

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Střídavý a stejnosměrný distribuční systém v rezidenční oblasti

**Vedoucí práce : Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c.**

**Autor: Stanislav Suchý**

**2014/2015**

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

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav SUCHÝ**  
Osobní číslo: **E12B0238P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Střídavý a stejnosměrný distribuční systém v rezidenční oblasti**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

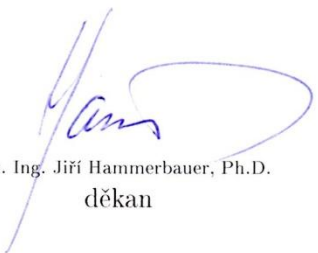
1. Zpracujte rešerši distribuce elektřiny ve střídavých a stejnosměrných systémech bytu a domu.
2. Zpracujte možnost stejnosměrného zdroje v distribuční soustavě pro vybrané spotřebiče.
3. Určete vhodnou velikost stejnosměrného napětí pro stejnosměrný systém distribuce.
4. Porovnejte střídavý a stejnosměrný systém distribuce - technicky a ekonomicky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:


**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech 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. Jirí Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kús, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na zpracování možnosti rozvodu stejnosměrného napětí po bytu či rodinném domu. Cílem této práce je poukázat na výhody i nevýhody oproti dnešnímu střídavému rozvodu. V další části této bakalářské práce je porovnána distribuce nízkého napětí (nn) pomocí AC a DC napětí. Je zde poukázáno na možnou inovaci do budoucna, která by přispěla k energetickým (z toho plyne i finančním) úsporám.

## **Klíčová slova**

distribuce stejnosměrným proudem, ztráty, klimatizace, HVDC, součástky HVDC, klimatizační box LG MU2M15, ...

## **Abstract**

The presented thesis is focused on the processing possibilities of a direct current (DC) system in an apartment or a family house. The aim of this thesis is to highlight the advantages and disadvantages of a DC system comparing to today's alternating current (AC). In another part of it is to compare the distribution of a low voltage using AC and DC. There is also mentioned a possible upgrade in the future, which would contribute to energy (so as consequential financial) savings.

## **Key words**

DC distribution, loss, air conditioning, HVDC, HVDC components, air box LG MU2M15, ...

## Prohlášení

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

.....

podpis

V Plzni dne 7.6.2015

Stanislav Suchý

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. DrSc. Zdeňkovi Vostrackému Dr. h. c. za cenné profesionální rady.

Také bych rád poděkoval konzultantům bakalářské práce Ing. Václavu Mužíkovi a Ing. Vladimíru Vajnarovi za jejich rady a odborný dohled nad průběhem zpracovávání bakalářské práce.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>11</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>12</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>13</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>14</b>
<b>1 ROZVOD STEJNOSMĚRNÝM NAPĚTÍM V DOMÁCNOSTI:</b> .....	<b>15</b>
<b>2 ROZVOD HVDC</b> .....	<b>16</b>
2.1 PRINCIP ČINNOSTI A HISTORIE.....	16
2.2 SOUČÁSTKY POUŽITÉ V HVDC TECHNOLOGII .....	17
2.2.1 <i>GTO - Gate Turn Off Thyristor</i> .....	17
2.2.2 <i>IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor</i> .....	17
2.2.3 <i>IGCT -Integrated Gate Commutated Thyristor</i> .....	18
2.3 VÝHODY OPROTI STŘÍDAVÉ ROZVODNÉ SÍTI .....	19
2.3.1 <i>Ekonomické</i> .....	19
2.3.2 <i>Technické</i> .....	19
2.4 NĚKTERÉ PŘÍKLADY JIŽ FUNGUJÍCÍCH PROJEKTŮ HVDC ROZVODŮ .....	20
2.4.1 <i>Xiangjiaba - Šanghaj (Čína)</i> .....	20
2.4.2 <i>Ningdong - Shandong(Čína)</i> .....	20
2.4.3 <i>Ťin-pching - Sunan (Korea)</i> .....	20
2.4.4 <i>Tři soutěsky - Šanghaj (Čína)</i> .....	20
<b>3 VÝHODY A NEVÝHODY STŘÍDAVÉHO A STEJNOSMĚRNÉHO ROZVODU NN</b> .....	<b>21</b>
3.1 ZADANÉ HODNOTY: .....	21
3.2 VÝPOČET STŘÍDAVÉHO VEDENÍ .....	22
3.2.1 <i>Výpočet indukční reaktance:</i> .....	22
3.2.2 <i>Výpočet činného odporu:</i> .....	23
3.2.3 <i>Výpočet úbytku napětí na vedení:</i> .....	25
3.3 VÝPOČET STEJNOSMĚRNÉHO VEDENÍ.....	26
3.4 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ STŘÍDAVÉHO A STEJNOSMĚRNÉHO ROZVODU .....	27
<b>4 ÚSPORA ENERGIE U VYBRANÝCH DOMÁCÍCH SPOTŘEBIČŮ</b> .....	<b>28</b>
4.1 TREND SOUČASNÝCH BYTOVÝCH KLIMATIZACÍ.....	28
4.2 PŘÍKLAD BYTOVÉ KLIMATIZACE ZNAČKY LG TYP MU2M15 .....	28
4.2.1 <i>Seznámení se zařízením</i> .....	28
4.2.2 <i>Výpočet úspory energie</i> .....	29



4.2.3	<i>Výpočet odebíraného výkonu pro běžnou klimatizační jednotku</i>	30
4.2.4	<i>Výpočet odebíraného výkonu pro klimatizační jednotku LG MU2M15</i>	30
4.2.5	<i>Porovnání odebíraných výkonů běžné klimatizační jednotky a jednotky s invertorem</i>	31
4.3	POROVNÁNÍ MOTORŮ POUŽITÝCH V BYTOVÝCH KLIMATIZACÍCH	32
4.4	PŘÍMÉ ROZVEDENÍ STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ PRO BYTOVOU KLIMATIZACI	32
4.5	FINANČNÍ NÁKLADY PŘI VYUŽITÍ BĚŽNÉ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTY A PŘI VYUŽITÍ STEJNOSMĚRNÉHO ROZVODU A KLIMATIZACE LG MU2M15:	33
4.6	MOŽNOST NAPÁJENÍ DOMÁCI SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNOU	34
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>36</b>
5.1	ZHODNOCENÍ HVDC TECHNOLOGIE	36
5.2	MOŽNOST PŘÍMÉHO ROZVEDENÍ STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ PO DOMĚ	36
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b>	<b>38</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>39</b>
	PŘÍLOHA A - KOMPLETNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY KLIMATIZACE LG MU2M15	40
	PŘÍLOHA B - ROZMĚRY KLIMATIZAČNÍHO BOXU LG MU2M15	41
	PŘÍLOHA C - ZÁVISLOST VÝROBY ENERGIE NA SKLONU A ORIENTACI SOLÁRNÍCH PANELŮ	42

## Seznam symbolů a zkratk

Značka	Jednotka	Význam
$U_j$	[V]	Jmenovité napětí
$P$	[W]	Výkon
$l$	[m]	Délka vedení
$d$	[m]	Vzájemný rozestup vodičů
$X_L$	[ $\Omega$ /km]	Indukční reaktance
$K$	[ $\Omega$ /km]	
$R_{DC}$	[ $\Omega$ ]	Odpor stejnosměrného vedení
$\rho$	[ $\Omega$ m]	Měrný odpor
$S$	[m <sup>2</sup> ]	Průřez vodiče
$R_{AC}$	[ $\Omega$ ]	Odpor střídavého vedení
$k$	[-]	Koeficient pro přepočítání $R_{DC}$ na $R_{AC}$
$\cos \varphi$	[-]	Účinník
$\Delta U$	[V]	Úbytek napětí
$\Delta u_{\%}$	[%]	Úbytek napětí vyjádřený v %
$t_{sep}$	[s]	Doba plného odběru
$E_{sep}$	[W]	Hodnota odebírané elektrické energie za 1 hodinu
$E_1$	[W]	Dílčí odběr
$E_2$	[W]	Dílčí odběr
$E_3$	[W]	Dílčí odběr
$t_{konst}$	[s]	Doba konstantního odběru
$t_p$	[s]	
$E_{celk}$	[W]	Celkový odběr
$\Delta E$	[W]	Rozdíl odběrů
$\Delta E_{\%}$	[%]	Rozdíl odběrů v %
$E_{rokAC}$	[W]	Roční odběr
$N_{rokAC}$	[Kč]	Roční náklady
$E_{rokDC}$	[W]	Roční odběr s použitím DC napájení
$N_{rokDC}$	[Kč]	Roční náklady s použitím DC napájení

## Seznam obrázků

Obr. 0.1 Rodinný dům s fotovoltaickými panely [1].....	15
Obr. 0.2 Možnost přímého rozvedení DC do budovy [1].....	15
Obr.2.1.1 Principiální schéma HVDC technologie [2].....	16
Obr.2.2.2.1 Vnitřní zapojení IGBT tranzistoru [3].....	17
Obr.2.2.2.2 Schématické značky IGBT tranzistoru [3].....	18
Obr. 2.4.2.1 Porovnání stožárů pro HVDC a HVAC rozvod [4].....	19
Obr. 3.2.3 Schéma distribuční sítě použité pro výpočet rozvodu střídavým napětím.....	24
Obr. 3.3.1 Schéma distribuční sítě použité pro výpočet rozvodu stejnosměrným napětím.....	26
Obr. 4.1. Porovnání chodů bytových klimatizací: režim start/stop (vlevo) a použití MK (vpravo) [5].....	28
Obr.4.3.1 Porovnání DC a AC motorů v klimatizaci [6].....	32
Obr. 4.6 Schéma ostrovního systému [8].....	35

## Seznam grafů

Graf 3.4.1 Porovnání úbytků střídavého a stejnosměrného napětí.....	27
Graf 4.2.2.1 Průběh odebíraného výkonu u běžných jednotek .....	29
Graf 4.2.2.2 Průběh odebíraného výkonu u LG MU2M15.....	29
Graf 4.2.5.1 Porovnání odebraných výkonů.....	31

## Seznam tabulek

Tabulka 3.1.1 Zadané hodnoty k výpočtům AC a DC rozvodům.....	21
Tabulka 3.2.1.1 Charakteristické parametry vodičů potřebné pro výpočet indukční reaktance.....	22
Tabulka 3.2.2.1 Hodnoty odporů a indukčních reaktancí pro různé druhy vodičů.....	24
Tabulka 4.4.1 Rozdělení celkových ztrát v kmitočtovém měniči.....	33

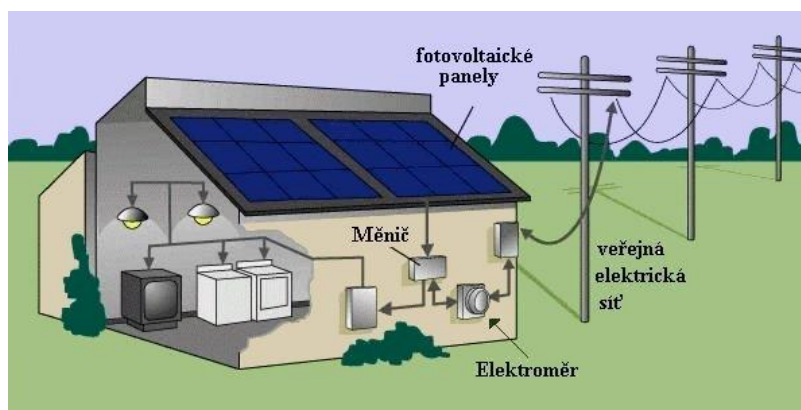
## Úvod

Stejnoseměrný, nebo střídavý rozvod elektřiny?

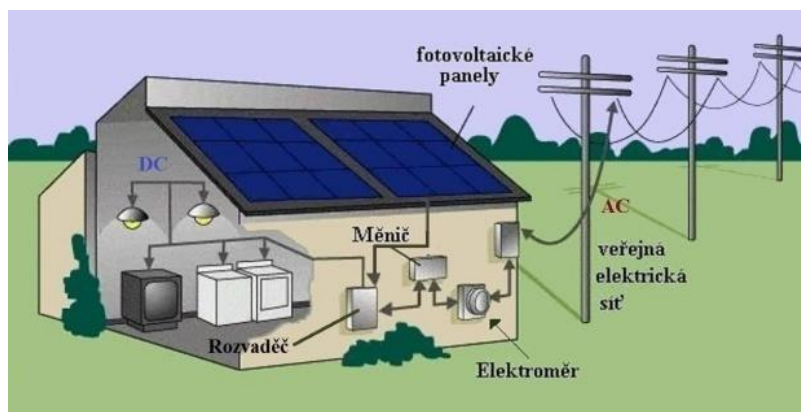
Na počátku dvacátého století probíhala tzv. "válka o proud", ve které vystupoval na jedné straně zastánce stejnosměrného rozvodu elektřiny Thomas Alva Edison a na straně druhé zastánce střídavého rozvodu Nikola Tesla. Zejména kvůli poznání transformátoru s uzavřeným jádrem zvítězil v tomto sporu střídavý rozvod. V dnešní době se stále častěji využívá rozvodu stejnosměrným napětím. V současnosti není problém místo transformátoru použít spínané měniče stejnosměrného napětí. Velké množství spotřebičů v domácnostech dnes již využívá stejnosměrné napětí (např. počítače, nabíječky na mobilní telefony, LED osvětlení atd.). Tento převrat byl z největší části způsoben objevem polovodičových usměrňovačů. Stejnoseměrné rozvody se již používají také ve velkých datových úložištích, kde mezi hlavní výhody patří určité zjednodušení systému, snížení produkce tepla a zvýšení spolehlivosti. Rozvodem stejnosměrného napětí na delší vzdálenosti se dnes zabývá nejedna firma, mezi ně se řadí např. firma ABB. HVDC technologie (High Voltage Direct Current) se používá pro přenos elektrické energie na velké vzdálenosti pomocí venkovních přenosových linek nebo podmořských kabelů. Příklad tohoto rozvodu můžeme již dnes spatřit mimo jiné na Novém Zélandě, kde jsou tímto způsobem propojeny Severní ostrov s Jižním. Další příklady tohoto typu rozvodu jsou uvedeny v jedné z následujících kapitol.

## 1 Rozvod stejnosměrným napětím v domácnosti:

Jak již bylo zmíněno výše, většina spotřebičů v domácnosti využívá stejnosměrného napětí. Toto napětí lze vyrobit například solárními panely, které dnes vidáme stále častěji na střechách rodinných domů, ale i firemních budovách (viz *obr. 1.1*). energii potřebnou pro chod domácnosti lze z velké části pokrýt z tohoto zdroje. Případný zbytek energie lze rozstřídat napěťovým střídačem a prodávat do distribuční sítě. Ke zjištění, zda je energie nedostatek či přebytek slouží tzv. čtyřkvadrantní elektroměr.



Obr. 1.1 Rodinný dům s fotovoltaickými panely [1]



Obr. 1.2 Možnost přímého rozvedení DC do budovy [1]

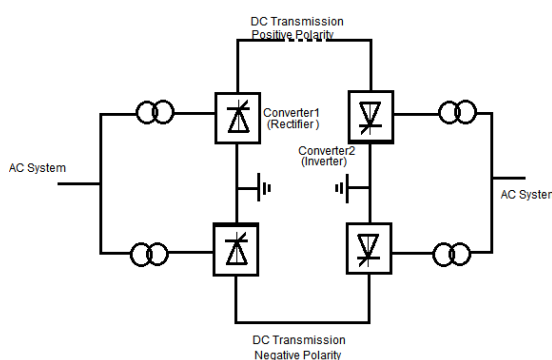
V případě přímého rozvedení stejnosměrného napětí (viz *obr. 1.2*) musíme upravit systém, ale vyhneme se ztrátám ve střídači a zároveň ztrátám v usměrňovačích, se kterými pracuje většina spotřebičů. Tyto ztráty dosahují až několika procent celkového výkonu.

Nevýhoda tohoto řešení je u používání točivých strojů, které pracují výhradně na principu elektromagnetického pole a tudíž je nelze jednoduše napájet stejnosměrným napětím. Ačkoli i

stejnoseměrný proud dokáže vytvořit elektromagnetické pole, toto pole není točivé a proto se nedá u asynchronních motorů použít. Každý stroj tím pádem musíme vybavit předřadným napěťovým střídačem, kde nám naopak ztráty vzniknou, ale spotřebičů využívajících střídavého napětí v domácnosti je podstatně méně než spotřebičů odebírajících napětí stejnosměrné.

## 2 Rozvod HVDC

### 2.1 Princip činnosti a historie



Obr.2.1.1 Principiální schéma HVDC technologie [2]

HVDC technologie pracuje na principu usměrnění střídavého zdroje napětí, přenesení napětí v podobě stejnosměrné a následného rozstředění v cílové destinaci. Možností stejnosměrné distribuce se společnost ABB věnuje už od padesátých let dvacátého století. První komerční vedení bylo instalováno ve Švédsku v roce 1954. Zde se toto řešení osvědčilo natolik, že dnes využívá HVDC mnoho velkých měst po celém světě (např. New York, Los Angeles, Sao Paulo, Šanghaj, Guangzhou a mnoho dalších.). Tento princip se dnes využívá v mnoha případech hlavně kvůli minimálním ztrátám při přenosu elektřiny. Zejména se jedná o vzdálené přenosy, podmořské kabely, zásobování ostrovů atd.. Od roku 1954 se společnost zabývá rozvojem a rozšířením aplikací. V současné době existuje hned několik druhů HVDC distribuce. Výhody tohoto typu vedení se projevují nejvíce u hladiny vysokého napětí (proto HV= high voltage). V případě nízkého napětí se naopak ztráty při stejnosměrné distribuci zvětšují. V následující kapitole si tento fakt ověříme pomocí konkrétního příkladu.



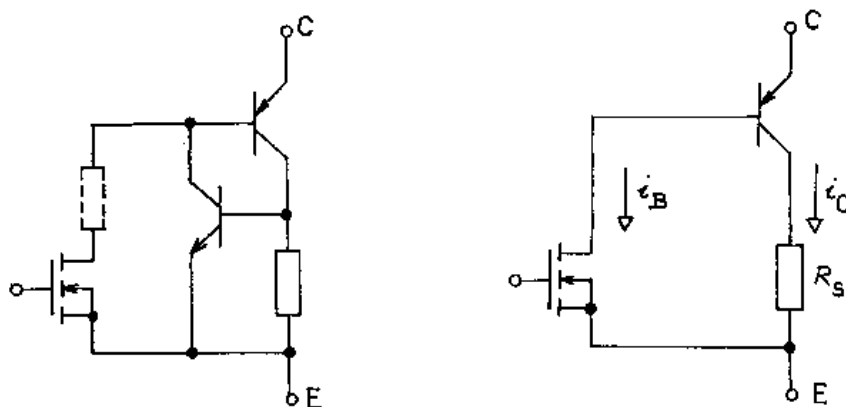
## 2.2 Součástky použité v HVDC technologii

### 2.2.1 GTO - Gate Turn Off Thyristor

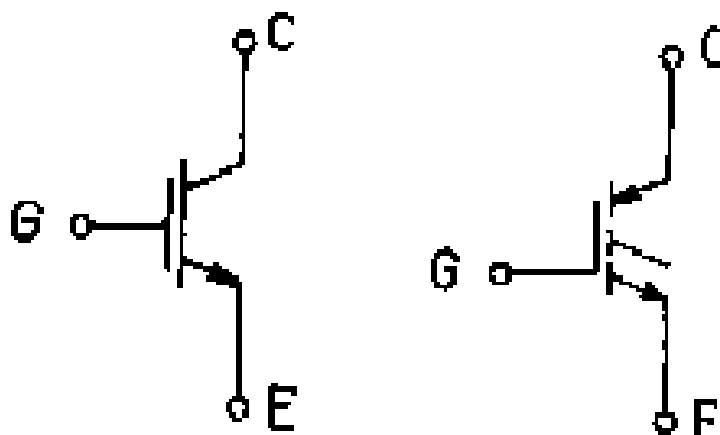
Jde o tyristor, který je možné zapnout i vypnout proudem do řídicí elektrody. Pro zapnutí je nutno do řídicí elektrody přivést kladný řídicí impuls a pro vypnutí řídicí impuls záporný. Charakteristika v přímém směru je stejná jako u běžného tyristoru. V závěrném směru je charakteristika stejná jakou mají tyristory asymetrické a zpětně vodivé. Tento jev je způsoben z důvodu částečného zkratování PN přechodu na anodě. Mezi nejdůležitější parametry patří vypínací zesílení. Podmínkou vypínacího procesu je, aby proud báze 2 (vychází z dvoutranzistorového modelu tyristoru) byl menší než kolektorový proud odpovídající proudovému zesílení ( $I_{B2} < I_{C2} / \beta_2$ ). Jinými slovy, abychom dosáhli proudem řídicí elektrody  $I_G$  pokles anodového proudu tyristoru  $I_A$  pod hodnotu vratného proudu. V praxi dosahuje vypínací zesílení hodnot 3 až 5.

### 2.2.2 IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor

Jde o bipolární tranzistor s izolovanou řídicí elektrodou, čili kaskádní spojení bipolárního tranzistoru, jehož proud báze je řízen sepnutím vstupního unipolárního tranzistoru. Spojuje v sobě jejich výhody. Na vstupu má vlastnosti téměř shodné s tranzistorem FET (nekonečný vstupní odpor) a na výstupu má vlastnosti podobné jako bipolární tranzistor (možnost velkého proudového i napěťového zatížení).



Obr.2.2.2.1 Vnitřní zapojení IGBT tranzistoru [3]



Obr.2.2.2.2 Schématické značky IGBT tranzistoru [3]

### 2.2.3 IGCT -Integrated Gate Commutated Thyristor

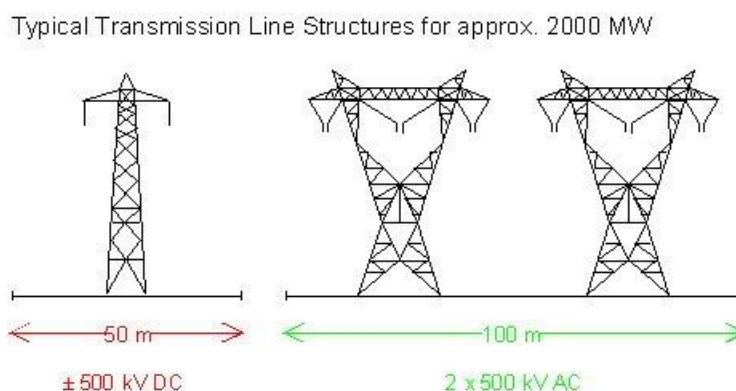
IGCT je v podstatě velmi „tvrdě komutovaný“ (tj. extrémně rychle vypínaný) vypínací tyristor GTO. Součástka IGCT je složena ze dvou základních částí: tyristorové struktury GCT a z řídicího obvodu, ke kterému je pastilka GCT připojena co nejtěsněji proto, protože pro řádnou funkci GCT musí být strmota nárůstu řídicího vypínacího proudu  $i_{RG}$  extrémně vysoká (proto vlastní [parazitní] indukčnost zdroje řídicích vypínacích impulsů, včetně přívodů, musí být snížena na proveditelné minimum). Na dvoutranzistorovém náhradním schématu se vypínací proud  $i_{RG}$  zvětšuje tak strmě, že „dříve než se výrazně změní rozložení nábojů na jednotlivých přechodech tyristorové struktury, je celý anodový proud  $I_A$  skokově převeden do řídicí elektrody G. Vypínání GCT součástky je tak převedeno na vypnutí druhého tranzistoru, což je principiální rozdíl proti vypínání součástky GTO. Proto je vyloučena filamentace a problémy s ní spojené, není omezena strmota nárůstu blokovacího napětí, není zapotřebí odlehčovací sítě, jsou zmenšeny vypínací ztráty. Kromě toho je významně zkrácena vypínací doba. [7]

## 2.3 Výhody oproti střídavé rozvodné síti

### 2.3.1 Ekonomické

U střídavého rozvodu (zejména u rozvodu vysokého napětí) musíme brát v potaz ztráty způsobené reaktancí kabelu, které nám v případě stejnosměrného rozvodu (v ustáleném stavu) odpadají. Z tohoto důvodu můžeme pro stejný přenášený výkon použít kabely menšího průřezu než v případě střídavého rozvodu. Tyto kabely jsou samozřejmě ekonomicky přijatelnější. Ztráty na vedení se nám rapidně sníží díky již zmiňované nepřítomnosti reaktance, která tvoří tzv. jalovou část ztrát. Reaktance tvoří majoritní část ztrát na vedení vysokého napětí (v některých případech až 2/3 velikosti ztrát celkových).

### 2.3.2 Technické



Obr. 2.4.2.1 Porovnání stožárů pro HVDC a HVAC rozvod [4]

Obrázek znázorňuje velikost stožárů potřebnou pro přenos výkonu 2000 MW. Jak je z obrázku patrné vedení HVDC (vlevo) potřebuje o polovinu menší koridor než vedení HVAC (vpravo). Díky této výhodě lze umístit rozvod HVDC i do hůře přístupných oblastí, ale zároveň lze snížit zastavěný prostor nynějšího distribučního systému. Stožáry pro vedení HVDC jsou samozřejmě také konstrukčně jednodušší (tzn. lehčí stavba).

## 2.4 Některé příklady již fungujících projektů HVDC rozvodů

### 2.4.1 Xiangjiaba - Šanghaj (Čína)

Výkon je přenášen napětím  $\pm 800$  kV. Jedná se o první demonstrační projekt v Číně. Do provozu byl uveden v roce 2010. Délka vedení je 1891,6 km. Vedení disponuje přenosovou kapacitou až 7 200 MW. Ztráty na tomto vedení se pohybují kolem 7 %.

### 2.4.2 Ningdong - Shandong(Čína)

Do provozu bylo vedení uvedeno 28. února 2011. Výkon je přenášen napětím  $\pm 660$  kV. Díky tomuto vedení lze v Shandongu odebrat místo původních 350 000 kWh nyníjších 7,5 mil. kWh.

### 2.4.3 Ťin-pching - Sunan (Korea)

Výkon je přenášen napětím  $\pm 800$  kV po vodičích o průřezu  $900 \text{ mm}^2$ . Tento průřez byl zvolen zejména kvůli úspoře energie a odolnosti vůči přírodním katastrofám. Oproti klasickému průřezu vodiče ( $630 \text{ mm}^2$ ) používaném u Kam Souter HVDC aplikace linky  $900 \text{ mm}^2$  ušetří nyníjší vedení ročně (3 000 h provozu) až 43 200 kWh.

### 2.4.4 Tři soutěsky - Šanghaj (Čína)

Do plného provozu uvedena na podzim roku 2012. Výkon přenášen napětím  $\pm 500$  kV DC. Jsou zde 3 stejnosměrná vedení. Každé z nich o kapacitě 3 000 MW. Výkon elektrárny závisí na průtoku vody (maximálního výkonu lze dosáhnout jen v období, kdy je vody nejvíce). Pokud je počet hodin dodávky ročně 4000 hodin, šetří energii 79 800 kWh / km plošně, což znamená úsporu 83 720 000 kWh ročně.

### 3 Výhody a nevýhody střídavého a stejnosměrného rozvodu nn

#### 3.1 Zadané hodnoty:

$U_j$	400 V
$P$	60 kW
$l$	300 m
$d$	0,6 m

Tabulka 3.1.1 Zadané hodnoty k výpočtům AC a DC rozvodů

V následujících podkapitolách porovnávám rozvod střídavým napětím s rozvodem stejnosměrným napětím v konkrétním příkladě. V obou případech budu uvažovat stejné parametry vedení (tj. délka, přenášené napětí, přenášený výkon). Pro přenos nízkého napětí o hladině sdruženého napětí  $U_S = 400$  V budu počítat s charakteristickými parametry pro vodič Cu o průřezu  $35 \text{ mm}^2$ . V závěru této kapitoly výsledky porovnám pro lepší představu energetických výhod či nevýhod obou způsobů distribuce elektrického proudu.

## 3.2 Výpočet střídavého vedení

### 3.2.1 Výpočet indukční reaktance:

U trojfázového střídavého vedení využijí známého vztahu pro výpočet indukční reaktance:

$$X_L = 0,145 \cdot \log d + K \quad [\Omega/\text{km}] \quad (3.2-1)$$

d (cm)	0,145log d (Ω/km)	d (cm)	0,145log d (Ω/km)	d (cm)	0,145log d (Ω/km)	Jmenovitý průřez vodiče (mm <sup>2</sup> )	K (Ω/km)	
							AlFe	Cu
2	0,044	25	0,202	500	0,391	16	0,0957	0,106
4	0,069	30	0,214	600	0,402	25	0,0812	0,093
6	0,113	40	0,232	800	0,42	35	0,0702	0,079
8	0,131	60	0,257	1000	0,434	50	0,0597	0,068
10	0,145	80	0,275	1200	0,446	70	0,0479	0,055
12	0,156	100	0,289	1500	0,459	95	0,0388	0,047
14	0,166	150	0,315	2000	0,477	120	0,0288	0,039
16	0,174	200	0,33	3000	0,502	150	0,0227	0,031
18	0,182	300	0,358	4000	0,521	185	0,0159	0,025
20	0,188	400	0,377	5000	0,535	210	0,0119	XXX
						240	0,0082	0,016
						300	0,0014	0,009

Tabulka 3.2.1.1 Charakteristické parametry vodičů potřebné pro výpočet indukční reaktance

Jak již bylo uvedeno výše, z tabulky 3.2.1.1 využiji hodnoty charakterizující Cu vodič o jmenovitém průřezu  $35 \text{ mm}^2$ . Vodiče budou od sebe vzdáleny 0,6 m.

Po dosazení do vzorce dostanu hledanou indukční reaktanci:

$$X_L = 0,257 + 0,079 = 0,336 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Dalším důležitým parametrem pro výpočet střídavého vedení je hodnota činného odporu vedení. Tento odpor je z důvodu nerovnoměrného rozložení proudu ve vodiči větší než u stejnosměrného rozvodu. Tento rozdíl oproti stejnosměrnému rozvodu lze kompenzovat koeficientem, který se v našem případě pohybuje v rozmezí 1,05-1,3. Pro můj výpočet zvolím hodnotu 1,05.

### 3.2.2 Výpočet činného odporu:

Při uvažování stejnosměrného rozvodu využiji vzorce:

$$R_{DC} = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,0178 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1000}{35 \cdot 10^{-6}} = 0,5085 \text{ } \Omega/\text{km} \quad (3.2.2-1)$$

Hodnota činného odporu u střídavého rozvodu:

$$R_{AC} = R_{DC} \cdot k = 0,5085 \cdot 1,05 = 0,534 \text{ } \Omega/\text{km} \quad (3.2.2-1)$$

Naše výpočty si můžeme ověřit pomocí tabulky 3.1.2

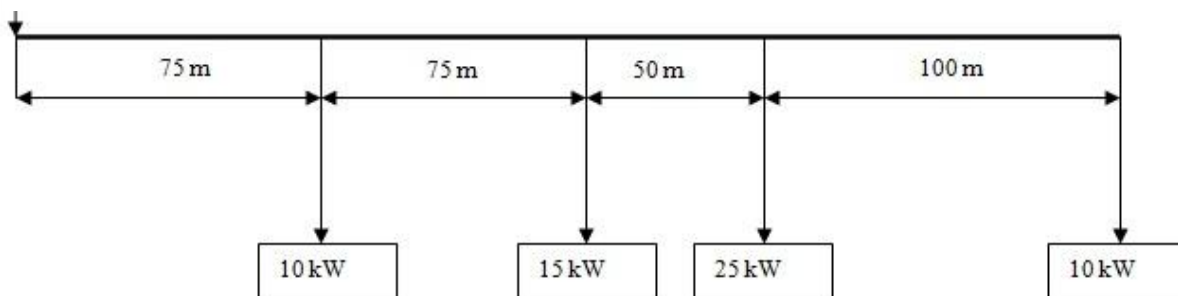
$U_s$ (kV)	Vodič (mm <sup>2</sup> )	R (Ω/km)	$X_L$ (Ω/km)
0,4	35 Cu	0,526	0,3
22	70 AlFe	0,434	0,38
110	185 AlFe	0,156	0,39
220	350 AlFe	0,085	0,44
400	2 x 500 AlFe	0,028	0,34

Tabulka 3.2.2.1 Hodnoty odporů a indukčních reaktancí pro různé druhy vodičů

Menší odchylka od tabulkových hodnot byla zapříčiněna zaokrouhlováním ve výpočtech. Pro další výpočty budu využívat přesnějších tabulkových hodnot.

Důležitá hodnota pro výpočet úbytku napětí na vedení je také účinník  $\cos \varphi$ . Tento účinník se obecně volí v rozmezí 0,9-0,95. Pro tento konkrétní případ si zvolím hodnotu účinníku 0,9.

Pro další postup je nutné navrhnout vedení se všemi odběry:



Obr. 3.2.3 Schéma distribuční sítě použité pro výpočet rozvodu střídavým napětím



### 3.2.3 Výpočet úbytku napětí na vedení:

Pro trojfázovou soustavu sítě platí obecný vztah pro výpočet úbytku napětí:

$$\Delta U = \frac{\sum P \cdot l}{U_j} \cdot (R_{AC} + X_L \cdot \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.2.3-1)$$

Po dosazení hodnot dostaneme:

$$\sum P \cdot l = 60 \cdot 75 + 50 \cdot 75 + 35 \cdot 50 + 10 \cdot 100 = 11\,000 \text{ kWh}$$

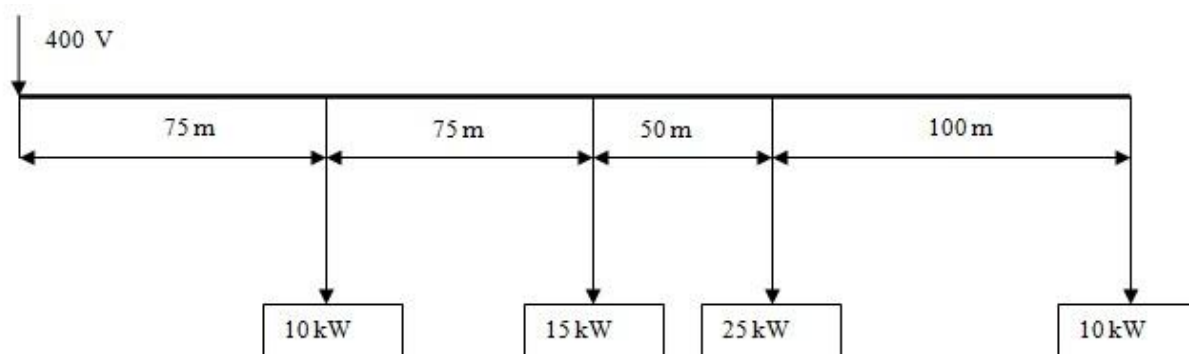
$$\Delta U_1 = \frac{11}{0,4} \cdot (0,526 + 0,3 \cdot \operatorname{tg} 25,84) = 18,46 \text{ V}$$

Úbytek napětí nesmí být v síti nízkého napětí větší než 10 %. Zda takto navržená síť tuto podmínku splňuje ověříme vztahem:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_j} \cdot 100 = \frac{18,46}{400} \cdot 100 = 4,61 \text{ \%} \quad (3.2.3-2)$$

Z výpočtu je patrné, že takto navržené vedení vyhovuje požadavku na maximální úbytek napětí.

### 3.3 Výpočet stejnosměrného vedení



Obr. 3.3.1 Schéma distribuční sítě použité pro výpočet rozvodu stejnosměrným napětím

Pro stejnosměrný rozvod platí vztah:

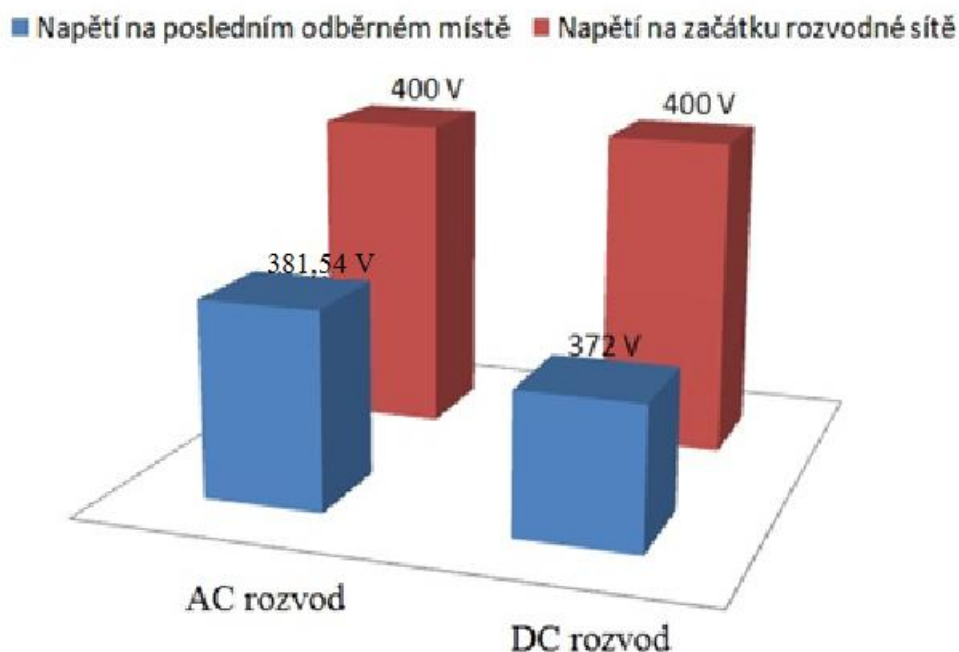
$$\Delta U_2 = 2 \cdot \frac{\rho}{U_j \cdot S} \cdot \sum P \cdot l = 2 \cdot \frac{0,0178 \cdot 10^{-6}}{400 \cdot 35 \cdot 10^{-6}} \cdot 11000 \cdot 10^3 = 27,97 \text{ V} \quad (3.3-1)$$

Stejně jako u střídavého rozvodu vyjádřím úbytek napětí v procentech:

$$\Delta u_{\%} = \frac{27,97}{400} \cdot 100 = 6,99 \% \quad (3.3-2)$$

Z výpočtu je opět patrné, že vedení vyhovuje požadavku na maximální úbytek, avšak tento úbytek je větší než v případě střídavého rozvodu.

### 3.4 Porovnání výsledků střídavého a stejnosměrného rozvodu



Graf 3.4.1 Porovnání úbytků střídavého a stejnosměrného napětí

Rozdíl napětí na posledním odběrném místě:

$$\Delta U = U_{výst\ AC} - U_{výst\ DC} = 381,54 - 372 = 9,54\ V \quad (3.4-1)$$

Jak je z grafu a výpočtu patrné, při porovnání obou typů distribuce má v případě hladiny nízkého napětí smysl používat současnou střídavou síť. U distribuce stejnosměrným napětím dochází k větším úbytkům napětí na vedení. V mém případě je uvažováno vedení o délce 300 m. I na takovémto "krátkém" vedení je dosti velký rozdíl napětí na posledním odběrném místě. Při uvažování delšího vedení (které se v reálu ve většině případů vyskytuje) tyto ztráty rostou a rozdíl koncového napětí je daleko větší než zde.

## 4 Úspora energie u vybraných domácích spotřebičů

V této kapitole nám jako příklad k porovnání poslouží klasická klimatizační jednotka a jednotka s vestavěným invertorem (měničem kmitočtu). V současné době využívá bytových klimatizací mnoho lidí. Největším důvodem tohoto nárůstu zájmu o klimatizace je přirozeně cena. Ceny klimatizací klesají stejně tak jako ceny ostatních elektronických spotřebičů z důvodu pokroku v používaných technologiích.

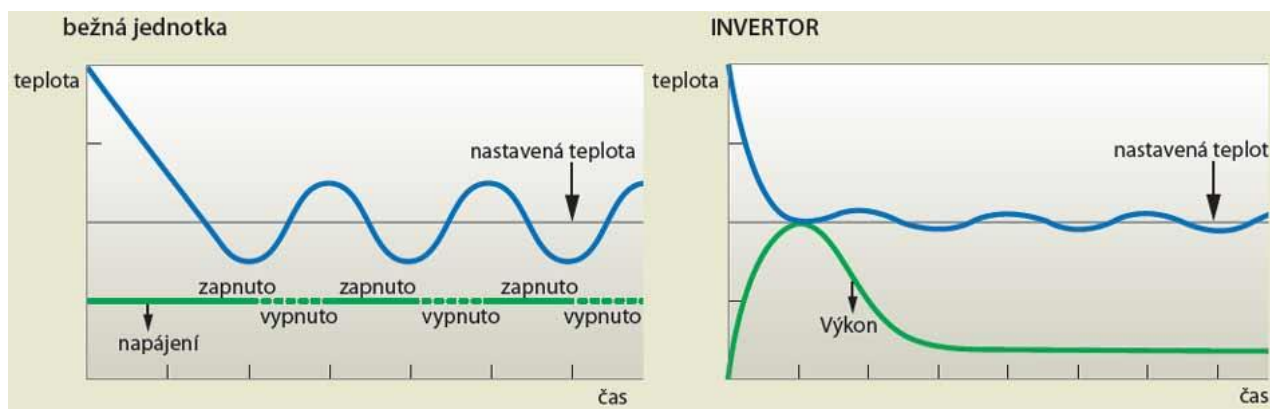
### 4.1 Trend současných bytových klimatizací

V dnešní době se čím dál tím více firem zaobírá možností snížení provozních nákladů bytových klimatizací. jako praktické řešení se osvědčilo využití měniče kmitočtu, který způsobí to, že klimatizace neběží pouze v režimu start/stop, ale je možno plynule korigovat výkon v souvislosti s odchylkou vůči optimální teplotě v domě.

### 4.2 Příklad bytové klimatizace značky LG typ MU2M15

#### 4.2.1 Seznámení se zařízením

Jedním zástupcem využívajícím měnič kmitočtu je venkovní box LG MU2M15. Tento box umožňuje připojení více vnitřních klimatizací od téže značky do maximálního výkonu 3,5 kW. Je dimenzován na maximální zatížení dvěma vnitřními jednotkami o výkonu 2,5 kW a 3,5 kW. Součástí boxu je tzv. invertor. Princip invertoru je znázorněn na *obr. 4.2.1* kde je patrná velká úspora energie.



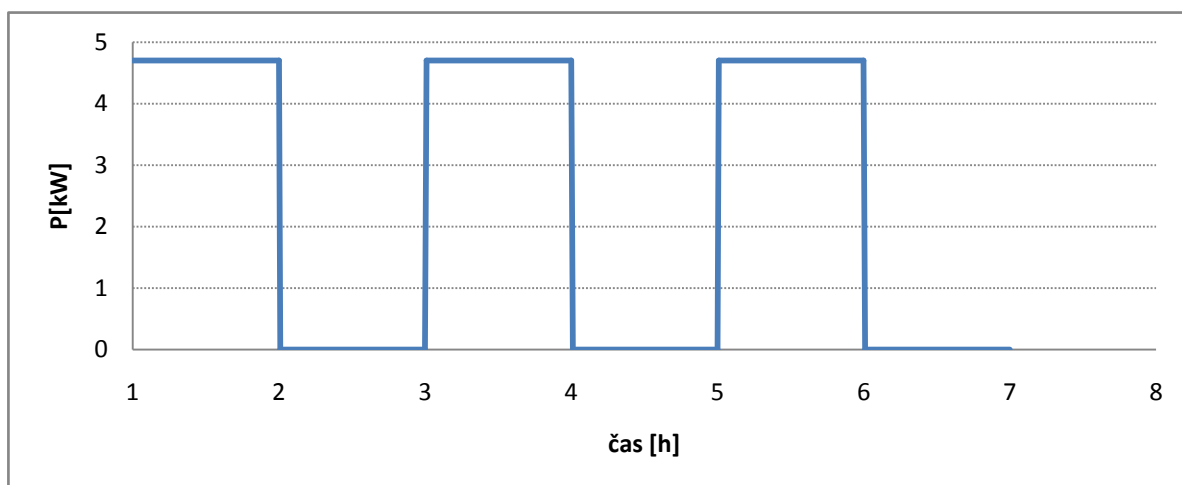
Obr. 4.1. Porovnání chodů bytových klimatizací: režim start/stop (vlevo) a použití MK (vpravo) [5]

Požizovací cena klimatizací využívajících invertor je vyšší než u běžné jednotky, ale tento hendikep se uživateli vykompenzuje podstatným snížením provozních nákladů.

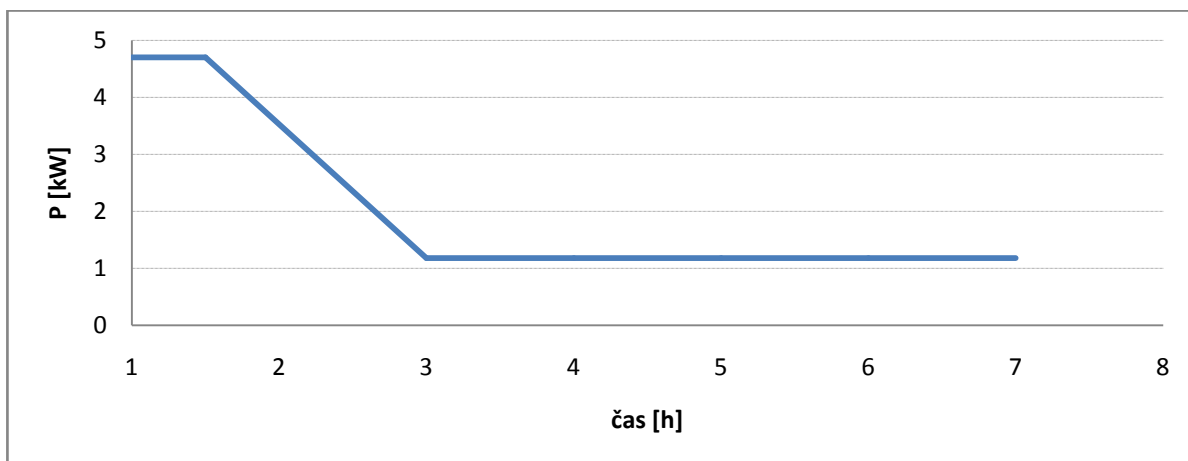
#### 4.2.2 Výpočet úspory energie

V příkladu budeme uvažovat katalogovou hodnotu výkonu tzn. maximální odebíraný výkon 4.7 kW.

Pro zjednodušení výpočtu použijeme následující průběhy odběrů (viz *graf 4.2.2.1* a *graf 2.2.2.2*).



Graf 4.2.2.1 Průběh odebíraného výkonu u běžných jednotek



Graf 4.2.2.2 Průběh odebíraného výkonu u LG MU2M15

### 4.2.3 Výpočet odebíraného výkonu pro běžnou klimatizační jednotku

Běžná jednotka potřebuje při každém sepnutí maximální hodnotu odebíraného výkonu. Z grafu 2.2.2.1 lze vyčíst dobu, kdy je klimatizace v provozu  $t_{sep}=3$  h. Vypočtu si tedy celkovou odebranou elektrickou energii v časovém úseku sedmi hodin.

$$E_{sep} = t_{sep} \cdot P = 1 \cdot 4,7 = 4,7 kWh \quad (4.2.3-1)$$

$$E_{celk1} = E_{sep} \cdot 3 = 4,7 \cdot 3 = 14,1 kWh \quad (4.2.3-2)$$

### 4.2.4 Výpočet odebíraného výkonu pro klimatizační jednotku LG MU2M15

Pro jednotku s invertorem bude největší odebíraná elektrická energie  $E_{celk}$  pouze v době největší odchylky skutečné a optimální (požadované) teploty. Pro jednoduchost výpočtu určíme tuto dobu jako počáteční  $t_p=0,5$  h. Po uplynutí tohoto intervalu se odebíraná elektrická energie bude ve skutečnosti snižovat exponenciálně, zde však budeme uvažovat pokles lineární.

$$E_1 = P \cdot t_p = 4,7 \cdot 0,5 = 2,35 kWh \quad (4.2.4-1)$$

Odebíraný výkon při přiblížení skutečné teploty k teplotě požadované  $P_2$ .

$$E_2 = t \cdot \frac{(P_{max} - P_{konst})}{2} + t \cdot P_{konst} = 1,5 \cdot \frac{(4,7 - 1,175)}{2} + 1,5 \cdot 1,175 = 4,4 kWh \quad (4.2.4-2)$$

Odebíraný výkon při minimální odchylce od požadované teploty lze s menší nepřesností považovat za konstantní, tedy  $P_{konst}$ .

$$E_3 = t \cdot P_{konst} = 4 \cdot 1,175 = 4,7 kWh \quad (4.2.4-3)$$

Celkovou odebranou elektrickou energii  $E_{celk2}$  lze vypočítat jako součet dílčích energií.

$$E_{celk2} = E_1 + E_2 + E_3 = 2,35 + 4,4 + 4,7 = 11,45 kWh \quad (4.2.4-4)$$

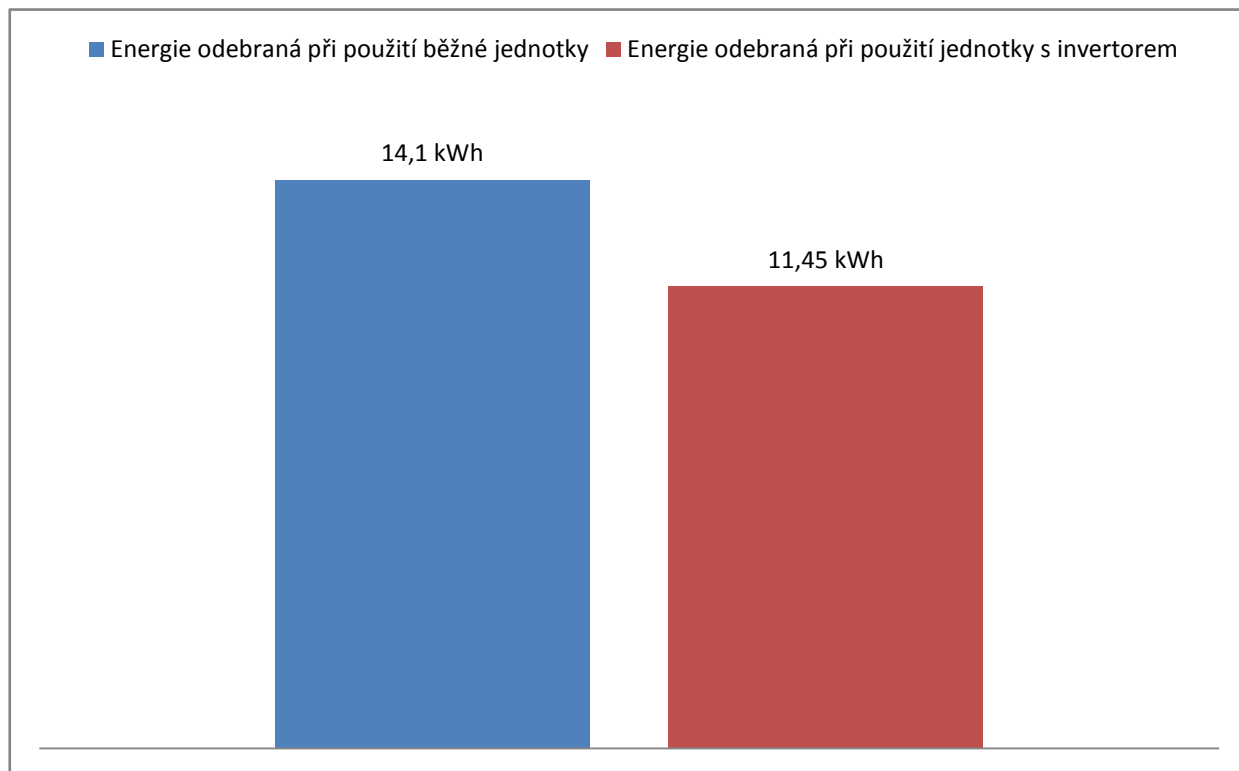
#### 4.2.5 Porovnání odebíraných výkonů běžné klimatizační jednotky a jednotky s invertorem

Vyjádření energetické úspory v případě využití invertoru

$$\Delta E = E_{celk\ 2} - E_{celk\ 1} = 14,1 - 11,45 = -2,65 \text{ kWh} \quad (4.2.5-1)$$

Procentuální vyjádření energetické úspory v případě využití invertoru

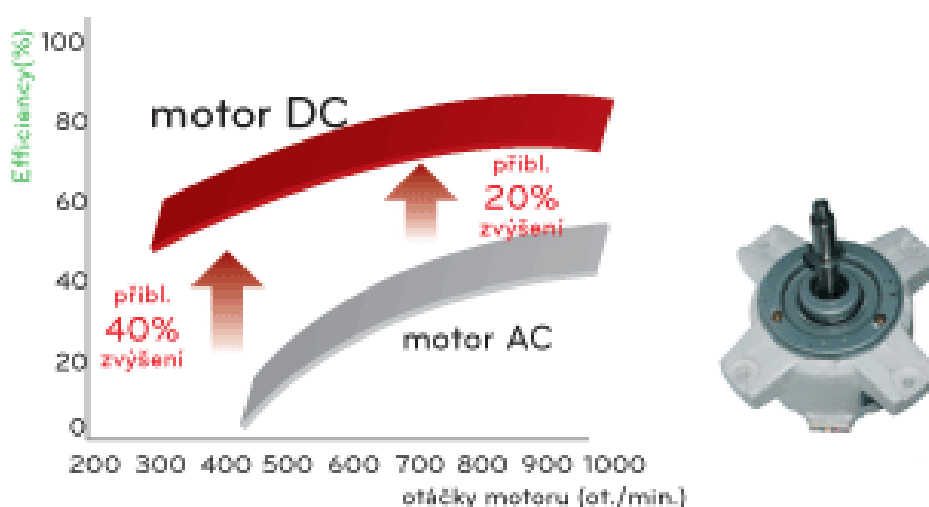
$$\Delta E_{\%} = \frac{|\Delta E|}{\frac{E_{celk\ 1}}{100}} = 18,79 \text{ \%} \quad (4.2.5-2)$$



Graf 4.2.5.1 Porovnání odebraných výkonů

### 4.3 Porovnání motorů použitých v bytových klimatizacích

Výsledná spotřeba také neméně záleží na použitých motorech v klimatizacích. Oproti střídavým motorům mají výhodu motory stejnosměrné, které dokáží při stejných otáčkách vyvinout zdatelně vyššího výkonu z důvodu menších ztrát na motoru samotném. Na obr. 4.3.1 vidíme porovnání průběhů motoru střídavého a stejnosměrného.



Obr.4.3.1 Porovnání DC a AC motorů v klimatizaci [6]

### 4.4 Přímé rozvedení stejnosměrného napětí pro bytovou klimatizaci

V případě přímého rozvodu stejnosměrného napětí můžeme ušetřit přibližně 0,6 % celkové odebírané elektrické energie, která se ztratí na usměrňovači implementovaným v kmitočtovém měniči. Hodnota ztráty na usměrňovači byla ověřena měřením. Jak je patrné z tabulky 4.4.1, ztráta na usměrňovači představuje 19 % celkových ztrát na kmitočtovém měniči.



P [kW]	Ztráta na usměrňovači [%]	Ztráta na střídači [%]	Konstantní ztráty [%]
2	19	54	27
6	19	59	22
20	18	62	20
60	19	65	16
200	20	70	10

Tabulka 4.4.1 Rozdělení celkových ztrát v kmitočtovém měniči

#### 4.5 Finanční náklady při využití běžné klimatizační jednoty a při využití stejnosměrného rozvodu a klimatizace LG MU2M15:

Při průměrné ceně jedné kWh, která v současnosti činí 4,75 Kč lze jednoduše vypočítat úsporu při použití klimatizace s kmitočtovým měničem.

Z důvodu krátkého intervalu v předešlém příkladě, zde zvolíme celoroční spotřebu. Klimatizace se za účelem ochlazení místnosti používá přibližně od června do října tzn. 5 měsíců. V průměru lze počítat s denní spotřebou za dobu 7 hodin.

Z těchto údajů vypočítám celkovou spotřebu pro běžnou klimatizační jednotku:

$$E_{rokAC} = 4,7 \cdot 153 \cdot 7 = 5033,7 \text{ kWh} \quad (4.5-1)$$

Dále lze vypočítat roční finanční náklady:

$$N_{rokAC} = 3595,5 \cdot 4,75 = 23910 \text{ Kč} \quad (4.5-2)$$

Stejný postup provedu i pro klimatizační jednotku LG MU2M15:

$$E_{rok2} = 11,45 \cdot 153 = 1751,85 \text{ kWh} \quad (4.5-3)$$

Při zavedení přímého rozvodu stejnosměrným napětí lze ušetřit ještě výše zmíněných 0,6 % ztrát na usměrňovači v kmitočtovém měniči:

$$E_{rokDC} = 17,5185 \cdot 99,4 = 1741,339 \text{ kWh} \quad (4.5-4)$$

Roční finanční náklady při použití klimatizační jednotky s kmitočtovým měničem a při přímém rozvodu stejnosměrného napětí:

$$N_{rokDC} = 1741,339 \cdot 4,75 = 8397 \text{ Kč} \quad (4.5-5)$$

Podle předpokladů jde o velmi významnou úsporu. Vezmeme-li v potaz pořizovací cenu klimatizační jednotky, která je přibližně o třetinu větší než u jednotky klasické, tento hendikep se nám vykompenzuje během prvního roku jejího provozu.

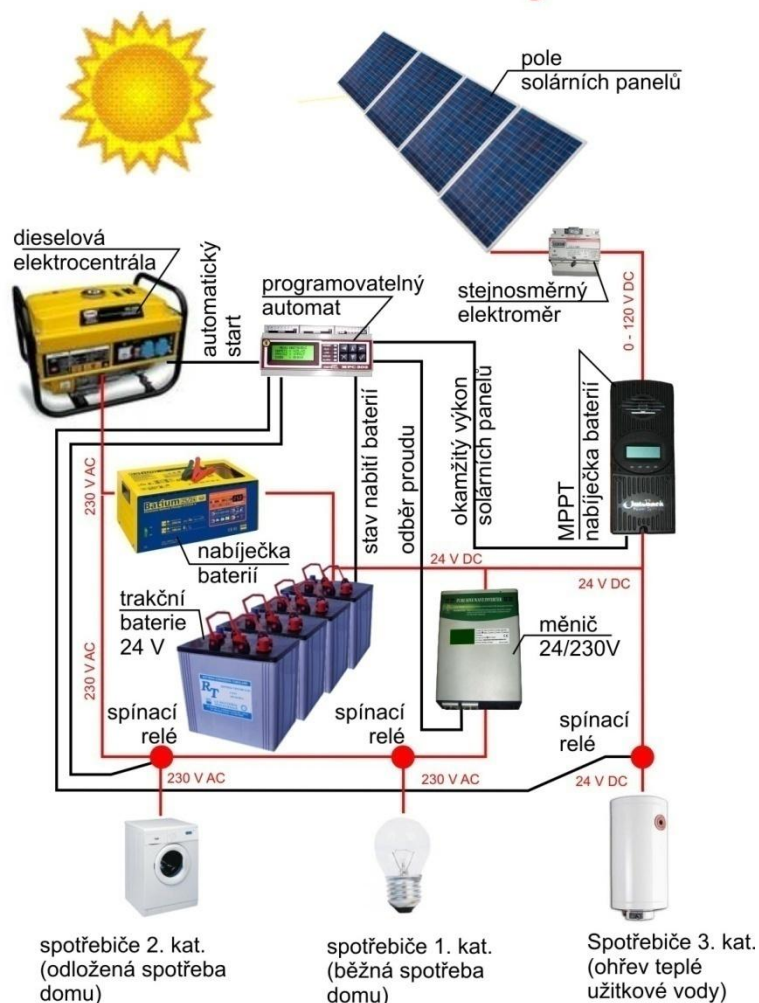
#### **4.6 Možnost napájení domácí solární elektrárnou**

V současné době se u domácích solárních elektráren uvádí plocha, potřebná k vyrobení 1 kW výkonu, mezi 8-10 m<sup>2</sup>. Průměrný rodinný dům disponuje možností využití plochy cca 50-70 m<sup>2</sup> na střeše domu a dalších cca 30-60 m<sup>2</sup> na fasádě orientované na jih, kde je přirozeně největší intenzita slunečního svitu. V našem případě potřebujeme výkon přibližně 5 kW pro energetické zásobování klimatizačního obvodu. Tohoto výkonu lze dosáhnout plochou 50 m<sup>2</sup>.

Ostrovní systémy na 230V (400V) pro rodinné domy a byty:

Ostrovní systémy jsou projektovány tak, aby z energetického hlediska umožnily žádný nebo naprosto minimální odběr elektrické energie ze sítě distributora. Jádrem těchto systémů je automatická spínací skříň, která řídí tok elektrické energie. V případě, že fotovoltaické panely vyrábí dostatek energie, je část energie spotřebována v rámci budovy. Případné přebytky jsou ukládány do baterií. Naopak v případě, že je energie z panelů nedostatek, rozdíl se z baterií dorovnává. V případě úplného vypnutí fotovoltaiky (např. v noci) je energie odebírána z baterií až do takového vybití baterií, které je předem naprogramováno. Z hlediska životnosti baterií se nedoporučuje vybíjení pod 50% kapacity.[8]

## schema ostrovního systému



Obr. 4.6 Schéma ostrovního systému [8]

## 5 Závěr

V závěru této práce bych rád zhodnotil technologii HVDC a také možnost rozvodů stejnosměrným napětím po domácnosti. Zda by tento krok byl v dnešní době realizovatelný bez větších problémů, či naopak.

### 5.1 Zhodnocení HVDC technologie

Tato technologie přináší zajímavý poznatek a výhled do budoucnosti. S touto technologií je možné docílit efektivního dálkového rozvodu s podstatně menšími ztrátami, než je tomu dnes s použitím HVAC technologie. HVDC má však výhody pouze u hladiny vvn. V kapitole 3 je dokázáno, že při použití stejnosměrného rozvodu u hladiny nn tento rozvod nemá smysl. Zde jsou ztráty na vedení naopak vyšší než je tomu u současně využívaného střídavého rozvodu. Z důvodů lepších vodivostních vlastností je v kapitole 3 počítáno s měděným vodičem. Ve skutečnosti se však z finančních důvodů používají na tyto typy "delších" vedení AlFe lana.

### 5.2 Možnost přímého rozvedení stejnosměrného napětí po domě

Celá tato práce poukazuje na spotřebu stejnosměrného napětí ve většině domácích spotřebičů např. počítače, televizory, klimatizace, LED osvětlení atd. . Při výrobě těchto spotřebičů je uvažováno zapojení na klasický střídavých rozvod 230 V. Z toho důvodu jsou všechny tyto spotřebiče opatřeny usměrňovačem, který je implementován v každém z nich. Na těchto usměrňovačích přirozeně vznikají ztráty, které jsou nežádoucí. Velkou inovací do budoucnosti je tím pádem myšlenka přímého rozvodu stejnosměrným napětím po celém domě. Tento princip by vyloučil ztráty na usměrňovačích ve spotřebičích. V dnešní době jsou však usměrňovače implementovány do spotřebičů takovým způsobem, že je nelze vyjmout bez porušení záruční doby. Při uvažování stejnosměrných rozvodů by se s těmito usměrňovači nemuselo počítat již ve výrobě a spotřebič by bylo možno připojit rovnou na domovní rozvodnou síť. Tato inovace by se v největším měřítku projevila hlavně u nově postavených budov, kde by nebyla nutná rekonstrukce již instalovaného vedení. U starších budov by byla tato rekonstrukce nutná.

Nevýhodu v tomto řešení lze vidět ve finančních nákladech potřebných ke zmíněné rekonstrukci rozvodů po domě. Při napájení spotřebičů ze solárních panelů je přirozeně nutné elektrickou energii uchovat, proto by každá taková domácnost musela být vybavena baterií. Baterie s dostatečnou kapacitou pro dlouhodobý odběr větší hladiny energie jsou v současnosti velmi drahou záležitostí. Musíme také počítat se životností jednotlivých součástí obvodu.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Obr. 1.1 stažen z <http://www.pwr.cz/> (21.1.2015)
- [2] Obr. 2.1.1 stažen z <http://www.indiastudychannel.com/> (22.1.2015)
- [3] Obr. 2.2.2.1 a Obr. 2.2.2.2 staženy z <http://www.elektrorevue.cz/> (3.2.2015)
- [4] Obr 2.4.2.1 stažen z <http://w5.siemens.com/> (23.12.2014)
- [5] Obr 4.1 stažen z <http://www.klimatizace-profesionalne.cz/> (19.2.2015)
- [6] Obr 4.3.1 stažen z <http://www.klimatizace-lg-toshiba.cz/> (19.2.2015)
- [7] URL: <http://jjohnyk.sweb.cz/elektronika/04.htm> (cit. 14.1.2015)
- [8] URL: <http://fotovoltaika.nwt.cz/ostrovni-systemy/> (cit. 4.6.2015)
- [9] URL: <http://www.feil.vsb.cz/> (4.6.2015)
- [10] URL: <http://www.svp-solar.cz/fotovoltaika/> (4.6.2015)
- [11] SCHEJBAL Konstantin; MERTLOVÁ, Jiřina. *Elektroenergetika II. 1.část*, Plzeň : ZČU 1998. 124 s. ISBN 80-7082-451-4.
- [12] SCHEJBAL, Konstantin; MERTLOVÁ, Jiřina. *Elektroenergetika II. 2. část*, Plzeň : ZČU 1998. 223 s. ISBN 80-7082-451-4.
- [13] BENEŠOVÁ, Zdeňka; LEDVINOVÁ, Marcela. *Základy elektrických obvodů v příkladech*. 2. vydání. Plzeň : ZČU 2012. 146 s. ISBN 978-80-261-0140-6

## Seznam příloh

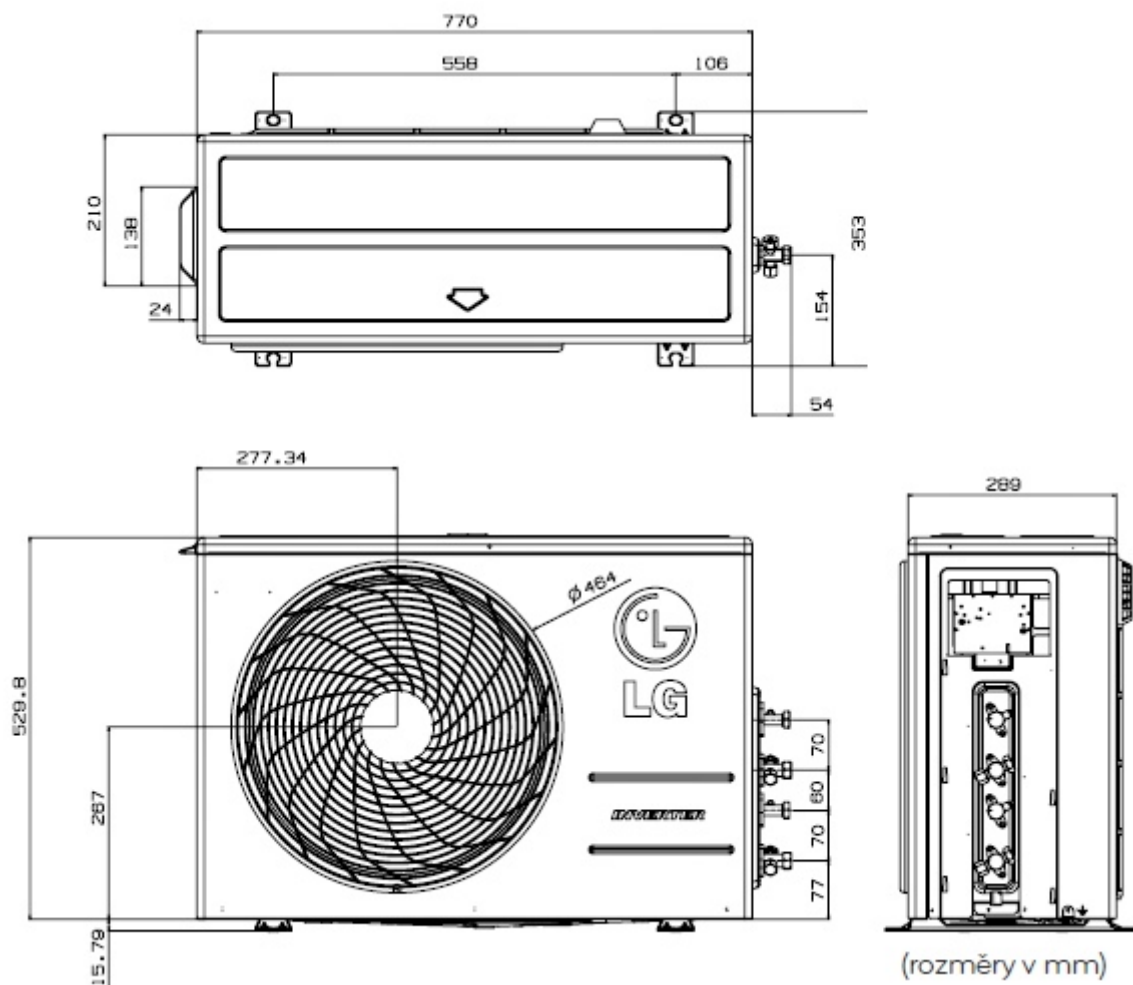
Příloha A - Kompletní technické parametry klimatizace LG MU2M15.....	40
Příloha B - Rozměry klimatizačního boxu LG MU2M15.....	41
Příloha C - Závislost výroby energie na sklonu a orientaci solárních panelů.....	42

## Příloha A - Kompletní technické parametry klimatizace LG MU2M15

Označení	Venkovní jednotka	MU2M15 UL2	MU2M17 UL2	MU3M19 UE2	MU3M21 UE2
Chlad. výkon	min/nom/max (kW)*	0,9 / 4,1 / 5,4	0,9 / 4,7 / 5,4	1,4 / 5,3 / 6,3	1,4 / 6,2 / 7,3
Topný výkon	min/nom/max (kW)*	0,7 / 4,7 / 5,7	1 / 5,3 / 5,7	1,4 / 6,3 / 7,3	1,5 / 7 / 7,8
Max. počet vnitř. jednotek		2	2	3	3
EL příkon - chlazení	min/nom/max (kW)*	0,3 / 1,0 / 1,6	0,3 / 1,3 / 1,6	0,1 / 1,3 / 2,1	0,1 / 1,6 / 2,4
EL příkon - topení	min/nom/max (kW)*	0,3 / 1,1 / 1,7	0,3 / 1,3 / 1,7	0,2 / 1,5 / 2,6	0,2 / 1,7 / 2,7
Provozní proud chlazení	min/nom/max (A)	1,3 / 4,6 / 7,4	1,3 / 5,8 / 7,4	0,6 / 6 / 9	0,6 / 6,6 / 10,3
Provozní proud topení	min/nom/max (A)	1,3 / 4,9 / 7,5	1,3 / 5,8 / 7,5	0,8 / 7 / 11,5	0,9 / 7,4 / 11,8
Napájení	(fáze, V, Hz)		1f, 220-240, 50		
Doporučené jištění	(A)	1f-C-10A	1f-C-10A	1f-C-16A	1f-C-16A
Napájecí kabel	počet žil x mm <sup>2</sup>	CYKY 3C x 1,5	CYKY 3C x 1,5	CYKY 3C x 2,5	CYKY 3C x 2,5
Komunikační kabel	počet žil x mm <sup>2</sup>				
EEER	chlazení (nom.)	4,02	3,72	4,1	3,9
COP	topení (nom.)	4,34	4,12	4,1	4,1
Energetická třída	chlazení	A++	A++	A++	A++
	topení	A	A	A	A
Roční spotřeba energie	chlazení (kWh)	235	270	304	356
	topení (kWh)	1543	1543	1831	1974
SEER koeficient roční energet. účinnosti - chlazení		6,1	6,1	6,1	6,1
SCOP koeficient roční energet. účinnosti - topení		3,8	3,8	3,9	3,9
Akustický tlak (1 m)**	chl / top (dBA)	49 / 51	49 / 51	50 / 52	51 / 53
	noční režim (dBA)	44	44	45	45
Akustický výkon***	(dBA)	59	62	64	64
Průtok vzduchu	(m <sup>3</sup> /min)	28,2	28,2	50	50
Náplň chladiva	R410a (g)	1400	1400	1700	1800
Předplněno na vzdálenost	(m)	15	15	22,5	20
Doplňení chladiva	(g/m)	20	20	20	20
Max. délka jednotlivé větve	(m)	20	20	25	25
Max. součtová délka potrubí	(m)	30	30	50	50
Převýšení mezi venkovní a vnitřními jednotkami	(m)		15		
Převýšení mezi vnitřními jednotkami	(m)		7,5		
Rozměry	\$\varphi\$*V*H (mm)	770*545*288	770*545*288	870*655*320	870*655*320
Cistá hmotnost	(kg)	37	37	45	45
Připojovací dimenze	kapalina / plyn (mm)	6,35 / 9,52 * 2	6,35 / 9,52 * 2	6,35 / 9,52 * 3	6,35 / 9,52 * 3
	chlazení (°C)	-10 - 46	-10 - 46	-10 - 48	-10 - 48
Garantovaný chod	topení (°C)	-18 - 18	-18 - 18	-18 - 18	-18 - 18



**Příloha B - Rozměry klimatizačního boxu LG MU2M15**



### Příloha C - Závislost výroby energie na sklonu a orientaci solárních panelů

