

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**TECHNICKÉ SYSTÉMY V BYTOVÉM DOMĚ
S VELMI NÍZKOU ENERGETICKOU NÁROČNOSTÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Semen Pastukhov

Vedoucí práce:

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

2021/2022





ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Patukhov	Jméno: Semen	Osobní číslo: 453250
Zadávací katedra: 125 - Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Inteligentní budovy		
Studijní obor: Inteligentní budovy		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Technické systémy v bytovém domě s velmi nízkou energetickou náročností	
Název diplomové práce anglicky: Technical systems in the apartment building with very low energy performance.	
Pokyny pro vypracování: Koncepční návrh technických systémů pro bytový dům s velmi nízkou energetickou náročností s akcentem na způsob řízení. Student zpracuje diplomovou práci v rozsahu: - identifikace prostředí terminologie a technických standardů v oblasti budov se sníženou spotřebou energie - základní energetická bilance bytového domu - potřeby, bilance, popis výchozího stavu, stavebně technické řešení, - identifikace variant technických systémů, - energeticko-ekonomické posouzení technických systémů s ohledem na návratnost systémů, - návrh prostorového řešení systémů, - celkové zhodnocení potenciálu technických systémů pro budou se sníženou spotřebou energie (nulový dům, budova s nulovými emisemi).	
Seznam doporučené literatury: Petraš a kol. - Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie Vavříčka a kolektiv - Příprava teplé vody - nové přepracované vydání (2017) Matuška, T. - Solární zařízení v příkladech Tywoniak, J. - Nízkoenergetické domy 2	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Urban, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 21.2.2022	Termín odevzdání diplomové práce: 15.5.2022
	Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku 
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

21.02.2022	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 13.05.2022

PODĚKOVÁNÍ

Ing. Miroslav Urban, Ph.D.

Семья, друзья, kamarádi, кошки.

OBSAH

1. ÚVOD	13
2. HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI	14
2.1. METOD	14
2.2. NZEB	14
2.3. ČESKÉ STANDARDY – ČSN a TNI	16
2.4. PHI	17
2.5. NZÚ	18
3. ŘEŠENÝ OBJEKT	19
4. NÁVRH OBÁLKY	22
4.1. MODEL BUDOVY	22
4.2. PŘEHLED HODNOCENÝCH VARIANT	23
5. NÁVRH TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ	26
5.1. VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV	26
5.2. FVE	29
5.3. VĚTRÁNÍ	32
5.4. ŘÍDICÍ SYSTÉM	35
5.5. SHRUTÍ	38
6. POSOUZENÍ TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ	39
6.1. NEOBNOVITELNÁ PRIMÁRNÍ ENERGIE	39
6.2. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	40
6.3. MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ	46
6.4. ZHODNOCENÍ POTENCIALŮ TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ	47
5. ZÁVĚR	49
ZDROJE	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM TABULEK	53
PŘÍLOHA A	54

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem systémů vytápění, přípravy teplé vody a větrání pro dům s velmi nízkou energetickou náročností. Teoretická část práce zkoumá závislost ekonomické a energetické účinnosti různých variant technických systémů, lišících se technologií vytápění, průměrným součinitelem prostupu tepla a přítomností FVE, na investičních a provozních nákladech na zateplení obálky budovy a technického zařízení na příkladu novostavby bytového domu v ekonomických a právních podmínkách České republiky v roce 2022.

Klíčová slova: vytápění, větrání, bytový dům, pasivní dům, energetická náročnost

ABSTRACT

This thesis deals with the design of heating, hot water preparation and ventilation systems for a house with very low energy consumption. The theoretical part of the thesis investigates the dependence of the economic and energy efficiency of different variants of technical systems, differing in heating technology, average heat transfer coefficient and the presence of PV, on the investment and operating costs of the insulation of the building envelope and technical equipment on the example of a new-build apartment building in the economic and legal conditions of the Czech Republic in 2022.

Keywords: heating, ventilation, apartment building, passive house, energy performance

1. ÚVOD

Tato diplomová práce vznikla v komfortních podmínkách uměle vytvořeného prostoru obytného domu, jehož existence je podmíněna okolními stavebními konstrukcemi a technickým zařízením budovy, a skládá se z částí teoretické (rešerše) a praktické (projekt).

Začíná teoretickou část identifikace prostředí terminologie a technických standardů v oblasti budov se sníženou spotřebou energie. Pro identifikaci variant technického systému práce využívá konkrétní bytový dům v Libčicích – Letka II, viz v dalším textu, který je namodelován v různých stavebních konstrukcích. Jednotlivé modely jsou navrženy tak, aby dům splňoval kritéria pro doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ a doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ dle ČSN 73 0540-2.

Sada technologií vytápění a přípravy teplé vody se předpokládá pro každou variantu jednotná: plynový kotel, TČ vzduch/voda, TČ země/voda, kotel na pelety. Větrání je nucené rovnotlaké s ZZT. Pro hodnocení jsou použita kritéria ekonomické efektivity TCO (celkové náklady za dobu vlastnictví), celkové roční náklady, měrná neobnovitelná primární energie, komfort a atraktivita.

Na závěr teoretické části bude provedeno celkové zhodnocení potenciálů technických systémů. Krajní část práce již řeší projekt vytápění a přípravy teplé vody a projekt větrání konkrétní zvolené varianty.

2. HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Při hledání vhodného technického řešení se tato práce inspirovala různými existujícími energetickými standardy budov. Bude užitečné začít seznámením se současnou situací kolem energetických standardů budov.

2.1. METOD

Metodika na hodnocení energetické náročnosti budov není jednotná a jednoznačná. V České republice se energetické hodnocení budov provádí zejména podle následujících metodik.

2.2. NZEB

Směrnice Evropského parlamentu 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií a vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov definují standart budovy s téměř nulovou spotřebou energie (dále jen „NZEB“ – nearly zero energy building). Budovou s téměř nulovou spotřebou energie se rozumí budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů. [1] [2] [3]

Ze všech energetických standardů je v České republice NZEB jediným legislativně závazným pojmem. [4]

Základním dokumentem pro budovy s téměř nulovou energetickou náročností je směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. Na národní úrovni v České republice byla transpozice některých požadavků evropské směrnice týkajících se kontroly a hodnocení energetické náročnosti budov provedena novelou zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů, a technicky jsou tyto požadavky definovány v prováděcí vyhlášce č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. V roce 2018 byla směrnice 2010/31/EU změněna směrníci 2018/844/EU. [1] [2] [3] [5]

Požadavky na energetickou náročnost budovy s téměř nulovou spotřebou energie a pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie od 1. ledna 2022, stanovené výpočtem na nákladově optimální úrovni, jsou splněny, pokud hodnoty ukazatelů energetické náročnosti hodnocené budovy uvedené v § 3 odst. 1 písm. a), b) a d) nejsou vyšší než referenční hodnoty ukazatelů energetické náročnosti pro referenční budovu. [3]

Tyto požadavky jsou:

- a) primární energie z neobnovitelných zdrojů energie vztažená na metr čtvereční energeticky vztažené plochy
- b) celková dodaná energie za rok vztažená na metr čtvereční energeticky vztažené plochy
- d) průměrný součinitel prostupu tepla (redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro NZEB je $f_R=0,7$)

Od 1. 1. 2022 dochází ke změně metodiky uplatnění $\Delta e_{p,R}$ z pohledu jejich výše i rozdělení podle typu budovy. [6]

Měrná potřeba tepla na vytápění referenční budovy $E_{A,R}$ [kWh/(m ² .a)]	Snížení referenční hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie $\Delta e_{p,R}$ [%] ¹		
	Pro obytnou zónu ²		Pro jinou než obytnou zónu
	Energeticky vztažená plocha budovy ≤ 120 m ²	Energeticky vztažená plocha budovy > 120 m ²	
≥ 90	50	60	40
80	45	55	
70	40	50	
60	35	45	
50	30	40	
40	25	30	
≤ 30	20	20	

Tabulka 1 – Snížení hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie stanovené pro referenční budovu budovy s téměř nulovou spotřebou energie od 1. 1. 2022 [3]

¹ Výsledné snížení referenční hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie $\Delta e_{p,R}$ pro budovu jako celek se v případě vícezónové budovy stanoví váženým průměrem přes energeticky vztažené plochy dílčích zón.

² Mezilehlé hodnoty se lineárně interpolují.

2.3. ČESKÉ STANDARDY – ČSN a TNI

ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, TNI 73 0329 a TNI 73 0330: Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění, definují nízkoenergetický, pasivní dům i nulový dům v České republice. [7] [8] [9]

Pasivní standard definují TNI 73 0329 a TNI 73 0330. K vyjádření měrných hodnot ukazatelů využívá celkovou vnitřní podlahovou plochu, která bude vždy větší nežli podlahová plocha uvažovaná v metodě PHPP. Energeticky pasivní standard je definovaný v TNI 730329 (pro rodinné domy) a TNI 730330 (pro bytové domy).

Jev, veličina	Rodinné domy	Bytové domy
Měrná potřeby tepla na vytápění E_A maximálně dle ČSN EN ISO 13790	20 kWh/m ²	15 kWh/m ²
Součinitel prostupu tepla U jednotlivých konstrukcí na systémové hranici	dle doporučených hodnot ČSN 73 0540-2	dle doporučených hodnot ČSN 73 0540-2
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} nejvýše	0,22 W/m ² K	0,22 W/m ² K
Zajištění přívodu čerstvého vzduchu do všech pobytových místností	Ano	Ano
Účinnost zpětného získávání tepla z odváděného vzduchu minimálně	75 %	70 %
Neprůvzdušnost obálky budovy n_{50}	0,6 h ⁻¹	0,6 h ⁻¹
Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti $\theta_{a,max}$ podle ČSN 73 0540-4, bez strojního chlazení	27 °C	27 °C
Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budovy PE_A maximálně	60 kWh/m ² a	60 kWh/m ² a

Tabulka 2 – Energeticky pasivní standard dle TNI 730329 a TNI 730330 [8] [9]

Nízkoenergetický standard je definován měrnou potřebou tepla na vytápění nepřesahující 50 kWh/(m²a). Jako takový je definován v české technické normě ČSN 73 0540-2. Z pohledu českého prostředí je dále specifikován například v TNI 73 0329 a TNI 73 0330, které kromě měrné potřeby tepla na vytápění uvádějí i doporučené hodnoty dalších parametrů, jako je součinitel prostupu tepla, těsnost obálky budovy apod. Není právně závazný. [7] [8] [9]

Nulový standart je definován jako budova, jejíž součástí jsou zařízení na energetickou produkci, a u které roční bilance dodávané a vyprodukované energie je vyrovnaná (vyjádřeno hodnotě v primární energii), přičemž není důležité, zdali se vyprodukovaná energie využije přímo v budově, či je distribuována dále. [7] [8] [9]

Norma dále definuje okrajové podmínky pro dosažení zařazení do kategorií „energeticky nulový“ a „blízký energeticky nulovému“, viz ČSN 73 0540-2. Další podrobnosti potom stanoví i vyhláška č. 78/2013 Sb, která je od 2020 roku nahrazená vyhláškou č. 264/2020 Sb. [7] [10] [3]

2.4. PHI

PHPP, nebo Passive House Planning Package je nástroj na optimalizaci pasivních budov, vyvinutý v Passivhaus Institut (PHI) Darmstadt. Podle PHI existuje několik kritérií, která musí pasivní dům splňovat. Výběr některých je níže. [11]

Potřeba tepla

Měrná roční potřeba tepla na vytápění je maximálně 15 kWh/(m²a). V regionech, kde je nutné chlazení, je měrná potřeba energie na chlazení 15 kWh/(m²a). [11]

Těsnost obálky budovy

Těsnost obálky budovy n₅₀ ověřená tlakovou zkouškou nesmí překročit 0,6 h⁻¹, což znamená, že při přetlaku nebo podtlaku 50 Pa nesmí být během jedné hodiny netěsnostmi vyměněno více než 60 % vnitřního objemu obálky. [11]

Tepelný komfort

Kritérium tepelné pohody by mělo být splněno ve všech obytných místnostech v létě i v zimě, kde by teplota neměla stoupnout nad 25 °C po více než 10 % hodin v roce. [11]

Primární obnovitelná energie

Institut Passivhaus rozšířil certifikaci pasivních domů o nové třídy. Kromě zavedené třídy pasivních domů "Classic" jsou to se zavedením PHPP 9 také pasivní domy "Plus" a "Premium", které jsou založeny na hodnocení primární obnovitelné energie namísto potřeby primární energie spojené s provozem budovy (vytápění, ohřev vody, elektřina, včetně domácích spotřebičů), které byla přiřazena maximální hodnota 120 kWh/(m²a).

Pasivní dům „Classic“: potřeba primární obnovitelné energie max. 60 kWh/(m²a).

Pasivní dům „Plus“: potřeba primární obnovitelné energie max. 45 kWh/(m²a), výroba obnovitelné energie min. 60 kWh/(m²a).

Pasivní dům „Premium“: potřeba primární obnovitelné energie max. 30 kWh/(m²a), výroba obnovitelné energie min. 120 kWh/(m²a) v celoroční bilanci. [11]

2.5. NZÚ

Dům s velmi nízkou energetickou náročností používá dotační titul Nová zelená úsporám v oblasti podpory novostaveb bytových domů. Podmínkou pro poskytnutí podpory v dané podoblasti podpory je dosažení technických parametrů, které uvádí tabulka 3.

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	Novostavba
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	E_A [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	≤15
Měrná neobnovitelná primární energie	Klasifikační třída	A
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na obálce budovy	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	≤ 0,6 $U_{N,20}$
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	Klasifikační třída	B
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby	n_{50} [1.h ⁻¹]	dle ČSN 730540-2 pro pasivní budovy
Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období	$\theta_{ai,max}$ [°C]	≤ 27 °C
Povinná instalace systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla	-	Ano

Tabulka 3 – Požadované parametry v oblasti B [12]

3. ŘEŠENÝ OBJEKT

Řešeným objektem je novostavba bytového domu v Libčicích nad Vltavou – v Letce 2.

Letky jsou jižní část města Libčice nad Vltavou v okrese Praha-západ. Libčice nad Vltavou jsou malé město v okrese Praha – západ ve Středočeském kraji, na levém břehu Vltavy 13 km severně od centra Prahy.

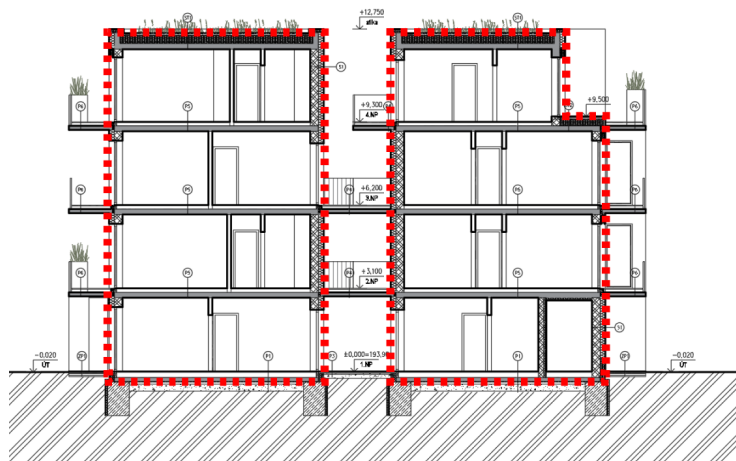
Základní informace o pozemku:

Parcelní číslo:	1247/1
Obec:	Libčice nad Vltavou [539414]
Katastrální území:	Libčice nad Vltavou [681831]
PSČ:	252 66
Nadmořská výška:	207 m n. m.



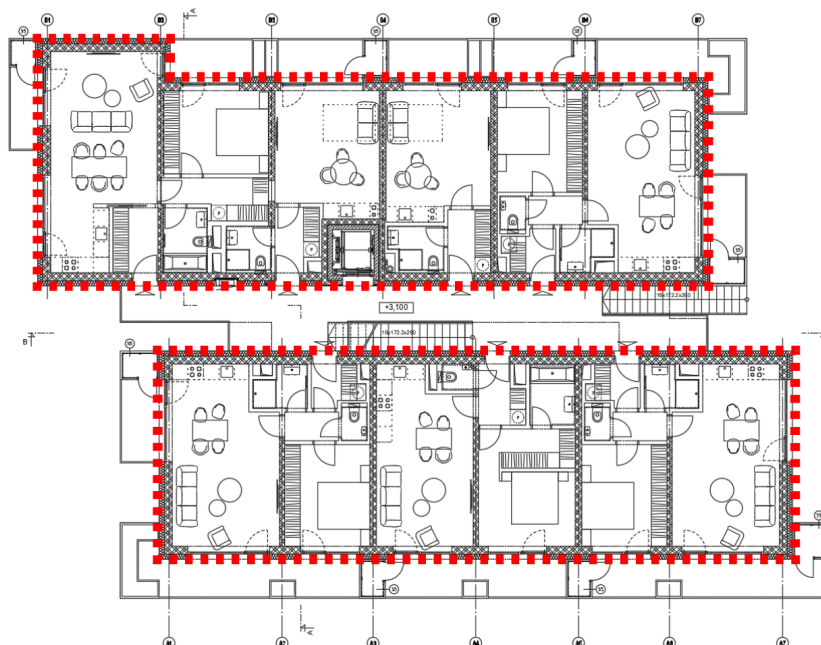
Obrázek 1 – Schematická situace objektu

Jedná se o nepodsklepený zděný 4patrový dům, složený jako sendvič ze dvou obytných částí s nevytápěnou galerií mezi nimi. Galerie splňuje funkci vertikální a horizontální komunikace v objektu.



Obrázek 2 – Hranice vytápění budovy, řez

Střecha je plochá, součástí návrhu jsou terasy a balkony. Objekt bytového domu je založen na železobetonových pasech, zdi jsou z cihelných tepelně izolačních bloku. V každém podlaží je navržen monolitický železobetonový strop. Železobetonové stropní desky jsou uloženy na železobetonové průvlaky a zděné steny.



Obrázek 3 – Hranice vytápění budovy, půdorys

Architektonickým řešením jsou dvě obdélníkové hmoty obložené balkony s vnějšími lehkými fasádními prvky, které v kombinaci s francouzskými okny vytvářejí dojem spojení mezi interiérem a exteriérem budovy a zároveň chrání transparentní stavební konstrukce před přímým slunečním světlem. Velká francouzská okna také opticky zmenšují měřítko budovy, takže budova není v konfliktu s okolními architektonickými a urbanistickými prvky.

Projekt bytového domů v Letcích předpokládá konfigurace bytů 1+kk, 2+kk a 3+kk. Technická místnost, sklepní kóje a kočárkárna se nachází v 1. NP. Celková kapacita objektu je stanovená přibližně pro 40 obyvatel.

Část A:

$$V = 2587,65 \text{ m}^3$$

$$A/V = 0,51$$

Část B:

$$V = 2364,99 \text{ m}^3$$

$$A/V = 0,52$$

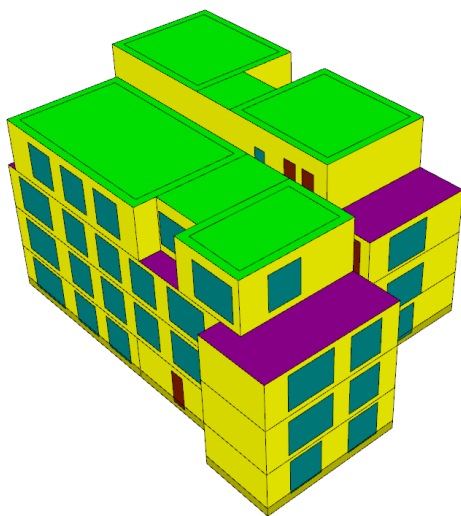


Obrázek 4 – Vizualizace objektu

4. NÁVRH OBÁLKY

4.1. MODEL BUDOVY

Pro stanovení energetické náročnosti objektu byl sestaven model, ze kterého byla pak určena plocha jednotlivých ochlazovaných konstrukcí ve vztahu k exteriéru i k nevytápěným prostorům, orientace oken apod. Pro stanovení ploch je zpracován 3D model v programu SketchUp.



Obrázek 5 – Model objektu v programu SketchUp

Tepelně technické posouzení je zpracováno v programech Svoboda Software: Energie 2022 a v programu Národní Kalkulační Nástroj II – NKN II. Jedná se o hodnocení podle ČSN 73 0540-4, dále podle ČSN 73 0331 a podle vyhlášky č. 264/2020 Sb.

Potřeba tepla pro vytápění daných prostorů byla vypočtena dle ČSN EN 12831 na základě následujících hodnot:

Výpočtová venkovní teplota	-12 °C (ČSN EN 12831) [15]
Krajina s intenzivními větry	ne
Vnitřní návrhové teploty	stanoveny dle ČSN EN 12831

4.2. PŘEHLED HODNOCENÝCH VARIANT

Pro tuto práci byly navrženy tři varianty zateplení budovy. Konstrukce na hranici obálky budovy byly navrženy tak, aby se jejich hodnoty součinitele prostupu tepla blížily doporučeným hodnotám $U_{rec,20}$ a $U_{pas,20}$ dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky a z požadovaným hodnotám $0,6 \cdot U_{N,20}$ dle dotačního programu NZÚ.

U (W/m ² K)	$0,6 \cdot U_{N,20}$	$v0 - U_{pas,0}$	$v1 - U_{pas,1}$	$v2 - U_{rec}$
Okna	0,9	0,6	0,8	1,2
Dveře	1,02	0,9	0,9	1,2
Fasáda	0,18	0,12	0,18	0,25 (0,20)
Sokl	0,18	0,12	0,18	0,25 (0,20)
Podlaha	0,27	0,15	0,22	0,30
Střecha	0,14	0,10	0,15	0,16

Tabulka 4 – Inspirativní hodnoty součinitele prostupu tepla U [7] [12]

Seznam formulovaných variant:

Varianta 0.

Zateplení konstrukcí je navrženo tak, aby jejich součinitele prostupu tepla U byly na nižší hranici doporučených hodnot pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ dle ČSN 73 0540-2.

Varianta 1.

Zateplení konstrukcí je navrženo tak, aby jejich součinitele prostupu tepla U byly na vyšší hranici doporučených hodnot pro pasivní budovy $U_{pas,20}$ dle ČSN 73 0540-2.

Varianta 2.

Zateplení konstrukcí je navrženo tak, aby jejich součinitele prostupu tepla U splňovaly doporučené hodnoty $U_{rec,20}$ dle ČSN 73 0540-2.

Fasáda bude zateplená izolací na základě minerální vlny s maximální hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda_d = 0,035$ (W/m·K).

Soklová oblast bude zateplená tepelnou izolací z XPS s maximální hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda_d = 0,033$ (W/m·K).

Podlahy ve kontaktu se zemí a plochá střecha budou zateplené tepelnou izolací z EPS s maximální hodnotou součinitele tepelné vodivosti $\lambda_d = 0,034$ (W/m·K).

Okna budou plastové s izolačními vložky a zasklením z izolačního trojskla.

V následující tabulce je ukázán návrh tepelné izolačních materiálů jednotlivých konstrukcí na hranici obálky budovy a volba součinitelů prostupu tepla okny a dveřmi.

Konstrukce	v0 - Úpas,0	v1 - Úpas,1	v2 - Urec
Okna	0,7 (W/m ² K)	0,79 (W/m ² K)	1,1 (W/m ² K)
Dveře	1,0 (W/m ² K)	1,2 (W/m ² K)	1,2 (W/m ² K)
Fasáda	Minerální ($\lambda_d=0,035$ W/m·K) tl.240 mm	Minerální ($\lambda_d=0,035$ W/m·K) tl.160 mm	Minerální ($\lambda_d=0,035$ W/m·K) tl.140 mm
Sokl	XPS ($\lambda_d=0,033$ W/m·K) tl.220 mm	XPS ($\lambda_d=0,033$ W/m·K) tl.140 mm	XPS ($\lambda_d=0,033$ W/m·K) tl.120 mm
Podlaha 1	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.170 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.100 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.60 mm
	Minerální ($\lambda_d=0,036$ W/m·K) tl.50 mm	Minerální ($\lambda_d=0,036$ W/m·K) tl.50 mm	Minerální ($\lambda_d=0,036$ W/m·K) tl.50 mm
Podlaha 2	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.220 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.150 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.110 mm
Střecha 1	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.310 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.230 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.210 mm
Střecha 2	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.50+260 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.50+180 mm	EPS ($\lambda_d=0,034$ W/m·K) tl.50+160 mm
nIREK	80 %	80 %	80 %

Tabulka 5 – Varianty materiálového provedení konstrukcí

Pro splnění požadavků dotačního programu NZÚ deklarované hodnoty součinitelů tepelné vodivosti tepelně-izolačních materiálů nelze přímo použít pro výpočet součinitelů prostupu tepla, protože se jedná o hodnoty stanovené pro téměř suché výrobky, což neodpovídá pro většinu případů skutečným podmínkám v zabudování. [12]

Proto ve výpočtech se používá procentuální přírážka dle metodického pokynu NZÚ: 7-10 % u nasákavých materiálů (např. minerální vlna) a 3-5 % u méně nasákavých materiálů (např. EPS).

Materiál	λ_d (W/m·K)	Vlhkostní přírážka	λ_k (W/m·K)
XPS	0,033	3%	0,034
EPS	0,034	3%	0,035
Minerální izolace	0,035	7%	0,037
Minerální izolace	0,036	7%	0,039

Tabulka 6 – Přepočet součinitele tepelné vodivosti λ

Výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí v tabulce.

U (W/m ² K)	v0	v1	v2
Okna	0,7	0,79	1,1
Dveře	1,0	1,2	1,2
Fasáda	0,139	0,180	0,196
Sokl	0,139	0,186	0,204
Podlaha 1	0,152	0,218	0,290
Podlaha 2	0,151	0,217	0,288
Střecha 1	0,109	0,144	0,157
Střecha 2	0,109	0,146	0,159

Tabulka 7 – Výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla U

Výsledky ukazují nízké tepelné ztráty pro všechny tři varianty. Měrná roční potřeba tepla na vytápění u varianty v0 splňuje požadavky na pasivní bytový dům.

Varianta	v0	v1	v2
$U_{em,R}$ (W/m ² K)	0,39		
U_{em} (W/m ² K)	0,26	0,32	0,39
Třída U	A	B	C
Potřeba energie na vytápění (kWh/r)	22421	32288	45297
Měrná potřeba (kWh/m ²)	14,5	20,9	29,3
Tepelná ztráta (kW)	24,9	29,8	35,9

Tabulka 8 – Energetická potřeba a kvalita obálky

5. NÁVRH TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

5.1. VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV

Vytápění objektu je řešeno centrálním zdrojem tepla. Pokrytí požadavků na teplou vodu bude řešeno v zásobníku typu CORDIVARI VASO INERZIALE, nebo podobném, o objemu 1000L. Zásobník bude umístěn v technické místnosti. Byla zvolena následující sada technologií vytápění:

Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda s akumulací nádrží a pomocným plynovým kotlem.

Pro potřeby výpočtů byla zvolena čerpadla firmy STIEBEL ELTRON typu WPL 47 a WPL 57 s akumulací nádrží CORDIVARI VOLANO TERMICO a bivalentním zdrojem tepla – plynovým kotlem PROTHERM GC 18.

Tepelné čerpadlo typu země/voda s akumulací nádrží a pomocným plynovým kotlem

Pro potřeby výpočtů byla zvolena čerpadla firmy STIEBEL ELTRON typu WPF 26, WPF 29 a WPF 32 s akumulací nádrží CORDIVARI VOLANO TERMICO a bivalentním zdrojem tepla – plynovým kotlem PROTHERM GC 18.

Kotel na pelety s akumulací nádrží a pomocným plynovým kotlem

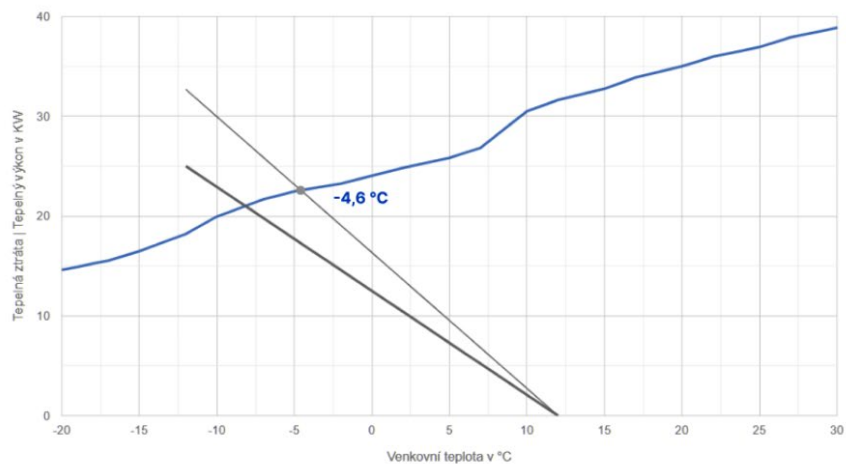
Pro potřeby výpočtů byly zvoleny kotle firmy ATMOS typu D30 a D50 s akumulací nádrží CORDIVARI VOLANO TERMICO a bivalentním zdrojem tepla – plynovým kotlem PROTHERM GC 18.

Kondenzační plynový kotel

Pro potřeby výpočtů byly zvoleny kotle firmy PROTHERM typu Condens 35 a Condens 48.

Kvůli francouzským oknům je vytápění bytů řešeno buď převážně podlahovým vytápěním nebo podlahovými konvektory. Vzhledem k odlišným typickým pracovním hodnotám teploty vody v otopné soustavě u jednotlivých zdrojů energie, podlahové vytápění je navrženo v kombinaci s tepelným čerpadlem, konvektorové vytápění je koncipované s použitím kotle (plyn nebo pelety)

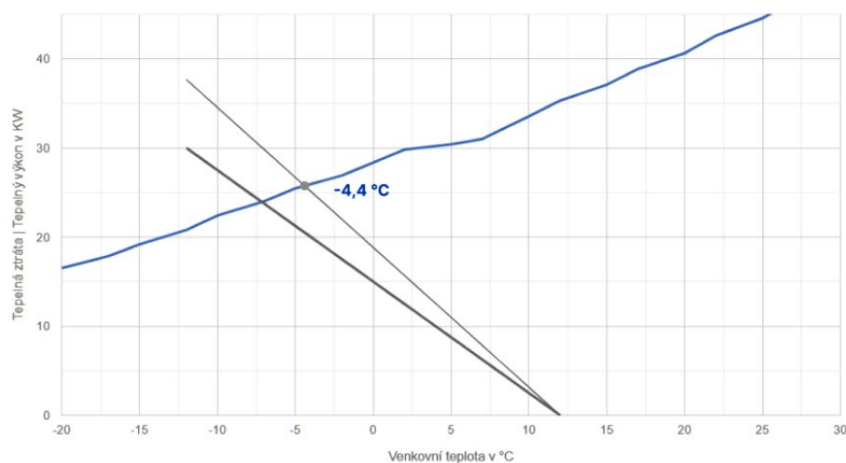
K dosažení tepelné pohody jsou na rozvaděči podlahového vytápění (nebo otopných tělesech) osazeny termostatické ventily s termostatickými hlavicemi (mimo místnosti s prostorovými termostaty). Vyvážení otopných těles bude provedeno přednastavením na termostatických ventilech. Zdroje budou vybaveny regulací pro vytápění a ohřev teplé vody. Tato regulace je obvykle dodána od výrobců zdrojů.



Topný výkon 32,8 KW
Tepelná ztráta 25 KW
Ohřev vody 7,8 KW

Bod bivalence -4,6 °C
Podíl pokrytí TČ 99 %
Podíl výkonu TČ 72,8 %

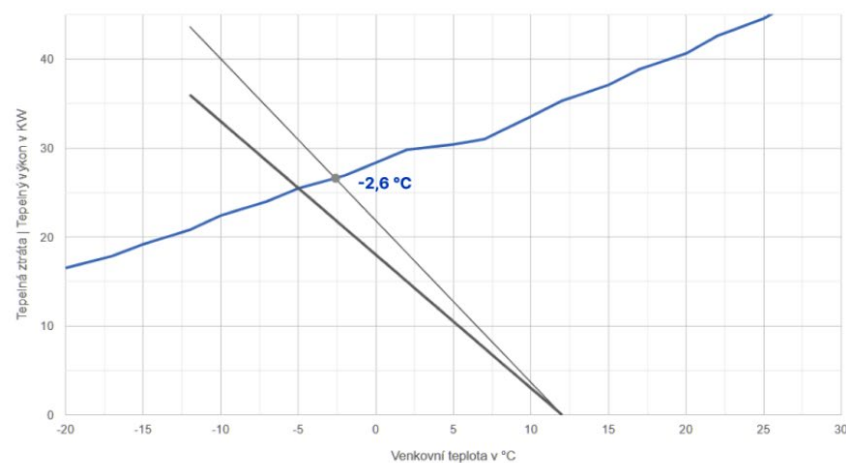
Graf 1 – Návrh TČ STIEBEL ELTRON WPL 47



Topný výkon 37,8 KW
Tepelná ztráta 30 KW
Ohřev vody 7,8 KW

Bod bivalence -4,4 °C
Podíl pokrytí TČ 98,8 %
Podíl výkonu TČ 69,3 %

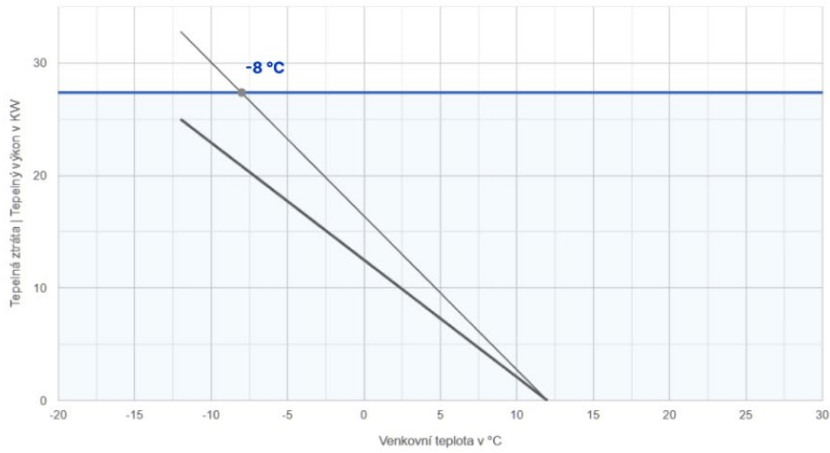
Graf 2 – Návrh TČ STIEBEL ELTRON WPL 57



Topný výkon 43,8 KW
Tepelná ztráta 36 KW
Ohřev vody 7,8 KW

Bod bivalence -2,6 °C
Podíl pokrytí TČ 97,4 %
Podíl výkonu TČ 57,8 %

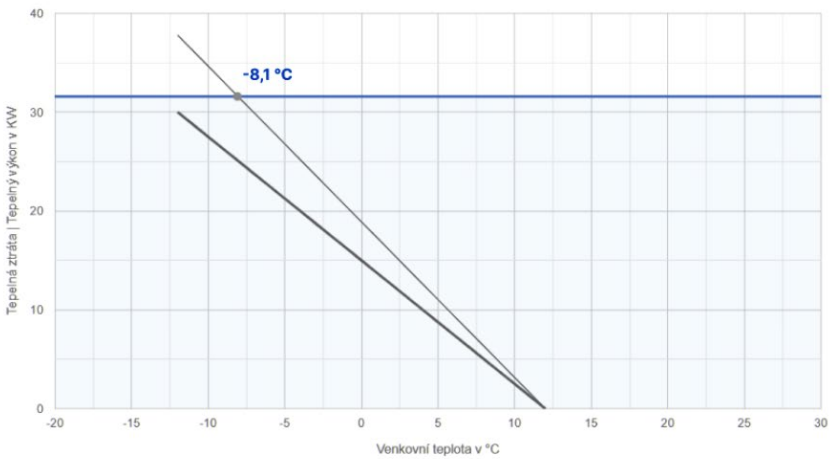
Graf 3 – Návrh TČ STIEBEL ELTRON WPL 57



Topný výkon 32,8 KW
Tepelná ztráta 25 KW
Ohřev vody 7,8 KW

Bod bivalence -8 °C
Podíl pokrytí TČ 78,9 %
Podíl výkonu TČ 100 %

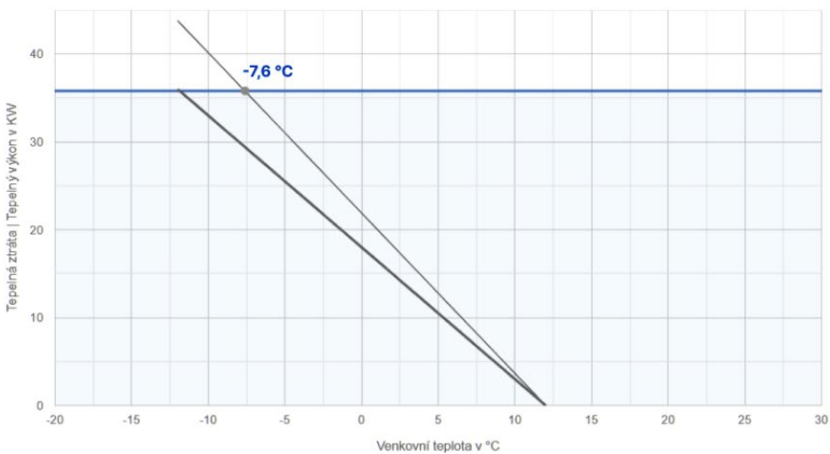
Graf 4– Návrh TČ STIEBEL ELTRON WPF 26



Topný výkon 37,8 KW
Tepelná ztráta 30 KW
Ohřev vody 7,8 KW

Bod bivalence -8,1 °C
Podíl pokrytí TČ 80,7 %
Podíl výkonu TČ 100 %

Graf 5 – Návrh TČ STIEBEL ELTRON WPF 29



Topný výkon 43,8 KW
Tepelná ztráta 36 KW
Ohřev vody 7,8 KW

Bod bivalence -7,6 °C
Podíl pokrytí TČ 82,5 %
Podíl výkonu TČ 99,5 %

Graf 6 – Návrh TČ STIEBEL ELTRON WPF 32

5.2. FVE

Na rozdíl od instalace FVE na rodinných domech není instalace solárních panelů na bytový dům atraktivní investicí. Problémem instalace solárních panelů na bytových domech je existence řady právních a finančních omezení, také i existence problematiky sdílení vyrobené energie mezi spotřebiteli a hospodaření s přebytky energie. Solární panely nicméně mohou přinést pozitivní změnu v konečné energetické bilanci budovy a zvýšit atraktivitu developerského projektu.

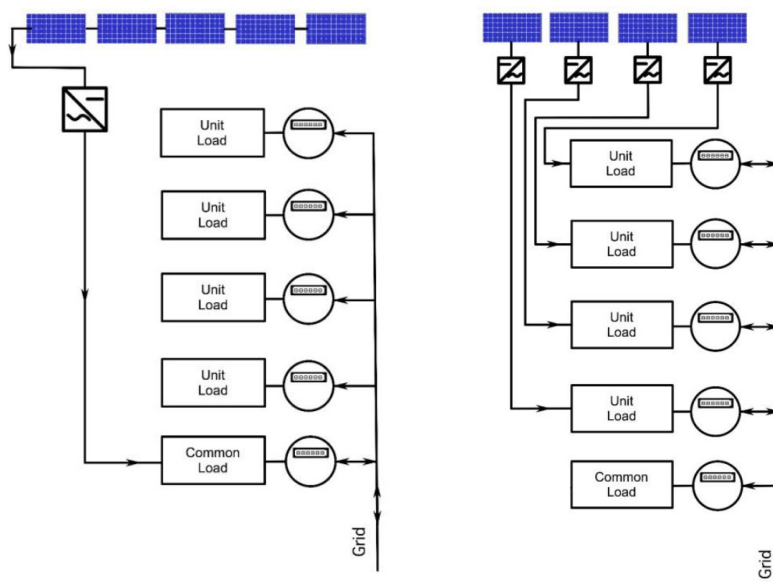
V moderní stavební praxi lze vyčlenit následující technologické možnosti:

Fotovoltaika pro společné potřeby.

Nejjednodušší realizace fotovoltaiky na bytovém domě spočívá v tom, že developer zakoupí a nainstaluje jeden fotovoltaický systém, který pokryje poptávku elektřiny pro společný majetek. Je vhodný tam, kde je taková poptávka značná a prostor na střeše je omezený, jako je u většiny výškových bytových domů. [16]

Fotovoltaika pro jednotlivé byty

Toto řešení je stejně jednoduché jako předchozí, ale tady se jedná o instalaci individuálně vlastněných fotovoltaických systémů na střešní plochu, která je ve společném vlastnictví. Kdyby se podařilo překonat problémy s legislativou, byl by finanční přínos individuální FV pro obyvatele bytů závislý na přizpůsobení velikosti systému jednotlivým potřebám, ale ne v našem případě.



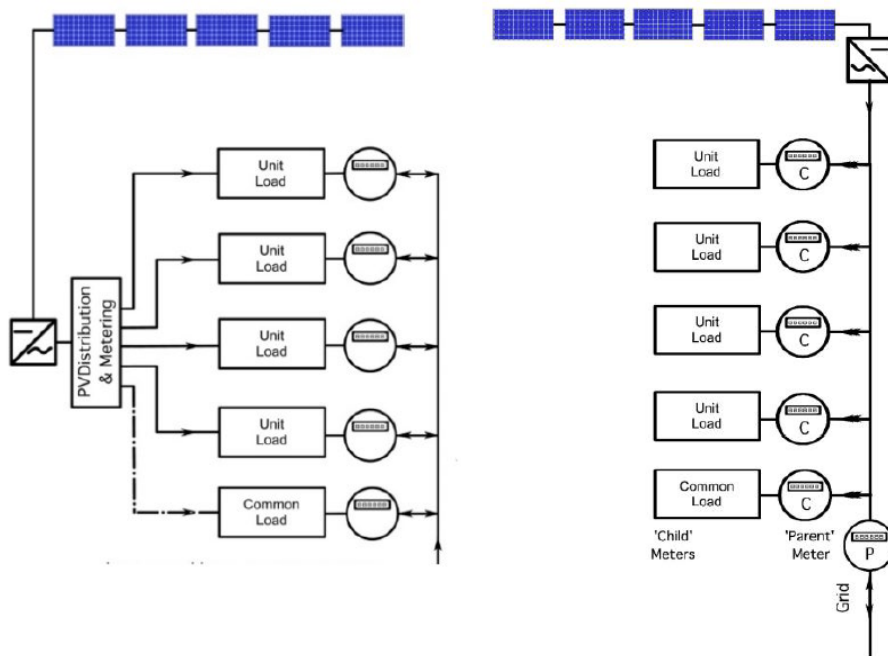
Obrázek 6 – Fotovoltaika pro společný majetek a pro jednotlivé byty [16]

Sdílená fotovoltaika "za elektroměrem"

V tomto sdíleném uspořádání "za elektroměrem" si obyvatelé nakupují vyrobenou fotovoltaickou energii prostřednictvím sekundárního distribučního a měřicího systému. Obyvatelé potom dostávají dva účty. Nelze realizovat v ČR.

Sdílená fotovoltaika s micro-gridem

Toto uspořádání zahrnuje vytvoření energetického společenství vlastníků v budově a připojení celého domu k veřejné distribuční soustavě přes jedno odběrné místo. Větší podíl vyrobené elektřiny měl by být s pomocí akumulátorů spotřebován přímo v místě výroby (pro potřeby obyvatel bytových jednotek a souvisejících nebytových prostor). Dobré řešení pro větší budovy, pokud je realizováno v zájmu obyvatel a vlastníků. [16]



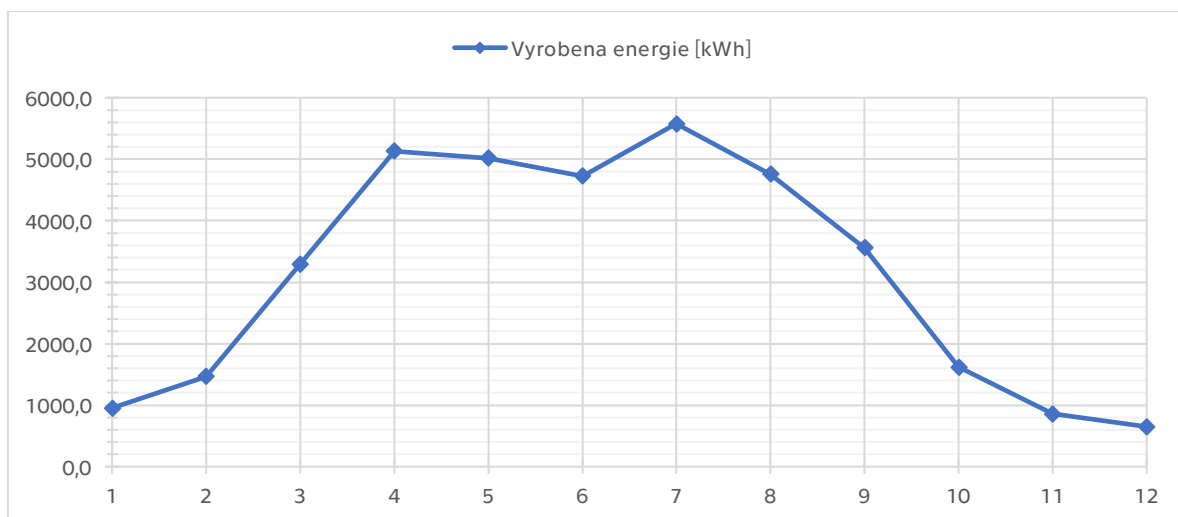
Obrázek 7 – Sdílená fotovoltaika "za elektroměrem" a s micro-gridem [16]

Pro maximalizaci využití přebytku vyrobené energie bude na střeše objektu instalována fotovoltaická elektrárna s hybridním měničem, akumulátory na bázi lithia a zapojením do mikrosítě. FVE bude navržena hlavně tak, aby snižovala náklady za energii, bude řešit spotřeby základních technických systémů a data centra budovy, světel ve společných částech, výtahů, případně spotřeby jednotlivých bytů.

S ohledem na bilanci porovnaných variant bylo rozhodnuto zvolit 70 solárních panelu Canadian Solar 450Wp, nebo podobných, s celkovým výkonem systému 31,5 kWp.

Použitelná plocha střechy [m ²]	171,95
Solární panely	Canadian Solar 450Wp
Velikost 1 panelu [m ²]	2,21
Počet panelu [ks]	70
Výkon 1 panelu [Wp]	450
Celkový výkon systému [kWp]	31,5
Měšic	Vyrobená energie [kWh]
1	952,9
2	1467,6
3	3293,6
4	5132,6
5	5017,2
6	4725,6
7	5577,0
8	4755,0
9	3559,3
10	1618,2
11	856,7
12	649,8

Tabulka 9 – Návrh FV



Graf 7 – Produkce FV na základě PVgis

5.3. VĚTRÁNÍ

Nucené rovnotlaké řízené větrání se zpětným získáváním tepla na cestě k nízkým energetickým ztrátám budovy je typickou praktikou, ve dnešní době podobné systémy větrání pro bytové domy lze rozdělit na dvě základní skupiny – centrální a decentrální.

Centrální systém má centrální jednotku, která zásobuje vzduchem celý bytový dům včetně následovného odtahu. Jednotlivé byty mají svoje regulační boxy, které dále regulují průtok vzduchu pro každý byt samostatně. Je více druhů regulačních boxů, nejvíce využívané jsou VAV (variable air volume) boxy a CAV (constant air volume) boxy. [17]

Provozní náklady rozúčtovány

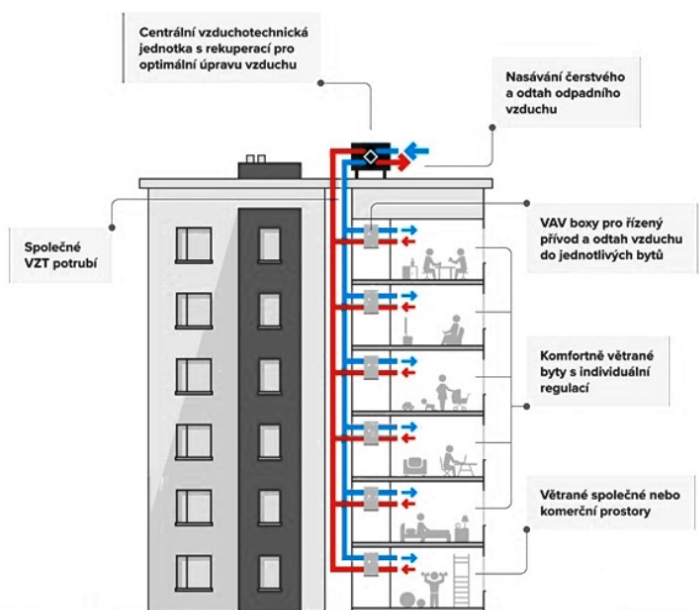
Výměna filtrů údržbou domu rozúčtována

Hlavní zdroj hluku je mimo byt

Menší zastavěný prostor v rámci bytu

Při vyšším počtu bytů na VZT jednotku nižší investiční náklady

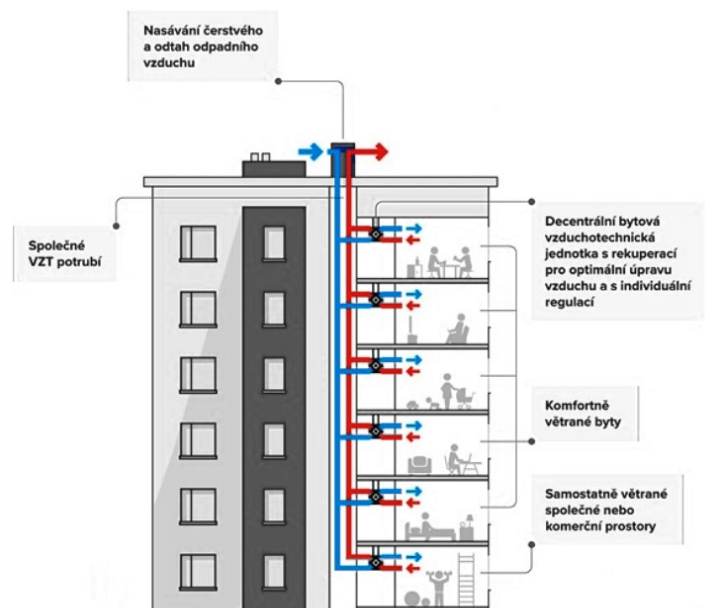
Větší systémy jsou náročné na kvalitu provedení



Obrázek 8 – Centrální rovnotlaký systém [17]

U decentrálního systému má každý byt svou vlastní jednotku, která reguluje přívod a odvod vzduchu. Další regulační boxy nejsou v tomto případě třeba, jelikož každá jednotka zajišťuje průtok vzduchu sama.[17]

- Provozní náklady není nutné rozúčtovávat
- Údržba (výměna filtrů) uživatelem
- Plné využití freecoolingu/rekuperace chladu
- Možnost napojení kuchyňského zákrytu do VZT



Obrázek 9 – Decentrální rovnolaký systém [17]

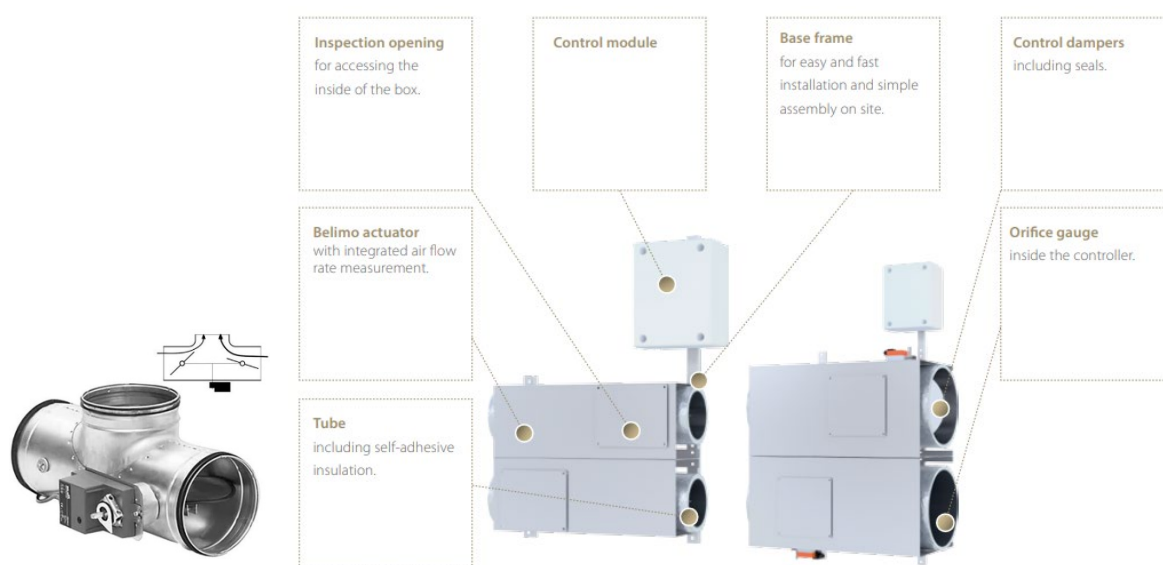
Větrání bude řešeno jako nucené rovnolaké, centrální systém s regulačními VAV boxy a senzory kvality vzduchu v místnostech s dvouzónovou regulací. Dvouzónová regulace se provádí třicestným ventilem, který odvádí vzduch buď z obytných místností nebo ložnic anebo obou prostor najednou. Přepínání zón může být nastaveno v nastavitelném časovém programu nebo na základě aktuální kvality vzduchu. Kvalitu vzduchu (množství CO₂ a vody) – snímají senzory v místnostech.

Navrhovaná výměna vzduchu je vypočtena na základě požadované intenzitě větrání, doporučených hodnot průtoku odsávaného vzduchu (nárazové větrání) a doporučených hodnot na základě počtu osob. Vzhledem k použití micro-gridu, systému řízení a zónování v budově a počtů bytových jednotek součinitel současnosti nárazového větrání je zvolen ve hodnotě 0,85.

Požadovaný průtok vzduchu je potom 1636,25 m³/h.

Bude instalována rekuperační jednotka ZEHNDER COMFOAIR XL 2200 s křížovým protiproudovým výměníkem tepla.

Spotřeba tepla každého bytu je měřena elektroměrem, který je umístěn v instalační skřínce regulačního VAV boxu v bytě. Regulační box upravuje množství přívodního a odvodního vzduchu na základě požadavků. Rozdělení množství odsávaného vzduchu v případě aktivního nárazového větrání řeší 3-cestná klapka. Systém je napájen z bytového rozvaděče, komunikační sběrnice kabel je propojený s centrální vzduchotechnickou jednotkou.



Obrázek 10 – 3-cestná vzduchová klapka a regulační VAV box [22] [23]

Obytné místnosti mají nainstalovány distribuční prvky pro přívod čerstvého vzduchu. Umístění bylo voleno zejména s ohledem na to, aby v bytech došlo k co nejmenšímu snižování světlé výšky místností. Proto jsou pro přívod vzduchu použity směrové dýzy, které zajistí dostatečný dosah přiváděného vzduchu.

Odtah vzduchu zajišťují talířové ventily v místnostech, ve kterých se vyskytuje znehodnocený vzduch. Jedná se o koupelny, WC a obytné místnosti. V kuchyních jsou instalovány recirkulační digestoře. Odsávaný vzduch je v jednotce opět vyčištěn a vrácen zpět do místnosti. V ostatních místnostech je částečné větrání zajištěno mezerou pode dveřmi.

5.4. ŘÍDICÍ SYSTÉM

Systémy BMS (Building Management System) jsou často instalovány na komerčních, administrativních nebo průmyslových budovách, zatímco instalace takových systémů v bytových domech není častou praktikou, s výjimkou sociálního bydlení, a to z důvodu charakteru vlastnictví bytových domů. Nicméně vzhledem ke zvolené konfiguraci distribuce solární energie, realizaci mikrosítě a snaze o snížení spotřeby energie bude návrh bytového domu zahrnovat instalaci systému BMS.

Níže je uveden seznam služeb, které lze ovládat a monitorovat prostřednictvím systému BMS:

Systémy vytápění/chlazení

VZT systémy

Systémy řízení osvětlení (včetně nouzového osvětlení)

Hydraulické systémy

Bezpečnostní systémy

Žaluziové/roletové systémy

Podsystém pro bezpečnostní a požární signalizaci

Výtahy a eskalátory

Měření/řízení spotřeby energie

Elektrický subsystém

Informační a komunikační subsystém

Komunikační protokoly pro přenos dat jsou pravidla, která definují způsob výměny dat mezi objekty sítě. Výběr některých je níže.

KNX/EIB

KNX/EIB je decentralizovaný sběrníkový systém. Každý z připojených prvků má jedinečnou fyzickou adresu, jež je určena k jeho identifikaci. Komunikace mezi jednotlivými prvky probíhá prostřednictvím sběrnice, po níž jsou vysílány telegramy obsahující instrukce, jak se má cílový prvek zachovat. KNX/EIB podporuje propojení různými přenosovými médii, od kabelu UTP, přes adaptéry PLC a bezdrátové sítě (zpravidla 868 MHz) až po rozvody optickým vláknem. [18]

BACnet

Označení BACnet (Building Automation and Control Network) má komunikační systém využívaný v automatizaci budov, ve kterém si zařízení i subsystémy mohou vzájemně vyměňovat informace

BACnet byla navržena pro monitorování a obousměrné řízení systémů a zařízení využívajících protokoly BACnet, DALI, KNX, LonWorks, M-Bus a Modbus. [19]

ZigBee

ZigBee je bezdrátový komunikační protokol. Klíčovou vlastností technologie Zigbee je, že podporuje nejen jednoduché síťové topologie (bod-bod, strom a hvězda), ale také samoorganizující se a samoopravující se síťové topologie s retranslací a směrováním zpráv, přičemž spotřebovává málo energie. [20]

Z-Wave

Bezdrátový protokol podobný ZigBee vyvíjený v roce 2001 speciálně pro domácí automatizaci. Stejně jako ZigBee podporuje mesh topologii a vyznačuje se nízkou spotřebou energie. Jeho hlavní výhodou je plná kompatibilita mezi zařízeními různých výrobců. [21]

Následující text charakterizuje seznam požadavků na řídicí systém, který popisuje aplikace, které by měly automatizované systémy řídit co nejefektivněji, tj. poskytovat nákladově efektivní, ekologické a komfortní řízení pro zajištění optimálního provozu celé budovy. Pro zajištění komplexní kontroly musí být automatizovány následující funkční jednotky:

Osvětlení

V chodbách, koridorech a na zahradě budou použita pohybová čidla.

Možnost vypnutí osvětlení při odchodu z bytu např. pokud jsou telefony pronajímatelů odpojeny od sítě Wi-Fi a na všech čidlech není žádný pohyb, nebo inteligentním zámekem.

Osvětlení lze ovládat přes mobil nebo počítač.

Řízení zapínání a vypínání osvětlení v jednotlivých prostorách podle časového plánu.

Řízení fasádního (dekorativního) osvětlení.

Řízení pracovního, služebního, nouzového, evakuačního osvětlení, ovládání osvětlení schodiště a výtahů.

Vytápění

Možnost nastavení denních teplotních režimů v závislosti na časovém plánu.

Regulace kotlů nebo TČ.

Optimalizace různých zdrojů pro ohřev vody.

Automatické udržování teploty v místnostech budovy pomocí automatické regulace topného systému, a to i podle uživatelem definovaného časového plánu.

Lze ovládat přes mobil nebo počítač.

Nastavení úsporných režimů (den/noc/víkend).

Elektrický subsystém

Zajištění nepřetržité dodávky elektřiny spotřebitelům.

Sledování produkce elektrické energie.

Sledování spotřeby elektrické energie.

Měření spotřeby elektřiny (dohromady i pro každého nájemníka zvlášť).

Hydraulické systémy

Automatické řízení čerpadel.

Udržování tlaku v systému ve stanovených mezích.

Měření technologických parametrů systému (průtok, tlak).

Monitorování vodovodního systému (fyzický stav potrubí a uzavíracích a regulačních ventilů).

Řízení VZT

Automatické udržování teploty a vlhkosti, a to i podle uživatelsky definovaného časového plánu.

Zónování, automatické a ruční ovládaní 3-cestní klapkou.

Změny výkonu na základě informací ze senzoru kvality vzduchu.

Lze ovládat přes mobil nebo počítač.

Nastavení úsporných režimů (den/noc/víkend).

Rolety a žaluzie

Reakce na změnu povětrnostních podmínek.

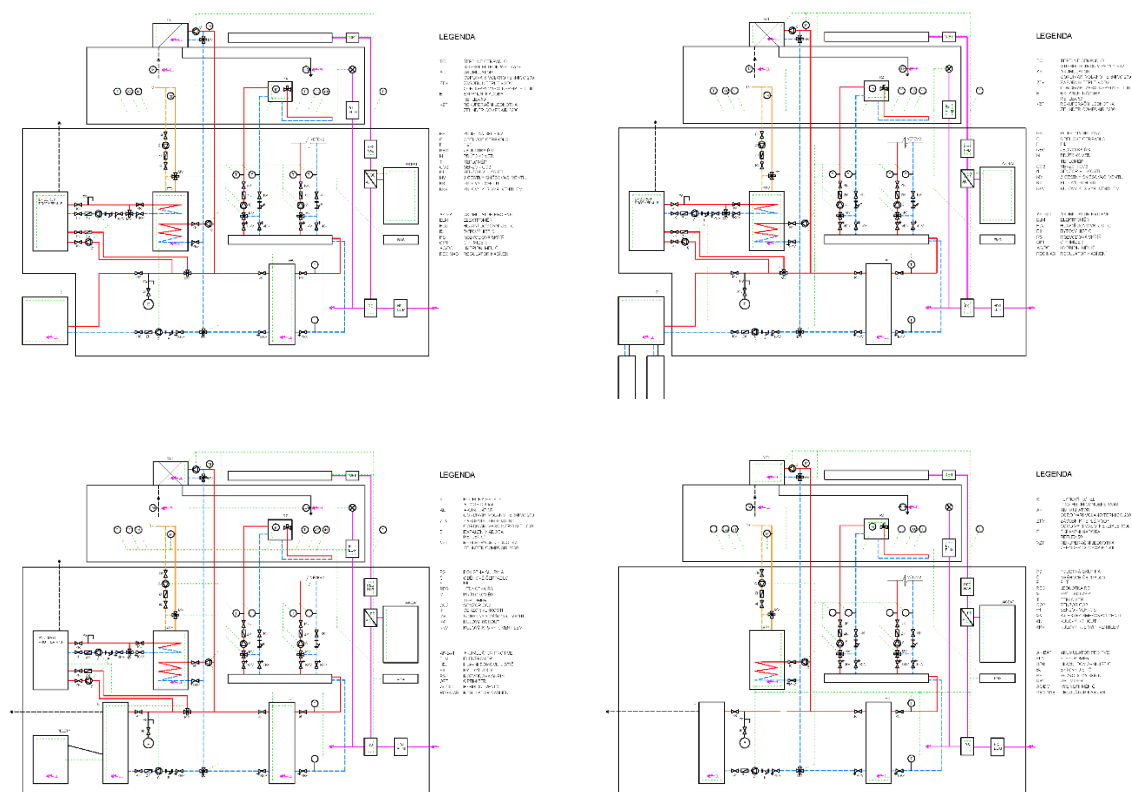
Lze ovládat přes mobil nebo počítač.

Lokální ovládaní z místnosti, možnost zapojení časových režimů, nastavení předdefinovaných stavů.

V této práci se předpokládá, že všechny menší subsystémy budovy budou propojeny nadřazenou sběrníkovou sítí BACnet. Řízení subsystémů bude převážně řešit sběrníkový systém KNX, mimo VZT (bude na Modbus) a zařízení technické místnosti (závisí na dodavateli). Veškeré ovládaní osvětlení, vzdálených čerpadel, ventilů, měření, regulace teploty v místnostech, stínění atd. se provádí v rámci KNX, což snižuje složitost. Bylo by také dobré nechat obyvatelům bytů možnost rozšířit inteligentní síť o další prvky pomocí brány z BACnetu na ZigBee nebo Z-Wave, protože většina prvků inteligentní domácnosti dostupných v maloobchodních prodejnách podporuje tyto bezdrátové protokoly. V případě přidání nových síťových prvků by bylo nutné řídicí systém pouze přeprogramovat.

5.5. SHRNUTÍ

Na základě výše uvedeného byly vytvořeny čtyři základní technické koncepce budovy. Níže jsou uvedena schémata čtyř hlavních variant návrhu technického zařízení budovy, podrobný přehled v plné velikosti – viz příloha A (na konci tohoto dokumentu).



Obrázek 11 – Schémata technických systémů

V kombinaci se třemi možnostmi izolace budov (kapitola 4) máme k dispozici 12 variant návrhu bytového domu. Každá z dvanácti možností bude představena dvakrát – s FVE a bez ní. V další kapitole bude těchto 24 variant hodnoceno podle ekonomických a energetických kritérií.

6. POSOUZENÍ TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

6.1. NEOBNOVITELNÁ PRIMÁRNÍ ENERGIE

Důležité kritérium, které určuje, zda stavba může získat stavební povolení, vyjadřuje vliv budovy na životní prostředí a její politicko-společenský status.

Varianta	v0 – Upas,0	v1 – Upas,1	v2 – Urec	Technologie
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	65,5			PLYN
E_{nP} (kWh/m ² a)	54,2	66,4	71,2	
Třída	B	B	B	
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	65,5			PELETY
E_{nP} (kWh/m ² a)	19,3	21,2	23,4	
Třída	A	A	A	
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	62,9			TČ Vz/V
E_{nP} (kWh/m ² a)	50,9	57,3	69,5	
Třída	B	B	B	
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	62,9			TČ Z/V
E_{nP} (kWh/m ² a)	51,8	58	66,2	
Třída	B	B	B	
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	65,5			PLYN +FVE
E_{nP} (kWh/m ² a)	-9	3,1	7,9	
Třída	A	A	A	
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	65,5			PELETY +FVE
E_{nP} (kWh/m ² a)	-43,9	-42,1	-39,8	
Třída	A	A	A	
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	62,9			TČ Vz/V +FVE
E_{nP} (kWh/m ² a)	-12,3	-5,9	6,2	
Třída	A	A	A	
$E_{nP,R}$ (kWh/m ² a)	62,9			TČ Z/V +FVE
E_{nP} (kWh/m ² a)	-11,5	-5,3	3	
Třída	A	A	A	

Tabulka 10 – Měrná neobnovitelná primární energie

6.2. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Než přistoupíme k ekonomickému hodnocení, shrneme si investiční i provozní náklady navržených variant. V následujících tabulkách (11 až 13) je uveden stručný přehled dílčích a celkových investičních nákladů pro jednotlivé varianty. Pokud není výslovně uvedeno jinak, ceny jsou uvažovány bez DPH. Ceny také nezahrnují doplňková zařízení, protože jsou velmi individuální. Ekonomické hodnocení variant je provedeno pomocí kritéria ekonomické efektivity TCO (celkové náklady za dobu vlastnictví), vyhodnocení je provedeno pro období 15 let s vlivem růstu cen 3 % a mírou inflace 4 %.

A	OBÁLKA	v0	v1	v2
	okna	1.920.000,00 Kč	1.440.000,00 Kč	1.200.000,00 Kč
	dveře	320.000,00 Kč	200.000,00 Kč	200.000,00 Kč
	fasáda	2.051.872,54 Kč	2.051.872,54 Kč	2.051.872,48 Kč
	sokl	383.328,00 Kč	365.904,00 Kč	327.277,45 Kč
	podlaha	2.107.505,40 Kč	1.981.980,00 Kč	1.961.143,00 Kč
	střecha	4.068.648,40 Kč	3.943.123,00 Kč	3.922.286,00 Kč
	Celkem	10.851.354,34 Kč	9.982.879,54 Kč	9.662.578,93 Kč

Tabulka 11 – Investiční náklady

B	TZB	Plyn	Pelety	TČ vzduch	TČ země
	Zdroj v0	44.112,97 Kč	75.622,70 Kč	600.387,00 Kč	482.590,00 Kč
	Zdroj v1	44.112,97 Kč	76.959,75 Kč	600.387,00 Kč	491.890,00 Kč
	Zdroj v2	45.827,54 Kč	76.959,75 Kč	665.380,00 Kč	497.690,00 Kč
	2. zdroj	- Kč	25.000,00 Kč	25.000,00 Kč	25.000,00 Kč
	Aku	- Kč	15.000,00 Kč	15.000,00 Kč	15.000,00 Kč
	Zásoba pelet	- Kč	30.000,00 Kč	- Kč	- Kč
	Vrty	- Kč	- Kč	- Kč	800.000,00 Kč
	OT	484.000,00 Kč	484.000,00 Kč	828.000,00 Kč	828.000,00 Kč
	instalace	100.000,00 Kč	100.000,00 Kč	100.000,00 Kč	100.000,00 Kč
	Celkem v0	628.112,97 Kč	729.622,70 Kč	1.568.387,00 Kč	2.250.590,00 Kč
	Celkem v1	628.112,97 Kč	730.959,75 Kč	1.568.387,00 Kč	2.259.890,00 Kč
	Celkem v2	629.827,54 Kč	730.959,75 Kč	1.633.380,00 Kč	2.265.690,00 Kč

Tabulka 12 – Investiční náklady

C	FVE	
	Panely	435.680,00 Kč
	Baterie	1.500.000,00 Kč
	Měnič	200.000,00 Kč
	Instalace	350.000,00 Kč
	Celkem	2.485.680,00 Kč

Tabulka 13 – Investiční náklady

Ve případě splnění požadavků programu NZÚ, může investor očekávat následující dotační platby. Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období a těsnost obálky budovy po dokončení stavby nebudou v této práci testovány, ale vzhledem k předpokládané vysoké kvalitě obálky budovy, konstrukci budovy z keramických bloků, izolaci z minerální vlny a použití stínících žaluzií se předpokládá, že tato kritéria budou splněna.

D	DOTACE	B. NOVOSTAVBA	C. FVE
		- 3.300.000,00 Kč	- 1.182.500,00 Kč

Tabulka 14 – Výše dotace

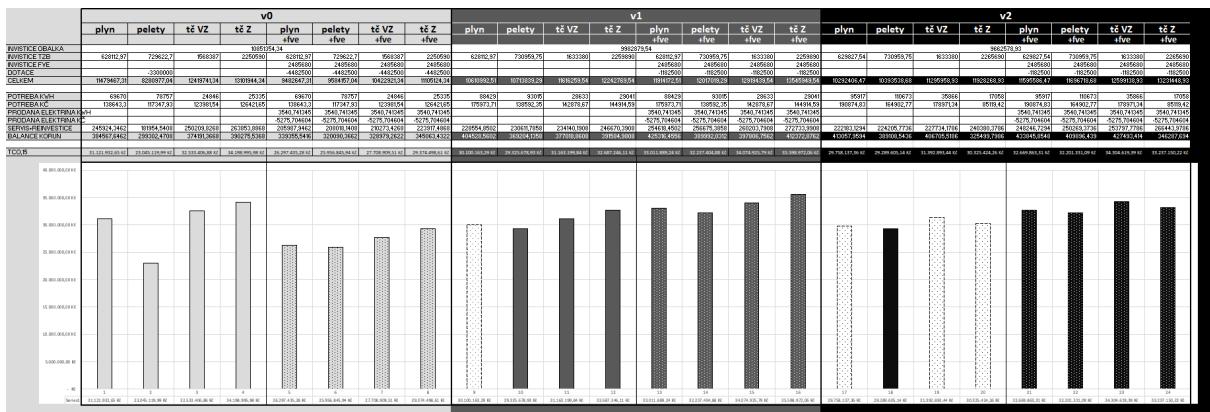
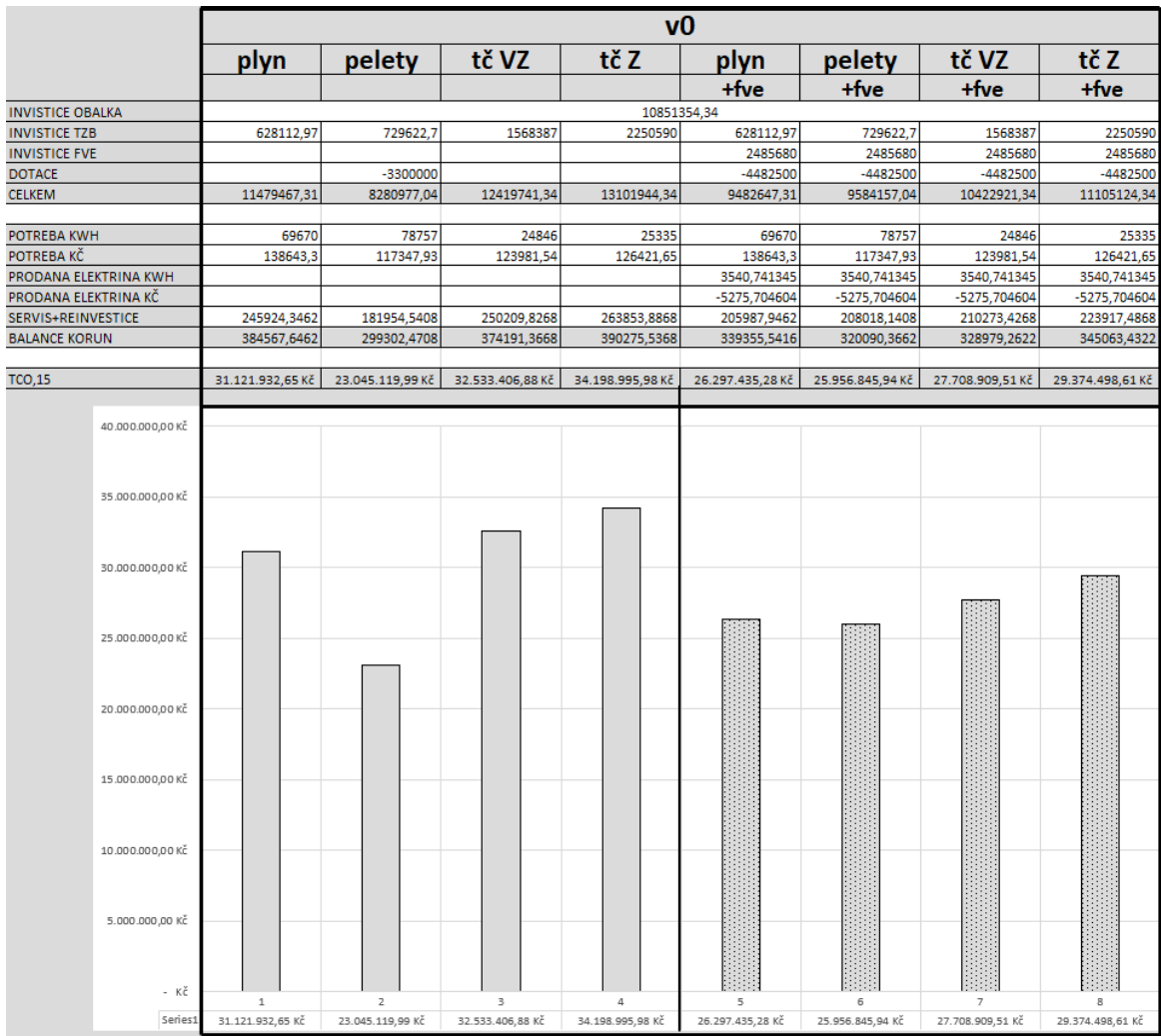
Přehled poplatků ke každé vyrobené a zároveň spotřebované kWh pro rok 2022 (včetně DPH).

E	ENERGIE		
	Plyn	1,99	Kč/kWh
	Pelety	1,49	Kč/kWh
	El. D56d TČ	4,99	Kč/kWh
	El. prodej	1,49	Kč/kWh

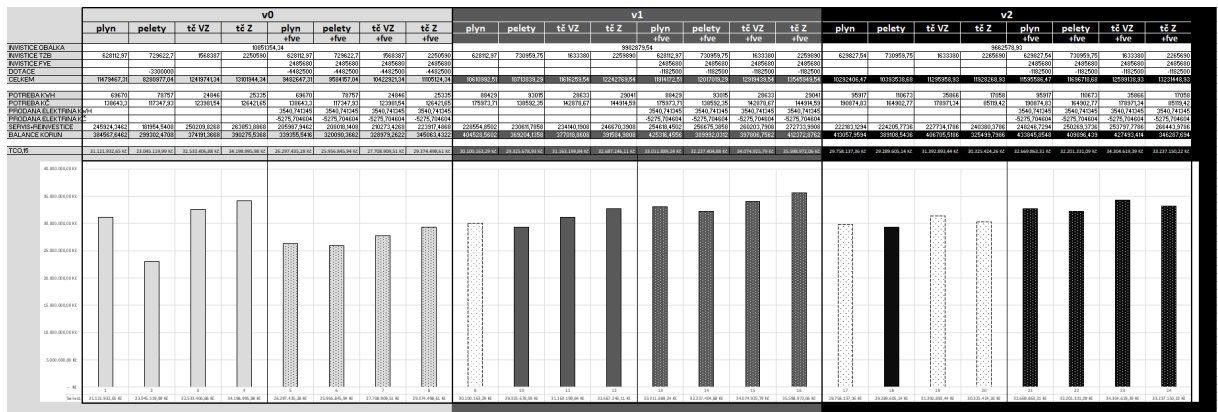
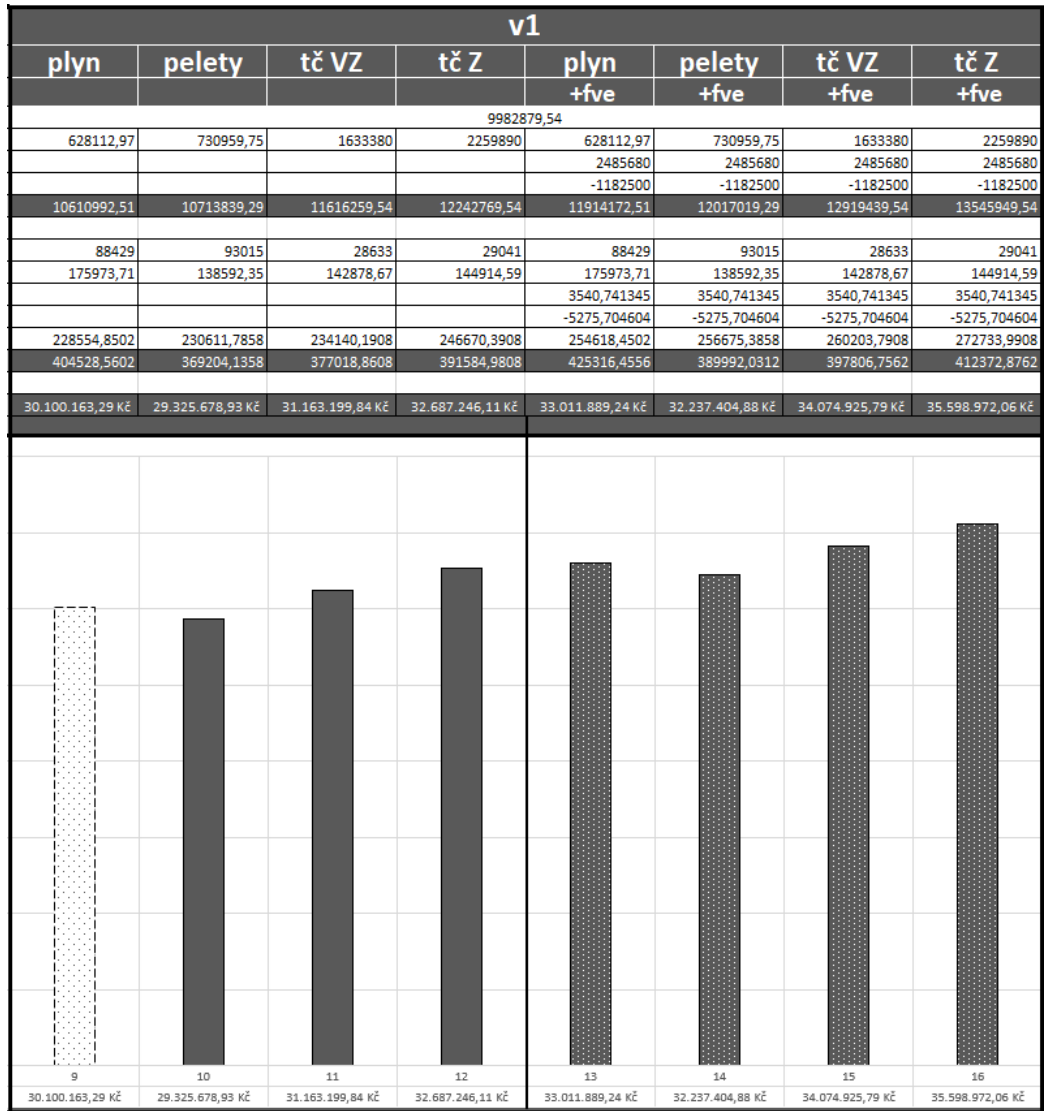
Tabulka 15 – Ceny na vybrané druhy energie

Je třeba si uvědomit, že v našem případě TCO neodráží skutečné celkové náklady za dobu vlastnictví, nicméně výsledná hodnota je užitečným kritériem pro přehledné srovnání velkého množství variant technických systémů na základě jejich ekonomické a energetické účinnosti, vyjádřených v Kč.

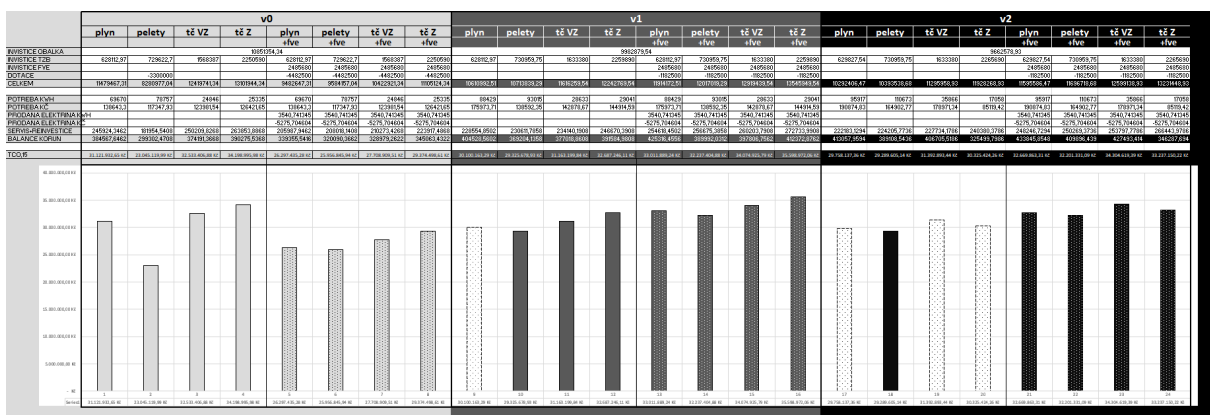
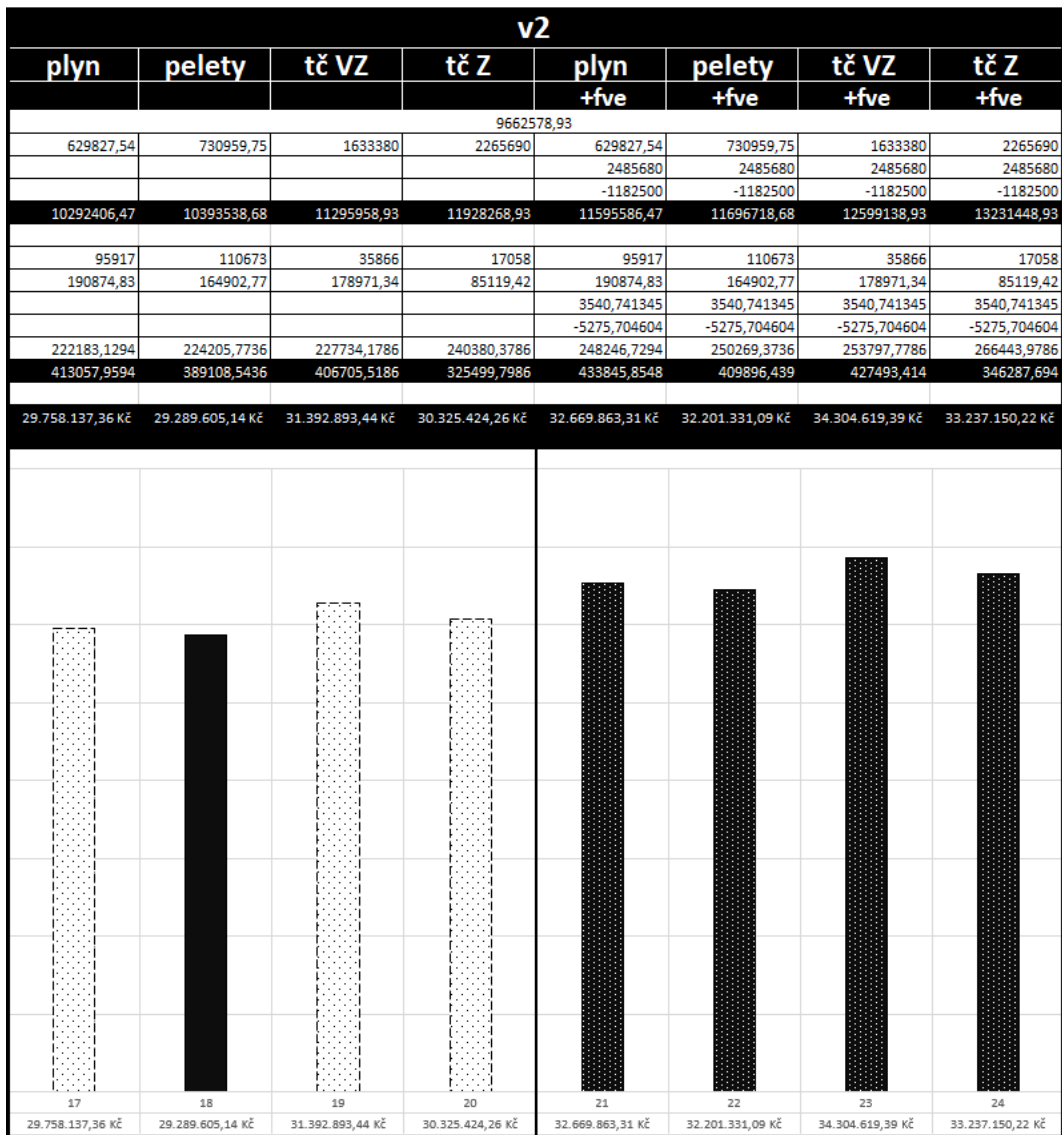
Průhledné sloupce na grafech označují návrhy, které nesplňují povinné požadavky na neobnovitelnou primární energii a nemohou dostat stavební povolení podle současných právních předpisů.



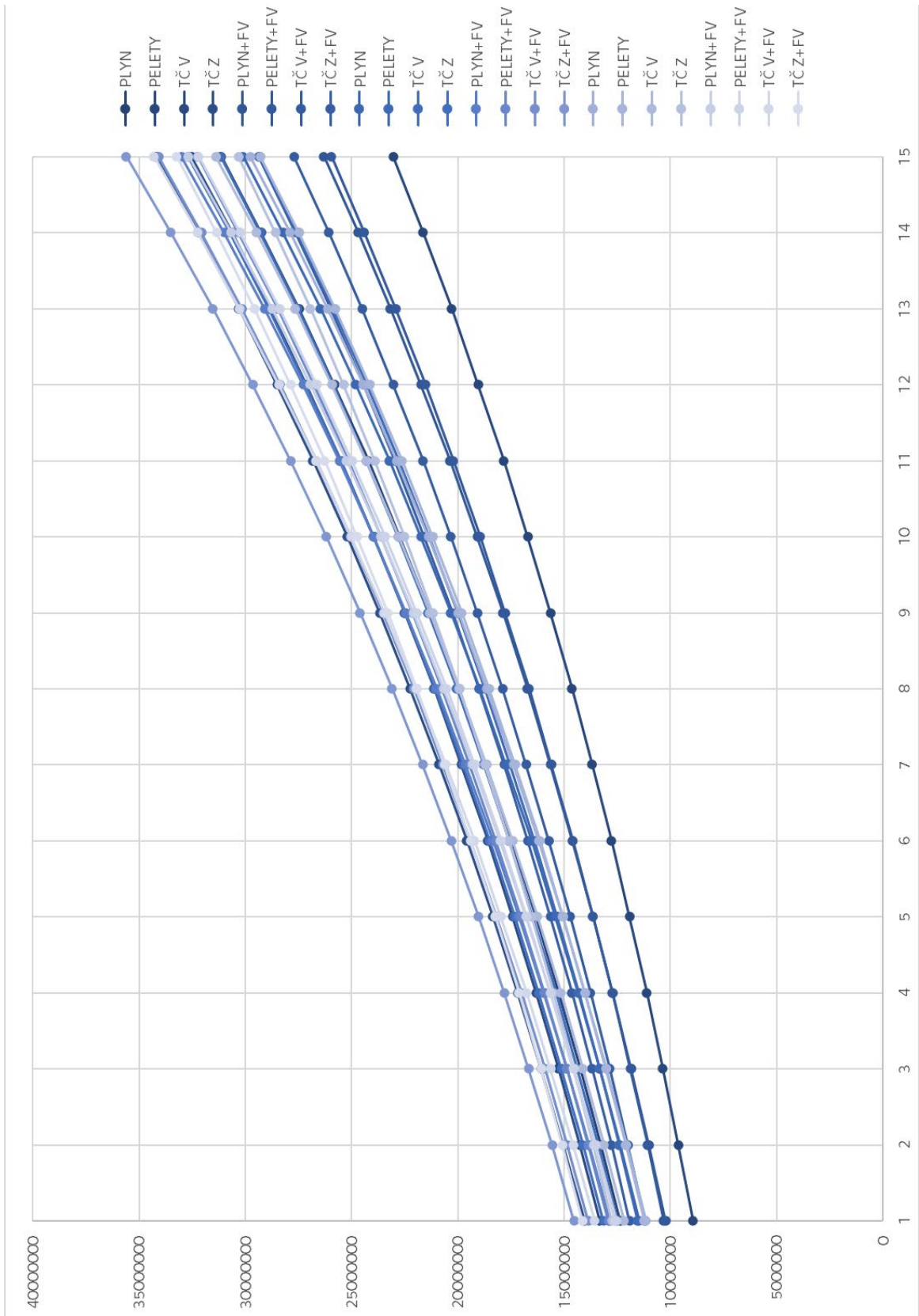
Tabulka 16 – Ekonomické vyhodnocení variant formou TCO pro 15 let



Tabulka 17 – Ekonomické vyhodnocení variant formou TCO pro 15 let



Tabulka 18 – Ekonomické vyhodnocení variant formou TCO pro 15 let



Graf 8 – TCO za dobu 15 let

6.3. MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ

V případě bytového domu kritérium TCO nemůže být rozhodující pro výběr konkrétní varianty návrhu. Proto bylo vybráno 4 nejefektivnějších podle celkových nákladů za dobu vlastnictví variant pro vyhodnocení a následné rozhodování pro nevhodnější pomocí vícekritériální analýzy.

Kromě TCO byla vybrána čtyři další kritéria.

E_{np} – měrná neobnovitelná primární energie, parametr, který vyjadřuje vliv budovy na životní prostředí a její politicko-společenský status.

Komfort, nebo pohodlí, které je v životě důležité a pro většinu obyvatelů zásadní.

Kč/m – roční peněžní náklady na vybrané druhy energie.

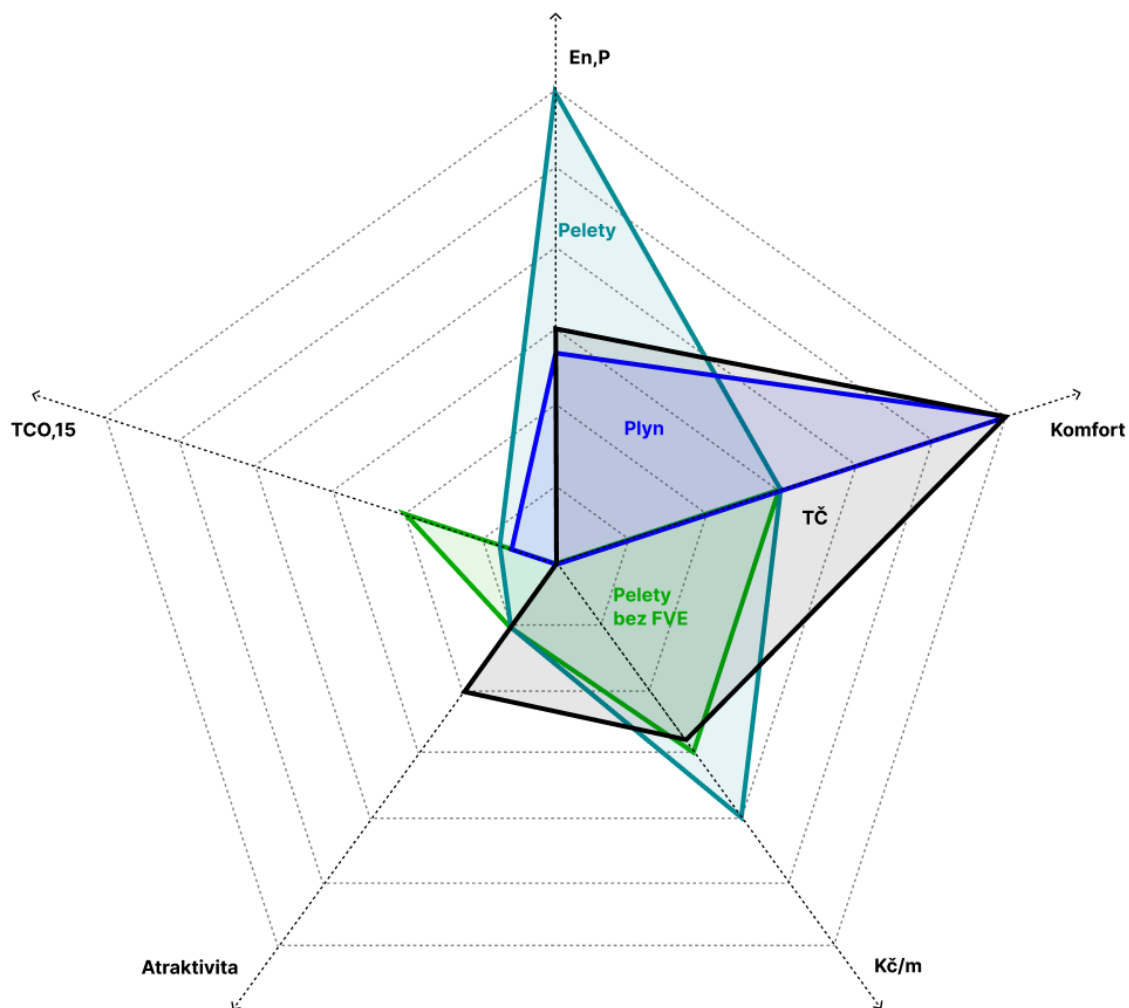
Atraktivita – ukazuje subjektivní atraktivitu tohoto typu technologie v očích potenciálního kupujícího.

Parametr	Pelety bez FVE	Pelety	Plyn	TČ vz/v	Váha
E_{np}	19,3	-43,9	-9	-12,3	0,3
Komfort	0,5	0,5	1	1	0,3
Kč/m	117347,9	112072,2	133367,5	118705,8	0,2
Atraktivita	0,5	0,5	0	1	0,1
TCO,15	23045119,9	25956845,9	26297435,3	27708909,5	0,1

Tabulka 19 – Kriteriaální matice

Parametr	Pelety bez FVE	Pelety	Plyn	TČ vz/v	Váha
E_{np}	0,0	30,0	13,4	15,0	0,3
Komfort	15,0	15,0	30,0	30,0	0,3
Kč/m	15,0	20,0	0,0	13,8	0,2
Atraktivita	5,0	5,0	0,0	10,0	0,1
TCO,15	10,0	3,8	3,0	0,0	0,1
S	351	981	444	1001	
Pořadí	4	2	3	1	

Tabulka 20 – Kriteriaální matice normalizovaná



Graf 9 – Multikriteriální hodnocení

6.4. ZHODNOCENÍ POTENCIÁLŮ TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ

Na základě multikriteriální analýzy bylo rozhodnuto vytvořit projekt vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem typu vzduch/voda na místě hlavního zdroje energie pro variantu zateplení budovy v0.

V následující tabulce jsou uvedeny všechny porovnané technické koncepty z této práce a jejich soulad s různými technickými standartami hodnocení energetické náročnosti budov, uvedených ve 2. kapitole.

		ČSN 73 0540-2 Nízkoenergetický dům	Povinný standard NZEB	Passivhaus Institut Pasivní dům „Classic“	ČSN 73 0540-2 Pasivní dům	NZÚ – S velmi nízkou energetickou náročností	ČSN 73 0540-2 Nulový dům	Passivhaus Institut Pasivní dům „Plus“	Passivhaus Institut Pasivní dům „Premium“
v0 - Upas,0	+ FVE	plyn							
		pelety							
		TČ vzd							
		TČ zem							
		plyn							
		pelety							
		TČ vzd							
		TČ zem							
v1 - Upas,1	+ FVE	plyn							
		pelety							
		TČ vzd							
		TČ zem							
		plyn		!					
		pelety							
		TČ vzd							
		TČ zem							
v2 - Urec	+ FVE	plyn							
		pelety							
		TČ vzd							
		TČ zem							
		plyn		!					
		pelety							
		TČ vzd		!					
		TČ zem		!					
Součet		24	20	8	8	5	0	0	0
		100%	83%	33%	33%	21%	0%	0%	0%

Tabulka 21 – Zhodnocení potenciálů technických systémů

5. ZÁVĚR

Na základě výše uvedeného lze konstatovat několik závěrů.

Je možné předpokládat postupný vývoj energetických standardů směrem ke zpřesnění a zpřísnění jejich požadavků. Analogií, která není argumentem, ale dobrým způsobem, jak upozornit na podobnosti, by mohl být podobný trend v jiných oblastech souvisejících s dopady na životní prostředí – doprava a průmysl.

Vezměme si tabulku (21) na předchozí straně.

Především si můžeme hned všimnout, že čtyři projekty z 24 nemohou získat stavební povolení, protože nesplňují energetický standard NZEB, přitom všechny jsou nízkoenergetickými domy podle ČSN 73 0540-2.

Na druhou stranu NZÚ funguje tak, jak je zamýšleno: program klade na pasivní domy vyšší požadavky než stavební norma a tlačí projekty budov k tomu, aby byly připraveny splnit energetické požadavky příštích let. Motivační složka programu rovněž funguje – 4 z 5 návrhů s velmi nízkou energetickou náročností mají nejlepší výsledky ekonomického hodnocení. Je také dobrou otázkou, zda je třeba, aby společnost a stát podporovaly realizaci ekologicky šetrnějších staveb, ale tato práce nebyla zaměřena na společenské vědy.

Závěrem lze říct, že teoretická analýza vedla k poměrně zajímavému projektu bytového domu – vytápěného tepelným čerpadlem, větraného s rekuperací tepla, ve společném vlastnictví obyvatel, s FVE s mikrosítí a centrálním řízením pomocí BMS. Takový dům by se dobře hodil do města s inteligentní sítí, která (sít) by se zase dobře hodila do relativně malého obce blízko velkého města, jako jsou Libčice.

ZDROJE

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov.
- [2] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií.
- [3] Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov.
- [4] *Energetické standardy budov – NZEB* [online]. Ing. Michal Čejka, PORSENNA o.p.s., Ing. Jan Antonín, Ph.D., EnergySim [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/350-energeticke-standardy-budov-nzeb>
- [5] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti.
- [6] Úprava požadavků na budovy s téměř nulovou spotřebou energie [online]. TZB-info [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/365-uprava-pozadavku-na-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie>
- [7] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.*
- [8] TNI 73 0329: *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Rodinné domy.*
- [9] TNI 73 0330: *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy.*
- [10] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.
- [11] Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard [online]. Passive House Institute [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: https://passiv.de/downloads/03_building_criteria_en.pdf
- [12] Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory programu Nová zelená úsporám v rámci Národního plánu obnovy – BYTOVÉ DOMY. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2021.
- [13] ČSN 73 0540-4: *Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody pro navrhování a ověřování.*
- [14] ČSN 73 0331: *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet.*
- [15] ČSN EN 12831: *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu.*
- [16] Roberts, Mike & Bruce, Anna & Macgill, Iain & Copper, Jessie & Haghdadi, Navid. Photovoltaics on Apartment Buildings – Project Report. Sydney: Centre for Energy and Environmental Markets, 2019.
- [17] Větrací systémy pro bytové domy [online]. ATREA s.r.o. [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-bytovych-domu/22528-vetraci-systemy-pro-bytove-domy>

- [18] KNX Solutions [online]. KNX Association International. [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://www.knx.org/wAssets/docs/downloads/Marketing/Presentations/KNX-Solutions/KNX%20Solutions%20EN.pdf>
- [19] BACnet – A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks [online]. BACnet. [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <http://www.bacnet.org>
- [20] ZigBee applications – Part 1: Sending and receiving data [online]. Drew Gislason. [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://www.eetimes.com/zigbee-applications-part-1-sending-and-receiving-data>
- [21] What Is Z-Wave? [online]. Daniel Anglin Seitz. [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/what-is-z-wave-4588924>
- [22] 3-cestná vzduchová klapka [online]. Lindab Ventilace. [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/docu/clanky/0236/023678o1.jpg>
- [23] Regulační VAV box [online]. ATREA s.r.o. [cit. 13.05.2022]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/ke-stazeni-divize-vetrani-teplovzdušne-vytapeni-rodinnych-domu-bytu>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Schematická situace objektu

Obrázek 2 – Hranice vytápění budovy, řez

Obrázek 3 – Hranice vytápění budovy, půdorys

Obrázek 4 – Vizualizace objektu

Obrázek 5 – Model objektu v programu SketchUp

Obrázek 6 – Fotovoltaika pro společný majetek a pro jednotlivé byty [16]

Obrázek 7 – Sdílená fotovoltaika "za elektroměrem" a s micro-gridem [16]

Obrázek 8 – Centrální rovnotlaký systém [17]

Obrázek 9 – Decentrální rovnotlaký systém [17]

Obrázek 10 – 3-cestná vzduchová klapka a regulační VAV box [22] [23]

Obrázek 11 – Schémata technických systémů

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Snížení hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie stanovené pro referenční budovu budovy s téměř nulovou spotřebou energie od 1. 1. 2022 [3]

Tabulka 2 – Energeticky pasivní standard dle TNI 730329 a TNI 730330 [8] [9]

Tabulka 3 – Požadované parametry v oblasti B [12]

Tabulka 4 – Inspirativní hodnoty součinitele prostupu tepla U [7] [12]

Tabulka 5 – Varianty materiálového provedení konstrukcí

Tabulka 6 – Přepočet součinitele tepelné vodivosti λ

Tabulka 7 – Výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla U

Tabulka 8 – Energetická potřeba a kvalita obálky

Tabulka 9 – Návrh FV

Tabulka 10 – Měrná neobnovitelná primární energie

Tabulka 11 – Investiční náklady

Tabulka 12 – Investiční náklady

Tabulka 13 – Investiční náklady

Tabulka 14 – Výše dotace

Tabulka 15 – Ceny na vybrané druhy energie

Tabulka 16 – Ekonomické vyhodnocení variant formou TCO pro 15 let

Tabulka 17 – Ekonomické vyhodnocení variant formou TCO pro 15 let

Tabulka 18 – Ekonomické vyhodnocení variant formou TCO pro 15 let

Tabulka 19 – Kriteriaální matice

Tabulka 20 – Kriteriaální matice normalizovaná

Tabulka 21 – Zhodnocení potenciálů technických systémů

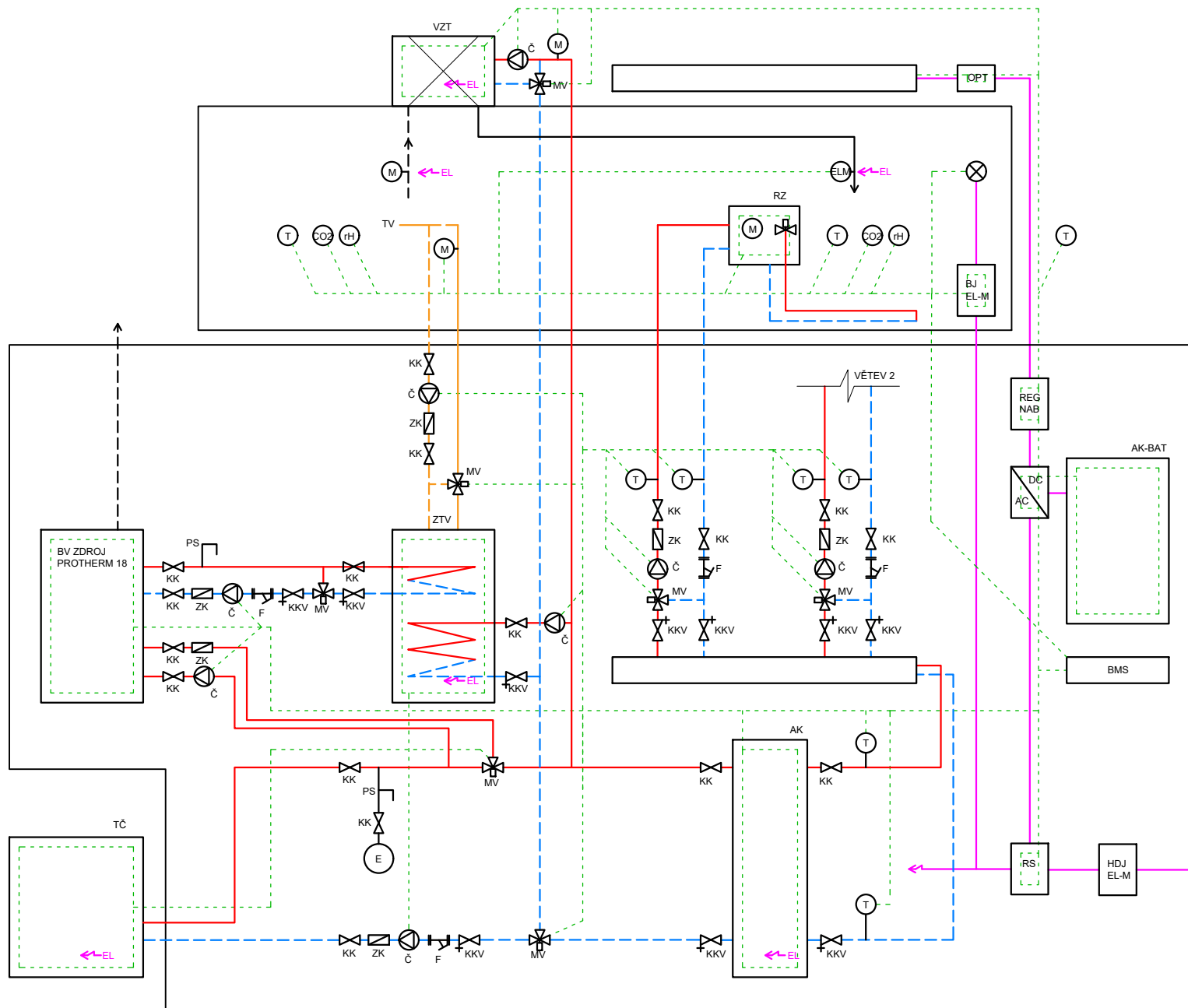


SCHÉMA TČ VZDUCH/ LEGENDA

TČ	TEPELNÉ ČERPADLO STIEBEL ELTRON WPL 47/57
AK	AKUMULÁTOR
ZTV	ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY CORDIVARI VOLANO TERMICO 200
E	CORDIVARI VASO INERZIALE 1000 EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX 50
VZT	REKUPERAČNÍ JEDNOTKA ZEHNDER COMFOAIR 2200

PS	POJISTNÁ SKUPINA
Č	OBĚHOVÉ ČERPADLO
F	FILT
REG	JEDNOTKA ŘS
M	PRŮTOKOMĚR
T	TEPLOMĚR
CO2	SENZOR CO2
rH	SENZOR VLHKOSTI
MV	3-CESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL
KK	KULOVÝ KOHOUT
KKV	KULOVÝ K. S VYP. VENTILEM

AK-BAT	AKUMULÁTOR PRO FVE
ELM	ELEKTROMĚR
HDJ	HLAVNÍ DOMOVNÍ JISTIČ
BJ	BYTOVÝ JISTIČ
RS	ROZVODOVÁ SKŘÍŇ
OPT	OPTIMIZER
AC/DC	HYBRIDNÍ MĚNIČ
REG NAB	REGULÁTOR NABÍJENÍ

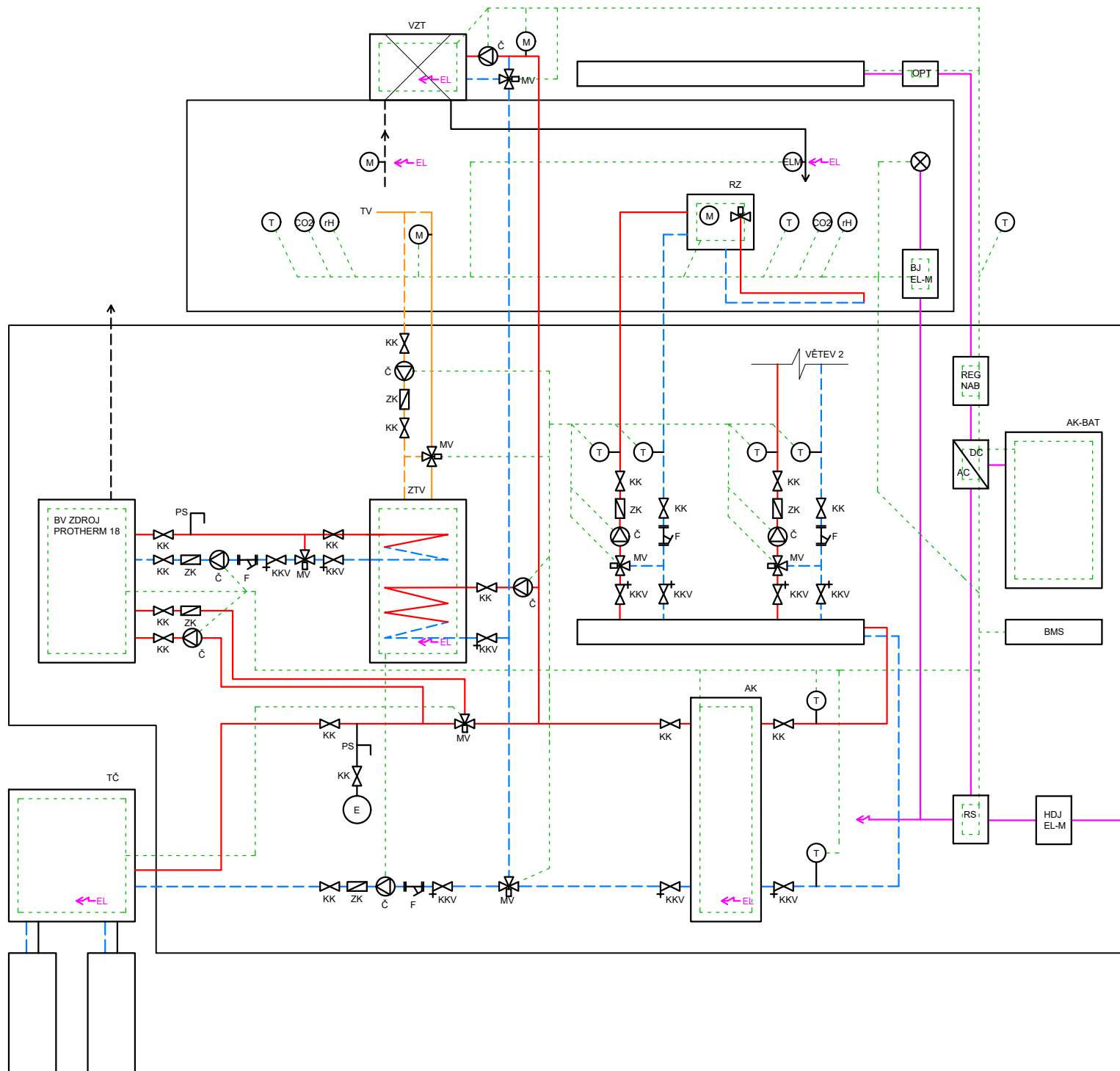


SCHÉMA TČ ZEMĚV LEGENDA

TČ	TEPELNÉ ČERPADLO STIEBEL ELTRON WPF 26/29/32
AK	AKUMULÁTOR CORDIVARI VOLANO TERMICO 200
ZTV	ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY CORDIVARI VASO INERZIALE 1000
E	EXPAZNÍ NÁDOBA REFLEX 50
VZT	REKUPERAČNÍ JEDNOTKA ZEHNDER COMFOAIR 2200

PS	POJISTNÁ SKUPINA
Č	OBĚHOVÉ ČERPADLO
F	FILT
REG	JEDNOTKA ŘS
M	PRŮTOKOMĚR
T	TEPLOMĚR
CO2	SENZOR CO2
rH	SENZOR VLHKOSTI
MV	3-CESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL
KK	KULOVÝ KOHOUT
KKV	KULOVÝ K. S VYP. VENTILEM

AK-BAT	AKUMULÁTOR PRO FVE
ELM	ELEKTROMĚR
HDJ	HLAVNÍ DOMOVNÍ JISTIČ
BJ	BYTOVÝ JISTIČ
RS	ROZVODOVÁ SKŘÍŇ
OPT	OPTIMIZER
AC/DC	HYBRIDNÍ MĚNIČ
REG NAB	REGULÁTOR NABÍJENÍ

SCHÉMA KOTEL /PELETY LEGENDA

K	KOTEL NA PELETY ATMOS D 30/50
AK	AKUMULÁTOR CORDIVARI VOLANO TERMICO 200
ZTV	ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY CORDIVARI VASO INERZIALE 1000
E	EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX 50
VZT	REKUPERAČNÍ JEDNOTKA ZEHNDER COMFOAIR 2200

PS	POJISTNÁ SKUPINA
Č	OBĚHOVÉ ČERPADLO
F	FILT
REG	JEDNOTKA ŘS
M	PRŮTOKOMĚR
T	TEPLOMĚR
CO2	SENZOR CO2
rH	SENZOR VLHKOSTI
MV	3-CESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL
KK	KULOVÝ KOHOUT
KKV	KULOVÝ K. S VYP. VENTILEM

AK-BAT	AKUMULÁTOR PRO FVE
ELM	ELEKTROMĚR
HDJ	HLAVNÍ DOMOVNÍ JISTIČ
BJ	BYTOVÝ JISTIČ
RS	ROZVODOVÁ SKŘÍŇ
OPT	OPTIMIZER
AC/DC	HYBRIDNÍ MĚNIČ
REG NAB	REGULÁTOR NABÍJENÍ

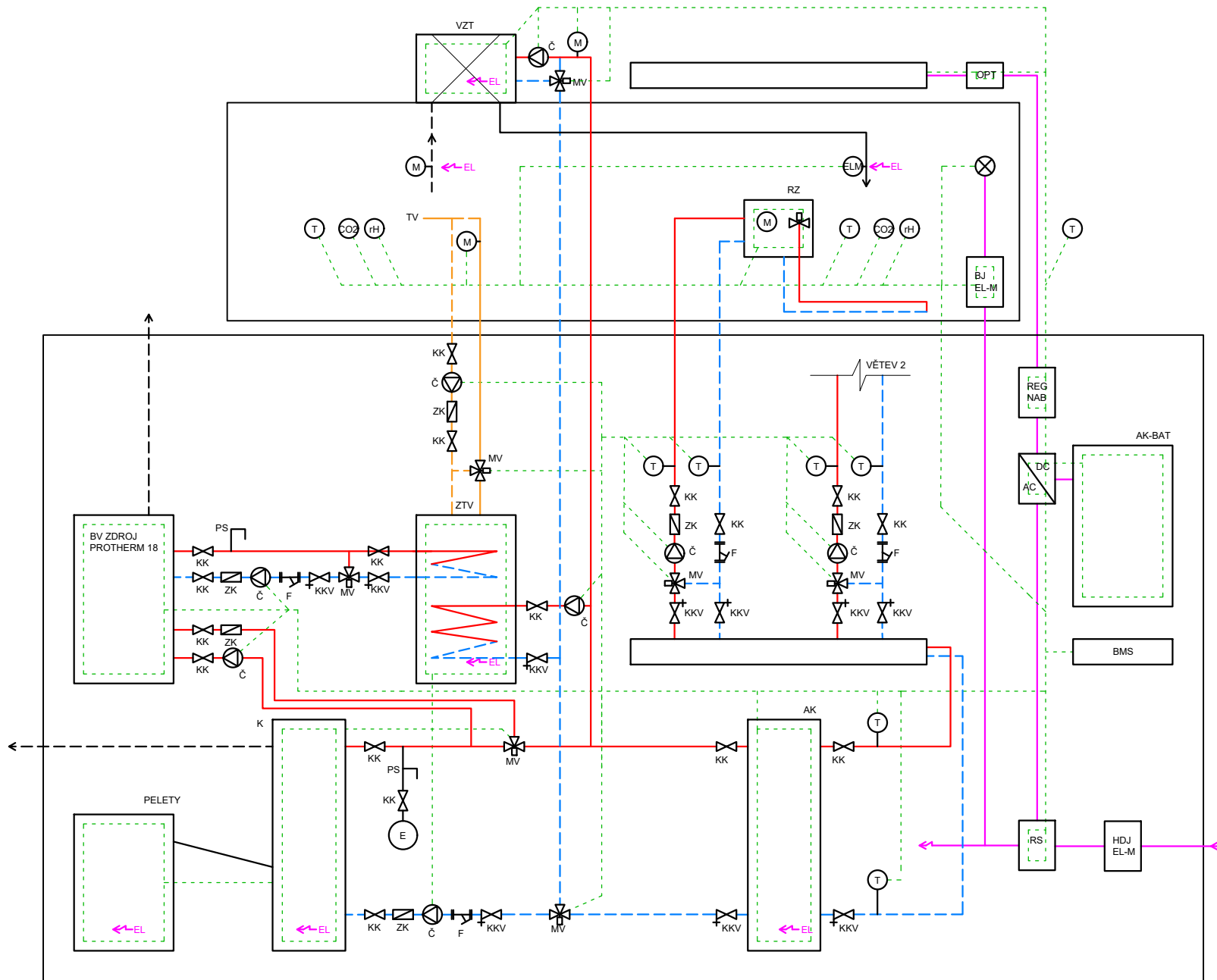


SCHÉMA KOTEL / PLYN LEGENDA

K	PLYNOVÝ KOTEL PROTHERM CONDENS 35/48
AK	AKUMULÁTOR CORDIVARI VOLANO TERMICO 200
ZTV	ZÁSOBNÍK TEPLÉ VODY CORDIVARI VASO INERZIALE 1000
E	EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX 50
VZT	REKUPERAČNÍ JEDNOTKA ZEHNDER COMFOAIR 2200

PS	POJISTNÁ SKUPINA
Č	OBĚHOVÉ ČERPADLO
F	FILT
REG	JEDNOTKA ŘS
M	PRŮTOKOMĚR
T	TEPLOMĚR
CO2	SENZOR CO2
rH	SENZOR VLHKOSTI
MV	3-CESTNÝ SMĚŠOVACÍ VENTIL
KK	KULOVÝ KOHOUT
KKV	KULOVÝ K. S VYP. VENTILEM

AK-BAT	AKUMULÁTOR PRO FVE
ELM	ELEKTROMĚR
HDJ	HLAVNÍ DOMOVNÍ JISTIČ
BJ	BYTOVÝ JISTIČ
RS	ROZVODOVÁ SKŘIŇ
OPT	OPTIMIZER
AC/DC	HYBRIDNÍ MĚNIČ
REG NAB	REGULÁTOR NABÍJENÍ

