FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

# Analýza vlivu kombinace plynových tepelných zdrojů a tepelných čerpadel na ukazatele energetické náročnosti

# Identifikace zadavatele a zpracovatele

**Zadavatel**

**Název:** ROBUR s.r.o.

**Adresa:** Vintrovna 3 g, 664 41 Popůvky

**IČO:** 48909513

**DIČ:** CZ48909513

**Zastoupen:**

**Poskytovatel:**

**Název:** České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební, katedra technických zařízení budov

**Adresa:** Thákurova 7 16629 Praha 6

**IČ:** 68407700

**DIČ:** CZ68407700

**Kontaktní osoba:** Ing. Miroslav Urban, Ph.D.; Miroslav.urban@fsv.cvut.cz,

**Zpracoval:** Ing. Miroslav Urban, Ph.D.; Miroslav.urban@fsv.cvut.cz,

**Datum:** 28.10.2024

.

# zdrojů a tepelných čerpadel na ukazatele energetické náročnosti

# Analýza vlivu kombinace plynových tepelných zdrojů a tepelných čerpadel na ukazatele energetické náročnosti

**Verze:**

Souhrnná zpráva ze dne 28.10.2024

**Zpracoval:**
Ing. Miroslav Urban, Ph.D.| miroslav.urban@fsv.cvut.cz |

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební, katedra technických zařízení budov
Thákurova 7 | 160 29 Praha 6 | tzb.fsv.cvut.cz

# OBSAH


**1 PŘEDMĚT ŘEŠENÍ ... 6**
**1.1 Okrajové podmínky ... 6**
1.1.1 Typy objektů a způsob užívání ... 6
1.1.2 Obálka budovy – stavební standard ... 7
1.1.3 Technické systémy ... 7
**2 PRINCIP HODNOCENÍ ENB ... 7**
**2.1 Klasifikační třídy EN ... 11**
**2.2 Podrobnosti výpočtu dodané energie do budovy ... 11**
**2.3 Energetická náročnost a systém vytápění ... 11**
**2.4 Typické hodnoty parametrů plynových tepelných čerpadel pro výpočet ENB ... 14**
**2.5 Referenční ukazatele pro systém vytápění ... 17**
**2.6 Okrajové podmínky výpočtu ... 17**
2.6.1 Profil typického užívání ... 17
2.6.2 Technické systémy ... 18
2.6.3 Klimatická data ... 19
2.6.4 Emise $CO_2$ ... 19
**3 ANALYZOVANÉ BUDOVY ... 19**
**3.1 Obecná skladová hala ... 19**
3.1.1 Popis objektu ... 19
3.1.2 Tepelná ztráta budovy ... 20
3.1.3 Potřeba tepla na vytápění ... 20
3.1.4 Legislativní požadavky na ENB ... 20
**3.2 Bytový dům ... 21**
3.2.1 Popis objektu ... 21
3.2.2 Tepelná ztráta budovy ... 22
3.2.3 Potřeba tepla na vytápění ... 22
3.2.4 Legislativní požadavky na ENB ... 23
**4 HODNOCENÍ PARAMETRŮ ... 24**
**4.1 Hodnocení celkové dodané energie do budovy ... 25**
4.1.1 Skladová hala ... 25
4.1.2 Bytový dům ... 26
**4.2 Hodnocení primární energie z neobnovitelných zdrojů budovy ... 26**
4.2.1 Skladová hala ... 26
4.2.2 Bytový dům ... 28
**4.3 Potřebný podíl snížení $Q_{nPE}$ ... 29**
4.3.1 Skladová hala ... 30
4.3.2 Bytový dům ... 30
**4.4 Emise $CO_2$ ... 30**
4.4.1 Skladová hala ... 31
4.4.2 Bytový dům ... 32
**4.5 Energonositele pro vytápění ... 34**
**5 SHRNUTÍ ... 35**
**6 ZÁVĚR ... 38**
**7 POJMY ... 38**
**8 LITERATURA ... 39**

**Příloha 1 – grafické výstupy pro model haly**

**Příloha 2 – grafické výstupy pro model bytového domu**

# 1 PŘEDMĚT ŘEŠENÍ

Smluvní výzkum v podobě této analýzy je zaměřen na porovnání vlivu kombinace tepelných čerpadel (elektrická a plynová) s kondenzačními kotli ve smyslu jejich dopadu na požadavky na energetickou náročnost podle legislativních podmínek nabývajících účinnosti od 1. 9. 2024.

Analýza je zaměřena na porovnání vlivu použití tepelných čerpadel ve smyslu jejich dopadu na úsporu energie v porovnání s požadavky na zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy. Řešení bude realizováno na vybraných typových objektech (skladová hala, bytový dům) pomocí níže uvedeného postupu. Cílem je porovnání variant technických systémů vzhledem k požadavkům tepelně technických vlastností konstrukcí budovy a k energetickým úsporám zajištěným technickým systémem.

Studie bude zpracovaná na obecný objekt novostavby halového charakteru a objekt bytového domu.

Studie bude pro předmětný objekt zahrnovat:

- Teoretický úvod k hodnocení energetické náročnosti budov.
- Návod, jak postupovat při zadání plynových tepelných čerpadel do výpočtu energetické náročnosti budov.
- Výpočet ukazatelů energetické náročnosti budovy pro variabilní stavební řešení obálky budovy.
- Stanovení porovnání energetické náročnosti objektu referenční variantou (plynové kondenzační kotle) vs. další navrhované varianty technických systémů (varianty s kombinacemi TČ).
- Identifikované varianty technického systému s tepelným čerpadlem budou ve vztahu k referenční variantě porovnány z pohledu:
    - splnění požadavků na primární energii z neobnovitelných zdrojů,
    - vyjádření podílu jednotlivých energonositelů,
    - vyjádření emisí v $tCO_2ekv$ na základě použitých energonositelů,
    - podíl energie z obnovitelných zdrojů.

Výpočet energetické náročnosti pro daný obecný objekt a dílčí varianty technických systémů bude zpracovaný v měsíčním kroku výpočtu a bude zahrnovat:

- charakteristiku a popis modelu,
- profil typického užívání bude respektovat ČSN 730331-1
- klimatická data podle ČSN 730331-1,
- hodnocení ukazatelů energetické náročnosti,
- faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů pro energonositel v podobě elektřiny bude uvažován ve výši 2,1 – hodnota pro budoucí legislativní podmínky platné od 1.9.2024.
- stanovení emisí v tCO2 ekv bude na základě emisních faktorů uvedených ve vyhlášce 140/2021 Sb., o energetickém auditu (pro elektřinu 0,86 tCO2/MWh) a současně také reálná hodnota pro elektřinu ve výši 0,4 tCO2/MWh.

## 1.1 Okrajové podmínky

### 1.1.1 Typy objektů a způsob užívání

Předpokládaní zástupci vybraných budov:

- novostavba bytového domu
- novostavba halového objektu

Profil typického užívání bude respektovat smluvní profil typického užívání z ČSN 730331-1 (2020), kapitola B.9 - Budovy pro obchodní účely – sklady s trvalým pobytem osob.

### 1.1.2 Obálka budovy – stavební standard

Obálka budovy bude mít variabilní tepelně technické vlastnosti v rozmezí kvality stavby z 90. let, požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie až po tepelně technické vlastnosti pasivní budovy.

- **2011:** Aktualizace normy ČSN 73 0540-2, která zahrnovala požadavky na budovy s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB). Požadavky na součinitele prostupu tepla jsou platné do současné doby.
- **2015 až 2020:** Náběh požadavků na budovu s téměř nulovou spotřebou energie, požadavky na obálku budovy zůstávají na úrovni z roku 2011.
- **2020 do současnosti:** Platnost směrnice o energetické náročnosti budov, která stanovila, že všechny novostavby musí splňovat požadavky na budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

### 1.1.3 Technické systémy

Variantní řešení technických systémů předpokládá varianty definované zadavatelem

- varianta 1 - plynové kondenzační kotle
- Varianta 2 - plynová tepelná čerpadla
- varianta 3 - elektrická tepelná čerpadla
- varianta 4 - Kaskáda plynových tepelných čerpadel a kondenzačních kotlů
- varianta 5 - Kaskáda elektrických tepelných čerpadel a kondenzačních kotlů
- varianta 6 - Kaskáda elektrických a plynových tepelných čerpadel a kondenzačních kotlů

Dále pak platí:

- jednotlivé zdroje tepla budou zastoupení konstantní hodnotou účinnosti, v případě tepelných čerpadel budou se zadavatelem odsouhlaseny hodnoty souhrnných SCOP, který bude zahrnovat i případný doplňkový ohřev,
- roční podíl jednotlivých zdrojů tepla na pokrytí potřeby tepla na vytápění bude odsouhlasen zadavatelem. Uvedený tepelný výkon zdrojů tepla pro jednotlivé varianty nebude poměrem vyjadřujícím roční podíl daného zdroje tepla na pokrytí potřeby tepla na vytápění.
- Parametry a vlastnosti otopné soustavy budou konstantní pro všechny varianty.
- Výpočet pro všechny varianty technických systémů V1 až V6 bude zpracován
    - objekt haly pro přirozené větrání (intenzita větrání 0,1 $h^{-1}$),
    - budova bytového domu s přirozeným větráním podle požadavků vyhlášky 264/2020 Sb. (intenzita větrání 0,3 $h^{-1}$).

# 2 PRINCIP HODNOCENÍ ENB

Směrnice o energetické náročnosti budov **EPBD 3** definuje požadavky na společný obecný rámec výpočtu energetické náročnosti budov a jejich ucelených částí. Transpozice požadavků směrnice 2018/844/EU (**EPBD 3**) o energetické náročnosti budov ve vztahu k požadavkům na energetickou náročnost budov je na úrovni České republiky provedena:

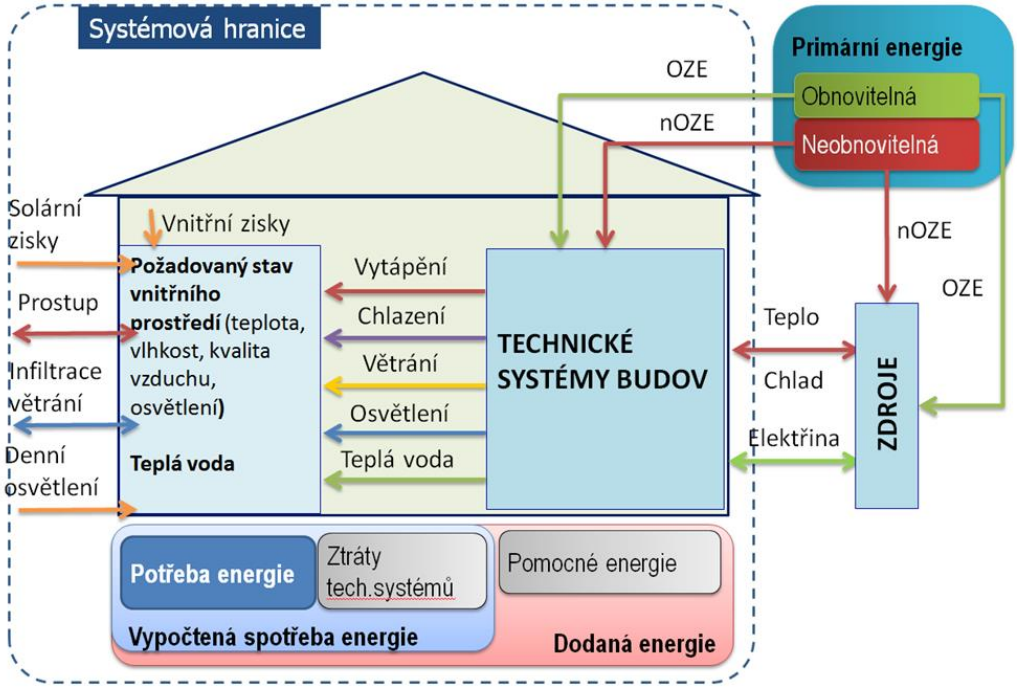
- Zákonem 406/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů (účinnost posledního změnového znění od 25.1.2020)
- Prováděcí vyhláškou 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov (účinnost od 1.9.2020, novela účinná od 1.9.2024)

V České republice je energetická náročnost budovy definována zákonem 406/2000 Sb. a rozumí se jí „*vypočítané nebo změřené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s typickým užíváním budovy, což mimo jiné zahrnuje energii používanou pro vytápění, chlazení, větrání, přípravu teplé vodu a osvětlení*." Přestože se v definici neuvádí samostatně energie potřebná na úpravu vlhkosti vzduchu v klimatizačních zařízeních, je nutno s touto, v klimatizovaných budovách nezanedbatelnou, položkou ve výpočtech uvažovat. Pojem „množství energie" je vztažen k období jednoho roku a může být vyjádřen na několika úrovních. Výchozím údajem pro stanovení energetické náročnosti budovy je „**potřeba energie"** – teoretické množství energie dodávané do posuzovaného prostoru jednotlivými technickými systémy pro zajištění požadovaného stavy vnitřního prostředí a dodávky teplé vody v místě spotřeby. Potřeba energie zohledňuje sdílení tepla obálkou budovy prostupem tepla, prouděním i sáláním a vnitřní zisky z přítomných osob a teplo vyzařujících zařízení. Tato potřeba energie je zajišťována technickými systémy budovy a po zohlednění jejich účinností získáváme hodnotu označovanou v české legislativě „**vypočtená spotřeba energie**". K provozu některých technických systémů jsou zapotřebí i další zařízení jako jsou oběhová čerpadla, měřicí a regulační technika, ovládání, jejichž spotřeba se označuje jako „**pomocná energie**". Součtem vypočtené spotřeby energie a pomocné energie dostáváme hodnotu „**dodané energie**". Zatímco potřebu a vypočtenou spotřebu energie vyjadřujeme vztaženou k jednotlivým funkcím technických systémů (energie na vytápění, chlazení, větrání, přípravu teplé vodu a osvětlení), dodanou energii vyjadřujeme po energonositelích (elektrická energie, paliva, energie prostředí, otopná nebo chladicí voda ze systému centralizovaného zásobování teplem nebo chladem).

**Součástí celkové dodané energie do budovy je také energie okolního prostředí, tzn v případě tepelných čerpadel je celková bilance dílčí dodané energie na vytápění stanovena jako součet elektřiny z distribuční sítě a energie okolního prostředí (vzduch, země, voda). Z tohoto důvodu je celková bilance dodané energie pro tepelná čerpadla s různým SCOP, nebo GUE shodná a v porovnání se zdrojem tepla v podobě kondenzačního plynového kotle je hodnota dodané energie také prakticky shodná, pokud nejsou větší rozdíly v technickém systému vytápění vyjádřené pomocí rozdílných účinností distribuce a sdílení tepla.**

Dodaná energie, vyjádřená po energonositelích, je výchozí hodnotou pro výpočet primární energie. Primární energie je energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů, která neprošla žádným procesem přeměny nebo transformace. Stanoví se výpočtem pomocí faktorů primární energie, které jsou podílem energie obsažené v energonositelích a energie obsažené v primárním zdroji (např. uhlí, ropa, biomasa v místě pěstování, sluneční záření) a jsou vyjádřením účinnosti energonositele.

Hodnocení energetické náročnosti budovy představuje porovnání vybraných ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy s ukazateli energetické náročnosti budovy referenční. *Referenční budova představuje výpočtově definovanou budovu téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy*. Hodnocení budovy je pak prakticky prováděno pomocí dvou paralelně porovnávaných budov, výpočet probíhá ve dvou částech. První část představuje zadání, výpočet a výstupy pro řešenou budovu – budova hodnocená, druhou část představuje zadání, výpočet a výstupy pro referenční budovu s požadovanými hodnotami referenčních parametrů.




**Obr.1 Princip výpočtu energetické náročnosti budov**

Nové budovy musí splnit současně požadavky pro tři ukazatele EN. Jedná se o splnění ukazatele

- neobnovitelné primární energie za rok $Q_{nPE}$,
- celkové dodané energie za rok $Q_{fuel}$,
- průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy $U_{em}$.

Pro budovy rekonstruované, resp. při větší změně dokončené budovy a při jiné než větší změně dokončené budovy, je možný výběr kombinace ukazatelů, které je nutné splnit. Požadavky na energetickou náročnost při větší změně dokončené budovy a při jiné než větší změně dokončené budovy, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud:

- hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy $U_{em}$ a $Q_{fuel}$ nejsou vyšší než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu,
- hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy $U_{em}$ a $Q_{nPE}$ nejsou vyšší než referenční hodnoty těchto ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu, nebo
- hodnota součinitele prostupu tepla U pro všechny nové a měněné stavební prvky obálky budovy není vyšší než referenční hodnota tohoto ukazatele energetické náročnosti, která je stanovená na úroveň doporučených hodnot podle ČSN 730540-2:2011.
- hodnota ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy pro všechny měněné technické systémy budovy uvedeného není nižší než referenční hodnota tohoto ukazatele energetické náročnosti uvedená v tabulce č. 3 přílohy č. 1 vyhlášky 264/2020 Sb. Kdy se jedná o minimální hodnoty účinnosti technických systémů.

**Tab.1 Požadavky na splnění ukazatele energetické náročnosti pro nové a rekonstruované budovy**

| Ukazatel energetické náročnosti | Požadavek na splnění ukazatele energetické náročnosti | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Hodnocení A** | Hodnocení B | | | |
| | | možnost 1 | možnost 2 | možnost 3 | možnost 4 |
| Neobnovitelná primární energie $Q_{nPE}$ | **x** | x | | | |
| Celková dodaná energie $Q_{fuel}$ | **x** | | x | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ | **x** | x | x | | |
| Účinnosti měněných prvků TZB | | | | x | |
| Dílčí $U_i$ měněných prvků obálky budovy | | | | | x |
| Poznámka:<br>**Hodnocení A** – nová budova nebo změna dokončené budovy, kdy se celková energeticky vztažná plocha rozšiřuje o nejméně dvou a půl násobek původní celkové energeticky vztažné plochy.<br>**Hodnocení B** – větší změna dokončené budovy nebo jiná, než větší změna dokončené budovy | | | | | |

Od 1.9. 2024 je platná změna vyhlášky 264/2020 Sb., studie již zapracovává všechny změny v souvislosti s hodnocením energetické náročnosti budov. Změny ve vyhlášce 264/2020 platné od 1.9. 2024 jsou následující:

- zrušení omezení pro započítání vlivu elektřiny z FVE exportované do sítě při výpočtu primární energie,
- změnu způsobu určování energetické třídy pro chlazení u multifunkčních budov s obytnými zónami,
- možnost zvýšení průtoku větracího vzduchu u obytných zón,
- změna řady referenčních parametrů (např. pro nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu či osvětlení) a
- významné změny v hodnotách některých faktorů neobnovitelné primární energie (např. pro elektřinu ze sítě, exportovanou elektřinu, účinné soustavy zásobování tepelnou energií, odpadní teplo z technologie se zdrojem mimo budovu)

Pro tuto studii je nejpodstatnější bod týkající se změny faktorů primární energie pro referenční budovu a jednotlivé energonositele.

**Tab.2 Porovnání faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů energie hodnocené budovy**

| Energonositel | Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [–] | Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [–] 01.09.2024 |
|---|---|---|
| **Zemní plyn** | **1,0** | **1,0** |
| Tuhá fosilní paliva | 1,0 | 1,0 |
| Propan-butan/LPG | 1,2 | 1,2 |
| Topný olej | 1,2 | 1,2 |
| **Elektřina** | **2,6** | **2,1** |
| Dřevěné peletky | 0,2 | 0,1 |
| Kusové dřevo, dřevní štěpka | 0,1 | 0,1 |
| Energie okolního prostředí (elektřina a teplo) | 0,0 | 0,0 |
| Elektřina – dodávka mimo budovu | −2,6 | −2,1 |
| Teplo – dodávka mimo budovu | −1,3 | −1,3 |
| Účinná soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů energie | 0,2 | **0,1** |
| Účinná soustava zásobování tepelnou energií s 80% a nižším podílem obnovitelných zdrojů energie | 0,9 | **0,7** |
| Ostatní soustavy zásobování tepelnou energií | 1,3 | 1,3 |
| Ostatní neuvedené energonositele | 1,2 | 1,2 |
| Odpadní teplo z technologie | 0,0 | 0,0 |
| Odpadní teplo z technologie – zdroj mimo budovu | | **0,1** |

**Tab.3 Porovnání faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů energie referenční budovy**

| Typ spotřeby | Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [–] | Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie [–] 01.09.2024 |
|---|---|---|
| Vytápění | 1,0 | 1,0 |
| Chlazení | 2,6 | **2,1** |
| Příprava teplé vody | 1,0 | 1,0 |
| Úprava vlhkosti vzduchu | 2,6 | **2,1** |
| Nucené větrání | 2,6 | **2,1** |
| Osvětlení vnitřního prostoru budovy | 2,6 | **2,1** |
| Pomocné energie (čerpadla, regulace apod.) | 2,6 | **2,1** |

## 2.1 Klasifikační třídy EN

Dále platí, že pro účely uvedení ukazatelů energetické náročnosti budovy v informačních a reklamních materiálech při prodeji nebo pronájmu budovy nebo její ucelené části se podle prováděcí vyhlášky o energetické náročnosti budov použije klasifikační třída pro primární energii z neobnovitelných zdrojů.

Pro investora v souvislosti taxonomií je v současné době poměrně podstatné jako hlavní klasifikační třídu energetické náročnosti) klasifikační třída pro primární energii z neobnovitelných zdrojů) budova splňuje. V případě úvěrování stavby, v případě odhadu, nebo případě hledání nájemce již klasifikační třída ovlivňuje kvalitu úvěru, cenu nemovitosti, nebo cenu za nájem. Klasifikační třídu primární energie z neobnovitelných zdrojů ovlivňuje:

- kvalita obálky budovy,
- a především řešení technických systémů a podíl jednotlivých energonositelů, v tomto případě zemní plyn, elektřina, energie okolního prostředí.

## 2.2 Podrobnosti výpočtu dodané energie do budovy

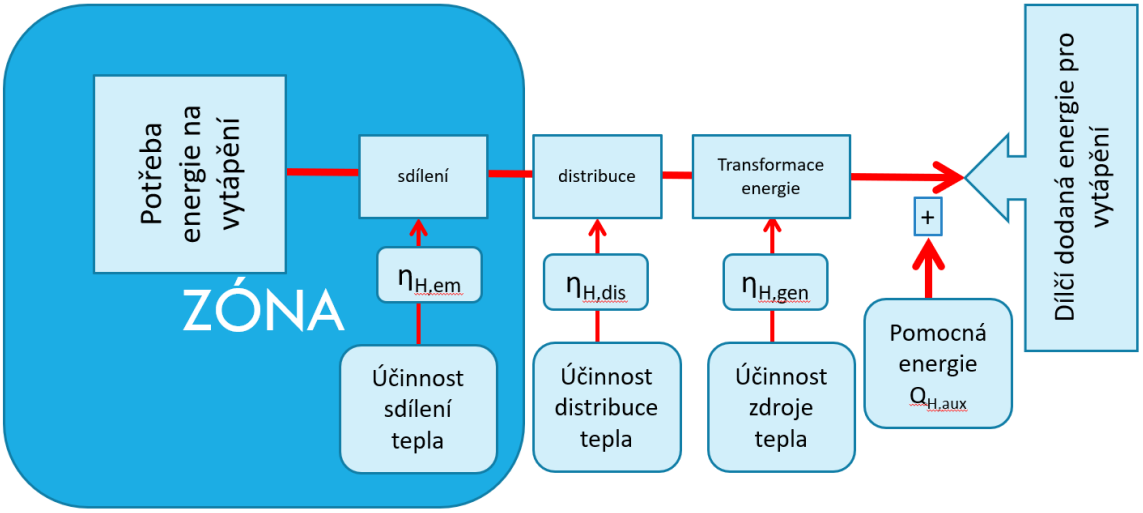
Výpočet ukazatelů energetické náročnosti probíhá v několika krocích. Obecně lze říci, že výpočet energetické bilance na úrovni systémů je principálně založen na způsobu a účinnosti jednotlivých procesů dodávky energie, která slouží ke krytí potřeby v příslušné zóně. V případě systému vytápění tento stav reprezentuje stanovení účinnosti sdílení, distribuce a výroby energie systémem vytápění. Pomocí této účinnosti je následně stanovena celková dodaná energie do budovy na vytápění, včetně pomocné energie, kterou spotřebují oběhová čerpadla a další části systému vytápění (např. ventilátory konvektorů, systém měření a regulace). Energetická bilance na úrovni stavebního řešení budovy představuje stanovení potřeby energie $Q_{nd}$. Zdroj (tepla, chladu, přípravy TV, atd.) pokrývající tuto potřebu energie musí dodat do systému množství energie, která zahrnuje ztráty systému, případě účinnost. Toto množství energie se nazývá vypočtená spotřeba energie $Q_{gen}$. Pomocná energie představuje energii, kterou spotřebují pomocné prvky technického systému, např. na čerpací práci oběhových čerpadel apod. Pomocná energie se obecně značí jako $Q_{aux}$. Součet pomocné energie a vypočtené spotřeby energie pro příslušnou činnost (vytápění, chlazení apod.) se nazývá dílčí dodaná energie. Součet všech dílčích dodaných energií pro dané typy spotřeby se nazývá celková dodaná energie do budovy.

## 2.3 Energetická náročnost a systém vytápění

Systém vytápění je z pohledu hodnocení energetické náročnosti budov členěn na tři základní části:

- výroba tepla (zdroj tepla) - hodnotí se ztráta tepla způsobená druhem a provedením zdroje tepla, provozem a regulací zdroje. Součástí hodnocení může být také tepelná ztráta akumulace tepla u zdrojů na tuhá paliva, případně tepelná čerpadla.
- distribuce tepla (rozvody) - hodnotí se ztráta tepla tepelnou izolací potrubí, armatur a nádob. Pomocná energie se stanovuje zejména pro oběhová čerpadla a případnou regulaci.
- sdílení tepla (otopné plochy) - hodnotí se trojí ztráta tepla, a to způsobená vertikálním rozdělením teploty vzduchu od otopné plochy, umístěním otopné plochy a individuální regulaci otopné plochy.

- Pomocná energie (elektřina pro pohon prvků a zařízení) se stanovuje pro oběhová čerpadla teplovodního systému, pomocnou energii zdrojů tepla (ventilátor výparníku TČ), ventilátory v konvektorech, teplovzdušných jednotkách, ventily u otopných těles se servopohonem apod.




**Obr.2 Princip stanovení dílčí dodané energie na vytápění při výpočtu ENB**

Při stanovení celkové dodané energie do systému vytápění je cílem výpočtu stanovení roční dodané energie na vytápění včetně roční dodané pomocné energie při vytápění budovy $EP_H$, která se stanoví podle základního vztahu.

$$EP_H = Q_{fuel,H} + Q_{aux,H}$$

Kde $Q_{fuel,H}$ představuje roční vypočtenou spotřebu energie na vytápění v GJ a $Q_{aux,H}$ je roční dodaná pomocná energie systému vytápění v GJ. Roční vypočtená spotřeba energie na vytápění $Q_{fuel,H}$ se stanoví jako suma dílčích hodnot $Q_{fuel,H}$ jako

$$Q_{fuel,H} = \sum_{j=1}^{n} \left( \sum_{sys=1}^{n} \left( Q_{H,gen,sys,j} + Q_{H,gen,ls,sys,j} \right) \right)$$

Kde $Q_{H,gen,sys,j}$ je energie dodaná do systému vytápění pro příslušný zdroj tepla [kWh], $Q_{H,gen,ls,sys,j}$ je energie v podobě tepelné ztráty zdroje, nebo akumulace [kWh]. Vypočtená energie zdrojem tepla $Q_{H,gen,sys,j}$ se stanoví podle vztahu

$$Q_{H,gen,sys,j} = \sum_{z=1}^{n} \frac{Q_{H,dis,z,j} \cdot f_{H,z,sys}}{\eta_{H,sys}}$$

$Q_{H,dis,z,}$je vypočtená spotřeba energie do distribučního systému vytápění [kWh], $Q_{H,gen,ls,sys,j}$ je tepelná ztráta zdroje tepla jako celku (včetně akumulace) [kWh], $\eta_{H,sys}$ je celková účinnost výroby energie příslušným zdrojem tepla [–], $f_{H,z,sys}$ je podíl roční dodané energie do z–té zóny připadající na příslušný zdroj tepla v případě více

zdrojů tepla [–]. Pokud je do z–té zóny dodávána energie na vytápění pouze systémem vytápění, potom se dodaná energie na vytápění do distribučního systému $Q_{H,dis,z,j}$ stanoví podle zjednodušeného vztahu.

Účinnost zdroje tepla v podobě plynového kondenzačního kotle je vztažena k výhřevnosti paliva a pro plynové kotle do 50 kW činí hodnota účinnosti cca 103 %.

Jak již bylo uvedeno výše, v případě tepelných čerpadel je součástí celkové dodané energie do budovy je také energie okolního prostředí, tzn v případě tepelných čerpadel je celková bilance dílčí dodané energie na vytápění stanovena jako součet elektřiny z distribuční sítě a energie okolního prostředí (vzduch, země, voda). Z tohoto důvodu je celková bilance dodané energie pro tepelná čerpadla s různým SCOP, nebo GUE (Gas Utilization Efficiency) shodná a v porovnání se zdrojem tepla v podobě kondenzačního plynového kotle je hodnota dodané energie také prakticky shodná, pokud nejsou větší rozdíly v technickém systému vytápění vyjádřené pomocí rozdílných účinností distribuce a sdílení tepla.

V současnosti jsou dosažitelné následující hodnoty pro kompresorová tepelná čerpadla:

- tepelné čerpadlo země/voda
  - teplotní spád 55/45 °C SCOP = 4,4
  - teplotní spád 35/30 °C SCOP = 5,6
- tepelné čerpadlo vzduch/voda
  - teplotní spád 55/45 °C SCOP = 3,5
  - teplotní spád 35/30 °C SCOP = 4,5
- tepelné čerpadlo vzduch/vzduch SCOP = 4,5

V případě plynových tepelných čerpadel se uvažuje s následujícími hodnotami:

- teplotní spád 55/45 °C GUE = 1,41
- teplotní spád 35/30 °C GUE = 1,64

Zadání zdroje tepla do výpočetního SW v podobě tepelného čerpadla, ať už kompresorového nebo plynového absorpčního je naprosto identické. Vyžaduje vždy správné zvolení hlavního energonositele a zadání hodnoty SCOP pro kompresorové TČ, případně GUE pro absorpční plynové tepelné čerpadlo.

**Obr.3 Princip výpočtu celkové dodané energie pro tepelné čerpadlo**

## 2.4 Typické hodnoty parametrů plynových tepelných čerpadel pro výpočet ENB

Pro výpočet energetické náročnosti budovy je nezbytné zadat parametry technického systému. Typické hodnoty technických systémů lze najít primárně v technické normě ČSN 730331-1 [3], nebo lze vycházet z hodnot uvedených v technických listech výrobků, pokud jsou v kontextu parametrů pro výpočet ENB uváděny.

V případě plynových tepelných čerpadel se sezónní účinnost zdroje tepla ve výpočtu energetické náročnosti budov nahrazuje ročním provozním topným faktorem $GUE_{H,gen}$ pro vytápění a $GUE_{W,gen}$ pro soustavy přípravy teplé vody, které se stanoví podle vztahu

$$GUE_{H,gen} = f_{H,GUE} \cdot GUE_n$$

nebo

$$GUE_{W,gen} = f_{W,GUE} \cdot GUE_n$$

kde je

$GUE_n$ jmenovitý (nominální) topný faktor tepelného čerpadla při jmenovitých podmínkách stanovený podle ČSN EN 12309-3; typické hodnoty uvádí tabulka Tab.4,

$f_{H,COP}$ součinitel ročního provozu tepelného čerpadla pro vytápění (−), který je uveden v Tab.5,

$f_{W,COP}$ součinitel ročního provozu tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody (−), který se stanoví podle Tab.6 pro soustavy přípravy teplé vody.

**Tab.4 Typické jmenovité hodnoty $GUE_n$ pro plynová tepelná čerpadla**

| **Druh tepelného čerpadla** | **Podmínky**<br>**Zdroj energie / Odvod energie (°C / °C)** | **$GUE_n$ (−)** |
|---|---|---|
| Země/voda (typ TČ **Robur GAHP-GS**) | 0 / 35 | 1,65 |
| Voda/voda (typ TČ **Robur GAHP-WS**) | 10 / 35 | 1,74 |
| Venkovní vzduch/voda (typ TČ **Robur GAHP-A**) | 2 / 35 | 1,62 |

Hodnoty $f_{H,COP}$ a $f_{W,COP}$ jsou vztaženy k podmínkám uvedeným v tabulce Tab.4. Při podrobné znalosti všech souvislostí systémového řešení soustavy s tepelným čerpadlem, lze parametr $GUE_{H,gen}$ nebo $GUE_{W,gen}$ stanovit přímo podle podkladů výrobce.

**Tab.5 Součinitel ročního provozu tepelného čerpadla $f_{H,GUE}$ pro vytápění**

| **Návrhová výstupní teplota otopné vody (°C)** | **Vzduch – voda (A2/W35)** | **Vzduch – voda (A7/W35)** | **Země – voda** | **Voda – voda** |
|---|---|---|---|---|
| | **$f_{H,GUE}$ (−)** | | | |
| 35 | 1,02 | 0,94 | 1,07 | 1,00 |
| 45 | 0,93 | 0,86 | 0,94 | 0,89 |
| 55 | 0,83 | 0,77 | 0,81 | 0,76 |
| 65 | 0,83 | 0,77 | 0,81 | 0,76 |

**Tab.6 Součinitel ročního provozu tepelného čerpadla $f_{W,GUE}$ pro přípravu teplé vody**

| **Požadovaná teplota teplé vody [°C]** | **Vzduch – voda (A2/W35)** | **Vzduch – voda (A7/W35)** | **Země – voda** | **Voda – voda** |
|---|---|---|---|---|
| | **$f_{W,GUE}$ (−)** | | | |
| 40 | 0,94 | 0,86 | 0,86 | 0,80 |
| 50 | 0,77 | 0,71 | 0,66 | 0,61 |
| 60 | 0,60 | 0,55 | 0,45 | 0,42 |

Elektrický příkon plynových tepelných čerpadel se zadává jako další el příkon v rámci pomocné energie k systému vytápění nebo přípravy TV a se stanoví z katalogového listu výrobku, nebo podle níže uvedené tabulky na základě tepelného výkonu.

**Tab.7 Příkon pomocné energie plynového tepelného čerpadla $P_{aux,GUE,p}$**

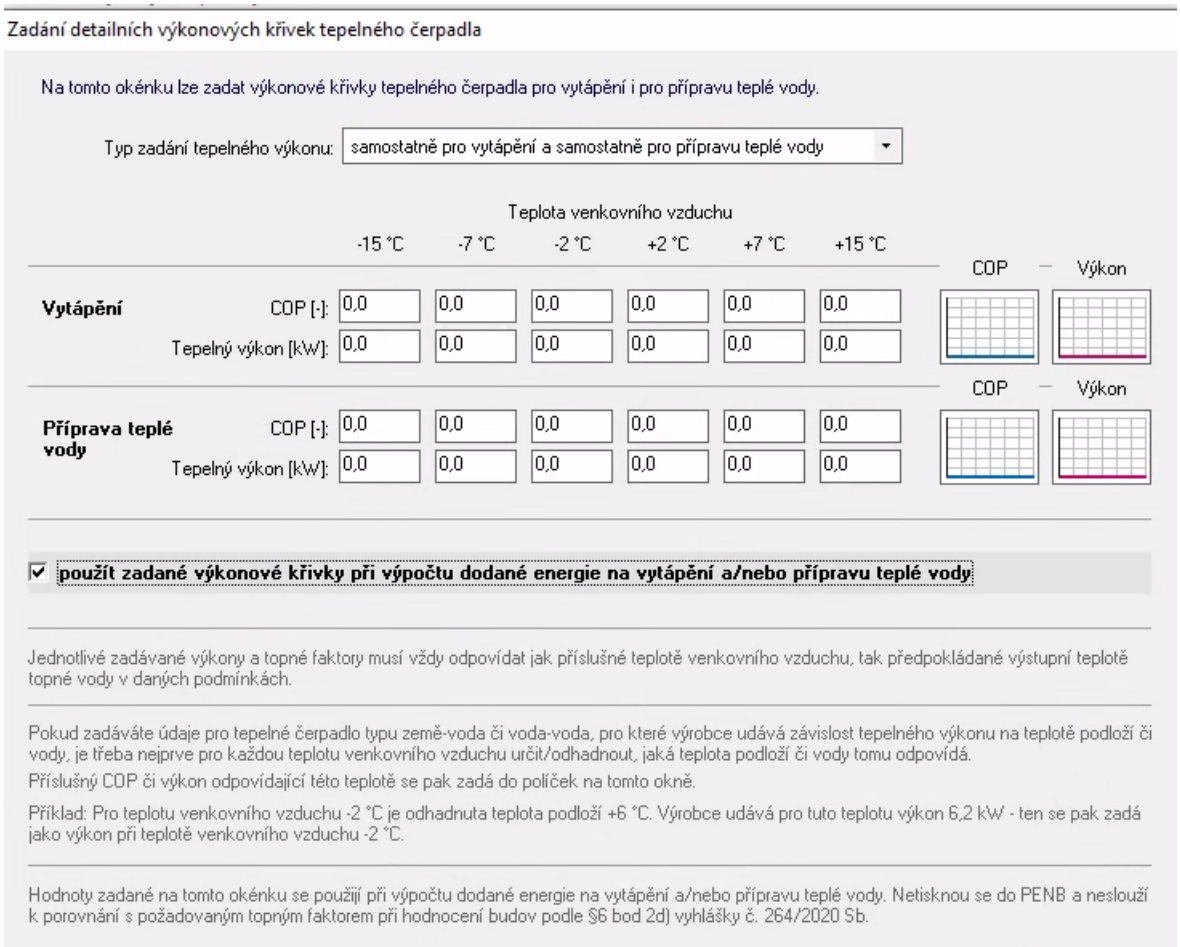
| | $P_{aux,GUE,p}$ (W) | | |
|---|---|---|---|
| **Tepelný výkon (kW)** | **Vzduch – voda** | **Země – voda** | **Voda – voda** |
| 10-20 | 121 | 78 | 66 |
| 20-30 | 182 | 118 | 99 |
| 30-40 | 325 | 210 | 175 |
| 40-50 | 520 | 335 | 280 |

Proměnlivý příkon plynového tepelného čerpadla v čase vyjadřuje korekční činitel $f_{aux,GUE,p}$

**Tab.8 Korekční činitel příkonu pomocné energie plynového tepelného čerpadla $f_{aux,GUE,p}$**

| $f_{aux,GUE,p}$ (–) | | |
|---|---|---|
| **Vzduch – voda** | **Země – voda** | **Voda – voda** |
| 0,8 | 0,65 | 0,65 |

V případě využití hodinového kroku výpočtu lze zadat do výpočetního SW, např. Energie 2025, přímo výkonovou křivku tepelného čerpadla. V případě výpočetního SW energie se pak jedná o vstup viz následující obr.




**Obr.4 Zadání detailních výkonových křivek v SW Energie 2025**

Pro tyto účely lze požít níže uvedené údaje pro jednotlivá teplená čerpadla. Jak je uvedeno v nápovědě SW, tak hodnoty pro TČ země/voda, voda/voda je nutné ekvivalentně přizpůsobit TČ vzduch/voda.

Hodnoty tepelného výkonu stanovit podle charakteristiky tepelného čerpadla a výstupní teploty vody.

**Tab.9 Topný faktor v závislosti na venkovní teplotě pro TČ Robur GAHP-A**

| Teplota | Výstupní teplota | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 40°C | 45°C | 50°C | 55°C | 60°C | 65°C |
| -10°C | 1,350 | 1,275 | 1,200 | 1,120 | 1,040 | 1,000 |
| -9°C | 1,390 | 1,307 | 1,223 | 1,140 | 1,057 | 1,007 |
| -8°C | 1,430 | 1,338 | 1,247 | 1,160 | 1,073 | 1,013 |
| -7°C | 1,470 | 1,370 | 1,270 | 1,180 | 1,090 | 1,020 |
| -6°C | 1,484 | 1,384 | 1,284 | 1,197 | 1,110 | 1,034 |
| -5°C | 1,498 | 1,398 | 1,298 | 1,214 | 1,130 | 1,048 |
| -4°C | 1,512 | 1,412 | 1,312 | 1,231 | 1,150 | 1,062 |
| -3°C | 1,526 | 1,426 | 1,326 | 1,248 | 1,170 | 1,076 |
| -2°C | 1,540 | 1,440 | 1,340 | 1,265 | 1,190 | 1,090 |
| -1°C | 1,547 | 1,457 | 1,366 | 1,281 | 1,195 | 1,105 |
| 0°C | 1,555 | 1,474 | 1,393 | 1,297 | 1,201 | 1,120 |
| +1°C | 1,562 | 1,491 | 1,420 | 1,314 | 1,206 | 1,135 |
| +2°C | 1,570 | 1,509 | 1,448 | 1,330 | 1,212 | 1,150 |
| +3°C | 1,575 | 1,519 | 1,462 | 1,347 | 1,231 | 1,166 |
| +4°C | 1,581 | 1,528 | 1,476 | 1,363 | 1,251 | 1,183 |
| +5°C | 1,586 | 1,538 | 1,490 | 1,380 | 1,270 | 1,200 |
| +6°C | 1,591 | 1,548 | 1,504 | 1,397 | 1,291 | 1,218 |
| +7°C | 1,597 | 1,558 | 1,519 | 1,415 | 1,311 | 1,236 |
| +8°C | 1,602 | 1,565 | 1,527 | 1,428 | 1,329 | 1,254 |
| +9°C | 1,607 | 1,571 | 1,534 | 1,441 | 1,348 | 1,272 |
| +10°C | 1,613 | 1,578 | 1,542 | 1,454 | 1,367 | 1,290 |
| +11°C | 1,618 | 1,584 | 1,549 | 1,467 | 1,385 | 1,308 |
| +12°C | 1,624 | 1,590 | 1,557 | 1,480 | 1,404 | 1,326 |
| +13°C | 1,629 | 1,597 | 1,565 | 1,494 | 1,423 | 1,344 |
| +14°C | 1,634 | 1,603 | 1,572 | 1,507 | 1,441 | 1,362 |
| +15°C | 1,640 | 1,610 | 1,580 | 1,520 | 1,460 | 1,380 |

**Tab.10 Topný faktor v závislosti na venkovní teplotě pro TČ Robur GAHP-GS**

| Teplota | Výstupní teplota | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 40°C | 45°C | 50°C | 55°C | 60°C | 65°C |
| 0°C | 1,549 | 1,493 | 1,412 | 1,330 | 1,247 | 0°C |
| 1°C | 1,557 | 1,504 | 1,424 | 1,343 | 1,259 | 1°C |
| 2°C | 1,565 | 1,515 | 1,437 | 1,357 | 1,271 | 2°C |
| 3°C | 1,573 | 1,526 | 1,449 | 1,371 | 1,282 | 3°C |
| 4°C | 1,581 | 1,538 | 1,461 | 1,385 | 1,294 | 4°C |
| 5°C | 1,589 | 1,549 | 1,474 | 1,399 | 1,306 | 5°C |
| 6°C | 1,596 | 1,556 | 1,483 | 1,414 | 1,324 | 6°C |
| 7°C | 1,603 | 1,564 | 1,493 | 1,429 | 1,343 | 7°C |
| 8°C | 1,611 | 1,571 | 1,503 | 1,444 | 1,361 | 8°C |
| 9°C | 1,618 | 1,579 | 1,513 | 1,459 | 1,380 | 9°C |
| 10°C | 1,625 | 1,587 | 1,523 | 1,474 | 1,399 | 10°C |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11°C | 1,632 | 1,594 | 1,533 | 1,489 | 1,414 | 11°C |
| 12°C | 1,639 | 1,602 | 1,543 | 1,504 | 1,429 | 12°C |
| 13°C | 1,646 | 1,610 | 1,553 | 1,519 | 1,444 | 13°C |
| 14°C | 1,653 | 1,617 | 1,563 | 1,534 | 1,459 | 14°C |
| 15°C | 1,656 | 1,625 | 1,573 | 1,549 | 1,474 | 15°C |

**Tab.11 Topný faktor v závislosti na venkovní teplotě pro TČ Robur GAHP-GS**

| Teplota | Výstupní teplota | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 40°C | 45°C | 50°C | 55°C | 60°C | 65°C |
| 6°C | 1,734 | 1,697 | 1,630 | 1,563 | 1,478 | 1,401 |
| 7°C | 1,736 | 1,702 | 1,644 | 1,585 | 1,501 | 1,424 |
| 8°C | 1,738 | 1,707 | 1,657 | 1,607 | 1,524 | 1,448 |
| 9°C | 1,740 | 1,711 | 1,670 | 1,629 | 1,547 | 1,471 |
| 10°C | 1,743 | 1,716 | 1,683 | 1,651 | 1,570 | 1,495 |
| 11°C | 1,743 | 1,719 | 1,689 | 1,659 | 1,578 | 1,503 |
| 12°C | 1,743 | 1,722 | 1,694 | 1,667 | 1,587 | 1,512 |
| 13°C | 1,743 | 1,724 | 1,699 | 1,675 | 1,595 | 1,521 |
| 14°C | 1,743 | 1,727 | 1,705 | 1,683 | 1,604 | 1,530 |
| 15°C | 1,743 | 1,728 | 1,709 | 1,690 | 1,612 | 1,539 |
| 16°C | 1,743 | 1,728 | 1,713 | 1,698 | 1,621 | 1,548 |
| 17°C | 1,743 | 1,728 | 1,717 | 1,706 | 1,630 | 1,556 |
| 18°C | 1,743 | 1,728 | 1,721 | 1,714 | 1,638 | 1,565 |
| 19°C | 1,743 | 1,728 | 1,725 | 1,722 | 1,647 | 1,574 |
| 20°C | 1,743 | 1,728 | 1,729 | 1,730 | 1,655 | 1,583 |

## 2.5 Referenční ukazatele pro systém vytápění

Vyhláška 264/2020 Sb. stanovuje referenční ukazatele pro systém vytápění v příloze 1. Tyto parametry vstupují do výpočtu jako vstupní parametry pro stanovení energetické náročnosti vytápění pro referenční budovu. Referenční parametry nemají vazbu na typ technického systému hodnocené budovy a jsou neměnné. Podrobně hodnoty referenčních parametrů uvádí následující tabulka.

**Tab.12 Parametry systému vytápění referenční budovy podle vyhlášky 264/2020 Sb.**

| | | |
|---|---|---|
| Účinnost výroby energie zdrojem tepla | $\eta_{H,gen,R}$ | 92 % |
| Účinnost distribuce energie na vytápění uvnitř systémové hranice budovy | $\eta_{H,dis,R}$ | 90 % |
| Účinnost distribuce energie na vytápění vně systémové hranice budovy | $\eta_{H,dis,R}$ | 100 % |
| Účinnost sdílení energie na vytápění | $\eta_{H,em,R}$ | 88 % |

## 2.6 Okrajové podmínky výpočtu

Pro výpočet se předpokládají níže uvedené okrajové podmínky.

### 2.6.1 Profil typického užívání

Podstatnou okrajovou podmínkou pro výpočet energetické náročnosti jsou parametry typického užívání budovy.

V případě halové stavby byl použit profil typického užívání uvedený v ČSN 730331-1, Příloha B pro skladové prostory budov pro obchod.

Typické užívání bytových staveb představuje požadavky definované v příloze vyhlášky 264/2020 Sb. Vstupní hodnoty výpočtu dílčích dodaných energií vycházejí ze zvoleného profilu typického užívání budovy, definovaného minimálně časovým profilem užívání a průměrnou obsazeností. Při stanovení profilu typického

užívání budovy se postupuje v souladu s ČSN 730331-1, Příloha B. Pro obytné zóny se podle vyhlášky 264/2020 Sb. musí použít jednotný profil typického užívání budovy dle ČSN 730331-1.

### 2.6.2 Technické systémy

Parametry technických systémů jsou stanoveny v souladu s ČSN 730331-1, přílohou A. S výjimkou parametrů tepelných čerpadel, které reflektují současný stav poznání.

- **Varianta 1**

| **plynové kondenzační kotle (PK)** | |
|---|---|
| účinnost (vztažena k výhřevnosti) | 103 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro PK | 100 % |

- **Varianta 2**

| **plynová tepelná čerpadla (PL TČ)** | |
|---|---|
| GUE 55/45 | 1,41 |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro PL TČ | 100 % |

- **Varianta 3**

| **elektrická tepelná čerpadla vzduch/voda (TČ)** | |
|---|---|
| SCOP 55/45 | 3 |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro TČ vzduch/voda | 100 % |

- **Varianta 4**

| **kaskáda plynových TČ a kondenzačních kotlů (PL TČ + PK)** | |
|---|---|
| GUE 55/45 | 1,41 |
| Účinnost PK (vztažena k výhřevnosti) | 103 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro PL TČ | 80 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro PK | 20 % |

- **Varianta 5**

| **kaskáda TČ vzduch/voda a kondenzačních kotlů (TČ + PK)** | |
|---|---|
| SCOP 55/45 | 3 |
| účinnost PK (vztažena k výhřevnosti) | 103 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro TČ vzduch/voda | 80 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro PK | 20 % |

- **Varianta 6**

| **kaskáda TČ vzduch/voda, plynových TČ a kondenzačních kotlů (TČ + PK)** | |
|---|---|
| SCOP 55/45 | 3 |
| GUE 55/45 | 1,41 |
| účinnost PK (vztažena k výhřevnosti) | 103 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro TČ vzduch/voda | 35 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro PL TČ | 45 % |
| podíl pokrytí roční potřeby energie na vytápění pro PK | 20 % |

### 2.6.3 Klimatická data

Pro výpočet ENB jsou podle vyhlášky 264/2020 Sb. použita klimatická data uvedená v příloze C, ČSN 730331-1.

### 2.6.4 Emise $CO_2$

Emise $CO_2$ jsou vyjádřeny prostřednictvím emisních faktorů $CO_2$ pro jednotlivé energonositele podle vyhlášky 140/2021 Sb., o energetickém auditu.

- Elektřina 0,86 t $CO_2$/MWh
- Zemní plyn 0,2 t $CO_2$/MWh

Současně je třeba uvést, že primární energie fosilních paliv v daném roce vsazených (podle jednotlivých paliv) na výrobu elektřiny je násobena specifickými emisními faktory pro daná paliva (případně pro paliva příbuzná). Výsledná sumární hodnota je vydělena celkovou hrubou výrobou elektřiny v ČR. Emisní faktory $CO_2$ ze spalování fosilních paliv ve výpočtu vycházejí z metodiky IPCC 2006 a národních emisních faktorů. Ve výpočtu jsou OZE uvažovány jako $CO_2$ neutrální, tedy s nulovými emisemi. Jedná se o výpočet na základě podkladových dat Souhrnné energetické bilance ČR za rok 2022.

Hodnoty emisního faktoru $CO_2$ elektřiny vypočítané na základě této metodiky, nejsou totožné s hodnotami uvedenými ve vyhlášce 140/2021, o energetickém auditu. V této vyhlášce jsou hodnoty emisního faktoru $CO_2$ stanovovány k určitém účelu (prosazování státní politiky) a vztahují se na výrobu elektřiny z fosilních zdrojů. Níže jsou uvedeny emisní faktory stanovené podle uvedené metodiky, zdroj MPO [5].

**Tab.13 Emisní faktory $CO_2$ pro elektřinu, zdroj MPO [5]**

| Rok | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t $CO_2$/MWh | 0,54 | 0,51 | 0,48 | 0,48 | 0,49 | 0,50 | 0,47 | 0,47 | 0,43 | 0,38 | 0,39 | 0,41 | 0,37 |

# 3 ANALYZOVANÉ BUDOVY

Pro analýzu a měření byly vybrány následující objekty:

- obecná skladová hala,
- obecný bytový dům.

## 3.1 Obecná skladová hala

### 3.1.1 Popis objektu

Jedná se o samostatně stojící jednopodlažní objekt o rozměrech výška – 15 m, šířka – 50 m, délka 100 m. Větrání objektu je přirozené s intenzitou větrání 0,1 1/h. V hale se nepředpokládá příprava TV a současně dílčí dodaná energie na osvětlení je rovna nule z důvodu přímého porovnání různých zdrojů tepla pro vytápění.

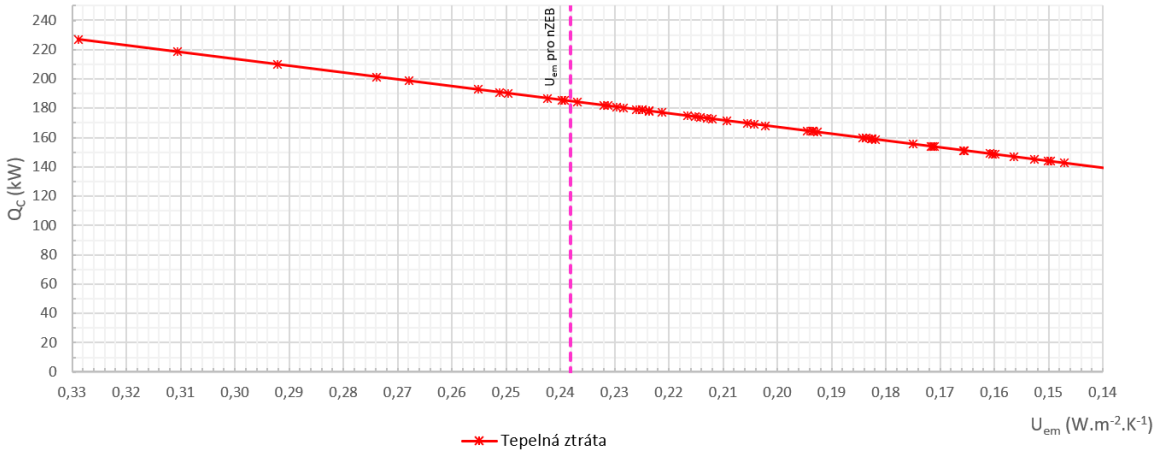
**Tab.14 Charakteristické údaje budovy – hala**

| | |
|---|---|
| Geometrická charakteristika budovy A/V ($m^2/m^3$)<br>*Podíl ochlazované obálky budovy ku vnějšímu objemu budovy* | 0,19 |
| Celková energeticky vztažná plocha ($m^2$)<br>*Plocha všech podlaží budovy s upravovaným vnitřním prostředím stanovená z vnějších rozměrů* | 5000 |

| | |
|---|---|
| Vnější objem budovy ($m^3$) | 75000 |

### 3.1.2 Tepelná ztráta budovy

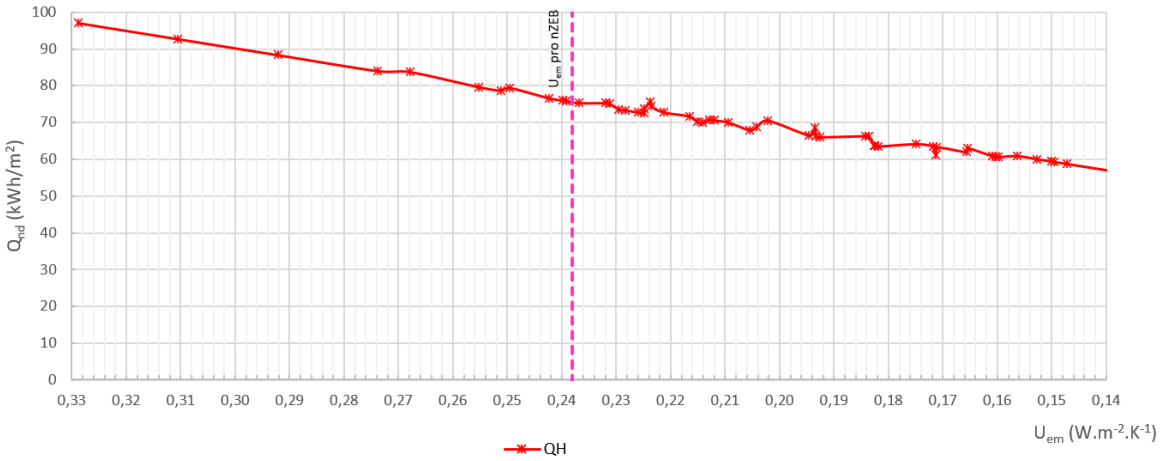
Tepelná ztráta budovy je stanovena pro jednotlivé kombinace součinitelů prostupu tepla a způsobu větrání. Z níže uvedeného grafu je patrná závislost změny tepelně technických vlastností na průběhu tepelné ztráty budovy. V případě splnění požadavku na současnou novostavbu má daná hala s přirozeným větráním o I=0,1 1/h tepelnou ztrátu 184 kW.




**Obr.5 Tepelná ztráta haly**

### 3.1.3 Potřeba tepla na vytápění

Pro danou budovu byla stanovena roční měrná potřeba energie na vytápění v závislosti na kvalitě obálky budovy. Z následujícího grafu je patrný průběh roční měrné potřeby energie na vytápění v závislosti na stavebním standardu. Potřeba energie nezahrnuje vliv účinností technických systémů a podíl jednotlivých energonositelů (např. zemní plyn, elektřina, energie okolního prostředí).




**Obr.6 Měrná roční potřeba energie na vytápění**

### 3.1.4 Legislativní požadavky na ENB

Pro uvedený objekt jsou nastaveny minimální legislativní požadavky, tyto požadavky představují minimální standard pro novostavby, současně se požadavky na tento minimální standard v čase zpřísňují. Minimální legislativní požadavky pro jednotlivé ukazatele energetické náročnosti (EN) pro tento objekt jsou uvedeny v tabulce níže.

**Tab.15 Minimální legislativní požadavky pro ukazatele EN pro halu**

| Požadavky pro ukazatele energetické náročnosti referenční budovy | Budova v režimu NZEB (současné novostavba) |
|---|---|
| $U_{em,R}$ (W/m$^2$.K) | 0,24 |
| $Q_{fuel,R}$ (kWh/rok) | 455 820 |
| $Q_{fuel,R}$ (kWh/(m$^2$.rok)) | 91,2 |
| $Q_{nPE,R}$ (kWh/rok) | 273 959 |
| $Q_{nPE,R}$ (kWh/(m$^2$.rok)) | 54,8 |

K požadavkům pro ukazatele energetické náročnosti je třeba uvést následující komentář:

- Požadavek na $U_{em,R}$ pro NZEB o 30 % zpřísňuje požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U (W/m$^2$.K) podle ČSN 730540-2:2011, nastavení obálky budovy odpovídá cca doporučeným hodnotám podle ČSN.
- Zpřísnění požadavku na primární energii z neobnovitelných zdrojů vychází z legislativních pravidel. Požadavek pro NZEB po roce 2022 je pak vztažen k měrné potřebě energie na vytápění referenční budovy a pro nebytové objekty je požadavek vůči referenčnímu požadavku zpřísněn o 40 %.

Současně jsou pro tento objekt nastaveny hranice tříd EN, které se jsou vztaženy vždy k nové budově od 1.1.2022 (NZEB 2022).

**Tab.16 Hranice klasifikačních tříd EN pro jednotlivé ukazatele EN pro daný objekt podle vyhlášky č. 264/2020 Sb.**

| Třída EN | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Slovní vyjádření třídy EN | Mimořádně úsporná | Velmi úsporná | Úsporná | Méně úsporná | Nehospodárná | Velmi nehospodárná | Mimořádně nehospodárná |
| $U_{em}$ (W/m$^2$.K) | 0,17 | 0,21 | 0,29 | 0,40 | 0,55 | 0,69 | > 0,69 |
| $Q_{fuel}$ (kWh/m$^2$.rok) | 63,81 | 82,05 | 109,40 | 136,75 | 182,33 | 227,91 | > 227,91 |
| $Q_{fuel}$ (kWh/rok) | 319 074 | 410 238 | 546 984 | 683 730 | 911 640 | 1 139 549 | > 1 139 549 |
| $Q_{nPE}$ (kWh/m$^2$.rok) | 43,83 | 65,75 | 87,67 | 126,02 | 164,38 | 202,73 | > 202,73 |
| $Q_{nPE}$ (kWh/rok) | 219 167 | 328 751 | 438 334 | 630 105 | 821 877 | 1 013 648 | > 1 013 648 |

## 3.2 Bytový dům

### 3.2.1 Popis objektu

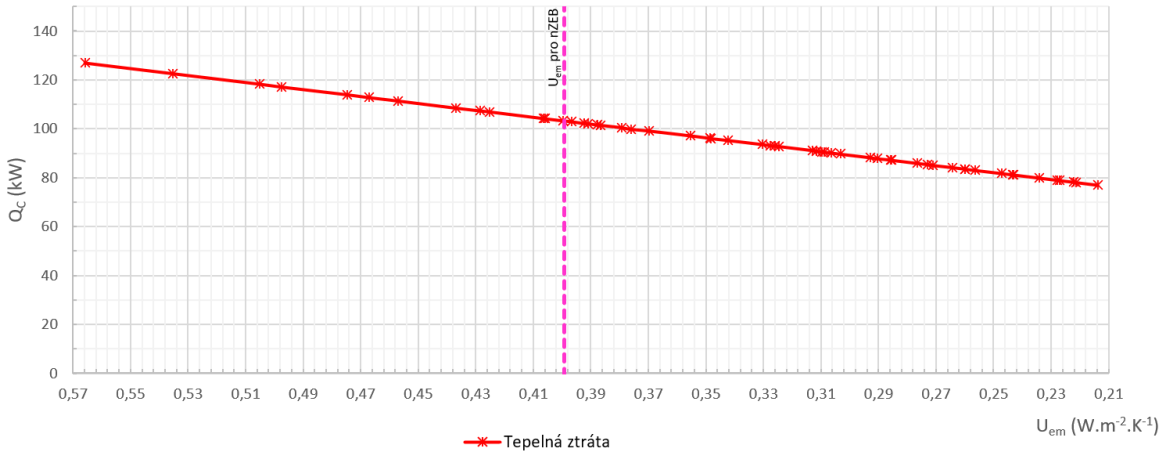
Jedná se o samostatně stojící třináctipodlažní bytový dům o rozměrech výška – 40 m, šířka – 30 m, délka 15 m. Větrání objektu je přirozené s intenzitou větrání 0,3 1/h. Výplně otvorů představují 30 % z ochlazované obálky budovy.

**Tab.17 Charakteristické údaje budovy – bytový dům**

| | |
|---|---|
| Geometrická charakteristika budovy A/V ($m^2/m^3$)<br>*Podíl ochlazované obálky budovy ku vnějšímu objemu budovy* | 0,24 |
| Celková energeticky vztažná plocha ($m^2$)<br>*Plocha všech podlaží budovy s upravovaným vnitřním prostředím stanovená z vnějších rozměrů* | 5850 |
| Vnější objem budovy ($m^3$) | 18000 |

### 3.2.2 Tepelná ztráta budovy

Tepelná ztráta budovy je stanovena pro jednotlivé kombinace součinitelů prostupu tepla a způsobu větrání. Z níže uvedeného grafu je patrná závislost změny tepelně technických vlastností na průběhu tepelné ztráty budovy. V případě splnění požadavku na současnou novostavbu má daný bytový dům s přirozeným větráním o I=0,3 1/h tepelnou ztrátu 103 kW.

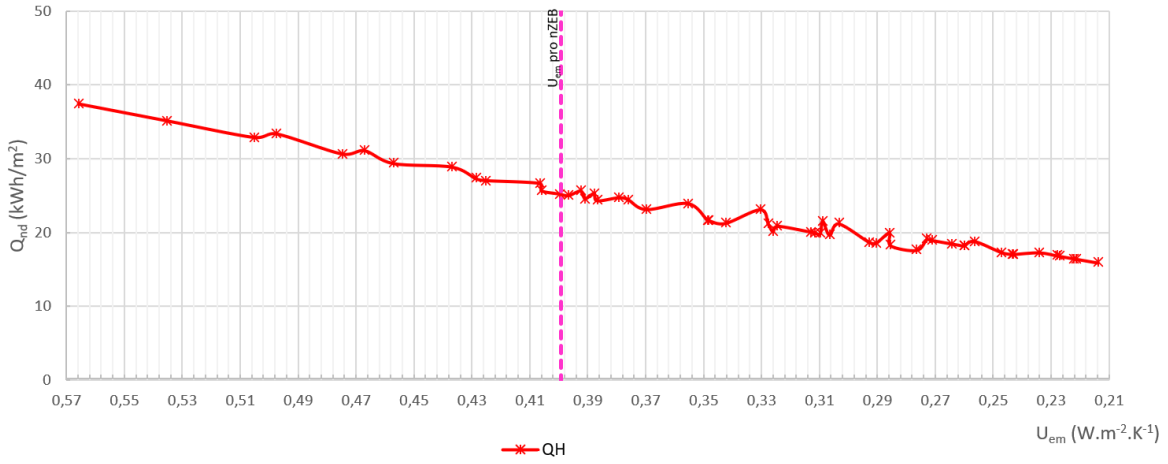



**Obr.7 Tepelná ztráta – bytový dům**

### 3.2.3 Potřeba tepla na vytápění

Pro danou budovu byla stanovena roční měrná potřeba energie na vytápění v závislosti na kvalitě obálky budovy. Z následujícího grafu je patrný průběh roční měrné potřeby energie na vytápění v závislosti na stavebním standardu. Potřeba energie nezahrnuje vliv účinností technických systémů a podíl jednotlivých energonositelů (např. zemní plyn, elektřina, energie okolního prostředí).

Díky na objem budovy relativně velké energeticky vztažné ploše, je celková měrná potřeba tepla nízká. V případě úrovně referenční budovy činí měrná roční potřeba na vytápění 22 kWh/m2.rok. Tato skutečnost má vliv na nejnižší možné zpřísnění primární energie pro tento konkrétní bytový dům. Zpřísnění odpovídá úrovni měrné roční potřeba tepla pro referenční budovy ve výši 22 kWh/$m^2$.rok. Problematika stanovení úrovně požadavku referenční budovy pro primární energii z neobnovitelných zdrojů je vysvětlena v kapitole 3.2.4.




**Obr.8 Měrná roční potřeba energie na vytápění**

### 3.2.4 Legislativní požadavky na ENB

Pro uvedený objekt jsou nastaveny minimální legislativní požadavky, tyto požadavky představují minimální standard pro novostavby, současně se požadavky na tento minimální standard v čase zpřísňují. Minimální legislativní požadavky pro jednotlivé ukazatele energetické náročnosti (EN) pro tento objekt jsou uvedeny v tabulce níže.

**Tab.18 Minimální legislativní požadavky pro ukazatele EN pro danou budovu**

| **Požadavky pro ukazatele energetické náročnosti referenční budovy** | **Budova v režimu NZEB (současné novostavba)** |
|---|---|
| $U_{em,R}$ (W/m$^2$.K) | 0,40 |
| $Q_{fuel,R}$ (kWh/rok) | 364 666 |
| $Q_{fuel,R}$ (kWh/(m$^2$.rok)) | 62,3 |
| $Q_{nPE,R}$ (kWh/rok) | 328 106 |
| $Q_{nPE,R}$ (kWh/(m$^2$.rok)) | 56,1 |

K požadavkům pro ukazatele energetické náročnosti je třeba uvést následující komentář:

- Požadavek na $U_{em,R}$ pro NZEB o 30 % zpřísňuje požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U (W/m$^2$.K) podle ČSN 730540-2:2011, nastavení obálky budovy odpovídá cca doporučeným hodnotám podle ČSN.
- Zpřísnění požadavku na primární energii z neobnovitelných zdrojů vychází z legislativních pravidel. Požadavek pro NZEB po roce 2022 je pak vztažen k měrné potřebě energie na vytápění referenční budovy a pro bytové domy je požadavek vůči referenčnímu požadavku zpřísněn o % uvedené podle pravidel v následující tabulce. Vzhledem ke skutečnosti, že měrná potřeba tepla na vytápění referenční budovy činí 22 kWh/m2.rok bude primární energie z neobnovitelných zdrojů pro tento bytový dům z přísněna pouze o 20 %

**Tab.19 Pravidla pro snížení referenční hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie**

| **Měrná potřeba tepla na vytápění referenční budovy** $E_{A,R}$ **[kWh/(m².a)]** | Snížení referenční hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie $\Delta e_{p,R}$ [%] | | |
|---|---|---|---|
| | Pro obytnou zónu [2)] | | Pro jinou než obytnou zónu |
| | Energeticky vztažná plocha budovy ≤ 120 m² | **Energeticky vztažná plocha budovy > 120 m²** | |
| ≥ 90 | 50 % | 60 % | 40 % |
| 80 | 45 % | 55 % | |
| 70 | 40 % | 50 % | |
| 60 | 35 % | 45 % | |
| 50 | 30 % | 40 % | |
| 40 | 25 % | 30 % | |
| **≤ 30** | 20 % | **20 %** | |

Současně jsou pro tento objekt nastaveny hranice tříd EN, které se jsou vztaženy vždy k nové budově od 1.1.2022 (NZEB 2022).

**Tab.20 Hranice klasifikačních tříd EN pro jednotlivé ukazatele EN pro daný objekt podle vyhlášky č. 264/2020 Sb.**

| **Třída EN** | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** | **F** | **G** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Slovní vyjádření třídy EN | Mimořádně úsporná | Velmi úsporná | Úsporná | Méně úsporná | Nehospodárná | Velmi nehospodárná | Mimořádně nehospodárná |
| $U_{em}$ (W/m².K) | 0,28 | 0,36 | 0,48 | 0,68 | 0,92 | 1,16 | > 1,16 |
| $Q_{fuel}$ (kWh/m².rok) | 43,64 | 56,10 | 74,80 | 93,50 | 124,67 | 155,84 | > 155,84 |
| $Q_{fuel}$ (kWh/rok) | 255 266 | 328 200 | 437 600 | 546 999 | 729 333 | 911 666 | > 911 666 |
| $Q_{nPE}$ (kWh/m².rok) | 44,87 | 67,30 | 89,74 | 129,00 | 168,26 | 207,52 | > 207,52 |
| $Q_{nPE}$ (kWh/rok) | 262 485 | 393 728 | 524 970 | 754 645 | 984 319 | 1 213 994 | > 1 213 994 |

# 4 HODNOCENÍ PARAMETRŮ

V rámci této kapitoly bude provedeno posouzení energetické náročnosti jednotlivých budov. Posouzení je provedeno pro proměnnou kvalitu obálky budovy.

Hodnocení ukazatelů energetická náročnosti a vyjádření vlivu řešení technických systémů na energetickou náročnost budovu je prezentována níže uvedenými ukazateli:

- Celková dodaná energie do budovy $Q_{fuel}$ v kWh/(m².rok)
- Primární energie z neobnovitelných zdrojů $Q_{nPE}$ v kWh/(m².rok)
- Emise $CO_2$ vyjádřené prostřednictvím podle vyhlášky o energetickém auditu v kg$CO_2$/m²
- Emise $CO_2$ vyjádřené prostřednictvím současných faktorů v kg$CO_2$/m²
- Procentuálním podílem nutným pro splnění požadavku primární energie z neobnovitelných zdrojů.

Výsledky hodnocení celkové dodané energie pro varianty technických systémů v jednotlivých budovách dopadne prakticky shodně. Do celkové dodané energie se podle požadavků vyhlášky 264/2020 Sb. započítává také energie okolí, tzn. celková roční bilance budovy s plynovým kotlem a tepelných čerpadlem vychází prakticky shodně což je patrné z porovnání variant. Tento ukazatel energetické náročnosti je závislý především na celkové účinnosti technického systému, kdy celková účinnost technického systému je pro všechny varianty podobná.

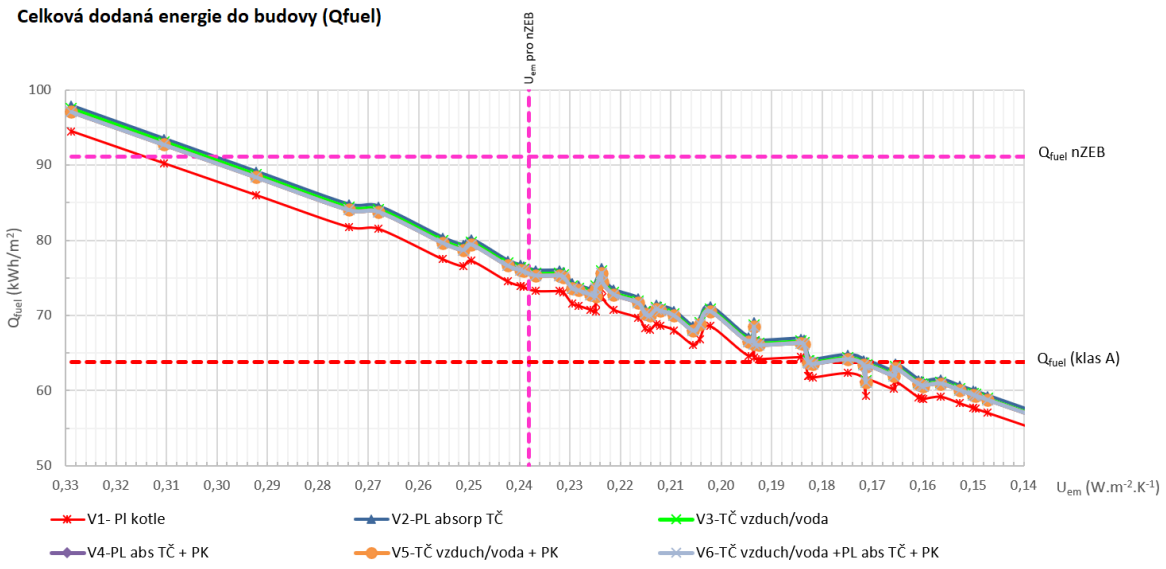
Rozdíly jsou naopak patrné v porovnání primární energie z neobnovitelných zdrojů kde, již má vliv jak skladba energonositelů (zemní plyn, elektřina z distribuční sítě, energie okolního prostředí), tak účinnost zdroje tepla v případě elektrických tepelných čerpadel zastoupená sezónním topným faktorem SCOP. Plynová tepelná čerpadla reprezentuje parametr GUE (Gas Utilization Efficiency), což je ekvivalent topného faktoru. Jako hlavní energonositel v energetickém hodnocení však není využívána elektřina jako kompresorových tepelných čerpadel, ale zemní plyn, případně alternativně LPG.

## 4.1 Hodnocení celkové dodané energie do budovy

Z následujícího grafu je patrné, že v případě hodnocení celkové dodané energie do budovy budou všechny varianty technických systémů splňovat požadavek na tento ukazatel energetické náročnosti. Z uvedeného přehledu je patrné, že varianty s nuceným větráním mají nižší celkovou dodanou energii ve srovnání s ostatními variantami.

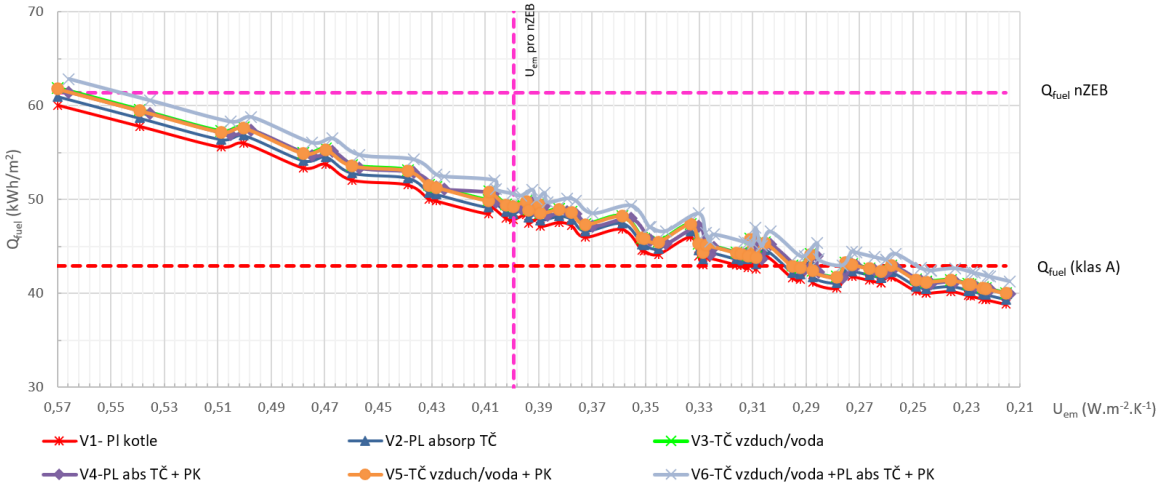
Vzhledem k faktu, že součástí celkové dodané energie do budovy je také energie okolního prostředí, tak je celkový součet dílčích dodaných energií pro všechny porovnávané varianty prakticky stejný. Rozdíl je pouze v pomocné energii, kdy je u plynových tepelných čerpadel započten elektrický příkon pro pomocnou energii. Podobně je u kompresorových tepelných čerpadel vzduch/voda započtena elektrická energie pro pohon ventilátoru v podobě pomocné energie.

### 4.1.1 Skladová hala




**Obr.9 Průběh $Q_{fuel}$ pro halu**

### 4.1.2 Bytový dům




**Obr.10 Průběh $Q_{fuel}$ pro bytový dům**

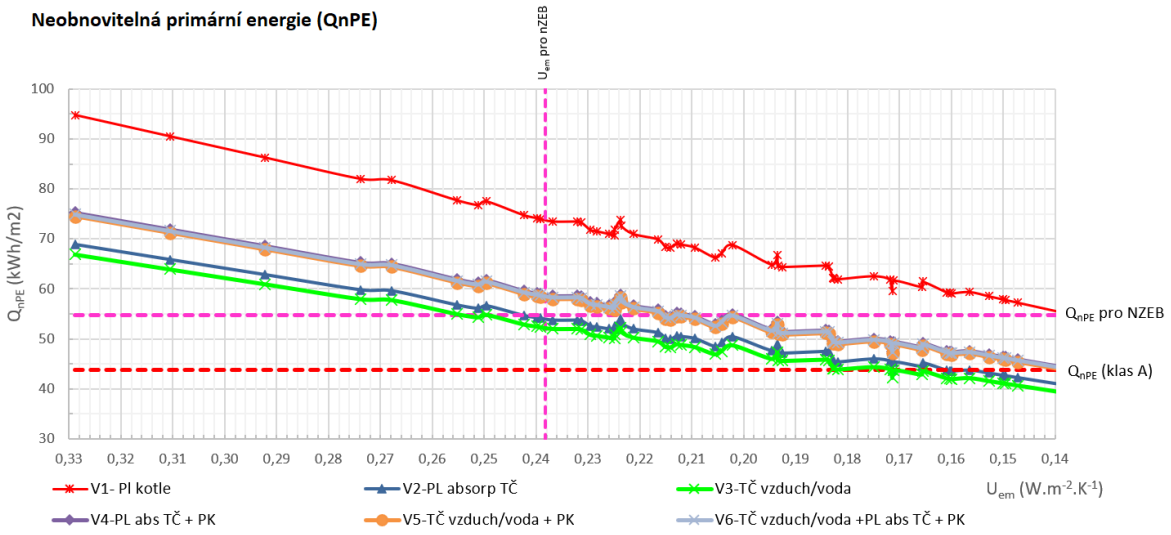
## 4.2 Hodnocení primární energie z neobnovitelných zdrojů budovy

Celková primární energie z neobnovitelných zdrojů byla stanovena pro jednotlivé varianty technického řešení zdroje tepla. V případě všech variant byl potřebný podíl primární energie z obnovitelných zdrojů dopočítán tak, aby budova splnila požadavek na referenční budovu standardu novostavby - NZEB podle vyhlášky 264/2020 Sb.

### 4.2.1 Skladová hala

Na níže uvedeném grafu, a číselně v tabulce níže, je porovnání splnění požadavku primární energie z neobnovitelných zdrojů pro jednotlivé definované stavební standardy. Z grafu je patrné splnění/nesplnění příslušných úrovní požadavků pro jednotlivé varianty a tepelně-technický standard.

- Nejhůře vychází varianta 1 (plynový kotel) a jak je patrné, tak tato varianta v tomto nastavení nebude plnit požadavky na energetickou náročnost ani s obálkou budovy v úrovni pasivního standardu.
- Varianta 2 (PL TČ) a varianta 3 (EL TČ) vychází prakticky identicky a pokud hala splní požadavky na kvalitu obálky pro novostavby, splní také požadavky na primární energii z neobnovitelných zdrojů
- Ostatní varianty, které využívají jako bivalentní zdroj kondenzační plynové kotle vychází následně prakticky shodně a pro splnění požadavků na primární energii z neobnovitelných zdrojů je nezbytné předpokládat obálku budovy na úrovni cca $U_{em} \leq 0{,}2$ W/m$^2$.K.
- Pokud by budova v tomto nastavení měla plnit hlavní klasifikační třídu A – mimořádně úsporná, pak toto kritérium bez nuceného větrání se zpětným získáváním tepla plní pouze varianta 2 (PL TČ) a varianta 3 (EL TČ).




**Obr.11 Porovnání splnění požadavku $Q_{nPE}$ pro halu**

**Tab.21 Porovnání jednotlivých variant a splnění požadavku na primární energii z neobnovitelných zdrojů pro halu**

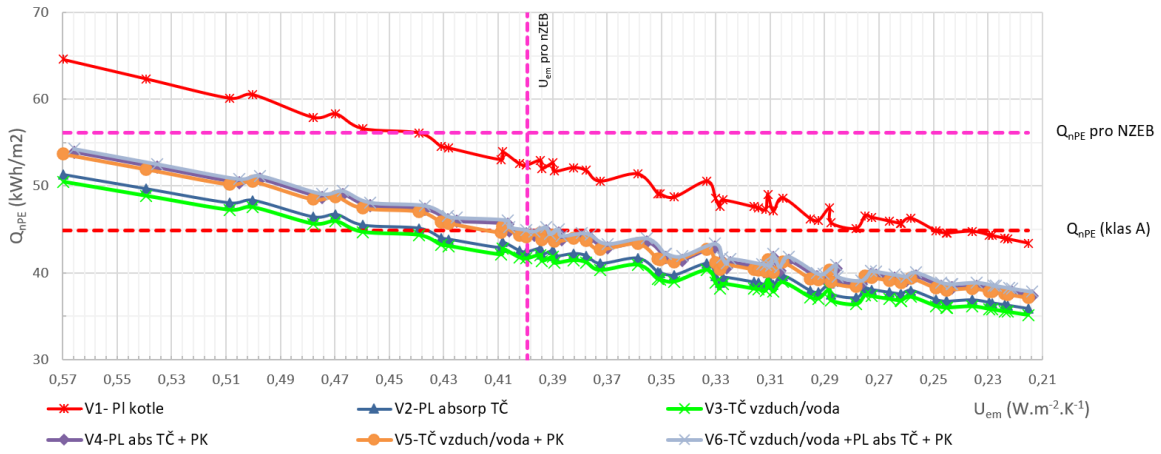
| Požadavek na stavební standard | $U_{em}$ | Varianta technických systémů | QnPE | Rozdíl QnPE pro NZEB | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | kWh/(m$^2$.rok) | (kWh/m$^2$.rok) | % |
| požadovaná U | 0,33 W/m$^2$.K | V1 - Pl kondenz kotle (PK) | **94,7** | 39,9 | -73% |
| | | V2 - PL absorp TČ | **68,8** | 14,0 | -26% |
| | | V3 - TČ vzduch/voda | **66,9** | 12,1 | -22% |
| | | V4 - PL abs TČ + PK | **75,2** | 20,4 | -37% |
| | | V5 - TČ vzduch/voda + PK | **74,5** | 19,7 | -36% |
| | | V6 - TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **74,9** | 20,1 | -37% |
| NZEB / doporučená U | 0,24 W/m$^2$.K | V1 - Pl kondenz kotle (PK) | **74,2** | 19,4 | -35% |
| | | V2 - PL absorp TČ | **54,2** | -0,6 | 1% |
| | | V3 - TČ vzduch/voda | **52,5** | -2,3 | 4% |
| | | V4 - PL abs TČ + PK | **59,1** | 4,3 | -8% |
| | | V5 - TČ vzduch/voda + PK | **58,5** | 3,7 | -7% |
| | | V6 - TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **58,9** | 4,1 | -7% |
| vyšší standard | 0,20 W/m$^2$.K | V1 - Pl kondenz kotle (PK) | **67,1** | 12,3 | -22% |
| | | V2 - PL absorp TČ | **49,2** | -5,6 | 10% |
| | | V3 - TČ vzduch/voda | **47,6** | -7,2 | 13% |
| | | V4 - PL abs TČ + PK | **53,6** | -1,2 | 2% |
| | | V5 - TČ vzduch/voda + PK | **53,1** | -1,7 | 3% |
| | | V6 - TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **53,3** | -1,4 | 3% |
| vyšší standard | 0,17 W/m$^2$.K | V1 - Pl kondenz kotle (PK) | **62,5** | 7,8 | -14% |
| | | V2 - PL absorp TČ | **46,0** | -8,8 | 16% |
| | | V3 - TČ vzduch/voda | **44,4** | -10,4 | 19% |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | V4 - PL abs TČ + PK | **50,0** | -4,8 | 9% |
| | | V5 - TČ vzduch/voda + PK | **49,5** | -5,3 | 10% |
| | | V6 - TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **49,8** | -5,0 | 9% |
| **pasiv** | **0,15 W/m².K** | V1 - Pl kondenz kotle (PK) | **57,9** | 3,1 | -6% |
| | | V2 - PL absorp TČ | **42,7** | -12,1 | 22% |
| | | V3 - TČ vzduch/voda | **41,1** | -13,6 | 25% |
| | | V4 - PL abs TČ + PK | **46,4** | -8,4 | 15% |
| | | V5 - TČ vzduch/voda + PK | **45,9** | -8,9 | 16% |
| | | V6 - TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **46,2** | -8,6 | 16% |
| | **$Q_{nPE}$ NZEB** | | **54,8** | | |

### 4.2.2 Bytový dům

Na níže uvedeném grafu, a číselně v tabulce níže, je porovnání splnění požadavku primární energie z neobnovitelných zdrojů pro jednotlivé definované stavební standardy. Z grafu je patrné splnění/nesplnění příslušných úrovní požadavků pro jednotlivé varianty a tepelně-technický standard.

- Díky minimálnímu zpřísnění požadavku na primární energii (díky nízké měrné potřebě tepla na vytápění referenční budovy pouze o 20 %, pro ostatní nebytové stavby platí jednotné zpřísnění požadavku o 40 % bez ohledu na měrnou potřebu tepla na vytápění referenční budovy, viz kapitola 3.2.4) všechny varianty plní požadavek na primární energii z neobnovitelných zdrojů, pokud splní požadavek na kvalitu obálky budovy.
- V případě nutnosti dosažení klasifikační třídy A, tak v úrovni této třídy budou varianty V3, V2, V5, V6 s jakoukoliv kvalitou obálky budovy splňující legislativní požadavek na obálku budovy. Varianty V1 a V4 tuto úroveň splní s $U_{em}$ na úrovni 0,33, resp. 0,25 W/m².K.




**Obr.12 Porovnání splnění požadavku $Q_{nPE}$ pro bytový dům**

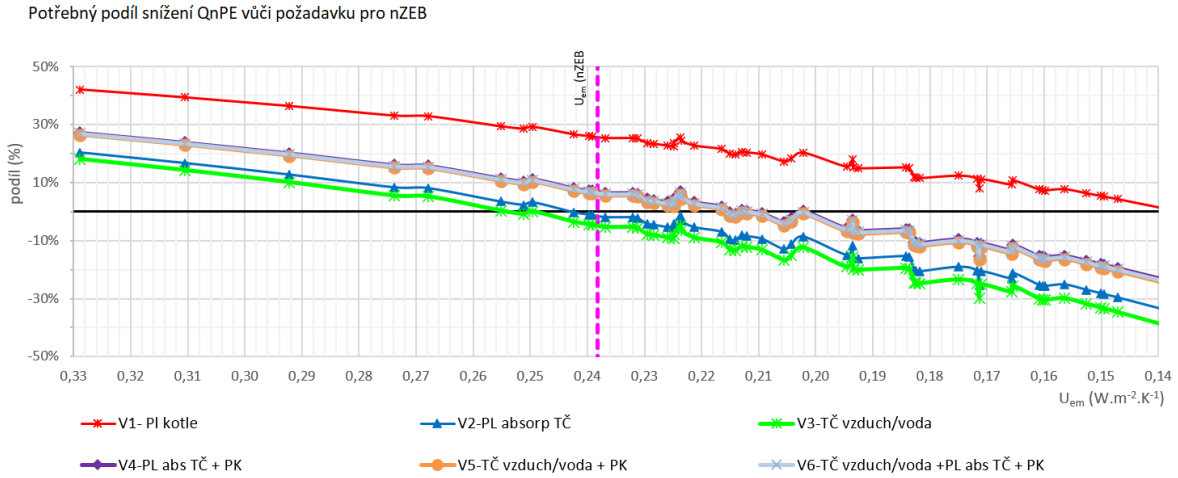
**Obr.13 Porovnání jednotlivých variant a splnění požadavku na primární energii z neobnovitelných zdrojů pro bytový dům**

| Požadavek na stavební standard | $U_{em}$ | Varianta technických systémů | $Q_{nPE}$ kWh/(m2.rok) | $Q_{nPE}$ (kWh/m2.rok) | Rozdíl $Q_{nPE}$ pro NZEB % |
|---|---|---|---|---|---|
| požadovaná U | 0,57 W/m².K | V1- Pl kotle | **64,6** | 8,5 | -15% |
| | | V2-PL absorp TČ | **51,3** | -4,8 | 9% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **50,5** | -5,7 | 10% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **53,9** | -2,2 | 4% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **53,7** | -2,4 | 4% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **54,3** | -1,8 | 3% |
| NZEB / doporučená U | 0,41 W/m².K | V1- Pl kotle | **54,4** | -1,7 | 3% |
| | | V2-PL absorp TČ | **43,8** | -12,3 | 22% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **43,1** | -13,1 | 23% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **45,9** | -10,2 | 18% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **45,7** | -10,4 | 19% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **46,3** | -9,8 | 17% |
| vyšší standard | 0,32 W/m².K | V1- Pl kotle | **47,6** | -8,5 | 15% |
| | | V2-PL absorp TČ | **38,9** | -17,2 | 31% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **38,2** | -18,0 | 32% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **40,6** | -15,6 | 28% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **40,4** | -15,7 | 28% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **41,0** | -15,1 | 27% |
| vyšší standard | 0,28 W/m².K | V1- Pl kotle | **46,6** | -9,6 | 17% |
| | | V2-PL absorp TČ | **38,1** | -18,0 | 32% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **37,4** | -18,7 | 33% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **39,8** | -16,3 | 29% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **39,6** | -16,5 | 29% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **40,2** | -15,9 | 28% |
| pasiv | 0,23 W/m².K | V1- Pl kotle | **44,3** | -11,8 | 21% |
| | | V2-PL absorp TČ | **36,5** | -19,6 | 35% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **35,8** | -20,4 | 36% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **38,0** | -18,1 | 32% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **37,8** | -18,3 | 33% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **38,5** | -17,6 | 31% |
| | $Q_{nPE}$ NZEB | | **56,1** | | |

## 4.3 Potřebný podíl snížení $Q_{nPE}$

Jak je uvedeno v posouzení primární energie z neobnovitelných zdrojů, tak pokud budova nesplňuje tento ukazatel, je nezbytné zajistit podíl energie z obnovitelných zdrojů. Potřebný procentuální podíl pro dosažení požadavku $Q_{nPE}$ pro novostavbu znázorňuje níže uvedený graf.

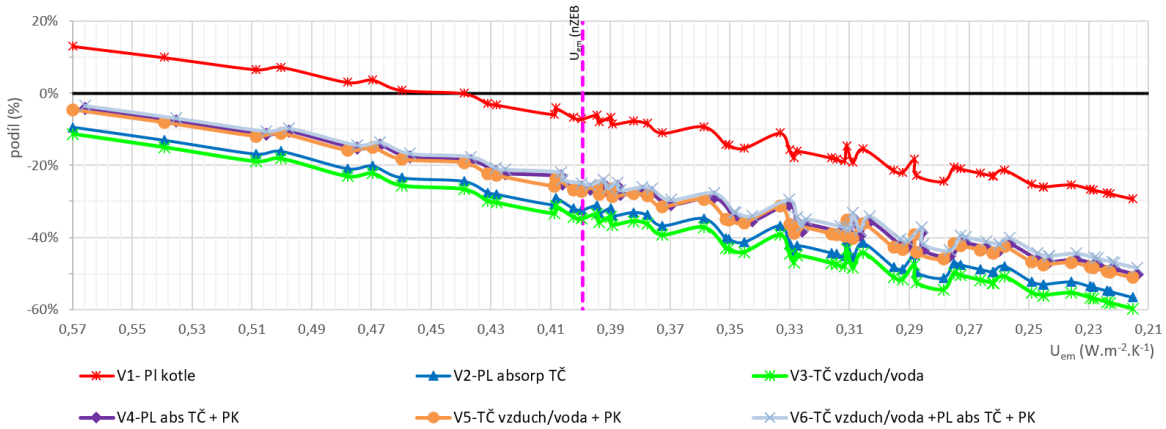
### 4.3.1 Skladová hala




**Obr.14 Potřebný podíl snížení $Q_{nPE}$ pro splnění požadavku $Q_{nPE}$ pro halu**

### 4.3.2 Bytový dům

Vzhledem k tomu, že všechny varianty splňují požadavek na $Q_{nPE,R}$ za předpokladu splnění požadavku na úroveň kvality obálky budovy, je potřebný podíl OZE v úrovni od $U_{em,NZEB}$ v záporných hodnotách, tzn. není potřeba další podíl energie z OZE.




**Obr.15 Potřebný podíl snížení $Q_{nPE}$ pro splnění požadavku $Q_{nPE}$ pro bytový dům**

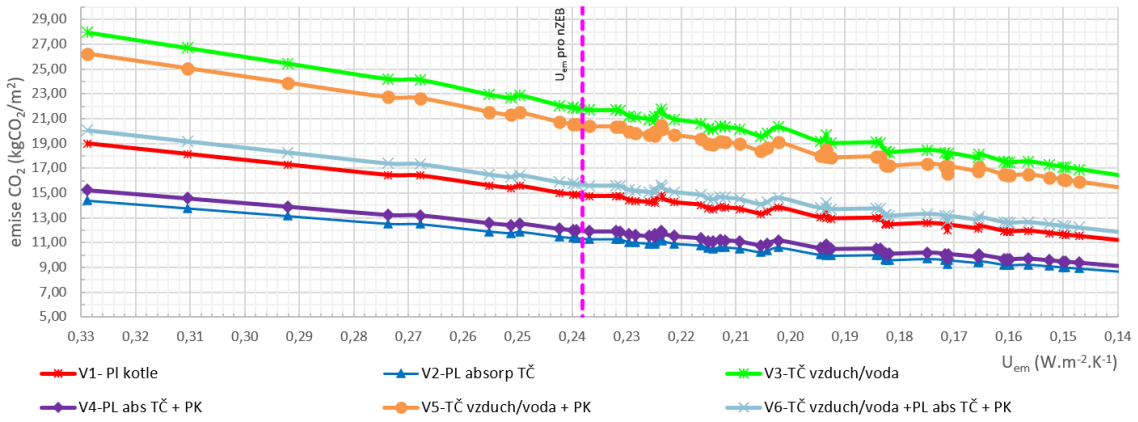
## 4.4 Emise $CO_2$

Emise $CO_2$ jsou stanoveny podle emisních faktorů uvedených ve vyhlášce o energetickém auditu, což je v případě elektřiny více než dvojnásobná hodnota v případě porovnání s čistým emisním faktorem z roku 2023. V níže uvedených grafech je pro elektřinu uvažována pro elektřinu hodnota 0,86 $tCO_2$/MWh. V následující kapitole je uvedený přehled pro emisní zatížení elektřiny ve výši 0,4 $tCO_2$/MWh, viz komentář v kapitole 2.6.4.

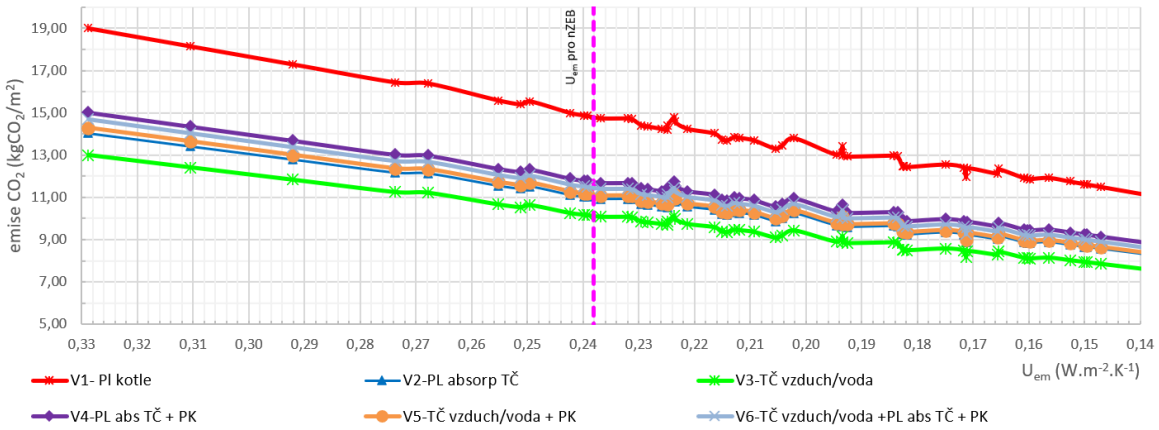
Níže uvedené grafy ukazují pro jednotlivé objekty stanovení emisí $CO_2$ na základě aktuálních podmínek. Grafy ukazují stav, kdy emise $CO_2$ pro elektřinu budou v úrovni 0,4 $tCO_2$/MWh.

V případě reálného emisního faktoru pro elektřinu má varianta čistě s kompresorovým tepelným čerpadlem poloviční emise $CO_2$ v porovnání variantou 1 (kotel na zemní plyn), podobně viz následující grafy.

### 4.4.1 Skladová hala




**Obr.16 Emise $CO_2$ pro halu podle vyhlášky 140/2020 Sb.**




**Obr.17 Emise $CO_2$ pro halu – reálná hodnota**

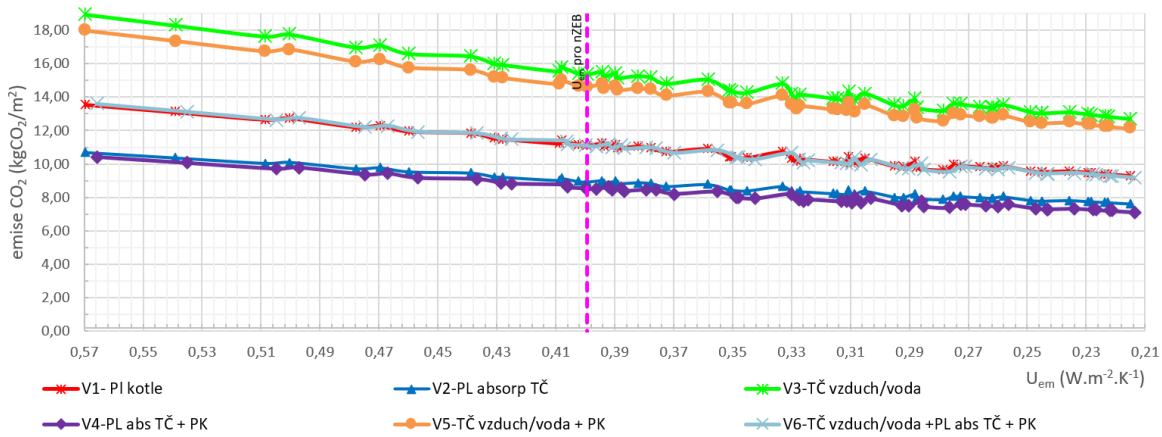
**Tab.22 Porovnání jednotlivých variant z pohledu emisí $CO_2$ podle vyhlášky 140/2021 Sb. a aktuálních hodnot emisí $CO_2$ pro elektřinu – hala**

| Požadavek na stavební standard | $U_{em}$ | Varianta technických systémů | Vyhláška 140/2020 Sb. | Aktuální/reálná hodnota | rozdíl |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | kgCO2/m² | kgCO2/m² | % |
| požadovaná U | 0,33 W/m².K | V1- Pl kotle | 19,0 | 18,9 | 0% |
| | | V2-PL absorp TČ | 14,4 | 14,0 | -2% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 28,0 | 13,0 | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 15,2 | 15,0 | -1% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 26,2 | 14,3 | -46% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 20,0 | 14,7 | -27% |
| NZEB / doporučená U | 0,24 W/m².K | V1- Pl kotle | 14,9 | 14,8 | 0% |
| | | V2-PL absorp TČ | 11,4 | 11,0 | -3% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 21,9 | 10,2 | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 12,0 | 11,8 | -2% |

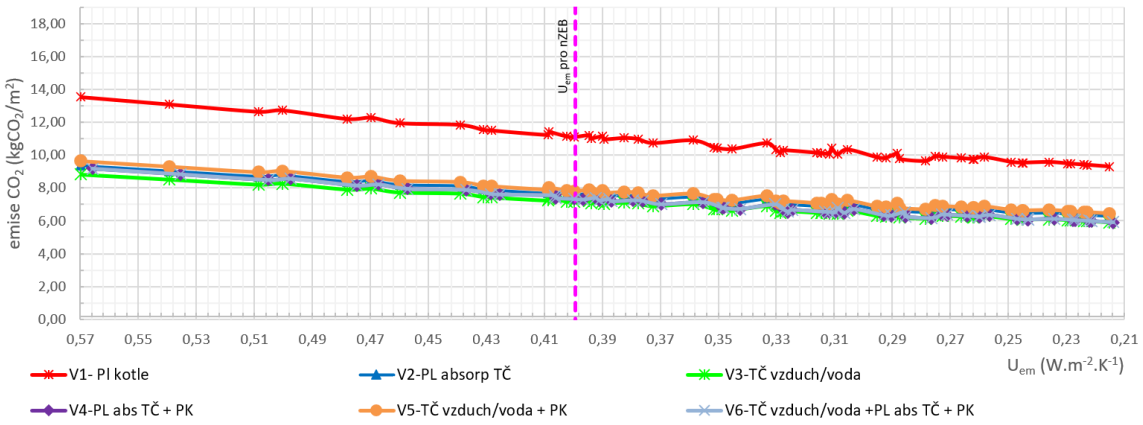
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **20,6** | **11,2** | -46% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **15,7** | **11,5** | -27% |
| **vyšší standard** | **0,20 W/m².K** | V1- Pl kotle | **13,5** | **13,4** | 0% |
| | | V2-PL absorp TČ | **10,3** | **10,0** | -3% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **19,8** | **9,2** | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **10,9** | **10,7** | -2% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **18,6** | **10,1** | -46% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **14,3** | **10,4** | -27% |
| **vyšší standard** | **0,17 W/m².K** | V1- Pl kotle | **12,6** | **12,5** | -1% |
| | | V2-PL absorp TČ | **9,7** | **9,3** | -3% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **18,5** | **8,6** | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **10,2** | **10,0** | -2% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **17,4** | **9,4** | -46% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **13,3** | **9,7** | -27% |
| **pasiv** | **0,15 W/m².K** | V1- Pl kotle | **11,6** | **11,6** | -1% |
| | | V2-PL absorp TČ | **9,0** | **8,7** | -4% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **17,1** | **7,9** | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **9,4** | **9,2** | -2% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **16,1** | **8,8** | -46% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **12,4** | **9,0** | -27% |

Díky vysoké hodnotě emisního faktoru CO2 pro elektřinu v porovnání se zemním plynem jsou varianty s kompresorovým tepelným čerpadlem horší než varianta s plynovým kotlem na zemní plyn. V případě současného stavebního standardu je na základě uvedeného přepočtu s ohledem na emise $CO_2$ varianta se zdrojem tepla v podobě plynového tepelného čerpadla s energonositelem zemní plyn variantou s nejnižšími emisemi $CO_2$.

### 4.4.2 Bytový dům




**Obr.18 Emise $CO_2$ pro bytový dům podle vyhlášky 140/2020 Sb.**




**Obr.19 Emise $CO_2$ pro bytový dům – reálná hodnota**

**Obr.20 Porovnání jednotlivých variant z pohledu emisí $CO_2$ podle vyhlášky 140/2021 Sb. a aktuálních hodnot emisí $CO_2$ pro elektřinu – bytový dům**

| Požadavek na stavební standard | $U_{em}$ | Varianta technických systémů | Vyhláška 140/2020 Sb. | Aktuální/reálná hodnota | rozdíl |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | kgCO2/m² | kgCO2/m² | % |
| požadovaná U | 0,57 W/m².K | V1- Pl kotle | 13,5 | 12,5 | -8% |
| | | V2-PL absorp TČ | 10,7 | 9,4 | -12% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 19,0 | 8,8 | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 10,4 | 9,2 | -12% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 18,0 | 9,6 | -46% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 13,6 | 9,2 | -33% |
| NZEB / doporučená U | 0,41 W/m².K | V1- Pl kotle | 11,5 | 10,4 | -9% |
| | | V2-PL absorp TČ | 9,2 | 7,9 | -14% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 15,9 | 7,4 | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 8,8 | 7,6 | -14% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 15,2 | 8,1 | -47% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 11,5 | 7,6 | -34% |
| vyšší standard | 0,32 W/m².K | V1- Pl kotle | 10,1 | 9,1 | -11% |
| | | V2-PL absorp TČ | 8,2 | 6,9 | -16% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 13,9 | 6,5 | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 7,7 | 6,5 | -16% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 13,3 | 7,1 | -47% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 10,0 | 6,5 | -35% |
| vyšší standard | 0,28 W/m².K | V1- Pl kotle | 9,9 | 8,9 | -11% |
| | | V2-PL absorp TČ | 8,1 | 6,7 | -16% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 13,6 | 6,3 | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 7,6 | 6,4 | -16% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 13,0 | 6,9 | -47% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 9,8 | 6,4 | -35% |
| pa siv | 0,23 W/ | V1- Pl kotle | 9,5 | 8,4 | -11% |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | V2-PL absorp TČ | **7,7** | **6,4** | -17% |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **13,0** | **6,0** | -53% |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **7,2** | **6,0** | -17% |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **12,4** | **6,6** | -47% |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **9,4** | **6,1** | -35% |

## 4.5 Energonositele pro vytápění

Dalším ukazatele, který bude diskutován pro jednotlivá řešení a typy objektů bude dodané množství příslušného energonositele na vytápění budovy. Absolutní hodnoty uvádí následující tabulka ve vztahu k obálce budovy.

**Tab.23 Porovnání jednotlivých variant podle energie na vytápění pomocí energonositelů - hala**

| Požadavek na stavební standard | $U_{em}$ | Varianta technických systémů | EL | ZP | OZE |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Elektřina (kWh/m²) | Zemní plyn (kWh/m²) | Energie okolí (kWh/m²) |
| požadovaná U | 0,33 W/m².K | V1- Pl kotle | **0,1** | **94,4** | **0,0** |
| | | V2-PL absorp TČ | **0,7** | **68,7** | **28,5** |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **32,5** | **0,0** | **64,7** |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **0,5** | **74,1** | **22,5** |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **26,0** | **19,4** | **51,2** |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **11,6** | **50,2** | **34,8** |
| NZEB / doporučená U | 0,24 W/m².K | V1- Pl kotle | **0,1** | **73,8** | **0,0** |
| | | V2-PL absorp TČ | **0,7** | **53,7** | **22,3** |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **25,4** | **0,0** | **50,6** |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **0,5** | **58,0** | **17,6** |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **20,4** | **15,2** | **40,0** |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **9,2** | **39,3** | **27,1** |
| vyšší standard | 0,20 W/m².K | V1- Pl kotle | **0,1** | **66,7** | **0,0** |
| | | V2-PL absorp TČ | **0,7** | **48,5** | **20,2** |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **23,0** | **0,0** | **45,7** |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **0,5** | **52,4** | **15,9** |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **18,4** | **13,8** | **36,1** |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **8,3** | **35,5** | **24,5** |
| vyšší standard | 0,17 W/m².K | V1- Pl kotle | **0,1** | **62,2** | **0,0** |
| | | V2-PL absorp TČ | **0,7** | **45,2** | **18,8** |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **21,5** | **0,0** | **42,6** |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **0,5** | **48,8** | **14,8** |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | **17,2** | **12,8** | **33,6** |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | **7,8** | **33,1** | **22,8** |
| pasiv | 0,15 W/m².K | V1- Pl kotle | **0,1** | **57,6** | **0,0** |
| | | V2-PL absorp TČ | **0,7** | **41,8** | **17,5** |
| | | V3-TČ vzduch/voda | **19,9** | **0,0** | **39,4** |
| | | V4-PL abs TČ + PK | **0,5** | **45,2** | **13,7** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 15,9 | 11,9 | 31,1 |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 7,2 | 30,6 | 21,1 |

**Tab.24 Porovnání jednotlivých variant z pohledu energie na vytápění vyjádřená pomocí energonositelů – bytový dům**

| Požadavek na stavební standard | Uem | Varianta technických systémů | EL | ZP | OZE |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Elektřina (kWh/m2) | Zemní plyn (kWh/m2) | Energie okolí (kWh/m2) |
| požadovaná U | 0,57 W/m².K | V1- Pl kotle | 2,3 | 57,7 | 0,0 |
| | | V2-PL absorp TČ | 2,9 | 41,1 | 17,0 |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 22,0 | 0,0 | 37,4 |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 2,6 | 40,7 | 18,1 |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 18,1 | 11,9 | 29,1 |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 9,6 | 26,6 | 23,9 |
| NZEB / doporučená U | 0,41 W/m².K | V1- Pl kotle | 2,3 | 47,5 | 0,0 |
| | | V2-PL absorp TČ | 2,9 | 33,7 | 14,0 |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 18,5 | 0,0 | 30,4 |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 2,6 | 32,8 | 15,7 |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 15,3 | 9,8 | 23,5 |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 8,4 | 21,2 | 20,1 |
| vyšší standard | 0,32 W/m².K | V1- Pl kotle | 2,3 | 40,7 | 0,0 |
| | | V2-PL absorp TČ | 2,9 | 28,8 | 12,0 |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 16,2 | 0,0 | 25,7 |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 2,6 | 27,4 | 14,0 |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 13,5 | 8,4 | 19,8 |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 7,6 | 17,6 | 17,6 |
| vyšší standard | 0,28 W/m².K | V1- Pl kotle | 2,3 | 39,7 | 0,0 |
| | | V2-PL absorp TČ | 2,9 | 28,0 | 11,7 |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 15,8 | 0,0 | 25,0 |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 2,6 | 26,7 | 13,8 |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 13,2 | 8,2 | 19,2 |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 7,5 | 17,1 | 17,2 |
| pasiv | 0,23 W/m².K | V1- Pl kotle | 2,3 | 37,4 | 0,0 |
| | | V2-PL absorp TČ | 2,9 | 26,3 | 11,0 |
| | | V3-TČ vzduch/voda | 15,1 | 0,0 | 23,5 |
| | | V4-PL abs TČ + PK | 2,6 | 24,9 | 13,3 |
| | | V5-TČ vzduch/voda + PK | 12,6 | 7,8 | 18,0 |
| | | V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK | 7,2 | 15,9 | 16,4 |

# 5 SHRNUTÍ

Ve zprávě jsou analyzovány různé varianty technických řešení systémů vytápění za účelem splnění legislativních požadavků na energetickou náročnost budov platných od 1. 9. 2024. Z výsledků vyplývá, že použití

tepelných čerpadel (plynových nebo elektrických) ve srovnání s kondenzačními plynovými kotli umožňuje dosáhnout lepších výsledků, pokud jde o spotřebu primární energie z neobnovitelných zdrojů. Tyto varianty také vykazují významné rozdíly ve výsledných emisích CO2, přičemž systémy s elektrickými tepelnými čerpadly obecně vedou k nižším emisím v porovnání s plynovými zdroji, za předpokladu použití nižšího emisního faktoru pro elektřinu.

Pro jednotlivé typy budov (skladová hala a bytový dům) jsou shrnuty varianty, které splňují požadavky na kvalitu obálky budovy, a přitom minimalizují potřebu energie z neobnovitelných zdrojů.

**Tab.25 Porovnání variant - Skladová hala ($U_{em}$ = 0,24 W/m².K – požadavek NZEB)**

| Varianta | $Q_{nPE}$ (kWh/m²/rok) | Rozdíl $Q_{nPE}$ oproti NZEB (%) | Emise $CO_2$ (kg/m²/rok) |
|---|---|---|---|
| V1 - Plynový kondenzační kotel | 74,2 | -35% | 14,8 |
| V2 - Plynové absorpční TČ | 54,2 | 1% | 11 |
| V3 - Tepelné čerpadlo vzduch/voda | 52,5 | 4% | 10,2 |
| V4 - Plynové abs. TČ + PK | 59,1 | -8% | 11,8 |
| V5 - TČ vzduch/voda + PK | 58,5 | -7% | 11,2 |
| V6 - TČ vzduch/voda + PL abs. TČ + PK | 58,9 | -7% | 11,5 |

**Tab.26 Porovnání variant – bytový dům ($U_{em}$ = 0,41 W/m².K – požadavek NZEB)**

| Varianta | $Q_{nPE}$ (kWh/m²/rok) | Rozdíl $Q_{nPE}$ oproti NZEB (%) | Emise $CO_2$ (kg/m²/rok) |
|---|---|---|---|
| V1 - Plynový kondenzační kotel | 54,4 | 3% | 10,4 |
| V2 - Plynové absorpční TČ | 43,8 | 22% | 7,9 |
| V3 - Tepelné čerpadlo vzduch/voda | 43,1 | 23% | 7,4 |
| V4 - Plynové abs. TČ + PK | 45,9 | -10,2 | 7,6 |
| V5 - TČ vzduch/voda + PK | 45,7 | 19% | 8,1 |
| V6 - TČ vzduch/voda + PL abs. TČ + PK | 46,3 | 17% | 7,6 |

Na základě dostupných údajů o jednotlivých variantách systémů vytápění je možné porovnat efektivitu a dopady na energetickou náročnost a emise $CO_2$. Zpráva analyzuje šest variant technických řešení pro vytápění, které kombinují plynové kondenzační kotle, plynová a elektrická tepelná čerpadla. Shrnutí klíčových aspektů jednotlivých variant:

**Varianta 1 - Plynové kondenzační kotle**

- **Primární energie**: Nejvyšší spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů ve srovnání s ostatními variantami, což je nevýhoda při snaze o splnění přísných požadavků na energetickou náročnost.

- **Emise CO2**: Emise jsou zde také vysoké kvůli závislosti na fosilních palivech.
- **Využití**: Tato varianta nemusí být vhodná pro budovy s cílem dosáhnout vysoké energetické úspory.

**Varianta 2 - Plynová tepelná čerpadla**

- **Primární energie**: Výrazně nižší než u kondenzačních kotlů, shodná úroveň v porovnání s kompresorovými tepelnými čerpadly.
- **Emise CO2**: Snížené ve srovnání s kondenzačními kotly.
- **Využití**: Vhodná pro budovy s mírnými požadavky na snížení emisí, nebo kde není možné použít elektrická zařízení.

**Varianta 3 - Elektrická tepelná čerpadla vzduch/voda**

- **Primární energie**: Nižší spotřeba než plynové varianty, zvláště při použití obnovitelných zdrojů elektřiny.
- **Emise CO2**: Značně nižší než u plynových systémů za předpokladu, že elektřina pochází z ekologičtějších zdrojů.
- **Využití**: Nejvhodnější pro budovy s vysokými nároky na úspory energie a nízké emise.

**Varianta 4 - Kaskáda plynových tepelných čerpadel a kondenzačních kotlů**

- **Primární energie**: Efektivní kombinace, nižší než u čistě plynových systémů.
- **Emise CO2**: Nižší emise díky využití plynových tepelných čerpadel, ale ne tak nízké jako u čistě elektrických systémů.
- **Využití**: Pro budovy s omezením spotřeby elektřiny s distribuční sítě, ale stále s důrazem na úsporu primární energie.

**Varianta 5 - Kaskáda elektrických tepelných čerpadel a kondenzačních kotlů**

- **Primární energie**: Výhodná kombinace, umožňuje nižší závislost na neobnovitelných zdrojích.
- **Emise CO2**: Vysoký potenciál pro nízké emise, zvláště pokud je elektřina z obnovitelných zdrojů.
- **Využití**: Pro budovy s cílem dosáhnout vysokých úspor energie s nižšími emisemi.

**Varianta 6 - Kaskáda elektrických a plynových tepelných čerpadel s kondenzačními kotly**

- **Primární energie**: Dobrá úroveň úspory díky kombinaci různých zdrojů energie.
- **Emise CO2**: Mezi elektrickými a plynovými variantami, umožňuje flexibilitu při dodržování emisních požadavků.
- **Využití**: Pro budovy, kde je důležitá flexibilita a efektivita ve využívání více typů zdrojů energie.

**Celkové doporučení**

- **Maximální úspora energie a nízké emise**: Varianta 3 je ideální, pokud je možné využívat elektrická tepelná čerpadla s ekologickým zdrojem elektřiny.
- **Flexibilita a kombinace zdrojů**: Varianty 5 a 6 umožňují kombinovat plynové i elektrické zdroje s možností optimalizace nákladů.
- **Minimalizace investic do infrastruktury**: Varianta 2 nebo 4 může být vhodná, pokud se preferuje zemní plyn a nejsou požadavky na nejvyšší třídy energetické účinnosti.

# 6 ZÁVĚR

Studie vychází z novely vyhlášky 264/2020 Sb. platné od 1.9.2024. Novela vyhlášky mění hodnocení primární energie zejména u objektů s využitím elektřiny pro vytápění a přípravu teplé vody a snižuje dosavadní požadavky vzhledem k primární energii z nebo. zdrojů pro tento typ objektů. Závěry plynoucí ze studie ukazují vliv koncepce technických systémů vzhledem k legislativním požadavkům pro novostavby s různými variantami plynových tepelných zdrojů a různých typů tepelných čerpadel.

Studie se zbývá pouze číselným porovnáním jednotlivých variant technických systémů ve vztahu k tepelně technickým vlastnostem obálky budovy. Podrobná analýza ukazuje, že požadavky na primární energii z neobnovitelných zdrojů lze splnit s využitím tepelných čerpadel při horším stavebním standardu v porovnání s plynovým kotlem, případně v porovnání s legislativními požadavky na minimální kvalitu obálky budovy pro novostavby.

Plynová tepelná čerpadla představují efektivní variantu pro vytápění budov s ohledem na nižší nároky na primární energii ve srovnání s čistě plynovými kondenzačními kotli. Ve srovnání s elektrickými tepelnými čerpadly mají sice vyšší emise CO2, ale mohou nabídnout výhody v oblastech, kde je elektřina méně dostupná nebo dražší. Plynová tepelná čerpadla přinášejí úsporu primární energie z neobnovitelných zdrojů, a to hlavně v kombinaci s dobře izolovanou obálkou budovy. Díky schopnosti využívat zemní plyn jsou relativně výhodná ve scénářích, kde není přístup k nízkoemisní elektrické energii. Z pohledu flexibility pro budovy s nižšími emisními požadavky mohou být plynová tepelná čerpadla využita jako středně úsporná varianta v komerčních objektech (např. skladové haly) nebo bytových domech, které usilují o snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů, avšak nemají ovšem není k dispozici rezervovaný el. příkon, případně je cena nebo dostupnost elektřiny omezující faktor. Využití plynových tepelných čerpadel má smysl v podmínkách, kde není tlak na extrémně nízké emisní limity, přičemž lze zohlednit legislativní omezení v rámci mírně úsporných energetických tříd. Důležitá pro plynová tepelná čerpadla kompatibilita s hybridními systémy. Plynová tepelná čerpadla lze efektivně kombinovat s kondenzačními kotli, čímž je možné dosáhnout vyšší provozní flexibility. Tato kombinace může být užitečná tam, kde je nutné přizpůsobit vytápění konkrétním provozním požadavkům nebo proměnným teplotám.

Plynová tepelná čerpadla poskytují účinný kompromis mezi čistě elektrickými systémy a klasickými plynovými kotli. Nabízejí výhodu snížení primární energie i nižší emisní stopu ve srovnání s plynovými kotli, ale nejsou tak efektivní jako elektrická tepelná čerpadla v případě místní výroby elektřiny např. z OZE, nebo kogenerace.

***Poznámka:*** *Uvedené závěry lze vztahovat pouze ke geometricky podobným typům budov. Závěry z analýzy se mohou lišit podle způsobu zpracování energetického modelu, zadání okrajových podmínek v podobě účinností technických systémů atd.*

# 7 POJMY

- $Q_{nPE}$ (kWh/rok) Primární energie z neobnovitelných zdrojů energie – energie, která neprošla žádným procesem přeměny, stanovená pomocí faktorů primární energie z neobnovitelných zdrojů.
- $Q_{nPE,R}$ (kWh/rok) Primární energie z neobnovitelných zdrojů energie referenční budovy – se stanoví vynásobením vypočtených spotřeb energie a pomocných energií referenční budovy pro jednotlivé technické systémy faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů energie podle typů spotřeb uvedenými v tabulce č. 4 přílohy č. 1 vyhlášky 264/2020 Sb.
- $Q_{fuel}$ (kWh/rok) Celková dodaná energie – energie dodaná do technických systémů budovy, potřebná k zajištění požadovaných parametrů vnitřního prostředí při typickém užívání budovy pomocí vytápění, chlazení, větrání, přípravy teplé vody a osvětlení. Celková dodaná energie nezahrnuje energii pro domácí spotřebiče, vaření apod.

- $Q_{fuel,R}$ (kWh/rok) Celková dodaná energie referenční budovy– energie dodaná do technických systémů budovy s referenčními technickými parametry, potřebná k zajištění požadovaných parametrů vnitřního prostředí při stejném typickém užívání budovy pomocí vytápění, chlazení, větrání, přípravy teplé vody a osvětlení jako u hodnocené budovy. Celková dodaná energie referenční budovy nezahrnuje energii pro domácí spotřebiče, vaření apod.
- $Q_{H,nd}$ (kWh/h) Potřeba energie na vytápění – potřeba tepla na vytápění, kterou je nutné pokrýt dodávkou energie technickými systémy s příslušnou účinností pro daný technický systém.
- $Q_{W,nd}$ (kWh/h) Potřeba energie na přípravu teplé vody – potřeba tepla na přípravu teplé vody, kterou je nutné pokrýt dodávkou energie technickými systémy s příslušnou účinností pro technický systém.
- $U_{em}$ (W/m$^2$.K) Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy.
- $U_{em,R}$ (W/m$^2$.K) Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy referenční budovy podle požadavků vyhlášky 264/2020 Sb.
- **GUE** (Gas Utilization Efficiency) – produkce tepla plynového tepelného čerpadla ku spotřebě energie v zemním plynu vztažené k výhřevnosti paliva.
- **SCOP** (Seasonal Coefficient of Performance) – sezónní topný faktor tepelného čerpadla vyjadřující sezónní energetickou náročnost v podobě produkce tepla ku spotřebě elektřiny.
- **NZEB** (Budova s téměř nulovou spotřebou energie) – ve smyslu zákona č. 406/2000 Sb. budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů. Parametrické požadavky definuje vyhláška 264/2020 Sb.
- **ENB** – energetická náročnost budov podle požadavků zákona 406/2000 Sb. a vyhlášky 264/2020 Sb.,
- **Třída EN** – třída energetické náročnosti podle vyhlášky 264/2020 Sb.
- **Ukazatel EN** – ukazatel energetické náročnosti.
- **OZE (Obnovitelné zdroje energie)** - obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie (energie větru, sluneční-ho záření, geotermální energie, energie vody, půdy, vzduchu, energie biomasy, skládkového plynu, kalového plynu a energie bioplynu).
- **Referenční budova** – shodná budova (ve smyslu tvaru, rozměrů, uspořádání, orientace, míry prosklení, dispozice, stejných klimatických podmínek, stejného užívání atd.) jako hodnocená budova, ale s referenčními hodnotami vlastností budovy, (např. obálka budovy, technická zařízení budov) podle vyhlášky 264/2020 Sb.
- **Typickým užíváním budovy** – obvyklý způsob užívání budovy v souladu s podmínkami vnitřního a venkovního prostředí a provozu stanovený pro účely výpočtu energetické náročnosti budovy, hodnoty typického užívání budovy jsou uvedeny v ČSN 730331-1 stanovující hodnoty typického užívání budov a referenční klimatické údaje.
- **Energetický systém budovy** – soustavy technických zařízení pro vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení.
- **Způsob hodnocení ENB** – Bilanční hodnocení je založeno na výpočtu měrné spotřeby dodané energie do budovy po jednotlivých časových úsecích ročního provozu (měsíc) a jejich porovnání s referenční budovou.

# 8 LITERATURA

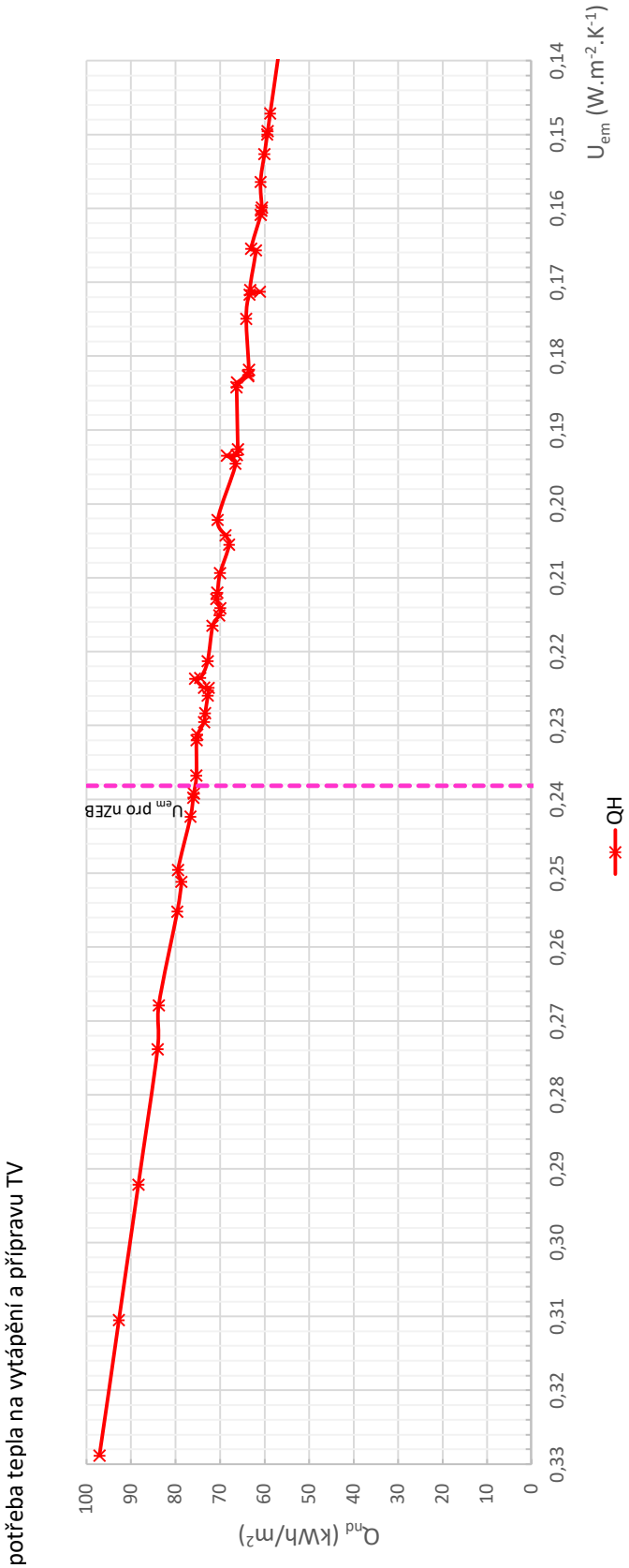

[1] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů

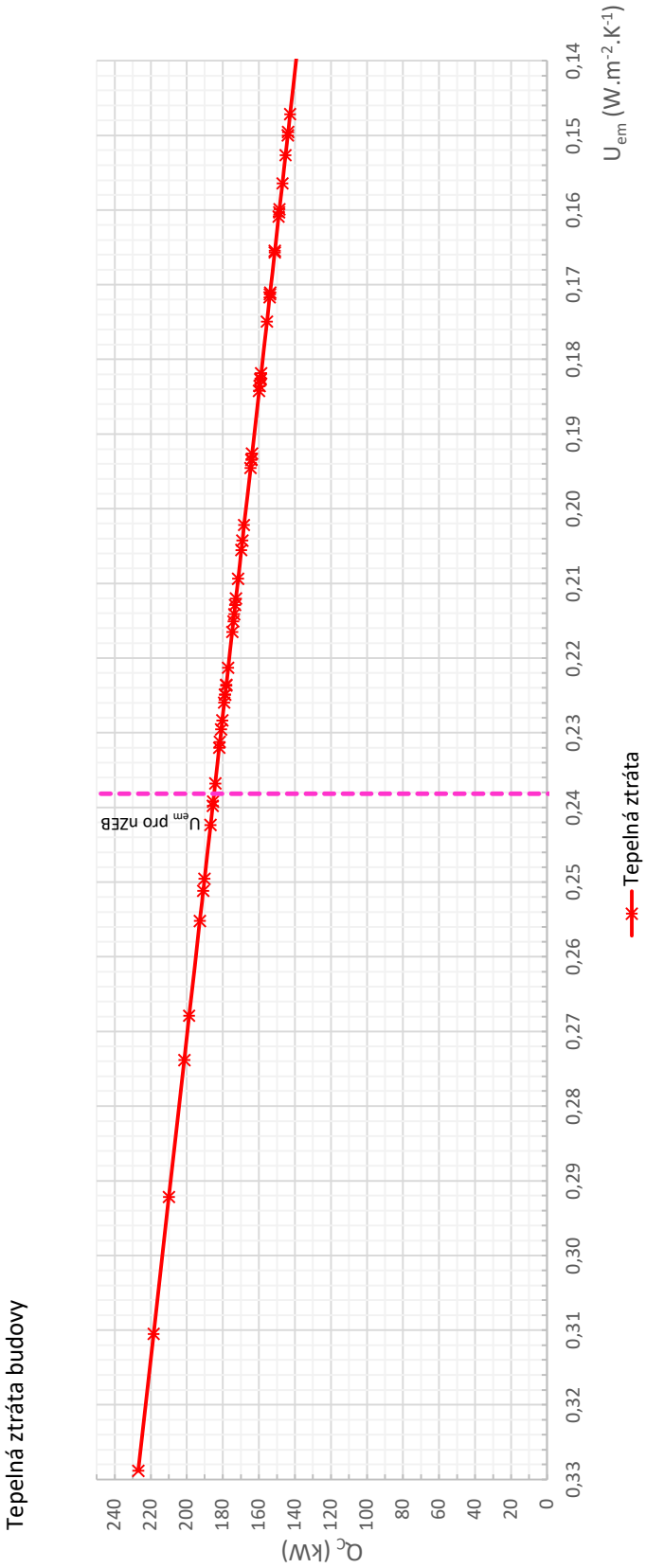
[2] Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov

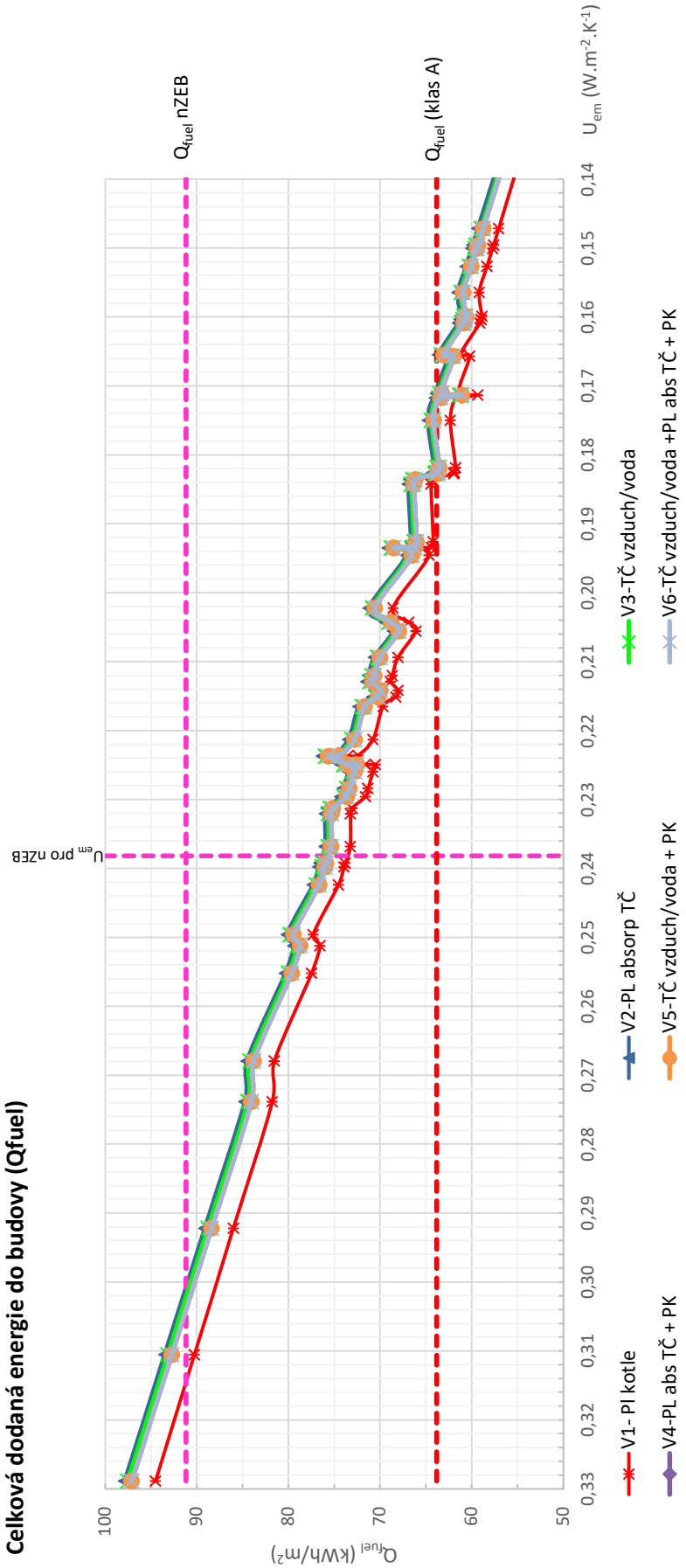
[3] ČSN 73 033 -1 - Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Obecná část a data pro měsíční krok. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

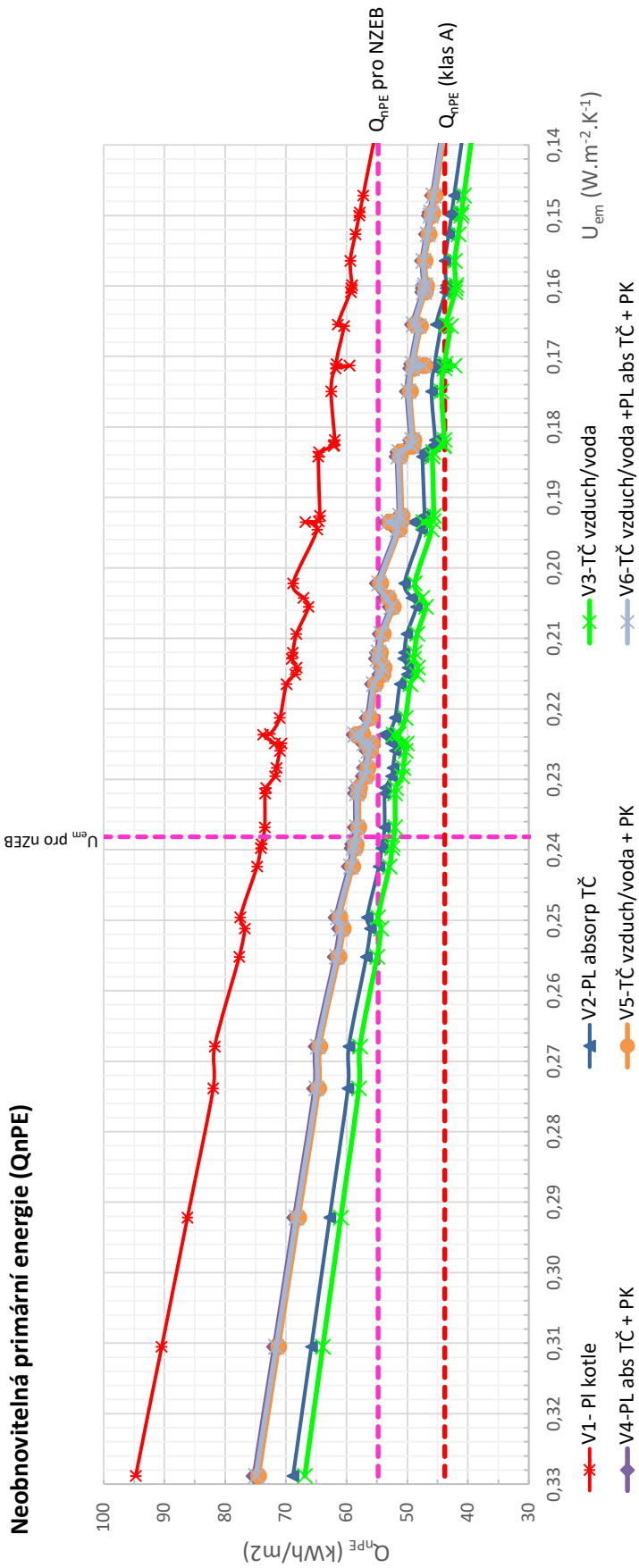
[4] Urban, M., Kabele, K. Národní kalkulační nástroj NKN (počítačová aplikace). Ver. 4.3 Praha, 2024. Výpočetní nástroj pro stanovení energetické náročnosti budov, 37 MB.

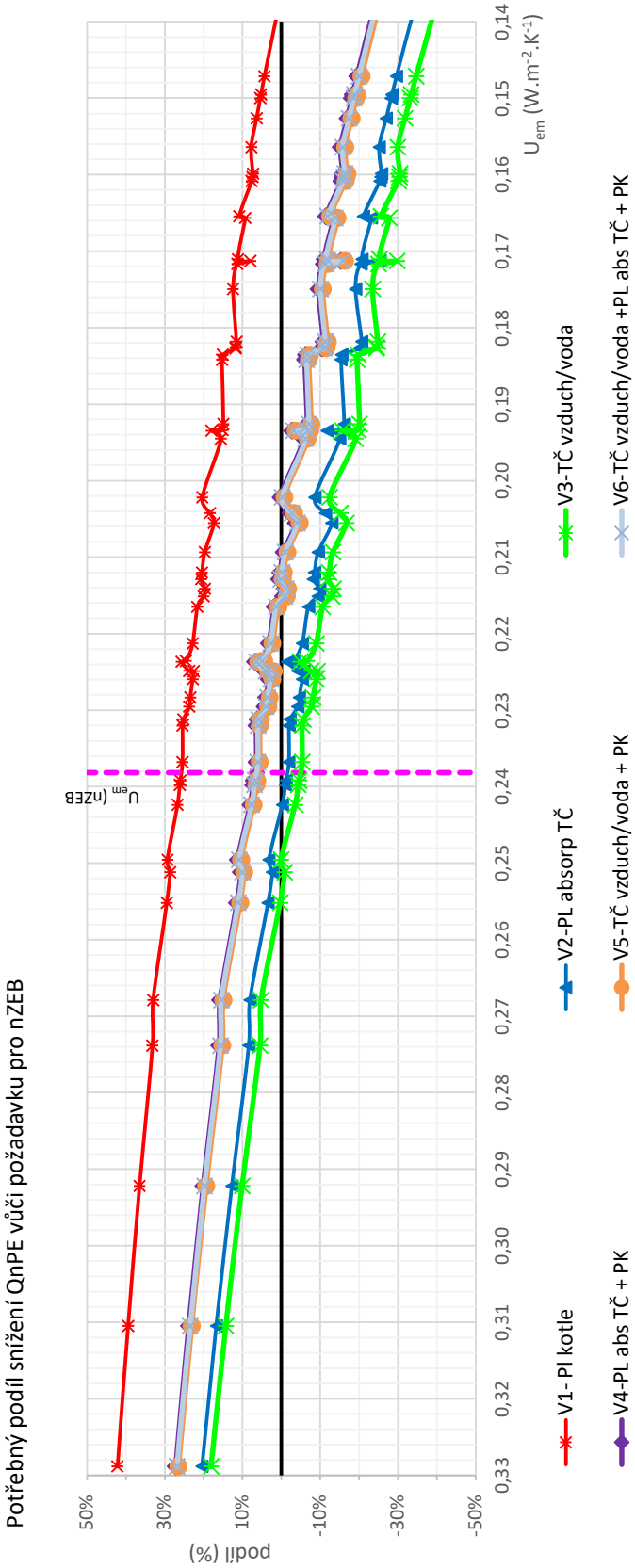
[5] *MPO* [online], 2024. MPO [cit. 2024-08-14]. Dostupné z: https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/emisni-faktor-co2-z-vyroby-elektriny-za-leta-2010_2023--280262/

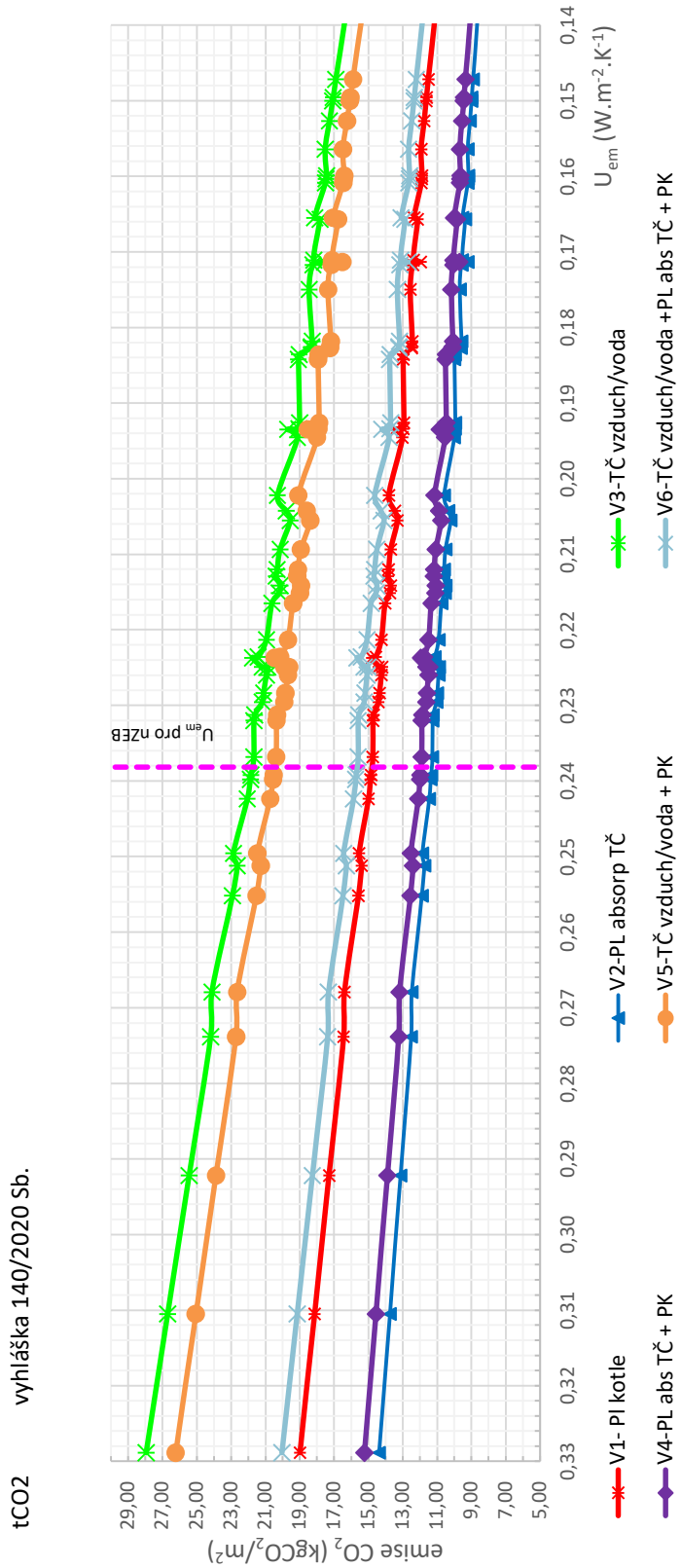

potřeba tepla na vytápění a přípravu TV
$Q_{nd}$ (kWh/m²)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
$U_{em}$ (W.m$^{-2}$.K$^{-1}$)
$U_{em}$ pro nZEB
QH

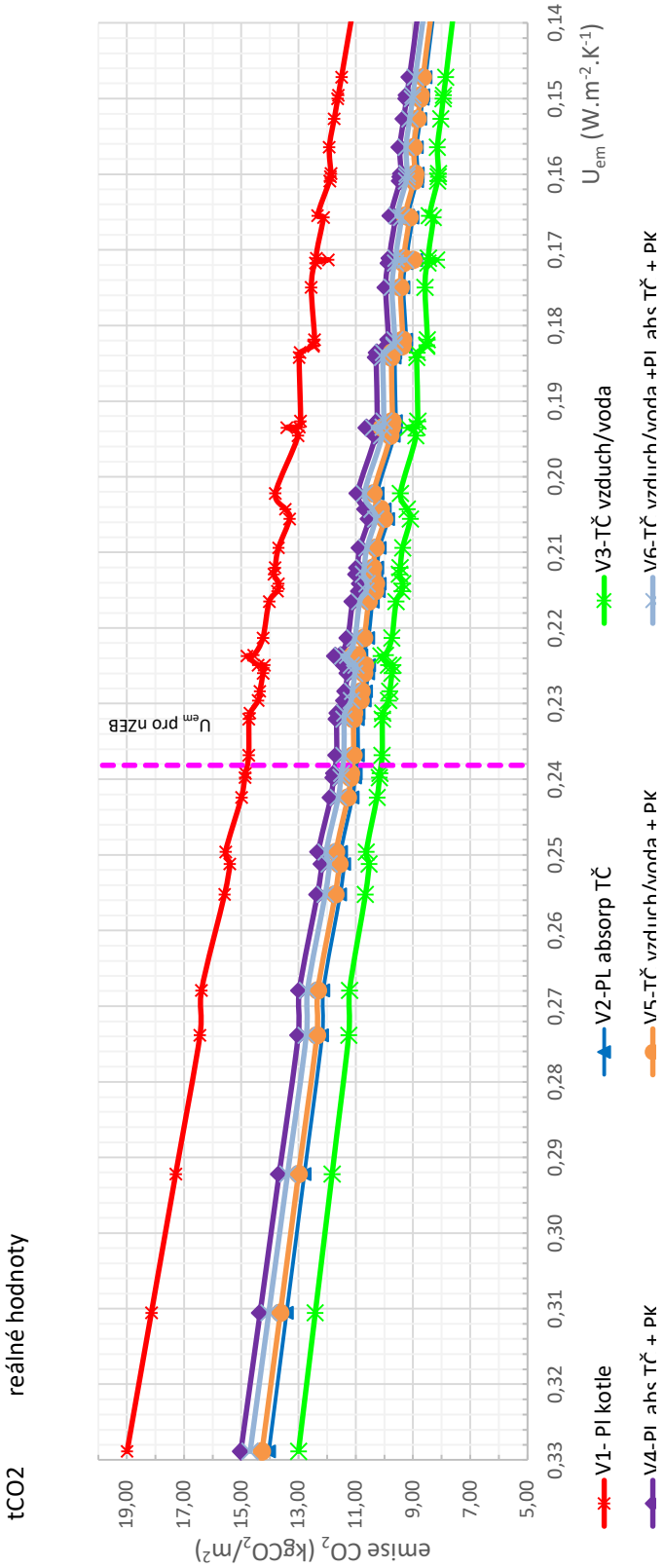

Tepelná ztráta budovy
Q_c (kW)
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
U_em (W.m^-2.K^-1)
U_em pro nZEB
Tepelná ztráta

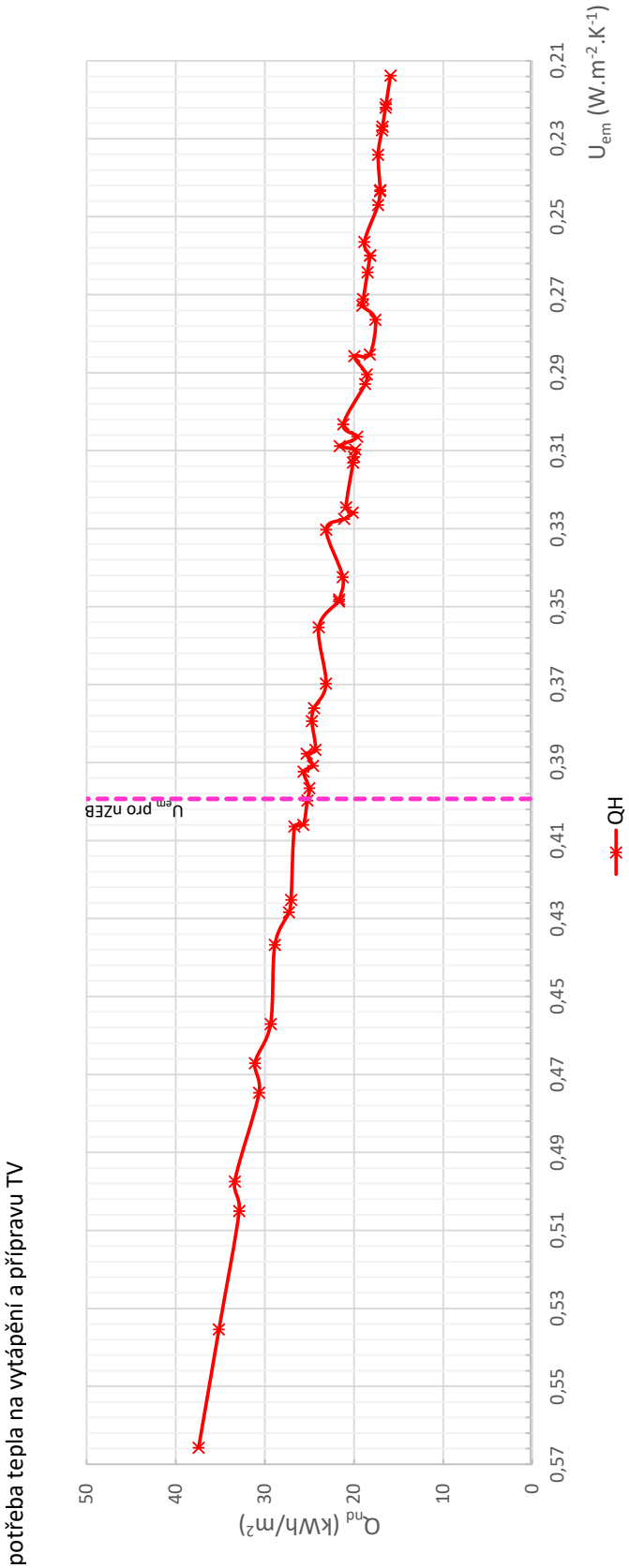

Celková dodaná energie do budovy (Qfuel)
Qfuel (kWh/m²)
100
90
80
70
60
50
Qfuel nZEB
Qfuel (klas A)
Uem pro nZEB
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
Uem (W.m-2.K-1)
V1- Pl kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK

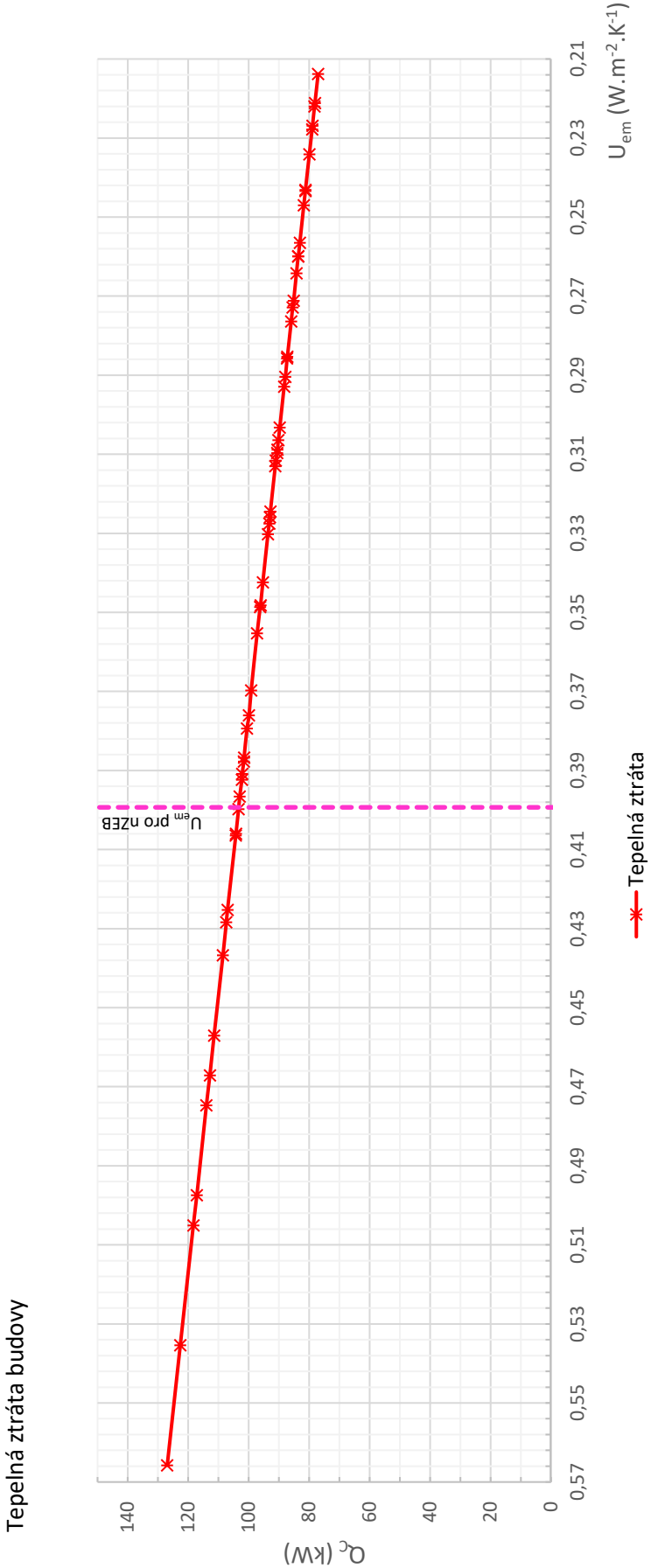

Neobnovitelná primární energie (QnPE)
$Q_{nPE}$ (kWh/m2)
100
90
80
70
60
50
40
30
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
$U_{em}$ (W.m$^{-2}$.K$^{-1}$)
$U_{em}$ pro nZEB
$Q_{nPE}$ pro NZEB
$Q_{nPE}$ (klas A)
V1- Pl kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK


Potřebný podíl snížení QnPE vůči požadavku pro nZEB
podíl (%)
50%
30%
10%
-10%
-30%
-50%
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
U_em (nZEB
U_em (W.m-2.K-1)
V1- PI kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK

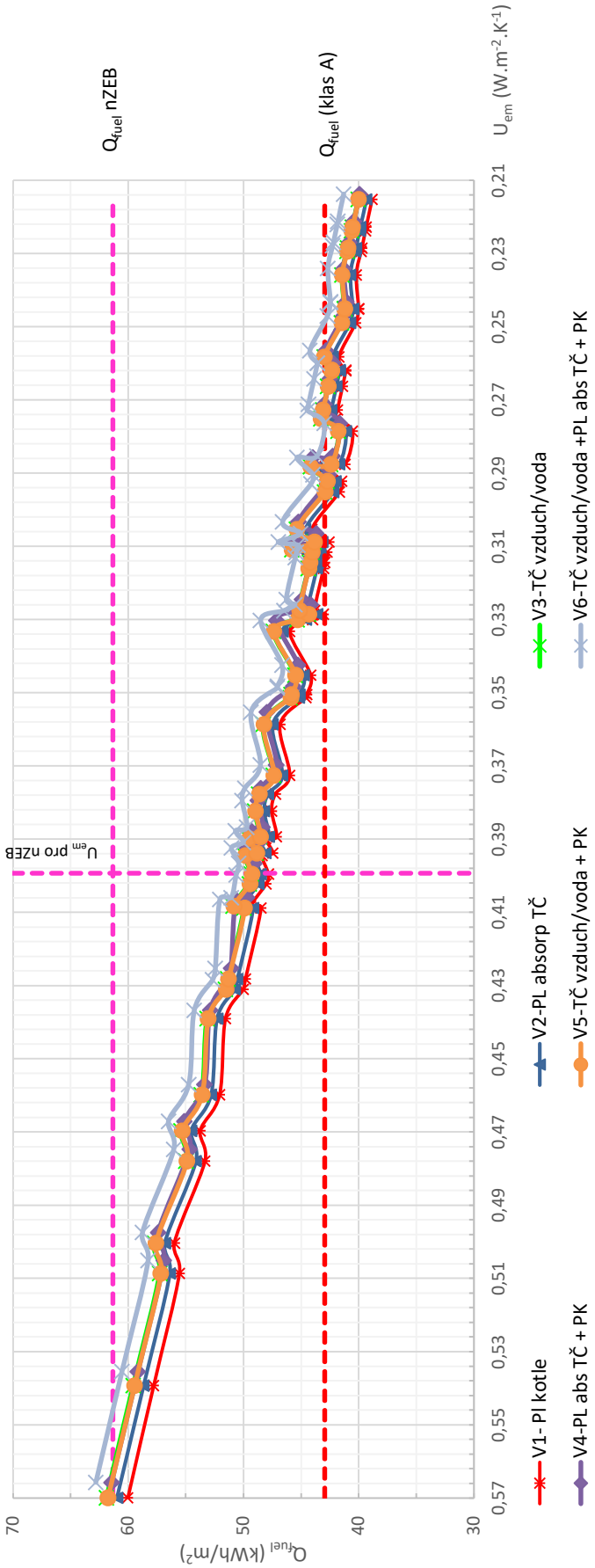

tCO2
vyhláška 140/2020 Sb.
emise $CO_2$ ($kgCO_2/m^2$)
29,00
27,00
25,00
23,00
21,00
19,00
17,00
15,00
13,00
11,00
9,00
7,00
5,00
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
$U_{em}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
$U_{em}$ pro nZEB
V1- Pl kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK

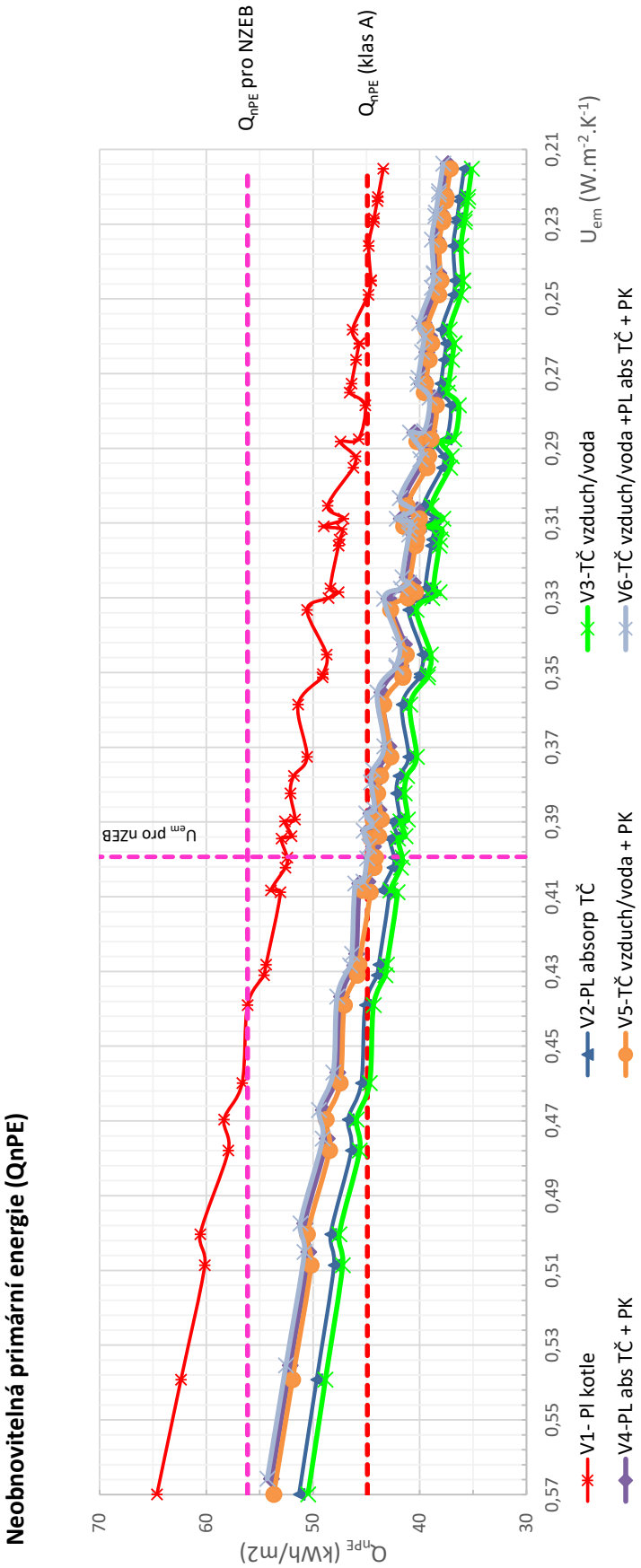

tCO2
reálné hodnoty
emise $CO_2$ ($kgCO_2/m^2$)
19,00
17,00
15,00
13,00
11,00
9,00
7,00
5,00
0,33
0,32
0,31
0,30
0,29
0,28
0,27
0,26
0,25
0,24
0,23
0,22
0,21
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
$U_{em}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
$U_{em}$ pro nZEB
V1- Pl kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +Pl abs TČ + PK

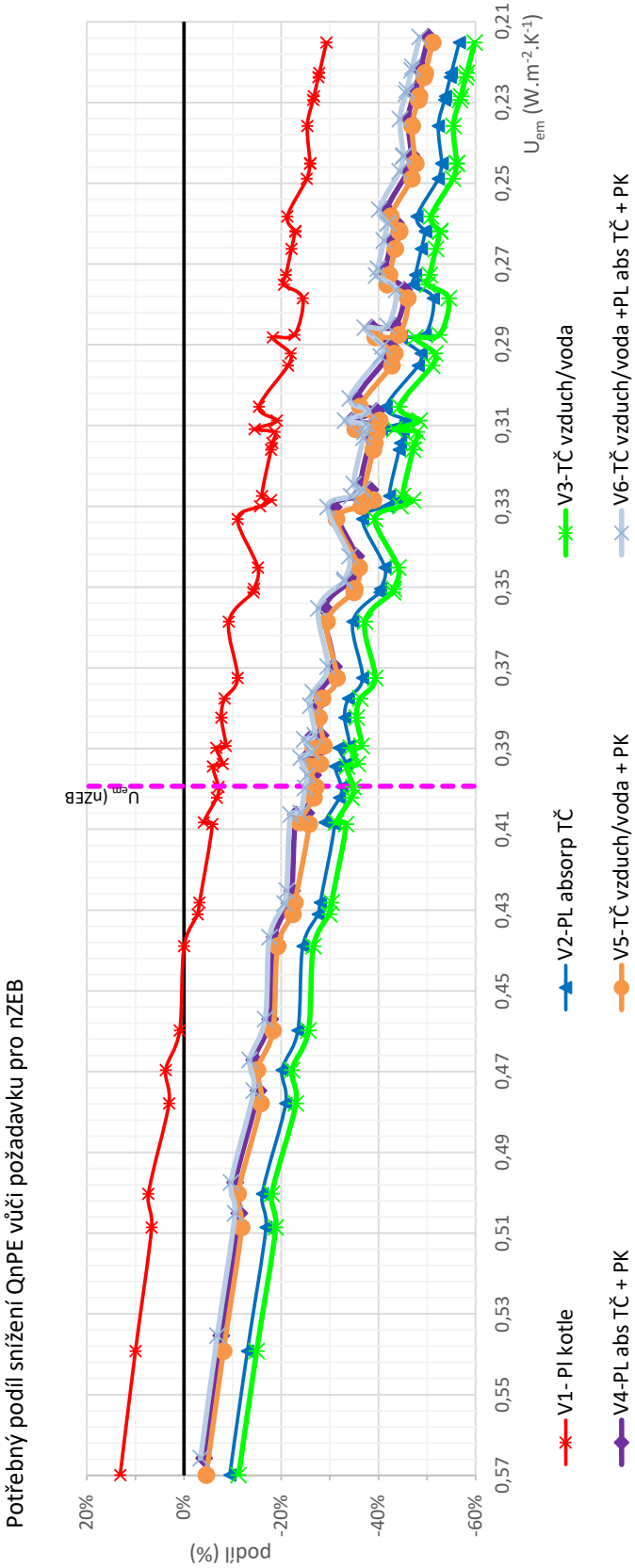

potřeba tepla na vytápění a přípravu TV
$Q_{nd}$ (kWh/m²)
50
40
30
20
10
0
0,57
0,55
0,53
0,51
0,49
0,47
0,45
0,43
0,41
0,39
0,37
0,35
0,33
0,31
0,29
0,27
0,25
0,23
0,21
$U_{em}$ (W.m$^{-2}$.K$^{-1}$)
$U_{em}$ pro nZEB
QH

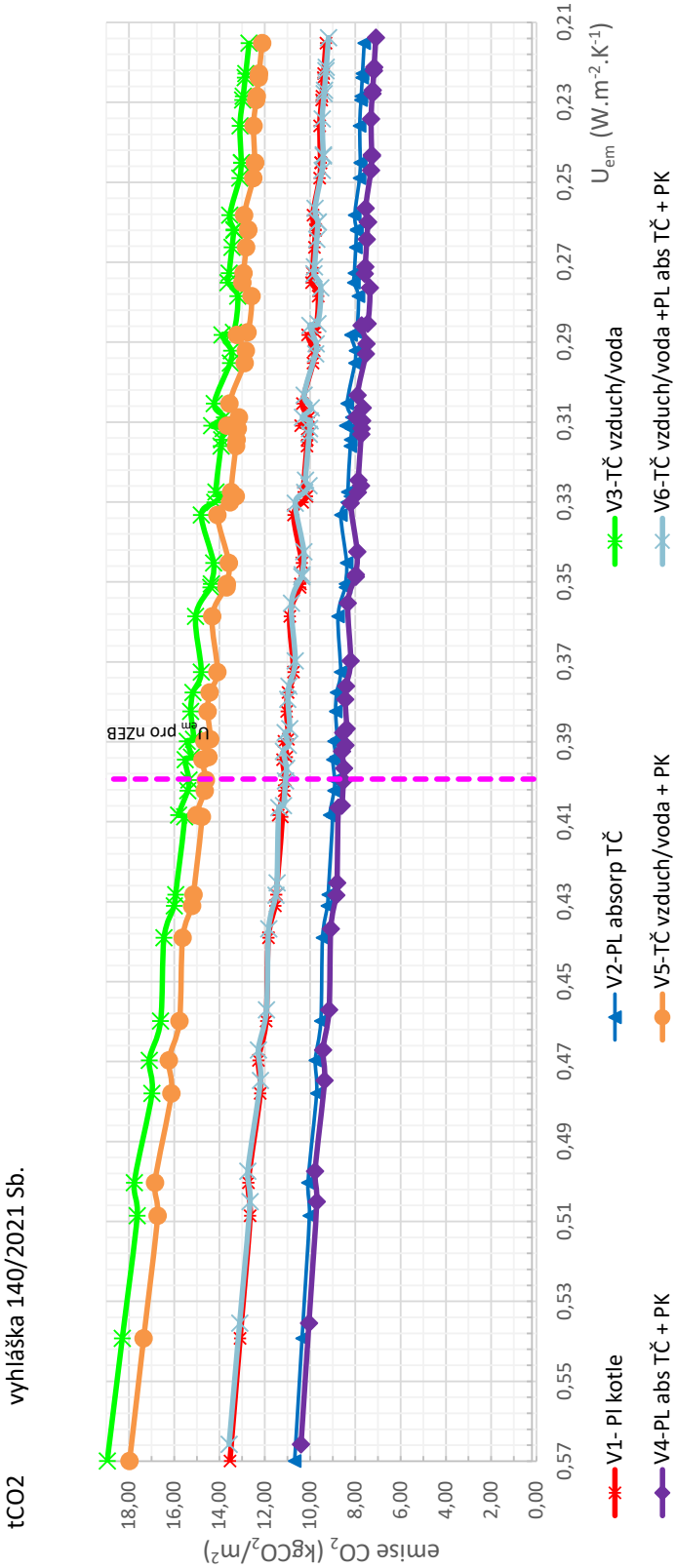

Tepelná ztráta budovy
$Q_C$ (kW)
140
120
100
80
60
40
20
0
0,57
0,55
0,53
0,51
0,49
0,47
0,45
0,43
0,41
0,39
0,37
0,35
0,33
0,31
0,29
0,27
0,25
0,23
0,21
$U_{em}$ (W.m$^{-2}$.K$^{-1}$)
$U_{em}$ pro nZEB
Tepelná ztráta

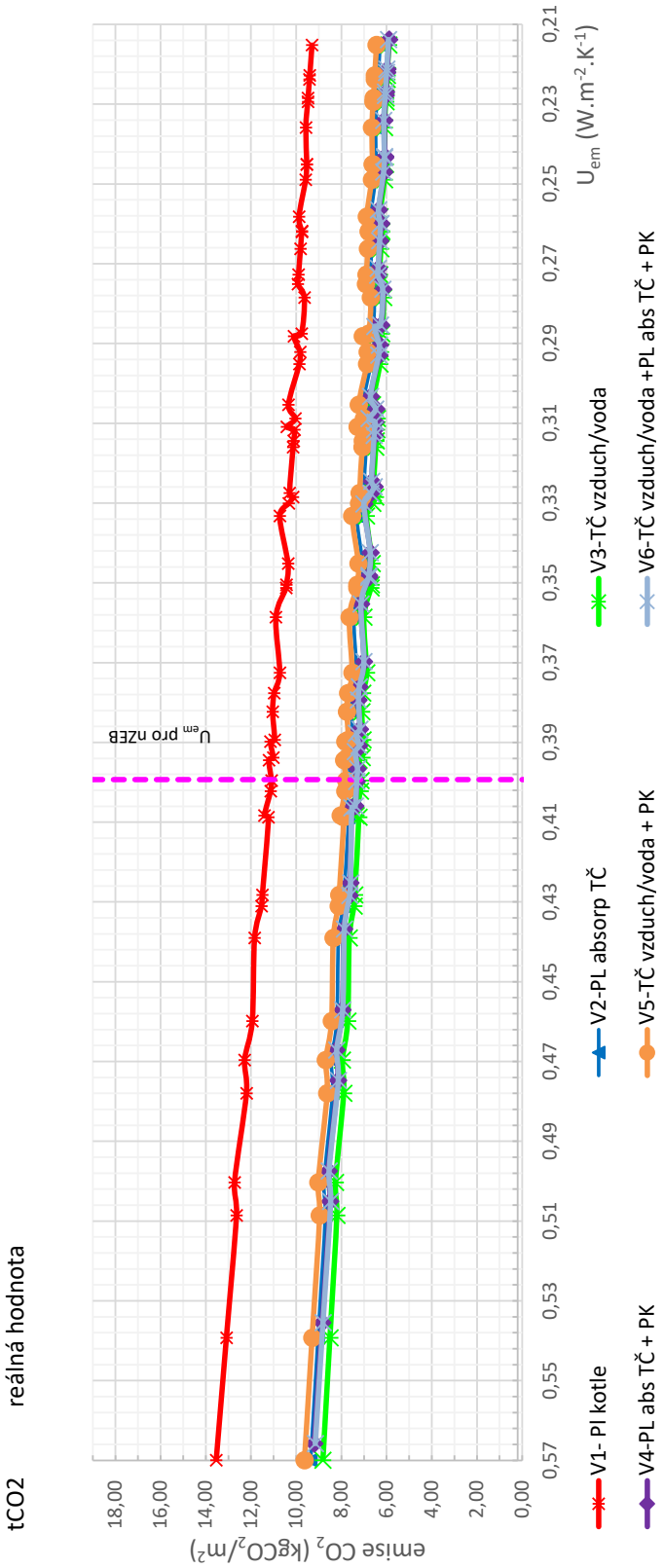
**Celková dodaná energie do budovy (Qfuel)**




Neobnovitelná primární energie (QnPE)
$Q_{nPE}$ (kWh/m2)
70
60
50
40
30
0,57
0,55
0,53
0,51
0,49
0,47
0,45
0,43
0,41
0,39
0,37
0,35
0,33
0,31
0,29
0,27
0,25
0,23
0,21
$U_{em}$ (W.m$^{-2}$.K$^{-1}$)
$Q_{nPE}$ pro NZEB
$Q_{nPE}$ (klas A)
$U_{em}$ pro nZEB
V1- Pl kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK


Potřebný podíl snížení QnPE vůči požadavku pro nZEB
podíl (%)
20%
0%
-20%
-40%
-60%
0,57
0,55
0,53
0,51
0,49
0,47
0,45
0,43
0,41
0,39
0,37
0,35
0,33
0,31
0,29
0,27
0,25
0,23
0,21
$U_{em}$ (W.m$^{-2}$.K$^{-1}$)
$U_{em}$ (nZEB
V1- PI kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK


tCO2
vyhláška 140/2021 Sb.
emise $CO_2$ ($kgCO_2/m^2$)
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0,57
0,55
0,53
0,51
0,49
0,47
0,45
0,43
0,41
0,39
0,37
0,35
0,33
0,31
0,29
0,27
0,25
0,23
0,21
$U_{em}$ pro nZEB
$U_{em}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
V1- Pl kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK


tCO2
reálná hodnota
emise $CO_2$ ($kgCO_2/m^2$)
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
0,57
0,55
0,53
0,51
0,49
0,47
0,45
0,43
0,41
0,39
0,37
0,35
0,33
0,31
0,29
0,27
0,25
0,23
0,21
$U_{em}$ ($W.m^{-2}.K^{-1}$)
$U_{em}$ pro nZEB
V1- Pl kotle
V2-PL absorp TČ
V3-TČ vzduch/voda
V4-PL abs TČ + PK
V5-TČ vzduch/voda + PK
V6-TČ vzduch/voda +PL abs TČ + PK