

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

Fakulta elektrotechnická

Návrh elektroinstalace bytového domu s fo- tovoltaickými panely

Michal Douša

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Douša** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **503253**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**
Studijní program: **Elektrotechnika, elektronika a komunikační technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh elektroinstalace bytového domu s fotovoltaickými panely

Název bakalářské práce anglicky:

Design of the Electrical Installation of an Apartment Building with Photovoltaic Panels

Pokyny pro vypracování:

- 1) Prostudujte problematiku obnovitelných zdrojů energie a napojení bytového domu na distribuční soustavu elektrické energie.
- 2) Využijte při návrhu, pro úsporu, solární energii a akumulaci elektrické energie.
- 3) Návrh elektroinstalace: silnoproudá část, společné prostory x soukromé prostory.
- 4) Navrhněte ochranu před atmosférickým přepětím.
- 5) Proveďte ekonomické zhodnocení projektu a dosažené výsledky práce.

Seznam doporučené literatury:

- 1) DVOŘÁČEK, Karel. Elektrické instalace v bytové a občanské výstavbě. Šesté, aktualizované vydání. Pardubice: IN-EL, 2015. Elektro (IN-EL). ISBN 978-80-87942-13-0.
- 2) HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vydání Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- 3) LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-809-0431-102.
- 4) MACHÁČEK, Václav. Elektrické přípojky z vedení distribučních soustav a připojování zákazníků. Ed. 2. Pardubice: IN-EL, 2018. ISBN 978-80-87942-35-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D. katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **13.02.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Čestné prohlášení

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

V Praze, dne 25. 5. 2023

Michal Douša

Poděkování

Děkuji panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D, za to, že se ujal vedení mé práce a vstřícným a ochotným jednáním, jakožto i cennými radami, napomohl k jejímu dokončení.

ABSTRAKT

Práce se zabývá komplexním návrhem silnoproudé elektroinstalace pro novostavbu bytového domu. Pro společné prostory jsou vybrány klíčové spotřebiče, přičemž je popsán jejich způsob práce, potřebný výkon, přívodní vedení a jištění. Je vybrán reprezentativní příklad jednoho bytu a ten zpracován z pohledu elektroinstalace celistvě. Zvláštní pozornost je věnována návrhu fotovoltaického systému provozovaném paralelně s distribuční sítí. Dalšími klíčovými body je technický a legislativní popis připojení k distribuční soustavě elektrické energie a popis ochrany proti blesku. V závěru je vypracován rozpočet projektu vztažený k současným cenám materiálu.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektroinstalace, fotovoltaika, bytový dům, elektroměr, rozváděč, elektrokotel, ochrana proti blesku, distribuční soustava

ABSTRACT

The work deals with the complex design of high-current electrical installation for the new construction of an apartment building. Key appliances are selected for the common areas, while their way of working, required power, supply lines and fuses are described. A representative example of one apartment is selected and processed from the point of view of the electrical installation as a whole. Special attention is paid to the design of the photovoltaic system operated in parallel with the distribution network. Other key points are the technical and legislative description of the connection to the electricity distribution system and the description of lightning protection. At the end, a project budget based on current material prices is drawn up.

KEYWORDS: electrical installation, photovoltaics, apartment building, switchboard, electric boiler, lightning protection, distribution system

SEZNAM UŽITÝCH ZKRATEK:

AM: atmosférická masa
BD: bytový dům
CYKY: měděný pevný vodič s PVC izolací žil i vnějšího pláště
ČSN: česká technická norma
DoD: (depth of discharge) - hloubka vybití
DS: distribuční soustava
EN: norma harmonizovaná s EU
FA: jistič
FD: fotodioda
FI: proudový chránič
FU: pojistky
FV: fotovoltaika
FVE: fotovoltaická elektrárna
FVS: fotovoltaický systém
HDKS: hlavní domovní kabelová skříň
HDPS: hlavní domovní pojistiková skříň
HDS: hlavní domovní skříň
HDV: hlavní domovní vedení
HOP: hlavní ochranná přípojnice
IEC: (International Electrotechnical Committee) - Mezinárodní elektrotechnická komise
LED: (light emitting diode) - světlo-vysílající dioda
MPP: (maximum power point) - bod maximálního výkonu
MPPT: (maximum power point tracker) - sledovač bodu maximálního výkonu
MTP: měřicí transformátor proudu
NMOT: (nominal module operating temperature) - nominální provozní teplota modulu
NN: nízké napětí
NP: nadzemní podlaží
OEZ: odběrné elektrické zařízení
OM: odběrné místo
OPN: oblast prostorového náboje
PDS: Provozovatel distribuční soustavy
PNE: podniková norma energetiky
PP: podzemní podlaží
PPDS: Pravidla provozování distribuční soustavy
PPNN: Připojovací podmínky NN
PWM: (pulse width modulation) - pulzně šířková modulace
RCD: (residual current device) - proudový chránič
SB: stringbox
SO: světelné okruhy
SOM: sdružené odběrné místo
SPD: (surge protective device) - přepětíová ochrana

STC: (standard test conditions) - standardní zkušební podmínky

THD: (total harmonic distortion) - celkové harmonické zkreslení

TN-C: vedení s kombinovaným středním a ochranným vodičem

TN-C-S: vedení, na kterém je v jistém bodě PEN vodič rozdělen na PE a N

TN-S: vedení s odděleným středním a ochranným vodičem

TV: teplá voda

VM-N: výrobní modul-nesynchronní

VM: výrobní modul

ZO: zásuvkové okruhy

Obsah

1. Úvod.....	- 2 -
2. Napojení bytového domu na distribuční soustavu elektrické energie	- 4 -
2.1. Podmínky a postup při připojování zařízení žadatele k distribuční soustavě	- 5 -
2.1.1. Posouzení žádosti o připojení.....	- 5 -
2.2. Požadavky distributora elektrické energie na silnoproudou elektroinstalaci	- 6 -
2.2.1. Elektrická přípojka	- 6 -
2.2.2. Hlavní domovní skříň	- 7 -
2.2.3. Hlavní domovní vedení	- 9 -
2.2.4. Elektroměrové rozváděče.....	- 14 -
2.3. Požadavky distributora na připojení výrobní elektřiny paralelně se sítí	- 14 -
2.3.1. Přihlašovací řízení.....	- 17 -
2.3.2. Podmínky pro připojení	- 18 -
3. Fotovoltaický systém	- 19 -
3.1. Výroba elektrické energie ze slunečního záření.....	- 19 -
3.1.1. Teorie – fyzikální princip.....	- 19 -
3.1.2. Fotovoltaický generátor	- 22 -
3.2. Návrh fotovoltaického systému pro bytový dům	- 29 -
3.2.1. Instalace fotovoltaického pole	- 29 -
3.2.2. Elektrické zapojení fotovoltaického systému.....	- 34 -
4. Návrh silových rozvodů střídavého proudu	- 47 -
4.1. Společné prostory	- 47 -
4.1.1. Osvětlení společných prostor	- 47 -
4.1.2. Ohřev TV a centrální vytápění	- 51 -
4.1.3. Výtah.....	- 58 -
4.2. Soukromé prostory	- 61 -
4.2.1. Světelné obvody	- 61 -
4.2.2. Zásuvkové obvody	- 64 -
4.2.3. Elektrický sporák.....	- 65 -
4.2.4. Podružný rozváděč - bytový	- 65 -
4.2.5. Celkový plánec elektroinstalace bytu.....	- 66 -
4.3. Rozváděče ve společných prostorech.....	- 66 -

4.3.1.	Elektroměrové rozváděče – bytová spotřeba	- 67 -
4.3.2.	Rozváděč společné spotřeby domu.....	- 68 -
4.3.3.	Elektroměrový rozváděč – společná spotřeba	- 69 -
5.	Ochrana před bleskem.....	- 73 -
5.1.	Parametry jímací soustavy	- 73 -
5.1.1.	Volba metody návrhu jímací soustavy	- 74 -
6.	Rozpočet projektu	- 78 -
7.	Závěr	- 79 -
	Citovaná literatura	- 81 -
8.	Seznamy příloh	- 86 -
8.1.	Vložené obrázky.....	- 86 -
8.2.	Vložené tabulky.....	- 86 -
8.3.	Seznam výkresových příloh	- 87 -
8.4.	Ostatní přílohy.....	- 87 -

1. Úvod

Na následujících stranách bude navržen systém silnoproudé elektroinstalace pro novostavbu bytového domu, který se v současné době staví ve středních Čechách. Vzhledem k existenci stavební dispozice (plánku) objektu, která je volně ke stažení na internetových stránkách vlastníka výstavby (developer) je výchozí pozice pro návrh elektroinstalace dobrá. Jedná se o stavbu moderní, která klade důraz na ekonomický a ekologický provoz, což je dáno nejen požadavky zákazníků, ale také neustále se zpřísnujícími normami ve stavebnictví, kladoucími důraz na úsporný energetický chod nejen obytných budov. Konstrukce stavby je v I.PP a I.NP železobetonová, další, až do patého, jsou z broušených cihel s vnitřní izolací. Dům má rovnou střechu a jeho půdorys má 37,7 x 17,3 m. V I.PP budou podzemní garáže, pět pater bude obytných. V každém z pater je 8 bytů výměru od 30 do 80 m². Každé patro, včetně podzemního, je vysoké 4 m, proto má dům 24 m. Nad schodištěm je výklenek, který dosahuje do výše 26 m, tedy ještě 2 m nad úroveň střechy. Dům bude uprostřed nové výstavby, která je obklopena parkovou zelení. Střecha domu vyčnívá nad stromový porost a za jasné oblohy je celý den zasluněná. Stín vrhají pouze technologická zařízení na střeše, jako jsou výfuky klimatizace či stavební prvky jako atiky.

Zhodnocení situace domu, technický posun, relativní finanční dostupnost a můj zájem o problematiku mě přivedl k rozhodnutí zahrnout do energetického systému fotovoltaickou výrobu na střeše domu. Pomyslný vítr do plachet pro takovýto a podobné projekty daly také legislativní změny učiněné v letošním roce, které zbavují obyvatele bytových domů, kteří usilují o využívání fotovoltaické energie, povinnosti převádět svou spotřebu pod sdružená odběrná místa (SOM), což v podstatě znamená, že nyní už nebude takto vyrobená energie spotřebovávána pouze pro účely společných prostor domu, ale bude moci být využívána i v jednotlivých bytech. Ruku v ruce s tím jde také opatření, které rozšiřuje možnost prodeje přebytků bez energetické licence výrobnám až do 50 kW instalovaného výkonu. Takové opatření přímo vybízí k ekonomickému využití větších střech bytových domů.

Tato práce ovšem nebude zaměřena ekonomicky, ačkoli by v reálné situaci byla kvalifikovaná finanční analýza takového projektu nutnou záležitostí. Důvodem, proč toto téma nebude zpracováno, respektive bude redukováno na přibližný rozpočet projektu, je, už tak velmi široký záběr práce, jehož těžiště bude právě v návrhu fotovoltaického systému, který bude zpracován i hlouběji teoreticky. Druhým velkým tématem bude společná spotřeba domu, jelikož i přes zmíněné legislativní změny považuji za neekonomičtější využití fotovoltaické energie

vyrobené na střeše bytového domu, její akumulaci do ohřevu teplé vody, který může významně zmenšit spotřebu domu z DS a v kombinaci s kvalitní tepelnou izolací může i v chladnějších měsících roku (březen) zmenšit náklady na vytápění. Vzhledem k měření spotřeby elektrické energie realizované po fázích, které v dobách nízkých výkupních cen elektřiny může způsobovat nerentabilitu fotovoltaického systému, považují za vhodné orientovat využití energie z fotovoltaického systému v třífázových spotřebičích se symetrickým odběrem a potom se elektrokotel jako nejvýznamnější adresát vyrobené elektřiny vyloženě nabízí. Je třeba předeslat, že se jedná o práci skutečně zaměřenou především na elektroinstalaci, a elektrotechniku obecně, a proto některé parametry skutečných projektů, jako je typicky požární bezpečnost, nejsou v této práci rozvíjeny a práce samotná nekopíruje strukturu projektové dokumentace, ačkoli ji v některých ohledech napodobuje.

2. Napojení bytového domu na distribuční soustavu elektrické energie

Bytový dům bude napojen na distribuční soustavu nízkého napětí

(AC 3 PEN ~ 50 Hz 400/230 V TN-C) v distribuční síti firmy ČEZ Distribuce a.s., dceřině společnosti firmy ČEZ a.s. Provozovatel distribuční soustavy (dále PDS) je povinen dle §25 (bod 10 a) zákona č.458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (dále jen: 'energetický zákon') stanovit každému žadateli termín a podmínky připojení a umožnit distribuci elektrické energie každému kdo splňuje podmínky dle Pravidel provozování distribuční soustavy (dále PPDS). Výjimku tvoří pouze případy, kdy je prokázána nedostatečná kapacita zařízení pro distribuci elektřiny nebo ,při ohrožení spolehlivého a bezpečného provozu distribuční soustavy nebo přenosové soustavy' [1, s. § 25] . Napojením na distribuční soustavu se tedy zřízená elektrická přípojka může stát nejenom spotřebičem, ale také zdrojem elektrické energie, což zejména s rozvojem malovýroby energie z fotovoltaiky se stává čím dál tím aktuálnějším tématem. Provozovatel distribuční soustavy se zavazuje pro každou přípojku dodávat elektrickou energii o určitých parametrech, tedy dané jmenovité napětí (odchylky nemají přesáhnout $\pm 10 \%$), kmitočet (50 Hz $\pm 1 \%$ po 99,5 roku), míra vjemu flikru¹- po 95 % času má být $P_{It} \leq 1$, podíly vyšších harmonických a celkové harmonické zkreslení (THD) zahrnující všechny harmonické až do čtyřicáté. Například podíl třetí harmonické nemá přesáhnout 5 %, deváté harmonické 1,5 % atd. Dle normy [2, s. 13] nemá THD přesáhnout 8 %. Další sledované charakteristiky jsou krátkodobé poklesy a přerušení napájecího napětí, přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí, dlouhodobá přerušení napájecího napětí, nesymetrie napájecího napětí, meziharmonická napětí a úroveň napětí signálů v napájecím napětí. [2, s. 8]

¹ flikr je vjem nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase [2]

2.1. Podmínky a postup při připojování zařízení žadatele k distribuční soustavě

Podmínkami připojení zařízení žadatele k distribuční soustavě jsou:

- podání žádosti o připojení,
- předložení studie proveditelnosti za podmínek stanovených platnou vyhláškou,
- uzavření smlouvy o připojení mezi žadatelem a PDS [3, s. 22].

PDS může od žadatele vyžádat zpracování studie proveditelnosti, je-li, s přihlédnutím ke všem okolnostem zřejmé, že zařízení, o jehož připojení žadatel žádá, bude mít vliv na provoz DS. Za tím účelem může žadatel PDS požádat o podklady pro zpracování studie. Ode dne, kdy mu jsou tyto podklady předány, má 90 dnů na zpracování studie a předání PDS.

2.1.1. Posouzení žádosti o připojení

Při posuzování žádosti o připojení je zásadní zejména:

- míra a způsob požadovaného připojení,
- velikost požadovaného rezervovaného příkonu nebo výkonu a časový průběh zatížení,
- spolehlivost dodávky elektřiny,
- charakter zpětného působení zařízení žadatele na DS,
- plánovaný rozvoj soustavy,
- pořadí podaných žádostí,
- limity připojitelného výkonu do elektrizační soustavy stanovené provozovatelem přenosové soustavy.²

Je-li pro posouzení žádosti o připojení nezbytné provést měření nebo ověření chodu sítě výpočtem, prodlužuje se zákonný termín 30 dnů na vyjádření PDS o 15 dnů. Připojení zařízení žadatele k distribuční soustavě se uskutečňuje na základě Smlouvy o připojení, která může zahrnovat více odběrných míst (bytů), ale každé z nich musí být ve smlouvě samostatně uvedeno.

² Přenosová soustava je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV, sloužící pro zajištění a přenos elektřiny pro celé území ČR a napojení na soustavy sousedních států

2.2. Požadavky distributora elektrické energie na silnoproudou elektroinstalaci

Napojení bytového domu k síti nízkého napětí je podmíněno splněním tak zvaných Připojovacích podmínek NN pro osazení měřicích zařízení v odběrných místech napojených z distribuční sítě nízkého napětí. Základními dokumenty pro návrh silnoproudé elektroinstalace v síti nízkého napětí je tak zákon energetický zákon., soubor norem ČSN 33 2000 – Elektrické instalace nízkého napětí, a zvláště pak jejich první část, tedy Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice a zmíněné Připojovací podmínky NN.

2.2.1. Elektrická přípojka

Koncovým bodem distribuční soustavy ve vztahu k odběrateli je elektrická přípojka. Elektrická přípojka NN je zřizována k připojení jedné nemovitosti, přičemž na základě souhlasu vlastníka přípojky a PDS lze připojit i více nemovitostí, což je nutné právě v případě bytových domů. Bytový dům je dle Nového občanského zákoníku definován jako dům s více než polovinou obytné plochy určené k bydlení, rozdělený na 4 a více bytových jednotek. Tyto bytové jednotky se stávají samostatnými nemovitostmi, proto je třeba k jejich připojení výše zmíněný souhlas. Infrastruktura pro připojení více odběratelů (bytových jednotek) ale již není součástí přípojky, je součástí nemovitosti – bytového domu.

Vlastníkem přípojky je ten, kdo uhradil náklady na její zřízení. V zastavěném území a mimo něj s maximální délkou 50 m je to podle zvláštního předpisu vyplývajícího ze zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) PDS [1, s. § 45]. Ostatní přípojky zřizuje na vlastní náklady žadatel o připojení. V daném případě bude tedy vlastníkem přípojky společnost ČEZ Distribuce a.s., ale rozvody pro napojení bytových jednotek a společných prostorů bude hradit a realizovat vlastník bytového domu. Provoz, údržba a opravy přípojky jsou v kompetenci jejího vlastníka, ovšem i v případě, kdy jím není PDS, má ze zákona povinnost tuto funkci za poplatek zastávat, pokud je o to daným vlastníkem požádán. Místem ukončení přípojky je podle normy c3 vždy Přípojková skříň. Ta bude typu SS (SS100/KVE4P-M ČEZ) a ke stávajícímu vedení DS zasmyčkována kabelem AYKY 3 x 240 + 120.

³ ČSN EN 33 2000-7-712.3.4 – Elektrotechnické předpisy - elektrické přípojky.

2.2.1.1. Uzemnění elektrické přípojky

Vodič PEN v přípojkové skříní přípojky je nutno uzemnit v případě, když vzdálenost mezi přípojkovou skříní a nejbližším uzemněním vodiče PEN v hlavním vedení nebo odbočce distribuční sítě nebo v trase přípojky je větší než 100 m [3, s. 122]. Vzhledem k tomu, že se počítá s délkou přípojky do 200 m, platí, že odpor uzemnění nesmí překročit 15 Ω . Pokud by měrný odpor půdy neumožňoval dosažení takové hodnoty, bude nutno výpočtem, případně měřením prokázat, že v případě poruch nedojde v distribuční síti k překročení dovolených hodnot dotykových napětí na neživých částech uvedených v PNE 33 0000-1 ed.6⁴ a v ČSN 332000-4-41 ed.3⁵ [3, s. 122]. Samostatně uzemněny musí být body rozdělení PEN vodiče na PE a N (více v kapitole 4).

2.2.2. Hlavní domovní skříň

Fyzicky je přípojka z pohledu distribuční soustavy řešena v případě venkovního vedení Hlavní domovní pojistkovou skříní (HDPS) nebo v případě kabelového (zpravidla zemního) vedení Hlavní domovní kabelovou skříní (HDKS). Vedení k bytovému domu bude zemní - kabelové a HDKS bude minimálně v předepsané výšce 0,6 m nad terénem (typicky tedy přímo na domě, je-li dům na veřejně přístupné hranici pozemku odběratele, nebo na tzv. antoníčku (kapliče), tedy rozváděči na hranici pozemku odběratele).

Hlavní domovní skříň (HDS) musí být trvale přístupná, přičemž volný prostor před ní musí mít šířku minimálně 800 mm a hloubku takovou, aby bylo možné plně otevírat dvířka a umožnit její bezpečnou obsluhu trvalou úpravou terénu. Přípojková skříň bude mít formu rozpojovací jistící skříně.

2.2.2.1. Svodič přepětí v Hlavní domovní skříní

Dle normy⁶ je definováno předávací místo (rozhraní distributor – zákazník) jako bod v elektrickém zařízení, kde začíná odběrné elektrické zařízení (OEZ), určené pro konečnou spotřebu

⁴ PNE 33 0000-1 ed.6 - Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě

⁵ ČSN 332000-4-41 ed.3 - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - ochrana před úrazem elektrickým proudem

⁶ PNE 33 0000 - 1 ed.6 o ochraně před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě

elektriny. Ochrana před úrazem elektrickým proudem za předávacím místem musí být zajištěna podle ČSN 33 2000-4-41 ed.3⁷. Toto místo (bod), tedy HDS, má význam i při ochraně před přepětím. Proto je potřebné, do přípojkové skříně umístit přepět'ové ochranné zařízení SPD typu T1 a to tak, že pojistky budou těmto svodičům přepětí předřazeny. Při funkci ochrany typu T1 dochází k odvádění bleskových proudů s vysokými vrcholovými hodnotami, které mají velmi nepříznivé:

- dynamické účinky na vodiče,
- tepelné účinky,
- tlakové účinky při vyfukování oblouku [3, s. 144].

Pro správné fungování svodičů T1 je ovšem třeba respektovat pokyny výrobce a podrobit montážní skříně speciální zkouškou, a to impulzním rázovým proudem 100 kA o tvaru vlny 10/350 [μs/μs]. To odpovídá asi dvojnásobku proudu, který by měla instalovaná přepět'ová ochrana typu B, tj. hrubá ochrana, být schopna absorbovat, tedy 50 kA. 50 kA je rázový impuls, který je vypočítán na základě faktu, že drtivá většina atmosférických výbojů nemá v bleskovém kanálu větší proud než 200 kA, přičemž při úderu do kabelu v zemi zhruba polovina proudu protече proraženou izolací do země a zbylá polovina odeče kabelem na obě strany, takže samotný svodič by měl být schopen absorbovat asi čtvrtinu celkového proudu. Jako SPD typu T1 bude použit svodič na principu varistoru. Je nutné uzemňovací svod (od svodiče přepětí) spojit nejkratší cestou s vnější ochranou před bleskem, tj. hromosvodem a zároveň spojit svodič s ochranným vodičem elektrické přípojky. Přepět'ová ochrana je ovšem celý komplex zahrnující hromosvod, uzemňovací soustavu a svodiče přepětí. Více v kapitole 5.

2.2.2.2. Jištění v HDS

Jištění v HDS musí dle PPNN odpovídat jmenovité řadě proudů podle IEC8; odbočky k elektroměrům musí být jištěny o řád výše, než je proudová hodnota jističe před elektroměrem. Ten

⁷ ČSN 33 2000-4-41 ed.3 - Elektrické instalace nízkého napětí-Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem

⁸ Zkratka IEC (International electrotechnical commission) označuje Mezinárodní elektrotechnickou komisi; světový orgán založený roku 1906, který vypracovává a publikuje mezinárodní normy pro elektrotechniku a příbuzné obory.

musí odpovídat normě ČSN EN 60898-1⁹ [5] a mít hodnotu jmenovitého proudu z tohoto rozsahu: 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125 A, a zároveň vypínací charakteristiku typu B, tedy s přerušením nadproudu v řádu tří až pěti-násobku jmenovité hodnoty jističe a vypínací dobou 0,2 s.

Pojistky v rozpojovací jistící části HDS budou mít pojistkový spodek nožový o velikosti 1 a o jmenovitém proudu 400 A, pojistkovou lištu velikosti 2 (400 A) a horizontální řadový odpínač o jmenovitém proudu rovněž 400 A (velikost rovněž 2), jak vychází z normy PNE 35 7000 - ed.2¹⁰ [6, s. 20].

2.2.2.3. Umístění HDS

Vzhledem k tomu, že bytový dům bude z veřejného prostranství přístupný, bude HDS umístěna na domu, ve výšce minimálně 60 cm nad přiléhajícím terénem.

2.2.2.4. Technické provedení pojistek v HDS

Přípojková skříň i její přívodní kabel jsou v soustavě TN-C, tedy sítí s jedním bezprostředně uzemněným bodem, zpravidla nulovým a neživou částí přímo spojenou s uzemněným bodem, se sloučeným středním a ochranným vodičem do vodiče PEN. Pojistky jsou nožové.

2.2.2.5. Total stop

Elektroinstalace bytového domu bude v neměřené části obsahovat mechanismus Total stop, tedy spínací prvek umožňující vypnutí elektrické energie v celém objektu. Ten bude realizován v HDS a bude označen štítkem ‚TOTAL STOP‘.

2.2.3. Hlavní domovní vedení

HDV začíná na výstupních svorkách v přípojkové skříni a rozumí se jím vedení od přípojkové skříně až k odbočce k poslednímu elektroměru, přičemž se skládá z hlavního kmenového

⁹ ČSN EN 60898 – 1 ed.2 Elektrická příslušenství – Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací – Část 1: Jističe pro střídavý provoz (AC)

¹⁰ PNE 35 7000 – ed.2: DISTRIBUČNÍ ROZVÁDĚČE NÍZKÉHO NAPĚTÍ - KABELOVÉ ROZVODNÉ SKŘÍNĚ.

vedení, které končí u odbočných rozvodnic, ze kterých pokračují větve hlavního domovního vedení. Vzhledem k počtu bytů v objektu (40) a nárokům na elektrizaci a bezpečnost bude třeba v bytovém domě zřídit více HDV a ke každému přidělit stejný počet bytových jednotek. Rozumným řešením (s ohledem na selektivitu a rozpočet projektu) se jeví mít dvě HDV vedená vertikálně ve společné šachtě od HDS až do nejvyššího patra, přičemž z obou HDV bude vést v každém patře odbočka vždy ke čtyřem elektroměrům. Samostatně budou napojeny výtahy, které budou mít vlastní přívod z přípojkové skříně a vlastní pojistku z důvodu protipožární ochrany a možností evakuace z objektu v případě nenadále situace. Pro stanovení průřezu hlavního domovního vedení (potažmo požadované ampéráže a vybavovací charakteristiky pojistek) je zásadní koeficient soudobosti β_n , kde n značí počet bytů zahrnutých do soudobosti. Pro jeho teoretické určení se používá tzv. Ruscův vzorec:

$$\beta_n = \beta_{At} + \frac{1-\beta_{At}}{\sqrt{n}} [-]$$

Rovnice 1

kde

β_n odpovídá soudobosti pro n bytů [-]

β_{At} je soudobost pro nekonečný počet bytů v jedné skupině [-]

n je počet bytů ve skupině (tedy v bytovém domě) [-]

Tento výpočet je převzat z přílohy B1 normy ČSN EN 33 2130 ed.3 Elektrické instalace nízkého napětí – vnitřní elektrické rozvody. Parametr β_{At} značí soudobost pro nekonečné množství bytů a jeho hodnotu lze považovat za rovnou 0,2.

Pokud bude v bytovém domě 40 bytů (8 na každém patře), je koeficient soudobosti pro jedno HDV, obsluhující 20 bytů, roven:

$$\beta_{20} = 0,2 + \frac{1-0,2}{\sqrt{20}} \cong 0,38 [-]$$

Norma¹¹ dále stanovuje maximální soudobý příkon pro byty se stupněm elektrizace A (byty, kde se pro osvětlení a domácí spotřebiče používají pohyblivé přívody nebo pevné připojení a

¹¹ ČSN EN 33 2130 ed.3 Elektrické instalace nízkého napětí – vnitřní elektrické rozvody

příkon spotřebičů nepřekračuje 3,5 kVA) ve výši $P_b = 7$ kW. Pro byty ve stupni elektrizace B (liší se od skupiny A v tom, že příkon spotřebičů může překročit 3,5 kVA) je pak stanovena hodnota maximálního soudobého příkonu na 11 kW. Výpočtové zatížení hlavního domovního vedení se pak jednoduše určí jako součin:

$$P_p = (\sum_{n=1}^n P_b) * \beta_n \text{ [W]}$$

Rovnice 2

V daném případě tedy, pokud uvažujeme všechny byty ve skupině elektrizace B (příkon běžné kombinované elektrické trouby se sporákem se pohybuje dnes okolo 8 kW), pak soudobý zátěžový příkon na jedno HDV vychází:

$$P_p = 20 * 11 * 0,38 \cong 83,6 \text{ kW}$$

Z vypočteného soudobého zatížení je dále možné spočítat (výpočtový) zátěžný proud, na základě kterého se bude volit průřez HDV a jištění. V trojfázové soustavě platí pro výpočet I_p tento vzorec:

$$I_p = \frac{1000 * P_p}{\sqrt{3} * U_s * \cos\varphi} \text{ [A]}$$

Rovnice 3

U_s ...sdružené napětí soustavy [V]

$\cos\varphi$...účinník [-]

Maximální účinník pro spotřebiče lze v bytovém odběru stanovit podle přílohy A1 normy 33 2130 [7, s. 35] na hodnotu 0,9. Z tohoto vzorce už se jednoduše určí:

$$I_p = \frac{1000 * 83,6}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} \cong 134,1 \text{ A}$$

Výpočtový proud na jedno HDV je tedy po zaokrouhlení je 134 A. Tomu, při 20 bytech ve stupni elektrizace B na jedno HDV, odpovídá dle přílohy C.1 [7, s. 38] kabelové vedení CYKY-4 x 95, tedy měděné s pevným jádrem. V bytovém domě tedy od rozpojovací přípojkové skříně (hlavního rozváděče) povedou 2 HDV ve společné kabelové šachtě a v každém patře budou od obou vést odbočky vždy ke čtyřem bytům. Samostatně bude řešeno vedení pro nebytovou část objektu – kotelnu a strojovnu. Přívod pro napájení výtahů bude do strojovny veden výtahovou šachtou.

2.2.3.1. Úbytek napětí na HDV

Úbytek napětí mezi přípojkovou skříní a bytovou rozvodnicí za elektroměrem v bytovém domě nemá přesahovat 2 % u světelného odběru a smíšeného odběru a 3 % u jiného než světelného odběru. Hodnoty úbytků napětí se počítají ze jmenovitého napětí rozvodné soustavy. Pro trojfázové vedení vypočítáme úbytek napětí ΔU při délce vedení l , průřezu vodičů S a měrné vodivosti mědi $\gamma \cong 56 \text{ S} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$ podle vzorce:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum_i^m l_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} \text{ [V]}$$

Rovnice 4

kde $\sum_i^m l_i \cdot I_i$ [A*m] představuje pro m bytů součet proudových momentů, jelikož úbytek napětí vychází z výpočtového proudu a jeho podílu v jednotlivých místech odbočení k bytovým rozvodnicím [7, s. 36]. Lze vycházet z oprávněného předpokladu, že úbytek napětí na obou HDV bude totožný, jelikož jsou navržena identicky. Vycházím z předpokladu, že HDV mezi HDS a odbočkou v I.NP bude dlouhé 20 m a v každém dalším patře delší o 4 m. Proudový moment pro každé patro bude tedy narůstat se vzdáleností od přípojkové skříně, ale zároveň klesat s ubývajícím počtem napájených bytových jednotek. Zátěžný proud pro I.NP je pak roven celkovému zátěžnému proudu na jedno HDV. Celkový součet proudových momentů je tedy:

$$\begin{aligned} \sum_i^m l_i \cdot I_i &= 20 \cdot 134 + 24 \cdot \frac{4}{5} \cdot 134 + 28 \cdot \frac{3}{5} \cdot 134 + 32 \cdot \frac{2}{5} \cdot 134 + 36 \cdot \frac{1}{5} \cdot 134 \\ &= 10184 \text{ A} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Dle rovnice 4 vychází úbytek napětí na jednom HDV takto:

$$\begin{aligned} \Delta U_{HDV} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10184 \cdot 0,9}{56 \cdot 95} \cong 2,98 \text{ V} \\ \frac{\Delta U_{HDV}}{U_s} &= \frac{2,98}{400} \cong 0,0075 = 0,75 \% \end{aligned}$$

Daný úbytek tedy nepřesahuje 0,75 % sruženého napětí, což plně odpovídá normě [7, s. 23], pro celkové dimenzování vedení je ale potřeba pamatovat na to, že celkový úbytek mezi přípojkovou skříní a bytovou rozvodnicí by u světelných a smíšených obvodů neměl přesáhnout 2 %, u nesvětelných 3 %, mezi HDS a koncovým spotřebičem by pak neměl u světelných obvodů přesáhnout 4 %, u obvodů pro vaření a topení 6 % a u ostatních obvodů 8 %. Více v kapitole 4.

▪ Jištění HDV

Jištění HDV by mělo být nejméně o dva stupně vyšší, než je hodnota jmenovitého proudu hlavního jističe před elektroměrem. Hodnota hlavního jističe před elektroměrem bude u bytových elektroměrů 3 x 25 A. Z vypočteného zátěžného proudu $I_p = 134$ A vychází nejbližší vyšší hodnota dle normy hodnota jištění HDV v (rozpojovací skříní) na 160 A. To je tedy minimální hodnota jmenovitého proudu pojistek v rozpojovací skříní HDS.

2.2.3.2. Odbočky k elektroměrům

Odbočky k elektroměrům jsou vedení odbočující od HDV k jednotlivým měřicím místům. U menších objektů (rodinné domy) mohou tyto odbočky suplovat HDV kompletně, takže vycházejí přímo z přípojkových skříní, jak radí V. Macháček [3, s. 128] a jak se také uvádí v PPNN ([4, s. 6]). Tyto odbočky musí být vedeny v soustavě TN-C a průřez vedení musí být takový, aby proudová zatížitelnost vodičů odpovídala alespoň výpočtovému (zátěžnému) proudu soudobého příkonu daného odběrného místa. V případě bytu se stupněm elektrizace B, kde $P_b = 11$ kW je výpočtový proud v třífázové odbočce roven:

$$I_p = \frac{1000 \cdot 11}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} \cong 17,6 \text{ A}$$

Norma [7, s. 35] stanovuje jištění před elektroměrem pro byty v kategorii B ve výši 3 x 25 A. Vzhledem k požadavku na rezervu v jištění lze jednofázovou odbočku vést maximálně k zařízením se soudobým příkonem <5,5 kW. Odbočky k bytům tedy musí být vedeny třífázově. Minimální průřez měděného vodiče pro odbočky před elektroměry má velikost alespoň 10 mm² pro byty ve stupni elektrizace B, v případě plných jader, důležitá je ale délka odbočky, kvůli konečnému úbytku napětí. Pro kontrolu dovoleného úbytku vyjdu z minimálního povoleného průřezu 10 mm² a vzorce:

$$\Delta U_{odb} = \frac{1000 \cdot (\sum_{n=1}^m P_b) \cdot \beta_n \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U_s} [\text{V}]$$

Rovnice 5

Vzhledem k faktu, že odbočky od HDV jsou pro každý elektroměr samostatné, bude hodnota $\beta_n = 1$. Elektroměry pro všechny bytové jednotky na každém patře budou umístěny ve společném prostoru co nejbližší k šachtám HDV. Při maximální délce odbočky 3 metry bude napěťový úbytek mezi odbočkou HDV a společným elektroměrovým rozváděčem:

$$\Delta U_{odb} = \frac{1000 * 11 * 3}{56 * 10 * 400} = 0,15 \text{ V}$$

$$\frac{\Delta U_{odb}}{U_s} = \frac{0,35}{400} \cong 0,000875 = 0,04 \text{ \%}$$

Každá odbočka delší než 3 m musí být jištěna v místě dělení od HDV, přičemž toto místo musí být označeno jako ‚Jištění odbočky‘. Jištění odbočky lze stanovit podle rovnice 3

$$I_p = \frac{1000 * 11}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} \cong 17,7 \text{ A}$$

Vzhledem k faktu, že předpis pro hlavní jistič elektroměru je minimálně 3 x 25 A, musí pojistka mít jmenovitou hodnotu proudu o řád výše, tedy bude zvolena nejbližší hodnota dle ČSN EN 60898-1 ed.2 a to 32 A.

2.2.4. Elektroměrové rozváděče

Od HDV vede odbočka na každém patře k elektroměrovému rozváděči, který v bytovém domě bude umístěn co nejbliže kabelové šachtě ve společných prostorech (chodby). Musí být trvale přístupné obsluze a musí před každým být volný prostor do hloubky 800 mm, tak aby bylo možné plně otevřít dvířka. Střed elektroměru bude umístěn podle možností stavby ve výšce 1000–1700 mm. Vedení k elektroměru bude v soustavě TN-C, přičemž k rozdělení na PE a N dojde až v bytové rozvodnici podle normy ČSN EN 33 2000 5-54 Z1 čl. 546.2.N7 [8, s. 4] – o předpisech pro elektrotechnická zařízení, kde je zmíněno, že rozdělení PEN vodiče se provádí v nejbližším vhodném místě za elektroměrem. Rozváděče budou chráněny na úrovni IP 44, tj. chráněny před vnikem pevných těles větších než 1 mm a proti vodě stříkající ze všech úhlů. Při otevřených dvířkách se počítá s IP00 [6, s. 23]. Rozváděč bude uzamčen na trnový klíč 6 x 6 mm. Kovová skříň rozváděče musí být vodivě spojená s PEN přípojnici.

2.3. Požadavky distributora na připojení výrobní elektřiny paralelně se sítí

Vzhledem k plánu instalovat fotovoltaický systém, a případně přebytky vyrobené elektřiny prodávat do DS, bude také nutno vyhovět požadavkům PDS definovaných v dokumentu jménem

„Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulačních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy“, který tvoří přílohu č. 7 k PPDS. Tam jsou v kapitole 3 [10, s. 12] rozříděné jednotlivé výrobní moduly (tedy zdroje elektrické energie připojené paralelně k distribuční soustavě) podle činného výkonu, který jsou schopné do sítě dodávat. Tato kategorizace je určující vzhledem požadavkům, které PDS na tyto výrobní moduly má, respektive k právům, které paralelně připojená výrobní má vůči DS. Plánovaný fotovoltaický generátor na střeše bytového domu by spadal do kategorie A2, která je zdola ohraničena instalovaným výkonem 11 kW a shora 100 kW, přičemž se bude jednat o tzv. nesynchronní výrobní modul (VM-N). Tyto VM jsou charakterizovány jako bloky připojené k soustavě nesynchronně nebo prostřednictvím výkonové elektroniky, a to v jediném místě připojení. Výrobních modulů kategorie A2 se týká tato oprávnění a požadavky na provozní součinnost:

- frekvenční rozsahy a časové limity pro VM
 - po dobu uvedenou v tabulce níže se VM nesmí při daných frekvencích sítě odpojit

Rozsah frekvence	Doba trvání
47,5 - 48,5 Hz	30 min
48,5 - 49 Hz	90 min
49 - 51 Hz	neomezené
51 - 51,5 Hz	30 minut

Tabulka 1: Určení doby, po kterou VM udržuje spojení se sítí při výchylce frekvence

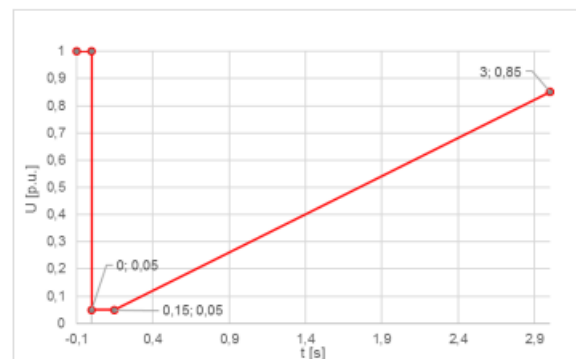
- hodnota rychlosti změny frekvence (RoCoF¹²)
 - viz výše
- omezený frekvenčně závislý režim při nadfrekvenci
 - VM je schopen poskytovat odezvu činného výkonu na výchylky frekvence v mezích 50,2 - 50,5 Hz s poklesem výkonu 2 – 12 %
- dovolené snížení činného výkonu při nadfrekvenci (LFSM-O¹³)
 - viz výše
- dovolené snížení činného výkonu při klesající frekvenci soustavy

¹² RoCoF = Rate of Change of Frequency

¹³ LFSM-O = Limited Frequency Sensitive Mode

- V případě, že VM není schopen udržovat konstantní výkon při výchylnkách síťové frekvence, pak je dovolen pokles činného výkonu o 2 % na 1 Hz poklesu frekvence
- logické rozhraní pro přerušení dodávky činného výkonu
- podmínky pro automatické připojení k soustavě
 - odpojí – li DS výrobní modul z důvodu výrazné odchylky dohodnutých provozních parametrů (napětí či frekvence), může být tento modul znovu připojen automaticky pokud je schopen alespoň pod dobu 300 s udržet napětí v mezích $0,85 - 1,1 U_n$ a zároveň frekvenci v mezích $47,5 - 50,5 f_n$
 - Najíždění výkonu na jmenovitou úroveň bude mít gradient maximálně $10 \% P_n/\text{min}$
- rozhraní pro snížení činného výkonu
 - Pro regulaci činného výkonu musí být výrobní přizpůsobena k úrovněmu řízení pomocí výstupního relé RTU (RTU7C) v majetku PDS.
- překlenutí poklesu napětí (FRT¹⁴)
 - VM dokáže překlenout dočasné poklesy napětí v síti podle průběhu níže

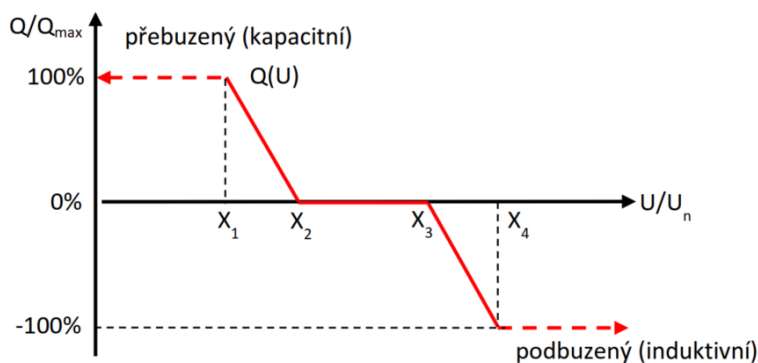
Čas (t)	Napětí U (p.j.)
0 - 0,15 s	0,05
0,15 s - 3 s	0,28/s



Obrázek 1: Požadavek na FRT - graf [10, s. 41]

- opětovné připojení po poruše,
- dodávka jalového výkonu
 - VM bude schopen dodávat jalový výkon podle regulační charakteristiky dohodnuté s PDS, například: $X1=0,94:1$; $X2=0,97:0$; $X3=1,05:0$; $X4=1,08:-1$ (viz obrázek 2)

¹⁴ FRT = Fault Ride Through



Obrázek 2: Příklad regulační charakteristiky jalového výkonu [10, s. 52]

- obnova činného výkonu po poruše
při dosažení 85 % U_n po odeznění přechodného jevu v síti, který nevedl k odpojení VM je model schopen dodávat činný výkon v předporuchové hodnotě s dovolenou odchylkou ± 5 %.

2.3.1. Přihlašovací řízení

Pro zahájení řízení o připojení výroby elektrické energie do DS je třeba PDS předat kromě jiného katastrální mapu s vyznačením místa výroby, výpis z katastru nemovitostí a také dotazník s technickými údaji o zařízení, který vyhotovuje PDS. Z dalšího je to:

- Příspěvek vlastní výroby ke zkratovému proudu v místě připojení k síti, jeho trvání a průběh.
- Údaje o zkratové odolnosti předávací stanice.
- Zkušební protokol střídače ohledně proudů harmonických a impedance pro frekvence rozsahu HDO (183 – 283 Hz).
- Legislativní změna 2023

S účinností od 24. 1. 2023 může zákazník podle energetického zákona § 28, odstavce 5 provozovat výrobu elektřiny s instalovaným výkonem do 50 kW, pokud je propojena s přenosovou soustavou nebo s distribuční soustavou a pokud není ve stejném odběrném místě připojena jiná výroba elektřiny, pouze na základě uzavřené smlouvy o připojení, která zahrnuje i připojení výroby elektřiny. [11]

2.3.2. Podmínky pro připojení

Z technického hlediska kontroluje PDS při připojení VM do DS především tyto parametry:

- Maximální výkon výroby

Pro výroby s předávacím místem v síti nn se maximální možný výkon stanovuje podle vzorce:

$$S_{Amax} \leq \frac{3\% \cdot S_{KV}}{\cos(\Psi_{KV} - \varphi)} \text{ [VA]}$$

Rovnice 6

Kde S_{KV} odpovídá zkratovému výkonu předávacího místa v DS, Ψ_{KV} je fázový úhel impedance sítě a φ pak fázový úhel mezi proudem a napětím výroby při maximálním zdánlivém výkonu S_{Amax} . PPDS dále ustanovuje, že pro posuzování připojitelnosti je nutné vycházet z podmínky účinníku $\cos\varphi = 1$, pokud PDS vzhledem k místním podmínkám (bilance jalové energie v dané části sítě) nestanoví jinak. Výkon S_{Amax} je tedy možné kalkulovat jako $1/33 \cdot S_{KV}$.

- Maximální zvýšení napětí v připojovacím bodě

Za normálních provozních podmínek nesmí zvýšení napětí v připojovacím bodě DS překročit v síti nn 3 %. Maximální zvýšení napětí lze předjímat výpočtem podle vztahu:

$$\Delta U_{AV} \leq \frac{S_{Amax} \cdot \cos(\Psi_{KV} - \varphi)}{S_{KV}} \text{ [-]}$$

Rovnice 7

- Zpětné vlivy na napájecí síť

Je-li poměr zkratového výkonu sítě S_{KV} ku jmenovitému výkonu výroby S_{rA} větší, než 500, pak se výroba připojí k DS bez další kontroly zpětných vlivů

- První paralelní připojení výroby k síti

PPP je zahájeno podáním žádosti. Během PPP PDS testuje výrobní modul a při zjištění závad oproti podmínkám připojení dostane výrobce lhůtu na jejich odstranění. Pokud výrobce ve lhůtě tyto nedostatky neodstraní, přikročí PDS k odpojení VM od sítě. Principiální schéma připojení výroby (bytového domu s FV výrobnou elektřinou) je na výkresu 1.

3. Fotovoltaický systém

Trend zvyšující se ceny elektrické energie a oproti tomu zvyšující se účinnosti a relativně se snižující ceny fotovoltaických panelů mě, jakožto potenciálního projektanta stavby, logicky vede k uvažování solární energie coby zdroje elektrické energie, který může významně přispět nejen jako ekologický a ekonomický prvek v elektroinstalaci zamýšleného bytového domu, ale také jako technické řešení umožňující zálohování energie pro případ výpadku ze sítě. To vše by nebylo možné bez významného vědeckého pokroku zejména v oblasti polovodičových technologií a výkonové elektronice ve dvacátém století a v dosavadním průběhu století jednadvacátého.

3.1. Výroba elektrické energie ze slunečního záření

Nejprve bych rád nastínil fyzikální princip přeměny solární energie v energii elektrickou.

3.1.1. Teorie – fyzikální princip

3.1.1.1. Sluneční záření jako zdroj energie

Termojaderná fúze v nitru Slunce je energetickým zdrojem produkujícím každou vteřinu 4×10^{26} J. Toto záření je odnášeno elektromagnetickým vlněním, přičemž největší díl energie je na Zemi donesen na vlnových délkách odpovídající viditelnému světlu, menší díl leží v infračervené, respektive UV oblasti. Intenzitu záření snižuje vliv atmosférické masy, vyjádřený koeficientem AM. Tento koeficient lze vyjádřit vzorcem:

$$AM = \frac{1}{\sin\varphi} [-]$$

Rovnice 8

kde φ odpovídá úhlu, který svírá vodorovná rovina s paprskem dopadajícího slunečního záření. Maximální možnou intenzitu slunečního záření, která dopadá na zemský povrch popisuje známá sluneční konstanta, jež má hodnotu $I_0 = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Reálně dosažitelná maximální intenzita záření (B_{\max}) je ale nižší a zhruba ji popisuje vzorec:

$$B_{\max} = I_0 \times 0,7^{AM} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Rovnice 9

Z tohoto vzorce je patrné, že se vzrůstajícím koeficientem AM se snižuje intenzita dopadajícího slunečního záření. Reálné hodnoty pro Českou republiku lze odvodit pouze přibližně. Z měření [12] víme, že celoroční úhrn slunečního záření na našem území se pohybuje mezi 950–1340 kWh/m², což při celkovém ročním osvitu 1400-1700 hodin dělá velmi zhruba asi 800 W/m². K podobnému číslu dojdeme, pokud za koeficient AM dosadíme číslo 1.5, jak radí Henze a Hillebrand v publikaci Elektrický proud ze Slunce [13, s. 21]. Úhel φ pak odpovídá hodnotě 41.8°. V praxi je ale vhodné rozlišit zimní období, kdy maximální intenzita nepřesahuje 300 W/m² a letní, kdy se pohybuje až okolo 1000 W/m².

3.1.1.2. Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev byl znám již v devatenáctém století, ale teoreticky ho vysvětlil až Albert Einstein roku 1905. Pochopil, že emisi elektronu z ozařovaného kovu nelze vynutit pouze množstvím dopadajících fotonů, ale že určující je vlnová délka těchto fotonů, jejíž maximální hodnota nutná pro emisi, je dána poměrem Planckovy konstanty h a tzv. výstupní práce A . V případě většiny kovů jsou tyto vlnové délky nižší, než je spektrum viditelného světa ($\lambda < 400$ mm, výjimku tvoří alkalické kovy, například draslík, jehož mezní vlnová délka¹⁵ $\lambda = 554$ nm, což je vlnová délka, která je hojně zastoupená i ve viditelném světle. Vzorec, který tento jev popisuje je následující:

$$h * \nu = \frac{1}{2} m * v^2 + A \quad [\text{J}]$$

Rovnice 10

kde:

h je (neredukovaná) Planckova konstanta [J*s]

ν odpovídá frekvenci fotonového záření [s^{-1}]

A představuje výstupní práci nutnou pro opuštění kovu elektronem [J]

$\frac{1}{2} m * v^2$ [J] je pak výraz pro kinetickou energii vyletívajícího elektronu

Doposud byl zmíněn pouze takzvaný vnější fotoelektrický jev, kdy elektron skutečně daný materiálem opouští. To ale pro vedení elektrického proudu není vhodné. Existuje však také vnitřní

¹⁵ Mezní vlnová délka je materiálová konstanta, která stanovuje, jaká nejvyšší vlnová délka dopadajícího fotonového záření vyvolává emisi elektronu

fotoelektrický jev, který se projevuje u polovodičů, jako jsou například selen, křemík, telur či směs GaAs, kde dochází k emisi elektronů pouze uvnitř látky samotné, což zvyšuje vodivost a intenzitu elektrického pole. Podmínky jsou ale podobné. K tomu, aby došlo k uvolnění náboje je třeba, aby energie fotonu byla vyšší, než je šířka zakázaného pásu W_g ¹⁶, což je opět materiálová konstanta, která má v případě křemíku, jakožto nejhojněji využívaného polovodičového materiálu při konstrukci FV článků, hodnotu 1,1 eV.

Pro požadovanou funkci takového křemíkového článku je ale nutné zabránit okamžité rekombinaci uvolněného náboje, což zajišťuje PN přechod.

3.1.1.3. PN přechod

PN přechod lze popsat jako úzkou potenciálovou bariéru, která je ochuzená o volné nosiče a která zabraňuje pohybu nosičů náboje z jedné strany přechodu na druhou. Je to způsobeno procesem výroby – ten spočívá v přiložení dvou polovodičů různého náboje – polovodiče typu P (akceptoru) a polovodiče typu N (donoru) na sebe. Pokud budeme jako výchozí materiál uvažovat křemík, pak donory vznikají dotováním křemíku příměsemi s vyšším počtem valenčních elektronů, než jsou 4 (zpravidla 5, jako je tomu u fosforu). Vzhledem k tomu, že vazebně se mohou v kontaktu s křemíkem uplatnit jen čtyři elektrony (jedná se o vazbu kovalentní), pak jeden elektron z atomu dopantu je vždy nenvázaný a pro jeho únik do vodivostního pásu stačí i slabé elektrické pole. Analogicky je tomu u polovodičů typu P, kdy prvky s menším počtem valenčních elektronů fungují jako akceptory, tedy přijímače náboje, jelikož obsahují díry, tedy místa kladného náboje. Přiložením těchto dvou polovodičů opačného náboje dojde k rekombinaci a v místě kontaktu vzniká tak zvaná oblast prostorového náboje (OPN), tedy v podstatě dielektrikum s nízkým obsahem volných nosičů náboje. OPN působí jako potenciálová bariéra, která je definována vztahem

$$W = e * U_d \text{ [J]}$$

Rovnice 11

kde

W představuje energii nutnou pro průchod potenciálovou bariérou

¹⁶ šířka zakázaného pásu představuje energii nutnou pro přeskok z valenčního do vodivostního pásu, ve kterém může nosič náboje fungovat jako volný

e je náboj elektronu [eV]

U_d je difuzní napětí [V]

Vzhledem k tomu, že e je konstanta, pak energie W je určována právě difuzním napětím. Lze ho vypočítat následujícím vzorcem:

$$U_d = \frac{kT}{e} * \ln \left(\frac{p_{P0}}{p_{N0}} \right) \text{ [V]}$$

Rovnice 12

k je Boltzmannova konstanta [$J \cdot K^{-1}$]

T je termodynamická teplota [K]

p_{P0} je podíl majoritních nosičů v oblasti P [-]

p_{N0} je podíl minoritních nosičů v oblasti N [-]

Z tohoto vzorce je patrné, že zásadní pro difuzní napětí je dotace majoritními nosiči v dané příměsi. Velikost U_d v propustném směru (I. Kvadrant) je 0,7 V. Opatří-li se výše uvedený PN přechod kontakty, nazve se P oblast anodou, N oblast katodou a vzniklá součástka je dioda.

3.1.2. Fotovoltaický generátor

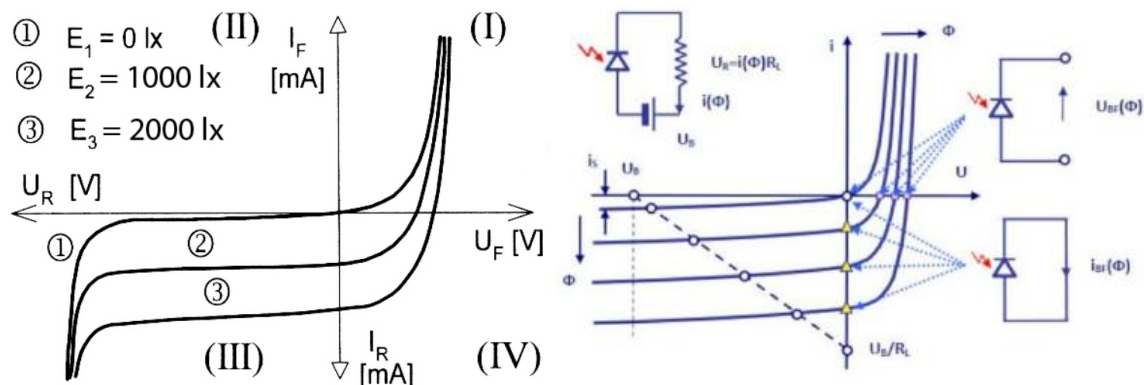
Fotovoltaickým generátorem označuje norma ČSN EN 33 2000-7-712.3.4¹⁷ soustavu čítající fotovoltaická pole včetně měniče a AC napájecího obvodu. Pro účely této práce budu pod pojmem *FV generátor* zahrnovat pouze prvky systému, které elektřinu přímo vyrábějí přeměnou ze slunečního záření a tedy prvky, které jsou v tomto systému Slunci nutně přímo vystaveny. Na dalších stranách budou tedy v návaznosti na popsanou teorii vysvětleny postupně jednotlivé prvky tohoto generátoru od mikro k makro strukturám.

3.1.2.1. Fotodioda

Specifickým případem diody je fotodioda. Fotodioda (FD) funguje jako plošný PN přechod, konstrukčně upravený tak, aby dovnitř pronikalo světlo. Práce součástky je pak založena na vnitřním fotoelektrickém jevu ve třetím nebo čtvrtém kvadrantu voltampérové charakteristiky,

¹⁷ ČSN EN 33 2000-7-712.3.4 – Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech: Fotovoltaické (PV) systémy.

kdy velikost proudu I_R je lineárně závislá na intenzitě osvětlení fotodiody a má ve spotřebičovém smyslu záporné znaménko.



Obrázek 3: Voltampérová charakteristika fotodiody. Zdroj: vlevo [14], vpravo [15]

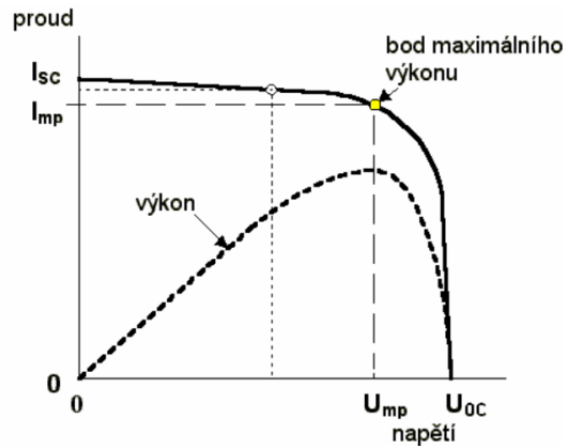
Fotodiody jsou konstruovány tak, aby co nejvíce záření $h \cdot \nu > W_g$ bylo absorbováno v OPN. Pokud je elektron (díra) generován (a) v OPN, je jejím elektrickým polem urychlen(a) směrem do oblasti N (P^+), kde se přidá k elektronům (děrám) generovaným v této oblasti. Je-li FD zapojena naprázdno, hromadí se elektrony (díry) v oblasti N^+ (P^+) a výsledkem je vznik napětí na FD vlivem dopadajícího záření, tedy fotovoltaický jev. Je-li FD zatížena, kde mezním případem je zapojení nakrátko, putují elektrony ke katodě a díry k anodě a obvodem protéká proud. Mezi uvedeným stavem naprázdno a nakrátko pracuje FD v hradlovém neboli **fotovoltaickém režimu** a její voltampérová charakteristika se nachází ve čtvrtém kvadrantu. [16, s. 177] (viz obrázek 2). V takovém režimu lze fotodiodu nazvat **fotovoltaickým článkem**.

3.1.2.2. Fotovoltaický článek

Jak bylo zmíněno výše, voltampérová charakteristika fotovoltaického článku se nachází ve IV. kvadrantu. Pracovním bodem (PB) FV článku by měl být bod MPP¹⁸, tedy bod maximálního výkonu. Geometricky vzato se jedná o vrchol obdélníku, který leží na V-A charakteristice článku a je protilehlý nule grafu. Tento obdélník má ze všech takových možných největší obsah, tedy součin $U \cdot I$ je maximální. Bodu MPP tedy odpovídá na svislé ose bod I_{MP} a na vodorovné bod U_{MP} . Dalšími významnými body jsou U_{OC} , tedy maximální možné napětí – napětí

¹⁸ MPP = Maximum Power Point

naprázdno (obvod není uzavřen) a I_{SC} – maximální možný proud (obvod je zkratován). Typické hodnoty těchto veličin pro monokrystalický¹⁹ Si FV články jsou: $U_{OC} = 0,6 \text{ V}$, $I_{SC} = 3 \text{ A}$. Při chodu naprázdno nebo nakrátko dodává FV článek nulový výkon.



Obrázek 4: Voltampérová charakteristika FV článku.

- Výkon FV článku

Pracovní bod zmíněného článku se nachází okolo napětí 0,5 V a proudu 3 A. Jeden článek o rozměrech zhruba $10 \times 10 \text{ cm}^2$ je tedy schopný dodávat výkon okolo 1,5 W [13, s. 20]. Článek o rozměrech $15 \times 15 \text{ cm}^2$ pak pracuje s dvojnásobným proudem, a tedy dvojnásobným výkonem okolo 3 W. Výkon FV článku je ovlivňován zejména:

Intenzitou záření – proud a výkon článku jsou lineárně závislé na intenzitě záření, jak je patrné na obrázku 3. Teplota článku – má na napětí a na proud článku protichůdný vliv. Zatímco proud při rostoucí teplotě za jinak stejných podmínek vzrůstá, napětí a výkon klesají, neboť v důsledku vzrůstu intrinsické koncentrace volných nosičů s teplotou klesá napětí U_{OC} a výkon klesá, neboť vzrůst proudu je oproti poklesu napětí příliš nízký. Typické je snížení výkonu o $0,4 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ [13, s. 21]

Výkon, respektive účinnost FV článku, závisí také na velikosti sériového a paralelního odporu. V případě malého sériového odporu R_s se účinnost článku s rostoucí intenzitou zvyšuje, až při

¹⁹ Si FV články se dělí podle způsobu výroby na monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé.

vysokých intenzitách klesá, v případě velkého sériového odporu účinnost s intenzitou záření klesá, což se projevuje jako nevýhoda u tenkovrstvé metody výroby článků [17]

Účinnost FV článku je definována jako poměr:

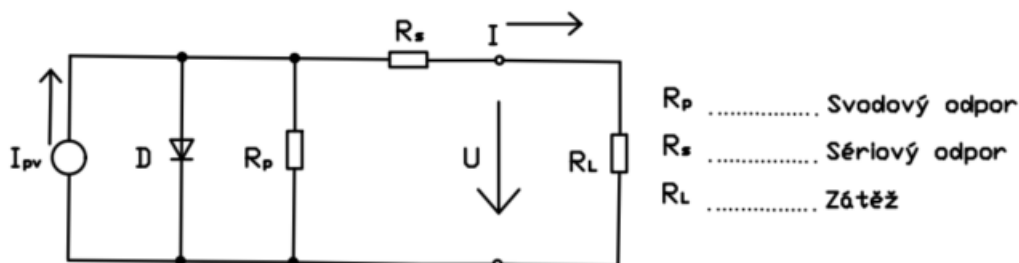
$$\eta = \frac{U_{Mp} * I_{Mp}}{P_{IN}}$$

Rovnice 13

kde P_{IN} představuje výkon dodaný slunečním zářením. Jedná se tedy o poměr maximálního výkonu článku a výkonu dodaného slunečním zářením. Dnes běžně průmyslově vyráběné monokrystalické články mají účinnost okolo 20 %.

- Náhradní schéma FV článku

FV článek lze popsat jako zdroj proudu I_{PV} s paralelně řazenou diodou D , která v důsledku propustné polarizace (napětí ve IV. kvadrantu charakteristiky má kladné znaménko) PN přechodu vrací část generovaného proudu zpět do zdroje (rekombinace). Svodový odpor PN přechodu pak ve schématu figuruje jako paralelně řazený R_p , vliv materiálu článku pak zahrnuje sériový odpor R_s . Zátěž je R_L . [17, s. 13]

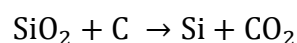


Obrázek 5:Náhradní schéma fotovoltaického článku

Výstupní napětí na zátěži je negativně ovlivněno zejména úbytkem na sériovém odporu R_s , který by se ideálně měl blížit nule. Jeho hodnota je dána typem článku a technologií výroby. Oproti tomu paralelní odpor R_p by se měl ideálně blížit k nekonečnu, aby na PN přechodu nevznikaly proudové úbytky.

- Typy křemíkových fotovoltaických článků

Surový křemík pro další výrobu se získává z křemičitého písku, neboli oxidu křemičitého, redukcí uhlíkem v obloukové peci:



Křemík vytažený z pece má čistotu okolo 99 %, což je pro další zpracování málo. Pro výrobu FV článků je třeba čistoty do řádu 10^{-6} , proto je křemík třeba dále čistit až do polotovaru, který je dále zpracován do žádané formy:

Setkáváme se s třemi typy křemíkových fotovoltaických článků podle způsobu výroby:

- Monokrystalický článek – je vyroben z jediného krystalu křemíku, který je tažen tzv. Czochralského metodou, kdy je do taveniny o teplotě 1415 °C vložen malý monokrystal jako zárodek, který se z taveniny následně pomalu vytahuje za současného otáčení okolo podélné osy. Výsledný ingot je nařezán na plátky o šířce 0,2 – 0,3 mm, které jsou již vhodné k tvorbě PN přechodu.
- Polykrystalický článek – jeho výroba je jednodušší. Materiál je pouze roztaven a nalit do formy, přičemž musí být zajištěno velmi pomalé chladnutí, aby docházelo k vytváření minima dislokací. Hranice zrn a další poruchy krystalu totiž tvoří potenciálové bariéry a výsledný sériový odpor článku tak vzrůstá. [18, s. 50]
- Tenkovrstvý (amorfní) článek – na skleněný substrát se napařuje křemík a vhodně dotuje. Tento způsob výroby je vhodnější spíše pro menší aplikace jako jsou zdroje napětí v kapesních kalkulátorech. Lze vytvořit i velký modul, nevýhodou je ale rychlejší stárnutí a snižování účinnosti článků. Výhodou je nízká spotřeba vysoce čistého křemíku, jelikož napřena vrstva křemíku má tloušťku v řádu jednotek mikrometrů. [13, s. 21]

V současné době zaujímá dvě třetiny podílu výroby Si-FV článků monokrystalický křemík, což je dáno především jeho nejvyšší dosahovanou účinností – monokrystalické články dnes dosahují účinnosti 18–22 %, zatímco polykrystalické 16-18 % a tenkovrstvé 15-17 % [19].

3.1.2.3. Fotovoltaický modul

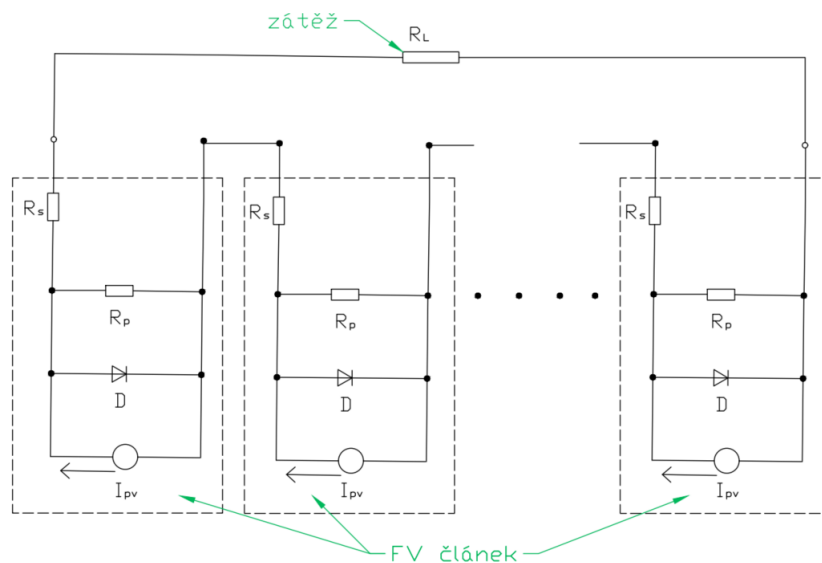
Jak bylo zmíněno, výkon jednoho FV článku dosahuje zhruba 1,5 W. To může stačit jak zdroj energie pro kapesní elektroniku, ale pokud má být použita fotovoltaika jako zdroj silové energie pro bytový dům (nebo pro rodinný dům nebo pro obec atd.), je třeba výkonu mnohem většího. Z tohoto důvodu a z důvodu snadnější manipulace a řízení se FV články spojují v moduly.

Články se spojují sériově, takže všemi teče stejný proud. Z tohoto důvodu je zásadní spojit články skutečně stejných parametrů, jinak by docházelo k výkonovým ztrátám v důsledku průtoku vyrovnávacích proudů mezi jednotlivými články a k neúměrnému zahřívání některých článků. Důležité je také navrhovat systém tak, aby byly články pokud možno rovnoměrně

osvíceny, jelikož zastínění jednoho vyvolává pokles průtoku proudu celého sériového spojení. Standardní počet článků v jednom modulu je 36, přičemž výstupní napětí modulu je 18 V, respektive 72 článků s celkovým napětím na výstupu 36 V. [13, s. 22].

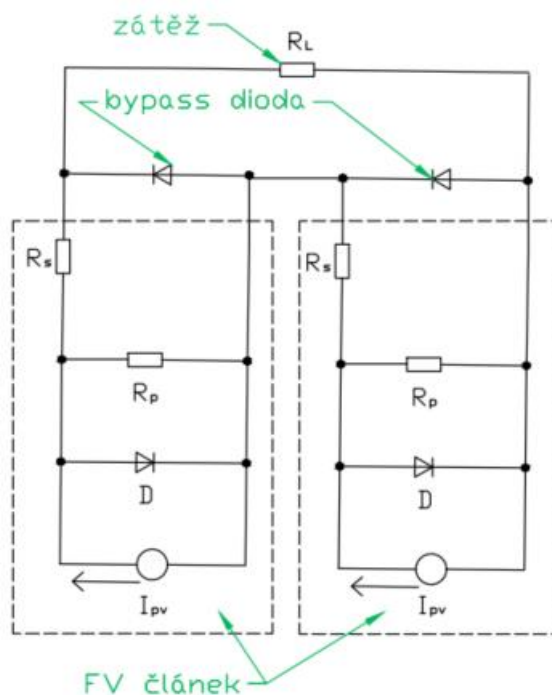
- Náhradní schéma fotovoltaického modulu

Na schématu níže je zakreslen princip sériového spojování FV článků do modulu. Ze schématu je zřejmé, že v případě zastínění jednoho z článků dochází k prudkému snížení výkonu celého modulu.



Obrázek 6: Náhradní schéma sériového spojení článků ve FV modulu

Tento problém lze řešit tzv. překlenovacími diodami, které se zapojují vůči jednotlivým článkům paralelně viz obrázek 7. Překlenovací dioda přebere proud zastíněného článku v momentě, kdy článek přechází ze IV. do III. kvadrantu V-A charakteristiky, tedy když se na něm objeví záporné napětí a začíná spotřebovávat energii. V momentě, kdy toto napětí přejde prahovou mez (okolo 0,6 V), otevře se překlenovací (bypass) dioda a převezme vedení proudu. Z cenových důvodů se používá jedna překlenovací dioda na blok zpravidla 18 článků.



Obrázek 7: Náhradní schéma sériového spojení FV článků s bypass diodami [20]

3.1.2.4. Fotovoltaický panel

Aby se dosáhlo vysoké životnosti, musí se články chránit před ničivými vlivy okolního prostředí. FV moduly se tedy pospojují do větších celků, orámují se kovovou konstrukcí a jsou utěsněny pryží proti zatékání. FV články se vloží do etylenvinylacetátové (EVA) fólie a přední strana je chráněna tvrzeným sklem. Na zadní straně je přilepena ještě umělohmotná fólie (tedlar). Tento celek je pak možné přidělat na hliníkovou konstrukci, čímž se určí sklon systému vůči slunečním paprskům. [13, s. 23]. Udávaná životnost takovéto konstrukce je 20-30 let. Takováto konstrukce se nazývá ‚fotovoltaický panel‘ a dá se dimenzovat dle požadavků trhu. Typicky váží jeden takový panel okolo 20 kg a dosahuje špičkového (maximálního) výkonu okolo 450 Wp²⁰ (v závislosti na počtu zapojených článků) při maximální účinnosti okolo 20 %. FV panel je typicky složen z 60 článků (10 x 6). Typické rozměry jsou 1640 x 992 x 40 mm pro výkon 300 Wp nebo 2094 * 1038 * 35 pro výkon 450 Wp. Je třeba říci, že v normě ČSN 36 4600 – Solární fotovoltaické energetické systémy – termíny, definice, je FV panel definován

²⁰ Wp = Wattpeak – maximální výkonová hodnota, které panel dosahuje za STC neboli standardních zkušebních podmínek (teplota 25 °C, intenzita slunečního záření 1000 W/m², koeficient atmosférické masy AM = 1,5)

takto: „PV moduly mechanicky integrované, předem smontované a elektricky propojené.“ [21, s. 29]. Oproti tomu FV modul má v této normě definici: „Kompletní a proti vlivům prostředí chráněná montáž propojených fotovoltaických článků“ [21, s. 15]. Jak modul, tak panel tedy ukazují na integrovaný systém propojených článků. Pojem „FV (PV) panel“ ale považuji za zažitéjší, navíc se v tomto významu vyskytuje se i v odborné literatuře (např [17, s. 29]). V této práci budu používat obě tato označení.

3.1.2.5. Fotovoltaické pole

Fotovoltaickým polem je možné nazvat soustředění většího množství fotovoltaických panelů za účelem kumulace výroby elektrické energie. V případě dosahování velkých výkonů v řádu megawatt je nutné FV pole osadit na velké plochy, většinou zemědělské. V podmínkách bytového domu se pohybujeme v řádech maximálně desítek kilowatt a pro takové účely se dá využít střecha bytového domu. Fotovoltaickým polem je obvykle míněno paralelní spojení řetězců FV modul, které je připojeno přímo ke střídači nebo ke slučovacímu boxu FV systému. Tyto pojmy budou vysvětleny později v této kapitole.

3.2. Návrh fotovoltaického systému pro bytový dům

3.2.1. Instalace fotovoltaického pole

Ačkoli v principu je možné osadit FV panely i na fasádu domu, nebudu se tomu v této práci věnovat, a to zejména proto, že okolo objektu roste velké množství stromů, které by se musely kácet z důvodu zastínění panelů. Ekonomicky je návratnost investice z důvodu náročnější instalace ještě vzdálenější, než je tomu u systémů montovaných na střechy. Ani úhel svírající s dopadajícími slunečními paprsky není v případě vertikální instalace tak vyhovující, jako u instalace na střechy. Jedinou výhodou, kterou spatřuji v umístění panelů na fasádu, jsou menší nároky na ochranu před bleskem, neboť pravděpodobnost úderu blesku po svislých stranách budov je oproti zásahu střechy mizivá. Ve svém návrhu tedy počítám s umístěním FV pole na střechu bytového domu.

Pro konkrétní návrh fotovoltaického systému na střechě bytového domu z hlediska konstrukčních možností objektu je potřeba vzít v úvahu zejména tyto technické parametry:

- Volná plocha střechy – střecha má obdélníkový tvar při celkových rozměrech (17,3 x 37,7) tedy 652,2 m². Z této plochy zabírá vzduchotechnika, kouřovody, antény,

prostupy (dveře), atiky a další nevyužitelná plocha celkové 64,2 m². Volná plocha střechy je tedy 588 m².

- Statická únosnost střechy – jelikož ucelený statický posudek rezervy únosnosti střechy není předmětem této práce ani to není v možnostech autora, nebudu se pouštět do odhadů maximálního zatížení, nicméně provedu výpočet celkového nutného zatížení střechy FV systémem k případnému dodatečnému statickému posouzení. Vzhledem k tomu, že se jedná o novostavbu s kolaudací plánovanou na rok 2023 nemám důvod očekávat, že by statická únosnost střechy neměla pro účel instalace FV panelů vyhovovat.
- Sklon střechy – střecha je rovná, počítám tedy se sklonem 0°
- Orientace sklonu střechy – střecha je rovná, není tedy třeba tento aspekt brát do úvahy
- Půdorys střechy – obdélník o rozměrech (17,3 x 37,7) m², přičemž delší strana má orientaci severojižní
- Okolí domu z pohledu světlosti (zastíněnosti) – dům je ze severu a z jihu zastíněný stromy, z východu a západy pak dalšími bytovými domy. Střecha zastíněná není.

3.2.1.1. Využitelná plocha střechy

Pro návrh rozmístění a sklonu FV panelů jsem si stanovil tato kritéria:

- Vyloučit zastínění při dopadu slunečních paprsků od jihu v průběhu celého roku
- Co nejvíce dní provozu při optimálním výkonu soustavy (25,2 kW)

Celková teoreticky využitelná plocha střechy pro osazení FV panely byla stanovena na 588 m².

Její grafický model stažený z webových stránek developera je na obrázku níže:



Obrázek 8: Grafický model bytového domu z webových stránek developera [22]

Tomuto modelu odpovídá půdorys na výkresu 2, listu 1, kde šrafované objekty představují místa, kam panely nelze umístit. Celková plocha těchto objektů je, jak lze vyčíst z výkresu 64,2 m². Zároveň bude pro umístění panelů třeba počítat se zastíněním generovaným těmito objekty a rezervy pro volný pohyb a údržbu všech technických prvků. Tato rezerva byla jednotně stanovena pro průchody okolo atiky, i okolo dalších prvků, na 50 centimetrů. Ochranná vzdálenost mezi jímací soustavou hromosvodu a FV panely bude řešena zvlášť v kapitole 5. Z rozložení objektů na střeše vyplynuly volné plochy, do kterých bude možno po dalším zvážení zastínění, sklonu a podobně zasadit panely. Celkový součet těchto volných ploch vychází ze sumy ploch označených zelenou přerušovanou čarou a písmeny A-F na výkresu 2 – list 2 – ta činí 375,8 m². Délky zastíněných ploch směrem od jihu k severu jsou vypočteny podle vztahu:

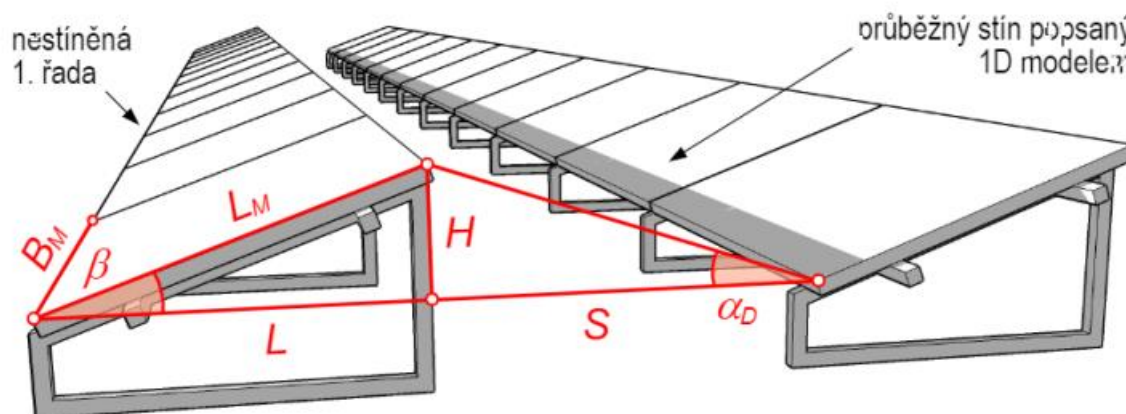
$$l = \frac{h}{\tan \alpha_D} \text{ [m]}$$

Rovnice 14

kde l je délka zastíněné plochy, h je výška dané překážky tvořící stín, a α_D je úhel odpovídající výšce Slunce nad obzorem v době zimního slunovratu. Po odečtení zastínění a dalších překážek pak čistá plocha rovna 356 m².

3.2.1.2. Rozvržení a umístění a panelů

Pro návrh rozmístění panelů je třeba reflektovat jejich sklon a možné zastínění a také možnost manipulace. Zásadním pro určení rozstupů mezi panely, respektive řadami panelů, je tzv. návrhový úhel α_D , který svírají pomyslné spojnice horní a dolní hrany jednoho panelu s dolní hranou panelu se sousední řadě, jak je vidět na obrázku:



Obrázek 9: Návrhový úhel pro rozmístění panelů [17, s. 45]

Matematicky lze tedy vyjádřit návrhový úhel takto:

$$\alpha_D = \tan^{-1} \frac{L_M * \sin \beta}{l} [^\circ]$$

Rovnice 15

Kde L_M představuje vertikální rozměr panelu, β je sklon panelu a l je vzdálenost mezi dvěma sousedními řadami. Zvolíme-li návrhový úhel tak, aby odpovídal výšce Slunce nad obzorem v době zimního slunovratu, přiblížíme se k maximálnímu možnému počtu dní, kdy bude elektrárna vyrábět, ale oproti tomu zmenšíme hustotu pokrytí plochy střechy. Pokud naopak bude návrhový úhel větší, bude moct být střecha hustěji osazená, ale elektrárna bude vyrábět menší počet dní, jelikož po určitou část roku budou panely ve všech řadách mimo první řady trvale v určitém zastínění. Pro danou oblast a danou zeměpisnou šířku (50° s.š.) je standardní volbou pro návrhový úhel $16,5^\circ$. [17, s. 46]. Úhel beta jako sklon panelů nad vodorovnou rovinou je opět větší volby. Pro letní měsíce je optimální sklon v této zeměpisné poloze 35° , v zimních měsících je tento úhel ale větší, neboť Slunce je na obloze níže. Maximální účinnosti se dosahuje při dopadu paprsků přesně kolmo, minimální naopak, pokud jsou sluneční paprsky s plochou panelu rovnoběžné. Při úhlu dopadu $17,5^\circ$ v zimě vychází tedy optimální sklon v pravé

poledne 21.12 na 73,5°. Takový sklon, je ale po většinu roku nevyhovující a maximální výtěžnost systému celoročně je vyšší při sklonech které odpovídají letnímu období. Při horizontálním uložení modulů můžeme jako parametr L_M uvažovat 1038 mm. Parametr L je pak kosinus L_M . Vzdálenost mezi řadami modulů při těchto parametrech získáme tedy odvozením:

$l = \tan^{-1} \frac{L_M \cdot \sin \beta}{\alpha_D} = \tan^{-1} \frac{1,038 \cdot \sin \beta}{16,5}$, kdy pro minimální sklon vychází vzdálenost mezi řadami na 2,07 m a pro sklon maximální by byla vhodná vzdálenost 3,45 m. Rozložení panelů v každém ze sektorů tedy musí být uvažováno v tomto intervalu. Vzhledem k tomu, že celková výkonnost systému v zimních měsících je mnohem menší, než v létě, zvolím dolní hranici 2,07 m, jelikož zastínění v zimě lze potom kompenzovat větším zahuštěním střechy FV panely a také překlenovacími diodami. Rozmístění celého FV pole na střeše je na listu 3 výkresu 2.

3.2.1.3. Celkový instalovaný výkon FV pole

Maximální instalovaný výkon P_{max} je roven součinu výkonu každého z panelů s jejich celkovým počtem. Počet panelů v řadě je dán podílem rozměru sektoru od západu k východu (d) a šířkového rozměru panelu (a) zaokrouhlený dolů. Počet řad je pak rozměrem sektoru od severu k jihu poděleným součtem kosinu délkového rozměru panelů a délce nutné mezery mezi řadami odvozené z rovnice 13. Čím je menší sklon panelů, tím menší je nutná mezera mezi řadami a tím více panelů lze na střechu dostat. Níže je uvedena tabulky počtu panelů v jednotlivých sektorech označených písmeny A – F (tyto sektory a jejich plochy jsou vyznačeny na výkresu 2, list 2). Vycházím z výše uvedených parametrů, tedy sklonu 35° a návrhového úhlu 16,5° a rozestupu 2,1m. Spojité řešení je ale samozřejmě třeba vhodně zaokrouhlovat na celé moduly a tím pádem příslušně upravit délky mezer a sklon modulů. Nutností je ale dodržet princip, kdy v každém stringu (řetězci), tedy sériovém spojení modulů, jsou stejné parametry, a tudíž v ideálním případě stejné ozáření a stejný generovaný proud, aby nedocházelo k průtoku vyrovnávacích proudů mezi jednotlivými nestejně ozářenými moduly v sérii. Při uvažování maxima instalovaného špičkového výkonu na dostupnou plochu jsem vybral panely značky Kaisai, konkrétně model CHSM72-HC- 450 W o rozměrech 2094 * 1038 * 35 mm obsahující 144 monokrystalických křemíkových článků a 3 překlenovací diody korigující efekt zastínění v zimních měsících.

	A	B	C	D	E	F	celkem
počet panelů v sektoru	7	11	8	12	10	8	56
instalovaný výkon [kWp]	3,15	4,95	3,60	5,40	4,50	3,60	25,20

Tabulka 2: Počty panelů a celkový instalovaný výkon

3.2.2. Elektrické zapojení fotovoltaického systému

V této části provedu nejprve nutné výpočty a nabyté hodnoty následně použiji pro návrh elektrického zapojení stejnosměrné části fotovoltaického systému, tedy FV pole, stejnosměrnou kabeláž, přepěťové a nadproudové ochrany stejnosměrné části, výkonové odpínače až ke střídači, který tvoří rozhraní mezi stejnosměrnou částí a střídavou částí elektroinstalace, která bude řešena v kapitole 4.

3.2.2.1. Výpočty elektrických parametrů fotovoltaického pole

Pro vytvoření schématu zapojení je třeba vypočítat maximální napětí naprázdno a maximální zkratové proudy. Je třeba, aby spočtené hodnoty vyhovovaly jak omezením FV modulů a střídače, tak ale i ostatních komponentů na stejnosměrné straně instalace, tedy kabeláže, ochrany apod. Pro dimenzování budu ale vycházet pouze z parametrů modulů a střídače s tím, že ostatní komponenty vyberu na základě spočtených hodnot. V tabulce níže jsou shrnuty zásadní elektrické a ostatní fyzikální parametry modulů a střídače:

FV moduly jsou, jak bylo uvedeno, typ CHSM72-HC-450 W od firmy Kaisai, střídač byl pak vybrán třífázový, hybridní od firmy Wattsonic, model WTS-20KTL-HT:

FV modul Kaisai		Střídač Wattsonic -DC parametry	
model	CHSM72M-HC	model	WTS-20KTL-HT
Optimální napětí při STC - U_{mpp} [V]	41,32	Max. vstupní výkon z FV [W]	30000
Optimální proud při STC - I_{mpp} [A]	10,69	Spouštěcí PV napětí [V]	180
Napětí naprázdno při STC [V]	49,05	Max. vstupní napětí DC [V]	1100
Proud nakrátko při STC [A]	11,37	Jmen. vstupní napětí DC [V]	620
Účinnost [%]	315 - 850	Rozsah napětí MPPT [Vdc]	315 - 850
Rozsah provozních teplot [°C]	2	Počet MPP trackerů	2
Maximální dovolené napětí	2	Počet FV stringů na MPPT	2
Výkon při NMOT [W]	334,5	Max. proud FV vstupu [A]	26
Optimální napětí při NMOT [W]	38,37	Max. proud nakrátko [A]	36
Optimální proud při NMOT [A]	8,72		
Napětí naprázdno při NMOT [V]	45,94		
Proud nakrátko při NMOT [A]	9,16		
Teplota modulu při NMOT [°C]	41±2		
Závislost výkonu na teplotě [%/°C]	-0,35		
Závislost napětí naprázdno na teplotě [%/°C]	-0,27		
Závislost proudu nakrátko na teplotě [%/°C]	0,05		

Tabulka 3: Hlavní technické parametry FV modulu a střídače

- Napětí naprázdno

Napětí modulu naprázdno při STC²¹, neboli standardních testovacích podmínkách (zábleskové – mžikové měření při koeficientu atmosférické masy AM = 1.5, teplotě vzduchu T = 25 °C, intenzita záření I_e = 1000 W/m²), je 49,05 V.

Dle přílohy B normy 33 2000 7–712 [23, s. 24] se maximální napětí naprázdno počítá podle vztahu

$$U_{OCmax} = K_U * U_{OCstc} [V]$$

Rovnice 16

Korekční součinitel K_U je koeficient, který zahrnuje nárůst napětí naprázdno modulů s ohledem na nejnižší teplotu v okolí T_{Min} v místě instalace FV pole a αU_{OC} [%/°C] variačního teplotního koeficientu napětí U_{OC} poskytovaného výrobcem modulu:

$$K_U = 1 + \frac{\alpha U_{OC}}{100} * (T_{Min} - 25) [-]$$

Rovnice 17

Je-li, jako v tomto případě, parametr αU_{OC} uveden v %/°C, pak jej lze převést na mV/°C následujícím způsobem:

$$\alpha U_{OC} [%/(\text{°C})] = 0,1 * \frac{\alpha U_{OC} [mV/(\text{°C})]}{U_{OCstc}}$$

Rovnice 18

V případě užitých modulů tedy platí:

$$0,27 = 0,1 * \frac{\alpha U_{OC} \left[\frac{mV}{\text{°C}} \right]}{49,05} \Rightarrow \alpha U_{OC} \left[\frac{mV}{\text{°C}} \right] = 49,05 * \frac{-0,27}{0,1} \cong -132,4 \text{ mV/°C}$$

Možná provozní teplota modulů je udávána v rozmezí od -40 °C do 80 °C. Ve zmíněné normě [23, s. 24] se za T_{Min} dosazuje hodnota -15 °C, potom:

$$K_U = 1 + \frac{-0,27}{100} * (-15 - 25) = 1,108$$

²¹ STC = Standard test conditions

$$U_{OCmax} = 1,108 * 49,05 \cong 54,3 \text{ V}$$

V případě panelů CHSM72M-HC je to 1500 V DC, což je taky normou přijímaná hranice nízkého stejnosměrného napětí. Maximální počet modulů v sériovém spojení je tedy omezen maximální hodnotou napětí v soustavě, která je pro moduly rovna 1500 V, ale pro střídač pouze 1100 V. Podíl tohoto napětí a nejvyššího dosažitelného napětí jednoho modulu (54,3 V) tedy určuje, že do sériového zapojení lze umístit maximálně 20 modulů. Pro případ 14 modulů v sérii bude hodnota U_{OCmax} rovna 760 V.

Pro účely návrhu je také vhodné znát minimální napětí, tedy napětí při maximální provozní teplotě modulu, tedy 80 °C. Dosazením do rovnic 14 a 15 bylo stanovena hodnota U_{OCmin} na 41,8 V. Vzhledem k minimálnímu provoznímu napětí střídače 180 V je tedy jasné, že v jednom stringu nemůže být méně než 5 modulů.

- Proud nakrátko

Dalším omezením je maximální stejnosměrný proud nakrátko, který má u střídače hodnotu 36 A. V případě modulů norma [23, s. 24] udává pro výpočet maximálního proudu nakrátko vztah:

$$I_{SCmax} = K_I * I_{SCstc} \text{ [A]}$$

Rovnice 19

Přičemž hodnota K_I má minimální hodnotu 1,25. Ta je vyšší pouze v případě zvláštních environmentálních podmínek jako je vyšší odrazivost světla (typicky v horských polohách z důvodu sněhové pokrývky) nebo vyšší intenzity slunečního záření. V tomto případě lze tedy stanovit:

$$I_{SCmax} = 1,25 * 11,37 \cong 14,2 \text{ A}$$

Střídač Wattsonic má hodnotu max. proud nakrátko pro oba vstupy omezenou na 36 A. V případě paralelního spojení dvou řetězců o max. proudu nakrátko $I_{SCmax} = 14,2 \text{ A}$ je tedy tato hodnota dodržena, neboť proud nakrátko nebude větší než 28,4 A.

Výrobce udává také tzv. teplotní koeficient modulu, který má v tomto případě hodnotu 0,05 % /°C (parametr αI_{SC}). Maximální hodnota proudu v závislosti na teplotě lze odvodit takto:

$$I_{SCmax} = I_{SCstc} + I_{SCstc} \frac{\alpha I_{SC} * (T_{max} - T_{stc})}{100\%} \text{ [A]}$$

Rovnice 20

$$I_{SC \max} = 11,37 + 11,37 * \frac{0,05\% * (80 - 25)}{100\%} \cong 11,7 \text{ A}$$

3.2.2.2. Zapojení FV pole

Střídač bude zapojen jako centrální pro celé FV pole. Vzhledem k celkovému počtu 56 modulů bude optimální je rozdělit do 4 paralelních řetězců po 14 (sériově spojených) modulech.

Tak bude naplněna dikce normy²² [23, s. 13], kde je jako součást požadavku vůči nadproudům zmíněno, že všechny paralelně připojené řetězce musí mít stejné jmenovité napětí, což v praxi znamená stejný počet rovnocenných modulů v každém paralelně připojeném řetězci. Vybraný střídač disponuje 2 MPPT²³, tedy sledovači maximálního výkonu (a tedy optimálního pracovního bodu), přičemž každý z nich může řídit výkon dvou řetězců²⁴. Střídač je schopen udržovat maximální výkon při rozmezí napětí 315 - 850 V. Jmenovité vstupní napětí střídače je 620 V. Jmenovité napětí systému bude odpovídat v souladu s Kirchhoffovými zákony napětí sériového spojení modulů, tedy řetězce, které činí 578 V při jmenovitém (špičkovém) výkonu systému. Pro FV panely je v katalogu udána hodnota 38,37 V při NMOT²⁵, tedy při nominální provozní teplotě (při zatížení), která je běžně stanovena nad 40 °C (zde 41 ± 2 °C) a při 80 % intenzitě záření oproti STC.

Navrhované zapojení bude tedy poskytovat při nominálních podmínkách poskytovat napětí 537,2 V. Udávaný proud při NMOT je 8,72 A. Při využití obou DC vstupů a zapojení vždy dvou řetězců paralelně by tedy při nominálních pracovních podmínkách měl střídač pojímat z FV pole výkon rovný $2 * 2 * U_{NMOT} * I_{NMOT} = 2 * 2 * 537,2 * 8,72 \cong 18738 \text{ W} \cong 18,74 \text{ kW}$. Výkon systému při STC pak bude roven $2 * 2 * U_{STC} * I_{STC} = 2 * (41,32 * 14) * 10,89 \cong 25198 \text{ W} \cong 25,2 \text{ kW}$ (viz kap. 2.2.1.3). Zapojení FV pole je třeba s ohledem na úbytky napětí na vodičích navrhnout tak, aby délka vedení každého řetězce byla co nejkratší. Moduly tedy budou rozděleny do 4 skupiny po 14 a každá z nich bude sériově propojena. Veškerá kabeláž bude svedena do jednoho bodu střecha, kde bude umístěna průchodka pro vedení všech řetězců

²² ČSN 33 2000-7-712. ČSN 33 2000-7-712: Elektrické instalace nízkého napětí: Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy. Ed. 2

²³ MPPT = Maximum power point tracker

²⁴ Řetězcem (stringem) se rozumí sériové zapojení panelů

²⁵ Nominal module operating temperature (20 °C)

do místnosti, kde bude umístěn střídač. Propojení modulů do řetězců je zakresleno na listu 4 výkresu 2.

3.2.2.3. Kabeláž stejnosměrného vedení

Pro stejnosměrnou část fotovoltaického systému (mezi moduly a DC stranou střídače) budou použity v souladu s normou ČSN EN 50618 (347113)²⁶, bod 6.3 [24, s. 13] standardní, dvojitě izolované jednožilové kabely z pocínované mědi pro fotovoltaiku typu H1Z2Z2-K dodávané s průřezem od 2,5 do 150 mm². Z obrázku 14 lze vypočítat celkové délky vedení kabeláže jednotlivých řetězců až k průchodce střechou. Ta je vzdálena od stringboxu²⁷ ještě další 2 metry. Pro řetězec I je potom celková délka rovna po zaokrouhlení 88 metrů, pro řetězec II je to 72 metrů, pro řetězec III 84 metrů a pro řetězec IV celkově 80 metrů. Aby nedocházelo k průtokům vyrovnávacích proudů, budou pro paralelně spojené řetězce délky vedení srovnány. Paralelně bude tedy propojen řetězec I a III, čímž vznikne pole A s jednotnou délkou vedení 88 m a řetězec II a IV – pole B, které bude mít pro každý řetězec délku vedení 80 m. Úbytek napětí i-tého řetězce lze spočítat snadno podle vztahu:

$$\Delta U_i = I * (1 + \alpha \Delta t) * \rho * \frac{l_i}{S} \text{ [V]}$$

Rovnice 21

Tento úbytek by neměl překročit 2 % [25, s. 145]. Pro Jouleovy ztráty na vedení pak platí:

$$\Delta P_i = I^2 * (1 + \alpha \Delta t) * \rho * \frac{l_i}{S} \text{ [W]}$$

Rovnice 22

kde proud I odpovídá proudu jednoho řetězce, jelikož k paralelnímu spojení dochází až ve stringboxu. Kabeláž pro fotovoltaiku má velkou proudovou zatížitelnost – při průřezu 2,5 mm² je to podle tabulky A.3 normy ČSN EN 50618²⁸ [24, s. 23] 39 A. Nicméně při daných délkách vedení by při takto malém průřezu vznikaly velké úbytky napětí a výkonu. Při stanovení kritéria

²⁶ ČSN EN 50618 (347113): Elektrické kabely pro fotovoltaické systémy.

²⁷ Stringbox (SB) je zařízení ve stejnosměrném rozváděči propojující paralelně řetězce jednoho pole

²⁸ Viz pozn. 27

maximálního výkonového úbytku 0,5 % na vedení mezi FV moduly a stringboxy (při STC) lze požadovaný průřez odvodit takto:

$$\frac{\Delta P_{iSTC}}{P_{STC}} = \frac{I_{STC}^2 * (1 + \alpha \Delta t) * \rho * \frac{l_i}{S}}{P_{STC}} = 0,005$$

Rovnice 23

kde P_{STC} představuje hodnotu špičkového výkonu jednoho řetězce, což je 6,3 kW.

Z katalogu výrobce lze pro okolní teplotu 20 °C dosadit přepočtem měrnou rezistivitu $\rho = 1,95 * 10^{-8} \Omega \cdot m$. Norma²⁹ [23, s. 17] však v bodě 712.523.101 praví, že při dimenzování kabeláže je třeba uvažovat okolní teplotu nejméně 70 °C. Odpor vodiče bude tedy upraven příslušným teplotním koeficientem $\alpha = 3,92 * 10^{-3} * K^{-1}$ a tedy

$$S_i = \frac{10,89^2 * (1 + (0,00392 * 50)) * 1,95 * 10^{-8} * l_i}{0,005 * 6300} \text{ [mm}^2\text{]}$$

Pro pole A vychází požadovaný průřez výpočtem dle rovnice 21 na 7,7 mm². Pro pole B je to 7 mm². Pro obě pole bude zvolen nejbližší vyšší průřez, tedy 10 mm². V tabulce (níže) jsou katalogové parametry kabelu pro fotovoltaiku od tradičního výrobce Kablo Vrchlabí.

Kablo Vrchlabí H1Z2Z2-K	
provozní teplota	od -40 °C do 90 °C
teplota jádra	max 120 °C
jmenovité napětí AC	1000 V
jmenovité napětí DC	1500 V
průřez	10 mm ²
maximální odpor jádra při 20 °C	1,95 Ω/km
jmenovitá tloušťka izolace	0,7 mm

Tabulka 4: Katalogové parametry použité FV kabeláže

²⁹ ČSN 33 2000-7-712. ČSN 33 2000-7-712: Elektrické instalace nízkého napětí: Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy. Ed. 2

3.2.2.4. Úbytek napětí a Jouleovy ztráty na stejnosměrném vedení

Na základě vypočteného průřezu lze stanovit celkové úbytky napětí a ztráty stejnosměrné části při zanedbání ztrát na jisticích a ochranných prvcích. Viz tabulka níže:

	řetězec I	řetězec II	řetězec III	řetězec IV	celkem
úbytek napětí U_{stc} [V]	1,9	1,7	1,9	1,7	
úbytek napětí U_{stc} [%]	0,3	0,3	0,3	0,3	
Jouleovy ztráty P_{stc} [W]	20,7	18,9	20,7	18,9	79,2
Jouleovy ztráty P_{stc} %	0,3	0,3	0,3	0,3	
úbytek napětí U_{nmot} [V]	1,6	1,5	1,6	1,5	
úbytek napětí U_{nmot} [%]	0,3	0,3	0,3	0,3	
Jouleovy ztráty P_{nmot} [W]	14,1	12,8	14,1	12,8	53,9
Jouleovy ztráty P_{nmot} [%]	0,3	0,3	0,3	0,3	
úbytek napětí U_{max} [V]	2,2	2,0	2,2	2,0	
úbytek napětí U_{max} [%]	0,4	0,4	0,4	0,4	
Jouleovy ztráty P_{max} [W]	24,3	22,1	24,3	22,1	92,9
Jouleovy ztráty P_{max} [%]	0,5	0,5	0,5	0,5	

Tabulka 5: Úbytky napětí a Jouleovy ztráty na řetězcích

Celkové ztráty na stejnosměrné kabeláži by tak za provozu neměly přesáhnout 100 W, tj. méně než 0,5 % špičkového výkonu systému.

3.2.2.5. Elektrické ochrany a další přístroje na stejnosměrném vedení

- Ochrana proti nadproudům

Dle 431.101 normy ČSN 33 2000-7-712³⁰ pro PV pole s více než dvěma paralelně zapojenými řetězci vyžadována nadproudová ochrana. V případě, že by o to investor měl zájem, je možné sériově ke každému řetězci zařadit stejnosměrné pojistky typu gG se jmenovitým proudem 16 A ve válcovém provedení (např. ETI 10 x 38, 1000 V) v pojistkový odpínačem ETI PV 1000 V DC 2P 25 A.

- Proudové chrániče

³⁰ ČSN 33 2000-7-712. ČSN 33 2000-7-712: Elektrické instalace nízkého napětí: Část 7-712: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy. Ed. 2

Proudový chránič na stejnosměrném vedení není požadován, jelikož ochrana je realizována dvojitou izolací vodičů. Požaduje se ale proudový chránič typu B na AC straně v případě, kdy stejnosměrná od střídavé strany elektroinstalace není galvanicky oddělená (více v kapitole 4).

- Ochrana proti přechodnému přepětí

Zmíněná norma stanovuje v článku 712.443.102, že na DC musí být instalovány SPD³¹, je-li délka vedení větší, než L_{crit} . Pro L_{crit} u bytových prostorů platí:

$$L_{crit} = \frac{115}{N_g}$$

Rovnice 24

kde N_g označuje hustotu úderů blesků do země a 115 je koeficient pro bytovou zástavbu. N_g byla stanovena výpočtem v programu PROZIK od firmy O EZ a její hodnota je 1,69. Potom L_{crit} vychází na 68 m. Bude tedy třeba řetězce jistit odpovídajícími svodiči přepětí. SPD musí splňovat zkoušky třídy II a její dimenzi určí maximální trvalé pracovní napětí, které musí být $\geq U_{OCmax} = 760 \text{ V}$ dle normy [23, s. 19] čl. 712.534. Bude vybrán modulární kombinovaný svodič pro DC obvody DEHN Guard YPV SC I 1000 FM (950 535), jehož nejvyšší provozní napětí $U_{CPV} = 1000 \text{ V}$ a bleskový proud testovaný rázovou vlnou 8/20 je roven 40kA. Svodiče budou umístěny do RDC slučovacího boxu SB DC rozváděče, což také reprezentuje přechod ze zóny ochrany před bleskem LPZ 0_A do LPZ 1 dle ČSN EN 62305 Ed.2:2011 [26, s. 17] (více v kapitole 5).

- Odpojení pod zátěží

Norma dále v bodu 712.537.2.101 dává povinnost zavést do systému odpínač na DC straně měniče z důvodu umožnění údržby pod zátěží. Odpínač musí být dostatečně robustní na zhášení stejnosměrného oblouku při maximálním napětí až 760 V a maximálního proudu celého pole, tedy 2 x 14,2 A. Tento odpínač je již běžně součástí střídače, ale z hlediska protipožární ochrany a bezpečnosti při obsluze střídače je výhodou mít výkonový odpínač samostatně, jak

³¹ SPD je anglická zkratka (surge protection device) pro svodiče přepětí

je zevrubně popsáno zde [27]. Vhodné odpínače vyrábí například EATON, z katalogu jsem vybral variantu PKZ-SOL30 pro jmenovitý proud 30 A a napětí až 900 V, jež kombinuje funkci odpínače pod zátěží a nadproudové ochrany s nastavitelným odpínáním v mezích 23–30 A. Tato ochrana ale není vyžadována.

- Spojovací skříně (stringboxy)

Pro sloučení řetězců před střídačem a zařazení ochran budou před střídač ještě dva stringboxy, jeden pro paralelní zapojení řetězce I a III, druhý pro zbylé dva řetězce. V každém bude zapojena stejná souprava výše jmenovaných ochran, tyto skříně budou tedy plnit úlohu RDC rozváděče a budou ve stejné místnosti jako střídač v co nejmenší vzdálenosti. Propojení stringboxů se střídačem bude s ohledem na dvojnásobný protékající proud realizováno kabelem H1Z2Z2-K 16 mm². Těchto skříní je na trhu velké množství, dobře konfigurovatelnou s vestavěnými přepět'ovými ochranami Dehn vyrábí firma Wiedmüller.

3.2.2.6. Bateriové úložiště

Posledním součástí stejnosměrné strany systému je bateriové úložiště. Nejedná se o povinný prvek, avšak zásadní vzhledem k ekonomickému a ekologickému smyslu fotovoltaického systému. Kapacita bateriového úložiště by měla odpovídat instalovanému výkonu systému. Bateriové úložiště je součástí kompletu střídače Wattsonic, přičemž jmenovité napětí jednoho modulu je 38,4 V a jeho kapacita, respektive akumulovaný náboj je 3,84 kWh. Těchto modulů lze sériově propojit až 21. Zásadním rozdílem dimenzování akumulace energie oproti její výrobě je nutnost znalosti plánované spotřeby, neboť nadbytek ve výrobě je možné prodat do sítě, avšak kapacitu úložiště je třeba navrhnout tak, aby na jednu stranu plnila svou úlohu zdroje energie pro dobu, kdy FV generátor elektřinu nedodává, tudíž nemůže být příliš malá a na stranu druhou aby odpovídala spotřebě, jelikož příliš velké bateriové úložiště je ekonomicky velmi nákladné a navíc mají akumulátory mnohem menší životnost, než FV moduly. Pro větší kapacitu úložiště ale hovoří fakt, že existuje úměra mezi životností baterie a počtem nabíjecích cyklů, které je pochopitelně větší u systému s menší kapacitou. Kapacita bateriového úložiště není tak jen technickou, ale také ekonomickou záležitostí, neboť s ohledem na cenu a na návratnost systému je nutno specifikovat, která zařízení by měla být zálohována a jaké množství energie akumulovat a jaké přeprodávat do distribuční sítě. Takováto komplexní analýza není ambicí a cílem této práce. Na tomto místě zhodnotím tedy pouze technické možnosti a parametry systému; Kapacita jedné baterie je rovna:

$$Q = \frac{W}{U} = \frac{3840}{38,4} = 100 \text{ Ah}$$

Výrobce udává max. účinnost konverze nabíjení je 97,3 %. Při nominálních pracovních podmínkách bude systém schopen dodávat výkon 18738 W, při napětí 537 V a proudu 17,44 A (dodávaném ze dvou DC vstupů). Jmenovité napětí střídače 620 V bude přibližně naplněno při zařazení 16 bateriových modulů. To odpovídá energii 61,4 kWh, kterou ale můžeme spotřebovat maximálně z 90 %, jak určuje parametr DoD³², tedy doporučená hloubka vybití. Výslednou energii 55,3 kWh bude schopen FV systém do baterií uložit (při započtení ztrát 2,7 %) přibližně za 3 hodiny. Pokud svítí Slunce průměrně během 12 hodin denně, pak je logické navrhnout bateriové úložiště na čtyřnásobek uložené energie, tedy 245,6 kWh, což vychází na celkově 64 bateriových modulů zapojených sérioparalelně 16 x 4 s kapacitou 400 Ah. Výrobce garantuje provoz bateriového modelu na 10 let nebo 7000 cyklů vybití při 90 % DoD. Celý bateriový systém je řízen jednotkou BMS master, jehož funkcí je vyrovnávání napětí na článcích, výpočty SOC a SOH³³ nebo stavu nabití článku a tzv. stavu života, který je definován poměrem aktuální kapacity článku ku jeho celkové kapacitě. Řídící jednotka obsahuje také ochrany proti přepětí a podpětí a ochranu proti nízké teplotě a přehřátí.

3.2.2.7. Střídač

Stejnoseměrná část FV systému je ukončena střídačem. V případě zvoleného WTS-20KTL-HT se jedná o beztransformátorové zapojení, což s sebou nese výhody ve formě vyšší účinnosti konverze stejnosměrného na střídavý proud oproti variantě s transformátorem, kde významnou roli hrají ztráty v magnetickém obvodu a Jouleovy ztráty ve vinutí transformátoru. Další významnou hodnotou je také nižší hmotnost a nižší cena. Toto zapojení s sebou ale nese i jisté nevýhody spojené s přítomností galvanického propojení střídavé a stejnosměrné strany. Tou první je nutnost užití proudového chrániče citlivého na stejnosměrnou složku proudu zařazeného mezi střídač a střídavou síť, jak požaduje norma ČSN EN 62109-2³⁴ [28, s. 19]. Druhou

³² Depth of Discharge

³³ SOC = State of Charge, SOH = State of Health

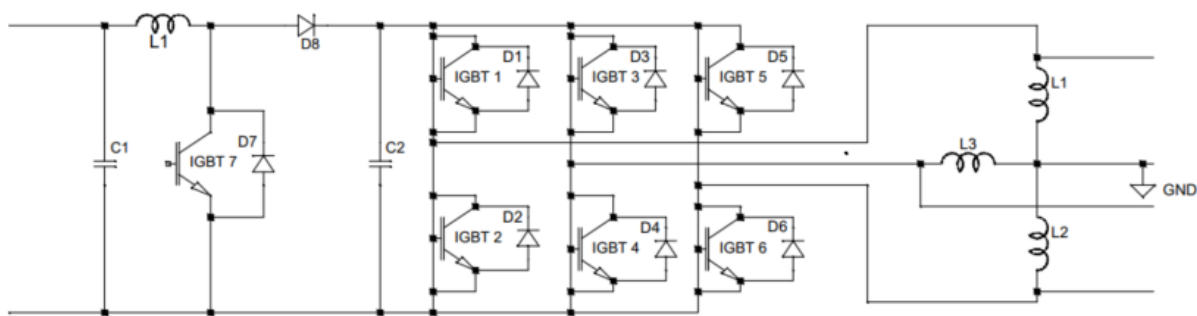
³⁴ ČSN EN 62109. *ČSN EN 62109 Bezpečnost výkonových měničů pro použití ve výkonových fotovoltaických systémech: Část 2: Zvláštní požadavky pro střídače.*

nevýhodou takového zapojení je (jak je vidět na schématu elektrického zapojení 3f střídače na obrázku 15 namodelovaném v programu v LT Spice) nemožnost uzemnění samotného obvodu střídače. To má za důsledek existenci rozdílného potenciálu FV pole vůči zemi. Část řetězce je polarizována kladně, část záporně, přičemž význam tohoto faktu narůstá směrem k okraji řetězce, kde se pak může nejvíce projevit takzvaná porucha PID - potenciálem indukovaná degradace, která vede ke snižování účinnosti FV modulů. Příčinou tohoto jevu je nabíjení a vybíjení parazitní kapacity mezi FV články a rámem modulu.

Tato kapacita podstatně vzrůstá za vlhkého počasí v důsledku značné permitivity vody ($\epsilon_r = 80$). Velikost svodového proudu, který může být také nebezpečný při dotyku lze pak získat vztahem:

$$I_{Cp} = C_p * U_{cp} * 2\pi f$$

Rovnice 25



Obrázek 10: Schéma zapojení 3f on-grid střídače (namodelováno v programu LT Spice)

Svodový proud tedy roste s frekvencí, napětím a parazitní kapacitou. Při napětí řetězce nad 600 V je již třeba se svodovými proudy seriózně zabývat. Problém s absencí galvanického oddělení je ovšem i na AC straně vedení, kde v důsledku průniků pulzujících i vyhlazených stejnosměrných proudů dochází k průchodu reziduálních proudů nulovým vodičem. Norma ČSN EN 62109-2 čl 4.8.1 [28, s. 16], tabulka 30, nařizuje tyto proudy detekovat a aktivovat případně proudový chránič typu B s vybavovacím proudem do 30 mA, odpojit střídač od sítě a indikovat poruchu dle čl. 13.9.

- Spolupráce střídače se sítí

Vybraný střídač bude připojen paralelně s k distribuční síti. Podmínkou takové spolupráce je shodná frekvence na výstupu střídače se sítíovou frekvencí. Aby toho bylo dosaženo, je

frekvence střídače v režimu on-grid³⁵ přímo řízena frekvencí sítě. Norma [28, s. 14] určuje požadavky na tvar výstupního napětí střídače. Tím je sinusová vlna s celkovým THD nejvýše 10 %, přičemž žádná jednotlivá harmonická nesmí přesahovat 6 % základní složky. Sinusový tvar signálu je dosahován pulzně šířkovou modulací (PWM), díky které lze řídit tvar i efektivní hodnotu výstupního signálu. Z teorie výkonové elektroniky [29, s. 139] je známo, že požadovaného průběhu se dosahuje spínáním jednotlivých tranzistorů ve střídači při každém průniku stejnosměrného signálu s referenčním pilovitým signálem. Právě frekvence tohoto pilovitého signálu je plně synchronizována se sítí. Střídač ale je schopen přejít (v případě výpadku sítě i do off-grid režimu. V takovém případě pracují s vnitřní referenční frekvencí v mezích 46 – 55 Hz. To je možné díky práci s plně říditelnými součástkami (bipolární tranzistory a IGBT), které nevyžadují síťovou komutaci jako je tomu u tyristorů. Menší nevýhodou tohoto řešení je větší úbytek na polovodičových součástkách v sepnutém stavu.

Pro on-grid režim (respektive připojení FV systému k DS) je třeba vyhovět požadavkům, které na systém klade distributor v PPDS a které byly zmíněny v kapitole 2. Na výstup střídače jsou pak kladeny zejména tyto požadavky:

- Maximální výkon na výstupu střídače (maximální 10 - minutová střední hodnota) musí být omezen na nejvýše 110 % jmenovitého výkonu.
- Střídač je spínán bez napětí, pokud je ale schopen ostrovního provozu a je spínán pod napětím je zapotřebí dodržet tyto podmínky:
rozdílnost napětí na střídači oproti síti $\max \Delta U < \pm 10 \% U_n$
rozdílnost frekvence $\max \Delta f < \pm 0,5 \% Hz$
rozdílnost fáze $< 10^\circ$
- Dlouhodobý flickr je omezen na $P_{lt} \leq 0,46$
- Proud harmonických musí být uveden v certifikátu výrobního modulu, popř. ve zprávě o typové zkoušce.

Aby střídač vyhověl, musí splňovat tyto limity proudů vyšších harmonických:

³⁵ Režim paralelního provozu s distribuční sítí.

Řád harmonické	Přípustný vztažný proud [A/MVA]
3	3,0
5	1,5
7	1,0
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15

Tabulka 6: Meze proudů vyšších harmonických výroby připojené k DS

Maximální přípustný proud I_{vnn} se získá podle vzorce:

$$I_{vnn} = i_v * \frac{S_{KV}}{\sin \psi_{KV}} [A]$$

Rovnice 26

Kde $\sin \psi_{KV}$ odpovídá poměru reaktance a celkové impedance v přípojném bodě, v blízkosti transformátoru se blíží 1. Celkové schéma zapojení stejnosměrné části FV systému je na výkresu 3.

4. Návrh silových rozvodů střídavého proudu

Návrh střídavé silnoproudé elektroinstalace bytového domu rozdělím do tří podkapitol:

- na část společných spotřeby, respektive spotřeby společných prostor, za kterou považují ohřev TV, centrální vytápění, osvětlení společných prostor, společné elektrické pohony (výtah, garážová vrata, nucený oběh vzduchu) či společné zásuvky,
- na část soukromou, kde uvedu příklad jedné bytové jednotky, k níž z pohledu elektroinstalace náleží vedení od elektroměru k bytové rozvodnici a dále k zásuvkám, k osvětlení a k elektrickému sporáku,
- na rozvody silové elektřiny od elektrické přípojky ke spotřebičům a od střídače k elektrické přípojce, které byly již částečně popsány v předchozích dvou kapitolách. Zde budou doplněny dimenze a vedení těchto rozvodů a návrhy silových rozváděčů objektu v návaznosti na vypočtenou spotřebu soukromých a společných prostor a propojení AC strany FV systému na elektrickou přípojku a spotřebiče.

4.1. Společné prostory

V rámci společných prostor uvažují společnou spotřebu energie, která bude mít jeden elektroměr společný pro celý dům v hlavním rozváděči v blízkosti pojistkové rozpojovací skříně, kam bude vyvedeno také samostatné vedení z kotelny a strojovny. Rozvody pro společné osvětlení budou vedeny v rámci HDV, jelikož očekávaný úbytek napětí a proudové zatížení spojené se společnou spotřebou by se mělo vejít do rezervy HDV. Strojovna a kotelná budou mít vlastní vedení z důvodu velkého výkonu tamních spotřebičů. V rámci této práce nelze popsat veškerou silnoproudou elektroinstalaci bytového domu, proto jsem si vybral tři položky, které považují za nejvýznamnější a které se svým fungováním a způsobem užívání významně liší. Jedná se o osvětlení, vytápění a ohřev TV a výtah. Nejprve se tedy budu věnovat osvětlení společných prostor.

4.1.1. Osvětlení společných prostor

Obecně se počítá s osvětlením LED zářivkami, přičemž ve společných prostorech je specifikum nastavení časově omezených spínání pomocí časových relé. Pak není třeba fyzické spínání. Pro správnou funkci automaticky pracujícího časově omezeného osvětlení je ale třeba spolupráce silových obvodů s prvky slaboproudé techniky (fotobuňkami), které zde nebudou blíže

popisovány. Lze také nastavit mechanismus fyzického spínání s časovačem – na místě spínače je časově programovatelné tlačítko.

Vnitřní společné komunikace se z hlediska jejich osvětlení rozdělují na:

- schodiště (svislé komunikace),
- chodby (vodorovné komunikace),
- vstupy do výtahů,
- vstupy do bytů,
- technické chodby
- vchod do domu [30, s. 47].

Na jeden světelný obvod se smí připojit tolik svítidel, aby součet jejich jmenovitých proudů nepřekročil jmenovitý proud jistícího přístroje. Jmenovitý proud se stanoví z maximálního příkonu, pro který jsou svítidla typována. Světelné obvody jsou jištěny minimálně na 10 A, maximálně 25 A. Pro všechny světelné obvody ve společných prostorech uvažují zapojení v síti 1 N PE 230 V 50 Hz TN-S. Při jištění 10 A, jak je pro světelné obvody typické, tedy jmenovitý příkon spotřebičů nemůže přesáhnout 2300 W. Je třeba si uvědomit, že LED zářivky, jakožto polovodičové prvky neodebírají pouze činný výkon, ale také jalový výkon kapacitního charakteru, který je ve vnitřních obvodech zářivek kompenzován tlumivkou. I tak je zdánlivý příkon vyšší než činný a proudový odběr LED zářivek je o něco větší, než by odpovídalo jejich výkonu [31]. Odběr jalové energie a další rozbor tohoto jevu (celkový vliv na síť, emise vyšších harmonických, či možná kompenzace) přesahuje možnosti této práce a nebude dále rozebírán. Pro dimenzi světelných obvodů tudíž nadále budu pracovat s odběrem proudu odpovídajícímu požadovanému činnému výkonu zářivek. I tak ale návrh považuji za funkční, neboť ve světelných obvodech zachovávám velkou rezervu mezi jištěním a odběrem proudu a případný pokles účinníku je tedy takto dostatečně kompenzován.

3.1.1.1. Schodiště (svislé komunikace)

Osvětlení schodiště musí spolehlivě plnit svou bezpečnostní funkci. Vždy je třeba, aby byl dobře osvětlen první schod. Pro nastavení intervalu časového spínače osvětlení je v literatuře [30] uváděna doba 35 s na překonání schodiště mezi dvěma podlažími. Pro ruční ovládání osvětlení je obvyklé připojit u dolního a horního vstupu na schodiště tzv. schodišťový (střídavý)

vypínač umožňující spínání a vypínání z obou těchto míst. Článek 5.6.2 normy ČSN 33 2130³⁶ stanovuje v tabulce 1 pro bytové obvody zapojení osvětlení se dvěma nebo více obvody pro případný záskok v případě poruchy. Za jednoduchý způsob, jak takovému požadavku dostát, považuji užití víceokruhových svítidel. Schéma zapojení s víceokruhovým světelným vývodem a dvěma střídavými vypínači č. 6 je na výkresu 4, list 1. Při osvětlení schodiště se běžně používají pohybová čidla, která řídí spínání jednotlivých světel lemujících schodiště.

Norma ČSN EN 12464-1 čl. 5.3³⁷ [32, s. 21] stanovuje pro osvětlení schodiště hladinu 100 lx.³⁸ To je intenzita osvětlení, kterou při poloměru 2,6 m poskytuje 5 W LED zdroj (1 x 5 W LED zářivka svou svítivostí odpovídá klasické wolframové zářivce poměrem zhruba 1:8, tedy v tomto případě by se jednalo o 40 W klasickou zářivku). Z dispozice (příloha 1) schodiště vyplývá, že délka schodiště mezi podlažím a podestou je vždy 2,4 m a převýšení 1,3 m. Je tedy jasné, že tento jeden 5 W zdroj bude dostačující pro jedno takové schodiště. Mezipatro pak má délku 4,6 m, proto připočteme ještě jeden 5 W zdroj tam. Požadovaný výkon osvětlení mezi dvěma patry je tedy 15 W. Výška spínačů nad podlahou by měla být ve výšce 1,3 m vždy na rohu schodiště a chodby na straně schodiště.

3.1.1.2. Chodby (vodorovné komunikace)

Při umístování svítidel je třeba dbát na dobré osvětlení vstupů do bytů (s ohledem na to, aby dobře byly vidět jmenovky na dveřích a zvoncích a aby osoby v bytě dobře viděly na osoby na chodbě průhledem ve dveřích. Pro návrh osvětlení hlavních chodeb je zásadní poloha schodiště. Celková délka chodby je 2550 cm a šířka 155 cm. Délka jižní strany chodby ke schodišti je 1023 cm, schodiště má 460 cm a zbytek, tedy 1067 cm má severní strany chodby od schodiště. Bude třeba mít spínače na třech místech chodby – jeden v hloubi severní strany chodby, druhý na pravém rohu chodby a schodiště na stěně ze strany chodby (opět ve výšce 1,3 m) a třetí v hloubi jižní strany chodby. Druhým požadavkem na tento obvod je, aby ze všech třech míst bylo možné rozsvítit i zhasnout severní i jižní světlo nebo obě. A opět je třeba volit zapojení se dvěma světelnými obvody, čili s užitím dvouokruhového stropního svítidla. Takové zapojení

³⁶ ČSN 33 2130 Elektrické instalace nízkého napětí- Vnitřní elektrické rozvody. Ed. 3

³⁷ ČSN 36 0450 EN 12464-1. ČSN 36 0450 EN 12464-1 Světlo a osvětlení: Část 1: Vnitřní pracovní prostory.

³⁸ lx = Lux - odvozená jednotka popisující fotometrickou intenzitu osvětlení

Lze realizovat křížovým vypínačem, nelze tímto způsobem ovládat dva vývody nezávisle, takže bude třeba instalovat dva obvody s křížovými vypínači. Schéma zapojení jedné chodby je na výkresu 4, listu 2.

Na schématu v příloze jsou naznačeny dvě vodivé cesty, při kterých bude zářivka svítit. U středového (křížového – č.7) vypínače jsou provedeny ještě přemostění mezi opačnými póly, které zajišťují možnost sepnutí, ať jsou oba krajní střídavé vypínače (č.6) v jakékoli poloze.

Požadavek na intenzitu osvětlení chodeb je dle normy 100 lx stejný jako u schodišť. Vzhledem k prostoru, který by měl být osvětlován každým svítidlem (12,75 x 1,55) m, a světlé výšce mezi stropem a podlahou 300 cm, bude výkon LED zářivky stanoven podle referenční 5 W zářivky, schopné poskytovat v poloměru 2,6 m svítivost 100 lx. Při vzdálenosti 12,75 (vždy jedná část chodby a zhruba polovina prostoru před schodištěm) je třeba instalovat tři rovnoměrně vzdálené LED zářivky o výkonu 5 W zhruba do výšky 2,6 m pro dosažení požadované intenzity osvětlení v celém prostoru. Celkově tedy na osvětlení chodby je třeba instalovat 6 x 5 W LED zářivek, vždy tři v sériovém zapojení podle schématu na obrázku č. 19. Zvláštní péči je nutno věnovat osvětlení vchodu do výtahů. Ty se podle dispozice stavby budou nacházet v meziprostoru mezi schodištěm a chodbou a norma požaduje intenzitu osvětlení 200 lx před výtahy. Toto bude řešeno umístěním 10 W stropní LED zářivky aktivovanou pomocí dveřního spínače výtahu, který zajistí, že při otevření dveří výtahu s přijíždějícími osobami a otevíráním dveří výtahu se současně rozsvítí toto světlo. Takové zapojení lze opět kombinovat s prvky slaboproudé techniky, neboť se k němu hodí senzor intenzity osvětlení, který řídí, zda bude světlo zapnuto či nikoli. Nejjednodušší zapojení s dveřním spínačem, které zahrnuje pouze silový obvod je na listu 3, výkresu 4. Obvod bude jištěn v hlavním rozváděči jističem charakteristiky B, 10 A.

- Jištění a průřezy vodičů

Průřez vodičů pro světelné okruhy společných prostor bude volen 3 x 1,5 CYKY-J, jištění 10 A charakteristiky B v hlavním rozváděči objektu. Propojení obvodů se střídavými vypínači bude řešeno kabelem CYKYLo-O 3 x 1,5. Propojení mezi vypínačem a světlem bude vedeno kabelem CYKY-O 3 x 1,5.

- Příkon světelných obvodů

Příkon rezervovaný pro osvětlení společných prostor je v tabulce (níže). Jedná se maximální číslo kalkulované pro případ, kdy by byla ve všech patrech zapnuta všechna světla obou okruhů (tedy i záložního).

příkon světla [W]	počet - schodiště	počet - chodby	počet - výtah	celkem [W]
5	30	60		450
10	0	0	10	100
dohromady				550

Tabulka 7: Souhrn instalovaného příkonu osvětlení společných prostor

Je třeba vzít do úvahy fakt, že se v žádném případě nejedná o veškeré osvětlení společných prostor, neboť není zahrnuto osvětlení kotelny, strojovny, garáží, vchodového prostoru apod.

4.1.2. Ohřev TV a centrální vytápění

Nejvýznamnějším spotřebičem energie v tomto bytovém domě je ohřívač vody, která poté dále bude sloužit zejména k vytápění, v menší míře také na mytí, vaření apod. (nepočítám praní, neboť pračka je samostatný spotřebič). Český statistický úřad uvádí, že na vytápění a ohřev vody připadají čtyři pětiny spotřeby energie domácností v ČR [33]. Ačkoli v dnešní době nebude navržený centrální způsob ohřevu vody jistě nejběžnější (pro bytové domy je hojně využíván odběr z výměňkových stanic tepla, případně centrální domovní z plynových kotlů), pro účely této práce volím model centrálního elektrického ohřevu v kotelně, který bude rozváděn do potrubí centrálního vytápění i k vodovodním stoupačkám. Bude tedy třeba systém dimenzovat na velký výkon a vést k němu samostatné vedení a samostatně ho jistit. Nejsilnějším argumentem pro takový systém je přítomnost FV výroby, jejímž primárním odběratelem bude právě kotelna.

3.1.2.1. Požadovaný výkon systému

▪ Topení

Požadovaný instalovaný výkon otopného systému je nutno dimenzovat podle tepelných ztrát objektu v nejméně chladném období roku. Zjištění těchto dat předchází zevrubný energetický posudek, který bere v úvahu prostupy tepla jednotlivými částmi objektu. Zásadní veličinou určující tepelné ztráty je tepelný odpor R_t , či spíše jeho převrácená hodnota, tedy tepelná vodivost. Častěji je ale ve stavebnictví užívána veličina U – součinitel prostupu [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$], která odpovídá tepelné vodivosti. Její hodnota je dána použitým materiálem a jeho objemem. Základem tvorby výpočtu tepelných ztrát je tedy stanovení hodnoty U pro klíčové prvky obálky objektu, zejména obvodové zdivo, stavební otvory (okna, dveře), stropy, podlahy. Pro výpočet ztrátového výkonu pak použijeme vztah:

$$\Delta P = \Delta T * \sum U_i * S_i [W]$$

Kde ΔP a ΔT představují ztrátový výkon, respektive kompenzovaný rozdíl teplot a $\sum U_i * S_i$ pak sumu součinů součinitele tepelného prostupu a plochy i-tého použitého prvku stavby.

Pro stanovení nutného výkonu otopné soustavy je pak dobré zakomponovat další vlivy jako tzv tepelný zisk, který budova získá vařením, výkonem puštěných strojů, vyzařováním osob a také solární zisky, tedy zisky slunečním zářením či rekuperace tepla (je-li v budově zavedena). Zásadním faktorem je ale právě součinitel prostupu tepla. Jelikož není v možnostech této práce provádět celistvý energetický posudek, použijí pro výpočet tepelných ztrát kalkulačku serveru TZB-INFO.cz [34]. Výsledek, po vyplnění nezbytných parametrů objektu, je vidět na obrázku níže:

Typ konstrukce (větrání)	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	12,100
Podlaha	2,646
Střecha	6,240
Okna, dveře	4,514
Jiné konstrukce	0
Tepelné mosty	1,719
Větrání	49,741
--- Celkem ---	76,960

Obrázek 11: Výsledek kalkulace tepelných ztrát pomocí serveru TZB-INFO.cz

Lze tedy s drobnou rezervou uvažovat ztrátový výkon 77 kW (při venkovní teplotě -13 °C, která je tímto kalkulátorem považována za běžné roční minimum pro lokalitu bytového domu – St. Čechy – Polabská nížina a žádané teplotě 20 °C, kterou by topný systém měl udržovat). Jelikož účinnost elektrokotlů (tedy účinnost přeměny činného příkonu na teplo v ohříváném médiu) je v současné době téměř stoprocentní, pak není třeba vybírat kotel s velkou rezervou nad vypočtenou hodnotou.

- Ohřev TV

Při použití elektrokotlů pro ohřev TV se rozlišují dva způsoby – zásobníkový a přímotopný. Přímotopný nebudu dále rozebírat, neboť jeho provoz v podmínkách navrhovaného bytového domu nemá ekonomické ani technické opodstatnění. Naopak pro zásobníkový způsob hovoří fakt, že při napájení ze sítě je možno využít dvousazbový tarif dodavatele elektřiny (D057d), který, oproti jednosazbovému, dává možnost mimo stanovenou špičku odebírat elektřinu

výrazně levněji. Zásadní je ale také možnost fotovoltaického ohřevu jako způsobu akumulace elektriny získávané z FV systému. Vzhledem k existenci kotelny v suterénu domu také není problém s dimenzí zásobníku vody, co se prostoru týče. Dimenze výkonu systému ohřevu vody je pochopitelně přímo odvislá od dimenze (objemu) zásobníku. Jeden ze způsobů výpočtu objemu zásobníku, který vychází z normy ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování, uvádí Ing. Roman Vavříčka Ph.D z Fakulty strojní ČVUT v recenzovaném článku na serveru TZB-INFO: [35]. V této normě se počítá se spotřebou 82 l na osobu a den. Potom při průměru 2,3³⁹ osoby na jednu domácnost a 40 bytů v domě, jak vyplývá z údajů posledního sčítání lidu, domů a bytů [36], je celková potřeba TV 7544 l. Další vstupní parametry souladu s normou nastavíme takto:

Teplota vstupní vody $T_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Teplota výstupní vody $T_2 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

Měrná tepelná kapacita vody $c = 1,163 \text{ kWh} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1}$

Účinnost ohřevu elektrickým proudem $\eta = 0,99$

Koeficient poměrných ztrát tepla při distribuci TV $z = 0,5$

Celkové požadované teplo na ohřev potřebného objemu vody je tedy každý den následující:

$$Q_c = ((1 + z) * c * V_c * \Delta T)$$

Rovnice 28

$$Q_c = 1,5 * 1,163 * 7,754 * 45 \cong 608,7 \text{ kWh}$$

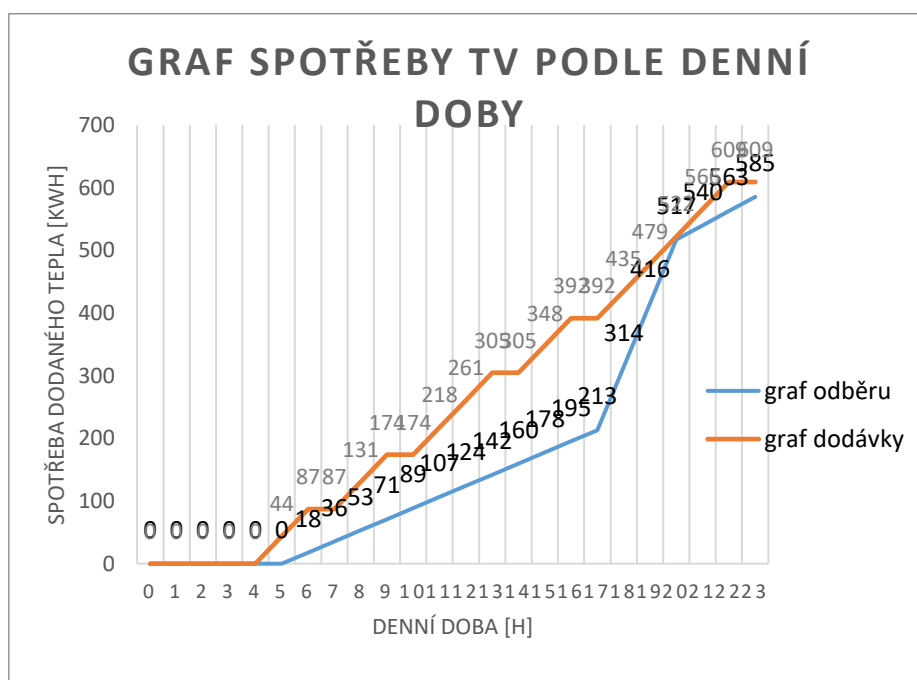
Při návrhu je nutno reflektovat očekávanou strukturu odběru TV podle denní doby. Viz tabulka níže:

Denní doba	Podíl spotřeby TV [%]	Podíl spotřeby TV
0 - 5 h	0%	0
5 - 17 h	35%	213
17 - 20 h	50%	304
20 - 24 h	15%	91

³⁹ Nedá se vyloučit, že bude bytový dům obývat větší množství lidí, než odpovídá statistickému průměru. Nicméně dimenze zásobníku vody a instalovaného výkonu má dostatečnou rezervu, neboť, jak zmiňuje autor článku Ing. Vavříčka, 82 litrů teplé vody na osobu, jak požaduje norma, je v jistém nesouladu se skutečností. Reálná spotřeba na obyvatele se mnohem více blíží 50 l.

Tabulka 8: Spotřeba TV dle denní doby

Pokud hodnoty zaneseme do grafu, můžeme na základě rozdílu odhadu reálné spotřeby a dodávky stanovit ΔQ_{\max} , tedy maximální převis mezi odběrem a dodávkou. Dodávku řídí dva faktory – tím prvním je spínání nízkého tarifu dodavatele elektřiny, který je ve zvolené sazbě 20 hodin denně mimo definované časy, což jsou patrné hodinové úseky během dne, kdy graf dodávky nenarůstá. Druhým faktorem je pak výroba z fotovoltaiky, která je očekávaná pouze v časech 7 – 18 hodin. Schéma dodávky je tedy voleno jako kompromis mezi ekonomickým provozem a počáteční investicí. Čím více je dodávka elektřiny posunutá do večerních hodin, tím menší je vliv přímého ohřevu z fotovoltaiky. Na druhou stranu, pokud by ohřev byl skutečně směřován pouze do času, kdy svítí slunce, pak by instalovaný výkon systému a objem zásobníků byly neúměrně velké. Fotovoltaický systém je navíc navržen na akumulaci do baterií, která může ve večerních a nočních hodinách dodávku elektřiny ze sítě v příznivých měsících zastat. Zásadou návrhu je, že graf dodávky se v žádný okamžik nesmí dostat pod graf odběru, jinak by v systému chybělo požadované teplo. Schéma níže počítá s ohřevem 14 hodin denně, během kterých je třeba dodat 609 kWh tepla.



Obrázek 12: Graf spotřeby TV dle denní doby s vyznačením ΔQ_{\max}

Klíčový pro stanovení objemu zásobníku je maximální rozdíl mezi grafem dodávky a odběru TV označený ΔQ_{\max} . Tento rozdíl naznačuje, že v následujícím čase bude největší odběr TV. Pokud by odběr byl konstantní v průběhu celého dne, pak by graf odběru byl lineární a takřka totožný s grafem dodávky. Zásobník vody by potom mohl být dimenzován na minimální objem.

Hodnota ΔQ_{\max} odečtená z grafu je 196 kWh a nastává v 16 h. Objem zásobníku se pak stanoví odvozením z rovnice 28 tedy:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max}}{c \cdot \Delta T} = \frac{196}{1,163 \cdot 45} \cong 3,75 \text{ m}^3$$

Potřebný instalovaný výkon systému se pak spočítá podle vztahu:

$$P_{INST} = \frac{Q_c}{t_{prac} \cdot \eta} = \frac{609}{14 \cdot 0,99} \cong 44 \text{ kW}.$$

Rovnice 29

kde t_{prac} představuje pracovní čas, tedy dobu aktivního ohřevu vody [hod].

- Shrnutí

Celkový instalovaný výkon v kotelně, nutný k vytápění objektu a ohřevu TV je 121 kW. Pro ohřev TV bude třeba zásobníků o objemu minimálně 3,75 m³. Vstupní teplota pro vytápění bude nastavena na 55 °C a bude tedy sjednocena s požadovanou teplotou pro ohřev TV.

4.1.2.2. Elektrické zapojení kotle

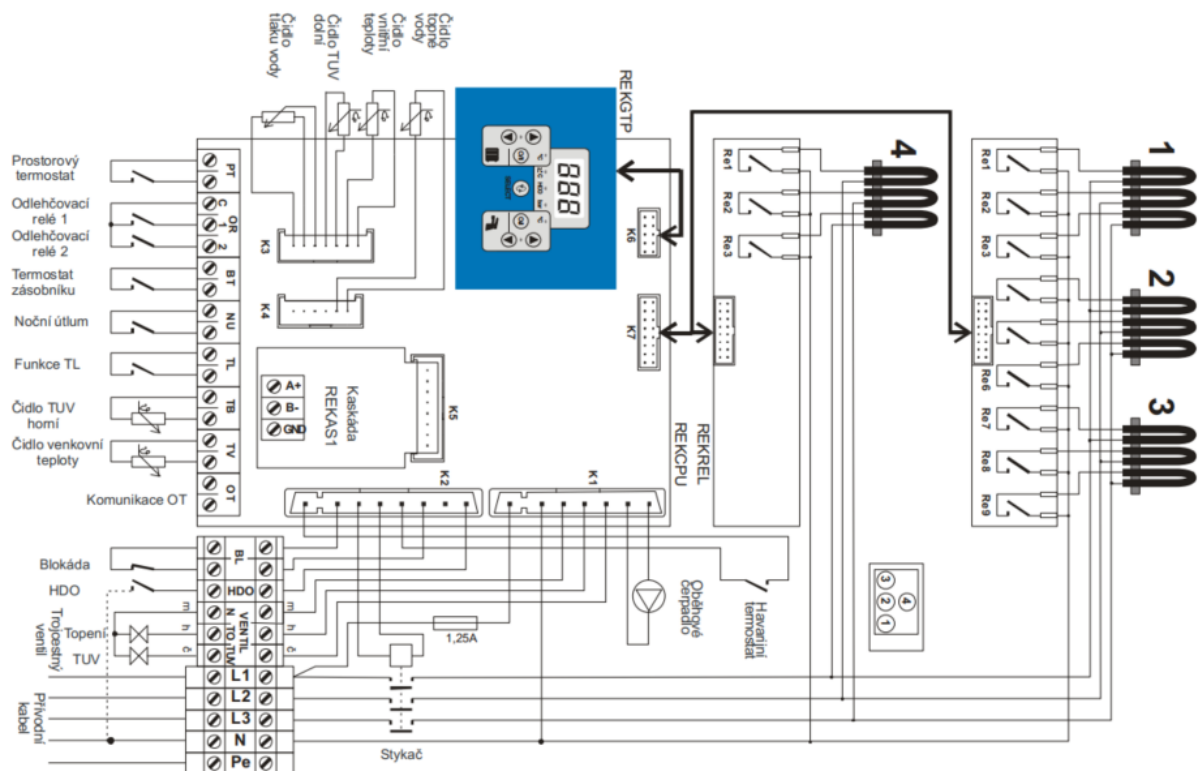
Z nabízeného sortimentu elektrokotlů jsem zvolil kaskádový systém českého výrobce elektrokotlů Thermona. Jedná se o skokově regulovatelný systém (s minimálním stupněm regulace 2,5 kW) typu PID⁴⁰ A s možností připojit do kaskády až 32 kotlů o různém výkonu. Díky systému trojcestných ventilů, které neumožňují smísení užitkové vody pro otopný systém a vody pitné, vhodné na mytí, lze systém provozovat jak pro vytápění, tak pro ohřev vody do domácností. Do systému zařadím 4 elektrokotle řady THERM-EL o celkovém instalovaném výkonu 127,5 kW (3 x THERM EL 30, 1x THERM EL 38), které budou umístěny v suterénu objektu. V katalogu výrobce jsou uvedeny klíčové elektrické parametry:

⁴⁰ PID = proporcionální – integro-derivační

Elektrokotle zapojené v kaskádě		
Model	THERM EL 30	THERM EL 38
Jmenovitý tepelný výkon [kW]	30	38
Minimální regulační stupeň výkonu [W]	2500/5000	2500/5000
Počet stupňů regulace výkonu [-]	9	9
Jmenovitý proud (jedné fáze) [A]	44	55
Stupeň elektrického krytí [-]	IP 40	IP 40
Jmenovitá napětí a frekvence	3 x 400 V + N + PE 50 Hz	
Maximální jmenovitý proud [A]	3 x 48	3 x 60
Hlavní jistič elektroinstalace [A]	50	63
Jmenovitý proud pojistky ovládání [A]	1,25	1,25
Elektrická životnost relé [-]	10 ⁵ cyklů	10 ⁵ cyklů
Mechanická životnost relé [-]	10 ⁷ cyklů	10 ⁷ cyklů
Účinnost při jmenovitém výkonu [-]	0,99	0,99

Tabulka 9: Elektrické parametry kotlů zapojených do kaskády

Fyzikálně je ohřev tělesa realizován klasickými odporovými topnými tělesy, tedy na principu Jouleových ztrát. Napětí a proud v kotli by tedy měly být ve fázi a měly by mít sinusový průběh ($\cos \varphi = 1$). Kotel o jmenovitém výkonu 30 kW obsahuje 4 topné tyče, každá o výkonu 7,5 kW, které jsou složeny vždy ze tří těles o výkonu 2,5 kW. Varianta o výkonu 37,5 kW obsahuje tyčí 5. Spínání, elektrické jištění kotle a výkonových přívodů pro topné tyče není umístěno v kotli, ale je součástí el. rozvaděče bytu či domu. V pravé části kotle jsou soustředěny svorky hlavní elektrické instalace. V těsné blízkosti elektrokotle bude zapojen výkonový hlavní stykač sloužící k odepnutí elektrokotle od sítě [37, s. 3]. V kaskádovém zapojení jsou kotle k 3f síti připojeny paralelně a mezi nimi funguje regulační interface REKAS1. Pověly HDO z externího rozvaděče přijímá HDO kontakt řídicího kotle. Ten je spojen s N svorkou silového napájení kotle. V momentu příjmu signálu HDO (při startu nízkého tarifu) a sepnutí cívky příslušného relé je tímto způsobem ukončena blokáce. Pokud zároveň existuje požadavek na ohřev z regulace termostatem, dochází k sepnutí a ohřevu vody. Elektrické schéma kotle o výkonu 30 kW (z topnými tyčemi 1 – 4) z návodu výrobce je na obrázku níže:



Obrázek 13:Elektrické schéma kotle z návodu od výrobce [37]

Spínat jednotlivé fáze budou výkonové stykače dimenzované podle jmenovitého proudu fáze, tedy pro kotel THERM EL 30 to bude stykač firmy EATON, model DILM 50 (3P, 400 V AC, 50 A), pro kotel THERM EL 38 pak stykač DILM 63 (3P, 400 V AC, 63 A)

- Jištění a průřez připojovacích vodičů

Pro kotel THERM EL 38 o jmenovitém výkonu 38 kW a maximálním odebíraným proudem jedné fáze 60 A doporučuje výrobce při uložení ve zdi průřez připojovacího vodiče 16 mm², kabel CYKY-J 5 x 16. Pro sestavu kotlů o požadovaném jmenovitém výkonu stanovím odebíraný proud a průřez připojovacích vodičů výpočtem. Vyjdu ze vzorce pro výpočet činného výkonu 3f systému. Vzhledem k tomu, že výrobce neudává účinník $\cos \varphi$, budu předpokládat jeho hodnotu rovnou 1:

$$P_{\check{c}} = \sqrt{3} * U_s * I * \cos \varphi \text{ [W]}$$

Rovnice 30

Poměr mezi činným výkonem dodaným do soustavy a udávaným tepelným výkonem se rovná účinnosti zařízení (0,99), potom:

$$P_{\check{c}} = \frac{P_t}{\eta} \text{ [W]}$$

Činný elektrický výkon, který je třeba dodat je tedy pro celou kaskádu 128,8 kW. Jmenovitý proud se pak vypočítá odvozením z rovnice 30. Jeho velikost je 186,6 A. Maximální odchylku této hodnoty stanovuje výrobce na 10 %, tedy v tomto případě je třeba počítat s hodnotou 204 A. Průřez vodiče je třeba stanovit podle dovoleného tepelného namáhání a úbytku napětí. Při uložení pod omítkou (dle ČSN EN 33 2000 5-52⁴¹ typu C) podle tab. B.52.5 odpovídá při proudovém zatížení 204 A, a třem zatíženým vodičům s PVC izolací, průřez jednoho vodiče 95 mm², tedy kabel CYKY-J 5 x 95. Jištění bude realizováno výkonovým jističem 3P 250 A se zkratovou odolností 36 kA, model firmy EATON, model LZMC2. Pojistka v rozpojovací skříni, bude, stejně jako pojistky HDV, nožová, 400 A PNA 2 gG⁴². Ověření zkratové odolnosti viz podkapitola 4.3.

4.1.3. Výtah

Podle vyhlášky Ministerstva pro místní rozvoj č. 137/1998 Sb., o technických požadavcích na výstavbu se musí zřizovat v bytových domech s více než 4 nadzemními podlažími zřizovat výtah. Návrh výtahu připadá v rámci projektu především na profesi strojní. Nebudu se tedy věnovat detailně kleci ani zvedacímu ústrojí, ovšem důležité z hlediska elektroinstalace je znát parametry pohonu. Zúžím tedy tuto podkapitolu na dimenzi elektromotoru a jeho přívodní vodiče. Požadavky na výtahy pro přepravu osob a doporučení pro výtahy v bytových domech jsem vyčetl z normy ČSN EN 81-20⁴³ ed.2. Pro návrh pohonu je relevantní:

- Nosnost alespoň 630 kg (při požadavku na možnost přepravy osob na vozíku).
- Vhodná jmenovitá rychlost pro elektrické výtahy začíná na 0,63 m/s. Doporučená začíná na 1 m/s.

K těmto parametrům je třeba připočítat tzv zdvih výtahu, teda výška, mezi nejvyšším a nejnižším bodem pohybu, což je, vzhledem k plánovanému provozování výtahu mezi 1. podzemním podlažím a 5. nadzemním podlažím 24 metrů. K nosnosti je dále třeba připočítat hmotnost

⁴¹ ČSN EN 33 2000 5-52 - Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení

⁴² gG je charakteristika zaručující jištění proti zkratu i přetížení v celém rozsahu (v daném případě až do 120 kA)

⁴³ ČSN EN 81-20 ED.2 Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů - Výtahy pro dopravu osob a nákladů - Část 20: Výtahy pro dopravu osob a osob a nákladů

výtahové klece. Na tomto místě je třeba rozhodnout mezi trakčním provedením s protizávažím a bubnovým s navíjením lana na buben. Pro nosnosti nad 320 kg je vhodnější trakční provedení, které má díky protizávaží zhruba o 40 % nižší spotřebu na danou nosnost. Dle rešerše výrobců je pro trakční výtahy s nosností 630 kg běžná nosnost klece okolo 700 kg. Celková hmotnost poháněného ústrojí bude tedy 1330 kg. Výtah má aktivní zátěžnou charakteristiku, takže jeho pracovní bod se při zdvihu nachází v I. kvadrantu (je spotřebič energie) a získává polohovou energii, kterou při spouštění do systému vrací. Smysl jeho momentu se tudíž při změně smyslu otáčení nemění a motor se přesouvá do IV. kvadrantu, kde musí tvořit brzdný protimoment. Tuto funkci může z velké části převzít protiváha m_p , která naopak odlehčuje motoru při zdvihu klece. Návrh její hmotnosti jsem převzal z recenzované studie na serveru TZB-INFO [38] jako součet hmotnosti klece m_k a poloviny požadované nosnosti $\frac{m_q}{2}$, tedy 1015 kg. Požadovaný hnací výkon při rychlosti rychlostí 1 m/s uvažovaném gravitačním zrychlení $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a rozdílu hmotnosti klece a protizávaží se vypočte dle vztahu:

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{(m_{k+q} - m_p) \cdot g \cdot v}{\eta} \text{ [W]}$$

Rovnice 32

Kde η představuje účinnost, respektive koeficient mechanických ztrát, které vznikají třením zvedacího ústrojí a odporu vzduchu. Hodnoty těchto ztrát stanovím opět dle doporučení studie na 0,85. Potom výkon na hřídeli, který musí elektromotor dodat v ustáleném stavu (po rozběhu) je 3635 W. Pro svou nízkou spotřebu energie, tichý a dobře regulovatelný chod a absenci požadavku externího budiče jsou vhodnou volbou synchronní motory bez převodovky s buzením permanentními magnety. Takovéto výtahové stroje vyrábí česká firma EM Brno. Z nabízeného sortimentu bude pro tento účel vhodný dvoupólový stroj NL4150 o jmenovitém výkonu 4,5 kW. Parametry stroje jsou:

Parametry výtahového stroje	
Model	NL 41250
Jmenovitý hnací výkon [kW]	4,5
Moment [Nm]	450
Otáčky [min ⁻¹]	95
Rychlost pohybu klece [m/s]	1
Síťové napájení [V]	3 x 400 V
Síťová frekvence [Hz]	50
Napětí stejnosměrného obvodu U _{DC} [V]	560 V
Krytí	IP 40
Jmenovitý proud [A]	11,8
Příkon [kW]	5,9
Průřez vstupních vodičů [mm ²]	2,5

Tabulka 10: Parametry výtahového stroje EM Brno NL41250

Stroj je přizpůsoben pro napájení z frekvenčního měniče stíněným čtyřžilovým kabelem Ölflex 110 CY a maximálním průřez přípojovacích vodičů 2,5 mm², což je pro daný jmenovitý proud ve shodě s normou [39].

- Výběr frekvenčního měniče

Pro dané parametry motory bude vybrán frekvenční měnič pro výtahy firmy Yaskawa, model L1000A, který je uzpůsoben pro plynulý rozběh synchronních motorů buzených permanentní-mimagnety z nulové až frekvenci 120 Hz s rozlišením 0,001 Hz.

Parametry frekvenčního měniče	
Model	Yaskawa L1000A
Max výkon motoru [kW]	7,5
Jmenovitý výstupní proud [A]	18
Jmenovité výstupní napětí [V]	3 x 400 V
Jištění [A]	25
Třída jištění	gG
Síťové napájení [V]	3 x 400 V
Síťová frekvence [Hz]	50
Zdánlivý výkon [kVA]	13,7
Jmenovitý vstupní proud [A]	20
Průřez vstupních vodičů [mm ²]	4

Tabulka 11: Katalogové parametry vybraného frekvenčního měniče

Z výběru plyne, že frekvenční měnič je oproti požadavkům stroje výkonově spíše naddimenzován. Díky vektorové regulaci pohonu to ale vzhledem ke spotřebě nepředstavuje žádný problém. Před frekvenční měření bude zařazen stykač Schneider 3P, 32 A, AC-3, 400 V AC. Před

motorem budou zařazeny dva motorové stykače Schneider LC1D258V7, 2Z + 2V, 25 A 400 V AC. Schéma zapojení pohonu výtahu je na výkresu 5.

4.2. Soukromé prostory

Soukromé prostory v bytovém domě pro účel této práce definuji čistě jako bytové jednotky, nikoli nebytové prostory (sklepní kóje) v majetku vlastníka bytu. V daném bytovém domě se nacházejí bytové jednotky o velikosti 35 – 80 m², přičemž za medián lze považovat výměr 50 m² (8,4 x 6) m v provedení 2 + kk. Pro takový typický byt tedy v rámci této práce navrhnu elektroinstalaci.

- Dispozice bytu

Dispozice bytu, tak jak je převzatá z archivu developera obsahuje:

	místnost	výměr [m ²]
1.01	chodba + šatna	8,7
1.02	kuchyň + obývací pokoj	22
1.03	ložnice	12,2
1.04	koupelna	4,6
1.05	prádelna	2,6

Tabulka 12: Výměr bytu 2 + kk

4.2.1. Světelné obvody

Obecné zásady elektroinstalace světelných okruhů v bytových prostorech se neliší od zásad ve společných prostorech bytového domu. Rozdílem je ovšem požadavek normy ČSN EN 33 2000 4-41 ed.3 čl. 411.3.4⁴⁴, podle kterého je třeba opatřit světelné obvody střídavého proudu v sítích TN a TT v domácnostech proudovým chráničem s vybavovacím proudem max 30 mA. V bytech do výměru 100 m² lze připojovat světla na jeden obvod [7, s. 5] – tab.5, nicméně zároveň platí, že:

- z provozních důvodů je vždy vhodné mít alespoň dva obvody, aby při poruše jednoho z nich bylo zajištěno alespoň orientační osvětlení,

⁴⁴ ČSN 33 2000-4-41. ČSN 33 2000-4-41 Elektrické instalace nízkého napětí: Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti- Ochrana před úrazem elektrickým proudem.

- součet jmenovitých proudů všech připojených svítidel nesmí překročit jmenovitý proud ovládacího prvku (spínače) (a samozřejmě také jistícího přístroje obvodu),
- vzhledem k logickému požadavku spínat světla v každém z oddělených prostorů bytu zvlášť, by napojení všech na jeden obvod bylo značně komplikované a příčinu jakékoli poruchy by bylo velmi obtížné identifikovat,
- každý světelný okruh musí mít svůj proudový chránič, proto sdružení všech světel do jednoho obvodu by ještě více komplikovalo osvětlení bytu při poruše v jediném místě vedení.

Na základě těchto skutečností a dispozice bytu jsem vyhodnotil jako optimální zapojit osvětlení do 5 oddělených obvodů – jeden pro chodbu se šatnou, druhou pro koupelnu a prádelnu, třetí pro ložnici. V kuchyně budou světelné obvody dva – jeden pro lustr a osvětlení jídelního stolu, jeden pro pracovní prostor linky.

V souladu s geometrickým uspořádáním a požadavkem na minimální počet světelných vývodů v jednotlivých částech bytu dle normy [7, s. 26] – tab.8 pak jednotlivé světelné okruhy budou navrženy takto:

- Chodba se šatnou

Vzhledem k rohovému uspořádání a minimálnímu požadavku na jeden světelný vývod se nabízí varianta jednoho vývodu v rohu nebo jednoho v prostoru šatny a jednoho v prostoru chodby. Vzhledem k tomu, že se jedná o prostor bez oken, zvolím variantu dvou vývodů. Vývody se budou ovládat třemi spínači – jeden při vstupu do šatny ze vchodových dveří, jeden při vstupu do chodby z ložnice a jeden při vchodu do chodby z ložnice. Nepovažuji za nutné ovládat vývody odděleně, takže jejich zapojení bude sériové. Schéma se nachází na výkresu 6, list 1.

- Ložnice

Specifikum ložnice je běžný požadavek na stolní lampy na nočních stolcích. Přidám tedy do světelného obvodu dvě dvoupólové zásuvky pro stolní lampičky třídy ochrany II (s dvojitou izolací). Zásuvky budou důsledně označeny jako zásuvky pro světla, aby nedocházelo k omylům při opravách. Schéma viz výkres 6, list 2.

- Kuchyně

Pro kuchyň je předepsána existence alespoň dvou světelných vývodů a osvětlení digestoře. Běžně se kromě velkého stropního svítidla (lustru), instaluje také světlo menšího výkonu nad jídelní stůl. Světla budou rozdělena do dvou dvojic, v nichž každé bude nezávislé. Budou použity vypínače č.5. Světelný obvod linky a digestoře bude samostatně připojen na jiné fázi. Schéma viz výkres 6, list 1.

▪ Koupelna a prádelna

Požadavky na elektroinstalaci v koupelně jsou z důvodu prevence úrazu elektrickým proudem přesněji specifikovány a jsou v tomto smyslu definována jistá omezení. Způsob jejich aplikace navenek je rozdělení prostoru koupelny do 4 zón⁴⁵. Přesné vymezení zón uvádí Ing. Dvořáček [30, s. 79]. Zóna (0) s nejvyšší úrovní ochrany před elektrickým proudem je vymezena vanou a jejím nejbližším okolí, naopak nejmenší úrovně jsou v místech, kde je nejnížší pravděpodobnost dotyku se zařízeními pod napětím, což jsou také místa, která nejsou dostupná bez náradí (šroubovák apod.). Zásadní požadavky kladené na jednotlivé zóny jsou:

- pro všechny zóny: místní doplňující pospojování ochranných vodičů s kovovými neživými částmi, kovovým potrubím a ostatními vodivými předměty s výjimkami dle [30, s. 85]. Rozvody umístěné v každé zóně jsou povoleny pouze pro napájení zařízení umístěných v dané zóně nebo zóně vyšší úrovně ochrany. Instalace zásuvek je povolena pouze v zóně 3 při jištění proudovým chráničem. Pro všechny zóny je navíc nutné dodržet předepsané krytí (IP XX) jednotlivých zařízení.
- pro zónu 0: dovolena jsou pouze zařízení malého napětí nepřekračující 12 V AC nebo 30 V DC se zdrojem instalovaným mimo zóny 0,1 a 2. V této zóně nelze instalovat žádný spínač.

Řešením požadavků na zařízení bezpečného malého napětí je instalace světelných vývodů uzpůsobených pro 12 V AC s použitím transformátoru 230 / 12 V, 105 W (umístěným v podhledu). Pro koupelny s výměrem nad 4 m² je předpis na umístění alespoň dvou světelných vývodů, přičemž jeden by měl být nad umývadlem (zóna 2). Světla budou nezávislá se spínačem

⁴⁵ Požadavek vychází z normy ČSN EN 33 2000 7-701 a nehovoří přímo o koupelně, ale o prostorech s vanou nebo sprchou.

č.5. Prádelna bude osvětlena samostatným stropním svítidlem ze stejné fáze. Navrhované schéma zapojení viz list 2, výkres 6.

4.2.2. Zásuvkové obvody

Slouží pro připojení přenosných spotřebičů do příkonu 2000 VA. Maximální instalovaný příkon při jištění na 16 A nesmí překročit 3680 VA a jeden zásuvkový obvod může mít nejvíce 10 vývodů. V bytě bude instalován taktéž obvod pro zapojení třífázového spotřebiče. Počet zásuvkových vývodů je vhodné volit spíše vyšší. Kromě vzrůstajícího počtu domácích spotřebičů a s tím spojený nárok na více vývodů je zde především důvod bezpečnostní – pokud je v domácnosti nedostatek zásuvek, často jsou nahrazovány prodlužovačkami jako trvalým řešením, což je v rozporu s účelem prodlužovačky, jakožto dočasnou náhradou chybějící zásuvky. Se zvyšujícím se počtem spotřebičů zapojených do jediného vývodu narůstá proudová hustota ve vodiči a zejména na přechodových odporech vzniká velký úbytek napětí a silný ohřev kritického místa, který může vést až k požáru, zejména pokud by jištění bylo nastaveno na příliš vysoké vybavovací proudy. Vývody budou mít vždy minimálně dvojitou zásuvku, s výjimkou třífázové zásuvky, která bude jednoduchá. Pro instalaci zásuvek je třeba držet se předepsaných instalačních zón. Schémata zapojení jsou na výkresu 7.

- Průřez připojovacích vodičů a jištění

Kabeláž jednofázových obvodů bude typu CYKY-J 3 x 2,5 vedená výhradně pod omítkou. Jištění bude 16 A pro jednofázové obvody i pro třífázový obvod. Kabeláž pro třífázový obvod bude CYKY-J 5 x 2,5.

- Chodba a šatna

- Jeden obvod, dva zásuvkové vývody – jeden v dolní rohové zóně jeden ve střední zóně protějšího rohu. Zásuvky budou zapojeny zasmyčkováním – bez instalační krabice ve zdi.

- Ložnice

- Vysoké nároky na počet spotřebičů, v obvodu bude pět vývodů rozmístěných po celém obvodu, všechny v dolní instalační zóně.

- Kuchyně

- Linka a zbytek místnosti budou mít oddělené obvody, v místnosti bude přítomna třífázová zásuvka pro náročnější moderní spotřebiče jako je například domácí pec.
 - Kuchyňská linka – 3 vývody ve střední instalační zóně + jeden třífázový.
 - Samostatný okruh bez proudového chrániče pro ledničku – v případě kdy by chránič zapůsobil v nepřítomnosti majitele, se potraviny zkazí. Norma na toto pamatuje a povoluje to.
 - Samostatné jištění pro myčku.
 - Zbytek místnosti – 3 vývody.
- Koupelna a prádelna
 - samostatný obvod s jištěním 16 A pro pračku,
 - umístění dle zón ochrany,
 - celkově 5 vývodů;
 - samostatně jištěný obvod pro sušičku,
 - jeden vývod nad koupelnové umývadlo,
 - jeden pro připojení žebříkového topidla do zásuvky v koupelně v zóně 3,
 - jedna zásuvka pro volné využití v prádelně v koupelnovém okruhu.

4.2.3. Elektrický sporák

Samostatně mimo zásuvkové obvody bude třífázově zapojen a jištěn elektrický sporák, u kterého se počítá s příkonem okolo 8 kW, nicméně nelze vyloučit zapojení i výkonnějšího spotřebiče. S jistou rezervou bude tedy jištěn jističem na 16 A, čemuž odpovídá přívodní kabeláž CYKY-J 5 x 2,5. Sporák bude připojen přes tzv. sporákovou kombinaci, tedy ruční vypínač všech tří fází vestavěný do zdi se vzdáleností rozpojených pólů min. 3 mm. Schéma zapojení je na výkresu 8.

4.2.4. Podružný rozváděč - bytový

Bude umístěna na chodbě vedle vchodových dveří. Kromě jištění všech okruhů v bytě zde bude provedeno rozdělení PEN vodiče na PE a N. Takto vznikne oddělená přípojnice PE a N. PEN přípojnice bude spojená PEN vodičem s ochranným pospojováním, které bude všude v bytovém domě dovedeno k elektroměrovým rozváděčům na chodbě (vzdálenost od PEN přípojnice

v bytové rozvodnici ≤ 10 m). Takto bude docíleno požadavku normy ČSN 33 2000-4-41⁴⁶ na uzemnění bodu rozdělení PEN. Dále bude rozvodnice obsahovat hlavní vypínač, ačkoli to výslovně norma nepožaduje, neboť do jistění 25 A není vypínač vyžadován. (ČSN EN 33 2130 čl.4.6.14.)⁴⁷. Rozvodnice bude 48 modulová (4 řady po 12 modulech) s předmontovanými DIN lištami TS 35. Obsazených pozic bude dle návrhu 35, v nejvyšší řadě bude zapojen hlavní vypínač a elektrický sporák. Všechny jistící přístroje jsou, společně se schématem zapojení, uvedeny na výkresu 9.

4.2.5. Celkový plánek elektroinstalace bytu

Celkové rozmístění bytové elektroinstalace podle stavební dispozice je na výkresu 10. Stavební plánek byl převzat z archivu developera [22].

4.3. Rozváděče ve společných prostorech

Systém elektroinstalace bytového domu, jak bylo zmíněno v kapitole č.2, začíná u HDS a rozpojovací jistící skříň, kde jsou jistěna jednotlivá HDV a kde je také tlačítko TOTAL STOP. Za touto skříní je hlavní domovní rozváděč, kde je také umístěn čtyřkvadrantový elektroměr a kde je tedy měřena společná spotřeba domu. Ta je saturována z distribuční soustavy a také ze zdrojů fotovoltaické elektrárny na střeše domu, která by měla primárně působit pro ohřev vody v kotli. Případné přetoky je systém připraven prodávat do DS, jelikož střídač FV systému je uzpůsoben pro paralelní chod se sítí. Od HDV vedou na každém patře 4 odbočky k elektroměrům pro napájení soukromých prostor a odbočky pro společné světelné a zásuvkové okruhy (které oproti rozvodům soukromé spotřeby nepřinášejí pro účely této práce novou informaci a z kapacitních důvodů zde nejsou blíže rozvedeny). Pro napájení kotelny a strojovny vede z jistící skříň samostatné vedení.

⁴⁶ ČSN 33 2000-4-41. ČSN 33 2000-4-41 Elektrické instalace nízkého napětí: Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti- Ochrana před úrazem elektrickým proudem.

⁴⁷ ČSN 33 2130. ČSN 33 2130 Elektrické instalace nízkého napětí- Vnitřní elektrické rozvody. Ed. 3.

4.3.1. Elektroměrové rozváděče – bytová spotřeba

Budou u vývodu z kabelové šachty (stoupaček) a budou složeny ze dvou částí. Ta, ve které se nachází elektroměr, je zaplombovaná a musí být k dispozici distributorovi energie, a tedy splňovat přípojovací podmínky viz kapitola 1. Obsahuje elektroměr pro fakturační měření, který je v majetku distributora. Příjímače HDO a stykače pro příjem povelů z HDO nebudou v těchto elektroměrech instalovány, neboť elektrická spotřeba bytů, tak jak je navržena, nevyžaduje vícetasbové měření. Kromě samotného elektroměru budou v rozváděčích před elektroměrem v souladu s PPNN osazeny tzv. hlavní jističe před elektroměrem, jejichž funkce, kromě ochranné, je především ve stanovení rezervovaného příkonu pro daného spotřebitele. Hlavní jistič je v majetku spotřebitele a distributor mu rezervuje příkon podle smlouvy (distribuční sazby) a na to navázané dimenze hlavního jističe. Vypínací charakteristika hlavního jističe má typ B. Možné hodnoty jistění jsou stanoveny dle normy ČSN EN 60898⁴⁸ a v tomto případě bude vhodné použít 25 A. Zkratová odolnost musí být alespoň 10 kA. Elektroměrový rozváděč bude na vstupu i na výstupu v síti TN-C, ale své druhé části, která je v majetku majitele bytu poslouží jako bod uzemnění, které je požadováno pro přeměnu sítě TN-C na síť TN-C-S, jak bylo vysvětleno v kapitole 4.2.4. Od PEN přípojnice zde povede zelený kabel ochranného pospojování CYA s průřezem dle tabulky 54.3. normy ČSN EN 33 2000 5- 54⁴⁹. Tam je stanoven pro vodič ochranného pospojování stejný průřez, jako má vodič vedení (v případě že je to méně nebo rovno 16 mm²), tedy v tomto případě to bude 10 mm². Tento vodič bude připojen k HOP, tedy hlavní ochranné přípojnici, která bude dále spojena se zemnicí soustavou (více v kapitole 5). Důvodem takového opatření je teoretická možnost přerušení PEN vodiče na trase HDV a s tím související riziko dotykového napětí na neživých částech spotřebičů. Takovou událost bohužel neumí vyřešit ani proudový chránič v bytě, jelikož v takovém případě, dotkne-li se osoba neživé části zařízení, pak prochází elektrický proud bezezbytku oběma póly chrániče (tudíž chránič nevybaví) a vrací se PE vodičem na kostru zařízení a přes osobu do země. V nezaplombované části ER bude osazena přepětová ochrana třídy C – svodič přepětí na bázi

⁴⁸ ČSN EN 60898-1. ČSN EN 60898-1 - Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jistění domovních a podobných instalací: část 1: Jističe na střídavý provoz. 10/2003.

⁴⁹ ČSN 33 2000-5-54. ČSN 33 2000-5-54 Elektrické instalace nízkého napětí: Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení Uzemnění a ochranné vodiče. Ed.3.

varistoru pro ochranu před nepřímým úderem bleskem a spínacími přepětími v síti. Bude využita modulová forma 4+0, tak aby při případném vybavení ochrany stačilo vyměnit pouze daný modul. Přepět'ová ochrana bude vodičem CYA 10 spojena s ochranným pospojováním domu. Kontrolu modulů přepět'ové ochrany bude periodicky provádět správce domu. Schéma zapojení elektroměrového rozváděče (ER) je na výkresu 11.

4.3.2. Rozváděč společné spotřeby domu

U paty domu bude za rozpojovací jistící skříní (z pohledu DS) hlavní domovní rozváděč, který bude rovněž rozdělen na část zaplombovanou, tedy elektroměrovou, a na část rozvodů společné spotřeby domu. Rozváděč společné spotřeby bude jistit obvody kotelny a strojovny a v reálném případě by pochopitelně v takovém rozváděči byly také další okruhy, které zde nemohly být blíže popsány, tedy vzduchotechnika, pohon vrat apod. Ve společné spotřebě jsou samozřejmě zahrnuty také zásuvkové a světelné obvody, které by spíše byly jištěny spíše v podružných rozvodnicích na jednotlivých patrech domu z důvodu přehlednosti a praktičnosti systému. Nicméně pokud bude přívodní vedení TN-C přeměněno na TN-C-S již v tomto rozváděči, mohou i ZO a SO být jištěny zde (ve výkresu uvádím pouze okruhy I.NP, ostatní by byly zapojeny identicky). V této rozvodné skříní bude také stykač pro blokádu elektrokotle řízený ovládacím relé na základě povelů hromadného dálkového ovládní. V rozváděčové skříní budou tedy v podstatě rozváděče tři – část zaplombovaná s elektroměrem, část domovních rozvodů společné spotřeby a také rozváděč AC strany FV systému (RFVE). Do tohoto rozváděče povede výstup ze střídače a bude obsahovat cejchovaný elektroměr pro měření výroby FVE, přepět'ovou ochranu, hlavní vypínač FV a jištění výstupu z FV systému. Schéma zapojení je na výkresu 12.

4.3.2.1. Vstup do rozváděče z FV systému

Jak bylo řečeno, rozváděč společné spotřeby má v sobě také rozváděč pro fotovoltaiku, na jehož vstupu je výstup ze střídače. Parametry tohoto výstupu jsou definovány výrobcem. Níže je uveden přehled některých z nich:

Střídač Wattsonic-AC parametry	
model	WTS-20KTL-HT
Jmenovitý výstupní výkon do sítě [W]	20000
Maximální zdánlivý výstupní výkon do sítě [VA]	22000
Maximální zdánlivý výstupní výkon ze sítě [VA]	30000
Jmenovité výstupní napětí [V]	230/400, 3L/N/PE
Jmenovitá výstupní frekvence [Hz]	50
Maximální proudový výstup AC do sítě [A]	28,8/32,7
Maximální proud ze sítě [A]	60
Výstupní účinník	0,8 kapacitní až 0,8 induktivní
Výstupní THD	< 3%

Tabulka 13: Přehled výstupních AC parametrů střídače

4.3.3. Elektroměrový rozváděč – společná spotřeba

Elektroměrový rozváděč bude realizovat měření přijaté spotřeby energie ze sítě a měření energie dodané do DS z FV systému. Toto měření je dle toho času platného energetického zákona tzv. po fázích, což může vést k neekonomickému provozu systému za předpokladu, kdy z FV systému zatěžíme nerovnoměrně jednotlivé fáze. V případě tohoto systému, který je plánován pouze pro ohřívání vody, nabíjení baterií a případný prodej přebytků do DS ale není tento problém natolik palčivý, neboť u elektrokotle se počítá se symetrickou spotřebou energie z jednotlivých fází. V PPNN je stanoveno, že pro ER s hlavním jističem dimenzovaným na větší odběr než 80 A bude měření probíhat nepřímo, tedy s předřazením měřicích transformátorů proudu (MTP) zapojených pomocí svorek P1 (K) směrem do DS. Při nepřímém měření musí být navíc v ER zařazena zkušební svorkovnice, která bude umožňovat:

- bezpečné rozpojení nebo spojení každého napěťového okruhu s možností aretace
- sériové připojení kontrolního přístroje do proudového okruhu sekundárního vinutí každého MTP bez přerušení proudového měřicího obvodu
- zaplombování

Napěťové okruhy se propojí se zkušební svorkovnicí přes pojistkový odpínač s pojistkami 2 A a charakteristikou gG [4, s. 14]. Z

Kromě elektroměru a MTP zde bude přijímač HDO pro distribuční řízení FVE z DS (zejména pro odpínání při přepětí a nadfrekvenci v DS). Funkci blokace ohřevu TV jako akumulárního spotřebiče převezme ovládací relé. Na ovládací relé a HDO budou (v hlavním rozváděči) navázány výkonové stykače, které budou spotřebiče (střídač) fyzicky spínat (odpínat). Zároveň je třeba umístit před elektroměrový rozváděč (z pohledu FV systému) tzv. wattrouter, tedy omezovač přetoků elektrické energie do DS, aby mohla vyrobená elektřina z FV systému být

primárně akumulována v ohřevu vody či v bateriích a teprve až skutečně přebytečná elektřina mohla být do DS dodávána. Před ovládacím relé a HDO bude předřazen jistič se jmenovitým proudem 2 A dle požadavku PPNN a před elektroměrovým rozváděčem bude na vstupu zařazen hlavní jistič. Schéma zapojení elektroměru a hlavní domovní skříň je zakresleno na výkresu 13.

4.3.3.1. Dimenzování hlavního jističe před elektroměrem

Rezervovaný příkon a jištění hlavního jističe před elektroměrem se počítá na základě příkonu uvažovaných spotřebičů, tedy elektrokotle, výtahu a světel.

příkon světel [kW]	příkon elektrokotle [W]	příkon pohonu výtahu [kW]	celkem [kW]
0,55	128,8	13,7	143,05

Tabulka 14: Instalovaný příkon společné spotřeby

Jmenovitý proud, který má být jištěn, bude podle rovnice 30, při uvažování účinníku $\cos\varphi = 1$ a neuvažování soudobosti pro tento typ spotřeby (respektive soudobosti rovné 1) roven 208 A. Z tabulky přednostních hodnot pro jmenovité proudy dle ČSN EN 60898-1⁵⁰ potom vychází pro hlavní jistič jmenovitý proud 250 A.

4.3.3.2. Zkratová odolnost hlavního jističe

Hlavní jistič musí vydržet zkratový proud, který v daném bodě soustavy může nastat. Lépe řečeno musí tento zkratový proud být schopen vypnout dříve, než oteplení vodičů a mechanické účinky tento jistič nebo další zařízení zničí. Pro místa, která nejsou v těsné blízkosti distribučního transformátoru a nejsou napájena přímo z generátoru lze využít výpočet tzv. konvenční metodou dle [40]. Minimální zkratový proud vypočtený touto metodou se vypočítá podle vzorce:

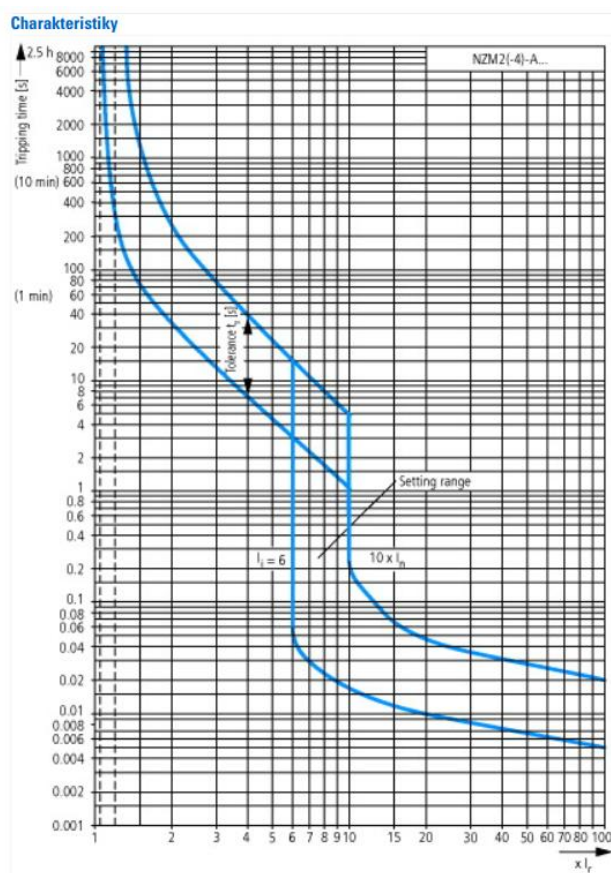
$$I_{k_{MIN}} = \frac{0,8 \cdot U_0}{2 \cdot \sum \rho \cdot \frac{l}{S}} \text{ [A]}$$

⁵⁰ ČSN EN 60898-1. ČSN EN 60898-1 - Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací: část 1: Jističe na střídavý provoz. 10/2003.

kde U_0 představuje fázové napětí a 0,8 je koeficient, který počítá s tím, že na začátku zkratu bude 80 % jmenovitého napětí a to z toho důvodu, že se předpokládá, že část zdroje napájející poruchový obvod nese 20 % celkové impedance poruchového obvodu (zbytek leží za místem poruchy). Aby se zohlednil vliv reaktance, použije se příslušný koeficient dle průřezu přívodního vodiče. V případě přívodu AYKY 3 x 240 + 120 je tento koeficient 0,25 a připočte se k hodnotě impedance. Rezistivita jádra takového kabelu je dle zmíněného zdroje 0,043 Ω mm²/m. Délka AYKY vedení až k HDS bude 100 m. Pro přívod od HDS do rozváděče předpokládáme délku vedení 5 m, průřez 95 mm² a rezistivitu 0,027 (pro Cu), pak tedy

$$I_{kMIN} = \frac{0,8 \cdot 230}{2 \cdot \left(0,043 \cdot \frac{100}{240} + 0,25 \cdot 0,043 \cdot \frac{100}{240} + 0,027 \cdot \frac{5}{95}\right)} \cong 3119 \text{ A}$$

Vybraný jistič s jmenovitou hodnotou 3 x 250 A a maximální vypínací schopností 36 kA (EATON, model LZMC2) má vypínací charakteristiku podle grafu (níže):



Obrázek 14: Vypínací charakteristika hlavního jističe dle katalogu EATON

Vzhledem k jmenovité hodnotě a vypočtenému zkratovému proudu (jedná se o přibližně $0,12,5 \times I_n$ se pohybujeme na čase vybavení jističe podle grafu za 0,1 s. Norma ČSN EN 33 2000 4-43⁵¹ čl. 434.5.2 udává vzorec

$$\sqrt{t} = k * \frac{S}{I_k}$$

Rovnice 34

pro výpočet doby, za kterou daný zkratový proud zvýší teplotu vodičů na mezní teplotu. Hodnota koeficientu k, která pro měděný přívodní vodič hlavního jističe činí dle zmíněné normy 115 potom dovoluje vypočítat minimální průřez, který by v daném místě při této charakteristice jističe byl dovolen z pohledu ohřevu:

$$S_{min} = \frac{I_k * \sqrt{t}}{k} = \frac{3119 * \sqrt{0,1}}{115} \cong 8,6 \text{ mm}^2$$

Tento výpočet říká, že pro jakékoli vedení za jističem při průřezu větším, než je tato hodnota nehrozí při zkratu ohřev větší, než norma povoluje. Je tedy třeba, aby všechna vedení s tenčími vodiči, než je tento musí být dále jištěny podle principu selektivity. Tento požadavek je v celé elektroinstalaci bezesbytku splněn. Jako záloha jištění hlavního jističe navíc figurují předřazené pojistky v HDS.

⁵¹ ČSN EN 33 2000 4-43 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-43: Bezpečnost – Ochrana před nadproudy

5. Ochrana před bleskem

V kapitole 4 byla nastíněna ochrana před přepětím na principu tzv. ochranného pospojování. Princip funkce spočívá v propojení elektricky neživých částí objektu s uzemněním, realizovaným základovým zemničem. Tako uzemňovací soustava má zabránit úrazu elektrickým proudem způsobeným přivedením nebezpečného potenciálu na odkryté části vedení. Zároveň toto pospojování pomocí přepětiových ochran třídy C svádí nepřímé údery blesku a spínací přepětí do země tak, aby tato přepětí nestihly poškodit elektrická zařízení. Princip jejich funkce zajišťují varistory, tedy polovodičové součástky, které v případě výskytu definovaného přepětí způsobí zkrat vůči zemi a ochrání tak vedení dále v cestě před přepětím. Nejnebezpečnější přepětí způsobují ale přímé údery blesků do přírodních vedení. O ochranu elektrických zařízení před těmito údery se starají přepětiové ochrany třídy B – svodiče bleskových proudů. V těchto svodičích jsou umístěna jiskřiště – bleskojistky. Z principu svého fungování se musí umísťovat na hranici vstupu kabelu do objektu, tedy do HDS (viz 2.2.2.1). Nejvýznamnějším prvkem systému je ale přímá ochrana před bleskem, jelikož právě přímý úder blesku do budovy dokáže způsobit největší škodu (tepelnou a mechanickou).

Ochraně před bleskem se nejvíce věnuje norma ČSN EN 62305⁵². Přímou ochranu před bleskem zajišťuje podle této normy jímací soustava, která je rovněž spojena se základovým zemničem. Parametry této jímací soustavy budou určeny v této kapitole.

5.1. Parametry jímací soustavy

Jak bylo naznačeno výše, v této kapitole se pojednává výhradně o systému vnější ochrany před bleskem. Budu se tedy držet stavební ‚obálky‘ domu, tedy především střechy a vnějších obvodových zdí. Z hlediska ochrany před bleskem je určitou komplikací přítomnost FV pole, neboť se jedná o nákladnou konstrukci, kterou je třeba plně do systému ochrany zahrnout. Nebezpečí zavlečení bleskového proudu do vnitřku by mělo být minimalizováno instalací SPD T1 – třídy ochrany B (svodiče bleskového proudu) na hranici LPZ 0 a LPZ I, tedy v DC rozváděči FV

⁵² ČSN EN 62305-4:2011. ČSN EN 62305-4 Ochrana před bleskem: Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách. Ed.2

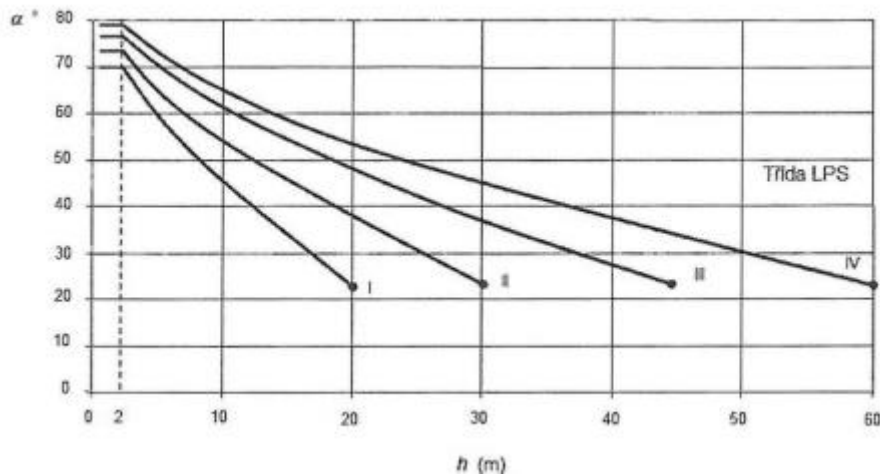
systému. Neživé části, tedy kovové konstrukce modulů, ale také další kovové předměty a zařízení střechy a obvodové konstrukce domu (vzduchotechnika, okapové žlaby a svody, zábradlí, oplechování komínů, antény, GSM zařízení apod.) je pak nutno propojit s jímací soustavou a přes soustavu svodů připojit k základovému zemniči. Bytové domy jsou v rámci klasifikace úrovní ochrany (LPL53) zařazeny do třídy III [41]. Toto zařazení je zásadní z hlediska dimenzování ochrany. Ve třídě I., do které spadají strategické stavby jako jsou elektrárny, je například při užití metody ochranného úhlu nebo metody valící se koule (viz dále) předepsán pro stejný poloměr ochranu ostřejší úhel (respektive menší poloměr) než ve třídě IV, kam patří rodinné domy atd. Rovněž maximální vzdálenost svodů (svislých prvků soustavy) je určena (také) úrovní ochrany.

5.1.1. Volba metody návrhu jímací soustavy

Norma⁵⁴ [42, s. 17] definuje tři způsoby stanovení parametrů jímacího systému, přičemž je třeba vzít v úvahu členitost střechy, který je dána přítomností FV modulů. Návrh jímací soustavy na základě mřížové soustavy je pro rovné střechy ideální, nicméně mříže jsou při této metodě uvažovány ve výšce vždy nad zařízením, které chrání. Proto se tato metoda hodí spíše pro nečlenité střechy. Metoda valící se koule je univerzální, vhodná pro jakékoli geometrické parametry střechy, ale v tomto případě přichází nejlépe v úvahu metoda ochranného úhlu, která představuje jistou formu zjednodušené aplikace právě metody valící se koule. Ve výsledku ale samozřejmě jsou metody stanovení navrženy na základě stejných poznatků a předpokladů a například podmínka pro aplikaci metody mřížové soustavy, tedy skrytí všechna chráněná zařízení pod úroveň pomyslné mříže (plášť kužele, plášť koule) platí i při aplikaci ostatních metod. Ochranný úhel, který poskytuje jímací tyč (JT) v závislosti na své výšce, je ukázán v obrázku níže:

⁵³ LPL = lightning protection level

⁵⁴ ČSN EN 62305-3 Ochrana před bleskem: Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života. Ed.2



Obrázek 15: Hodnota ochranného úhlu v závislosti na výšce jímací tyče [42, s. 19]

Všechna zařízení, která leží (celým povrchem) pod pláštěm myšleného s vrcholovým úhlem $\frac{\alpha}{2}$ a poloměrem h jsou považována za ochráněna před úderem blesku. Výška a tohoto kužele je pak zároveň výškou požadované jímací tyče. Tu získáme výpočtem:

$$a = h * \tan \alpha \text{ [m]}$$

Rovnice 35

Jak vyplívá z obrázku 15, pro jednotlivé LPL jsou omezení pro poloměr myšleného kužele. FV modul při plánovaném sklonu 35° má kolmo k referenční výšce (od stojanu) výšku $1038 * \sin 35 = 595$ mm. Včetně stojanu bude výška o 10 cm od povrchu střechy větší, teda celkově zhruba 70 cm. Potom, při akceptovatelné výšce jímací tyče 2 m (z důvodu namáhání větrem), které přísluší v LPL III ochranný úhel $\alpha = 77^\circ$, spadají pod tento úhel všechny FV moduly, které jsou k ní nejvíce v takové vzdálenosti, při které je plášť pomyslného kuželu ve výšce alespoň 70 cm nad zemí.

Odvozením z rovnice 35 se získá poloměr celého kuželu, tj. 8,66 m. Na základě podobnosti trojúhelníku se pak určí ochranný poloměr o velikosti 5,63 m. Všechny moduly ležící ne více než 5,6 metrů od JT jsou tedy chráněny proti blesku.

Pokud jsou ale tyto moduly (či další zařízení) k jímací tyči příliš blízko, hrozí při úderu blesku do JT naindukování napětí i do okolních kovových předmětů nebo přeskok náboje ionizací vzduchu. Pro další snížení rizika je tedy třeba dodržet dostatečnou vzdálenost mezi jímací soustavou a chráněnými zařízeními, zejména FV moduly. V normě [42, s. 31] je tato vzdálenost definována vzorcem

$$s = k_i * \frac{k_c}{k_m} * l \text{ [m]}$$

Rovnice 36

kde

c je koeficient závislý na zvolené třídě LPS [-] (pro třídu III má hodnotu 0,04)

k_m je koeficient závislý na materiálu elektrické izolace [-] (1 pro vzduch) ;

k_c je koeficient závislý na (částečném) bleskovém proudu tekoucím jímači a svody [-] (pro 3 a více svodů má hodnotu 0,44)

l je délka v metrech, podél jímací soustavy a svodu, od bodu, kde je zjišťována dostatečná vzdálenost k nejbližšímu bodu ekvipotenciálního pospojování nebo zemnicí soustavy (v tomto případě může být mezi 30 a cca 35 m).

Typická dostatečná vzdálenost bude tedy v tomto případě:

$$s = 0,04 * \frac{0,44}{1} * 32,5 \cong 0,6 \text{ m}$$

Z vypočteného poloměru výše vyplývá, že jímací tyče je třeba v tomto případě umísťovat tak, aby nebyly blíže od modulů než na vzdálenost 0,6 m a tak, aby, od sebe byly vzdáleny, na plochách pokrytých moduly, nejdále 11 m, přičemž je třeba myslet na možné mezery mezi myšlenými kruhy.

- Soustava svodů

Od jímacích tyčí je potřeba vést co nejkratší vedení směrem ke svodům na fasádě domu, které budou zaústěny do země přes zkušební spojky, jež mají být ve výšce 1,8 – 2 m. Na těchto svorkách bude také při revizi soustavy změřen odpor vedení vůči zemi. Obecným kritériem pro návrh je dosažení co nejmenšího odporu systému, který klesá mimo jiné s počtem paralelních svodů. Svody by od sebe měly být ve zhruba rovnoměrné vzdálenost, přičemž doporučení podle tabulky 4 normy je pro třídu LPL III 15 m a je-li to možné, svody by měly být u každého z rohů budovy. Tím se také nejjednodušeji ekvipotenciálně spojí hromosvod s okapovým svodem. Pro svody, stejně jako pro jímací tyče, se z důvodu vysoké vodivosti, odolnosti (zejména vůči korozi) a nízké hmotnosti nezatěžující střechu, momentálně nejvíce využívá slitiny AlMgSi, přičemž za vhodný průměr se považuje 8 mm.

- Uzemňovací soustava

Za zkušebními svorkami je potřeba soustavu protáhnout k základovému zemniči, což se dělá zemnicím drátem (zpravidla FeZn o průměru 10 mm). Základovým zemničem samotným je pak zpravidla zemnicí pásek FeZn 30 x 4 mm. Výhodné z pohledu uzemnění jsou ale i strojené základové zemniče zalité v betonu. Zásadní je ale dosáhnout celkového odporu soustavy do 10 Ω . Za tímto účelem se v případě potřeby používají dodatečně zemniče, zejména zemnicí tyče, zatloukané i do hloubek okolo 2 m. Vzhledem k existenci podzemních garáží bude třeba provést uzemnění až pod jejich úroveň, tedy nejméně 5 m pod hladinou rostlého terénu.

- Hlavní ochranná přípojnice

K zemnicímu pásku se pro finální ekvipotenciální pospojování přes zemnicí drát připojí také hlavní ochranná přípojnice. Na hlavní ochranné přípojnici (HOP) se tedy sbíhají:

- vodiče ochranného pospojování (neživých částí např. v koupelně)
- uzemňovací přívody (například od přepětových ochran)
- ochranné vodiče (PEN, PE)
- přívody od zemniče [43, s. 14] (zemnicí drát)

Hlavní ochranná přípojnice bude umístěna co nejbližší k zemnicímu pásku, tedy bude přístupná z garáží v hloubce základů. Lze použít například přípojnicí DEHN 563020. Jímací soustava je zobrazena na výkresu 14.

6. Rozpočet projektu

Bude sestaven v současných cenách, takže je třeba ho hodnotit vzhledem k aktuálnímu datu (květen 2023), což by u reálného projektu byla samozřejmost. Při hledání komponentů systému byla na prvním místě zohledněna jejich technická stránka, tedy jmenovité parametry a funkce a jejich technická úroveň, která by měla odpovídat současné době. Dalším kritériem byla značka a pověst výrobce, neboť vyrobení kvalitního zařízení vyžaduje kromě kvalitního továrního zázemí také zkušenosti a dlouhodobý kontakt se zákazníky a odbornou veřejností. Kritérium ceny bylo až v závěsu za těmito zmíněnými. Výčet cen za jednotlivé komponenty a jejich přibližné množství je uvedeno v tabulkové příloze.

7. Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit návrh silnoproudé elektroinstalace pro novostavbu bytového domu, který se v současné době staví. Vzhledem k moderní konstrukci a designu stavby, bylo třeba navrhnout systém, který v tomto směru nezůstává vzadu a sleduje soudobý vývoj v oblasti elektrotechniky a akcenty, které jsou v současné době na bydlení kladeny. Těžiště práce, jak bylo zmíněno i v úvodu, leží v návrhu fotovoltaického systému, který považuji ze všech oblastí, jichž se práce dotknula, za nejméně teoreticky ukotvený, ale oproti tomu nejbouřlivěji se rozvíjející. Během práce na tomto tématu jsem na toto poměrně často narážel a nabyl jsem dojmu, že některé aspekty, jako je uzemnění fotovoltaického systému, uzemnění střídače či napojení střídače paralelně s distribuční sítí na silové rozvody domu, jsou normami popsány nejednoznačně a jejich řešení se teprve průběžně s provozními zkušenostmi dotváří. Jako určitý handicap práce považuji fakt, že vzhledem k šíři témat jsem se nemohl věnovat slaboproudým systémům a regulaci, bez čehož je fotovoltaický systém v podstatě neschopný provozu. O regulaci kotelny či osvětlení společných prostor to platí do určité míry také. Projekt by si, jak už bylo zmíněno, zasloužil zevrubnou ekonomickou analýzu, neboť veškerá dimenze navržených zařízení a opatření zůstává pouze v technické rovině bez vazby na reálná ekonomická fakta, jako je očekávaná spotřeba a očekávané přebytky, což jsou okolnosti, které nakonec o realizaci investice rozhodují. Nebyly také, opět z kapacitních důvodů, rozvíjeny možnosti stejnosměrné spotřeby jako je dobíjení baterií elektromobilů, potažmo možnosti ostrovního provozu fotovoltaického systému. Systémy společné spotřeby byly nastíněny, ale, jak bylo zmíněno v samotné práci, nemohly být rozvinuty všechny, neboť je jich v současné době skutečně nebývale velké množství a projekt elektroinstalace bytového domu (navíc v kombinaci s fotovoltaikou) je významnou záležitostí, která v každém případě musí být řešena zcela na míru a musí být zpracována ve spolupráci s ostatními profesemi činnými ve výstavbě, zejména s profesí stavební, strojní a s odborníky na systémy měření a regulace. Přes tyto nedostatky jsem ale přesvědčen, že v rozhodující míře byl systém elektroinstalace popsán, zejména v oblastech zcela nezbytných pro bezpečný provoz, jako jsou ochrany a jištění, a ačkoli by přetavení návrhu do praxe vyžadovalo mnoho úprav a dotažení, tak pevná osnova dozajista vzniknula.

Zde je shrnutí nejpodstatnějších parametrů elektroinstalace:

- Bytový dům bude připojen podzemním kabelovým vedením v hlavní domovní kabelové skříni, kde bude vedení z DS dotaženo na přípojnice a odtud vedeno do tří paralelních vedení – dvě HDV, které budou rozvádět silovou elektřinu do

bytů (každé HDV bude na každém patře saturovat 4 byty) a jedno do kotelny a strojovny, kde bude napájet systémy společné spotřeby, zejména elektrokotel a pohon výtahu.

- Bude instalována kaskáda elektrokotlů pro topení a ohřev TV o celkovém příkonu 128 kW se zásobníkem o objemu 3,75 m³. Pohonem výtahu bude synchronní motor s permanentními magnety napájený frekvenčním měničem o zdánlivém příkonu 13,7 kVA.
- V domě bude jeden čtyřkvadrantový elektroměr v hlavním domovním rozváděči, který bude měřit odběr společných prostor z DS a přetoky vyrobené elektřiny z FV systému. Byt bude osazen přijímačem HDO pro distribuční řízení FV systému a ovládací relé pro spínání akumulčních spotřebičů při nízkém distribučním tarifu.
- Spotřeba bytů bude měřena v samostatně jištěných jednotarifních elektroměrech (jeden pro každý byt), které budou v elektroměrovém rozváděči poblíž odbočky od HDV – na chodbě každého patra v blízkosti kabelové šachty.
- V hlavním domovním rozváděči bude také AC rozváděč FV systému, do kterého povede vývod ze střídače. V tomto rozváděči bude kromě jiného wattrouter pro regulace přetoků do DS a prioritizaci směrování vyrobené elektřiny.
- V půdních prostorách budou dva DC rozváděče (slučovací boxy) FV systému, ve kterých se budou sbíhat vedení z jednotlivých řetězců. Do obou boxů se budou sbíhat vždy dva paralelně zapojené řetězce.
- V každém řetězci bude 14 sériově zapojených modulů, dohromady se tedy bude FV systém skládat z 56 modulů.
- Instalovaný výkon FV systému bude 25,2 kW, napětí FV systému při jmenovitém výkonu je 578 V, maximální napětí naprázdno je 760 V.
- V bytovém domě bude instalován systém vnitřní i vnější ochrany proti přepětí a atmosférickým vlivům realizovaný především ochranným pospojováním, přepětovými ochranami třídy A B a C a jímací a uzemňovací soustavy pro svádění blesků, která bude zahrnovat 9 jímacích tyčí vysokých 2 m a 8 svodů k zemnímu pásku nataženému okolo celé budovy a propojenému na hlavní ochrannou přípojnici.

Citovaná literatura

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 458/2000 Sb.: Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů. In: *Zákony pro lidi [online]*. Praha: AION CS, 2022, ročník 37, 131/2000, číslo 458. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458>
- [2] ČSN EN 50160 *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3, 33 0122. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] MACHÁČEK, Václav. *Elektrické přípojky z vedení distribučních soustav a připojování zákazníků*. Ed. 2. Pardubice: IN-EL, spol. s r. o., 2018. ISBN 978-80-87942-35-2.
- [4] Připojovací podmínky NN: pro osazení měřicích zařízení v odběrných místech napojených z distribuční sítě nízkého napětí. *ČEZ Distribuce a.s.* [online]. 1.4. 2022. Děčín: ČEZ Distribuce a.s., 2022 [cit. 2022-12-26]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/distribuce/pripojovacipodminkynn.pdf>
- [5] ČSN EN 60898-1. *ČSN EN 60898-1 - Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací: část 1: Jističe na střídavý provoz*. 10/2003. Praha: Český normalizační institut, 2003. 1, 354170.
- [6] PNE 35 7000. *PNE 35 7000 DISTRIBUČNÍ ROZVÁDĚČE NÍZKÉHO NAPĚTÍ - KABELOVÉ ROZVODNÉ SKŘÍNĚ*. Ed. 2. Praha: ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s, 2020.
- [7] ČSN 33 2130. *ČSN 33 2130 Elektrické instalace nízkého napětí- Vnitřní elektrické rozvody*. Ed. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 95303.
- [8] ČSN EN 33 2000 5-54 ZMĚNA Z1. *ČSN EN 33 200 5-54 Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení: Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení - kapitola 54:uzemnění a ochranné vodiče*. Změna Z1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.

- [9] ČSN 33 2000-4-41. *ČSN 33 2000-4-41 Elektrické instalace nízkého napětí: Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti- Ochrana před úrazem elektrickým proudem*. Ed. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [10] PPDS PŘÍLOHA 4 - FOTOVOLTAIKA. *Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulčních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy*. 2018. Praha: ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s, 2018.
- [11] *PROVOZOVÁNÍ VÝROBNY ELEKTRINY S INSTALOVANÝM VÝKONEM DO 50 KW* [online]. Praha: ČEZ Distribuce, 2023 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-vyrobce/aktuality/provozovani-vyrobny-elektriny-s-instalovanym-vykonem-do-50-kw-172029>
- [12] *Sluneční záření v ČR* [online]. České Budějovice: Isofen Energy s.r.o, 2009 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/slunecni-zareni-v-cr.aspx>
- [13] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. 1. české vydání. Ostrava: HEL, 2000. ISBN 80-861-6712-7.
- [14] Fotodioda. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotodioda>
- [15] What is Photodiode: How does a photodiode works. In: *911electronic* [online]. USA: 911electronic, 2022 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://911electronic.com/what-is-photodiode-how-does-a-photodiode-works/>
- [16] VOBECKÝ, Jan a Vít ZÁHLAVA. *Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady*. 3., rozš. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 978-80-247-1241-3.
- [17] BENDA, Vítězslav, Kamil STANĚK a Petr WOLF. *Fotovoltaické systémy* [online]. Brno: Ústav automatizace a měřicí techniky VÚT, 2011 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10537342-Fotovoltaicke-systemy.html>
- [18] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vydání. Praha: Ilsa, 2009. ISBN 978-809-0431-102.
- [19] *Photovoltaics report* [online]. Freiburg: FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE, 2020 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/PhotovoltaicsReport.pdf>

- [20 *Provozní podmínky fotovoltaických systémů* [online]. Praha: ČVUT FEL, 2016 [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: http://pasan.feld.cvut.cz/a1b13svs/2016_svs7a.pdf
- [21 ČSN 36 4600 CLC/TS 61836. *Solární fotovoltaické energetické systémy: Termíny, definice, značky*. Překlad IEC/TS 61836. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [22 *MPP Alfa: archiv developera* [online]. Praha: MPP ALFA a.s., 2022 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.mppalfa.cz/detail/nova-kolonie-dum-c>
- [23 ČSN 33 2000-7-712. *ČSN 33 2000-7-712: Elektrické instalace nízkého napětí: Část 7-712: Zařízení jednocelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické (PV) systémy*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [24 *ČSN EN 50618 (347113): Elektrické kabely pro fotovoltaické systémy*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [25 ANTONY, Falk, Christian DÜRSCHNER a Karl-Heinz REMMERS. *Photovoltaics for professionals: solar electric systems : marketing, design and installation*. I. Berlin: Solarpraxis, 2007. ISBN 978-3-93459-543-9.
- [26 ČSN EN 62305-4:2011. *ČSN EN 62305-4 Ochrana před bleskem: Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [27 Bezpečné odpojení fotovoltaických zařízení. *Elektro* [online]. FCC Public s.r.o., 2011, 2011(04), 1 [cit. 2023-04-09]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bezpecne-odpojzeni-fotovoltaickych-zarizeni--9837>
- [28 ČSN EN 62109. *ČSN EN 62109 Bezpečnost výkonových měničů pro použití ve výkonových fotovoltaických systémech: Část 2: Zvláštní požadavky pro střídače*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [29 LETTL, Jiří, Jiří PAVELKA a Jan BAUER. *Výkonová elektronika*. 4. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2019. ISBN 978-80-01-06514-3.
- [30 DVOŘÁČEK, Karel. *Elektrické instalace v bytové a občanské výstavbě*. Šesté, aktualizované vydání. Pardubice: IN-EL, 2015. *Elektro (IN-EL)*. ISBN 978-80-87942-13-0.

- [31 ING. ŽÁK, František. Vliv používání moderních světelných zdrojů na síť. In: *SVĚTLO: časopis pro světlo a osvětlování* [online]. Praha: FCC Public, 2013 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/vliv-pouzivani-modernich-svetelných-zdroju-na-sit--604>
- [32 ČSN 36 0450 EN 12464-1. *ČSN 36 0450 EN 12464-1 Světlo a osvětlení: Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [33 *Dvě třetiny spotřeby energie domácností padnou na vytápění* [online]. Praha: ČSÚ, 2022 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/dve-tretiny-spotreby-energie-domacnosti-padnou-na-vytapeni>
- [34 *Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy* [online]. Praha: TZB-INFO, 2009 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [35 ING. VAVŘIČKA, Roman. *Potřeba tepla pro přípravu teplé vody* [online]. In: . s. 3 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/9395-potreba-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [36 *Ščítání 2021: Počet osob v bytě* [online]. Praha: ČSÚ, 2021 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/scitani2021/pocet-osob-v-byte>
- [37 Návod k obsluze a údržbě elektrokotlů. In: *Www.thermona.cz* [online]. Zastávka u Brna: Thermona, 2012 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: [https://www.thermona.cz/getattachment/b6733e70-64cf-462e-bf36-2bc84887807a/THERM-EL-5,-8,-9,-14,-15,-23,-30,-38,-45-\(1\)](https://www.thermona.cz/getattachment/b6733e70-64cf-462e-bf36-2bc84887807a/THERM-EL-5,-8,-9,-14,-15,-23,-30,-38,-45-(1))
- [38 VETTER, Uli. *Energetická účinnost výtahových komponentů* [online]. In: . TZB-INFO, 2010, s. 3 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://vytahy.tzb-info.cz/6667-energeticka-ucinnost-vytahovych-komponentu>
- [39 ČSN EN 33 2000 5-52. *ČSN EN 33 2000 5-52 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - ^uuu-o-oz Elektrická vedení*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [40 *Zkratové proudy, základní veličiny, jejich výklad.: Požadavky na ochranu před zkratovými proudy. Příklady výpočtu* [online]. Pardubice: iiSEL-Informační servis pro elektrotechniky, 2013 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.in->

el.cz/referat/103020/zkratove-proudy-zakladni-veliciny-jejich-vyklad-pozadavky-na-ochranu-pred-zkratovymi-proudy-priklady-vypoctu#3.2

- [41 Ing. PROCHÁZKA, Radek. OCHRANA PŘED BLESKEM. *Projektování v elektroenergetice* [online]. Praha, 2010, **1**(1), 43 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16949314-Ochrana-pred-bleskem-radek-prochazka-prochazka-fel-cvut-cz-projektovani-v-elektroenergetice-zs-2010-11.html>
- [42 ČSN EN 62305-3 *Ochrana před bleskem: Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [43 ČSN 33 2000-5-54. *ČSN 33 2000-5-54 Elektrické instalace nízkého napětí: Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení Uzemnění a ochranné vodiče*. Ed.3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

8. Seznamy příloh

8.1. Vložené obrázky

Obrázek 1: Požadavek na FRT - graf [10, s. 41].....	- 16 -
Obrázek 2: Příklad regulační charakteristiky jalového výkonu [10, s. 52]	- 17 -
Obrázek 3: Voltampérová charakteristika fotodiody. Zdroj: vlevo [14], vpravo [15].....	- 23 -
Obrázek 4: Voltampérová charakteristika FV článku.	- 24 -
Obrázek 5: Náhradní schéma fotovoltaického článku.....	- 25 -
Obrázek 6: Náhradní schéma sériového spojení článků ve FV modulu.....	- 27 -
Obrázek 7: Náhradní schéma sériového spojení FV článků s bypass diodami [20]	- 28 -
Obrázek 8: Grafický model bytového domu z webových stránek developera [22]	- 31 -
Obrázek 9: Návrhový úhel pro rozmístění panelů [17, s. 45]	- 32 -
Obrázek 10: Schéma zapojení 3f on-grid střídače (namodelováno v programu LT Spice) .	- 44 -
Obrázek 11: Výsledek kalkulace tepelných ztrát pomocí serveru TZB-INFO.cz.....	- 52 -
Obrázek 12: Graf spotřeby TV dle denní doby s vyznačením ΔQ_{max}	- 54 -
Obrázek 13: Elektrické schéma kotle z návodu od výrobce [37].....	- 57 -
Obrázek 14: Vypínací charakteristika hlavního jističe dle katalogu EATON	- 71 -
Obrázek 15: Hodnota ochranného úhlu v závislosti na výšce jímací tyče [42, s. 19].....	- 75 -

8.2. Vložené tabulky

Tabulka 1: Určení doby, po kterou VM udržuje spojení se sítí při výchylce frekvence.....	- 15 -
Tabulka 2: Počty panelů a celkový instalovaný výkon	- 34 -
Tabulka 3: Hlavní technické parametry FV modulu a střídače.....	- 34 -
Tabulka 4: Katalogové parametry použité FV kabeláže	- 39 -
Tabulka 5: Úbytky napětí a Jouleovy ztráty na řetězcích	- 40 -
Tabulka 6: Meze proudů vyšších harmonických výrobní připojené k DS	- 46 -
Tabulka 7: Souhrn instalovaného příkonu osvětlení společných prostor.....	- 51 -
Tabulka 8: Spotřeba TV dle denní doby	- 54 -
Tabulka 9: Elektrické parametry kotlů zapojených do kaskády	- 56 -
Tabulka 10: Parametry výtahového stroje EM Brno NL41250	- 60 -
Tabulka 11: Katalogové parametry vybraného frekvenčního měniče.....	- 60 -
	- 86 -

Tabulka 12:Výměr bytu 2 + kk	- 61 -
Tabulka 13: Přehled výstupních AC parametrů střídače.....	- 69 -
Tabulka 14:Instalovaný příkon společné spotřeby	- 70 -

8.3. Seznam výkresových příloh

Výkres 1: Připojení výrobní k DS	
Výkres 2: FV pole	
Výkres 3: FV systém-DC strana	
Výkres 4: SO – společné prostory	
Výkres 5: Pohon výtahu	
Výkres 6: SO – soukromé prostory	
Výkres 7: ZO – soukromé prostory	
Výkres 8: Elektrický sporák	
Výkres 9: Podružný rozváděč - bytový	
Výkres 10: Elektroinstalace bytu – dispoziční výkres	
Výkres 11: Elektroměrový rozváděč – bytový	
Výkres 12: Hlavní domovní rozváděč	
Výkres 13: Hlavní elektroměrový rozváděč	
Výkres 14: Jímací soustava	

8.4. Ostatní přílohy

Tabulka nákladů	
-----------------	--