ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Střídavý a stejnosměrný rozvod v budově s obnovitelnými zdroji

Milan Klier **2015**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2014/2015**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Milan KLIER**
Osobní číslo:	**E12B0028P**
Studijní program:	**B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Elektrotechnika a energetika**
Název tématu:	**Střídavý a stejnosměrný rozvod v budově s obnovitelnými zdroji**
Zadávající katedra:	**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši nového systému kombinace střídavého a stejnosměrného systému.
2. Porovnejte střídavý a stejnosměrný systém rozvodu v budově - zejména s obnovitelnými zdroji.
3. Technicky a ekonomicky porovnejte užití fotovoltaického zdroje v obou systémech.
4. Navrhněte komplexní řešení pro zvolený objekt.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Časopisy IEEE**
2. **Skripta ZČU a ČVUT**
3. **Firemní literatura ABB a SIEMENS**
4. **Podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan

L.S.

Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na stejnosměrný, střídavý a kombinovaný rozvod zejména v obytných budovách. Práce obsahuje popis jednotlivých systémů, způsoby jejich provozu, základní části a vhodnost pro připojení k obnovitelným zdrojům, především k fotovoltaickým panelům. Stejnosměrný rozvod a některé další části jsou navíc rozebrány detailněji i z dalších hledisek.

Cílem práce je mimo jiné i porovnání systémů pro zvolenou budovu. K tomu posloužilo vyhotovení 2D detailních plánů rozvodů vybraného rodinného domu a následná simulace zaměřená především na výpočet účinnosti. Výsledky jasně favorizují kombinovaný systém, který při daném řešení pracuje s účinností až 91,07 % a značně tak snižuje finanční náklady na krytí ztrát. V porovnání s rozvodem střídavým, je to za dobu životnosti snížení o necelých 130 tisíc korun. Na základě zjištěných údajů je možné usoudit, že by se kombinovaný systém mohl uplatnit ve všech novostavbách, zejména v těch, využívajících i stejnosměrné zdroje energie a stejnosměrné spotřebiče.

Klíčová slova

Střídavý, stejnosměrný, kombinovaný, rozvod, rodinný dům, simulace, 2D výkres, účinnost, finanční zhodnocení, obnovitelné zdroje, fotovoltaický panel

Abstract

The submitted bachelor thesis presents direct current, alternating current and combined distribution systems, especially for use in residential buildings. This work contains description of the individual systems, principles of their operation, basic parts and suitability for connection with renewable resources, particularly with photovoltaic cells. Moreover, direct current distribution system and some other parts are described more precisely even from other aspects.

The objective of this work is, among others, comparison of the systems for given building. For that purpose the 2D detailed drawing of distribution systems in a chosen house and simulation, aimed especially on efficiency calculation, were made. The results favor the combined distribution system, which works with 91.07 % efficiency under given conditions and significantly reduces financial costs needed to cover losses. In comparison with conventional alternating current distribution system, the reduction is nearly 130 thousands Czech crowns. The conclusion is, based on gathered information, that the combined distribution system could be applied in every new building, especially in those, using direct current energy resources and direct current electric appliances.

Key words

Alternating current, direct current, combined system, distribution, family house, simulation, 2D drawing, efficiency, financial calculation, renewable resources, photovoltaic cell

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 3.6.2015 Milan Klier

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Zdeňkovi Vostrackému, DrSc., dr. h. c. a konzultantovi Ing. Alešovi Krutinovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH **8**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **10**

ÚVOD **11**

1. HISTORIE **13**

1.1 POČÁTKY ELEKTRIFIKACE 13
1.2 DNEŠNÍ SITUACE 13

2 DC SYSTÉMY **14**

2.1 VÝHODY DC 14
2.2 DRUHY DC SYSTÉMŮ PODLE ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ 16
2.3 ELEKTRICKÉ OCHRANY V DC ROZVODU 18
2.4 DC ZÁSUVKY 19

3 ROZVODY S MALÝM A NÍZKÝM NAPĚTÍM **19**

3.1 DŮLEŽITÉ SOUČÁSTI ROZVODU PROVOZOVANÉHO JAKO MIKRO SÍŤ 20
3.1.1 Místní (decentralizované) zdroje energie *20*
3.1.2 Akumulační systémy *22*
3.1.3 Lokální spotřebiče *23*
3.2 PROVOZ SÍTĚ 24
3.2.1 Ostrovní provoz *24*
3.2.2 Provoz ve společné soustavě *24*

4 ZPŮSOBY ROZVODU V OBYTNÝCH BUDOVÁCH **24**

4.1 ROZVOD SE STŘÍDAVÝM NAPĚTÍM 24
4.2 ROZVOD SE STEJNOSMĚRNÝM NAPĚTÍM 25
4.3 KOMBINOVANÝ ROZVOD SE STŘÍDAVÝM I STEJNOSMĚRNÝM NAPĚTÍM 26

5 POUŽITÍ FOTOVOLTAICKÉHO ZDROJE V RŮZNÝCH SYSTÉMECH **27**

5.1 FV ZDROJ V AC SYSTÉMU 28
5.2 FV ZDROJ V DC SYSTÉMU 28
5.3 FV ZDROJ V KOMBINOVANÉM SYSTÉMU 29

6 PODOBNÉ PRÁCE **30**

7 NÁVRH KOMPLEXNÍHO SYSTÉMU PRO RODINNÝ DŮM **31**

7.1 POPIS OBJEKTU 31
7.2 ENERGETICKÁ BILANCE 32
7.3 SIMULACE 34
7.3.1 Popis simulace *34*
7.3.2 Celkové schéma *35*
7.3.3 Rozložení výkonů pro simulaci *37*
7.3.4 Použité vodiče *38*
7.3.5 Použité napěťové hladiny *38*
7.3.6 Účinnost a účiník použitých měničů a odběrů *39*
7.3.7 Ukázka hlavních vnořených bloků *42*
7.4 ZHODNOCENÍ ÚČINNOSTI JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ 43
7.4.1 Účinnost AC rozvodu *44*
7.4.2 Účinnost DC rozvodu *45*
7.4.3 Účinnost kombinovaného rozvodu *47*

7.5 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ 49
ZÁVĚR 51
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ ..... CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
PŘÍLOHY ..... CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.

Seznam symbolů a zkratek

OZE..... Obnovitelné zdroje energie

ŽP..... Životní prostředí

AC..... „Alternating current“ - střídavý proud

DC..... „Direct current“ - stejnosměrný proud

EMI..... „Electromagnetic interference“ - elektromagnetické rušení

MN, NN, VN ..... Malé, nízké a vysoké napětí

MVE..... Malá vodní elektrárna

SMES..... „Superconducting magnetic energy storage“ – supravodivý systém ukládání energie

FV panely..... Fotovoltaické panely

TUV ..... Teplá užitková voda

USB..... „Universal serial bus“ – druh sběrnice/konektoru

LED..... „Light-emitting diode“ – světlo vyzařující dioda

PC..... „Personal computer“ – počítač

THD ..... „Total harmonic distortion“ – zkreslení sinusového signálu

PFC ..... „Power factor correction“ – korekce účiníku

MATLAB..... „Matrix laboratory“ – numerické výpočetní prostředí

I..... Elektrický proud

cosφ..... Účiník

U_{DC}..... Stejnosměrná hodnota napětí v DC systému

$U_{AC\ ef.}$ ..... Efektivní hodnota střídavého napětí

$U_{AC\ max.}$..... Maximální hodnota střídavého napětí v AC systému

P_{DC}..... Činný výkon stejnosměrného proudu

P_{AC}..... Činný výkon střídavého proudu

Úvod

Práce nabízí pohled na problematiku stejnosměrného, střídavého a kombinovaného rozvodného systému formou rešerše i pomocí provedené simulace pro rodinný dům.

Součástí kombinovaného systému, který je hlavní náplní práce, je část střídavá a stejnosměrná. Prvně jmenovaná se pro distribuční sítě používá již od počátku elektrifikace, čímž se podrobněji zabývá kapitola 1 a není třeba ji dále rozebírat. Stejnosměrný rozvod se pro tyto účely naopak objevil teprve nedávno, proto je jeho bližšímu popisu věnována celá kapitola 2. Tento rozvod má spoustu výhod, ale i některé nevýhody, mezi které lze zařadit hlavně obtížnější jištění a všeobecně rozpínání obvodu.

Každý rozvod v budově, která má k dispozici místní zdroje energie, je vytvořen jako mikro síť. Nedílnou součástí takové sítě jsou systémy pro výrobu a ukládání energie, základní přehled nabízí kapitola 3. Parametry baterie a fotovoltaického zdroje, který je rozebrán detailněji, budou navíc využité v následné simulaci. Problematika mikro sítí, ať už v rámci budovy nebo několika budov, je díky mnoha výhodám v posledních letech značně diskutována a je to jedna z možností kam v budoucnu směřovat rozvod elektrické energie. Je příhodné, že právě kombinovaný systém je většinou, díky jeho výhodám, základním stavebním prvkem těchto sítí.

Kapitola 4 již nabízí přímo popis a porovnání jednotlivých rozvodných systémů pro použití v obytných budovách, tzn. systém stejnosměrný, střídavý a hlavně kombinovaný.

Na tuto problematiku následně navazuje kapitola 5, která přidává popis problémů vznikajících při připojování fotovoltaických zdrojů do jednotlivých systémů. Nechybí porovnání z technických, energetických i ekonomických hledisek.

Kapitola 6 stručně shrnuje odborné práce podobného zaměření a jejich nejdůležitější výsledky. Podobné výsledky budou očekávané i od provedené simulace rozebrané v rozsáhlé kapitole 7.

Simulace je namodelovaná v nadstavbě Simulink programu MATLAB a vytváří kompletní schéma rozvodů v přízemí a prvním patře rodinného domu. Podkladem jsou plány

elektroinstalace předem navržené v programu AutoCAD. Celek tak tvoří komplexní řešení, ze kterého je možné odečíst účinnosti jednotlivých rozvodů a také provést jednoduché finanční porovnání a výhodnost z tohoto hlediska. Závěrem této kapitoly by měl být výběr nejvhodnějšího systému pro danou budovu.

Celkově by práce měla přinést vlastní názor na jednotlivé systémy, a to hlavně z toho důvodu, že nepoužívá téměř žádné informace z jiných podobných textů. Pro zhodnocení byla navíc vytvořená speciální simulace, která je svým provedením specifická a ve stejné nebo i podobné formě nebyla dosud nikde publikovaná. Na druhou stranu je její zpracování čistě teoretické, nezaložené na žádných skutečných měřeních.

1. Historie

1.1 Počátky elektrifikace

V době průmyslové revoluce v USA, na konci 80. let 19. století proběhla tzv. „Válka proudů“. Na jedné straně Thomas Edison, vynálezce stejnosměrného (DC) systému. Na druhé straně Nikola Tesla se svým střídavým (AC) systémem. Ačkoliv Edison se svým typem elektrické energie přišel jako první, narážel na jeden zásadní problém a to byla nemožnost transformace na vyšší nebo nižší napětí. Přesně z tohoto důvodu přišel Tesla s AC systémem, kde se dá transformace realizovat jednoduše, pomocí transformátoru.

Během následujícího období se Edison snažil poukázat na nebezpečnost AC systému a to i veřejnými pokusy na zvířatech. Na světové výstavě (World’s Columbian Exposition) roku 1893 problém rozhodly hlavně peníze. Na stranu Edisona se připojil General Electric a navrhl elektrifikaci tamějšího veletrhu za částku cca 550 000 dolarů. Jeho nabídku však byla výrazně překonána Georgem Westinghousem, který se připojil na stranu Tesly a nabídl stejnou elektrifikaci o 150 000 dolarů levněji.

V roce 1896 byla tedy vybudována AC sít napájená z Niagárských vodopádů a navzdory pochybnostem bylo energií pokryto osvětlení celého Buffala. General Electric se tedy rovněž připojil na stranu AC systému. Edison ještě úspěšně zprovoznil několik místních DC sítí, kdy poslední z nich byla zrušena až v roce 2007. Nicméně v globálním měřítku se začaly stavět a později celosvětově rozšířily sítě střídavé. [1], [2]

1.2 Dnešní situace

V poslední době zaznamenávají stejnosměrné systémy opětovný rozkvět. Energetický průmysl je dnes pod velkým tlakem, aby snížil dopad energetiky na životní prostředí a to hlavně díky rozšíření obnovitelných zdrojů energie (OZE). A právě nejpoužívanější OZE a hlavně akumulační systémy jsou zdrojem DC energie, zatímco běžné sítě pracují s AC energií. To vedlo k výzkumu alternativních rozvodných sítí a DC systémy v nejrůznějších provedeních se dnes jeví jako vhodná varianta. Odpadá potřeba různých měničů pro konverzi energie a tím pádem dochází ke snížení ztrát.

K zásadním změnám došlo také v oblasti spotřebičů. Ještě před třiceti lety byla většina domácích spotřebičů na střídavý proud, jednalo se o žárovky, topné spirály, indukční motory apod. Dnes, kdy je trendem konstrukce spotřebičů osazených pokročilou výkonovou elektronikou a cílem je co nejmenší spotřeba, jsou tyto tradiční spotřebiče nahrazované stejnosměrnými alternativami. DC spotřebičem je přitom myšleno každé zařízení vyžadující DC energii buď k přímé spotřebě, nebo pro napájení předřazené elektroniky – tzn. spotřebiče typu počítač, mobilní telefon, spotřební elektronika, elektronický předřadník, měnič kmitočtu pro pohony apod. [3]

I přes aktivní nasazování spotřebičů se sníženou spotřebou elektrické energie, celková spotřeba neustále narůstá a spotřebitelé vyžadují kvalitní dodávku energie. I proto bylo třeba hledat náhrady za AC systém i u vysokého napětí, aby došlo ke zvýšení přenosových kapacit stávajících vedení a přenosu s vyšší účinností.

V oblasti přenosu jsou DC rozvody již aktivně používané několik let, v domácnostech pro rozvod elektrické energie jde však pokrok dopředu jen velice pomalu. Většina rozvodů je tak stále kompletně provedená střídavým systémem.

2 DC systémy

2.1 Výhody DC

DC systémy nemají žádné dielektrické ztráty, skin efekt ani reaktanci a navíc ani neruší okolí, hlavně komunikační systémy, působením elektromagnetické interference (EMI). Ztráty korónou jsou velmi malé. Díky omezení skin efektu stačí menší průřezy vodiče, což má za následek hlavně zmenšení váhy. Nepřítomnost reaktance zase razantně snižuje úbytek napětí.

Izolace pro AC systémy musí být dimenzována na maximální hodnotu střídavého napětí. Efektivní hodnota průběhu je však menší a nedochází tedy k plnému využití izolace po celou dobu periody napětí. U DC napětí je efektivní hodnota rovná maximální, tzn., že DC může izolaci využívat naplno. Pro napětí tedy platí:

$$U_{DC} = \sqrt{2} \cdot U_{AC\,ef.} = U_{AC\,max.} \tag{2.1}$$

kde U_{DC} je stejnosměrná hodnota napětí v DC systému, $U_{AC\ ef.}$ je efektivní hodnota střídavého napětí a $U_{AC\ max.}$ maximální hodnota střídavého napětí v AC systému.

Pokud je tedy AC systém navržen na napětí 230 V, může být bez problému používán s napětím 325 V v DC systému bez poškození izolace. Pokud se ale použije napětí 230 V i v DC systému, mohou se snížit rozměry a váha (díky omezení skin efektu) celého vodičového uspořádání. U venkovního vedení to znamená menší vzdálenosti mezi vodiči a menší izolátory, u kabelů potom menší celkový průřez. Navíc čím větší napětí měl původní AC systém, tím větší je možné zmenšení a odlehčení v systému DC. S tím souvisí také nižší cena a vyšší úspora financí.

Výkonové poměry v jednofázové síti jsou následující:

$$P_{AC} = U_{AC\ ef.} \cdot I \cdot cos(\varphi) \tag{2.2}$$

V ekvivalentní DC dvouvodičové síti platí:

$$P_{DC} = U_{DC} \cdot I \tag{2.3}$$

Je tedy vidět, že i maximální přenášený výkon je větší při použití DC sítě, jednak díky většímu napětí a jednak díky účiníku cosφ. V DC síti je totiž účiník roven jedné, v AC síti je naopak vždy menší než jedna. Po kompenzaci se pohybuje v rozmezí 0,95 ÷ 0,98, ale bez použití kompenzace může být i menší.

DC systém má navíc nulovou kapacitu a tím pádem i velmi nízký nabíjecí proud. Tento důvod a všechny dříve jmenované snižují ztráty na vedení. Tím dochází k ještě větší efektivnosti přenosu výkonu oproti AC systému.

Dodatečnou výhodou snížených ztrát, hlavně při použití DC systému v malých uzavřených prostorách, je produkce menšího množství tepla. [4]

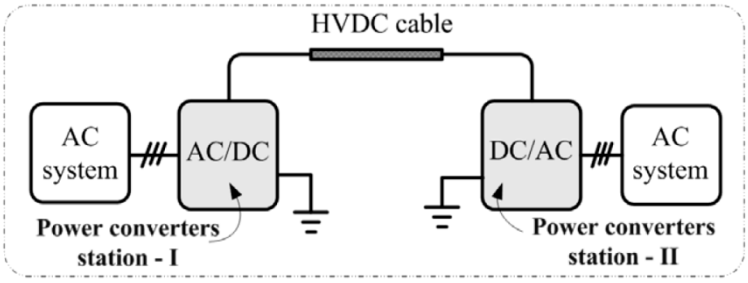
2.2 Druhy DC systémů podle rozložení napětí

- ***Monopolární***

Pro použití s nízkým nebo malým napětím v rámci budov se uplatňuje dvouvodičová varianta. Jeden vodič má kladný nebo záporný potenciál, druhý má nulový potenciál.

Druhou variantou, která se používá hlavně u vysokého napětí, je kombinace jednoho vodiče s vysokým napětím a místo druhého se využívá zem nebo voda (např. podmořské kabely). Toto zapojení je charakteristické pro vysoké napětí, potenciál vodiče je navíc většinou záporný. Pro uspořádání, kdy má vodič kladnou polaritu oproti zemi, vznikají totiž větší ztráty korónou.

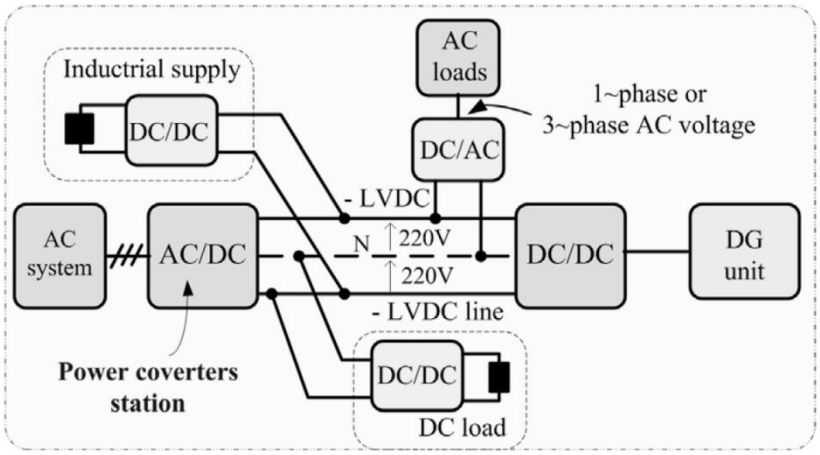
V některých státech je zakázáno vést proud zemí a musí se i pro vysoké napětí opět použít dvouvodičová varianta. Je to hlavně z toho důvodu, že stejnosměrný proud způsobuje korozi kovových objektů v zemi (např. potrubí), v některých případech by navíc mohl způsobovat rušení EMI. [5]



Obr. 2.1 Ukázka monopolárního systému (pro vysoké napětí) [5]

- ***Homopolární***

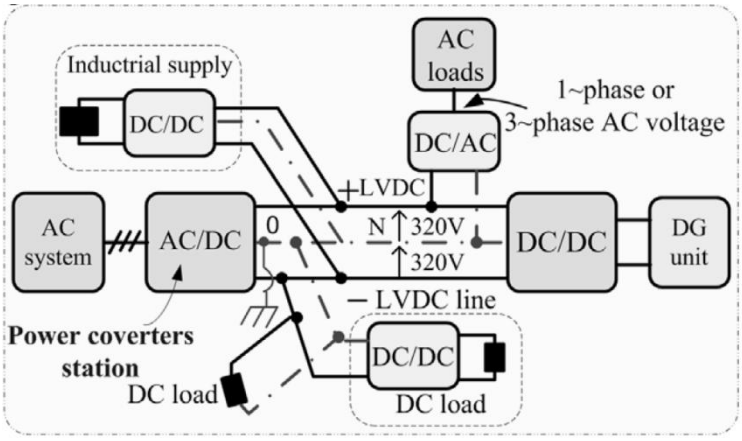
Systém má dva nebo více vodičů s napětím stejné polarity a vždy musí mít pro zpětný proud k dispozici zem nebo nulový vodič. To nevadí pro MN nebo NN, ale u vysokých napětí je to oproti srovnatelnému (bipolárnímu) systému nevýhoda. Výhodou je, že maximální rozdíl napětí jakýchkoliv vedle sebe jdoucích vodičů je poloviční oproti bipolárnímu systému, z tohoto důvodu lze snížit náklady na izolaci. Tato výhoda je však zanedbatelná. [5]



Obr. 2.2 Ukázka homopolárního systému (pro nízké napětí) [5]

- ***Bipolární***

Opět existují dvě varianty v závislosti na použití. První je vhodná pro malé a nízké napětí v budovách. Je složená ze tří vodičů, jednoho s kladnou, druhého se zápornou a třetího s nulovou polaritou. Výhodou je, že bez použití měničů systém nabízí 3 různá napětí. Například v síti 220 V lze zapojením mezi nulový a kladný nebo záporný vodič získat napětí ± 220 V. Zapojením přímo mezi kladný a záporný vodič lze dosáhnout napětí dvojnásobného, tzn. 440 V.



Obr. 2.3 Ukázka bipolárního systému (pro nízké napětí) [5]

Druhá varianta, nejpoužívanější u vysokých napětí, je ochuzená o nulový vodič. Na každé straně sítě musí být dva měniče, jejich společný uzel může být uzemněn na jedné nebo na obou stranách. Při normálním provozu teče oběma vodiči stejný proud, takže zemní proud je nulový. Nulový vodič tedy není potřeba, což vede k úspoře materiálu. Pokud se navíc

použije přizemnění na obou stranách, nebude docházet k nepříznivým vlivům jako u monopolárního systému.

V případě nouze se však dá zem jako vodič zemního proudu krátkodobě použít. Při poruše (hlavně měniče) se navíc může bipolární systém přepnout do monopolární funkce, kdy jeden vodič bude s napětím a druhý nulový. Toho se dá také využít u přenosových sítí pro lepší účinnost systému v době, kdy připojené spotřebiče odebírají pouze poloviční nebo menší výkon. [5]

2.3 Elektrické ochrany v DC rozvodu

U stejnosměrného proudu je hlavní problém s tím, že přirozeně nedochází k průchodu proudu nulovou hodnotou. Většina klasických ochran určených pro AC sítě se proto nemůže přímo použít pro ochranu DC sítí, ochrana DC je tím pádem obtížnější. Zařízení jako pojistky a jističe jsou pro AC i DC podobná. Pro DC musí pouze vydržet větší namáhání díky delší době hoření oblouku a dimenzování se musí provádět na základě efektivních hodnot napětí a proudu, které jsou pro AC i DC různé. [6]

V případě, že klasické jističe z AC sítě nesplňují požadavky DC sítě, mohou se použít dodatečné úpravy. Mezi nejčastější patří propojení kontaktů trojpólového jističe do série, tak aby se oblouk rozpínal na třech místech zároveň a došlo tak k jeho spolehlivému a rychlejšímu uhašení.

Rychlost spínání pojistek nebo jističů navíc nemusí být dostačující pro moderní měniče, které jsou velice citlivé na zvýšení proudu. V tomto případě se již musí využít speciální jističe s rychlým spínáním nebo další přístroje vyvinuté speciálně pro DC. Vzhledem k tomu, že většina dnešních sítí již citlivou elektroniku využívá a speciální DC ochrany se rychle rozvíjejí, není důvod a většinou ani možnost používat standardní AC ochrany.

Moderní DC ochrany využívají k rozepnutí kontaktů hlavně extrémní rychlost. Obvod je přerušen ještě dříve, než hodnoty proudu stačí narůst do kritických hodnot a oblouk téměř nestačí vzniknout. Doba rozepnutí je u nejrychlejších ochran pod hranicí 150 μs. Pro použití v domácnostech je v rámci snížení rozměrů a výrobních nákladů tato doba větší, vždy přizpůsobená zkratovým proudům v daném obvodu. [7]

2.4 DC zásuvky

S rozvojem stejnosměrných přenosných spotřebičů je potřeba zajistit i jejich snadné připojení a odpojení do napájecí sítě. Zde však vzniká podobný problém jako u elektrických ochran, proud totiž přirozeně neprochází nulovou hodnotou a při odpojování spotřebiče pod zatížením by docházelo k vytažení elektrického oblouku.

Řešení je prosté, nejprve se rozpojí elektrický obvod a až potom se rozpojí kontakty vytažením zástrčky ze zásuvky. Jediné, co je potřeba zajistit, je správné pořadí těchto operací. Řešením je buď mechanický vypínač, který musí uživatel před vypojením zástrčky vypnout, aby došlo k aktivaci vypínacího prvku a odblokování mechanické pojistky. Případně se jedná o automatizované řešení, kdy se po zahájení vytahování zástrčky aktivuje vypínací prvek za pomoci koncového vypínače, světlené závory nebo podobného spouštěče. V okamžiku, kdy se rozpojí kontakty zástrčky, je pak obvod již bezpečně vypnutý. Vypínací prvek je obdobný jako u el. ochran pro DC proud, nicméně stačí ho dimenzovat pouze na rozpínání jmenovitých hodnot proudu, nikoliv zkratových. [6]

3 Rozvody s malým a nízkým napětím

Tyto rozvody se při použití s místními zdroji energie (ať už střídavými nebo stejnosměrnými) většinou konstruují jako mikro sítě.

Jedná se o lokální distribuční systémy zajišťující výrobu, rozvod, transformaci, ukládání a spotřebu elektrické energie. Navíc jsou schopné pracovat jak izolovaně, tak připojené do nadřazené sítě, což zlepšuje spolehlivost dodávky a kvalitu energie pro připojeného uživatele. V rámci obytných budov, kde se místní zdroje používají jen jako zdroje dodatečné, je pro zajištění kompletního chodu většinou potřeba stálé připojení na napájecí síť. Pro hlavní rozvod se může používat střídavý nebo stejnosměrný proud, příp. kombinace obou předchozích.

Základními komponenty jsou místní zdroje pro generování elektrické energie, systémy pro ukládání energie, měniče energie a spotřebiče, příp. ještě elektrické ochrany a další podpůrná zařízení. [5]

V moderních systémech spolu všechny tyto komponenty spolupracují a jsou řízeny pomocí elektronických zařízení, které zajišťují kontrolu toku výkonů, regulaci frekvence, napětí apod. V rámci menších obytných budov by takové řízení znamenalo velké finanční náklady a ve většině situací je i zbytečné. V těchto objektech stačí většinou základní řízení toku výkonu pomocí jednoduchých zařízení typu WATTrouter [8] apod.

3.1 Důležité součásti rozvodu provozovaného jako mikro síť

3.1.1 Místní (decentralizované) zdroje energie

Jedná se o výrobu elektrické energie zařízeními, které jsou podstatně menší v porovnání se zdroji centralizovanými tak, aby bylo umožněno připojení těchto zařízení téměř v každém bodě elektrické soustavy. Všeobecně se také uvažuje, že pro zařazení do této kategorie musí mít zdroj výkon menší než několik megawatů (10 ÷ 50 MW).

Umístění těchto zdrojů je co nejblíže ke spotřebě. Musí být proto provedené tak, aby vydávaly minimální hluk a okolí znečišťovaly minimálními emisemi. Dále musí být schopné pracovat samostatně, v síti s ostrovním provozem nebo v síti připojené do nadřazené soustavy. V neposlední řadě je také požadována vysoká spolehlivost a nízká cena.

Zdroje se vybírají podle toho, aby co nejefektivněji využily daný zdroj energie (slunce, vítr, biomasu apod.) v daném místě. Mohou být tedy založené na principu neobnovitelných i obnovitelných zdrojů. [9]

Tab. 3.1 Přehled systémů decentralizované výroby energie [10]

Typ	Primární energie	OZE	Výstupní proud	Elektrická účinnost (%)	Výkon jednoho celku (kW)
Palivové články	H_2, N_2, etanol, propan atd.	NE	DC	5÷55	1÷20000
Spalovací motory	Nafta, benzin	NE	AC	30÷43	3÷6000
Mikroturbíny	Nafta, benzin, bio-nafta, zemní plyn, propan	NE	AC	14÷30	30÷1000
Fotovoltaické články	Slunce	ANO	DC	1÷20	0,02÷1000
Větrné elektrárny	Vítr	ANO	AC	x	0,2÷3000
MVE	Voda	ANO	AC	x	5÷10000

Tab. 3.2 Přehled systémů decentralizované výroby energie (pokračování) [10]

Typ	Výhody	Nevýhody
Palivové články	Malé dopady na ŽP, extrémně tiché, možná kombinované generace tepla a el. energie	Výroba vodíku a kompletní vodíkový systém je nákladný
Spalovací motory	Nízká cena, Vysoká účinnost, možnost využití různých paliv	škodlivé emise, velké dopady na ŽP
Mikroturbíny	Malé a lehké, rychlý rozběh i vypnutí, malé náklady na údržbu	Drahá technologie, Provozní cena závisí na ceně paliva, škodlivé emise
Fotovoltaické články	Žádné emise (při provozu), užitečné v různých aplikacích	Potřebují akumulační systémy, velké počáteční náklady
Větrné elektrárny	Výroba ve dne i v noci, zdroje se stálým a rozsáhlým vývojem	Nákladné, potřebují akumulační systémy
MVE	Ekonomicky výhodné, malé dopady na ŽP, malá údržba, malé investice, rychlé spuštění - pokrývání výkonových špiček	Obtížné rozšíření výroby, nároky na parametry sítě

3.1.1.1 Fotovoltaické systémy

V současné době existuje celá řada fotovoltaických panelů. V laboratorních podmínkách se dosahuje účinnosti jdoucí i k 40 %. Výrobci se předhánějí ve svých nabídkách a na trh se dostávají stále nové modely. Následující text tedy nabídne výčet pouze těch nejzákladnějších a nejpoužívanějších typů. [12], [13], [14]

- ***Monokrystalické***

Jsou složené z plátků nařezaných z tažených krystalických křemíkových tyčí. Celý článek je složen z plátků ze stejného materiálu a natočených do jednoho směru. Tím pádem se dosahuje nejvyšší účinnosti, pouze když sluneční paprsky dopadají na panel přímo a pod správným úhlem. Nejlepší pro provoz je tedy jasný slunečný den se sluncem namířeným přímo na panel. Články mají obvykle stejnorodý tmavý odstín od hnědé až do černé barvy.

Plátky křemíku jsou v základu čtvercové s oblými rohy, při sestavení tedy na panelu vznikne spousta nevyužitého místa

Účinnost u moderních typů dosahuje až k 20 %, výkonová degradace je velice nízká, menší než 0,8 % ročně, což je standardní hodnota u ostatních typů panelů.

- ***Polykrystalické***

Jsou tvořené z křemíkových odřezků tvarovaných do bloků tak, že vznikne článek obsahující několik různých částí čistého krystalu. Jelikož jednotlivé části není možné přesně zarovnat k sobě a navíc i na jejich spojích vznikají ztráty, nejsou články tak účinné. Nicméně náhodná struktura může být v některých situacích prospěšná. Panely využívají světlo dopadající ze všech úhlů a také dokážou zpracovat nízké hodnoty osvětlení, např. při zatažené obloze. Z tohoto důvodu lze říci, že tyto články jsou mírně výhodnější pro podmínky České republiky, ale rozdíl není výrazný.

Pro stejný výkon vycházejí tyto panely trochu větší, ale odlišnost je patrná až u větších instalací. Cena naopak vychází mírně nižší, ale rozdíl také není nijak razantní. Účinnost již překračuje 17 %.

Na pohled mají panely modrý odstín a jejich plocha je nesouvislá. Jednotlivé plátky jsou obdélníkové a pokrývají rovnoměrně celou plochu panelu.

- ***Tenkovrstvé***

Od klasických krystalických článků se značně odlišují a to způsobem výroby, použitými materiály, geometrií článku a dalšími vlastnostmi. Vyskytují se v různých provedeních, nejčastěji jako amorfní apod. Mají velice nízké výrobní náklady, jejich účinnost je však oproti krystalickým cca poloviční, často i značně pod 10 %. Jejich návratnost je nejlepší, v podmínkách České republiky se pohybuje kolem dvou let, navíc se hodnota neustále zlepšuje.

3.1.2 Akumulační systémy

Využití akumulace elektrické energie vylepšuje stabilitu a kvalitu dodávky, spolehlivost zdrojů a celkovou účinnost rozvodu. Některé typy místních zdrojů totiž nedodávají stálý výkon a jejich řízení je potom obtížné. Jedná se hlavně o OZE, kde se nedá nikdy přesně předpovědět průběh počasí (vítr, slunce apod.). Akumulační systémy navíc umožňují hladký přechod z ostrovního režimu do provozu v nadřazené síti.

Tab. 3.3 Přehled akumulačních systémů [10]

Technologie	Účinnost (%)	Kapacita (MW)	Hustota energie (Wh/kg)	Maximální (dnes dosahovaný) výkon	Životnost (roky)
Kondenzátory	60÷65	0÷0,05	0,05÷5	x	~ 5
Superkondenzátory	90÷95	0÷0,3	2,5÷15	x	> 20
SMES	95÷98	0,1÷10	0,5÷5	Jednotky MW	> 20
Pb-Oxid	70÷90	0÷40	30÷50	x	5÷15
NaS	80÷90	0,05÷8	150÷240	~ 60 MW	10÷15
Ni-Cd	60÷65	0÷40	50÷75	~ 40 MW	10÷20
Li-ion	85÷90	0÷1	75÷200	~ 32 MW	5÷15
Redox Flow	75÷85	0,3÷15	10÷50	~ 3 MW	5÷15
Vodík	20÷50	0÷50	800÷10000	Jednotky MW	5÷15

Tab. 3.4 Přehled akumulačních systémů (pokračování) [10]

Technologie	Počet opakovaných nabití	Počáteční náklady (€/kW)	Stav vývoje	Dopad na ŽP
Kondenzátory	Desítky tisíc	250	Dokončeno	Malý
Superkondenzátory	Desítky tisíc	800	Dokončeno	Malý
SMES	~ 100 000	150÷500	Testování	Nulový
Pb-Oxid	~ 2500	200	Ověřeno	Velký
NaS	2500÷4500	700÷2100	Dokončeno	Velký
Ni-Cd	2000÷2500	350÷1100	Dokončeno	Velký
Li-ion	~ 10 000	500÷3000	Testování	Velký
Redox Flow	> 13 000	400÷1100	Testování	Velký
Vodík	x	350÷1100	Ve vývoji	Malý

3.1.3 Lokální spotřebiče

Ve větších budovách opatřených pokročilejšími způsoby řízení toků výkonu lze spotřebiče od sítě kdykoliv odpojit nebo opět připojit. To závisí na aktuálně dostupné energii ze zdrojů a zvyšuje se tím stabilita sítě. Spotřebiče se proto musí rozdělit na spotřebiče kritické a nekritické. Kritické by pokud možno neměly být od sítě nikdy odpojené a vyžadují největší možnou kvalitu a spolehlivost dodávky elektrické energie. Nekritické by rovněž měly mít dodrženou nepřerušovanou dodávku, pokud však dojde k nedostatku energie, jsou tyto od sítě odpojené přednostně. Kvalita dodávky u nich tedy může být horší. [9]

V rámci budovy jsou kritickými spotřebiči zabezpečovací systémy, nouzová osvětlení, servery, chladničky apod., nekritickými potom běžné osvětlení, vytápění, kuchyňské spotřebiče apod.

3.2 Provoz sítě

3.2.1 Ostrovní provoz

Všechny zátěže jsou závislé pouze na lokálních zdrojích. Z toho vyplývá, že při přetížení zdrojů se musí méně důležité spotřebiče odpojit a naopak při nedostatečné spotřebě se musí omezit výkon zdrojů nebo přebytečný výkon měnit na teplo. Nespornou výhodou však zůstává relativně jednoduché řízení a správa takovéto sítě. [5]

3.2.2 Provoz ve společné soustavě

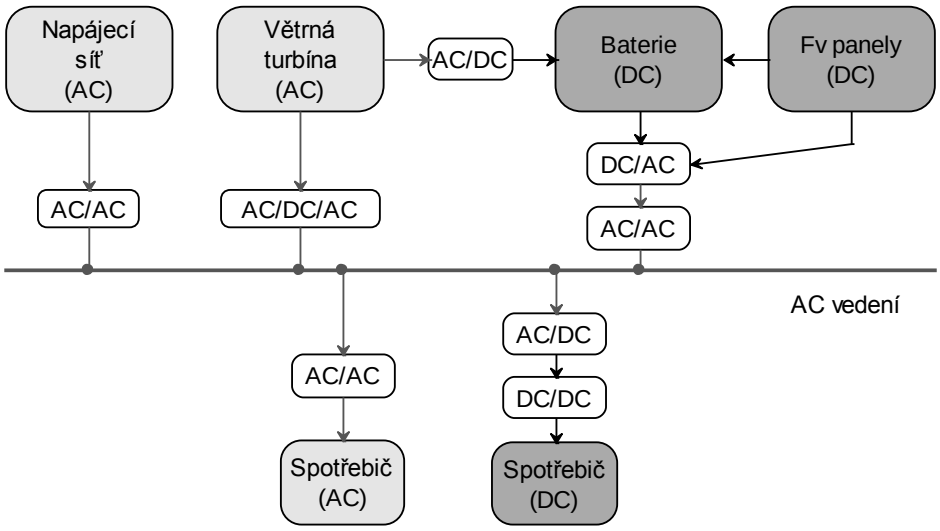
Hlavním cílem zůstává, že každý systém by si měl svoji spotřebu pokrýt vlastními zdroji. V případě potřeby však mohou dílčí systémy buď dodávat nepotřebný výkon do nadřazené sítě, nebo při nedostatku naopak výkon ze sítě odebírat. Toto řešení vede k efektivnějšímu využívání energie, nicméně řízení je podstatně složitější. V rozsáhlejších rozvodech musí být všechny měniče, zdroje a odběry centrálně řízené pro udržení požadované hodnoty napětí, frekvence a s tím související kvality elektrické energie. Na druhou stranu, při jakýchkoliv potížích, ať už na straně sítě nebo systému, může být systém ze společné sítě odpojen a pokračovat v ostrovním provozu. [5]

4 Způsoby rozvodu v obytných budovách

4.1 Rozvod se střídavým napětím

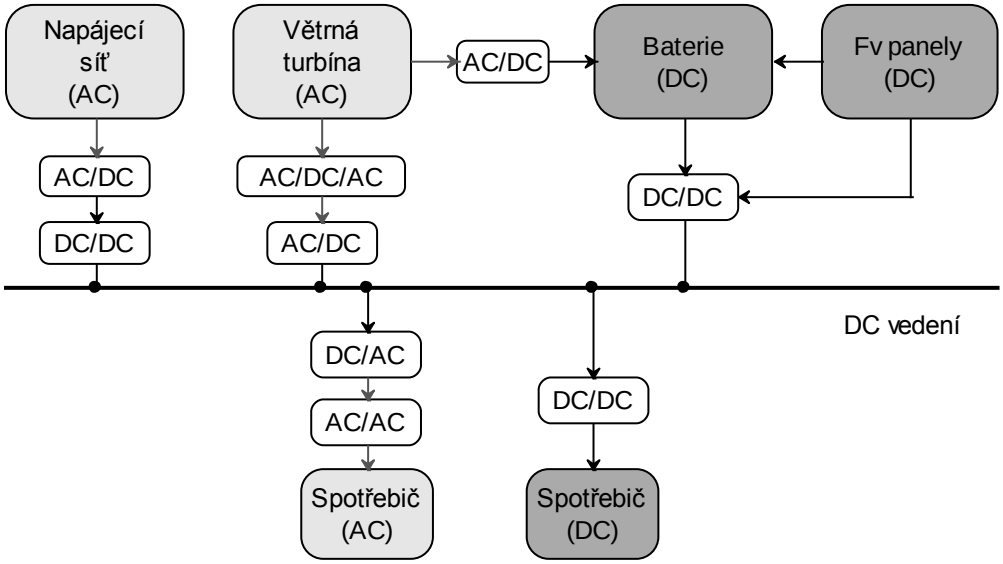
Je charakteristický tím, že všechny zdroje elektrické energie vyrábějící střídavé napětí jsou připojené přímo na sběrnici se střídavým napětím. Energie je dále vedena přes měniče napětí (transformátory) přímo ke spotřebě. Typickými zdroji střídavého napětí jsou např. větrné turbíny, vodní zdroje s malým výkonem, bioplynové stanice, přílivové a vlnové turbíny apod. Právě u těchto zdrojů je možnost přímého připojení do sítě, případně lze připojení realizovat přes AC/DC/AC měniče, které zajistí stále a stabilní spojení s požadovanými výstupními parametry.

Do této sítě lze bez problému připojit spotřebiče na střídavé napětí, stejnosměrné spotřebiče musí být doplněny AC/DC měničem. Naopak zdroje se stejnosměrným napětím (fotovoltaické panely, zařízení pro ukládání energie apod.) potřebují pro připojení do sítě DC/AC měniče. [5]



Obr. 4.1 Typické uspořádání střídavého systému

4.2 Rozvod se stejnosměrným napětím



Obr. 4.2 Typické uspořádání stejnosměrného systému

S rozvojem místních stejnosměrných zdrojů a spotřebičů na stejnosměrný proud je třeba hledat náhrady i za střídavé distribuční sítě. Jako ideální se jeví právě sítě stejnosměrné.

V průmyslu a v komerčních budovách se stávají stále rozšířenější a jejich počet stoupá každým dnem. Je proto velice pravděpodobné, že v budoucnu právě tento systém nahradí část střídavých rozvodů i v domácnostech. Problémem tak zůstává pouze připojení střídavých zdrojů, resp. spotřebičů, zde je nutno použít AC/DC, resp. DC/AC měniče. [5]

4.3 Kombinovaný rozvod se střídavým i stejnosměrným napětím

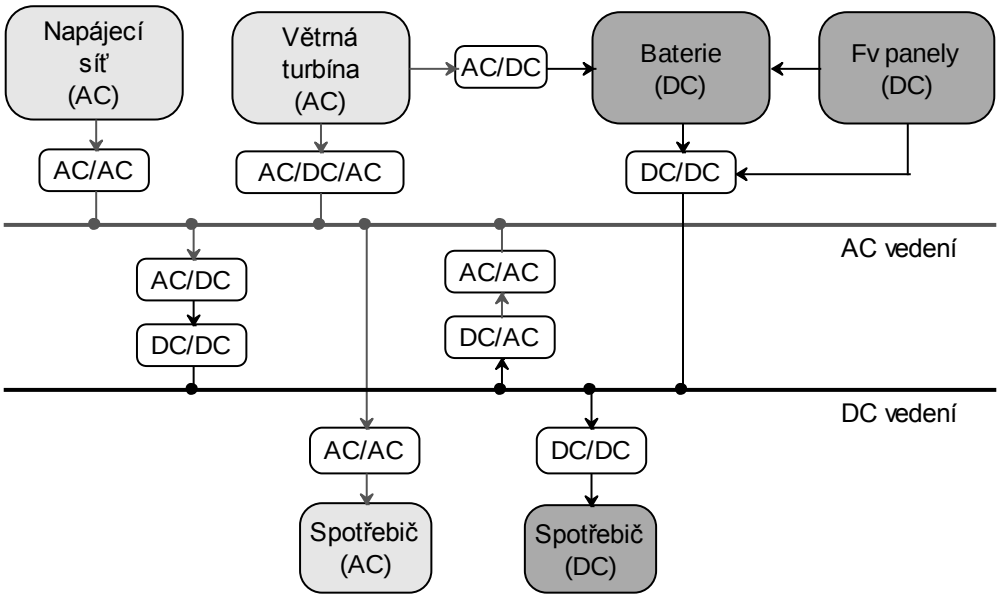
V domácnostech se dnes vždy objevuje kombinace střídavých a stejnosměrných spotřebičů a nejinak by tomu mělo být i v následujících letech. Obdobná situace panuje se zdroji energie, kde se k nynějším většinou střídavým přidávají také zdroje stejnosměrné a to hlavně FV panely a baterie. Je proto příhodné využít nejlepší vlastnosti z AC i DC systémů a spojit je dohromady v systému kombinovaném.

Znamená to připojení stejnosměrných, resp. střídavých zdrojů přímo do samostatné DC, resp. AC rozvodné sítě a také přímé napájení DC, resp. AC odběrů. Případně je možné pro změnu napěťových hladin doplnit rozvod o DC/DC, resp. AC/AC měniče. Nicméně na straně spotřebičů úplně odpadá použití AC/DC nebo DC/AC měničů, obvykle s horší účinností. Na straně napájení potom stačí jeden takový měnič pro celou DC, resp. AC síť. Těch se využívá v případě nedostatku výkonu v DC síti pro její napájení z AC zdrojů nebo v případě přebytku výkonu DC zdrojů pro napájení AC sítě.

Tento systém tedy přetváří současný trend elektroinstalací, kdy každý stejnosměrný spotřebič musí mít na svém vstupu AC/DC měnič jelikož je připojen do střídavé sítě. Každý z těchto měničů je ztrátový, navíc je často provozovaný s odběrem představujícím pár procent ze jmenovitého výkonu a výsledkem je ještě horší účinnost. Takovými odběry jsou například všechny moderní spotřebiče pracující v tzv. stand-by režimu. Účinnost běžně používaných měničů se pro nízké hodnoty zátěže většinou neuvádí (např. [15]), nicméně např. z [16] lze vyvodit, že pokud zatížení klesne cca pod 5 % jmenovitého výkonu, lze očekávat účinnost pouze kolem 50 %. Pokud by například spotřebič v tomto režimu spotřeboval 5 W, je potřeba díky vysokým ztrátám měniče dodávat výkon dvojnásobný. Na všech spotřebičích v domácnosti se potom celkové ztráty nasčítají.

Snaha je proto, vzhledem ke snížení ztrát, použití centralizovaných měničů což právě kombinovaný systém umožňuje nejefektivněji. Ty budou většinu času pracovat zatížené

a tudíž s téměř jmenovitou účinností. Navíc nahrazení více měničů jedním centrálním sníží i počáteční náklady a produkci tepla v jednotlivých zařízeních.



Obr. 4.3 Typické uspořádání kombinovaného systému

5 Použití fotovoltaického zdroje v různých systémech

Instalace FV panelů je nejčastější a zřejmě i nejjednodušší způsob realizace místního napájecího zdroje. Jedná se navíc o zdroj, který pracuje i při výpadku hlavní napájecí sítě a vyráběná energie je, při zanedbání počátečních nákladů, pro uživatele již zadarmo. Pro instalaci stačí při nejjednodušších případech velmi stručně řečeno připevnit panely, natáhnout kabel a zapojit příslušnou elektroniku. Zvláště na místech vzdálenějších od napájecí sítě („na samotě“) je takový zdroj vždy vítanou pomocí. Není divu, že jejich počet se v posledních letech rapidně rozšiřuje. Jejich nákup je navíc čas od času podpořen formou dotací a při stálém používání se tak vyplatí i z ekonomického hlediska.

Právě klasické střídavé sítě v domácnosti však nejsou pro připojení FV panelů nejideálnější.

5.1 FV zdroj v AC systému

Ve stávajících již postavených domech se jedná o nejjednodušší a mnohdy i jediné řešení. Dodatečná rekonstrukce by vyžadovala velké finanční náklady a také značné stavební úpravy. FV panel se v těchto případech často používá jen na vytápění a ohřev TUV s použitím stejnosměrných topných spirál. V podstatě se tedy jedná o samostatné stejnosměrné propojení pouze mezi panelem a spirálou, které se za skutečný rozvod nedá zřejmě ani považovat.

Druhým, také často používaným způsobem je použití panelů jako dodatečného místního zdroje energie. Panely jsou potom přes výkonové invertory připojené přímo do střídavého rozvodu a ve vícefázové síti je nutné jejich výkon rovnoměrně rozdělit mezi jednotlivé fáze. To vše snižuje celkovou účinnost takto provozovaného rozvodu.

Z finančního hlediska značně záleží na způsobu používání daného objektu a na životnosti panelů. Počáteční náklady zahrnují v největší míře pouze nákup FV panelů, invertorů, kabeláže a jednoduché řídící elektroniky. Tedy základních prvků, které jsou, mimo invertory potřeba při každé instalaci. Co se týče provozních nákladů, zde bude docházet k již zmiňovaným ztrátám v důsledku malé účinnosti rozvodu. Je potom otázka, zda budou za dobu životnosti panelů větší náklady na provoz nebo náklady vložené do nového rozvodu, který by provozní náklady snížil. Na tuto otázku by měla odpovědět provedená simulace v kapitole 7.

5.2 FV zdroj v DC systému

Kompletní DC systém není v obytných budovách téměř nikde používán. Výjimku tvoří budovy technické, např. datacentra nebo serverovny, pracující pouze se stejnosměrnými spotřebiči. Připojení FV panelů do tohoto systému je však nejjednodušší. Pokud je již rozvod proveden jako stejnosměrný, je dodatečná montáž panelů také ekonomicky nejvýhodnější. Cena je oproštěna o investici do invertorů a odpadají problémy s rozložením výkonů do fází. DC systém má navíc menší ztráty a celkový provoz systému s připojeným FV panelem by tak vyšel nejlépe téměř ze všech hledisek. Navíc baterie může být připojena do jakékoliv části rozvodu.

Horší situace nastává v již hotových stavbách. Zde by připojení FV panelu znamenalo také dodatečnou investici do rekonstrukce stávajícího rozvodu střídavého na stejnosměrný.

Tato investice by nebyla malá a takto provozovaný systém by se již zřejmě, s ohledem na počáteční náklady, nevyplatil.

Provádění kompletního DC rozvodu v novostavbách není v dnešní době příliš efektivní. Nicméně kdyby nastala situace, že dům bude již od začátku vystavěn se systémem stejnosměrným, znamenalo by to, oproti AC systému, dodatečné náklady pouze na některé složitější DC prvky, např. ochrany. Instalace FV panelu by se tak, i se započítáním dodatečných nákladů, s největší pravděpodobností vyplatila.

5.3 FV zdroj v kombinovaném systému

Zde je připojení stejně jednoduché jako u DC systému. Připojení se totiž v základu provádí právě do stejnosměrné části rozvodu.

V již postavených budovách se stejnosměrná část rozvodu vytvoří tak, že se okruhy obsahující pouze stejnosměrné spotřebiče (převážně světelné okruhy) separují a napojí na DC sběrnici. Pokud je třeba na stávajícím okruhu zachovat i AC odběry, je třeba pro DC odběry natáhnout nové vodiče. Na počtu stejnosměrných spotřebičů tedy závisí to, jak finančně náročná by byla přestavba rozvodu a jak rozsáhlé by byly stavební úpravy. Z hlediska provozních nákladů a ztrát by se však rozvod vyplatil zřejmě nejvíce. Pro posouzení výhodnosti by byla potřebná detailní kalkulace.

V novostavbách znamená vytvoření DC části rozvodu pouze natažení několika kabelů navíc, oproti kompletnímu AC rozvodu, a použití dražšího vybavení, např. elektrických ochran. Účinnost tohoto kombinovaného systému bude nejlepší a připojení FV panelů jednoduché. Pro nejlepší využití energie by byla ještě potřebná investice do měničů v případě přebytků nebo nedostatků výkonu. Ta by však opět snižovala ztráty takovým způsobem, že by se zřejmě také vyplatila.

Celkově lze říct, že kombinovaný systém nebude z teoretického hlediska připojení FV panelů stejně efektivní jako kompletní DC rozvod. Nicméně spotřebiče v domácnosti jsou smíšené (AC i DC), čili z praktického hlediska tento systém nejideálnější zřejmě bude, jak ukazuje simulace v kapitole 7.

6 Podobné práce

Na téma různých rozvodných systému v obytných budovách byla již napsána spousta odborných i neodborných textů. Většina z nich má pouze analytický charakter a jen málo prací je doplněno pokusy nebo laboratorním měřením.

V [17] je popsáno ušetření energie díky nahrazení více AC/DC měničů jedním centralizovaným a s tím související použití DC rozvodu pro napájení DC zátěží. Navíc je zde uvedeno zlepšení účinnosti také díky výměně některých klasických AC spotřebičů (např. ledničky) za jejich stejnosměrnou alternativu.

V [18] byl navržen model, který porovnává cenovou a energetickou výhodnost několika systémů, včetně systému střídavého, kombinovaného a stejnosměrného při různých napěťových hladinách. Závěrem je, že ve všech situacích, kdy byl použit DC rozvod, se energetická účinnost i cena vylepšila. Nicméně ve studii bylo počítáno s poměrně vysokým DC napětím a účinností měničů, která favorizovala právě DC rozvod.

Rostoucí počet stejnosměrných domácích zařízení je popsán v [19], [20], včetně kombinovaného rozvodného systému zahrnujícího akumulaci energie a napájení z FV panelů. Výpočet ztrát na DC vedení v rámci obytného domu při různých napěťových hladinách ukázal, že pomocí DC rozvodu může být dosaženo pouze velice malé zlepšení účinnosti.

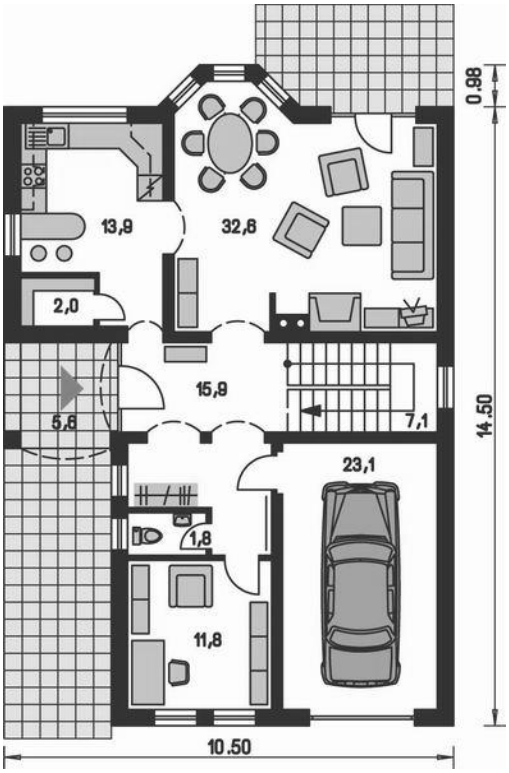
V [21] autor navrhnul model porovnávající DC a AC rozvod v obytné budově s a bez přítomnosti místního stejnosměrného napájecího zdroje. Stejně jako v [22] se došlo k závěru, že DC rozvod pro tyto budovy není vhodný, pokud není napájen DC zdrojem.

7 Návrh komplexního systému pro rodinný dům

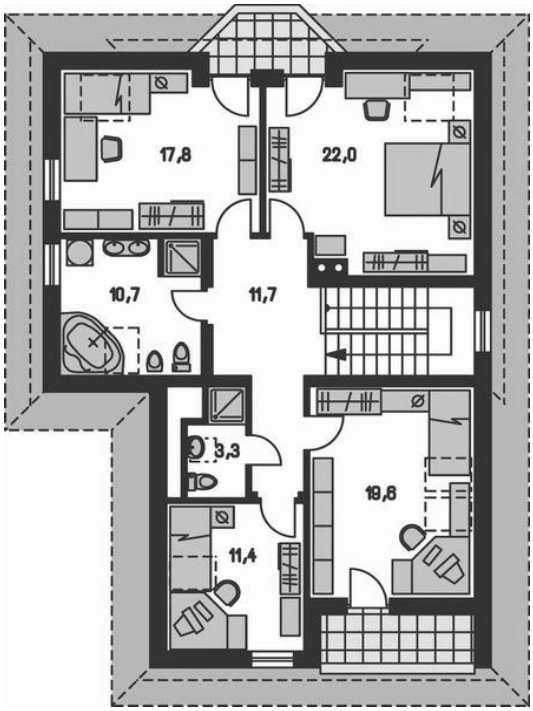
7.1 Popis objektu

Pro návrh byl vybrán klasický modelový rodinný dům 6+1 s celkovou užitnou plochou 218 m^2. [23]

Obr. 7.1 Celkový pohled na budovu [23]



Obr. 7.2 Půdorys přízemí [23]



Obr. 7.3 Půdorys prvního patra [23]

7.2 Energetická bilance

Bilance byla přibližně naplánována pro čtyř člennou rodinu. Jedná se o kalkulaci špičkového výkonu, který však musí rozvod i trvale vydržet. Započítané byly základní hojně používané přístroje na střídavý proud s celkovým navrhnutým příkonem 20,3 kW. Pro osvětlení, počítače a drobnou elektroniku (jako nabíječky pro přístroje využívající USB, LED lampičky pro přídavné osvětlení apod.) s celkovým příkonem 4 kW je počítáno s přímým využitím stejnosměrného proudu.

Jako se zvláštní kategorií bylo nakládáno s nejvíce výkonnou částí domu a to sice s elektrickým vytápěním a ohřevem teplé užitkové vody. Pro zjednodušení bylo předpokládáno využití akumulační nádrže osazené topnými spirálami 2x 2 kW a 1x 3 kW ve spodní části a jednou spirálou 3 kW ve vrchní části kvůli zvýšení teploty vody pro zabudovaný okruh ohřevu TUV. Jelikož by systém vytápění značně ovlivňoval celkovou účinnost v případě zapojení DC síť – AC spotřebič nebo naopak a v dnešní době není problém sehnat topné spirály určené jak pro AC, tak pro DC proud, bylo zvoleno následující uspořádání pro co nejvyšší účinnost. Pro DC rozvod byly použité všechny spirály na DC proud, pro AC rozvod všechny na AC proud a pro kombinovaný AC i DC systém spirály 3 + 2 + 2 kW na DC a 3 kW na AC proud.

Tab. 7.1 Přehled střídavých odběrů

Střídavé odběry	
Spotřebič	**Příkon [kW]**
Myčka nádobí	2,2
Elektrická trouba + varná deska	3,1
Pračka + Sušička	2,2
Mikrovlnná trouba	0,8
Další kuchyňské přístroje	3
Ostatní přístroje	5
Rezerva	4
Celkový příkon ΣP	20,3

Tab. 7.2 Přehled stejnosměrných odběrů

Stejnosměrné odběry	
Spotřebič	**Příkon [kW]**
Osvětlení	2
PC, Notebook	1.5
Drobná elektronika	0.5
Celkový příkon ΣP	4

Tab. 7.3 Přehled kombinovaných odběrů

Kombinované odběry	
Spotřebič	**Příkon [kW]**
Vytápění	2 + 3 + 2
Ohřev TUV	3
Celkový příkon ΣP	10

- ***Odhad roční spotřeby energie***

Kalkulace roční spotřeby energie je bez praktických měření jen těžko odhadnutelná. Proto spíše než vypočtena, byla pouze stanovena na 50 kWh/m^2/rok. Tato hodnota odpovídá spotřebě nízkoenergetického domu, téměř už domu pasivnímu, a bez velkých tepelných ztrát a častém používání spotřebičů o velkém výkonu by měla být snadno dosažitelná [24]. Jelikož výměra domu je 218 m^2, vychází roční celková spotřeba energie na cca 11 MWh. Vytápění i ohřev TUV je navíc proveden elektrickým proudem, takže tato hodnota odpovídá i spotřebě elektrické energie. Průměrná denní spotřeba el. energie potom vychází na necelých 30 kWh, což je průměrně 1,25 kWh za hodinu.

Roční spotřeba je důležitá kvůli finančnímu zhodnocení. Zde bude uvažováno s 50 % pokrytím spotřeby z FV panelů, 30 % z dalších místních OZE a 20 % spotřeby, případně dodatečné ztráty, budou hrazené z rozvodné sítě. Aktuální průměrná cena elektřiny je 4,75 Kč/kWh [25]. Roční cena za elektřinu odebíranou z rozvodné sítě (20 %) tedy vychází, bez započítaných ztrát, na 10 355 Kč.

O elektrických instalacích provedených před cca 35 lety se dnes píše, že mají na hranici životnosti. Je to ale dáno především použitím hliníkových vodičů. U dnešních instalací s měděnými vodiči se hovoří o životnosti daleko delší. Jedinými nalezenými potvrzenými

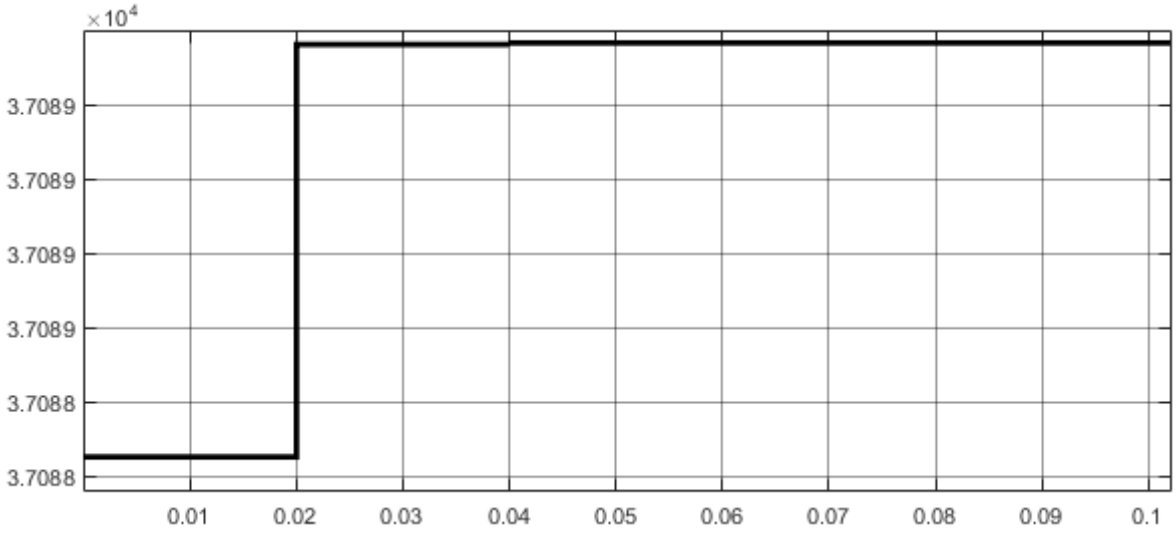
údaji jsou průměrná životnost kabelů, která je 40 let [26], dále životnost jističů - 20 000 operací [27] a životnost tzv. WAGO svorek – min. 30 let [28]. Jako celková životnost elektroinstalace byla tudíž stanovena hodnota 40 let.

7.3 Simulace

7.3.1 Popis simulace

V programu Simulink byl vytvořen kompletní model rozvodů v budově. Uvažovány jsou výkonové úbytky na DC i AC vedení, účinnosti měničů a také účiník u AC/DC měničů. Dále jsou započítány úbytky napětí na vedeních, vliv činných a jalových výkonů a při napájení z baterie, také její účinnost.

Pevně dané jsou hodnoty napětí sítě na vstupu do objektu a výkony jednotlivých odběrů. V první fázi simulace proběhne výpočet ztrát na měničích a vedeních směrem od spotřebičů k bodu napájení. To se nejprve děje s uvažováním plného vstupního napětí na všech částech sítě a výsledkem je celkový vstupní výkon. Ve druhé fázi je vstupní napětí, podle výkonových ztrát spočtených v předchozí fázi, ochuzeno o úbytky napětí na jednotlivých částech vedení směrem od bodu napájení ke spotřebičům. Ve třetí fázi se opět opakuje fáze číslo 1 ovšem už se započítáním úbytků napětí. Tento cyklus se opakuje až do konce simulace. Výsledný vstupní výkon tedy v jednotlivých krocích do nekonečna narůstá.



Obr. 7.4 Ukázka pěti prvních kroků simulace pro výpočet vstupního výkonu AC systému

Nicméně při použitých relativně velkých napětích (230, resp. 300 V) dochází k minimálním úbytkům a již po cca třech krocích je přesnost výsledku natolik dobrá, že plně dostačuje pro dané potřeby.

Příklad na *Obr. 7.1* ukazuje výpočet celkového vstupního činného výkonu v AC síti s napětím 230 V. Jeden krok trvá 0,02 sekund, po prvním kroku je ještě vidět větší změna, ale na konci druhého kroku je již hodnota při daném měřítku konstantní.

7.3.2 Celkové schéma

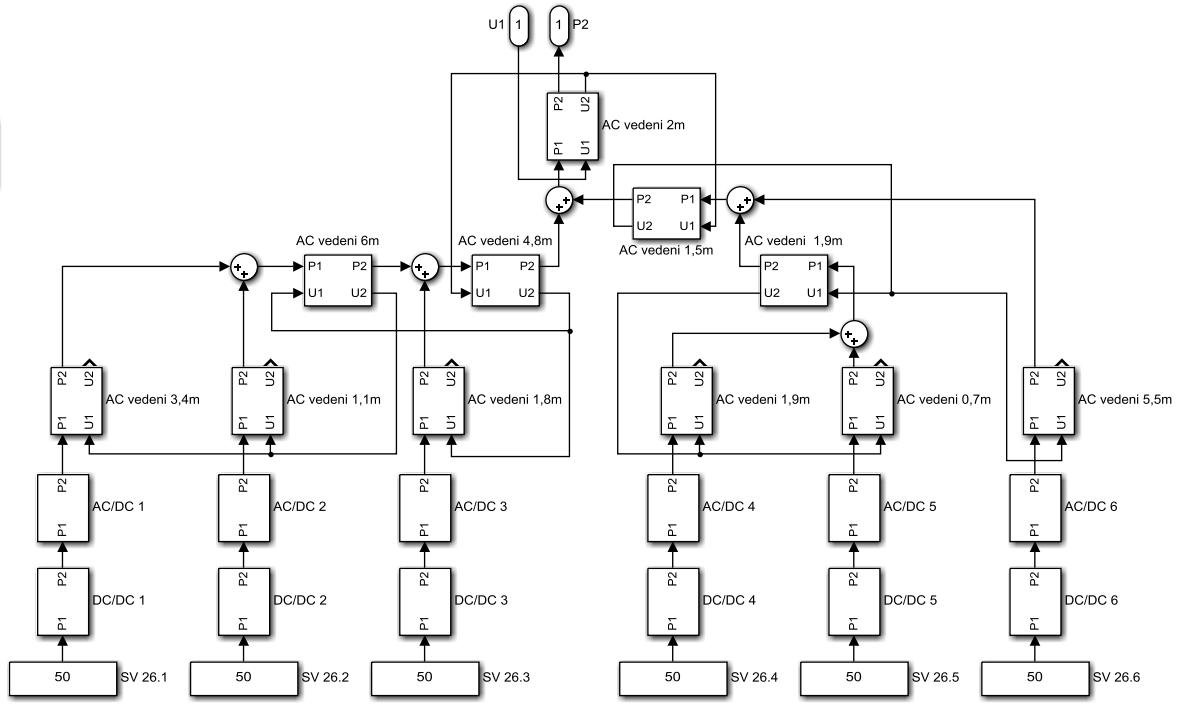
V práci byla zkoumána celková účinnost tří systémů. Prvním byl kompletní rozvod se střídavým proudem, druhým kompletní rozvod se stejnosměrným proudem a třetím kombinace obou předchozích. Tato varianta představuje zapojení všech DC spotřebičů na samostatný DC rozvod a všech AC spotřebičů na AC rozvod s tím, že oba dva systémy je možné napájet dle potřeby z jakéhokoliv zdroje.

Pro co nejlepší přesnost výpočtu bylo prostorové rozložení střídavého a stejnosměrného systému pro celou budovu navrženo v programu AutoCAD, viz. příloha č. 1 a 2. Odsud mohly být následně odečtené přesné délky vodičů, rozložení a počet jednotlivých zásuvkových a světelných vývodů.

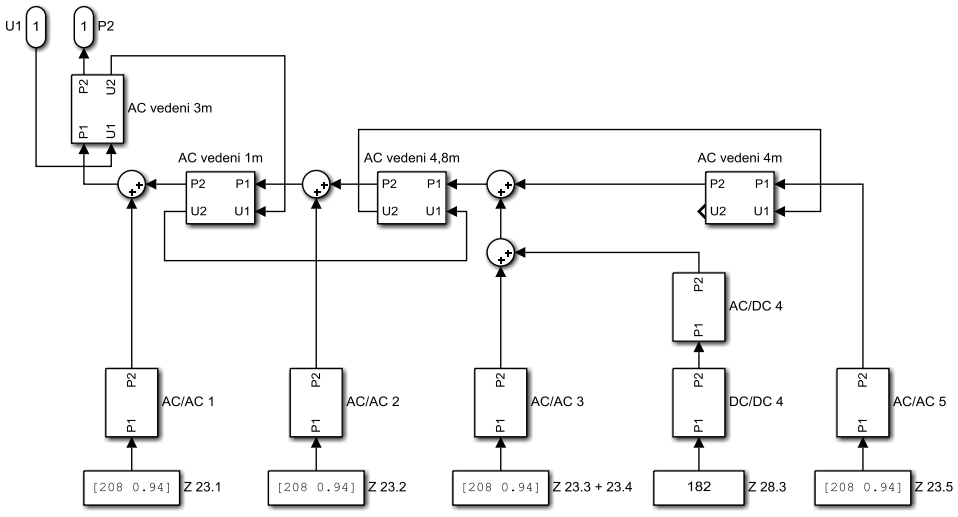
Jednotlivé okruhy byly dle odečtených parametrů namodelované v programu Simulink. Pro lepší přehlednost byly okruhy rozdělené do samostatných bloků a propojené až v celkovém schématu. Všechny okruhy v přízemí jsou vedené do společného rozvaděče, stejně tak všechny okruhy v patře. Z obou rozvaděčů potom vede spojovací vedení do technické místnosti, z každého rozvaděče jedno. V technické místnosti jsou umístěné vstupní měniče a baterie.

Celkové blokové schéma, vizuálně shodné pro kompletní DC a AC rozvod, a blokové schéma pro kombinovaný rozvod jsou pro lepší čitelnost a přehlednost součástí přílohy č. 3 a č. 4.

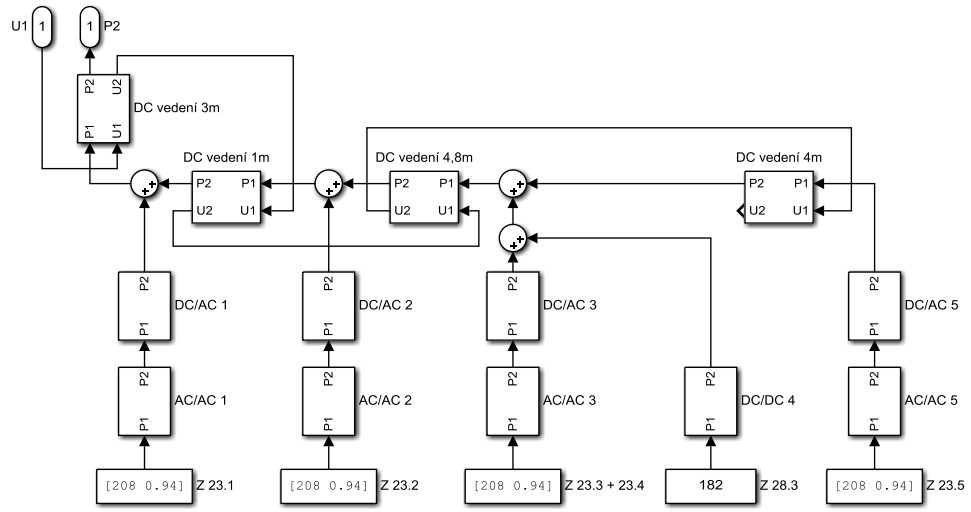
Schémata jednotlivých okruhů je možné zobrazit přímo v programu Simulink, viz. elektronické soubory na CD. Pro ukázku některých okruhů, jejich zapojení a kombinaci měničů v různých rozvodech slouží obrázky *Obr. 7.5 až Obr. 7.8*.



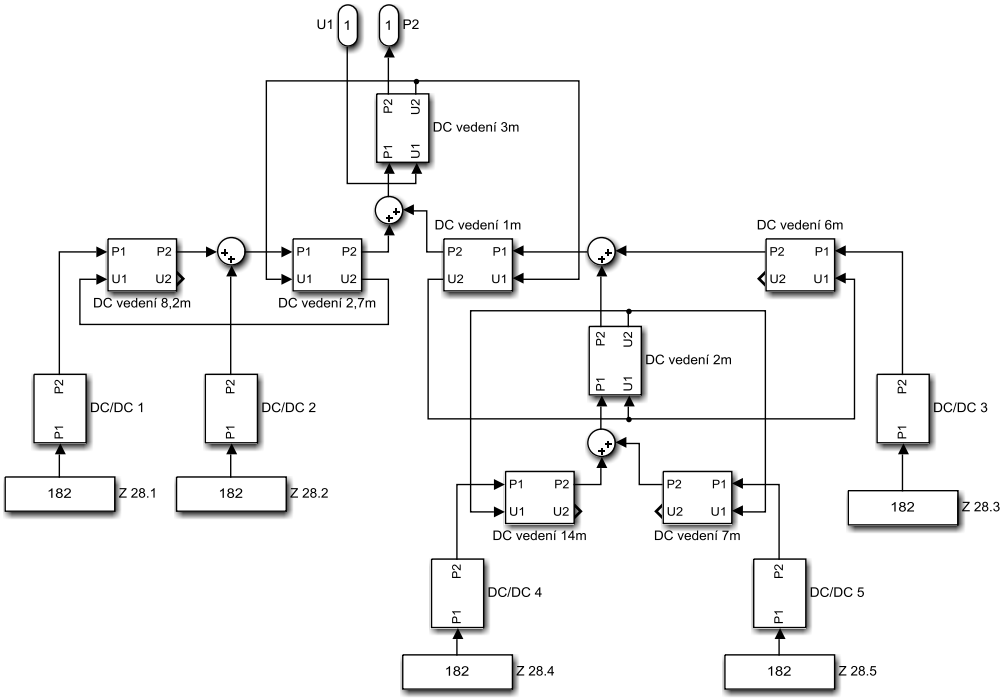
Obr. 7.5 Detail světelného okruhu č. 26 s DC odběry napojeného na AC rozvod



Obr. 7.6 Detail zásuvkového okruhu č. 23 s DC i AC odběry napojeného na AC rozvod



Obr. 7.7 Detail zásuvkového okruhu č. 23 s DC i AC odběry napojeného na DC rozvod



Obr. 7.8 Detail zásuvkového okruhu č. 12 pouze s DC odběry napojeného na DC rozvod

7.3.3 Rozložení výkonů pro simulaci

Příkon jednotlivých spotřebičů s vyšším výkonem (myčka, pračka apod.) a příkon topné soustavy byl přiřazen přímo k danému vývodu/zásuvce, do které bude přístroj připojen. Ze zbylého příkonu AC spotřebičů, tj. 12 kW byl následně odečten 1 kW pro trojfázovou zásuvku a zbylých 11 kW se pro potřeby simulace rovnoměrně rozložilo mezi zbylé AC vývody/zásuvky o celkovém počtu 53 kusů. To samé bylo provedeno s DC příkonem 2 kW

rozděleným rovnoměrně mezi 11 DC zásuvek a příkonem 2 kW rozděleným mezi 40 světelných vývodů.

7.3.4 Použité vodiče

Pro všechny světelné AC rozvody byly použité jednofázové trojžilové kabely s průřezem 1,5 mm^2 ve složení fázový, nulový a ochranný vodič. To samé pro zásuvkové obvody, pouze s průřezem 2,5 mm^2. Výjimku tvoří trojfázové okruhy č. 1A a č.6, které jsou provedené trojfázovým kabelem 2,5 mm^2 ve složení 3 x fázový, nulový a ochranný vodič, okruh č.1 taktéž, průřezem 6 mm^2. Hlavní přívody k rozvaděčům jsou trojfázové s průřezem pro přízemí 10 mm^2 a pro patro 6 mm^2 v AC rozvodu, resp. 6 mm^2 a 4 mm^2 pro AC část kombinovaného rozvodu.

Podobné schéma platí i pro DC rozvody. Světelné obvody mají průřez 1,5 mm^2 a jsou provedené monopolárním DC systémem, tzn. složení kladný, nulový a ochranný vodič, zásuvkové obvody obdobně s průřezem 2,5 mm^2. Okruh č. 6 je proveden bipolárním vedením o průřezu 2,5 mm^2 ve složení kladný, záporný, nulový a ochranný vodič, okruh č. 1B taktéž, s průřezem 4 mm^2 a okruh č. 1 s průřezem 6 mm^2. Hlavní přívody k rozvaděčům jsou bipolární s průřezem 10 mm^2 pro přízemí a 6 mm^2 pro patro v DC systému, resp. 4 mm^2 a 2,5 mm^2 v kombinovaném systému.

7.3.5 Použité napěťové hladiny

Pro AC rozvod bylo použito standardní síťové fázové napětí 230 V. Maximální úbytek v síti je 1,2 V. Pro DC rozvod bylo vybráno jednotné, u měničů používané, napětí mezi kladným nebo záporným vodičem a nulovým vodičem 300 V s maximálním úbytkem v rozvodu 1,3 V.

Byly také provedené experimenty s napětím 5 a 12 V, která jsou přímo použitelná pro napájení počítačů a drobného elektrozařízení využívajícího USB.

Při použití 5V rozvodu na okruhu č. 28 přesahoval úbytek napětí na nejvzdálenějším konci vedení, i při použití vodičů o průřezu 16 mm^2, hodnotu 2,5 V. Úbytek 50 % při navržených špičkových odběrech je absolutně nepřípustný, nehledě na velikost proudů, které by obvodem protékaly.

Obdobná situace platí u rozvodu 12 V, kde při použití vodičů o průřezu 4 mm^2 je úbytek napětí přes 40 %, u průřezu 10 mm^2 potom cca 15 %.

Pokud by byl systém využíván pouze pro napájení spotřebičů s malým výkonem, problémy by to vyřešilo, nicméně to by se kabeláž zase nemusela vyplatit po ekonomické stránce. Vzhledem k tomu, že většina zařízení potřebuje pro svůj chod stejně napájení se stabilizovaným napětím, není již problém vstupní obvod osadit také měničem napětí a pro rozvod využít vyšší hladiny napětí. Použití nízkých napěťových hladin bylo proto pro tuto práci nakonec zavrhnuto.

7.3.6 Účinnost a účiník použitých měničů a odběrů

Pro napájení vytápění bylo počítáno s rovnoměrným přímým napojením trojfázového rozvodu s fázovým napětím 230 V AC, resp. bipolárního rozvodu s napětím jedné větve 300 V DC na topné spirály. Měnič u tohoto okruhu č. 1 (příp. 1A, 1B) tedy nebyl použit.

Všechny měniče byly uvažovány jako moderní typy, které mají neproměnnou konstantní účinnost při jakémkoliv zatížení - od nulových hodnot až po jmenovité výkony. Částečně se jednalo o zjednodušení pro potřeby simulace, částečně o fakt, že nejmodernější měniče sice nedokážou udržet konstantní účinnost, nicméně na velké části rozsahu zatížení se účinnost mění pouze v řádu jednotek procent. Důkazem je např. [29]. Příklad charakteristiky η=f(P) u prodávaného použitého AC/DC měniče je na *Obr. 7.9.* Hodnoty všech použitých měničů jak na straně napájení, tak na straně spotřebičů jsou v *Tab. 7.4 a Tab 7.5*.

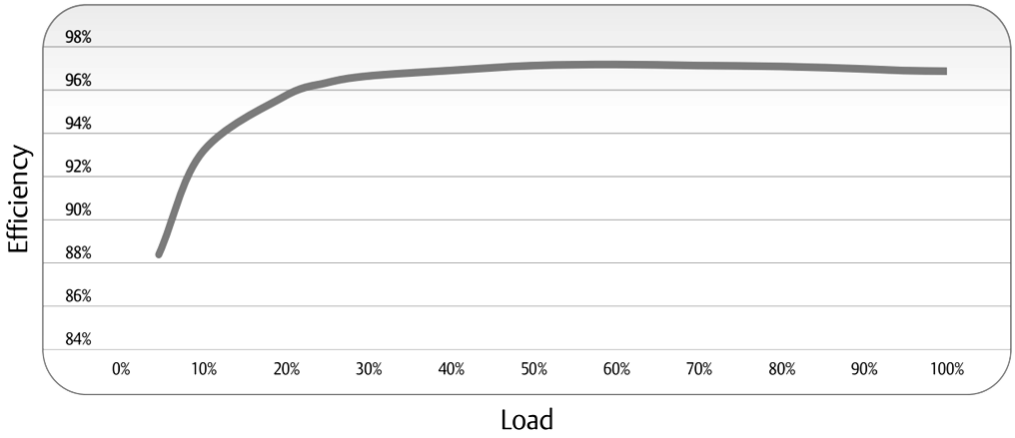
Tab. 7.4 Použité měniče na straně spotřebičů

Typ měniče	Použití (maximální výkon)	Účinnost (účiník)
AC/AC [11]	Zásuvkové vývody AC (1500 W)	0.92
	Sporák (3500 W)	0.94
	Myčka (2500 W)	0.93
	Pračka (2500 W)	0.93
DC/AC	Zásuvkové vývody AC (1500 W) [30]	0.92
	Sporák (3500 W) [31]	0.94
	Myčka (2500 W) [32]	0.91
	Pračka (2500 W) [32]	0.91

AC/DC	Světelné vývody DC (75 W) [33]	0.94 (0.99)
	Zásuvkové vývody DC (1000 W) [34]	0.9 (0.95)
DC/DC	Světelné vývody DC (75 W) [35]	0.9
	Zásuvkové vývody DC (1000 W) [36]	0.91

Tab. 7.5 Použité měniče na straně napájení

Typ měniče	Účinnost (účiník)
AC/AC [11]	0.95
DC/AC [37]	0.92
AC/DC [38]	0.97 (0.99)
DC/DC [39]	0.95



Obr. 7.9 Příklad charakteristiky η=f(P) AC/DC měniče [38]

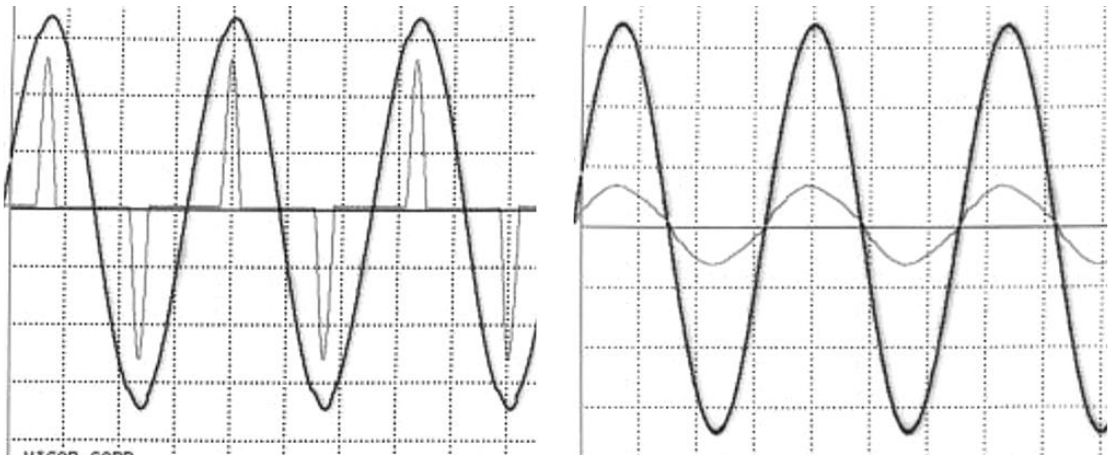
U DC/AC měniče je účinnost běžně udávána pro odporovou zátěž. V případě obecné AC zátěže odebírající i jalový výkon je třeba účinnost vynásobit ještě účiníkem. Vlivem špatného účiníku zátěže je totiž třeba dodat měniči na vstup více činného výkonu, než jaký výkon je transformován na výstupní činný výkon. Špatný účiník tedy v konečném důsledku zhoršuje celkovou účinnost měniče. [40]

Účiník u všech měničů i spotřebičů byl rovněž pro potřeby simulace uvažován jako konstantní. U většiny měničů by se, i s použitím nejmodernějších technologií jako PFC, zcela jistě se zatížením měnil. Vliv technologie PFC u prodávaného použitého AC/DC měniče

je vidět na *Obr. 7.10*. U spotřebičů, které povětšinou pracují v režimu start-stop by účiník moc nekolísal. Použitý účiník u jednotlivých spotřebičů je uveden v *Tab. 7.6*.

Tab. 7.6 Účiník AC odběrů

Odběr	Účiník
Sporák	0.99
Myčka	0.98
Pračka	0.98
Mikrovlnná trouba	0.99
Zásuvkové vývody	0.94
Elektrické vytápění	0.99

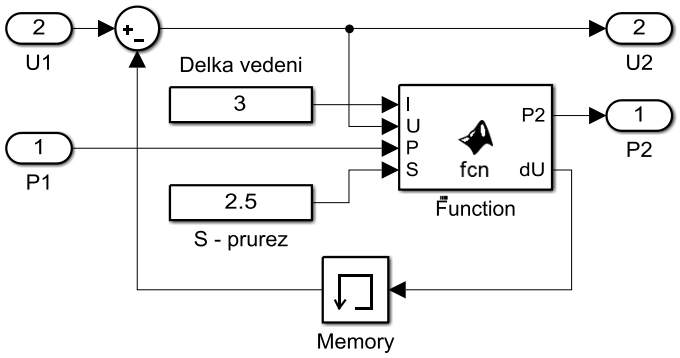


Obr. 7.10 Příklad průběhu vstupního proudu a napětí AC/DC měniče – vlevo bez jakéhokoliv filtru, vpravo s technologií PFC [33]

U všech prvků využívajících AC proud byl také zanedbán vliv harmonických. Opět se jedná jak o zjednodušení, tak o fakt, že vliv na tyto problémy mají hlavně měniče. Výrobci vliv harmonických udávají jako parametr THD, což je v jednoduchosti poměr výkonu vyšších harmonických k výkonu první harmonické. U většiny navštívených měničů a také u všech měničů použitých v této práci je hodnota THD menší než 10%. Například u AC/DC měniče [33] je hodnota THD 8,5%. Ovlivňování sítě tedy není nijak závažné.

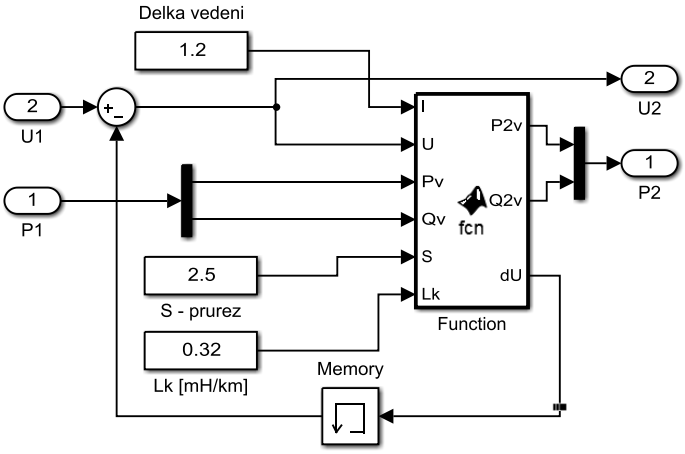
7.3.7 Ukázka hlavních vnořených bloků

- ***DC vedení***



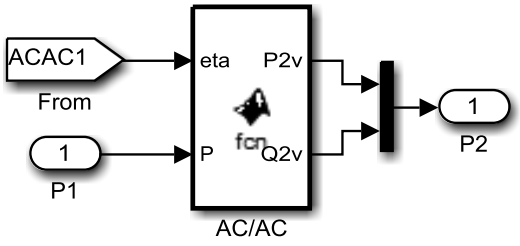

```
function [P2,dU]=fcn(l,U,P,S)
R=0.0176*l/S;
I=P/U;
dU=R*I;
P2=P+(R*(I^2));
```

- ***AC vedení***



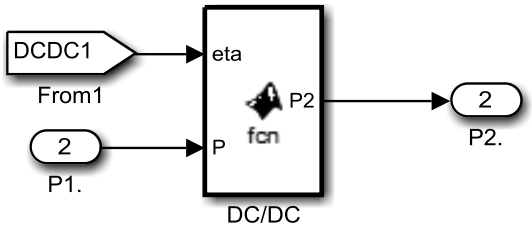

```
function
[P2v,Q2v,dU]=fcn(l,U,Pv,Qv,S,Lk)
R=0.0176*l/S;
X=2*pi*50*Lk*l/1000000;
fi=atan(Qv/Pv);
cosfi=cos(fi);
sinfi=sin(fi);
I=Pv/U/cosfi;
dU1=R*I*cosfi;
dU2=X*I*sinfi;
dU=dU1+dU2;
P2v=(U+dU)*I*cosfi;
Q2v=(U+dU)*I*sinfi;
```

- ***AC/AC měnič***



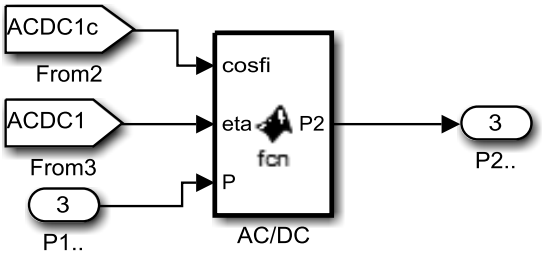

```
function [P2v,Q2v]=fcn(eta,P)
Pv=P(1,:);
cosfi=P(2,:);
fi=acos(cosfi);
P2v=Pv/eta;
Q2v=P2v*tan(fi);
```

- ***DC/DC měnič***



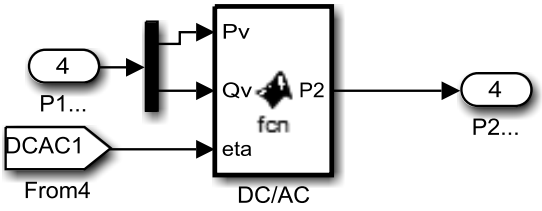

```
function P2=fcn(eta,P)
P2=P/eta;
```

- ***AC/DC měnič***




```
function P2=fcn(cosfi,eta,P)
fi=acos(cosfi);
Px=P/eta/cosfi;
Q=Px*tan(fi);
P2=[Px;Q];
```

- ***DC/AC měnič***




```
function P2=fcn(Pv,Qv,eta)
fi=atan(Qv/Pv);
P2=Pv/eta/cos(fi);
```

7.4 Zhodnocení účinnosti jednotlivých systémů

Vypočtené vstupní výkony z jednotlivých systémů (AC, DC a kombinovaného) byly dále zpracovány. Byly uvažovány různé situace a to když rozvod bude napájen pouze stejnosměrnými (místními) zdroji, když bude napojen přímo na střídavou rozvodnou síť (nebo střídavý místní zdroj) a také kombinace, kdy určité procento výkonu bude dodáváno z DC zdroje a zbytek ze střídavé sítě.

Místním zdrojem jsou myšleny hlavně fotovoltaické panely a to opět ve stavu, kdy budou dodávat energii přímo do rozvodu nebo budou nabíjet baterii a až z ní půjde energie dále. Případně opět situace, kdy bude část energie dodávána přímo z panelů a část z baterie.

Dále je možno jako místní zdroj použít jakýkoliv zdroj dodávající střídavou energii. Tento je potom připojen na vstup ze střídavé sítě a podle aktuálního vyráběného výkonu pokrývá určité procento dodávaného střídavého výkonu. Vzhledem k tomu, že účinnost rozvodu nebude nijak ovlivněna, ať už je střídavý výkon dodáván ze sítě nebo ze střídavého místního zdroje, je dodávka z takového zdroje v dané simulaci spíše formalitou.

U kombinovaného systému jsou vstupní výkony rozdělené na střídavé a stejnosměrné a opět záleží na tom, z jakého zdroje je každý z podsystémů (AC nebo DC) napájen.

Celkový činný výkon všech odběrů je nakonec vydělen výsledným součtem všech činných vstupních výkonů dodávaných všemi aktuálně připojenými zdroji pro pokrytí celkové spotřeby a výsledkem je celková účinnost rozvodu. Účinnost se při různé kombinaci zdrojů mění. Zátěže v simulaci zůstávají zprvu pro proměření základních charakteristik konstantní o velikostech podle návrhu, poté se pro prověření některých specifických stavů mění také.

Na místo baterie byl vybrán moderní typ Redox Flow (viz. kapitola 3) s účinností 80 %, vysokou možnou kapacitou a velkým maximálním výkonem a zároveň s relativně malými prostorovými nároky.

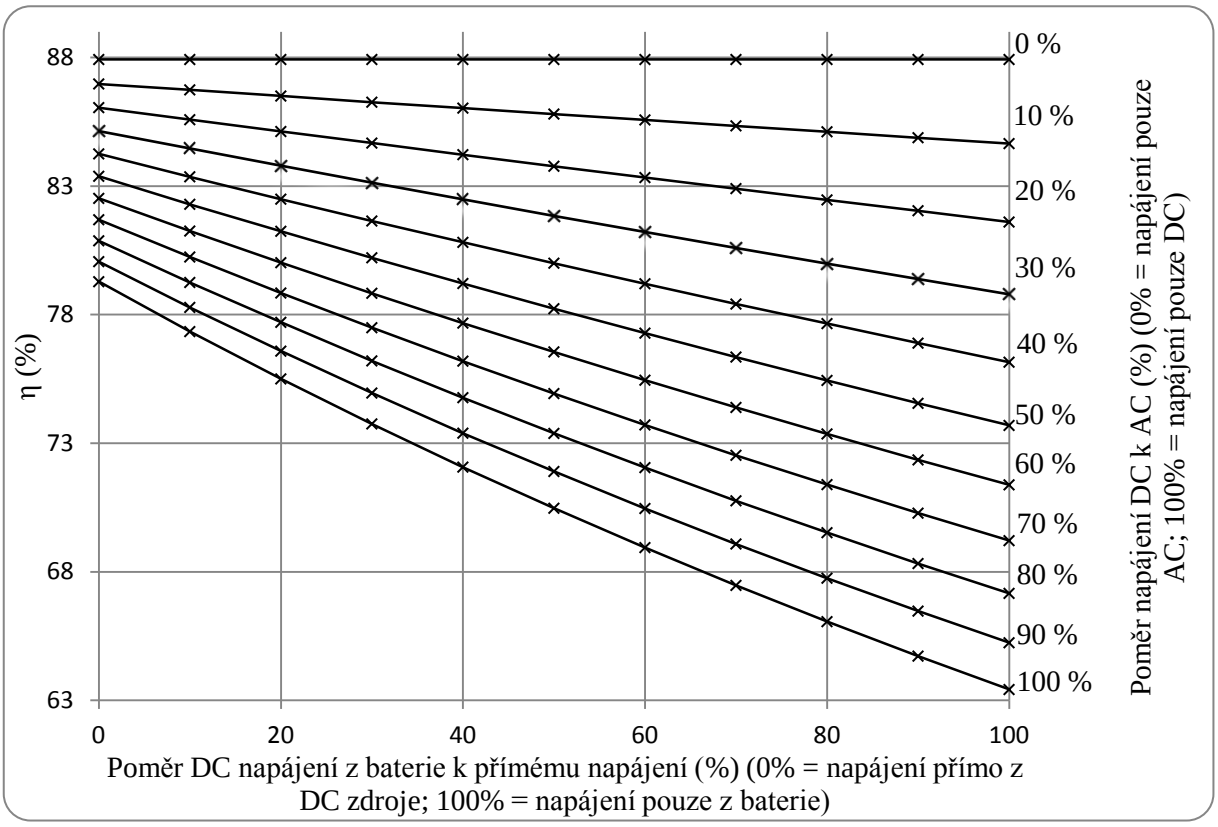
Účinnost zdrojů nebyla do zhodnocení započítaná a z hlediska elektrické účinnosti systému ani není podstatná.

7.4.1 Účinnost AC rozvodu

Výhodnost systému při různých způsobech napájení je viditelná na *Obr. 7.11*. Nejlepší účinnost je v případě, kdy je veškerá energie dodávána ze střídavé sítě (příp. místního střídavého zdroje). V případě dodávky ze stejnosměrného zdroje je potřeba převádět energii v měniči a účinnost klesá. K větším ztrátám dochází rovněž při napájení z baterie, která má vzhledem k ostatním komponentům velmi nízkou účinnost.

V navrženém případě pro rodinný dům se účinnost pohybuje mezi maximální hodnotou 87,92 % a minimální 63,42 %.

Účinnost na straně odběrů zhoršuje převod energie pro stejnosměrné zátěže přes AC/DC měniče. Jelikož účiník střídavého rozvodu není nikdy roven jedné, jsou výkonové úbytky na vedení zvětšené také průchodem jalového výkonu přes reaktance.



Obr. 7.11 Účinnost střídavého systému

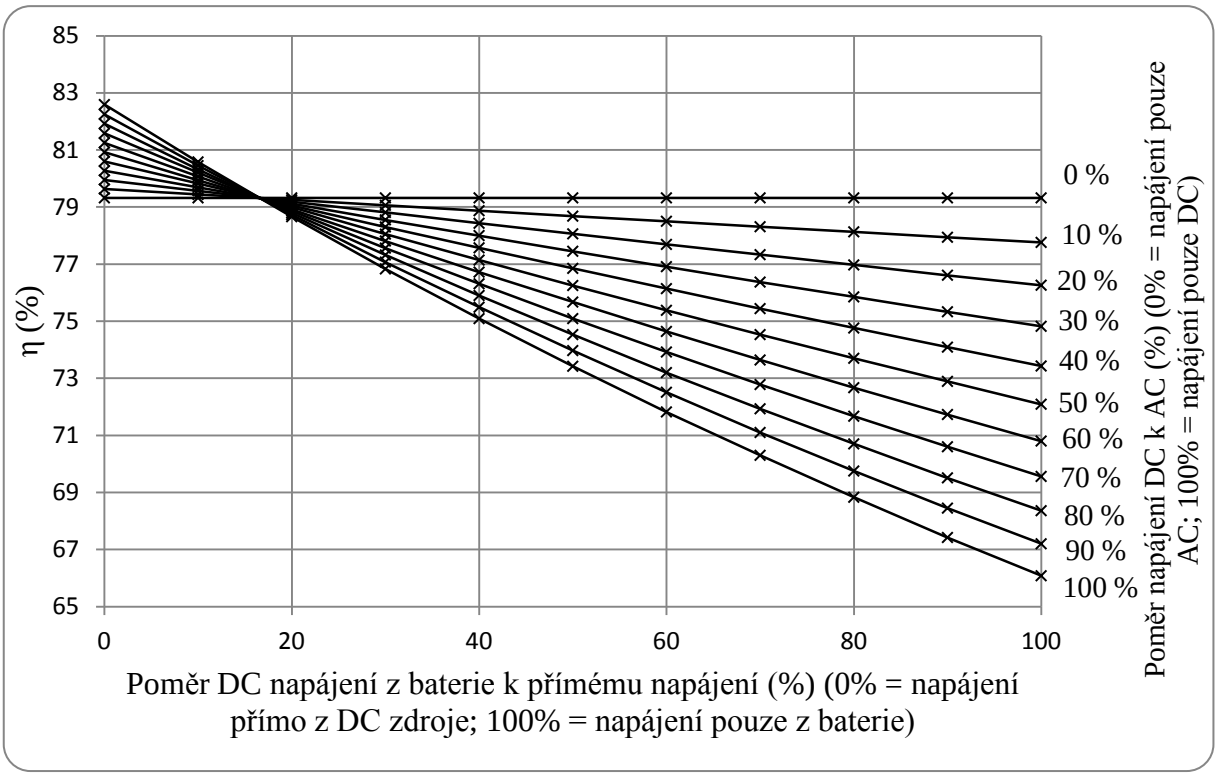
Při navrženém způsobu napájení pro finanční zhodnocení, tzn. 50 % z DC zdrojů a 50 % z AC zdrojů je účinnost tohoto rozvodu až 83,38 %. Roční ztráty v rozvodu potom vycházejí 1,83 MWh, což odpovídá částce 8 693 Kč. Za dobu životnosti (40 let) budou tedy elektrické ztráty 73,2 MWh a celková ztrátová částka 347 720 Kč.

7.4.2 Účinnost DC rozvodu

DC systém opět podle očekávání vykazuje nejvyšší účinnost při napájení čistě ze stejnosměrného zdroje, viz. *Obr 7.12*. Pokud je však stejnosměrná energie odebíraná z více než 20 % z baterie, už se z hlediska účinnosti vyplatí napájení ze zdroje střídavého a to i přes to, že střídavá energie musí být usměrněna přes měnič.

Účinnost se v daném rozvodu pohybuje mezi maximální hodnotou 82,59 % a minimální hodnotou 66,08 %.

Vzhledem ke stále převládajícímu počtu střídavých zařízení v domácnosti, často s vysokým výkonem, je třeba relativně velkou část výkonu transformovat v DC/AC měničích, což výrazně snižuje účinnost DC rozvodu. Ušetřené ztráty ve vedení jsou při daných poměrně malých vzdálenostech nevýznamné.

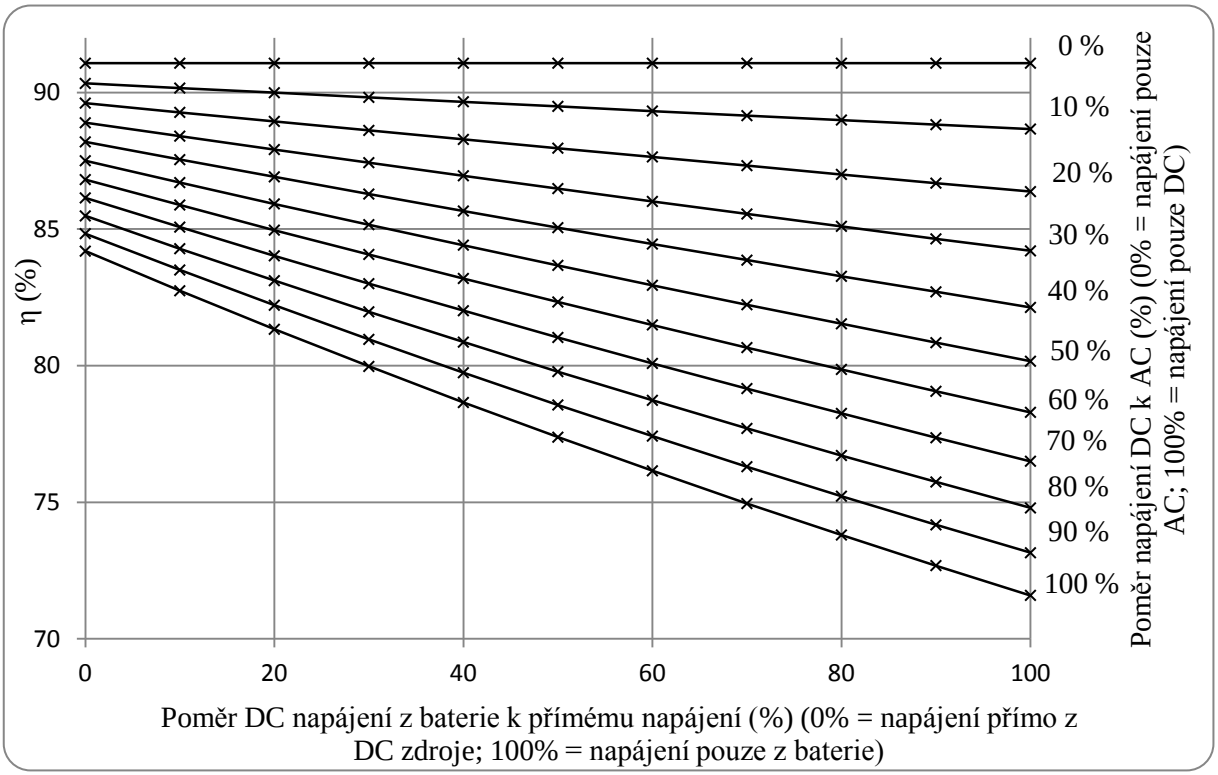


Obr. 7.12 Účinnost stejnosměrného systému

Pro finanční zhodnocení je charakteristická účinnost až 80,92%. Jsou při ní roční ztráty 2,1 MWh, což znamená 9 975 Kč. Oproti AC rozvodu je to o 1 282 Kč více. Za dobu životnosti budou celkové ztráty 84 MWh a ztrátová částka 399 000 Kč. Tento systém by oproti střídavému musel mít počáteční náklady o 51 280 Kč nižší, aby se vyplatil. Vzhledem ke dražším jistícím prvkům, zásuvkám a dalším komponentům, budou počáteční náklady spíše vyšší.

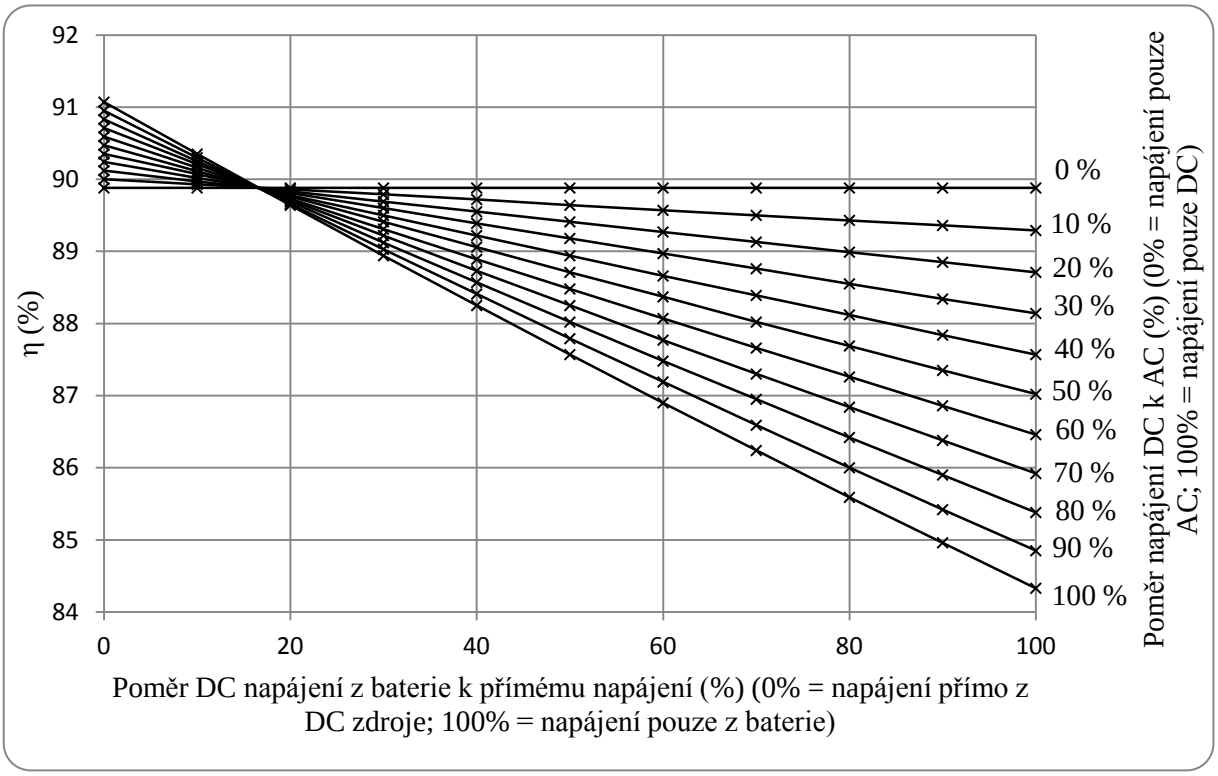
7.4.3 Účinnost kombinovaného rozvodu

Systém je vzhledem k výsledkům u samostatného AC a DC rozvodu prověřován následujícím způsobem. Kombinovaný systém by měl ideálně mít AC část napájenou z AC zdroje a DC část z DC zdroje. Jediné logické možnosti provozu jsou tedy za prvé, když bude DC zdroj vyrábět více, než spotřebuje DC zátěž a přebytky výkonu budou přetékat do AC rozvodu. V simulaci provedeno tak, že DC rozvod bude plně napájen z DC zdroje a AC rozvod bude v určitém poměru napájen DC zdrojem a AC zdrojem, viz *Obr. 7.13*.



Obr. 7.13 Účinnost kombinovaného systému - varianta č. 1

Druhou možností je, když nebude DC zdroj vyrábět dostatek energie pro pokrytí spotřeby DC zátěží a nedostatek bude muset dodávat AC zdroj. V simulaci provedeno tak, že AC rozvod bude plně napájen z AC zdroje a DC rozvod bude opět v určitém poměru napájen DC zdrojem a AC zdrojem, viz *Obr. 7.14*.



Obr. 7.14 Účinnost kombinovaného systému - varianta č. 2

Výsledky jsou podobné jako u samostatných AC a DC rozvodů. Nejvyšší účinnosti 91,07 % se dosahuje, pokud AC systém bude napájen z AC zdroje a DC systém z DC zdroje. Nejnižší účinnost při smysluplném provozu je 71,59 %, a to v případě, že DC rozvod bude napojen na DC zdroj a AC rozvod na baterii. Úplně nejnižší účinnost by vykazoval celý systém v kompletním chodu z baterie a to 67,35 %.

Pro finanční zhodnocení je charakteristická účinnost 89,53 %. Energetické ztráty jsou přitom 1,15 MWh za rok a ztrátová částka 5 471 Kč. Oproti AC rozvodu je to o 3 222 Kč méně. Celkové ztráty za dobu životnosti budou 46 MWh a ztrátová částka 218 500 Kč, což je oproti konvenčnímu střídavému systému o 129 920 Kč méně. Aby se systém oproti standardnímu vyplatil, nesměly by počáteční náklady na něj přesáhnout tuto částku. U nových instalací by se měl vyplatit vždy, zvlášť když životnost bude delší než stanovených 40 let, což je velice pravděpodobné.

7.5 Celkové zhodnocení

Při uvažované situaci při optimálním napájení dosahuje nejlepší účinnosti kombinovaný systém, na druhém místě je systém střídavý a nejhorší účinnost vykazuje systém stejnosměrný.

Nicméně v reálném rozvodu by docházelo k neustálému kolísání výkonu jak spotřebičů, tak i místních zdrojů. Na optimální rozložení výkonu se tedy běžně systém nedostane. Snaha je však o co největší samostatnost objektu a tudíž o co nejvyšší využití místních zdrojů a hlavně dostupných FV panelů. Z toho vyplývá, že rozvod by měl být po co největší procento času napojen na DC zdroj. Z tohoto pohledu by se z hlediska napájecích zdrojů nejoptimálněji jevil kompletní DC rozvod.

Zde se však naráží na omezení v podobě výkonu FV panelů. Ty, aby pokryly špičkovou spotřebu celého domu (cca 34 kW, při započítání ztrát ještě více), by musely pro výkon 34 kWp pokrývat plochu cca 270 m^2 [41], což většinou znamená celý pozemek domu. Navíc s ohledem na to, že slunce nebude dodávat daný výkon 24 hodin denně, by se plocha panelů v některých časech ještě zvětšila. Plný špičkový výkon se samozřejmě nevyužívá celý den a existuje možnost výkon uchovávat v bateriích. Tím by se mohla plocha panelů ušetřit, nicméně i tak se běžně panely instalují pouze na střechu, což znamená celkovou plochu cca 120 m^2, využitelnou plochu cca 80 m^2 a tím pádem výkon cca 10 kWp. Takový výkon dokáže reálně stěží pokrýt navržený odběr stejnosměrných spotřebičů ve špičce. Při zataženém dni by poměry byly ještě horší.

Výhodné je tedy místní obnovitelné zdroje energie kromě FV panelů doplnit ještě například větrnou turbínou (při uvažování přímého napojení na rozvod bez ukládání energie ve stejnosměrné podobě do baterie). Z této reálné situace opět vychází nejoptimálněji kombinovaný systém, protože jak vyplývá z předchozích řádků, velká část spotřeby se musí stále pokrývat ze střídavých zdrojů.

Ze simulací je dále vidět, že účinnost v objektu velikosti rodinného domu neovlivňuje ani tak provedení rozvodu, jako počet použitých měničů. Kombinace, kdy je jeden měnič (usměrňovač nebo střídač) na vstupu je vždy účinnější, než když je měnič použit u každého

odběru. Takovéto řešení je navíc i ekonomičtější a zajišťuje, že měnič bude většinu času zatížen nenulovým výkonem a bude tak mít dobrou účinnost.

Výsledek je proto nutné znovu rozčlenit na několik situací a to, díky předcházejícím zjištěním, hlavně z hlediska připojených zátěží. V krajních případech, kdy budou všechny odběry střídavé, je nejúčinnější rozvod střídavý. V situaci, kdy budou všechny odběry stejnosměrné, se vyplatí rozvod stejnosměrný. Při smíšených zátěžích (nejběžnější případ), vykazuje nejlepší účinnost rozvod kombinovaný. Tyto výsledky platí, pokud bude k dispozici vždy stejné napájení (AC, DC nebo konstantní poměr AC a DC).

Pokud se zkombinuje účinnost z hlediska použitých zdrojů, použitých odběrů a způsobu rozvodu, vychází ve všech situacích jednoznačně kombinovaný systém jako nejúčinnější a také nejekonomičtější.

Závěr

V rešeršní části bylo popsáno, že stejnosměrný systém by měl přinést lepší účinnost a to speciálně v kombinaci se stejnosměrnými zdroji energie. Dále bylo toto tvrzení upraveno pro aplikaci na menší obytné budovy tak, že ještě lepší účinnosti se v těchto rozvodech dosáhne systémem kombinovaným. Čili využitím vlastností stávajících střídavých rozvodů doplněných o výhodné vlastnosti systémů stejnosměrných. Tuto teorii mimo hlavních použitých zdrojů podporuje různými poznatky i spousta dalších odborných prací.

Po provedení simulace a výpočtů vychází kombinovaný systém jasně nejvýhodněji s účinností až 91,07 % a při uvažovaném provozu 50 % energie ze stejnosměrných zdrojů, 50 % ze střídavých zdrojů dosahuje účinností až 89,53 %. Dále redukuje ztráty za dobu životnosti, oproti konvenčnímu střídavému systému, minimálně o necelých 130 000 Kč. Pro novostavby by se měl při kvalitním návrhu vyplatit vždy. Díky snížení počtu měničů to navíc platí, ať už jsou nainstalovány i FV panely, či nikoliv.

Samostatný stejnosměrný rozvod naopak v tomto druhu budovy moc nevyhověl. Jeho účinnost je maximálně 82,59 % a při daném provozu 50/50 maximálně 80,92 %. Náklady na ztráty jsou oproti AC systému vyšší o více než 51 000 Kč. Tento systém se v rodinných domech zatím nevyplatí ani při kompletním napájení z FV panelů.

Standardní střídavý systém je na žebříčku někde mezi dvěma předchozími s maximální účinností 87,92 % a při provozu zdrojů 50/50 se značně redukovanou maximální účinností 83,38 %. Finanční ztráty za dobu životnosti nejsou ani po instalaci FV panelů tak velké, aby se vyplatila rekonstrukce stávajících rozvodů, nicméně u novostaveb tento systém již moc vhodný není.

Výsledky provedeného komplexního návrhu pro rodinný dům jsou tak přibližně stejné jako teoretické předpoklady. Práce tedy byla přínosná tím, že specifickým, v jiné publikaci nepoužitým způsobem porovnala jednotlivé systémy a došla k vlastnímu vyhodnocení. To je navíc shodné se závěry ostatních prací a jen se potvrdilo, že kombinovaný systém je velice perspektivní a vhodná náhrada dnešních rozvodů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] LANTERO, Allison. The War of the Currents: AC vs. DC. *Power. Department of Energy*. [online]. 2014 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: *http://energy.gov/articles/ war-currents-ac-vs-dc-power*

[2] What was the War of the Currents?. *History Q&A*. [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: *http://www.history.com/news/ask-history/what-was-the-war-of-the-currents*

[3] FRANK, Stephen M. a Steffen REBENNACK. Optimal design of mixed AC–DC distribution systems for commercial buildings: A Nonconvex Generalized Benders Decomposition approach. *European Journal of Operational Research* [online]. 2015, : 710-729 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.10.008. ISSN: 0377-2217. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0377221714008121#

[4] CHAUHAN, Rajeev Kumar, Bharat Singh RAJPUROHIT, Robert E. HEBNER, S. N. SINGH a Francisco M. GONZALEZ-LONGATT. Voltage Standardization of DC Distribution System for Residential Buildings [online] 2015 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.13140/2.1.2830.9285. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/ 271770574?channel=doi&linkId=54d1a0a60cf28370d0e0e287&showFulltext=true

[5] JUSTO, Jackson John, Francis MWASILU, Ju LEE a Jin-Woo JUNG. AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2013, : 387-405 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1016/j.rser.2013.03.067. ISSN: 1364-0321. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113002268

[6] ELSAYED, Ahmed T., Ahmed A. MOHAMED a Osama A. MOHAMMED. DC microgrids and distribution systems: An overview. *Electric Power Systems Research* [online]. 2014, : 407-417 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1016/j.epsr.2014.10.017. ISSN: 0378-7796. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0378779614003885

[7] BARTOSIK, Marek, Ryszard LASOTA a Franciszek WOJCIK. Modern dc circuit breakers. *Tts.infotransport.pl* [online]. 2006 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: www.tts.infotransport.pl/en/download/3747

[8] E.ON - Domácnosti - E.ON WATTrouter. *E.ON* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: https://www.eon.cz/cs/domacnosti/vyhody-a-bonusy-od-eon/e-on-wattrouter.shtml

[9] PATRAO, Iván, Emilio FIGUERES, Gabriel GARCERÁ a Raúl GONZÁLEZ-MEDINA. Microgrid architectures for low voltage distributed generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, : 415-424 [cit. 2015-05-24]. DOI:

10.1016/j.rser.2014.11.054. ISSN: 1364-0321. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114009939

[10] PLANAS, Estefania, Jon ANDREU, José Ignacio GÁRATE, Inigo Martinez de ALEGRIA a Edorta IBARRA. AC and DC technology in microgrids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, : 726-749 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.067. ISSN: 1364-0321. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114010065

[11] Výpočet transformátoru. *Dmaster.wz.cz* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.dmaster.wz.cz/postupy/trafo/trafo.htm

[12] Types of Solar Panel - Polycrystalline, Monocrystalline and Hybrid solar panels. *C Changes: Solar Panel Installers* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.c-changes.com/types-of-solar-panel

[13] VANĚČEK, Milan a Antonín FEJFAR. Fotovoltaika - jaká je nejlepší dostupná technologie ? *TZB - info* [online]. Fyzikální ústav Akademie věd ČR, v.v.i., Praha, 2010 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6327-fotovoltaika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie

[14] ČADA, Roman. Tenkovrstvé FV technologie. *Votum - Smart Energy* [online]. VOTUM s.r.o., 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.votum.cz/Thin-film/

[15] Technical datasheet: MDS Medical AC-DC Open Frame. *Deltapsu.com* [online]. 2013 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.deltapsu.com/upload/product_image/20131007_014640348_Technical_Datasheet_MDS-100APS18BA_Rev_00.pdf

[16] KANIA, Mike. Powerful Tactics to Tame Your OpEx. *OSP Magazine* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.ospmag.com/issue/article/112008-OpEx

[17] SAVAGE, Paul, Robert R. NORDHAUS a P. JAMIESON. DC Microgrids: Benefits and Barriers. *Yale School of Forestry & Environmental Studies* [online]. 2010 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://environment.yale.edu/publication-series/documents/downloads/0-9/05-DC-Microgrids.pdf

[18] PERTTI, Paajanen. *DC supply of low-voltage electricity appliances in residential buildings* [online]. 2009 [cit. 2015-05-24]. ISSN 0537-9989. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5255644&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5255644

[19] LEE, P. W., Y. Z. LEE a B.T. LIN. *Power distribution systems for future homes* [online]. 1999 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1109/PEDS.1999.792869. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=792869&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D792869

[20] CHAUHAN, R.K., B.S. RAJPUROHIT a N.M. PINDORIYA. *DC Power Distribution System for Rural Applications* [online]. 2012 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.13140/2.1.2152.2726. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/

Rajeev_Chauhan2/publication/257836882_DC_Power_Distribution_System_for_Rural_Applications/links/0deec5263698f390e9000000.pdf

[21] ENGELEN, K., E.L. SHUN, P. VERMEYEN, I. PARDON, R.D. HULST, J. DRIESEN a R. BELMANS. *The Feasibility of Small-Scale Residential DC Distribution Systems* [online]. 2006, : 2618 - 2623 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1109/IECON.2006.347246. ISSN 1553-572X. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4153073&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4152824%2F4152825%2F04153073.pdf%3Farnumber%3D4153073

[22] HAMMERSTROM, D.J. *AC Versus DC Distribution SystemsDid We Get it Right?* [online]. 2007 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1109/PES.2007.386130. ISSN 1932-5517. Dostupné z: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4275896&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4275198%2F4275199%2F04275896.pdf%3Farnumber%3D4275896

[23] Projekt rodinného domu Elegant 121. VÁCLAVEK, Jaroslav. *GSERVIS* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/elegant121.html

[24] STAVÍME DŮM, ŠETŘÍME ENERGIÍ: Jak snížit provozní náklady vašeho budoucího domu. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/ content/file/pece-a-podpora/stavime-dum.pdf

[25] Cena 1 kWh: Srovnání cen energií 2015. *Energie123.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/

[26] PRAKAB Pražská kabelovna a.s.: KATALOG PRODUKTŮ. *BQZ s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.bqz.sk/download/2012/PRAKAB_Katalog_produktu_2009-2010.pdf

[27] Katalogový list: Miniaturní jistič S 200 S. *ABB Group - Automation and Power Technologies* [online]. 2012 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/4d73e7e150a67bf3c12579e400383647/Bezesroubove-jistice%20S%20200%20S.pdf?filename=Bezesroubove-jistice%20S%20200%20S.pdf

[28] WAGO a bezpečnosť elektrických zariadení. *Akadémija ozbrojených síl* [online]. 2007 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.aos.sk/spe/seminare/archiv_1993_2008/www/Clanky/07/WAGO_BP07.pdf

[29] GILDERSLEEVE, Mark, Hassan POOYA a Gabriel A. RINCÓN-MORA. A Comprehensive Power Analysis and a Highly Efficient, Mode-Hopping DC-DC Converter. *CiteSeerX* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.206.221&rep=rep1&type=pdf

[30] AEP-1500 Series: 1500W Digital Pure Sine Wave Inverter. *Schaefer, Inc.* [online]. 2011 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.schaeferpower.com/pdf/AEP-1500.pdf

[31] AEP-5000 Series: 5000W Digital Pure Sine Wave Inverter. *Schaefer, Inc.* [online]. 2011 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.schaeferpower.com/pdf/aep5000.pdf

[32] PRP-3000 Series: 2500 - 3000VA DC-AC Sine Wave Inverter. *Schaefer, Inc.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.schaeferpower.com/pdf/prp-3000.pdf

[33] High-Boost Harmonic Attenuation Module. *Vicor - The Power Behind Performance* [online]. 2013 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.vicorpower.com/documents/ datasheets/ds_highboost_vi-ham.pdf

[34] HPU1K5 Series. *Farnell element14* [online]. 2012 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1903672.pdf

[35] Data sheet: MegaMod & MegaMod Jr. Family. *Vicor - The Power Behind Performance* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.vicorpower.com/documents/ datasheets/ds_megamod.pdf

[36] Series C / B 3500. *Schaefer, Inc.* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.schaeferpower.com/pdf/Schaefer_cb3500.pdf

[37] Series IV. *Schaefer, Inc.* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.schaeferpower.com/pdf/Schaefer_iv.pdf

[38] NetSure™ 4015: 30 kW 400V DC Power and Control Sub-Rack. *Emerson Network Power* [online]. 2013 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.emersonnetworkpower.com/documentation/en-us/brands/netsure/documents/ netsure-4015-power-sub-rack.pdf

[39] Series CW / BW 6700. *Schaefer, Inc.* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.schaeferpower.com/pdf/Schaefer_cwbw6700.pdf

[40] INVERTERS - CHARACTERISTICS OF SINUSOIDAL AC POWER. *Samlex America* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.samlexamerica.com/documents/ application_notes/Inverters_Characteristics_of_Sinusoidal_AC_Power.pdf

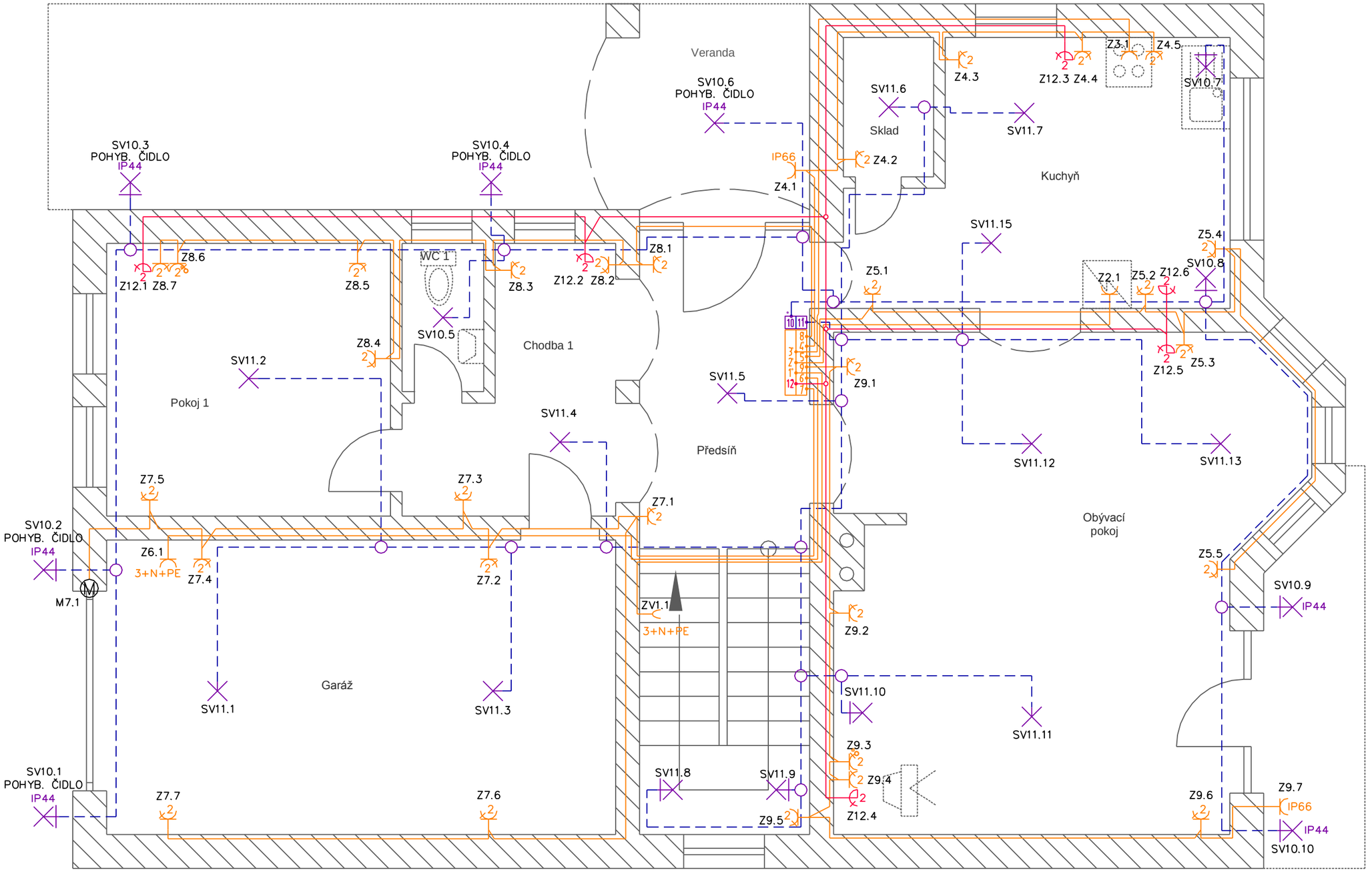
[41] Jaká plocha fotovoltaických panelů je potřeba na výkon 1 kWp ? *Solar-liglass.cz* [online]. 2009 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.solar-liglass.cz/fotovoltaicke-dotazy-a-odpovedi/88-potreba-plochy-na-1-kwp.html

Přílohy

1) Elektroinstalace v přízemí (AutoCAD)
2) Elektroinstalace v 1. patře (AutoCAD)
3) Celkové blokové schéma vizuálně shodné pro AC a DC rozvod (Simulink)
4) Celkové blokové schéma pro kombinovaný rozvod (Simulink)

Elektronické přílohy na CD:

5) Ucinnost_AC_systemu.mdl (MATLAB R2013a - Simulink)
6) Ucinnost_DC_systemu.mdl (MATLAB R2013a - Simulink)
7) Ucinnost_kombinovaneho_systemu.mdl (MATLAB R2013a - Simulink)
8) Elektroinstalace přízemí.dwg (AutoCAD 2010)
9) Elektroinstalace 1. patro.dwg (AutoCAD 2010)



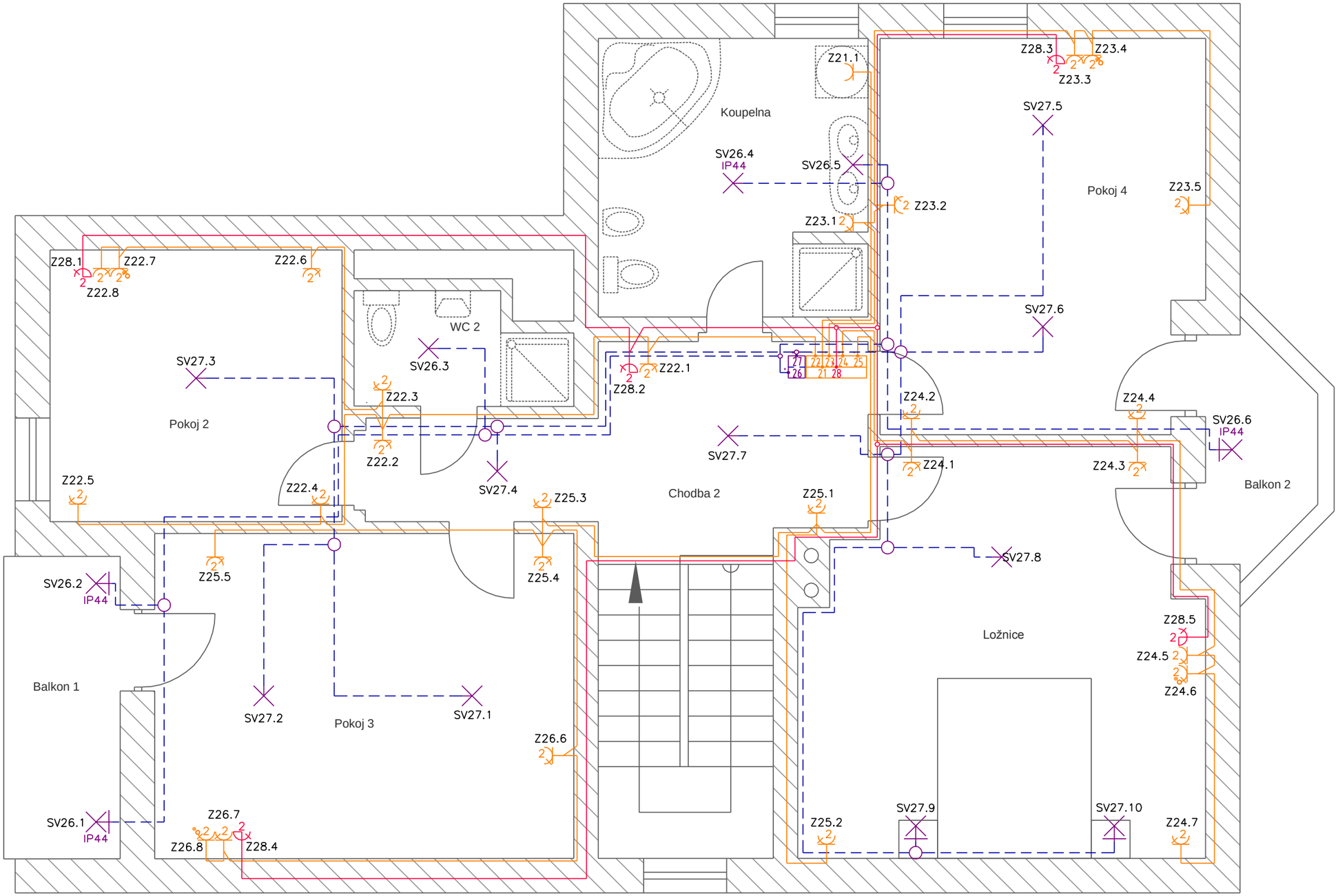
Zkratky:

SV	Světelný vývod
Z	Zásuvka
ZV	Zásuvkový vývod

Přehled značek:

	Instalační krabice
3+N+PE	Trojfázový zásuvka 5P
3+N+PE	Trojfázový vývod 5P
	Zásuvka jednoduchá AC
2	Zásuvka dvojitá AC
2	Zás. dvojitá s přepětovou ochranou AC
2	Světelný vývod
	Světelný vývod
	Světelný vývod nástěnný
M	Motor jednofázový
	Bytová rozvodnice

Vypracoval: Milan Klier	Datum: 20.4.2015	Vypracováno pro: ZČU–FEL, Bakalářská práce
Název výkresu: Elektroinstalace přízemí		Měřítko: 1:50
Číslo přílohy: Příloha č. 1		
Doplňující údaje:		



Zkratky:

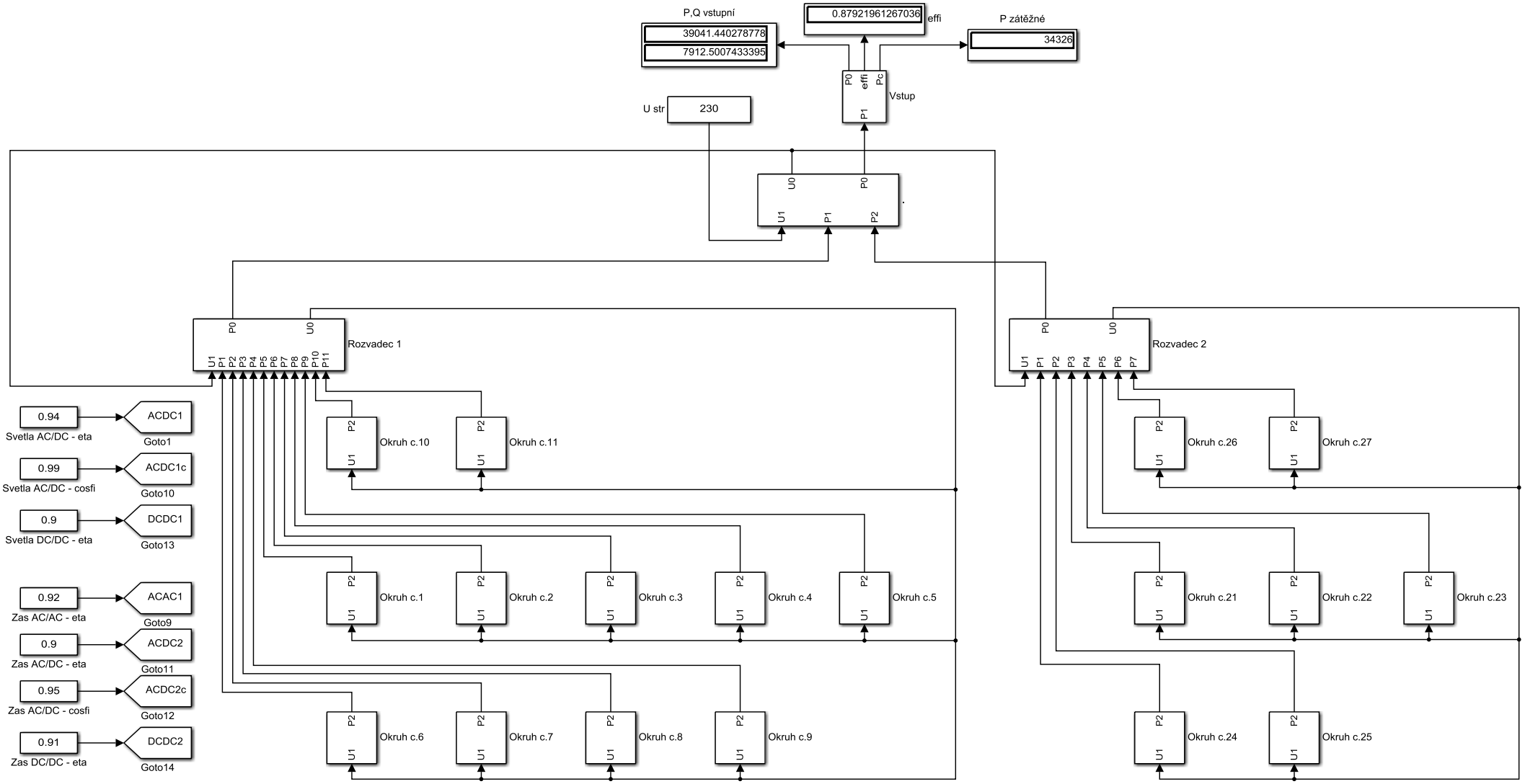
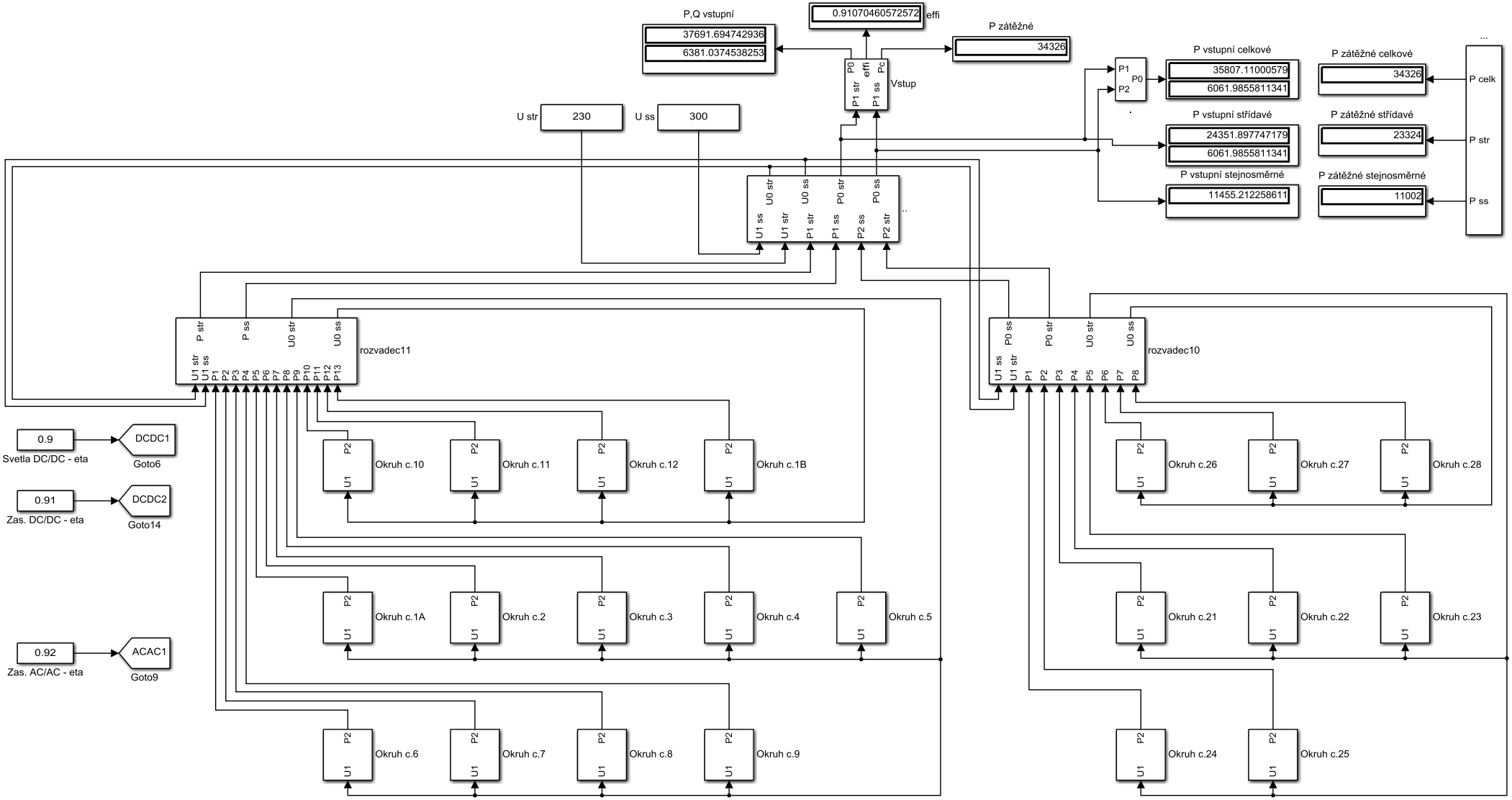
SV	Světelný vývod
Z	Zásuvka
ZV	Zásuvkový vývod

Přehled značek:

○	Instalační krabice
3+N+PE	Trojfázový zásuvka 5P
3+N+PE	Trojfázový vývod 5P
	Zásuvka jednoduchá AC
2	Zásuvka dvojitá AC
2	Zás. dvojitá s přepětovou ochranou AC
	Světelný vývod
	Světelný vývod
	Světelný vývod nástěnný
M	Motor jednofázový
	Bytová rozvodnice

Vypracoval: Milan Klier	Datum: 20.4.2015	Vypracováno pro: ZČU–FEL, Bakalářská práce
Název výkresu: Elektroinstalace 1. patro		Měřítko: 1:50
Číslo přílohy: Příloha č. 2		
Doplňující údaje:		

Příloha č. 3: Celkové blokové schéma vizuálně shodné pro AC a DC rozvod



Příloha č. 4: Celkové blokové schéma pro kombinovaný rozvod