

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**Environmentální hodnocení provozu
budov**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vaclík** Jméno: **Rudolf** Osobní číslo: **483944**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
 Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Environmentální hodnocení provozu budov

Název bakalářské práce anglicky:

Environmental Assessment of Building Operation

Pokyny pro vypracování:

Provedte rešerši přístupů k hodnocení energetické náročnosti budov (vytápění, příprava teplé vody, osvětlení, spotřebiče, apod) z pohledu neobnovitelné primární energie a emisí CO₂. Na příkladech ukažte možnosti různých úsporných opatření.

Seznam doporučené literatury:

Tywniak, J.: Nízkoenergetické domy 3 - nulové, pasivní a další, GRADA Publishing, ISBN: 978-80-247-3832-1
 ČSN EN ISO 52000-1 Energetická náročnost budov - Základní zásady pro soubor norem ENB - Část 1: Obecný rámec a postupy, ÚNMZ 2018.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

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

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá environmentálním hodnocením provozu budov. Cílem této práce je zorientovat se v energetické náročnosti budov a objasnit si, jaké zdroje energie se používají k jejímu provozu. Dále se podrobně charakterizují emisní a konverzní faktory, které slouží k určení hmotnosti vypuštěných emisí CO₂ a potřebě neobnovitelné primární energie. Dalším cílem je představit definice úsporných budov, jejichž provoz je k životnímu prostředí značně šetrnější. Konkrétně se jedná o budovy s téměř nulovou spotřebou energie, nulové/plusové budovy a pasivní domy. Závěrečným cílem je provést environmentální hodnocení ročního provozu konkrétního rodinného domu. Porovná se množství vypuštěných emisí CO₂ a potřeba neobnovitelné primární energie při použití různých zdrojů pro vytápění a přípravu teplé vody.

Summary

This bachelor thesis deals with the environmental assessment of the operation of buildings. The aim of this work is to orientate in the energy consumption of buildings and to clarify what energy sources are used for its operation. Furthermore, emission and conversion factors are characterized in detail, which serve to determine the mass of emitted CO₂ emissions and the need for non-renewable primary energy. Another goal is to present definitions of energy-efficient buildings, the operation of which is much more environmentally friendly. Specifically, these are buildings with almost zero energy consumption, zero / plus buildings, and passive houses. The final goal is to perform an environmental assessment of the annual operation of a particular family house. The amount of CO₂ emissions emitted and the need for non-renewable primary energy using different sources for heating and hot water are compared.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Environmentální hodnocení provozu budov“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D. s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Rudolf Vaclík

.....

.....

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat doc. Ing. Tomášovi Matuškoví, CSc. za odborné vedení, vstřícnost, ochotu, cenné připomínky a rady při psaní této bakalářské práce.

Dále bych chtěl moc poděkovat své rodině a svým blízkým, kteří mě po celou dobu bakalářského studia podporovali a byli mi oporou.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Energetická náročnost budov	2
2.1. Zdroje energie	3
2.1.1. Elektrická energie	3
2.1.2. Tuhá paliva	4
2.1.3. Zemní plyn.....	6
2.1.4. Centralizované zásobování teplem	7
2.1.5. Obnovitelné zdroje.....	8
2.2. Vytápění	10
2.2.1. Prostup tepla	11
2.2.2. Větrání	13
2.3. Příprava teplé vody	14
2.4. Spotřebiče.....	15
3. Environmentální hodnocení budov	17
3.1. Ukazatele.....	17
3.1.1. Emise CO ₂	17
3.1.2. Neobnovitelná primární energie	22
3.2. Standardy energeticky úsporných budov	26
3.2.1. Budova s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB).....	27
3.2.2. Energeticky nulové/plusové.....	28
3.2.3. Pasivní dům (PHI)	29
3.2.4. Pasivní dům (ČR).....	31
4. Analýza rodinného domu.....	33
4.1. Rodinný dům.....	33
4.2. Vytápění	37
4.3. Příprava teplé vody	38

4.4.	Uživatelská energie	40
4.5.	Celkové porovnání	40
4.5.1.	Emise CO ₂	40
4.5.2.	Neobnovitelná primární energie	42
5.	Závěr	44

Seznam použitého značení

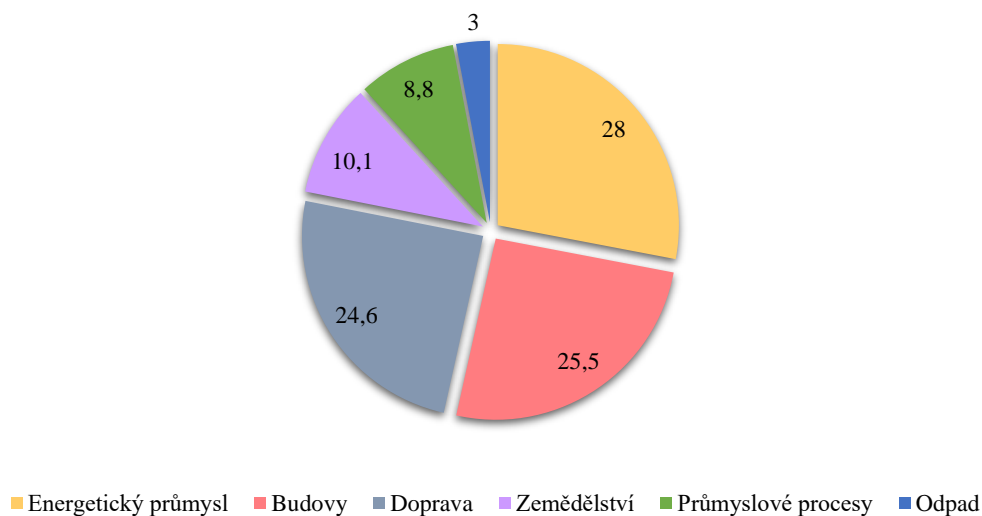
Symbol	Jednotka	Význam
Φ_{HLi}	W	celková tepelná ztráta
Φ_{Ti}	W	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru
Φ_{Vi}	W	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru
Φ_{hui}	W	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění
Φ_{gaini}	W	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru
$H_{T,ie}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí
$H_{T,ia}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor
$H_{T,iae}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory (např. sklep, půda) nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy (např. zimní zahrada, garáže)
$H_{T,iaBE}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo

		vytápěné na jinou teplotu (např. sousední byt)
$H_{T,ig}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy
θ_{int}	[°C]	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru
θ_e	[°C]	venkovní výpočtová teplota
A_k	[m ²]	plocha stavební části
$f_{U,k}$	-	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot
$f_{ie,k}$	-	teplotní opravný činitel
ΔU_{tb}	-	přirážka na vliv tepelných vazeb
U	[W/m ² ·K]	součinitelem prostupu tepla stavební konstrukce
R_{si}	[m ² ·K/W]	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla
R_{se}	[m ² ·K/W]	vnější tepelný odpor při přestupu tepla
R_n	[m ² ·K/W]	tepelný odpor n-té stavební konstrukce
S_n	[m]	tloušťka stěny n-té stavební konstrukce
λ_n	[W/m·K]	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce
V_i	[m ³]	vnitřní objem vytápěného prostoru (vzduchu)

$n_{min,i}$	[1/h]	minimální intenzita větrání
$Q_{p,TV}$	[kWh/rok]	celková potřeba tepla na přípravu teplé vody
z	-	přirážka na tepelné ztráty
n	-	počet dní v roce
$V_{TV,den}$	[1/den]	průměrná denní potřeba
ρ	[kg/m ³]	hustota
c	[J/kg·K]	měrná tepelná kapacita vody
t_{TV}	[°C]	teplota teplé vody
t_{SV}	[°C]	teplota studené vody
$\eta_{H,gen,gross}$	-	účinnost výroby tepla zdrojem vztažená ke spalnému teplu
$\eta_{H,gen}$	-	sezónní účinnost výroby tepla zdrojem vztažená k výhřevnosti
$f_{Hs/Hi}$	-	poměr spalného tepla H_s k výhřevnosti H_i pro zemní plyn
COP_n	-	jmenovitý topný faktor tepelného čerpadla při jmenovitých podmínkách
$f_{H,COP}$	-	součinitel ročního provozu tepelného čerpadla pro vytápění
$f_{W,COP}$	-	součinitel ročního provozu tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody
Q_p	[MWh/rok]	potřeba energie
η_i	-	sezónní účinnost zdroje tepla
$F_{CO_2,i}$	[CO ₂ /MWh]	emisní faktor
$F_{NPE,i}$	[kWh/kWh]	konverzní faktor

1. Úvod

Životní prostředí a jeho znečištění emisemi skleníkových plynů je v dnešní době velmi diskutovaným tématem. Na celém světě se lidé snaží jejich vypouštění do ovzduší minimalizovat. Vznikají tak různé plány, jak emise snížit či úplně zamezit. Ze všech vyprodukovaných skleníkových plynů v EU je vypuštěno kolem 25 % výstavbou nových budov a jejich následným provozem. (viz graf 1.1)



Graf 1.1 - Rozdělení produkce skleníkových plynů v EU v roce 2018 v procentech [1]

Tato práce se zabývá pouze provozem budov. Proto, abychom určili dopad provozu budovy na životní prostředí, musíme nejdříve vyřešit jeho energetickou bilanci, na co se energie v obytné budově spotřebovává.

V třetí kapitole se dále objasní různé verze budov jejichž provoz je šetrnější k životnímu prostředí. Konkrétně bude definována budova s téměř nulovou spotřebou energie, nulová či plusová budova a pasivní dům, který se hodnotí více způsoby.

Další částí této práce je zkoumání samotných emisních a konverzních faktorů. V této kapitole je vysvětleno jejich konkrétní využití pro zjištění, kolik emisí vyprodukuje a jaké potřeby neobnovitelné primární energie dosáhne domácnost při provozu námi zvoleného rodinného domu za jeden rok. Je zde porovnán provoz domácnosti pomocí různých zdrojů energie. Podle vyprodukovaných emisí CO₂ a potřeby neobnovitelné primární energie se objasní, jaký zdroj energie je pro provoz budovy z environmentálního hlediska nejvhodnější a jaký je naopak nejméně vhodný.

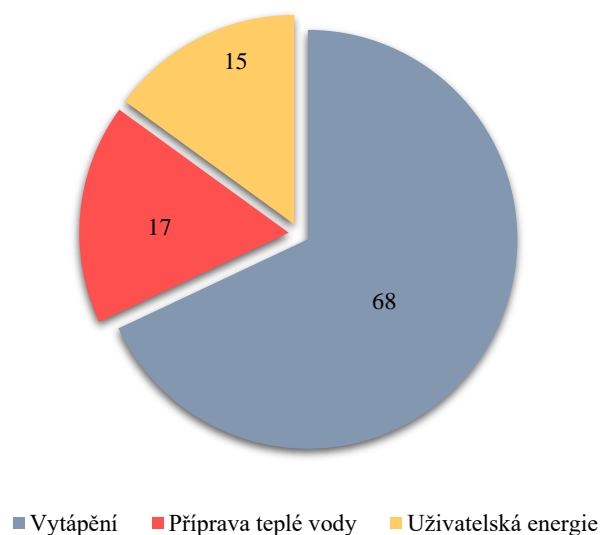
2. Energetická náročnost budov

Před environmentálním hodnocením budov je nutné nejdříve určit energetickou náročnost budovy. Energetickou náročností budovy se rozumí vypočítané nebo změřené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s typickým užíváním budovy. [2]

Podle vyhlášky č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov se energetická bilance skládá z

- vytápění;
- chlazení;
- nuceného větrání;
- úpravy vlhkosti vzduchu;
- přípravy teplé vody;
- osvětlení vnitřního prostoru budovy.

Z grafu 2.1 je patrné, že převážná část energetické spotřeby typické budovy tvoří vytápění, a to s téměř 68 procenty. Na přípravu teplé vody se spotřebuje kolem 17 procent. Uživatelská energie tvoří necelých 15 procent. [3]



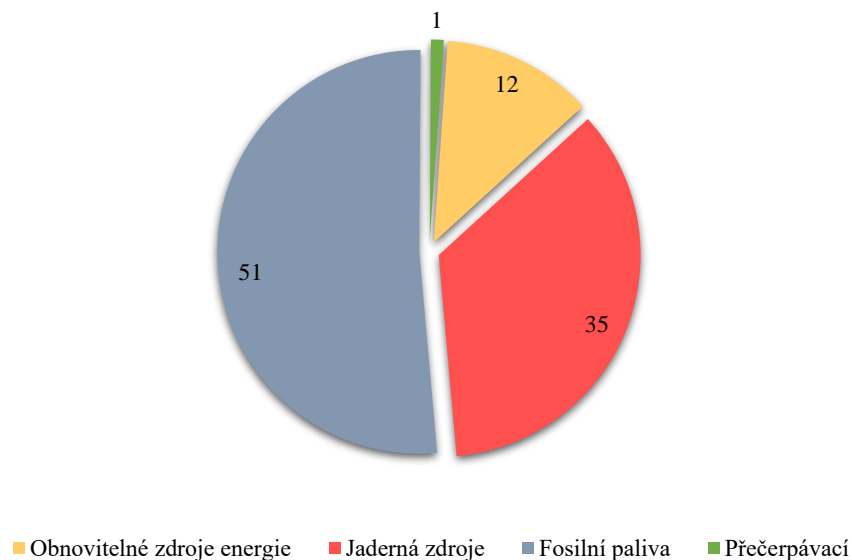
Graf 2.1 - - Energetické potřeby provozu budov v procentech [4]

2.1. Zdroje energie

Aby provoz budovy fungoval, musí se výše zmíněné energetické spotřeby pokrýt danými zdroji energie. Jedná se o elektřinu, neobnovitelné zdroje energie, centrální zásobování teplem a v poslední době propagované obnovitelné zdroje.

2.1.1. Elektrická energie

Jedním ze zdrojů energie dodávané do budovy je elektrická energie. V České republice se více jak polovina elektrické energie vyrábí spalováním fosilních paliv. Třetina elektrické energie je vyrobena v jaderných elektrárnách, zbylou část představují obnovitelné zdroje energie. (viz graf 2.2)



Graf 2.2 - Podíl výroby elektrické energie v ČR v roce 2019 v procentech [5]

Z hlediska environmentálního hodnocení je elektrická energie v České republice jeden z nejméně šetrných zdrojů k životnímu prostředí. Je to dáno nízkým zapojením obnovitelných zdrojů energie při její výrobě, a naopak vysokým podílem fosilních paliv. Získání elektrické energie z původního zdroje paliva však není pouze děj přeměny v elektrárně. Primární zdroj paliva, nejčastěji fosilní, se musí nejdříve vytěžit v dolech, poté zpracovat, naložit a převézt do elektrárny. Zde je energie obsažená v palivu převedena na elektrickou energii. Ta se poté musí pomocí distribuční elektrické sítě přivést do domu. Zde se elektrická energie převážně pomocí elektrokotlů přeměňuje na

teplo ohříváné teplotonosné látky. Při této přeměně se již do ovzduší nevypouští žádné emise CO₂. Tabulka 2.1 zobrazuje sezónní účinnosti výroby tepla pro elektrokotle.

Tabulka 2.1 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro elektrokotel [6]

elektrokotel	výkonný rozsah jmenovitého výkonu [kW]		
	0 - 20	20 - 149	≥ 150
sezónní účinnost - $\eta_{H,gen}$ [-]	0,95	0,96	0,97

2.1.2. Tuhá paliva

Spalování tuhých paliv slouží k pokrytí potřeby vytápění a přípravy teplé vody v budově. Tuhá paliva dělíme na fosilní (neobnovitelná), jako je černé či hnědé uhlí, a obnovitelná, mezi která patří dřevo, brikety a biomasa. Procesy, které předcházejí získání tepla ohříváné teplotonosné látky z energie obsažené ve fosilních tuhých palivech, jsou těžba v dolech, zpracování, naložení a převezení do budovy a následné spálení v kotli na tuhá paliva. Proces získání energie z obnovitelných tuhých paliv je velmi podobný jako u fosilních tuhých paliv, avšak jejich těžba není zdaleka tolik náročná. Spalování tuhých fosilních paliv se hodnotí z environmentálního hlediska záporně.

Proto, aby se od jejich spalování odstoupilo, spravuje Ministerstvo životního prostředí takzvané kotlíkové dotace. Dotace jsou určeny na výměnu starých neekologických kotlů na uhlí za moderní nízkoemisní kotle na biomasu, tepelná čerpadla, či plynové kotle. Ke kotlům na tuhá paliva je často připojena i akumulární nádoba, která slouží jako zásobník přebytečného tepla. U kotlů na tuhá paliva je nutné vymezit prostor pro skladování uhlí, také je nezbytná obsluha kotle. Schéma na tuhá paliva je znázorněno na obrázku 2.1. Účinnosti různých kotlů na tuhá paliva jsou uvedeny v tabulce 2.2 a 2.3 [7][8]

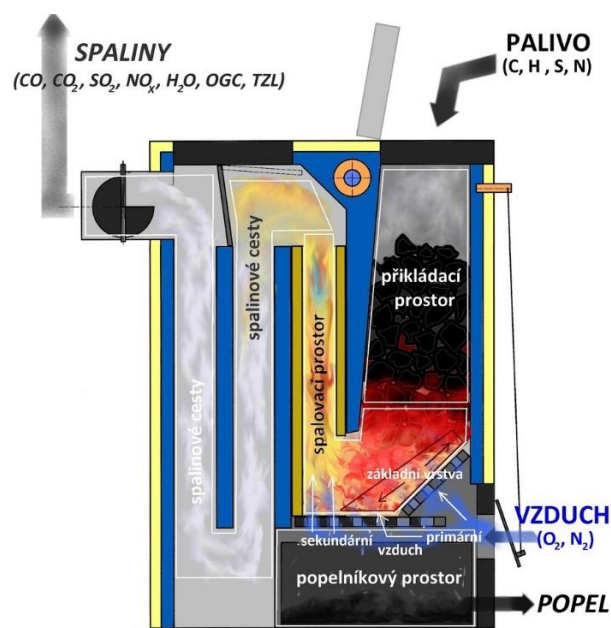
Tabulka 2.2 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro kotle na tuhá paliva do jmenovitého výkonu 50 kW pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6]

kotel pro vytápění příp. i přípravu teplé vody do jmenovitého výkonu 50 kW	$\eta_{H,gen}$ [-]
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy I – bez AKU	0,49
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy I – s AKU	0,54
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy II – bez AKU	0,58
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy II – s AKU	0,65

s ručním přikládáním splňující požadavky třídy III – bez AKU	0,66
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy III – s AKU	0,74
s automatickým přikládáním splňující požadavky třídy III – bez či s AKU	0,76
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy IV – bez AKU	0,72
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy IV – s AKU	0,81
s automatickým přikládáním splňující požadavky třídy IV – bez či s AKU	0,85
s automatickým přikládáním splňující požadavky třídy V – bez či s AKU	0,88

Tabulka 2.3 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro kotle na tuhá paliva o jmenovitém výkonu v rozmezí 50 – 300 kW pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6]

Kotel pro vytápění příp. i přípravu teplé vody o jmenovitém výkonu v rozmezí 50 – 300 kW	$\eta_{H,gen}$ [-]
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy I – bez AKU	0,52
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy I – s AKU	0,58
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy II – bez AKU	0,62
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy II – s AKU	0,69
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy III – bez AKU	0,7
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy III – s AKU	0,77
s automatickým přikládáním splňující požadavky třídy III – bez či s AKU	0,84
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy IV – bez AKU	0,74
s ručním přikládáním splňující požadavky třídy IV – s AKU	0,82
s automatickým přikládáním splňující požadavky třídy IV – bez či s AKU	0,9
s automatickým přikládáním splňující požadavky třídy V – bez či s AKU	0,93



Obrázek 2.1 - Schéma kotle na tuhá paliva [7]

2.1.3. Zemní plyn

Spalování zemního plynu slouží v budově k pokrytí potřeby vytápění a přípravy teplé vody. Zemní plyn se řadí mezi neobnovitelné fosilní zdroje energie. Z hlediska vypouštění škodlivých látek do ovzduší při jeho spalování se však dá zařadit mezi palivo relativně ekologické. Těžba zemního plynu probíhá pomocí vrtů a je podobně jako u pevných fosilních paliv velmi náročná. Po těžení následuje doprava zemního plynu dálkovým vedením až do budovy. Zde se získává teplo přeměnou zemního plynu v kotli na zemní plyn.

Kotle na zemní plyn se dělí na standardní a kondenzační. Kondenzační kotle dokážou oproti standardním využít i kondenzační teplo páry, která při spalování v kotli vzniká. Jejich sezónní účinnost je pak oproti standardním kotelům na zemní plyn značně vyšší. Sezónní účinnosti plynových kotelů a kotelů na kapalná paliva vztažená k výhřevnosti jsou zaznamenány v normě ČSN 73 0331-1 (viz tabulka 2.4 2.5 a 2.6). Schéma kondenzačního kotle je zobrazeno na obrázku 2.2. [8]

Tabulka 2.4 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro plynové kotle a kotle na kapalná paliva do 35 kW určené pouze pro vytápění [6]

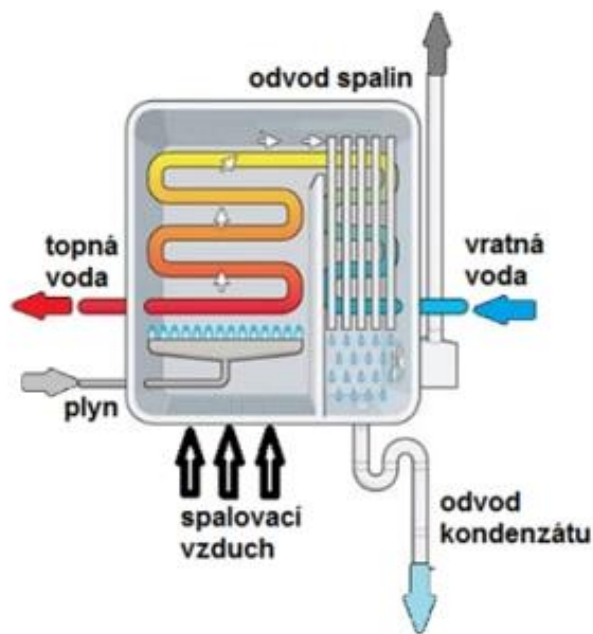
plynový kotel pro vytápění o jmenovitém výkonu do 35 kW	$\eta_{H,gen}$ [-]
standardní (jednostupňový hořák)	0,84
standardní (modulovaný hořák)	0,87
nízkoteplotní (modulovaný hořák)	0,98
kondenzační (modulovaný hořák)	1,03

Tabulka 2.5 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro plynové kotle a kotle na kapalná paliva do 35 kW určené pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6]

plynový kotel pro vytápění a přípravu teplé vody o jmenovitém výkonu do 35 kW	$\eta_{H,gen}$ [-]
standardní (jednostupňový hořák)	0,83
standardní (modulovaný hořák)	0,85
nízkoteplotní (modulovaný hořák)	0,95
kondenzační (modulovaný hořák)	1,05

Tabulka 2.6 Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro plynové kotle a kotle na kapalná paliva nad 35 kW určené pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6]

plynový kotel pro vytápění i přípravu teplé vody o jmenovitém výkonu nad 35 kW	$\eta_{H,gen}$ [-]
standardní (jednostupňový hořák)	0,86
standardní (modulovaný hořák)	0,89
nízkoteplotní (modulovaný hořák)	0,99
kondenzační (modulovaný hořák)	1,09



Obrázek 2.2 Zjednodušené schéma kondenzačního kotle [9]

2.1.4. Centralizované zásobování teplem

Centralizované zásobování teplem (CZT) je další možností pro vytápění a přípravu teplé vody. Zdrojem tepla je z pravidla teplárna nebo výtopna, která je mimo vytápěný objekt. Získané teplo se poté dopravuje potrubím pomocí páry, horké nebo otopné vody až k obytným budovám. Tento princip se uplatňuje především ve velkých městech. Co se týče provozu, představuje dálkově dodané teplo vysoký komfort. Odpadá starost o zásobování paliva jako u tuhých paliv, domácí předávací stanice je bezúdržbová, bez odpadu a neemituje téměř žádný hluk. Je však nutné zmínit, že při přenosu teplonosné látky potrubím vznikají nechtěné ztráty. Není vhodné tedy vést potrubí přes dlouhou vzdálenost, neboť s přibývajícím metry potrubí ztráta stoupá. Velikost ztrát je také dána izolací potrubí, která je u CZT nezbytná. [10]

2.1.5. Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje jsou z environmentálního hlediska ze všech uvedených zdrojů energie nejvhodnější, nepřispívají k vyčerpání zásob fosilních paliv na Zemi. Vypuštěné emise CO₂ při výrobě energie z obnovitelných zdrojů jsou v naprosté většině případů nulové, nepodílí se tedy na skleníkovém efektu.

Tepelná čerpadla jsou dalším zdrojem vytápění a přípravy teplé vody. I přesto, že jsou poháněna elektrickou energií, jsou zařazena do obnovitelných zdrojů energie. Energií čerpají z okolního prostředí, konkrétně z půdy, vody či vzduchu. Tepelná čerpadla přeměňují teplo o nízké teplotě obsažené v okolním prostředí pomocí výparníku, kompresoru kondenzátoru a expanzního ventilu na teplo o vyšší teplotě, které se dál používá k vytápění či přípravě teplé vody. V případě tepelných čerpadel se sezónní účinnost zdroje tepla ve výpočtu energetické náročnosti budov nahrazuje ročním provozním topným faktorem $COP_{H,gen}$ pro vytápění a $COP_{W,gen}$ pro přípravu teplé vody. Pro vytápění se topný faktor pohybuje mezi hodnotami 3 až 4, pro přípravu teplé vody mezi hodnotami 2 a 3. Hodnota provozního topného faktoru se stanoví podle vztahu. Schéma tepelného čerpadla je zobrazeno na obrázku 2.3 [6] [11]

$$COP_{H,gen} = f_{H,COP} \cdot COP_n [-] \quad (2.1)$$

$$COP_{W,gen} = f_{W,COP} \cdot COP_n [-] \quad (2.2)$$

kde je

COP_n jmenovitý topný faktor tepelného čerpadla při jmenovitých podmínkách, (viz tabulka 2.7);

$f_{H,COP}$ součinitel ročního provozu tepelného čerpadla pro vytápění [-], (viz tabulka 2.8);

$f_{W,COP}$ součinitel ročního provozu tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody [-], (viz tabulka 2.9); [6]

Tabulka 2.7 - Typické jmenovité hodnoty COP_n pro tepelná čerpadla [6]

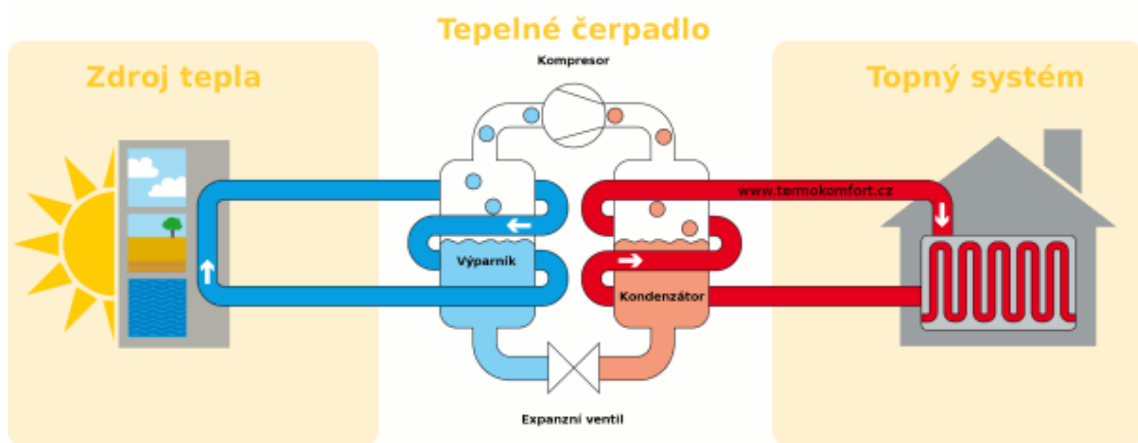
druh tepelného čerpadla	$COP_n [-]$
tepelné čerpadlo země-voda	4,3
tepelné čerpadlo voda-voda	5,1
tepelné čerpadlo vzduch-voda	3,1

Tabulka 2.8 - Součinitel ročního provozu tepelného čerpadla $f_{H,COP}$ pro vytápění [6]

návrhová výstupní teplota otopné vody [°C]	vzduch-voda	Země-voda	voda-voda
	$f_{H,COP} [-]$		
35	0,94	1,07	1
45	0,86	0,94	0,89
55	0,77	0,81	0,76

Tabulka 2.9 - Součinitel ročního provozu tepelného čerpadla $f_{W,COP}$ pro přípravu teplé vody [6]

požadovaná teplota teplé vody [°C]	vzduch-voda	země-voda	voda-voda
	$f_{W,COP} [-]$		
40	0,86	0,86	0,8
50	0,71	0,66	0,61
60	0,55	0,45	0,42



Obrázek 2.3 Schéma tepelného čerpadla [11]

2.2. Vytápění

Vytápění tvoří důležitou složku v energetické náročnosti budov. Cílem vytápění je zajistit lidem v objektu tepelnou pohodu neboli tepelný komfort. Celkový navrhovaný tepelný výkon vytápěného prostoru se určuje tak, aby pokryl tepelné ztráty. Celková tepelná ztráta se počítá podle vztahu

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \quad (2.3)$$

kde je

$\Phi_{T,i}$ návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i) [W];

$\Phi_{V,i}$ návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) [W];

$\Phi_{hu,i}$ volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění [W];

$\Phi_{gain,i}$ trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i) [W]. [12]

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru se získá pomocí vzorce

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2.4)$$

kde je

$H_{T,ie}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí [W/K];

$H_{T,ia}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor [W/K];

$H_{T,iae}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory (např. sklep, půda) nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy (např. zimní zahrada, garáže) [W/K];

$H_{T,iaBE}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu (např. sousední byt) [W/K];

$H_{T,ig}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy [W/K];

$\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C];

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]. [12]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí se poté spočte podle vzorce

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{tb}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] \quad (2.5)$$

kde je

A_k plocha stavební části [m²];

U_k součinitel prostupu tepla stavební části [W/m²·K];

$f_{U,k}$ opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot;

$f_{ie,k}$ teplotní opravný činitel;

ΔU_{tb} přírážka na vliv tepelných vazeb [W/m²·K]. [12]

2.2.1. Prostup tepla

Velikost tepelné ztráty prostupem tepla se odvíjí především od kvality obálky budovy. Kvalita obálky se popisuje součinitelem prostupu tepla stavební konstrukce U [W/m²·K]. Ten se získá podle vztahu

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad (2.6)$$

kde je

R_{si} vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla, hodnota z normy (viz tabulka 2.10) [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$];

R_{se} vnější tepelný odpor při přestupu tepla, hodnota z normy (viz tabulka 2.10) [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$];

R_n tepelný odpor n-té stavební konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$];

S_n tloušťka stěny n-té stavební konstrukce [m];

λ_n součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]. [13]

Tabulka 2.10 - Tepelný odpor při přestupu tepla z normy ČSN EN ISO 6946 [13]

tepelný odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]	směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolu
R_{si}	0,100	0,013	0,170
R_{se}	0,040	0,040	0,040

Tabulka 2.11 - Součinitel prostupu tepla podle normy ČSN EN ISO 6946 [13]

popis konstrukce	součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]		
	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	doporučené hodnoty pro pasivní domy
vnější stěna k nevytápěné půdě	0,30	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
střecha strmá se sklonem > 45	0,30	0,20	0,18 až 0,12
strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20	0,15 až 0,10
strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
střecha plochá a šikmá se sklonem < 45	0,24	0,16	0,15 až 0,10
podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22 až 0,15

Tabulka 2.11 udává požadované, doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro běžné budovy a doporučené hodnoty pro pasivní domy. Je zřejmé, že doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy jsou poloviční než požadované hodnoty pro běžné budovy.

Výsledná tepelná ztráta nezávisí pouze na součiniteli prostupu tepla, ale také na ploše stavební části. Z hlediska ztrát je tedy nejvýhodnější mít budovu s nejmenší plochou stavební části. Nejideálnější je budova postavená ve tvaru koule, která má ze všech objektů ochlazovanou plochu nejmenší. Dalším důležitým faktorem je požadovaná vnitřní teplota. S vyšší teplotou stoupají tepelné ztráty prostupem.

2.2.2. Větrání

Větrání slouží k zajištění zdravého a čerstvého vzduchu v budově. Nesprávné větrání objektu s sebou přináší plno problémů. V první řadě má nedostatek čerstvého vzduchu vliv na náš pocit únavy a ovlivňuje tak naši pracovní morálku. Dalším častým následkem nedostatečného větrání je zvýšení vlhkosti vzduchu uvnitř místnosti, s čímž se pojí hygienické potíže jako například plísně. Při větrání okny by se měla dodržovat zásada: větrat krátce a intenzivně.

V dnešní době se moderní rodinné domy navrhují s větracími jednotkami, které pohání řízené větrání se zpětným získáváním tepla. Zpětné získávání tepla funguje tak, že ohřátý znehodnocený vzduch předává ve výměníku své teplo nově přiváděnému čerstvému vzduchu a snižuje tím ztrátu větráním.

Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru se vypočte podle vzorce

$$\Phi_{V,i} = V_i \cdot n_{min,i} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2.7)$$

kde je

V_i vnitřní objem vytápěného prostoru (vzduchu) [m³];

$n_{min,i}$ minimální intenzita větrání [1/h];

ρ hustota vzduchu [kg/m³];

c měrná tepelná kapacita vody [J/kg·K];

$\theta_{int,i}$ vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C];

θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]. [12]

2.3. Příprava teplé vody

Jak už je výše zmíněno, příprava teplé vody hraje důležitou složku v energetické náročnosti budov. Příprava teplé vody v domácnosti slouží především k mytí, vaření, koupání, praní a úklidu. Teplá voda se dá získat pomocí centralizovaného zásobování teplem či lokálně. Mezi lokální způsoby přípravy teplé vody patří zásobníkový a průtokový ohřivač. Norma ČSN EN 806-2 uvádí, že rozvod teplé vody musí zajistit, aby při úplném otevření výtokové armatury vytékala nejpozději po uplynutí 30 s voda o teplotě 50 až 55 °C, výjimečně 60 °C (v odběrové špičce krátkodobě nejméně 45 °C).

Spotřeba teplé vody je pro jednotlivé objekty jiná. Hodnoty potřeby teplé vody pro obytné budovy, školy, zdravotnictví atd. jsou uvedeny v tabulce 2.12. [14]

Tabulka 2.12 – *Bilance potřeby teplé vody.* [15]

druh objektu		měrná jednotka	činnost	spotřeba V_{2p} [m ³ /per]
stavby pro bydlení		1 osoba	mytí, vaření, úklid	0,82
stavby pro dočasné ubytování	internáty svobodárny hotely	1 osoba	Sprchy	0,06
		1 osoba	umívání	0,02
		1 osoba	vany	0,10
		100 m ²	úklid	0,02
školy		1 žák	umívání	0,02
		100 m ²	úklid	0,02
zdravotnictví	polikliniky	1 vyšetřený	umívání vč. personálu	0,02
	nemocnice	1 lůžko	umívání	ležící 0,02
		1 lůžko	mytí + sprcha	chodící 0,05
		1 lůžko	umívání vč. personálu	0,25
	domovy důchodců	1 lůžko	umívání vč. personálu	0,20
	ozdravovny	1 lůžko	umívání vč. personálu	0,10
	kojenecké ústavy	1 dítě	umívání vč. personálu	0,13
	jesle, dětské domovy	1 dítě	umívání vč. personálu	0,07
	100 m ²	úklid	0,02	
očistné lázně		1 osoba	2x sprcha + vana	0,16
		100 m ²	úklid	0,02

vaření a mytí nádobí	jen výdej		1 jídlo	mytí jídelního nádobí	0,001 (80 °C)
	příprava a výdej	malý sortiment jídel	1 jídlo	mytí varného a jídelního nádobí	0,0015 (80 °C)
		restaurační provoz	1 jídlo		0,002 (80 °C)
			100 m ²	úklid	0,02
hygienická zařízení podniků a sportovních zařízení			1 os./sm.	umyvadla	0,02
			1 os./sm.	Sprchy	0,04
			100 m ²	úklid	0,02

2.4. Spotřebiče

Zhruba patnáct procent celkové spotřeby energie domácností představuje uživatelská energie, do které patří elektrické spotřebiče. Nejvíce energie se mezi spotřebiči použije na pečení a vaření, dále značné množství na provoz osvětlení, televize a počítače, zbytek mixu tvoří ostatní elektrické spotřebiče. Pro lepší orientaci v energetické náročnosti elektrických spotřebičů byly evropskou komisí zavedeny takzvané energetické štítky.

Od 1. března 2021 Evropská komise schválila reformu energetických štítků spotřebičů a nyní se řídí podle nové vyhlášky č. 319/2019 Sb. Tyto nové štítky mají nový přehlednější design a údaje, které jsou na nich uvedené. Šest skupin elektrických spotřebičů podléhá povinnosti označování energetickými štítky. Jedná se o

- myčky nádobí;
- pračky a kombinované pračky se sušičkou;
- chladničky, mrazničky a vinotéky;
- svítidla;
- elektronické displeje (displeje televizorů, monitorů a digitálních informačních displejů);
- komerční chladicí zařízení s přímou prodejní funkcí, tj. komerční chladničky používané v prodejnách a prodejnách automatech.

Pro každou skupinu spotřebičů se hodnotí specifické vlastnosti, podle kterých je v závěru udělena třída energetické náročnosti. Například u myčky na nádobí se hodnotí spotřeba energie na počet cyklů, délka jednoho cyklu, jmenovitá kapacita myčky, emise hluku a spotřeba vody na cyklus. Od 1. března 2021 bude na každém štítku nově umístěn

i QR kód, jehož naskenováním se dostane zákazník do online databáze EPREL, která předkládá další podrobné nekomerční informace o daném produktu. Do této databáze musí firmy podávat data o svých produktech od srpna roku 2017.

U nových energetických štítků se setkáme s novou stupnicí energetických tříd. Dříve se elektrické spotřebiče značily podle stupnice: A+++, A++, A+, A, B, C, D. Nyní je zavedeno rozdělení A, B, C, D, E, F, G. K této změně došlo z důvodu lepší orientace mezi jednotlivými třídami. [16]

3. Environmentální hodnocení budov

3.1. Ukazatele

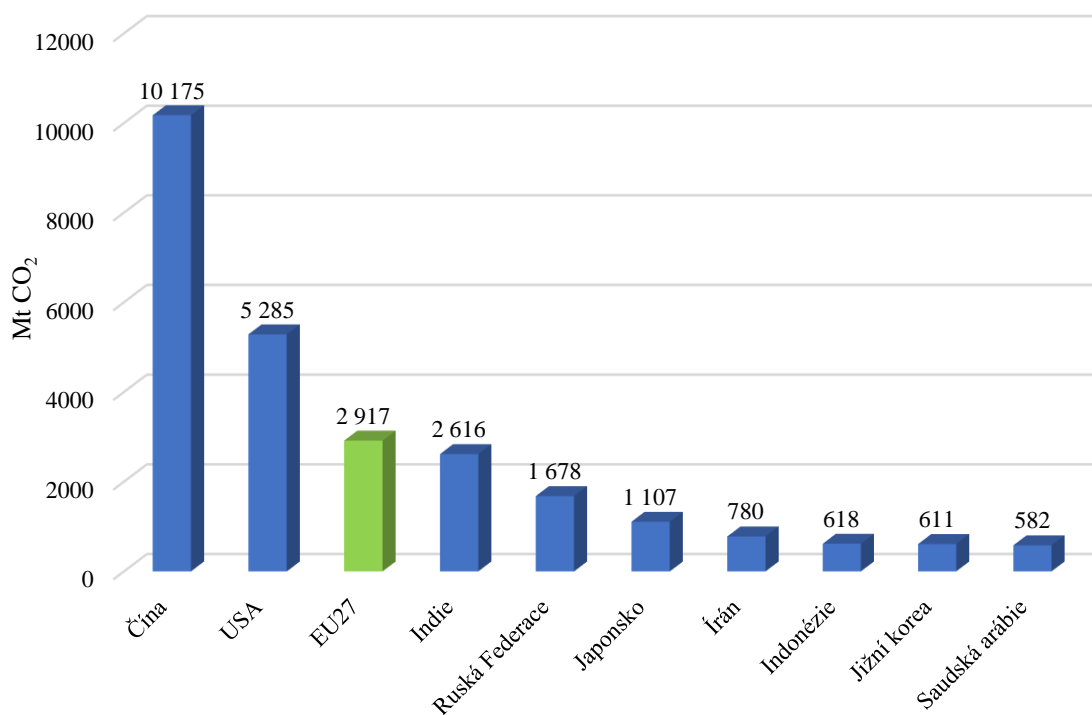
Environmentální hodnocení provozu budov lze provádět z pohledu emisí oxidu uhličitého (CO₂) a potřeby neobnovitelné primární energie (*nPE*).

3.1.1. *Emise CO₂*

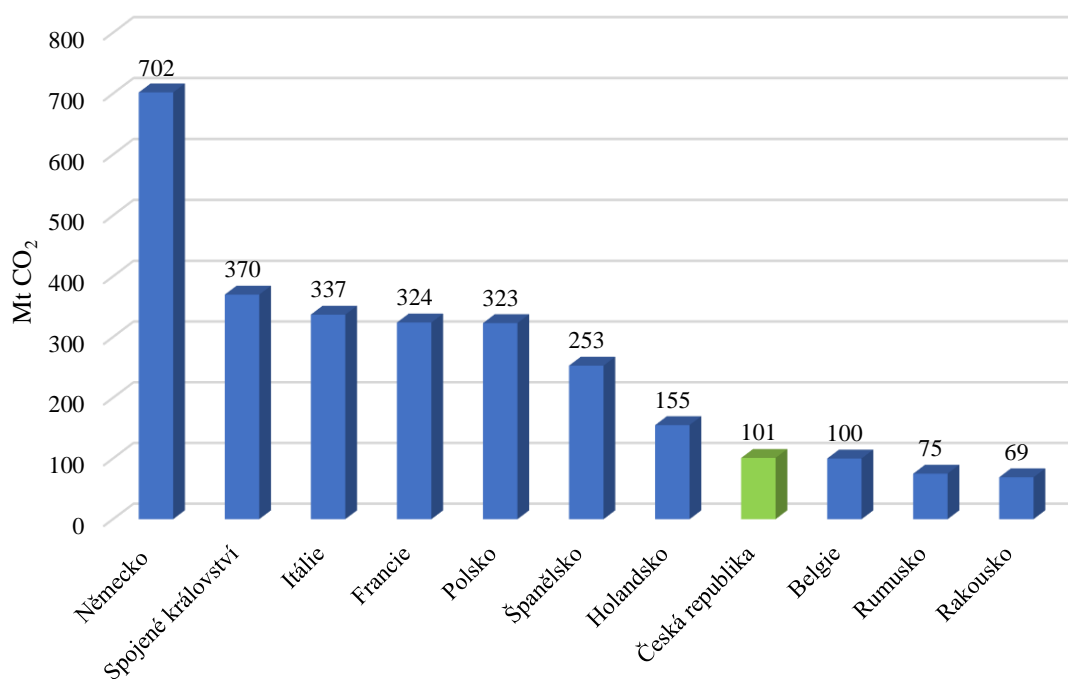
Oxid uhličitý patří do skupiny skleníkových plynů. Jejich přítomnost v atmosféře způsobuje takzvaný skleníkový efekt, který je vážným příčinou globálního oteplování. Termín globální oteplování zahrnuje obecně změnu klimatu, provázenou klimatickými extrémy a je v současnosti jedním z nejvíce řešených témat v celosvětovém měřítku. Oxid uhličitý vzniká i přirozeně přírodními procesy, avšak od 19. století výrazně přispívá jeho produkci spalování uhlíkatých paliv, zejména pak paliv fosilních. Právě environmentálnímu hodnocení provozu budov z pohledu produkce emisí CO₂ se věnuje tato kapitola.[17] [18]

Jednou z možností snížení produkce skleníkových plynů jsou úspory energií a využívání obnovitelných zdrojů energie. Další diskutovanou možností, jak snížit škodlivé emise je zapojení jaderné energetiky. Při provozu jaderné elektrárny totiž nevznikají žádné emise CO₂. Jejich nevýhodou jsou problémy s jaderným odpadem a možné riziko katastrofy při havárii. Šance havárie je velmi nízká, avšak jeho dopady by byly fatální. Proto se od těchto elektráren v některých státech v posledních dvaceti letech odstupuje (Např. v Německu, Rakousku).

Mezi státy produkující nejvíce emisí CO₂ patří jednoznačně Čína, která v roce 2019 vypustila okolo 10175 Mt CO₂. Ve stejném roce vypustila Česká republika do ovzduší okolo 101 Mt CO₂. (43. na světě). V Evropě nejvíce emisí CO₂ do ovzduší vypouští Německo. [19]

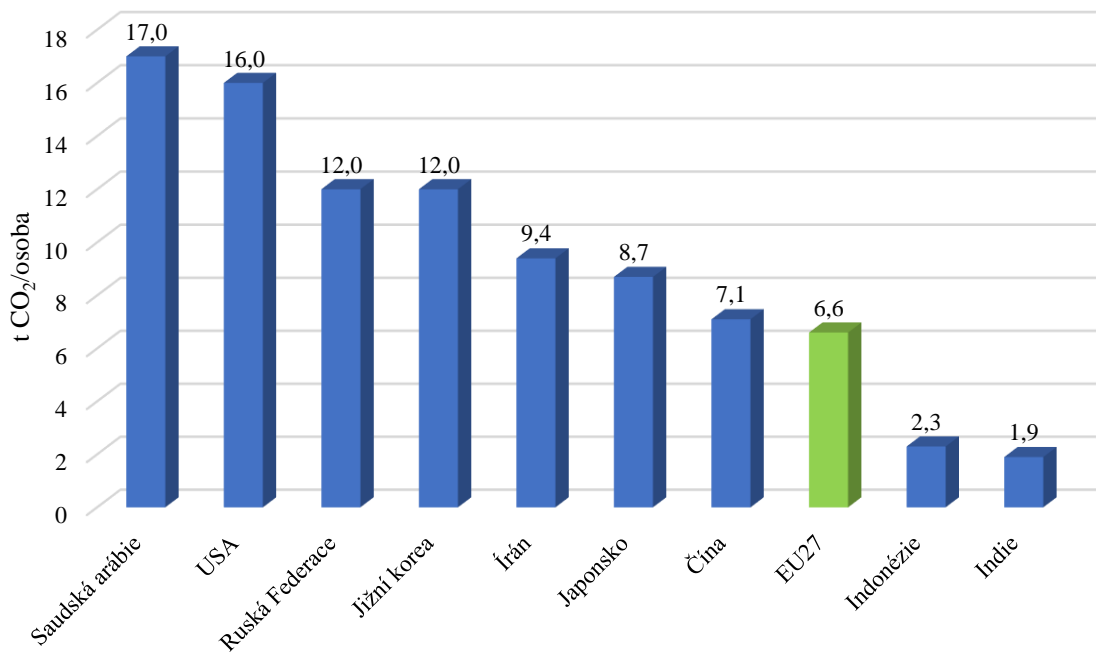


Graf 3.1 - Nejvíce produkující země CO₂ na světě za rok 2019 [19]

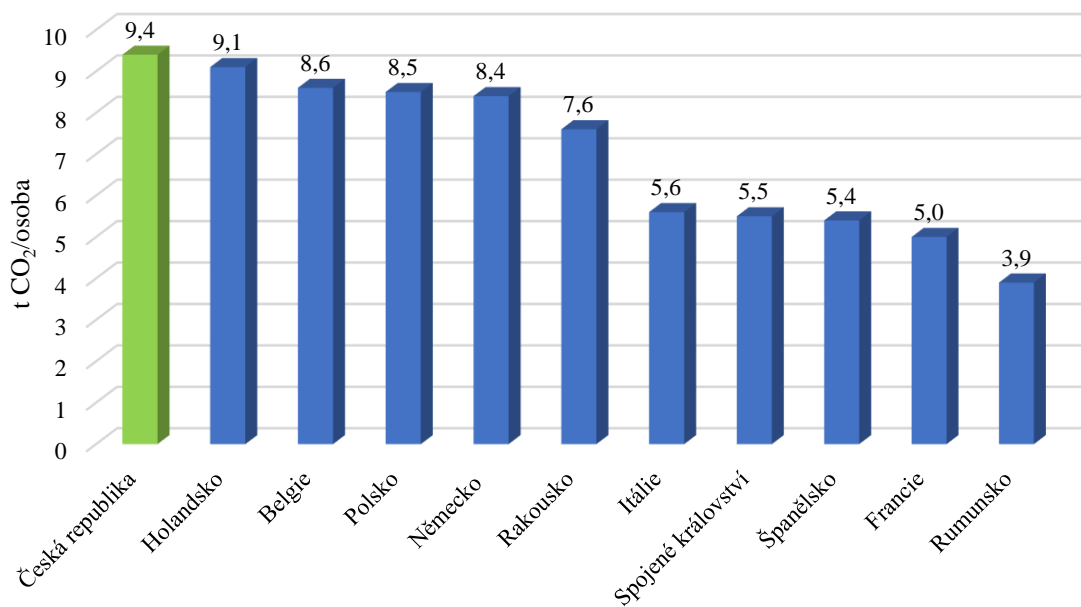


Graf 3.2 - Nejvíce produkující země CO₂ v Evropě za rok 2019 [19]

Zatímco v grafu 3.1 a grafu 3.2 jsou jednotlivé státy porovnány z pohledu absolutních hodnot vypouštěných emisí CO₂, v grafu 3.3 a 3.4 jsou emise CO₂ přepočteny na počet obyvatel.



Graf 3.3 - Porovnání emisí CO₂ vtažených na osobu pro státy z grafu 1 v r 2019 [19]



Graf 3.4 - Porovnání emisí CO₂ vtažených na osobu pro státy z grafu 2 v r 2019 [19]

Mezi státy z grafu 3.1 vypustí nejvíc škodlivých emisí CO₂ v přepočtu na obyvatele Saudská Arábie, která v roce 2019 vyprodukovala 17 tun CO₂/obyvatele. Přestože Katar má množství emisí na obyvatele zdaleka největší na světě okolo 39 t CO₂/obyvatele, v celkovém množství vypuštěných emisí se neřadí mezi nejvíce znečišťující země. Z grafu 3.3 jsou znatelné rozdíly mezi hodnotami jednotlivých států, které jsou dány rozdílnou státní energetikou. [19]

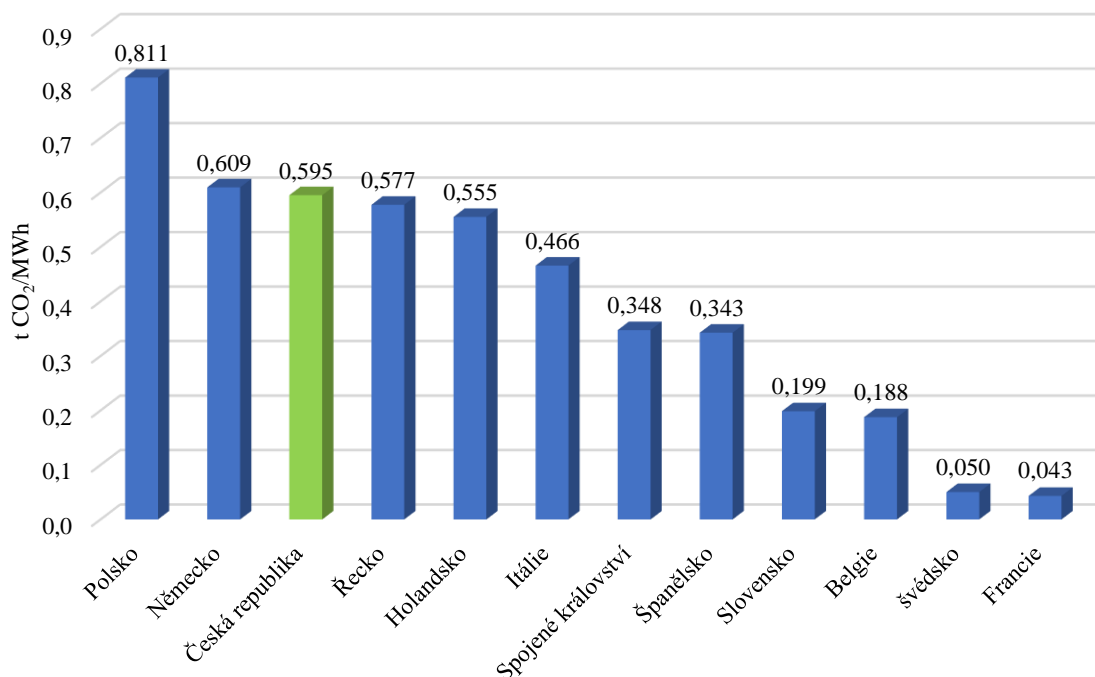
Z grafu č. 3.4 je zřejmé, že Česká republika vyprodukuje vysoké emise CO₂ v přepočtu na obyvatele, s hodnotou 9,1 tun CO₂/obyvatele (29. na světě). V Evropě má vyšší produkce emisí CO₂ na člověka pouze Lucembursko s 16 a Estonsko s 11 t CO₂/obyvatele. Dále je vidět, že ač Německo vyprodukovalo jednoznačně nejvíce emisí CO₂ v grafu č. 3.2, v přepočtu na obyvatele nevyčívá a se pohybuje na úrovni okolo

8 t CO₂/obyvatele. To je dáno až 44% podílem obnovitelných zdrojů při výrobě elektrické energie. [20] Francie vyprodukuje velmi nízké emise v přepočtu na obyvatele s hodnotou pouze 5 tun CO₂/osoba, to je dáno vysokým podílem jaderné energie. Kolem 70 % el. energie Francie vyprodukuje právě jaderné elektrárny. [21]

Pro stanovení množství emisí CO₂ svázaných se spotřebou energie v budovách slouží **emisní faktory**. Emisní faktory uvádí množství škodlivin, které se vypustí při přeměně daného paliva na jednotku energie obsažené v palivu. Uvádí se v jednotkách kg/GJ nebo t/MWh.

Z grafu 3.5, který čerpá ze statistiky European Residual Mixes je patrné, že nejhůř si vede Polsko s nejvyšší hodnotou emisního faktoru 0,811 t CO₂/MWh. Je to dáno je to dáno vysokým obsazením fosilních elektráren při výrobě elektrické energie. Nejlépe si naopak vede Švédsko a Francie jejich hodnota je pod 0,05 t CO₂/MWh. A to díky vysokému obsazení vodních elektráren ve Švédsku a již zmíněným jaderným elektrárnám ve Francii.

Z grafu 3.5 je patrné, že ačkoli má Německo téměř 40 % výroby elektřiny pokryto obnovitelnými zdroji, je hodnota jeho vypočteného emisního faktoru téměř na stejné hranici s Českou republikou (0,6 t CO₂/MWh). Německo totiž vyrobí pouze kolem 11 % elektřiny pomocí jaderných zdrojů. Zbýlých 50 % tedy vyrobí fosilními palivy, velmi podobně jako Česká republika.



Graf 3.5 - Mezinárodní porovnání emisních faktorů pro elektřinu v Evropě v r. 2019 [22]

Hodnoty emisních faktorů CO₂ pro ČR udává vyhláška č. 140/2021 Sb. (viz tabulka 3.1). o energetickém auditu nově od 1. 4. 2021. Je nutné zdůraznit, že se jedná o hodnoty emisních faktorů, které se vztahují k energii přivedené v palivu (příkon), nikoli o hodnoty vztážené k produkci energie (výkon). Pro biomasu se obecně uvažuje emisní faktor pro CO₂ nulový. [18]

Tabulka 3.1- Emisní faktory podle vyhlášky č. 140/2021 Sb. [23]

palivo nebo energie	t CO ₂ /MWh
černé uhlí	0,330
hnědé uhlí	0,352
koks	0,385
hnědouhelné brikety	0,346
topný a ostatní plynový olej	0,267
topný olej nízkosírný (do 1 % hm. síry)	0,279
topný olej vysokosírný (nad 1 % hm. síry)	0,279
zemní plyn	0,200
zkapalněný ropný plyn (LPG)	0,237
elektřina	0,860

Z tabulky 3.1 vyplývá vysoká hodnota emisního faktoru pro elektřinu s hodnotou 0,86. Z grafu 2.2 (v kapitole 2.1.1) je vidět, že téměř 35 % elektřiny se vyrobí pomocí jaderných zdrojů. Téměř 12 % se pak vyrobí pomocí obnovitelných zdrojů energie (OZE) a 1 % pomocí přečerpávacích elektráren. Zbylých 51 % elektrické energie se pak generuje v elektrárnách na fosilní paliva.

Podle podílu výroby elektrické energie by se měl emisní faktor za elektřinu pohybovat v nižších hodnotách, než je uveden ve vyhlášce č. 140/2021 Sb., a to zhruba kolem hodnoty 0,6 t CO₂/MWh. Takovou hodnotu zastává i statistika European Residual Mixes, která udává emisní faktor pro Českou republiku právě s hodnotou 0,6 t (viz graf 3.5)

Rozdílnou hodnotu emisního faktoru mezi výše uvedenými zdroji tvoří to, že oba zdroje informací hodnotí dvě různé věci. Statistika European Residual Mixes totiž zahrnuje pouze výrobu elektřiny. Vyhláška č. 140/2021 Sb. rozdílně hodnotí k jakému použití daná elektrická energie slouží. Jaderné elektrárny, které hodnotíme bezemisně, pokrývají neměnné spotřeby elektrické energie v ČR jako například metra, vlaky nebo průmysl. Je to z důvodu jejich špatné regulace výkonu v rámci týdnů. Spotřeba elektrické energie při provozu budov je naopak proměnná, a tak její výrobu pokrývají zejména elektrárny na fosilní paliva, které se dají regulovat značně rychleji. [24]

Do budoucna se plánuje stanovit hodnotu emisních faktorů dynamicky, takzvanými dynamickými emisními faktory. Tento princip by bral v potaz rozdílné období poptávky za elektřinu potřebnou k vytápění, chlazení a přípravě teplé vody a podle něho určoval hodnotu emisního faktoru pro tyto funkce. V létě se více elektrické energie vyrobí pomocí OZE, a to díky příznivějším podmínkám pro hlavně solární elektrárny. Hodnota emisního faktoru by pak měla být v letním období nižší a v zimě naopak vyšší.

3.1.2. Neobnovitelná primární energie

Primární energie je energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, která neprošla žádným procesem přeměny nebo transformace. Jedná se tedy o formu energie, která se vyskytuje volně v přírodě. S primární energií se můžeme setkat ve dvou formách.

- obnovitelná;
- neobnovitelná.

Mezi obnovitelnou primární energii patří vodní, sluneční, větrná energie nebo biomasa. Jedná se o formu primární energie šetrnou k životnímu prostředí.

Mezi neobnovitelnou primární energii se řadí fosilní paliva jako je uhlí, zemní plyn, ropa ale i jaderná energie. Fosilní paliva jsou v podstatě též obnovitelný zdroj energie. Jejich obnova však trvá miliony let a do obnovitelné primární energie se zařazují pouze paliva jejichž obnova trvá v řádu desítek let. Definicí neobnovitelné i obnovitelné primární energie udává norma ČSN EN ISO 52000-1 (730334). Využití neobnovitelné primární energie souvisí s negativním dopadem na životní prostředí a s tím i spojeným vyčerpáváním palivových zásob na světě. V řadě případů, s výjimkou jaderné energie, souvisí i s vypouštěním emisí znečišťujících látek do atmosféry. V dnešní době se klade důraz na to, aby závislost na neobnovitelné primární energii byla co nejmenší.

Neobnovitelná primární energie se využívá k hodnocení energetické náročnosti budov. V rámci změn evropské legislativy se tento ukazatel stává oprávněně základní srovnávací rovinou hodnocení energetické náročnosti budov, a proto je mu věnována i novela vyhlášky č. 264/2020 Sb. V současné době budova nesmí být zkolaudována, pokud je její hodnota neobnovitelné primární energie vyhodnocena jako příliš vysoká. Tyto okolnosti pak vedou projektanty budov k tomu, aby do provozu budov zapojovali zdroje obnovitelné primární energie. [17] [25]

Faktor neobnovitelné primární energie, faktor energetické přeměny či faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie, zjednodušeně **konverzní faktor** vyjadřuje podíl mezi potřebou neobnovitelné primární energie a dodávkou energie daného energonositele do budovy, včetně zahrnutí procesů, které s vlastní dodávkou energie do budovy souvisejí. Pro elektrickou energii to je

- těžba;
- zpracování;
- naložení;
- doprava do elektrárny;
- spálení v elektrárny;
- přeprava elektřiny do domu.

Stanovení konverzního faktoru předchází velmi složitý výpočet. V České republice se tyto výpočty provádí v software GEMIS. Započtení veškeré spotřebované neobnovitelné primární energie při dodávce energie do budovy vyžaduje relativně podrobné statistické údaje, které poskytuje Český statistický úřad. Do čistě statistických a fyzikálních výpočtů však zasahuje i politika. Politické vlivy mohou výslednou hodnotu ovlivnit, a to za

účelem motivace energetického chování obyvatel daného státu. Mohou tak podpořit či penalizovat různé zdroje paliv.

Příklad následků politických vlivů na hodnotu konverzního faktoru: Pokud má stát například problém s elektrickou rozvodnou soustavou v letním období s hrozbou výpadků elektrické soustavy z důvodu přetížení sítě elektrickými klimatizačními jednotkami, může politický vliv uměle navýšit hodnotu faktoru neobnovitelné primární energie pro elektrickou energii, aby docílil v rámci hodnocení energetické náročnosti budov používání jiné technologie chlazení než elektricky poháněné. Hodnotu konverzních faktorů v České republice určuje od 1. 9. 2020 vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov (viz tabulka 3.2) [26]

Tabulka 3.2 - Konverzní faktory podle vyhlášky 264/2020 [3]

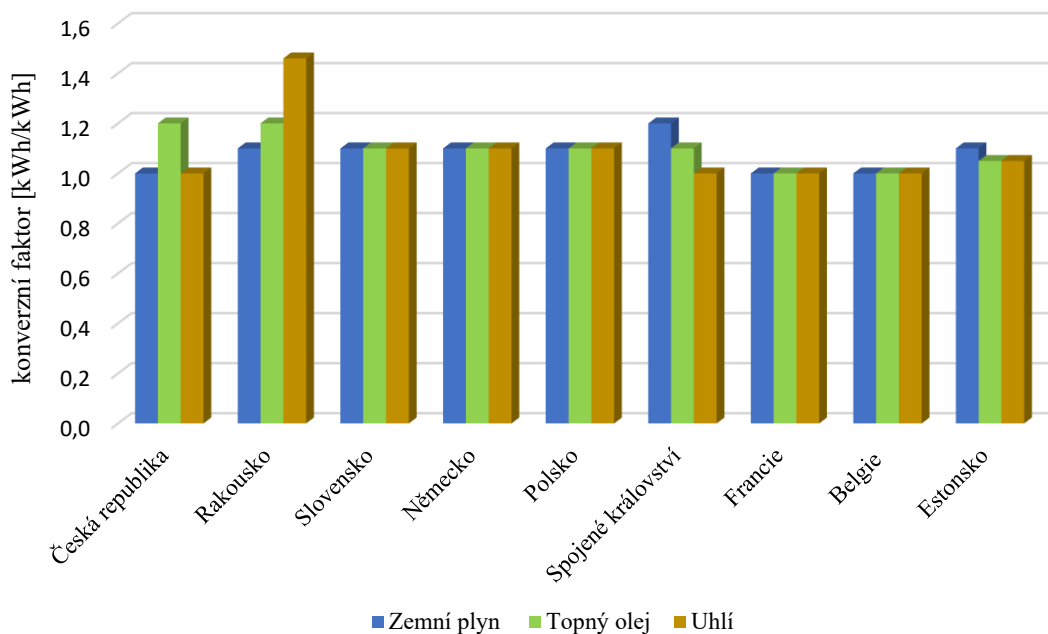
energonositel	[kWh/kWh]
zemní plyn	1,0
tuhá fosilní paliva (hnědé, černé uhlí)	1,0
propan-butan/LPG	1,2
topný olej	1,2
elektrina	2,6
dřevěné paletky	0,2
kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
energie okolního prostředí (elektrina, teplo)	0,0
elektrina – dodávka mimo budovu	-2,6
teplo – dodávka mimo budovu	-1,3
účinná soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE > 80%	0,2
účinná soustava zásobování tepelnou energií s podílem OZE < 80 %	0,9
ostatní soustavy zásobování tepelnou energií	1,3
ostatní neuvedené energonositele	1,2
odpadní teplo z technologie	0,0

Z tabulky 3.2 je patrné že nejvyšší hodnotu konverzního faktoru má elektrina. To je dáno vysokým podílem neobnovitelné primární energie pro výrobu elektrické energie, a naopak nízkým podílem výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (viz graf 2.2). Hodnota faktoru neobnovitelné primární energie pro elektřinu výrazně klesla hodnoty 3,0 na hodnotu 2,6 s novou vyhláškou č. 264/2020 Sb. právě díky předpokládanému nárůstu

elektrické energie z OZE v síti. Dále je vysoká hodnota faktoru primární energie z neobnovitelných zdrojů dána nízkou účinností elektrických elektráren na fosilní paliva.

Nově se taky ve vyhlášce objevuje hodnota konverzního faktoru pro odpadní teplo z technologie s hodnotou 0. Jedná se např. strojové vybavení, kompresorovny, gastro provozy nebo o teplo ve výrobní hale vznikající při výrobě, které se cíleně využívá pro nevýrobní část haly například pro vytápění nebo přípravu teplé vody.

Graf 3.6 zobrazuje porovnání konverzních faktorů států Evropy, a to pro zemní plyn, topný olej a uhlí. Většina hodnot se pohybuje mezi hodnotami 1,0 a 1,2. Jedinou výjimkou je Rakousko, jehož konverzní faktor pro uhlí se pohybuje okolo hodnoty 1,5.

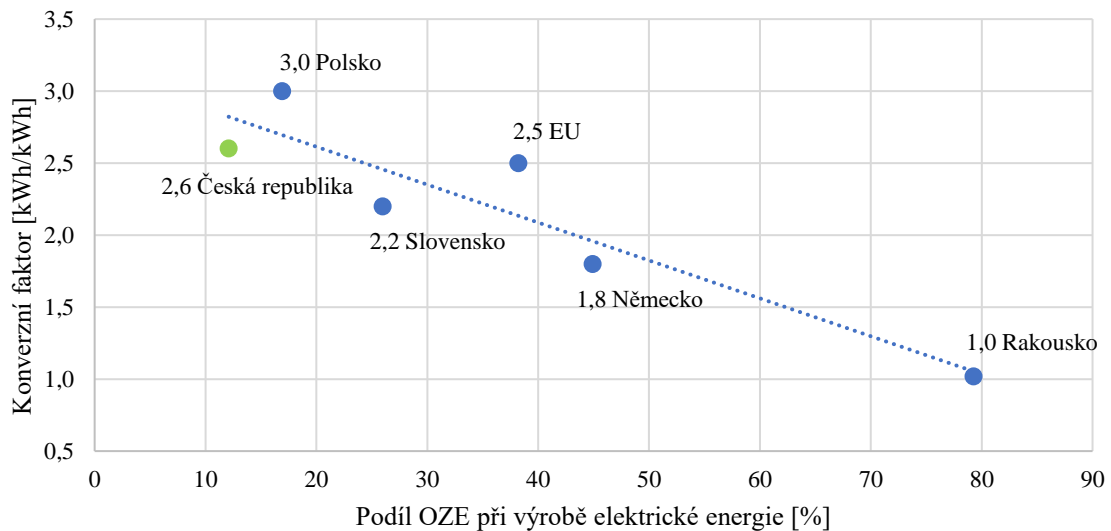


Graf 3.6 - Porovnání konverzních faktorů v Evropě [27]

Pro porovnání konverzních faktorů pro elektrickou energii různých států Evropy neexistuje ucelený a aktualizovaný zdroj. Důvod je takový, že každý stát provádí výpočet svého faktoru primární energie z neobnovitelných zdrojů energie jiným způsobem. Následná tabulka 3.3 a graf 3.7 jsou vytvořeny kombinací uvedené literatury a zobrazují závislost hodnoty faktoru neobnovitelné primární energie na podílu obnovitelných zdrojů při výrobě elektrické energie.

Tabulka 3.3- Závislost konverzního faktoru na podílu OZE při výrobě elektřiny [3] [28]-[33]

stát	Česká republika	Polsko	Slovensko	EU	Německo	Rakousko
podíl OZE [%]	12,1	16,9	26,0	38,2	44,9	79,3
konverzní faktor [kWh/kWh]	2,6	3,0	2,2	2,5	1,8	1,0



Graf 3.7 - Závislost konverzního faktoru na podílu OZE při výrobě elektřiny [3] [28]-[33]

Z grafu 3.7 a tabulky 3.3 je patrné, že s rostoucím podílem obnovitelných zdrojů při výrobě elektřiny se hodnota konverzního faktoru úměrně snižuje. Například Rakousko má podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů až okolo hodnoty 80 %. Jeho konverzní faktor pro elektřinu je tedy minimální, a to 1,0. Naopak Polsko a Česká republika nemá obsazení obnovitelných zdrojů při výrobě elektřiny vysoké. S tím souvisí i vysoký konverzní faktor pro elektrickou energii s hodnotami 3,0 a 2,6.

3.2. Standardy energeticky úsporných budov

V dnešní době se v Evropské unii představují nové návrhy na to, jak omezit emise skleníkových plynů. V dlouhodobé strategii platí snaha o snížení emisí o 40 % do roku 2030 a dokonce až o 80-95 % do roku 2050 ve srovnání s rokem 1990. [2]

Snaze snižování emisí skleníkových plynů se nelze vyhnout ani u provozu budov. Evropská unie v tomto směru požaduje snižování provozní energie budov, především potřeby primární neobnovitelné energie. Pojmy označující úsporné budovy jsou:

- budova s téměř nulovou spotřebou energie;
- nulová/plusová budova;
- pasivní dům.

3.2.1. Budova s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB)

Budovy s téměř nulovou spotřebou energie se označují zkratkou NZEB (Nearly zero energy building). Požadavky na NZEB v ČR jsou uzákoněny již od roku 2016. Avšak až od roku 2020 platí, z aktualizované Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov, že každá nově postavená budova s užitnou podlahovou plochou menší než 350 m², musí splňovat požadavky budovy s téměř nulovou spotřebou energie. [2]

Evropská Unie definuje NZEB jako budovu s nízkou energetickou náročností, jejichž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta energií z obnovitelných zdrojů, které jsou v místě či jeho okolí. Tato náročnost budovy je vyjádřena číselným ukazatelem spotřeby neobnovitelné primární energie v kWh/(m²·rok). Snížená spotřeba požadované energie by také měla být ve značné míře pokryta obnovitelnými zdroji energie. [2]

Tento popis je zavádějící a každý si může pod slovem značný představit něco jiného. Konkrétní kritéria, které musí NZEB splňovat, si stanovuje každý stát Evropské unie individuálně, mohou se tak od sebe výrazně lišit (viz tabulka 3.5). Parametry definující budovu s téměř nulovou spotřebou energie v České republice jsou uvedeny ve vyhlášce č. 264/2020 Sb. (viz tabulka 3.4). Prvním parametrem NZEB je snížení referenční hodnoty součinitele prostupu tepla na 70 %. Toto vede ke kvalitnějšímu zateplení nových budov. Konkrétně se jedná o zlepšení kvality oken a dveří, přidání tepelné izolace obálky budovy a vyvarování se tepelných mostů. Další kritérium, které NZEB musí splňovat, je snížení potřeby neobnovitelné primární energie o 25 % u rodinných domů a o 20 % u bytových domů. [3] [34] [35]

Tabulka 3.4 - Definice NZEB podle vyhlášky 264/2020 [3]

energetický ukazatel	redukční čísel požadované základní hodnoty
průměrný součinitel prostupu tepla	0,70
potřeba <i>nPE</i> (rodinný dům)	0,75
potřeba <i>nPE</i> (bytový dům)	0,80

Tabulka 3.5 - Srovnání definic NZEB států EU [35]

stát	potřeba <i>nPE</i> [kWh/m ² ·rok]
Francie	40 až 65
Velká Británie	44
Česká republika	75 až 80 % <i>nPE</i> referenční budovy
Polsko	60 až 75
Německo	40 % <i>nPE</i> referenční budovy
Belgie (oblast Brusel)	45
Dánsko	20
Slovensko	32 až 54
Maďarsko	50 až 72
Irsko	45

Z tabulky 3.5 jsou zřejmé rozdíly parametrů NZEB u různých států EU. V České republice se například stanovuje potřeba *nPE* ve srovnání s referenční budovou podobně jako v Německu. Ve většině ostatních států EU se potřeba *nPE* stanovuje v kWh/m²·rok [17][34][35]

3.2.2. Energeticky nulové/plusové

Snahy investorů a developerů mohou však sahat mnohem výše, než je doporučeno Evropskou unií v podobě budov s téměř nulovou spotřebou energie. Vznikají tím domy, které se dají označit jako nulové či dokonce plusové. Jejich hodnocení je nezávazně dáno normou ČSN 73 0540-2 o tepelné ochraně budov a jedná se především o splnění parametru potřeby neobnovitelné primární energie. U nulových budov je snaha snížit tuto potřebu na nulovou a u plusových domů se dokonce dostat na hodnotu zápornou. To znamená že nulový dům dokáže v roční bilanci svou produkcí obnovitelné energie nahradit všechnu neobnovitelnou energii, kterou sám spotřebuje. Plusový dům by měl v roční bilanci dokonce předčít svou produkcí spotřebu *nPE*. Kvůli ročnímu hodnocení lze docílit, že vysokou spotřebu neobnovitelné energie v zimě lze vykompenzovat

značnou produkcí obnovitelné energie v létě. K produkci obnovitelné energie nejčastěji slouží fotovoltaické panely umístěné na střeše budovy. Nulové či plusové rodinné domy jsou pak dány především velikostí střechy, respektive velikostí plochy fotovoltaického systému. U bytových domů je situace oproti rodinným domům složitější, neboť poměr střechy ku energetické potřebě budovy je značně menší.

Energetická bilance domů se porovnává ve dvou třídách. Ve třídě B se do hodnocení zahrnuje vytápění, příprava teplé vody a pomocné energie. Ve třídě A se hodnotí veškerá energie. To znamená, že se do mixu započítávají složky ze třídy B, a navíc uživatelská elektrická energie (osvětlení, spotřebiče).

Další kritéria, která musí dům splňovat, aby mohl být považován za nulový/plusový, je hodnota součinitele prostupu tepla a měrná potřeba tepla na vytápění. Tyto požadavky vedou investory a projektanty k výstavbě budov s kvalitní obálkou budov. [34][35]

Tabulka 3.6 - Definice nulové a blízce nulové budovy podle ČSN 73 0540-2 [22]

budova	průměrný součinitel prostupu tepla [W/m ² ·K]	měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok]	měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie [kWh/m ² ·rok]	
			úroveň A	úroveň B
nulová	≤ 0,25 rodinné domy	≤ 20 rodinné domy	0	0
blízká nulové	≤ 0,35 bytové domy	≤ 15 bytové domy	≤ 80	≤ 30

3.2.3. Pasivní dům (PHI)

S první představou pasivního domu přišel Wolfgang Feist, zakladatel Passivhaus Institutu (PHI). Ten definoval první pasivní dům jako: „*Pasivní dům je budova, pro kterou může být tepelný komfort dosažen pouze dohřevem nebo dochlazením čerstvého vzduchu, který je potřeba pro zajištění dostatečné kvality vnitřního vzduchu – bez potřeby dodatečné recirkulace vzduchu*“. Jeho snahou bylo stavět domy s minimálním dopadem na životní prostředí.

V rámci Passivehaus Institutu byla stanovena kritéria (viz tabulka 3.7), která musí dům splňovat, aby mohl být prohlášen za pasivní. Zda jsou kritéria splněna, zjišťují výpočty podle nástroje PHPP. (Passivhaus Projektierungspaket). Jedná se o výpočetní nástroj pro

optimalizaci návrhu a hodnocení energetické bilance pasivních domů. PHPP bere v potaz shodnou výslednou kvalitu budovy při reálném provozu se zohledněním lokálních klimatických podmínek v místě budovy. Výpočty v PHPP často vycházejí z norem Evropské unie, avšak v některých parametrech se liší, jako například v okrajových podmínkách (klimatické hodnoty, účinnosti zdrojů apod.).

Tabulka 3.7 - Přehled kritérií pasivního domu podle PHI [36]

parametr	hodnota
měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok] nebo měrná tepelná ztráta [W/m ²]	≤ 15
měrná neobnovitelné primární energie [kWh/m ² ·rok]	≤ 60
průvzdušnost obálky budovy [1/h]	≤ 0,6
podíl ročních hodin překračujících teplotu 25 °C [%]	≤ 10

V roce 2015 přišel PHI ještě s novým hodnocením a rozdělením pasivních domů do tří tříd, a to Clasic, Plus a Premium (viz tabulka 3.8). Jedná se o hodnocení pasivních domů na další desítky let. Podle vize jsou nastavena na dobu, kdy všechna energie v síti bude pocházet z obnovitelné primární energie, tedy ze sluneční, větrné a vodní energie, biomasy a syntetických plynů.

Hodnocení se pak týká především omezení potřeby obnovitelné primární energie. Ta se zjistí podobně jako potřeba *nPE* pomocí konverzních faktorů, které jsou zavedeny i pro obnovitelné zdroje energie. Budovy třídy Passivehaus Plus a Premium musí navíc splňovat danou hodnotu vlastní produkce obnovitelné energie. Té se nejčastěji docílí solárními panely na střeše domu. [17][34][35]

Tabulka.3.8 - Třídy pasivních domů podle PHI [35]

třídy	potřeba obnovitelné primární energie [kWh/m ² · rok]	produkce obnovitelné energie budovou [kWh/m ² ·rok]
Clasic	< 60	-
Plus	< 40	> 60
Premium	< 30	> 120

3.2.4. Pasivní dům (ČR)

V České republice bylo přizpůsobeno hodnocení pasivních domů podmínkám ČR. Pro hodnocení podmínek z Passivehaus institutu existují totiž některé výhrady. Především se jedná o nečerpání z evropských vyhlášek, podle kterých se na našem území musíme řídit. To vede téměř k nemožným podmínkám, které by musely budovy splňovat, aby byly považovány za pasivní. Ke splnění podmínek by se musela nadhodnocovat izolační kvalita materiálů tvořící obálku budovy, získávání tepla počtem osob v budově či zisky okny. Dalším předmětem kritiky je také nadměrné potlačování vizuální kvality domu na úkor jeho energetickému cíli.

Podmínky pasivních domů v ČR jsou definovány normami TNI 730329 pro rodinné domy a TNI 730330 pro bytové domy (viz tabulka 3.9). Doporučené součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí obálky pasivních domů definuje vyhláška ČSN 730540-2. (viz tabulka 3.10)

Do potřeby nPE se podle českých norem zahrnuje vytápění, příprava teplé vody a pomocné energie. Oproti PHI se však do této kategorie nezahrnuje potřeba uživatelské elektrické energie. Proto je hodnota potřeby nPE téměř poloviční při porovnání s požadavky podle PHI. [17][34][35]

Tabulka 3.9 - Parametry definující pasivní dům podle TNI 73 0329 a TNI 73 0330 [35]

parametr	TNI 73 0329 rodinné domy	TNI 730330 bytové domy
součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí	podle normy ČSN 73 0540-2	
průměrný součinitel prostupu tepla [$W/m^2 \cdot rok$]	$\leq 0,22$	$\leq 0,22$
přívod čerstvého vzduchu do všech pobytových místností	zajištěn	
účinnost získávání tepla z odváděného vzduchu [%]	≥ 75	≥ 70
neprůvzdušnost obálky [1/h]	$\leq 0,6$	$\leq 0,6$
nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti [$^{\circ}C$]	≤ 27	≤ 27
měrná potřeba tepla na vytápění [$kWh/m^2 \cdot rok$]	≤ 20	≤ 15
potřeba nPE [$kWh/m^2 \cdot rok$]	≤ 60	≤ 60

Tabulka 3.10 - Výtazek z normy ČSN 73 0540-2 [35]

popis konstrukce	doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy U_{pas} [W/m ² K]
vnější stěna k nevytápěné půdě	0,18 až 0,12
střecha strmá se sklonem > 45	0,18 až 0,12
strop pod nevytápěnou půdou	0,15 až 0,1
strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,15 až 0,1
střecha plochá a šikmá se sklonem < 45	0,15 až 0,1
podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,22 až 0,15

4. Analýza rodinného domu

4.1. Rodinný dům

Pro konkrétní ukázkou produkce emisí CO₂ a potřeby neobnovitelné primární energie svázané s provozem rodinného domu byl uvažován následující příklad rodinného domu s bilancí energie na vytápění, přípravu teplé vody a elektrické energie pro provoz spotřebičů. Variantně budou porovnány následující zdroje tepla

- kotel na hnědé uhlí;
- kotel na biomasu;
- elektrokotel;
- kondenzační kotel na zemní plyn;
- standardní kotel na zemní plyn;
- tepelné čerpadlo voda-voda;
- tepelné čerpadlo země-voda;
- tepelné čerpadlo vzduch-voda.

Rodinný dům, který je v této práci zkoumán, se nachází v Českých Budějovicích. Pro toto umístění je počet dní v otopném období 244, uvažuje-li se střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období 13 °C. Rodinný dům o podlahové vytápěné ploše 200 m² je postaven v nízkoenergetickém standardu s měrnou potřebou tepla na vytápění 50 kWh/m².rok. Roční potřeba tepla na vytápění $Q_{p,VYT} = 10 \text{ MWh}$. Vytápění je zajištěno nízkoteplotní otopnou soustavou s návrhovým teplotním rozdílem 45/35 °C.

V rodinném domě, který je porovnáván žijí 4 osoby, každá s průměrnou spotřebou teplé vody 40 l/den vody o teplotě 50 °C. Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV}$ [kWh/rok] se stanoví podle

$$Q_{p,TV} = (1 + z) \cdot \frac{n \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \left[\frac{MWh}{rok} \right] \quad (4.1)$$

kde je

z přírůžka na tepelné ztráty [-], uvažuje se zásobníkový ohřev vody bez cirkulace ($z = 0,15$);

n počet dní v roce [-];

$V_{TV,den}$ průměrná denní potřeba [l/den], pro 4 osoby ($V_{TV,den} = 160$ l/den);

ρ hustota vody [kg/m^3];

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

t_{TV} teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$], uvažuje se 50°C ;

t_{SV} teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$], uvažuje se 10°C . [37]

$$Q_{p,TV} = (1 + 0,15) \cdot \frac{365 \cdot 0,16 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot (50 - 10)}{3,6 \cdot 10^6} = 3,12 \frac{\text{MWh}}{\text{rok}} \quad (4.2)$$

V domě, který je vybaven kotlem na tuhá paliva (uhlí, biomasa), se uvažuje využití tuhých paliv pouze v otopném období a mimo otopné období se uvažuje elektrický ohřev teplé vody.

Rodinný dům je uvažován s uvedenými spotřebiči v tabulce 4.1. Nejvíce elektrické energie se mezi spotřebiči vynaloží k přípravě jídla. Celková spotřeba rodinného domu za rok vychází $E_{sp} = 3,33 \text{ MWh/rok}$. Pro srovnání průměrná spotřeba elektřiny u menšího až středního rodinného domu, kde se elektřinou pouze svítí a napájí běžné spotřebiče, se pohybuje mezi 2 a 3,2 MWh ročně.

Tabulka 4.1 - Přehled použitých spotřebičů v rodinném dom [38]

spotřebič	příkon [W]	doba provozu [h/den]	roční spotřeba [MWh/rok]
elektrický sporák	2000	1	0,72
elektrická trouba	2000	0,5	0,36
rychlovarná konvice	2000	0,2	0,14
mikrovlonná trouba	600	0,3	0,07
lednička a mrazák	60	24	0,52
myčka nádobí	650	1	0,23
pračka	650	1	0,23
sušička prádla	800	1	0,29
osvětlení 1	18	8	0,052
osvětlení 2	12	4	0,017
TV	70	6	0,15
PC (2x)	160	8	0,46
router (internet)	10	24	0,09
celkem			3,33

U každého zdroje tepla se uvažuje rozdílná provozní účinnost podle normy ČSN 73 0331-1 o energetické náročnosti budov. Pro výpočet potřeby energie zemního plynu ve variantě s plynovým kotlem se pro výpočet použije hodnota účinnosti vztažená ke spalnému teplu (stupeň využití paliva). Přepočtení účinnosti vztažené k výhřevnosti $\eta_{H,gen}$ na hodnoty účinnosti vztažené ke spalnému teplu $\eta_{H,gen,gross}$ lze stanovit na základě vztahu

$$\eta_{H,gen,gross} = \frac{\eta_{H,gen}}{f_{\frac{H_s}{H_i}}} [-] \quad (4.3)$$

kde je

f_{H_s/H_i} poměr spalného tepla H_s k výhřevnosti H_i pro zemní plyn (1,11);

$\eta_{H,gen}$ sezónní účinnost výroby tepla zdrojem vztažená k výhřevnosti [-],

(kondenzační: $\eta_{H,gen} = 1,05$, Standardní: $\eta_{H,gen} = 0,83$). [6]

V případě tepelných čerpadel se sezónní účinnost zdroje tepla ve výpočtu energetické náročnosti budov nahrazuje ročním provozním topným faktorem, který se stanoví podle vztahu (2.1) a (2.2).

Tabulka 4.2 - Přehled zdrojů tepla a jejich výsledné sezónní účinnosti [6]

zdroje tepla	sezónní účinnost	
	vytápění	příprava TV
kotel na hnědé uhlí splňující požadavky třídy III – bez AKU	0,66	0,66
kotel na biomasu splňující požadavky třídy III – s AKU	0,74	0,74
elektrokotel	0,96	0,96
kondenzační modulový hořák na zemní plyn	0,95	0,95
standardní jednostupňový hořák na zemní plyn	0,75	0,75
tepelné čerpadlo voda-voda,	4,54	3,11
tepelné čerpadlo země-voda,	4,04	2,84
tepelné čerpadlo vzduch-voda,	2,67	2,20

Množství emisí CO₂ se vypočte podle vzorce

$$m_{CO_2} = \frac{Q_p}{\eta_i} \cdot F_{CO_2,i} \left[\frac{t \text{ CO}_2}{rok} \right] \quad (4.4)$$

kde je

Q_p potřeba energie [MWh/rok];

η_i sezónní účinnost zdroje tepla (viz tabulka 4.2) [-];

$F_{CO_2,i}$ emisní faktor dle vyhlášky č. 141/2021 Sb. (viz tabulka 3.1) [t CO₂/MWh]. [23]

Potřeba neobnovitelné primární energie se získá podle vzorce

$$nPE = \frac{Q_p}{\eta_i} \cdot F_{nPE,i} \text{ [MWh/rok]} \quad (4.5)$$

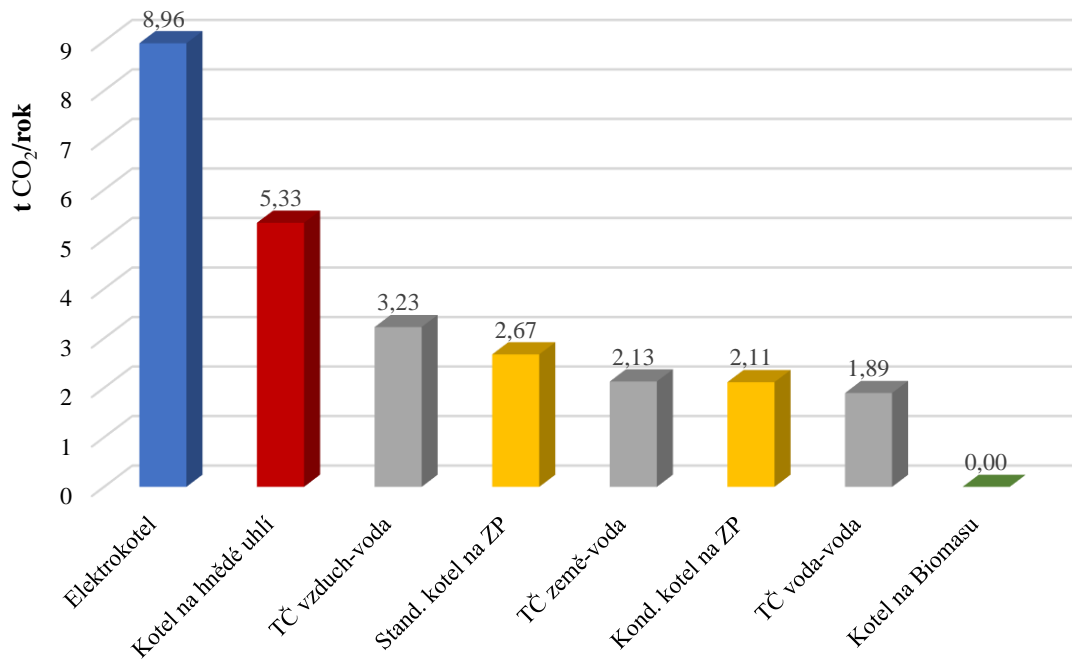
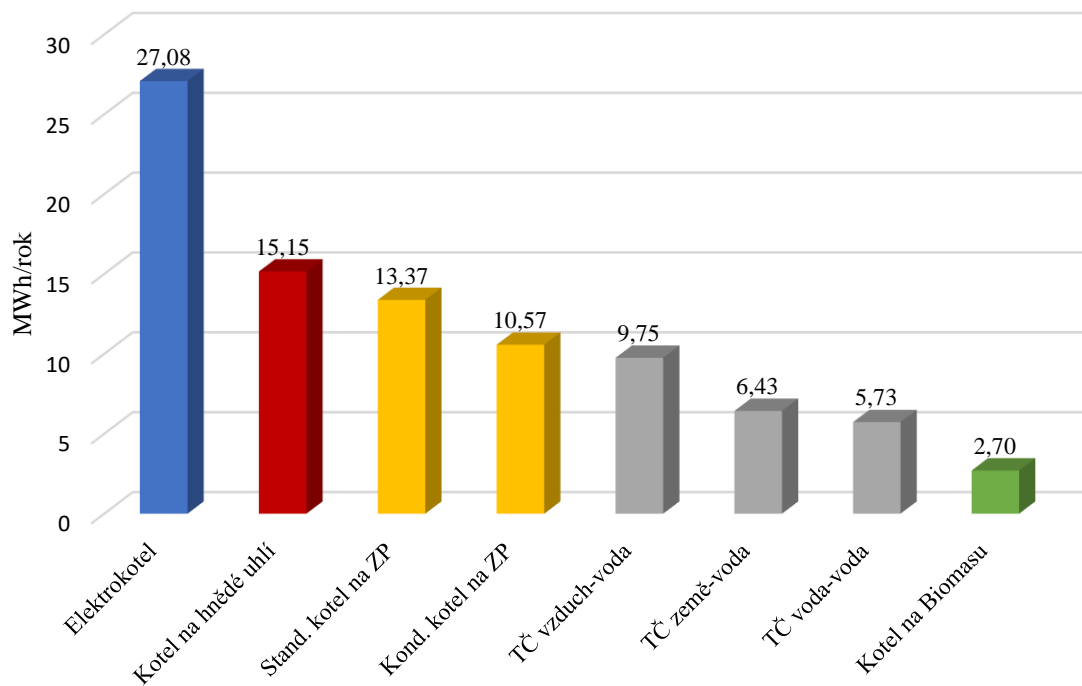
kde je

Q_p potřebná energie [MWh/rok];

η_i sezónní účinnost zdroje tepla (viz tabulka 4.2) [-];

$F_{nPE,i}$ konverzní faktor dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. (viz tabulka 3.2) [MWh/MWh]. [2]

4.2. Vytápění

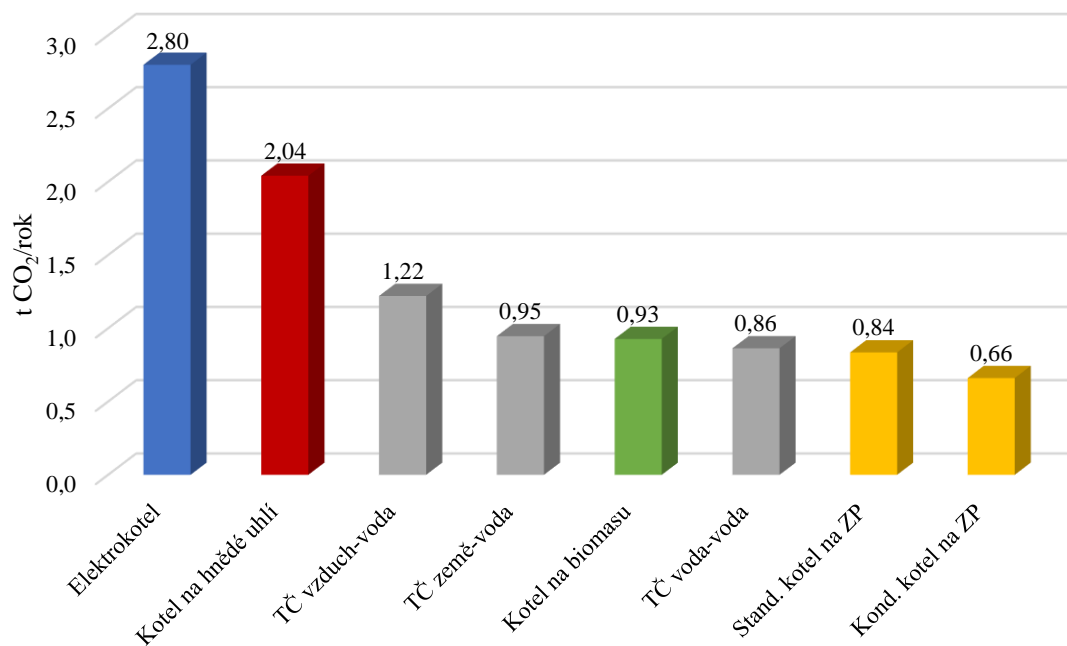
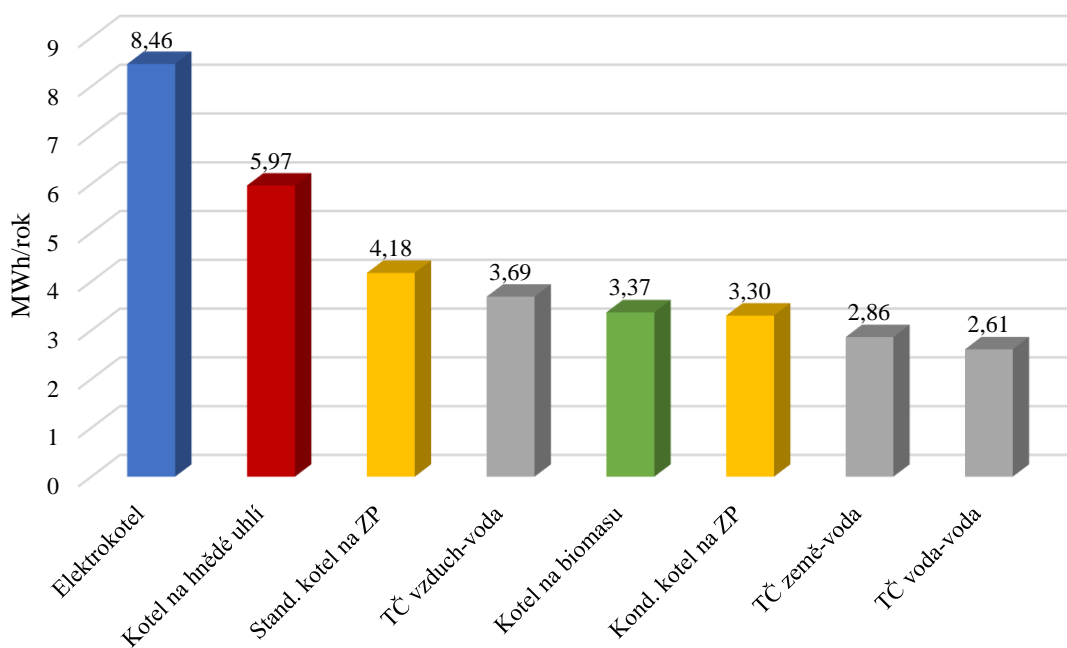
Graf 4.1 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska produkce emisí CO₂ – vytápění

Graf 4.2 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska potřeby nPE – vytápění

Z grafů 4.1 a 4.2 je patrné, že z environmentálního porovnání tepelných zdrojů při vytápění v rodinném domě, si nejhůře vede elektrokotel. Produkce emisí CO₂ i potřeba neobnovitelné primární energie je jednoznačně u tohoto zdroje vytápění nejvyšší, a to z důvodu vysoké environmentální náročnosti produkce elektrické energie v ČR. Biomasa je naopak k životnímu prostředí v těchto dvou kategoriích nejšetrnější. V grafu 4.1 dokonce vyprodukovala nulovou hodnotu emisí CO₂ díky nulovému emisnímu faktoru. Zajímavé je porovnání tepelných čerpadel a kotlů na zemní plyn. V grafu 4.1 vyprodukují tyto zdroje vytápění velmi podobné množství emisí CO₂. Z hlediska potřeby *nPE* je šetrnější variantou k životnímu prostředí vytápění pomocí tepelných čerpadel.

4.3. Příprava teplé vody

I pro systémy přípravy teplé vody se nejméně šetrnou možností k životnímu prostředí jeví elektrokotel a kotel na hnědé uhlí. U kotle na hnědé uhlí a biomasu byla mimo topné období uvažována příprava teplé vody elektrickým zásobníkovým ohříváčem. Tím se jejich hodnota jak u emisí CO₂, tak u potřeby neobnovitelné primární energie významně zvedla. To je nejvíce znát v případě biomasy, která by měla jinak tyto hodnoty minimální. V grafu 4.3 vycházejí z environmentálního porovnání nejlépe kotle na zemní plyn. Z grafu 4.4 se jeví nejšetrnější možností přípravy teplé vody mezi našimi zdroji tepelné čerpadlo voda-voda.

Graf 4.3 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska produkce emisí CO₂ – příprava TV

Graf 4.4 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska potřeby nPE – příprava TV

4.4. Uživatelská energie

Pro kompletní environmentální porovnání rodinného domu se tato hodnota nesmí zanedbat. Výsledná hodnota se získá pouze vynásobením potřeby elektrické energie a ostatních spotřebičů emisním a konverzním faktorem pro elektrickou energii.

Pro vyhodnocení environmentální náročnosti rodinného domu v oblasti spotřeby elektrické energie na osvětlení a ostatní spotřebiče se použijí příslušné emisní a konverzní faktory pro elektrickou energii. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3 - Vyuštění emise CO₂ a potřeba nPE za uživatelskou energii

vypuštěné emise CO ₂	potřeba nPE
t /rok	MWh/rok
3,37	8,66

4.5. Celkové porovnání

4.5.1. Emise CO₂

Tabulka 4.4 - Celkové porovnání produkce emisí CO₂ rodinného domu

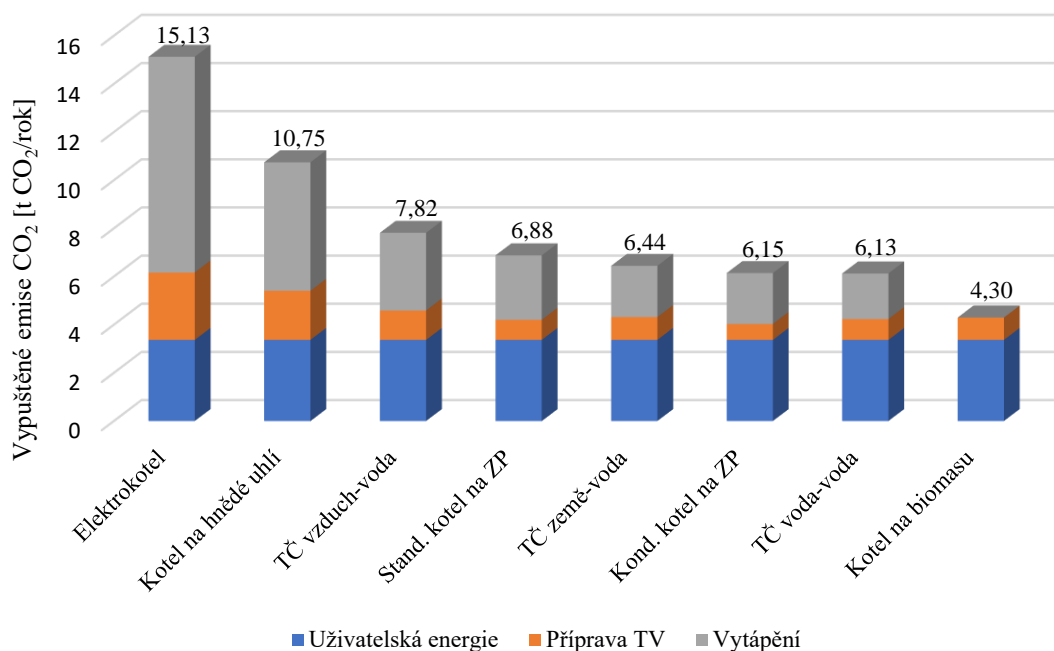
tepelný zdroj	vypuštěné emise CO ₂ [t CO ₂ /rok]			
	vytápění	příprava TV	uživatelská energie	celkem
elektrokotel	8,96	2,80	3,37	15,13
kotel na hnědé uhlí	5,33	2,04	3,37	10,75
TČ vzduch-voda	3,23	1,22	3,37	7,82
stand. kotel na ZP	2,67	0,84	3,37	6,88
TČ země-voda	2,13	0,95	3,37	6,44
kond. kotel na ZP	2,11	0,66	3,37	6,15
TČ voda-voda	1,89	0,86	3,37	6,13
kotel na biomasu	0,00	0,93	3,37	4,30

Při srovnání všech tepelných zdrojů z hlediska emisí CO₂ (viz tabulka 4.4 a graf 4.5), je patrné, že elektrokotel je nejméně šetrný se suverénně nejvyšší hodnotou 15,13 t CO₂/rok. Další nejméně „zeleným“ tepelným zdrojem je v našem porovnání kotel na hnědé uhlí s vypuštěnými 10,75 t CO₂/rok. V environmentálním hodnocení z hlediska vypuštěných emisí CO₂ jsou na tom tepelná čerpadla a kotle na zemní plyn velmi

podobně. Jejich hodnoty celkově vypuštěných emisí těchto tepelných zdrojů se pohybují mezi hodnotami 6,11 a 7,82 t CO₂/rok. Nejméně emisí ze všech porovnaných tepelných zdrojů se vypustí používáním kotle na biomasu s hodnotou 4,3 t CO₂/rok. Hodnoty emisních faktorů tohoto paliva jsou nulové. Jedinou nevýhodou kotle na biomasu je, že se nevyužívá mimo otopné období na přípravu teplé vody, kdy musí být nahrazen elektrokotlem.

Při porovnání tepelných čerpadel vychází nejhorší verzí tepelné čerpadlo vzduch-voda. Naopak nejvhodnější je tepelné čerpadlo voda-voda. Všechna tepelná čerpadla mají stejné hodnoty emisních faktorů, jejich rozdílná hodnota vyprodukovaných emisí je dána pouze rozdílnou účinností.

Při porovnání zdrojů tepla na zemní plyn vychází šetrnější variantou k životnímu prostředí kondenzační kotel na zemní plyn, a to opět díky vysoké účinnosti. Zajímavé je, že při přípravě teplé vody, vypustí kotle na zemní plyn nejméně emisí CO₂ ze všech námi porovnaných zdrojů.



Graf 4.5 - Celkové porovnání produkce emisí CO₂ rodinného domu

4.5.2. Neobnovitelná primární energie

Tabulka 4.5 - Celkové porovnání potřeby *nPE* rodinného domu

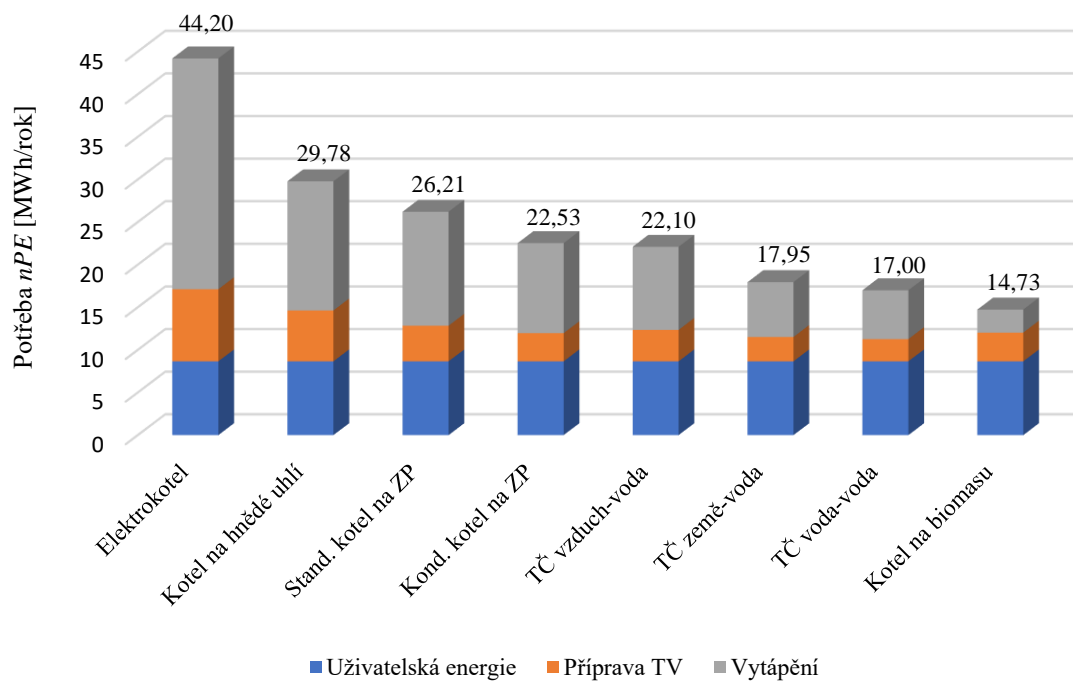
tepelný zdroj	potřeba <i>nPE</i> [MWh/rok]			
	vytápění	příprava TV	uživatelská energie	celkem
elektrokotel	27,08	8,46	8,66	44,20
kotel na hnědé uhlí	15,15	5,97	8,66	29,78
stand. kotel na ZP	13,37	4,18	8,66	26,21
kond. kotel na ZP	10,57	3,30	8,66	22,53
TČ vzduch-voda	9,75	3,69	8,66	22,10
TČ země-voda	6,43	2,86	8,66	17,95
TČ voda-voda	5,73	2,61	8,66	17,00
kotel na biomasu	2,70	3,37	8,66	14,73

Při srovnání potřeby neobnovitelné primární energie (viz tabulka 4.5 a graf 4.6) je patrné, že elektrokotel je opět nejméně šetrný k životnímu prostředí, dokonce i s výraznějším rozdílem než v předchozí kapitole 4.5.1. Potřeba tohoto tepelného zdroje je až 44,20 MWh *nPE*/rok. Druhou nejvyšší potřebu *nPE* docílíme používáním kotle na hnědé uhlí, který za rok spotřebuje 29,78 MWh *nPE*.

Oproti kapitole 3.5.1 je rozdíl mezi kotli na zemní plyn a tepelnými čerpadly znatelnější. Z environmentálního hodnocení potřeby *nPE* vycházejí hůře kotle na zemní plyn. Jejich potřeba *nPE* za rok se výrazně neliší od potřeby *nPE* kotle na hnědé uhlí a dosahuje hodnot 26,21 a 22,53 MWh. „Zelenějším“ z této dvojice tepelných zdrojů je kondenzační kotel, neboť jeho účinnost je vyšší oproti kotli standardnímu.

Hodnocení tepelných čerpadel dle *nPE* je příznivé. Nejeftektivnější z těchto tří tepelných zdrojů je tepelné čerpadlo voda-voda, jehož potřeba neobnovitelné energie je pouze o necelé 3 MWh vyšší než u kotle na biomasu, nejméně výhodné je provedení tepelného čerpadla vzduch-voda, které vyprodukovalo 22,10 MWh/rok.

Kotel na biomasu je opět nejšetrnější k životnímu prostředí i v tomto environmentálním porovnání z hlediska potřeby neobnovitelné primární energie. Potřeba *nPE* při provozu kotle na biomasu je 14,73 MWh/rok.



Graf 4.6 - Celkové porovnání potřeby nPE rodinného domu

5. Závěr

Ze závěrečné analýzy je zřejmé, že z environmentálního hodnocení provozu rodinného domu vychází nejlépe kotel na biomasu. Ze všech zdrojů pro vytápění a přípravu teplé vody vyprodukuje nejméně škodlivých emisí CO₂ a spotřebuje nejméně neobnovitelné primární energie. Je však nutné zmínit i nevýhody, které s sebou provoz budovy pomocí kotle na biomasu přináší. V budově je potřeba vymezit prostor pro skladování biomasy, kotel na biomasu je také nutné obsluhovat.

Dalším velmi dobře hodnoceným zdrojem vytápění a přípravy teplé vody z environmentálního porovnání jsou tepelná čerpadla (nejlepší TČ voda-voda). Nevýhodou TČ voda-voda je však nutná potřeba spodní vody v okolí budovy, která není vždy dostupná. Další nevýhodou tepelných čerpadel je, i přes jejich již dlouhodobý provoz, vysoká pořizovací cena.

Zdroje tepla na zemní plyn vychází ze závěrečné analýzy kladně. Je nutno zmínit rozdíly hodnot mezi kondenzačním a standardním kotlem, a to z důvodu rozdílné účinnosti obou zdrojů tepla. Nevýhodou zemního plynu je nutné zajištění dodávky zemního plynu do budovy, které může být v některých místech obtížně proveditelné například v horských oblastech.

Hodnoty vyprodukovaných emisí CO₂ a potřeby neobnovitelné primární energie jsou vysoké při provozu budovy pomocí kotle na hnědé uhlí, z environmentálního hodnocení tedy není jeho použití vhodné. Proto jsou Evropskou komisí zavedeny kotlíkové dotace, které motivují uživatele přejít od tohoto způsobu vytápění a přípravy teplé vody. Další nevýhody, kromě špatného environmentálního hodnocení provozu budovy pomocí kotle na hnědé uhlí, jsou velmi podobné jako u kotle na biomasu. Je nutné vymezit prostor pro skladování uhlí, také je nezbytná obsluha kotle.

Ze závěrečného porovnání provozu rodinného domu je zřejmé, že elektrokotel je z environmentálního hlediska nejméně vhodný. Hodnoty vyprodukovaných emisí CO₂ a potřeby *nPE* jsou razantně vyšší než u ostatních zdrojů pro vytápění a přípravu teplé vody. To je dáno především vysokými hodnotami konverzního a emisního faktoru. Provoz budovy pomocí elektrokotle však přináší oproti ostatním zdrojům i výhody. Jejich pořizovací cena je nízká. Není potřeba sklad na palivo, či dodávka paliva jako u zemního plynu.

Seznam literatury

- [1] How are emissions of greenhouse gases by the EU evolving?, 2018. European Commission [online]. EU: eurostat [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-4a.html>
- [2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, 2010. In: . EU: Evropský parlament a Evropská komise, ročník 2010, číslo 31. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02010L0031-20210101&from=EN>
- [3] ČESKÁ REPUBLIKA, 2020. *Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov*. In: . Praha: Zákony pro lidi, ročník 2020, číslo 264.
- [4] MATĚJKA, Radek a Zbyněk ŠTECH, 2017. SPOTŘEBA PALIV A ENERGÍÍ V DOMÁCNOSTECH. In: Český statistický úřad [online]. Praha: ČSU [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/11272/54449429/csu_tk_energo_prezentace.pdf/fa78fbb6-670e-4a08-8918-62c6a26defe1?version=1.1
- [5] Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR 2019, 2019. In: Energy Regulatory Office [online]. Praha: ERÚ [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/5381883/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/debe8a88-e780-4c44-8336-a0b7bbd189bc
- [6] ČSN 73 0331-1 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data, 2020. 1. Praha: unzm.
- [7] LYČKA, Zdeněk, 2013. Základní pojmy a definice k tématu teplovodní kotle na pevná paliva. TZB-info [online]. Praha: ČTK [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9767-zakladni-pojmy-a-definice-k-tematu-teplovodni-kotle-na-pevna-paliva>
- [8] PETRÁŠ, Dušan a KOLEKTIV, 2005. Vytápění rodinných a bytových domů. 1. Bratislava: JAGA. ISBN 80-8076-020-9.
- [9] Zjednodušené schéma kondenzačního kotle, 2020. In: Viessmann [online]. Praha: Viessmann, spol. s r.o. [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-vybrat-plynovy-kotel.html>

- [10] BLAŽÍČEK, Jan, 2015. Jaká je budoucnost CZT – 2. část. *TZB-info* [online]. Praha: ČTK, 2015 [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/13482-jaka-je-budoucnost-czt-2-cast>
- [11] Tepelná čerpadla, 2018. In: Elektronická učebnice [online]. Olomouc: ELUC [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2074>
- [12] ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3, 2018. 1. Praha: unMZ.
- [13] ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody, 2020. 1. Praha: unMZ.
- [14] Příprava teplé vody, 2018. *TZB-info* [online]. Praha: ČTK [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody>
- [15] ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování, 2006. 1. Praha: unMZ.
- [16] Nové energetické štítky od března 2021: Jaké změny nás čekají?, 2021. In: Alza [online]. Praha: alza.cz, 17. ledna 2021 [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/nove-energeticke-stitky-od-brezna-2021>
- [17] TYWONIAK, Jan a KOLEKTIV, 2012. Nízkoenergetické domy 3. 1. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [18] NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA, 2018. Emise CO₂ a jejich dopad na hodnocení zdrojů v budovách. *TZB-info* [online]. Praha: ČTK [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapani/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>
- [19] Global carbon atlas: Country emissions [online], 2020. France: BNP Paribas [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>
- [20] Clean energy wire [online], 2020. Germany: Journalism for the energy transition [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>

- [21] MATHONNIČRE, Gilles, 2020. IAEA: Country Nuclear Power Profiles [online]. France: CEA/DES/I-Tésé [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/France/France.htm#:~:text=Currently%2C%20abo%20out%2090%25%20of%20France's,GDP%20increases%20and%20energy%20efficiency>
- [22] Results of the calculation of Residual Mixes for the calendar year 2019, 2020. In: AIB [online]. EU: Association of Issuing Bodies [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: https://www.aib-net.org/sites/default/files/assets/facts/residual-mix/2019/AIB_2019_Residual_Mix_Results.pdf
- [23] ČESKÁ REPUBLIKA, 2021. Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu. In: . Praha: Zákony pro lidi, ročník 2021, číslo 140
- [24] PETRÁK, Jiří a Zdeněk LERL, 2007. Environmentální hodnocení spotřeby elektrické energie. TZB-info [online]. ČTK [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/4370-environmentalni-hodnoceni-spotreby-elektricke-energie>
- [25] NOVOTNÝ, Jiří a Tomáš MATUŠKA, 2017. Neobnovitelná primární energie. TZB-info [online]. Praha: ČTK [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [26] MATUŠKA, Tomáš, 2015. Hodnocení energetické náročnosti z pohledu primární energie - souvislosti s KVET. In: Fakulta strojní ČVUT v Praze [online]. Praha: Ústav techniky prostředí [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/10/ZZT-P10_primarni_energie_CZT.pdf.
- [27] ESSER, Anke a Frank SENSFUSS, 2016. Final report Evaluation of primary energy factor calculation options for electricity [online]. Germany [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final_report_pef_eed.pdf. Odporná. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).
- [28] A forward looking Primary Energy Factor for a greener European Future, 2018. In: Euroelectric [online]. EU: EPEE [cit. 2021-6-28]. Dostupné z:

https://www.eurelectric.org/media/2382/2018_industry_association_position_on_pemf_revision-2018-030-0114-01-e-h-216CBE01.pdf

- [29] WSPÓŁCZYNNIK NAKŁADU NIEODNAWIALNEJ ENERGII PIERWOTNEJ NA WYTWORZENIE, 2019. In: Geotermia [online]. Poland: Geotermia pylzice [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: http://geotermia.inet.pl/asp/pl_start.asp?typ=14&menu=55&strona=1&sub=12
- [30] RICHTLINIEN DES ÖSTERREICHISCHEN INSTITUTS FÜR BAUTECHNIK, 2020. In: Rechtsinformationssystem des Bundes [online]. Austria: Tir. LGBL. [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Landesnormen/LTI40044345/Anl._6_OI_B-RL_6_Energieeinsparung_und_Waermeschutz.pdf
- [31] SLOVENSKO, 2012. Vyhláška č. 364/2012 Z. z.o energetickej hospodárnosti budov. In: . Bratislava: Zákony pre ľudí, ročník 2012, číslo 364. Dostupné také z: <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2012-364>
- [32] PASCHOTTA, Rüdiger, 2021. Primärenergiefaktor. RP-Energie-Lexikon [online]. Německo: RP [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://www.energie-lexikon.info/primaerenergiefaktor.html>
- [33] Share of electricity production from renewables, 2020, 2020. In: Our world in data [online]. United kingdom: Y Combinator [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/share-electricity-renewables>
- [34] MATUŠKA, Tomáš, 2018. Budovy s nízkou energetickou náročností – co to vlastně znamená? Energetická náročnost budov – Energy Performance of Buildings [online]. Praha, 206-211 [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: [file:///D:/1cvut/Bakalarka/Matu%C5%A1ka_04_2018_ko01%20\(1\).pdf](file:///D:/1cvut/Bakalarka/Matu%C5%A1ka_04_2018_ko01%20(1).pdf)
- [35] MATUŠKA, Tomáš, 2018. Nulové, téměř nulové a plusové budovy v českém právním kontextu. Bydlení [online]. 42-45 [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <file:///D:/1cvut/Bakalarka/casopis%2001-02-18%20Matuska.pdf>
- [36] Passive House requirements, 2015. Passive Haus Institute [online]. Germany: PHI Literature [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm

- [37] VAVŘIČKA, Roman, 2020. 04 – Příprava teplé vody. Fakulta strojní ČVUT v Praze [online]. Praha: ČVUT [cit. 2021-6-29]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/ZTI/NEW/004_TV_1.pdf
- [38] Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii: Jaká je spotřeba elektřiny ostatních spotřebičů, 2021. TZB-info [online]. Praha: ČTK [cit. 2021-6-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>

Seznam Grafů:

Graf 1.1 - Rozdělení produkce skleníkových plynů v EU v roce 2018 v procentech [1].	1
Graf 2.1 - - Energetické potřeby provozu budov v procentech [4].....	2
Graf 2.2 - Podíl výroby elektrické energie v ČR v roce 2019 v procentech [5].....	3
Graf 3.1 - Nejvíce produkující země CO ₂ na světě za rok 2019 [18].....	18
Graf 3.2 - Nejvíce produkující země CO ₂ v Evropě za rok 2019 [18]	18
Graf 3.3 - Porovnání emisí CO ₂ vztažených na osobu pro státy z grafu 1 v r 2019 [18]	19
Graf 3.4 - Porovnání emisí CO ₂ vztažených na osobu pro státy z grafu 2 v r 2019 [18]	19
Graf 3.5 - Mezinárodní porovnání emisních faktorů pro elektřinu v Evropě v r. 2019 [21]	21
Graf 3.6 - Porovnání konverzních faktorů v Evropě [27].....	25
Graf 3.7 - Závislost konverzního faktoru na podílu OZE při výrobě elektřiny [3] [28]- [33].....	26
Graf 4.1 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska produkce emisí CO ₂ – vytápění	37
Graf 4.2 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska potřeby nPE – vytápění.....	37
Graf 4.3 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska produkce emisí CO ₂ – příprava TV	39
Graf 4.4 - Porovnání zdrojů tepla z hlediska potřeby nPE – příprava TV.....	39
Graf 4.5 - Celkové porovnání produkce emisí CO ₂ rodinného domu	41
Graf 4.6 - Celkové porovnání potřeby nPE rodinného domu	43

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 - Schéma kotle na tuhá paliva [7].....	5
Obrázek 2.2 Zjednodušené schéma kondenzačního kotle [9].....	7
Obrázek 2.3 Schéma tepelného čerpadla [11]	9

Seznam tabulek:

Tabulka 2.1 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro elektrokotel [6]	4
Tabulka 2.2 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro kotle na tuhá paliva do jmenovitého výkonu 50 kW pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6].....	4

Tabulka 2.3 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro kotle na tuhá paliva o jmenovitém výkonu v rozmezí 50 – 300 kW pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6]	5
Tabulka 2.4 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro plynové kotle a kotle na kapalná paliva do 35 kW určené pouze pro vytápění [6]	6
Tabulka 2.5 - Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro plynové kotle a kotle na kapalná paliva do 35 kW určené pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6]	6
Tabulka 2.6 Sezónní účinnost výroby tepla zdrojem tepla pro plynové kotle a kotle na kapalná paliva nad 35 kW určené pro vytápění a/nebo přípravu teplé vody [6]	7
Tabulka 2.7 - Typické jmenovité hodnoty COP _n pro tepelná čerpadla [6].....	9
Tabulka 2.8 - Součinitel ročního provozu tepelného čerpadla f _{H,COP} pro vytápění [6].....	9
Tabulka 2.9 - Součinitel ročního provozu tepelného čerpadla f _{W,COP} pro přípravu teplé vody [6].....	9
Tabulka 2.10 - Tepelný odpor při přestupu tepla z normy ČSN EN ISO 6946 [13]	12
Tabulka 2.11 - Součinitel prostupu tepla podle normy ČSN EN ISO 6946 [13]	12
Tabulka 2.12 – Bilance potřeby teplé vody. [15]	14
Tabulka 3.1- Emisní faktory podle vyhlášky č. 140/2021 Sb. [23]	21
Tabulka 3.2 - Konverzní faktory podle vyhlášky 264/2020 [3]	24
Tabulka 3.3- Závislost konverzního faktoru na podílu OZE při výrobě elektřiny [3] [28]- [33].....	26
Tabulka 3.4 - Definice NZEB podle vyhlášky 264/2020 [3].....	28
Tabulka 3.5 - Srovnání definic NZEB států EU [35]	28
Tabulka 3.6 - Definice nulové a blízce nulové budovy podle ČSN 73 0540-2 [22]	29
Tabulka 3.7 - Přehled kritérií pasivního domu podle PHI [36]	30
Tabulka.3.8 - Třídy pasivních domů podle PHI [35].....	30
Tabulka 3.9 - Parametry definující pasivní dům podle TNI 73 0329 a TNI 73 0330 [35]	31
Tabulka 3.10 - Výtažek z normy ČSN 73 0540-2 [35].....	32
Tabulka 4.1 - Přehled použitých spotřebičů v rodinném dom [38]	34
Tabulka 4.2 - Přehled zdrojů tepla a jejich výsledné sezónní účinnosti [6]	35
Tabulka 4.3 - Vypuštěné emise CO ₂ a potřeba nPE za uživatelskou energii	40
Tabulka 4.4 - Celkové porovnání produkce emisí CO ₂ rodinného domu.....	40
Tabulka 4.5 - Celkové porovnání potřeby nPE rodinného domu	42