obnovitelnému zdroji tepla.

Kondenzační plynový kotel: Nejčastěji se využívá zemní plyn přivedený do objektu plynovodem. Další možností je propan, který se skladuje v tlakových zásobnících. Při spalování plynu vzniká z jeho chemické reakce při sloučení s kyslíkem oxid uhličitý CO₂ (nutné odvětrání prostoru a vhodná volba spotřebiče), voda a další látky dle složení paliva.

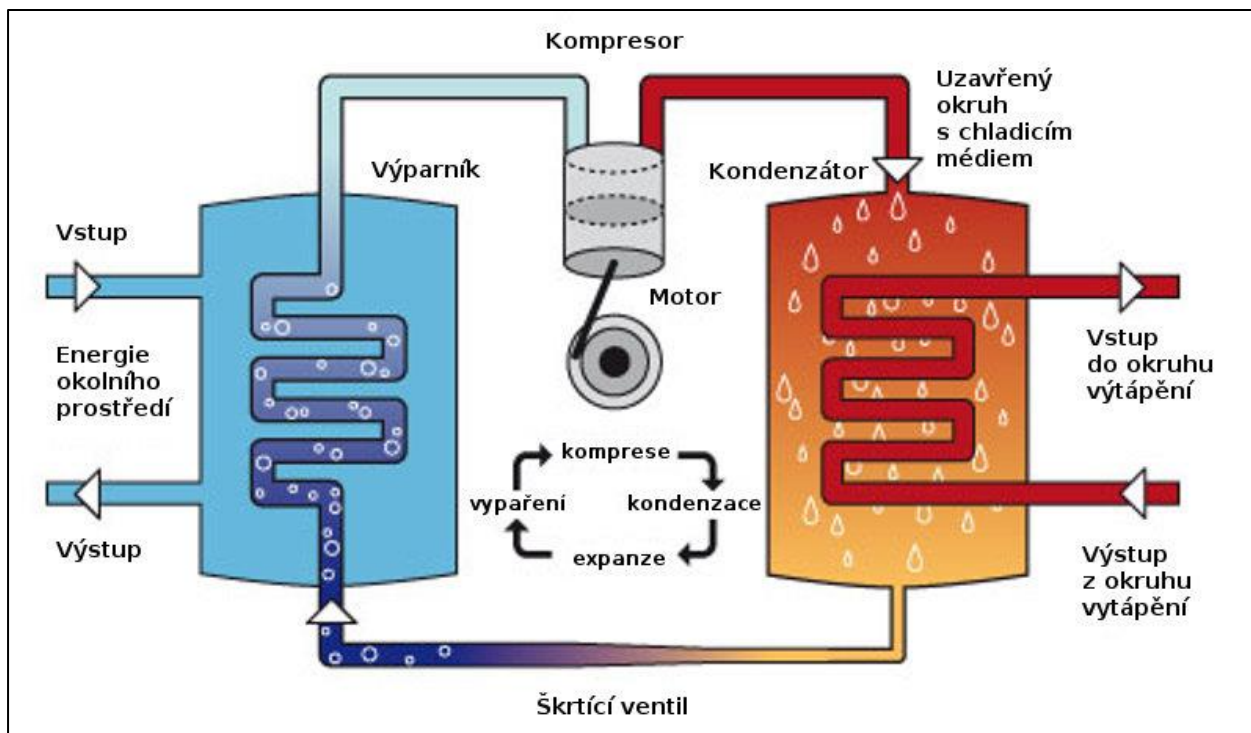
Vzniklá voda může zůstat ve formě páry anebo je vysrážena do kapalného stavu. Pro kondenzační typ plynového kotle se počítá se zkondenzovanou vodou o teplotě (40 až 90 °C) a jeho účinnost se pohybuje kolem 100 %. Kondenzační plynový kotel se používá v kombinaci s nízkoteplotními otopnými soustavami (například podlahové vytápění, stěnové otopné soustavy s regulací). Hořák je možné regulovat od 20 do 100 % jmenovitého výkonu umožňují přizpůsobení potřebnému výkonu.

Kotle na biomasu: Pevná biopaliva použitelná pro spalování jsou dřevěné brikety, kusové dřevo, peletky a štepky. Je možné využít i kapalná paliva jako bioolej nebo biolíh. Tyto paliva patří mezi paliva s nejlepším hodnocením z hlediska ekologické zátěže.

Účinného spalování těchto paliv lze docílit pomocí vhodného dvoustupňového kotle, nedoporučuje se proto využití klasického kotle na tuhá paliva s odlišným procesem spalování. Účinnost se odvíjí od několika faktorů: vlhkost obsažená v palivu, množství přiváděného vzduchu, dimenze spalinové cesty.... Nevýhodou tohoto tepelného zdroje je jeho složitější regulace, nutný prostor na skladování paliva, komín a nutná obsluha kotle.

Tepelná čerpadla: Tepelná čerpadla využívají energii okolního prostředí vzduch, voda, země. Jedná se o nevyčerpatelné a ekologické zdroje a pro pasivní objekty postačí malé výkony. Jedná se o uzavřený okruh s kompresorem naplněný chladivem, který v okruhu cyklicky mění skupenství. Kompresor je poháněn elektromotorem napájeným elektrickou energií. Přivedením například vzduchu do výparníku, mu je odebráno výparné teplo a chladivo změní skupenství na plynné. Tím dojde k snížení teploty zdroje. Poté je chladivo přivedeno do kompresoru, který ho stlačí a tím se zvýší jeho teplota. Chladivo předá svou tepelnou energii v kondenzátoru okruhu vytápění, tím dojde ke zkapalnění média. Dále pokračuje přes škrtecí ventil, který vstříkne chladivo do výparníku a celý proces se opakuje.

U tepelných čerpadel se uvádí topný výkon COP, který tvoří poměr mezi nízkopotenciální energií a dodanou elektrickou energií do kompresoru. Vyšší hodnota COP znamená kvalitnější a úspornější tepelné čerpadlo.[23]



Obrázek č. 39 – Princip větrání vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací, zdroj:[24]

Základní druhy tepelných čerpadel dle zdroje nízkopotenciálního tepla:

Jsou tři základní druhy nízkopotenciálního zdroje a to voda, země, vzduch, mohou předávat energii buď vodě a nebo vzduchu:

- Voda/voda (studny): Hlavním zdrojem jsou podzemní nebo geotermální vody.
- Voda/voda (vodní plocha): Zdrojem je vodní plocha na jejímž dně jsou instalovány hadice s nemrznoucí směsí.
- Země/voda (vrt): Zdrojem tepla je zemina přístupná vrtem v hloubce od 80 do 250 m dle geologických podmínek a potřebného výkonu. Jeden z nejvyšší topných faktorů se stabilním výkonem. Tento typ tepelného čerpadla lze využít i pro chlazení v letním období.
- Země/voda (plošný kolektor): Teplo je odebíráno zemními kolektory, pro provoz je nutná dostatečná plocha.
- Vzduch/voda: Zdrojem tepla je venkovní vzduch, který se využívá pro ohřev vody.
- Vzduch/vzduch: Venkovní vzduch ohřívá vnitřní vzduch.

Porovnání potřeby primární energie tepelných zdrojů na vytápění:

Tabulka č. 16 – Porovnání tepelných zdrojů dle potřeby primární energie, zdroj: autorka DP

| | Kotel na dřevo | Tepelné čerpadlo | | Kotel na peletky | Tepelné čerpadlo | Plynový kondenzační kotel | Elektrokotel |
|---|----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Spotřeba energie [kWh/m ² *rok] | 16,66 | 2,92 | 0,73 | 16,541 | 3,65 | 15,4 | 13,9 |
| Energonositel, faktor energetické přeměny [kWh/kWh] | Kusové dřevo 0,05 | Dolární energie 0,05 | Elektrická energie 3,0 | Dřevěné peletky 0,15 | Elektrická energie 3,0 | Zemní plyn 1,1 | Elektrická energie 3,0 |
| Primární energie [kWh/m ² *rok] | 0,833 | 2,336 | | 2,48115 | 10,95 | 16,94 | 41,7 |

Dle tabulky č. 16 jako nejúspornější tepelný zdroj na vytápění objektu vychází kotel na kusové dřevo. Při porovnání tepelného čerpadla napojeného na elektrickou síť anebo v kombinaci se solární energií je kombinace se solární energií 4,6násobně výhodnější. Dřevěné peletky jsou porovnatelně výhodné jako tepelné čerpadlo se solární energií. Plynový kondenzační kotel je umístěn na předposledním místě. Vytápět objekt pouze elektro kotlem s použitím elektrické energie ze sítě je velice nevýhodné. Volba vhodného tepelného zdroje závisí i na dalších faktorech, než spotřeba primární energie. Pro použití kotle na dřevo je potřeba zajistit dostatečné prostory pro skladování paliva, obsluhu kotle a další faktory. Pro větší stavby je lepší volba tepelné čerpadlo v kombinaci se solární energií.

5.3 Chlazení

Již v průběhu návrhu je snaha díky architektonickému a stavebnímu řešení minimalizovat potřebu chlazení (orientací, stínící technikou, ...). Další aspekt, který může snížit potřebu chlazení budovy je schopnost akumulace. Efektivita chladicího zařízení se udává hodnotou EER, poměr mezi dodaným chladem a potřebnou energií na provoz. Spotřeba energie pro chlazení budovy může být až třikrát větší než potřeba energie na vytápění. Pro chlazení se dají například využít tepelná čerpadla se zemními kolektory. [21] [1]

5.4 Ohřev teplé vody

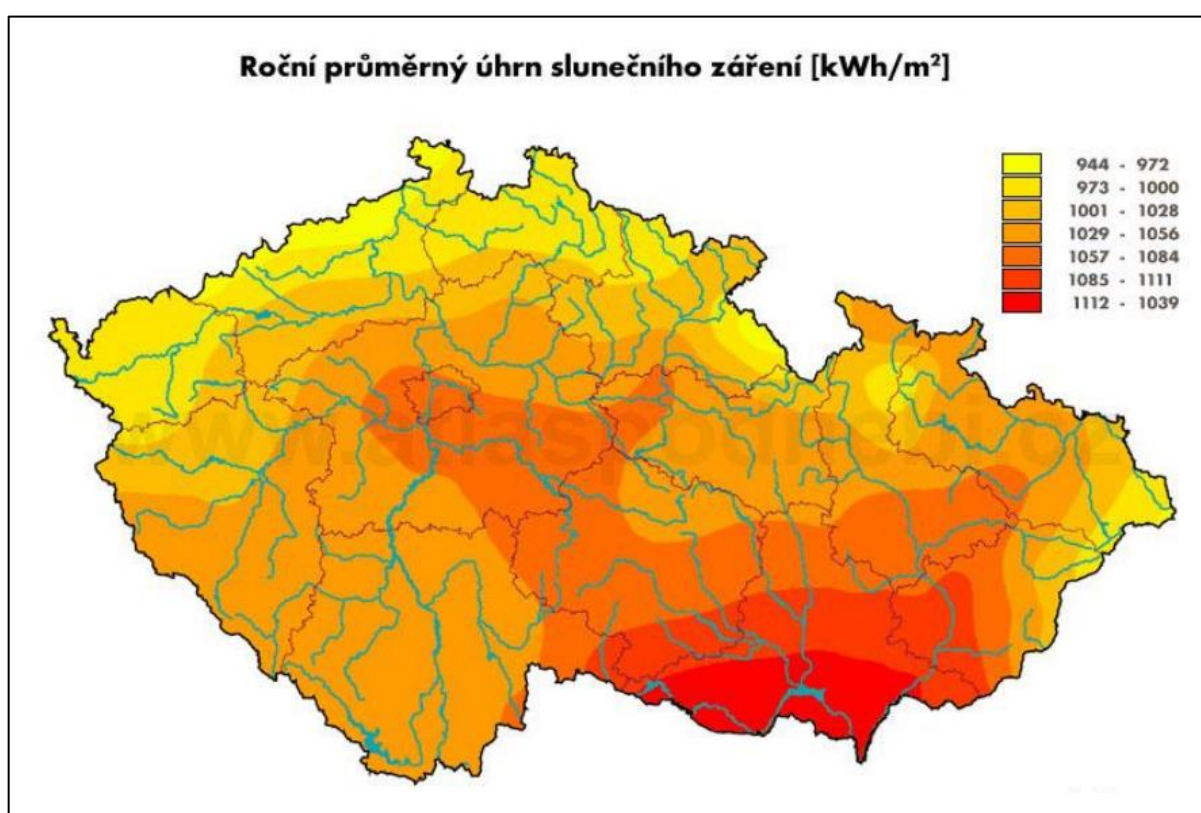
Nejčastějším řešením ohřevu teplé vody je jeho sdružení s vytápěním. Použitý tepelný zdroj jako kotel, tepelné čerpadlo, solární kolektory a další akumulují teplotu v zásobníkovém ohřivači. Tento ohřivač pokrývá potřeby teplé vody a také zajišťuje topný okruh pro topná tělesa, podlahové vytápění anebo výměník rekuperační jednotky. Pro zamezení

tepelných ztrát akumulční nádrže, musí být opatřena dostatečnou tloušťkou tepelné izolace. Pro snížení tepelných ztrát rozvody, musí být co nejkratší a dostatečně zaizolované. [1]

5.5 Solární systémy

Solární energie poskytuje zdroj energie s minimálním dopadem na životní prostředí. Z hlediska enviromentálního dopadu se doba energetické návratnosti panelů stanovuje na 2 až 8 let, dle náročnosti výroby, uvažované životnosti, ... Ideální orientace je na jih.

Fotovoltaické panely: Pro minimalizaci elektrické energie z neobnovitelných zdrojů lze využít přímou přeměnu sluneční energie na elektrickou energii. Může se použít pro vyvážení energetického toku budovy během roku.



Obrázek č. 40 – Průměrný roční slunečního záření v České republice, zdroj:[25]

Existují různé druhy:

-Monokrystalické panely: Použití je podmíněné ideálními podmínkami: sklon a orientace ke slunci. Účinnost panelů je nejvyšší a to 14–18 %, ale pouze v místech s vhodnými světelnými podmínkami. Panel obsahuje velké krystaly křemíku, až 10 cm a tvoří stejnoměrnou plochu.

-Polykrystalické panely: Pro místa, která nemají ideální podmínky, ale spíše boční a rozptýlené světlo jsou vhodné polykrystalické panely. Účinnost panelů se pohybuje kolem 12-17 %, ale jedná se o rovnoměrnější výkon. Panel je tvořen nerovnoměrnou plochou s malými krystaly křemíku.

-Amorfní panely: Tento typ panelů má účinnost 7-9 % a proto potřebuje 2,5 větší plochu pro dosažení stejného výkonu předchozích panelů. Tenká napařená křemíková vrstva na sklo, která má větší citlivost na rozptýlené světlo a celoroční výnos může být až o 10% vyšší.[21]

Termické solární panely: Na účinnost kolektorů má vliv hned několik parametrů, které ji snižují. Hlavním parametrem je intenzita slunečního záření, kdy v létě 1m^2 kolektoru ohřeje až 100 l na cca 50°C . V zimě, kdy intenzita slunečního záření je menší se voda ohřeje jenom o několik stupňů. Pro maximalizaci solárních zisků i během nepříznivých podmínek je vhodné kolektory orientovat na jih pod sklonem cca 40° . Z tohoto důvodu se používá v kombinaci s dalším tepelným zdrojem.

6 Analýza konstrukčně materiálového řešení

Pro vytvoření kvalitní tepelně izolační obálky pasivního objektu lze použít jakýkoli konstrukční systém, který bude splňovat požadované tepelně izolační vlastnosti s co nejnižší tloušťkou. Konstrukční systémy lze dle objemové hmotnosti rozdělit na dvě základní skupiny, a to lehké a masivní. Dřevostavby jsou lehké konstrukce a do masivních řadíme železobeton ve ztraceném bednění, keramické, pórobetonové vápenopískové tvárnice. Každý konstrukční systém má své výhody i nevýhody.

V této kapitole budou analyzovány čtyři materiálové varianty. Porovnávané materiály jsou: keramické tvárnice plněné tepelnou izolací, vápenopískové tvárnice, ztracené bednění z polystyrénu a dřevostavba. Pro všechny varianty bude vypracována výkresová dokumentace viz příloha č. 5 a budou porovnány z několika hledisek. Skladby jednotlivých materiálů budou navrženy a posouzeny k podobným hodnotám součinitele prostupu tepla viz příloha č. 4.

Požadavky na obvodový plášť: Pro minimalizování tepelných ztrát obálkou budovy je nutné, aby skladba byla vhodně navržena na hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní objekty nebo hodnoty lepší. Tepelná obálka musí mít dostatečnou a nepřerušovanou tloušťku tepelné izolace.

Dalším hodnoceným parametrem při návrhu je eliminace kondenzace vodních par uvnitř skladby obvodové konstrukce. V zimním období musí splňovat požadavky povrchové vnitřní teploty vnitřní konstrukce. Vnitřní povrchová teplota nesmí klesnout pod teplotu rosného bodu cca 12 °C, aby ve vnitřním prostředí nevznikala vlhkost. K eliminaci rizikových míst je nutné vyřešit při návrhu konstrukční detaily a předejít tak vzniku tepelných mostů.

Další posuzovaný faktor je možnost akumulace tepla, která je závislá na hmotnosti. U lehkých obvodových konstrukcí je vhodné použít kombinaci s těžkými vnitřními konstrukcemi. [1]

Porovnávané materiálová řešení:

6.1 Keramické tvárnice

Tento materiálový systém je nejčastěji používán s kontaktním zateplovacím systémem. Dalším způsobem využití keramických tvárnice jsou tvárnice plněné tepelnou izolací (polystyrén, minerální vata) bez nutnosti dalšího kontaktního zateplení. Další podobnou variantou jsou keramzitové tvárnice plněné tepelnou izolací. Zdění se provádí na tenkovrstvou maltu nebo na speciální PUR pěnu.

U plněných cihel odpadá pracnost s dodatečným zateplením, ale nastává problém s horším odstraněním tepelných mostů. Dodatečné zateplování by postrádalo smysl, proto se musí počítat s již neměnnými vlastnostmi tvárnice.



Obrázek č. 41 – Keramická tvárnice plněná polystyrenem, zdroj:[28]

Tento systém neumožňuje předsazenou montáž oken posunutou do tepelné izolace. Částečné oslabení tepelně izolační obálky tvoří kastlík pro žaluzie nad oknem.

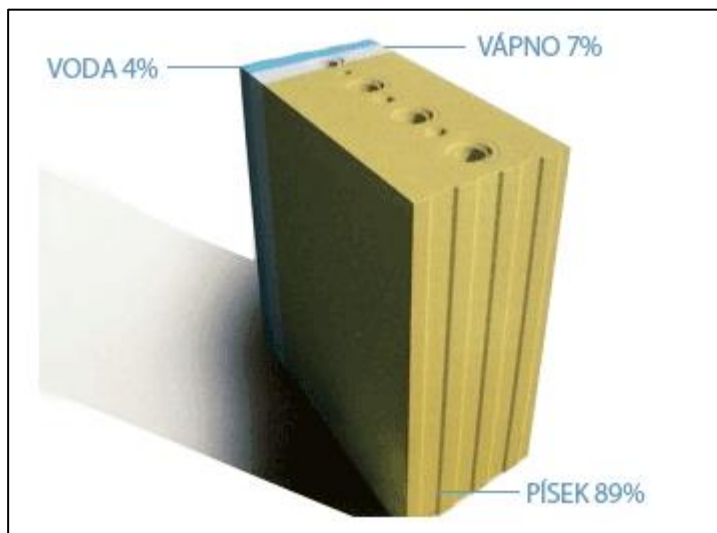


Obrázek č. 42 – Keramická tvárnice plněná minerální vatou, zdroj:[29]

6.2 Vápenopískové tvárnice

Pro výstavbu pasivních objektů jsou používány z důvodu malé tloušťky, ale velké únosnosti. Vápenopískové tvárnice se používají s kontaktním zateplením tloušťky kolem 300 mm. Z důvodu jejich únosnosti jsou tvárnice i těžší než běžné a navyšují pracnost na stavbě, která odpadá při použití mechanizace. Další výhodou tohoto materiálu je jeho výborná schopnost akumulace tepla a akustického útlumu. Zdění se provádí na tenkovrstvou maltu. Dutiny uvnitř tvárnice lze využít na vedení instalací. Vzduchotěsnou rovinu tvoří vnitřní omítka. Rohy a napojení se vyztužují omítkovými profily. Provedení omítky je nutné i v místech, kde nebude vidět (u podlahy dotáhnout až k hydroizolaci, nad podhledy, ...).

Nevýhodou tohoto systému je vysoká vodivost materiálu, kdy je potřeba ho kvalitně zaizolovat. Zakládání vápenopískového zdiva se doporučuje na méně vodivějších materiálech.



Obrázek č. 43 – Poměr jednotlivých surovin vápenopískové cihly, zdroj: [15]

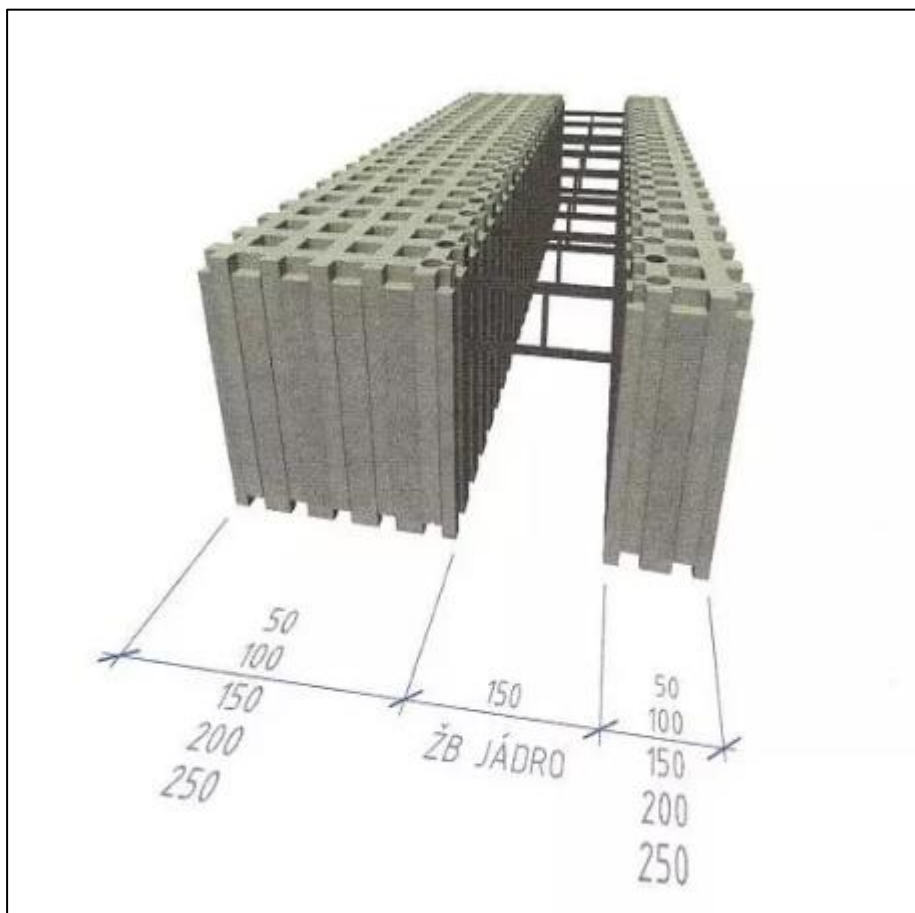
Pro eliminaci bodových tepelných mostů je nutné použít vhodný systém kotvení kontaktního zateplovacího systému. Z hlediska tepelně izolačního je nejvhodnější lepení izolantu bez mechanického kotvení s použitím lepicích kotev (musí splňovat podmínky použití např. rovinnost podkladu, výška objektu do 8 metrů, ...). Další variantou je mechanické kotvení kotvami a pro minimalizování tepelných mostů se používají hmoždinky se zapuštěnou montáží a se systémovou zátkou.

Při kotvení prvků přes kontaktní zateplovací systém se pro eliminaci tepelných mostů používají speciální prvky např. Dosteba, Isokorb a další.

6.3 Ztracené bednění

Konstrukční systém umožňuje snadnou výstavbu ztraceného bednění, které se poté vybetonuje. Ztracené bednění je tvořené tepelnou izolací EPS s příměsí grafitu na vnější a vnitřní straně. Některé systémy nabízejí variantu použití na vnitřní straně cementovláknité desky (plné využití akumulace betonu) nebo bednicí desky pro možnost pohledového betonu. Potřebnou tloušťku tepelné izolace poskytuje variabilita izolačních dílů.

Následně se ztracené bednění s výztuž vyleje betonem. Výhodou systému je dobrá akumulační vlastnost betonu a variabilita železobetonového jádra dle statických požadavků. Při provádění je nutné ochránit šedý polystyrén před slunečním zářením a co nejdříve ho opatřit například základní omítkovou vrstvou. Vnitřní konstrukce může být provedena i z jiného materiálového systému.



Obrázek č. 44– Ztracené bednění tvořené šedým polystyrenem, zdroj: [27]

6.4 Dřevostavba

V současné době rozlišujeme několik druhů dřevostaveb a to rámové, skeletové konstrukce a masivní konstrukce. Nevýhodou dřevostaveb obecně jsou jejich horší vlastnosti akumulace tepla a akustiky.

Rámové dřevostavby jsou nejvíce využívány ve Spojených státech amerických a postupně si získávají oblibu i v České republice. Základním principem rámových konstrukcí je masivní dřevěná kostra opláštěná deskami na bázi dřeva. Rámovou stavbu lze zhotovit na stavbě nebo přivést na stavbu jako prefabrikované dílce.

Nosnou funkci u skeletových systémů mají masivnější sloupy v určitém rastru. Obvodový plášť tvoří ztužující a ochrannou funkci.

Masivní konstrukce lze rozdělit na srubové a novodobé využívající dřevěné panely. Pro další porovnávání bude použit systém masivních dřevěných panelů. Díky prefabrikaci je

výstavba velmi rychlá, přesná a obvodové konstrukce dosahují malých tloušťek. Jedná se o výstavbu bez mokrého procesu a potřebných technologických přestávek.



Obrázek č. 45– Ukázka montáže dřevěného masivního panelu na stavbě, zdroj: [30]

Jedná se o materiál na bázi dřeva, a proto je nutné ho chránit proti vlhkosti. Z tohoto důvodu nesmí být dřevo pod terénem. Dle druhu panelu jsou některé vzduchotěsné (například lepené) a ostatní se musí doplnit vzduchotěsnou rovinou. [2]

Porovnání konstrukčních systémů:

Fázový posun teplotního kmitu:

Tato veličina určuje, za jakou dobu se maximální teplota v exteriéru projeví na interiérové straně. Velký význam má například při letním přehřívání budov.

Tabulka č. 17 – Porovnání fázového posunu teplotního kmitu jednotlivých skladeb materiálových možností stěn, zdroj: autorka DP


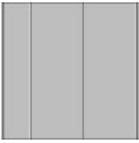

| Materiál | Fázový posun teplotního kmitu [h] |
|--|--|
| Skladba keramická tvárnice plněná tepelnou izolací | 13,4 |
| Skladba vápenopískové zdivo | 11,9 |
| Skladba ztracené bednění | 10,4 |
| Skladba masivní dřevěný panel | 1,3 |

Fázový posun byl posouzen u jednotlivých skladeb konstrukcí v programu teplo, při celkovém posouzení tepelně technických vlastností. Z hlediska fázového posunu dosahuje nejlepších výsledků keramická tvarovka plněná tepelnou izolací a to 13,4 h. Druhý nejlepší výsledek vyšel u skladby stěny s vápenopískovou tvárnici. Ztracené bednění má třetí výsledek, ale i tak dokáže účinně ochránit vnitřní prostředí před vnějšími výkyvy. Skladba dřevěného masivního panelu má hodnotu fázového posunu 1,3 h, která již není dostatečná pro účinné ochránění interiéru.

Enviromentální dopad:

Pro možnost porovnání z enviromentálního dopadu nebyly nalezeny jednotlivé hodnoty pro masivní dřevěné panely, z toho důvodu budou ostatní materiálové systémy porovnány bez něj. Jako nejšetnější materiál vychází vápenopísková cihla a její skladba. Podobných výsledků dosáhl materiálový systém ztraceného bednění. Keramická tvárnice plněná tepelnou izolací dopadla nejhůře a hlavně z hlediska PEI – primární energie potřebné pro výrobu.

Tabulka č. 18 – Porovnání stavebních materiálů dle dopadu na životní prostředí, zdroj: autorka DP [25]

| | Ztracené bednění | Keramická tvárnice plněná tepelnou izolací | Vápenopísková tvárnice |
|---|---|---|---|
| |  |  |  |
| | Vyřadit z porovnání | Vyřadit z porovnání | Vyřadit z porovnání |
| Zdroj dat | vlastní | vlastní | vlastní |
| Obecné vlastnosti | | | |
| PEI [MJ/m ²] | 1397.25 | 2571.42 | 1333.15 |
| GWP [kg CO ₂ ekv./m ²] | 105.639 | 125.859 | 79.8578 |
| AP [g SO ₂ ekv./m ²] | 254.696 | 246.923 | 209.488 |
| EP [g (PO ₄) ³⁻ ekv./m ²] | 51.8318 | 33.55 | 35.811 |
| ODP [g R-11 ekv./m ²] | 0.00363113 | 0.000961886 | 0.00268348 |
| POCP [g C ₂ H ₄ ekv./m ²] | 70.7984 | 23.4682 | 71.8287 |
| Plošná hmotnost [kg/m ²] | 521.054 | 371 | 405 |
| Obecné vlastnosti konstrukcí | | | |
| Tloušťka d [mm] | 520 | 520 | 520 |

Podlahová plocha:

Z hlediska největšího poměru podlahové plochy má nejlepší výsledky dřevostavba, kdy nosnou část stavby tvoří masivní dřevěný panel o tloušťce 125 mm. Vápenopísková cihla a ztracené bednění mají shodnou plochu. Nejmenší podlahovou plochu má řešení s keramickými tvarovkami plněné tepelnou izolací. Vnitřní nosné zdi mají tloušťku 250 mm viz výkresová část příloha č. 5.

7 Očekávaný vývoj

Do budoucna lze očekávat další zlepšování vlastností jednotlivých částí pasivního objektu, které nejspíše povede k postupné transformaci z pasivního na aktivní standard. Pro splnění těchto požadavků je kladen velký důraz na využívání energie z obnovitelných zdrojů a lepší účinnost využití solární energie. Související snahou bude stavět domy z šetrných nebo recyklovaných materiálů, pro snížení celkového dopadu.

Aktivní budova dokáže z obnovitelných zdrojů vyrobit dostatek energie na pokrytí vlastní spotřeby. Řídí se třemi principy, a to nízkou spotřebou energie, šetrností k životnímu prostředí a kvalitní vnitřní prostředí.

Důležitým aspektem je i „daň“ za vytvoření aktivního domu. Za předpokladu, že by se v subpolárním podnebném pásu měl vytvořit aktivní dům s nepřiměřenou tloušťkou obvodových konstrukcí. Kdy náklady na výrobu tepelné izolace by spotřebovaly více energie, než samotné vytápění je možné, že by se v některých případech od konceptu aktivních budov ustoupilo.

Závěr

V současné době je snaha snižovat spotřebu elektrické energie a zmírňovat celkový enviromentální dopad na životní prostředí. Jednou z největších příčin jsou právě budovy, které spotřebovávají až 40% celkové energie. Správný návrh pasivních objektů při splnění určitých kritérií může být řešením. Klíčem ke zmírnění celkového dopadu je snížení spotřeby energie na jejich provoz, vytápění a další spojené náklady.

Již vhodným architektonickým návrhem je možné ovlivnit potřebu energie na vytápění, a to volbou vhodného tvaru. Nejideálnějším tvarem je koule, která je z hlediska realizace a dalších faktorů nevhodná pro běžnou výstavbu. Z porovnávaných tvarů je nejvýhodnější tvar kvádr z hlediska solárních zisků a objemového faktoru.

Na snížení spotřeby primární energie a zvýšení využívání pasivních solárních zisků má největší vliv správná orientace kompaktní zateplené obálky ke světovým stranám. Při porovnání krajních případů: největší prosklená fasáda orientovaná na jih a minimum prosklené plochy na sever a opačným případem natočení lze pozorovat nárůst potřebné energie na vytápění z 13,9 [kWh/m²*rok] na 40,2 [kWh/m²*rok]. Rozdíl činí 2,89násobek původního stavu pro hodnocenou budovu. Do rozdílu vstupují solární zisky, ale i tepelné ztráty při orientaci oken na severní stranu.

Další zásadní vliv mají vlastnosti, rozložení a plocha již zmíněných oken. Okna mohou být zdrojem velkých pasivních zisků, ale právě špatnou orientací i velkých ztrát. Pro minimalizaci tepelných ztrát jsou vhodná z porovnávaných možností pouze trojskla, která v průběhu roku jsou na rozdíl od dvojskel i zisková v bilanci tepelných zisků a ztrát.

Další důležitou částí na celkový vliv budov je materiálové řešení budovy, s přihlédnutím na jeho enviromentální dopad. Vhodný materiál by měl mít dostatečný fázový posun tepelného spádu pro ochranu vnitřního prostředí a možnost výstavby s minimalizováním tepelných mostů. Nejvhodnějším z porovnávaných materiálů je vápenopísková tvárnice.

V neposlední řadě není důležitá pouze obálka, její tvar a vlastnosti, ale samotná technologie uvnitř objektu. Z hlediska snahy minimalizovat spotřebu primární energie není vhodné používat elektrickou energii ze sítě ve větší míře. Nejideálnější řešení je využívání kotlů na dřevo/ biomasu nebo tepelné čerpadlo v kombinaci se solární energií.

Jedná se o soubor i dalších důležitých parametrů, kdy žádný z nich se nesmí pomíjet pro vytvoření energeticky pasivního objektu.

Seznam použité literatury a ostatních zdrojů:

- [1] SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [2] HAZUCHA, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [3] Centrum pasivního domu - Pasivnidomy.cz. Centrum pasivního domu - Pasivnidomy.cz [online]. Copyright © 2006 [cit. 10.11.2019]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/>
- [4] ČSN EN 73 0540 - 2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky říjen 2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] RŮŽIČKA, Martin. *Stavíme dům ze dřeva*. Praha: Grada, 2006. Profi & hobby. ISBN 80-247-1461-2.
- [6] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-247-1101-x.
- [7] Energetika - TZB-info. Energetika - TZB-info [online]. Copyright © Copyright [cit. 19.11.2019]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/>
- [8] GARLÍK, Bohumír. *Inteligentní budovy*. Praha: BEN - technická literatura, 2012. ISBN 978-80-7300-440-8.
- [9] MURTINGER, Karel. *Úsporný rodinný dům*. Praha: Grada, 2013. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-4559-6.
- [10] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [11] REMEŠ, Josef. *Stavební příručka: to nejdůležitější z norem, vyhlášek a zákonů. 2., aktualiz. vyd.* Praha: Grada, 2014. Stavitel. ISBN 978-80-247-5142-9.
- [12] Změření vzduchotěsnosti obálky domu z cihel HELUZ pomocí Blower door testu - HOME. HOME - byt/dům/styl/zahrada [online]. Copyright © 2019 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/novinky/zmereni-vzduchotesnosti-obalky-domu-z-cihel-heluz/>
- [13] ČSN EN 73 0540 - 3. Tepelná ochrana budov – Část 3: výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování říjen 2004. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [14] [online]. Dostupné z: <http://www.stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13877-umistenitvar-a-rozvrzeni-mistnosti-pasivniho-domu>

- [15] Ekologie | . Úvod - karusel | [online]. Dostupné z: <https://www.kalksandstein.cz/odborne-informace/vapenopiskove-cihly/odborne-informace-ekologie>
- [16] [online]. TZB-info. [online]. Copyright © Copyright [cit. 19.11.2019]. Dostupné z: <http://www.stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13994-vzduchotesnost-pasivniho-domu>
- [17] [online]. TZB-info. [online]. Copyright © Copyright [cit. 19.11.2019]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9897-prakticka-aplikace-metodiky-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-rodinny-dum>
- [18] OKNA.EU - Plastová, hliníková a dřevěná okna . OKNA.EU - Plastová, hliníková a dřevěná okna [online]. Copyright © www.okna.eu [cit. 03.01.2020]. Dostupné z: <https://www.okna.eu/>
- [19] předsazená montáž oken Internorm dřevohliníková okna trojskla. Náš domek - Jak jsme stavěli dům v Praze [online]. [cit. 03.01.2020] Dostupné z: <http://nasdomek.cz/predsazena-montaz-oken/>
- [20] HUDEC, Mojmir, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. Pasivní domy z přírodních materiálů. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.
- [21] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [22] Pasivní domy: nulové, aktivní : 20 fotonávštěv. V Praze: PRO VOBIS, 2018. ISBN 978-80-906891-2-1.
- [23] POČINKOVÁ, Marcela a Danuše ČUPROVÁ. Úsporný dům. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-131-1.
- [24] Jak funguje tepelné čerpadlo? Vyplatí se? | Zdravé bydlení. Zdravé bydlení | Bez plísní a alergií [online]. Copyright © 2015 [cit. 03.01.2020]. Dostupné z: <http://www.zdravebydleni.com/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-vyplati-se/>
- [25] Fotovoltaika - sluneční záření v České republice. Isofen Energy - titulní stránka [online]. Copyright © 2009 Isofen Energy s.r.o. [cit. 03.01.2020]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [26] Envimat.cz - Katalog fyzikálních a environmentálních profilů stavebních konstrukcí. Envimat.cz - Katalog fyzikálních a environmentálních profilů stavebních konstrukcí [online]. Copyright © Envimat.cz, 2010 [cit. 03.01.2020]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/>
- [27] Tepelné izolace – katalog tepelných izolací, veškeré info o zateplení a izolacích | Izolace-info.cz [online]. [cit. 04.01.2020]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/pasivni-domy/21833-serial-konstrukcni-detaily-pro-pasivni-a-nulove-domy-5-dil-a.html#.XhhTkUdKiUk>

[28] HELUZ FAMILY 50 2in1 broušená | HELUZ. HELUZ – cihly, překlady, komíny, stropní systémy pro stavbu rodinného domu [online]. Copyright © 2020, HELUZ cihlářský průmysl v.o.s. [cit. 04.01.2020]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-family-50-2in1-brousena-1>

[29] Cihla Porotherm 50 T Profi Dryfix | Wienerberger. Stavební materiál pro váš dům | Cihly Porotherm, střešní tašky Tondach [online]. Copyright © 2020 Wienerberger [cit. 04.01.2020]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/produkty/zdivo/crihly-porotherm/porotherm-50-t-profi-dryfix.html>

[30] SOLID – Application - Novatop. Úvodní strana - Novatop [online]. [cit. 04.01.2020]. Dostupné z: <https://www.novatop-system.cz/en/usage/solid-application/>

Použitý software

Microsoft Word

Microsoft Excel

AutoCad

NKN

Dek soft – Energie

Teplo 2017 EDU

Seznam příloh

Příloha č.1: Studie administrativní budovy

Příloha č.2: Energetické posouzení budovy pro vliv různého natočení ke světovým stranám

Příloha č.3: Energetické posouzení budovy pro vliv různého zasklení

Příloha č.4: Tepelně technické posouzení skladeb konstrukcí

Příloha č.5: Výkresová dokumentace pro konstrukčně materiálové porovnání

Příloha č.6: Energetické posouzení budovy pro závěrečné porovnání

Přílohy jsou přiložené k vytištěné podobě diplomové práce, která je v archivu Západočeské univerzity v Plzni