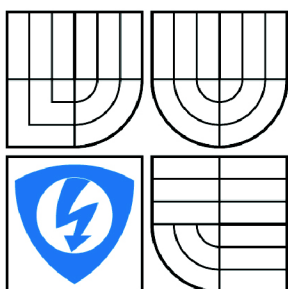


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## PROJEKT PŘIPOJENÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

PROJECT OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANT GRID CONNECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ BLAŽEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAVA ORSÁGOVÁ,  
Ph.D.

BRNO 2010

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Tomáš Blažek

Bytem: Příbice 379

Narozen/a (datum a místo): 8.5.1987, Městec Králové

(dále jen „autor“)

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Projekt připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě  
.....  
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.  
.....  
Ústav: Ústav elektroenergetiky  
.....  
Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

- tištěné formě – počet exemplářů .....
- elektronické formě – počet exemplářů .....

---

\* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

Bibliografická citace práce:

BLAŽEK, T. Projekt připojení fotovoltaické elektrárny do distribuční soustavy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavě Orságové, Ph.D., Ing. Aleši Procházkovi za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologií fotovoltaické elektrárny a ekonomickým zhodnocením použitého technologického zařízení. V první části je popsána technologie pro vyvedení výkonu z fotovoltaického zdroje – trafostanice 22/0,4kV a její základní části. Dále je zde výpočet velikosti prostupů pro chlazení transformátoru dle ČSN 33 3240. Druhá část je zaměřená na popis hlavních částí fotovoltaické elektrárny. Zde jsou rozděleny solární panely podle materiálu, z něhož jsou vyrobeny a podle druhu instalace v terénu. Dále jsou zde popsány druhy střídačů, jejich princip a funkce. V poslední části je provedeno srovnání různých druhů transformátorů a jejich nákladů na provoz po dobu životnosti elektrárny (20 let), jsou zde popsány faktory pro správný výběr měničů a solárních panelů.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** transformační stanice; fotovoltaická elektrárna; transformátor; rozvodna; solární panel; článek; střídač;

**ABSTRACT**

This bachelors thesis deals with photovoltaic technology and economic evaluation of used technology equipment. The first part describes the technology for extraction of power from photovoltaic sources - transformer 22/0,4kV and its basic parts. Then there is the calculation of the amount of openings for cooling the transformer according to ČSN 33 3240. The second part focuses on the description of the major part of the photovoltaic plant. Here are divided solar panels on the material from which they are produced and the type of installation in the field. Next is describe the types of inverters, their principles and functions. The last part compares the different types of transformers and operating costs over the lifetime of plants (20 years), are described factors for proper selection of inverters and solar panels.

**KEY WORDS:** transformer station; photovoltaic power plant; transformer; switching substation; solar panel; cell; inverter;

## OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>13</b>
<b>2 TECHNOLOGIE PRO VYVEDENÍ VÝKONU Z FVE</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 ROZVODNA VN</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 ROZVODNÉ ZAŘÍZENÍ VN .....	14
2.1.2 IZOLAČNÍ A ZHÁŠECÍ MÉDIUM SF <sub>6</sub> .....	16
2.1.3 POJISTKOVÉ PATRONY VN.....	16
2.1.4 KABELOVÝ KANÁL POD ROZVADĚČEM VN .....	17
<b>2.2 STANOVIŠTĚ TRANSFORMÁTORU 22/0,4kVA – TRANSFORMÁTOROVÁ KOMORA</b> .....	<b>18</b>
2.2.1 VÝKONOVÝ TRANSFORMÁTOR 22/0,4kVA .....	18
2.2.2 JÍMKA POD TRANSFORMÁTOREM .....	19
2.2.3 JIŠTĚNÍ TRANSFORMÁTORU .....	19
2.2.4 CHLAZENÍ TRANSFORMÁTORU NA VNITŘNÍM STANOVIŠTI – PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ .....	20
2.2.5 NAVRHOVÁNÍ CHLAZENÍ NA VNITŘNÍM STANOVIŠTI PODLE ČSN 33 3240 [1] – PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ.....	20
<b>2.3 ROZVODNA NN</b> .....	<b>23</b>
2.3.1 ROZVODNÉ ZAŘÍZENÍ NN .....	24
2.3.2 HLAVNÍ SEKUNDÁRNÍ JISTIČ TRANSFORMÁTORU .....	24
<b>2.4 UZEMNĚNÍ TRAFOSTANICE</b> .....	<b>26</b>
<b>2.5 ELEKTROINSTALACE V TRAFOSTANICI</b> .....	<b>27</b>
<b>3 TECHNOLOGIE FVE</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1 SOLÁRNÍ PANELE</b> .....	<b>28</b>
3.1.1 POPIS FV PANELEŮ .....	28
3.1.2 ROZDĚLENÍ FV ČLÁNKŮ .....	30
3.1.3 UMÍSTĚNÍ A INSTALACE FV PANELEŮ .....	33
3.1.4 VÝPOČET ROZESTUPŮ MEZI PANELE .....	33
3.1.5 POLOHOVACÍ JEDNOTKY SUNFLEX [16] .....	36
<b>3.2 STRÍDAČE</b> .....	<b>36</b>
3.2.1 FUNKCE STRÍDAČE .....	37
3.2.2 ROZDĚLENÍ STRÍDAČŮ .....	37
3.2.3 PRINCIP A FUNKCE TROJFÁZOVÉHO STRÍDAČE V MŮSTKOVÉM ZAPOJENÍ .....	37
<b>4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU FVE</b> .....	<b>39</b>
<b>4.1 VÝBĚR SOLÁRNÍCH PANELEŮ</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2 VÝBĚR TRANSFORMÁTORŮ</b> .....	<b>40</b>
<b>4.3 VÝBĚR INVERTORŮ</b> .....	<b>42</b>
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>45</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>46</b>
<b>PŘÍLOHA A JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA ROZVADĚČE VN – GA 2KTS</b> .....	<b>47</b>
<b>PŘÍLOHA B JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA ROZVADĚČE NN - RH</b> .....	<b>48</b>
<b>PŘÍLOHA C DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ TECHNOLOGIE V TRAFOSTANICI</b> .....	<b>49</b>

---

<b>PŘÍLOHA D</b>	<b>OCHRANNÉ POSPOJOVÁNÍ TECHNOLOGIE V TRAFOSTANICI.....</b>	<b>50</b>
<b>PŘÍLOHA E</b>	<b>ELEKTROINSTALACE V TRAFOSTANICI .....</b>	<b>51</b>
<b>PŘÍLOHA F</b>	<b>UZEMNĚNÍ TRAFOSTANICE .....</b>	<b>52</b>
<b>PŘÍLOHA G</b>	<b>PANELY FVE - PŮDORYS .....</b>	<b>53</b>
<b>PŘÍLOHA H</b>	<b>PANELY FVE - ŘEZ .....</b>	<b>54</b>



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 2-1 Rozváděč VN – GA 2KITS [5]</i> .....	15
<i>Obr. 2-2 Pojistková patrona VN [5]</i> .....	17
<i>Obr. 2-3 Chlazení transformátoru</i> .....	20
<i>Obr. 2-4 Hlavní jistič BL1000S [6]</i> .....	24
<i>Obr. 3-1 Princip činnosti fotovoltaického článku</i> .....	28
<i>Obr. 3-2 Fotovoltaický panel složený ze 72ks článků</i> .....	29
<i>Obr. 3-3 Konstrukce FV panelu [15]</i> .....	30
<i>Obr. 3-4 Zleva: amorfní modul, polykrystalický modul, monokrystalický modul, velkoplošný monokrystalický modul</i> .....	31
<i>Obr. 3-5 Ingoty velmi čistého křemíku</i> .....	31
<i>Obr. 3-6 Rozestupy panelů</i> .....	34
<i>Obr. 3-7 Vzdálenosti mezi panely</i> .....	35
<i>Obr. 3-8 Polohovací jednotky SunFlex SF 2, SF 18, SF 40 [16]</i> .....	36
<i>Obr. 3-8 Střídače [10,13]</i> .....	37
<i>Obr. 3-9 Schéma zapojení střídače</i> .....	38
<i>Obr. 4-1 Účinnost FV panelů</i> .....	39
<i>Obr. 4-1 Náklady na jednotlivé typy transformátorů</i> .....	42
<i>Obr. 4-2 Účinnost střídače [17]</i> .....	43

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 2-1 Zatížení transformátoru .....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2-2 Nadproudové spouště DTV3[6] .....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3-1 Výpočet rozestupů mezi panely .....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 4-1 Olejové transformátory.....</i>	<i>41</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Veličina	Jednotka	Název
$A$	Kč	cena energie
$\cos \phi$	-	účiník
$f$	Hz	frekvence
$h$	m	výška
$I$	A	proud
$L$	H	indukčnost
$p$	Pa	tlak
$P$	W	činný výkon
$P$	Wp	nominální výkon
$P_{el}$	W	elektrický výkon
$R$	$\Omega$	odpor
$N$	rok	počet let
$S$	m <sup>2</sup>	plocha
$S_T$	VA	zdánlivý výkon
$t$	°C	teplota
$t$	hod	čas
$T$	Kč	cena
$T$	hod	čas
$U$	V	napětí
$z$	%	zatížení
$Z$	$\Omega$	impedance

zkratka	Název
AC	Střídavý proud
ČR	Česká republika
ČSN	Česká Státní Norma
DS	Distribuční síť
DC	Stejnoseměrný proud
ERU	Energetický regulační úřad
EVA	Etylvinylacetát (folie)
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
IP	International Protection
MPP	Body maximálního výkonu
NN	Nízké napětí
SF <sub>6</sub>	Hexafluorid
OZE	Obnovitelné zdroje energie
TS	Trafostanice
VN	Vysoké napětí

# 1 ÚVOD

V dnešní době je lidstvo čím dál tím závislejší na elektrické energii. Tu můžeme získat buď z fosilních paliv (nejčastější způsob), nebo využitím OZE – obnovitelných zdrojů energie. Ty se projevují malou účinností, proto nejsou zdaleka tak rozšířené, ale díky státním podporám se z nich stává kvalitní obchodní produkt. Z tohoto hlediska jsou nejrozšířenější fotovoltaické elektrárny (dále jen FVE).

Během posledních několika let se technologie FV panelů, střídačů a ostatních komponentů dostala na takovou úroveň, že nutí k zamyšlení každého investora nad výstavbou fotovoltaické elektrárny.

Do nedávné doby byl vývoj FV systémů zaměřen přednostně na zvyšování účinnosti jednotlivých komponentů. S masivním rozvojem fotovoltaiky v posledních letech je spojen větší důraz na snižování investičních nákladů FVE.

V této práci je v první kapitole řešena technologie pro vyvedení výkonu z FVE do distribuční sítě – trafostanice 22/0,4kV a její hlavní části.

V druhé kapitole se řeší nejdůležitější komponenty FV systému, mezi které patří solární panely a invertory. Kromě fotovoltaického jevu je zde popsáno rozdělení panelů podle druhu materiálu a usazení v terénu.

V poslední kapitole je potom popsána technologie FVE z ekonomického hlediska.

## 1.1 Cíle práce

Cíle této práce jsou:

1. Charakteristika fotovoltaického zdroje.
2. Projekt trafostanice pro připojení FVE do sítě 22 kV.
3. Ekonomické zhodnocení projektu s ohledem na provoz připojeného zdroje.

## 2 TECHNOLOGIE PRO VYVEDENÍ VÝKONU Z FVE

Transformační stanice je v elektrizační soustavě seskupení elektrických zařízení, která mají za úkol:

- transformovat elektrickou energii do různých napěťových hladin a přenášet ji dále do elektrických sítí. Transformace je možná ze strany vyššího napětí na nižší i naopak,
- jistit kabely, vedení, transformátory a spotřebiče před poruchami v elektrické síti jako jsou nežádoucí harmonické a meziharmonické složky, přechodové děje v síti, nebo nesymetrie fází,
- za provozního stavu zajistit přenos požadovaných toků výkonu,
- ovládání sítě (spínání a vypínání) v bodech, které vytváří ve svých rozváděčích,
- měřit a regulovat napětí, proud, účinník, výkon a další elektrické veličiny,

Každá trafostanice se skládá z těchto základních částí:

- rozvodna VN – obsahuje rozváděč VN, který odděluje venkovní síť od transformátoru,
- trafokomora – obsahuje transformátor, který transformuje elektrickou energii na požadované hladiny napětí,
- rozvodna NN – její hlavní částí je rozváděč NN, ve kterém jsou vývody z trafostanice, jističe a další ochrany.

Trafostanice musí být navržena a uspořádána tak, aby bylo možno provádět předpokládanou údržbu a revize zařízení při minimálním narušení provozu. Vytváří uzel, který rozděluje elektrizační soustavu do různých napěťových hladin a umožňuje přenášet napětí na různé vzdálenosti. Její hlavní části jsou popsány v následujících kapitolách.

### 2.1 Rozvodna VN

Rozvodny VN se dělí na zapouzdřené a kobkové. Hlavní část rozvodny VN je rozváděč vysokého napětí, který může obsahovat přívodní a vývodní pole, pole měření, nebo pole podélného dělení.

#### 2.1.1 Rozvodné zařízení VN

V minulosti se v trafostanicích pro rozvod elektrické energie používaly kobkové rozvodny, které byly rozměrově mnohokrát větší. Dnešní technologie rozváděče zmenšila a zapouzdřila, aby vyhovovaly moderním požadavkům. Používají se rozváděče vzduchové, vakuové, nebo izolované plynem SF<sub>6</sub>. Na tuzemském trhu se nejvíce objevují značky jako SIEMENS, MOELLER, SCHNEIDER a HOLEC. Do TS je vhodný kompaktní rozváděč VN GA 2K1TS, izolovaný plynem SF<sub>6</sub>, od firmy Moeller, který má kovové krytí podle IEC 298. Je znázorněn na *obr. 2-1*. Rozváděč tohoto typu obsahuje dvě pole kabelových přívodů a jedno pole vývodu na transformátor. Jednopolové schéma tohoto rozváděče obsahuje příloha A.



Obr. 2-1 Rozváděč VN – GA 2KITS [5]

### **Základní vybavení pole typu K – pole kabelové odbočky**

Pole typu K se používá jako přívodní pole, obsahuje třípolohový odpínač – uzemňovač SF<sub>6</sub>, pružinové pohony, kapacitní snímače napětí, uzamykatelné pohony odpínače a uzemňovače, blokování mezi uzemňovačem a násuvným krytem.

### **Základní vybavení pole typu TS – pole transformátorové odbočky**

Pole typu TS obsahuje třípolohový odpínač – uzemňovač SF<sub>6</sub>, pružinové a střadačové pohony, trojpólové pojistkové nastavby, kapacitní snímače napětí před i za pojistkami VN, integrované kabelové koncovky, uzamykatelné pohony odpínače i uzemňovače, blokování mezi uzemňovačem a násuvným krytem.

### **Pohony rozváděče GA 2KITS**

V poli s odpínačem je pružinový pohon, umístěný nad spínací skříní. Tento pohon by měl být alespoň jednou za 10 let vypnut a zapnut. V poli kabelových smyček jsou bezúdržbové pružinové pohony. Vzhledem ke zvolenému materiálu nejsou žádné nároky na údržbu.

### 2.1.2 Izolační a zhášecí médium SF<sub>6</sub>

V minulých letech se hexafluorid síry (SF<sub>6</sub>) rozšířil do VN rozváděčů po celém světě. To je dáno jeho vlastnostmi, ve kterých za ním ostatní zhášecí média více nebo méně zaostávají:

- Vzduchem izolovaná zařízení jsou náročná na prostor a vyžadují při extrémních klimatických a náročných podmínkách okolí údržbu.
- Zařízení izolovaná jsou sice daleko více chráněna před vnějšími vlivy, ale znamenají zvýšené ekologické riziko při vnitřní poruše.
- Zařízení izolovaná pevným izolantem (např. licí pryskyřicí) jsou vzduchem izolované konstrukce, které mají podstatně vyšší nároky na údržbu.

Izolační médium SF<sub>6</sub> dovoluje díky své vysoké elektrické pevnosti stavbu velmi malých zařízení, která jsou navíc bezúdržbová, neboť všechny aktivní části musí být zapouzdřeny.

SF<sub>6</sub> je nejedovatý, pomalu reagující a elektronegativní plyn, který je těžší než vzduch a má velmi dobrou schopnost zhášet oblouk. Ve vypínacím oblouku je SF<sub>6</sub> při vysoké teplotě rozkládán na prvky, které po ochlazení opět regenerují na SF<sub>6</sub>.

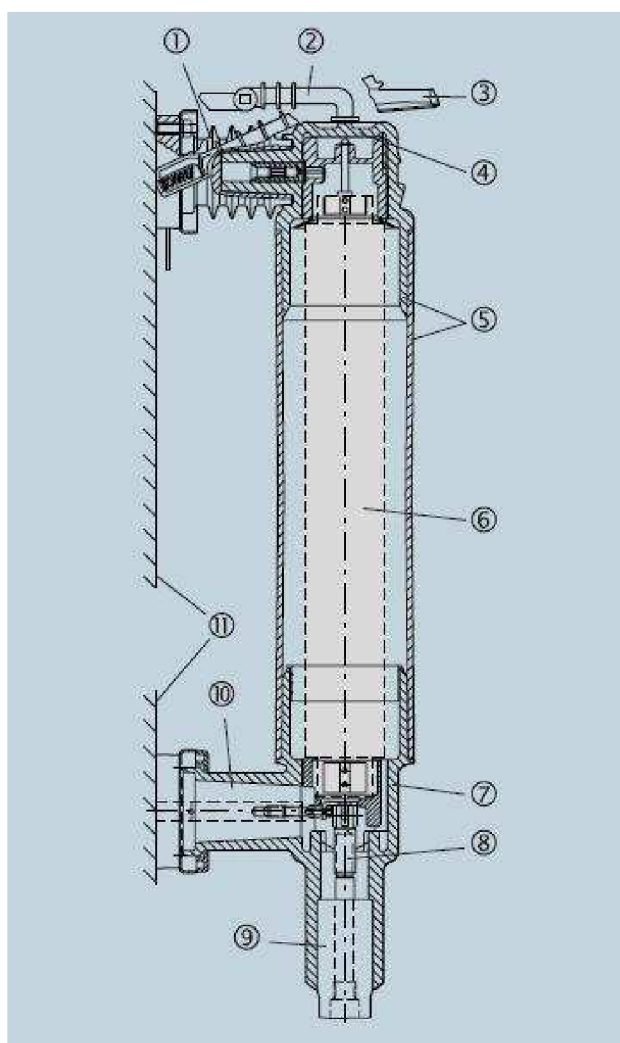
Díky vysoké provozní bezpečnosti zařízení (vnější vlivy jako vlhkost, vodivé prachy atd. nepůsobí) jsou poruchy způsobené obloukem téměř vyloučeny. Jestliže se přesto taková porucha vyskytne, poruší se pojistná membrána, která uvolní vzniklý přetlak. [5]

### 2.1.3 Pojistkové patrony VN

Pojistková nastavba rozváděčů GA (znázorněná na *obr. 2-2*) je podle [5] provedena jako násuvný systém. Všechny její části vně nádoby s plynem SF<sub>6</sub> jsou průchodkami z licí pryskyřice propojeny s proudovodnou dráhou.

Násuvný systém se skládá z horních a spodních pojistkových pouzder. Násuvné části jsou ze silikonového kaučuku, který je odolný proti účinkům oblouku. Spodní pojistkové pouzdro plní i další funkci – násuvnou kabelovou koncovku. Použitelný rozsah připojení Cu- nebo Al-kabelů je od 25 mm do 240 mm.

Pojistkové vložky VN se uzemňují na obou koncích prostřednictvím uzemňovačů umístěných v nádobě s SF<sub>6</sub>. Pojistková pouzdra jsou přístupná pouze při zapnutém uzemňovači.



Obr. 2-2 Pojistková patrona VN [5]

1	horní průchodka	6	pojistková vložka VN
2	vybavovací páka	7	spodní pojistkové pouzdro
3	upínací třmen	8	kabelový čep
4	pružná membrána	9	deflektor pro řízení elektr. pole
5	horní pojistkové pouzdro	10	spodní průchodka (2. uzemnění)
		11	přední stěna nádoby s plynem SF6

#### 2.1.4 Kabelový kanál pod rozváděčem VN

Rozváděč GA 2K1TS má přívody i vývody řešeny spodem, proto je nutné ho postavit nad kabelový kanál, ve kterém bude prováděno připojení přívodních i vývodních kabelů. Kabelový kanál musí být dostatečně hluboký kvůli dovolenému poloměru ohybu kabelů. Ve většině případech se používá hloubka 80-100cm. Na kabelový kanál je nutné instalovat ocelový rám, ke kterému je rozváděč připevněn. Pochozí plochy jsou zakryty rýhovaným plechem o tloušťce 5mm.



## 2.2 Stanoviště transformátoru 22/0,4kVA – transformátorová komora

Transformátorová komora (dále jen trafokomora) je místnost trafostanice s jedním nebo více transformátory, které transformují napětí do požadované napěťové hladiny. V našem případě z napětí 22kV na napětí 0,4kV. Stanoviště transformátoru musí odpovídat normám ČSN 33 3240, ČSN 33 2000 a ČSN 33 3220-86. Dle normy ČSN 33 3240:

- smí být na stanovišti transformátoru umístěno zařízení potřebné k zajištění činnosti transformátoru,
- musí být kabely umístěné na stanovišti transformátoru chráněny před kapajícím olejem a před mechanickým poškozením (např. umístěny v trubkách, nebo zaplechovány apod.),
- musí být v prostorech, kam se vstupuje za provozu, svítidla umístěna tak aby bylo možno světelné zdroje vyměňovat bez přerušování provozu,
- pro každý olejový transformátor o výkonu nad 1000kVA se musí zřídit samostatné stanoviště.
- musí být ve vstupu do trafokomory odnímatelná zábrana s výstražnou cedulkou.

### 2.2.1 Výkonový transformátor 22/0,4kVA

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který umožňuje přenášet elektrickou energii z jednoho obvodu do jiného pomocí vzájemné elektromagnetické indukce. Používá se většinou pro přeměnu střídavého napětí (např. z nízkého napětí na vysoké) nebo pro galvanické oddělení obvodů. Vyrábí se v širokém rozsahu výkonů, nejrůznějšího provedení a použití. V elektrorozvodných sítích používáme **transformátory výkonové** (výkony až 1000 MW a napětí až 800kV). Pro plynulou regulaci napětí elektrických strojů a v laboratořích se užívají regulační transformátory (autotransformátory), pro měření velkých hodnot proudů, napětí a výkonů se užívají měřicí transformátory napětí a proudu. Pro speciální použití zejména v slaboproudých zařízeních se vyrábějí zvláštní transformátory (oddělovací, impulsní apod.).

#### Volba vhodného transformátoru

Počet a výkon transformátorů se volí, tak aby byly trvale zatěžovány na 50 – 75% jmenovitého výkonu.

Například pro trafostanici, do které bude dodáván výkon 400kW je potřeba zvolit optimální transformátor podle vzorce 2.1 ze kterého vychází jako ideální transformátor o výkonu 630kVA. V *tab. 2-1* můžeme vidět, že jiné transformátory budou buď přetěžovány, nebo naopak nebudou dostatečně zatěžovány.

$S$	$\cos\varphi$	$z$
[kVA]	[-]	[%]
250	0,95	168
400	0,95	105
630	0,95	67
1000	0,95	42
1250	0,95	34
1600	0,95	26

Tab. 2-1 Zatížení transformátoru

Výpočet zatížení při účinníku  $\cos\varphi = 0,95$  pro elektrárnu o výkonu 400kVA:

$$z = \frac{P_{el}}{S_T} 100 = \frac{400}{0,95 \cdot 630} 100 = 68\% \quad (\%; \text{ kW, -, kVA}) \quad (2.1)$$

$z$  zatížitelnost transformátoru [%]

$P_{el}$  elektrický výkon [kW]

$\cos\varphi$  účinník [-]

$S_T$  zdánlivý výkon transformátoru [kVA]

### 2.2.2 Jímka pod transformátorem

Stanoviště transformátorů plněných olejem, které jsou nebezpečné z hlediska ohrožení zdraví, požární bezpečnosti, ohrožení životního prostředí nebo možnosti znečištění povrchových či podzemních vod, musí mít zachytanou olejovou jímku.

Tato jímka se nemusí zřizovat u stanovišť transformátorů do výkonu 1000kVA včetně, s obsahem olejové náplně do 1000 litrů včetně, pokud tyto transformátory ani ostatní zařízení na stanovišti nemají nucený oběh oleje, jsou umístěny ve svařovaných nádobách zabraňujících možnosti úniku olejové náplně z transformátoru a jsou chráněny proti zkratu pojistkami nebo obdobnými přímo působícími jistícími prvky a ochranami.

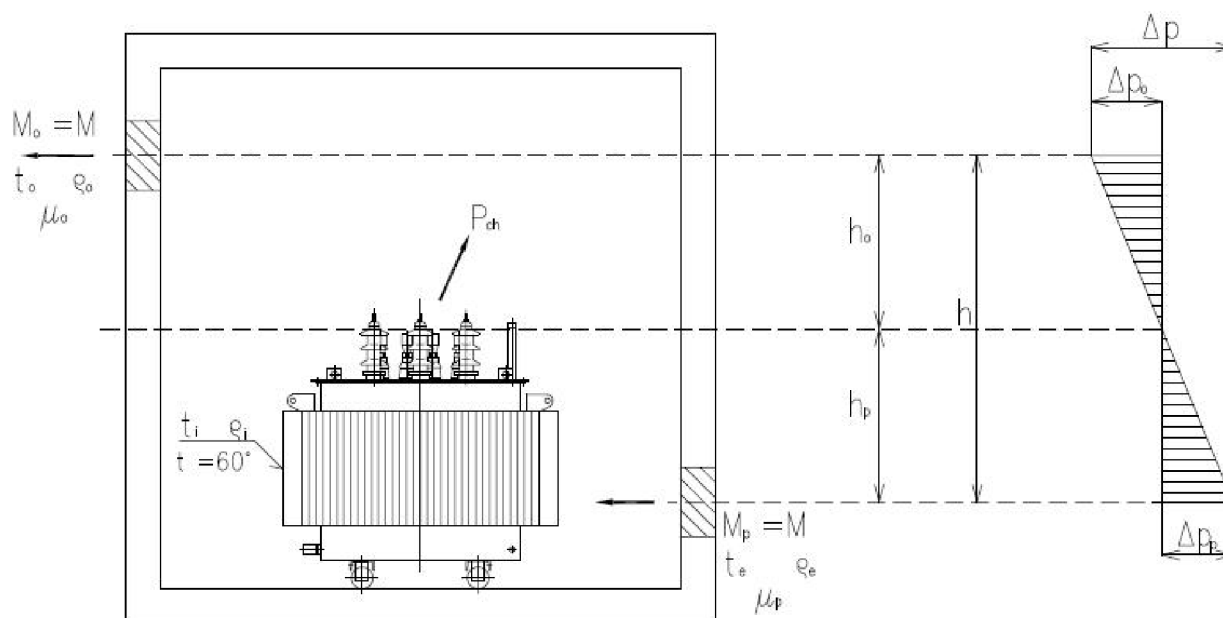
### 2.2.3 Jištění transformátoru

- proti zkratu – na primární straně, pojistkami o dostatečném výkonu. Pojistky musí být na společném rámu s odpínači tak, že při přetavení i jen jedné pojistky odpínač vypíná. Zkrat mezi odpínačem a pojistkami se nemusí uvažovat.
- Proti přetížení – na sekundární straně, jističe s tepelnými relé.

### 2.2.4 Chlazení transformátoru na vnitřním stanovišti – přirozené větrání

Stanoviště transformátoru musí být konstruováno tak, aby byly zajištěny předepsané podmínky pro chlazení transformátoru. Při návrhu chlazení se počítá se zatížením transformátoru v letním období podle ČSN 33 3220-86. Musí přitom být dodrženy požadavky na požární bezpečnost. Odvětrání trafokomory může být přirozeným, nebo umělým prouděním vzduchu. Otvor pro nasávání studeného vzduchu se umísťuje zpravidla na severní stranu do spodní části stěny trafokomory. Prostup pro odvod teplého vzduchu nejlépe do horní části protější stěny.

### 2.2.5 Navrhování chlazení na vnitřním stanovišti podle ČSN 33 3240 [1] – přirozené větrání



Obr. 2-3 chlazení transformátoru

#### 2.2.5.1 Obecné vztahy

Rovnice tepelné bilance:

$$P_{ch} = 0,6 \cdot P_z = M \cdot c \cdot (t_o - t_e) \quad (W; W; \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{K}) \quad (2.2)$$

$P_{ch}$  vypočtené ztráty transformátoru pro chlazení při daném provozním zatížení [W]

$P_z$  celkové ztráty transformátoru [W]

$c$  měrné teplo vzduchu [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  $c = 1010 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$t_e$  výpočtová teplota přiváděného vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $t_e = 25^{\circ}\text{C}$

$t_o$  nejvyšší přípustná teplota odváděného vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $t_o = 45^{\circ}\text{C}$

$M$  průtok větracího vzduchu [ $\text{kg/s}$ ]

Střední teplota vzduchu v komoře je:

$$t_i = \frac{t_e + t_o}{2} = \frac{25 + 45}{2} = 35^\circ\text{C} \quad (^\circ\text{C}; ^\circ\text{C}, ^\circ\text{C}) \quad (2.3)$$

Průtok větracího vzduchu je dán vztahem:

$$M = \frac{P_{\text{ch}}}{c \cdot (t_o - t_e)} = \frac{P_{\text{ch}}}{1010 \cdot 20} = \frac{P_{\text{ch}}}{20200} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{W}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}, \text{K}) \quad (2.4)$$

### 2.2.5.2 Odvození vztahů pro výpočet plochy větracích prostupů

Účinný přetlak v komoře:

$$p = (\rho_e - \rho_i)h \cdot g \quad (\text{Pa}; \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m}, \text{m} \cdot \text{s}^{-2}) \quad (2.5)$$

$\rho_e$	hustota vzduchu před trafokomorou [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$\rho_i$	hustota vzduchu v trafokomoře [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$\rho_o$	hustota vzduchu za trafokomorou [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$h$	výška mezi osami nasávacího otvoru a otvoru pro výdech teplého vzduchu [m]
$g$	gravitační zrychlení, [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ], $g = 9,8066 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
$\varphi$	relativní vlhkost vzduchu [%]

Hustoty vzduchu při určité teplotě a vlhkosti vzduchu:

$$\rho_e = 1,177 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{pro } t_e = 25^\circ\text{C}, \varphi_e = 60\%$$

$$\rho_i = 1,137 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{pro } t_i = 35^\circ\text{C}, \varphi_i = 35\%$$

$$\rho_o = 1,102 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{pro } t_o = 45^\circ\text{C}, \varphi_o = 20\%$$

Rovnice větrací rovnováhy:

$$M_p = M_o = M \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.6)$$

$M_p$  množství přiváděného větracího vzduchu [kg/s]

$M_o$  množství odváděného větracího vzduchu [kg/s]

Průtokové poměry pro přívodní větrací otvory:

$$M = S_p \mu_p \sqrt{2 \cdot \rho_e \Delta p_p} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.7)$$

Průtokové poměry pro odváděcí větrací otvory:

$$M = S_o \mu_o \sqrt{2 \cdot \rho_o \Delta p_o} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (2.8)$$

- $S_p$  plocha přiváděcího prostupu [ $\text{m}^2$ ]
- $\mu_p$  výtokový součinitel pro přiváděcí prostup [-]
- $S_o$  plocha odváděcího prostupu [ $\text{m}^2$ ]
- $\mu_o$  výtokový součinitel pro odváděcí prostup [-]

Hodnota výtokového součinitele se uvažuje:  $\mu_o = \mu_p = 0,44$  [-]

Při vřazení sítě z drátěného pletiva o rozměrech 20x20[mm] za žaluzii se ještě konstanta násobí hodnotou 0,85:

$$\mu_o = \mu_p = 0,44 \cdot 0,85 = 0,375 \quad [-] \quad (2.9)$$

Plocha přiváděcích prostupů  $S_p$  musí být:

$$S_p \geq \frac{M}{\mu_p \sqrt{2 \cdot \rho_e \Delta p_p}} \quad [\text{m}^2] \quad (2.10)$$

Plocha odváděcích prostupů  $S_o$  musí být:

$$S_o \geq \frac{M}{\mu_o \sqrt{2 \cdot \rho_o \Delta p_o}} \quad [\text{m}^2] \quad (2.11)$$

Ze vztahů (2.3) – (2.18) vyvodíme závěrečný vztah pro výpočet velikosti prostupů:

$$S_p \geq \frac{M}{\mu_p \sqrt{2 \cdot \rho_e \Delta p_p}} = \frac{\frac{P_{ch}}{20200}}{0,375 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,177 \cdot 0,02 \cdot 9,8066 \cdot h}} = 0,1942 \frac{P_{ch}}{\sqrt{h}} \quad [\text{m}^2; \text{kW}, \text{m}] \quad (2.12)$$

$$S_o \geq \frac{M}{\mu_o \sqrt{2 \cdot \rho_o \Delta p_o}} = \frac{\frac{P_{ch}}{20200}}{0,375 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,102 \cdot 0,02 \cdot 9,8066 \cdot h}} = 0,2007 \frac{P_{ch}}{\sqrt{h}} \quad [\text{m}^2; \text{kW}, \text{m}] \quad (2.13)$$

### 2.2.5.3 Příklad výpočtu větracích prostupů

Pro příklad volím olejový transformátor o jmenovitém výkonu 630kVA, zatížený v letním období na 50% jmenovitého výkonu. Rozdíl výšky větracích otvorů volím  $h=1,6\text{m}$ . Větrací otvory budou vybaveny žaluzií a sítí.

Pro transformátor tohoto výkonu se počítá se zaručenými hodnotami ztrát naprázdno a nakrátko podle předmětných norem a podle údajů výrobce.

Ztráty naprázdno:  $P_0=1,36\text{kW}$

Ztráty nakrátko:  $P_{kn}=11,1\text{kW}$

Celkové ztráty se vypočtou ze vztahu:

$$P_z = P_0 + P_{kn} \cdot N^2 \quad (2.14)$$

Podle ČSN 33 3240 je při 50% zatížení  $N^2 = 0,25$

Celkové ztráty při zatížení tedy jsou:

$$P_z = 1,36 \cdot 10^3 + 11,1 \cdot 10^3 \cdot 0,25 = 4,13 \cdot 10^3$$

Tepelné ztráty pro výpočet chlazení jsou:

$$P_{ch} = 0,6 \cdot P_z = 0,6 \cdot 4,13 \cdot 10^3 = 2,47\text{kW}$$

Průřezy větracích prostupů:

$$S_p = 0,1942 \frac{P_{ch}}{\sqrt{h}} = 0,1942 \frac{2,47}{\sqrt{1,6}} = 0,3792 \text{ m}^2$$

Volí se rozměr žaluzie: 1000mm x 400mm

$$S_o = 0,2007 \frac{P_{ch}}{\sqrt{h}} = 0,2007 \frac{2,47}{\sqrt{1,6}} = 0,3919 \text{ m}^2$$

Volí se rozměr žaluzie: 1000mm x 400mm

## 2.3 Rozvodna NN

Rozvodna NN obsahuje rozváděč nízkého napětí, kompenzační rozváděč, rozváděče měření spotřeby a rozváděč vlastní spotřeby. Rozvodna se řeší tak, aby byla zajištěna její spolehlivá funkce a postup výstavby byl optimální z hlediska elektrické stanice jako celku i z hlediska elektrizační soustavy.

### 2.3.1 Rozvodné zařízení NN

Jako rozvodné zařízení NN se používají rozváděče panelové, skříňové, popřípadě rámové s jednoduchými přípojnými. Vybavení rozváděčů NN musí být odolné vůči účinkům zkratových proudů. Jejich velikost, která je dána výkonem napájecího transformátoru, se stanoví podle ČSN 38 0411.

Do tohoto projektu volím skříňový rozváděč RH v oceloplechovém provedení o rozměrech 600x2000x500 (š x v x h). Schéma zapojení je zřejmé z přílohy B. Rozváděč bude mít přívodní i vývodní pole se spodními přívody i vývody.

Pole **RH.1** bude obsahovat hlavní sekundární jistič transformátoru FA1 (typ BL1000), kompenzační kondenzátor jalové energie transformátoru, přepětovou ochranu třídy „B“, pomocné měřicí a signalizační přístroje. Hlavní odpínač Q1 (typ BL1000) je hlavní spínač FVE a tvoří zároveň rozpadový bod předávacího místa. Má elektrické ovládání 230V pro spolehlivé vypnutí ochranným relé NPU. Pole **RH.2** a **RH.3** budou obsahovat pojistkové odpínače do 400A pro přívod el. energie z FVE. Do prostoru před rozváděč NN bude položen dielektrický koberec, který se používá pro ochranu před nebezpečným napětím do 1000V.

### 2.3.2 Hlavní sekundární jistič transformátoru

Jistič je ochrana elektrických zařízení proti nadproudům. Tato ochrana spočívá v tom, že jistící prvek musí odpojit chráněné zařízení od přívodu elektrického proudu dříve než by mohlo dojít k jeho poškození vlivem nadměrného oteplení nebo mechanického namáhání.

Jistič BL1000S z řady Modeion od firmy OEZ se jmenovitým proudem do 1000A je vybaven blokem odpínač, takže nevypíná nadproudy a zkratové proudy. Dále má napětovou spoušť, motorový pohon a pomocný spínač.



Obr. 2-4 Hlavní jistič BL1000S [6]

### 2.3.2.1 Nadproudová spoušť

Nadproudová elektronická spoušť tvoří samostatný záměnný blok, který chrání vedení a transformátor před zkratovými proudy. Záměnou spouště lze snadno měnit rozsah jmenovitého proudu jističe. Pro spínací blok BL1000SE305 se vyrábějí spouště ve čtyřech proudových rozsazích  $I_n = 315, 630, 800$  a  $1000$  A. Spouště tak včetně regulace pokryjí jmenovité proudy od 125 do 1000 A. Podle požadavků na přizpůsobení vypínací charakteristiky spouště jištěnému zařízení a variabilitě charakteristiky z pohledu selektivity jsou k dispozici spouště:

- DTV3 - Mají jeden druh charakteristiky s nastavením  $I_r$  a  $I_{rm}$ .
- MTV8 - Mají více druhů charakteristik s nastavením  $I_r$ ,  $t_r$  a  $I_{rm}$ .
- U001 - Mají univerzální charakteristiku s největší variabilitou nastavení:

$$I_r, t_r, I_{rmv}, t_v \text{ a } I_{rm}.$$

$I_r$  redukovaný jmenovitý proud [A]

$I_{rm}$  vybavovací proud časově nezávislé okamžité spouště [A]

$t_r$  vypínací čas při uvedeném násobku  $I_r$  [s]

$t_v$  zpoždění časově nezávislé zpožděné spouště [s]

$I_{rmv}$  vybavovací proud časově nezávislé zpožděné spouště [A]

Do jističe je vhodná nadproudová spoušť DTV3, kterou je možné nastavit na jmenovitou hodnotu proudu 1000A. Nastavení se provádí přepínačem  $I_r$  tak, že se charakteristika posouvá v ose proudu. Spoušť je vnitřními obvody nastavena na jeden typ charakteristiky. Nastavení spouště je v *tab. 2-2*.

#### DTV3 - charakteristika D - distribuční

■ jištění vedení a transformátorů

$I_n$ [A]	Typ	Kód výrobku	Popis	Hmotnost [kg]	Balení [kus]
315	SE-BL-J315-DTV3	22111	Nastavení $I_r = 125 \div 315$ A	0,5	1
630	SE-BL-J630-DTV3	22211	Nastavení $I_r = 250 \div 630$ A	0,5	1
800	SE-BL-J800-DTV3	22311	Nastavení $I_r = 315 \div 800$ A	0,5	1
1000	SE-BL-J1000-DTV3	19383	Nastavení $I_r = 400 \div 1000$ A	0,5	1

Tab. 2-2 Nadproudové spouště DTV3[6]



### 2.3.2.2 Kompenzace účinníku

Kompenzace účinníku se v trafostanicích obecně provádí z ekonomického hlediska a to na sekundární straně transformátoru. Pro kompenzaci jalového výkonu se používají rozváděče se statickými kondenzátory a regulátorem účinníku. Regulace účinníku se provádí automaticky. Není-li kondenzátorová baterie řešena v projektu, doporučuje se podle celkového řešení uvažovat alespoň s prostorem pro její dodatečné umístění.

Vzhledem k tomu, že střídače fotovoltaických elektráren mají účinník roven nebo větší než 0,98, kompenzace u FVE do 1MW se neuvažuje. Avšak „Pravidla provozování distribučních soustav“ připouští, že kompenzace jalového výkonu může být provozovateli distribučních sítí vyžadována.

## 2.4 Uzemnění trafostanice

Uzemnění se zřizuje pro ochranu před úrazem elektrickým proudem, pro ochranu před bleskem a přepětím, nebo pro správnou činnost elektrických zařízení. V rozvodných elektrických zařízeních se zajišťuje strojenými zemniči nebo náhodnými zemniči.

V rozvodném elektrickém zařízení slouží uzemnění současně jako ochranné i pracovní. Pokud to vyžaduje elektrické zařízení lze ochranné a pracovní uzemnění provádět samostatně.

V síti TN a TT se střed (uzel) vinutí zdroje (transformátoru) spojí se zemí, aby při spojení jednoho fázového vodiče se zemí nepřestoupilo jmenovité pracovní napětí v jiném fázovém vodiči dovolenou hodnotu. Podle ČSN 33 0420 a ČSN 35 7107 v síti TN s jmenovitým napětím proti zemi  $U_0=230V$  je při této poruše maximální dovolená hodnota jmenovitého pracovního napětí proti zemi 300V.

Odpor uzemnění pracovního středu zdroje  $R_A$  nemá být větší než  $5\Omega$ . Nelze-li tuto hodnotu ve ztížených půdních podmínkách dosáhnout obvyklými prostředky, dovoluje se odpor uzemnění větší, avšak nejvýše  $15\Omega$ .

Celkový odpor uzemnění  $R_B$  vodičů PEN (PE) odcházejících vedení z transformovny včetně uzemněného středu zdroje nemá však být pro síť TN o jmenovitém napětí proti zemi  $U_0=230V$  větší než  $2\Omega$ . Tato hodnota však nemusí být dodržena všude. V místech kde je odpor větší se nejvyšší dovolená hodnota učí podle vztahu:

$$R_B \leq \frac{\rho_{\min}}{100} \quad (\Omega; \Omega m) \quad (2.15)$$

$R_B$  celkový odpor uzemnění vodičů PEN (PE) všech odcházejících vedení z transformovny včetně odporu uzemněného středu zdroje transformovny [ $\Omega$ ]

$\rho_{\min}$  nejmenší hodnota rezistivity půdy naměřená v místech, kde se zřizuje uzemnění [ $\Omega m$ ]

Společné uzemnění VN a NN v trafostanici je třeba kontrolovat podle vztahu:

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E} \quad (\Omega; V, A) \quad (2.16)$$

$U_{Tp}$  dovolené dotykové napětí pro elektrická zařízení nad 1kV pro omezené trvání průtoku proudu [V]

$I_E$  zemní proud na straně VN [A]

### Ochranné pospojování na povrchu trafostanice:

Provádí se páskem FeZn 30/4 mm, který je pevně přichycený na stěnách trafostanice příchýtkami PV42 ve výšce 0,4m nad úroveň podlahy v místnostech trafostanice. Rozváděče a elektrické přístroje se připojují přes zkušební svorky SR02, které slouží k uzemnění a odzemnění rozváděčů a přístrojů. Na ochranné pospojování se připojuje skříň a uzemňovací přípojnice rozváděče VN, stínění kabelů VN, uzel a konstrukce transformátoru, skříň a nulová přípojnice rozváděče NN, všechny kovové konstrukce v trafostanici, rámy přístrojů, rámy pro průchodky, pevné kryty a víka přístrojů, uzemňovače a zkratovače, kabelové lávky, obvody přístrojových transformátorů napětí a proudu a svodiče přepětí. Návrh ochranného pospojování obsahuje příloha D.

## 2.5 Elektroinstalace v trafostanici

Elektroinstalace je nedílnou součástí trafostanice. Napájena bývá z rozváděče nízkého napětí na pojistkovém vývodu 10A v hlavním poli tohoto rozváděče. Provedena je kabely CYKY-J, k vypínačům pak CYKY-O. V trafostanici musí být svítidla umístěna tak, aby bylo možno světelné zdroje vyměňovat bez přerušení provozu. Návrh elektroinstalace v trafostanici obsahuje příloha E.

## 3 TECHNOLOGIE FVE

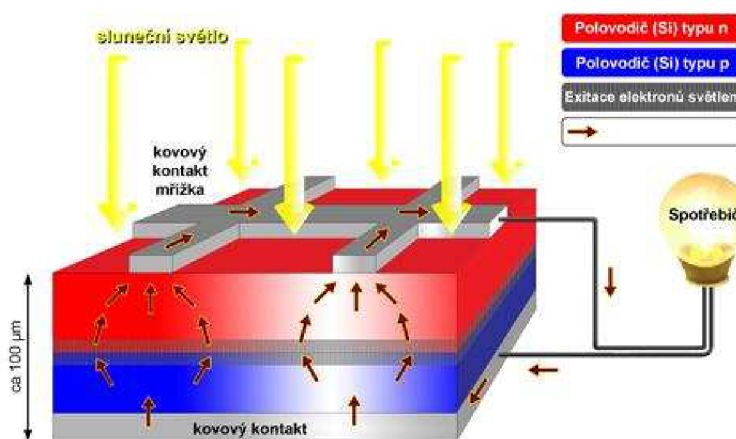
Fotovoltaická (solární nebo také sluneční) elektrárna (dále jen FVE) je technologické zařízení, které přeměňuje sluneční záření na elektrickou energii. Skládá se z menšího či většího počtu **solárních panelů**, **střídače** či střídačů, **trafostanice**, podpůrných a jistících prvků. Samozřejmě, že k FVE patří i konstrukční prvky a kabeláž. FVE se liší především svým výkonem, jinak se většinou jedná o stejný princip - energie vyrobená slunečním osvětlením FV panelů se přemění ve střídačích na střídavou energii a poté je předána do domácí či rozvodné elektrické sítě o kmitočtu 50 Hz. Mezi její nevýhody patří malá účinnost (cca 14%) a nutnost velké zastavěné plochy. Naproti tomu má ovšem mnoho výhod:

- využívá sluneční energii – nespotřebovává žádné suroviny
- má dlouhou dobu životnosti
- je absolutně bezhlučná
- neprodukuje žádný CO<sub>2</sub>, ani jiný skleníkový plyn, žádný popílek, ani toxický odpad
- panely jsou z recyklovatelných materiálů (křemík, sklo, hliník)

### 3.1 Solární Panely

#### 3.1.1 Popis FV panelů

Solární panel vznikne správnou konstrukcí a pospojováním **FV článků** (naznačeno v příloze G). FV článek je polovodičový velkoplošný prvek, jenž obsahuje PN přechod. Na rozhraní materiálů P a N vzniká přechodová vrstva P-N, v které existuje elektrické pole vysoké intenzity. Toto pole potom uvádí do pohybu volné nosiče náboje vznikajícího absorpcí světla. Vzniklý elektrický proud odvádějí z článku elektrody. V ozářeném FV článku jsou fotony generovány elektricky nabitě částice (pár elektron - díra). Některé elektrony a díry jsou poté separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi kladným a záporným kontaktem FV článku. Zátěží (spotřebičem) připojenou mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího slunečního světla.



Obr. 3-1 Princip činnosti fotovoltaického článku

Nejvíce rozšířené FV panely v současné době jsou křemíkové. Různým zpracováním křemíku lze vyrobit monokrystalické, polykrystalické a amorfni FV články. V praxi se používají převážně monokrystalické panely.

Vývoj jde velice rychle kupředu, čímž se zvyšuje účinnost solárních systémů. Běžně používaná zařízení mají v současnosti účinnost 18%. V laboratorních podmínkách už se dosahované hodnoty pohybují okolo 35%. FV panel je schopen vyrábět elektrickou energii i bez přímého osvětlení na základě difúzního záření, které je v ČR převládající.

Jednotkou nominálního výkonu FV panelu je jeden *watt-peak*. Je to špičková hodnota výkonu, který je vyrobený panelem za běžného slunečního dne. Hodnota se zjišťuje při standardizovaném testu panelu osvětleném zářením o hustotě  $1000 \text{ W/m}^2$ , teplotě P-N přechodu  $25^\circ\text{C}$  a solárnímu referenčnímu spektru odpovídajícímu slunečnímu záření po průchodu bezoblačnou atmosférou Země – ideální podmínky. Nazývá se také certifikační měření, které je součástí každého panelu a vydává ho omezené množství zkušeben. Často kupované panely z Číny sice mají certifikáty pravé, ale problém je u nich, vzhledem k většímu počtu příměsí, v rychlejší degradaci panelů a většina tuzemských firem je proto nedoporučuje. [11]

Dnes FV panely dosahují při ideálních podmínkách (světlo o intenzitě  $1000 \text{ W/m}^2$  dopadá kolmo na panel při teplotě  $25^\circ\text{C}$ ) výkon až  $173 \text{ W/m}^2$ . Množství získané energie závisí na těchto faktorech:

- technologie výroby (účinnost)
- intenzita dopadajícího světla (lokality)
- plocha, na kterou světlo dopadá (přímoúměrné)

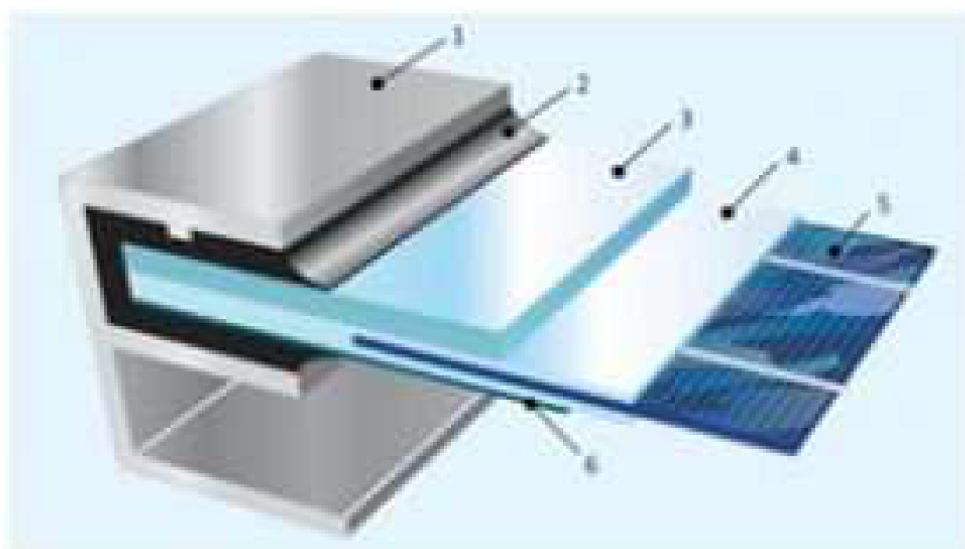


Obr. 3-2 Fotovoltaický panel složený ze 72ks článků

Velikosti FV panelů jsou různé dle výrobců, obecně lze říci, že aby byla dobrá manipulovatelnost s panelem při instalaci systému, měla by být plocha panelu menší než  $2 \text{ m}^2$ . V přílohách G a H je zobrazeno uspořádání panelů v půdoryse a v řezu. Svým zpracováním jsou

schopny odolat i nepříznivým klimatickým podmínkám jako je například krupobití. Na trhu je mnoho výrobců solárních panelů. V principu se panely liší rozměry, účinností a samozřejmě cenou. Jednotlivé vrstvy panelu jsou zobrazeny na *obr. 3-3*.

Všechny články či panely vyrábějí stejnosměrnou energii. Proto jsou nedílnou součástí FVE také střídače (kapitola 4), jež stejnosměrnou energii přemění na střídavou.



*Obr. 3-3 Konstrukce FV panelu [15]*

1. hliníkový rám
2. těsnění
3. tvrzené sklo
4. folie EVA
5. FV články z křemíku
6. vodotěsná folie z umělé hmoty

### 3.1.2 Rozdělení FV článků

Hlavní složkou FV článků je krystalický křemík, což je druhý nejrozšířenější prvek na Zemi. Křemík se vyskytuje pouze jako vázaný prvek, proto se musí vyseparovat z křemenného písku. Další nevýhodou křemíku je jeho pořizovací cena, která je dána zejména požadavkem na vysokou čistotu.

Na *obr. 3-4* jsou vidět krystalické panely zleva: amorfni modul, polykrystalický modul, monokrystalický modul, velkoplošný monokrystalický modul.



Obr. 3-4 Křemíkové moduly

### 3.1.2.1 Křemíkové monokrystalické články

Jedná se o nejstarší typ FV článků, jejichž výroba není jednoduchá a je energetiky náročná, z čehož plynou vyšší náklady na jeden Wp.

K výrobě monokrystalů se převážně používá tzv. Czochralského metoda. Princip této metody spočívá v pomalém tažení zárodku krystalu z kapalné taveniny velmi čistého křemíku. Při růstu monokrystalů je nutné v peci udržovat stálé podmínky. Takto vzniklé ingoty monokrystalického křemíku (obr. 3-5) se nařezou speciální pilou na pláty, které mají tloušťku 0,25 - 0,35mm. Poté se pláty zarovnají na rovnoměrnou tloušťku a provede se jejich následná úprava (leštění a odstranění případných nečistot). PN přechod je vytvořen tak, že z jedné strany dojde k obohacení pětimocným prvkem (P, As) - vznik vodivosti typu N a z druhé strany dojde k přidání prvku trojmocného (B) - vznik vodivosti typu P.



Obr. 3-5 Ingoty velmi čistého křemíku

Ekonomicky výhodnější je tažení monokrystalického pásku rovnou z taveniny. Tímto způsobem tažení lze vyrobit až dvojnásobnou plochu solárního článku. Nevýhodou tohoto principu výroby je o něco nižší účinnost FV článků.

Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 až 17%.

### 3.1.2.2 Křemíkové polykrystalické články

Jsou to nejrozšířenější FV články, díky své jednoduchosti výroby a z toho plynoucí nižší ceny. Jejich základem je také křemíková podložka, účinnost se pohybuje v rozmezí 10 až 14%.

Podle [12] se zhotovují odléváním materiálu (čistého křemíku) do speciálních forem (používá se čtvercový nebo obdélníkový tvar pro lepší využitelnost materiálu). Vzniklé ingoty se jako u monokrystalických článků nařežou. Nevýhodou této technologie výroby je vznik většího odporu mezi jednotlivými krystalovými zrny v porovnání s monokrystalem. Zhoršují se tím elektrické vlastnosti - nižší proud.

### 3.1.2.3 Amorfnní články

V porovnání s monokrystalickými a polykrystalickými články jsou zřetelně levnější, výroba je méně materiálově a energeticky náročná. Pokles ceny je zde způsoben použitím menšího množství materiálu.

Vyrábí se ve vakuové atmosféře při teplotách kolem 200°C. Na destičku ze skla, plastu nebo nerezů je nanášena vrstva křemíku. Klasické krystalické články mají tloušťku cca 0,3mm, v případě amorfnního křemíku se jedná většinou o nanášení vrstev nepřesahující tloušťky 0,001 mm. V případě, že se jedná o malé tloušťky článků, tak se mluví o tzv. tenkovrstvé technologii.

V praxi konstrukci článků tvoří jedna nebo více vrstev z amorfnního křemíku s příměsí germania a dalších prvků, které jsou nanášeny na základní fólii zhotovené z ušlechtilé oceli. Základní fólie vytváří záporný pól článku. Kladný pól je vytvářen z vláken z ušlechtilé oceli. Celý článek je zataven v polymerním ochranném pouzdře tvořeném ze směsi etylen-vinyl-acetátu (EVA) a fluoro-polymeru na bázi teflonu. Pouzdro tvoří vysoce odolný obal. Funkcí tohoto pouzdra je schopnost zabránit tvorbě usazenin a tím článek udržovat v čistém stavu.

Ve srovnání s krystalickým křemíkem se jedná o málo pravidelnou strukturu. Některé z atomů křemíku nemají vedle sebe potřebné atomy, se kterými by mohly vytvořit vazbu. V těchto místech může docházet k rekombinaci nábojů. Tyto elektrony (díry) se dále nezúčastní vedení proudu, což má za následek snížení účinnosti těchto článků. Problém lze z části odstranit navázáním vodíku na tyto volné vazby, jedná se o tzv. hydrogenizaci nebo pasivaci.

Účinnost těchto článků je 5-9 %. Jejich výhodou je menší pokles výkonu při nízké intenzitě osvětlení ve srovnání s krystalickými FV články. Články, které jsou vyrobené z amorfnního křemíku, vykazují při spuštění systému vyšší výkon než udává výrobce. V průběhu prvního roku používání se hodnota výkonu ustálí na hodnotě, kterou udává výrobce v katalogových listech. Amorfnní články se v letních měsících nepřehřívají, tzn. že se nezmenšuje jejich výkon.

Díky malé tloušťce a značné ohebnosti je možné takto vyrobený FV článek aplikovat na různé materiály (plast, guma, sklo), výsledné FV panely pak následně snadněji instalovat na různé typy střech [13].

### 3.1.3 Umístění a instalace FV panelů

Na toto téma jsou na světě různé názory a většinou je resumé takové, že za ideální je považována jižní orientace s natočením max. 10-15° na západ. Samozřejmě, že nesmí slunečnímu záření nic bránit v tom, aby paprsky dopadaly na panely.

Sklon panelů bývá udáván mezi 35-45° od vodorovné roviny. V případě stavby FVE na rovné střeše nebo pozemku, je to s orientací snadné. Pokud ale je střecha odkloněná od jihu o více než 45° na východ či západ, stavba se raději nedoporučuje.

Rozlišujeme celkem 4 základní typy instalací panelů:

1. **Pevná instalace** je nepohyblivé uchycení panelů na nosné konstrukci pod fixním úhlem. Roční produkce v našich podmínkách je 1000 pracovních hodin v plném výkonu při úhlu 35°. Toto usazení zobrazuje příloha H
2. **Jednoosá polohovací jednotka** je sestava panelů na nosné konstrukci instalované pod optimálním sklonem 35° se "sledovačem" slunce v jedné ose – východ – západ. Roční produkce je v našich podmínkách cca 1250 pracovních hodin v plném výkonu. Většinou nelze instalovat na střechy – z důvodu statiky.
3. **Dvouosé polohování** je natáčení panelů konstrukcí za sluncem tak, aby bylo dosaženo kolmého dopadu paprsku, tzn. že slunce je sledováno v azimutu i výšce. Roční produkce je v našich podmínkách cca 1370 pracovních hodin v plném výkonu. Většinou nelze instalovat na střechy – z důvodu statiky.
4. **Super traxle** je jednoosá polohovací jednotka s násobičem (zrcadlem) světelného toku. Výrobce udává odhad roční produkce v našich podmínkách cca 1370 pracovních hodin v plném výkonu. Většinou nelze instalovat na střechy – z důvodu statiky.

Natáčecí systémy mají vyšší výkon, ale na druhou stranu vyšší pořizovací náklady, natáčecí mechanismy jsou náchylné na mechanické poškození, potřebují pravidelnou údržbu a revize. Z hlediska nulové údržby a nulových provozních nákladů se doporučují statické systémy. Řez panelem je znázorněn v příloze H.

### 3.1.4 Výpočet rozestupů mezi panely

Nejvyšších výkonů dosahují panely při dopadu slunečního záření pod úhlem 90°.

V našich zeměpisných šířkách dopadají sluneční paprsky na zemský povrch pod úhlem 18-60°. Z tohoto důvodu se panely většinou instalují pod úhlem 34°.



Výpočet rozestupů mezi panely se pak provádí podle následujících vzorců (pro příklad výpočtu byla zvolena délka panelů  $D_p=4\text{m}$ , úhel dopadu paprsků  $U_s=18^\circ$  a úhel natočení panelů  $U_p=35^\circ$ ):

$$V_p = \frac{D_p}{\sin U_p} = \frac{4}{\sin 0,314} = \underline{\underline{2,29\text{m}}} \quad (\text{m; m, rad}) \quad (3.1)$$

$$D_z = \frac{V_p}{\text{tg} U_s} = \frac{2,29}{\text{tg} 0,314} = \underline{\underline{3,28\text{m}}} \quad (\text{m; m, rad}) \quad (3.2)$$

$$D_t = \cos U_p \cdot D_p = \cos 0,611 \cdot 4 = \underline{\underline{7,06\text{m}}} \quad (\text{m; rad, m}) \quad (3.3)$$

$V_p$  výška panelů dosažená při úhlu  $U_p$  [m]

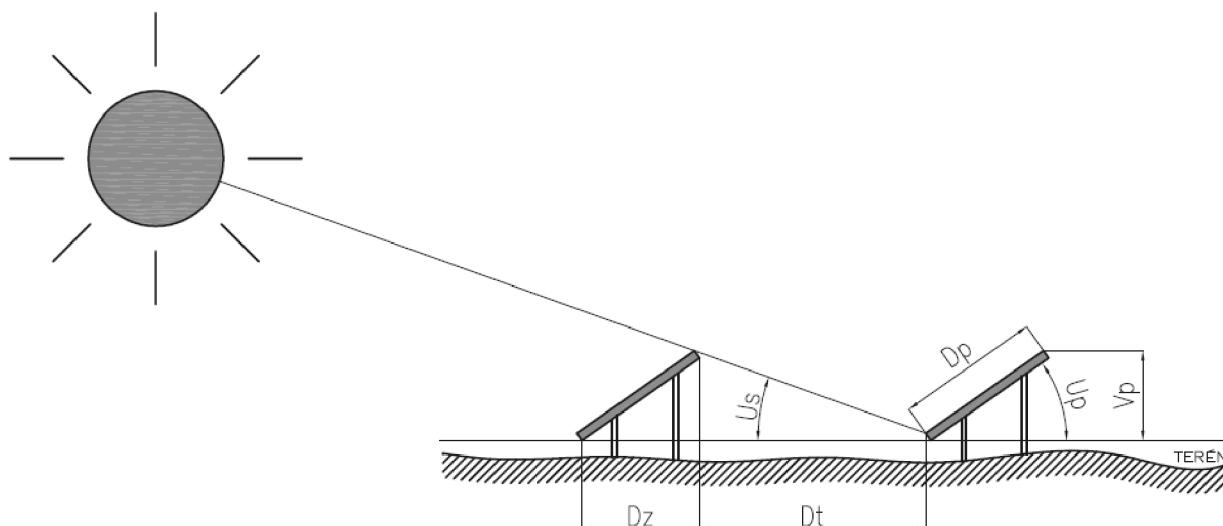
$D_p$  délka panelu [m]

$U_p$  úhel naklonění panelů [ $^\circ$ ]

$U_s$  úhel dopadu slunečních paprsků [ $^\circ$ ]

$D_t$  vzdálenost mezi panely [m]

$D_z$  délka panelu při úhlu  $U_p$  [m]



Obr. 3-6 Rozestupy panelů

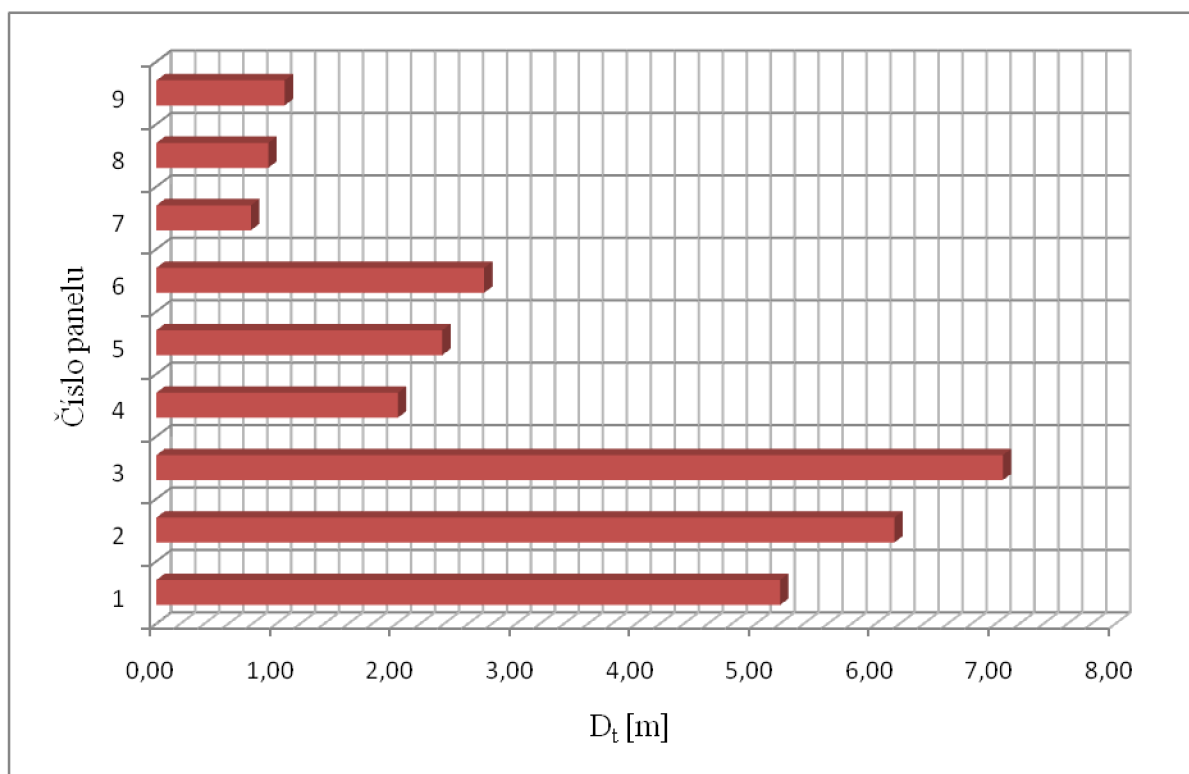
V Obr. 3-6 jsou zakresleny výše uvedené veličiny. V tab. 3-1 jsou pak vypočteny rozestupy panelů o délce 4 metry při různých stupních dopadu slunečního záření a natočení FV panelů.

Číslo panelu	$U_p$	$U_p$	$U_s$	$U_s$	$D_p$	$V_p$	$D_z$	$D_t$
	[°]	[rad]	[°]	[rad]	[m]	[m]	[m]	[m]
1.	25	0,436	18	0,314	4	1,69	3,63	5,20
2.	30	0,524	18	0,314	4	2,00	3,46	6,16
3.	35	0,611	18	0,314	4	2,29	3,28	7,06
4.	25	0,436	40	0,698	4	1,69	3,63	2,01
5.	30	0,524	40	0,698	4	2,00	3,46	2,38
6.	35	0,611	40	0,698	4	2,29	3,28	2,73
7.	25	0,436	65	1,134	4	1,69	3,63	0,79
8.	30	0,524	65	1,134	4	2,00	3,46	0,93
9.	35	0,611	65	1,134	4	2,29	3,28	1,07

Tab. 3-1 Výpočet rozestupů mezi panely

V zimních měsících dopadá sluneční záření pod úhlem 18°, v jarních měsících pod úhlem přibližně 42° a v letních měsících to je cca. 65°.

Z Tab. 3-1 vychází nejvhodnější vzdálenost při 25° natočení panelů a 65° osvitu slunečními paprsky, jenže pod úhlem 65° slunce svítí pouze několik měsíců v roce a ve zbylé době by si panely stínily a nevyráběli energii. Obr. 3-7 znázorňuje jednotlivé délky rozestupů při určitých úhlech.



Obr. 3-7 Vzdálenosti mezi panely

### 3.1.5 Polohovací jednotky SunFlex [16]

Díky použití polohovacích jednotek SunFlex dochází k nárůstu výstupu fotovoltaických panelů oproti pevným instalacím zhruba o 37%. V současné době jsou na trhu tři typy dvouosých polohovacích jednotek a to SF-2, SF-18 a SF-40. Rozdíl mezi polohovacími jednotkami spočívá v ploše, kterou je možno osadit FV moduly. Číslo v názvu jednotky představuje přibližnou plochu v metrech čtverečních. Na jednotku SF-2 se standardně montují 2 fotovoltaické panely SHARP (celkem 250Wp), na jednotku SF-18 se standardně montuje 15 fotovoltaických panelů SHARP (celkem 2,43kWp) a na jednotku SF-40 se standardně montuje 32 fotovoltaických panelů SHARP (celkem 5,6kWp) jak je naznačena na Obr. 3-8. Díky flexibilnímu a jednoduchému montážnímu systému je však možno nainstalovat FV modul prakticky od jakéhokoliv výrobce.



Obr. 3-8 Polohovací jednotky SunFlex SF 2, SF 18, SF 40 [16]

K dvouosému polohování (natáčení) se používá lineární motor a harmonická převodovka, které jsou řízeny přes řídicí elektroniku senzorovou hlavou snímající polohu Slunce. V případě zatažené oblohy dá řídicí elektronika pokyn motorům ke sklopení funkční plochy do vodorovné polohy, aby moduly měly možnost zachytit co nejvíce rozptýleného světla.

Polohovací jednotky se montují na nosný sloup, který může být uložen buď v betonovém základu, nebo je zabetonována ocelová konstrukce, která se přes přírubu spojí se sloupem. Celý systém je koncipován jako stavebnice a lze ho sestavit bez speciálního nářadí. Pouze montáž sloupu a usazení celé polohovací jednotky vyžaduje vzhledem k hmotnosti konstrukce použití mechanizace.

### 3.2 Střídače

Střídače neboli invertory jsou zpravidla elektronické systémy tvořené výkonovými tranzistory, které přesně stanovenými spínacími procesy přeměňují stejnosměrnou energii na střídavou energii předepsaných parametrů (230/400V, 50Hz) a kvalit. Vytvořené napětí je dále možné transformovat pomocí výkonových transformátorů na vyšší výstupní napětí. Vyrobena energie se pak spotřebovává pro vlastní spotřebu výrobce, nebo dodává přímo do distribuční sítě.

Dnes se střídače vyznačují především vysokou účinností (cca 95%), nízkou tepelnou závislostí a v neposlední řadě vysokou spolehlivostí [13].

### 3.2.1 Funkce střídače

Měnič je v podstatě řídicí centrum celého systému a mimo konverze energie je schopen podávat informace o vyrobené energii a provozních stavech. Zároveň monitoruje a reguluje napájení sítě a v případě jakékoliv poruchy v přenosové soustavě automaticky odpojí solární panel od sítě.

Měnič může být vybavený displejem (Obr. 3-9), který ukazuje aktuální údaje o činnosti systému, okamžitý výkon, napětí, energii vyprodukovanou systémem ve sledovaný den, celkovou vyprodukovanou energii, dobu práce systému, případně poruchu a příčinu poruchy.



Obr. 3-9 Střídače [10,13]

### 3.2.2 Rozdělení střídačů

Díky vhodnému výběru inverterů můžeme razantně snížit ztráty na vedení a náklady na technologickou část FVE. Základní dělení střídačů je na decentrální a centrální. Střídače můžeme dále rozdělit na:

- Invertory s transformátorem – přímo ve střídači je transformátor, který slouží ke galvanickému oddělení obvodu od venkovní sítě. Nevýhodou je jejich nadměrná velikost. Používají se hlavně ve FVE o výkonech nad 2MW.
- Invertory bez transformátoru – v tomto případě se musí v trafostanici použít speciálně upravený vícevinutový transformátor. Oproti inverterům s transformátorem mají lepší účinnost, protože neobsahují transformátor, což je z tohoto pohledu další zdroj ztrát. Mohou se použít ve FVE o všech výkonech.

### 3.2.3 Princip a funkce trojfázového střídače v můstkovém zapojení

#### Princip činnosti podle [18]:

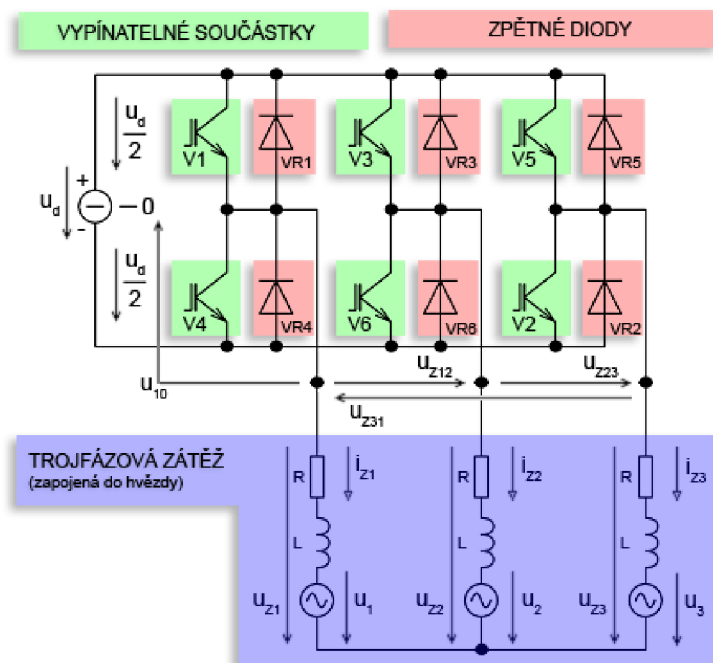
Na Obr. 3-10 je znázorněn střídač, který se skládá ze šesti IGBT tranzistorů a šesti zpětných diod. Střídačem se uzavírá proud, pokud je současně sepnuta alespoň jedna součástka z

katodové skupiny a alespoň jedna součástka z anodové skupiny. Je nepřijatelné sepnout najednou součástky jedné fáze (V1,V4 nebo V3,V6 nebo V5,V2), protože by došlo ke zkratu zdroje.

Jako celek tvoří zpětné diody tzv. zpětný usměrňovač, který umožňuje usměrnit energii a odběr jalového výkonu zátěží. Ke spínání zpětných diod dochází při reálných typech zátěží, které vždy obsahují indukčnost. Stejnosemerná strana střídače musí umožňovat průchod proudu v obou směrech.

Stejnosemerná strana napětového střídače je připojena na zdroj napětí  $u_d$ . Zdroj napětí  $u_d$  je uvažován jako ideální. V reálném zapojení je jako zdroj obvykle kondenzátor, který udržuje hladinu napětí stejnosměrného meziobvodu na požadované úrovni. V tomto případě je zde naznačen virtuální střed napájecího zdroje (0). Na střídavé straně měniče je trojfázová zátěž, zapojená do hvězdy (Y).

### Zapojení silového obvodu:



Obr. 3-10 Schéma zapojení střídače [18]

### Součástky a veličiny střídače:

<b>V1-V6</b>	tranzistory IGBT (V1, V3, V5 – katodová skupina, V2, V4, V6 – anodová skupina)
<b>VR1-VR6</b>	zpětné diody
<b><math>u_d</math></b>	stejnosemerný zdroj napětí
<b><math>u_{10}</math> , <math>u_{20}</math> , <math>u_{30}</math></b>	fázová napětí střídače
<b><math>u_{Z1}</math> , <math>u_{Z2}</math> , <math>u_{Z3}</math></b>	fázová napětí zátěže
<b><math>u_{Z12}</math> , <math>u_{Z23}</math> , <math>u_{Z31}</math></b>	sdružená napětí střídače

## 4 EKONOMICKÉ ZHDNOCENÍ PROJEKTU FVE

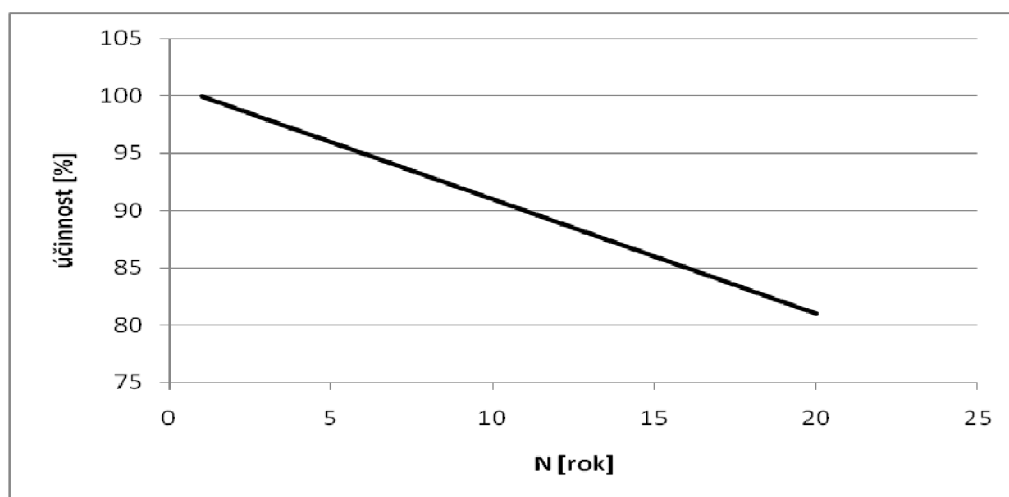
Cena FV elektrárny je ovlivněna mnoha faktory, z nichž tři nejdůležitější jsou FV panely, měniče a transformátory. Při nevhodném výběru některého z těchto parametrů se může cena FV elektrárny rapidně zvýšit.

Dalšími ekonomickými faktory, které ovlivňují cenu FVE může být např. nevhodná volba zabezpečení, cena ostatní technologie trafostanice, nebo cena pozemku, na kterém má FVE stát.

### 4.1 Výběr solárních panelů

FV panely jsou nejdražší položkou v rozpočtu FVE. Vybírají se podle materiálu, ze kterého jsou složeny (monokrystalické, polykrystalické a amorfni – kapitola 3.1). Dále je možné zvolit způsob usazení panelů (polohovací a pevné).

Na FV panelech je nejdůležitější jejich účinnost, kterou dnes výrobci garantují 90% po deseti letech provozu a 80% po dvaceti letech provozu. Na *Obr. 4-1* je znázorněn pokles účinnosti v daném období.



*Obr. 4-1 Účinnost FV panelů*

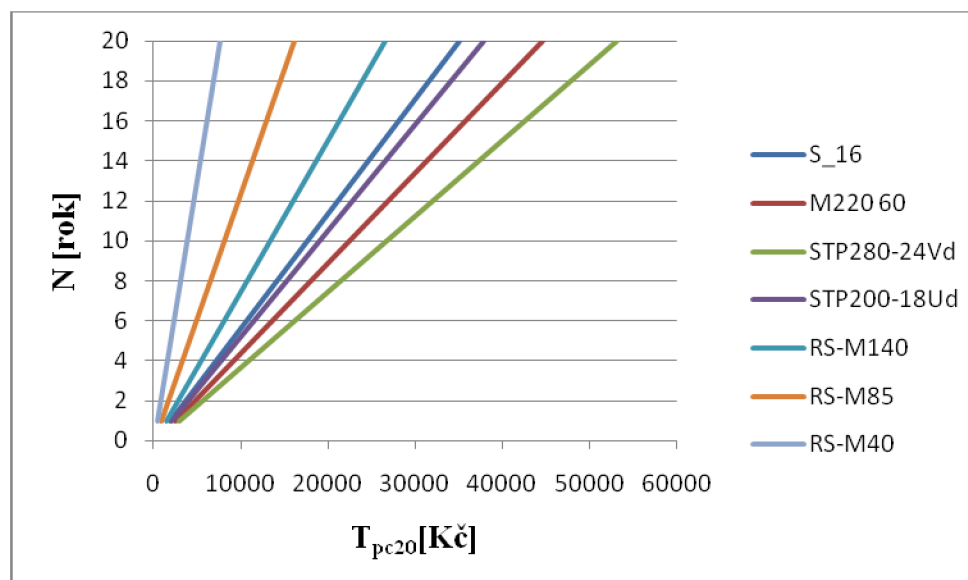
Jelikož v dnešní době na světě není FVE, která by za sebou měla dvacet let provozu, je velice těžké určit, jak se budou vyvíjet vlastnosti panelů po celou dobu jejich životnosti. Dále je nemožné určit dobu slunečního osvětlení elektrárny po celých dvaceti letech a musí se vycházet z průměrné doby dopadu slunečních paprsků v minulosti. Z tohoto důvodu je výpočet spíše orientační s hodnotami, které garantuje výrobce. *Tab. 4-2* určuje, kolik energie mohou vyrobit různé typy panelů během dvaceti let provozu s výše uvedeným poklesem účinnosti. Ve výpočtu je počítáno s výkupní cenou elektrické energie 12,25 Kč, s 950 hodinami slunečního osvětlení za jeden rok a s převodní konstantou 0,9 – efektivita přenosu, kterou udává výrobce.

$T_p$	cena jednoho kusu FV panelu	(Kč)
$S$	plocha jednoho kusu FV panelu	(m <sup>2</sup> )
$P_{max}$	nominální výkon jednoho kusu FV panelu	(kWp)
$T_{pc}$	cena vyrobené energie za jeden rok	(Kč)
$T_{pc20}$	cena vyrobené energie za dvacet let	(Kč)

Výrobce	Označení	Typ	$T_p$	$S$	$P_{max}$	$T_{pc}$	$T_{pc20}$
			[Kč]	[m <sup>2</sup> ]	[kWp]	[Kč]	[Kč]
ALEO	S_16	Polykrystal	20 350	1,38	0,185	1 938	35 078
SOLARWATT	M220 60 GET AK	Monokrystal	25 850	1,66	0,235	2 461	44 544
SUNTECH	STP280-24Vd	Polykrystal	28 000	1,94	0,280	2 933	53 087
SUNTECH	STP200-18Ud	Polykrystal	19 800	1,47	0,200	2 095	37 920
RICH SOLAR	RS-M140	Monokrystal	13 700	1,04	0,140	1 466	26 535
RICH SOLAR	RS-M85	Monokrystal	8 800	0,67	0,09	890	16 109
RICH SOLAR	RS-M40	Monokrystal	4 400	0,35	0,04	419	7 584

Tab. 4-1 Výkony FV panelů

Obr. 4-2 znázorňuje cenu vyrobené energie v rozmezí dvaceti let. Do obrázku nebyla zahrnuta počáteční cena panelu.



Obr. 4-2 Cena vyrobené energie jednotlivých panelů

## 4.2 Výběr transformátorů

Při výběru transformátoru je důležité cenu porovnávat s vlastnostmi, kterými daný stroj disponuje (ztráty naprázdno  $P_0$  a ztráty nakrátko  $P_k$ ) jelikož při předpokládaném provozu elektrárny 20 let se může cena provozu jednoho transformátoru lišit až v řádech milionů korun.

Ve FVE se standardně používají olejové transformátory značek:

- SGB (DOT, DOTEL, DOTUL, DOTUL-30, DOTXL)
- EXIMET (STANDART, REDUKOVANÉ ZTRÁTY)
- AREVA (BA', AC', CC')
- KONCAR (8TBNO)

V Tab. 4-1 je rozdělení těchto transformátorů podle ztrát naprázdno, ztrát nakrátko a pořizovací ceny strojů.

	Typ	$P_o$	$P_k$	$T_r$	$T_{rc}$
		[kW]	[kW]	[Kč]	[Kč]
<b>SGB</b>	DOT	1,7	10,5	320 000	3 956 170
	DOTEL	1,1	10,5	359 000	3 574 360
	DOTUL	1,1	9,5	370 000	3 352 610
	DOTUL -30	0,77	9,5	415 000	3 166 165
	DOTXL	0,6	7,5	530 000	2 696 435
<b>EXIMET</b>	STANDART	2,2	13	350 000	4 918 720
	REDUKOVANÉ ZTRÁTY	1,7	10,5	380 000	3 363 170
<b>AREVA</b>	BA´	1,7	13	340 000	4 558 045
	AC´	1,1	10,5	370 000	3 585 360
	CC´	0,75	9,5	420 000	3 157 138
<b>KONCAR</b>	8TBNO	1,1	10,5	300 000	3 515 360

Tab. 4-2 Olejové transformátory

Pozn.: Jedná se o transformátory s výkonem 1000kVA.

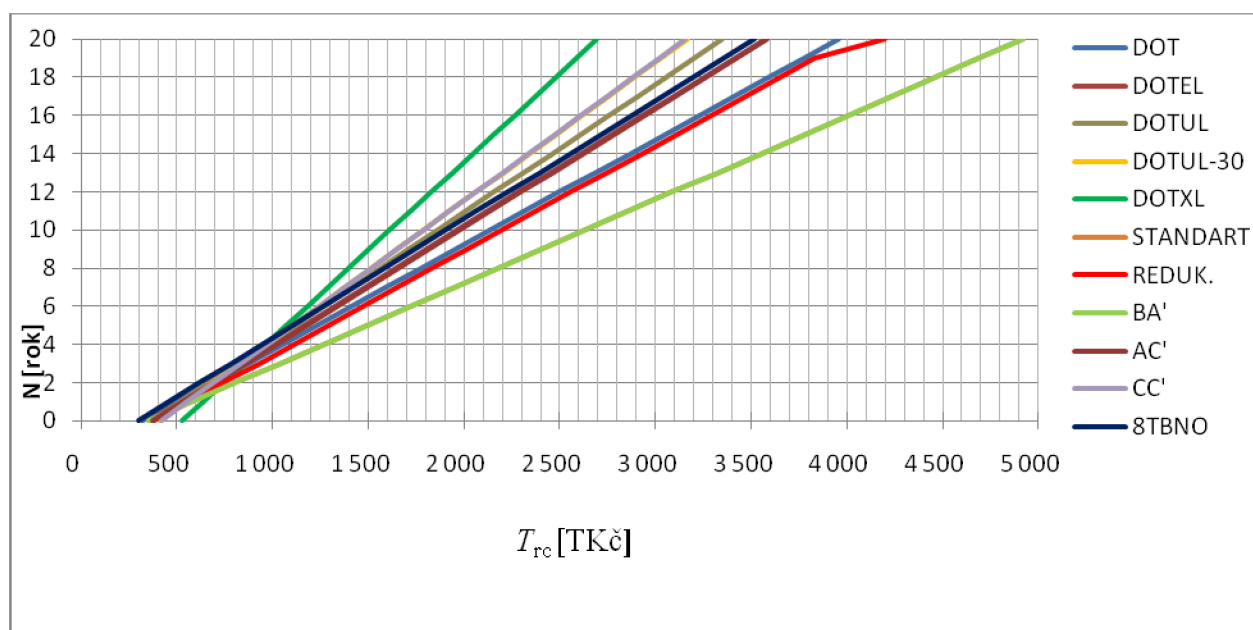
$P_o$	ztráty transformátorů na prázdko	(kW)
$P_k$	ztráty transformátorů nakrátko	(kW)
$T_r$	prodejní cena transformátoru	(Kč)
$T_{rc}$	celková cena transformátoru ( $T_r + 20$ let provozu)	(Kč)

$$T_{rc} = N \cdot [t_s \cdot (P_o + P_k) \cdot A_v + t_z \cdot P_o \cdot A_o] \quad (\text{Kč; rok, h, kW, kW, Kč, h, kW, Kč}) \quad (4.1)$$

N	doba používání transformátoru – 20let
$t_s$	průměrný počet hodin v roce, kdy na krajinu dopadají sluneční paprsky – 950hod
$A_v$	výkupní cena vyrobené energie pro rok 2010 (stanovuje ERU) – 12,25Kč
$t_z$	průměrný počet hodin v roce, kdy na krajinu slunce nesvítí – 7810hod
$A_o$	cena odebírané energie při provozu elektrárny na prázdko (smluvní cena s distributorem elektrické energie) – 3Kč

Z Tab. 4-2 vyplývá, že počáteční investice do dražšího, ale méně ztrátovějšího transformátoru se během provozu elektrárny mnohonásobně vrátí.



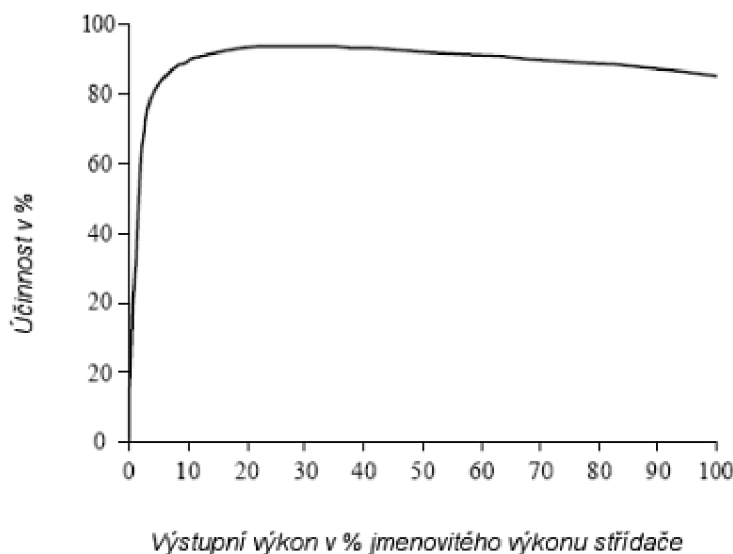


Obr. 4-3 Náklady na jednotlivé typy transformátorů

### 4.3 Výběr invertorů

Střídač může být při špatné volbě nejcitlivější položkou jinak nízkých provozních nákladů FV systému. Na trhu jsou dnes k dispozici desítky až stovky typů invertorů. Jak tomu ovšem je u panelů, nebo transformátorů, nejdůležitější opět není cena, nebo účinnost, nýbrž kombinace několika faktorů, které mají vliv na množství dodané energie. Jsou to podle [17]:

1. **Účinnost** – v katalogu prodejce se obvykle objevuje účinnost maximální a evropská. Maximální účinnost se dnes pohybuje kolem 97%, ale je to hodnota získaná při ideálních podmínkách. Mnohem přesnější je účinnost evropská, která se měří při měnících se klimatických podmínkách a různých zatíženích střídače. Evropská účinnost se měří při optimálním napětí na DC straně, které je v provozu silně ovlivněno teplotou. Ta se v průběhu roku mění. Teplota je tedy jedním z dalších faktorů, ovlivňujících množství získané energie. Můžeme říci, že pro množství získané energie je důležitá vysoká evropská účinnost v celém pracovním rozsahu MPP a přesnost trackeru. Na Obr. 4-1 je vidět závislost účinnosti střídače na výstupním výkonu.



Obr. 4-4 účinnost střídače [17]

2. **Rozsah MPP** – udává rozsah napětí, ve kterém by měl být střídač schopen optimálně pracovat. Jelikož se vstupní napětí mění, je důležité, aby si střídač držel vysokou účinnost konstantně v celém pracovním rozsahu, výkyvy v hodnotách jsou nežádoucí.
3. **Účinnost přizpůsobení MPP** – parametr, udávající jak rychle dokáže střídač měnit se klimatické podmínky zaregistrovat a na změnu adekvátně a přesně reagovat. Čím delší je prodleva, tím horší jsou výsledky. Tuto funkci ve střídači obstarává tzv. MPP tracker. Jedná se o zařízení pro sledování bodů maximálního výkonu (**MPP**), které změnou vstupního odporu zajišťuje optimální chod střídače. Hodnota této charakteristiky u kvalitních střídačů neklesá pod 99%.
4. **Transformátorové a beztransformátorové střídače** – výhodou beztransformátorových střídačů je větší absolutní účinnost. Jejich nevýhodou je absence galvanického oddělení (oddělení stejnosměrné části od střídavé).
5. **Koncepty umožňující využití více výkonových dělů** – někteří výrobci mají ve svých střídačích zabudováno několik výkonových stupňů. To je důležité pro stálý chod střídače, jeho účinnost a prodloužení životnosti. Při částečném zatížení pracuje s vyšší účinností nižší výkonový stupeň, další se zapínají podle měnících se klimatických podmínek. To je důležité hlavně v oblastech s častou změnou klimatu, kde jsou střídače často díky oblačnosti a mlhám zatíženy pouze částečně. Sleduje se i hodinové využití jednotlivých výkonových stupňů a využívá se vždy ten nejméně „opotřeбенý“ díl. Životnost střídače se tak prodlužuje a provozní náklady klesají. Navíc, při poruše výkonového dílu střídač pracuje i nadále, ostatní výkonové díly převezmou jeho práci a investor ani nemusí poznat výpadek ve výrobě. Stačí vyměnit chybný díl a střídač bude pracovat na plný výkon i v nadprůměrně slunečných dnech.
6. **Sběr a analýza dat** – je důležitá především u větších instalací pro bezchybnou kontrolu chodu systému. Při změně výtěžnosti produkce musí mít investor v rukách nástroj, který

ho na chybu upozorní a umožní mu neprodleně reagovat. U velkých elektráren s mnoha inventory může být hledání chyby časově náročná a nákladná záležitost. Výrobci střídačů nabízejí celou řadu komunikačních a datových zařízení umožňující komfortní kontrolu výroby a sledování poruch. Stahování dat na počítače a zobrazování na displejích pomocí kabelových či bezdrátových technologií je dnes standardem. Znamější výrobci nabízejí možnost sledovat data o vlastní výrobě také prostřednictvím centrálních serverů. Majitel elektrárny pak může sledovat a porovnávat výtěžnost odkudkoliv, kde má připojení k internetu.

7. **Chlazení a řízení teploty** – teplota střídače může citelně ovlivnit jeho účinnost. Základem je proto použití kvalitní elektroniky pracující bezchybně i při vysokých teplotách a dobrý systém chlazení či odvětrávání. Jako výhodné se jeví např. chlazení pomocí uzavřeného chladiče, kdy se chladicí vzduch nedostane přímo do kontaktu se základní deskou a elektronikou. Prach a vlhkost tak zůstávají mimo vlastní střídač. Výhodou některých střídačů je také možnost napájet ventilátory chlazení z externího zdroje a není tedy nutné spotřebovávat vlastní vyrobenou elektřinu. O možném použití střídače „venku nebo uvnitř“ nás informují stupně krytí IP, které znamenají odolnost zařízení proti vniknutí cizího tělesa či vniknutí kapalin. Většinu moderních střídačů je dnes možné samozřejmě instalovat uvnitř a při splnění určitých podmínek i ve venkovním prostředí. Zajímavým aspektem u střídačů je také variabilita jejich instalace, manipulovatelnost a snadnost údržby. I přes snahu výrobců připomínají např. některé centrální střídače stále poměrně „těžké a velké krabice“, jejichž oprava znamená často komplikovanou záležitost. Výhodu mají střídače s jednotlivými výkonovými stupni, jejichž oprava znamená pouze rychlou výměnu chybného dílu. Není tedy nutné rozebrat celé zařízení. U výkonově menších střídačů nabízí dnes většina výrobců poměrně snadnou manipulaci, nízkou hmotnost a různou variabilitu instalace.
8. **Servis** – je základním předpokladem bezproblémové investice. Ačkoli je FVE v ČR poměrně mladým odvětvím, jsou již z praxe známy mnohé případy, kdy dodavatel nebyl schopen střídač v rozumné době opravit nebo alespoň vysvětlit důvod, proč se např. střídač několikrát za den odpojí ze sítě. Je zřejmé, že se často nemusí jednat o poruchu samotného střídače (na vině může být např. kolísání napětí sítě). Informační a technická podpora dodavatele ale často chybí a investor přichází zbytečně o peníze. Zmiňované případy se týkají jak „světových značek“, tak střídačů levnějších. Jednoznačnou výhodu tak mají výrobci střídačů, kteří mají v České republice obchodní zastoupení, servisní centrum nebo proškolenou síť partnerů. I ten nejlepší střídač je pouze sestava elektronických součástí a dříve nebo později se může porouchat. Každá taková porucha stojí investora peníze, a proto je třeba servisní smlouvě, garancím a dodavateli věnovat zvýšenou pozornost.

Výše uvedené aspekty patří jen k některým rozhodovacím kritériím pro koupi střídače, které by měl investor do FVE vzít v úvahu. Podmínkou dobré investice tedy není jen často proklamovaná vysoká účinnost invertoru nebo jeho cena, ale soubor několika provázaných faktorů, ke kterým patří zejména spolehlivý provoz, vysoká a stálá účinnost při měnicích se klimatických podmínkách, technická koncepce střídače a zejména kvalitní technická podpora a servis.

## 5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce řeší problematiku FV systémů z hlediska technologie celé elektrárny a porovnání investic při koupi různých technologických prvků (transformátory, měniče a střídače).

V první kapitole je popsána trafostanice pro vyvedení výkonu z FVE do distribuční sítě 22kV, včetně veškeré technologie, výpočtu větracích prostupů a všech hlavních náležitostí, jako jsou uzemnění technologie v zemi i na povrchu trafostanice a elektroinstalace.

Druhá kapitola popisuje technologii samostatné elektrárny, mezi jejíž hlavní prvky patří panely a invertory. Solární panely představují nejdražší investici ve FVE. Dělí se podle druhu použitého materiálu na monokrystalické, polykrystalické a amorfni. Dále je můžeme rozdělit podle způsobu uchycení na pevné, nebo polohovací. Střídače se dělí podle typu FVE na decentralní a centrální. Dále je můžeme dělit na transformátorové a beztransformátorové.

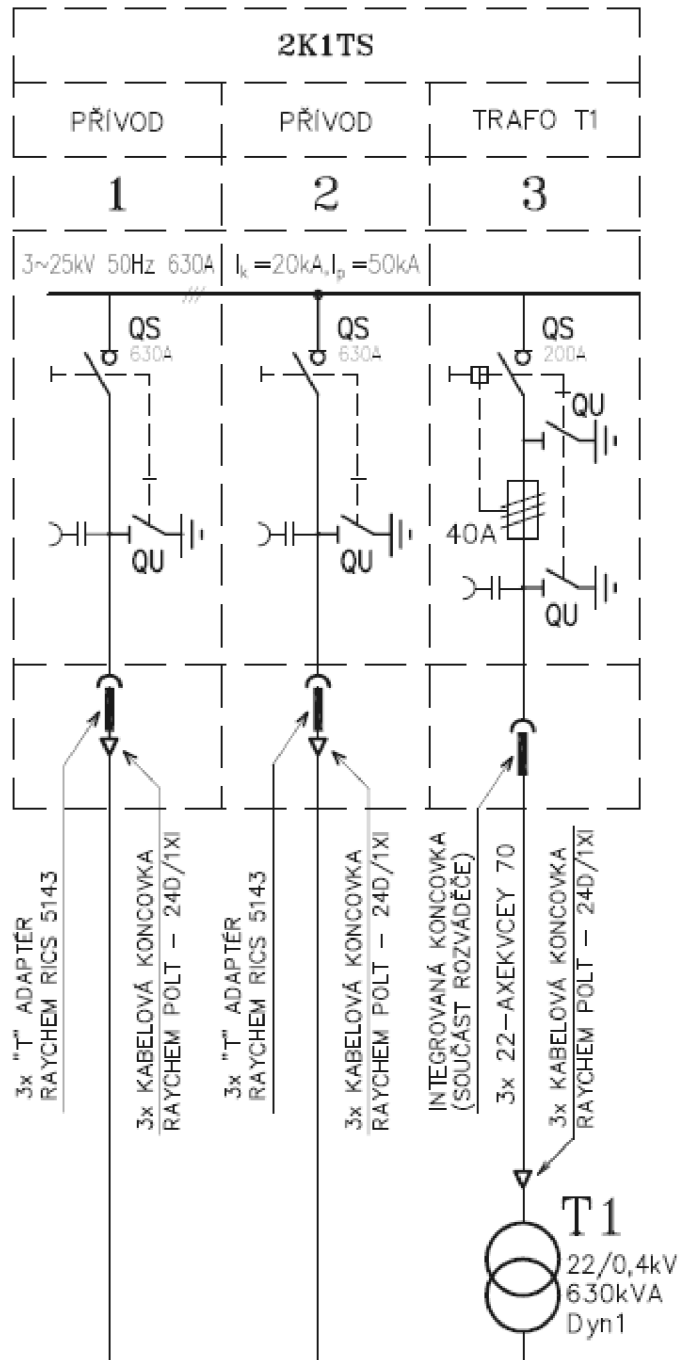
Díky široké škále technologie je nutné správně vybrat jednotlivé komponenty, tak aby elektrárna produkovala co největší množství energie a tím zvyšovala investorovi zisky. Nejdůležitější prvky FVE jsou zhodnoceny ve třetí kapitole. V této části se nejdříve popisuje účinnost FV panelů, které se dále hodnotí podle nominálního výkonu. Dále jsou zde zhodnoceny různé druhy transformátorů, jejichž cena se díky působení ztrát může po životnosti elektrárny (20 let) lišit až v miliónech korun. Nakonec jsou zohledněny faktory pro správný výběr vhodného typu střídače, jehož nejdůležitější vlastností není jen účinnost, nýbrž celá škála různých aspektů, které mají vliv na množství dodané energie.

## POUŽITÁ LITERATURA

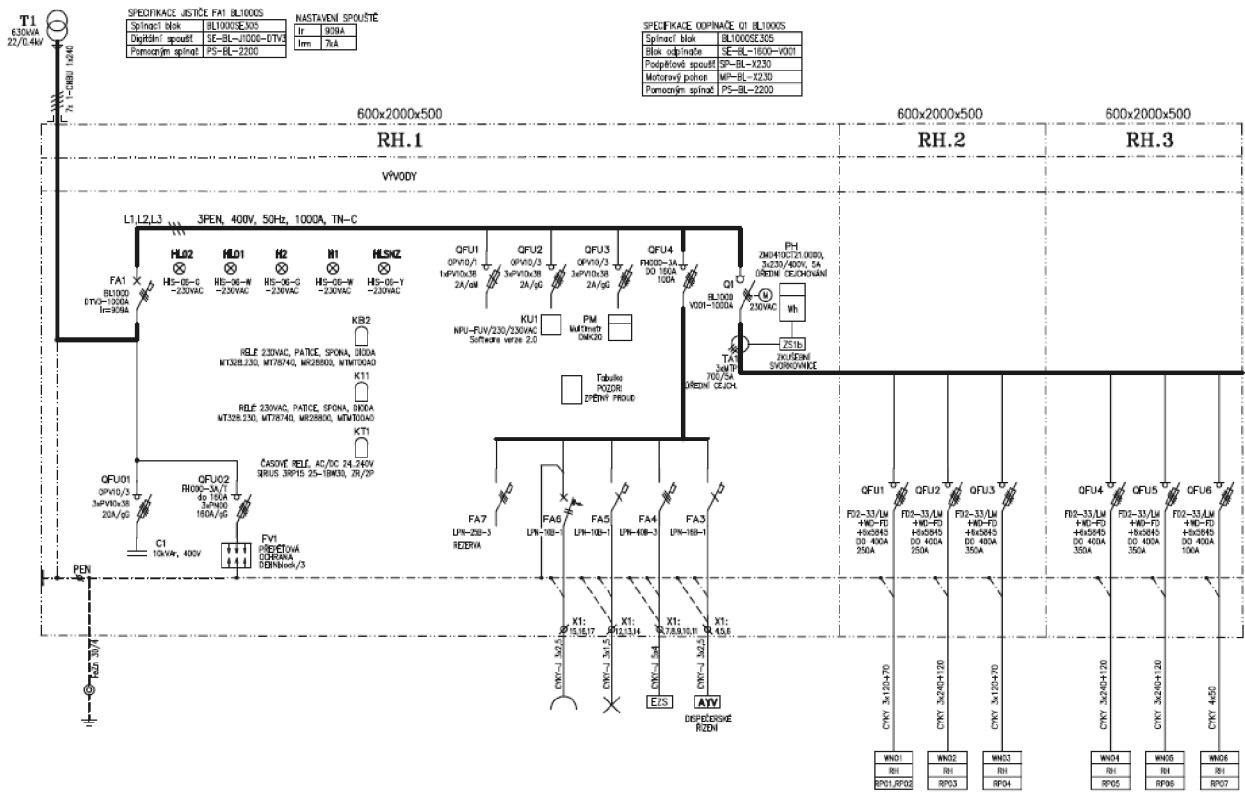
- [1] ČSN 33 3240 – Stanoviště výkonových transformátorů.
- [2] ČSN 33 3231 – Trojfázové rozvodny pro napětí do 52kV
- [3] ČSN 38 1752 – Malé a střední kryté průmyslové transformovny do 35kV
- [4] PNE 33 0000 -1 – Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě
- [5] MOELLER – Rozvaděče vysokého napětí do 25kV izolované SF<sub>6</sub>, kompaktní, nerozšířitelné – Typ GA a GA...-C
- [6] OEZ - Kompaktní jističe Modeion
- [7] SMART SOLAR – Střídače napětí pro fotovoltaické elektrárny
- [8] ELEKTRO – Odstranění poruch v třífázové síti pomocí analyzátoru kvalit sítě
- [9] ORSÁGOVÁ, Jaroslava - Elektrické stanice a vedení. Brno : [s.n.], 2008. 136 s
- [10] KACO – Centrální střídače. Dostupné z WWW:  
<http://kaco-newenergy.de/en/site/index.xml>
- [11] Gajdošík, Technické řešení fotovoltaické elektrárny. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektrotechniky FEKT VUT v Brně, 2009
- [12] Fotovolt SYSTÉM – Fotovoltaické články a měniče. Dostupné z WWW:  
<http://www.fotovoltssystem.cz/>
- [13] TRIBASE electric – Fotovoltaické elektrárny. Dostupný z WWW:  
<http://www.tribaseelectric.cz/>
- [14] SolarMax S-Serie, 20S/35S – Beztransformátorový měnič pro fotovoltaická zařízení připojená na elektrickou distribuční síť
- [15] IT serve – Fotovoltaické panely. Dostupný z WWW: <http://www.itserve.cz/>
- [16] Sun Solutions – Fotovoltaické systémy. Dostupný z WWW: <http://www.sunsolutions.cz/>
- [17] Tzbinfo - technická zařízení budov. Dostupný z WWW: <http://www.tzb-info.cz/>
- [18] EDUCON - Multimedia Supported Education. Dostupný z WWW:  
<http://educon.zcu.cz/index.php>

## Příloha A Jednopolové schéma rozváděče VN – GA 2KTS

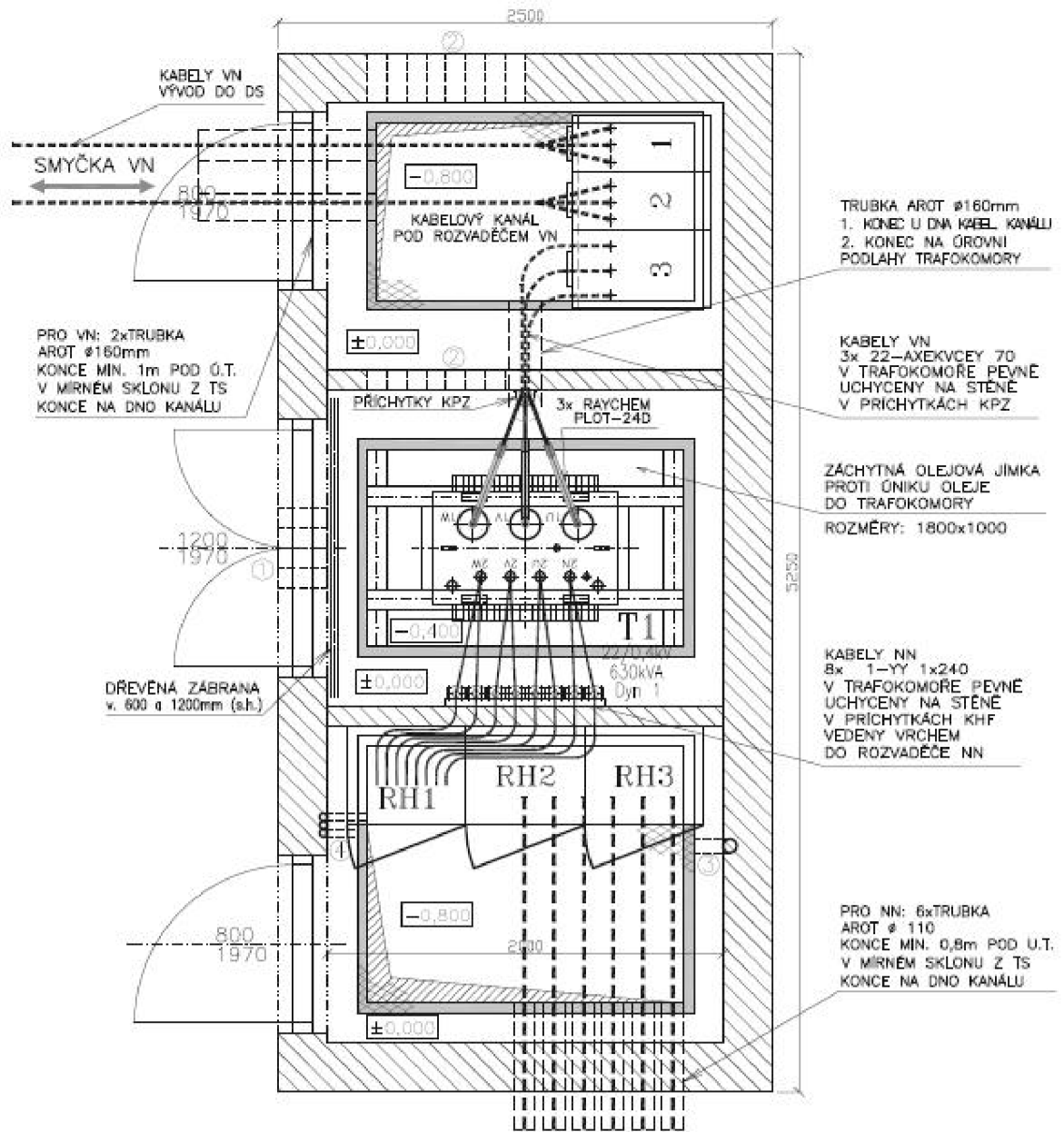
## JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA ROZVÁDĚČE VN MOELLER 25kVA GA 2K1TS



Příloha B Jednopolové schéma rozváděče NN - RH



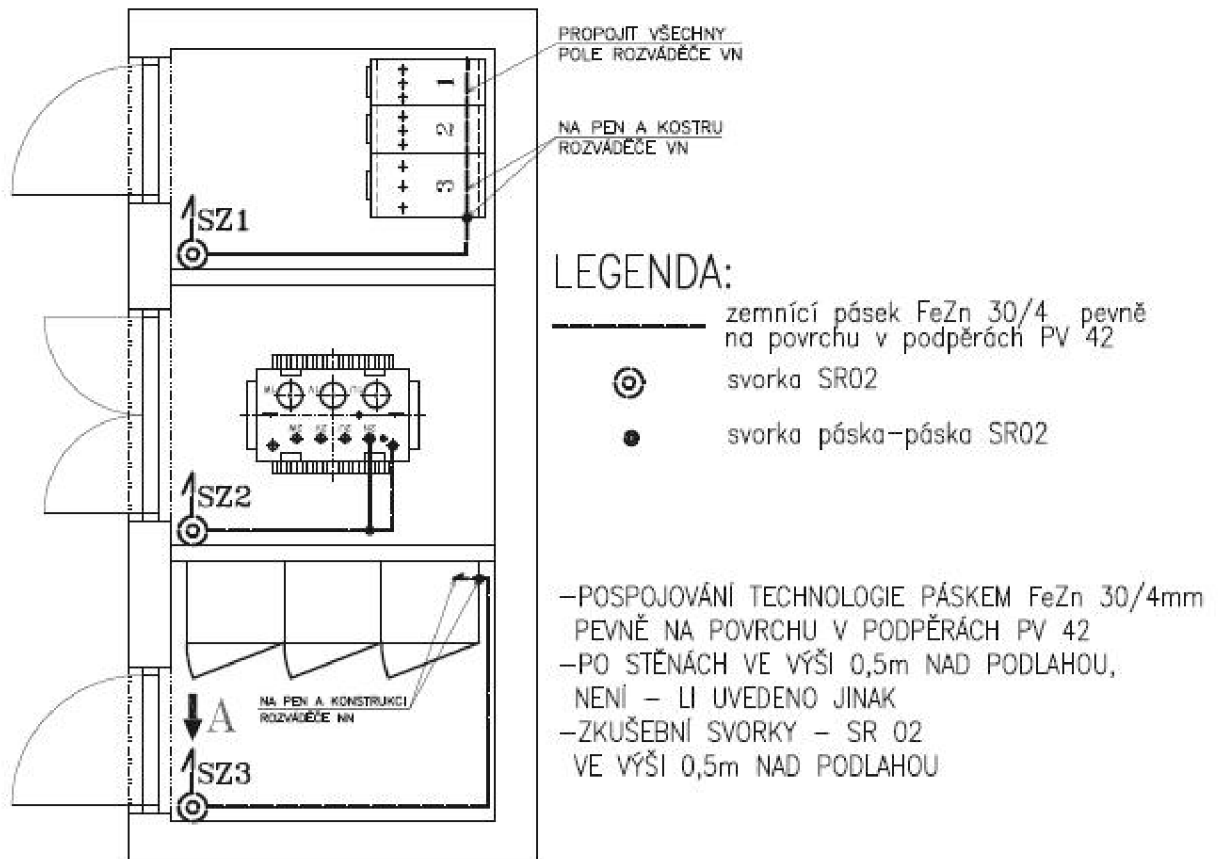
## Příloha C Dispoziční řešení technologie v trafostanici



- PRO NASÁVÁNÍ VZDUCHU:  
OTVOR BUDE UMÍSTĚN VE DVEŘÍCH 250mm NAD PODLAHOU  
PLOCHA ODVĚTRÁVACÍHO OTVORU: min. 0,4m<sup>2</sup>  
OTVORY ZAKRÝT STROMEČKOVÝMI PRŮVĚTRNÍKY !!!
- PRO ODVOD VZDUCHU:  
OTVOR BUDE UMÍSTĚN NAD DVEŘMI TĚSNĚ POD STROPEM  
PLOCHA ODVĚTRÁVACÍHO OTVORU: min. 0,4m<sup>2</sup>  
OTVORY ZAKRÝT STROMEČKOVÝMI PRŮVĚTRNÍKY !!!
- ① OTVOR PRO ODVOD VZDUCHU
- ② OTVOR PRO PŘÍVOD VZDUCHU
- ③ DO KANÁLU PRO POSPOJOVÁNÍ  
PRÁZDNÁ PVC DN MIN. 50mm
- ④ 3xTRUBKA KOPEX 23 Z KANÁLU  
DO VÝŠE 2,2m NAD PODL.  
POD OMÍTKOU PRO EL. INSTALACI

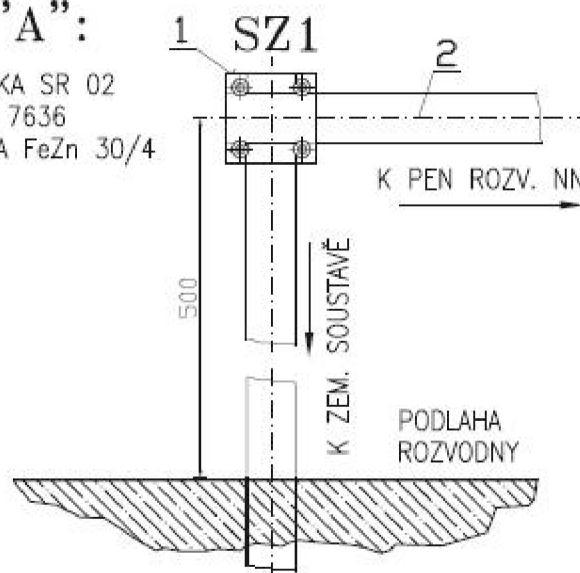


## Příloha D Ochranné pospojování technologie v trafostanici

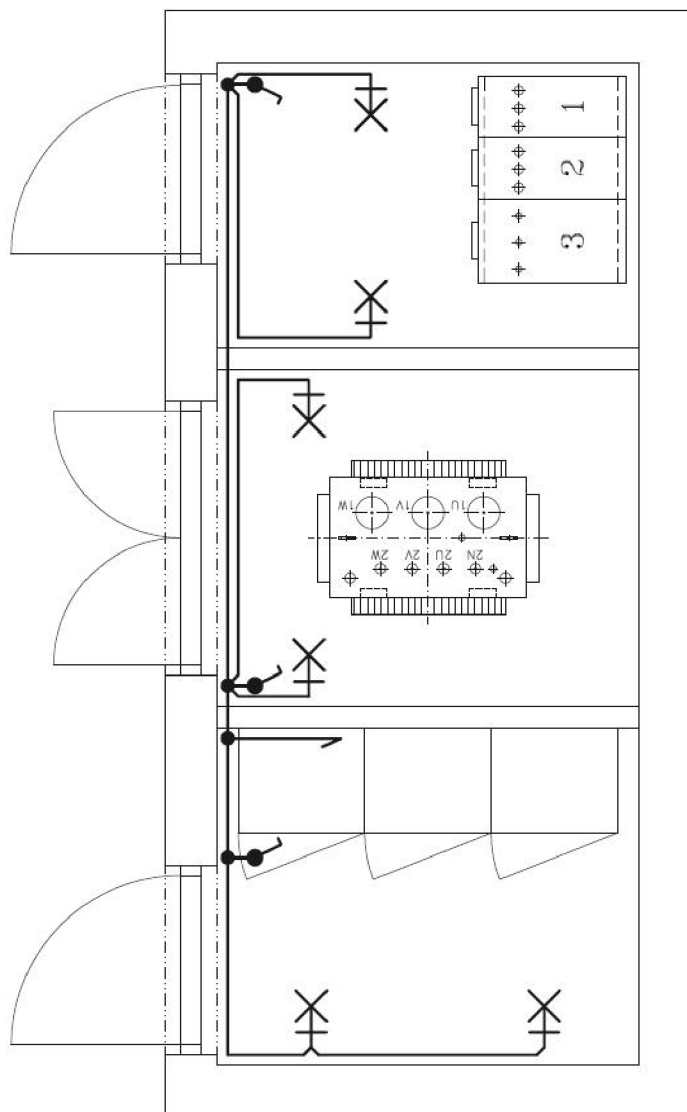


### POHLED "A":

- 1 – ZEMNÍ SVORKA SR 02  
DLE ČSN 35 7636
- 2 – ZEMNÍ PÁSKA FeZn 30/4



## Příloha E Elektroinstalace v trafostanici



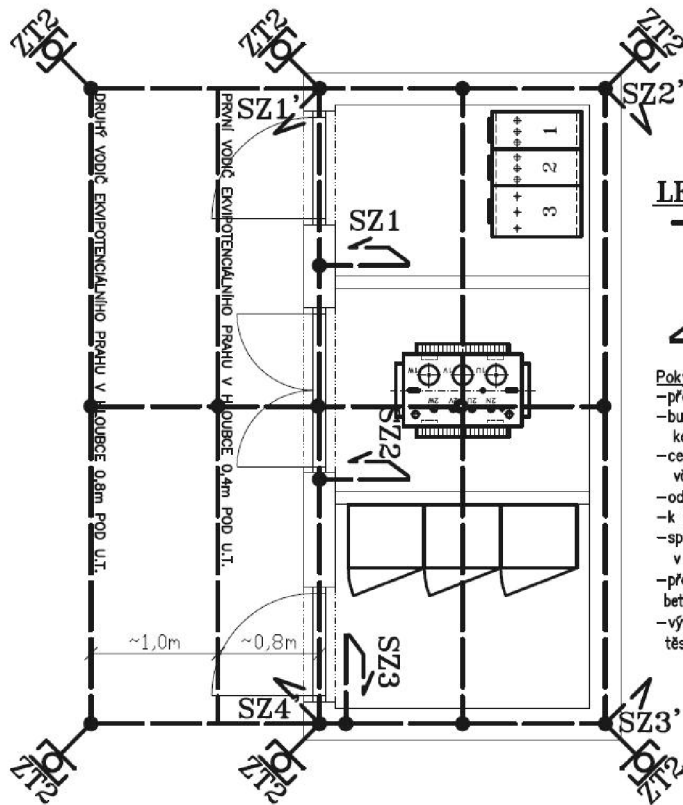
## LEGENDA

- ⊕X NÁSTĚNNÉ ŽÁROVKOVÉ SVÍTIDLO  
typ 511 33 02, 2x100W
- ⚡ JEDNOPÓL SPINAČ, 10A/250V (ŘAZENÍ 1)
- CYKY-O 3x1.5 (VYPÍNAČE)
- CYKY-J 3x1.5 (SVÍTIDLA)
- KRABICOVÁ ROZVODKA KU 68

## POZNÁMKA:

- ROZVODY PEVNĚ NA POVRCHU
- NÁSTĚNNÁ SVÍTIDLA V MAX. VÝŠI 1,90m NAD PODLAHOU
- PŘÍSTROJE A SVÍTIDLA V BEZPEČNÉ VZDÁLENOSTI OD ŽIVÝCH ČÁSTÍ

## Příloha F Uzemnění trafostanice

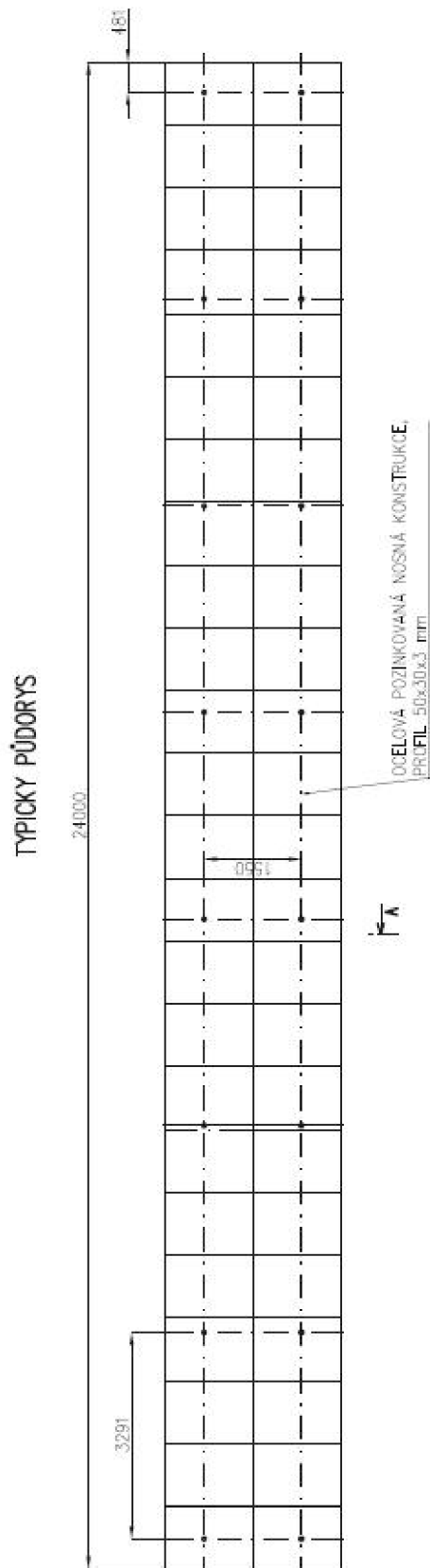
**LEGENDA:**

- UZEMNĚNÍ TRAFOSTANICE (PÁSEK FeZn 30/4mm)
- ZEMNÍ TIČ DÉLKY 2m
- SVORKA SR 2b
- VÝVOD PRO ZKUŠEBNÍ SVORKU TECHNOLOGIE (PÁSEK FeZn 30/4mm)

**Pokyny pro vytvoření zemnicí sítě:**

- před zahájením výkopových prací nutno řádně vytyčit podzemní síť
- bude vytvořena mřížová zemnicí síť z pásy FeZn 30/4mm pod kabelovými kanály a ve výkopu mimo objekt TS
- celkový odpor uzemnění vodičů PEN odcházejících vedení z transformovny včetně uzemněného středu zdroje nesmí být větší než  $2\Omega$  (pro  $U_f=230V$ )
- odpor uzemnění pracovního středu (uzlu) zdroje nemá být větší než  $5\Omega$
- k zemnicí soustavě připojit veškeré event. výztuže
- spoje pásy svařit a zaasfaltovat nebo spojit svorkami (v zemi a v betonu 2x SR2 a zaasfaltovat, na vzduchu 1x SR2)
- přechody země/betonu (20/10cm), země/vzduch (20/20cm), beton/vzduch (10/20cm), beton/beton(10/10cm) chránit asfaltovým nátěrem min. v délkách uvedených v závorkách!
- vývody pro zkušební svorky ZS1,ZS2,ZS3 (pro technologii TS) provést vždy těsně u stěny z FeZn 30/4 0,6m nad podlahou

## Příloha G Panely FVE - půdorys



Velikost fotovoltaických panelů 1640x990,  
založení na vrtaných vrutových pilotách

## Příloha H Panely FVE - řez

