



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Elektrotechnická fakulta

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Obchodní model pro stejnosměrný ostrov v bytovém družstvu

Business model for direct current off grid in Cooperative Flat House

diplovová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Jan Čech

Praha 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čech** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **420348**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Stejnoseměrný ostrov v bytovém domě

Název diplomové práce anglicky:

DC island in department house

Pokyny pro vypracování:

Popis dosavadního stavu elektrorozvodu v domě
Požadavky na silnoproudý rozvod do budoucna
Varianty rekonstrukce (jedna stejnosměrná)
Ekonomické posouzení variant

Seznam doporučené literatury:

Vítek M.: Ekonomika dopravních energetických systémů. Skriptum ČVUT FEL, 2008, 2. vyd. ISBN 9788001041819.
Fencel F.: Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Skriptum ČVUT FEL, 2006, 3. vyd. ISBN 9788001041819.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Miroslav Vítek, C.Sc., 13116

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

Datum zadání diplomové práce: **13.01.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.05.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Miroslav Vítek, C.Sc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval za poskytnuté podklady, materiály a konzultace vedoucímu své diplomové práce Ing. Miroslavovi Vítkovi, CSc. Dále bych rád poděkoval svému blízkému okolí a kolegům, kteří mi poskytli potřebnou podporu pro tvorbu práce.

Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Podpis autora práce

Abstract

A subject of this thesis is to improve present electrical wiring of common areas of a housing association. The basic idea is to connect five common areas into a single consumption unit and to reconstruct the electrical wiring in two possible variants, where the first one is a wiring technically similar to the existing one, AC technology and the second variant is a DC grid. Both variants contain an photovoltaic power plant and battery backup system. All options (including current situation) were economically evaluated and compared using financial instruments such as net present value, internal rate of return, etc. In the second part the investments of both variants was analyzed and evaluated. The goal was to find out whether the DC variant is more affordable than the AC one or current situation.

Key words

DC off grid, photovoltaic power plant, prefabricated block of flats, housing association

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je zdokonalení současné elektroinstalace společných prostor bytového družstva. Základním předpokladem by bylo zapojení pěti společných prostor na jedno fakturační odběrné místo a rekonstrukce elektrických rozvodů ve dvou variantách, které by byly rozvody technicky podobné stávajícím, tj. technologie střídavého proudu, nebo nová varianta proudu stejnosměrného. V obou investičních variantách se počítá s instalací střešní fotovoltaické elektrárny a bateriovým systémem zálohy. Všechny tři varianty (včetně současného stavu) byly ekonomicky zhodnoceny a porovnány za pomoci finančních nástrojů jako jsou čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento a dalších ukazatelů. Ve druhé části byly citlivostní analýzou porovnány změny NPV a IRR při měnících se vstupních parametrech. Smyslem bylo zjistit, zda je varianta stejnosměrného proudu ekonomický výhodnější oproti variantě střídavé, ale i současnému stavu.

Klíčová slova

stejnosměrný ostrovní systém, fotovoltaická elektrárna, panelový dům, bytové družstvo

Obsah

1. Úvod	1
1.1. Motivace projektu a historie	1
1.2. Přehled práce	1
2. Popis současného stavu v BD a norem zabývajících se elektroinstalací.....	3
2.1. Popis současného stavu BD.....	3
2.1.1. Lokace	3
2.1.2. Popis současného stavu objektu a spotřebičů společných prostor	5
2.1.3. Seznam aktivních prvků kotelny a jejich popis	7
2.1.4. Popis výtahů KONE.....	8
2.2. Popis spotřeby elektrické energie dle TDD	8
2.2.1. Měření denního průběhu spotřeb elektřiny 23. 2. 2020 (víkend)	9
2.2.2. Měření denního průběhu spotřeb elektřiny 12. 3. 2020 (pracovní den)	13
2.2.3. Spotřebiče s největším odběrem energie	16
2.3. Elektrotechnické normy a předpisy elektrických zařízení.....	18
2.3.1. Význam norem.....	18
2.3.2. Účel norem	18
2.3.3. Rozdělení norem.....	18
2.3.4. Základní požadavky na elektrická zařízení.....	19
2.3.5. Základní ustanovení pro elektrická zařízení	19
2.3.6. Rozdělení a pojmy elektrických zařízení ČSN 33 0010	19
2.3.8. Evropské provedení střídavých sítí TN-C, TN-S, TN-C-S	21
Sítě TN – neboli sítě s uzemněným středním vodičem	21
a) sítě TN-C	22
b) sítě TN-C-S	23

c) síť TN-S	24
Síť IT	26
2.4. Současný trend v elektrifikační soustavě	28
2.4.1. Výhody DC systému	28
2.4.2. DC Nevýhody	29
2.4.3. AC výhody	30
2.4.4. AC Nevýhody	30
2.4.5. Role výkonové elektroniky v rozvodných sítí	30
2.4.6. Účinnost měničů a ztráty/úspory	32
2.4.7. Ztráty ve vedení	34
2.5. Legislativní podmínky výroby a prodeje elektřiny	35
1.5.1. Energetický zákon	35
3. Vypracování variant	37
3.1. Současný stav – varianta 0	37
3.1.1. Současné náklady na elektřinu	39
3.2. Rekonstrukce rozvodu Elektřiny	39
3.2.1. Získání licence	39
3.2.2. Centralizace rozvodů elektřiny	40
3.3. Schéma instalace varianty 1	42
3.4. Schéma instalace varianty 2	44
3.5. FVE a bateriový akumulátor	47
3.5.1. Dimenzování FVE	47
3.5.2. Simulace podle PVGIS	48
A. Výkon 5 kWp	48
B. Výkon 10 kWp	50
3.5.3. Kapacita a výběr baterií	51

3.5.4.	Výběr panelů	52
3.5.5.	Investice FVE AC.....	53
3.5.6.	Investice FVE DC	54
4.	Vyhodnocení variant z hlediska projektu	56
4.1.	Vstupní faktory ovlivňující projekt.....	56
4.1.1.	Životnost.....	56
4.1.2.	Diskontní míra	56
4.1.3.	Inflace.....	56
4.1.4.	Vývoj cen silové elektřiny	57
4.2.	Hodnotící kritéria efektivnosti projektu	57
4.2.1.	Prostá doba návratnosti	57
4.2.2.	Reálná doba návratnosti	57
4.2.3.	Porovnání dle TCO	58
4.2.4.	Porovnání dle čisté současné hodnoty – NPV	58
4.2.5.	Porovnání dle IRR.....	58
4.2.6.	Porovnání dle RCF.....	58
4.3.	Hodnocení variant	59
4.3.1.	Hodnocení varianty 0	59
4.3.2.	Hodnocení varianty 1	60
4.3.3.	Hodnocení varianty 2	60
4.4.	Citlivostní analýza.....	60
4.4.1.	Diskont	60
4.4.2.	Cena silové elektřiny	62
4.4.3.	Změny/vícenákklady investice	64
4.4.4.	Výše úspor nákladů v DC síti.....	66
4.5.	SWOT analýza.....	68

4.5.1.	SWOT analýza nulová varianta (současný stav).....	68
4.5.2.	SWOT analýza varianta 1 – AC.....	69
4.5.3.	SWOT analýza varianta 2 – DC.....	69
4.6.	Vyhodnocení a doporučení varianty.....	70
5.	Závěr.....	72
6.	Zdroje	74
7.	Přílohy	77
A.	Spotřeby elektřiny z faktur za poslední 3 roky.....	77
B.	Spotřeby, Výpočty investice.....	81
C.	Citlivostní analýza.....	81
D.	Datasheet měniče Sako	85
E.	Datasheet měniče Sunpal	85
F.	Výpočty citlivostní analýzy.....	85
G.	Výpočty PVGIS.....	85

Seznam grafů

Graf 1: Naměřené hodinové spotřeby všech elektroměrů (neděle 23.2.2020)	9
Graf 2: Naměřené hodinové spotřeby kotelny (neděle 23.2.2020)	9
Graf 3: Naměřené hodinové spotřeby společných prostor bez kotelny (neděle 23.2.2020)	10
Graf 4: Naměřené hodinové spotřeby fakturačních OM (neděle 23.2.2020)	11
Graf 5: Celková spotřeba společných prostor bytového družstva (neděle 23.2.2020)	12
Graf 6: Celková spotřeba společných prostor bytového družstva bez kotelny (neděle 23.2.2020)	12
Graf 7: Naměřené hodinové spotřeby všech elektroměrů (čtvrtek 12.3.2020)	13
Graf 8: Naměřené hodinové spotřeby kotelny (čtvrtek 12.3.2020)	14
Graf 9: Naměřené hodinové spotřeby společných prostor bez kotelny (čtvrtek 12.3.2020)	14
Graf 10: Průměrné hodinové spotřeby společných prostor bytového družstva (čtvrtek 12.3.2020)	15
Graf 11: Průměrné hodinové spotřeby společných prostor bytového družstva bez kotelny (čtvrtek 12.3.2020)	15
Graf 14: Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce pro dva úhly naklopení pro výkon 5kWp	50
Graf 15: Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce pro dva úhly naklopení pro výkon 10 kWp	51
Graf 16: Citlivostní analýza – Závislost NPV na diskontu	61
Graf 17: Citlivostní analýza – Závislost IRR na diskontu	62
Graf 18: Citlivostní analýza – Závislost NPV na růstu/poklesu cen silové elektřiny	63
Graf 19: Citlivostní analýza – Závislost IRR na růstu/poklesu cen silové elektřiny	64
Graf 20: Citlivostní analýza – Závislost NPV na změně počáteční investice	65
Graf 21: Citlivostní analýza – Závislost IRR na změně počáteční investice	66
Graf 22: Citlivostní analýza – Závislost NPV na výši úspor v síti DC	67
Graf 23: Citlivostní analýza – Závislost IRR na výši úspor v síti DC	68

Seznam obrázků

Obrázek 1: Snímek objektu z letecké perspektivy (zdroj google.com/maps) ¹⁴	4
Obrázek 2: Snímek objektu z čelní strany (zdroj Ing. Miroslav Víttek)	5
Obrázek 3: Schéma zapojení sítě TN-C. U spotřebiče jde vodič PEN na ochrannou svorku a potom k pracovní svorce středního vodiče (AC; 3 PEN; ~50 Hz; 400 V /TN-C).....	22
Obrázek 4: Schematický obrázek sítě TN-C-S. Za místem oddělení vodiče PEN na vodiče PE a N se již tyto nesmí spojit	23
Obrázek 5: Praktický obrázek provedení sítě TN-C-S. Za místem oddělení vodiče PEN na vodiče PE a N se již tyto nesmí spojit (v elektroinstalaci může být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE)	24
Obrázek 6: Schematický obrázek sítě TN-S (v elektroinstalaci by mělo být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE)	25
Obrázek 7: Schematický obrázek sítě TN-S bez vyvedeného nulového vodiče (v elektroinstalaci by mělo být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE).....	25
Obrázek 8: Schematický obrázek sítě TN-S s odděleným uzemněným <i>vodičem a ochranným vodičem (v elektroinstalaci by mělo být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE)</i>	26
Obrázek 9: Síť IT s neživými částmi uzemněnými buď společně, nebo individuálně.....	27
Obrázek 10: Síť IT s umělým nulovým bodem a neživými částmi uzemněnými buď společně (neživé části jsou připojeny k uzemněnému ochrannému vodiči), nebo individuálně.....	27
Obrázek 11: Integrace obnovitelných zdrojů do sítě za pomoci výkonové elektroniky ²⁴	31
Obrázek 12: Běžná LVDC síť ²⁴	32
Obrázek 13: Schéma zapojení varianty 0, upraveno ze zdroje: www.solarniexperti.cz	37
Obrázek 14: Schéma současného napájení domu od distributora	38
Obrázek 15: Schéma návrhu nových rozvodů po jejich centralizaci.....	41
Obrázek 16: Schéma zapojení varianty 1 s FVE	43
Obrázek 17: Schéma zapojení varianty 2 ⁸	46
Obrázek 18: Střešní prostor na instalaci FV panelů ¹¹	48

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry odběrného místa	5
Tabulka 2: Hlavní spotřeby odběrných míst.....	6
Tabulka 3: Seznam prvků kotelny	7
Tabulka 4: Porovnání průměrů z měření ²²	16
Tabulka 5: Podíl na spotřebě významných spotřebičů	17
Tabulka 6: Podíl na spotřebě jednotlivých OM	17
Tabulka 7: Rozdělení podle velikosti napětí ³	20
Tabulka 8: Rozdělení podle kmitočtu proudu ³	21
Tabulka 9: Účinnost měničů pro LVDC ²⁴	33
Tabulka 10: Vygenerovaná tabulka webovým programem PVGIS pro 5 kWp	49
Tabulka 11: Vygenerovaná tabulka webovým programem PVGIS pro 10 kWp	50
Tabulka 12: Investiční náklady na instalaci FVE varianty 1 – AC.....	53
Tabulka 13: Ostatní náklady FVE varianty 1 – AC	54
Tabulka 14: Investiční náklady na instalaci FVE varianty 2 – DC	54
Tabulka 15: Ostatní náklady FVE varianty 2– DC.....	55
Tabulka 16: Srovnání ekonomického hodnocení variant projektu	59
Tabulka 17: Citlivostní analýza NPV a IRR závislá na diskontu	60
Tabulka 18: Citlivostní analýza NPV a IRR závislá na změně růstu/poklesu cen elektřiny	63
Tabulka 19: Citlivostní analýza NPV a IRR závislá na počáteční investici	65
Tabulka 20: Citlivostní analýza NPV a IRR závislá na úsporách v DC.....	67
Tabulka 21: SWOT analýza pro nulovou variantu	68
Tabulka 22: SWOT analýza pro variantu 1	69
Tabulka 23: SWOT analýza pro variantu 2	69

Seznam zkratk

OZE – Obnovitelné zdroje energie

FVE – Fotovoltaická elektrárna

AC – Alternating current, střídavý proud

DC – Direct current, stejnosměrný proud

LED – Light emitting diode, svítivá dioda

ČSN – Česká technická norma

BD – Bytové družstvo

OM – Odběrné místo

TDD – Typové diagramy dodávek

PWM – Pulse width modulation, pulzně šířková modulace

MPPT – Maximum power point tracking, sledovač bodu maximálního výkonu

DPH – Daň z přidané hodnoty

PVGIS – Photovoltaic geographical information system

UPS – Uninterruptible Power Supply, zdroje nepřetržitého napájení

TCO – Total Cost Of Ownership, celkové náklady na vlastnictví

NPV – Net present value, čistá současná hodnota

SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats; silné stránky, slabé stránky, příležitosti, hrozby

VT – Vysoký tarif

NT – Nízký tarif

TN – Terra neutral, uzemněný střední vodič

RCF – Roční ekvivalentní hotovostní tok

Seznam příloh

- A. Spotřeby elektřiny z faktur za poslední 3 roky
- B. Spotřeby elektřiny z měření
- C. Citlivostní analýza
- D. Datasheet baterie Avacom
- E. Datasheet fotovoltaického panelu Q-cell
- F. Datasheet měniče Sako
- G. Datasheet měniče Sunpal

H. Výpočty

1. Úvod

1.1. Motivace projektu a historie

V minulosti se odehrával souboj mezi stejnosměrným a střídavým proudem. Názor, že střídavý proud je lepší pro přenos prosazoval ve světě Nikola Tesla. U nás tento názor zastával Emil Kolben. Na druhé straně táboru, který podporoval stejnosměrný proud, stál americký vynálezce Thomas Edison, a v Čechách pak známý František Křižík. N. Tesla chápal, že střídavý proud je efektivnější způsob, jak pohánět velké motory a bylo ho jednodušší transformovat na jiné napěťové hladiny. Na druhou stranu právě stejnosměrné napěťové hladiny bylo těžké transformovat. Tento fakt stěžoval nejenom dopravu, ale i vedení, které muselo být poměrně tlusté a překáželo v ulicích. Tehdy vyhrál střídavý proud a díky tomu i centralizace nad decentralizací. V dnešní době se tento trend pomalu obrací. Díky podpoře OZE se zdroje elektřiny znovu začínají decentralizovat. Díky technologickému vývoji jsme postupně zdokonalili výkonovou elektroniku, jako jsou elektronické střídače/měniče nebo spínané zdroje, natolik, že stejnosměrné napájení je přítomno v mnoha dnešních přístrojích našich domácností. To napomáhá rozšíření stejnosměrných obvodů, stejně jako kompatibilita stejnosměrných ostrovů s fotovoltaickými elektrárnami.

1.2. Přehled práce

Ve své studii jsem se zabýval rekonstrukcí silového rozvodu elektřiny ve společných prostorách bytového domu, který je ve vlastnictví bytového družstva. Rekonstrukci navrhuji ve dvou variantách. První varianta znamená zachování střídavého proudu ve všech společných prostorách bytového domu. Druhá varianta počítá se stejnosměrným napájením společných prostor domu zahrnujících plynovou kotelnu, osvětlení schodišť, výtahy a ventilaci, ze střešní FVE se zálohami v bateriích.

Z počátku jsem se zaměřil na technické parametry domu, respektive společných prostor v pěti domech družstva i s kotelnou. Společné prostory a spotřebiče zahrnují chodby s LED osvětlením, výtahy, osvětlené průchody, střešní ventilátory bytových jader a v neposlední řadě plynovou kotelnu s kotly a oběhovými čerpadly. V kotelně bylo potřeba zjistit, která čerpadla nemohou být napájena stejnosměrným proudem, protože ta by byla nahrazena novějšími modely s frekvenčními měniči nebo by byla doplněna střídači.

Ve druhé části jsem se zabýval instalací FVE na střeše budov. Ta byla dimenzována na instalovaný výkon 10 kWp. Ukládání nevyužité elektřiny a ostrovní záloha by byla zajištěna baterií akumulátorů o

celkové kapacitě 54x20 Ah (celkem 1080 Ah), které by poskytly dostatek elektřiny na více než hodinové pokrytí spotřeb osvětlení, výtahů, zálohy dat, elektronických zámků a oběhových čerpadel plynové kotelny v případě výpadku elektřiny. Výhodou dostatečně dimenzovaných akumulátorů by byla i možnost nočního dobíjení z nízkého tarifu. Zde se také naskytuje možnost přechodu z tarifu D25 na D26. Nabité akumulátory by se pak použily na spotřebu v ranní špičce. Další možností, jak snížit spotřebu společných prostor je rekuperace brzděné energie z výtahů KONE. Jejich technik potvrdil kompatibilitu za použití rekuperačního modulu. Elektřina by se poté ukládala do baterií.

V další části jsem se zabýval ekonomickým porovnáním obou variant: AC vs DC. Investice byly podrobeny citlivostním analýzám vstupů, jako například cena silové složky elektrické energie, diskont, vícenáklady počáteční investice a úspory v DC síti. Výsledkem bylo porovnání NPV a IRR obou variant v kontrastu s nultou variantou.

2. Popis současného stavu v BD a norem zabývajících se elektroinstalací

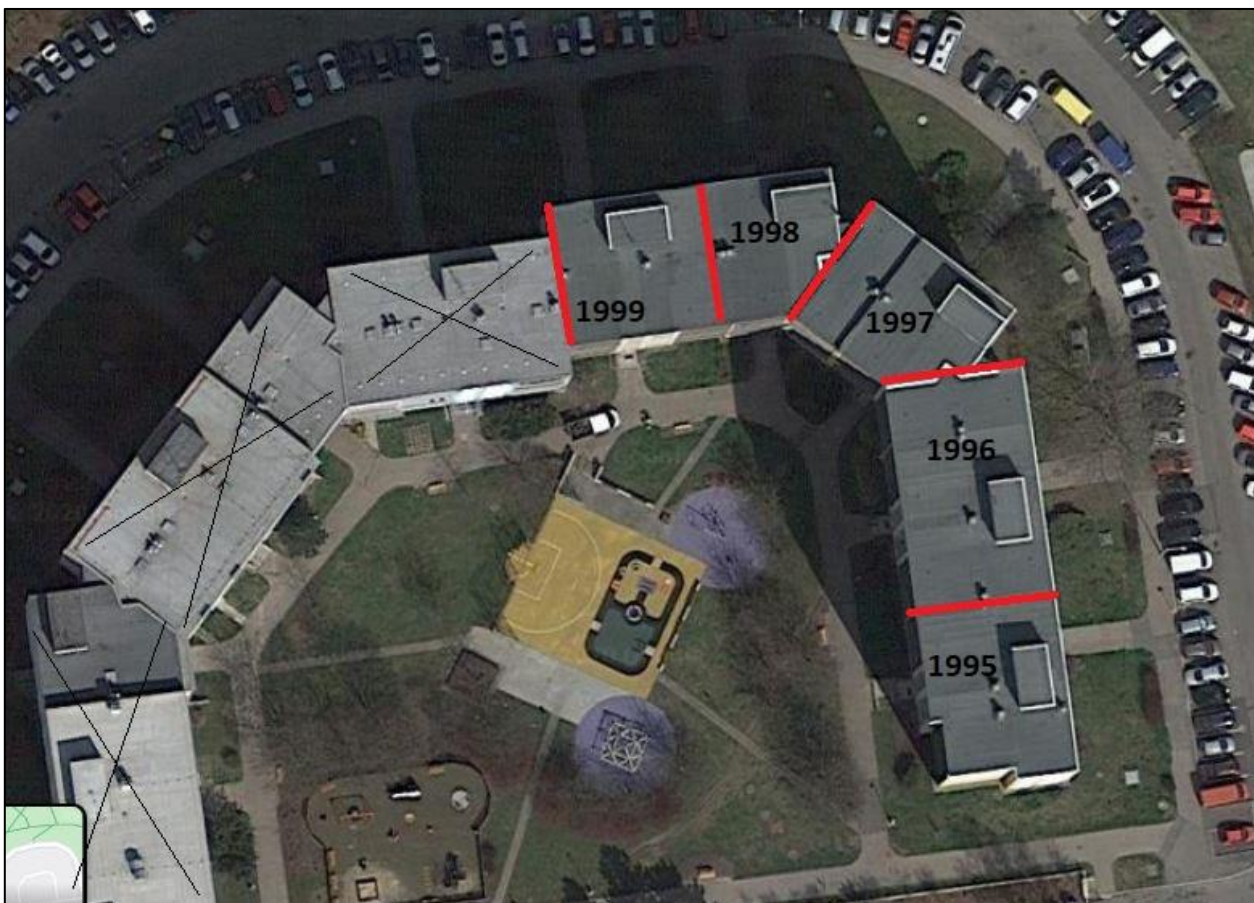
2.1. Popis současného stavu BD

Nejdříve je důležité popsat současný stav bytového domu, zejména elektroinstalaci společných prostor. Jedním z hlavních nedostatků domu je neexistující záložní systém pro kotelnu. Současné baterie jsou určeny pouze pro provoz systému elektronických zámků a kamerového systému.

Dále je patrný nadbytek odběrných míst (dále jen OM) pro společné prostory družstva, pro jednotlivé vchody a kotelnu. Počet OM je v současné době šest, dříve jich bylo dokonce jedenáct. Bytové družstvo se skládá z pěti domů (vchodů), a tudíž z pěti elektroměrů s přípojkami plus OM společné plynové kotelny. Optimálním stavem by bylo spojení všech současných OM pod jedno odběrné místo. Ušetřila by se tím fakturace pěti odběrných míst a stálé platby spojené s těmito odběrnými místy, s tím, že by byly instalovány informativní elektroměry na rozlišení spotřeb jednotlivých vchodů. Dále měření ukázalo, že by se dalo ušetřit i snížením celkového rezervovaného příkonu (jistič společného OM by byl nižší než součet dosavadních jističů díky koeficientu soudobosti, který je menší než 1)

2.1.1. Lokace

Bytové družstvo, sídlí na adrese „Zázvorkova 1996/28“, v Praze 13, Lužiny – Jihozápadní město. Ve vlastnictví družstva je pět objektů. Obrázek 1 a 2, poskytují vizuální představu o umístění budovy z roku 1989 v krajině. Z obrázku 1 je patrné, že je budova vystavěna do tvaru písmene „L“. Bytový dům byl původně postaven jako rondel (v systému VVÚ ETA) na sebe navazujících sekcí, které se sdružily (či rozdělily) po privatizaci bytového fondu MČ Pha 13 v roce 2007 do několika technologických celků v závislosti na výměnících tepla zajišťujících vytápění a ohřev teplé vody. Dvě krajní sekce, se poté spojily v jeden organizační a technologický celek, bytového družstva Zázvorkova 1995–1999. To se stalo prodejem obou částí se společným vytápěním a ohřevem teplé vody původně z výměníku CZT a po roce 2012 plynové kotelny umístěné ve vchodu 1998. Bytové družstvo má výhodu, že je nedaleko od elektrické distribuční trafostanici, i od nově vybudovaného úseku nízkotlakého plynovodu (2012), vedeného potrubím DN 100 do kotelny. Je důležité poznamenat, že bytové družstvo bude v projektu vystupovat jako právnická osoba a se všemi náležitostmi, které ji definují.²⁹



Obrázek 1: Snímek objektu z letecké perspektivy (zdroj google.com/maps) ¹⁴



Obrázek 2: Snímek objektu z čelní strany (zdroj Ing. Miroslav Vítek)

2.1.2. Popis současného stavu objektu a spotřebičů společných prostor

Mezi společné prostory domu patří kotelna, pět výtahů a schodišť a společné chodby. Většina spotřebičů jako jsou světla, oběhová čerpadla a ventilátory jsou jednofázové. Jediné třífázové spotřebiče jsou motory výtahů firmy KONE a dvě topná tělesa bojlerů, každé s příkonem 12 kW. Tabulka 1, níže, udává základní parametry odběrného místa. Tabulka 2, níže, je seznamem spotřebičů společných prostor, velikostí jističů (respektive rezervovaný příkon)

Tabulka 1: Parametry odběrného místa

Jistič	3x25 A (kotelna 3x50 A)
Dodavatel od roku 2018	E.ON (kotelna Energie ČS)
Současná distribuční sazba	E.ON D02d (kotelna Energie ČS D25D)
Adresa bytového domu	Zázvorkova 1995/30 Praha 13 Stodůlky

Tabulka 2: Hlavní spotřeby odběrných míst

OM	Počet spotřebičů	Spotřebič	Příkon	Napětí	Jistič (A)	Tarif
Vchod 1995	1x	Výtah KONE 1	5,7 kW	400 V	3x25	E.ON D02d
	40x	Světlo LED kulaté	10 W	230 V		
	2x	Světlo LED čtverec	14 W			
	4x	Světlo liniové LED	36 W			
	4x	Ventilátor	412 W			
Vchod 1996	1x	Výtah KONE 2	5,7 kW	400 V	3x25	E.ON D02d
	40x	Světlo LED kulaté	10 W	230 V		
	2x	Světlo LED čtverec	14 W			
	8x	Světlo liniové LED	36 W			
	3x	Ventilátor	412 W			
	3x	Světlo LED kancelář	36 W			
	2x	Wifi router	7 W			
	2x	Záznam kamer	90 W			
Vchod 1997	1x	Výtah KONE 3	5,7 kW	400 V	3x25	E.ON D02d
	40x	Světlo LED kulaté	10 W	230 V		
	2x	Světlo LED čtverec	14 W			
	5x	Světlo liniové LED	36 W			
	2x	Ventilátor	412 W			
Vchod 1998	1x	Výtah KONE 4	5,7 kW	400 V	3x25	E.ON D02d
	40x	Světlo LED kulaté	10 W	230 V		
	2x	Světlo LED čtverec	14 W			
	8x	Světlo liniové LED	36 W			
	2x	Ventilátor	412 W			
Vchod 1999	1x	Výtah KONE 5	5,7 kW	400 V	3x25	E.ON D02d
	40x	Světlo LED kulaté	10 W	230 V		
	2x	Světlo LED čtverec	14 W			
	3x	Světlo liniové LED	36 W			
	3x	Ventilátor	412 W			
Kotelna	-	Světla trubcová	2x49 W	230 V	3x50	Energie ČS D25d
	4x	Čerpadla oběhová	450-769 W	230 V		
	4x	Kotlová čerpadla		230 V		

	4x	Komínové ventilátory kotlů Viessmann		230 V		
	2x	Topné těleso do bojleru	12 kW	400 V		
	5x	Trubicová světla	72 W	230 V		

2.1.3. Seznam aktivních prvků kotelny a jejich popis

Tabulka 3: Seznam prvků kotelny

Venkovní ventil ABO 2 kPa	
Plynoměr-BK-G-40 M	
Bezpečnostní jednotka	
Rozvaděč	
Hlavní vypínač	
Kotel 1-4	
Expanzomat	
Osvětlení	
Zásuvky	
Napájení rezervního boileru 2x12 kW	
GSM	
Kotel	
Čerpadlo Viessmann	
I (A)	P (W)
1.3	280
1.5	340
1.52	345
Čerpadlo Grunfos holding Magna3 65-120F, 769 W, s frek. měničem	
Čerpadlo Grunfos UPC model C, 390 W, bez frek. měniče	
Čerpadlo Grunfos Magna model F, 450 W, s frek. měničem	
Ohříváče boileru pro výpadek plynu 3/N/PE- 400V, 2x12 kW	
Střešní ventilátor J.E. Stock Air zwolle, 412 W, 230 V s frekvenčním měničem pro regulaci otáček	

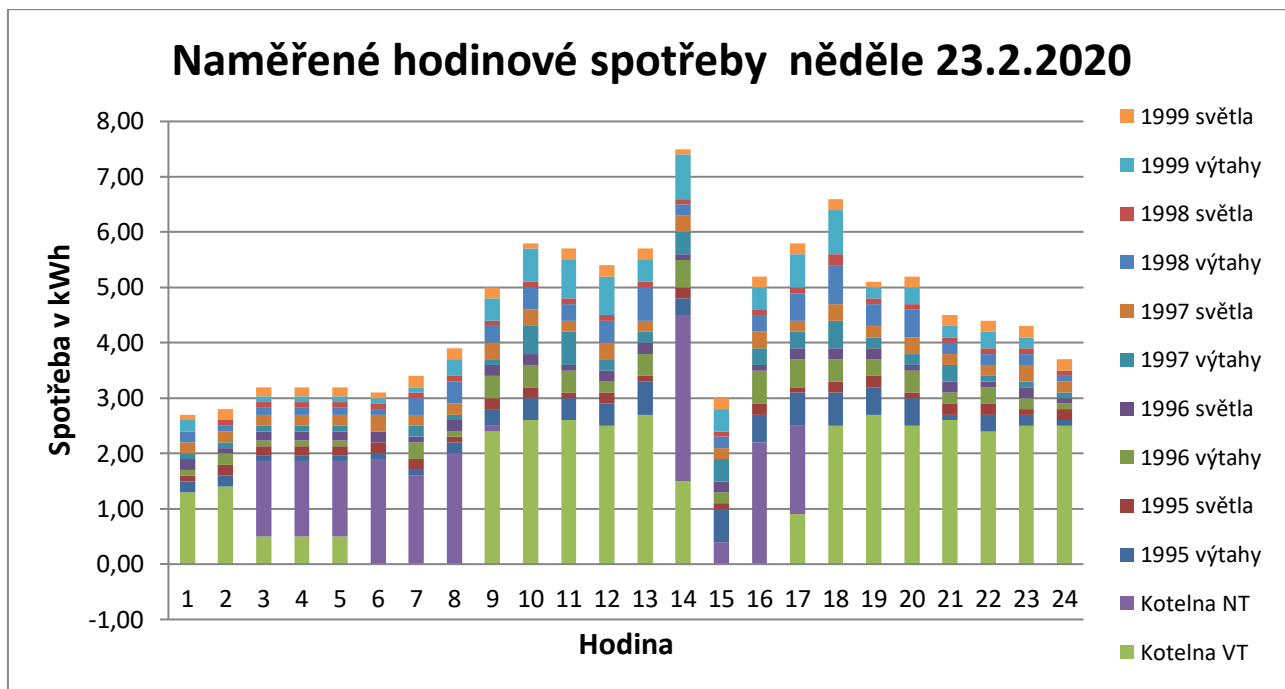
2.1.4. Popis výtahů KONE

V budově se nachází pět výtahů, každý o nosné kapacitě 1000 kg (13 osob). Pohon výtahů je elektrický lanový s frekvenční regulací výtahového zdroje. Výtahy jsou připojené na třífázové napětí a jmenovitý výkon je 5,7 kW. K těmto modelům výtahu je možnost dokoupit rekuperační jednotku, která by transformovala brzdou energii na elektrickou. Podle výrobce by se tím dosáhlo úspor mezi 12-13% spotřeby elektřiny. Pro tuto možnost bude nutné instalovat nový 6 - pulzní usměrňovač. ¹²

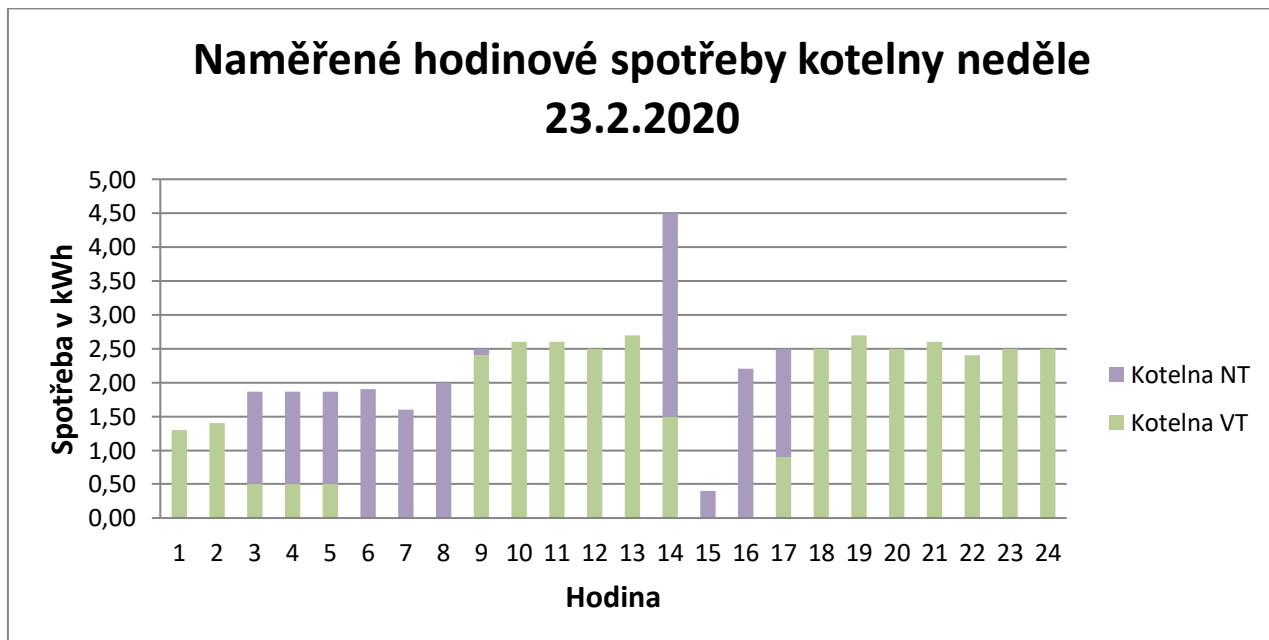
2.2. Popis spotřeby elektrické energie dle TDD

Když počítáme s denními/ročními spotřebami je důležité nejprve porovnat naměřená data s daty dle TDD. Pokud by jejich korelace byla silná, můžeme pro zjednodušení uvažovat pouze grafy dle TDD v budoucích výpočtech. Ovšem v našem případě tomu tak není. Pro bytové jednotky bychom mohli uvažovat korelaci spotřeby s TDD4, ale pro společné prostory domu nikoli. Společné prostory, které obsahují kotelnu, LED osvětlení chodem a výtahy, jsou velice specifické svým diagramem zatížení a není možné je srovnávat se standardními spotřebami domácností charakterizovaných TDD na webových stránkách OTE. Z toho důvodu se ve výpočtech opírám o dvojí měření, která proběhla v neděli 23. 2. 2020 a ve čtvrtek 12. 3. 2020. Svoje naměřená data jsem porovnal s daty naměřené kolegy z ČVUT v roce 2013, kteří měřili denní průběhy spotřeb pro svoje bakalářské práce. Díky naměřeným průběhům ve všední i víkendový den a celkové roční spotřebě, odečtené z faktur za elektřinu, jsem mohl sestavit průměrný model spotřeby. ¹⁷

2.2.1. Měření denního průběhu spotřeb elektriny 23. 2. 2020 (víkend)

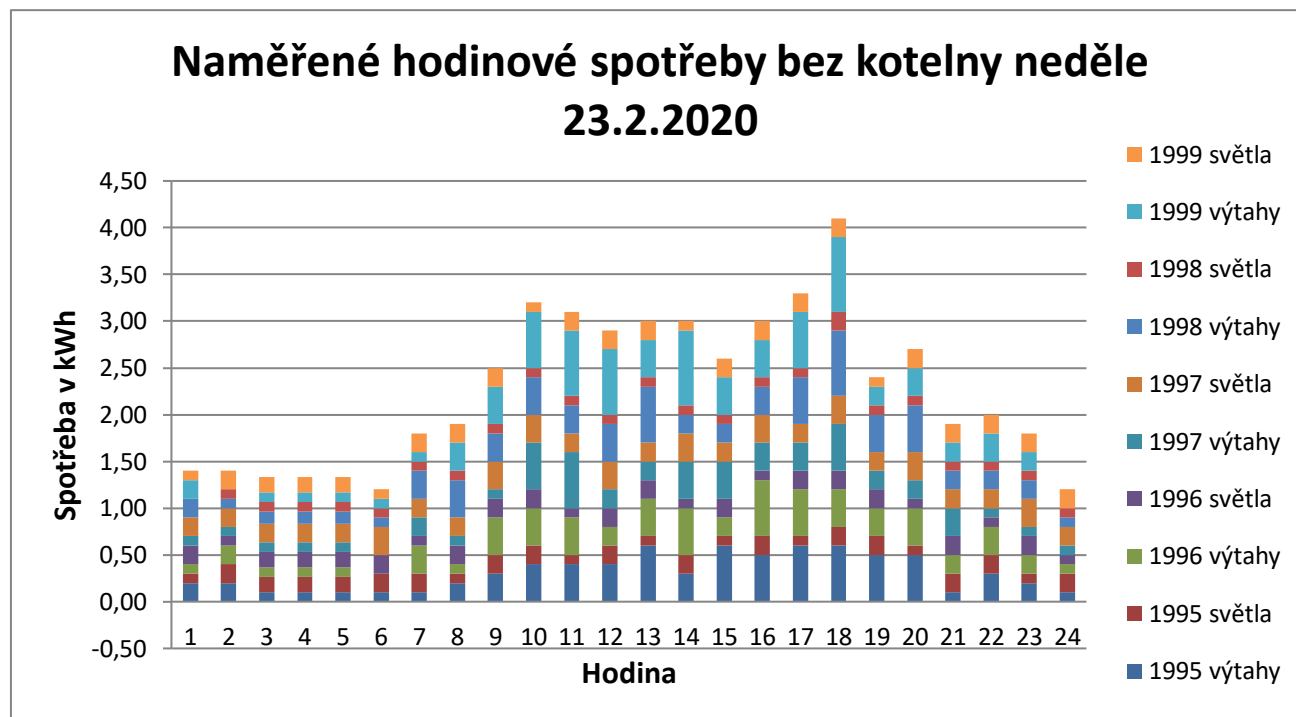


Graf 1: Naměřené hodinové spotřeby všech elektroměrů (neděle 23.2.2020)



Graf 2: Naměřené hodinové spotřeby kotelny (neděle 23.2.2020)

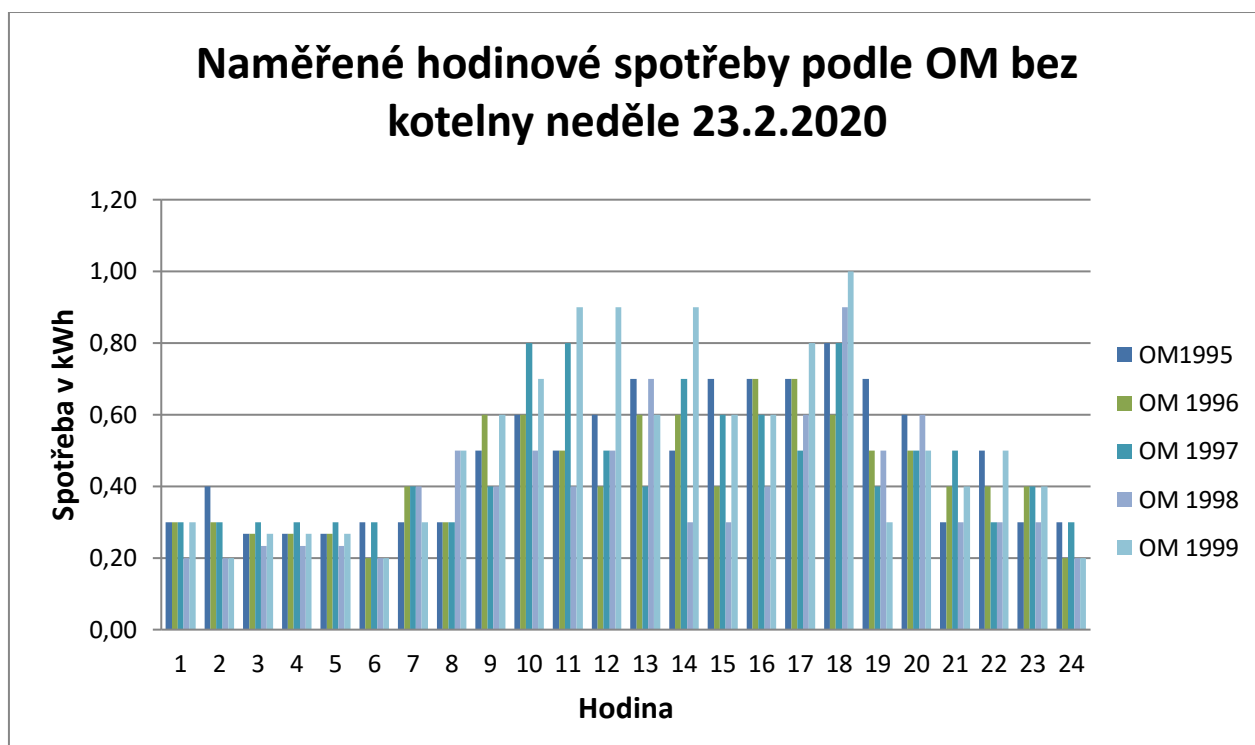
Graf 2 nám odhaluje skutečnost, že kotelna běží z větší části na vysoký tarif. Při správné optimalizaci a volby tarifu by se dalo ušetřit, kdyby převažovala spotřeba v nižším tarifu. Celkový průběh je více méně konstantní s výjimkou 14. hodiny, kdy došlo ke špičce spotřeby čerpadel. Naopak hned kolem 15. hodiny největší propad. Průměr obou těchto odchylek je přibližně roven celkovému průměru, budu tedy uvažovat, že šlo pouze o malý rozdíl v načasování chodu čerpadel.



Graf 3: Naměřené hodinové spotřeby společných prostor bez kotelny (neděle 23.2.2020)

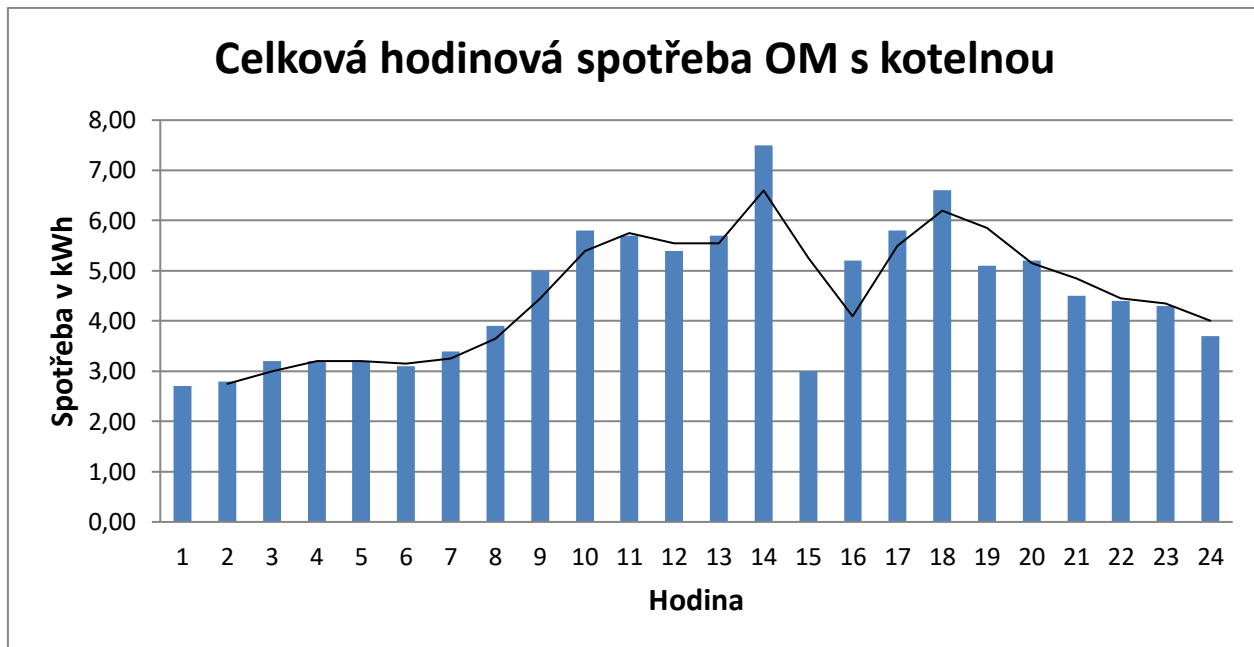
Z grafů 1 a 3 lze pozorovat, že spotřeby energií o víkendu mají přibližně konstantní spotřebu do sedmé hodiny ranní díky automaticky regulovanému chodu čerpadel v kotelně. Od 8. hodiny spotřeba do času kolem poledne konstantně roste díky pohybu osob po chodbách, kde se spínají světla díky optickým sensorům a používáním výtahu. Dále se z dat dá odečíst, že výtahy mají několikanásobně větší spotřebu než světla a ventilátory. Ve třetím grafu, který neobsahuje kotelnu, je patrné, že spotřeba opět stoupá kolem 17.-18. hodiny, díky tomu, že se lidé vrací zpět do bytů. Graf 1 popisuje odečty jednotlivých informačních elektroměrů. Ve skutečnosti jsou elektroměry světla a výtahů spojeny vždy v jeden elektroměr fakturační OM pro každý vchod. OM vchodů 1995-1999 mají ekvivalentní průběhy. Dá se tak říct, že lidé mají v různých vchodech podobné návyky odcházení a přicházení z domu. To se dalo předpokládat, proto jejich spotřeby rostou a klesají obdobně. Jedinou výjimkou jsou spotřeby kotelny,

kteřá má znatelně větší spotřeby než ostatní OM, což je patrné z grafu 1. Graf 4 představuje porovnání fakturačních elektroměrů OM bez kotelny.

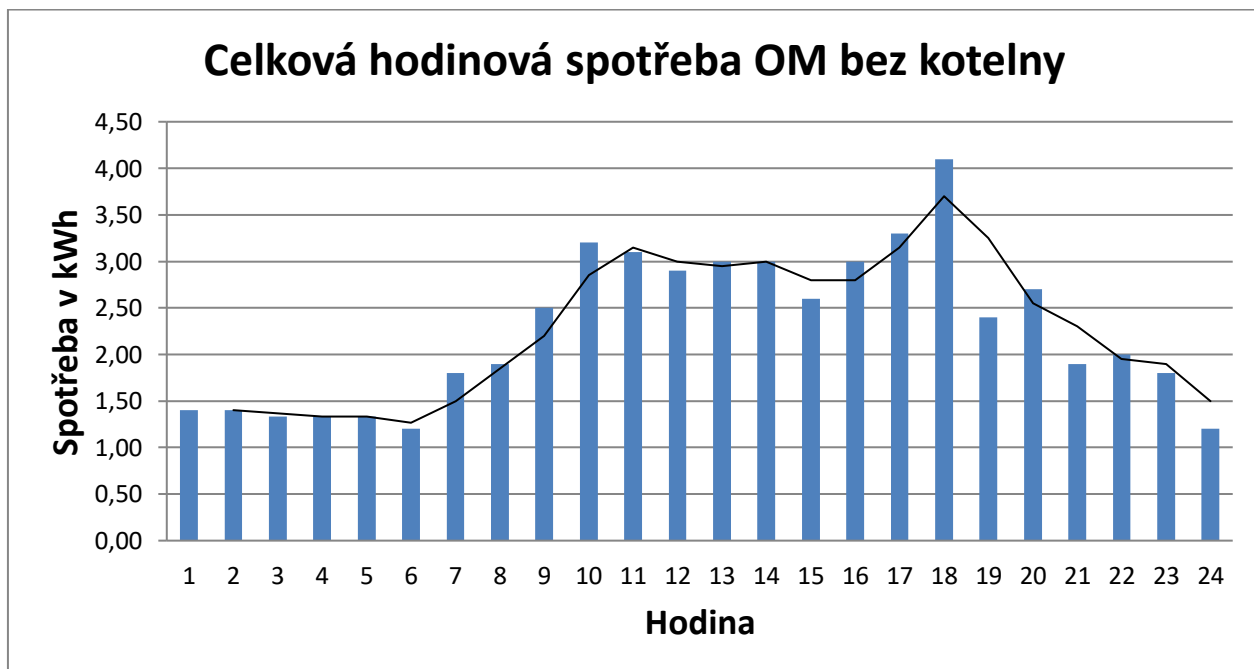


Graf 4: Naměřené hodinové spotřeby fakturačních OM (neděle 23.2.2020)

Graf 4 porovnává spotřeby jednotlivých odběrných míst proti sobě. Z grafu je patrné, že odběry stoupají a klesají obdobně ve stejném čase. Vchody 1995 a 1999 mají mírně vyšší spotřebu, jak je vidět z tabulky odečtů v příloze B.



Graf 5: Celková spotřeba společných prostor bytového družstva (neděle 23.2.2020)



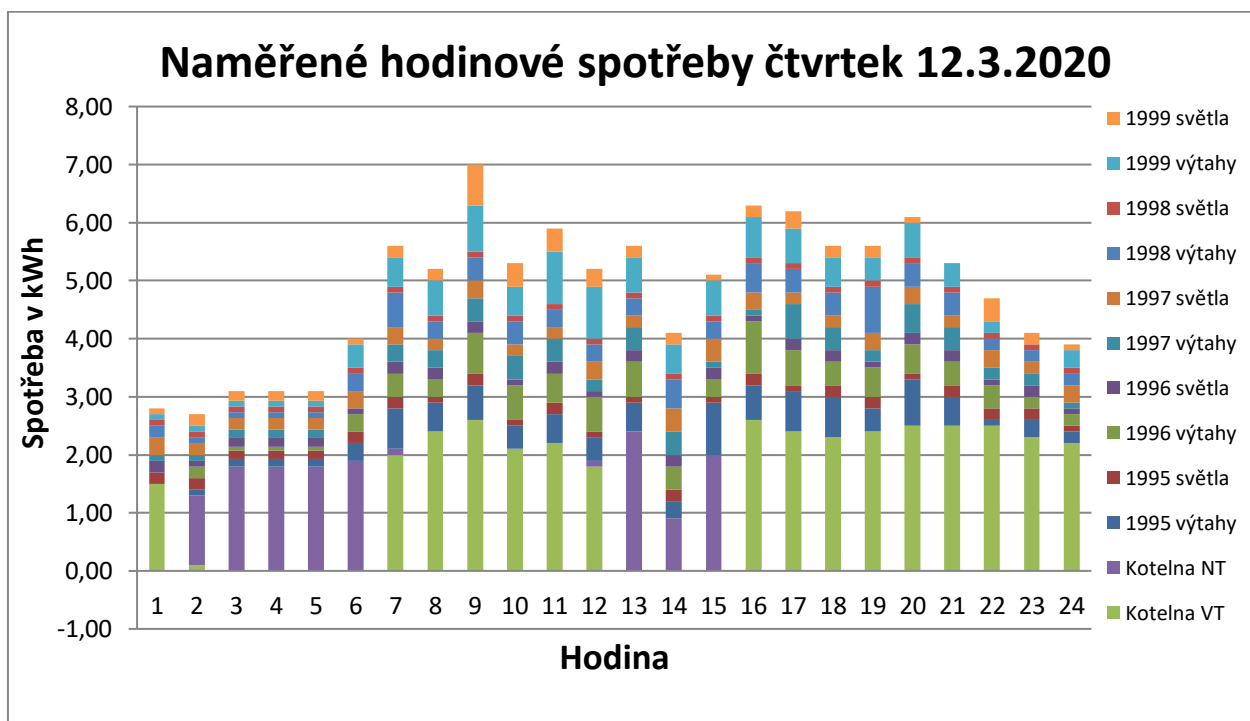
Graf 6: Celková spotřeba společných prostor bytového družstva bez kotelny (neděle 23.2.2020)

Celkové spotřeby s kotelnou i bez kotelny mají ekvivalentní průměry vzhledem k tomu, že spotřeba elektřiny v kotelně probíhá během celého dne i noci. Její spotřeba tedy posouvá celkovou křivku na ose Y v průměru asi o 0,1 kW za hodinu.²²

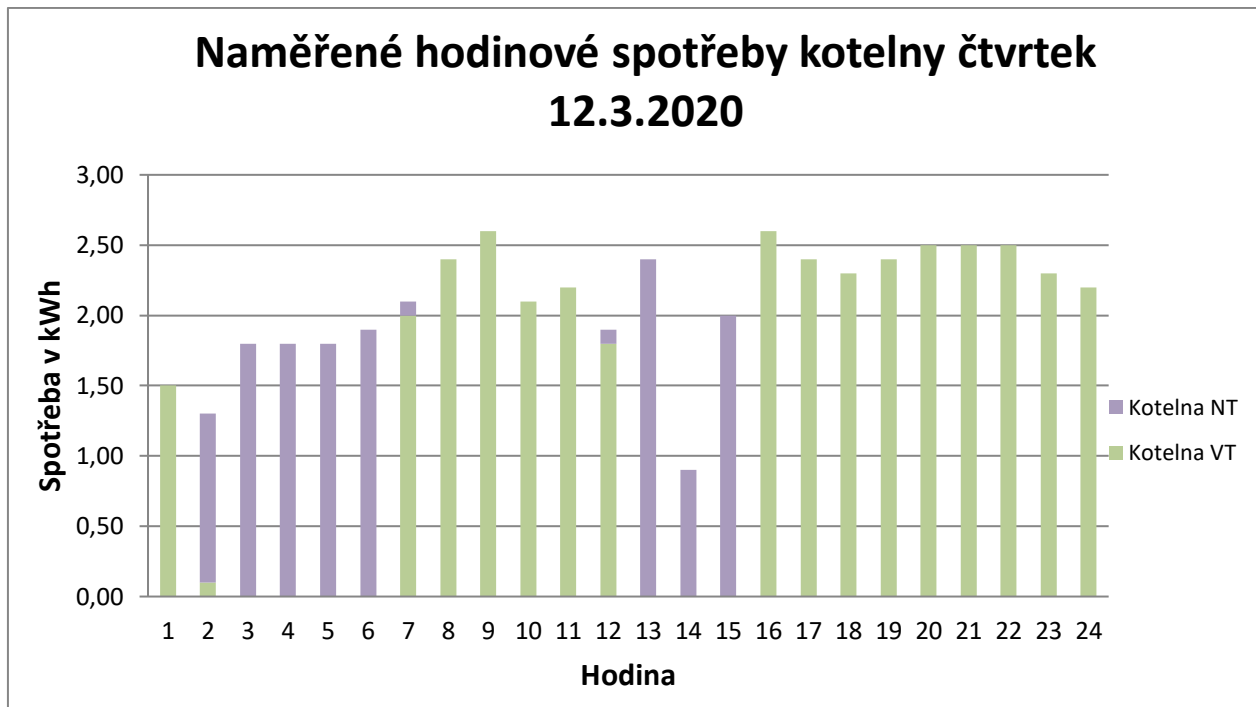
2.2.2. Měření denního průběhu spotřeb elektřiny 12. 3. 2020 (pracovní den)

Druhé měření proběhlo 12. 3. 2020 ve čtvrtek. Byl to pracovní den, ale bohužel díky postupujícím opatřením vlády ČR proti pandemii způsobené koronavirem, byl narušený přirozený cyklus, kdy žáci a studenti ráno vycházejí z domu do školy a v odpoledních hodinách se vrací zpět, viz graf 7. Těžko se odhaduje demografické rozdělení domů, budeme tedy uvažovat tento den podobný režimu o prázdninových měsících.

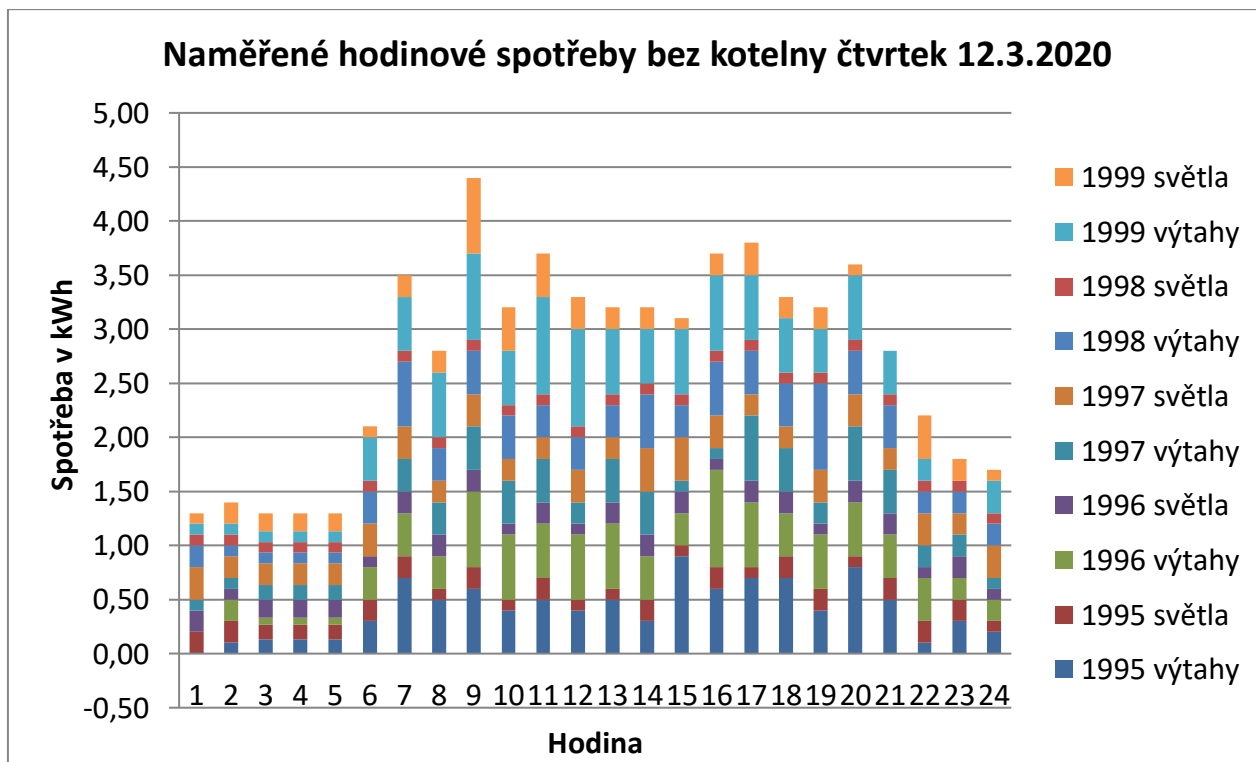
Dalším problémem, který ovlivnil spotřebu kotelny mezi 13. a 14. hodinou byl výpadek jističe kontrolní jednotky a kompresoru expandéru. Výpadek nebyl delší než 40 minut, ale jeho vinou klesla předpokládaná spotřeba v kotelně o 1-2 kWh v čase výpadku, jak vidět v grafu 9. Když to porovnáme s odečty nedělního měření, tak tam byl naopak během 15. hodiny nižší odběr a během 14 naopak vyšší.¹⁶



Graf 7: Naměřené hodinové spotřeby všech elektroměrů (čtvrtek 12.3.2020)

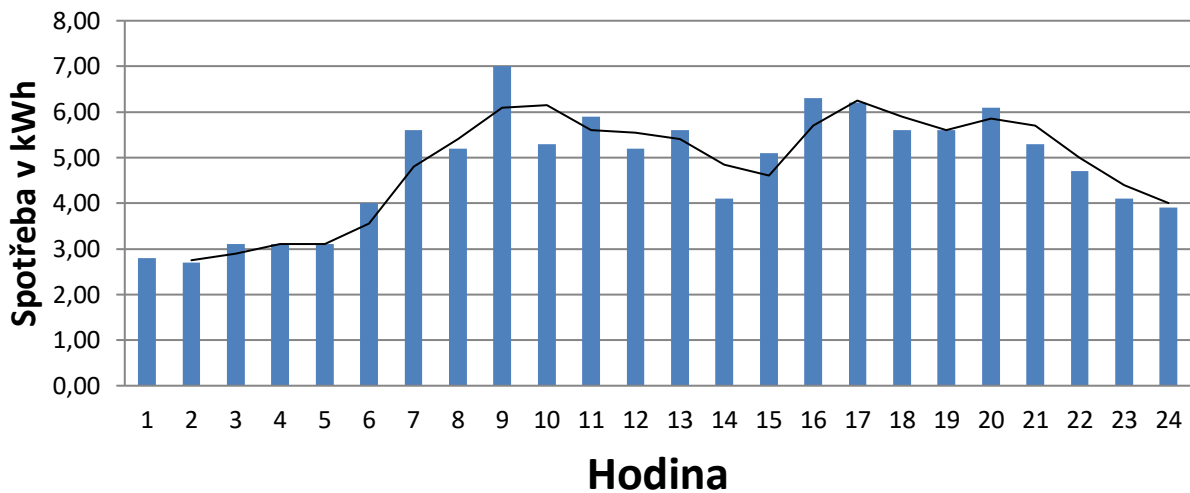


Graf 8: Naměřené hodinové spotřeby kotelny (čtvrtek 12.3.2020)



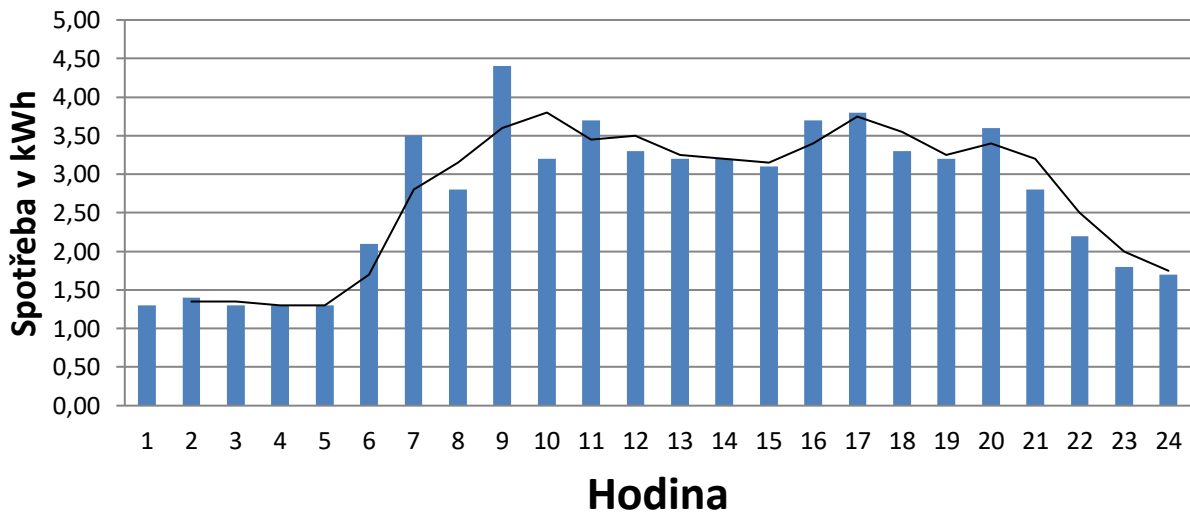
Graf 9: Naměřené hodinové spotřeby společných prostor bez kotelny (čtvrtek 12.3.2020)

Celková hodinová spotřeba OM s kotelnou čtvrtek 12.3.2020



Graf 10: Průměrné hodinové spotřeby společných prostor bytového družstva (čtvrtek 12.3.2020)

Celková hodinová spotřeba OM bez kotelny čtvrtek 12.3.2020



Graf 11: Průměrné hodinové spotřeby společných prostor bytového družstva bez kotelny (čtvrtek 12.3.2020)

Pokud porovnáme grafy 7 až 11 s grafy 3 až 6 ze sekce 2.2.1., zjistíme, že spotřeby jsou srovnatelné v nočních hodinách. Pracovní den měl o hodinu až dvě rychlejší nástup ranní špičky. Průběh spotřeb během dne byl v obou dnech ekvivalentní, kromě výpadku kotelny ve čtvrtek mezi 13. a 14. hodinou. O víkendu byla večerní špička společných spotřeb lehce vyšší oproti pracovnímu dni. Pracovní den měl pak nepatrně vyšší průměr, který byl podle mě dán větší migrací lidí směřujících do práce.

Celková roční spotřeba z odečtu faktur za rok 2019 (v příloze A) je 36,62 MWh ročně. Kdyby se celková spotřeba vydělila 365 dny, dostaneme 100,33 kWh/den. Naměřená celková spotřeba dne 23. 2. 2020 byla 108,4 kWh/den a dne 12. 3. 2020 byla 115,60 kWh/den. Denní spotřeba 23. 2. byla přibližně o 8 % více, než je průměr z roku 2019 a dne 12. 3. to bylo dokonce o 15 % více. Rozdíl se dá vysvětlit tím, že čerpadla v zimních měsících pracují více než v letních. Dala se tedy předpokládat vyšší hodnota, než je průměr.

Tabulka 4: Porovnání průměrů z měření²²

	Denní průměr dle faktury za 2019	Neděle 23.2.2020	Čtvrtek 12.3.2020
Celková spotřeba za den	100,33 kWh	108,40 kWh	115,60 kWh
Průměr na jeden výtah (OM)	-	6,86 kWh	8,72 kWh
Průměr světla pro jedno OM	-	4,02 kWh	4,32 kWh
Kotelna VT	26,60 kWh	37,10 kWh	36,40 kWh
Kotelna NT	11,40 kWh	16,90 kWh	14,00 kWh

2.2.3. Spotřebiče s největším odběrem energie

Nejvýznamnější spotřebu elektrické energie mají výtahy KONE, dále pak světla ve společných prostorech. Jak je vidět z tabulek, výtahy mají cca 2-3x větší spotřebu než LED osvětlení chodeb a ventilátory. Obecně největší spotřebu mezi odběrnými místy má kotelna. Spotřebu zde vyvolávají oběhová čerpadla a odběr elektřiny plynových kotlů. Tabulka 13 ukazuje procentuální podíl jednotlivých OM na celkové spotřebě. Graf 4 ukazuje růst spotřeby od OM s nejvyššími spotřebami elektřiny. Tento kumulativní typ grafu jsem v této sekci zvolil, aby bylo názorně vidět, které odběry přispívají k celkové spotřebě nejvíce.²²

Tabulka 5: Podíl na spotřebě významných spotřebičů

Významné spotřebiče	Průměrná spotřeba/rok (MWh)	Roční náklady (průměr za 3 roky) v Kč	Podíl na spotřebě
výtah 1995	3.67	18,183.76 Kč	10.71 %
výtah 1996	3.73	18,566.62 Kč	10.89 %
výtah 1997	2.83	9,978.93 Kč	8.26 %
výtah 1998	3.42	17,227.95 Kč	9.99 %
výtah 1999	3.72	18,492.05 Kč	10.88 %
světla 1995 Ventilátory	1.24	7,520.61 Kč	3.63 %
světla 1996	1.75	9,850.43 Kč	5.12 %
světla 1997	1.06	6,737.08 Kč	3.10 %
světla 1998	0.84	5,771.50 Kč	2.45 %
světla 1999	1.25	7,566.12 Kč	3.65 %
kotelna	10.72	47,229.27 Kč	31.32 %

Tabulka 6: Podíl na spotřebě jednotlivých OM

Odběrná místa	Průměrná spotřeba/rok (MWh)	Roční náklady (průměr za 3 roky) v Kč	Podíl na spotřebě
OM 1995	4,91	25 704,37 Kč	14, 33%
OM 1996	5,48	28 417,05 Kč	16, 01%
OM 1997	3,89	16 716,00 Kč	11, 36%
OM 1998	4,26	22 999,45 Kč	12, 45%
OM 1999	4,97	26 058,17 Kč	14, 53%
OM (Kotelna)	10,72	47 229,27 Kč	31, 32%

2.3. Elektrotechnické normy a předpisy elektrických zařízení

2.3.1. Význam norem

Před každým projektem je důležité si uvědomit, které normy se na něj vztahují, a je nutné dbát na jejich dodržování. Tvorba norem je dlouhodobý detailní proces, na němž spolupracují pracoviště napříč sektorem. Český normalizační institut je česká instituce, která se zabývá vydáváním norem a jejich novelami. Technické normy detailně stanovují provedení, požadované vlastnosti, tvar nebo uspořádání opakujících se předmětů nebo způsobů a postupů práce. Dále definují obecně užívané technické pojmy. Technická norma je technický předpis, který přesně stanoví technické náležitosti, nebo technická řešení u opakovaných úkonů a dějů.²⁶

2.3.2. Účel norem

Mezi hlavní účely norem řadíme:

1. Ulehčování a snižování rozmanitosti výrobků a činností.
2. Komunikace mezi výrobcem a zákazníkem a mezi výrobci v mezinárodním a národním měřítku.
3. Zlepšení hospodárnosti.
4. Zavádění kódů a symbolů k ulehčení obchodního styku a překonání potíží zapříčiněných rozdílností jazyků.
5. Ochrana spotřebitele.²⁶

2.3.3. Rozdělení norem

Normy rozlišujeme podle toho, na jaký územní celek se vztahují. Existují normy státní (ČSN), mezinárodní, evropské, podnikové, předmětové, oborové, jakostní aj. V soustavě technických norem existuje soubor technicko právních předpisů, jako jsou:

1. ČSN – označení českých technických norem, jako např. DIN, ASA, které zahrnují široký okruh problematik. Normy jsou dále postupně harmonizovány s normami vyšších stupňů.
2. ISO – mezinárodní normy, které shrnují veškeré zkušební metody, terminologii a značení. Návrh elektroinstalace s ohledem na stejnosměrné světelné obvody a elektromobilitu
3. EN – evropské normy, které shrnují veškeré zkušební metody, terminologií, značení a bezpečnost výrobků.
4. ON – oborové normy (již zrušené zákonem 142/1991 Sb. k 31. 12. 1993 a částečně převedeny na podnikové normy-PN)
5. PN – podnikové normy, kterými je řešena problematika jednotlivých nebo skupinových výrobků.²⁶

2.3.4. Základní požadavky na elektrická zařízení

Elektrická zařízení jsou souborem elektrických zdrojů a spotřebičů s různými napětími. Elektrické zařízení musí vyhovovat určitým požadavkům.

1. Bezpečnost osob a věcí – elektrické zařízení nesmí během běžného provozu ohrožovat život nebo zdraví člověka nebo ohrožovat majetek.
2. Spolehlivost – elektrické zařízení musí vydržet požadovanou dobu provozu s co nejmenšími náklady na údržbu.
3. Hospodárnost – elektrické zařízení volíme tak, aby byly úspory úměrné nákladu na provoz po dobu životnosti (např. určení průřezu vodičů).
4. Uspokojování potřeb uživatele – elektrické zařízení musí uspokojit potřeby uživatele (např. výkon motoru, intenzita osvětlení, hlasitost hudby).
5. Ochrana před nebezpečným proudem – elektrické zařízení musí být schváleno příslušným úřadem pro provoz a musí mít příslušné schvalovací značky nebo příslušné atesty.
6. Estetičnost – elektrické zařízení musí splňovat požadavky estetičnosti (např. montáž vodičů na povrchu, kryty spotřebičů).²⁶

2.3.5. Základní ustanovení pro elektrická zařízení

1. Elektrické zařízení nesmí být nebezpečná osobám, zvířatům a okolním předmětům při obvyklém užívání.
2. Všechny části elektrického zařízení musí být řádně upevněny a mechanicky pevné.
3. Elektrické zařízení musí být provedeno tak, aby nebyly osoby vystaveny nebezpečným zářením či elektrickým nebo magnetickým polím.
4. Elektrické zařízení musí být umístěno tak, aby na něj škodlivě nepůsobila jiná zařízení.
5. Elektrické zařízení musí být uspořádáno tak, aby na něm byla rychlá, snadná a bezpečná údržba a obsluha.
6. Elektrické zařízení musí být zabezpečeno proti zkratům, přetížení a přepětí.
7. Elektrické zařízení musí mít takovou trvanlivost, která odpovídá danému používání.²⁶

2.3.6. Rozdělení a pojmy elektrických zařízení ČSN 33 0010

Tato norma stanoví základní jednotnou soustavu názvů, pojmů, a definic a určuje jejich rozdělení.

Elektrické zařízení je zařízení, které ke svému působení nebo činnosti využívá účinků elektromagnetických nebo elektrických jevů. Elektrické zařízení se skládají z elektrických obvodů, elektrických předmětů a elektrické instalace.

1. elektrický obvod – soustava vodičů a jiných prvků, kterými protéká elektrický proud
2. elektrická instalace – sestava vzájemně spojených částí zařízení a elektrických předmětů v daném prostoru nebo místě.
3. elektrický předmět – konstrukční část nebo sestava, která se zapojuje nebo připojuje do elektrického obvodu.

Elektrotechnická zařízení rozdělujeme hlavně podle účelu, druhu proudu, velikosti napětí, nebezpečí úrazu a podle kmitočtu proudu.

Podle účelu

1. silová zařízení – elektrická zařízení sloužící k výrobě, přenosu, rozvodu a přeměně energie a k její přeměně na jiný druh energie, nebo práci.
2. řídicí zařízení – elektrická zařízení, která slouží k ovládnání, ochraně, měření, řízení a kontrole ostatních elektrických a neelektrických zařízení.
3. Sdělovací zařízení – elektrická zařízení sloužící k zpracování, záznamu, přenosu a reprodukci informací v jakékoliv formě.
4. zvláštní – k jiným účelům (např. laboratorní nebo nemocniční)

Podle druhu proudu

1. střídavý (označení: st = AC)
2. stejnosměrný (označení: ss = DC)

Podle velikosti napětí

Tabulka 7: Rozdělení podle velikosti napětí ³

	mezi vodičem a zemí	mezi vodiči
malé napětí (mn) (kategorie I)	do 50 V st. 120 V ss.	do 50 V st 120 V ss.
nízké napětí (nn) (kategorie II)	nad 50 V do 600 V	nad 50 V do 1000 V
vysoké napětí (vn) (kategorie A)	nad 0,6 kV do 30 kV	nad 1 kV do 52 kV
velmi vysoké napětí (vvv) (kategorie B)	od 30 kV do 171 kV	od 52 kV do 300 kV

zvlášť vysoké napětí (zvn) (kategorie C) ultra vysoké napětí (uvn) (kategorie D)	od 300 kV do 800 kV	
	nad 800 kV	

Podle nebezpečí úrazu

1. silnoproudá zařízení – na zařízení při obvyklém užívání mohou vzniknout proudy nebezpečné osobám, majetku, užitkovým zvířatům a věcem (je podstatná znalost základních bezpečnostních norem a předpisů)
2. slaboproudá zařízení – na zařízení při obvyklém užívání nemohou vzniknout proudy nebezpečné osobám, majetku, užitkovým zvířatům a věcem

Podle kmitočtu proudu (popř. kmitočtu elektromagnetického vlnění)

Tabulka 8: Rozdělení podle kmitočtu proudu ³

název označení	silová EZ	sdělovací EZ
nízkofrekvenční nf	$f < 60 \text{ Hz}$	$f < 9 \text{ kHz}$
středofrekvenční sf	$60 \text{ Hz} < f < 100 \text{ kHz}$	-
vysokofrekvenční vf	$f > 100 \text{ kHz}$ (do 300 MHz)	$f > 9 \text{ kHz}$ (do 3 THz)

2.3.8. Evropské provedení střídavých sítí TN-C, TN-S, TN-C-S

Elektrické sítě pro přenos energie se instalují v několika provedeních. V tomto odstavci připomenu několik z nich, jelikož je důležité znát jejich označení díky tomu, že se v minulosti prokázala nutnost jejich sjednocení. Zvláště u střídavých sítí se liší způsoby zapojení ochranného vodiče.

Sítě TN – neboli sítě s uzemněným středním vodičem

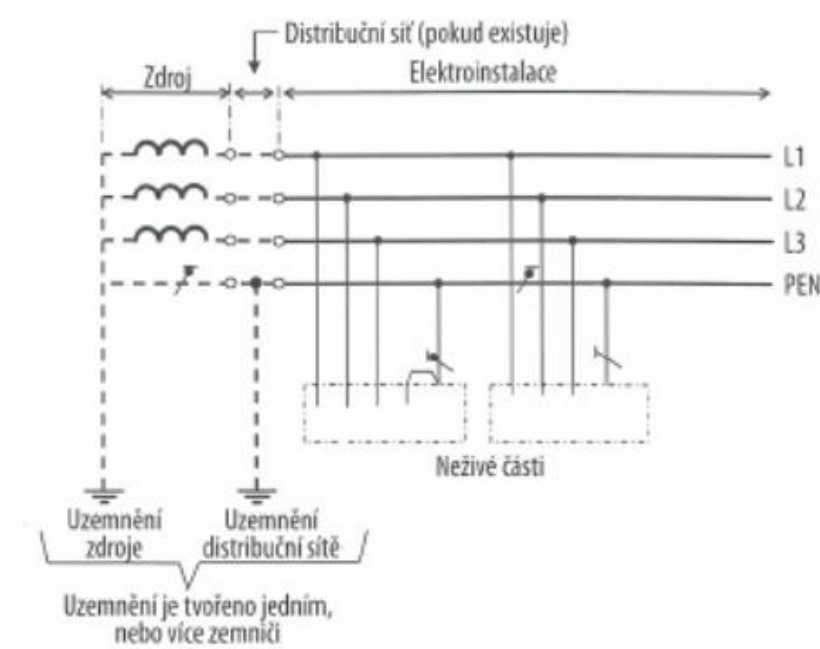
Správné zapojení je důležité k předejití poruch a nehod způsobených tím, že by proudy procházely nežádoucími cestami. Níže jsou uvedeny příklady těchto nežádoucích důsledků.

- Požár
- Koroze
- Elektromagnetické rušení

Označení ochranného vodiče musí být v souladu s ČSN EN 60446 (33 0165) Základní a bezpečnostní zásady při obsluze strojních zařízení – Značení vodičů barvami nebo číslicemi. (Připravuje se její revize). Při každém rozšíření sítě musí být vzata v úvahu řádná funkce ochranných opatření.

a) síť TN-C

TN-C znamená „Terra nova combined“, neboli (trojfázová) síť s uzemněným uzlem, tedy nulovým bodem, kde PEN vodič plní současně funkci středního (nulového) i ochranného vodiče (z toho plyne -C).



Obrázek 3: Schéma zapojení sítě TN-C. U spotřebiče jde vodič PEN na ochrannou svorku a potom k pracovní svorce středního vodiče (AC; 3 PEN; ~50 Hz; 400 V /TN-C)

Je nutné si uvědomit, že čárkované čáry ve schématu výše (i v ostatních) znázorňují spojení, které není normou vycházející z ČSN 33 200-1 ed. 2 přímo vyžadováno, na rozdíl od vedení vyznačeného plnou čarou, které je normou považováno za nezbytné. Pro soukromé sítě může být zdroj a/nebo rozvodný systém považován za část elektroinstalace ve smyslu této normy. V tomto případě jsou všechny čáry plné. Dále je dobré si uvědomit, že rozdělení vodiče PEN na vodiče PE a N, ať je již uvnitř spotřebiče či v přípojnicích, nemění typ sítě.

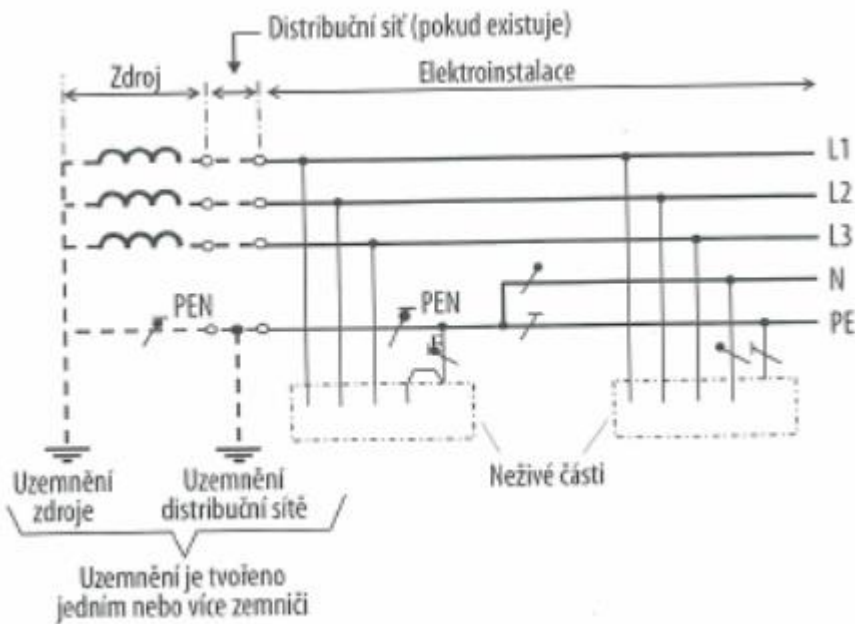
Jak již bylo naznačeno, rozvody budou z hlavního rozvaděče nataženy v provedení TN-C. Ty povedou k jednotlivým odběrům. Je důležité dohlédnout na to, aby ochranný a nulový vodič nebyly znovu spojeny v následovných větvích.

Dalšími topografiemi sítí jsou:

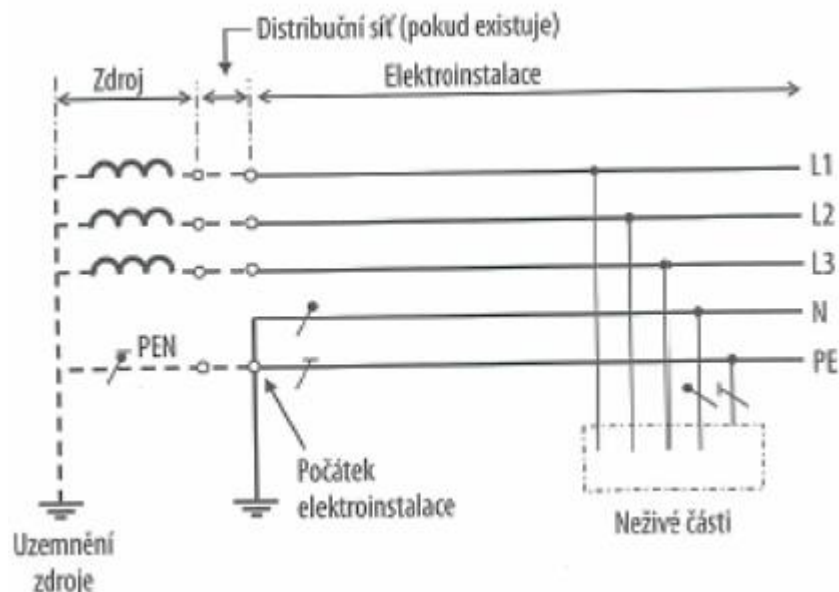
b) síť TN-C-S

TN-C-S je trojfázová síť s uzemněným středním bodem, v první části vodič PEN současně plní funkci nulového i ochranného vodiče, v druhé části je vodič PEN rozdělen na ochranný vodič (PE) a nulový vodič (N).

Schematický obrázek sítě TN-C-S (obrázek 4), jak je uveden například v ČSN 33 2000-1 ed. 2, je používán k výkladu principu této sítě. Pro praxi je však důležitý obr. 5, který je podrobnější a názornější z hlediska základního bezpečnostního požadavku na přizemnění bodu rozdělení vodiče PEN na samostatné vodiče PE a N.



Obrázek 4: Schematický obrázek sítě TN-C-S. Za místem oddělení vodiče PEN na vodiče PE a N se již tyto nesmí spojit



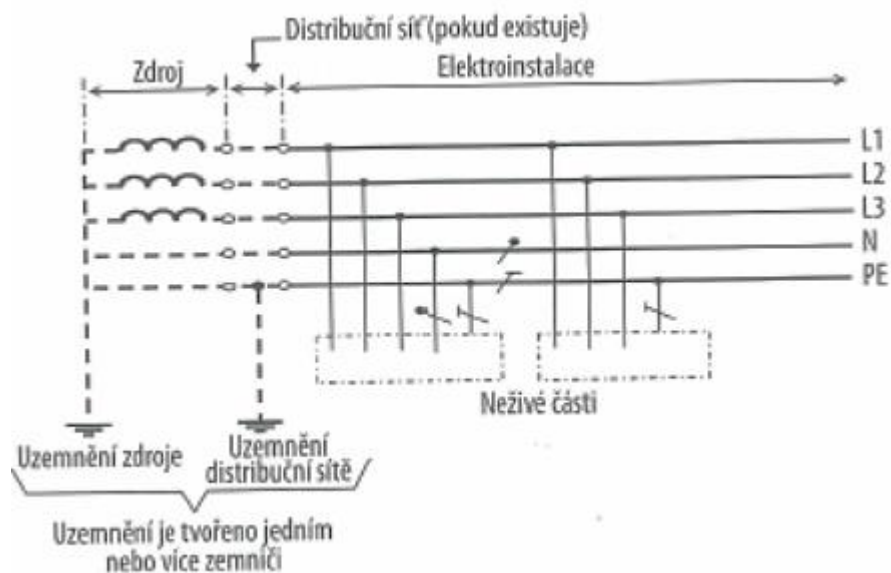
Obrázek 5: Praktický obrázek provedení sítě TN-C-S. Za místem oddělení vodiče PEN na vodiče PE a N se již tyto nesmí spojit (v elektroinstalaci může být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE)

Požadované přizemnění bodu rozdělení vodiče PEN na samostatné vodiče PE a N na počátku elektroinstalace je například provedeno v bytové rozvodnici, hlavním rozvaděči objektu a podobně. Obvyklým požadavkem distributorů elektřiny je (pokud jsou distribuční rozvody nn TN-C), aby toto bylo provedeno za fakturačním měřicím zařízením (elektroměrem). To znamená, aby i neměřená část hlavního domovního vedení byla provedena v systému sítě TN-C (jako distribuční síť).

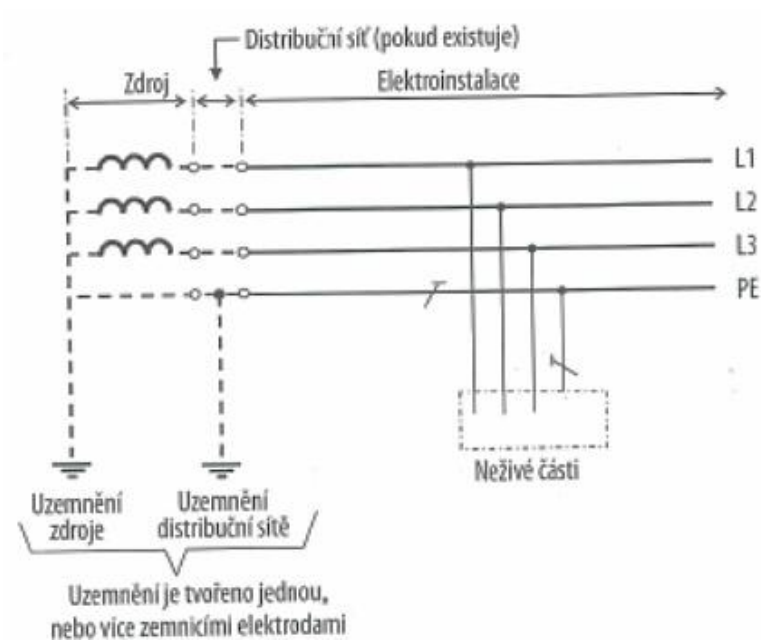
c) síť TN-S

TN-S je trojfázová síť s uzemněným středním bodem se samostatným ochranným vodičem (PE) a nulovým vodičem (N).

Z praktického hlediska je nutno si připomenout i to, že existují případy, kdy některé elektrické rozvody v elektroinstalaci TN-S se mohou provádět čtyř žilovými vodiči (s barevným označením jednotlivých žil: černá, hnědá, šedá a zeleno-žlutá) - viz obrázek 7 (například připojení třífázových motorů se zapojením vinutí do trojúhelníku).

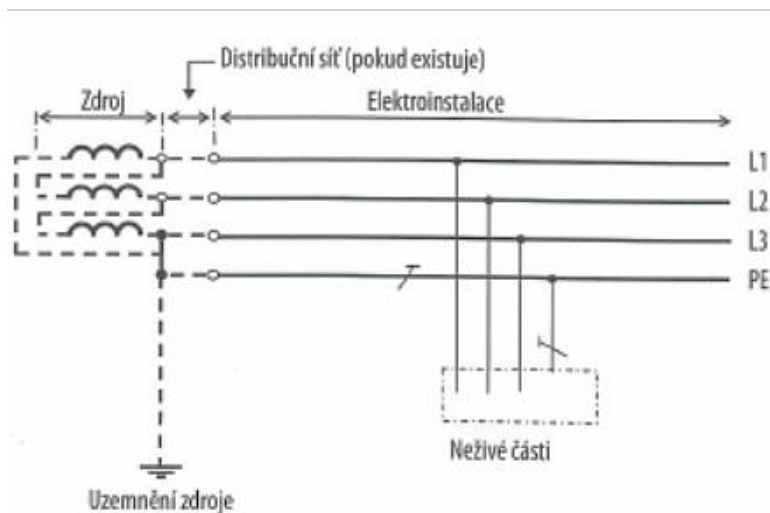


Obrázek 6: Schematický obrázek sítě TN-S (v elektroinstalaci by mělo být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE)



Obrázek 7: Schematický obrázek sítě TN-S bez vyvedeného nulového vodiče (v elektroinstalaci by mělo být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE)

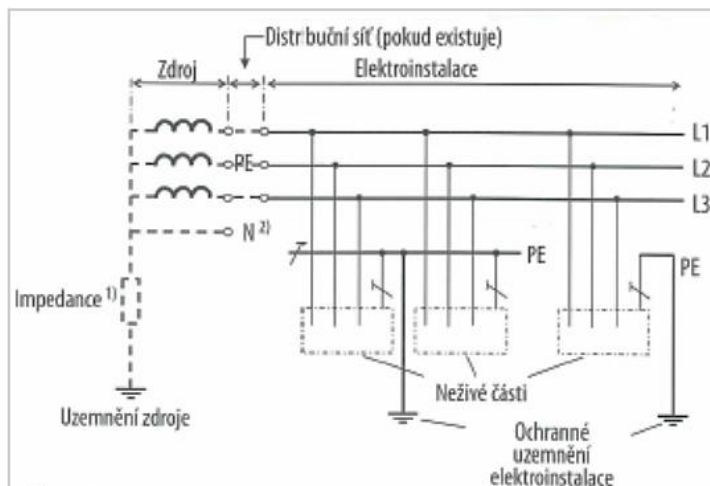
Méně obvyklé zapojení sítě TN-S je naznačeno na obr.8. V tomto případě je použito připojení ochranného vodiče k jedné fázi, která je uzemněna.



Obrázek 8: Schematický obrázek sítě TN-S s odděleným uzemněným vodičem a ochranným vodičem (v elektroinstalaci by mělo být provedeno dodatečné uzemnění vodiče PE)

Sítě IT

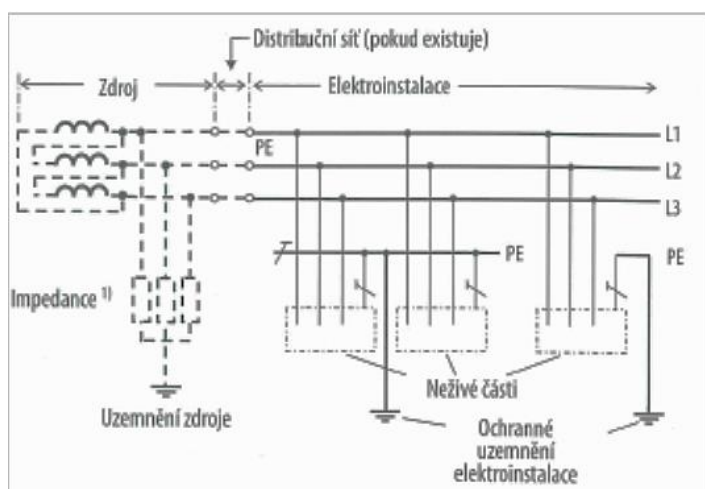
Existují i jiné provedení sítí než jen TN, jako jsou sítě TT nebo IT. Vzhledem k tomu, že topologie IT byla jednou z uvažovaných pro variantu 2 v sekci 3.5., je níže popsána. Trojfázová izolovaná síť topologie IT je zobrazena na obrázku 9. Tyto sítě mohou být uzemněné přes impedanci nebo průrazku bez středního vodiče. Ochrana neživých částí před nebezpečným dotykovým napětím se provádí samostatným uzemněním každého elektrického předmětu. Tato varianta je obecně jedna z možných návrhů při rekonstrukcích stávajících třífázových rozvodů na stejnosměrné. Možná aplikace pro tento projekt bude dále popsána v sekci 3.5.



Obrázek 9: Síť IT s neživými částmi uzemněnými buď společně, nebo individuálně

Důležité je poznamenat k instalaci dle schématu na obrázku 9, že síť může být uzemněna pomocí dostatečně vysoké impedance, nulový vodič může, ale nemusí být rozveden. V elektroinstalaci může být zřízeno další uzemnění vodiče PE.

Současným trendem je zavádění sítě IT s umělým nulovým bodem a neživými částmi uzemněnými buď společně, nebo individuálně jako je na schématu v obrázku č. 10.²⁵



Obrázek 10: Síť IT s umělým nulovým bodem a neživými částmi uzemněnými buď společně (neživé části jsou připojeny k uzemněnému ochrannému vodiči), nebo individuálně

2.4. Současný trend v elektrifikační soustavě

Díky rozdílům, jak jsou poskládány stejnosměrné a střídavé sítě, jejich napěťové hladiny nebo v použité výkonové elektronice se objevují jak výhody, tak i nevýhody pro stejnosměrné i střídavé systémy. Právě tyto rozdíly sítí nám poskytují příležitosti, ale i připravují nástrahy pro rozvoj obou těchto systémů.

V této kapitole rozvedu diskusi na téma nástrah a příležitostí, respektive výhod i nevýhod rozvoje sítí napájených jednak ze stejnosměrných, tak i střídavých zdrojů.

2.4.1. Výhody DC systému

Kvůli potřebě více úrovní stejnosměrného napětí byl DC systém považován za nadřazený vzhledem k AC systému z hlediska účinnosti. Většina domácích elektronických zařízení jsou stejnosměrná a obvykle musí být vybavené dvěma stupni převodu, aby mohla být napájena střídavým proudem ze zásuvek. Jeden stupeň obvykle konvertuje AC na DC a druhý pak snižuje hodnotu DC napěťové hodnoty na požadovanou hladinu. Při přímém napájení z rozvodu DC napětí se dosahuje vyšší účinnosti díky tomu, že je možné odstranění prvního měniče ze střídavého proudu na stejnosměrný. Nepřímé úspory jsou dosaženy snížením nákladů na výrobu současných adaptérů. Dalšími výhodami DC sítí nad AC systémem jsou nižší cena za kabely (mědi), snadné ovládání (digitalizace) a získání různých optimalizovaných architektur a topologií.²⁴

Pokles potřebného množství mědi ve stejnosměrné síti je způsobeno hlavně použitím vyšších efektivních hodnot napětí, což je ekvivalentní špičkovému napětí v AC sítích. Získá se tím jednodušší kontrola díky tomu, že ve stejnosměrné síti je důležitý pouze jeden řídicí parametr, a to je napětí. Na rozdíl od AC sítí, které musí udržovat stabilní frekvenci na území celé EU, aby bylo dosaženo dostatečně kvalitní dodávky napříč hranicemi. U tak propojeného systému rozvodné sítě, jako má EU, nemá stejnosměrná síť žádné frekvenční omezení, naopak se budují krátké stejnosměrné spojky v přenosové soustavě, tam, kde se frekvence mírně liší a tok AC elektřiny by nebyl v požadovaném směru možný (např. Česko – Rakousko v období reálného socialismu).

V současné době dostupné a zkoumané stejnosměrné sítě a ostrovní systémy mají dostatečnou kapacitanci. Tato kapacitance je dosažena především díky koncovým kondenzátorům systémových měničů, které napodobují tvrdé střídavé sítě. Přístup k řízení systému, architektura systému, analýza stability systému a mechanismy detekce a izolace poruch jsou jednoduše zkopírovány z tradičního systému střídavého proudu.

V DC sítích je množství uložené energie určeno pomocí velikosti pasivních součástí (kondenzátorů a induktorů) nebo baterií, na rozdíl od AC sítí, kde je energie uložena v mechanické energii (setrvačné) točících se rotorů generátorů a motorů. V závislosti na velikosti systémové kapacity nebo úložiště lze rozlišovat sítě buď na ty s vysokou nebo nízkou ztrátovostí energie. Všechny v současné době zkoumané DC ostrovní systémy a jejich aplikace mají dostatečně vysokou kapacitanci systému nebo přímo připojené úložné prvky, které zajišťují stabilitu hladiny napětí. Kapacitu zajišťují hlavně terminály systémových měničů pro zdroje i zatížení.

Dalšími výhodami jsou:

1. Budování stejnosměrného napájení zlepšuje stabilitu a zvyšuje spolehlivost sítě.
2. Jednodušší a efektivnější implementace OZE a decentralizované výroby.
3. Jednodušší rozhraní výkonové elektroniky a méně bodů, kde by mohlo dojít k selhání.
4. Celkové ztráty v DC distribuční soustavě jsou menší ve srovnání s AC. Například při využití sluneční energie k výrobě elektřiny, je zabráněno ztrátám vzniklým při přeměně na střídavý proud díky tomu, že mnoho domácích zařízení je napojeno na DC zdroje včetně bateriových akumulátorů.
5. Elektromagnetické rušení je ve stejnosměrných sítích nižší ve srovnání se střídavými sítěmi.
6. Je potřeba méně vodičů a neexistuje „skin efekt“
7. Již dnes je DC používán ve vysokonapěťovém dálkovém přenosu, který je ve srovnání se systémem AC výhodnější.

2.4.2. DC Nevýhody

Některé z nevýhod DC systému jsou uvedeny níže:

1. Síť se stejnosměrným proudem má hlavní nevýhody v řízení a přepínání.

Studie zabývající se řízením stejnosměrné sítě byly omezeny na tradiční hierarchický přístup řízení pro oba jednoduché systémy, které jsou přesně modelovány, a složitější systémy, aproximované pomocí jednoduchých modelů.

2. Nevýhoda DC sítí je nedostatečná prozkoumanost chování komplexní DC sítě. V soustavě stejnosměrného proudu musí být určitý výkon alokován pro podporu stejnosměrného systému, jako jsou DC – DC měniče, aby se mohla zvýšit nebo snížit napěťová hladina v síti. Tato praxe nebyla zatím ve větším měřítku dlouhodobě zkoumána.

3. Další nevýhodou stejnosměrných sítí je složitější jištění než u stejnosměrných sítí. To je způsobeno tím, že se v DC síti obtížně vypíná zkrat, protože proud nikdy neprochází nulou. Většinou se tedy využívá polovodičového postupného snižování zkratového proudu.
4. V neposlední řadě je nutné si uvědomit, že HVDC systémy ještě nejsou vyvinuté natolik, aby se z nich mohly plošně sestavovat rozvětvené sítě VN a VVN. V současné době se většinou jedná o přenosy z bodu A do bodu B.

2.4.3. AC výhody

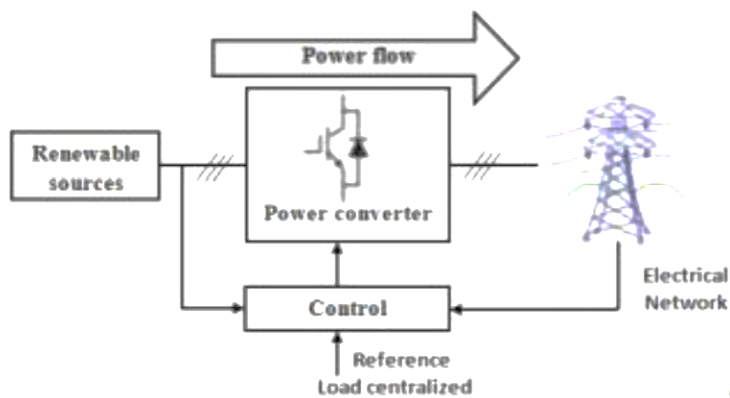
1. Obrovská výhoda AC sítí spočívá v levném přenosu v distribuční síti oproti DC variantě s velkým množstvím nákladné výkonové techniky. To je dáno tím, že AC napětí může být snadno a účinně transformováno na jinou hladinu pomocí transformátoru.
2. Pokud jde o nákladovou efektivitu a snadnost údržby rozveden, jsou střídavé rozvodny snadné na opravu a údržbu v porovnání s DC, kde je velké množství výkonové elektroniky, která je má dražší servis.
3. Již vyvinutá technologie a v současnosti přijímaná na celém světě.
4. Již vyvinutá ochranná technologie ve srovnání s ochranou DC distribučních soustav.

2.4.4. AC Nevýhody

1. Z hlediska nákladů stojí vybudování AC sítí více než u DC díky většímu počtu vodičů.
2. Ztráty v lokálních transformátorech jsou vyšší než u ekvivalentních výkonových měničů.
3. AC systémy mají problémy s řízením jalového výkonu.

2.4.5. Role výkonové elektroniky v rozvodných sítích

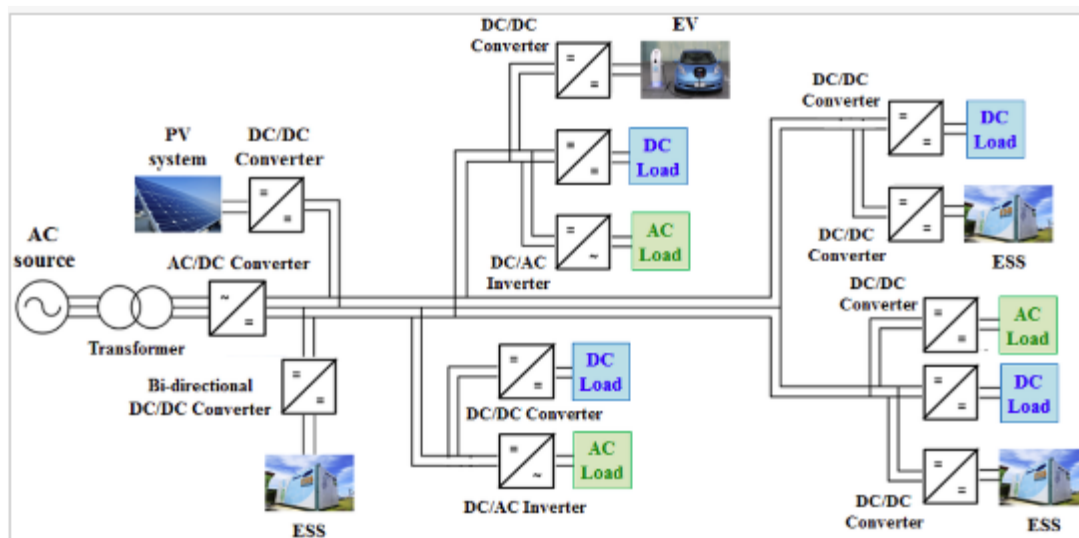
Role výkonových měničů v elektroenergetickém systému neustále roste. Výkonová elektronika se používá při integraci obnovitelných zdrojů energie a jejich distribuci do elektrické sítě. Taková integrace do sítě je znázorněna na obrázku 11 pomocí výkonového měniče a řídicí jednotky.



Obrázek 11: Integrace obnovitelných zdrojů do sítě za pomoci výkonové elektroniky ²⁴

Výkonová elektronika se také používá v integraci větrných turbín, protože větrná energie má zásadní význam při výrobě z obnovitelných, nefosilních zdrojů.

Výkonové elektronické měniče se také používají v sítích LVDC pro integraci obnovitelných zdrojů energie (OZE), zdrojů energie (ESS), elektrických vozidel a další zátěže. Obrázek 12, níže, ukazuje použití obousměrného AC / DC měniče v soustavě s nízkým stejnosměrným napětím (LVDC). Je vidět, že typická síť LVDC využívá k transformaci velké množství výkonové elektroniky pro AC i DC. Decentralizované zdroje jako je fotovoltaická elektrárna a systém uskladňování energie (ESS) musí být spojeny výkonovou elektronikou před jejich dalším připojením k systému rozvodné sítě. To je nutné kvůli zajištění stability napětí a frekvence rozvodné sítě.



Obrázek 12: Běžná LVDC síť²⁴

Výkonová elektronika je instalována ve vysokonapěťových sítích pro flexibilní střídavý přenos (FACTS), ale i ve vysokonapěťových stejnosměrných přenosových systémech (HVDC). Elektronika pro FACTS a HVDC je instalována pro zvýšení spolehlivosti při přetížení sítí. V současné době jsou běžně k dispozici technologie HVDC založené na principu tyristorů, jako je například IGBT technologie. Pro regulaci kvality elektrické energie slouží výkonová elektronika jako je STATCOM a VSC. Výkonová elektronika se dnes často zakládá na modulaci šířky pulsu (PWM). PWM je technologie, která je používána při řízení výkonových měničů. PWM řídí spínaný čas výkonových polovodičů (např. IGBT a tyristory) a frekvenci spínání.²⁴

2.4.6. Účinnost měničů a ztráty/úspory

V této sekci je popsána účinnost měničů pro transformaci napěťové hladiny, ale i mezi AC a DC a naopak. Střídače jsou nezbytná součástí systémů, kde transformujeme elektřinu z DC obvodů na AC jako je tomu například u FVE, která napájí běžné spotřebiče, ať už přes DC baterie nebo přímo. Awoniyi Taiwo ve své diplomové práci srovnává data účinnosti přenosu a transformace stejnosměrných dodávek od 18 různých autorů. Autor ve své práci porovnává účinnost rozvodů stejnosměrného proudu v nízkých a středních napěťových hladinách. Dále transformaci mezi střídavým a stejnosměrným proudem s jednocestným a dvoucestným usměrňovačem.

Tabulka 9: Účinnost měničů pro LVDC ²⁴

Voltage [Vdc]	System Size	Reported energy savings [%]	Source
< 120V	Single-family dwelling	Very low	Pellis (1997)
326V	Single dwelling	Very low	Engelen et al. (2006)
326V	Residential	-2% to +2.8%	Hammerstrom (2007)
326V	Residential	+2% to +5%	Waeckerlé (2011)
±750V	Residential	Up to +4.88%	Paaianen et al. (2009)
±200V	Residential complex + PV	+15%	Kakigano et al. (2010)
24V/380V	Residential & PV	+5% to +14%	Garbesi et al. (2011a)
22kV/325V	Large-residential	+2.5%	Dastgeer and Kalam (2009)
-	-	+10% to +35%	George (2006)
48V	1000 racks datacentre	+20%	George (2006)
380V	Data centre	-3% to +25%	Johnson (2012)
300V	Data centre	14.8% to 15.5%	Kim (2012)
380V	Data centre	+28% a)	Electric Power Research Institute (2010)
380V	Data centre	+1.25% b)	Rasmussen (2007)
13.8kV/2.4kV	~35MVA/32MW	~80% (100% AC load) / ~+40% (100% DC load)	Starke (2008)
32kV/325V	Test feeder	~1%	Nilsson and Sannino (2004)
N/A	Residential, Commercial, Manufacturing, Data centres	+19% to +25.32%	Savage et al. (2010)
28V	University library computers	+14% + 47% for appliance change to DC	Williamson (2011)

Z tabulky 9 je patrné, že v první skupině se výsledky mírně liší u každého autora. V kategorii domovních rozvodů byly pozorované ztráty/úspory mezi -2 % (ztráty) a 14 % (úspory). Ve stejné skupině byla nejvyšší zaznamenaná úspora 15 %, která byla přiřazena k domovnímu komplexu s fotovoltaickým systémem. Díky skutečnosti, že porovnávané varianty zahrnovaly FV systém, byly celkově pozorovány menší ztráty u DC sítí než u AC. Výše úspor závisela na velikosti systému (úroveň napětí), jestli byly uvažovány FV panely a účinnosti výkonové elektroniky. Ta ve stejnosměrných měničích dosahuje účinnosti mezi 89-97 %. ²⁴

Ve druhé skupině byly zaznamenány největší úspory pro datové centrum s energetickými úsporami blízcími se až 35 %. Nicméně, v jiných případových studiích pro obdobné datové centrum vykazovala energetická bilance ztráty energie -3 %. Nekonzistence v úsporách energie zaznamenané pro tuto skupinu závisí na účinnosti výkonových měničů a UPS, které byly použity při analýze.

Autor dále porovnával ztráty pro 3 různé systémy vedení a transformace v distribuční soustavě: AC-AC, DC-DC, AC-DC. V prvním případě (AC systém) dospěl k účinnosti 96,5-97,3 %. Pro čistě stejnosměrná vedení byla pozorována účinnost mezi 95,2-96,8 %. Ve smíšeném systému dosahovala účinnost hodnot 94,9-96,4 %. Ačkoli se může zdát, že zde vyšlo střídavé vedení lépe, autor poukazuje na to, že LVDC systém

a jeho účinnost závisí na fakta, že aby se zvýšila účinnost, musí být všechny střídavé spotřebiče nahrazeny stejnosměrnými.²⁴

2.4.7. Ztráty ve vedení

Ztráty v DC sítích, jak je vidět v rovnici níže, jsou přímo závislé na rezistivitě vodiče (v tomto případě měděné dráty), na druhé mocnině proudu. Rovnice 1 popisuje ztráty v DC rozvodech.

$$P_z = U * I = R * I * I = R * I^2 \quad (W) \quad (1)$$

Kde I je ztrátový proud, U je napětí v síti, a R je odpor vodiče.

Činné ztráty v třífázových (AC) sítích závisí obdobně jako u DC sítí přímo na druhé mocnině proudu a dále pak na odporu vodiče.

$$\Delta P = 3RI^2 = 3R(I_{re}^2 + I_{im}^2) \quad (W; \Omega, A) \quad (2)$$

Kde R je odpor, I je proud procházející vodiči, I_{re} je reálná složka proudu a I_{im} je jalová složka proudu. Je důležité si uvědomit, že činné ztráty jsou způsobeny i jalovou složkou proudu, obzvláště v sítích bez kompenzace, jako je tomu i v našem případě.⁹

Ztráty v rozvodech domu

V mém projektu jsem se nezabýval ztrátami na vedení ve výpočtech, jelikož varianta 1 i 2 obě počítají s využitím stávajících čtyř drátových rozvodů v kabelech a rozdíl ztrát pro obě varianty nepovažuji za signifikantní. Díky délce rozvodů se bude muset při nastavení měničů počítat s úbytky napětí na konci větví, které by ale měly být v normě.¹⁰

Rozdíl ve ztrátách pro AC a DC, který bude patrný, je způsobený především přeměnami elektřiny z AC na DC. Právě v měničích, ať už to jsou střídače nebo usměrňovače ztrácíme největší procento přenesené elektřiny. Spotřebiče se spínanými zdroji za použití DC rozvodů, může ušetřit 9-20 % spotřeby elektřinu, při použití FVE, a dokonce 14-25 % při kombinaci FVE a baterií. V průměru se dle studie dosahuje úspor silové složky elektřiny 7-16 %. Další výhodou použití DC u projektů s FVE je zvýšení životnosti, respektive zvýšení spolehlivosti systému díky redukci měničů. Úspory, které jsou dosaženy absencí měničů dosahují

5-14 % (liší se podle podílu spotřebičů se spínanými zdroji).¹⁵ Obecně by se tyto úspory mohly v obytných domech i zdvojnásobit. Tam, kde se používají například pračky, nebo myčky, a to díky faktu, že moderní „bílé“ spotřebiče s bezkartáčovými motory s permanentními magnety ušetří 5-15 % oproti starším verzím, které se přímo nedají připojit na DC.²⁴

2.5. Legislativní podmínky výroby a prodeje elektřiny

Pokud by bytové družstvo uvažovalo o výrobě vlastní elektřiny pro svoje spotřeby, nemusí žádat o licenci při instalaci FVE o maximálním výkonu do 10 kWp. Bytové družstvo je již výrobcem tepelné energie, kterou prodává vlastníkům/obyvatelům bytů. Elektrická energie z FVE by se primárně použila na chod plynové kotelny (tudíž jako podpora k výrobě tepla) a dále pak pro spotřeby společných prostor domu. O licenci tedy nemusí žádat, pokud nebude elektrickou energii prodávat. Tím se zjednoduší administrativní proces rekonstrukce. Kdyby se v budoucnu rozhodlo pro větší výrobu elektrické energie, například na pokrytí spotřeby bytů, muselo by žádat o udělení licence, dle legislativních podmínek, dle energetického zákona, níže.

1.5.1. Energetický zákon

Zákon 458 ze dne 28. listopadu 2000 o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů. Níže jsem vybral několik paragrafů zákona, které by se týkaly bytového družstva, kdyby se rozhodlo elektřinu prodávat.

Podnikání v energetických odvětvích (§ 3)

(1) Předmětem podnikání v energetických odvětvích je výroba elektřiny, přenos elektřiny, distribuce elektřiny a obchod s elektřinou, činnosti operátora trhu, výroba plynu, přeprava plynu, distribuce plynu, uskladňování plynu a obchod s plynem a výroba tepelné energie a rozvod tepelné energie.

(3) Podnikat v energetických odvětvích na území České republiky mohou za podmínek stanovených tímto zákonem fyzické či právnické osoby, do kterých spadá také bytové družstvo, pouze na základě licence udělené Energetickým regulačním úřadem.²⁸

Licence (§ 4)

(1) Licence se uděluje nejvýše na 25 let, a to na výrobu elektřiny, výrobu plynu, přenos elektřiny, přepravu plynu, distribuci elektřiny, distribuci plynu, uskladňování plynu, výrobu tepelné energie, rozvod tepelné energie.

(2) Licence na obchod s elektřinou nebo obchod s plynem se uděluje na dobu 5 let. Licence na činnosti operátora trhu se uděluje na dobu 25 let.²⁸

Podmínky udělení licence (§ 5)

(1) Podmínkou pro udělení licence fyzické osobě je a) dosažení věku 18 let, b) úplná způsobilost k právním úkonům, c) bezúhonnost, d) odborná způsobilost nebo ustanovení odpovědného zástupce podle § 6.

(2) Žádá-li o udělení licence právnická osoba, musí podmínky podle odstavce 1 písm. a) až c) splňovat členové statutárního orgánu. Dále je podmínkou pro udělení licence právnické osobě ustanovení odpovědného zástupce.

(3) Fyzická nebo právnická osoba, která žádá o udělení licence, musí prokázat, že má finanční a technické předpoklady k zajištění výkonu licencované činnosti a že splňuje další předpoklady, jako je například vlastnické nebo užívací právo.²⁸

Kvality a předpoklady odpovědného zástupce (§ 6)

Odpovědný zástupce musí splňovat všeobecné předpoklady, bezúhonnost a odbornou způsobilost. Ustanovení odpovědného zástupce držitele licence schvaluje Energetický regulační úřad na základě žádosti. Ustanovit odpovědného zástupce může pouze osoba oprávněná jednat podle obchodního rejstříku, jinak dle plné moci.

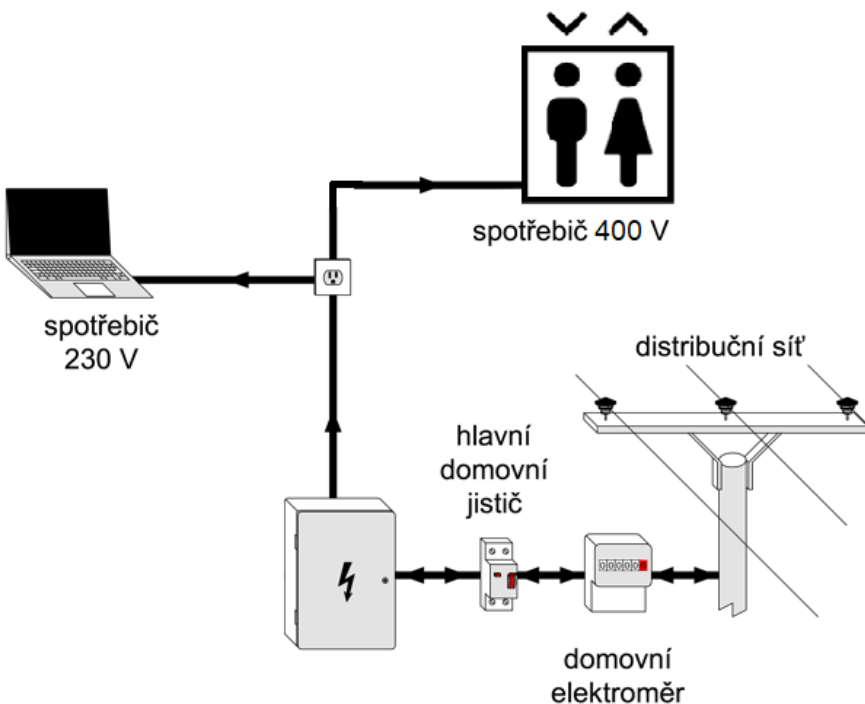
Odpovědným zástupcem právnické osoby nesmí být z důvodu možného konfliktu zájmů člen dozorčí rady nebo jiného kontrolního orgánu této právnické osoby. Vzhledem k tomu, že FVE dosahuje výkonu do 10 kWp, může odpovědný zástupce první tři roky sbírat zkušenosti a získat potřebnou praxi pro případ rozšíření FVE a žádosti o udělení licence.⁷

3. Vypracování variant

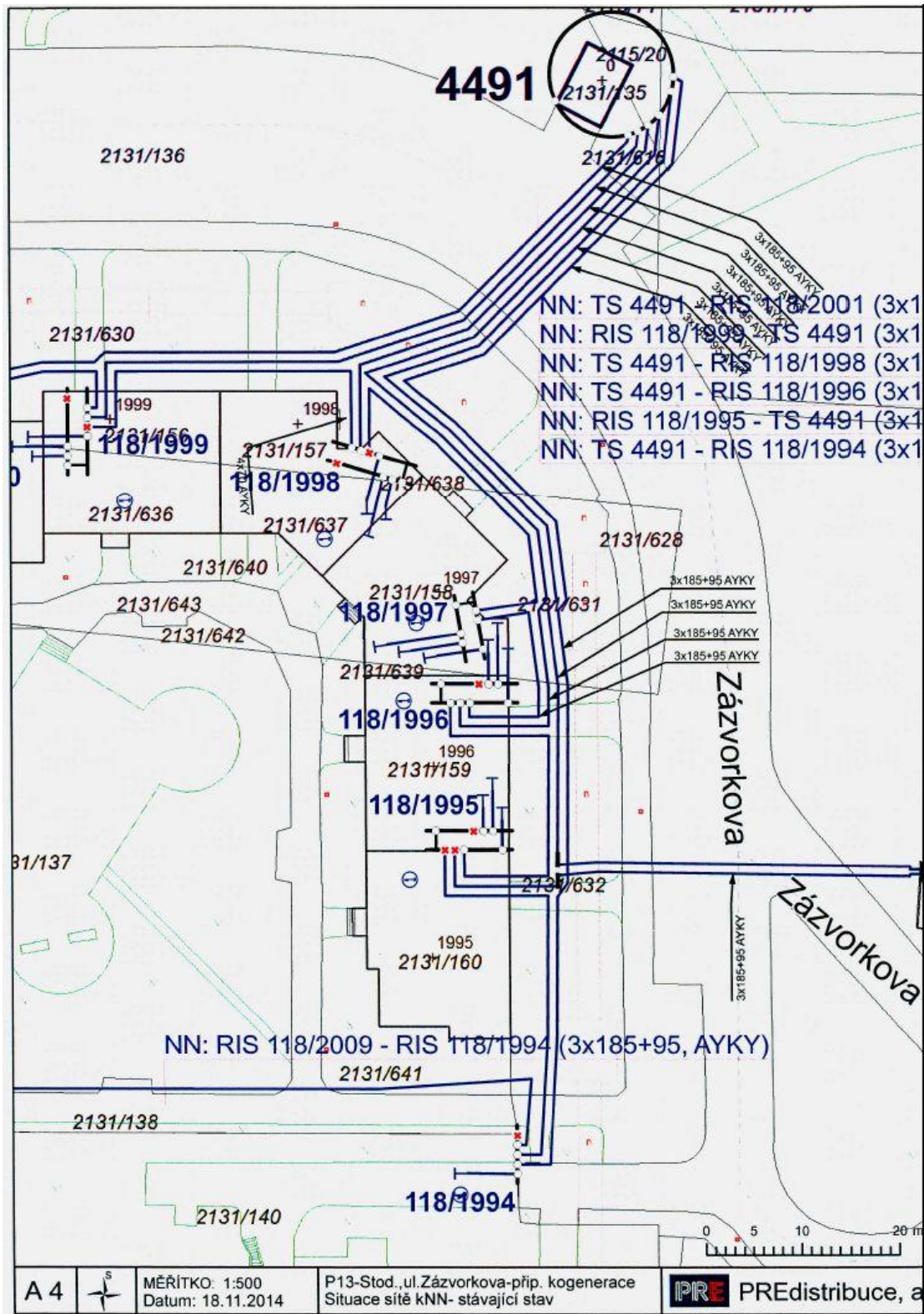
V subkapitolách níže se věnuji konkrétním variantám návrhů rekonstrukce elektrických obvodů v bytovém domě, možnostem zapojení spotřebičů díky střídavému a stejnosměrnému okruhu s využitím FVE na střeše a jejich porovnáním jak po technické, tak i ekonomické stránce.

3.1. Současný stav – varianta 0

Než začnu popisovat varianty rekonstrukce, je důležité si uvědomit, že existuje varianta tzv. „nedělat nic“, která počítá se zachováním současného stavu beze změny. Tato varianta slouží jako výchozí bod, od kterého se ostatní budou odrážet a porovnávat se s ní. Schéma rozvodů na obrázku 13, popisuje současné vedení kabelů z elektrické rozvodny NN. U této varianty jsem počítal pouze s provozními náklady, s tím, že by se každých 5 let prováděla periodická revize a s růstem cen silové složky elektřiny.



Obrázek 13: Schéma zapojení varianty 0, upraveno ze zdroje: www.solarniexperti.cz



Obrázek 14: Schéma současného napájení domu od distributora

3.1.1. Současné náklady na elektřinu

V současné době je spotřeba společných prostor a bytů rozdělena. Obyvatelé bytů si mohou volit svého prodejce elektrické energie. Společné prostory se dělí na šest OM. Prvních pět OM, které obsahují vždy výtah, světla a ventilátor pro zvolený vchod. Tyto odběrná místa jsou od pod správou obchodníka s elektřinou E.ON. OM kotelna, které je rozděleno na VT a NT, spravuje Energie ČS. Po spojení OM do jednoho, bude vybrán prodejce, který bude nabízet nejnižší cenu za tarif D25d nebo D26d.

Pro výpočty zahrnující nultou variantu byly zvoleny ceny dle faktur v přílohách A. Pro výpočet variant 1 a 2 počítám s cenami od Energie ČS tarifu D25d, který v současné době platí pro fakturaci kotelny.

3.2. Rekonstrukce rozvodu Elektřiny

V rámci projektu se počítá s rekonstrukcí rozvodu elektřiny z pohledu zásobování elektřinou bytového domu. Vzhledem k trendu zvyšování cen za rezervovaný příkon a počet OM, se již v minulosti počet OM společných prostor snížil z 11 na 6. Pro obě varianty, stejnosměrného i střídavého rozvodu, se počítá s redukcí počtu fakturovaných elektroměrů na jeden, s tím, že by byly zachovány dílčí informativní elektroměry pro jednotlivé větve vchodů.

3.2.1. Získání licence

Kdyby bytové družstvo usilovalo o získání licence, muselo by splnit podmínku, že zaměstná odpovědnou osobu s vysokoškolským vzděláním. Vzhledem k tomu, že se uvažuje o FVE do 10 kWp, nebyla by u odpovědné osoby vyžadována odborná praxe ve výši 3 let, a jako bonus, by právě tato odpovědná osoba mohla získat praxi právě tím, že by byla zaměstnaná v tomto sektoru.

Druhou podmínkou bývá schválení připojení zdroje do sítě od lokálního distributora, v tomto případě od PRE. Distributor by dále musel instalovat čtyřkvadrantní elektroměr.

Vzhledem k tomu, že bytové družstvo má licenci na prodej tepla obyvatelům domu, se investice do rozvodů kotelny bere jako náklady ekonomické činnosti výroby tepla a ceny materiálů a práce budou uvažovány bez DPH. Dále uvažuji, že elektřina vyrobená z FVE se nebude prodávat obyvatelům domu, ale bude použita pouze na napájení kotelny a dalších společných prostor domu. Tím odpadá administrativa s žádostí o licenci prodeje elektřiny z FVE. O licenci tedy družstvo nemusí žádat.⁷

3.2.2. Centralizace rozvodů elektřiny

Záměrem je soustředit všechny rezie a výtahy do jednoho rozvaděče v č.p. 1998, umístěném v chodbě ke kotelně. Tímto lze ušetřit stálé poplatky za 5 odběrných míst (10 196 Kč bez DPH za rok) a částečně i za proudové hodnoty jističů díky soudobosti a byl by připravený základ pro využití elektřiny vyrobené kogenerační jednotkou v budoucnu. Další výhodou sjednocení OM, je i sjednocení tarifů. V současné době bytové družstvo pro společné prostory využívalo tarify D02d a D25d. Ideální by bylo optimalizovat kotelnu tak, aby co nejvíce elektřiny odebírala v NT. Pak by se vyplatilo mít tarif D25d nebo spíše D26d.

Současný stav odběrů.

1995 3x25 A výtah a osvětlení

1996 3x25 A výtah a osvětlení

1997 3x25 A výtah a osvětlení

tj. celkem 3x75 A z kabelového přívodu v 1996

1998 3x25 A výtah a osvětlení + 3x50A kotelná – zvláštní kabel jen do 1998

1999 3x25 A výtah a osvětlení (bylo by třeba přepojit na kabel do 1998 v RIS ve venkovním zářezu 1997-8)

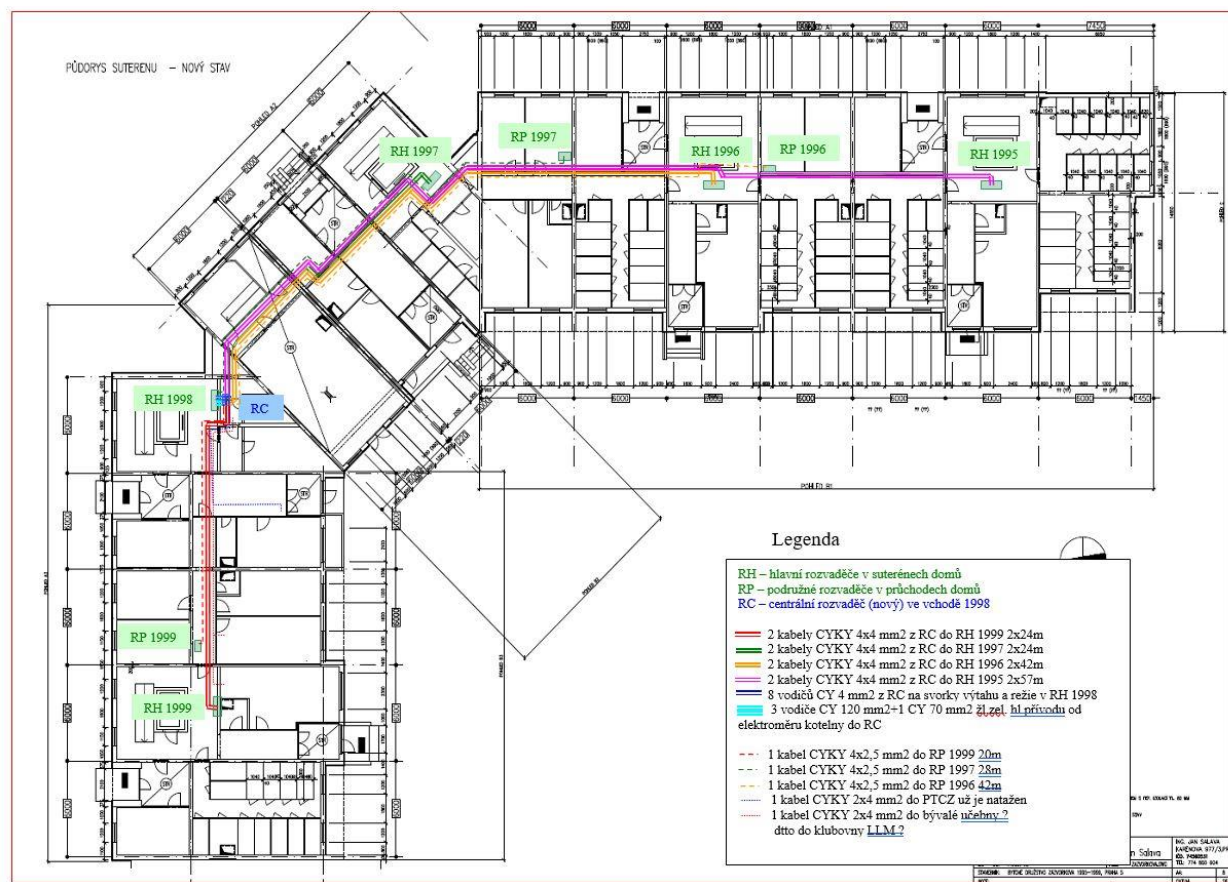
tj, celkem opět 3 x 100 A kabelem 1998.

Celkově tedy 3x175 A, což odpovídá zdánlivému výkonu 120,75 kVA.

Při uvažování koeficientu soudobosti společných odběrů 0,53 vychází maximální proud v jedné fázi na 92 A. Navrhuji tedy navýšit hodnotu předřazeného jističe centrálního odběru do kotelny na 3x100 A. Hodnota je cca 4krát vyšší než hodnota nejvyššího jističe jednotlivých odběrů (16–25 A), takže by měla být zajištěna selektivnost ochran, například i proti spínacímu nárazu LED světél, jejichž proudový náraz se může v krátký okamžik blížit i 10 A.

Výhody centrálního odběru:

- 1) úspora stálých poplatků
- 2) lze využít rekuperace výtahů
- 3) odpadá účtování o 5 fakturačních OM
- 4) přesto lze udržovat přehled o jednotlivých odběrech pomocí rozvaděčových elektroměrů
- 5) ušetřit lze i díky nižší ceně kWh přechodem na tarif D26 (ale musí být zajištěn převažující poměr výkonu akumulčních spotřebičů ku celkovému součtu instalovaných výkonů spotřebičů ve výši 70:30)
- 6) možnost připojení vlastních zdrojů elektřiny v budoucnu (KGJ).



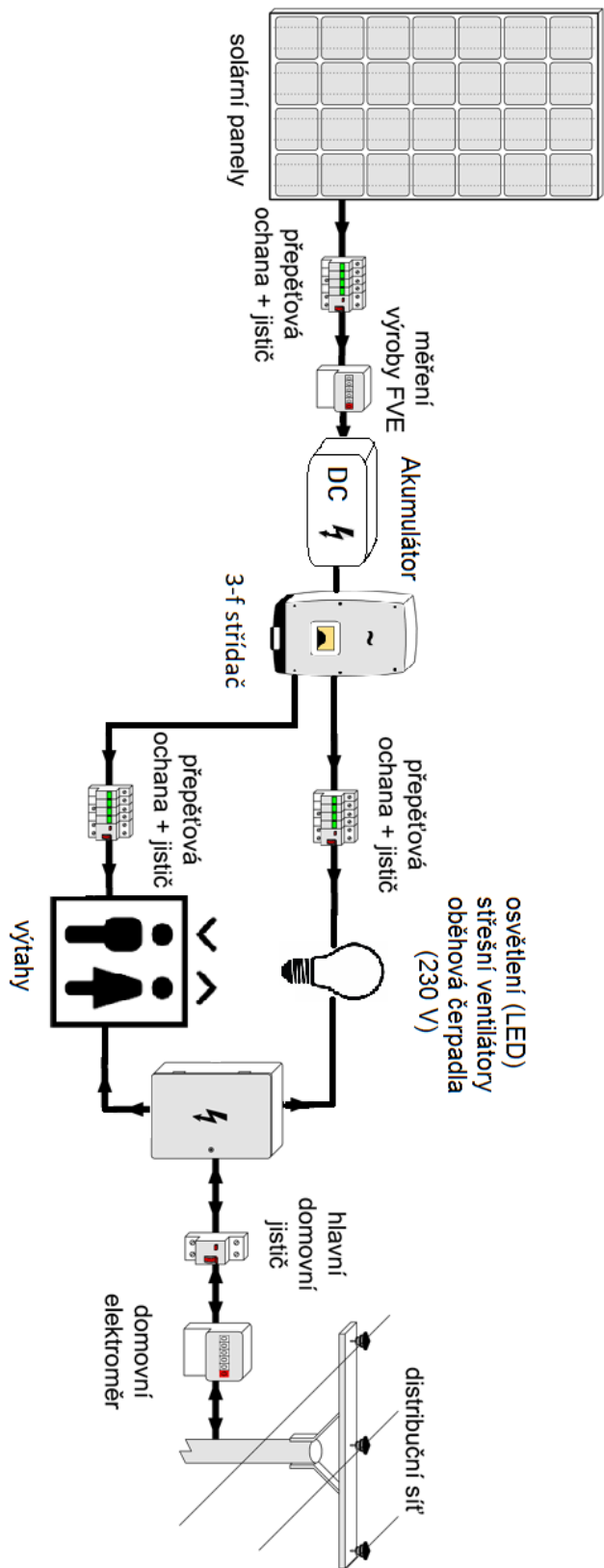
Obrázek 15: Schéma návrhu nových rozvodů po jejich centralizaci

Centrální rozvaděč by se umístil na stěně, v chodbě 1998, kde je na druhé straně dosavadní hlavní rozvaděč v suterénu v 1998, jak je znázorněno na schématu v obrázku 15. Přívod by byl ze svorek, na které je připojena kotelna, kde by se vodič musel protáhnout skrz zeď.

3.3. Schéma instalace varianty 1

První varianta rekonstrukce počítá se zachováním střídavého proudu ve všech společných prostorách bytového domu, podle schématu v obrázku 16. Nové rozvody by byly zapojeny ve hvězdicové topologii, jak jsem uvedl v sekci 3.2. I tak by se dala využít elektřina vyrobená přes FVE, která by se ale ukládala do baterií a z nich, přes střídač, by napájela stávající střídavé rozvody, dle obrázku 4. Akumulátory budou spojeny sériově (Celkem $47 \times 12 \text{ V} = 564 \text{ V}$). Baterie budou na výstupu připojeny na třífázový střídač, který bude mít dva výstupy, pro jednofázové spotřebiče i pro třífázové (výtahy, elektrická topná tělesa). Jak tato, tak i druhá varianta počítají se stejnosměrným kabelem spojujícím střešní FVE a akumulátory. Tento jedno kabelový dvou vodičový přívod by byl asi 70 m dlouhý.

Další výhodou obou systémů je možnost ostrovního provozu při výpadku proudu. Při takové události by se baterie chovaly jako záloha pro elektrické zámky dveří, ventilátory, světla a čerpadla kotelny. Střídače by musely být vybaveny vlastním zdrojem pulsů 50 Hz, nebo by se využilo malého třífázového generátoru, který by se musel manuálně nastartovat při výpadku. Výhodou této varianty je jednoduchost, která je dosažena díky využití stávajících rozvodů, a tedy představuje minimální zásahy do budovy. Výhodou oproti variantě 0 je získání záložního systému pro případ výpadku elektřiny a možnost nočního dobíjení baterií. Problémem zůstává to, že se elektřina z FVE musí měnit ze stejnosměrné na střídavou a poté v mnoha spotřebičích zpět na stejnosměrnou. To bude mít za následek ztráty v měničích, které budou celkově vyšší než u čistě stejnosměrné varianty 2. Výhodou bude mít tato varianta v jištění, které je snadněji proveditelné. Další výhodou bude v nižších pořizovacích nákladech zapříčiněné tím, že by se u varianty 2 musely pořídit frekvenční měniče ke spotřebičům se střídavými motory. Při pořizování baterií se musí dbát na to, aby dokázaly dodat krátkodobě dostatečný proud k rozběhu výtahů (i více najednou). K tomu musí být vybrán i správný střídač, tak aby byla zajištěna dostatečnost předřazených jističů (nyní $3 \times 25 \text{ A}$). Detailnější informace týkající se FVE a baterií jsem sepsal v sekci 3.5.



Obrázek 16: Schéma zapojení varianty 1 s FVE

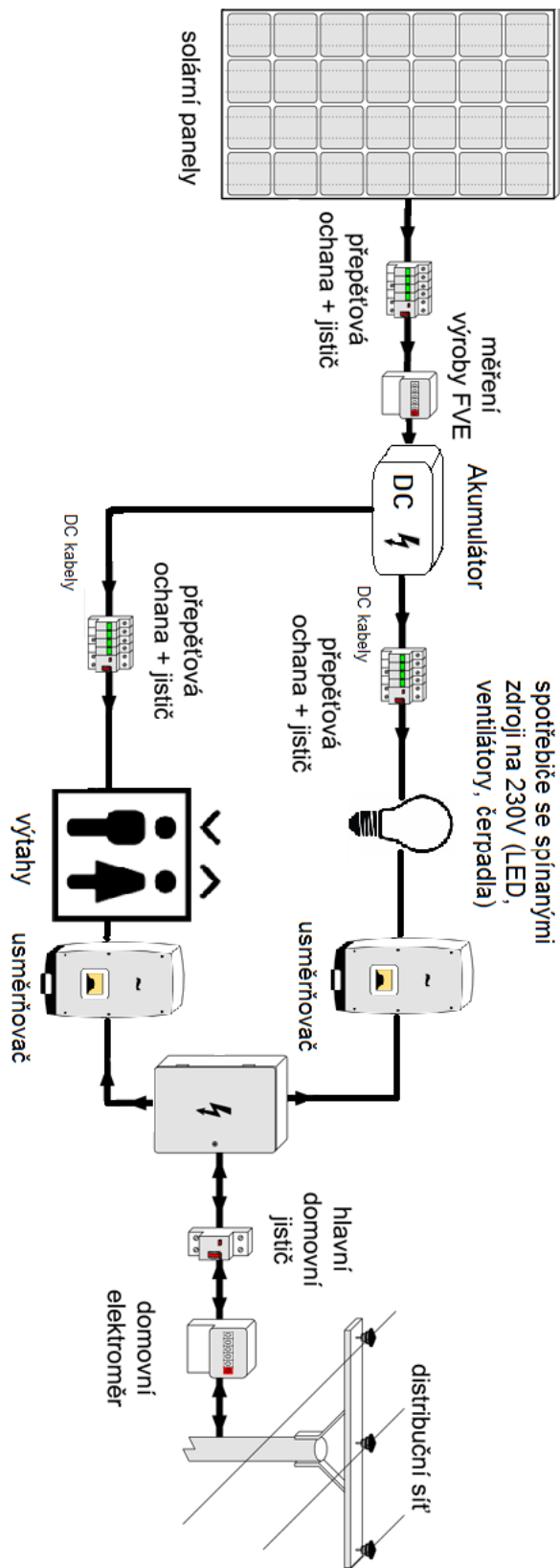
3.4. Schéma instalace varianty 2

Druhá varianta počítá se stejnosměrným napájením společných prostor domu zahrnujících plynovou kotelnu, osvětlení schodišť, výtahy a ventilaci, ze střešní FVE se zálohami v bateriích, dle schématu v obrázku 17. Spotřebiče jako jsou LED světla, výtahy a oběhová čerpadla s dosavadními frekvenčními měniči, mohou být připojena přímo na stejnosměrné napájení. U ostatních spotřebičů jako jsou starší typy čerpadel, se musí pořídit střídače, nebo zvážít koupi nových čerpadel. Výhodou této varianty je přímé napojení na fotovoltaický regulátor s MPPT technologií, který zaručí maximální přenos výkonu do akumulátorů a spotřebičů. Dále je pak možnost rekuperace brzdné energie výtahů značky KONE. Při realizaci této varianty odpadají dva stupně měničů mezi DC a AC a při zpětné přeměně z AC na DC ve spotřebičích se spínanými zdroji. Vzhledem k tomu, že přeměna elektřiny vykazuje ztráty, viz sekce 2.4.9., budou ztráty ve stejnosměrných obvodech obecně nižší. Rekuperací se dosáhne reálných úspor 12-13 %. Další výhodou nově položených stejnosměrných rozvodů, vedoucích ke snížení investice, je fakt, že DC potřebuje pro vedení elektřiny jen dva vodiče pro každý pól. Nižší počet vodičů vede k úsporám za materiál. V tomto projektu se ale budou využívat stávající YAKY a CYKY, které svojí dimenzí vyhovují standardům, a mohou se tedy použít. Důležité bude nové přeznačení kabelů a žil, aby nedošlo v budoucnu k záměně.

Zemnění stejnosměrných rozvodů je analogické jako u střídavých, ale rozdíly tam jsou. Vzhledem k tomu, že dům má rozvod TN-C, to znamená, že zelenožlutý vodič slouží jak pracovní, tak i jako ochranná nula (ochrana nulováním), tak třífázové rozvody jsou čtyř drátové. Toho by se dalo využít a mohla by se z nich udělat TN-S-DC soustava tak, že by zelenožlutý vodič byl uzemněn čistě pro ochranu, tzn. PE. První fáze by byl záporný pól a druhá fáze kladný pól 230 V DC a třetí fáze kladný pól 560 V (kvůli výtahům, kde je $1,414 \times 400 \text{ V} = 560 \text{ V}$). Otázkou by bylo, zda se má záporný pól zároveň uzemnit anebo ne. Protože když ne, tak z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem by musel člověk udělat dvoupólový dotyk, aby došlo k úrazu elektrickým proudem čili dotknout se zároveň mínusu a druhou rukou plusového pólu. Jinak si jednou rukou člověk může sahat na všechno, ale na druhou ruku si musí dát pozor, aby nedošlo k propojení okruhu. Nicméně dostane-li se plusový anebo minusový pól, díky porouchané izolaci, na vodivou kostru přístroje, tak se nic nestane, protože minus pól ani plus není uzemněn, takže žádný nadproud, který by vybavil jistič či pojistky a samočinně odpojil porouchaný stroj od zdroje, se neobjeví. To by znamenalo soustavu IT a ochranu oddělením obvodů.

Další možností by byla uzemnit minusový pól (analogie pracovní nuly) tedy DC soustava TN a pak by systém fungoval stejně jako u střídavého proudu. Když by se dostal poruchou plusový pól na vodivou kostru, dojde ke zkratu a odpojení od zdroje. Na další stránce je vypracované schéma varianty 2. Ta se liší

od varianty 1, tím že spotřebiče přímo napájeny z baterií stejnosměrným proudem. Pro pohony výtahů bude potřeba pořídit nové 6 - pulzní usměrňovače. Na vstupu napájení výtahu je usměrňovač, protože nejdříve je potřeba ze střídavého sdruženého napětí udělat stejnosměrné a pak jej rozstříhat přesně, aby se motor točil požadovanými otáčkami, tzn. podle proměnné frekvence toho třífázového střídače se budou měnit i otáčky motoru. U výtahů KONE jsou synchronní motory s permanentním magnetem na rotoru. Aby mohla fungovat rekuperační jednotka správně i u stejnosměrné varianty, je potřeba koupit nový FM, který umožňuje rekuperaci do stejnosměrné sítě.



Obrázek 17: Schéma zapojení varianty 2⁸

3.5. FVE a bateriový akumulátor

Při výběru FV systému jsem uvažoval dvě varianty umístění. První byla montáž na fasádní zdi a druhá byla na vodorovné střeše. První varianta by měla výhodu v tom, že fotovoltaické moduly jsou při takovém provedení lépe chráněny před náporu větru, a moduly jsou esteticky zabudovány do vzhledu budovy. Velkou nevýhodou této varianty je nemožnost natáčení panelů při změnách ročního období a svislá instalační poloha, která snižuje absorpci sluneční energie díky úhlu, který není optimální.

Druhá varianta, která byla preferována, je instalace na střeše. Výhodou je snadnější instalace a možnost směrování panelů na jižní světovou stranu. U panelů by se dále 2x za rok měnil sklon na 35° a 50°. Dělo by se tak na jaře a na podzim, aby byl zajištěn maximální odběr sluneční energie. Pomocí výpočtu z dat z webového programu PVGIS vyšlo, že by se změna sklonu měla provádět koncem března a začátkem října. Nabízela se i varianta natáčet sklon panelů častěji (například 4x za rok), která by ale znamenala větší náklady na údržbu, které by předčily úspory z takové varianty, a tak byla tato možnost zavržena.

Střešní fotovoltaický systém byl dimenzován na 10 kWp, který zajistí maximální hodinovou spotřebu společných spotřebičů během maxima letního dne. Bateriové akumulátory spojeny sériově aby bylo dosaženo požadované napájení. U varianty 2 budou pro jednofázové spotřebiče svorky na 230 V a pro třífázové spotřebiče budou svorky přes celou sérii 560 V. Celková kapacita bude dimenzována tak, aby v případě výpadku elektrické sítě, záložní systém udržel spotřebiče společných prostor (jako jsou například čerpadla kotelny) vchodu po minimálně jednu hodinu.

Pokud se baterie nenabíjí přes den ze slunce, může se využít cen při nízkém tarifu a nočního nabíjení. Je důležité si uvědomit, že životnost FV panelů a baterií se může lišit. Životnost FVE (kabelů a panelů) se pohybuje podle výrobců mezi 20 a 25 lety, naproti tomu životnost baterií je silně závislá na počtu cyklů a pohybuje se mezi 5-15 lety. Já budu uvažovat vzhledem jejich funkci v bytovém domě 10 let. ⁶

3.5.1. Dimenzování FVE

Jak už jsem zmiňoval v předchozím odstavci, FVE jsem dimenzoval tak, aby byla při běžném provozu schopna napájet převážnou spotřebu společných prostor. Při instalovaném výkonu 10 kWp by to znamenalo montáž 35 panelů při výkonu 285 Wp na jeden panel. Rozloha střešní plochy poskytne dostatek prostoru pro usazení panelů i manipulaci s nimi při instalaci. V letních měsících se přebytky elektřiny, která se nespoteřebuje, bude převádět do baterií a v zimních měsících se nedostatek vyrobené elektřiny bude kompenzovat z baterií, které se budou dobíjet v nízkém tarifu.



Obrázek 18: Střešní prostor na instalaci FV panelů ¹¹

3.5.2. Simulace podle PVGIS

Průměrná velikost vyrobené elektrické energie byla spočítána pomocí webového programu PVGIS. Pro 2 varianty výkonu FVE: 5 kWp a 10 kWp.

A. Výkon 5 kWp

Zadané hodnoty:

Materiál	Krystalický křemík
Souřadnice	
Zeměpisná šířka (desetinné stupně):	50.046
Zeměpisná délka (desetinné stupně):	14.334
Databáze:	PVGIS-SARAH
Jmenovitý výkon FV systému:	5.0 kWp
Systémové ztráty:	14 %
Pevný sklon modulů:	35° a 50°
Azimuth modulů:	0° tj. jižní světová strana

Tabulka 10 popisuje generované výpočty pro úhly naklonění 35° a 50° ze zadaných hodnot výše. Ze zmíněné tabulky byl vyhotoven graf porovnávající vyrobenou elektřinu pro právě dva úhly naklonění. V něm je zřetelně vidět, že od konce března je efektivnější mít úhel naklonění 35° a od začátku října 50°.

Tabulka 10: Vygenerovaná tabulka webovým programem PVGIS pro 5 kWp

Měsíc	Hodnoty při úhlu naklonění 35°				Hodnoty při úhlu naklonění 50°			
	Ed	Em	Hd	Hm	Ed	Em	Hd	Hm
Leden	5.94	184.14	1.37	42.50	6.58	203.89	1.51	46.66
Únor	9.55	267.27	2.20	61.65	10.18	285.01	2.34	65.52
Březen	14.32	443.97	3.44	106.71	14.57	451.82	3.51	108.67
Duben	20.01	600.37	4.96	148.77	19.44	583.12	4.82	144.68
Květen	20.33	630.12	5.12	158.63	18.97	588.08	4.78	148.28
Červen	21.12	633.61	5.43	163.02	19.38	581.37	4.99	149.75
Červenec	21.04	652.20	5.51	170.95	19.45	602.8	5.1	158.04
Srpen	19.54	605.81	5.06	157.01	18.69	579.3	4.85	150.21
Září	17.12	513.64	4.30	129.11	17.19	515.79	4.33	129.81
Říjen	11.34	351.64	2.77	85.86	11.93	369.88	2.91	90.2
Listopad	6.39	191.70	1.52	45.64	6.99	209.67	1.65	49.57
Prosinec	5.69	176.38	1.32	40.85	6.45	199.82	1.48	45.82

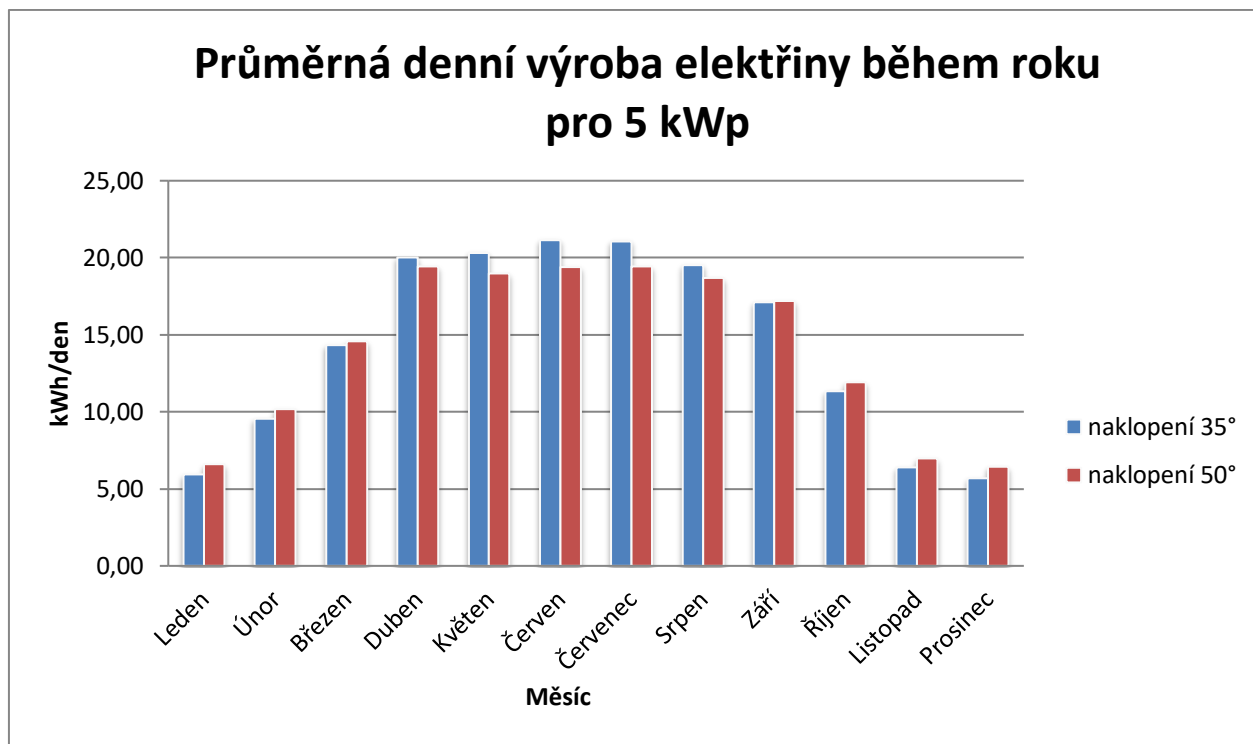
Poznámka:

Ed: Průměrná denní výroba elektřiny z daného systému (kWh)

Em: Průměrná měsíční výroba elektřiny z daného systému (kWh)

HD: Průměrný denní úhrn globálního záření na metr čtvereční přijaté moduly daného systému (kWh/m²)

Hm: Průměrný součet globálního záření na metr čtvereční obdržené moduly daného systému (kWh/m²)



Graf 12: Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce pro dva úhly naklonění pro výkon 5kWp

B. Výkon 10 kWp

Zadané hodnoty byly shodné jako v části pro 5 kWp, kromě instalovaného výkonu, který byl dvojnásobný.

Tabulka 11: Vygenerovaná tabulka webovým programem PVGIS pro 10 kWp

Měsíc	Hodnoty při úhlu naklonění 35°				Hodnoty při úhlu naklonění 50°			
	Ed	Em	Hd	Hm	Ed	Em	Hd	Hm
Leden	5.94	184.14	1.37	42.50	6.58	203.89	1.51	46.66
Únor	9.55	267.27	2.20	61.65	10.18	285.01	2.34	65.52
Březen	14.32	443.97	3.44	106.71	14.57	451.82	3.51	108.67
Duben	20.01	600.37	4.96	148.77	19.44	583.12	4.82	144.68
Květen	20.33	630.12	5.12	158.63	18.97	588.08	4.78	148.28
Červen	21.12	633.61	5.43	163.02	19.38	581.37	4.99	149.75
Červenec	21.04	652.20	5.51	170.95	19.45	602.8	5.1	158.04
Srpen	19.54	605.81	5.06	157.01	18.69	579.3	4.85	150.21
Září	17.12	513.64	4.30	129.11	17.19	515.79	4.33	129.81
Říjen	11.34	351.64	2.77	85.86	11.93	369.88	2.91	90.2
Listopad	6.39	191.70	1.52	45.64	6.99	209.67	1.65	49.57
Prosinec	5.69	176.38	1.32	40.85	6.45	199.82	1.48	45.82

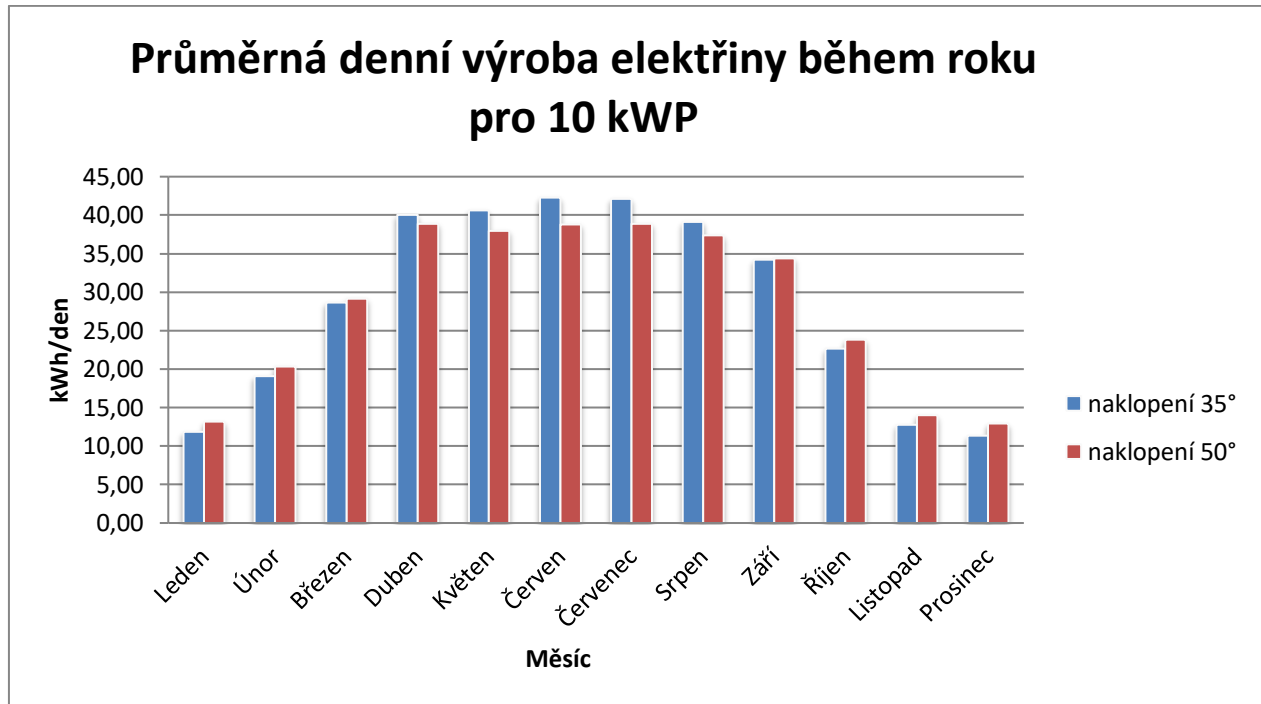
Poznámka:

Ed: Průměrná denní výroba elektřiny z daného systému (kWh)

Em: Průměrná měsíční výroba elektřiny z daného systému (kWh)

HD: Průměrný denní úhrn globálního záření na metr čtvereční přijaté moduly daného systému (kWh/m²)

Hm: Průměrný součet globálního záření na metr čtvereční obdržené moduly daného systému (kWh/m²)



Graf 13: Průměrná denní výroba elektřiny pro jednotlivé měsíce pro dva úhly naklonění pro výkon 10 kWp

Vzhledem ke skutečnosti, že denní odběr elektřiny společných prostor je okolo 100 kWh, jak bylo změřeno (sekce 2.2), jsem se rozhodl dále pokračovat s variantou s vyšším výkonem, a to 10 kWp. V případě plně nabitých baterií a situaci, že by FVE vyrobila více elektřiny, než se spotřebovává, mohou přebytky napájet dvě 12 kW topná tělesa v boilerrech. ¹⁸

3.5.3. Kapacita a výběr baterií

Kapacita a výběr baterií byly podřízeny spotřebě a požadavkům na zálohu. Zvolil jsem 12 V baterii s kapacitou 20 Ah, která teoreticky poskytne dostatečný proud (až 230 A po dobu 5 s) na chod všech výtahů zároveň. Baterie se bude opakovat v sériovém zapojení 47x, a tím se docílí napětí 560 V. Bude možnost napojení na svorky 20 baterií v sérii k napájení jednofázových spotřebičů. Baterie budou poskládány u

stěny v kotelně, tak, aby byla zachovaná přístupnost pro údržbu a servis. Celková kapacita baterií pro obě investiční varianty bude 940 Ah. Celková kapacita pokryje spotřebu až do výše 11,2 kWh (560 V x 20 Ah = 11,2 kWh). Baterie ale nemůžeme úplně vybit, jinak bychom značně zkrátily jejich životnost. Regulace bude nastavena tak, aby přešla zdroj pro spotřebiče na síť, jakmile kapacita klesne na 40 %. Z toho vyplývá, že bude k dispozici kapacita 564 Ah. To vystačí na plnou zálohu na více než 60 minut.¹

Napájení bude pro obě varianty prováděno díky regulátorům. Zvolil jsem regulátory tak, aby byly dimenzované na instalovaný výkon a použité napětí. Protože běžně dostupné kontrolní jednotky v Evropě pracují s hladinami nabíjecího napětí do 48 V, jsem zvolil Asijské výrobce, viz příloha D a E.

Pro volbu vhodného výkonu FVE a kapacitu záložních baterií je třeba znát denní spotřebu objektu, kde se systém instaluje, tak aby baterie poskytly dostatek výkonu (proudu) v krátkém časovém okamžiku.

3.5.4. Výběr panelů

Solární panely jsem vybral takové, které mají výbornou účinnost i během nízké intenzity světla a na rozdíl od mnoha asijských levnějších panelů mají firemní zastoupení v ČR. Nominální výkon jednoho panelu je 285 Wp (max. napětí 30 V). Z toho vyplývá, že se se uvažuje s instalací 35 panelů. 14 panelů bude instalováno v sérii pro 400 V napěťový okruh a regulováno nabíjecí jednotkou SAKO²⁰ a zbylých 21 panelů bude instalováno v sériích po 7 pro 240 V napájecí okruh přes regulátor Sunpal.²³ Rozdělení instalovaného výkonu bude 60 % pro jednofázové spotřebiče a 40 % pro třífázové, to odpovídá denní spotřebě.⁵

3.5.5. Investice FVE AC

Tabulka 12: Investiční náklady na instalaci FVE varianty 1 – AC

INVESTIČNÍ VÝDAJE	Zařízení	Typ	Počet kusů/metrů	cena za kus bez DPH	Cena celkem	
Střešní část:	FV panel	Polykrystalický Q-Cells 285Wp	35	3 941.00 Kč	137 935.00 Kč	
	Nosné konstrukce		35	1 000.00 Kč	35 000.00 Kč	
	Příčné nosníky (hliník)		10	2 100.00 Kč	21 000.00 Kč	
	Ochrana na vodiče		175	50.00 Kč	8 750.00 Kč	
	Konektor připojovací		35	160.00 Kč	5 600.00 Kč	
	Konektor slučovací		35	350.00 Kč	12 250.00 Kč	
	Střešní kabeláž		1	20 000.00 Kč	20 000.00 Kč	
	Střešní průchodka		2	300.00 Kč	600.00 Kč	
	Montáž		35	500.00 Kč	17 500.00 Kč	
Rekonstrukce rozvodů kotelny a zálohy	Baterie	CSB 12V 20Ah olověný akumulátor DeepCycle AGM M5	47	1678.00 Kč	78 866.00 Kč	
	Regulátor napájení	Sako MPPT Solární nabíječ 72-480V	1	20 000.00 Kč	20 000.00 Kč	
	Elektroměr	MANELER 9902M	2	850.00 Kč	1 700.00 Kč	
	Rozvaděč	WS, 250x250x155, krytí IP66	1	1 240.00 Kč	1 240.00 Kč	
	Jistič	Jistič BM018332T	2	490.00 Kč	980.00 Kč	
	Projekt, administrativa, revize			1	35 000.00 Kč	35 000.00 Kč
	Rekupační jednotka		1	25 000.00 Kč	25 000.00 Kč	
	Práce a doprava			1	60 000.00 Kč	60 000.00 Kč
Rekonstrukce rozvodů společných prostor	Jistič	1x16A	5	335.00 Kč	1 675.00 Kč	
	Elektroměr	3F	5	850.00 Kč	4 250.00 Kč	
	Jistič	3x50A	5	500.00 Kč	2 500.00 Kč	
	Elektroměr	3F	3	850.00 Kč	2 550.00 Kč	
	Jistič	3x100 A	1	1 000.00 Kč	1 000.00 Kč	
	Jistič	3x25A	5	450.00 Kč	2 250.00 Kč	
	Kabel	CYKY 4x4mm ²	300	38.00 Kč	11 400.00 Kč	
	Kabel	CYKY 4x2mm ²	40	25.00 Kč	1 000.00 Kč	
	Kabel	CYKY 4x2,5mm ²	90	27.00 Kč	2 430.00 Kč	
AC varianta	Střídač 1,3 fázový	Střídač Rosen hybrid třífázový 15 kW	1	29 250.00 Kč	29 250.00 Kč	
Počáteční investice					539 726.00 Kč	

Tabulka 13: Ostatní náklady FVE varianty 1 – AC

PROVOZNÍ VÝDAJE				
Údržba				15000 Kč/rok
Spotřeba měničů				2500 Kč/rok
		Počet	cena za 1 bez DPH	Celkem
Výměna baterií	Po 10 letech	47	1 678.00 Kč	78 866.00 Kč
	Montáž	1		5 000.00 Kč

3.5.6. Investice FVE DC

Tabulka 14: Investiční náklady na instalaci FVE varianty 2 – DC

INVESTIČNÍ VÝDAJE	Zařízení	Typ	Počet kusů/metrů	cena za kus bez DPH	Cena celkem
Střešní část:	FV panel	Polykrystalický Q-Cells 285Wp	35	3 941.00 Kč	137 935.00 Kč
	Nosné konstrukce		35	1 000.00 Kč	35 000.00 Kč
	Příčné nosníky (hliník)		10	2 100.00 Kč	21 000.00 Kč
	Ochrana na vodiče		175	50.00 Kč	8 750.00 Kč
	Konektor přípojovací		35	160.00 Kč	5 600.00 Kč
	Konektor slučovací		35	350.00 Kč	12 250.00 Kč
	Střešní kabeláž		1	20 000.00 Kč	20 000.00 Kč
	Střešní průchodka		2	300.00 Kč	600.00 Kč
	Montáž		35	500.00 Kč	17 500.00 Kč
Rekonstrukce rozvodů kotelny a zálohy	Baterie	CSB 12V 20Ah olověný akumulátor DeepCycle AGM M5	47	1678.00 Kč	78 866.00 Kč
	Regulátor napájení	Sako MPPT Solární nabíječ 72-480V	1	20 000.00 Kč	20 000.00 Kč
	Elektroměr	MANELER 9902M	2	850.00 Kč	1 700.00 Kč
	Rozvaděč	WS, 250x250x155, krytí IP66	1	1 240.00 Kč	1 240.00 Kč
	Jistič	Jistič BM018332T	2	490.00 Kč	980.00 Kč
	Projekt, administrativa, revize		1	35 000.00 Kč	35 000.00 Kč
	Rekuperační jednotka		1	25 000.00 Kč	25 000.00 Kč
	Práce a doprava		1	60 000.00 Kč	60 000.00 Kč
Rekonstrukce rozvodů společných prostor	Jistič	1x16A	5	335.00 Kč	1 675.00 Kč
	Elektroměr	3F	5	850.00 Kč	4 250.00 Kč
	Jistič	3x50A	5	500.00 Kč	2 500.00 Kč
	Elektroměr	3F	3	850.00 Kč	2 550.00 Kč
	Jistič	3x100 A	1	1 000.00 Kč	1 000.00 Kč
	Jistič	3x25A	5	450.00 Kč	2 250.00 Kč

	Kabel	CYKY 4x4mm ²	300	38.00 Kč	11 400.00 Kč
	Kabel	CYKY 4x2mm ²	40	25.00 Kč	1 000.00 Kč
	Kabel	CYKY 4x2,5mm ²	90	27.00 Kč	2 430.00 Kč
DC varianta	Usměrňovač	jednofázový 5 kW	1	11 500.00 Kč	11 500.00 Kč
	Usměrňovač	třífázový 10 kW	1	21 500. 00 Kč	21 500. 00 Kč
	Kabel pro čerpadla bez FM	Cyky 4x2,5 mm ²	10	27.00 Kč	27.00 Kč
	Montáž - Přepojení kabelů	Okruh pro kotlové ventilátory	1	5 000.00 Kč	5 000.00 Kč
	Počáteční investice				568 746.00 Kč

13

Tabulka 15: Ostatní náklady FVE varianty 2– DC

PROVOZNÍ VÝDAJE				
Údržba				15000 Kč/rok
Spotřeba měničů				2500 Kč/rok
		Počet	cena za 1 bez DPH	Celkem
Výměna baterí	Po 10 letech	47	1 678.00 Kč	78 866.00 Kč
	Montáž	1		5 000.00 Kč

4. Vyhodnocení variant z hlediska projektu

Kapitola níže popisuje vyhodnocení variant projektu z hlediska investic a jejich rentabilit. Pro komplexní zhodnocení je potřeba vyhodnotit jednotlivé varianty při měnících se vstupních parametrech, které simulují různé budoucí vývoje. Mezi tyto vstupní parametry řadíme například výši diskontu, vývoj cen silové elektřiny, změny v počáteční investici nebo reálný rozsah úspor v měničích.

4.1. Vstupní faktory ovlivňující projekt

4.1.1. Životnost

Základními předpoklady pro srovnání variant je stejný účel a životnost, protože právě životnost budeme uvažovat jako délku hodnocení projektu. Životnost vychází z dat uváděných výrobcí komponentů, v tomto případě hlavně fotovoltaických panelů. U záložního systému (baterií) uvažujeme životnost 10 let, proto budeme muset tuto investici v polovině délky hodnocení projektu opakovat.

4.1.2. Diskontní míra

Esenciálním vstupním parametrem, bez kterého se u hodnocení investice v čase neobejdeme, je diskont. Ten zahrnuje ušlou příležitost alternativní investice, riziko investice i časovou hodnotu peněz, které by měli být vyšší, než bezriziková investice (státní dluhopisy).² Diskont jsem vypočítal jako výnosnosti vlastního kapitálu pomocí modelu CAPM.

$$r_e = r_f + \beta(r_m - r_f) \quad [\%] \quad (3)$$

Kde:

- r_f : bezriziková úroková míra (výnosnosti);
- β : systematické (tržní) riziko. Vychází z odhadů pro dané odvětví podnikání;
- $(r_m - r_f)$: riziková přirážka. Je rozdíl mezi očekávanou výnosností celého trhu a bezrizikové míry.

Koeficient beta byl stanovený jako odhad pro odvětví podnikání v energetice, který se uvádí a je aktualizován na stránkách profesora Damodarana. Po dosazení hodnot do rovnice vyšel diskont 4,10 %.⁴

4.1.3. Inflace

Inflační cíl ČNB je podle jejich stránek stanovený na 2 %. Prognóza pro první a druhé pololetí 2021 je 2,3 % a 2,1 %, respektive. Já ve své práci budu uvažovat raději 2,4 %.¹⁹

4.1.4. Vývoj cen silové elektřiny

Cena silové elektřiny na burze je v současné době nejnižší od července 2018, ale již 2 měsíce stagnuje. V současné době je cena na burze okolo 1100 Kč/MWh. Kvůli pandemii COVID-19 je těžké přesněji odhadovat budoucí vývoj, ale vzhledem k inflaci a očekávané prognóze trendu jsem zvolil růst 3 %.²⁷

4.2. Hodnotící kritéria efektivnosti projektu

Pro porovnání variant jsem zvolil několik kritérií. Nejdříve jsem se zaměřil na srovnání dob návratnosti jak prosté, která není zatížena diskontem, tak i reálné, která diskont zahrnuje.

4.2.1. Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti se používá, jako základní, rychlý ukazatel ekonomického hodnocení investic. Vzhledem k tomu, že nezahrnuje diskont, je především v delším časovém horizontu nepřesná a dá se vypočítat následovně:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad [let] \quad (4)$$

Kde:

- IN – investiční výdaje na projekt
- T_s – prostá doba návratnosti
- CF – roční přínosy projektu po jeho realizaci

4.2.2. Reálná doba návratnosti

Reálná doba se vypočítá obdobně jako prostá, s tím, že ve jmenovateli přibude odúročitel, ja je vidět v rovnici 5, níže. Vzhledem k tomu, že dobu životnosti projektu uvažují 20 let, je zřejmé, že časová hodnota peněz má v takovémto horizontu svoji roli, proto budu uvažovat reálnou dobu návratnosti za vhodnější.

$$IN = \sum_{t=1}^{T_{ds}} CF_t \cdot (1 + r)^{-1} \quad [let] \quad (5)$$

Kde:

- IN – investiční výdaje na projekt
- T_{ds} – reálná doba návratnosti
- CF – roční přínosy projektu po jeho realizaci
- r – diskontní míra

- $(1 + r)^{-1}$ - odúročiteľ

4.2.3. Porovnaní dle TCO

Celkové náklady spojené s vlastnictvím vyjadřují celkové hodnoty všech peněžních toků spojené s projektem.

$$TCO = \sum_{t=1}^{T_z} CF_t - IN \quad [Kč] \quad (6)$$

Kde

- T_z - doba životnosti projektu

4.2.4. Porovnaní dle čisté současné hodnoty - NPV

NPV, nebo také čistá současná hodnota, vyjadřuje celkové diskontované současné hodnoty všech peněžních toků souvisejících s projektem, dle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN \quad [Kč] \quad (7)$$

4.2.5. Porovnaní dle IRR

Dalším hodnotícím kritériem je vnitřní výnosové procento neboli IRR. Uvádí procento výdělku investice, za předpokladu, že NPV se rovná 0. A z této podmínky se také vypočítá následovně:

$$\sum_{t=1}^{T_{ds}} CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad [\%] \quad (8)$$

4.2.6. Porovnaní dle RCF

Posledním hodnotícím kritériem byl roční ekvivalentní hotovostní tok. Tento hodnotící prvek byl vypočítaný jako čistá současná hodnota vynásobená anuitním faktorem.

$$RCF = \frac{q^{T_z \times (q-1)}}{q^{T_z} - 1} * NPV \quad (9)$$

- Q – koeficient časové hodnoty peněz

4.3. Hodnocení variant

Tato sekce práce vyhodnocuje jednotlivé varianty podle parametrů, které byly popsány výše. Důraz byl kladen především na NPV, jak je dále vidět v sekci popisující citlivostní analýzu. V excelu jsem vytvořil simulaci hotovostních toků za dobu životnosti projektu pro všechny varianty. Následující tabulka porovnává číselné výstupy hodnocení pro základní nastavení vstupů, následovně: Diskont 4.21 %, meziroční růst cen elektřiny 3 %, úspory v síti díky přímému napojení DC-DC 7 %. Celý výpočet se nachází v příloze C a F.

Tabulka 16: Srovnání ekonomického hodnocení variant projektu

	Prostá návratnost	Reálná návratnost	TCO	NPV	IRR	RCF
Varianta 0	-	-	-870.07 Kč	-497.67 Kč	-	-37.30 Kč
Varianta 1	11 let 12 měs.	15 let 4 měs.	525.77 Kč	151.08 Kč	3.57%	11.32 Kč
Varianta 2	9 let 7 měs.	13 let 6 měs.	696.55 Kč	250.07 Kč	4.15%	18.74 Kč

Z tabulky 16 je patrné, že pro základní nastavení parametrů dle CAPM modelu, výše investice a odhadu růstu elektřiny vychází lépe investice do varianty 2 – DC. Ta i přes vyšší počáteční investici (vyšší o cca 5 %) oproti střídavé variantě přináší větší hotovostní toky z úspor elektřiny. Nulová varianta je zde počítána z růstu cen nákladů na elektřinu a diskontu. Hodnoty pro varianty 1 a 2 představují rozdíly mezi právě nulovou variantou a variantami s FVE.

4.3.1. Hodnocení varianty 0

Ačkoli s nulovou variantou nepočítám ve výpočtech, neznamená to, že se nejedná o žádné výdaje. Nulová varianta znamená, že se nerealizuje ani jedna z variant FVE. Nevýhodou této varianty je, že se platí poplatky za 6 OM, které by mohli být sloučeny v jedno. Další nevýhodou je nepřipravenost rozvodů, včetně rozvaděče na potenciální instalaci kogenerační jednotky v kotelně. Poslední velkou nevýhodou této varianty vidím v neexistujícím záložním systému, které by udržel čerpadla kotelny v chodu při výpadku dodávky elektřiny, stejně jako elektronických zámků a čipů, které nejsou v současnosti nijak zálohovány. Současný odběr elektřiny společných prostor se ročně pohybuje okolo 35 MWh a stojí ročně okolo 167 tis. Kč (dá se vyčíst v příloze A). Varianta 0 byla dále popsána v sekci 2.

4.3.2. Hodnocení varianty 1

Pro tuto variantu bude všechna vyrobená elektřina z FVE spotřebována ve společných prostorách domu. Oproti druhé variantě, má ta první nižší počáteční investici přibližně o 5 %. Na druhou stranu má nižší roční příjmy, díky ztrátám v měničích ve spotřebičích se spínanými zdroji. Výhoda této varianty, která se nedá vyčíslit v číslech, spočívá v tom, že střídavé obvody jsou naprosto běžná záležitost a při jakékoli poruše nebude obtížné najít profesionála, který diagnostikuje případné problémy a rovnou je i opraví. Je tedy uživatelsky přijatelná v tomhle směru.

4.3.3. Hodnocení varianty 2

I pro druhou variantu bude vyrobená elektřina z FVE spotřebována ve společných prostorech domu. Jak už jsem zmiňoval, tato varianta má o 5 % vyšší náklady na počáteční investici oproti první variantě. Její výhoda spočívá v nižších provozních nákladech, které jak je vidět v tabulce 15 v úvodu sekce 4.3, pomohou zvýšit rentabilitu investice. Cena této varianty byla sice vyšší než varianty 1, ale při porovnání s cenami FVE na klíč, u které se platí i další položky za projekt, se cena této varianty 2 obecně pohybuje v nižších hladinách.²¹

4.4. Citlivostní analýza

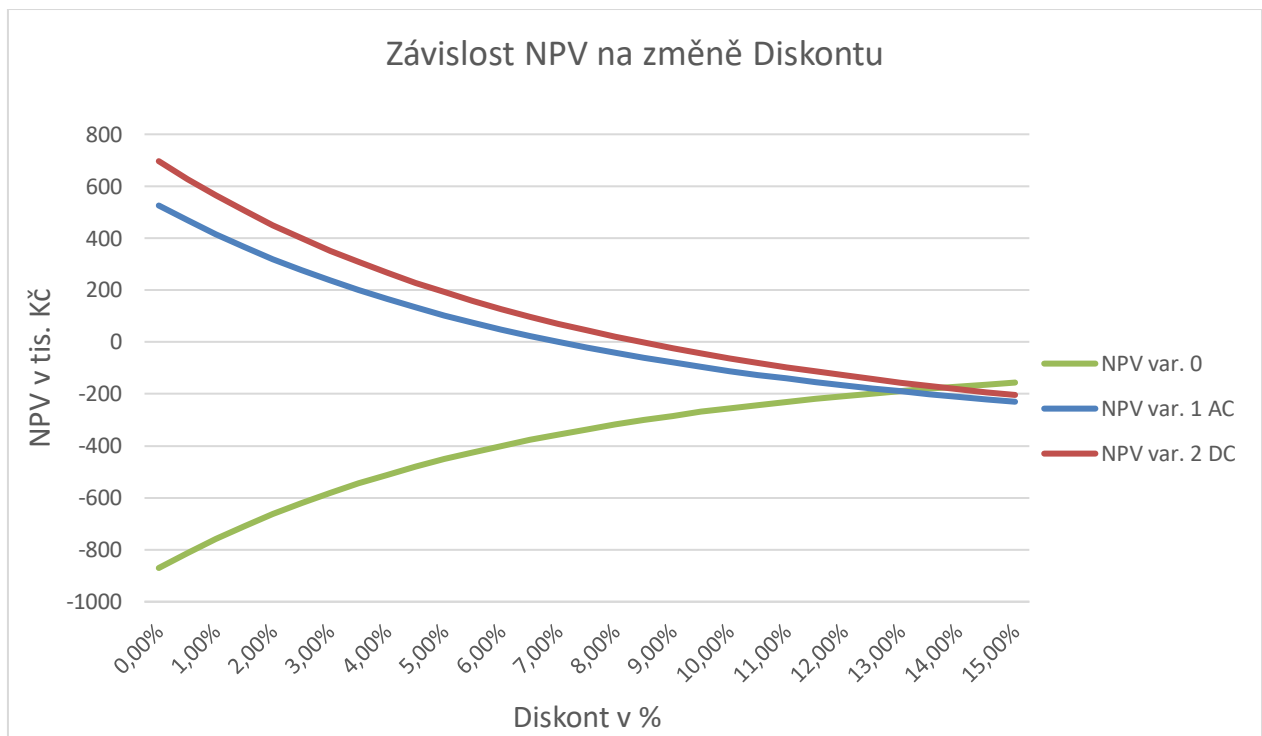
4.4.1. Diskont

U obou investičních variant i neinvestiční varianty 0, je vidět, že jsou poměrně závislé na diskontu. Varianta 1 je závislá o něco méně díky tomu že, roční hotovostní tok je nižší díky lehce větším ztrátám v měničích. Na druhou stranu obě varianty dosahují kladného NPV pro diskont vypočítaný z CAPM modelu. Vidíme, že investiční varianty se rovnají blíží neinvestiční variantě až při diskontu 13 %, který považuji při současné situaci za málo pravděpodobný. Varianta 1 je podle této analýzy rentabilní do diskontu okolo 7 %. Druhá varianta, která je na tom lépe vychází s kladným NPV do 8.5 % diskontu. Z této analýzy vychází tedy lépe varianta 2 a to tedy stejnosměrných obvodů.

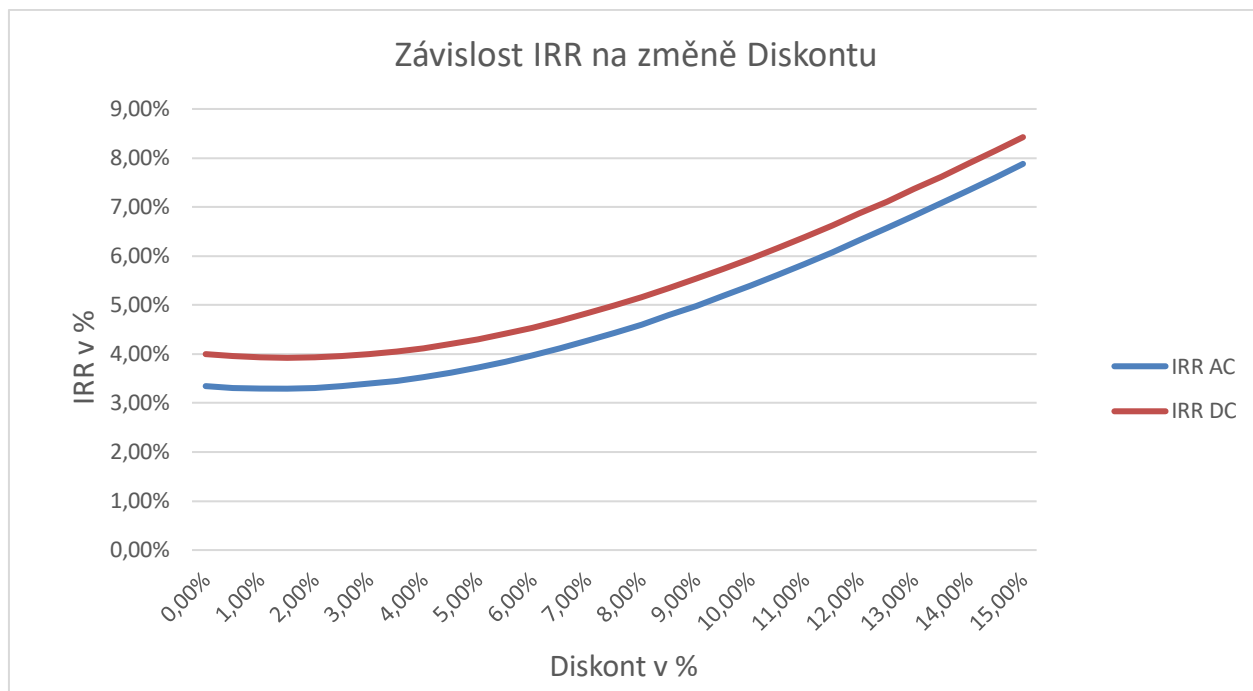
Tabulka 17: Citlivostní analýza NPV a IRR závislá na diskontu

Diskont	Varianta 0	Varianta 1		Varianta 2	
	NPV 0 v Kč	NPV v Kč	IRR	NPV v Kč	IRR
0.0%	- 870 070	525 770	3.34%	696 550	4.00%
0.5%	- 811 530	468 100	3.31%	627 840	3.96%
1.0%	- 757 600	414 660	3.29%	564 160	3.93%
2.0%	- 662 040	319 050	3.31%	450 240	3.93%
3.0%	- 580 600	236 470	3.39%	351 840	3.99%
4.0%	- 510 980	164 880	3.53%	266 520	4.12%
5.0%	- 451 280	102 590	3.72%	192 280	4.30%

6.0%	- 399 920	48 170	3.97%	127 430	4.54%
7.0%	- 355 620	470	4.27%	70 580	4.83%
8.0%	- 317 290	-41 500	4.61%	20 560	5.16%
9.0%	- 284 020	-78 570	4.98%	-23 600	5.54%
10.0%	- 255 070	-111 410	5.40%	-62 730	5.95%
12.5%	- 197 640	-178 680	6.57%	-142 830	7.11%
15.0%	- 1560 500	-229 890	7.88%	-203 790	8.43%



Graf 14: Citlivostní analýza – Závislost NPV na diskontu



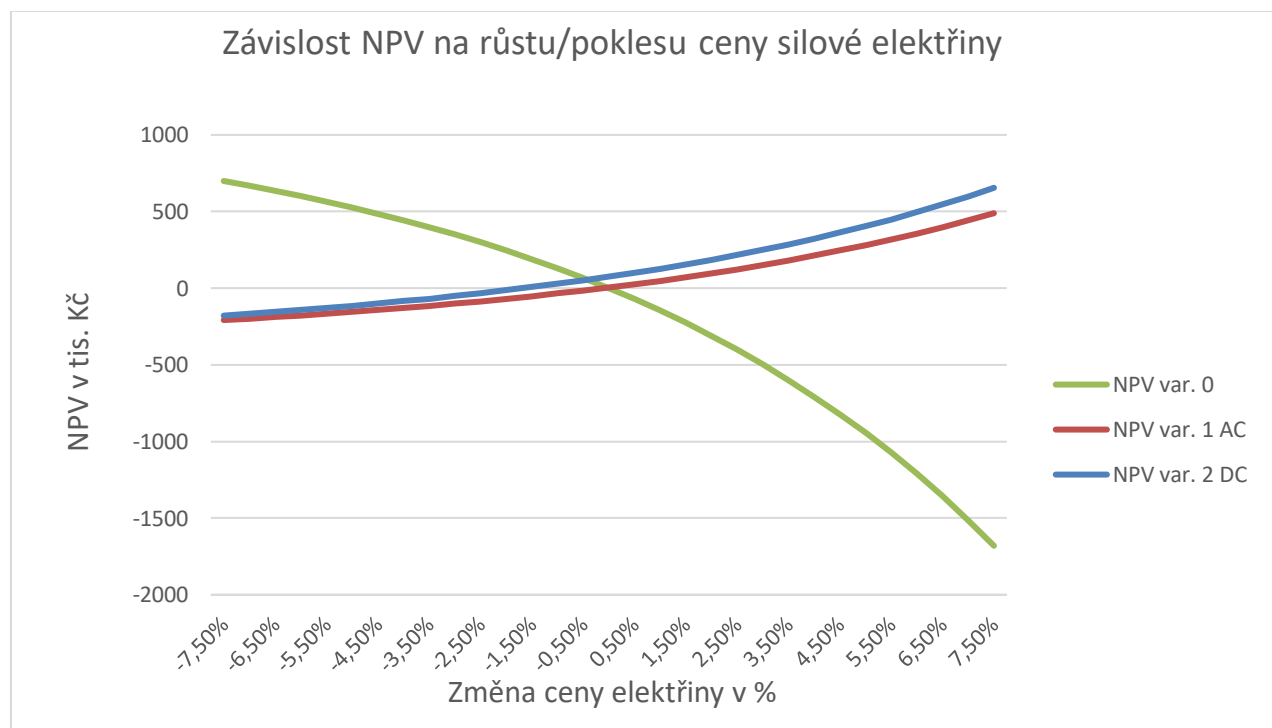
Graf 15: Citlivostní analýza – Závislost IRR na diskontu

4.4.2. Cena silové elektřiny

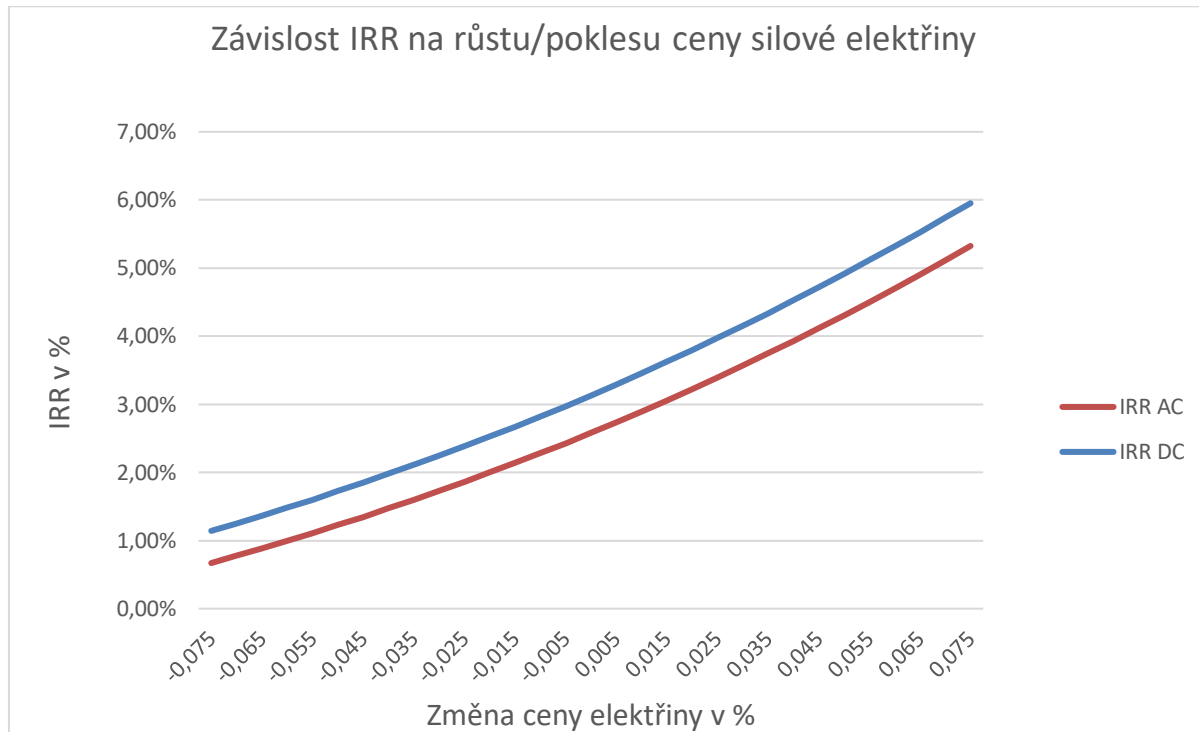
Cena silové elektřiny je dnes velice svázaná s trhem, její kolísání ovlivňuje hotovostní toky oběma směry. V projektech, kde se jedná o úspory energií, se při zdražování elektřiny rentabilita investičního projektu posiluje a ten se tak stává zajímavější a opačný jev pak nastává při snižování cen. U neinvestičních projektů, jako je tady varianta 0 je tomu naopak. Z grafů níže, je patrné, že varianta 0 je silně závislá na růstu cen silové elektřiny. Kdyby cena elektřiny nerostla (což je z dlouhodobého hlediska nepravděpodobné) vycházela by varianta 0 nejlépe. Je důležité si uvědomit, že úspory elektřiny zasahují pouze její variabilní složku, která je vázaná na spotřebovanou kWh. V tomto případě je výkyvy cen variabilní složky elektřiny méně zasažena varianta 2, tedy stejnosměrných obvodů, díky tomu, že v něm uvažujeme vyšší úspory. Je důležité se všimnout, že kdyby ceny elektřiny nestoupaly (to je ani nepodléhaly inflaci), budou obě varianty rekonstrukce nevýhodné a během jejich dob životnosti se investice nevrátí. Pro očekávaný růst cen elektřiny 3 % ročně (v tabulce tučně zvýrazněno) má varianta 2 nejvyšší NPV ze všem možností. Obdobně je na tom i IRR, které také nahrává variantě stejnosměrné.

Tabulka 18: Citlivostní analýza NPV a IRR závislá na změně růstu/poklesu cen elektřiny

Změna cen silové elektřiny	Varianta 0	Varianta 1		Varianta 2	
	NPV 0 v Kč	NPV v Kč	IRR	NPV v Kč	IRR
-7.0%	668 350	-197 950	0.78%	-167 450	1.25%
-6.0%	601 300	-177 200	1.00%	-142 650	1.48%
-5.0%	526 710	-154 240	1.23%	-115 210	1.72%
-4.0%	443 570	-128 790	1.47%	-84 790	1.98%
-3.0%	350 730	-100 550	1.73%	-51 030	2.24%
-2.0%	246 890	-69 160	2.00%	-13 490	2.53%
-1.0%	130 540	-34 220	2.28%	28 310	2.82%
0.0%	0	4 720	2.58%	74 900	3.13%
1.0%	- 146 690	48 190	2.89%	126 920	3.45%
2.0%	- 311 740	96 760	3.22%	185 040	3.79%
3.0%	- 497 670	151 080	3.57%	250 070	4.15%
4.0%	- 707 380	211 910	3.93%	322 900	4.52%
5.0%	- 944 150	280 080	4.30%	404 530	4.92%
6.0%	-1 211 710	356 540	4.70%	496 100	5.32%
7.0%	-1 514 330	442 380	5.11%	598 910	5.74%



Graf 16: Citlivostní analýza – Závislost NPV na růstu/poklesu cen silové elektřiny



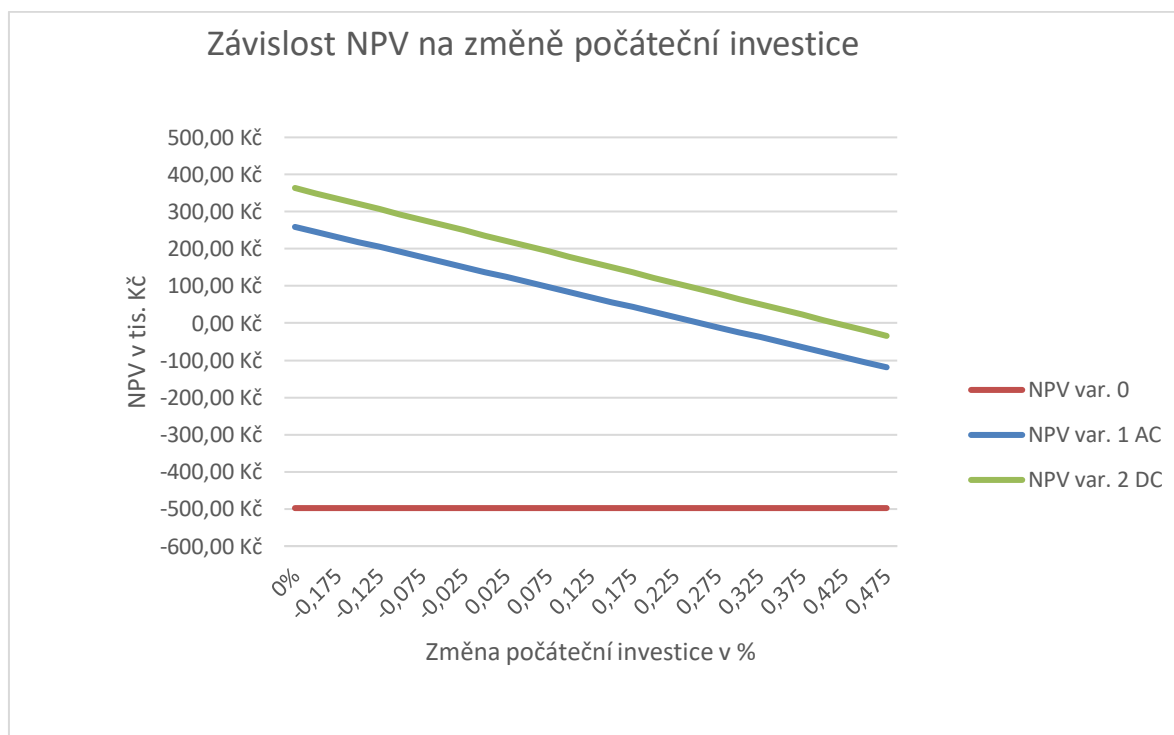
Graf 17: Citlivostní analýza – Závislost IRR na růstu/poklesu cen silové elektřiny

4.4.3. Změny/vícenáklady investice

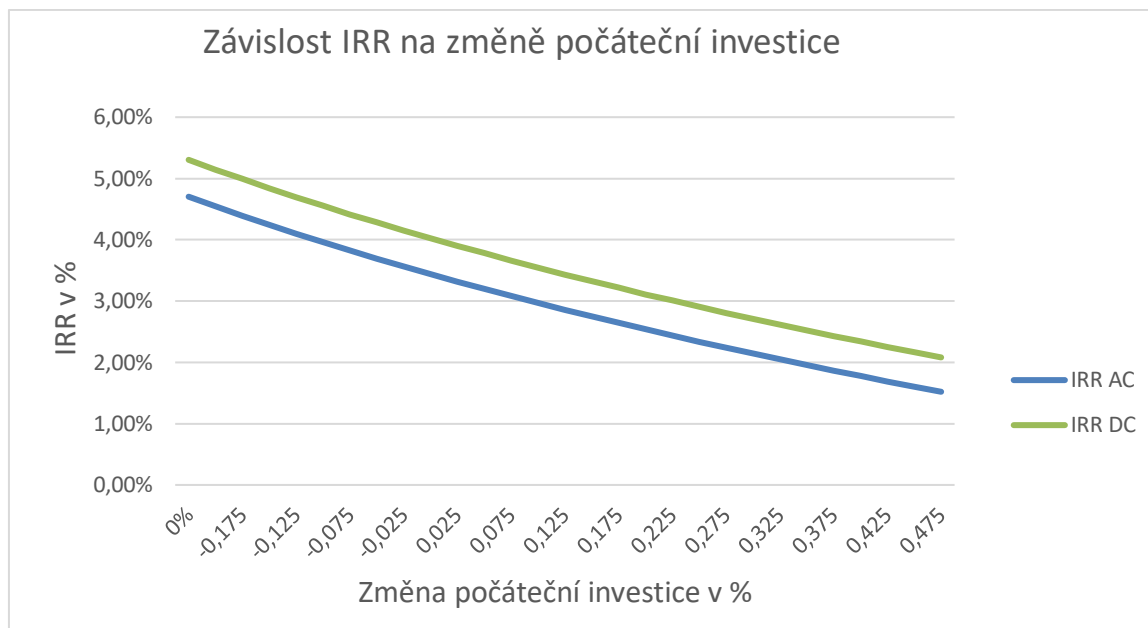
Jako další jsem analyzoval závislost investice na navýšení počátečních investičních nákladů. Vzhledem k tomu, jak skokově rostly ceny materiálů, ale především ceny stavebních prací v loňském roce, je reálné, že pokud by se projekt realizoval až za několik let, mohlo by dojít, ke skokovým navýšení cen. Tabulka níže, ukazuje změny v NPV při navýšení/snížení investičních nákladů. Při navýšení první investice o 20 % procent, se jím tato investic stává nerentabilní, u druhé investice se tak stává při navýšení o 40 %. Jak předpokládáme, změny v NPV jsou přímo úměrné počáteční investici, jak je vidět na křivce v grafu 20. Jak jsme mohli předpokládat, změny investic nijak neovlivní nultou variantu. Jak je z tabulky vidět, i při velkém navýšení počáteční investice se vyplatí investovat do rekonstrukce rozvodů.

Tabulka 19: Citlivostní analýza NPVa IRR závislá na počáteční investici

Navýšení počáteční investice	Varianta 0	Varianta 1		Varianta 2	
	NPV 0 v Kč	NPV v Kč	IRR	NPV v Kč	IRR
-20.00%	-497 670	259 030	4.70%	363 820	5.30%
-15.00%	-497 670	232 040	4.39%	335 380	4.99%
-10.00%	-497 670	205 050	4.10%	306 950	4.69%
-5.00%	-497 670	178 070	3.83%	278 510	4.42%
0.00%	-497 670	151 080	3.57%	250 070	4.15%
5.00%	-497 670	124 100	3.32%	221 630	3.90%
10.00%	-497 670	97 110	3.08%	193 200	3.66%
15.00%	-497 670	70 120	2.86%	164 760	3.43%
20.00%	-497 670	43 140	2.64%	136 320	3.22%
30.00%	-497 670	- 10 840	2.24%	79 450	2.81%
40.00%	-497 670	- 64 810	1.87%	22 570	2.43%
50.00%	-497 670	- 118 780	1.52%	- 34 300	2.08%



Graf 18: Citlivostní analýza – Závislost NPV na změně počáteční investice



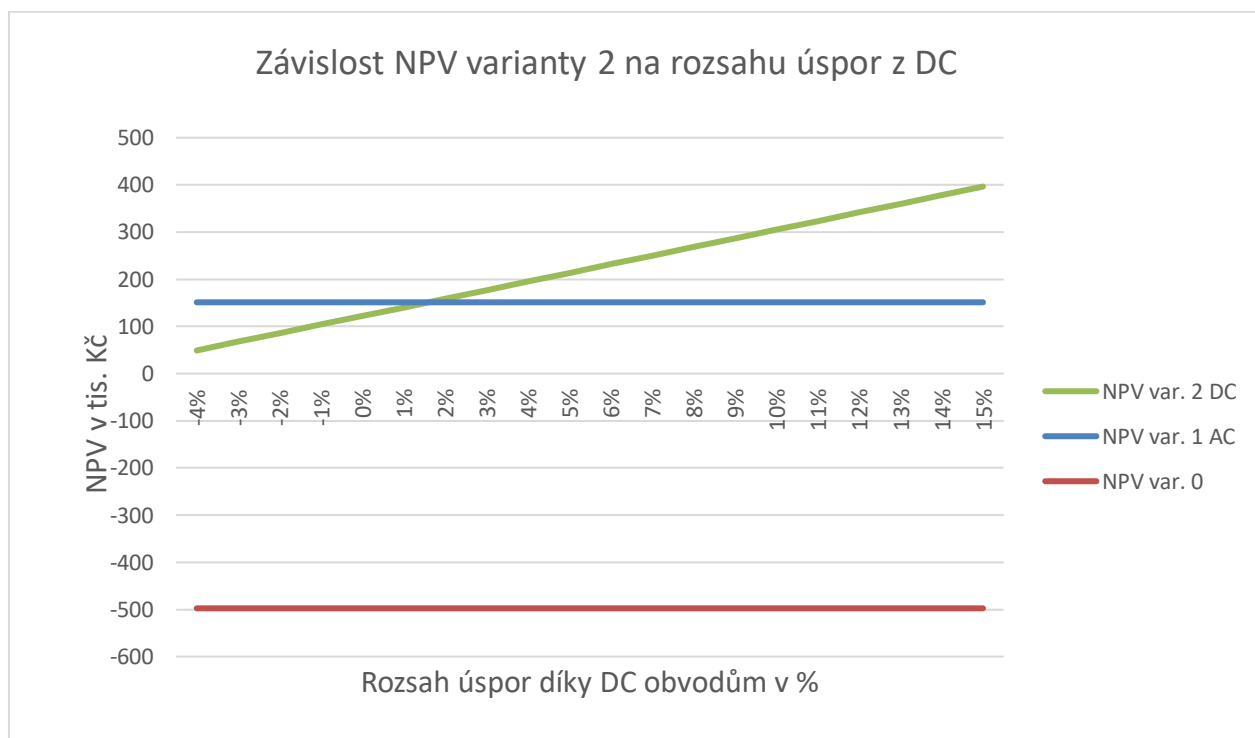
Graf 19: Citlivostní analýza – Závislost IRR na změně počáteční investice

4.4.4. Výše úspor nákladů v DC síti

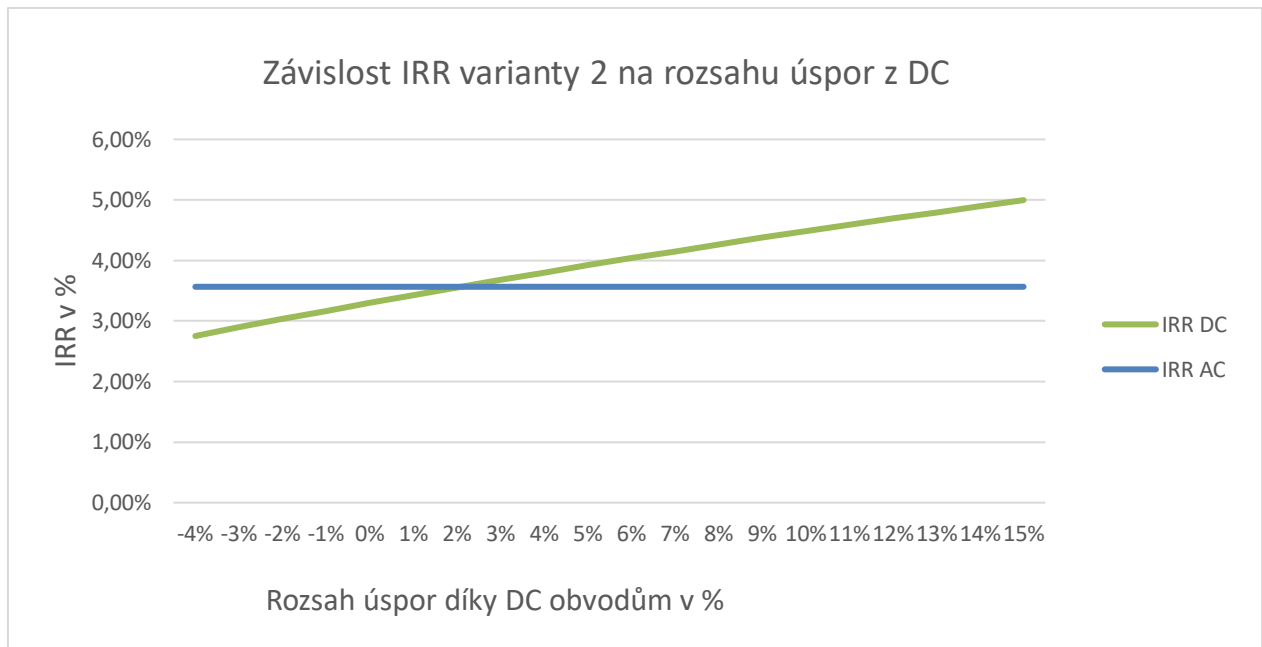
Poslední vstupní parametr, který jsem analyzoval byla výše úspor v DC sítích, díky redukci měničů při přímém napojení spotřebičů se spínanými zdroji, jak je popsáno v sekci 2.4.9. a 3.4. Dosáhneme tím, díky nižším ztrátám o 4-15 %. V tabulce v příloze C jsou úspory analyzovány po procentech. V této sekci jsem vybral několik zlomových a krajních hodnot. Uvažoval jsem i variantu, kdy by DC obvody nevykazovaly žádnou výhodu v úsporách oproti AC variantě 1, ani variantě 0. To znamená situaci, při které by nedocházelo k úsporám ve výkonové elektronice oproti současným rozvodům. Při úsporách do 1 %, nebo dokonce ztrátách, je vychází DC varianta hůře oproti variantě se zachováním střídavých obvodů, i díky tomu, že je mírně investičně dražší. Naopak při vyšších než očekávaných (7 %) úsporách se úspory kladně podepisují na NPV a dosahuje zajímavých čísel, které potvrzují myšlenku investice. Opět je vidět, že varianta 0 se zde nevyplatí a celkově je jasné, že by byla rekonstrukce rentabilní projekt.

Tabulka 20: Citlivostní analýza NPV a IRR závislá na úsporách v DC

Úspory v DC síti	Varianta 0	Varianta 2		Varianta 1	
	NPV 0 v Kč	NPV v Kč	IRR	NPV v Kč	IRR
-3%	- 497 670	67 200	2.89%	151 080	3.57%
-1%	- 497 670	103 780	3.17%	151 080	3.57%
1%	- 497 670	140 35	3.43%	151 080	3.57%
3%	- 497 670	176 920	3.68%	151 080	3.57%
5%	- 497 670	213 500	3.92%	151 080	3.57%
7%	- 497 670	250 070	4.15%	151 080	3.57%
10%	- 497 670	304 930	4.48%	151 080	3.57%
15%	- 497 670	396 370	5.00%	151 080	3.57%



Graf 20: Citlivostní analýza – Závislost NPV na výši úspor v síti DC



Graf 21: Citlivostní analýza – Závislost IRR na výši úspor v síti DC

4.5. SWOT analýza

V této sekci shrnuji výhody i nevýhody jednotlivých variant v tabulce pomocí SWOT analýzy. Ta odhalí silné i slabé stránky pro interní i externí prostředí. To znamená, čím jsou varianty ovlivněny a co ovlivňují.

4.5.1. SWOT analýza nulová varianta (současný stav)

Tabulka 21: SWOT analýza pro nulovou variantu

SWOT Varianta 0		
	Pomocné vlastnosti	Škodlivé vlastnosti
Interní prostředí	silné stránky - nulové počáteční náklady - obyvatelé domu nebude rušit rekonstrukce	slabé stránky - vyšší provozní náklady - nepřipravenost pro kogenerační jednotku
Externí prostředí	příležitosti - ušetřené finance se dají investovat v jiném projektu	hrozby - bude náchylnější na změnu ceny elektřiny - při poruše dodávky elektřiny není záložní systém

4.5.2. SWOT analýza varianta 1 – AC

Tabulka 22: SWOT analýza pro variantu 1

SWOT Varianta 1 - AC		
	Pomocné vlastnosti	Škodlivé vlastnosti
Interní prostředí	<p>silné stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> - nižší náklady na počáteční investici oproti var. 2 - šetří náklady na elektřinu 	<p>slabé stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> - vyšší ztráty oproti var. 2 - horší kompatibilita s FVE oproti DC
Externí prostředí	<p>příležitosti</p> <ul style="list-style-type: none"> - připravení rozvodů pro připojení kogenerační jednotky - v souladu se "zeleným" směřením a podpora OZE - příprava rozvodů pro kogenerační jednotku 	<p>hrozby</p> <ul style="list-style-type: none"> - rentabilita projektu je závislá na ceně elektřiny, diskontu a výběru správně dimenzovaných střídačů

4.5.3. SWOT analýza varianta 2 – DC

Tabulka 23: SWOT analýza pro variantu 2

SWOT Varianta 2 - DC		
	Pomocné vlastnosti	Škodlivé vlastnosti
Interní prostředí	<p>silné stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> - nejnižší provozní náklady - pro většinu případů analýzy vyšší NPV než u střídavé varianty 	<p>slabé stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> - vyšší počáteční investice oproti dalším variantám - velké množství baterií - narušení současného vzhledu domu
Externí prostředí	<p>příležitosti</p> <ul style="list-style-type: none"> - podpora nové technologie - podpora OZE - v souladu se "zeleným" směřením 	<p>hrozby</p> <ul style="list-style-type: none"> - rentabilita projektu je závislá na ceně elektřiny, diskontu a úspor v síti díky přímému napojení spotřebičů na DC obvod - hůře dostupný servis

4.6. Vyhodnocení a doporučení varianty

Na závěr bych rád zhodnotil jednotlivé varianty mezi sebou a z širšího hlediska. První, nultá varianta, která by se dala charakterizovat jako nejméně pracná. I když se na první pohled může zdát, že tato varianta nemá žádné náklady, tak tomu tak není. Její náklady spočívají v nákladnějším provozu, nutnosti pravidelných revizí a v neposlední řadě zbytečných poplatků za 6 OM, která by mohla být sloučena v jednu platbu. Úsporná opatření obou navržených variant s rekonstrukcí, se porovnávají právě se současným stavem, který byl použit jako výchozí bod analýzy variant. Výhody v zachování současného stavu spočívají v nulových nákladech na investici v tomto okamžiku. Na druhou stranu, je současná elektroinstalace zastaralá a bez záložního systému. Pokud by bytové družstvo v budoucnu přemýšlelo o pořízení KGJ, bylo by nuceno zainvestovat do nového rozvaděče i sloučení OM do jednoho centrálního odběru společných prostor. Tato varianta, je tedy pouze dočasným řešením a dřív nebo později bude bytové družstvo muset zasáhnout do elektroinstalace a vhodně zvolený projekt může tuto investici pokrýt. Je vidět, že je současný stav ztrátový hlavně při růstu cen elektřiny.

První zvažovaná investiční varianta zahrnuje rekonstrukci rozvodů, s tím, že by byla připojena FVE, která by poskytovala nejenom nutnou zálohu spotřebičů v kotelně, ale i pokryla až polovinu denní spotřeby společných prostor. Její výhodou oproti druhé investiční variantě je zanechání střídavých rozvodů pro všechny spotřebiče. Počáteční náklady tak jsou nižší než u druhé varianty rekonstrukce a vzhledem k tomu, že střídavé obvody jsou rozšířenější, bude lehčí nalézt servis v případě nutnosti rychlé opravy. Výhoda obou variant rekonstrukce je v tom, že poskytnou dostatečnou zálohu při výpadku elektřiny pro kotelnu, výtahy a osvětlení chodeb na více než 60 minut. Nevýhodu této varianty vidím v tom, že při citlivostní analýze vyšla tato varianta v mnoha krajních scénářích jako nerentabilní a investice do ní by se za dobu životnosti nevyplatila. To je částečně způsobené i tím, že střídavé obvody nejsou tak kompatibilní s FVE jako ty stejnosměrné. Díky tomu, že elektřina vyrobená z FVE je stejnosměrná, musí se měnit na střídavou a dále pak zpět na stejnosměrnou ve spotřebičích se spínanými zdroji, dochází ke ztrátám oproti variantě 2.

Druhá investiční varianta byla obdobná jako varianta 1 s tím rozdílem, že stejnosměrné obvody vykazují vyšší účinnost systému, díky nižším ztrátám, které se projevily v nižších provozních nákladech. Ty způsobily, že tato varianta vycházela ve většině případů analýzy rentabilní a výhodnější oproti variantě 1. Na druhou stranu právě díky těmto úsporám, je tato projektová varianta náchylnější na diskont a změnu růstu cen elektřiny. V závislosti na vypracované citlivostní analýze bych tuto variantu doporučil ve chvíli, kdy se ustálí pracovní trh po pandemii COVID-19, kvůli které se očekává zdražení kvalifikované pracovní síly, kvůli jejímu nedostatku. V případě, že by bytové družstvo uvažovalo o investici do rekonstrukce

elektrických rozvodů. Pak bych doporučil provést novou analýzu této varianty se stejnosměrným proudem s aktualizovanými vstupními parametry. Při realizaci je důležité dbát na výběr správně dimenzovaných měničů, které jsou klíčovými prvky pro obvody a baterie s vyšším než nízkým napětím. Výhodou obou variant FVE, je možnost snadného rozšíření kapacity elektrárny, případně kompatibilita s vodíkovými články, které by poskytly větší kapacitu záložního systému.

5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda se vyplatí investice do projektu FVE ve dvou podobných variantách provedení. První varianta počítala s vybudováním FVE na střeše domu a se zachováním střídavých obvodů ve všech společných prostorách domu, ve vlastnictví bytového družstva. Druhá varianta s částečnou rekonstrukcí rozvodů na proud stejnosměrný. Ze základních výpočtů NPV by se dala jednoznačně určit varianta 2 jako výhodnější, i když je investičně a technicky náročnější. Na druhou stranu, jsem musel vzít v potaz nejistý vývoj vstupních parametrů, které tak byly podrobeny citlivostní analýze.

V první kapitole jsem se věnoval historickým souvislostem, jak se svět elektřiny rozdělil na střídavý a stejnosměrný. Je důležité pochopit tyto souvislosti, protože se historie opakuje a dnes s novými obnovitelnými zdroji se se stejnosměrné obvody případně ostrovní systémy vrací a věřím, že se budou rozšiřovat více a více na úkor střídavých sítí.

Ve druhé kapitole jsem detailně zhodnotil současný stav objektů bytového družstva. S pomocí vedoucího práce jsem provedl dvojí měření spotřeb společných prostor domu, a to o víkendu i ve všední den, abych měl aktuální data o maximální hodinové spotřebě a trendu spotřeb během dne. Měření jako jsou ty, co jsem provedl jsou důležitá k tomu, abychom věděli, jak dimenzovat síť a přizpůsobili projekt potřebám obyvatel domu, jak jen to jde. Dále jsem v této kapitole zanalyzoval teoretické pozadí projektu. Zhodnotil jsem zde účinnosti a ztráty jak sítí střídavých, tak i stejnosměrných. Díky tomu jsem si udělal obrázek, kolik elektřiny se může při přímém napojení spotřebičů se spínanými zdroji ušetřit, když jsou napojeny na DC síť.

Ve třetí a čtvrté kapitole jsem se věnoval výši investice založené na položkovému ocenění jednotlivých komponentů obou investičních variant, které jsem dále podrobil citlivostní analýze, kde jsem zhodnocoval rentabilitu projektu především pomocí NPV a dalších ekonomických ukazatelů. Jak se ukázalo, varianta 2, tj. FVE se stejnosměrnou sítí napájející spotřebiče, vyšla při základním nastavení vstupních parametrů jako nejvýhodnější.

Ve své práci jsem se věnoval technickému řešení obou variant. Vzhledem k tomu, že stejnosměrné obvody u nás nejsou tolik rozšířené, jsem se musel shánět po komponentech (převážně měničích) na asijském trhu a zjistil jsem tak, že varianta 2 je technicky náročnější, ale na druhou stranu podporuje znovuobjevené technologie a dalo by se říct, že je tak v tomto směru průkopnická. FVE byla nakonec dimenzována na 10 kWp, i když se původně uvažovalo jen s polovičním výkonem. Navýšení odůvodňuji

tím, že investiční náklady na dvojnásobnou kapacitu rozhodně dvojnásobné nejsou a vyplatí se tedy zvolit vyšší potenciální výkon.

K závěru bych chtěl dodat, že tato práce může sloužit v případě rekonstrukce rozvodů v bytovém domě s připojením na FVE jako vstupní projekt pro bytové družstvo. Pro realizaci projektu doporučuji po komplexním zhodnocení variantu 2, která zahrnuje vypracování rekonstrukce za použití stejnosměrných obvodů napojených přes akumulátory na FVE.

6. Zdroje

1. Avacom. Specifikace k olovenému akumulátoru. Dostupné z: <https://www.avacom.cz/csb-12v-20ah-oloveny-akumulator-deepcycle-agm-m5-evx12200>
2. ČNB: *Výnosy státních dluhopisů*. Dostupné z: <https://www.sporicidluhopisycr.cz/cs/odluhopisech/urokove-sazby/dluhopis-republiky/emise-1-4-2020-1185>
3. ČSN 33 010 – Elektrotechnické předpisy, Elektrická zařízení, Rozdělení a pojmy.
4. DAMODARAN Aswath, *Betas Europe*. Dostupné z: <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/pc/datasets/betaEurope.xls>
5. Ecoprodukt. Fotovoltaický panel. Specifikace k fotovoltaickým panelům. Dostupné z <https://www.ecoprodukt.cz/solarni.panely/solarni.panely/fotovoltaicke.solarni.panely/solarni.panel.polykrystalicky.q.cells.285wp2>
6. ELEKTRINA.CZ, 2019. Životnost fyzických baterií. Je nutné je vyměňovat po několika letech? [online] [Cit. 10. květen 2020]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/zivotnost-fyzickych-baterii>
7. ERÚ: *Metodický návod pro žádost o udělení, změnu či zrušení licence*. [online] Dostupné z: <http://www.eru.cz/documents/10540/741510/Methodick%C3%BD%20n%C3%A1vod+ER%C3%9A%20+pro+ve%C5%99ejnost.pdf>
8. FVE schéma. Upraveno autorem. Originál dostupný z: www.solarniexperti.cz
9. Hlaváček, Jan, Ing., Ph.D. Steady states (load flow) calculations in power systems – Current loads. Praha 2018. Prezentace k předmětu Prvky a provoz elektroenergetických soustav. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta elektrotechnická. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/attach/PPE/PPE_pr04_steady-states.pdf

10. Hlaváček, Jan, Ing., Ph.D. Úbytky napětí v ES. Praha 2018. Prezentace k předmětu Prvky a provoz elektroenergetických soustav. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta elektrotechnická. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/attach/EN2/EN2_pr04_ubytiky.pdf
11. Kladiva, Jakub. *Problematika instalace a provozu střešní fotovoltaické elektrárny na bytovém domě*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.
12. KONE. Výtahy KONE specifikace. (poskytnuto technikem společnosti)
13. Martin, Faiala. *Elektrické sítě využívající stejnosměrné napětí do 1000 V*. Brno, 2016. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Michal Ptáček, Ph.D.
14. Kurzy: Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/aktualni/CZK-USD/>
15. MAPY Dostupné z: www.google.com/maps
16. MZCR. *Vývoj událostí v čase* [online] [Cit. 10. Květen 2020]. Dostupné z: <https://koronavirus.mzcr.cz/vyvoj-udalosti-v-case/>
17. OTE a.s. <https://www.ote-cr.cz/> [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/statistika/typove-diagramy-dodavek-elektriny/normalizovane-tdd>
18. Photovoltaic Geographical Information System. PVGIS [online]. 2014 [Cit. 2020-05-2]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR
19. Prognóza vývoje inflace. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/menova-politika/prognoza/>
20. SAKO. Specifikace k měniči napětí. Dostupné z: www.sakopower.com/products
21. SOLAR-ESHOP. Ostrovní systémySolar [online] [Cit. 16. December 2019]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/c/fotovoltaika-1/ostrovni-systemy-chaty-karavany/>
22. Spotřeba elektřin: Dostupné z měření z elektroměrů v roce 2013 a 2020
23. Sunpal. Specifikace k měniči napětí. Dostupné z: www.sunpalpower.com

24. Taiwo, Awoniyi. Transition to DC distribution grids. Tromsø, 2017. Diplomová práce. The Arctic University of Norway. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Prof. Dr. Bjarte Hoff. Dostupné z: <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/11370/thesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
25. TZB-info. Elektrické sítě pro přenos energie [online] [Cit. 18. července 2010]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/6647-elektricke-site-pro-prenos-energie>
26. VAVŘÍNEK, PETR; Elektrotechnické předpisy a normy - 2011. Dostupné z: http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/3mb/el_pred_a_nor.pdf
27. Vývoj cen silové elektřiny na burze: Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/1MWh-czk-1-rok>
28. Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012, částka 59, s. 2482 Dostupné také z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=77573&nr=165~2F2012~20Sb.&ft=pdf>
29. Zákon č. 90/2012 Sb., o obchodních společnostech a družstvech (zákon o obchodních korporacích). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012, částka 34, s. 1370 Dostupné také z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=74908&nr=90~2F2012~20Sb.&ft=pdf>

7. Přílohy

A. Spotřeby elektřiny z faktur za poslední 3 roky

Tabulka A-1: Popis odběrných zdrojů, příkon rok 2013

ROK 2013 OM	spotřeba za období			průměrná denní spotřeba	cena bez DPH	Vyúčtováno bez PDH	Vyúčtováno s DPH	Stálá složka	velikost jističe	Tarif
	[MWh]	[dny]	[kWh]							
výtah 1995	3,63	365	9,96	4 346,19	15 794,05	18 952,86	948,00	3x25	d02	
výtah 1996	3,88	365	10,62	4 317,97	16 736,45	20 083,74	948,00	3x25	d02	
výtah 1997	2,90	365	7,94	4 476,63	12 977,74	15 573,29	948,00	3x25	d02	
výtah 1998	3,61	365	9,90	4 352,01	15 719,47	18 863,36	948,00	3x25	d02	
výtah 1999	3,78	365	10,37	4 329,36	16 382,30	19 658,76	948,00	3x25	d02	
světla 1995	1,24	365	3,39	5 331,80	6 600,77	7 920,92	948,00	3x25	d02	
světla 1996	1,88	365	5,14	4 824,47	9 045,88	10 855,06	948,00	3x25	d02	
světla 1997	1,19	365	3,25	5 371,88	6 381,79	7 658,15	948,00	3x25	d02	
světla 1998	0,88	365	2,41	5 940,70	5 227,82	6 273,38	948,00	3x25	d02	
světla 1999	1,26	365	3,45	5 307,92	6 687,98	8 025,58	948,00	3x25	d02	
kotelna	10,86	365	29,75	3 788,76	41 134,59	49 361,51	948,00	3x50	d25	
celkem	35,10		96,17		152 688,84	183 226,61	10 428,00			
			průměr	4 349,74						

Tabulka A-2: Popis odběrných zdrojů, příkon rok 2014

ROK 2014 OM	spotřeba za období		průměrná denní spotřeba	Cena za rok bez DPH	Vyúčtováno bez PDH	Vyúčtováno s DPH	Stálá složka	velikost jistice	Tarif
	[MWh]	[dní]	[kWh]	[Kč/MWh]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[A]	sazba
výtah 1995	3,54	365	9,70	4 382,02	15 518,10	18 621,72	948,00	3x25	d02
výtah 1996	3,85	365	10,56	4 343,39	16 741,16	20 089,39	948,00	3x25	d02
výtah 1997	2,80	365	7,68	4522,00	1 267,61	1 521,13	948,00	3x25	d02
výtah 1998	3,63	365	9,95	4 371,00	15 876,15	19 051,38	948,00	3x25	d02
výtah 1999	3,71	365	10,16	4 360,24	16 176,59	19 411,90	948,00	3x25	d02
světla 1995	1,20	365	3,29	5 400,65	6 491,94	7 790,33	948,00	3x25	d02
světla 1996	1,94	365	5,31	4 822,54	9 348,76	11 218,51	948,00	3x25	d02
světla 1997	1,00	365	2,74	5 725,53	5 730,75	6 876,90	948,00	3x25	d02
světla 1998	0,85	365	2,34	6 039,18	5 153,17	6 183,80	948,00	3x25	d02
světla 1999	1,23	365	3,38	5 368,18	6 618,37	7 942,04	948,00	3x25	d02
kotelna	10,63	365	29,12	3 929,02	41 767,14	50 120,57	948,00	3x50	d25
celkem	34,40		94,24		140 689,73	168 827,68	10 428,00		
			průměr	4 472,18					

Tabulka A-3: Popis odběrných zdrojů, příkon rok 2015

Rok 2015 OM	spotřeba za období		průměrná denní spotřeba	cena bez DPH	Vyúčtováno bez PDH	Vyúčtováno s DPH	Stálá složka	velikost jističe	Tarif
odběrné místo	[MWh]	[dny]	[kWh]	[Kč/MWh]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[A]	sazba
výtah 1995	3,82	365	10,47	3 702,50	14 147,25	16 976,70	948,00	3x25	d02
výtah 1996	3,46	365	9,47	3 741,74	12 938,94	15 526,72	948,00	3x25	d02
výtah 1997	2,79	365	7,63	3 841,34	10 701,97	12 842,37	948,00	3x25	d02
výtah 1998	3,02	365	8,27	3 801,94	11 474,25	13 769,11	948,00	3x25	d02
výtah 1999	3,68	365	10,08	3 717,03	13 671,24	16 405,48	948,00	3x25	d02
světla 1995	1,29	365	3,52	4 439,20	5 708,81	6 850,57	948,00	3x25	d02
světla 1996	1,44	365	3,95	4 318,38	6 231,42	7 477,71	948,00	3x25	d02
světla 1997	0,99	365	2,72	4 768,30	4 730,15	5 676,18	948,00	3x25	d02
světla 1998	0,79	365	2,16	5 143,27	4 047,75	4 857,30	948,00	3x25	d02
světla 1999	1,26	365	3,44	4 465,72	5 608,94	6 730,73	948,00	3x25	d02
kotelna	10,68	365	29,27	3 292,59	35 171,45	42 205,74	948,00	3x50	d25
celkem	33,21		90,98		124 432,19	149 318,62	10 428,00		

Tabulka A-4: Průměr za 3 roky

	spotřeba za období (MWh)	počet dní	průměrná denní spotřeba (kWh)	cena bez DPH (Kč/MWh)	Vyúčtováno bez DPH (Kč)	Vyúčtováno s DPH (Kč)	Stálá složka s DPH (Kč)
Roční Průměr za 3 roky	34,24	365	93,80	4 311,31	139 270,25	167 124,30	10 428,00

Tabulka A-5: Popis odběrných zdrojů, spotřeba za zúčtovací období od 1.1.2018 do 13.8.2018

Období	Od	do	Cena za dodávku (Kč/MWh)									
	01.01.2018	13.08.2018	OM	Objekt	Jistič [A]	VT [MWh]	NT [MWh]	Celková spotřeba [MW]	Platba bez DPH [Kč]	Celkem za elektřinu [Kč]	VT	NT
E.ON D02d	1	1995		1995	3x25	3,106	0	3,106	10 874,92	2 661,84	857,00	
E.ON D02d	2	1996		1996	3x25	3,060	0	3,060	10 731,50	2 622,42	857,00	
E.ON D02d	3	1997		1997	3x25	2,280	0	2,280	8 299,38	1 953,96	857,00	
E.ON D02d	4	1998		1998	3x25	2,211	0	2,211	8 084,24	1 894,83	857,00	
E.ON D02d	5	1999		1999	3x25	3,221	0	3,221	11 238,50	2 760,40	857,00	
PRE	6											
D25d	1.1.2018-30.6.2018			Kotelna	3x50	5,474	2,307	7,781	25 863,78	14 969,32	1490,00	886,00

Tabulka A-6: Popis odběrných zdrojů, spotřeba za zúčtovací období od 14.8.2018 do 31.12.2018

Období	Od	do	Cena za dodávku (Kč/MWh)									
	14.08.2018	31.12.2018	OM	Objekt	Jistič [A]	VT [MWh]	NT [MWh]	Celková spotřeba [MW]	Platba bez DPH [Kč]	Celkem za elektřinu [Kč]	VT [Kč/MWh]	NT [Kč/MWh]
E.ON D02d	1	1995		1995	3x25	1,981	0	1,981	6 911,65	1 697,72	857,00	
E.ON D02d	2	1996		1996	3x25	1,943	0	1,943	6 793,16	1 665,15	857,00	
E.ON D02d	3	1997		1997	3x25	1,437	0	1,437	5 215,41	1 231,51	857,00	
E.ON D02d	4	1998		1998	3x25	1,481	0	1,481	5 352,61	1 269,22	857,00	
E.ON D02d	5	1999		1999	3x25	1,929	0	1,929	6 744,51	1 653,15	857,00	
Energie ČS	6											
D25d	5.7.2018-13.8.2018			Kotelna	3x50	0,538	0,142	0,680	2407,71	2 006,10	3 330,00	1510,00

Tabulka A-7: Popis odběrných zdrojů, spotřeba za účtovací období od 1.1.2019 do 14.8.2019

Období Od 01.01. do 14.08.2019 2019										
	OM	Objekt	Jistič [A]	VT [MWh]	NT [MWh]	Celková spotřeba [MW]	Platba bez DPH [Kč]	Celkem za elektřinu [Kč]	VT (Kč/MWh)	NT (Kč/MWh)
E.ON D02d	1	1995	3x25 A	3,213	0	3,213	13768,58	5 786,80	1 669,72	
E.ON D02d	2	1996	3x25 A	2,928	0	2,928	12 659,57	4 888,94	1 669,72	
E.ON D02d	3	1997	3x25 A	2,541	0	2,541	11 153,68	4 242,76	1 669,72	
E.ON D02d	4	1998	3x25 A	2,339	0	2,339	10 367,66	3 905,48	1 669,72	
E.ON D02d	5	1999	3x25 A	3,420	0	3,420	14 574,05	5 710,44	1 669,72	
Energie ČS	6									
D25d	1.1.2019- 14.8.2019	Kotelna	3x50 A	5,985	2,564	8,549	28 648,75	11 32,86	3660,00	1680,00

B. Spotřeby, Výpočty investice

Viz. Excel příloha na CD: Spotřeby a vypočty investice

C. Citlivostní analýza

Tabulka C-1: Citlivostní analýza – diskont

Diskont	NPV var. 0	NPV var. 1 AC	NPV var. 2 DC	IRR AC	IRR DC
0.00%	- 870.07 Kč	525.77 Kč	696.55 Kč	3.34%	4.00%
0.50%	- 811.53 Kč	468.10 Kč	627.84 Kč	3.31%	3.96%
1.00%	- 757.60 Kč	414.66 Kč	564.16 Kč	3.29%	3.93%
1.50%	- 707.89 Kč	365.08 Kč	505.09 Kč	3.30%	3.92%
2.00%	- 662.04 Kč	319.05 Kč	450.24 Kč	3.31%	3.93%
2.50%	- 619.71 Kč	276.27 Kč	399.26 Kč	3.34%	3.95%
3.00%	- 580.60 Kč	236.47 Kč	351.84 Kč	3.39%	3.99%
3.50%	- 544.44 Kč	199.42 Kč	307.68 Kč	3.45%	4.05%
4.00%	- 510.98 Kč	164.88 Kč	266.52 Kč	3.53%	4.12%
4.50%	- 479.99 Kč	132.67 Kč	228.13 Kč	3.62%	4.20%
5.00%	- 451.28 Kč	102.59 Kč	192.28 Kč	3.72%	4.30%
5.50%	- 424.64 Kč	74.47 Kč	158.77 Kč	3.84%	4.41%
6.00%	- 399.92 Kč	48.17 Kč	127.43 Kč	3.97%	4.54%
6.50%	- 376.97 Kč	23.55 Kč	98.08 Kč	4.11%	4.68%
7.00%	- 355.62 Kč	0.47 Kč	70.58 Kč	4.27%	4.83%
7.50%	- 335.77 Kč	-21.18 Kč	44.78 Kč	4.43%	4.99%
8.00%	- 317.29 Kč	-41.50 Kč	20.56 Kč	4.61%	5.16%
8.50%	- 300.07 Kč	-60.60 Kč	-2.19 Kč	4.79%	5.34%
9.00%	- 284.02 Kč	-78.57 Kč	-23.60 Kč	4.98%	5.54%
9.50%	- 269.05 Kč	-95.48 Kč	-43.75 Kč	5.19%	5.74%
10.00%	- 255.07 Kč	-111.41 Kč	-62.73 Kč	5.40%	5.95%
10.50%	- 242.01 Kč	-126.44 Kč	-80.63 Kč	5.62%	6.17%
11.00%	- 229.79 Kč	-140.62 Kč	-97.52 Kč	5.84%	6.39%
11.50%	- 218.37 Kč	-154.02 Kč	-113.48 Kč	6.08%	6.62%
12.00%	- 207.67 Kč	-166.69 Kč	-128.56 Kč	6.32%	6.86%
12.50%	- 197.64 Kč	-178.68 Kč	-142.83 Kč	6.57%	7.11%
13.00%	- 188.24 Kč	-190.03 Kč	-156.35 Kč	6.82%	7.36%
13.50%	- 179.43 Kč	-200.79 Kč	-169.16 Kč	7.08%	7.62%
14.00%	- 171.14 Kč	-211.00 Kč	-181.30 Kč	7.34%	7.88%
14.50%	- 163.36 Kč	-220.69 Kč	-192.83 Kč	7.61%	8.15%
15.00%	- 156.05 Kč	-229.89 Kč	-203.79 Kč	7.88%	8.43%

Tabulka C-2: Citlivostní analýza – cena silové elektřiny

Cena El.en.	NPV var. 0	NPV var. 1 AC	NPV var. 2 DC	IRR AC	IRR DC
-7.5%	699.32 Kč	-207.58 Kč	-178.95 Kč	0.67%	1.14%
-7.0%	668.35 Kč	-197.95 Kč	-167.45 Kč	0.78%	1.25%
-6.5%	635.71 Kč	-187.83 Kč	-155.36 Kč	0.88%	1.37%
-6.0%	601.30 Kč	-177.20 Kč	-142.65 Kč	1.00%	1.48%
-5.5%	565.01 Kč	-166.01 Kč	-129.28 Kč	1.11%	1.60%
-5.0%	526.71 Kč	-154.24 Kč	-115.21 Kč	1.23%	1.72%
-4.5%	486.28 Kč	-141.84 Kč	-100.39 Kč	1.35%	1.85%
-4.0%	443.57 Kč	-128.79 Kč	-84.79 Kč	1.47%	1.98%
-3.5%	398.44 Kč	-115.04 Kč	-68.35 Kč	1.60%	2.11%
-3.0%	350.73 Kč	-100.55 Kč	-51.03 Kč	1.73%	2.24%
-2.5%	300.27 Kč	-85.28 Kč	-32.76 Kč	1.86%	2.38%
-2.0%	246.89 Kč	-69.16 Kč	-13.49 Kč	2.00%	2.53%
-1.5%	190.38 Kč	-52.16 Kč	6.85 Kč	2.14%	2.67%
-1.0%	130.54 Kč	-34.22 Kč	28.31 Kč	2.28%	2.82%
-0.5%	67.16 Kč	-15.28 Kč	50.97 Kč	2.43%	2.97%
0.0%	0.00 Kč	4.72 Kč	74.90 Kč	2.58%	3.13%
0.5%	- 71.19 Kč	25.86 Kč	100.19 Kč	2.73%	3.29%
1.0%	- 146.69 Kč	48.19 Kč	126.92 Kč	2.89%	3.45%
1.5%	- 226.77 Kč	71.80 Kč	155.17 Kč	3.05%	3.62%
2.0%	- 311.74 Kč	96.76 Kč	185.04 Kč	3.22%	3.79%
2.5%	- 401.92 Kč	123.16 Kč	216.64 Kč	3.39%	3.97%
3.0%	- 497.67 Kč	151.08 Kč	250.07 Kč	3.57%	4.15%
3.5%	- 599.36 Kč	180.63 Kč	285.45 Kč	3.74%	4.34%
4.0%	- 707.38 Kč	211.91 Kč	322.90 Kč	3.93%	4.52%
4.5%	- 822.16 Kč	245.02 Kč	362.54 Kč	4.11%	4.72%
5.0%	- 944.15 Kč	280.08 Kč	404.53 Kč	4.30%	4.92%
5.5%	-1 073.82 Kč	317.21 Kč	448.99 Kč	4.50%	5.12%
6.0%	-1 211.71 Kč	356.54 Kč	496.10 Kč	4.70%	5.32%
6.5%	-1 358.35 Kč	398.22 Kč	546.02 Kč	4.90%	5.53%
7.0%	-1 514.33 Kč	442.38 Kč	598.91 Kč	5.11%	5.74%
7.5%	-1 680.28 Kč	489.18 Kč	654.98 Kč	5.32%	5.95%

Tabulka C-3: Citlivostní analýza – Navýšení počáteční investice

Navýšení počáteční investice	NPV var. 0	NPV var. 1 AC	NPV var. 2 DC	IRR AC	IRR DC
-20.0%	- 497.67 Kč	259.03 Kč	363.82 Kč	4.70%	5.30%
-17.5%	- 497.67 Kč	245.53 Kč	349.60 Kč	4.55%	5.15%
-15.0%	- 497.67 Kč	232.04 Kč	335.38 Kč	4.39%	4.99%
-12.5%	- 497.67 Kč	218.55 Kč	321.16 Kč	4.25%	4.84%
-10.0%	- 497.67 Kč	205.05 Kč	306.95 Kč	4.10%	4.69%
-7.5%	- 497.67 Kč	191.56 Kč	292.73 Kč	3.96%	4.55%
-5.0%	- 497.67 Kč	178.07 Kč	278.51 Kč	3.83%	4.42%
-2.5%	- 497.67 Kč	164.58 Kč	264.29 Kč	3.69%	4.28%
0.0%	- 497.67 Kč	151.08 Kč	250.07 Kč	3.57%	4.15%
2.5%	- 497.67 Kč	137.59 Kč	235.85 Kč	3.44%	4.02%
5.0%	- 497.67 Kč	124.10 Kč	221.63 Kč	3.32%	3.90%
7.5%	- 497.67 Kč	110.60 Kč	207.42 Kč	3.20%	3.78%
10.0%	- 497.67 Kč	97.11 Kč	193.20 Kč	3.08%	3.66%
12.5%	- 497.67 Kč	83.62 Kč	178.98 Kč	2.97%	3.55%
15.0%	- 497.67 Kč	70.12 Kč	164.76 Kč	2.86%	3.43%
17.5%	- 497.67 Kč	56.63 Kč	150.54 Kč	2.75%	3.32%
20.0%	- 497.67 Kč	43.14 Kč	136.32 Kč	2.64%	3.22%
22.5%	- 497.67 Kč	29.64 Kč	122.10 Kč	2.54%	3.11%
25.0%	- 497.67 Kč	16.15 Kč	107.88 Kč	2.44%	3.01%
27.5%	- 497.67 Kč	2.66 Kč	93.67 Kč	2.34%	2.91%
30.0%	- 497.67 Kč	- 10.84 Kč	79.45 Kč	2.24%	2.81%
32.5%	- 497.67 Kč	- 24.33 Kč	65.23 Kč	2.14%	2.71%
35.0%	- 497.67 Kč	- 37.82 Kč	51.01 Kč	2.05%	2.62%
37.5%	- 497.67 Kč	- 51.31 Kč	36.79 Kč	1.96%	2.52%
40.0%	- 497.67 Kč	- 64.81 Kč	22.57 Kč	1.87%	2.43%
42.5%	- 497.67 Kč	- 78.30 Kč	8.35 Kč	1.78%	2.34%
45.0%	- 497.67 Kč	- 91.79 Kč	- 5.86 Kč	1.69%	2.25%
47.5%	- 497.67 Kč	- 105.29 Kč	- 20.08 Kč	1.60%	2.17%
50.0%	- 497.67 Kč	- 118.78 Kč	- 34.30 Kč	1.52%	2.08%

Tabulka C-4: Citlivostní analýza – Úspory v DC síti

Úspory z DC	NPV var. 0	NPV var. 2 DC	NPV var. 1 AC	IRR DC	IRR AC
-4%	-497.67 Kč	48.91 Kč	151.08 Kč	2.75%	3.57%
-3%	-497.67 Kč	67.20 Kč	151.08 Kč	2.89%	3.57%
-2%	-497.67 Kč	85.49 Kč	151.08 Kč	3.03%	3.57%
-1%	-497.67 Kč	103.78 Kč	151.08 Kč	3.17%	3.57%
0%	-497.67 Kč	122.06 Kč	151.08 Kč	3.30%	3.57%
1%	-497.67 Kč	140.35 Kč	151.08 Kč	3.43%	3.57%
2%	-497.67 Kč	158.64 Kč	151.08 Kč	3.56%	3.57%
3%	-497.67 Kč	176.92 Kč	151.08 Kč	3.68%	3.57%
4%	-497.67 Kč	195.21 Kč	151.08 Kč	3.80%	3.57%
5%	-497.67 Kč	213.50 Kč	151.08 Kč	3.92%	3.57%
6%	-497.67 Kč	231.78 Kč	151.08 Kč	4.04%	3.57%
7%	-497.67 Kč	250.07 Kč	151.08 Kč	4.15%	3.57%
8%	-497.67 Kč	268.36 Kč	151.08 Kč	4.26%	3.57%
9%	-497.67 Kč	286.64 Kč	151.08 Kč	4.37%	3.57%
10%	-497.67 Kč	304.93 Kč	151.08 Kč	4.48%	3.57%
11%	-497.67 Kč	323.22 Kč	151.08 Kč	4.59%	3.57%
12%	-497.67 Kč	341.51 Kč	151.08 Kč	4.69%	3.57%
13%	-497.67 Kč	359.79 Kč	151.08 Kč	4.80%	3.57%
14%	-497.67 Kč	378.08 Kč	151.08 Kč	4.90%	3.57%
15%	-497.67 Kč	396.37 Kč	151.08 Kč	5.00%	3.57%

D. Datasheet měniče Sako

Viz. příloha na CD: Datasheet měniče Sako

E. Datasheet měniče Sunpal

Viz. příloha na CD: Datasheet měniče Sunpal

F. Výpočty citlivostní analýzy

Viz. Excel příloha na CD: Výpočty citl analýzy

G. Výpočty PVGIS

Viz. Excel příloha na CD: denní výroba pvgis