

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

Energeticky plusový rodinný dům

DIPLOMOVÁ PRÁCE



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štruplová** Jméno: **Petra** Osobní číslo: **473511**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Inteligentní budovy**
 Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Energeticky plusový rodinný dům

Název diplomové práce anglicky:

Energy Positive Family House

Pokyny pro vypracování:

Analyzujte potřebu tepla na vytápění, přípravu teplé vody a potřebu elektrické energie v rodinném domě s hodinovým krokem výpočtu. Proveďte bilanci zdrojů energie v rodinném domě a navrhnete kombinace zejména obnovitelných zdrojů energie (fotovoltaika, tepelná čerpadla) pro dosažení plusové roční bilance z pohledu neobnovitelné primární energie a emisí CO₂. Pro jednotlivé varianty bilancujte realistické využití obnovitelných zdrojů energie pro krytí potřeby energie.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Přednášky k předmětu Alternativní zdroje energie
- 2) Vyhláška 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, MPO 2020.
- 3) Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu, MPO 2021

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

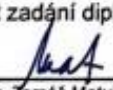
doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

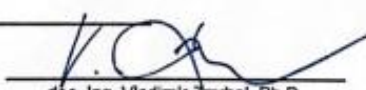
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

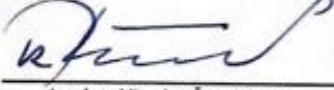
Datum zadání diplomové práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce:


 doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) práce


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

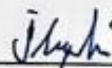

 doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
 podpis otkazatel(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

29.04.2022

Datum převzetí zadání



Podpis studentky

Souhrn

Diplomová práce pojednává o problematice v oblasti energeticky plusových budov. První část práce je věnována rešerši konceptu energeticky plusových budov a technických systémů, které jsou v praktické části uvažovány. Zpočátku je vysvětlen koncept energeticky nulových budov, na základě bilance neobnovitelné primární energie (nPE) popřípadě emisí CO₂. Rovněž jsou popsány možnosti, jak energeticky nulového domu dosáhnout, včetně rešerše technických systémů, jejich principů a rozdělení. V praktické části je analyzován rodinný dům v Praze ve dvou variantách, ve variantě domu DOP a variantě PAS, které se liší obálkou budovy. Potřeby tepla na vytápění jsou simulovány v prostředí TRNSYS v hodinovém kroku. Příprava TV a potřeba elektrické energie je bilancovaná také v hodinovém kroku. Pro dosažení energeticky plusové budovy jsou navrženy dvě varianty zdrojů energie. Varianta 1 s FVE a TČ a varianta 2 s FVE a PK v hodinovém kroku. V závěru se hodnotí roční energetická bilance s váhovými faktory na nPE, emise CO₂ a ekonomické vyhodnocení ročního provozu všech variant.

Summary

The diploma thesis deals with issues in the field of energy-plus buildings. The first part of the thesis is devoted to a reshuffle of the concept of energy-plus buildings and technical systems, which are considered in the practical part. Initially, the concept of energy-free buildings is explained, based on the balance of non-renewable primary energy (nPE) or CO₂ emissions. Options are also described for achieving a zero-energy house, including a reshuffle of technical systems, their principles and distribution. In the practical part, the family house in Prague is analysed in two variants, the house DOP variant, and the PAS variant, which differ by the building envelope. The heating needs are simulated in the TRNSYS environment in an hourly step. The preparation of the TV and the need for electricity is also balanced in an hourly step. Two variations of energy sources are proposed to achieve the energy-plus building. Option 1 with FVE and TČ and option 2 with FVE and PK in the hourly step. The conclusion assesses the annual energy balance with weighting factors for nPE, CO₂ emissions and the economic evaluation of the annual operation of all variants.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Energeticky plusový rodinný dům“ vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky Ph.D. s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury

Dne 29.06.2022

.....

Bc. Petra Štruplová

Poděkování

Opravdu velký dík patří za odborné vedení, konzultace a čas, který mi věnoval, vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Tomáši Matuškoví, Ph.D. Dále děkuji své rodině za její podporu během studia.

Obsah

| | |
|---|----|
| Souhrn | 3 |
| Summary | 3 |
| Prohlášení | 4 |
| Poděkování | 5 |
| Obsah..... | 6 |
| Soupis použitého značení | 9 |
| ÚVOD | 12 |
| 1. ENERGETICKY PLUSOVÉ BUDOVY | 13 |
| 1.1 Hranice systému budovy pro hodnocení..... | 16 |
| 1.1.1 Fyzická hranice systému..... | 16 |
| 1.1.2 Bilanční hranice systému..... | 17 |
| 1.1.3 Okrajové podmínky | 17 |
| 1.2 Váhový systém..... | 17 |
| 1.2.1 Metriky | 18 |
| 2. KLIMATICKÉ ÚDAJE..... | 19 |
| 3. TECHNICKÉ SYSTÉMY | 21 |
| 3.1 Fotovoltaická elektrárna | 21 |
| 3.1.1 Typy solárních článků | 22 |
| 3.1.2 Faktory ovlivňující parametry modulu..... | 25 |
| 3.1.3 Rozmanitost instalací FVE | 28 |
| 3.1.4 Typy instalací fotovoltaických systémů | 28 |
| 3.2 Tepelná čerpadla | 31 |
| 3.2.1 Typy TČ vzduch voda | 34 |
| 3.2.2 Topný výkon..... | 36 |
| 3.2.3 Efektivita | 38 |
| 3.2.4 Režim provozu s přednostní přípravou TV | 39 |

| | | |
|-------|--------------------------------------|----|
| 3.2.5 | Problémy tepelných čerpadel | 40 |
| 3.3 | Kondenzační plynový kotel | 42 |
| 3.3.1 | Základní pojmy..... | 43 |
| 3.3.2 | Teplota spalin | 45 |
| 4 | ENERGETICKÁ NÁROČNOST DOMU | 46 |
| 4.1 | Rodinný dům..... | 46 |
| 4.1.1 | Konstrukce..... | 47 |
| 4.2 | Okrajové podmínky | 49 |
| 4.2.1 | Obsazenost a vnitřní zisky..... | 49 |
| 4.2.2 | Větrání | 50 |
| 4.2.3 | Klimatické podmínky | 51 |
| 4.3 | Vytápění..... | 53 |
| 4.3.1 | TRNSYS simulace..... | 53 |
| 4.3.2 | Energetické potřeby | 55 |
| 4.4 | Potřeba tepla na přípravu TV | 57 |
| 4.4.1 | Profil odběru TV..... | 57 |
| 4.4.2 | Energetické potřeby..... | 58 |
| 4.5 | Uživatelská energie..... | 58 |
| 4.5.1 | Profil uživatelské energie | 59 |
| 5 | ANALÝZA ZDROJŮ ENERGIE | 60 |
| 5.1 | Zdroje energie | 60 |
| 5.1.1 | Tepelná čerpadla..... | 60 |
| 5.1.2 | Plynový kotel..... | 66 |
| 5.1.3 | Fotovoltaická elektrárna | 69 |
| 5.2 | Energeticky nulový/plusový dům | 72 |
| 5.2.1 | Energetická bilance | 72 |
| 5.2.2 | Ekonomická bilance | 72 |

| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 5.3 | Emisně nulový dům | 74 |
| 5.3.1 | Energetická bilance | 74 |
| 5.3.2 | Ekonomická bilance | 75 |
| | Závěr..... | 77 |
| | Seznam použité literatury | 78 |

Soupis použitého značení

| | | |
|--------------------------------|--|-----------------------|
| A_{FV} | Plocha modulu | [m ²] |
| COP | Topný faktor | [-] |
| E | Emisivita | [-] |
| $E_{ob\dot{e}h,\check{c},TV}$ | Potřeba pomocné el. energie soustavy s TČ na přípravu TV | [kWh] |
| $E_{ob\dot{e}h,\check{c},VYT}$ | Potřeba pomocné el. energie soustavy s TČ na vytápění | [kWh] |
| $E_{T\check{c},TV}$ | Potřeba el. energie pro pohon TČ na přípravu TV | [kWh] |
| $E_{T\check{c},VYT}$ | Potřeba el. energie pro pohon TČ na vytápění | [kWh] |
| G | Intenzita ozáření | [W/m ²] |
| G_{ref} | Referenční intenzita ozáření | [W/m ²] |
| H_i | Výhřevnost | [kWh/m ³] |
| H_s | Spalné teplo | [kWh/m ³] |
| $H_{T,hodina}$ | Dávka ozáření za hodinu | [kWh/m ²] |
| $K_{PK,TV}$ | Potřeba energie zemního plynu na přípravu TV | [kWh] |
| $K_{PK,VYT}$ | Potřeba energie zemního plynu na vytápění | [kWh] |
| L | Latentní teplo | [J] |
| \dot{M} | Průtok větracího vzduchu | [kg/h] |
| $Q_{a,TV}$ | Potřeba tepla z doplňkového zdroje na přípravu TV | [kWh] |
| $Q_{a,VYT}$ | Potřeba tepla z doplňkového zdroje na vytápění | [kWh] |
| $Q_{e,sys}$ | Výrob el. energie z FV systému | [kWh] |
| $Q_{k,TV}$ | Dostupné teplo z TČ na přípravu TV | [kWh] |
| $Q_{k,VYT}$ | Dostupné teplo z TČ na vytápění | [kWh] |
| $Q_{T\check{c},TV}$ | Potřeba tepla dodané TČ na přípravu TV | [kWh] |
| $Q_{T\check{c},VYT}$ | Potřeba tepla dodané TČ na vytápění | [kWh] |
| $Q_{p,TV}$ | Potřeba tepla na přípravu TV | [kWh] |
| $Q_{p,VYT}$ | Potřeba tepla na vytápění | [kWh] |
| Q_w | Potřeba tepla na ohřev TV | [kWh] |
| NOCT | Teplota FV článku | [°C] |
| P | Vícenásobná lineární regrese pro výkon TČ, topný faktor | [-] |

| | | |
|-----------------|--|-------------------------|
| P_{pom} | Příkon oběhových čerpadel | [kW] |
| S | Plocha konstrukcí | [m ²] |
| U | Součinitel prostupu tepla | [W/m ² .K] |
| $V_{w,f,day}$ | Denní potřeba TV | [l/osoba.den] |
| c | Měrná tepelná kapacita | [J/kg.K] |
| d | Tloušťka materiálu | [m] |
| g | Součinitel prostupu sluneční energie | [-] |
| h | Součinitel přestupu tepla | [W/m ² .K] |
| k | Solární koeficient | [-] |
| m | Teplotní exponent otopných těles | [-] |
| n | Počet osob | [osoba] |
| p | Elektrické ztráty | [-] |
| t_e | Teplota venkovního vzduchu | [°C] |
| $t_{e,N}$ | Venkovní výpočtová teplota | [°C] |
| t_{em} | Střední teplota venkovního vzduchu | [°C] |
| t_{fve} | Teplota FVE modulu | [°C] |
| t_i | Vnitřní teplota vzduchu | [°C] |
| t_{k2} | Teplota na výstupu z kondenzátoru | [°C] |
| t_{ref} | Referenční teplota FVE modulu | [°C] |
| t_{v1} | Teplota na vstupu do výpadníku | [°C] |
| t_{w1} | Teplota přívodní otopné vody | [°C] |
| $t_{w1,N}$ | Návrhová teplota přívodní otopné vody | [°C] |
| t_{w2} | Teplota vratné otopné vody | [°C] |
| $t_{w2,N}$ | Návrhová teplota vratné otopné vody | [°C] |
| t_{TV} | Teplota připravované TV | [°C] |
| Δt_{TV} | Teplota zohledňující rozdíl teplot na výměníku tepla | [K] |
| w_{nPE} | Konverzní faktor CO ₂ | [tCO ₂ /MWh] |
| w_{nPE} | Konverzní faktor nPE | [MWh/MWh] |
| $\Phi_{k,TV}$ | Výkon TČ | [kW] |
| γ | Teplotní koeficient Pmax | [1/K] |

| | | |
|---------------------|---|----------------------|
| η_{pk} | Účinnost plynového kotle | [-] |
| η_{FVE} | Účinnost FV modulu | [-] |
| η_{ref} | Referenční účinnost modulu | [-] |
| λ | Součinitel tepelné vodivosti | [W/m.K] |
| ρ_M | Hustota materiálu | [kg/m ³] |
| ρ_{FV} | Nominální odrazivost panelu | [-] |
| $\tau_{TČ,TV}$ | Doba provozu TČ v režimu přípravy TV | [h] |
| $\tau_{TČ,VYT}$ | Doba provozu TČ v režimu vytápění | [h] |
| $\tau_{TČ,VYT,dis}$ | Zbývající doba provozu TČ dostupná pro vytápění | [h] |

ÚVOD

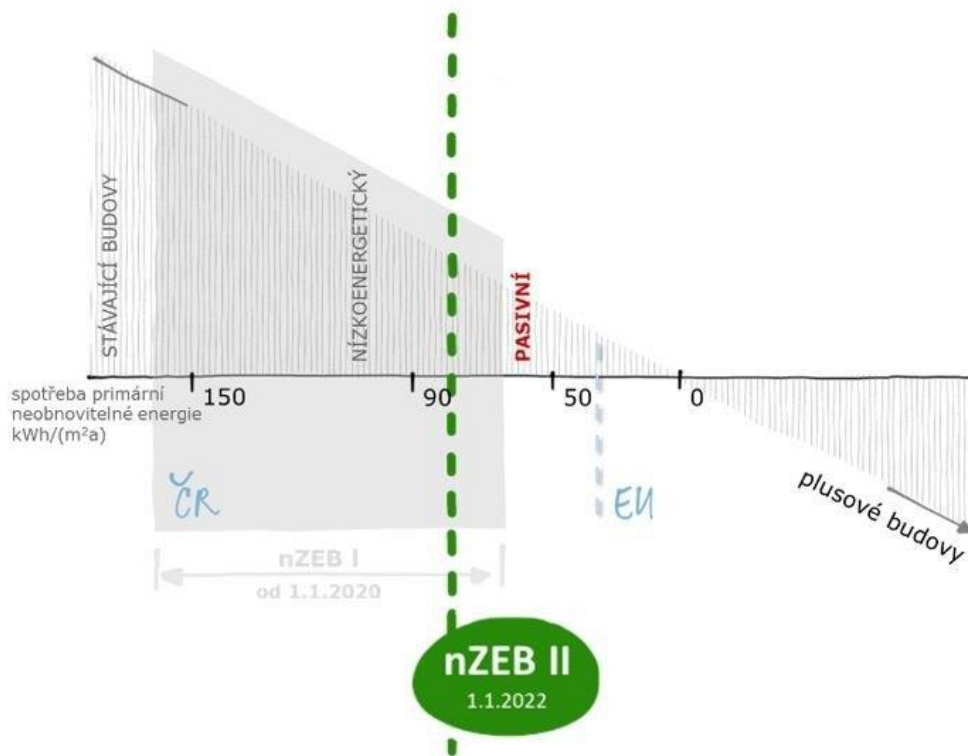
V poslední době je čím dál tím více kladen požadavek na ochranu prostředí a s tím souvisí i výstavba novostaveb. Při výstavbě už není hlavním cílem postavit objekt a žít v něm. Jedním z důležitých parametrů je roční provoz objektu. Pokud se zkombinuje vhodná kombinace technických systémů s velmi těsnou a dobře izolovanou obálkou budovy, je možné ušetřit nejen životní prostředí, ale také určité množství financí na provoz budovy.

Jedním z řešení je výstavba energeticky nulových (plusových) domů. Nulové a plusové objekty jsou velmi úzce provázané pojmy. Aby se toho dosáhlo, je zapotřebí v bilanční rovnici vyvážit energii vyprodukovanou v místě objektu a energii potřebnou. Pokud se budou tyto energie rovnat, vznikne energeticky nulový dům. Pokud však energie vyprodukovaná bude vyšší než potřebná, jedná se o energeticky plusový dům. Ve výsledku v obou případech energie vyprodukovaná pokryje nebo převýší energii potřebnou, a proto z hlediska názvosloví budou uvažována tato slova za synonymní.

Cílem diplomové práce je analyzovat potřebu tepla na vytápění, přípravu TV a potřebu elektrické energie v rodinném domě s hodinovým krokem výpočtu. Následně provést bilanci zdrojů energie v rodinném domě a navrhnout kombinace obnovitelných zdrojů energie (FVE, TČ, PK) pro dosažení plusové roční bilance z pohledu neobnovitelné primární energie a emisí CO₂. V závěru následně provést pro jednotlivé varianty bilance pro realistické využití obnovitelných zdrojů energií pro pokrytí potřeby energie.

1. ENERGETICKY PLUSOVÉ BUDOVY

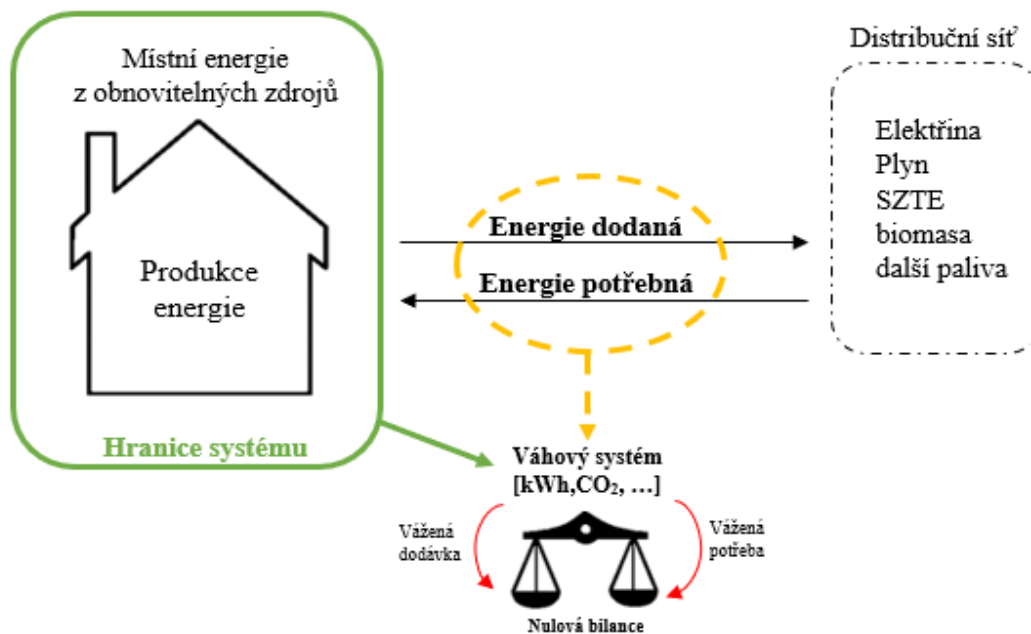
Evropský parlament vydal směrnici určující požadavky pro tzv. NZEB I (Nearly zero-energy buildings), která stanovuje, aby všechny novostavby od 1. ledna 2020 byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie. Novela 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budovy byla nahrazena novou vyhláškou 264/2020 Sb. Ta mění nároky na stavby s téměř nulovou spotřebou energie (tzv. NZEB II). Jedna z hlavních změn se týká změny faktorů nPE pro hodnocenou budovu [1] Od začátku letošního roku 2022 se tak zvyšuje důraz na využití obnovitelných zdrojů energie. Změny se budou primárně týkat objektů, které jsou rozsáhlé, jednopodlažní nebo nevhodně orientované. Naopak stavby s kvalitně provedeným energetickým pojetím by měly tyto změny pocítit pouze okrajově. Budovy by podle nových požadavků měly ideálně propojit hospodárný architektonicko-stavební koncept budovy, efektivní technologie a aplikovat dostupné obnovitelné zdroje či využít odpadní teplo. V tomto směru je potom v dnešní době architektura už chápána jako součást energeticky úsporných opatření stejně jako kvalitní tepelná izolace či okna. Na obr. 1.1 je znázorněno jakým směrem budou směřovat novostavby v průběhu dalších let. [2]



Obr. 1.1: Časová osa na požadavky budov [2]

Budoucností ve stavitelství jsou tzv. energeticky nulové a plusové domy, které jsou schopné v místě vyrábět energii, čímž se řadí do konceptu levnější a účinnější místní energetiky oproti finančně i provozně nákladným centrálním zdrojům. [2]

Dům s plusovou energetickou bilancí by měl mít větší dodávku energie než její potřebu. Předpokladem jsou objekty s výbornou izolací a perfektní vzduchotěsností, u kterých vznikají vlivem vlastní výroby energie z neobnovitelných zdrojů přebytky v určeném časovém období. [3]



Obr. 1.2: Schéma propojení budov a energetických sítí s váhovým systémem [4]

Schéma na obr. 1.2 má přinést porozumění dané problematice. Názorně ukazuje propojení spotřeby energie v budovách a sítě pro distribuci energonositelů tedy elektrické sítě, plynovodu, soustavy zásobování teplem (SZTE) nebo také dovoz biomasy či dalšími zdroji. Pro domy posuzované jako „energeticky plusové“ musí být splněn předpoklad, který říká, že vážená dodávka převyší váženou potřebu za určitý časový úsek. Obvykle je udáván jeden rok, tedy roční bilance energií. Vážená dodávka je myšlena energií domem vyprodukovanou a pod pojmem vážená potřeba se skrývá energie, která je odebrána budovou. Pokud je řeč o vážené dodávce či potřebě, jedná se o energii, které jsou vynásobené v tomto případě buď faktorem nPE nebo CO₂. Nulovou bilanci lze stanovit z produkce a odběru energie. Plusová bilance se počítá následovně:

$$|\text{vážená dodávka}| - |\text{vážená potřeba}| > 0 \quad (1.1)$$

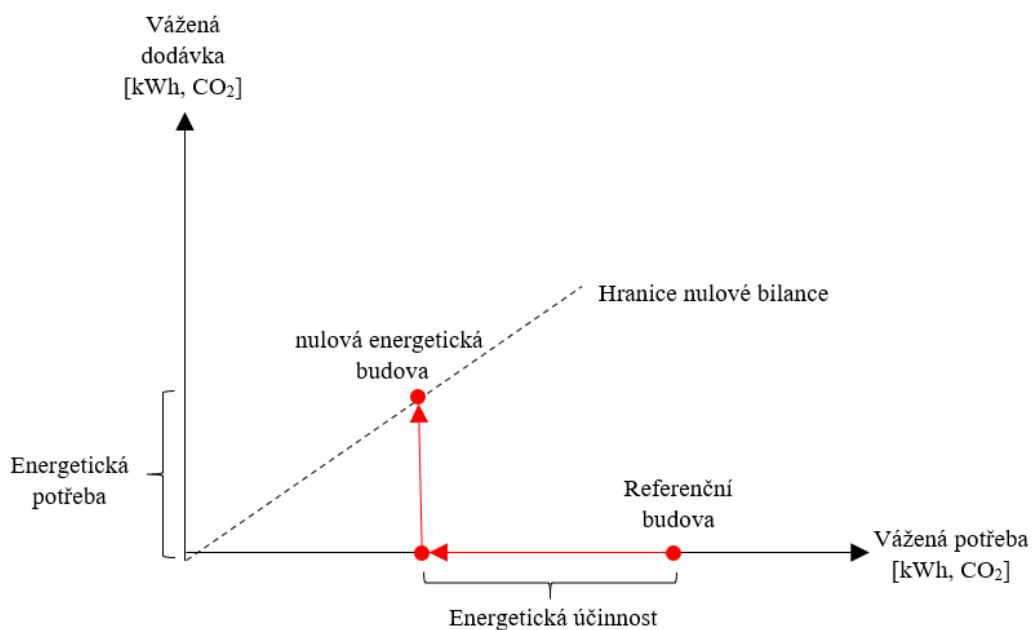
Vážená dodávka a potřeba se pak dá rozepsat na jednotlivé složky popsané v rov. (1.2), kde každá energie je násobená konverzním faktorem buď pro nPE nebo CO₂.

$$|\text{energie vyrobená} \cdot w_{nPE,CO_2}| - |\text{energie potřebná} \cdot w_{nPE,CO_2}| > 0 \quad (1.2)$$

Absolutní hodnoty se udávají z důvodu, aby nebyly nejasnosti, zda vážené hodnoty budou kladné či záporné. V obr. 1.3. je uveden graf znázorňující energetickou bilanci nulové budovy. Na ose x je vynesena vážená potřeba a vážená dodávka je na ose y. Referenční budova, se kterou se porovnává hodnocená budova, může znázorňovat energetickou náročnost novostavby dle minimálních legislativních požadavků nebo energetickou náročnost stávající budovy před větší změnou dokončené budovy.

K dosažení energeticky nulové budovy lze hned ve dvou směrech:

- Snížení energetické potřeby (osa x) – pomocí energetické účinnosti (snížení energetických ztrát obálkou budovy, vyšší účinnost technických systémů apod.)
- Zvednutí výroby místní energie (osa y) – pomocí primárních neobnovitelných zdrojů (elektrická energie, teplo), mnohdy přes hranice budovy do sítě po dosažení bilance.



Obr. 1.3: Princip dosažení nulové bilance [4]

Hodnocení energeticky nulové budovy je dáno bilanční rovnicí 1.2. V praxi je třeba aplikovat jednu ze stanovených metrik pro převod různých energonositelů na společný jmenovatel. K tomu se používají váhové činitele jako jsou konverzní faktory nPE, emisní faktory CO₂ atd. Z hlediska praktického využití je zapotřebí uplatnit i další parametry nežli jen energetické bilance za určitý časový úsek.

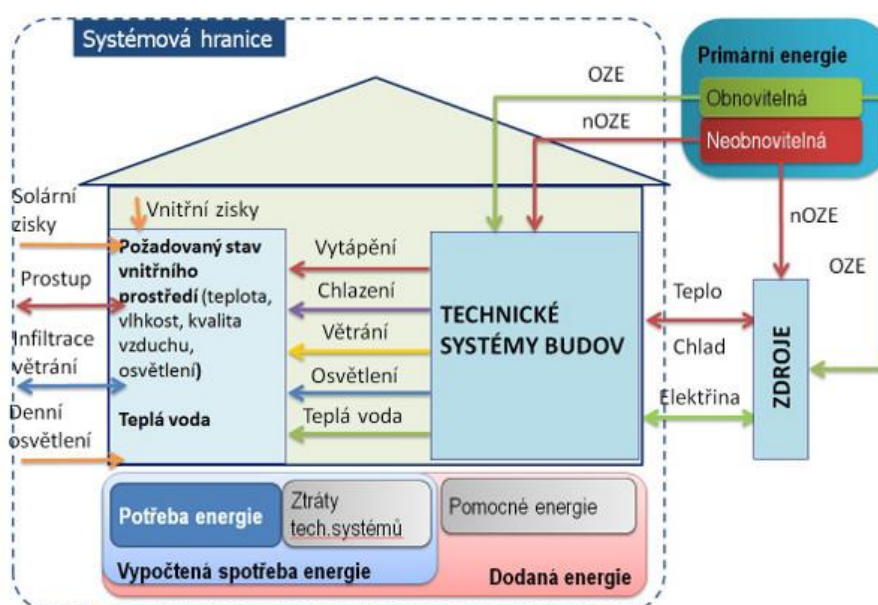
1.1 Hranice systému budovy pro hodnocení

Nastavení a stanovení hranice systému je nezbytné z důvodu, aby bylo zřejmé, které energetické toky ji překračují. V rámci výpočtu bilance energeticky nulové budovy jsou zahrnuty jen energetické toky, které přesahují jak fyzickou, tak i bilanční hranici systému budovy.

1.1.1 Fyzická hranice systému

Fyzická hranice se definuje při rozpoznání systému pro výrobu místní energie. Jedná-li se o produkci energie energetickým systémem uvnitř fyzické hranice, je vnímán jako místní, jinak je vzdálený. Záleží, jak je definována fyzická hranice a podle toho se rozhoduje, jestli bude či nebude produkce systému do bilance zahrnuta. Velmi také záleží, zda energonositel je ve vlastnictví investora či třetí strany.

Dalším hlavním aspektem je dostupnost a definice obousměrné sítě na fyzické hranici. Obousměrná síť znamená, že síť je schopna energii do objektu dodávat, ale také ji i přijímat zpět. Bez této sítě není možné energeticky nulovou budovu přesně určit. Elektrická síť je zpravidla obousměrná. Další obousměrné systémy být sítě jako SZTE nebo sítě centralizovaného vytápění/chlazení.



Obr. 1.4: Systémová hranice budovy [4]

Definice systémové hranice budovy v ČR je jako obálka budovy, která ohraničuje jednotlivé zóny. [4] Započítání OZE do bilanční rovnice dle úředního hodnocení lze pouze v případě, že jsou instalovány nejdále na pomocných objektech, které slouží hodnocené budově. Jedná se zejména o parkovací přístřešky nebo prostory, které bezprostředně patří k objektu. Jestliže je objekt napojen na distribuční síť nebo SZTE, započte se do primární obnovitelné energie pouze dvojnásobek celkové dodané energie hodnocené budovy. [4] Pro představu, co označuje systémová hranice, je zde obr. 1.4, který znázorňuje danou problematiku.

1.1.2 Bilanční hranice systému

Bilanční hranice určí, jaké energetické spotřeby se v bilanční rovnici budou uvažovat. Ve spotřebě na provoz budovy se uvažuje vytápění, chlazení, větrání, osvětlení, příprava teplé vody a uživatelská energie, čím se myslí spotřebiče v objektu. Národní předpisy mohou uvažovat i jejich kombinace. Uživatelská energie v České republice se nezohledňuje a v bilanci budovy se s ní nepočítá. [52]

Do pokročilého vyhodnocení systému budovy lze vzít v úvahu i spotřebu, která není zahrnuta v provozní fázi, ale v celém životním cyklu objektu. Může tím být myšleno např. energie či emise CO₂ závislé s produkcí stavebních materiálů (tepelná izolace, zdivo atd..) či technických zařízení (FVE, TČ atd.). [4]

1.1.3 Okrajové podmínky

Energeticky nulové budovy musí umožňovat srovnání mezi podobnými budovami za stejných klimatických podmínek a stejným profilem užívání. Navíc je důležité mít komparaci očekávané energetické náročnosti budovy s pozorovanými hodnotami objektu. Co se týče hodnocení energetické náročnosti budovy v ČR, je rozdílná pro různé typy budov s různým profilem užívání.

1.2 Váhový systém

Váhový systém slouží jako převodník pro fyzické jednotky různých energonositelů a převádí je na jednotnou metrickou soustavu. Je tak umožněno hodnotit celý energetický řetězec, a to včetně neobnovitelných zdrojů energie, procesů transformace, přenosových a distribučních sítí. Takový systém umožňuje také transponovat různé energonositele na společného jmenovatele, jako např. neobnovitelná primární energie nebo CO₂, pomocí převodních faktorů. [4]

1.2.1 Metriky

Uvádějí se 4 typy metrik pro energeticky nulové budovy. Všechny typy definicí jsou znázorněny v tab. 1.1.

Tab. 1.1: Obecné klíčové faktory a bilance energeticky nulových budov [3]

| Klíčové faktory | Definice |
|--------------------------------------|--|
| Nulová bilance místní energie | Konečná spotřeba energie – produkce obnovitelné energie v místě – započitatelná produkce obnovitelné energie mimo budovu ≤ 0 |
| Nulová bilance energie ve zdroji | Konečná spotřeba energie + ztráty energie v přenosu – produkce obnovitelné energie v místě – započitatelná produkce obnovitelné energie mimo budov ≤ 0 |
| Nulová bilance nákladů na energii | Náklady na nakoupenou energii – výnosy z prodeje místní produkce energie ≤ 0 |
| Nulová bilance emisí CO ₂ | Emise z konečné spotřeby energie – kompenzace emisí produkcí obnovitelné energie v místě – kompenzace emisí prostřednictvím systémů obchodování s emisemi CO ₂ ≤ 0 |

Každá metrika ukazuje, jak je ovlivněna různými technickými systémy. Další možná metrika je neobnovitelná primární energie, která hraje významnou roli v hodnocení energetické náročnosti budovy v České republice.

Posuzování správných a důvěryhodných převodních faktorů není lehké, zvláště pro distribuční a tepelné sítě. Závisí totiž na mnoha činitelích. Je nutno připomenout, že neexistují žádné převodní faktory v převodních hodnotách. Jsou spíše eventuálně různé převodní faktory, která závisí na velikosti a dispozici analýzy. Váhové faktory platné pro ČR jsou v tab. 1.2.

Tab. 1.2: Váhové faktory platné pro ČR [4]

| Energonositel | Konverzní faktor nPE [MWh/MWh] | Emisní faktor CO ₂ [tCO ₂ /MWh] |
|-------------------|--------------------------------|---|
| Biomasa (pelety) | 0,2 | 0 |
| Černé uhlí | 1 | 0,33 |
| Zemní plyn | 1 | 0,2 |
| Elektrina | 2,6 | 0,86 |
| Energie prostředí | 0 | 0 |

2. KLIMATICKÉ ÚDAJE

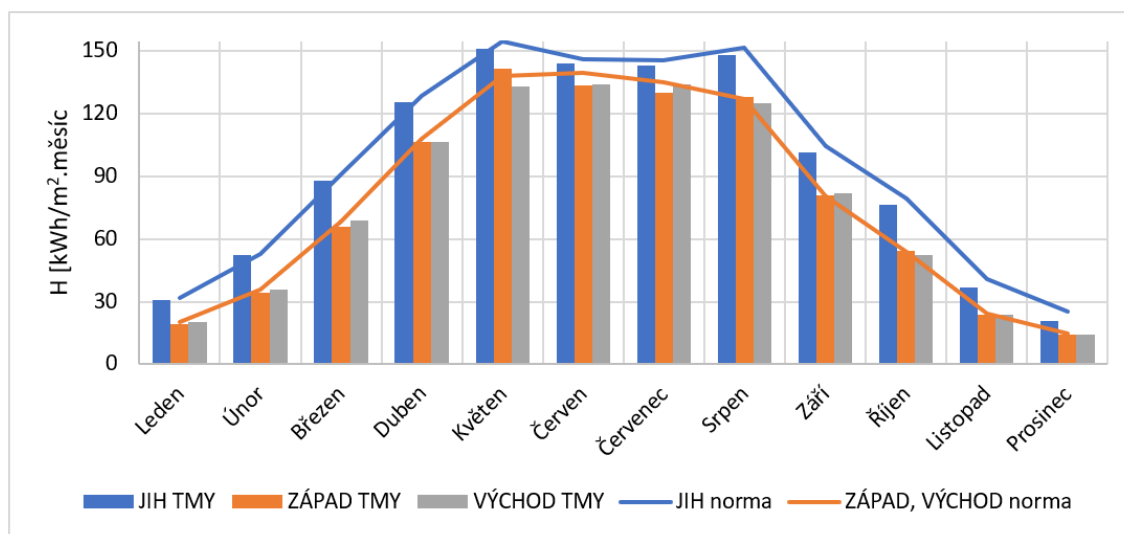
Klimatické podmínky ovlivňují z velké části samotnou účinnost a funkčnost jednotlivých technických systémů v domě a také jeho vnitřní prostředí. Aby veškeré systémy fungovaly co nejúčinněji, je dobré si jejich funkčnost nasimulovat v simulačním programu. Hlavním kamenem k efektivní simulaci jsou právě klimatická data. Nejběžnější data pro simulační program TRNSYS, popisující místní klimatické podmínky, vychází z tzv. typického meteorologického roku (TMY).

Pro stanovení těchto dat se provádí různá meteorologická měření v hodinových intervalech řadu let, aby se vytvořil obraz místního klimatu. Průměr ročních dat znehodnocuje proměnlivost dat. Z tohoto důvodu je vybrán daný měsíc, který je pro konkrétní lokalitu nejvhodnější. Za každý měsíc se stanoví průměrná radiace z celého měření spolu s průměrnou radiací z každého měsíce během měření. Údaje za měsíc, ve kterém se průměrná radiace nejvíce rovná měsíčnímu průměru za celou dobu měření, jsou pak zvoleny jako TMY údaje za daný měsíc. Tento proces se pak opakuje pro každý měsíc v roce. Měsíce se sečtou, aby se dal celý rok rozpočítat do hodinových intervalů. [48] Dané údaje se značně liší od klimatických dat z normy ČSN 730331-1. [48] Data v této normě se udávají v měsíčních hodnotách a nejsou specifikovány pro konkrétní oblasti. V tab. 2.1 je možno vidět porovnání hodnot z ČSN 73 0331-1 a hodnot z TPY pro sluneční záření na svislou plochu z různých světových stran pro jednotlivé měsíce v roce.

Tab. 2.1: Porovnání sl. záření na 90° plochu podle TPY a ČSN 73 0331-1[48]

| Měsíc | Sever | Sever | Východ | Východ | Jih | Jih | Západ | Západ |
|----------|----------------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | TMY | Norma | TMY | Norma | TMY | Norma | TMY | Norma |
| | <i>kWh/m² · měsíc</i> | | | | | | | |
| Leden | 9,73 | 8,2 | 14,32 | 14,10 | 27,30 | 34,20 | 13,43 | 14,10 |
| Únor | 16,05 | 13,4 | 25,28 | 25,50 | 44,38 | 51,10 | 23,95 | 25,50 |
| Březen | 31,04 | 25,3 | 47,13 | 46,90 | 63,95 | 74,40 | 44,21 | 46,90 |
| Duben | 47,81 | 36 | 70,12 | 74,20 | 77,66 | 85,70 | 71,50 | 74,20 |
| Květen | 61,82 | 49,1 | 83,86 | 87,00 | 84,88 | 87,00 | 92,29 | 87,00 |
| Červen | 62,59 | 51,8 | 83,12 | 90,00 | 78,99 | 75,60 | 82,30 | 90,00 |
| Červenec | 62,70 | 51,3 | 85,98 | 84,10 | 79,73 | 78,10 | 82,85 | 84,10 |
| Srpen | 53,19 | 42,4 | 78,80 | 80,40 | 88,60 | 96,00 | 82,78 | 80,40 |
| Září | 36,77 | 28,8 | 54,99 | 53,30 | 68,75 | 77,80 | 53,57 | 53,30 |
| Říjen | 23,87 | 18,6 | 35,00 | 38,70 | 61,07 | 74,40 | 37,02 | 38,70 |
| Listopad | 11,83 | 9,4 | 16,77 | 18,00 | 32,48 | 45,40 | 16,78 | 18,00 |
| Prosinec | 7,64 | 6 | 9,96 | 11,20 | 18,10 | 29,00 | 10,06 | 11,20 |

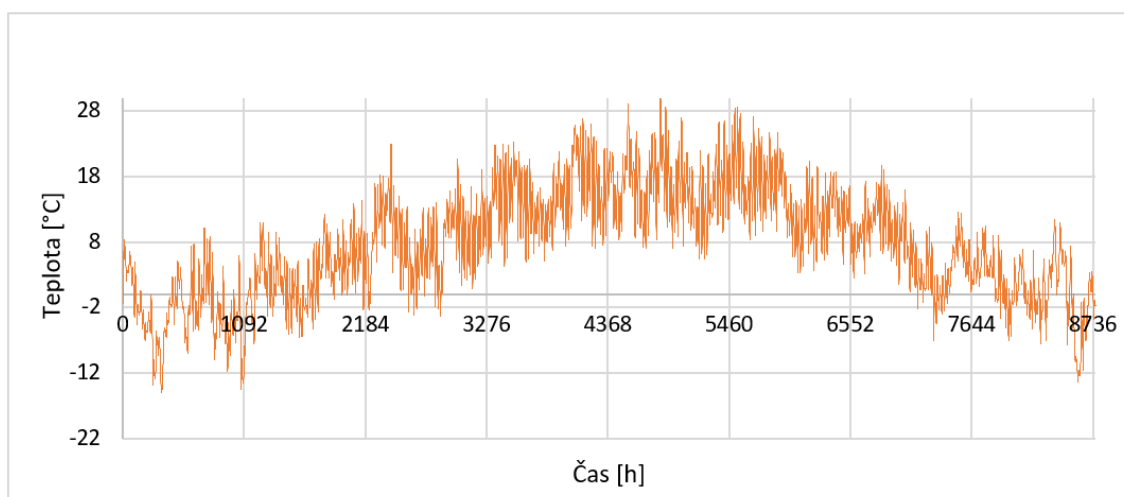
Obdobně je možné si zobrazit hodnoty pro nakloněné roviny pod určitým úhlem. Takovéto informace jsou pak užitečné např. pro výpočet FVE. V grafu 2.1 lze velmi dobře pozorovat, jak je TMY relativně konzervativní oproti ČSN 73 0331-1.



Graf 2.1: Porovnání sl. záření plochy se sklonem 30° dle TMY a ČSN 730331-1 [47]

Poněvadž TMY je definován po hodinách, technické systémy mohou být modelovány detailněji, což může vést k možné ekonomické úspoře.

Názorná ukázka v grafu 2.2 demonstruje hodinový roční průběh venkovní teploty v Praze. Je zde očividné, že teploty se v letních měsících drží v rozmezí od 10–25 °C a v zimních měsících od -3–8 °C. Takovýto aspekt může být jeden z klíčových parametrů pro výběr TČ.



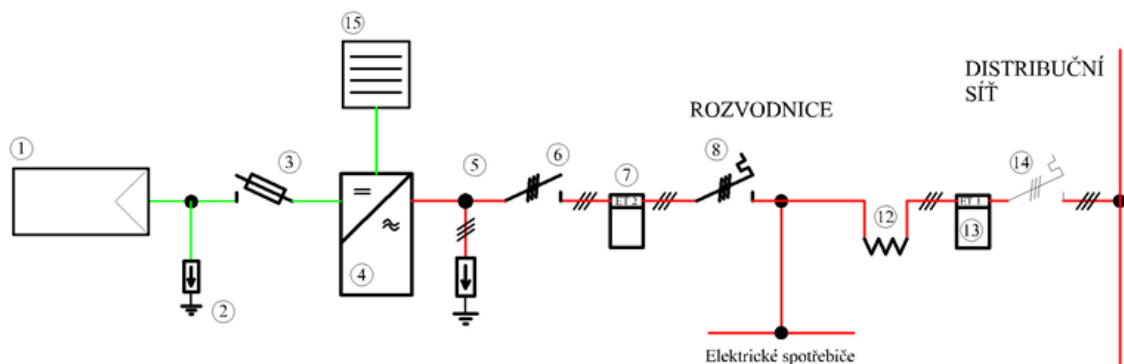
Graf 2.2: Hodinový průběh venkovní teploty v Praze

3. TECHNICKÉ SYSTÉMY

3.1 Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaická elektrárna přeměňuje sluneční energii na energii elektrickou. Pokud na modul dopadají fotony s energií větší než 1,1 eV, dodají volným elektronům dostatečnou energii k překonání bariéry vytvořené P-N přechodem, kdy dochází ke vzniku elektrického napětí. Celý tento děj je nazýván fotoelektrický jev [6] Nejdůležitější prvky FVE jsou:

1. Fotovoltaické moduly
4. Střídač (stejnsměrný proud => střídavý proud)
7. Třífázový elektroměr
- x Kabeláž
- 15 (Akumulační baterie)



Obr. 3.1: Schéma zapojení FVE s akumulací [47]

Solární články se s dostatečnou účinností pro praktické využití objevily v 50. letech 20. století. Prvním představitelem byl článek z monokrystalického křemíku, který dosahoval účinnosti okolo 6 %. V dnešní době cenově dostupné FV moduly dosahují účinnosti v hrubém rozmezí 8 až 20 %. Nejúčinnější článek, který doposud je, byl vyroben v říjnu 2010 v laboratorních podmínkách s účinností 42,3 %. [7]

Solární moduly mají rozdílné výkony. Jejich hodnoty se pohybují od 175 až po 450 Wp. Hlavním parametrem pro výkon modulů se udává Wattpeak (Wp) neboli špičkový výkon, což je naměřený výkon v laboratorních podmínkách (intenzita ozáření $G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$, teplota FVE článku $t_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ a rychlost větru 1m/s). [8] Z těchto parametrů je vypočítána referenční účinnost η_{ref} .

Těchto parametrů moduly v praxi málokdy dosáhnou natož je překročí, jelikož pracují při vyšších teplotách a za poněkud nižších insolačních podmínek. Pro určení výkonu solárního článku je důležité určit provozní teplotu fotovoltaického modulu. Jmenovitá provozní teplota FV článku (NOCT) je definována jako teplota dosažená články s nezapojeným modulem za daných podmínek:

- Ozáření na povrchu buňky: 800 W/m²
- Teplota vzduchu 20 °C
- Rychlost větru 1 m/s
- Montáž: otevřená zadní strana

[9]

Z daných hodnot lze poté nadále spočítat součinitel přestupu tepla h (W/m².K), ze kterého se odvíjí teplota modulu a následně jeho účinnost. [10] Rovnice (3.1) pak vypadá takto:

$$h = \frac{(1 - \rho) \cdot G}{(NOCT - t_e)} \quad (3.1)$$

kde:

| | | |
|-------------|-----------------------------|-----------------------|
| h | součinitel přestupu tepla | [W/m ² .K] |
| ρ_{FV} | Nominální odrazivost panelu | [-] |
| G | Intenzita ozáření | [W/m ²] |
| $NOCT$ | teplota FV článku | [°C] |
| t_e | Teplota venkovního vzduchu | [°C] |

3.1.1 Typy solárních článků

S příchozí vospělou technologií přichází i různá výroba a zpracování fotovoltaických článků. Jejich rozdělení lze definovat následovně:

- **I. generace** – deskové křemíkové
 - Monokrystalické křemíkové
 - Polykrystalické (multikrystalické) křemíkové
- **II. generace** – tenkovrstvé články
 - Amorfni křemíkové
 - CIS články
 - CdTe články

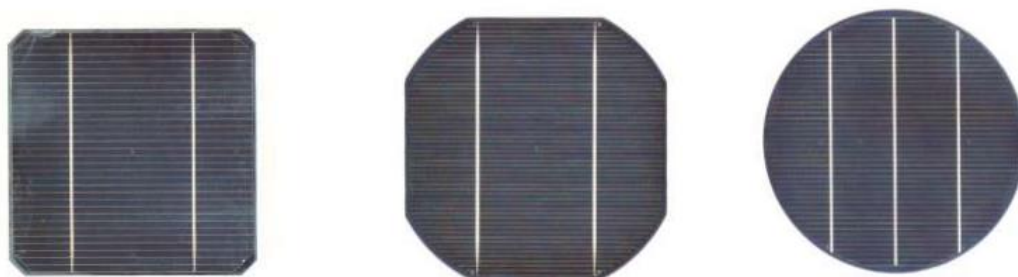
- **III. generace** – současný vývoj, nové materiály a technologie

- GaAs
- organické
- vícevrstvé

[11]

Monokrystalické křemíkové články (m-Si)

Vyrábí se tažením válcového monokrystalu z taveniny, což zajišťuje, že pláty o tloušťce 0,2 – 0,3 mm jsou řezány ze samotného krystalického bloku. Samotný krystal tak nemá stanovené žádné hranice a nedochází tím pádem k rozsáhlým ztrátám. Se zřetelem k dané výrobě je výkon článků vyšší (okolo 17–20 %), což se odráží i na samotné pořizovací ceně. Na obrázku 3.2 jsou znázorněny tvary destiček, které se vyrábí hranaté o velikosti 10 x 10 cm² nebo kruhové o průměru 12–15 cm. U hranatých destiček vzniká více odpadu, než u kulatých což se ve výsledku odráží i na pořizovací ceně. I přes vyšší cenu se častější využití mají destičky hranaté z důvodu větší plochy pro využití. [11, 12]



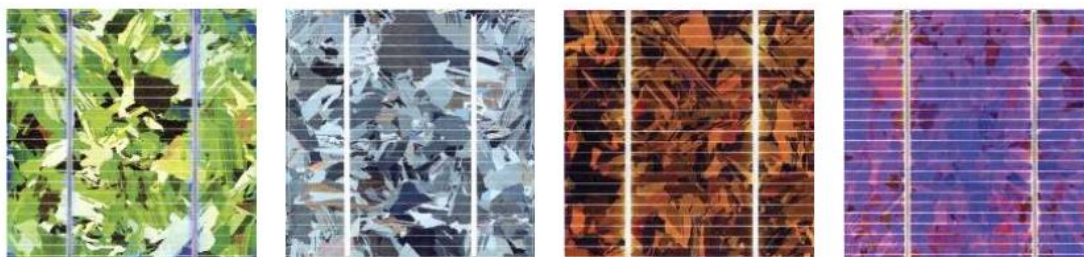
Obr. 3.2: Tvary monokrystalických křemíkových destiček [13]

Polykrystalické křemíkové články (p-Si)

Tavenina křemíku obohacená atomy bóru je vylita do velkých bloků, ve kterých se nechá velmi pomalu zchladnout. Čím pomalejší chladnutí, tím větší zrna vzniknou. Následně se bloky rozřežou na tenké pláty o tloušťce 0,24 – 0,3 mm. Následuje chemické opracování povrchu a vytvoření P-N přechodu pomocí difúze fosforu. Na závěr se články pokrývají antireflexní fólií, na kterou se následně natisknou kontakty sběrnice. Oproti monokrystalickým článkům vzniká vlivem roztavení jednotlivých křemíkových zrn hranice, která negativně ovlivňuje výslednou účinnost celého článku pohybující se okolo 15-18 %.

Vzhledem k levnější výrobě se řadí polykrystalické články k nejběžněji užívaným fotovoltaickým modulům. Vyrábí se pouze v hranatém provedení (menší vznik odpadu) o různých velikostech. Nejčastěji se články vyrábí v modrém provedení z důvodu vysoké

relativní účinnosti, ale díky antireflexní vrstvě se pro různé architektonické účely dají využívat i různé barevné odstíny znázorněné v obr. 3.3. [11, 12]



Obr. 3.3: Různá barevná provedení FVE článků [11]

Amorfní tenkovrstvé články

Druhá generace článků je reprezentována tenkovrstvými články na základě amorfního křemíku. Výroba se liší se od předchozích dvou typů tím, že při teplotách okolo 200 °C se ve vakuové komoře nanese vrstva amorfního křemíku na určený materiál, kterým může být sklo, plast, kov atd. Jejich účinnost je přibližně o polovinu nižší než u krystalických článků, což se může vykompenzovat dvakrát větší plochou. Naopak velkým pozitivem těchto článků je jejich ohebnost a pružnost, jak je vidět na obr 3.4, což vede k případnému využití na místech s nerovným povrchem nebo střechou, která neunesou tíhu konstrukce s moduly. Nanášejí se v tenkých vrstvách což zajišťuje lehkost oproti krystalickým článků.

Jelikož jejich účinnost je třeba kompenzovat 2x větší plochou, aby dosáhly stejných výsledků, jako krystalické moduly, se z ekonomického hlediska vzhledem k jejich výrobní ceně zatím ještě nevyplácí na místech, kde lze uplatnit krystalické moduly. [11, 13]



Obr. 3.4: Amorfní tenkovrstvý modul [16]

3.1.2 Faktory ovlivňující parametry modulu

Jaké typy modulů jsou, bylo již řečeno. Nyní je nutno si definovat, které aspekty ovlivňují účinnost a výkon jednotlivých modulů. Ze základních faktorů jsou to:

- Teplota modulu
- Sluneční záření
- Elektrické ztráty prvků
- Vnější vlivy

Teplota modulu

Teplota FVE modulu je definována podle rov. (3.2), která je ovlivněna převážně intenzitou ozáření, účinností fotovoltaického modulu, venkovní teplotou a NOCT hodnotou. [10]

$$t_{fve} = t_e + \frac{G}{G_{ref}} \cdot (1 - \eta_{FVE}) \cdot (NOCT - 20) \quad (3.2)$$

kde:

| | | |
|--------------|------------------------------|---------------------|
| t_{fve} | Teplota FV modulu | [°C] |
| G_{ref} | Referenční intenzita ozáření | [W/m ²] |
| η_{FVE} | Účinnost FV modulu | [-] |

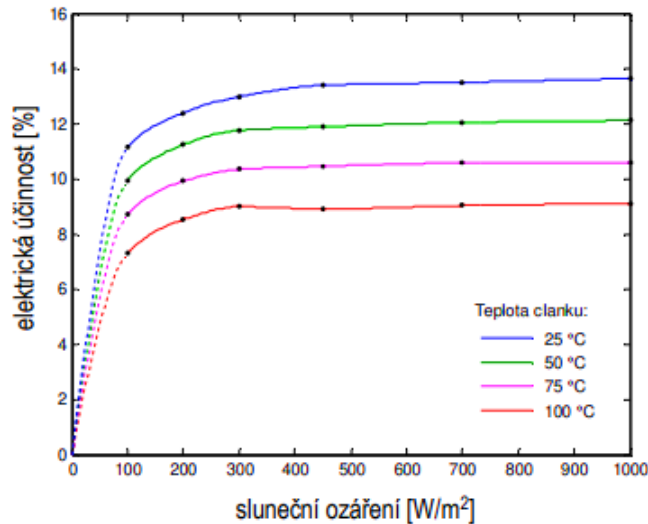
Taktéž teplota ovlivňuje i samotnou účinnost, což potvrzuje rov. (3.3), ale také i graf. 3.1. Teplotní koeficient γ a solární koeficient k vychází z vlastností materiálu modulu. [10]

$$\eta_{FVE} = \eta_{ref} \cdot (1 + \gamma \cdot (t_{fve} - t_{ref})) \cdot (1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}}) \quad (3.3)$$

kde:

| | | |
|--------------|-------------------------------|-------|
| η_{ref} | Referenční účinnost modulu | [-] |
| γ | Teplotní koeficient P_{max} | [1/K] |
| t_{ref} | Referenční teplota FV modulu | [°C] |
| k | Solární koeficient | [-] |

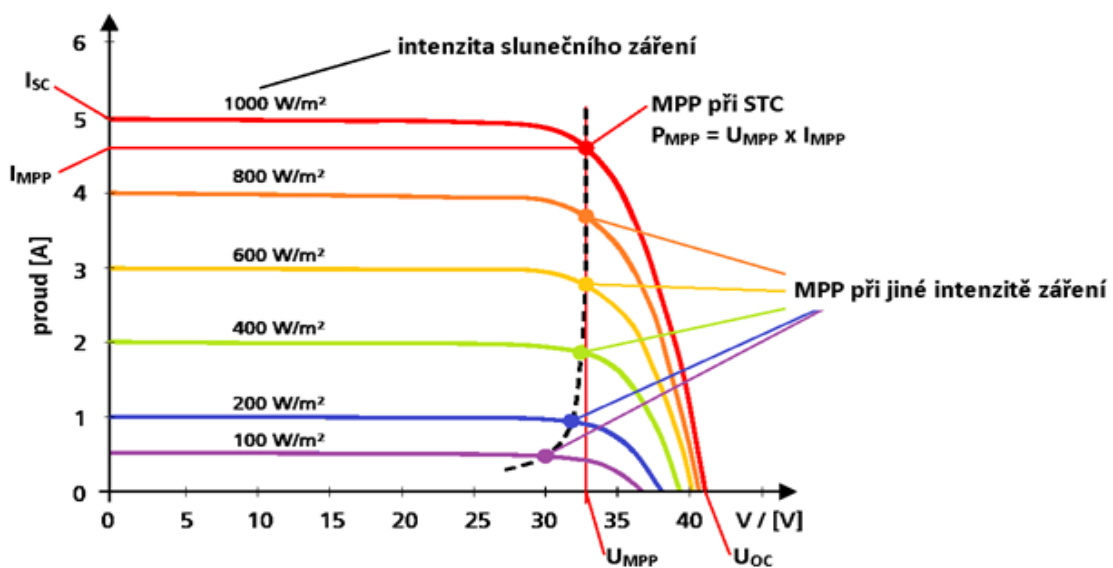
V grafu 3.1 je znázorněn fotovoltaický článek, který mění výkon s teplotou při konstantní intenzitě ozáření. Je vidět, že čím více se fotovoltaický modul bude zahřívat, tím bude klesat jeho výkon a s ním i účinnost celého systému. Při vyšších provozních teplotách nad 80 °C hrozí poškození modulů s následnou delaminací nebo naleptání kontaktů. [10]



Graf 3.1: Závislost FV systému na slunečním ozáření a teplotě modulu [10]

Sluneční ozáření

Nejen teplota, ale i sluneční záření je jeden z důležitých parametrů pro stanovení denní produkce FV systému. V přechodím grafu 3.1, ale i v následujícím grafu 3.2 je dobře vidět, že při snižující se intenzitě slunečního záření klesá nejen výkon celého modulu, ale i samotná účinnost. Je zde také znázorněn bod MPP, který definuje bod max. výkonu v závislosti na intenzitě slunečního záření a teplotě modulu. [15]



Graf 3.2: Závislost intenzity slunečního záření na výkonu modulu [15]

Elektrické ztráty prvků

Fotovoltaický systém se skládá z několika prvků, a to s sebou přináší i ztráty jednotlivých prvků. Největší podíl ztrát je na střídači a regulátoru, na kterých je ztráta napětí až 5 %. Je to z toho důvodu, že se zde transformuje střídavé napětí na stejnosměrné a dochází k zahřívání. Další významné ztráty jsou na kabeláži. Stejnosměrné vedení se podílí na ztrátách 2 % a střídavé 1 %. Z důsledku, že stejnosměrné vedení tvoří daleko větší podíl v celé soustavě, dochází i k větším elektrickým ztrátám. Celkový jmenovitý výkon FVE je tedy snížen o $p = 8 \%$ a tato ztráta musí být započítána. Výsledný jmenovitý výkon následně udává rov. (3.4). [10]

$$Q_{e,sys} = 0,9 \cdot H_{T,hodina} \cdot A_{FV} \cdot (1 - p) \quad (3.4)$$

kde:

| | | |
|----------------|--------------------------------|-----------------------|
| $Q_{e,sys}$ | Výrob el. energie z FV systému | [kWh] |
| $H_{T,hodina}$ | Dávka ozáření za hodinu | [kWh/m ²] |
| A_{FV} | Plocha FV modulu | [m ²] |
| p | Elektrické ztráty | [-] |

Vnější vlivy

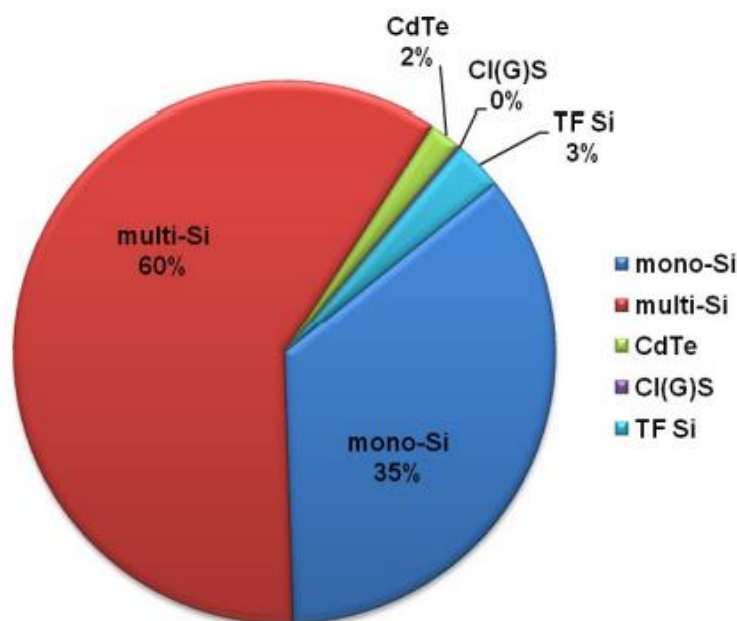
Ať už se instalují FV moduly na střechní plochu nebo šikmou, fasádu či na přilehlý pozemek, vždy musí být počítáno s takovou instalací, aby se zamezilo co nejvíce vnějším vlivům. Jedná se konkrétněji o prach, sníh nebo např. i prostý stín. Aby se tomuto zamezilo, je třeba na to pamatovat už při samotné instalaci.

Z hlediska samočistění se doporučuje sklon min. 15°, kde je déšť schopen smýt případný prach či sníh samovolně spadne dolů. Následně je jen na uživateli, jaký sklon modulů zvolí. Pokud investor bude chtít pokrýt i zimní měsíce, zvolí sklon modulů okolo 45°.

Zastínění modulů už je pouze o správném rozložení. Jestliže jsou moduly umístěny jedním směrem, je třeba správně rozpočítat vzdálenost mezi sebou. Pokud však jsou moduly usazeny do stříšky východ-západ, není třeba počítat s výraznými rozestupy.

3.1.3 Rozmanitost instalací FVE

Fotovoltaické moduly vyrobené z krystalického křemíku jsou zde značně delší dobu než tenkovrstvé moduly. Jejich výroba a technologické principy jsou dobře známé. Díky své účinnosti, ceně i jednoduché instalaci zabírají přes 95% trhu v ČR i ve světě. Dle grafu 3.3 je možno vidět jejich podíl v rámci instalací v ČR. [16]



Graf 3.3: Podíl jednotlivých technologií FVE modulů v ČR [16]

3.1.4 Typy instalací fotovoltaických systémů

Pořízení fotovoltaické elektrárny začíná být v poslední době čím dál tím větším tématem k diskusi. V současné době se ceny elektrické energie zvyšují a lidé stojí daleko více o vlastní zdroj energie v podobě sluneční elektrárny. Při pořízení fotovoltaické elektrárny hraje roli několik parametrů, které mohou ovlivnit výsledný typ fotovoltaického systému.

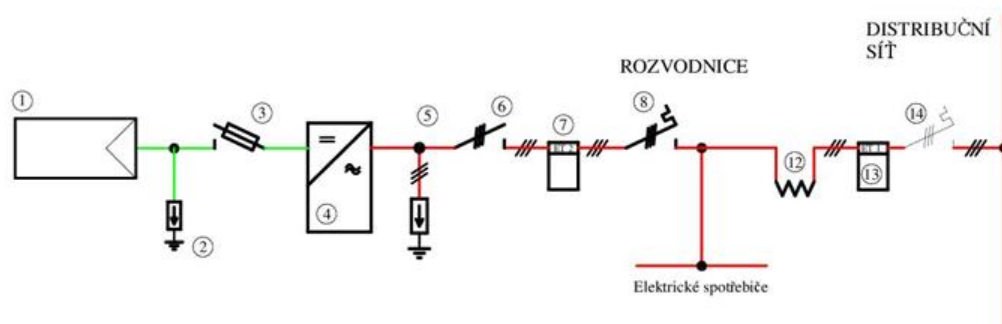
Fotovoltaická soustava se třídí na tři typy:

- Bez připojení k síti
- S připojením k síti
- S připojením k síti s akumulací

Připojení k síti

Systém on-grid neboli také česky řečeno připojení k síti je znázorněn v obr. 3.5. Veškerou vyprodukovanou energii z FVE lze buď hned přímo spotřebovat nebo vzniklé přebytky zaslat do distribuční sítě. Prodej do sítě je oproti nakupované elektřině ze sítě značně nevhodný. Cena výkupu elektrické energie se pohybuje okolo 1,5 Kč dle odběratele elektrické energie. Údržba elektrárny je téměř nulová a životnost modulů je okolo 25 let.

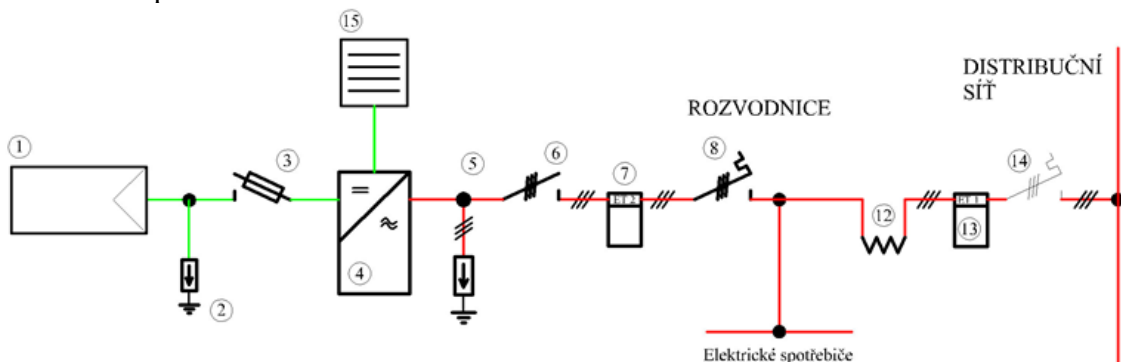
Negativní stránku tohoto systému lze vidět v tom, že v případě výpadku nelze elektrárnu využívat z důvodu, že není instalováno žádné akumulční zařízení, které by výpadek pokrylo a připojení k distribuční síti je tedy nezbytné.



Obr. 3.5: Systém s připojením k síti [47]

Připojení k síti s akumulací

Systém znázorněn v obr. 3.6, známý pod pojmem hybridní fotovoltaická elektrárna, je nejvíce užívaný z výše zmíněných variant připojení, a to z mnoha důvodů. Jedním z nich je přechod na záložní zdroj v podobě akumulční baterie v případě výpadku proudu. Dalším důvodem může být čerpaní vyprodukované energie v době, kdy je vysoká tarifní cena za energii z distribuční sítě. V případě přebytku FVE dochází k přetokům do distribuční sítě. Z tohoto důvodu se provozovatelé FVE snaží přetokům do distribuční sítě zabránit pořízením větších akumulčních baterií.



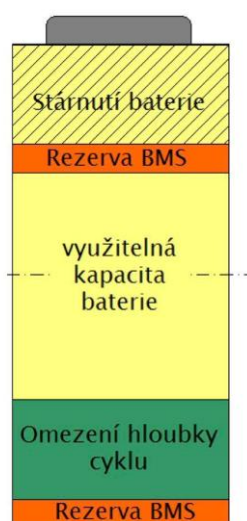
Obr. 3.6: Připojení k síti s akumulací [47]

LiFePO₄ akumulční baterie

V poslední době jsou velice perspektivní lithio-železo-fosfátové baterie známe jako LiFePO₄ nebo LFP. Jsou podkategorií lithio-iontových baterií. Je vhodný použít právě dané typy, jelikož spadají do kategorie akumulátorů s hlubokým cyklem. Tyto baterie jsou schopny mnoha opakovaných nabíjecích/vybíjecích cyklů bez poškození a dovoluje využívat 80% své kapacity. Využitelnost je pouze 80 % z toho důvodu, aby pokryla výpadek proudu a posloužila jako dočasný záložní zdroj energie a zbylých 5% není využito proto, aby fotovoltaický systém nebyl přetěžován.

Oproti klasickým lithiovo-iontovým bateriím se liší především životností cyklu, které je až 20x vyšší a to okolo 1000 - 10 000 cyklů. Nominální napětí se pohybuje kolem 3,2-3,3V. Dalším parametrem je tepelný únik. Je to jeden z poruchových faktorů při rychlém nabíjení a vybíjení. Oproti lithiovo-iontovým bateriím, které mají tepelný únik na 150 °C, což je častá příčina požárů a výbuchů, LFP baterie dosahují tepelného úniku až při 270 °C.

Základním parametrem u všech akumulátorů je jejich kapacita, která se udává v Ah. Pro výpočty energetických bilancí je třeba však vynásobit kapacitu v ampérhodinách jmenovitým napětím, aby výsledné jednotky byly ve wathodinách [Wh]. Jak už bylo řečeno, kapacita je velmi důležitá z hlediska uchování přebytečné energie. Čím větší bude akumulátor, tím více vyrobené energie je možné uchovat. S velikostí baterie je samozřejmě spjata i cena. [18] Velkou výhodou těchto baterií je jejich rozložení znázorněné na obr. 3.7.



Obr.3.7: Pracovní oblast baterie [19]

V každé lithiovo-iontové baterii je instalována funkce BMS (Battery Management System), jehož funkce je udržet baterie v pracovní oblasti. U kvalitních článků začíná být aktivní až ve druhé polovině životnosti baterie. [20]

3.2 Tepelná čerpadla

Pro přípravu TV a vytápění se stávají poslední dobou čím dál tím více jako zdroj tepla právě tepelná čerpadla. Nejen že jsou schopny v extrémních podmínkách dodat určenému objektu požadovaný výkon, ale dokážou využívat obnovitelných nebo druhotných zdrojů energie.

V současné době pro jejich chod je elektrická energie získávána v elektrárnách s nízkou účinností využití primárního paliva, čímž je nejčastěji uhlí. Tento fakt se odráží tudíž ve vysokých emisních faktorech znázorněných v tab. 1.2. Z tabulky je zřejmé, že elektrická energie má daleko vyšší emisní faktor než např. zemní plyn. Snaha o maximalizaci účinnosti tepelných čerpadel v rámci neobnovitelné primární energie se přenáší jak do evropské legislativy, tak do legislativy české. Z toho důvodu mohou být prodávány na trhu od podzimu 2015 pouze taková tepelná čerpadla, která vyhovují minimální energetickou účinností dle požadavků ekodesignu.

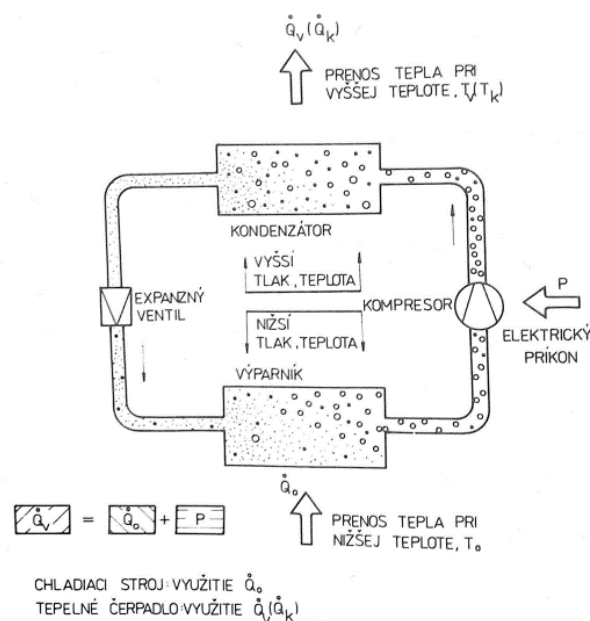
Energetická účinnost se odvozuje od provozního topného faktoru zohledňující korekci na nPE. Stejným principem byly zavedeny energetické štítky pro tepelná čerpadla, které zobrazí efektivitu čerpadla dle energetické třídy. Čím dál tím větší efektivita čerpadel je očekávána i z hlediska posuzování budov, kde užití tepelného čerpadla s vysokou účinností může zlepšit celkovou neobnovitelnou primární energii v energetickém štítku budovy.

Na druhou stranu, poměr neobnovitelných zdrojů v primární síti se stále stupňuje a postupně v budoucnosti vyústí ke snížení faktorů jak neobnovitelné primární energie elektrické energie, tak emisí. To by v budoucnu mohlo přinést to, že tepelná čerpadla s nižší vlastní efektivitou využívající elektrickou energii a energii prostředí budou zařazena jako obnovitelný zdroj. [21]

Tepelné čerpadlo je definováno jako technologie odebírající teplo z okolního prostředí s nižší teplotou jakožto vzduch, voda nebo země a přetváří ho na jednu z teplonosných látek (vzduch/voda) o vyšší teplotě. K takovému procesu, kdy se přemění teplonosná látka o nižší teplotě na jiné pracovní médium o vyšší teplotě je zapotřebí dodaná energie.

Většina tepelných čerpadel je kompresorového typu a jejich funkce je identická s funkcí chladicího zařízení, např. lednice.

Samotný princip kompresorového tepelného čerpadla znázorňuje obr. 3.8. Je to příklad uzavřeného parního kompresorového oběhu, v němž nastávají termodynamické změny, které vrací pracovní látku do výchozího stavu. Okruh tepelného čerpadla se skládá ze 4 hlavních fází. V první fázi se teplo odebrané z okolního prostředí (Q_0), přivede do výparníku, kde nastane vypařování pracovní látky (změna skupenství z kapalné na plynou). Celý proces probíhá při nižším tlaku a teplotě, čímž se využijí nízkoteplotní energetické toky, popřípadě teplo okolí. Pracovní látka v podobě páry putují dále do kompresoru, ve kterém je pára stlačena, čímž dojde k jejímu zahřátí. Do kompresoru je nutno dodávat hnací energii v podobě elektrické. Ohřáté páry putují dále do kondenzátoru, kde při změně skupenství z plynného na kapalnou předá pracovní látka energii, která se rovná energii dodané hnací energii a energii odebrané z okolí, což je znázorněno obr. 3.8. Daný proces probíhá v kompresoru za zvýšeného tlaku a teploty pracovní látky v okruhu. Zkapalněné chladivo koluje do expanzního ventilu, ve kterém dochází ke snížení tlaku na počáteční hodnotu a zpět do výparníku. Celý proces se následně opakuje. [22].



Obr. 3.8: Oběh kompresorového tepelné čerpadla [23]

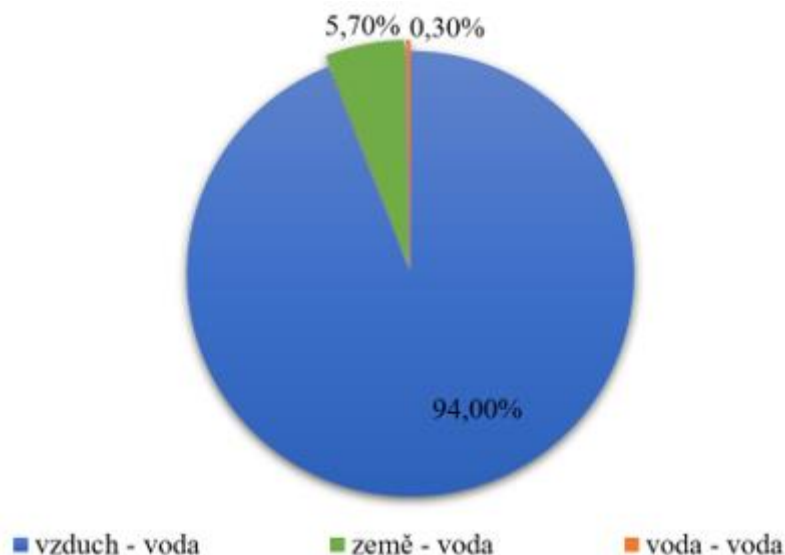
Převážně podle druhu a účelového uspořádání ohřívaného a ochlazovaného území se tepelná čerpadla rozdělují na výchozí typy. Samotný výběr tepelného čerpadla však záleží na několika činitelích (dostupnost zdroje tepla, vydatnost zdroje, výše investičních a provozních výdajů, okolní a externí podmínky apod.). [24] Tepelné čerpadlo vyžaduje pro svůj chod dva zdroje energie – elektrickou energii pro motor a nízkopotencionální teplo ze vzduchu, země, vody nebo jiných zdrojů. S prvním typem energie není ve většině případů problém, druhý zdroj je třeba zajistit.

Tepelné čerpadlo se vždy ve zkratce označuje podle toho, odkud se teplo odebírá a jaká látka teplo přebírá. [25]

Nejtypičtější varianty jsou:

- vzduch/vzduch
- vzduch/voda
- voda/voda
- voda/vzduch- (nejméně častá)
- země/voda

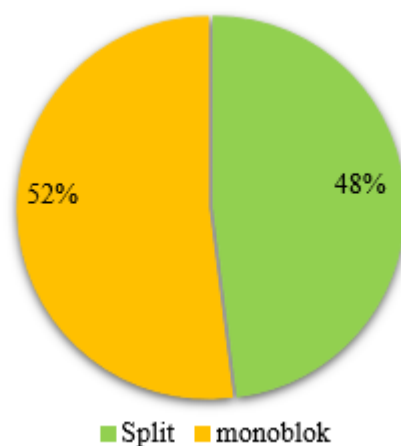
Statistika z roku 2020 znázorněna v grafu 3.4 dodávka tepelných čerpadel určených převážně k vytápění ukazuje, že hlavní typ, který je nejvíce instalovaný je vzduch/voda. Z tohoto důvodu se následující kapitoly budou věnovat převážně danému typu. [26]



Graf 3.4: Dodávka tepelných čerpadel určených primárně k vytápění v roce 2020 [26]

3.2.1 Typy TČ vzduch/voda

Jak už bylo zmíněno, nejčastější varianta instalací tepelného čerpadla je právě vzduch-voda, která se rozděluje ještě na jednotlivé podkategorie, kterými jsou split, monoblok a multisplit vyskytující se pouze zřídka. Dle statistiky v grafu 3.5 je poměr instalací těchto typů téměř vyvážený, ale i přesto v těchto typech jsou určité rozdíly, které budou následně popsány.

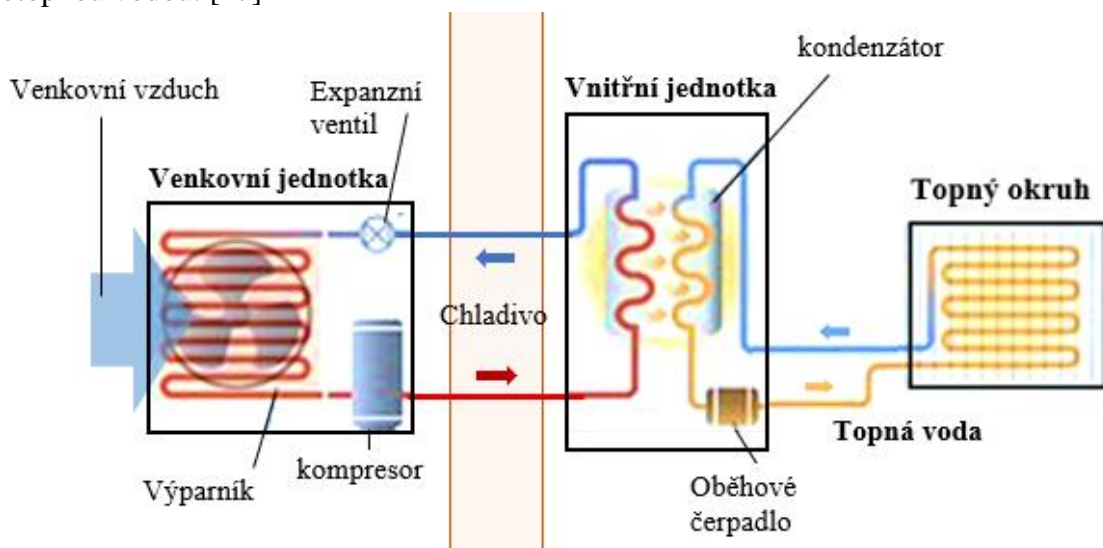


Graf 3.5: Poměr tepelných čerpadel vzduch – voda dle konstrukce v roce 2018 [26]

Split jednotka

Konstrukce split znázorněna na obr. 3.9 se skládá ze dvou částí. Energie převzatá z okolního prostředí, čímž je exteriérový vzduch, je předána do výparníku vnější jednotky a dále odevzdána do chladiva. Ohřáté chladivo se přesune do kompresoru, ve kterém se vlivem stlačování zahřeje na ještě vyšší teplotu. Horké chladivo je dopraveno potrubím do vnitřní jednotky, kde pomocí kondenzátoru předává teplo do již napojené otopné soustavy.

Díky rozdělení konstrukce na dva úseky jsou v objektu zavedeny pouze složky, které nejsou hlučné a jsou zabezpečené proti namrzání. Zbytek sestavy se nachází mimo budovu. Umístění jednotek je prakticky pouze na investorovi, jelikož jsou velmi kompaktní a instalace je jednoduchá. Výhodou tohoto systému spočívá v tom, že v případě výpadku proudu nehrozí zamrznutí topné vody, jelikož výměník je umístěn v budově. Nevýhodou může být instalace, kdy musí přijít oprávněný technik, který chladivo do okruhu doplní nebo rychlejší ochlazování trubek s chladivem oproti trubkám s otopnou vodou. [27]

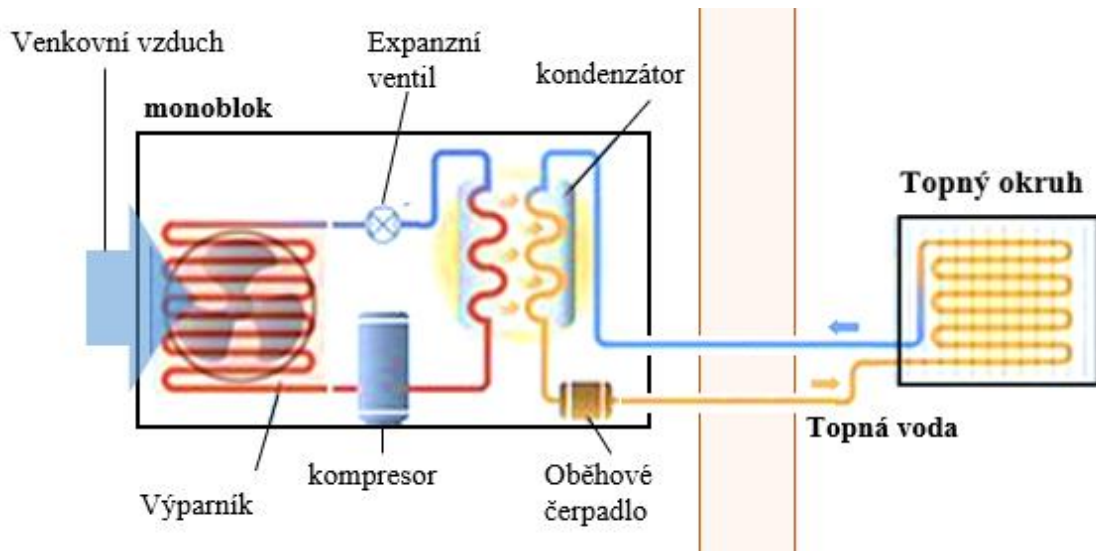


Obr. 3.9: Schéma zapojení split jednotky [28]

Monoblok jednotka

Pro monoblok je typické, že veškeré komponenty se nacházejí ve venkovní jednotce viz obr. 3.10. Jedná se tedy o výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. V jednotce se ohřívá voda a je vedena potrubím do objektu, kde je napojena buď přímo na otopnou soustavu nebo nepřímo na akumulární nádrž. Princip jednotky je prakticky stejný jako u split konstrukce s rozdílem, že v potrubí spojující objekt a monoblok jednotku proudí otopná voda, nikoliv chladivo.

Výhodou oproti splitovým TČ je, že chladivo je plněno již při výrobě a není třeba specializovaných odborníků při instalaci. Další výhodou spočívá v pomalejším ochlazení trubek s otopnou vodou, s čímž souvisí i nižší tepelné ztráty. Za nevýhodu může být považováno přidávání nemrznoucích směsí do topné vody, čímž se tekutina zhušťuje a více zatěžuje oběhové čerpadlo. [27]

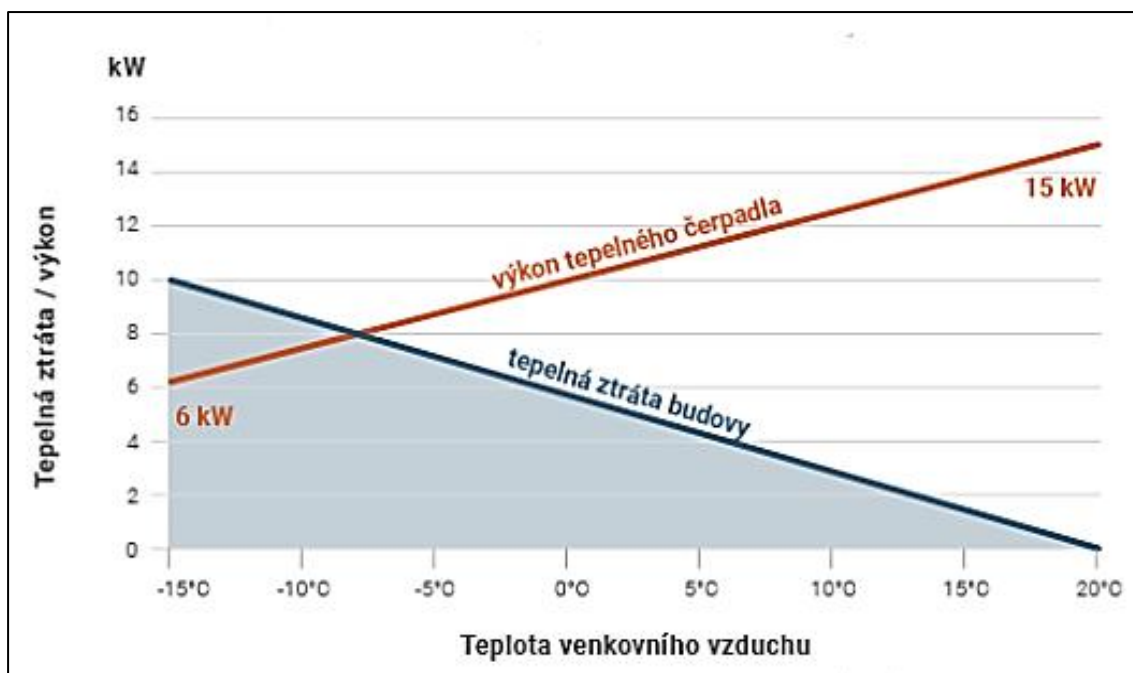


Obr. 3.10: Schéma zapojení monoblok jednotky [28]

3.2.2 Topný výkon

Dimenzování tepelného čerpadla se provádí optimálně na 60 až 80 % požadovaného výkonu při nejnižší výpočtové teplotě v místě realizace. Ve většině případů je zbytečné dimenzovat zařízení nad 80 % potřebného výkonu zdroje. Nemá to nikterak vliv na provozní náklady a pouze se navýší investiční cena. Dimenzování zdroje nad 80 % má smysl pouze tehdy, kdy musí být omezen výkon bivalentního zdroje tepla. Pokud by bivalentní zdroj (krb s výměníkem, kotel na biomasu či plyn) byl levnější než tepelné čerpadlo, může se výkon TČ pohybovat až okolo 50 %. Při minusových teplotách je vytápění plynem lacinější než tepelným čerpadlem vzduch/voda, jelikož dojde pokles topného faktoru. Z tohoto důvodu by pak vyšší výkon mohl znamenat vyšší provozní náklady. [29]

V grafu 3.6 je dobře vidět, jakým způsobem pokrývá tepelný výkon tepelnou ztrátu při určitých venkovních teplotách.



Graf 3.6: Závislost topného výkonu/ztráty na teplotě okolního vzduchu [29]

Při dimenzování tepelného čerpadla ve výpočtových nástrojích je dobré znát tabulku výkonů, příkonů a topných faktorů při různých venkovních teplotách. Pro představu tab. 3.1 ukazuje příklad tepelného čerpadla vzduch/voda od firmy Buderus pro jednotlivé zmíněné složky.

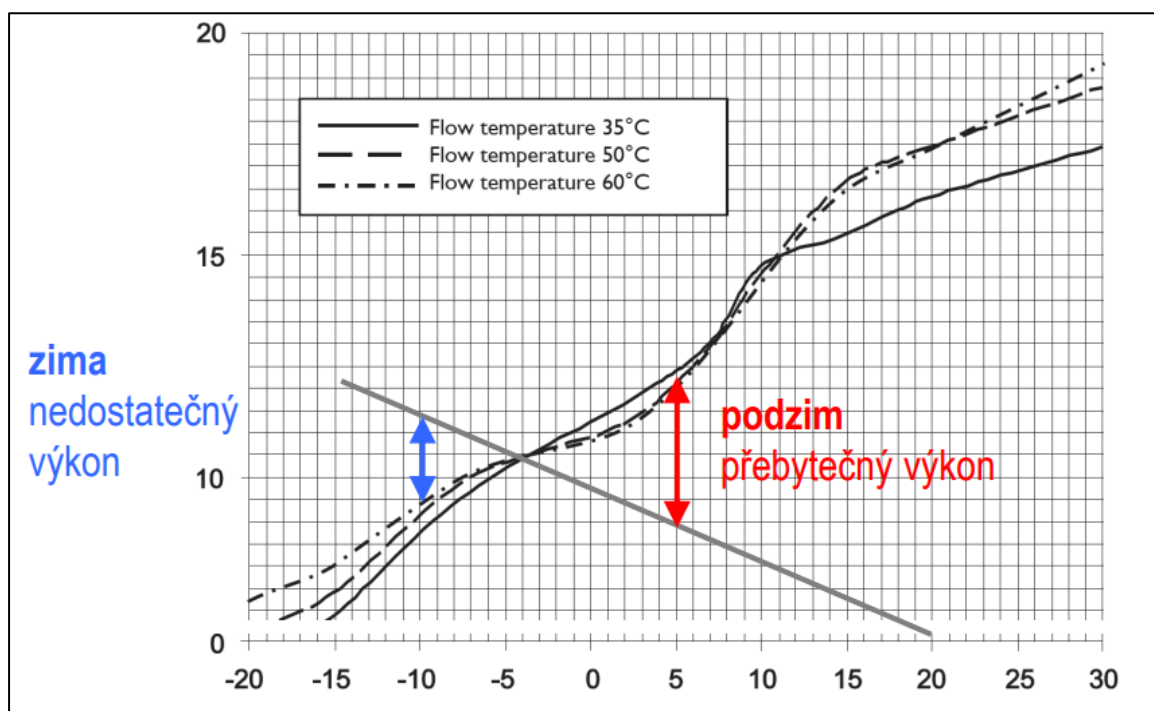
Tab. 3.1: Výkonové parametry tepelného čerpadla vzduch/voda [30]

| Výkonové parametry * | | | | |
|----------------------|------------------|------------|-------------|------------------|
| Teplota vzduchu | Výstupní teplota | Výkon [kW] | Příkon [kW] | Topný faktor [-] |
| 12 °C | 35 °C | - | - | - |
| | 45 °C | - | - | - |
| | 55 °C | - | - | - |
| | 65 °C | - | - | - |
| 7 °C | 35 °C | 6,22 | 1,30 | 4,78 |
| | 45 °C | 5,89 | 1,60 | 3,68 |
| | 55 °C | 5,56 | 1,83 | 3,03 |
| | 65 °C | - | - | - |
| 2 °C | 35 °C | 4,69 | 1,28 | 3,66 |
| | 45 °C | 4,34 | 1,50 | 2,89 |
| | 55 °C | 4,25 | 1,75 | 2,43 |
| | 65 °C | - | - | - |
| -7 °C | 35 °C | 3,87 | 1,25 | 3,10 |
| | 45 °C | 3,63 | 1,47 | 2,47 |
| | 55 °C | 3,43 | 1,73 | 1,99 |
| -15 °C | 35 °C | 2,84 | 1,17 | 2,42 |
| | 45 °C | 2,65 | 1,40 | 1,90 |
| | 55 °C | 2,49 | 1,62 | 1,54 |

Při výpočtu z těchto hodnot je možné pomocí lineární regrese vypočítat tepelný výkon pro libovolnou venkovní teplotu. Rov. (3.5) lineární regrese vychází z TNI 73 0351 [47] o energetickém hodnocení soustav s tepelnými čerpadly.

$$P = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2} \quad (3.5)$$

V rovnici jsou zastoupeny dvě hlavní teploty. Teplota na vstupu do výparníku (t_{v1}) a teplota na výstupu z kondenzátoru (t_{k1}). Tyto teploty hrají hlavní roli v grafu 3.7. Znázorněná charakteristika zobrazuje tři křivky zastupující tři různé teploty na výstupu z kondenzátoru. Je zřejmé, že nelze jednoznačně říct, že pro vyšší teploty na kondenzátoru bude topný výkon vyšší či nižší.



Graf 3.7: Různé výkony tepelného čerpadla vzduch/voda v různých obdobích roku [31]

3.2.3 Efektivita

Energetická efektivita většiny technologií je hodnocený parametr podle jejich účinnosti. Jedná se o poměr mezi přiváděnou a získanou energií. Účinnost je vždy menší než jedna, jelikož od začátku procesu do konce nastávají určité tepelné či mechanické ztráty. Efektivita pro tepelné čerpadlo je udávána pod pojmem topný faktor. Je definován jako poměr spotřeby vstupní energie (elektřina pro chod kompresoru) ku množství získaného tepla (teplo z otopné soustavy). Poněvadž se neuvažuje teplo získané z okolí, topný faktor bude vždy větší než 1.

Při posuzování efektivity tepelného čerpadla je třeba si pamatovat, že se porovnávají různé typy energií. Elektřina je považována za obecnou energii, kdežto teplo je možné získat mnoha způsoby, jako např. spalování biomasy či fosilních paliv. Proto je tepelné čerpadlo možno srovnávat pouze s elektrickým vytápěním. Pokud se bude srovnávat tepelné čerpadlo a plynový kotel, je třeba mít na paměti, že hodnotícím parametrem nebude jen úspora energie [kWh], ale bude pohlíženo i na produkci emisí či jiné zatížení životního prostředí. [32]

Topný faktor

Topný faktor, známý jako COP faktor (Coefficient Of Performance), je jedním z nejvýznamnějších parametrů tepelného čerpadla. Definuje poměr dodané elektřiny do kompresoru ku produkci tepla na kondenzátoru. Topný faktor se mění v závislosti s okolním prostředím. Při kolísání teploty zdroje (vzduch) mírně kolísá i teplota na výstupu z tepelného čerpadla. Pokud je objekt vytápěn nízkoteplotně, vyžaduje se teplota v otopné soustavě v rozmezí 30-50 °C. Pro energetickou bilanci lze topný faktor vypočítat obdobně jako topný výkon dle rov. (3.5), kde se teplota na vstupu do výparníku rovná teplotě venkovního vzduchu. Aby se přesunul venkovní vzduch do budovy pomocí chladiwa přes cívky kondenzátu, je potřeba, aby chladiwo bylo zhruba o 20 stupňů chladnější než vzduch mimo budovu.

V marketingové praxi se stává COP faktor klíčem k nalákání spotřebitelů a je třeba obezřetnosti v přijímání správných informací. Při porovnání dvou tepelných čerpadel dle topného faktoru je nezbytné znát dvě podmínky, při kterých byl topný faktor naměřen. Jsou jimi venkovní teplota vzduchu a teplota vody na kondenzátoru. Proto nelze přesně říct, že např. topný faktor 3,68 při teplotě 7/45 °C je lepší než topný faktor 2,43 při teplotách 2/55.

Solidní výrobci tyto podmínky udávají v technických listech pro každé tepelné čerpadlo. [32]

3.2.4 Režim provozu s přednostní přípravou TV

Přednostní příprava TV spočívá v krátkodobém přesměrování veškerého výkonu zdroje tepla z vytápění otopné soustavy na přípravu TV. Pokud na situaci bude nahlíženo z energetického hlediska, dá se předpokládat, že spotřeba na vytápění bude daleko vyšší než potřeba tepla na přípravu TV. Využívá se maximálního výkonu tepelného zdroje navrženého především pro vytápění. [33]

Je patrné, že pokud se využívá nejprve maximální výkon pro přípravu TV, je třeba určit dobu provozu tepelného zdroje pro ohřátí zásobníku. Rov. (3.6) vycházející z TNI 73 0351 [47] udává vztah mezi potřebou tepla na přípravu TV a tepelného výkonu zdroje.

$$\tau_{TC,TV} = \frac{Q_{TC,TV}}{\Phi_{k,TV}} \quad (3.6)$$

kde:

| | | |
|----------------|--------------------------------------|------|
| $\tau_{TC,TV}$ | Doba provozu TČ v režimu přípravy TV | [h] |
| $\Phi_{k,TV}$ | Výkon TČ | [kW] |

Z tohoto vztahu je známo, jak dlouho je tepelný zdroj využíván pro přípravu TV za určitý časový úsek. Pro hodinový výpočet je brána veličina 1 hodina. Zbytek času je využit pro otopnou soustavu.

3.2.5 Problémy tepelných čerpadel

Při výběru tepelného čerpadla nestačí pohlížet pouze na topný výkon či faktor. S pořízením takovéto technologie i úzce souvisejí určité povinnosti, které je třeba řešit. Jedním z vážných parametrů je hluk či automatické odmazování v situacích, kdy se teploty pohybují okolo nuly a klesají.

Hluk

Jelikož se tepelná čerpadla pořizují ve většině případů k rodinným domům v zastavěných oblastech, je třeba mít na paměti i jeho hlučnost. Velmi často se tepelné čerpadlo pořizuje až v samotném závěru stavby a investor šáhne po levnější variantě z hlediska šetření financí. Ovšem taková čerpadla vykazují větší hlučnost a za ušetřené peníze je třeba pořídit různé protihlukové zábrany, uvažovat o přemístění technologie či dokonce její odstranění.

Jedno z hlavních kritérií, které je třeba při eliminaci hluku řešit, je správné umístění technologie vůči objektu. Pro správný chod je třeba umístit zadní stěnu s výparníkem, přes který je nasáván vzduch, min. 30 cm od domu. Před samotným kondenzátorem, který odvádí studený vzduch, by se měl vymezit volný prostor aspoň 3 m pro zabránění případnému odrážení zvuku či rezonanci. Je třeba také dodržet hygienický odstup vůči

sousedním objektům podle úřadem stanovené normy. [34] Na obr. 3.11 je názorná ukázka běžných tepelných čerpadel s akustickým výkonem 67 dB.



Obr. 3.11: Běžné tepelné čerpadlo s hladinou akustického výkonu 67 dB [34]

Zatímco běžná tepelná čerpadla dosahují akustického výkonu 40 dB v 8,8 m, což se dá přirovnat tlumenému hovoru, existují samozřejmě i tepelná čerpadla, která dosahují stejného výkonu už v 1 m.

Jsou různé technologické řešení, které výrobci instalují pro snížení hluku. Mohou tím být řešení jako:

- Instalace pouze jednoho pomaloběžného ventilátoru
- Aerodynamicky vytvarované lamely
- Rozteč lamel na výparníku
- Hluková izolace

Odmrazování

V případě tepelného čerpadla vzduch-voda, je třeba mít na paměti, že lamely výparníku musí omývat venkovní vzduch a není možné opatřit výparník parotěsnou tepelnou izolací jako je tomu u tepelných čerpadel země-voda. Když vzduch venku začne klesat asi o 20 až 40 stupňů, může to způsobit zamrznutí vlhkosti na vnějších složkách tepelného čerpadla. Zvýšení relativní vlhkosti také hraje roli v tom, jak rychle tepelné čerpadlo zamrzne. [35]

Pokud chladné počasí přetrvává několik dní a tepelné čerpadlo neustále pracuje, aby pokrylo zvýšenou potřebu tepla, není dostatek času na to, aby teplý okolní vzduch rozmrazil led. Nad spirálami výměníku tepla se tvoří stále více ledu. Stejně jako izolant,

led brání vzduchu, aby narážel na cívky, čímž se zmenšuje celková plocha povrchu pro přenos tepla.

Jakýkoli teplý vzduch, který se dostane k spirálám výměníku tepla, je již chlazen ledovým blokem, což dále snižuje tepelný rozdíl. V důsledku toho se do plynu odpaří méně chladiva a kompresor musí vykonat více práce, aby pokryl požadavek na teplo. Účinnost tepelného čerpadla klesá, a nakonec systém přestane fungovat. [36]

V dnešní době však většina tepelných čerpadel má odmrazovací cyklus. Kdykoli systém vycítí, že začíná zamrzat, přejde na cyklus rozmrazování. Během tohoto cyklu se teplo přenášené z vnějšku v podstatě přeneso do cívek kondenzátoru ve vnější jednotce. To funguje na tání ledu, který se vytvořil nad kondenzátorovými cívkami. Tento proces obvykle trvá kolem 30 minut. [35] Při takové reverzaci systému je dobré pamatovat i na to, že tepelné čerpadlo odebírá energii z otopné soustavy, a to i několikrát do hodiny, což může vést k diskomfortu investora. Je možné proto do soustavy instalovat akumulární nádrž, která poslouží jako zdroj pro odebranou energii s dostatečným množstvím otopné vody o dostatečné teplotě a nenastane tím tak pocitový diskomfort. [37]

Pokud automatické odmrazování nefunguje, je možné ho uskutečnit manuálně. V takovém případě je třeba odpojit tepelné čerpadlo ze sítě a namraženou část polít horkou vodou. V případě přetrvávajícího ledu je možné pustit funkci větrání do doby, dokud led nezmizí.

V každém případě je třeba hledat vždy příčinu, proč systém neplní svou funkci. Jedním z příčin může být neúčinný odkapávací žlab, který vypouští přebytečnou vodu na venkovní jednotku. [35]

3.3 Kondenzační plynový kotel

V současnosti je jedno z hlavních kritérií snižovat provozní náklady. To sebou pojí nejen jasná kritéria na hospodárnost provozu, ale také je kladen požadavek na ekologičnost provozu. Pokud pro provoz objektu bude zvolen kondenzační tepelný zdroj v podobě plynového kotle, je možné vyhovět v obou parametrech. Kondenzační kotle dokážou využít vyšší podíl energie, která je přivedena v podobě paliva a zároveň mají mnohem menší faktor CO₂ ve spalinách, než je tomu tak například u elektrické energie.

Při provozu kondenzačního kotle dojde ke spalování zemního plynu nebo propanu, při kterém zkondenzuje určité množství vody. Ta se během hoření ohřívá. Následně spaliny hoření v podobě vodní páry s CO₂ opouští kondenzační kotel. Ve spalinách se skrývá potencionální tepelná energie v podobě latentního tepla. Jestliže se vzniklé spaliny

ochladí pod jejich teplotu rosného bodu, dojde ke kondenzaci vodní páry, čímž se uvolní energie v podobě tepla. Uvolněná energie ze speciálně uzpůsobeného výměníku se u kondenzačních kotlů využívá především k ohřevu vratné otopné vody. [38] Celý tento proces je znázorněn na obr. 3.12.



Obr. 3.12: Proces spalování kondenzačního kotle [39]

Jestliže se sečte výhřevnost a spalné teplo, je možné získat za optimálních podmínek až 109 % normovaného stupně využití. Záleží pouze na typu výroby a kvalitě materiálu. Z každého 1 m³ zemního plynu zkondenzuje cca 1,6 l kondenzátu. Výsledná tepelná energie z tohoto množství ohřeje 10 l kapaliny z 5 °C na 90 °C. Jelikož je využito odpadního tepla v podobě kondenzace, spotřebovává se méně plynu, což vede k úspornějšímu vytápění. [39]

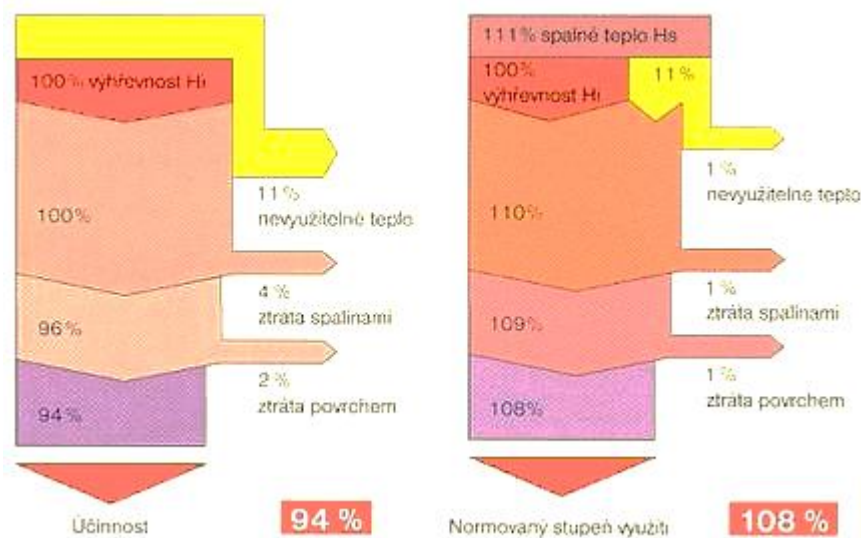
3.3.1 Základní pojmy

Spalné teplo H_s [kWh/m³] je definováno jako množství uvolněného tepla, které se uvolní dokonalým spálením 1 m³ zemního plynu a kyslíku při tlaku 101 325 Pa (atmosférický tlak). Jedná se tedy o celkové množství tepla spáleného jednotkovým množstvím paliva, kde je zahrnuta i energie ve vodní páře zvaná jako latentní teplo.

Latentní teplo L [J] je energií, která je potřeba dodat nebo odebrat při změně skupenství.

Výhřevnost H_i [kWh/m³] je rovna spalnému teplu ponížena o tepelnou energii, která se uvolnila při kondenzaci vodní páry ze spalného tepla viz obr. 3.12. Z toho vyplývá, že výhřevnost neuvažuje potencionální energii, která je ve vodní páře. Účinnost kotlů se stanovuje právě z výhřevnosti. U kondenzační technologie se zavedl termín normovaný

stupeň využití, který převyšuje 100%. Obvykle se udávají hodnoty od 104–106 %. Tento údaj bývá často zaměňován s účinností kotle. Pokud by se ovšem účinnost kondenzačních kotlů počítala přímo ze spalného tepla, dochází k zachování fyzikálních náležitostí a hodnota by dosahovala max. 97,5 %. V obr. 3.13 je vidět zřetelný rozdíl využití energie kotle bez kondenzace s teplotním spádem 75/55 °C a kondenzačního kotle při spádu topné vody 40/30° C. [38]



Obr. 3.13: Ukázka kotle bez kondenzace se spádem 75/55 °C (vlevo) a kondenzačního kotle při spádu 40/30 °C (vpravo). [38]

Z obr. 3. 13 je zřejmé, že u kotlů bez kondenzace se nevytváří latentní teplo, které by mělo navýšit účinnost. Pro upřesnění je dobré si vysvětlit, proč právě 11 % tepelné energie spalováním zemního plynu se navíc využije z tohoto děje. Znázorněno v rov. (3.7). V tab. 3.2 je složení zemního plynuje a vznik spalného tepla a výhřevnosti z těchto složek.

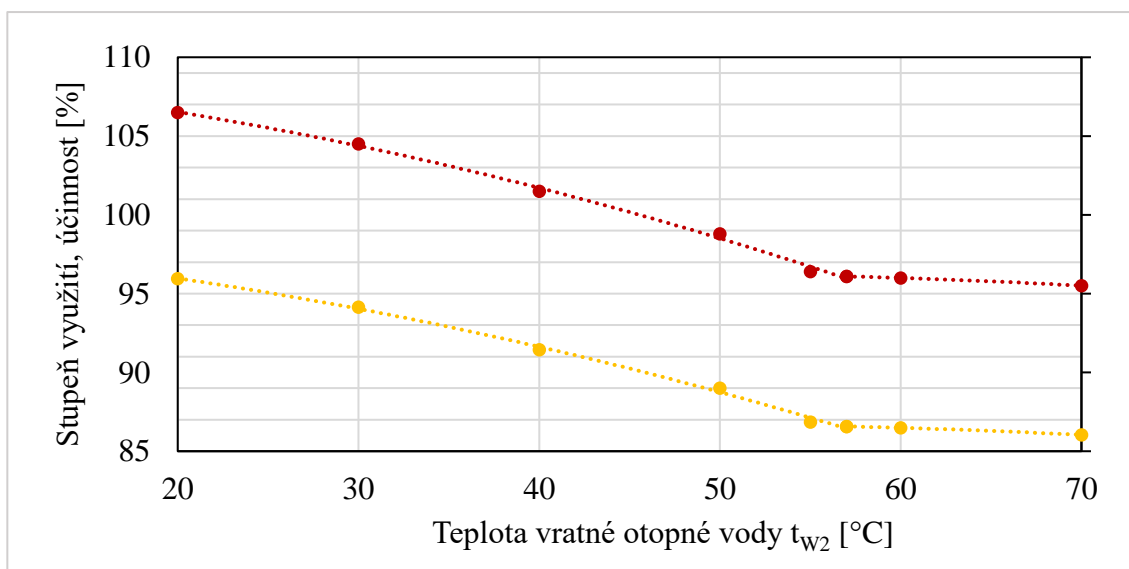
Tab. 3.2: Hodnoty spalného tepla a výhřevnosti pro jednotlivé složky zemního plynu [40]

| Složka zemního plynu | Spalné teplo Hs | | Výhřevnost Hi | |
|--|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | [kJ/m ³] | [kWh/m ³] | [kJ/m ³] | [kWh/m ³] |
| Metan CH₄ | 38 819 | 11,058 | 35 883 | 9,965 |
| Etan C₂H₆ | 70 293 | 19,520 | 64 345 | 17,869 |
| Propan C₃H₈ | 101 242 | 28,115 | 93 215 | 25,886 |
| n - Butan C₄H₁₀ | 134 061 | 37,229 | 123 810 | 34,382 |
| Pentan C₅H₁₂ | 169 190 | 46,984 | 156 560 | 43,477 |

$$\begin{aligned} \text{Spalné teplo} &= 39\,819 \text{ kJ/m}^3 = 11,058 \text{ kWh/m}^3 \\ \text{Výhřevnost} &= 35\,883 \text{ kJ/m}^3 = 9,965 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{Spalné teplo}}{\text{Výhřevnost}} = \frac{11,058}{9,965} = 1,11 [-] \quad (3.7)$$

Poměr tepelných ztrát odvedených spalinami z paliva, sáláním kotle a kondenzátem se může lišit s konstrukcí kotle. Dohromady se však tyto ztráty pohybují okolo 3 %. Do normovaného stupně využití jsou tyto ztráty zahrnuty se závislostí na otopné vodě a využití kotle. V grafu 3.8 je ukázka normovaného stupně využití a spalného tepla v závislosti na teplotě vratné otopné vody. Z grafu je patrné, že pokud spaliny klesnou pod 57 °C začne probíhat kondenzace a normovaný stupeň využití se začne zvyšovat.



Graf 3.8: Závislost účinnosti a normovaného stupně využití na teplotě vratné otopné vody [49]

3.3.2 Teplota spalin

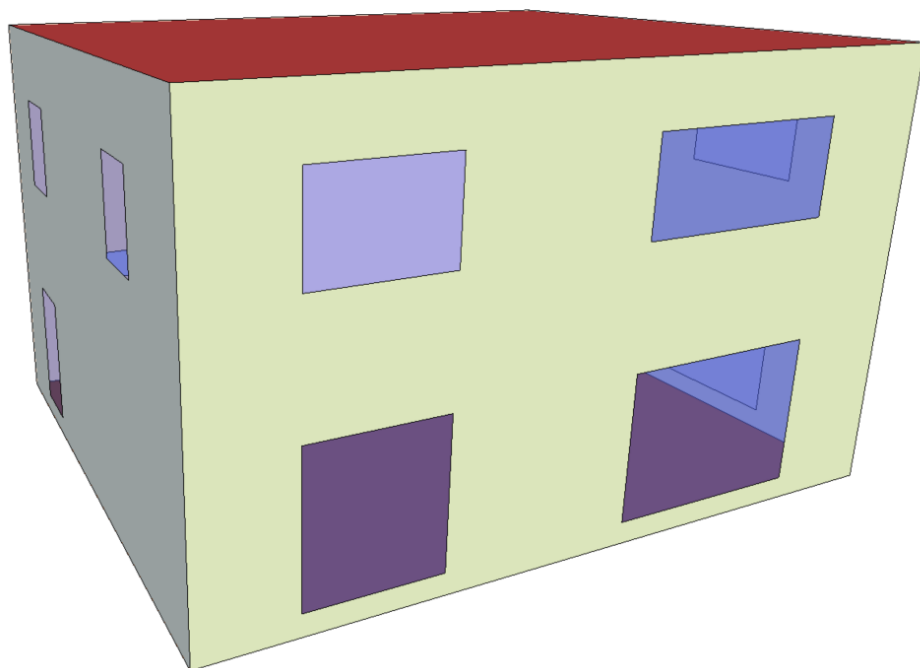
Jak už bylo výše zmíněno, ze spalného tepla lze získat 11 % přebytečného tepla, které napomáhá k vyšší účinnosti kondenzačního kotle. Při ideálním ochlazování zemního plynu (bez přebytku vzduchu) začne pod teplotou rosného bodu z plynu kondenzovat vodní pára při teplotě 57 °C viz graf 3.8. Teplota spalin je závislá na teplotě vratné otopné vody. Při jmenovitém výkonu kotle je požadováno, aby rozdíl teplot spalin a vratné vody byl 5 K. [47] Při minimálním výkonu je tento požadavek stanoven na 2 K. [47] Z hlediska konstrukce je tento požadavek plněn tak, že spalinový výměník pracuje jako protiproudý výměník s dostatečně velkou teplosměnnou plochou. V případě, že by byla teplota vratné otopné vody vyšší než teplota rosného bodu, nedojde

ke kondenzaci a účinnost systému bude stejná, jako u nízkoteplotních kotlů bez kondenzace. [38]

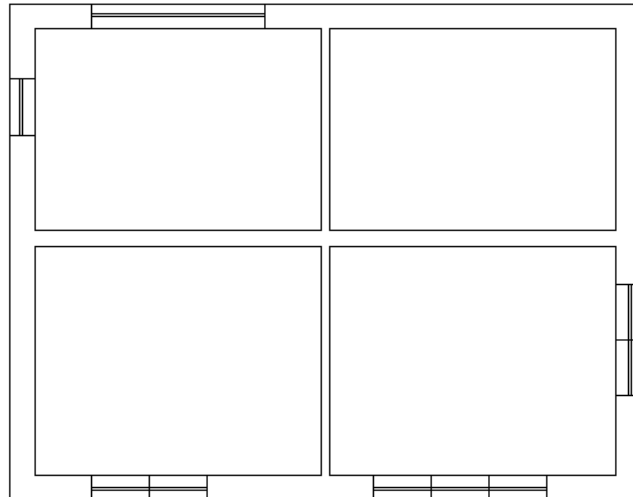
4 ENERGETICKÁ NÁROČNOST DOMU

4.1 Rodinný dům

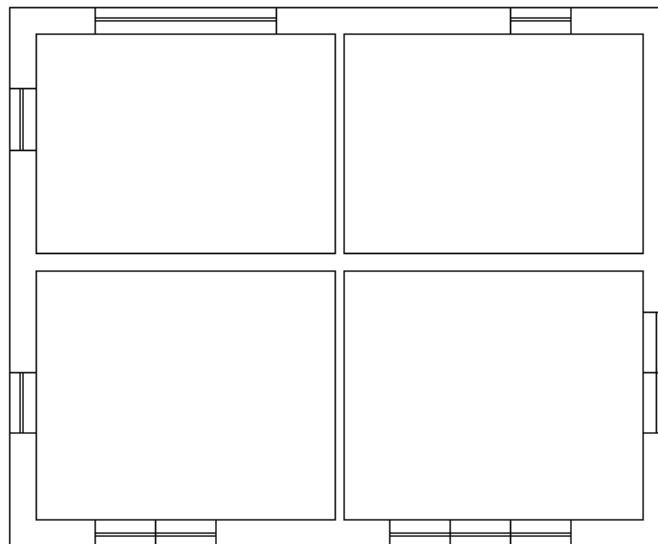
Pro analýzu byl uvažován modelový rodinný dům obdélníkového půdorysu 8 x 10 m se dvěma nadzemními podlažími o vnitřní podlahové ploše 160 m² a vnitřním objemu 472 m³. Střecha objektu je plochá o ploše 80 m². Světlná výška obou podlaží je 2,95 m. Plocha výplní je 34,4 m². V RD je uvažováno se čtyřmi obyvateli. Lokalita objektu je v Praze s minimální venkovní teplotou -15 °C. Největší podíl průsvitných konstrukcí je na jižní straně. Na obr. 4.1 je zobrazeno natočení objektu vůči světovým stranám na obr. 4.2 a 4.3 jsou pro představu znázorněny půdorysy 1.NP a 2.NP.



Obr. 4.1: Ilustrace domu vůči světovým stranám – natočení na JZ



Obr. 4.3: Půdorys 1.NP



Obr. 4.2: Půdorys 2.NP

Dům je analyzován ve dvou variantách: DOP a PAS. Varianta DOP je založena na konstrukcích s hodnotou součinitele prostupu tepla U splňujících doporučené hodnoty podle ČSN 730540-2:2011. [50] Varianta PAS vychází opět z normy ČSN730540- 2:2011, kde její konstrukce odpovídají doporučeným hodnotám U pro pasivní budovy.

4.1.1 Konstrukce

Materiály v tab. 4.1, ze kterých se obálka budovy skládá, jsou pro obě varianty stejné. Mění se pouze tloušťka konstrukcí z hlediska tepelné izolace a typ výplně. Pro variantu DOP jsou uvažovaná dvojskla, pro variantu PAS jsou trojskla a jsou popsány v tab. 4.2. Závislost součinitele prostupu sluneční energie g na úhlu dopadu jednotlivých

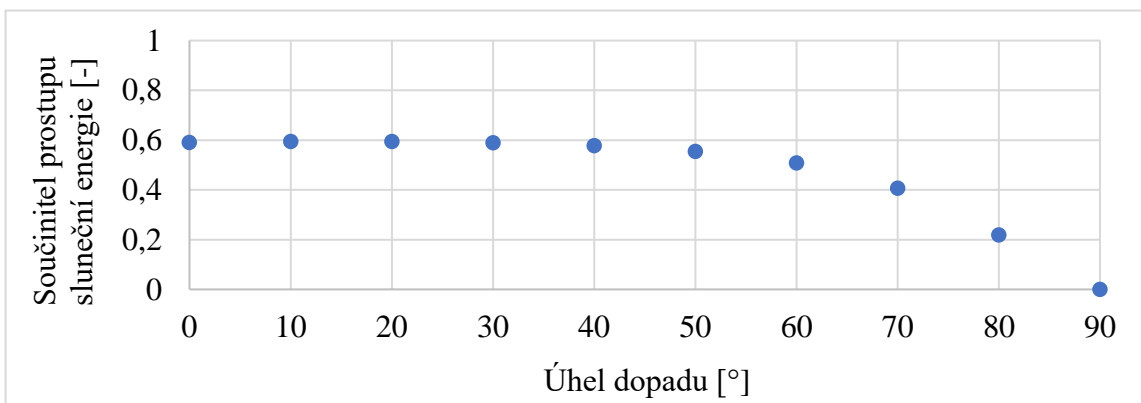
oken je znázorněna v grafech 4.1 a 4.2. Obálka budovy jednotlivých variant je vypsána v tabulkách 4.3 a 4.4

Tab. 4.1: Použité materiály pro neprůsvitné konstrukce

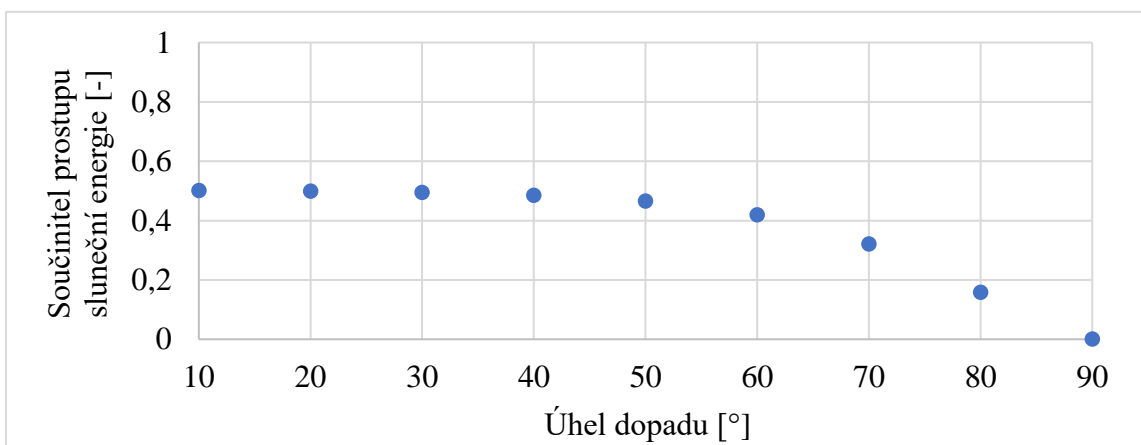
| Typ materiálu | Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m.K] | Měrná tepelná kapacita c [J/kg.K] | Hustota ρ [kg/m ³] |
|-------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Plná cihla | 0,86 | 840 | 1900 |
| Izolace PS | 0,05 | 1270 | 10 |
| Stropní panel | 0,35 | 860 | 800 |
| Betonová mazanina | 1,2 | 1020 | 2100 |
| Izolace XPS | 0,041 | 1270 | 50 |
| Betonová deska | 1,5 | 1020 | 2400 |

Tab. 4.2: Průsvitné konstrukce

| Výplně | Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K] | Součinitel prostupu sluneční energie g [-] |
|---------------|---|--|
| Okno dvojsklo | 1,2 | 0,591 |
| Okno trojsklo | 0,7 | 0,501 |



Graf 4.1: Závislost součinitele prostupu sluneční energie na úhlu dopadu dvojskla s $U = 1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$



Graf 4.2: Závislost součinitele prostupu sluneční energie na úhlu dopadu trojskla s $U = 0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Tab. 4.3: Obálka budovy variantu domu DOP

| Typ konstrukce | Typ materiálu | Tl. materiálu d [mm] | Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] |
|-------------------|-------------------|------------------------|--|
| Obvodová stěna | Plná cihla | 300 | 0,24 |
| | Tepelná izolace | 180 | |
| Střecha | Stropní panel | 250 | 0,17 |
| | EPS | 250 | |
| Podlaha na zemině | Betonová mazanina | 50 | 0,29 |
| | XPS | 130 | |
| | Beton | 200 | |

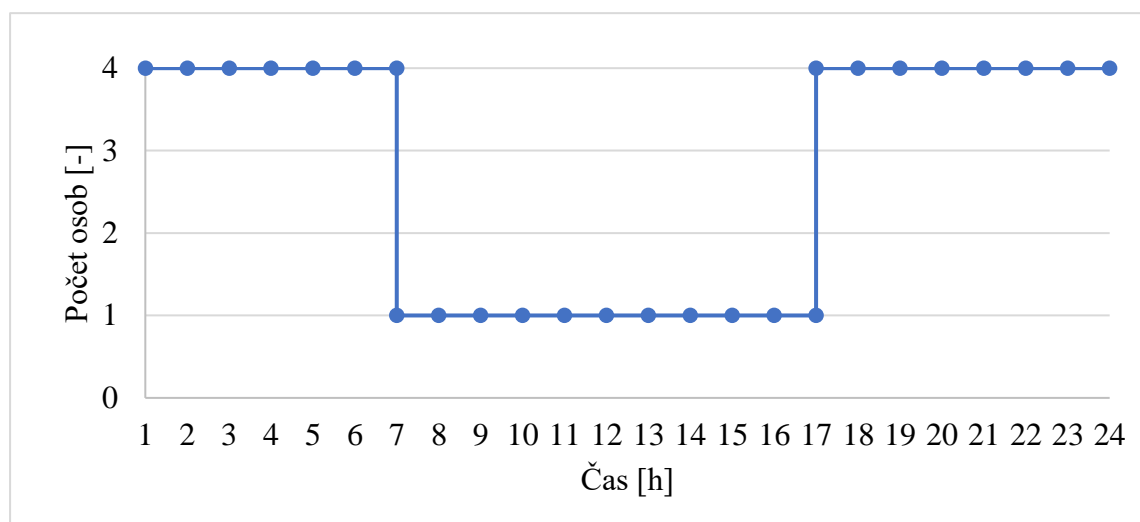
Tab. 4.4 - Obálka budovy pro variantu domu PAS

| Typ konstrukce | Typ materiál | Tl. materiálu d [mm] | Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] |
|-------------------|-------------------|------------------------|--|
| Obvodová stěna | Plná cihla | 300 | 0,11 |
| | Tepelná izolace | 300 | |
| Střecha | Stropní panel | 250 | 0,09 |
| | EPS | 350 | |
| Podlaha na zemině | Betonová mazanina | 50 | 0,19 |
| | XPS | 200 | |
| | Beton | 200 | |

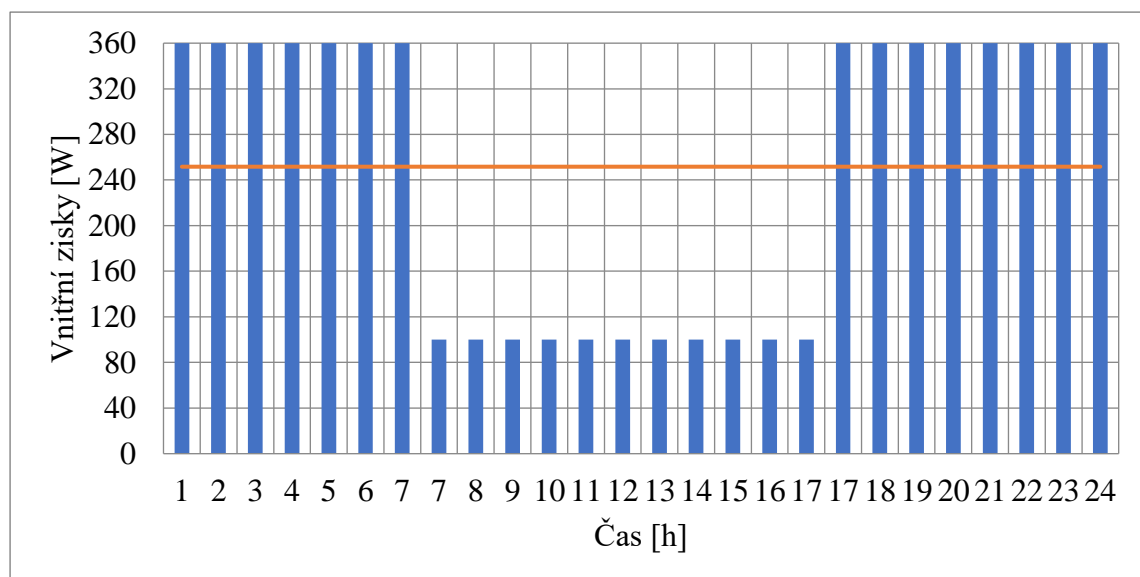
4.2 Okrajové podmínky

4.2.1 Obsazenost a vnitřní zisky

Budova je uvažována pro čtyřčlennou rodinu, kde jsou dvě dospělé osoby a dvě děti. Tepelný zisk od dospělé osoby je uvažován 100 W a od dítěte 80 W. Profil obsazenosti objektu znázorňuje graf 4.1, ve kterém je znázorněno, že od 7-17h se v objektu vyskytuje pouze jedna dospělá osoba. Vnitřní zisky od osob pro dvě dospělé osoby a dvě děti činí 360 W a znázornění průběhu tepelných zisků od osob po dobu dne je znázorněno v grafu 4.2. Průměrné vnitřní zisky pak činí 251 Wh/den. Podle normy ČSN 730331-1 [48] jsou pro rodinné domy měrné tepelné zisky od osob rovny 1,5 W/m^2 . V této studii vychází vnitřní zisky od osob 1,57 W/m^2 .



Graf 4.3: Obsazenost budovy během dne



Graf 4.2: Vnitřní zisky od osob během dne

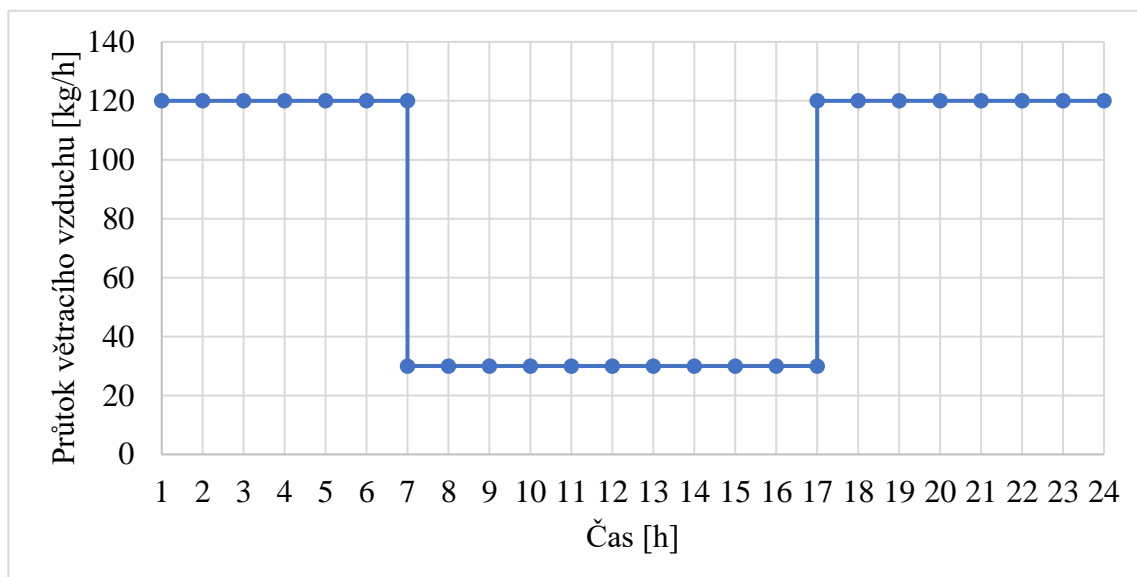
4.2.2 Větrání

V obou stavech je uvažováno se zpětným získáváním tepla (ZZT). Účinnost ZZT uvažují 75 %, což odpovídá, dle normy ČSN 73 00331-1 [48] křížovému deskovému výměníku. Požadavky dle vyhlášky 268/2009 Sb. vyžadují, aby v obytných prostorech bylo zajištěno dostatečné přirozené či nucené větrání vzduchu. Pro větrání obytných místností musí být zajištěno v době, kdy se v prostoru vyskytují osoby, minimální množství čerstvého venkovního vzduchu $25 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{osobu}$. Pro hodnocení kvality vzduchu se používá ukazatel CO_2 . Koncentrace oxidu uhličitého nesmí přesáhnout hodnotu 1500 ppm. Pokud by byla tato hodnota překročena, osobám v místnosti se začne špatně dýchat, motat hlava, nastane únava organismu apod.

Hodnota průtoku větracího vzduchu pro čtyři osoby vychází na 120 kg/h, kde následný denní profil je znázorněn v grafu 4.3. Intenzita větrání potom vychází 0,52 l/h. Dle ČSN 730331-1 je stanoveno pro rodinné domy při nuceném větrání hodnota 0,3 l/h. [48]

4.2.3 Klimatické podmínky

Lokace umístění domu je v Praze. Nadmořská výška se pohybuje okolo 250 m. n. m. Pro veškerá klimatická data využívám hodinovou databázi ze softwaru TRNSYS, kde jsou k dispozici data typického meteorologického roku. S hodinovými daty se pojí i to, že lze zjistit základní klimatické prvky. Ty nejzákladnější jsou uvedeny v tabulce 4.5.

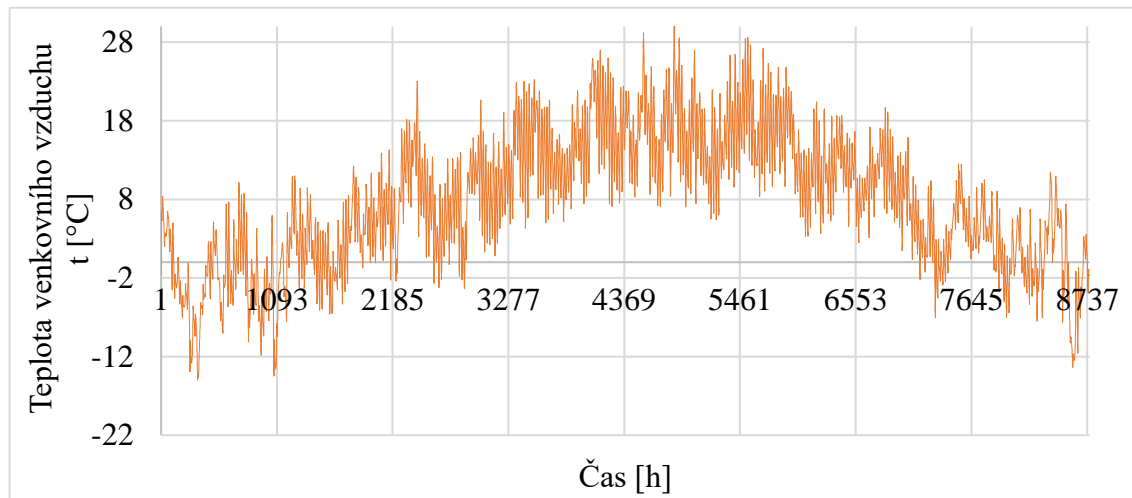


Graf 4.3: Denní profil průtoku větracího vzduchu

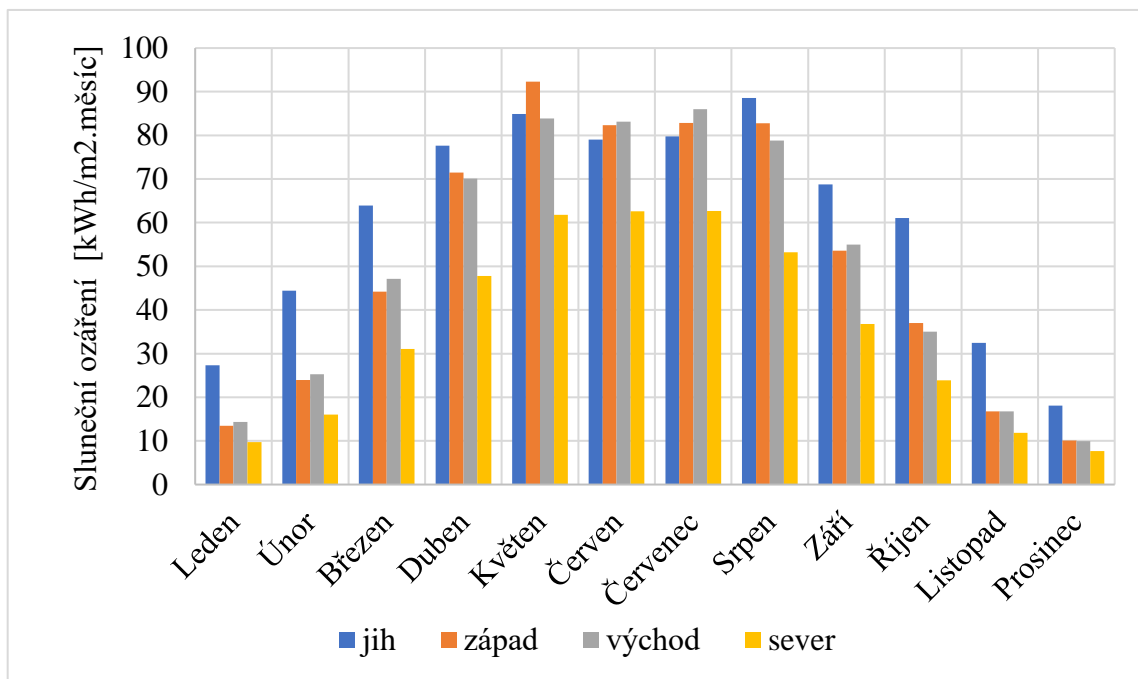
Tab. 4.5: Základní klimatické údaje pro lokalitu Praha

| | | |
|---|-------|------------------------|
| Minimální teplota venkovního vzduchu | -15 | °C |
| Maximální teplota venkovního vzduchu | 30,7 | °C |
| Průměrná venkovní teplota | 7,9 | °C |
| Úhrn slunečního záření za rok na horizont | 998,4 | kWh/m ² rok |

Hodinové průběhy teplot a slunečního záření pro světové strany, ze kterých nadále vychází dimenzování všech technických systémů, jsou znázorněny v grafech 4.4. a 4.5.

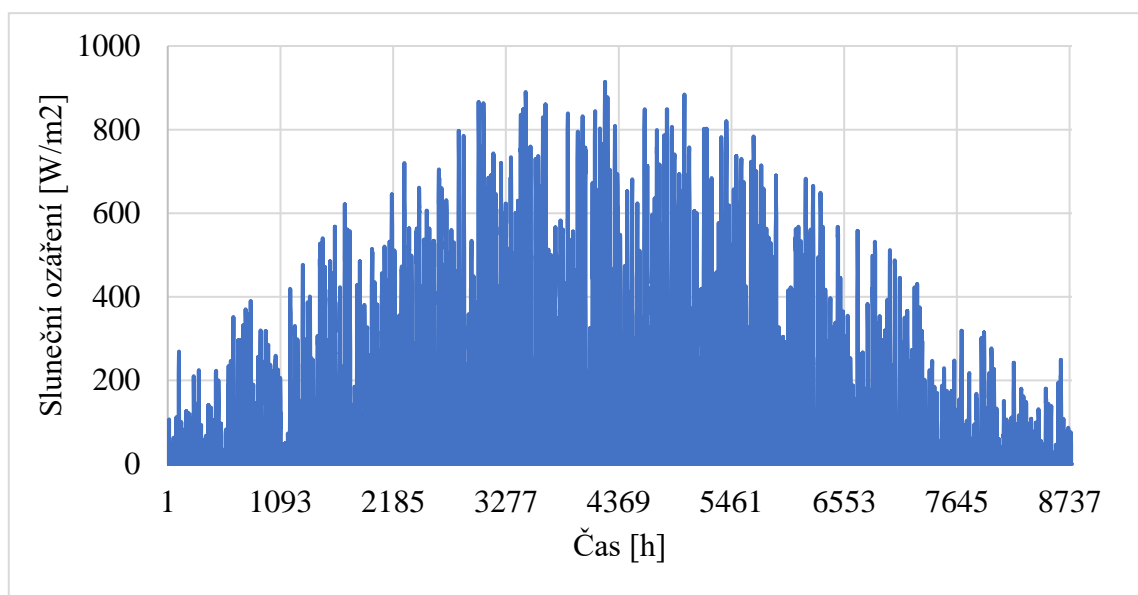


Graf 4.4: Hodinový průběh teplot pro Prahu



Graf 4.5: Měsíční průběh slunečního ozáření na svislou plochu podle světových stran

Z grafu 4.5 lze pozorovat, že nejmenší měrný výkon z dopadlého slunečního záření je ze severní strany. Na druhou stranu jižní fasáda vykazuje nejvyšší sluneční ozáření svislé plochy. Z toho důvodu je třeba dávat pozor na přehřívání budovy při umístění prosklených ploch na tuto stranu. Pro řešení takového problému lze nainstalovat různé markýzy či stínící prvky. V grafu 4.6. je znázorněn hodinový průběh slunečního ozáření na horizont.



Graf 4.6: Hodinový průběh slunečního ozáření na horizont

4.3 Vytápění

Potřeby tepla na vytápění byly modelované ve dvou variantách po hodinových krocích v zastoupení varianty DOP (nízkoenergetický dům) a varianty PAS (Pasivní dům). Data potřeby tepla na vytápění byla generována v prostředí TRNSYS.

4.3.1 TRNSYS simulace

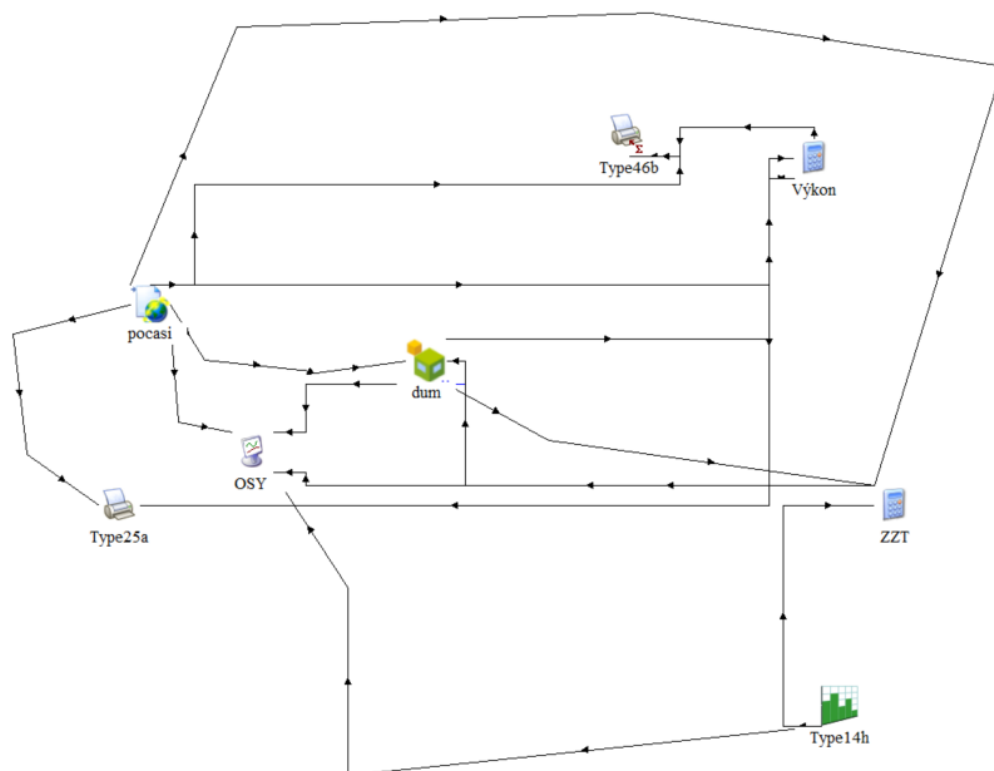
Jedná se o flexibilní graficky založené softwarové prostředí používané k simulaci přechodových systémů. Zatímco naprostá většina simulací je zaměřena na posouzení výkonnosti tepelných a elektrických energetických systémů, TRNSYS lze stejně dobře použít k modelování jiných budov. Pro tento účel se prostředí TRNSYS skládá ze dvou částí.

První část se nazývá TRNBUILD, ve které se navrhuje celý model budovy. Jako prvotní věc je třeba si nadefinovat světové strany, na které je dům orientovaný a následně je zapotřebí si specifikovat konkrétní materiály z hlediska jejich vlastností jako tepelná kapacita, hustota nebo součinitel tepelné vodivosti. Jakmile jsou všechny materiály, které jsou v budově použity, definovány, je na řadě určit jednotlivé konstrukce, které se skládají ze zadaných materiálů. Jakmile jsou známy všechny konstrukce a jejich vlastnosti, přichází na řadu přiřadit těmto konstrukcím další specifikace jako světovou stranu, typ konstrukce a průsvitné konstrukce, které lze opět nadefinovat podle konkrétních požadavků. Po specifikaci obálky budovy jsou na řadě potřeby budovy jako vnitřní zisky, větrání, vytápění, chlazení, infiltraci a další.

Jakmile jsou všechny vlastnosti a potřeby budovy určeny, přichází na řadu druhá část programu a tou je Simulation studio, které čte a zpracovává vstupní soubory, iterativně řeší systém, určuje konvergenci a vykresluje systémové proměnné. TRNBUILD také poskytuje nástroje, které (mimo jiné) určují termofyzikální vlastnosti, invertují matice, provádějí lineární regrese a interpolují externí datové soubory.

TRNSYS disponuje knihovnou nástrojů od tepelných čerpadel, FV systémů až po kalkulačky, klimatická data či tiskárny dat.

TRNSYS dokáže vygenerovat data, jakéhokoliv průběhu po uživatelem určené době, ale také všechno dokáže rozkreslit do grafů se zvolenými daty. Spojuje komponenty z knihovny na základě vláken, kde lze přesně definovat vztahy určených hodnot. Program dokáže vygenerovat data v jakémkoliv časovém kroku (hodiny, měsíce, rok).



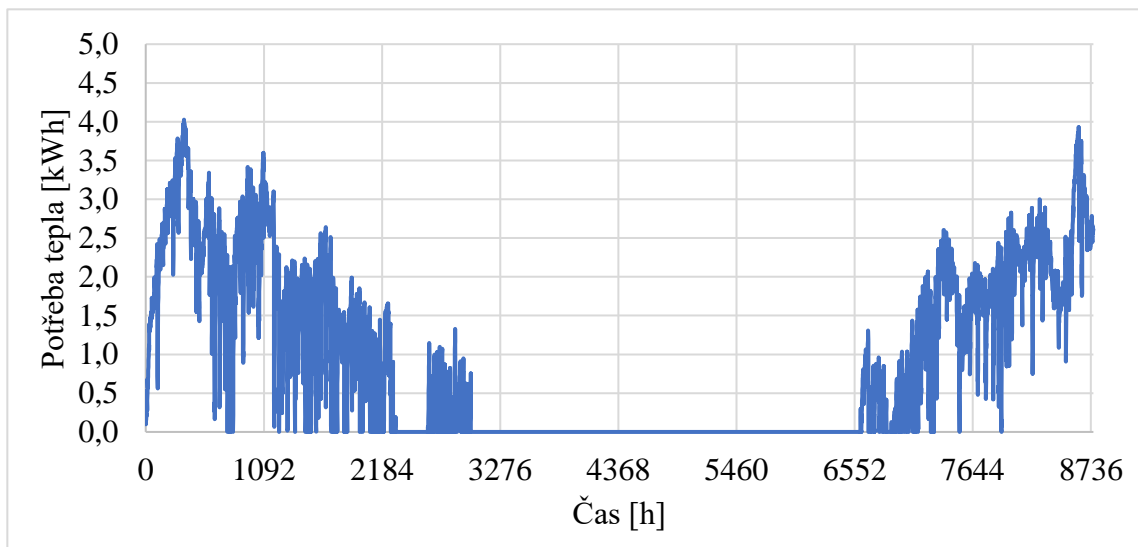
Obr. 4.4: Simulační schéma navržené v TRNSYSU

4.3.2 Energetické potřeby

Pro navrhování tepelného zdroje pro objekt je nezbytná tepelná ztráta budovy. Pokud známe maximální potřebný výkon z vytápění, je možné dle toto údaje dimenzovat zdroj. Vzhledem k tomu, že program TRNSYS dokáže generovat hodinová data a je schopný vypočítat tepelnou ztrátu objektu, je možné tyto hodnoty jednoduše shrnout v tab. 4. 6.

Nízkoenergetický dům

Dům je navržen v nízkoenergetickém standardu dle součinitelů prostupu tepla U z normy ČSN 73 0540-2:2011 [50]. Obvyklá hranice měrné potřeby na vytápění nízkoenergetického domu se pohybuje okolo 50 kWh/m^2 [48]. V případě zkoumaného objektu vychází 44 kWh/m^2 , což v tomto ohledu splňuje požadovanou podmínku. Následná hodinová potřeba tepla na vytápění pro variantu DOP je vyobrazena v grafu 4.7.



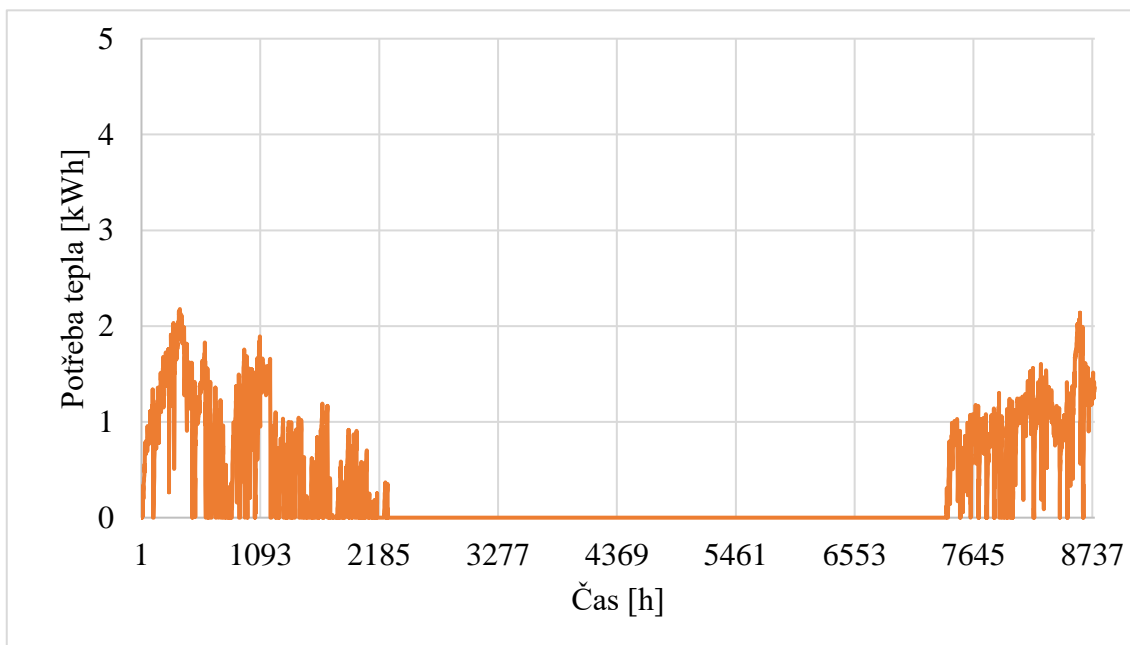
Graf 4.7: Hodinová potřeba tepla na vytápění pro variantu domu DOP

Pasivní dům

Pasivní dům je charakterizován minimalizovanou potřebou energie za zajištění požadovaného stavu prostředí. Hranice měrné potřeby tepla na vytápění se pohybuje mezi hodnotami 15 až 20 kWh/m^2 [48]. Vzhledem k tomu, že má varianta vychází $17,4 \text{ kWh/m}^2$, je zřejmé, že se k pasivním hodnotám značně blíží, a tudíž se dá považovat za pasivní dům. Pro variantu PAS jsou specifické hodnoty vyobrazeny v tab. 4.6 a měsíční potřeba tepla na vytápění znázorněna v grafu 4.8.

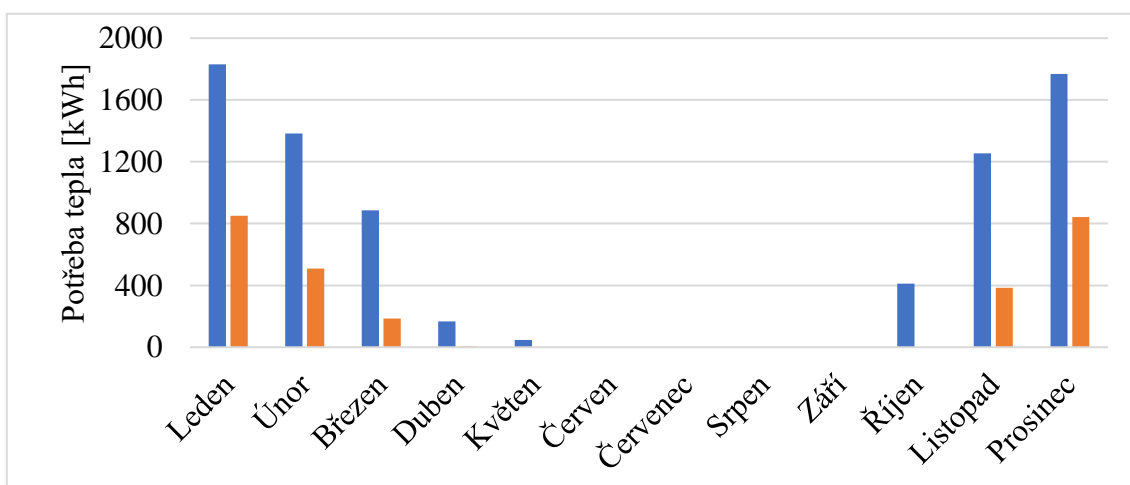
Tab. 4.6: Specifické hodnoty pro variantu domu DOP a PAS

| | | |
|--|-------------|-------------|
| Potřeba tepla na vytápění | 7,7 MWh/rok | 2,8 MWh/rok |
| Max. potřebný výkon | 4,0 kW | 2,18 kW |
| Tepelná ztráta objektu (pro $t_e = 12\text{ °C}$) | 4,55 kW | 2,2 kW |



Graf 4.8: Hodinová potřeba tepla na vytápění pro variantu domu PAS

Pro porovnání obou variant je přiložen graf. 4.9, který znázorňuje měsíční potřeby na vytápění. Je vidět, že zateplením budovy se mění doba vytápění budovy. Varianta domu DOP má dobu vytápění od října do května, zatímco varianta domu PAS má dobu vytápění od listopadu do dubna.



Graf 4.9: Měsíční potřeby tepla na vytápění pro variantu domu DOP (modrá) a variantu PAS (oranžová)

4.4 Potřeba tepla na přípravu TV

Potřeba TV v průměru vychází na obyvatele ČR okolo 35 l za den pro rodinný dům. Tento údaj vychází z technické normy ČSN 73 0331-1 [48]. Z grafu 4.9 je patrné, že nejvíce TV se spotřebuje ráno a k večeru, kdy se všichni vrací zpět z práce, školy apod a vykonávají běžné rutinní aktivity (mytí nádobí, mytí rukou, koupel, sprchování atd..).

4.4.1 Profil odběru TV

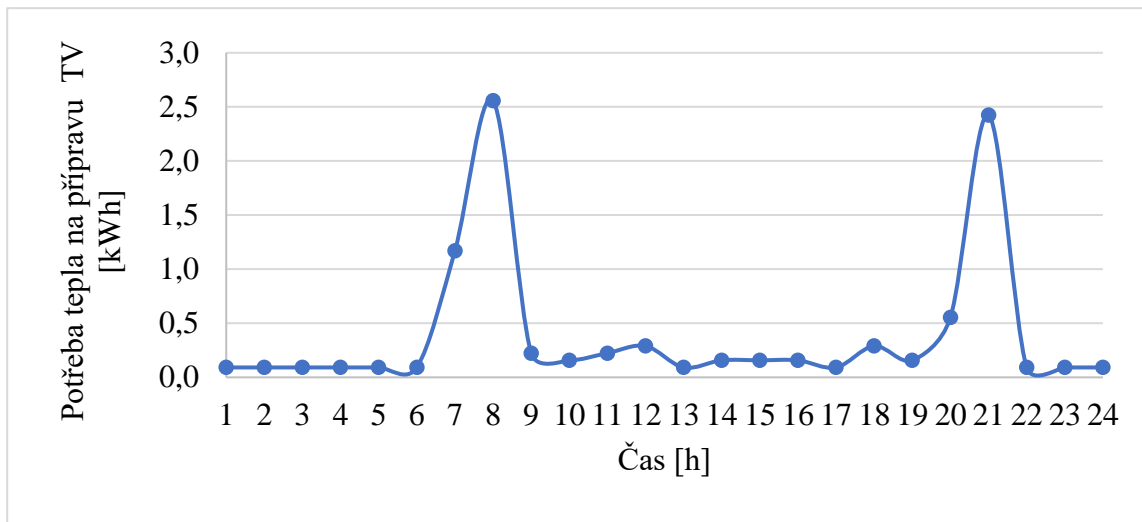
Základní profil odběru TV vychází z normy CSN EN 12831-3 [51], kde jsou po hodinách nadefinované odběry TV. Aby mohl být daný profil použit pro konkrétní výsledky, bylo zapotřebí, aby se daný profil trochu poopravil. Nejprve jsem ho snížila dle počtu osob v domě dle rov. (4.1).

$$Q_w = V_{w,f,day} \cdot n \cdot c \cdot (t_{w2} - t_{w1}) \quad (4.1)$$

kde:

| | | |
|---------------|-------------------------------|---------------|
| Q_w | Potřeba tepla na ohřev TV | [kWh] |
| $V_{w,f,day}$ | Denní potřeba TV[l/osoba.den] | [l/osoba.den] |
| n | Počet osob | [osoba] |
| c | Měrná tepelná kapacita | [J/kg.K] |
| t_{w2} | Teplota vratné otopné vody | [°C] |
| t_{w1} | Teplota přívodní otopné vody | [°C] |

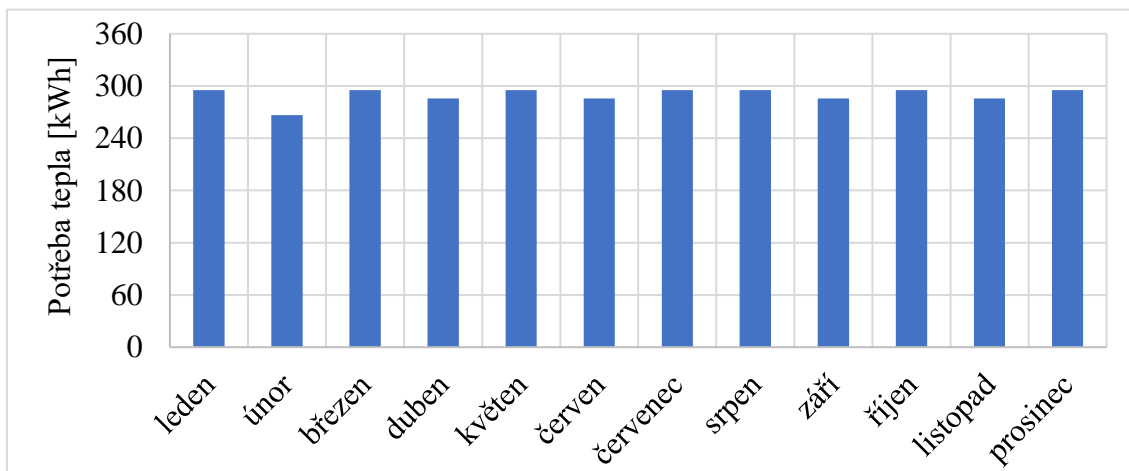
Pro čtyřčlennou rodinu následně vychází potřeba tepla na ohřev TV s teplotním rozdílem 55/10 °C na 7,33 kWh/den. Tento výsledek je uvažován bez tepelných ztrát zásobníku. Pokud se k danému profilu připočte 30 % konstantních tepelných ztrát, výsledná hodnota je 9,53 kWh. S touto hodnotou se bude dále pracovat. V grafu 4.9 je znázorněna potřeba tepla na přípravu TV pro jeden den. Daný odběrový profil je uvažován konstantní pro každý den.



Graf 4.9: Denní profil potřeby tepla na přípravu TV

4.4.2 Energetické potřeby

V grafu 4.10 jsou uvedeny měsíční potřeby tepla na přípravu TV v uvažovaném rodinném domě pro 4 osoby. Nebylo uvažováno letní snížení potřeby TV ani změna teploty studené vody během roku. Celková roční potřeba tepla na přípravu TV včetně zahrnutí tepelných ztrát je 3,5 MWh/rok.



Graf 4.10: Potřeba tepla na přípravu TV v jednotlivých měsících

4.5 Uživatelská energie

V dnešním světě moderních technologií není nic neobvyklého, když se v jedné domácnosti vyskytuje více spotřebičů jako např. počítač, notebook, televize, myčka, pračka, lednice atd. Všechny tyto domácí spotřebiče potřebují elektrickou energii. Pro tuto studii jsem opět použila typickou spotřebu pro průměrnou čtyřčlennou rodinu v ČR.

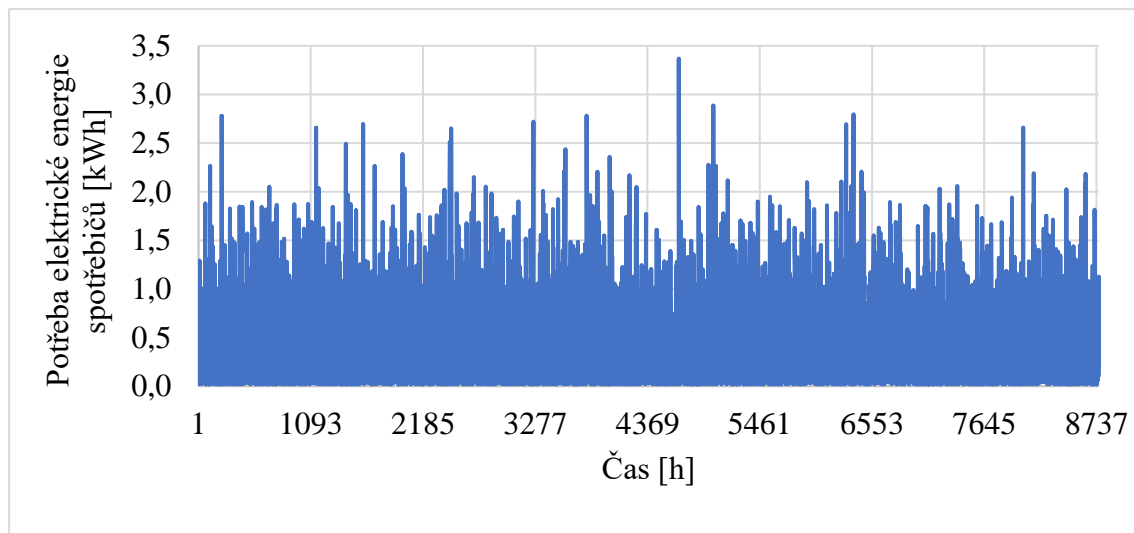
4.5.1 Profil uživatelské energie

Pro uživatelskou elektrickou energii jsou uvažovány elektrické spotřebiče znázorněné v tab. 4.7. Graf 4.11 znázorňuje hodinová data výkonů jednotlivých spotřebičů.

Tab. 4.7: Uvažované spotřebiče v objektu [42]

| Kategorizace | Typ zařízení |
|-----------------------|--------------------|
| Chladicí spotřebiče | Lednice s mrazákem |
| Spotřební elektronika | Žehlička |
| | Vysavač |
| | Fén na vlasy |
| | Osobní počítač |
| | Tiskárna |
| | TV (55“) |
| | TV (32“) |
| Vaření | TV set-top box |
| | Varná deska |
| | Trouba |
| | Mikrovlnná trouba |
| | Varná konvice |
| Prádelna, myčka | Toustovač |
| | Myčka na nádobí |
| | Pračka |
| Osvětlení | Sušička |
| | LED |

Vygenerovaná data pro výše uvedené spotřebiče byla poskytnuta od doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D jako výsledek generátoru hodinových potřeb elektrické energie v definované domácnosti [42]. Celková potřeba elektrické uživatelské energie činí 3,2 MWh/rok. V grafu č.4.11 je znázorněn měsíční spotřeba všech spotřebičů.



Graf 4.11: Hodinový průběh potřeby uživatelské energie [46]

5 ANALÝZA ZDROJŮ ENERGIE

Tato kapitola se zabývá návrhem jednotlivých tepelně technických systémů pro varianty domu DOP a PAS. Pro splnění podmínky energeticky plusového domu budou použity různé kombinace zdrojů tepla (FVE + TČ a FVE + PK) a elektřiny. Na závěr se dané varianty porovnají na základě uhlíkové a energetické analýzy.

5.1 Zdroje energie

5.1.1 Tepelná čerpadla

Jako jeden ze zdrojů tepla pro vytápění a přípravu TV bylo zvoleno tepelné čerpadlo vzduch/voda. Pro obě varianty domu bylo vybráno tepelné čerpadlo EcoAir 406 vyobrazeno na obr. 5.1 od firmy Regulus se jmenovitým výkonem 4,69 kW a topným faktorem 3,66 při teplotních podmínkách A2/W35. Tepelné čerpadlo umožňuje dosáhnout výstupní teploty až 65 °C. [30] Je určeno k vytápění objektu a přípravě TV. Jeho výkon byl v obou případech navržen z pohledu přípravy TV (zásobníkový ohřev) a nikoliv vytápění (předimenzované). Podrobnější údaje jsou uvedeny v tab. 5.1.



Obr. 5.1: Tepelné čerpadlo EcoAir 406 [30]

Tab. 5.1: Technické údaje tepelného čerpadla vzduch/voda EcoAir 406 pro A2/W35 [30]

| | |
|---|------------------|
| Výkon | 4,69 kW |
| Příkon | 1,28 kW |
| Topný faktor | 3,66 |
| Maximální výstupní teplota | 65 °C |
| Maximální teplota otopné vody na vstupu do TČ | 110 °C |
| Chladivo | R 407C |
| Velikost (VxŠxH) | 1080x1245x450 mm |
| Hmotnost | 120 kg |

Pro bilanci provozu tepelného čerpadla během roku je nutné znát výkonové parametry, které výrobce udává v technických listech pro běžné teplotní podmínky viz tab. 5.2.

Tab. 5.2: Výkonové parametry TČ EcoAir 406 [30]

| Teplota vzduchu | Vstupní teplota | Výkon [kW] | Příkon [kW] | Topný faktor [-] |
|-----------------|-----------------|------------|-------------|------------------|
| 7 °C | 35 °C | 6,22 | 1,3 | 4,78 |
| | 45°C | 5,89 | 1,60 | 3,68 |
| | 55°C | 5,56 | 1,83 | 3,03 |
| 2 °C | 35 °C | 4,69 | 1,28 | 3,66 |
| | 45°C | 4,34 | 1,50 | 2,89 |
| | 55°C | 4,25 | 1,75 | 2,43 |
| -7 °C | 35 °C | 3,87 | 1,25 | 3,10 |
| | 45°C | 3,63 | 1,47 | 2,47 |
| | 55°C | 3,43 | 1,73 | 1,99 |

Použití parametrů TČ je vhodné stanovit koeficienty pro vhodnou funkci pro proložení hodnot, které udává výrobce v tab. 5.2. U tepelných čerpadel vzduch/voda je výrazně nelineární charakteristika, a proto je zapotřebí použít polynom vyššího řádu, který je uveden v rov. (3.5).

Výsledek vícenásobné lineární regrese, viz rov. (3.5), jsou koeficienty polynomu uvedené v tab. 5.3.

Tab. 5.3: Koeficienty z lineární regrese

| | A | B | C | D | E | F |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Výkon | 7,852 | 0,136 | 0,008 | 0,011 | 0,000 | 0,002 |
| COP | 5,698 | 0,116 | -0,059 | 0,004 | 0,000 | -0,001 |

Provoz tepelného čerpadla je vyhodnocen v hodinovém intervalu během celého roku, aby byla stanovena hodinová potřeba elektrické energie pro další výpočty kombinované s FV systémem. Nejdříve je TČ hodnoceno z hlediska přípravy TV a následně z hlediska vytápění. V první řadě je třeba určit teplotu na vstupu do výparníku t_{v1} a teplotu na výstupu z kondenzátoru t_{k2} . Vzhledem k tomu, že bylo vybráno TČ vzduch/voda, teplota t_{v1} se rovná t_{em} . Teplota na výstupu z kondenzátoru se určí dle rov. (5.1).

$$t_{k2} = t_{TV} + \Delta t_{TV} \quad (5.1)$$

kde:

| | | |
|-----------------|--|------|
| t_{k2} | Teplota na výstupu z kondenzátoru | [°C] |
| t_{TV} | Teplota připravované TV | [°C] |
| Δt_{TV} | Teplota zohledňující rozdíl teplot na výměníku tepla | [K] |

Kvůli tomu, že je uvažováno s přípravou TV včetně cirkulace, přírážka bude uvažována $\Delta t_{TV} = 5 \text{ K}$ [33]. V takovém případě je možné vypočítat tepelný výkon a topný faktor pro přípravu TV při teplotě na výstupu z kondenzátoru $60 \text{ }^\circ\text{C}$. V okamžiku, kdy je potřeba teplá voda, sepne se tepelné čerpadlo a ohřívá zásobník. Teplo dodané TČ pro pokrytí TV je stanoveno minimální hodnotou z dostupného tepla vyrobené TČ a potřeba tepla na přípravu TV dle rov. (5.2).

$$Q_{T\check{c},TV} = \min(Q_{k,TV}, Q_{p,TV}) \quad (5.2)$$

kde:

| | | |
|---------------------|--|-------|
| $Q_{T\check{c},TV}$ | Potřeba tepla dodané TČ na přípravu TV | [kWh] |
| $Q_{k,TV}$ | Dostupné teplo z TČ na přípravu TV | [kWh] |
| $Q_{p,TV}$ | Potřeba tepla na přípravu TV | [kWh] |

K hodnocení provozu TČ pro přípravu TV a vytápění je zapotřebí znát, jak dlouho TČ pracovalo v daném režimu. Rov. (3.6) popisuje dobu provozu TČ při přípravě TV.

Aby TČ bylo v chodu, je zapotřebí k jeho provozu dodávat elektrickou energii. Množství elektrické energie, která je třeba lze vypočítat z rov. (5.3).

$$E_{T\check{c},TV} = \frac{Q_{T\check{c},TV}}{COP_{TV}} \quad (5.3)$$

kde:

| | | |
|---------------------|---|-------|
| $E_{T\check{c},TV}$ | Potřeba elektrické energie pro pohon TČ pro přípravu TV | [kWh] |
| COP_{TV} | Topný faktor pro přípravu TV | [-] |

Do potřeby elektrické energie je nutno započítat také pomocnou elektrickou energii oběhových čerpadel (příkon oběhových čerpadel v pracovním bodě je uvažován 50 W). Pomocí rov. (5.4) lze vypočítat, kolik elektrické energie oběhová čerpadla spotřebují během určitého časového úseku.

$$E_{ob\check{e}h,\check{c},TV} = P_{pom} \cdot \tau_{T\check{c},TV} \quad (5.4)$$

kde:

| | | |
|---------------------------------|--|-------|
| $E_{ob\check{e}h,\check{c},TV}$ | Potřeba pomocné elektrické energie soustavy s TČ pro přípravu TV | [kWh] |
| P_{pom} | Příkon oběhových čerpadel | [kW] |

Jestliže při přípravě TV bude teplo z TČ nižší než potřeba tepla na přípravu TV, je nezbytné zbytek potřeby pokrýt záložním (dodatečným) zdrojem dle vztahu (5.5):

$$Q_{d,TV} = Q_{p,TV} - Q_{TČ,TV} \quad (5.5)$$

kde:

$Q_{d,TV}$ Potřeba tepla z doplňkového zdroje
pro přípravu TV [kWh]

V případě kombinace TČ pro přípravu TV a vytápění, je nezbytné vždy nejprve upřednostnit přípravu TV. Z tohoto důvodu je nutné dopočítat zbývající dobu možného provozu pro režim vytápění dle rov. (5.6). Uvažuje se, že každý časový interval je po dobu 1h.

$$\tau_{TČ,VYT,dis} = 1 - \tau_{TČ,TV} \quad (5.6)$$

kde:

$\tau_{TČ,VYT,dis}$ Zbývající doba provozu TČ dostupná pro vytápění [h]

Čas, který zbývá se přenásobí výkonem TČ a vyjde pro podmínky vytápění dostupná energie, která může být využita pro režim vytápění. Pro stanovení tepelného výkonu TČ pro vytápění je nutné pro každou hodinu v roce, kdy je potřeba vytápění, stanovit teplotu otopné vody t_{w1} . Teplota t_{w1} se stanoví z rovnice ekvitermní křivky podle vztahu (5.7).

$$t_{w1} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em}}{t_i - t_{e,N}} + \left(\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_{em}}{t_i - t_{e,N}} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (5.7)$$

kde:

| | | |
|------------|---------------------------------------|------|
| t_{w1} | Teplota přívodní otopné vody | [°C] |
| t_i | Vnitřní teplota vzduchu | [°C] |
| $t_{w1,N}$ | Návrhová teplota přívodní otopné vody | [°C] |
| $t_{w2,N}$ | Návrhová teplota vratné otopné vody | [°C] |
| t_{em} | střední teplota venkovního vzduchu | [°C] |
| $t_{e,N}$ | Venkovní výpočtová teplota | [°C] |
| m | Teplotní exponent otopných ploch | [-] |

V rovnici ekvitermní křivky je uvažován navrhovaný teplotní rozdíl $t_{w1,N} / t_{w2,N} = 45/35$ °C s otopnou soustavou tvořenou podlahovým vytápěním ($m = 1,3$). Požadovaná teplota otopné vody na výstupu z TČ t_{k2} se stanoví na základě teploty přívodní vody t_{w1} . Vzhledem k tomu, že se musí zohlednit nárazové nabíjení zásobníku na požadovanou ekvitermní teplotu pro snížení cyklování TČ, uvažuje se přírážka $\Delta t_{VYT} = 2$ K [33], která je přičtena k t_{w1} . Zbytek postupu se počítá obdobně jako pro přípravu TV.

Pro další postupy je třeba vypočítat, kolik spotřebuje TČ celkově energie. Pro celkový výsledek je nutno zjistit kolik elektrické energie spotřebuje při přípravě TV a kolik při režimu vytápění. V tab. 5.4 a 5.5 jsou vypočtené výsledky po měsících při přípravě TV a režimu vytápění pro varianty domu DOP a PAS.

Tab. 5.4: Potřeba elektrické energie TČ pro variantu domu DOP

| Měsíce | $E_{TČ,TV}$ | $E_{pom,TV}$ | $E_{dod,TV}$ | $E_{celk,TV}$ | $E_{TČ,vyt}$ | $E_{pom,VYT}$ | $E_{dod,VYT}$ | $E_{celk,VYT}$ |
|----------|---|--------------|--------------|---------------|--|---------------|---------------|----------------|
| - | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh |
| Leden | 161,1 | 4,0 | 0,0 | 165,2 | 582,6 | 24,7 | 103,5 | 710,8 |
| Únor | 142,0 | 3,5 | 0,0 | 145,5 | 430,1 | 18,6 | 67,5 | 516,2 |
| Březen | 146,1 | 3,6 | 0,0 | 149,7 | 247,0 | 11,4 | 16,7 | 275,1 |
| Duben | 114,6 | 2,8 | 0,0 | 117,4 | 43,5 | 1,9 | 0,9 | 46,4 |
| Květen | 85,6 | 2,1 | 0,0 | 87,7 | 8,2 | 0,3 | 0,0 | 8,5 |
| Červen | 68,0 | 1,7 | 0,0 | 69,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Červenec | 62,1 | 1,5 | 0,0 | 63,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Srpen | 66,3 | 1,6 | 0,0 | 68,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Září | 81,0 | 2,0 | 0,0 | 83,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Říjen | 112,7 | 2,7 | 0,0 | 115,4 | 94,8 | 4,3 | 2,2 | 101,3 |
| Listopad | 141,5 | 3,4 | 0,0 | 144,9 | 333,9 | 15,1 | 30,7 | 379,7 |
| Prosinec | 155,3 | 3,8 | 0,0 | 159,1 | 522,9 | 22,6 | 73,8 | 619,4 |
| | Potřeba elektrické energie na pro přípravu TV | | | 1369,1 | Potřeba elektrické energie na pro vytápění | | | 2657,4 |

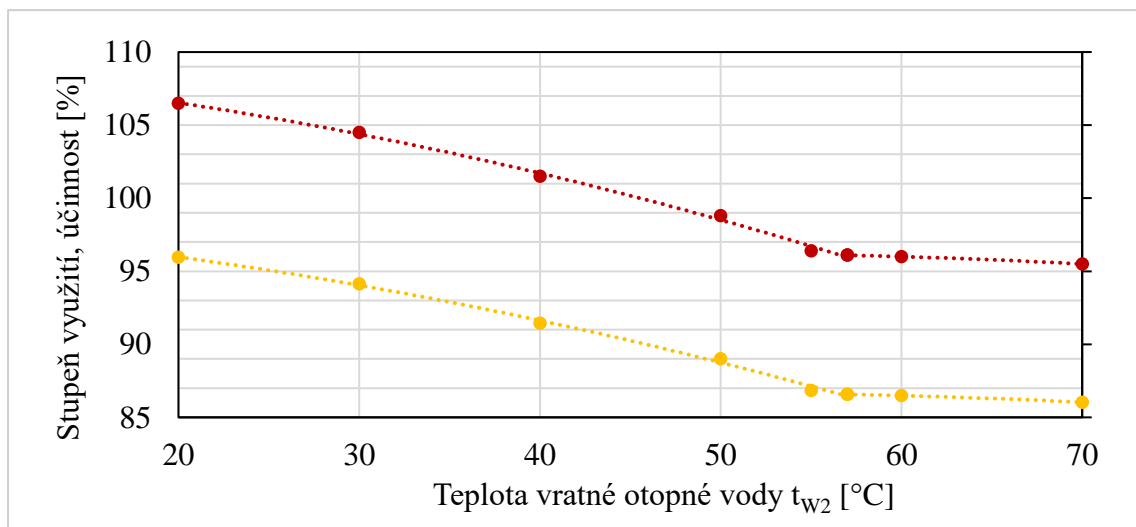
Tab. 5.5: Potřeba elektrické energie TČ pro variantu PAS.

| Měsíce | $E_{TČ,TV}$ | $E_{pom,TV}$ | $E_{dod,TV}$ | $E_{celk,TV}$ | $E_{TČ,vyt}$ | $E_{pom,VYT}$ | $E_{dod,VYT}$ | $E_{celk,VYT}$ |
|----------|--|--------------|--------------|---------------|--------------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| - | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh | kWh |
| Leden | 161,1 | 4,0 | 0,0 | 165,2 | 284,2 | 12,8 | 22,1 | 319,1 |
| Únor | 142,0 | 3,5 | 0,0 | 145,5 | 168,8 | 7,9 | 9,4 | 186,2 |
| Březen | 146,1 | 3,6 | 0,0 | 149,7 | 55,0 | 2,8 | 0,3 | 58,1 |
| Duben | 114,6 | 2,8 | 0,0 | 117,4 | 1,3 | 0,1 | 0,0 | 1,4 |
| Květen | 85,6 | 2,1 | 0,0 | 87,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Červen | 68,0 | 1,7 | 0,0 | 69,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Červenec | 62,1 | 1,5 | 0,0 | 63,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Srpen | 66,3 | 1,6 | 0,0 | 68,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Září | 81,0 | 2,0 | 0,0 | 83,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Říjen | 112,7 | 2,7 | 0,0 | 115,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Listopad | 141,5 | 3,4 | 0,0 | 144,9 | 100,5 | 4,8 | 1,4 | 106,7 |
| Prosinec | 155,3 | 3,8 | 0,0 | 159,1 | 257,1 | 11,8 | 13,2 | 282,0 |
| | Celková potřebná energie pro přípravu TV | | | 1369,1 | Celková potřebná energie na vytápění | | | 953,5 |

TČ pro variantu domu DOP spotřebuje ročně pro vytápění a přípravu TV 4 MWh elektrické energie a pro variantu domu PAS spotřebuje 2,3 MWh elektrické energie.

5.1.2 Plynový kotel

Při hodnocení provozu kondenzačního kotle na spalování zemního plynu se sestaví funkce normovaného stupně využití v závislosti na teplotě vratné otopné vody. Graf je převzat z normy DIN 4702 část 8 pro kondenzační kotle [49]. Kondenzace spalin probíhá pod teplotu 57 °C vratné vody. Je uvažována stejná otopná soustava jako pro variantu s tepelným čerpadlem s návrhovým teplotním rozdílem $t_{w1,N} / t_{w2,N} = 45/35$ °C. V grafu 5.1 je znázorněna závislost normového stupně využití v závislosti na teplotě vratné otopné vody.



Graf 5.1: Závislost stupně využití (červená) a účinnosti (žlutá) na teplotě vratné otopné vody [49]

Po vynesení několika bodů z grafu jak pro účinnost, tak pro stupeň využití, se hodnoty proložily polynomem 2. řádu. Jak je znázorněno v grafu 5.2. vyšly dvě křivky pro různé teplotní intervaly. Jedna rovnice je pro teploty od 20 do 57 °C (kondenzace) a druhá rovnice je od 57 °C do 70 °C (bez kondenzace).

Daný výpočet bude použit jak pro přípravu TV, tak pro režim vytápění. V případě TV bude teplota otopné vody 55 °C, což je maximální teplota, na kterou je možné vodu nahřívat. Výpočet účinnosti kotle pro teplotní interval vratné otopné vody od 20 °C do 57°C je dle rov. (5.8).

$$y = 0,0013t_{w2}^2 - 0,3343t_{w2} + 102,46 \quad (5.8)$$

kde:

$$t_{w2} \quad \text{Teplota vratné otopné vody soustavy} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Pro teplotní interval vratné otopné vody od 57°C do 70 °C viz rov. (5.9).

$$y = -0,0012t_{w2}^2 - 0,1051t_{w2} + 84,338 \quad (5.9)$$

Ekvitermní teplota vratné vody otopné soustavy pro vytápění vychází z rov. (5.10).

$$t_{w2} = t_i - \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em}}{t_i - t_{e,N}} + \left(\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_{em}}{t_i - t_{e,N}} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (5.10)$$

Výsledná potřeba energie zemního plynu z plynového kotle K_{PK} (kWh) pro přípravu TV lze v závěru vypočítat jako:

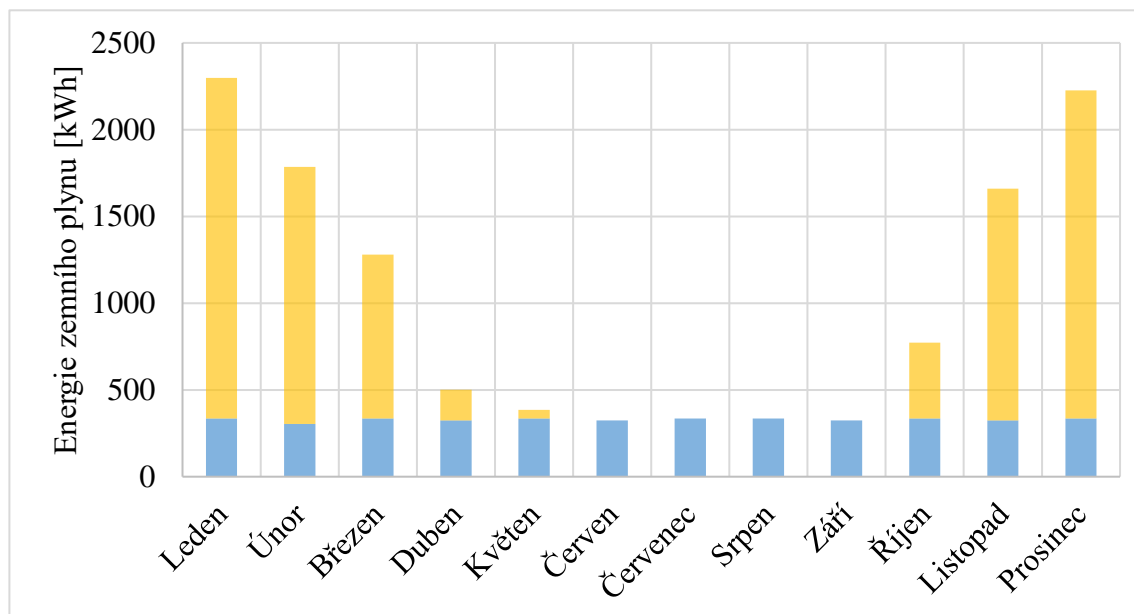
$$K_{PK,TV} = \frac{Q_{p,TV}}{\eta_{pk}} \quad (5.11)$$

kde:

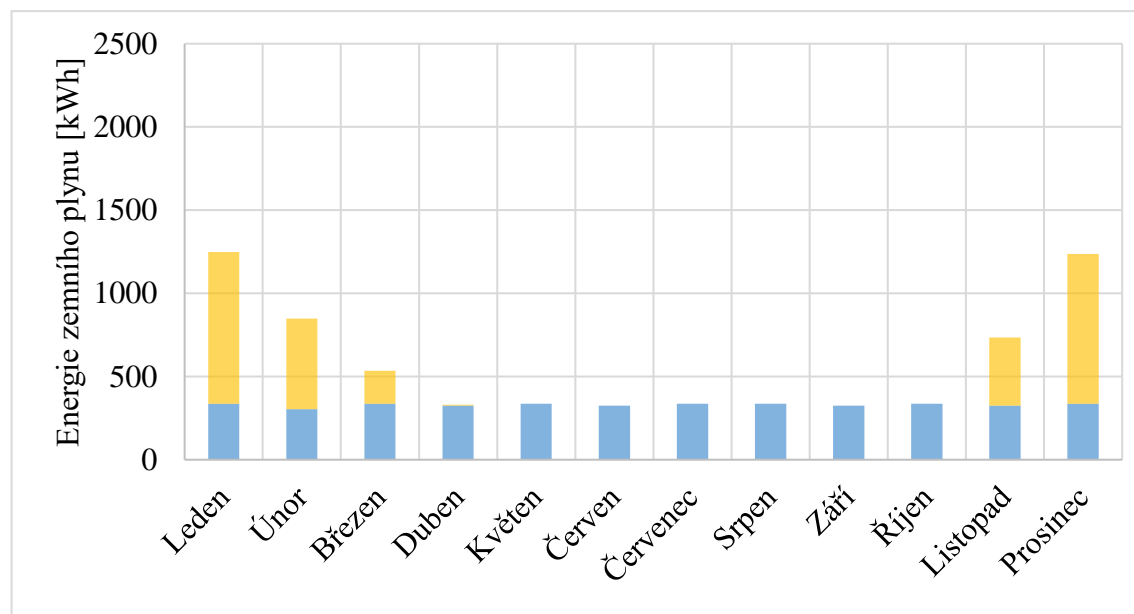
| | | |
|-------------|---|-------|
| $K_{PK,TV}$ | Potřeba energie zemního plynu pro přípravu TV | [kWh] |
| $Q_{p,TV}$ | Potřeba tepla na přípravu TV | [kWh] |
| η_{pk} | Účinnost plynového kotle | [-] |

Obdobně se vypočítá potřeba energie zemního plynu pro vytápění. Bilanci kondenzačního plynového kotle znázorňuje graf 5.2 a 5.3, kde je znázorněna jak energie potřebná k přípravě TV, tak k vytápění pro obě varianty.

Celková roční potřeba energie zemního plynu pro variantu domu DOP je 12,2 MWh a pro variantu domu PAS je to 6,93 MWh.



Graf 5.2: Měsíční bilance energie zemního plynu pro přípravu TV (modrá) a vytápění (žlutá) u varianty domu DOP



Graf 5.3: Měsíční bilance energie zemního plynu pro přípravu TV (modrá) a vytápění (ŽLUTÁ) u varianty domu PAS

5.1.3 Fotovoltaická elektrárna

Základním prvkem FVE jsou fotovoltaické moduly, a proto pro návrh celého systému se musí zvolit konkrétní typ. Byl vybrán modul JAM54S30-390/MR (obr. 5.2) od firmy JASOLAR. V tab. 5.6 jsou základní parametry, které budou nadále potřebné k hodnocení produkce FV výkonu.



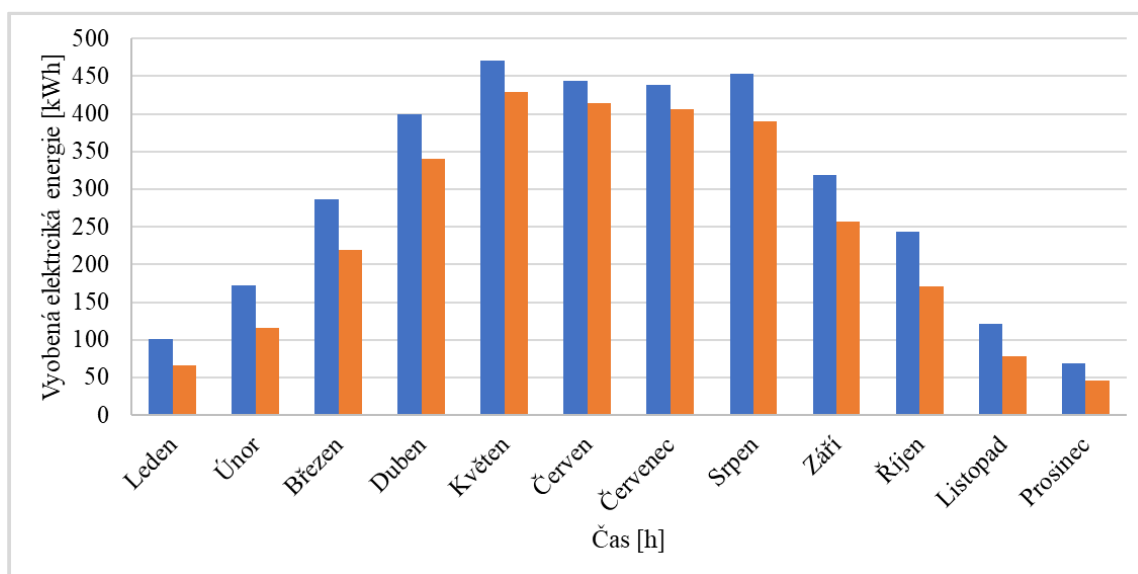
Obr. 5.2: FVE moduly JAM54S30-390/MR od firmy JASOLAR [43]

Tab. 5.6: Specifikace modulů JAM54S30-395/MR [47]

| | | |
|--|-------------|------------------|
| Teplota FV článku | 45 | °C |
| Intenzita ozáření | 800 | W/m ² |
| Teplota venkovního vzduchu | 20 | °C |
| Typ modulu | monokrystal | - |
| Ref. teplota modulu t_{ref} | 25 | °C |
| Ref. sluneční ozáření G_{ref} | 1000 | W/m ² |
| Snížení účinnosti vlivem slunečního záření | 1000 => 200 | W/m ² |
| Ref. účinnost η_{ref} | 0,2 | - |
| Teplotní koeficient $P_{MAX} \gamma$ | -0,0035 | 1/K |
| Velikost modulu (VxŠ) | 1,722x1,134 | m |
| Plocha modulu | 1,95 | m ² |
| Výkon modulu | 390 | W |

Při bilancování produkce elektrické energie s FV systému je podrobně počítána teplota, snížení účinnosti vlivem teploty a sluneční ozáření. Pro výpočet produkce jsou nejprve porovnány dvě varianty (natočení na jih pod úhlem 30° a natočení východ-západ pod úhlem 30°). Ve výsledku bude zhodnoceno, která varianta má jaké výhody, nevýhody a v závěru bude vybrána jedna z variant. Ta následně bude použita k bilanci energeticky nulového domu.

Výpočet produkce je proveden v hodinovém kroku, kdy bylo následně možné stanovit reálnou využitelnost produkce pokrytí potřeb. V grafu 5.4 je měsíční bilance produkce elektrické energie pro 10 modulů.



Graf 5.2: Měsíční bilance produkce elektrické energie 10 modulů pro variantu jih (modrá) a variantu východ-západ (oranžová)

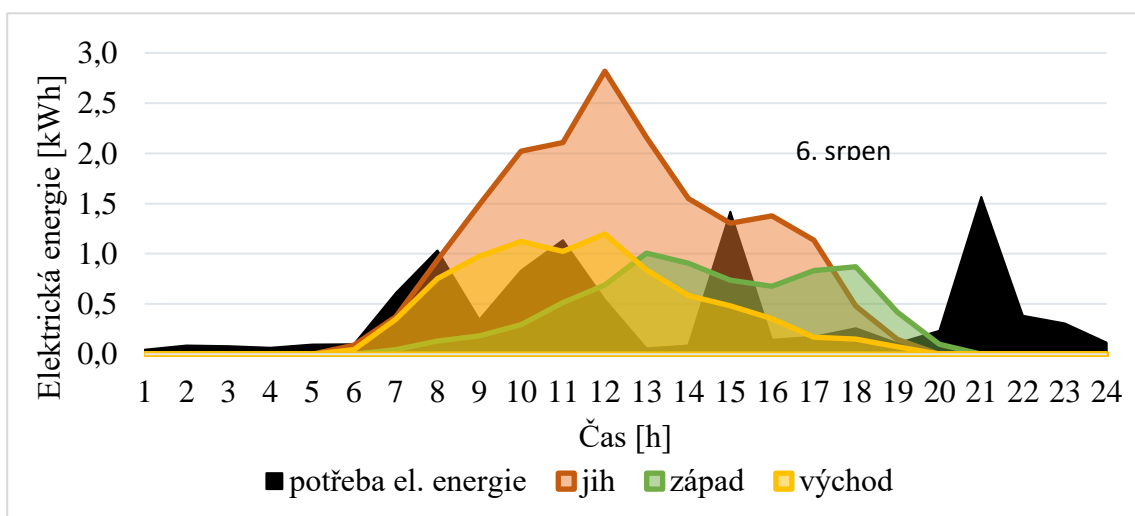
Při navrhování FVE je nezbytné mít na paměti určité limity. Jedním z nich je max. počet modulů, který lze na střechu instalovat. Pro variantu Jih 30° se musí uvažovat s takovými rozestupy, aby si moduly v zimě vzájemně nestínily a zároveň je instalovat cca 1 m od hrany střechy. Se zadanými rozměry modulu to vychází, že se na střechu o ploše 80 m^2 vejde pro danou variantu 14 modulů a pro variantu východ-západ, kde je opět požadováno umístění modulů min. 1 m od hrany střechy a 0,5 m na pohyb mezi moduly to činí 32 ks. Pro porovnání je zde tabulka 5.7, ve které se uvádí kolik vyrobí FVE za rok energie při max. počtu modulů u jednotlivých variant.

Tab. 5.7: Porovnání FVE u variant jih 30 ° a východ-západ 30 °

| | Varianta jih 30 ° | Varianta východ-západ 30 ° | |
|---|-------------------|----------------------------|-------|
| | | Východ | Západ |
| Počet modulů [ks] | 14 ks | 16 | 16 |
| Plocha modulů [m ²] | 27,34 | 31,25 | 31,25 |
| Úhrn slunečního záření za rok [kWh/m ² ·rok] | 1120 | 930 | 933 |
| Velikost FVE [kWp] | 5,46 | 6,24 | 6,24 |
| Vyrobena energie [MWh/rok] | 4,93 | 4,71 | 4,68 |

Z hlediska produkce elektrické energie vztažené na 1 m² lze z tab. 5.7 dopočítat, že v tomto ohledu je jasná volba varianta jih., kde je vyrobena energie 180 kWh / m² · rok oproti variantě východ-západ, která vychází 150 kWh/m² · rok. Na druhou stranu varianta východ-západ v případě maximálního využití střechy vyrobí daleko více elektřiny vlivem vyššího pokrytí. Pro znázornění je zde uveden graf 5.7, kde je simulováno pro ukázkou 10 modulů pro obě varianty o ploše 19,5 m².

Pokud bude nahlíženo na pokrytí elektrické energie během dne, tak je v grafu 5.5 jasně vidět, že varianta jih má největší produkci okolo poledne a poté její výroba poměrně rychle klesá, kdežto varianta východ-západ pokryje dopolední a odpolední potřebu daleko více. Vzhledem k tomu, že varianta východ-západ při maximálním využití střechy dokáže vyrobit více elektrické energie a během dne lépe kryje potřebu v domě, je s touto variantou dále počítáno v energetické bilanci pro nulový dům.

Graf 5.5: Hodinový průběh vyrobené energie 6. srpna varianty jih (oranžová) a varianty východ-západ (žlutá + zelená) pro plochu 19,5 m²

5.2 Energeticky nulový/plusový dům

Jak už bylo uvedeno v kapitole 1, k dosažení bilančně nulového (plusového) domu je zapotřebí váženou dodávku energie odečíst od vážené potřeby energie. Daná problematika se dá řešit dvěma způsoby. Energeticky nulového domu se sleduje dosažením nulové/plusové bilance neobnovitelné primární energie. Pro tyto bilance byly zvoleny dvě kombinace systému. Varianta 1 znázorňuje kombinaci TČ vzduch/voda a FVE. Ve variantě 2 se bude kombinovat plynový kondenzační kotel s FVE.

5.2.1 Energetická bilance

Nulovou bilanci neobnovitelné primární energie nejvíce ovlivní FVE. Je tedy zapotřebí stanovit, kolik modulů bude instalováno orientaci východ-západ se sklonem 30 °, aby byla splněna podmínka z rov. (1.2). V tab. 5.8 jsou vyhodnoceny jednotlivé bilance pro varianty 1 a 2 jak pro nízkoenergetický dům (varianta DOP), tak pro pasivní dům (varianta PAS).

Tab. 5.8: Energetické bilance pro jednotlivé varianty s uvažovaným konverzním faktorem n_{PE}

| Energetické potřeby | Varianta 1 | | Varianta 2 | |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Varianta DOP | Varianta PAS | Varianta DOP | Varianta PAS |
| Uživatelská elektřina [kWh] | 3 200 | | | |
| Elektrická energie TČ [kWh] | 4 027 | 2 323 | - | - |
| Energie zemního plynu [kWh] | - | - | 12 230 | 6 925 |
| FVE _{využitá} [kWh] | 2 310 | 2 012 | 1 719 | 1 611 |
| FVE _{exportovaná} [kWh] | 5 317 | 3 856 | 6 495 | 4 256 |
| Počet modulů [ks] | 26 | 20 | 28 | 20 |
| Cel. bilance n_{PE} [kWh] | 1042 | 896 | 807 | 10,3 |

Jak je vidět, ve všech variantách se podařilo dostat do plusových hodnot, aniž by se využila max. plocha střechy.

5.2.2 Ekonomická bilance

Vzhledem k aktuální cenové situaci zde nebude řešena investiční cena systémů, ale bude pohlíženo na systémy z hlediska ročního provozu. Ceny jednotlivých energonositelů jsou převzaty z portálu tzb.info. Pokud varianta 1, kde je kombinace TČ + FVE, byla nainstalována před 31. 03. 2016, platí pro ni tarif D56d. Po tomto datu však nově platí tarif D57d. [48]

Jelikož v této práci je uvažována aktuální novostavba, bude zde uvažováno s tarifem D57d. Pro variantu 2 bude uvažován tarif D02d. Poněvadž je počítáno s RD, bude zde kalkulováno se stálým platem pro jistič 3x25A. V tab. 5.9 je pro přehlednost udaná celková cena za roční provoz pro variantu 1 bez akumulčních baterií. Veškeré ceny byly jsou pro společnost E.ON.

Tab. 5.9: Ekonomická analýza na roční provoz pro variantu 1 dle E.ON [44]

| Typ varianty | Varianta domu DOP | Varianta domu PAS |
|---|-------------------|-------------------|
| Celková potřebná elektrická energie [kWh] | 7 226 | 5 523 |
| FVE _{exportovaná} [kWh] | 5 317 | 4 256 |
| Typ tarifu | D57d | |
| Cena za kWh [Kč] | 3,97 | |
| Cena za kWh export. energie [Kč] | 1,5 | |
| Měsíční plat vč. DPH [Kč] | 487,87 | |
| Cena za energie [Kč] | 26 828 | 21 926 |
| Měsíční plat el. energie za rok [Kč] | 5 854 | |
| Cena export. Energie z FVE [Kč] | 7 976 | 6 384 |
| Celkové náklady na energie za rok [Kč] | 24 706 | 21 396 |

Jelikož ve variantě 2 je počítáno nejen s elektrickou energií, ale také se zemním plynem, je třeba do ekonomické analýzy připočítat i to. Ceny varianty 2 znázorněné v tab. 5.10.

Tab. 5.10: Ekonomická analýza na roční provoz pro variantu 2 dle E.ON a PP [44, 45]

| Typ varianty | Varianta domu DOP | Varianta domu PAS |
|---|----------------------|----------------------|
| Energie zemního plynu [MWh] | 12,23 | 6,93 |
| Cena zemního plynu za MWh [Kč] | 1 706 | 1 782 |
| Stálý měsíční plat vč DPH [Kč] | 323 | 190,12 |
| Celková potřebná elektrická energie [kWh] | 3 200 | |
| FVE _{exportovaná} [kWh] | 6 495 | 4 256 |
| Typ tarifu el. energie | D02d | |
| Cena el. energie za kWh [Kč] | 5,97 | |
| Cena za kWh export. energie [Kč] | 1,5 | |
| Měsíční plat el. energie vč. DPH [Kč] | 260,39 | |
| Celková cena energie ZP [Kč] | 20 864 | 12 349 |
| Měsíční plat zemního plynu za rok [Kč] | 3 876 | 2 281 |
| Celková cena el. energie [Kč] | 19 104 | |
| Cena export. Energie z FVE [Kč] | 9 743 | 6 384 |
| Měsíční plat el. energie za rok [Kč] | 3 125 | |
| Celkové náklady na energie za rok [Kč] | 37 226 | 30 475 |

5.3 Emisně nulový dům

U emisně nulového/plusového domu se sleduje dosažení nulové nebo plusové bilance emisí CO₂, kdy úspora emisí CO₂ svázaná s produkcí OZE převyšuje produkci emisí CO₂ svázanou s provozem domu. V návaznosti na předchozí kapitolu bude zde cíleno na emisně nulový (plusový) dům a bude se zaměřovat na energie z hlediska emisí CO₂. Konverzní faktor CO₂ pro elektrickou energii je 0,86 a pro zemní plyn je to 0,2 a jsou vypsány v tab. 1.2. [4] Těmito koeficienty budou pronásobeny jednotlivé energie a ve výsledku vyjde celková bilance pro nulový dům z hlediska emisí.

5.3.1 Energetická bilance

V tab. 5.11 jsou znázorněné veškeré energie, které jsou potřebné k výpočtu bilance pro nulový dům v rámci emisí CO₂.

Tab. 5.11: Energetické bilance pro jednotlivé varianty s uvažovaným konverzním faktorem CO₂

| Energetické potřeby | Varianta 1 | | Varianta 2 | |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Varianta domu DOP | Varianta domu PAS | Varianta domu DOP | Varianta domu PAS |
| Uživatelská elektřina [kWh] | 3 200 | | | |
| Elektrická energie [kWh] | 4 027 | 2 323 | - | - |
| Energie zemního plynu [kWh] | - | - | 12 230 | 6 925 |
| FVE _{využitá} [kWh] | 2 310 | 2 012 | 1 644 | 1 573 |
| FVE _{exportovaná} [kWh] | 5 317 | 3 856 | 4 810 | 3 708 |
| Počet modulů [ks] | 26 | 20 | 22 | 18 |
| Cel. Bilance CO ₂ [kWh] | 345 | 296 | 352 | 404 |

V celkové energetické bilanci ve variantě 1 je vidět, že pro dosažení plusového domu z hlediska emisí CO₂ je použit stejný počet modulů jako ve variantě pro plusový dům z hlediska nPE. Ovšem varianta 2 se značně liší od předchozího hodnocení a více se přibližuje k pomyslné nule pro energeticky nulovou budovu.

5.3.2 Ekonomická bilance

Jelikož varianta 1 vychází úplně stejně jako pro konverzní faktor nPE, nemá smysl uvádět ekonomický přehled znovu. Bude zde vyobrazena tab. 5.12, která bude zaměřena na variantu 2 a její rozdílné počty modulů.

Tab. 5.12: Ekonomická analýza pro konverzní faktor CO₂ na roční provoz pro variantu 2 dle E.ON a PP [44,45]

| Typ varianty | Varianta domu DOP | Varianta domu PAS |
|---|-------------------|-------------------|
| Energie zemního plynu [MWh] | 12,23 | 6,93 |
| Cena zemního plynu za MWh [Kč] | 1 706 | 1 782 |
| Stálý měsíční plat vč DPH [Kč] | 323 | 190,12 |
| Celková potřebná elektrická energie [kWh] | 3 200 | |
| FVE _{exportovaná} [kWh] | 1 644 | 1573 |
| Typ tarifu el. energie | D02d | |
| Cena el. energie za kWh [Kč] | 5,97 | |
| Cena za kWh export. energie [Kč] | 1,5 | |
| Měsíční plat el. energie vč. DPH [Kč] | 260,39 | |
| Celková cena energie ZP [Kč] | 20 864 | 12 349 |
| Měsíční plat zemního plynu za rok [Kč] | 3 876 | 2 281 |
| Celková cena el. energie [Kč] | 19 104 | |
| Cena export. Energie z FVE [Kč] | 2 466 | 2 360 |
| Měsíční plat el. energie za rok [Kč] | 3 125 | |
| Celkové náklady na energie za rok [Kč] | 41 683 | 34 657 |

Závěr

Jedním z cílů bylo analyzovat RD z hlediska potřeb v oblasti vytápění, přípravy TV a elektrické energie. Tím bylo dosaženo v programu TRNSYS, kde se celý objekt namodeloval. V hodinovém kroku se poté vygenerovala klimatická data a data potřeb pro RD namodelovaný ve dvou variantách. Ve variantě domu DOP a variantě domu PAS. Hodnoty byly následně využity k dimenzování technických systémů v podobě fotovoltaické elektrárny, tepelného čerpadla a plynového kotle. Fotovoltaická elektrárna byla navržena pro východ-západ a jih. Ve výsledku byla zvolena varianta východ-západ z důvodu vyššího využití vyrobené energie v průběhu dne. Systémy jako tepelné čerpadlo a plynový kotel byly navrženy pro režimy přípravy TV a vytápění.

Po navržení systému se vytvořily jejich kombinace, což vyplývá z dalšího cíle. Vznikly dvě kombinace variant. První kombinací je TČ s FVE a druhou kombinací je PK s FVE. Obě kombinace se navrhovaly pro varianty domu DOP a PAS. Kombinace systémů se nadále bilancovaly z hlediska nPE a emisí CO₂ pro dosažení energeticky plusového domu. Závěrečný cíl spočíval ve vyhodnocení jednotlivých variant v reálném využití pro pokrytí potřeb domu. Pro představu zde byla provedena i ekonomická analýza na roční provoz technických systémů.

Z celkové analýzy vyplývá, že pokud se bude chtít dosáhnout plusově energetické budovy, ať už ve variantě domu DOP nebo PAS, je toho možné s obouma kombinacemi systémů. Jak už bylo řečeno, největším faktorem pro dosažení těchto bilancí hraje právě velikost FVE a její orientace. Pokud bude nahlíženo na varianty z ekonomického hlediska, je z výsledků zřejmé, že varianta 1 je finančně méně náročná na roční provoz než varianta 2. Je třeba zmínit, že všechny uvažované varianty veškerou přebytečnou elektrickou energii z FVE prodávají rovnou do sítě a není počítáno s akumulací v bateriích.

Přestože ve všech případech se jedná o energeticky nulový dům, neznamená to, že provozní náklady budou taktéž nulové. I v případě, kdy je instalovaná velká FVE vůči potřebě tepla, není dosažení nízkých nákladů na provoz domu.

Seznam použité literatury

- [1] Úprava požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie. *Stavba.tzb-info* [online]. 2022 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/365-uprava-pozadavku-na-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie>
- [2] Strašák nZEB – jak se budou stavět novostavby od 1. ledna 2022? *Dřevo stavitel* [online]. Brno: Ing. Michal Čejka, 2021 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/strasak-nzeb>
- [3] Plusové domy. Stavíme úsporně [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://stavimeusporne.cz/otazky/energeticke-tridy-domu.php>
- [4] Matuška, T., Novotný, J., Shemelin, V.: Energeticky plusové budovy (studie pro OPŽP), [cit. 2022-06-19] ČVUT 2021.
- [5] BOWDEN, Stuart a Christiana HONSBURG. Typical Meteorological Year Data (TMY). Pv education [online]. USA: Stuart Browden, 2022 [cit. 2022-05-26]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/typical-meteorological-year-data-tmy>
- [6] VOBOŘIL, David. Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR. O energetice [online]. Česká republika: oenergetice, 2016, 16. prosinec 2016 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [7] BECHNÍK, Bronislav. Stručná historie fotovoltaiky. Oze tzb info [online]. Česká republika: tzb info, 2014, 1.9.2014 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [8] Jednotky kWp a kWh – co označují a jaký je mezi nimi rozdíl?. Epet [online]. Česká republika: epet, 2018, 2018 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://www.epet.cz/jednotky-kwp-a-kwh-co-oznacuji-a-jaky-je-mezi-nimi-rozdil/>
- [9] HONSBURG, Christiana a Stuart BOWDEN. Nominal Operating Cell Temperature. Pv education [online]. USA: Stuart Bowden [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules-and-arrays/nominal-operating-cell-temperature>
- [10] Matuška T., Produkce elektrické energie FV modulů [online]. ČVUT v Praze, [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P7_FV_produkce_FVT_panely.pdf

-
- [11] Matuška T., Fotovoltaika – principy a technologie [online]. ČVUT v Praze, [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P6_FV_technologie.pdf
- [12] Typy fotovoltaických panelů a jejich vlastnosti. Arpeg [online]. Ostrava: ARP ELEKTRO GROUP S.R.O, c2018 - 2022 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://www.arpeg.cz/poradna/typy-fotovoltaickych-panelu-a-jejich-vlastnosti>
- [13] TENKOVSTVÉ PANELY. Eshop.TERMS [online]. České Budějovice: eshop.TERMS, c2022 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/eshop/c68831/tenkovstve-panely.html>
- [14] Solární panely a fotovoltaika. In: Jiranek [online]. Tábor: Jiránek, c2022 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://www.jiranek.cz/fotogalerie/sunman-300/>
- [15] BECHNÍK, Bronislav. Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice. Oze tzb info [online]. Česká republika: tzb info, 2014, 29.9.2014 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice>
- [16] ČERNÁ, L., I. KUDLÁČEK, T. FINSTERLE, P. HRZINA, V BENDA a J ŠUTKA. EKONOMICKÁ BILANCE VÝROBY A LIKVIDACE FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ INSTALOVANÝCH V ČR [online]. In: . Praha: REsolar, 2015, 2015, s. 56 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: https://www.solarniasociace.cz/tmp/studie_cvut_bilance_solarni_panely.pdf
- [17] MATAJS, Vladimír. Virtuální baterie: podvod nebo zázrak?. Solární experti [online]. Česká republika: solární experti, 2021, 22.10.2021 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/virtualni-baterie-net-metering-porovnani-vyhodnosti/>
- [18] Srovnání LiFePO4 a Li Ion baterií. M.cz.starlightbatterie [online]. Česká republika: m.cz.starlightbatterie, 2021, 18. březen 2021 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <http://m.cz.starlightbatterie.com/news/comparison-of-lifepo4-and-li-ion-batteries-44050585.html>
- [19] L. Černá, Technologie akumulace energie [online]. Praha, ČVUT 2022 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/310632/mod_resource/content/1/A5M13FVS_12_Ukladani_energie.pdf
- [20] Baterie LiFePO4 Smart Návod k použití, Victron energy [online]. Česká republika: Victron energy, 2020 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/virtualni-baterie-net-metering-porovnani-vyhodnosti/>
-

-
- [21] MATUŠKA, Tomáš, Jan SEDLÁŘ a Tomáš STRAKA. Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2016. ISBN 978-80-02-02662-4.
- [22] Tepelná čerpadla – princip funkce a rozdělení. O energetice [online]. Třebíč: Jan Budín, 2015 [cit. 2022-05-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/tepelna-cerpadla>
- [23] MEČÁRIK, Karol, Václav HAVELSKÝ a Belo. Tepelné čerpadlá. Bratislava: Alfa, 1988, 328 s.
- [24] Typy tepelných čerpadel. Viessmann [online]. Česká republika: Viessmann, 2021 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/typy-tepelnych-cerpadel.html>
- [25] TINTĚRA, Ladislav. Tepelná čerpadla. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-86165-61-2.
- [26] BUFKA, Aleš, Miroslav MODLÍK a Jana VEVEROKOVÁ. Tepelná čerpadla v letech 1981 až 2020; druhy, vývoj, prodeje, výkony, tepelné faktory. <https://vytapani.tzb-info> [online]. Česká republika: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2021 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/19284-tepelna-cerpadla-v-letech-1981-2019-druhy-vyvoj-prodeje-vykony-tepelne-faktory>
- [27] KUŽEL, Jakub. Tepelné čerpadlo typu split, monoblok a vnitřní instalace. Elcool [online]. Česká republika: Kuzel, 2021, 25.04. 2021 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.elcool.cz/post/tepelne-cerpadlo-typu-split-monoblok-a-vnitri-instalace>
- [28] PEČENKA, Matěj. VYTÁPĚNÍ ADMINISTRATIVNÍ ČÁSTI VÝROBNÍ HALY [online]. Brno, 2019 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=194560. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Marcela Počinková, Ph.D.
- [29] Správný výkon tepelného čerpadla vzduch/voda. Projektuj tepelná čerpadla [online]. Česká republika: projektuj tepelná čerpadla, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.projektuj-tepelna-cerpadla.cz/cz/spravny-vykon-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda>
- [30] Tepelné čerpadlo EcoAir 406 (SVT 4718). Regulus [online]. Česká republika: Regulus, c2015-2022 [cit. 2022-06-03]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/tepelne-cerpadlo-ecoair-406-svt-4718>
-

-
- [31] Matuska T., Tepelná čerpadla – Navrhování a bilancování tepelných čerpadel [online]. ČVUT v Praze, [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepeln%C4%9A_cerpadla_navrhovani_bilancovani.pdf
- [32] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-7366-031-8.
- [33] VAVŘIČKA, Roman. Metody návrhu zásobníku teplé vody. Voda.tzb.info [online]. Praha: tzb.info, 2021, 3. 10. 2021 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>
- [34] Hlučnost tepelných čerpadel. Vytapeni-tzb-info [online]. Česká republika: PZP HEATING, 2020 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepeln%C4%9A-cerpadla/21095-hlucnost-tepeln%C4%9A-cerpadel>
- [35] Heat Pump: How To Defrost It During Winter. Mastermechanical [online]. USA: Mastermechanical, 2021, 15 December 2021 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.mastermechanical.net/heat-pump-how-defrost-it-during-winter>
- [36] How to defrost a heat pump in winter. Evergreenenergy [online]. Anglie: evergreenenergy, 2018 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.evergreenenergy.co.uk/heat-pumps/how-to-defrost-a-heat-pump-in-winter/>
- [37] KALETA, Ján. Význam akumulací/ taktovací nádoby u tepelného čerpadla vzduch-voda. Vytapeni.tzb-info [online]. Česká republika: vytapeni tzb info, 2012, 2.10.2012 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepeln%C4%9A-cerpadla/9113-vyznam-akumulacni-taktovaci-nadoby-u-tepeln%C4%9A-cerpadla-vzduch-voda>
- [38] FUČÍK, Zdeněk. Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů. Vytapeni.tzb-info [online]. Česká republika: tzb info, 2004, 2004 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [39] RENFUS, Jaromír. Vysoce efektivní kondenzační kotel na zemní plyn [online]. Brno, 2010, 71 s [cit. 2022-06-02]. Dostupné z: <https://adoc.pub/vysoce-efektivni-kondenzani-kotel-na-zemni-plyn.html>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D
- [40] FÍK, Josef. Zemní plyn – spalné teplo a další vlastnosti Spalné teplo, výhřevnost, energetická hustota, Wobbeho číslo, stechiometrický poměr a přebytek vzduchu. Vytapeni.tzb-info [online]. Česká republika: tzb info, 2004, 2004 [cit. 2022-06-02]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1963-spalovaci-vlastnosti-zp-i>
-

-
- [41] *Sluneční energie: měření slunečního ozáření, modely výpočtu slunečního záření* [online]. In: . 26.02.2019, s. 30 [cit. 2022-01-27]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wpcontent/uploads/2019/02/AZE_2_P1-slunecni_energie.pdf
- [42] J. Novotný, generátor hodinových odběrů energie ČVUT 2022 (AUTOR: J. Novotný)
- [43] JAM54S30 395-420/MR. In: Jasolar [online]. Šanghaj, 2022, 2022 [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: <https://www.jasolar.com/uploadfile/2022/0224/20220224052626579.pdf>
- [44] Ceny elektřiny 2022 - srovnání E.ON, PRE, ČEZ. Tzb info [online]. Česká republika: tzb info, 2021, 3.12.2021 [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-ceny-elektriny#D57d>
- [45] Ceny zemního plynu 2022. Tzb info [online]. Česká republika: tzb info, 2021, 14.12.2021 [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [46] M. Juráň, Schéma FV systému pro jednotlivé varianty Energysim s.r.o. 2010 (AUTOR: M. Juráň)
- [47] TNI 73 0351. Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, Červenec 2014.
- [48] ČSN 73 0331-1 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data, ÚNMZ 2018.
- [49] DIN 4702-8: Heizkessel; Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors, Beuth-Verlag, Berlin, 1990-03.
- [50] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 53 s.
- [51] ČSN EN 12831-3. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze, 2018.
- [52] Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. MPO 2020.
-