

Možnosti zabezpečení železničních přejezdů v oblastech bez přípojky elektrického proudu

Jiří Zahradník

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří Zahradník
Osobní číslo: A13103
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Bezpečnostní technologie, systémy a management
Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Možnosti zabezpečení železničních přejezdů v oblastech bez přípojky elektrického proudu.
Téma anglicky: The Possibilities for Securing Railway Crossing Operations in Areas Without Electricity Connections

Zásady pro vypracování:

1. Definujte pojem železniční přejezd a související problematiku.
 2. Seznamte se s dělením železničních přejezdů podle kategorie jejich zabezpečení.
 3. Porovnejte jednotlivé druhy železničních přejezdů z hlediska nehodovosti.
 4. Popište jednotlivé prvky zabezpečovacích zařízení používaných u těchto přejezdů.
 5. Uveďte energetickou náročnost používaných zabezpečovacích prvků.
 6. Na základě energetické náročnosti navrhnete vhodné alternativní zdroje napájení zabezpečovacích prvků.
 7. Navrhnete nezávislé napájení vybraného přejezdového zabezpečovacího zařízení.
 8. Na konkrétním příkladu detailně popište realizaci přejezdového zabezpečovacího zařízení.
-

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. KŘÍŽAN, Dušan. Zabezpečovací technika I. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1986. 220 s.
2. KŘÍŽAN, Dušan. Zabezpečovací technika II. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1987. 240 s.
3. ČSN 34 2650 Ed. 2. Železniční zabezpečovací zařízení: Přejezdová zabezpečovací zařízení, 2010.
4. Zákon č. 361/2000 Sb., o silničním provozu. In: Dostupné z: portal.gov.cz
5. Webový portál SZDC: Přejezdy v číslech. [online][vid. 3. Ledna 2014]. Dostupné z <http://www.szdc.cz/web/prejezdy/prejezdy-v-cislech.html>.
6. Webový portál Drážní inspekce: Více nehod méně usmrcených. [online] [vid. 3. Ledna 2014]. Dostupné z <http://www.dicr.cz/tiskove-zpravy>.
7. Solární energie-fotovoltaika-perspektivní trend současnosti, i blízké budoucnosti, Libra Martin-poutek Vladislav ISBN: 80-213-1488-5.
8. QUASCHNING, V., 2010. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada. ISBN 978-80-2473-250-3.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

26. února 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2016

Ve Zlíně dne 16. února 2016



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem ostrovního systému napájení pro světelné přejezdové zařízení s využitím možností alternativních zdrojů energie jako je energie vody, větru a slunce. V teoretické části se práce zabývá základním dělením železničních přejezdů dle kategorie jejich zabezpečení, dále nehodovostí na železničních přejezdech a popisem funkce základních prvků světelného přejezdového zařízení včetně funkce systému jako celek.

V praktické části je potom navržen fotovoltaický systém, který ve spolupráci s palivovým článkem Efoy Pro Cube dodává potřebnou elektrickou energii pro napájení světelného přejezdového zařízení v takzvaném ostrovním režimu, tudíž bez nutnosti přípojky elektrické energie z rozvodné sítě.

Klíčová slova: Železniční přejezd, přejezdové zabezpečovací zařízení, kolejový obvod, počítač náprav, výstražník, alternativní zdroj.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the proposal of the off-grid system infeed that is used for light safety crossing appliance, while using alternative sources of energy such as water, wind and sun. The theoretical part of this thesis describes the basic dividing of railway crossings according to their safety degree and accident frequency at crossings. It also describes the basic function of each basic light crossing appliance item, the function of the system as a whole included.

The practical part of the thesis projects photovoltaic system, which supplies the light crossing appliance with necessary amount of the electrical energy with help of Efoy Pro Cube fuel cell, all running in so called off-grid regime while no electrical energy from power grid is required.

Keywords: Railway crossing, safety crossing appliance, rail circuit, digital axle counter, warning device, alternative source.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za cenné připomínky a odborné vedení, kterým přispěl k vypracování této bakalářské práce. Rád bych také poděkoval své rodině za podporu v průběhu celého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DEFINICE PROBLEMATIKY ŽELEZNIČNÍCH PŘEJEZDŮ	11
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY	11
2 KATEGORIE ŽELEZNIČNÍCH PŘEJEZDŮ	16
2.1 PŘEJEZDY BEZ PŘEJEZDOVÉHO ZABEZPEČOVACÍHO ZAŘÍZENÍ	16
2.2 PŘEJEZDY VYBAVENÉ PŘEJEZDOVÝM ZABEZPEČOVACÍM ZAŘÍZENÍM	17
2.2.1 Přejezdové zabezpečovací zařízení mechanické	17
2.2.1.1 PZM 1	18
2.2.1.2 PZM 2	18
2.2.1.3 PZM 3	19
2.2.2 Přejezdové zabezpečovací zařízení světelné	19
3 POROVNÁNÍ KATEGORIÍ ŽELEZNIČNÍCH PŘEJEZDŮ Z HLEDISKA NEHODOVOSTI	23
4 PRVKY SVĚTELNÉHO PŘEJEZDOVÉHO ZABEZPEČOVACÍHO ZAŘÍZENÍ	25
4.1 VÝSTRAŽNÍK	25
4.2 ELEKTROMECHANICKÁ ZÁVORA	26
4.3 PŘEJEZDNÍK	28
4.4 OBVODY PRO ZJIŠŤOVÁNÍ VOLNOSTI TRATĚ	29
4.4.1 Kolejový obvod	29
4.4.2 Anulační soubor elektronický	31
4.4.3 Počítače náprav	32
5 ALTERNATIVNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE	35
5.1 ENERGIE VODY	35
5.1.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování	35
5.2 ENERGIE VĚTRU	36
5.2.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování	36
5.3 ENERGIE SLUNCE	36
5.3.1 Sluneční ozáření země.....	37
5.3.2 Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny energie	38
5.3.3 Generace fotovoltaických článků	39
5.3.4 Konstrukce fotovoltaických článků.....	40
5.3.5 Solární článek.....	41
5.3.6 Solární modul	43
5.3.7 Solární generátor	44
5.3.8 Komponenty solárních systémů	45
5.3.8.1 Izolované solární zařízení:	45
5.3.8.2 Solární zařízení spojené se sítí.....	45
5.3.8.3 Akumulátor	46
5.3.8.4 Solární regulátor	46
5.3.8.5 Měníče napětí.....	46
5.3.8.6 Přepět'ová ochrana PV panelů	47

II PRAKTICKÁ ČÁST	48
6 NÁVRH NAPÁJENÍ PZS ALTERNATIVNÍMI ZDROJI ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	49
6.1 VÝPOČET DENNÍ POTŘEBY ENERGIE SVĚTELNÉHO PŘEJEZDOVÉHO ZAŘÍZENÍ.....	50
6.1.1 Výpočet příkonu jednotlivých prvků PZS:	50
6.2 DIMENZOVÁNÍ SOLÁRNÍHO GENERÁTORU	53
6.3 DIMENZOVÁNÍ AKUMULÁTORU	56
6.4 DIMENZOVÁNÍ VEDENÍ	57
6.5 ZHODNOCENÍ NÁVRHU FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO NAPÁJENÍ PZS	57
7 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO NAPÁJENÍ PZS – DOPLNĚNÝ O DODATEČNÝ ZDROJ	58
7.1 PALIVOVÝ ČLÁNEK EFOY PRO CUBE	58
7.2 NÁVRH PV SYSTÉMU S DOPLNĚNÍM PALIVOVÉHO ČLÁNKU EOY PRO CUBE	59
7.3 PRAKTICKÁ KONSTRUKCE SYSTÉMU.....	61
7.3.1 Princip funkce napájení FV systému.....	65
ZÁVĚR	67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
SEZNAM OBRÁZKŮ	71
SEZNAM TABULEK.....	72
SEZNAM GRAFŮ	73

ÚVOD

Automobilová a vlaková přeprava jsou v dnešní době na vzestupu. Silniční komunikace jsou čím dále více přeplněny vozidly a po vlakových tratích se přepravuje čím dále více lidí a materiálu. Správa železniční dopravní cesty provozuje a udržuje v České republice rozsáhlou železniční síť s celkovou délkou tratí 9478 km. Z tohoto vyplývá také spousta míst, kde dochází ke křížení dráhy s pozemní komunikací. Ve většině případů se jedná o úrovněvé křížení. V roce 2015 můžeme hovořit o počtu 8001 železničních přejezdů provozovaných v síti Českých drah, z celkového počtu 8001 tvoří 4252 pasívní železniční přejezdy tudíž zabezpečené pouze výstražnými kříži. I přestože legislativa jednoznačně stanovuje přednost drážního vozidla před silničním, dochází na železničních přejezdech k častým střetům s tragickými následky. Statistiky drážní inspekce uvádějí sice sestupnou tendenci kolizí, ale i tak se stále jedná o vysoká čísla. Snahou provozovatele železniční sítě je v současnosti snižovat počet železničních přejezdů zabezpečených pouze výstražnými kříži výstavbou nových železničních přejezdů zabezpečených světelným přejezdovým zabezpečovacím zařízením. Tato výstavba však přináší nutnost budovat přípojky elektrické energie z rozvodné sítě pro napájení technologie. Nutno připomenout, že křížení pozemních komunikací s dráhou se nenachází jen v hustě obydlených oblastech, ale i na odlehlých místech, kde vybudování přípojky elektrické energie z rozvodné sítě je velmi nákladné a mnohdy i velmi obtížně realizovatelné. Řada projektů na vybudování světelného přejezdového zařízení se z důvodu nevyřešených vlastnických vztahů s majiteli dotčených pozemků nedaří prosadit a nezrealizují se.

Cílem praktické části bakalářské práce je navrhnout napájení světelného přejezdového zařízení, jež bude pracovat v takzvaném ostrovním režimu, tudíž v oblastech kde není možné, nebo by bylo příliš nákladné vybudovat přípojku elektrické energie z distribuční sítě. Napájení je navrženo s využitím alternativních zdrojů elektrické energie a to sice využitím energie Slunce a její přeměna pomocí fotovoltaických panelů na energii elektrickou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DEFINICE PROBLEMATIKY ŽELEZNIČNÍCH PŘEJEZDŮ

Směrnice Komise 2009/149ES ze dne 27. listopadu 2009, kterou se mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/49/ES, pokud jde o společné bezpečnostní ukazatele a společné metody pro stanovení výše škod při nehodách definuje ukazatele týkající se technické bezpečnosti infrastruktury a jejího uplatňování takto:

„Úrovňovým přejezdem se rozumí úrovňová křižovatka mezi železnicí a komunikací uznaná provozovatelem infrastruktury a otevřená pro veřejné nebo soukromé uživatele. Vyjímají se komunikace mezi nástupišti ve stanicích, jakož i přechody přes koleje určené pouze pro zaměstnance.

***Komunikací** se rozumí veřejná nebo soukromá cesta, ulice, silnice nebo dálnice včetně pěšin a cyklistických stezek, nebo jiné cesty určené pro přechod lidí, zvířat, vozidel nebo strojů.*

***Aktivním úrovňovým přejezdem** se rozumí úrovňový železniční přejezd, kde jsou jeho uživatelé chráněni nebo varováni před přibližujícím se kolejovým vozidlem aktivací zařízení, není-li pro uživatele bezpečné vstoupit na železniční přejezd.*

***Pasivním úrovňovým přejezdem** se rozumí úrovňový přejezd bez jakékoliv formy výstražného nebo zabezpečovacího systému aktivovaného pokud je pro uživatele překročení přejezdu nebezpečné.“ [21]*

Bakalářská práce se zabývá problematikou aktivních úrovňových železničních přejezdů.

1.1 Základní pojmy

- **Anulace** – stav, při kterém je vyloučen vliv nevyhodnocujícího zapínacího prvku ve vzdalovacím úseku na spuštění výstrahy přejezdovým zařízením.
- **Automatické ovládání** – ovládání, při kterém je popud ke spuštění a ukončení výstrahy vyvolán jízdou drážního vozidla nebo činností jiného železničního zabezpečovacího zařízení.
- **Bezanulační stav** – stav, při kterém není vyloučen vliv zapínacího prvku nevyhodnocujícího směr jízdy, nebo vyhodnocujícího směr jízdy, nikoliv však bezpečně podle ČSN 34 2600 ed. 2, ve vzdalovacím úseku na spuštění výstrahy přejezdovým zařízením.

- **Bezporuchový stav** – stav přejezdového zařízení v době, kdy na něm není vyhodnocen nouzový ani poruchový stav.
- **Břevno závory** – část závory, která při dávání výstrahy přejezdového zařízení zasahuje do průjezdného prostoru pozemní komunikace a tím dává mechanickou výstrahu.
- **Celé závory** – sklopená břevna závor přehrazují všechny jízdní pruhy pozemní komunikace před přejezdem i za ním, přitom není rozhodující přehrazení souběžného chodníku nebo cyklistické stezky.
- **Doba výstrahy** – doba, po kterou je přejezd uzavřen, tj. doba, po kterou přejezdové zařízení dává výstrahu.
- **Doplňková výstraha** – výstraha, kterou může být doplněna základní výstraha.
- **Dopravní klid na přejezdu** – stav, kdy ovlivnění ovládacích prvků závislých na jízdě drážního vozidla za předem stanovených podmínek nezpůsobí spuštění výstrahy přejezdovým zařízením.
- **Drážní vozidlo** – hnací nebo jiné vozidlo pohybující se po kolejích na vlastních kolech, popř. svěšená skupina více vozidel.
- **Indikace** – poskytnutí informace obsluhujícímu zaměstnanci o stavu přejezdového zařízení.
- **Kontrolní prvek** – ovládací prvek, kterým je dáována informace přejezdovému zařízení o tom, že drážní vozidlo opustilo obvod přejezdu.
- **Kritická doba** – nejdelší z dob, které odpovídají jízdě nejpomalejších drážních vozidel z přilehlých dopraven s kolejovým rozvětvením za přejezd, včetně doby plánovaného stání na trati a doby přípravy jízdní cesty v přilehlé dopravě; po této době dojde k ukončení dávání výstrahy, pokud nebyla ukončena jízdou drážního kolejového vozidla.
- **Mechanická signalizace** – signalizace dáována polohou břevna závory.
 - a) Výstražný signál – břevno závory je ve sklopené poloze, nebo se sklápí, či zvedá.
 - b) Varovný signál – břevno závory je v horní koncové poloze (dané konstrukcí zařízení).
- **Mechanická výstraha** – výstražný signál dáovaný mechanickou signalizací.
- **Mezní výstražná doba** – nejdelší doba výstrahy vyvolaná automatickým, případně ručním ovládním pro příslušnou kolej u přejezdového zařízení s předáváním informace přímo strojvedoucímu.

- **Nouzová obsluha** – nouzovou obsluhou se rozumí:
 - a) Nouzové otevření
 - b) Nouzové vypnutí z činnosti
 - c) Nouzové zrušení závěru neprojeté jízdní cesty
 - d) Nouzové otevření závor (u PZM)
 - e) Další úkony stanovené provozovatelem dráhy
- **Nouzové otevření** – ukončení výstrahy ruční obsluhou při mimořádných okolnostech.
- **Nouzové vypnutí z činnosti** – ukončení činnosti přejezdového zařízení ruční obsluhou při mimořádných okolnostech.
- **Nouzový stav** – stav přejezdového zařízení při poruše, která nemůže ohrozit bezpečnost provozu na přejezdu.
- **Obsluhující zaměstnanec** – zaměstnanec, na jehož stanovišti jsou umístěny indikace, případně i ovládací prvky nezávislé na jízdě drážního vozidla.
- **Obvod přejezdu** – část trati, ze které je činnost přejezdového zařízení ovlivňována drážním vozidlem, nebo ve které se zařízením očekává přítomnost drážního vozidla.
- **Ovládací prvek** – technický prostředek, kterým je ovlivňována činnost přejezdového zařízení; ovládací prvek může ovlivňovat i jiná zařízení.
- **Ovládání** – stanovený způsob, jakým je přejezdovému zařízení dáván za normálních okolností popud ke spuštění a ukončení výstrahy.
- **Otevřený přejezd** – přejezd v době, kdy přejezdové zařízení nebrání provozu na pozemní komunikaci (přejezdové zařízení nedává výstrahu).
- **Pohotovostní stav** – stav přejezdového zařízení v době, kdy na něm není vyhodnocen poruchový stav.
- **Poloviční závory** - závory, u kterých sklopená břevna přehrazují jízdní pruh jen před přejezdem; přitom není rozhodující přehrazení chodníku, nebo cyklistické stezky; sklopená břevna závor přehrazují u obousměrné pozemní komunikace jen jízdní pruhy pro jízdu na přejezd, u jednosměrné pozemní komunikace přehrazují celou její šířku před přejezdem.
- **Poruchový stav** – stav přejezdového zařízení při poruše, která může ohrozit bezpečnost provozu na přejezdu.
- **Pozitivní signál** – informuje uživatele pozemní komunikace, že v obvodu přejezdu není drážní vozidlo, které by jej mohlo ohrozit – otevřený přejezd.

- **Předzváněcí doba** – doba od spuštění výstrahy do okamžiku, kdy se smí začít sklá-pět břevno závory.
- **Přejezdník** – stožárové návěstidlo na dráze, které návěstí strojvedoucímu stav pře-jezdového zařízení.
 - a) Kmenový přejezdník – je umístěn před přejezdem nejméně na zábrzdnu vzdálenost.
 - b) Opakovací přejezdník – je umístěn před přejezdem na vzdálenost menší, než je zábrzdná vzdálenost.
- **Přejezdové zařízení** – zařízení, které informuje uživatele pozemní komunikace o tom, zda se k přejezdu blíží drážní vozidlo a poskytuje informaci strojvedoucímu nebo obsluhujícímu zaměstnanci, zda lze jet k přejezdu nejvyšší dovolenou rychlostí.
- **Přibližovací úsek** – část obvodu přejezdu ve směru jízdy drážního vozidla před pře-jezdem.
- **Přibližovací doba** – nejkratší doba od okamžiku pokynu ke spuštění výstrahy do okamžiku, kdy smí vjet čelo drážního vozidla na přejezd.
- **Ruční ovládání** – ovládání, při kterém je popud ke spuštění a ukončení výstrahy vyvolán obsluhujícím zaměstnancem podle předpisu provozovatele dráhy bez spolu-působení drážního vozidla.
- **Zvuková signalizace pro nevidomé** – zařízení, které doplňuje PZS a dává zvukové signály „Volno“ a „Stůj“ pro osoby s vadami zraku na základě dálkového povelu vydaného kompenzační pomůckou těchto osob v souladu s obecně právními před-pisy.
- **Signalizace pro uživatele pozemní komunikace** – signalizace na přejezdovém za-řízení dává:
 - a) Pozitivním signálem
 - b) Výstražným signálem
 - c) Varovným signálem
- **Spuštění výstrahy** – okamžik, kdy přejezdové zařízení začne dávat výstrahu.
- **Světelná signalizace** – signalizace dávána signály světel výstražníku.
 - a) Pozitivní signál – přerušované bílé světlo
 - b) Výstražný signál – přerušovaná červená světla
 - c) Varovný signál – žádné ze světel nesvítí
- **Světelná výstraha** – výstražný signál davaný světelnou signalizací.

- **Strojvedoucí** – osoba řídící drážní vozidlo.
- **Ukončení výstrahy** – okamžik, kdy přejezdové zařízení přestane dávat výstrahu.
- **Uzavřený přejezd** – přejezd v době, kdy přejezdové zařízení zakazuje uživatelům pozemní komunikace jízdu (chůzi) přes přejezd.
- **Varovný signál** – informace, která neposkytuje uživateli pozemní komunikace informaci, zda se k přejezdu blíží nebo neblíží drážní vozidlo, které by jej mohlo ohrozit.
- **Vyklizený přejezd** – přejezd v době, kdy bylo technickým prostředkem vyhodnoceno uvolnění prostoru pozemní komunikace mezi závorami, nebo prostoru mezi hranicemi nebezpečného pásma u přejezdového zařízení bez závor.
- **Vyklizovací doba** – doba, během které může ještě bezpečně nejdelší a nejpomalejší silniční vozidlo, cyklista nebo chodec přejet nebo projít přejezdem.
- **Vypínací prvek** – ovládací prvek, kterým je dáván zařízení podnět k ukončení výstrahy.
- **Výstraha** – vnější projev přejezdového zařízení, kterým se uživateli pozemní komunikace zakazuje vjezd (vstup) na přejezd, popř. se mu přikazuje, aby přejezd urychleně vyklidil, může být dávana signalizací světelnou, zvukovou nebo mechanickou.
- **Výstražník** – zařízení dávající uživatelům pozemní komunikace světelnou, popřípadě zvukovou signalizací informaci, že na přejezd smí nebo nesmí vjet (vstoupit).
- **Výstražný signál** – varuje uživatele pozemní komunikace před ohrožením drážním vozidlem – uzavřený přejezd.
- **Vzdalovací úsek** – část obvodu přejezdu ve směru jízdy drážního vozidla za přejezdem.
- **Základní výstrahy** – výstraha, která musí být dávana po celou dobu trvání výstrahy.
- **Zapínací prvek** – ovládací prvek, kterým je dáván zařízení popud k zahájení výstrahy.
- **Závora** – pohyblivá překážka umístěná zpravidla rovnoběžně s kolejemi, jejíž účelem je bránit uživatelům pozemní komunikace ve vjezdu (vstupu) na přejezd.
- **Zvuková výstraha** – výstražný signál dávaný zvukovou signalizací. [1]

2 KATEGORIE ŽELEZNIČNÍCH PŘEJEZDŮ

Železniční přejezdy můžeme rozdělit dle míry a způsobu zabezpečení na:

- Přejezdy bez přejezdového zabezpečovacího zařízení.
- Přejezdy vybavené přejezdovým zabezpečovacím zařízením.
 - PZM – mechanické přejezdové zařízení.
 - PZM 1 mechanické přejezdové zařízení obsluhované na dálku.
 - PZM 2 mechanické přejezdové zařízení obsluhované místně.
 - PZM 3 mechanické přejezdové zařízení kombinované, lze obsluhovat místně i na dálku.
 - PZS – světelné přejezdové zařízení.
 - PZS 1 světelné přejezdové zařízení obsluhované ručně z místa přejezdu.
 - PZS 2 světelné přejezdové zařízení ovládané jízdou drážního vozidla.
 - PZS 3 světelné přejezdové zařízení ovládané jízdou drážního vozidla, nebo navazujícího zabezpečovacího zařízení. [1]

2.1 Přejezdy bez přejezdového zabezpečovacího zařízení

Do této kategorie patří železniční přejezdy, jež nejsou vybaveny žádným signalizačním zařízením dávajícím výstrahu, která uživateli pozemní komunikace zakazuje vjezd (vstup) na přejezd, popř. se mu přikazuje, aby přejezd urychleně vyklidil při vjezdu drážního vozidla do obvodu přejezdu. Přejezdy jsou označeny pouze výstražnými kříži.



Obr. 1. Pasivně zabezpečený žel. přejezd

Výstražné kříže se umísťují bezprostředně před železniční přejezd. V případě špatných rozhledových podmínek na přejezd, bývají výstražné kříže doplněny dopravní značkou „STOP“, která uživateli pozemní komunikace prikazuje zastavit vozidlo v místě odkud má rozhled na přejezd. [1]

2.2 Přejezdy vybavené přejezdovým zabezpečovacím zařízením

Do této kategorie patří železniční přejezdy vybavené nejen výstražnými kříži, ale i technickým zařízením, varujícím uživatele pozemní komunikace při vjezdu drážního vozidla do obvodu přejezdu.

Technické prostředky zabezpečení přejezdu jsou ovládány buďto manuálně nebo automaticky vyhodnocením jízdy drážního vozidla nebo na základě stavu staničního zabezpečovacího zařízení. Signalizace, která varuje uživatele pozemní komunikace před přijíždějícím drážním vozidlem, může být mechanická v podobě závory, nejčastěji využitá u manuálně ovládaných přejezdových zabezpečovacích zařízení nebo světelná se zvukovou signalizací, popř. doplněná závorami. [1]

2.2.1 Přejezdové zabezpečovací zařízení mechanické

Jedná se o přejezdové zabezpečovací zařízení nazývané PZM, které dává mechanickou výstrahu, tudíž sklápěním, sklopením, nebo zvedáním břevna závory. Břevno závory má mít lehkou konstrukci uzpůsobenou tak, aby vozidlo s hybností minimálně $2800 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ jej mohlo přerazit v libovolném místě jízdních pruhů, jestliže z jakéhokoliv důvodu před přejezdem nezastaví. Břevno závory se musí zlomit dříve, než dojde k deformaci nebo změně polohy ostatních částí závory. Zkouší se v místě 0,5 m od nejbližšího kraje jízdního pruhu směrem od stojanu závory. Břevno závory musí být provedeno jako celá závora. Spojení závor s pohonem závor v místě obsluhy je realizováno mechanicky pomocí převodového zařízení, drátovodů, řetězů apod. PZM může být v odůvodněných případech doplněno o výstražníky popř. přejezdvníky, toto řešení však vyžaduje napájení elektrickou energií a je třeba zvážit, není-li vhodnější použít PZS které bude rozebráno v další části.

Zařízení je ovládáno výhradně ručně obsluhujícím zaměstnancem podle předpisu provozovatele dráhy. Včasné spuštění a ukončení výstrahy není u PZM ovlivněno jízdou drážního vozidla, ale pouze obsluhujícím zaměstnancem.

Zařízení se může nově instalovat pouze v odůvodněných případech a to pouze jako PZM 2 uzamykatelné na místě (otevření na požádání). Není-li na pozemní komunikaci zákaz vstupu chodcům a cyklistům, musí být na přejezdu vybaveném PZM 2 uzamykatelném na místě zajištěny rozhledové poměry pro přechod pěších. [1]

2.2.1.1 PZM 1

Mechanické přejezdové zařízení obsluhované na dálku je každé PZM, u kterého je závorářské stanoviště vzdáleno více než 60 m od přejezdu, nebo z místa obsluhy není rozhled na celý železniční přejezd. Zařízení bývá doplněno o zvukovou výstrahu. Obsluhující zaměstnanec musí dodržet stanovenou rychlost obsluhy, při jejím nedodržení lze dokončit obsluhu jen po použití nouzového vybavovacího zařízení. [1]



Obr. 2. Železniční přejezd zabezpečen PZM 1

2.2.1.2 PZM 2

Mechanické přejezdové zařízení obsluhované místně, dává pouze mechanickou výstrahu, výstraha musí splňovat ustanovení dle ČSN 34 2650 ed.2 popsané v předchozí kapitole. Výstraha u PZM 2 začíná sklápěním břevna závory, obsluhující zaměstnanec musí mít možnost přerušit sklápění břevna závory a vyčkat, až účastníci provozu na pozemní komunikaci přejezd uvolní. [1]

Podmínky pro mechanické přejezdové zařízení obsluhované místně (PZM 2):

- Závorářské stanoviště nesmí být vzdáleno od přejezdu více než 60m.
- Z místa obsluhy je dostatečný rozhled na celý přejezd i za snížené viditelnosti.
- Obsluhující zaměstnanec je s ohledem na místní poměry (hladina hluku) schopen upozornit účastníky provozu na pozemní komunikaci na blížící se drážní vozidlo voláním nebo jiným vhodným způsobem. [1]



Obr. 3. Železniční přejezd zabezpečen PZM 2

2.2.1.3 PZM 3

Je mechanické přejezdové zařízení obsluhované kombinovaně, tudíž je možno měnit obsluhu z místního ovládání na dálkové a naopak. [1]

2.2.2 Přejezdové zabezpečovací zařízení světelné

Zde bude popsáno přejezdové zabezpečovací zařízení, u kterého je základní výstraha dávana světlem, takové přejezdové zařízení nazýváme PZS. Ovládání světelné výstrahy a doplňkových výstrah např. zvuková, mechanická je automatické, závislé na jízdě drážního vozidla, výjimku tvoří zařízení PZS 1, které je ovládáno manuálně. [1]

Světelná výstraha

Světelná výstraha se dává ve směru pozemní komunikace pro účastníky silničního provozu střídavě přerušovanými červenými světly (ve vzájemné protifázi) umístěnými vedle sebe. Frekvence přerušování červeného světla musí být (60 ± 15) cyklů/min. Doba svícení jednoho světla musí být 40 % až 60 % z doby jednoho cyklu. Osová svítivost červeného světla nesmí být menší než 100 cd a nesmí překročit 500 cd, výstupní činná plocha světel musí být kruhová o průměru 180 – 220mm. V případě poruchy žárovky kteréhokoliv červeného světla nesmí dojít zařízením k zamezení svícení ostatních červených světel. Světelná výstraha musí trvat po celou dobu výstrahy. V případě, kdy je přejezdové zabezpečovací zařízení vybaveno doplňkovou mechanickou výstrahou, nesmí skončit světelná výstraha dříve, než břevno závary dosáhne horní koncové polohy. [1]

Pozitivní signál

Pozitivní signál dává uživateli pozemní komunikace informaci, že v obvodu přejezdu se nenachází drážní vozidlo, jež by jej mohlo ohrozit. Pozitivní signál je dáván přerušovaným svícením bílého světla. Frekvence přerušování svícení bílého světla musí být (40 ± 10) cyklů/min, doba svícení 40 % až 60% doby jednoho cyklu. Osová svítivost bílého světla musí být větší než 100 cd a nesmí překročit 500 cd, výstupní činná plocha světel musí být kruhová o průměru 180 – 220mm. Svítlna pozitivní signalizace se umísťuje pod spojnicí dvojice červených světel a to v její ose. Osová vzdálenost kruhového bílého a červeného pole smí být nejvýše čtyřikrát větší než průměr červeného pole.

Zabezpečovací zařízení může dávat pozitivní signál, pouze pokud jsou současně splněny podmínky, které jsou podrobně popsány v ČSN 34 2650 ed.2. [1]

Zvuková výstraha

Zvuková výstraha je dávana charakteristickým přerušovaným zvukovým signálem nezáměného významu vycházejícího z kmitočtů 300 Hz až 3 000 Hz. Frekvence přerušování zvukového signálu musí být (60 ± 15) cyklů/min. Zvuk signálu musí být jasně slyšitelný a musí převyšovat práh maskování. Hlasitost zvukové výstrahy ve vzdálenosti 7 m od zdroje nemá být menší než 60 dB a větší než 80 dB. Umožňuje-li zařízení automatickou korekci hlasitosti, naství se hlasitost o 15 dB větší než je hluk pozadí. [1]

Mechanická výstraha

Pokud je světelné přejezdové zařízení vybaveno závory, slouží pouze jako doplňková mechanická výstraha. Mechanická výstraha je dávana sklápěním, sklopením a zvedáním břevna závora. Sklápění břevna může začít až po uplynutí předzváněcí doby. Břevno závory má mít lehkou konstrukci, zvednuté nesmí zasahovat do průjezdného prostoru pozemní komunikace. Při sklopení břevna závory musí přehrazovat alespoň 90 % šířky jízdního pruhu. Doba sklápění břevna závory nesmí být kratší než 3 s a doba zvedání závory nesmí být delší než 10 s. Doplňková mechanická výstraha se zřizuje na světelných přejezdech, jež kříží silnice I. nebo II. třídy a v případě více Kolejových tratí. Pro omezení hluku se doporučuje vybavení světelného přejezdu závory a to sice v blízkosti obytných domů, nemocnic, lázní atd. [1]

Časová posloupnost výstrahy u PZS

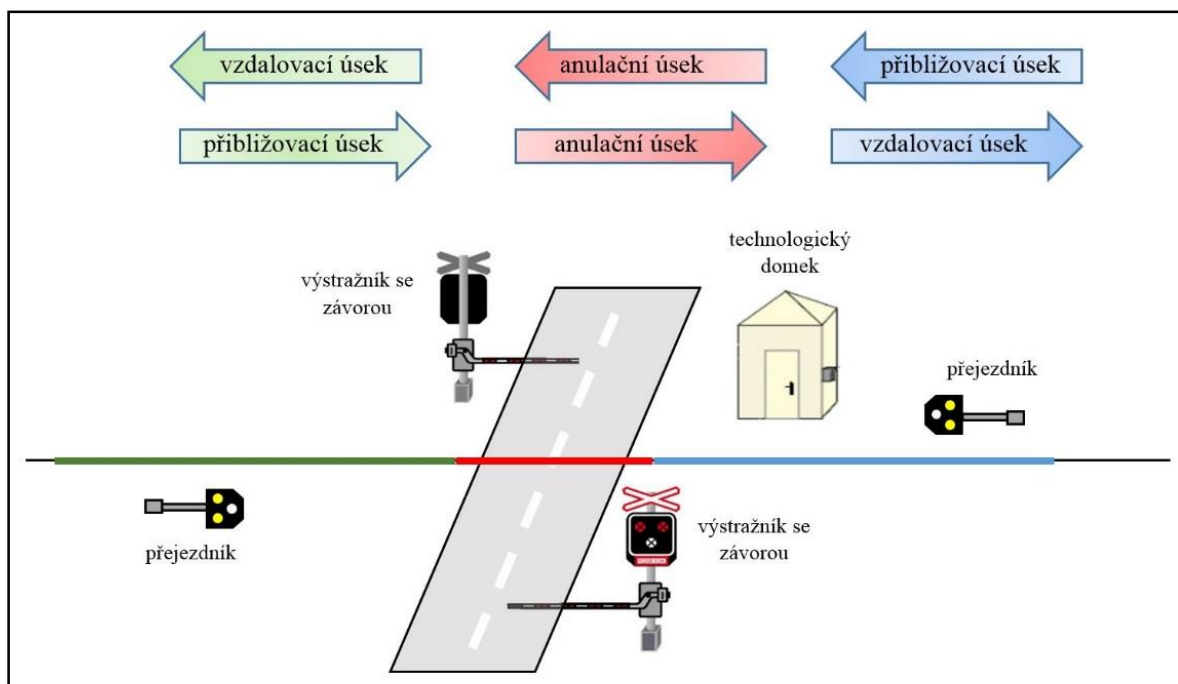
V případě přejezdového zabezpečovacího zařízení, které není vybaveno závory, dochází ihned po spuštění výstrahy k aktivaci světelné a akustické výstrahy. V případě vybavení přejezdového zabezpečovacího zařízení celými závory, dochází ihned po spuštění výstrahy k aktivaci světelné a akustické výstrahy a v tomto okamžiku se začne odměřovat předzváněcí doba. Po vypršení předzváněcí doby je vydán povel ke spuštění břevna závory. Pokud je přejezdové zabezpečovací zařízení vybaveno dvojími polovičními závory s postupným chodem břevna závora, dochází ihned po spuštění výstrahy k aktivaci světelné a akustické výstrahy, v tomto okamžiku se začne odměřovat předzváněcí doba. Po jejím vypršení je vydán povel ke spuštění břevna závora před přejezdem, ve směru jízdy na pozemní komunikaci. Po ukončení vyklizovací doby přejezdu je vydán povel ke spuštění závora za přejezdem a ukončení akustické výstrahy.

Základní činnost světelného přejezdového zařízení

Funkci světelného přejezdového zařízení vysvětluje následující obrázek č.4. Vstupem drážního vozidla do přibližovacího úseku, dojde ke spuštění světelné a akustické výstrahy. V případě vybavení přejezdu závory, je spuštěno odměřování předzváněcí doby, po jejím vypršení dojde ke sklopení břevna závora a ukončení akustické signalizace. Drážní vozidlo projede prostorem přejezdu a postupně obsadí a uvolní anulační úsek, uvolní přibližovací úsek a obsadí úsek vzdalovací. PZS přejde do stavu anulace, ukončí se výstraha, tudíž dojde ke zvednutí závora a k následnému ukončení světelné výstrahy, měří se doba anulace, drážní

vozidlo projíždí vzdalovacím úsekem, po jeho uvolnění přechází PZS do základního stavu (je dáván pozitivní signál).

Doba trvání anulace musí být měřena, protože informace o obsazení vzdalovacího úseku může být způsobena nejen drážním vozidlem, ale i poruchou kolejového obvodu. Pokud k této poruše dojde ve vzdalovacím úseku tehdy, když je obsazen vlakem odjíždějícím od přejezdu, zůstalo by PZS po dobu trvání poruchy obvodu v anulaci. Drážní vozidlo z opačného směru pak vstoupí do anulovaného přibližovacího úseku a přijede na přejezd bez výstrahy. Této nebezpečné směrové pasti se předchází zmíněnou kontrolou doby anulace, která nedovolí PZS zůstat trvale ve stavu anulace. Po vypršení doby anulace a z důvodu poruchy obsazeného vzdalovacího úseku, přejde PZS opět do výstrahy.



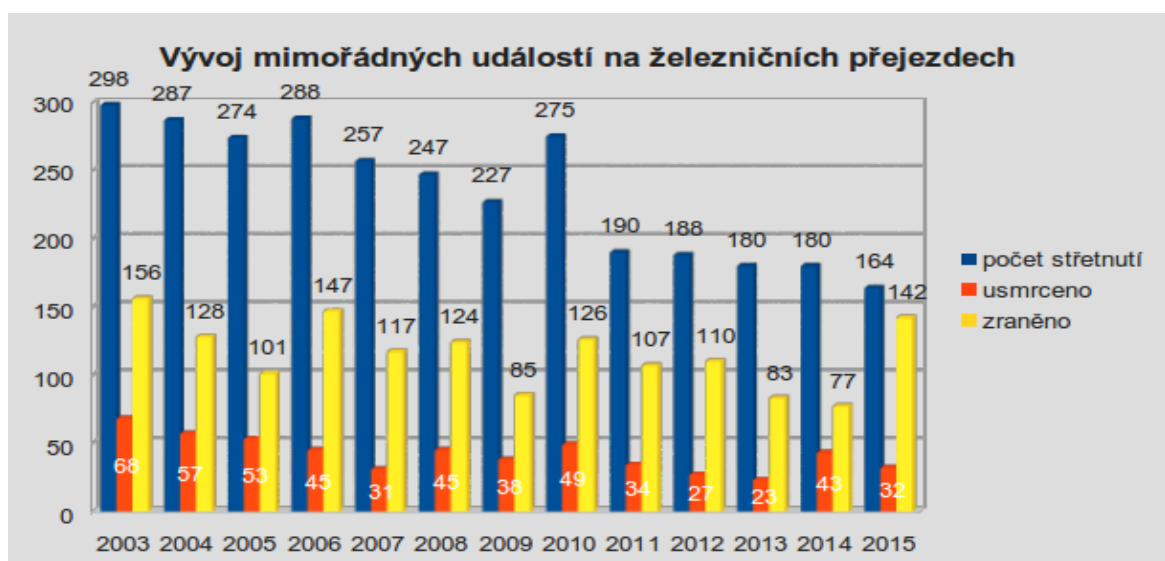
Obr. 4. Princip světelného přejezdového zabezpečovacího zařízení PZS

3 POROVNÁNÍ KATEGORIÍ ŽELEZNIČNÍCH PŘEJEZDŮ Z HLEDISKA NEHODOVOSTI

Železniční přejezdy představují svou existencí velké množství bezpečnostních rizik. Vznik nehod na přejezdech je důsledkem nejen nepozornosti a nekázní řidičů a chodců, ale také bezpečnostními riziky, které vychází z ergonomie přejezdů, místních podmínek s mnohdy již nevyhovujícími rozhledovými poměry. V roce 2015 bylo Drážní inspekcí ČR evidováno na přejezdech 164 mimořádných událostí, při kterých přišlo o život 32 osob a 142 osob bylo zraněno. Při těchto nehodách dochází k vysokým škodám na majetku a vážným komplikacím v plynulosti dopravy.

„Počet střetnutí na železničních přejezdech od roku 2010 postupně klesá a nejinak tomu bylo i v roce 2015, kdy jsme zaznamenali nejnižší počet střetnutí na železničních přejezdech v celé historii Drážní inspekce. Za celý rok se událo na přejezdech celkem 164 střetnutí, což je o necelých 9 % méně než v roce 2014, ale o 45 % méně než v roce 2003. Při nehodách na železničních přejezdech zahynulo v minulém roce 32 lidí, tedy o čtvrtinu méně než v roce 2014. Současně se zvýšil průměrný počet nehod, při nichž zemřel člověk, a to z úmrtí při každé 4. nehodě v roce 2014 na úmrtí průměrně při každé páté nehodě. I tak je tento průměr druhý nejhorší v historii Drážní inspekce. Dosud nejpříznivějším v tomto ohledu byl rok 2013, kdy průměrně zemřel člověk při každém osmém střetnutí na železničním přejezdu.“ [4]

Graf. 1. Mimořádné události na železničních přejezdech [4]



Stejně jako v přechodných letech, tak i v roce 2015 došlo k největšímu počtu nehod a usmrcení osob na železničních přejezdech zabezpečených světelnou signalizací bez závor, na kterých

zemřelo 13 osob. Na přejezdech zabezpečených světelnou signalizací doplněnou závorami zemřelo 11 osob, kde (s výjimkou tří mrtvých ve vlaku při střetnutí na přejezdu ve Studence) jsou všichni usmrcení chodci nebo cyklisté, kteří podleli sklopená závorová břevna a vstoupili na trať v době příjezdu vlaku a nedá se v tomto případě, na rozdíl od přejezdů nezabezpečených závorami, hovořit o omylu či přehlédnutí ze strany postižených. Na železničních přejezdech zabezpečených výstražnými kříži bylo usmrceno 8 osob. V tabulce č.1 je znázorněn počet střetnutí, usmrcení a zranění na železničních přejezdech dle typu zabezpečení. Tabulka č.2 uvádí počty železničních přejezdů provozovaných správou železniční dopravní cesty a kategorie jejich zabezpečení. [4]

Tab. 1. Statistika mimořádných událostí na žel. přejezdech v roce 2015 [4]

Statistika mimořádných událostí na železničních přejezdech dle kategorie zabezpečení			
Zabezpečení železničního přejezdu	Počet střetnutí s drážním vozidlem	Počet usmrcených osob	Počet zraněných osob
Výstražné kříže	69	8	27
Světelná signalizace	67	13	88
Světelná signalizace se závorami	27	11	27
Mechanické závory	1	0	0
Celkem	164	32	142

Tab. 2. Počty železničních přejezdů dle kat. zabezpečení [14]

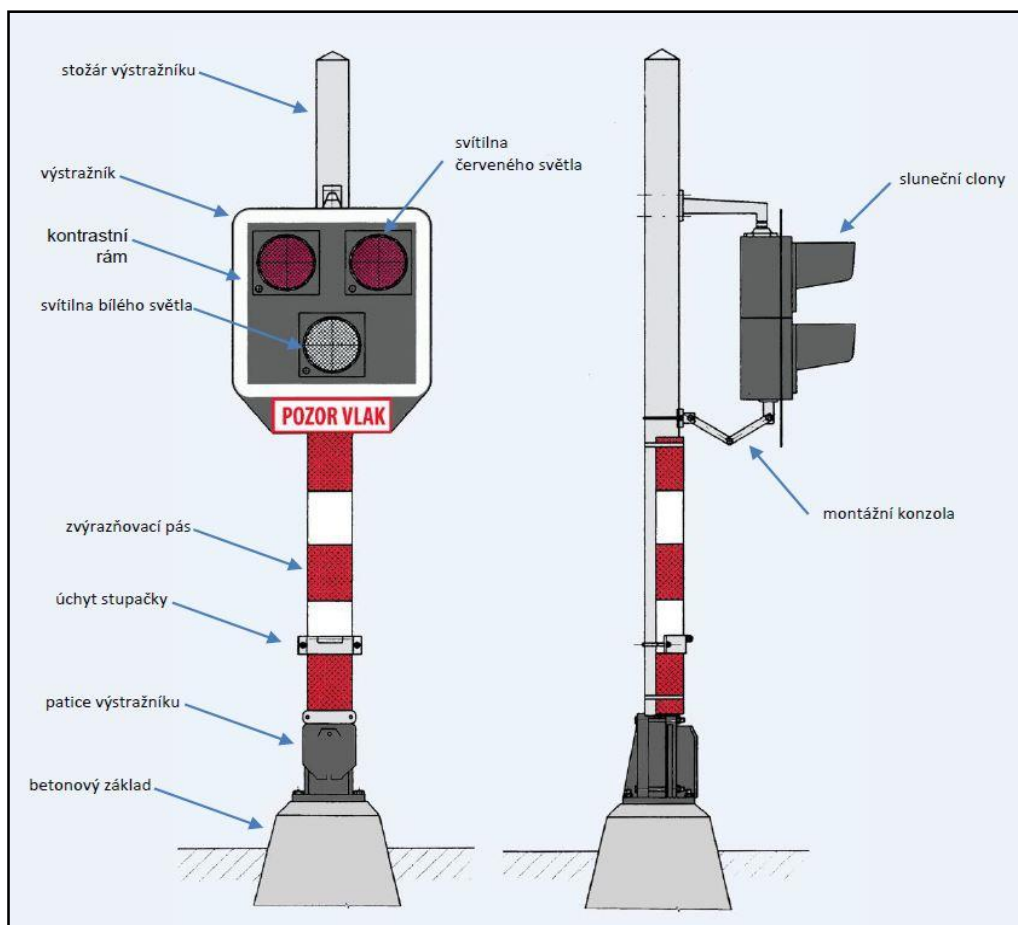
Přehled železničních přejezdů provozovaných SŽDC	
Kategorie zabezpečení železničního přejezdu	počet
Železniční přejezdy zabezpečené výstražnými kříži	4252
Železniční přejezdy zabezpečené přejezdovým zabezpečovacím zařízením	3749
Železniční přejezdy zabezpečené přejezdovým zabezpečovacím zařízením světelným (PZS)	3352
Železniční přejezdy zabezpečené přejezdovým zabezpečovacím zařízením světelným (PZS) se závorami	1172
Železniční přejezdy zabezpečené přejezdovým zabezpečovacím zařízením světelným (PZS) bez závor	2180
Železniční přejezdy zabezpečené přejezdovým zabezpečovacím zařízením mechanickým (PZM)	359
Celkový počet železničních přejezdů	8001

4 PRVKY SVĚTELNÉHO PŘEJEZDOVÉHO ZABEZPEČOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

4.1 Výstražník

Je část světelného přejezdového zařízení, které dává světelným, popřípadě akustickým signálem účastníkům silničního provozu na pozemní komunikaci informaci o výstražném popř. varovném stavu, pokud je zařízení vybaveno pozitivním signálem dává i tento signál.

V současné době se používají na nově zřizovaných přejezdových zařízeních infrastruktury SŽDC výstražníky typu AŽD 97, osazeny dvouvláknovými žárovkami a fotometrickým nebo napěťovým dohledem, který zajišťuje při poruše hlavního vlákna přepnutí na záložní vlákno žárovky a tímto zajištění funkčnosti signalizace. Současně se informace o poruše předává prostřednictvím diagnostiky pracovníkům údržby v nejbližší stanici. [10]



Obr. 5. Výstražník typu AŽD 97 [10]

Pro zvýšení pohotovosti a vlastní spotřeby elektrické energie zařízení, jsou doposud používané dvouvláknové žárovky svítlen výstražníku nahrazovány modernějšími zdroji světla. Jako řešení se ukázalo užití matice LED diod osazených na kruhové desce plošného spoje. LED diody jsou propojeny do třech nezávislých okruhů. V případě, kdy dojde k poruše jednoho okruhu, zajišťuje svit funkčních dvou okruhů diod pořád normou předepsané požadavky na svítivost. V podstatě jde o obdobné řešení jako při použití dvouvláknových žárovek. Výhodou oproti předchozímu řešení jsou tři okruhy diod. Pracovník údržby tudíž nemusí při poruše jedné sekce diod vyjíždět k opravě, tak jako tomu bylo při použití dvouvláknových žárovek.

Pro zvýšení bezpečnosti na železničních přejezdech bývá výstražník doplněn o akustickou signalizaci pro nevidomé tzv. klepátko známé i z přechodů pro chodce na pozemních komunikacích.

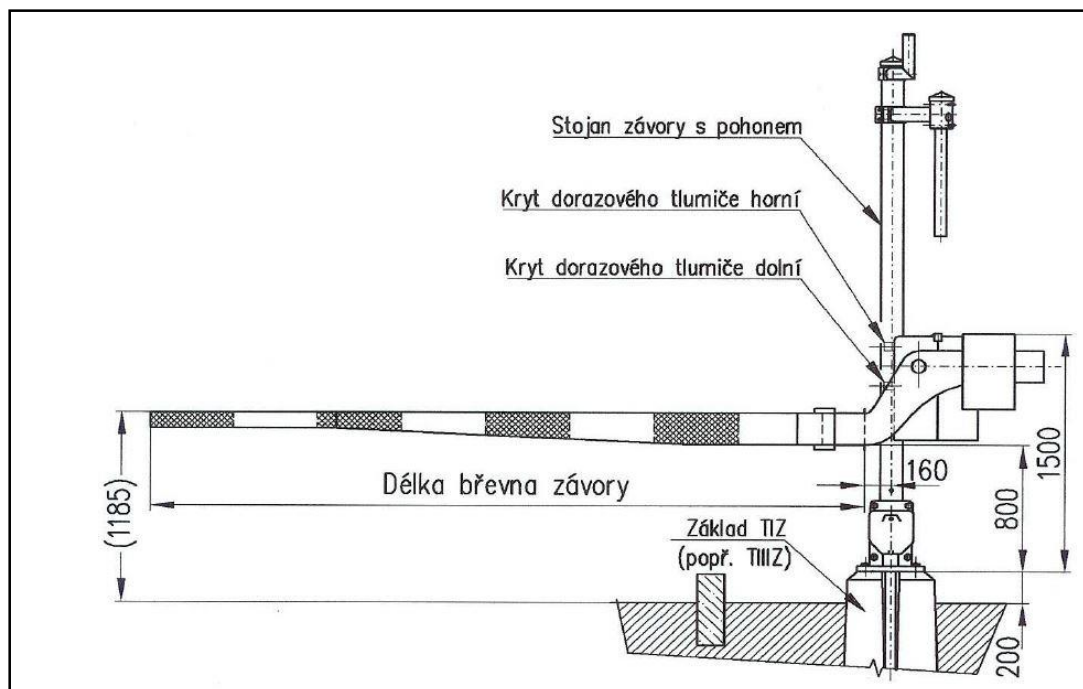
4.2 Elektromechanická závora

Část přejezdového zařízení, které sklopením břevna závory do průjezdného prostoru pozemní komunikace dává mechanickou výstrahu podle ČSN 34 2650 ed.2.

Základní části elektromechanické závory:

1. Stožár závory s pohonem se skládá:
 - Stožár - je ocelová trubka, která je proti korozi chráněna povrchovou úpravou. Horní konec stožáru je zakryt víkem. Místo víka lze osadit přijímač akustické signalizace pro nevidomé. Dolní konec stožáru je opatřen paticí. Patice je využita pro kotvení stožáru do terénu prostřednictvím betonového základu.
 - Nosič kříže - používá se pro připevnění svislé dopravní značky „výstražný kříž“ na stožár.
 - Pohon závory - obsahuje pohonné, ovládací a kontrolní ústrojí.
2. Břevno závory s unašečem se skládá:
 - Břevno závory - je část závory, která ve výstražném stavu zasahuje do průjezdného prostoru pozemní komunikace a tímto dává mechanickou výstrahu. Břevno je vyrobeno ze dřeva nebo kompozitního materiálu. Břevna mohou být vybaveny o kontrolu celistvosti.
 - Unašeč břevna závory - slouží pro upevnění břevna závory ke křídům.

3. Křídla s protizávažím - jsou pohyblivé části závory, které přenášejí rotační pohyb hřídele na břevno závory a tím umožňují jeho sklápění i zvedání. Vyvažují hmotu břevna závory, břevno závory se na ně připevňuje pomocí unašeče. Typ protizávaží je volen dle délky břevna.
4. Nosič výstražníků - používá se pro připevnění jednoho nebo dvou výstražníků na stožár.
5. Betonový základ - používá se pro zakotvení stožáru závory s pohonem do terénu. [6]



Obr. 6. Elektromechanická závora AŽD 99 [6]

Popis funkce

Základní poloha závory je přednostně definována jako otevřený přejezd, kdy se břevno závory nachází v horní koncové poloze. Po vydání příkazu ke sklopení břevna závory dojde k odpojení napájení brzdy. Břevno závory se vlivem gravitační energie začne sklápět. V úhlu 85° je signalizována ztráta horní koncové polohy. Po dosažení úhlu 75° sepne brzdící obvod elektromotoru a tím je zahájeno dynamické brzdění motorem. Po dosažení úhlu 10° je signalizováno dosažení dolní koncové polohy a zároveň se sepne brzdící obvod elektromotoru nakrátko, brzdící moment dynamického brzdění se zvýší na maximální velikost. Břevno závory dosedne na dorazový tlumič sklopené polohy břevna.

Po vydání příkazu ke zvednutí břevna závory je vybuzen stykač, který připojí obvod motoru ke svorkám napájecího napětí. Po dosažení úhlu 10° je signalizována ztráta dolní koncové polohy. Po dosažení úhlu 75° sepne obvod napájení brzdy. Brzdová hřídel s jednosměrným brzdícím účinkem umožní pokračující motorické zvedání břevna závory. Po dosažení úhlu 85° se ukončí buzení stykače, ten odpojí obvod motoru od napájecího napětí. Zároveň se uzavře obvod dohledu horní koncové polohy břevna a tím je signalizováno dosažení horní koncové polohy. Břevno závory se zastaví v poloze mezi úhlem 85° a tlumičem horní koncové polohy. Pohyb soupravy břevna z horní koncové polohy do dolní koncové polohy je tedy zajištěn gravitační energií soupravy břevna. Pohyb soupravy břevna z dolní koncové polohy do horní koncové polohy je zajištěn působením motoru. Souprava břevna je v horní koncové poloze mechanicky zapevněna a v dolní koncové poloze mechanicky nezapevněna, aby bylo možno nadzvednutí závory v případě uvíznutí vozidla na železničním přejezdu. [6]

4.3 Přejezník

Jestliže se světelné přejezdové zařízení nachází v pohotovostním stavu a pro danou kolej a směr jízdy, není vyloučeno automatické spouštění výstrahy ovlivněním zapínacího prvku závislého na jízdě drážního vozidla, smí být strojvedoucí přímo informován o povolení k jízdě přes přejezd bez omezení. Tuto informaci předává strojvedoucímu návěstidlo, které dává návěst „Otevřený přejezd“ a návěst „Uzavřený přejezd“ podle předpisu ČD D1 „Předpis pro používání návěstí při organizování a provozování drážní dopravy“.



Obr. 7. Návěsti přejezdníku

Jelikož se návěst dává pouze bílým světlem, jsou žlutá světla nahrazena odrazkami, tím se dosáhne úspory při výstavbě a údržbě zařízení, zvýší se i provozní spolehlivost. Návěst s

přerušovaným svícením bílého světla je použita při nouzovém stavu přejezdového zabezpečovacího zařízení vyjma případu, kdy dojde k výpadku napájení, jež trvá kratší dobu, než stanoví provozovatel dráhy. Při této návěsti se ukládá strojvedoucímu povinnost oznámit dopravnímu zaměstnanci v sousední stanici informaci o nouzovém stavu světelného přejezdového zařízení.

4.4 Obvody pro zjišťování volnosti tratě

Ovládací prvky pro zjišťování volnosti tratě mohou mít charakter liniového nebo bodového technického prostředku vyhodnocující nebo nevyhodnocující směr jízdy. [11]

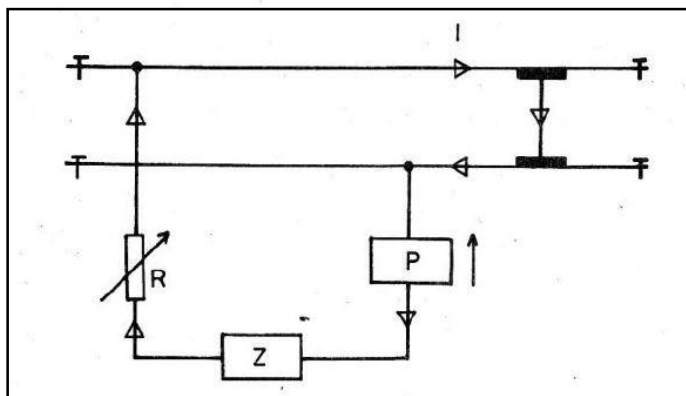
4.4.1 Kolejový obvod

Kolejové obvody patří do kategorie liniových prostředků pro detekci drážního vozidla. Kolejový obvod je složen z kolejového vedení a k němu připojené výstroje. Kolejové vedení je tvořeno určitou částí železničního svršku, u kterého kolejnicové pásy zastávají funkci vodiče a jako izolace jsou využity pražce uložené ve šterkovém loži. Konce ohraničeného kolejového obvodu jsou vymezeny takzvanými izolovanými styky, které tvoří pevné mechanické spojení kolejnic kolejového obvodu se sousedícími kolejnicemi, ale elektricky jsou vzájemně izolovány. Při vstupu drážního vozidla do kolejového obvodu spojí svým vodivým dvojkolím oba kolejnicové pásy, tímto se uzavře proudový obvod. Elektrický odpor dvojkolí a jeho přechodové odpory nejsou zanedbatelné vzhledem k odporu kolejnic, neříkáme proto, že náprava spojila oba kolejnicové pásy nakrátko, ale byl přijat název „šuntování“ říkáme že kolejový obvod je šuntován dvojkolím drážního vozidla a výslednou hodnotu odporu všech dvojkolí v kolejovém obvodu (vyjádřenou v ohmech), nazýváme vlakový šunt. [11]

Sériový kolejový obvod

Při vstupu drážního vozidla do kolejového obvodu spojí svým dvojkolím oba kolejnicové pásy, uzavře proudový obvod, v němž kolejové relé přitáhne kotvu a indikuje obsazený obvod, při opuštění kolejového obvodu drážním vozidlem dojde rozpojení kolejnicových pásů, přerušování obvodu, odpadnutí kotvy kolejového relé a tím indikaci volného obvodu. Při špatném izolačním stavu železničního svršku, může kolejové relé přitáhnout, aniž by drážní vozidlo vstoupilo do kolejového obvodu. V opačném případě při přerušování obvodu, např. porucha kolejového relé, nebo porucha zdroje proudu, popř. přívodů, dojde k odpadnutí kotvy

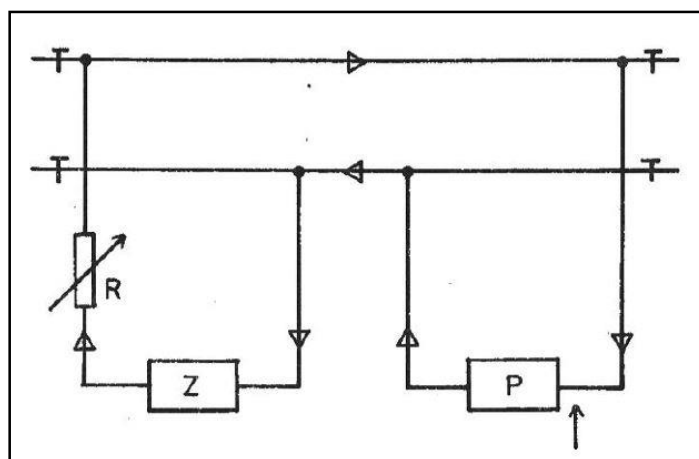
kolejového relé a k nesprávnému vyhodnocení průjezdu drážního vozidla. Z těchto důvodů se nesmí sériové kolejové obvody využívat pro zjišťování volnosti trati. [3]



Obr. 8. Sériový kolejový obvod [3]

Paralelní kolejový obvod

U paralelního kolejového obvodu je proud ze zdroje veden do vnutí kolejového relé přes obě kolejnice, kolejové relé přitáhne kotvu a indikuje volný obvod, při vstupu drážního vozidla do kolejového obvodu, svým dvojkolím šuntuje kolejový obvod, proud ze zdroje prochází přes dvojkolí drážního vozidla zpět do zdroje a dochází k odpadnutí kotvy kolejového relé a indikaci obsazení obvodu. Při jakékoliv poruše, např. špatný izolační stav žel. svršku, poruše zdroje proudu, lomu kolejnice, dojde k odpadnutí kotvy kolejového relé a indikaci obsazeného obvodu. Paralelní kolejový obvod je využíván jako nejčastější způsob zjišťování volnosti trati. [3]

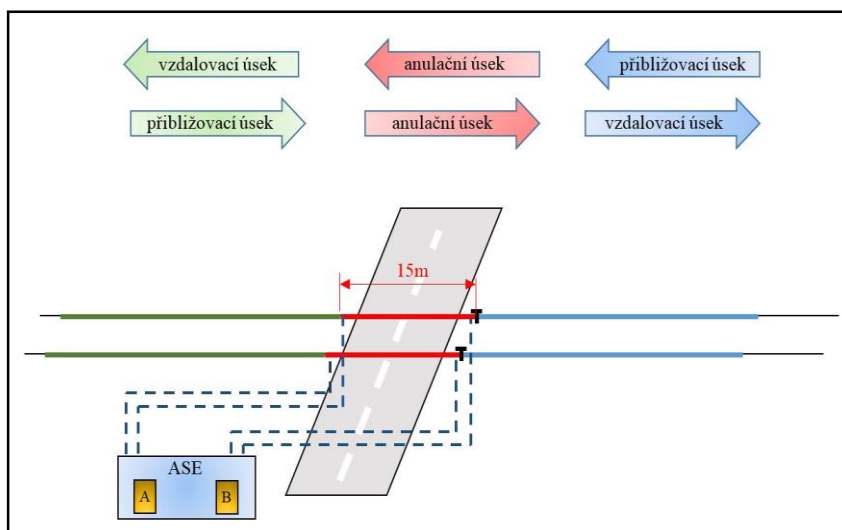


Obr. 9. Paralelní kolejový obvod [3]

4.4.2 Anulační soubor elektronický

Anulační soubor elektronický patří do kategorie liniových prostředků sloužících k vyhodnocení průjezdu drážního vozidla a směru jeho jízdy malým prostorovým úsekem na tratích se všemi druhy trakce a na všech typech železničního svršku, kde je zajištěna požadovaná svodová admitance mezi kolejnicovými pásy.

Anulační soubor elektronický (ASE) pracuje na principu dvou sousedících překrývajících se neohraničených sérioparalelních kolejových obvodů pracujících na frekvenci 51,2 kHz. Kolejový obvod je umístěn přímo v prostoru křížení železniční trati s pozemní komunikací nebo v jeho bezprostřední blízkosti jak je znázorněno na obrázku č.10.



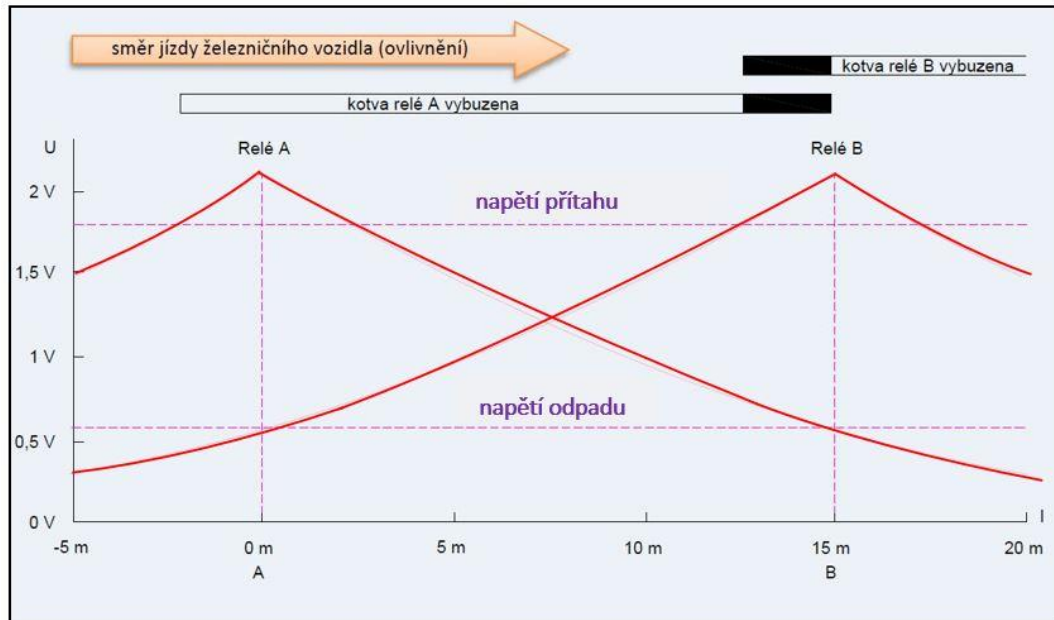
Obr. 10. Anulační soubor ASE [20]

Princip obvodu spočívá v převádění okamžité hodnoty impedance kolejového obvodu na výstupní napětí. Je-li kolejový obvod volný, je impedance kolejového obvodu vysoká, budící proud nízký a výstupní napětí snímané na normálovém rezistoru se blíží k nule. Při přibližování prvního železničního dvojkolí, dojde k postupnému snižování impedance kolejového obvodu a tím k nárůstu napětí snímaném na normálovém rezistoru.

Stav každého kolejového obvodu je vyhodnocován výstupním relé. První obvod vyhodnocuje relé **A**, druhý relé **B**. Výsledná informace o průjezdu drážního vozidla je závislá na postupném vybudění obou relé. Graf č.2 znázorňuje průběhy napětí na výstupních relé při průjezdu železničního dvojkolí prostorem přejezdu. Na obrázku je vyznačena časová osa, ve které jsou kotvy jednotlivých relé vybuděny. [12]

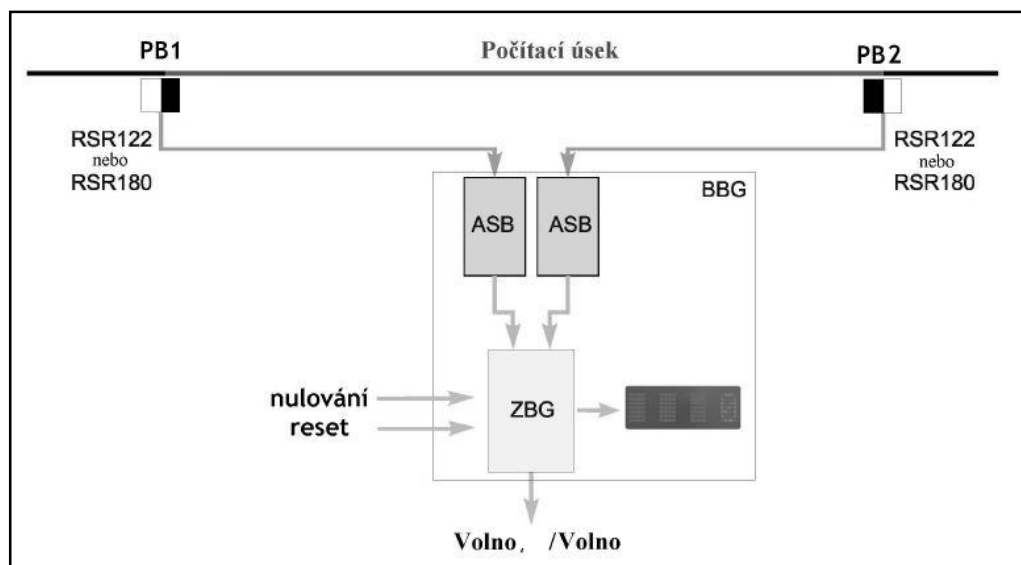
Černě zvýrazněná oblast vyznačuje dobu, ve které jsou přitaženy kotvy relé **A** i **B** a je možno vyhodnotit výslednou informaci o průjezdu drážního vozidla prostorem přejezdu.

Graf. 2. Průběh napětí při průjezdu drážního vozidla obvodem [12]



4.4.3 Počítače náprav

Počítače náprav patří do skupiny bodových prostředků pro detekci drážních vozidel. Počítače náprav slouží k bezpečnému zjišťování volnosti a obsazení kolejových úseků. Každý úsek je ohraničen příslušným počtem počítačích bodů, které jsou tvořeny kolovými senzory. Princip činnosti počítače náprav je znázorněn na obrázku č. 11

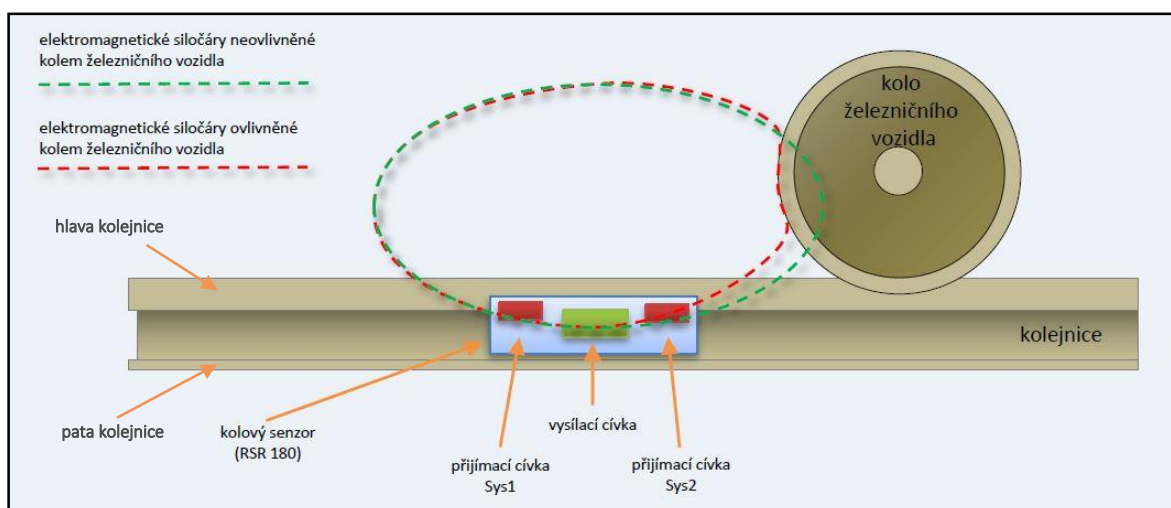


Obr. 11. Princip činnosti počítače náprav [7]

Na začátku a na konci počítačícího úseku je umístěn kolový senzor, který společně s ASB jednotkou tvoří počítačící bod. Tento pomocí elektronických systémů zaznamenává všechny nápravy a rozeznává směr jízdy kolejových vozidel, které úsekem projíždějí. Každý kolový senzor je s vyhodnocovací jednotkou propojen pomocí čtyř vodičů, prostřednictvím tohoto vedení je senzor napájen a zároveň předává vyhodnocovací jednotce informace o nápravách.

Čítačová jednotka ZBG provádí souhrn informací o nápravách poskytovaných počítačícími body do společného výsledku. Při vstupu drážního vozidla do sledovaného úseku detekuje kolový senzor PB1 vjezd železničního dvojkolí a předá informaci čítačové jednotce ZBG, která čítá jednotlivé nápravy. Při opuštění sledovaného úseku drážním vozidlem, jsou železniční dvojkolí detekována počítačícím bodem PB2 a čítačem jednotky ZBG odpočítány. Je-li stav čítače roven nule, je sledovaný úsek volný, v opačném případě obsazený.

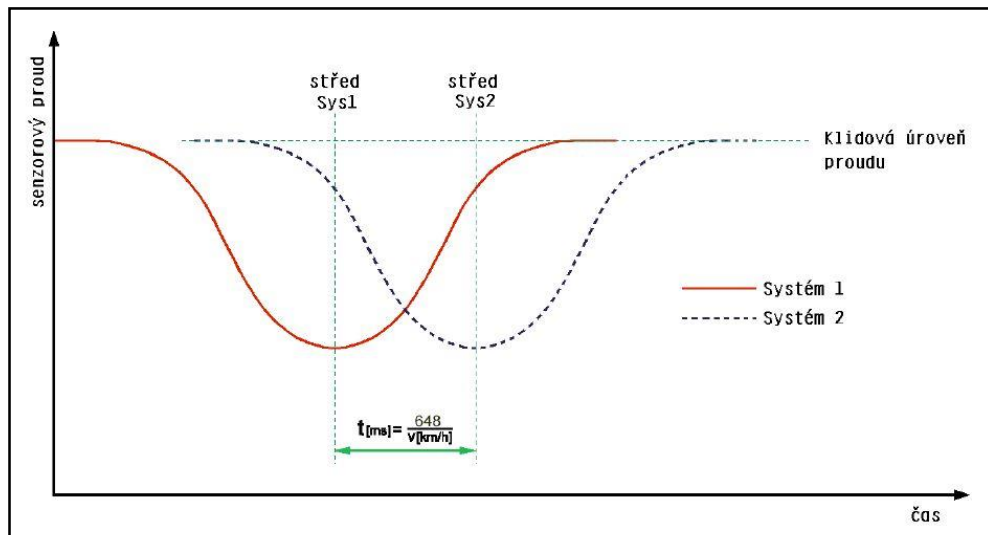
Funkce kolového senzoru spočívá ve změně naklonění siločar magnetického pole. Magnetické siločáry vysílací cívky, která se nachází uprostřed pouzdra senzoru, prochází snímacími cívkami (přijímací cívky systémů). V případě přítomnosti kovových předmětů v oblasti nad nebo pod cívkami se mění magnetická indukce ve snímacích cívkách, v důsledku naklonění siločar. Tohoto efektu je využíváno k zaznamenání železničního dvojkolí drážního vozidla. Současně je kontrolována poloha kolového senzoru na kolejnici, kterou ovlivňuje plocha paty a hlavy kolejnici, kterou ovlivňuje plocha paty a hlavy kolejnici pod a nad snímacími cívkami. Na úroveň zatlumení kolového senzoru má tedy vliv pata kolejnici, hlava kolejnici a železniční dvojkolí. [7]



Obr. 12. Princip kolového senzoru [20]

Při průjezdu železničního dvojkolí nad místem, kde je umístěn kolový senzor, dochází postupné změně proudu Sys1 a Sys2 v pořadí v jakém k jejich aktivaci došlo. Na základě postupné změny proudu je počítač náprav schopen vyhodnotit směr jízdy drážního vozidla.

Graf. 3. Průběh proudu při průjezdu drážního vozidla [7]



5 ALTERNATIVNÍ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

V současné energetické politice se prosazuje trend vyrovnané energetické kombinace jednotlivých druhů zdrojů. Jejich role je přímo závislá jak na hodnocení z hlediska trvalé udržitelnosti zdroje, tak z hlediska ekonomických ukazatelů. Mimo hlavních zdrojů (fosilní paliva - klasické elektrárny, uran – jaderné elektrárny Temelín a Dukovany), využíváme také alternativní zdroje, které jsou často nazývané zdroji obnovitelnými. V měřítku existence lidstva a jeho potřeb se jedná o nevyčerpatelné formy energie Slunce a Země. [15]

Alternativní zdroje energie:

- energie vody
- energie větru
- energie slunečního záření

5.1 Energie vody

Energie vody je jednou z forem, do níž se transformuje sluneční záření, které neustále dopadá na naši planetu. Přeměňujeme ji většinou na vysoce žádanou a univerzální elektrickou energii. Z celkové výroby elektrické energie v ČR se ve vodních elektrárnách vyrobí asi jen 3,3 % elektrické energie. Vodní elektrárny představují asi 12 % instalovaného výkonu elektráren v ČR. Většina instalovaného výkonu vodních elektráren (cca 90 %) připadá na zařízení s výkonem vyšším než 5 MW. V ČR se za malou vodní elektrárnu (MVE) považují zařízení s výkonem pod 10 MW, v zemích evropské unie potom pod 5 MW. [2]

5.1.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

Výstavba velkých vodních elektráren představuje velký zásah do životního prostředí (přehradní hráze, zatopené oblasti). Potenciál pro jejich stavbu už je u nás v zásadě vyčerpán. Na druhou stranu malé vodní elektrárny lze stále budovat. Díky technologii tzv. mikroturbín mohou být použity i vodní toky s velmi malým energetickým potenciálem nebo i vodovodní zařízení.

Základní parametry výběru lokality pro výstavbu vodní elektrárny jsou:

- „**Spád** - je výškový rozdíl vodních hladin. Hrubý spád je celkový statický spád daný rozdílem hladin při nulovém průtoku vodní elektrárnou.

- **Průtok** - je průtočné množství vody v daném využitelném profilu. Přesný průtok je možno zjistit u Českého hydrometeorologického ústavu nebo příslušné správy toku, jako tzv. dlouhodobý průměrný průtok, N-leté průtoky a M-denní průtoky“. [2]

5.2 Energie větru

Energie větru je další z forem, do níž se transformuje sluneční záření, které neustále dopadá na naši planetu. Vítr je proudění vzduchu, které vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými vrstvami vzduchu v zemské atmosféře.

Česká republika je vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, který se projevuje významným sezónním kolísáním rychlostí větru. Příčinou je zejména globální vzdušné proudění vzduchu typické pro severní a střední Evropu.

Rychlost větru je hlavním parametrem při využívání energie větru, udává se většinou v m/s. V blízkosti zemského povrchu je proudění vzduchu závislé na drsnosti povrchu, ale čím více se budeme vzdalovat od zemského povrchu, tím se bude rychlost větru logaritmicky zvyšovat. Rychlost větru nad zemským povrchem je různě zpomalována terénními překážkami např. budovami, kopci, dále také druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh...). Proudění vzduchu je vždy turbulentní, což se projevuje kolísáním rychlosti a směru větru. [2]

5.2.1 Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

„V případě vnitrozemských oblastí, tedy v podmínkách ČR, jsou příhodné lokality převážně ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 500 m n. m. V nižších nadmořských výškách je roční průměrná rychlost větru nízká (kolem 2 až 4 m/s). Rychlost větru je naprosto zásadní parametr, neboť energie větru roste s třetí mocninou rychlosti. Při zdvojnásobení rychlosti větru (např. ze 4 m/s na 8 m/s) vzroste jeho energie osmkrát. Je patrné, že i drobná změna rychlosti větru se projeví velkou změnou množství získané elektřiny.“ [2]

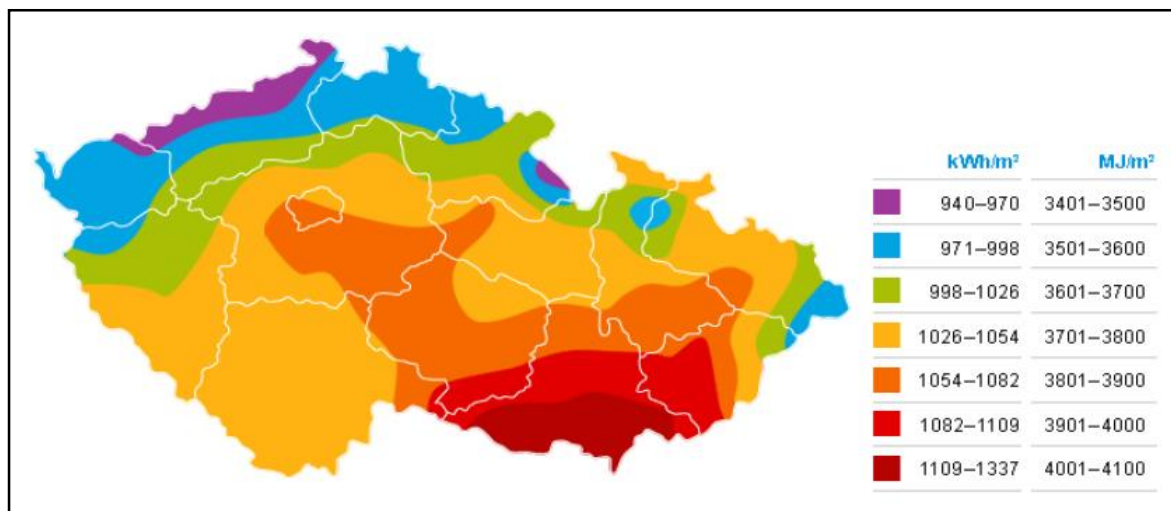
5.3 Energie Slunce

Téměř všechna energie, kterou na zemi máme, pochází ze Slunce. Na území ČR dopadne za rok asi milionkrát více energie, než je roční spotřeba elektrické energie. Sluneční záření je neefektivnější přeměňovat na teplo, přeměna na elektřinu je složitější a tím i dražší.

Přímo ji lze získávat pomocí fotovoltaických panelů, nepřímo pomocí větrných a vodních elektráren nebo tepelných elektráren spalujících biomasu či bioplyn. Můžeme najít i zařízení, kde je teplo spalovacího procesu nahrazeno teplem ze speciálních slunečních kolektorů. [2]

5.3.1 Sluneční ozáření země

Mimo zemskou atmosféru je ozáření Sluncem poměrně konstantní a je dáno pouze vzdáleností Země od Slunce. Ozáření Sluncem mimo atmosféru je stanoveno tzv. solární konstantou. Solární konstanta je energie od Slunce za jednotku času, dopadající na jednotku plochy kolmo ke směru šíření záření mimo zemskou atmosféru. Solární konstanta má hodnotu 1367 W/m^2 . V důsledku proměnného filtračního působení atmosféry vyvolaného mraky, vodními, prachovými a jinými částicemi a také v důsledku proměnných drah paprsků závislých na postavení Slunce je povrch země ozařován nerovnoměrně s různou intenzitou. V závislosti na počasí a denní době kolísá ozáření v našich zeměpisných šířkách mezi 0 W/m^2 (v noci) a 1000 W/m^2 (poledne). [13]



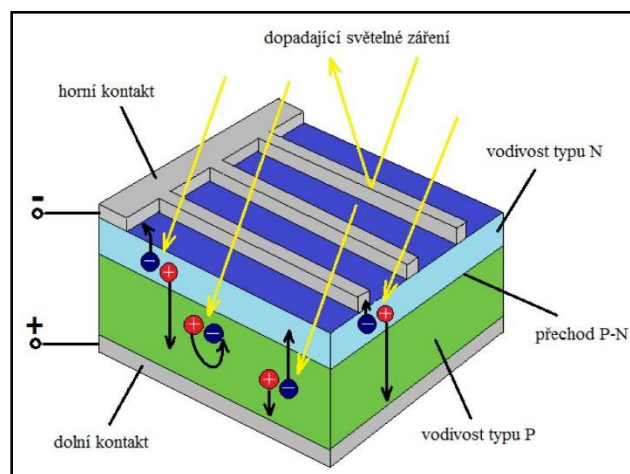
Obr. 13. Mapa ozáření Sluncem [16]

Za kolísání energie v závislosti na ročním období je zodpovědný hlavně sklon zemské osy rotace $23,5^\circ$. Vedle rozdílů ozáření podmíněných ročními obdobími má pro využívání sluneční energie význam také úhel ozáření. Když sluneční paprsky nedopadají kolmo, je k získání stejného množství energie zapotřebí větší plochy. [13]

5.3.2 Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny energie

K fotovoltaické přeměně energie elektromagnetického záření na elektrickou energii dochází v polovodičových fotovoltaických článcích (PV článcích). Nejběžnější jsou PV články na bázi krystalického křemíku. Křemík absorbuje světlo o kratší vlnové délce než zhruba $1\ \mu\text{m}$ (fotony o větší energii než zhruba $1,12\ \text{eV}$), to jest část infračerveného, celé viditelné a ultrafialové spektrum. Křemík tedy absorbuje větší část celého slunečního spektra.

Dopadne-li na křemík foton o energii menší než $1,12\ \text{eV}$ projde křemíkem a není absorbován. Když je jeho energie větší než $1,12\ \text{eV}$ (tato energie odpovídá šířce zakázaného pásu a tedy absorpční hraně křemíku) pak je tento foton absorbován a v polovodiči vznikne jeden volný elektron a jedna volná díra. Energetický rozdíl mezi energií dopadajícího fotonu a šířkou zakázaného pásu se přeměňuje na teplo. Aby sluneční článek sloužil jako zdroj proudu, musí v něm nastat rozdělení elektronů a děr. Sluneční článek není homogenní polovodič, ale skládá se z části s elektronovou vodivostí (polovodič N) a z části s děrovou vodivostí (polovodič P). [8]



Obr. 14. Princip fotovoltaického článku [8]

Fotovoltaický článek je tedy polovodičová dioda mající velkou plochu PN přechodu, spodní celoplošný kovový kontakt (reflektor) a vrchní kovový kontakt (mřížka, hřeben) zabírající velmi malou plochu (4-8% plochy článku), aby nestínil. Skutečná struktura je mnohem složitější s cílem zmenšení všech možných ztrát (reflexe světla, rekombinace nosičů proudu) a realizace co největší účinnosti přeměny sluneční energie v energii elektrickou. [8]

5.3.3 Generace fotovoltaických článků

➤ První generace

První generace PV článků je tvořena jednoduchou P-N plošnou diodou, která je schopná generovat elektrickou energii ze zdroje světla se stejnou spektrální charakteristikou jako sluneční záření. Tyto články jsou vyráběny z křemíkových plátek. V současné době představuje první generace více než 86 % světové produkce PV článků vyráběných pro komerční využití. [2]

➤ Druhá generace

Druhá generace solárních článků využívá tenkou polovodičovou vrstvu. Tyto články byly původně navrhovány za účelem zvýšení účinnosti. Později se využilo hlavní výhody tenkovrstvých technologií, snížení množství materiálu potřebného k výrobě článku, pro snížení výrobních nákladů. V současné době jsou zkoumány a zaváděny do hromadné výroby různé technologie výroby tenkovrstvých solárních článků jako amorfni křemík, mikrokrystalický křemík. Účinnost tenkovrstvých solárních článků vyráběných pro komerční využití (amorfni křemík) je nižší v porovnání s křemíkovými články první generace, ale náklady přepočtené na 1 W_p špičkového instalovaného výkonu solárního článku jsou nižší. Druhá generace solárních článků je výhodná zejména pro aplikace, které umožňují umístění většího počtu solárních modulů na větší plochu (solární články integrované do opláštění budov, střech apod.). [2]

➤ Třetí generace

Třetí generace solárních článků je velice odlišná od první a druhé generace. Je založena na polovodičích, které nevyužívají tradiční P-N přechod pro generování elektrické energie. Jedná se o nanokrystalické, polymerové a fotoelektrochemické (PEC) články. Články třetí generace nejsou prozatím vyráběny pro komerční účely, ale pouze za účelem výzkumu a vývoje. [2]

➤ Čtvrtá generace

Kompozitní články složené z různých vrstev jsou schopné lépe využívat sluneční spektrum, to znamená že každá vrstva využívá světlo jiné vlnové délky. [2]

5.3.4 Konstrukce fotovoltaických článků

Nejrozšířenější a komerčně nejvyužívanější jsou dnes fotovoltaické články na bázi křemíku (Si – monokrystalické, polykrystalické i amorfni na bázi tenkých vrstev). Křemík je druhý nejrozšířenější prvek v zemské kůře. Pro výrobu PV článků je potřeba křemík o vysoké čistotě (nečistoty řádově 10^{-6}). Nejpoužívanější technologií pro vyčištění surového křemíku je dnes technologie Siemens s chlorovým cyklem. Tato technologie je však náročná na spotřebu energie a na ochranu bezpečnosti obsluhy i životního prostředí.

Podle výsledků studie, kterou vypracovala firma SSI (Siemens Solar Industries), je návratnost energie spotřebované na výrobu PV panelu 2 – 6 let v závislosti na typu článku. Tato doba energetické návratnosti je mnohem kratší v porovnání s životností PV článků, která dosahuje 20 až 30 let.

V současnosti jsou vyvíjeny nové technologie pro výrobu čistého křemíku, které by měly snížit náročnost výroby a tím i výslednou cenu PV panelů.

Monokrystalické články

Monokrystalické články jsou charakteristické tmavou barvou, většinou hnědá až černá. Rohy PV článků bývají oblé a plocha článku stejnoměrná. U monokrystalických článků je specifickým rysem síť kovových vodičů, jež tvoří horní kontakt. Teoreticky mají tyto články účinnost přibližně 24 %, ale technologicky je možno dosáhnout účinnosti solárních modulů kolem 15 až 20 %. Výroba monokrystalických článků probíhá tak, že se nejdříve roztaví křemík, který se poté promíchává. Tento proces trvá tak dlouho, dokud se jednotlivé krystaly křemíku vzájemně neuspořádají. Solární elektrárna sestavená z monokrystalických článků má pomalý start, ale poté lépe dodává elektrickou energii. [9]

Polykrystalické články

Polykrystalické články jsou charakteristické modrým odstínem. Rohy článků jsou ostré a plocha bývá nerovnoměrná. Účinnost článků je nižší než u monokrystalických článků, pohybuje se v rozmezí kolem 13 až 16 %. Polykrystalické články dokáží přeměňovat, jak přímé sluneční záření, tak nepřímé (difúzní) záření. Nepřímé (difúzní) záření je záření, které vzniká rozptylem paprsků v atmosféře. Výroba polykrystalických článků probíhá tak, že se stejně jako u monokrystalických článků nejdříve křemík roztaví.

Poté se slisuje, čímž dojde k tomu, že jednotlivé krystaly křemíku mají jinou polohu. Fotovoltaická elektrárna, která je postavená z těchto polykrystalických článků, má rovnoměrnější výkon. Tyto články se používají v místech, kde není možno dosáhnout orientace panelů přímo na jih. [9]

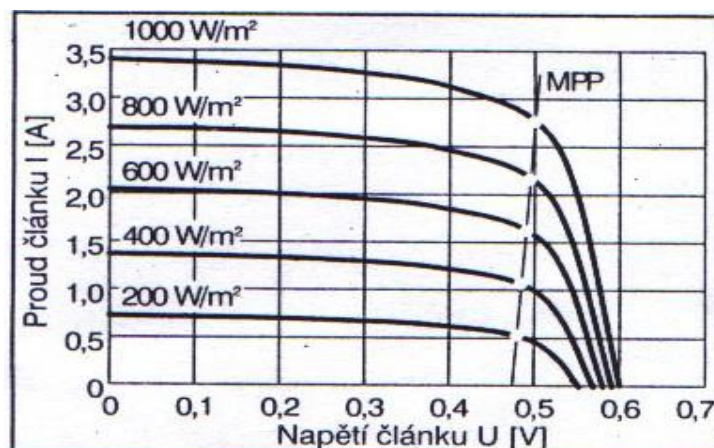
Amorfní (tenkovrstvé) články

Amorfní články jsou nazývány rovněž jako tenkovrstvé články. Podstatný rozdíl amorfních článků oproti krystalickým je dán jejich výrobou. Krystalický křemík se vyrábí ve vysokých pecích, poté jsou ingoty křemíku řezány do podoby článků. Moduly z amorfního křemíku jsou potom vyráběny tak, že ve vakuové komoře při teplotách kolem 200 °C dochází k napaření vrstvy amorfního křemíku nejčastěji na skleněnou tabuli. Nosný materiál nemusí být výhradně sklo, ale mohou být použity plasty nebo kovy. Amorfní panely dosahují oproti monokrystalickým přibližně poloviční účinnosti. Amorfní PV panely mají odlišný vzhled než krystalické. Amorfní křemík má proti krystalickému křemíku podstatnou výhodu, v letních měsících nedochází k jeho přehřívání, čímž jeho účinnost s rostoucí teplotou klesá podstatně pomaleji, než jak je tomu u krystalického křemíku. Tenkovrstvé panely mají také vyšší citlivost na rozptýlené sluneční záření. Amorfní křemík je tak technologií vhodnou pro střechy, které nejsou vhodně orientovány na jih. [9]

5.3.5 Solární článek

Elektrické vlastnosti solárního článku se popisují voltampérovou charakteristikou.

Graf. 4. Voltampérová charakteristika PV článku [5]



Charakteristické jsou hodnoty proudu nakrátko (zkratového proudu) a napětí naprázdno. Zkratový proud je maximální proud, který může článek při daném slunečním záření dodávat.

Velikost zkratového proudu závisí na intenzitě ozáření a počtu článků. Napětí naprázdno udává maximální napětí, kterého článek dosahuje, když není připojen žádný spotřebič. U monokrystalických článků je to přibližně 0,6 V. Pracovní bod solárního článku, je bod na voltampérové charakteristice, ve kterém článek pracuje (závisí na připojeném spotřebiči). Pro každý solární článek existuje pracovní bod na charakteristice, v němž výkon dosahuje maxima (MPP – maximum power point). V bodu MPP pracuje solární článek s optimálním proudem a napětím. Proud nakrátko, napětí naprázdno, optimální proud a optimální napětí udávají výrobci v katalogových listech jednotlivých PV modulů.

Při rostoucí teplotě roste proud, ale nepřímo úměrně klesá napětí tudíž maximální výkon dodávaný PV článkem při konstantní intenzitě dopadajícího záření klesá a tak klesá i účinnost fotovoltaické přeměny energie. Typický je pokles výkonu o 0,4% / °C. To při teplotě zvýšené o 10 °C způsobí pokles výkonu o 4 %. [5]

Bod maximálního výkonu

Solární články mohou pracovat v širokém rozsahu napětí a proudů. Bod maximálního výkonu MPP je bod na voltampérové charakteristice, kdy článek dodává maximální výkon.

$$P_M = I_{OPT} \cdot U_{OPT} \quad (W)$$

P_M je maximální výkon solárního článku

I_{OPT} optimální proud

U_{OPT} optimální napětí [5]

Špičkový výkon solárního článku

Výstupní výkon solárních článků závisí na mnoha faktorech, jako je intenzita slunečního záření, úhel dopadu, teplotě článků apod. Za účelem srovnávání solárních panelů a stanovení jejich účinnosti byla definována jednotka výkonu W_P (watt peak). Jedná se o špičkový výkon solárního článku za standardních testovacích podmínek:

- intenzita dopadajícího záření 1000 W/m²,
- spektrum dopadajícího záření AM = 1,5 (Air Mass),
- teplota solárního článku 25 °C,
- záření dopadá kolmo na plochu solárního modulu. [5]

Účinnost solárních článků

Energetická účinnost článku je procentuální vyjádření poměru špičkového výkonu článku P_M k dopadajícímu záření G a ploše solárního článku S (za standardních testovacích podmínek).

$$\eta = \frac{P_M}{G \cdot S} \cdot 100 \quad (\%),$$

P_M špičkový výkon článku (W_P)

G intenzita ozáření ($W \cdot m^{-2}$)

S plocha solárního článku (m^{-2})

Účinnost solárních článků se pohybuje od 6 % u amorfního křemíku až po 40 % dosahovaných u vícevrstvých solárních článků v laboratorních podmínkách (GaAs). Účinnost komerčně vyráběných křemíkových solárních článků se pohybuje v rozmezí 13 – 20 %. Solární články s vyšší účinností nejsou vždy ekonomicky výhodné – např. solární články s účinností 30 % založené na netradičních materiálech jako je Gallium Arsenid nebo Indium Selenide jsou produkovány v malých sériích, tím pádem mohou být mnohonásobně dražší než solární články z amorfního křemíku vyráběné s účinností 8 % ve velkých sériích, i když jsou schopny vyrobit čtyřikrát více energie.

Pro praktické využití solárních článků je vyrobená elektrická energie nejčastěji dodávána do sítě za použití měniče. V ostrovních systémech je nutné použít akumulátory pro uchování vyrobené energie. Účinnost solárních článků má v kombinaci s dostupným slunečním zářením největší vliv na cenu solárního systému. [5]

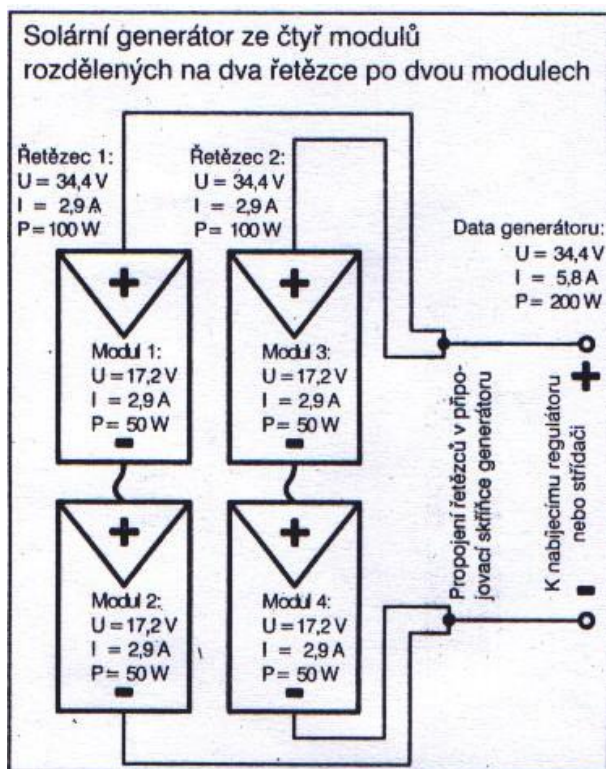
5.3.6 Solární modul

Pro snadnější manipulaci se solárními články, pro ochranu před vlivy okolního prostředí a za účelem získání vyššího napětí se několik PV článků spojuje do solárního modulu. Při zapojení solárních článků do série se sečtením napětí jednotlivých článků vytvoří použitelné výstupní napětí modulu. Nejsou-li však všechny články stejně ozářeny sluncem, vytvářejí různě velké proudy. Protože však v sériovém zapojení musí být proud všemi články stejný, dává celý modul jen takový proud, jaký je vytvářen nejhůře osvětleným článkem.

Solární články se zpravidla zatajují do etylenvinylacetónové (EVA) fólie. Přední strana se pro ochranu článku chrání vysoce průhledným tvrzeným sklem. Sklo má speciální povrchovou úpravu pro snížení odrazivosti dopadajících slunečních paprsků.

5.3.7 Solární generátor

Za účelem získání většího výkonu se propojuje mezi sebou několik solárních modulů, které tak vytváří solární generátor. Solární moduly je možno spojovat jak sériově (pro zvýšení napětí systému) tak paralelně (pro zvýšení výstupního proudu), nebo použít kombinaci obou zapojení. Zapojení různých typů modulů do jednoho generátoru není vhodné, protože v důsledku rozdílných napětí řetězců nebo nestejných proudů dochází ke značným ztrátám výkonu.

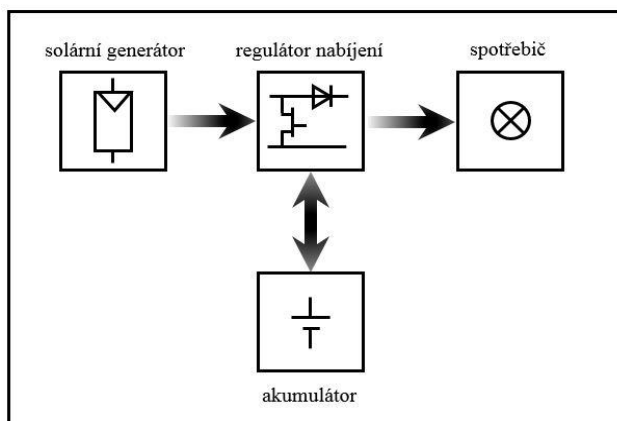


Obr. 15. Solární generátor [5]

5.3.8 Komponenty solárních systémů

5.3.8.1 Izolované solární zařízení:

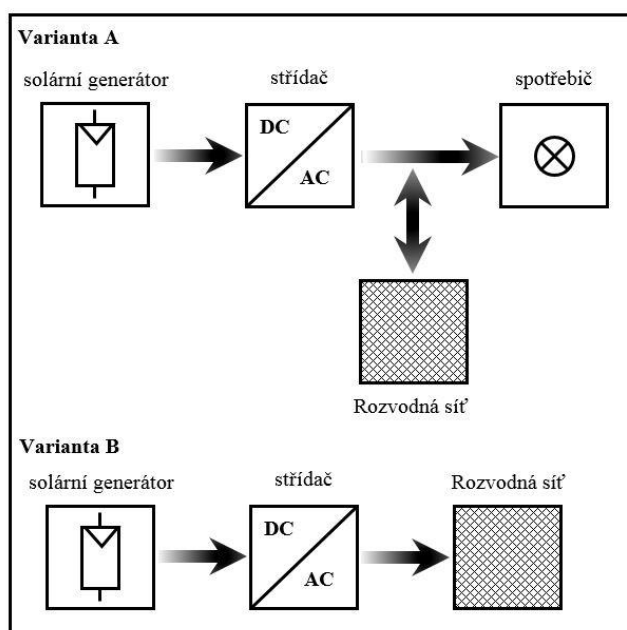
V autonomních izolovaných solárních zařízeních se používá akumulátor k ukládání elektrické energie a regulátor pro řízení procesu nabíjení a vybíjení, úkolem regulátoru je také hlídat, aby nedošlo k poškození akumulátoru v důsledku přebíjení nebo hlubokého vybití.



Obr. 16. Izolovaný solární systém

5.3.8.2 Solární zařízení spojené se sítí

Solární zařízení spojená s rozvodnou sítí se používají tam, kde je k dispozici přípojka elektrické energie z rozvodné sítě.



Obr. 17. Solární systém spojený se sítí

Rozlišujeme dva způsoby dodávky energie do rozvodné sítě:

A) Energie vyrobená solárním generátorem se nejprve spotřebovává ve vlastním zařízení a pouze v případě přebytku je dodávána do rozvodné sítě.

B) Veškerá vyrobená energie je dodávána do rozvodné sítě – solární elektrárny.

Vazebním prvkem mezi rozvodnou sítí a solárním generátorem je měnič stejnosměrného proudu na střídavý uzpůsobený pro paralelní provoz s rozvodnou sítí. Zapojení solárního generátoru musí být přizpůsobeno použitému střídači, zejména jeho přípustnému maximálnímu vstupnímu výkonu.

5.3.8.3 Akumulátor

Pro ukládání solární energie se používají sekundární články (akumulátory). V izolovaných zařízeních se dnes z ekonomických důvodů většinou používají dlouho osvědčené bezúdržbové olověné akumulátory. Akumulátory jsou nabízeny v širokém rozsahu kapacit.

5.3.8.4 Solární regulátor

Regulátor nabíjení tvoří spojovací článek mezi solárním generátorem, akumulátorem a spotřebičem.

Funkce solárního regulátoru

- Zajistit optimální nabíjení akumulátoru – při dosažení koncového nabíjecího napětí musí regulátor odpojit solární generátor od akumulátoru nebo omezit hodnotu nabíjecího proudu.
- Zabránit vybíjení akumulátoru přes solární generátor – za tmy se solární generátor chová v důsledku svého vnitřního odporu jako spotřebič.
- Chránit akumulátor před hlubokým vybitím – při poklesu napětí akumulátoru pod hodnotu koncového vybíjecího napětí.

5.3.8.5 Měniče napětí

Je-li potřeba střídavé napětí (např. 240 V, 50 Hz) je součástí PV systému i měnič napětí.

Rozdělení měničů napětí:

- Izolované měniče vyrábějí střídavý proud pro izolovanou síť oddělenou od rozvodné sítě a pracující bez vnějšího nastavování veličin (frekvence, napětí).
- Měniče pracující paralelně se sítí jsou navrženy speciálně pro solární zařízení spojená s rozvodnou sítí. Nastavují se na frekvenci a napětí sítě a pracují synchronně se sítí.

Pro fotovoltaické systémy jsou vyžadovány měniče s vysokou účinností (až 90%) pracující v rozsahu 30% až 100% jmenovitého výkonu. I při malém vytížení má dobrá účinnost svůj význam, protože měnič má po většinu času k dispozici jen část svého maximálního vstupního výkonu.

5.3.8.6 Přepět'ová ochrana PV panelů

K venkovní ochraně před přepětím z úderu blesku patří hromosvody a uzemněné svody. Rámy modulů a kovové díly montážního stojanu se spojí s uzemňovacím svodem hromosvodu. Pro přívod k zemniči se musí zvolit dostatečný průřez vodiče, aby se v případě přímého zásahu bleskem vyloučilo nebezpečí vzniku požáru následkem přehřátí vedení.

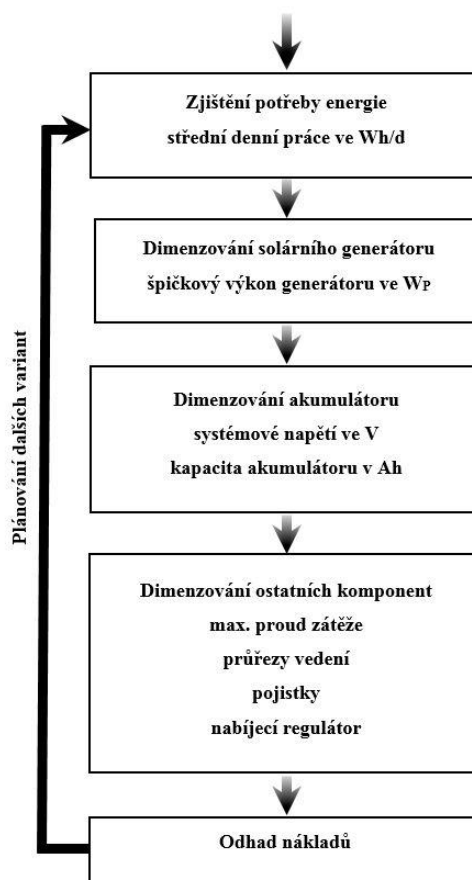
Vnitřní ochrana má za úkol chránit elektronické komponenty PV systému, například regulátor nabíjení, před poškozením vlivem přepětí. Přepětí vzniká nejen při přímém zásahu bleskem, ale především indukci ve vodivých smyčkách, které prakticky nevyhnutelně vznikají při propojování modulů. Při realizaci PV systému je nutné se při propojování modulů vyhnout vytváření velkých vodivých smyček. Na trhu jsou k dispozici přepět'ové ochrany, určené přímo pro ochranu plusových a minusových sběrnic PV panelů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 NÁVRH NAPÁJENÍ PZS ALTERNATIVNÍMI ZDROJI ELEKTRICKÉ ENERGIE

Pro napájení PZS alternativními zdroji energie bylo zvoleno využití energie Slunce, kterému je věnována praktická část práce. energii vody bylo komplikované využít, z důvodu malého výskytu vhodných vodních toků v blízkosti železničních přejezdů. Energie větru byla vyhodnocena jako nevhodná z důvodu problematického působení atmosférických vlivů. Problém byl s vhodným umístěním větrné mikroelektrárny, kdy při vyšší lokalizaci docházelo k bouřkovým elektrickým výbojům a poruchám zařízení, nižší polohy nevyhovovaly z hlediska množství dodávané energie.

Při návrhu zařízení v ostrovním režimu je vhodné postupovat dle schématu na obr.18. V prvním kroku při dimenzování solárního zařízení je nutné stanovit energetickou bilanci zařízení a potřebné množství energie za den. Při návrhu fotovoltaického systému pro napájení PZS se uvažuje s rovnoměrnou spotřebou elektrické energie v průběhu roku.



Obr. 18. Diagram návrhu FV systému

6.1 Výpočet denní potřeby energie světelného přejezdového zařízení

Denní potřeba energie pro jednotlivé části PZS závisí na jejich příkonu a době provozu za den. Denní potřeba energie u výstražníků, závor a přejezdníků závisí na době uzavření přejezdu a počtu vlaků za hodinu. Celková denní potřeba energie pro PZS je dána vztahem:

$$W_{den} = 24 \cdot (P_{PN} + P_{KO} + P_{ASE}) + n_{PV} \frac{t_Z}{3600} \cdot (P_{PŘ} + P_V) + n_{PV} \frac{10}{3600} \cdot P_Z + 24 \cdot U \cdot I_{VV} \cdot n_{PK} \quad (Wh/den)$$

P_{PN} příkon počítačů náprav,

P_{KO} příkon kolejových obvodů,

P_{ASE} příkon ASE,

$P_{PŘ}$ příkon přejezdníků,

P_V příkon výstražníků,

P_Z příkon závor,

n_{PV} počet vlaků / den,

t_Z doba uzavření přejezdu,

I_{VV} proud obvodů volné vazby,

n_{PK} počet kolejí přes PZS.

6.1.1 Výpočet příkonu jednotlivých prvků PZS:

Počítače náprav:

$$P_{PN} = (n_{PN} \cdot I_{ZBG} + n_{ČB} \cdot I_{ASB}) \cdot U = (n_{PN} \cdot 0,15 + n_{ČB} \cdot 0,24) \cdot 24 \quad (W)$$

n_{PN} počet počítačů náprav,

$n_{ČB}$ počet čítacích bodů,

I_{ZBG} proud čítačové jednotky ZBG,

I_{ASB} proud vyhodnocovací jednotky ASB pro kolové senzory,

U napájecí napětí počítače náprav.

Kolejové obvody 75 Hz:

$$P_{KO} = \frac{n_{KO} \cdot P_K}{0,6} = \frac{n_{KO} \cdot 60}{0,6} \quad (W)$$

n_{KO} počet kolejových obvodů,

P_K příkon kolejového obvodu 75 Hz.

Výstražníky:

$$P_V = n_V \cdot I_V \cdot U = n_V \cdot 1,55 \cdot 24 \quad (W)$$

n_V počet výstražníků,

I_V proud výstražníku (při výstraze),

U napětí.

Železniční závory:

$$P_Z = n_Z \cdot I_Z \cdot U = n_Z \cdot 10 \cdot 24 \quad (W)$$

n_Z počet závor.

I_Z proud závory při zvedání břevna,

U napětí.

Přejezdníky:

$$P_{PŘ} = n_{PŘ} \cdot I_{PŘ} \cdot U = n_{PŘ} \cdot 1,25 \cdot 24 \quad (W)$$

$n_{PŘ}$ počet přejezdníků,

$I_{PŘ}$ proud přejezdníku (při výstraze),

U napětí.

Anulační soubor elektronický ASE:

$$P_{ASE} = n_{ASE} \cdot I_{ASE} \cdot U = n_{ASE} \cdot 1,25 \cdot 24 \quad (W)$$

n_{ASE} počet souboru ASE

I_{ASE} proud souboru ASE

U napětí

Pro praktický návrh napájení PZS pomocí fotovoltaického systému byl vybrán železniční přejezd na trati Havlíčkův Brod – Humpolec v km 15,664. Konfigurace a parametry železničního přejezdu jsou uvedeny v tabulce č. 3

Tab. 3. Parametry přejezdového zabezpečovacího zařízení

Stanovení denní potřeby energie pro PZS	
Výstražníky	2 ks
Přejezdníky	2 ks
Počítače náprav DC 24 V	2 ks
Délka PZS	18,6 m
Počet kolejí přes PZS	1
Počet vlaků / den	15
Proud obvodů volné vazby	2 A
Přibližovací doba	39 s
Doba uzavření přejezdu	73 s
Vypočítaná potřeba energie	79,9 Wh
Vypočítaná potřeba energie / den	1917,6 Wh/den

$$W_{den} = 24 \cdot U \cdot (n_{PN} \cdot I_{ZBG} + n_{CB} \cdot I_{ASB}) + n_{PV} \frac{t_Z}{3600} \cdot (n_{PR} \cdot I_{PR} \cdot U + n_V \cdot I_V \cdot U) + 24 \cdot U \cdot I_{VV} \cdot n_{PK}$$

(Wh/den)

$$W_{den} = 24 \cdot 24 \cdot (2 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,24) + 15 \frac{73}{3600} \cdot (2 \cdot 1,25 \cdot 24 + 2 \cdot 1,55 \cdot 24) + 24 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 1$$

(Wh/den)

$$W_{den} = 1917,6 \text{ Wh/den}$$

6.2 Dimenzování solárního generátoru

Solární generátor se dimenzuje tak, aby v měsíčním průměru vyráběl právě tolik elektrické energie, kolik se v systému spotřebuje. Pro návrh generátoru je nutné znát poměrné hodnoty slunečního svitu pro jednotlivé měsíce v místě instalace. Tyto hodnoty jsou dlouhodobě sledovány a vyhodnocovány ČHMÚ (Český hydrometeorologický úřad) pro řadu míst v ČR. Z poměrných hodnot se v závislosti na umístění solárního generátoru (sklon, azimut, lokalita) vypočte výkon elektrické energie solárního generátoru tzv. specifický energetický výkon generátoru.

V zeměpisné šířce 50° (průměrná hodnota pro území ČR) dochází k velkému kolísání měsíčního ozáření sluncem a tím i výnosu energie. Ozáření v nejslabším měsíci (prosinec) dosahuje v závislosti na místě jen 10 až 25 % maximální hodnoty v měsíci s největším ozářením. Při dimenzování zařízení v ostrovním režimu je třeba brát na toto značné sezónní kolísání ohled.

Potřebný špičkový výkon solárního generátoru se vypočte ze specifického energetického výkonu pro nejslabší sluneční měsíc a z denní potřeby energie napájeného zařízení.

Špičkový instalovaný výkon solárního generátoru:

$$P_{WP} = \frac{W_{den}}{W_{ene.vynos} \cdot \eta_B} \quad (W_P),$$

W_{den} průměrná denní potřeba energie (Wh/den),

$W_{ene.vynos}$ specifický výkon generátoru (Wh/den . W_P),

η_B energetická účinnost akumulátoru.

Pro zadané parametry solárního generátoru, lokalitu a polohu PV panelů vůči slunci během dne uvedené v tab. 4 lze vypočítat základní veličiny potřebné pro výpočet předpokládaného energetického zisku solárního generátoru. Jsou to zejména: průměrná měsíční hodnota střední intenzity slunečního záření, průměrná skutečná hodnota dopadající energie za den, energie vyrobená PV panelem za den a specifický energetický výkon generátoru pro jednotlivé měsíce. [13]

Tab. 4. Umístění solárního generátoru

Umístění solárního generátoru	
Sklon PV panelů	45 °
Azimut PV panelů	0 ° (jih)
Lokalita	Humpolec
Součinitel znečištění atmosféry	Venkov
Nadmožská výška	530 m.n.m.
Typ PV panelu Výrobce	WURTH-SOLAR WSG0036E075
Špičkový výkon PV panelu	75 W _P
Účinnost PV panelu	13,3 %
Rozměry PV panelu	1205 mm x 605 mm

Potřebné veličiny pro výpočet špičkového výkonu solárního generátoru umístěného dle tabulky č.4, nalezneme přehledně uspořádané pro jednotlivé měsíce v roce v tabulce č.5, zejména nás zajímá specifický energetický výnos $W_{\text{ene.výnos}}$

Tab. 5. Vypočtené hodnoty solárního generátoru [17]

Měsíc:		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
$G_{\text{stř}}$	(W.m ⁻² .den ⁻¹)	551,9	585,2	603,1	576,9	554,7	552,1
τ_r	(-)	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53
H_{den}	(kWh.m ⁻² .den ⁻¹)	1,13	2,21	3,25	3,81	4,91	5,51
$H_{\text{měs}}$	(kWh.m ⁻² .měs ⁻¹)	34,93	61,79	100,80	114,36	152,10	165,21
$W_{\text{PV,den}}$	(kWh/den)	0,19	0,38	0,55	0,65	0,83	0,94
$W_{\text{ene.výnos}}$	(Wh/den . W _P)	1,13	2,21	3,25	3,81	4,91	5,51
Měsíc:		VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$G_{\text{stř}}$	(W.m ⁻²)	555,2	581,5	613,5	607,5	585,4	507,3
τ_r	(-)	0,56	0,53	0,50	0,37	0,23	0,12
H_{den}	(kWh.m ⁻²)	5,55	4,90	4,17	2,70	1,46	0,78
$H_{\text{měs}}$	(kWh.m ⁻²)	172,10	151,75	125,13	83,76	43,66	24,08
$W_{\text{PV,den}}$	(kWh/den)	0,94	0,83	0,71	0,46	0,25	0,13
$W_{\text{ene.výnos}}$	(Wh/den . W _P)	5,55	4,90	4,17	2,70	1,46	0,78

$G_{\text{stř}}$ intenzita slunečního záření za den

τ_r poměrná doba slunečního svitu

H_{den}	průměrná skutečná energie dopadající za den
$H_{měs}$	průměrná střední skutečná energie dopadající za měsíc
$W_{PV,den}$	energie vyrobená PV panelem za den (pro 1 ks PV panelu)
$W_{ene.výnos}$	specifický energetický výnos

Pro ostrovní provoz musí být solární generátor dimenzován na měsíc s nejméně příznivým specifickým energetickým výnosem. V podmínkách ČR a pro dané umístění panelu je to prosinec se specifickým energetickým výnosem $0,78 \text{ Wh/den} \cdot W_P$. Maximální specifický energetický výnos $5,55 \text{ Wh/den} \cdot W_P$ je dosahován v červenci.

Výpočet potřebného špičkového výkonu solárního generátoru

$$P_{WP} = \frac{W_{den}}{W_{ene.výnos} \cdot \eta_B} = \frac{1917,6}{0,78 \cdot 0,8} = 3073,1 W_P$$

Výpočet potřebného počtu PV panelů např. WURTH-SOLAR WSG0036E075

$$n_{VP} = \frac{P_{WPn}}{P_{PV}} = \frac{3073,1}{75} \cong 41 ks \quad \Rightarrow \quad S \cong 30m^2$$

V tabulce č.6 je vyjádřen jmenovitý špičkový výkon solárního generátoru a potřebný počet PV panelů WURTH-SOLAR WSG0036E075 pro jednotlivé měsíce v roce.

Tab. 6. Dimenzování solárního generátoru pro jednotlivé měsíce

Dimenzování solárního generátoru na provoz v jednotlivých měsících												
Měsíc:	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Jmenovitý výkon (W_P):	2121	1084	737	629	488	435	432	489	575	888	1641	3072
Počet PV panelů (ks):	28	14	10	8	7	6	6	7	8	12	22	41

Z výsledků výpočtu potřebného počtu PV panelů solárního generátoru pro jednotlivé měsíce je patrné velké kolísání špičkového instalovaného výkonu solárního generátoru, které je způsobeno nerovnoměrností dopadající sluneční energie v průběhu roku. Při návrhu ostrovního solárního generátoru je nutné uvažovat nejnepříznivější případ.

6.3 Dimenzování akumulátoru

Intenzita a doba trvání ozáření nejsou během dne a týdne rovnoměrně rozloženy, takže vypočítané průměrné denní výnosy nejsou k dispozici každý den ve stejné výši. Aby bylo zajištěno dostatečné a stejnoměrné zásobování PZS elektřinou i ve dnech s menší intenzitou ozáření, například při deštivém počasí nebo v noci, je nutné ukládat získanou energii do akumulátoru.

V prvním kroku vypočteme z energetické potřeby (Wh/den) potřebu ampérhodin:

$$\text{Potřeba ampérhodin (Ah/den)} = \text{potřeba energie (Wh/den)} / \text{systemové napětí (V)}$$

$$\text{Potřeba ampérhodin} = 1917,1 / 24 = 79,9 \text{ Ah/den}$$

Maximální možná doba trvání autonomního napájení, při níž je spotřebič napájen zcela z akumulátoru, se udává v autonomních dnech. Počet autonomních dní, v nichž je systém schopný nezávisle na slunci dodávat energii, určuje potřebnou kapacitu akumulátoru a tím i stupeň zabezpečení napájení. Při obecném návrhu solárního generátoru platí, že čím více zasahuje provozní doba dál do zimních měsíců a čím větší má být zabezpečení napájení, tím více autonomních dnů je nutno při projektování uvažovat. Obvyklá orientační hodnota pro solární napájení je tři až čtyři autonomní dny. Při celoročním provozu zařízení nebo požadujeme-li velmi vysoké zabezpečení napájení, musíme počítat až deset autonomních dní.

Hloubka vybití udává poměr využitelné kapacity ke jmenovité kapacitě akumulátoru. Obvykle při dimenzování akumulátoru uvažujeme hloubku vybití 50 %.

$$C \text{ (Ah)} = \text{potřeba ampérhodin (Ah/den)} \times \text{počet aut. dní} / \text{hloubka vybití}$$

Počet autonomních dní: 4 dny

Hloubka vybití: 50 %

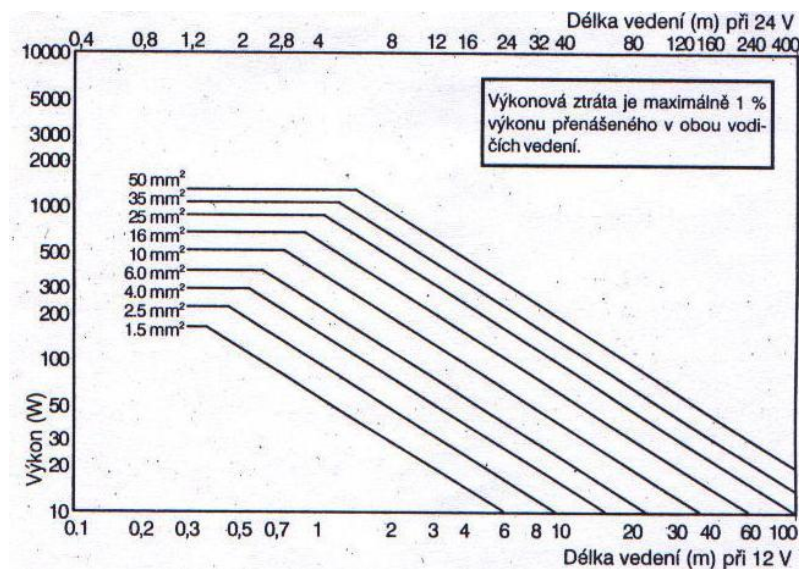
$$C = 79,9 \times 4 / 0,5 = 639 \text{ Ah}$$

Akumulátor: 12 článků Sonnenschein 10 OPzV 600 \Rightarrow 24 V, 748 Ah

6.4 Dimenzování vedení

S ohledem na co nejmenší ztráty energie ve vedení má dimenzování průřezů vedení mimořádný význam. Průřez vedení je potřeba přizpůsobit přenášeným proudům. Maximální přípustný výkon pro různé průřezy vedení v závislosti na délce vedení pro dodržení výkonové ztráty 1 % lze vyčíst z grafu č.5.

Graf. 5. Dimenzování průřezu vodičů [18]



6.5 Zhodnocení návrhu fotovoltaického systému pro napájení PZS

Pro navrhovaný solární systém, jež by sloužil pro celoroční napájení PZS bez přípojky elektrické energie z rozvodné sítě vyplývá, že nelze dle grafu č.5 použít systémové napětí 24V při špičkovém výkonu solárního generátoru 3073,1 W s ohledem na dimenzování průřezu vedení mezi solárním generátorem a solárním regulátorem nabíjení.

Jako možnost se nabízí zvýšení systémového napětí solárního generátoru a použití měniče napětí, nebo zvýšení systémového napětí baterie. Dalším problémem při realizaci je velký počet PV panelů (41ks), tyto by nebylo možné umístit na střeche technologického domku a tím vzniká požadavek na potřebu místa v okolí PZS pro umístění PV panelů, což je problematické z důvodu hranice drážního pozemku a zamezení krádeže nebo poškození.

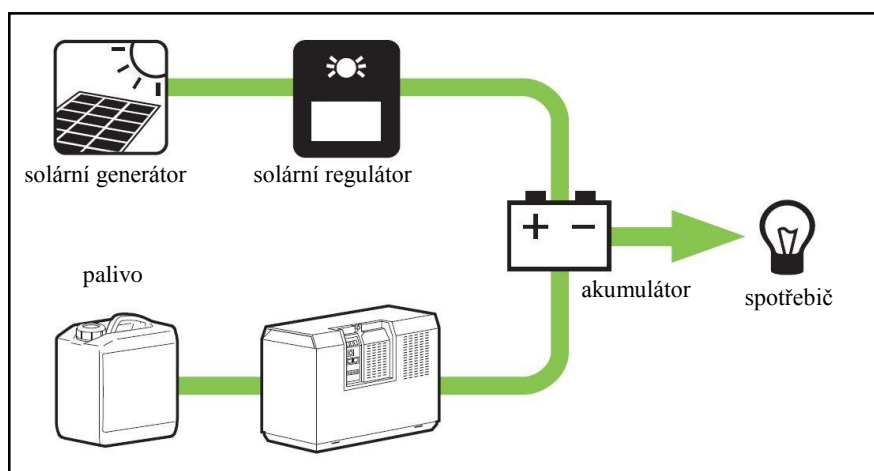
7 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO NAPÁJENÍ PZS – DOPLNĚNÝ O DODATEČNÝ ZDROJ

Pro zajištění celoročního napájení PZS bez potřeby přípojky z veřejné distribuční sítě je možné doplnit napájecí systém o další zdroj elektrické energie, který by sloužil pro napájení PZS po dobu špatných slunečních podmínek.

Pro výrobu energie pouze pro krytí vlastní spotřeby PZS stačí zdroj o menším výkonu. Spotřeba PZZ-RE s LED svítilnami výstražníku je cca 50 W mimo výstrahu a 90 W při výstraze. Jako vhodný dodatečný zdroj elektrické energie pro napájení PZS po dobu špatných slunečních podmínek se jeví palivový článek Efoy Pro Cube

7.1 Palivový článek Efoy pro Cube

Palivový článek Efoy Pro cube je plně automatizovaný zdroj elektrické energie, který je tichý, jednoduchý a šetrný k životnímu prostředí. Palivový článek je galvanický článek, který převádí energii vytvořenou chemickou reakcí mezi konstantním proudem paliva a oxidačního činidla na elektrickou energii. Základní princip je elektrochemický proces, který je také známý jako "studené" spalování. To je v zásadě obrácený princip elektrolyzy. Palivový článek neuchovává energii, ale je to konvertor, který elektřinu vyrábí. Energie potřebná k výrobě elektrické energie pochází z paliva, kterým je metanol. Palivový článek produkuje odpadní teplo a vodní kondenzát. [19]



Obr. 19. Systém doplněný o palivový článek Efoy Pro Cube [19]

Technické data palivového článku Efoy

Maximální jmenovitý výstupní výkon	110 W
Jmenovité výstupní napětí	24 V, DC
Maximální výstupní proud	4,58 A
Rozsah napětí pro zahájení dobíjení baterie	22 V až 26 V
Nastavená hodnota napětí pro zahájení dobíjení	23,2 V
Rozsah napětí pro ukončení dobíjení baterie	27 V až 29,4 V
Nastavená hodnota napětí pro ukončení dobíjení	27,0 V
Minimální napětí baterie	18,5 V
Jmenovitá spotřeba	0,9 l/kWh
Spotřeba v pohotovostním režimu	20 mA
Počet připojených tankovacích patron	2 ks
Elektrická pevnost	500 V

7.2 Návrh PV systému s doplněním palivového článku Eoy Pro Cube

Návrh systému bude proveden pro specifický energetický výnos 2,21 Wh/den . W_p . Solární generátor navržený pro specifický energetický výnos 2,21 Wh/den . W_p je schopen dle tab.5 plně pokrýt spotřebu PZS s parametry dle tab.3 po dobu 9 měsíců v roce (únor až říjen). Po zbytek roku lze využít kombinaci napájení fotovoltaický systém – palivový článek Efoy Pro Cube

Napájení z distribuční sítě prozatím zůstane zachované, jako záložní zdroj napájení pro případ výpadku napájení z alternativních zdrojů. V případě výpadku napájení PZS z alternativních zdrojů energie převezmou funkci dobíjení záložních baterií a napájení obvodů PZS dva dobíjecí moduly AR 230-24-40 v paralelním zapojení vyráběné společností KUMR s.r.o.

Dimenzování solárního generátoru

$$P_{WP} = \frac{W_{den}}{W_{ene.vynos} \cdot \eta_B} = \frac{1917,1}{2,21 \cdot 0,8} \cong 1083 W_p$$

Potřebný počet panelů WURTH-SOLAR WSG0036E075

$$n_{VP} = \frac{P_{WPn}}{P_{PV}} = \frac{1083}{75} \cong 15 ks \quad \Rightarrow \quad S \cong 11m^2$$

Dimenzování akumulátoru

Počet autonomních dní: 3 dny

Hloubka vybití: 50 %

Potřeba ampérhodin (Ah/den) = potřeba energie (Wh/den) / systémové napětí (V)

Potřeba ampérhodin = 1917,1/24 ≈ 79,9 Ah/den

C (Ah) = potřeba ampérhodin (Ah/den) x počet aut. dní / hloubka vybití

C = 79,9 x 3 / 0,5 ≈ 479 Ah

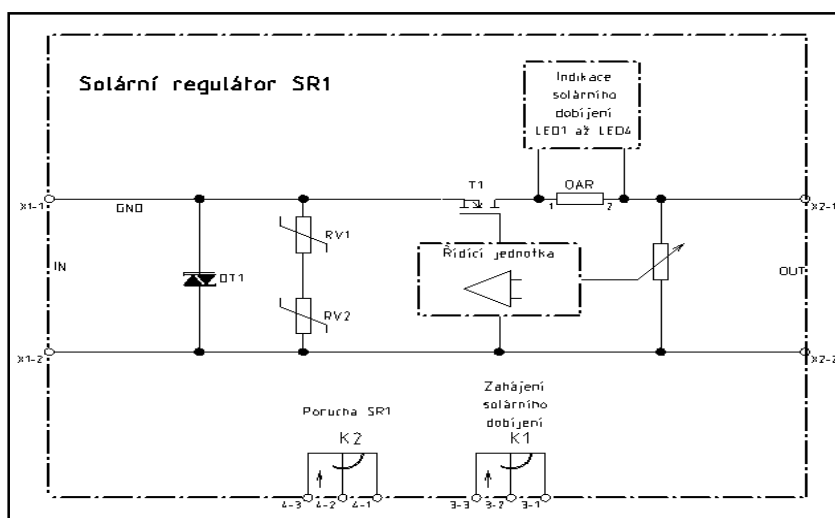
Navrhovaný akumulátor: 12 článků Sonnenschein A602/420 ⇒ 24 V, 499 Ah

Dimenzování vedení

S ohledem na co nejmenší ztráty energie ve vedení má dimenzování průřezů vedení mimořádný význam. Průřez vedení je potřeba přizpůsobit přenášeným proudům. Maximální přípustný výkon pro různé průřezy vedení v závislosti na délce vedení pro dodržení výkonové ztráty 1 % lze vyčíst z grafu č.5. Při špičkovém výkonu solárního generátoru 1083 W_p při maximální délce vedení 4m a systémovém napětí 24V nám vyjde průřez vodiče 35mm².

Solární regulátor

Solární regulátor je použit SR-1 vyráběný společností UPSTAR s.r.o.



Obr. 20. Blokové schéma SR-1

Solární regulátor je dimenzovaný pro maximální výstupní proud z fotovoltaických panelů 40A, nastavené udržovací napětí solárního regulátoru je $27,6 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$. Na desce solárního regulátoru jsou umístěny signalizační diody LED1 až LED4 signalizující počátek a intenzitu solárního nabíjení a LED5 až LED7 signalizující provozní stav regulátoru SR1.

7.3 Praktická konstrukce systému

Železniční přejezd je zabezpečen světelným přejezdovým zařízením typu PZZ-RE vyráběným společností AŽD Praha s.r.o.



Obr. 21. PZZ-RE vyráběný společností AŽD Praha s.r.o.

Logické funkce přejezdového zabezpečovacího zařízení PZZ-RE jsou vytvářeny reléovými obvody, sestavenými z relé I. skupiny bezpečnosti funkce. Časové funkce zařízení jsou realizovány mikroelektronickými časovými jednotkami typu CJ. Napájení světel výstražníků a přejezdníků je elektronické, zajištěné subsystémem elektronického ovládání světel EOS. Pro zjišťování volnosti tratě, na kterém je závislá automatická činnost přejezdového zařízení jsou použity dva počítače náprav se směrovými výstupy a čtyři počítačací body.

Vnitřní část přejezdového zařízení spolu s vnitřní částí napájení PV systému je umístěna v reléovém domku OPD-SP 3/6 vyráběným společností VARIEL, a.s.



Obr. 22. Reléový domek s konstrukcí pro FV panely

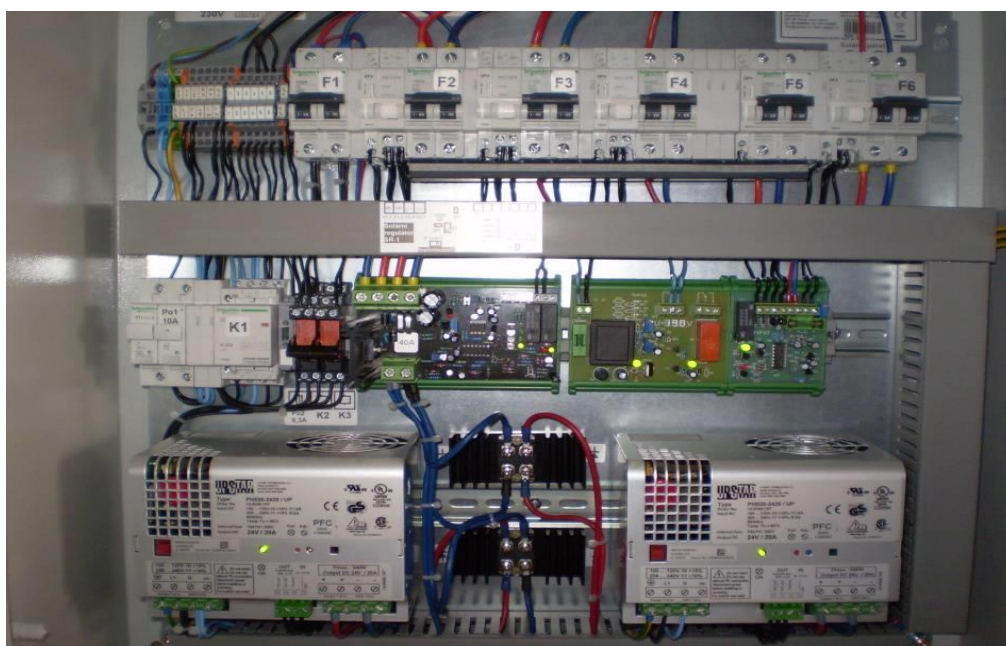
Fotovoltaické panely WSG0036E075 vyráběné společností WURTH-SOLAR s rozměry 605 mm × 1205 mm × 35 mm jsou umístěny na nosné konstrukci nad střechou reléového domku. Nosná konstrukce zajišťuje optimální orientaci fotovoltaických panelů vůči dopadajícímu slunečnímu záření a současně zajišťuje fotovoltaické panely proti krádeži.

Záložní akumulátory typu A602/420 vyráběné společností GNB Industrial Power jsou umístěné z důvodu ochrany před extrémními teplotami v laminátové bateriové studni umístěné pod podlahou reléového domku.



Obr. 23. Bateriová studna

Solární regulátor SR-1 spolu s obvody jištění, napěťovými dohledy a dvěma kusy dobíjecích modulů PH 500, které v ověřovacím provozu zajišťují napájení z rozvodné sítě v případě selhání napájení z alternativních zdrojů jsou umístěné v oceloplechové skříni o rozměrech 600 mm x 600 mm x 250 mm s prosklenou přední stěnou. Skříň je umístěna na stěně za dveřmi reléového domku.

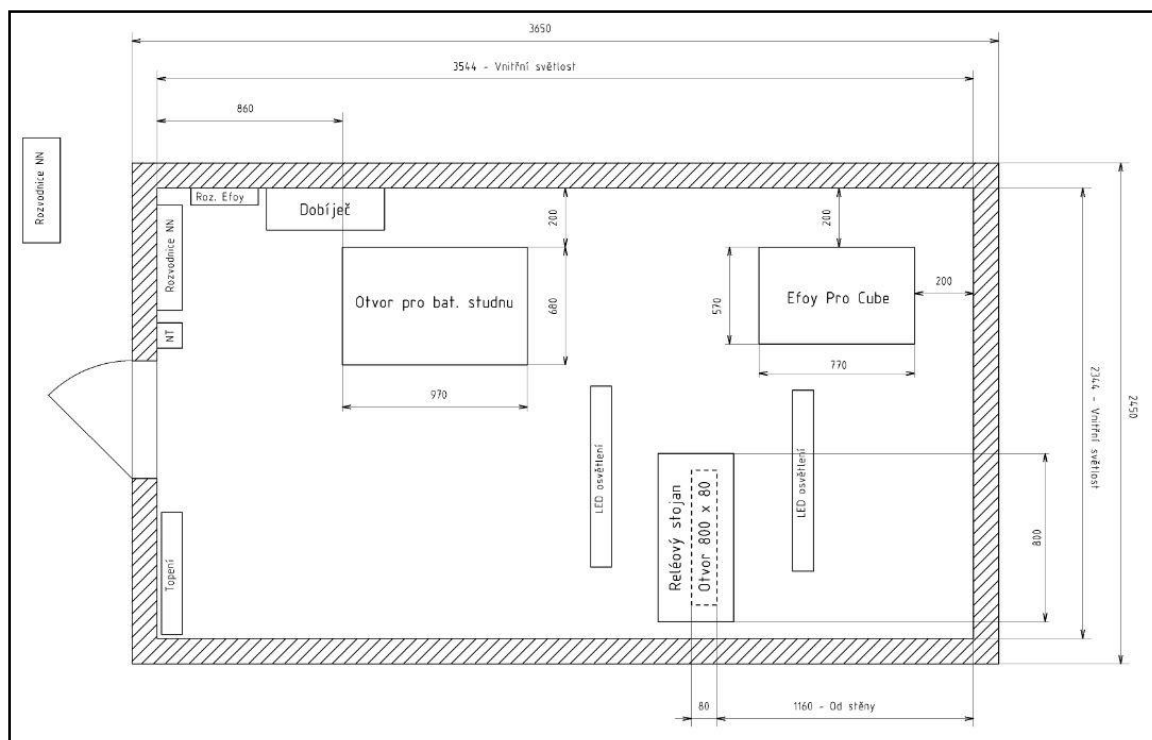


Obr. 24. Skříň se solárním regulátorem

Palivový článek Efoy Pro 2400 Duo je umístěn v ochranném boxu Efoy ProCube, který je uložen na podlaze domku. K palivovému článku Efoy Pro 2400 Duo jsou připojeny dvě tankovací patrony M10 s palivem, které jsou rovněž umístěny v ochranném boxu Efoy Procube. Tankovací patrony jsou připojeny k palivovému článku prostřednictvím dvojice konektorů, které jsou součástí palivového článku Efoy Pro 2400 Duo. K palivovému článku je dále přes datový kabel s konektory RJ 45 připojen ovládací panel. Ovládací panel slouží pro zobrazení aktuálního provozního stavu palivového článku a nastavení parametrů pro provoz palivového článku.



Obr. 25. Palivový článek EFOY

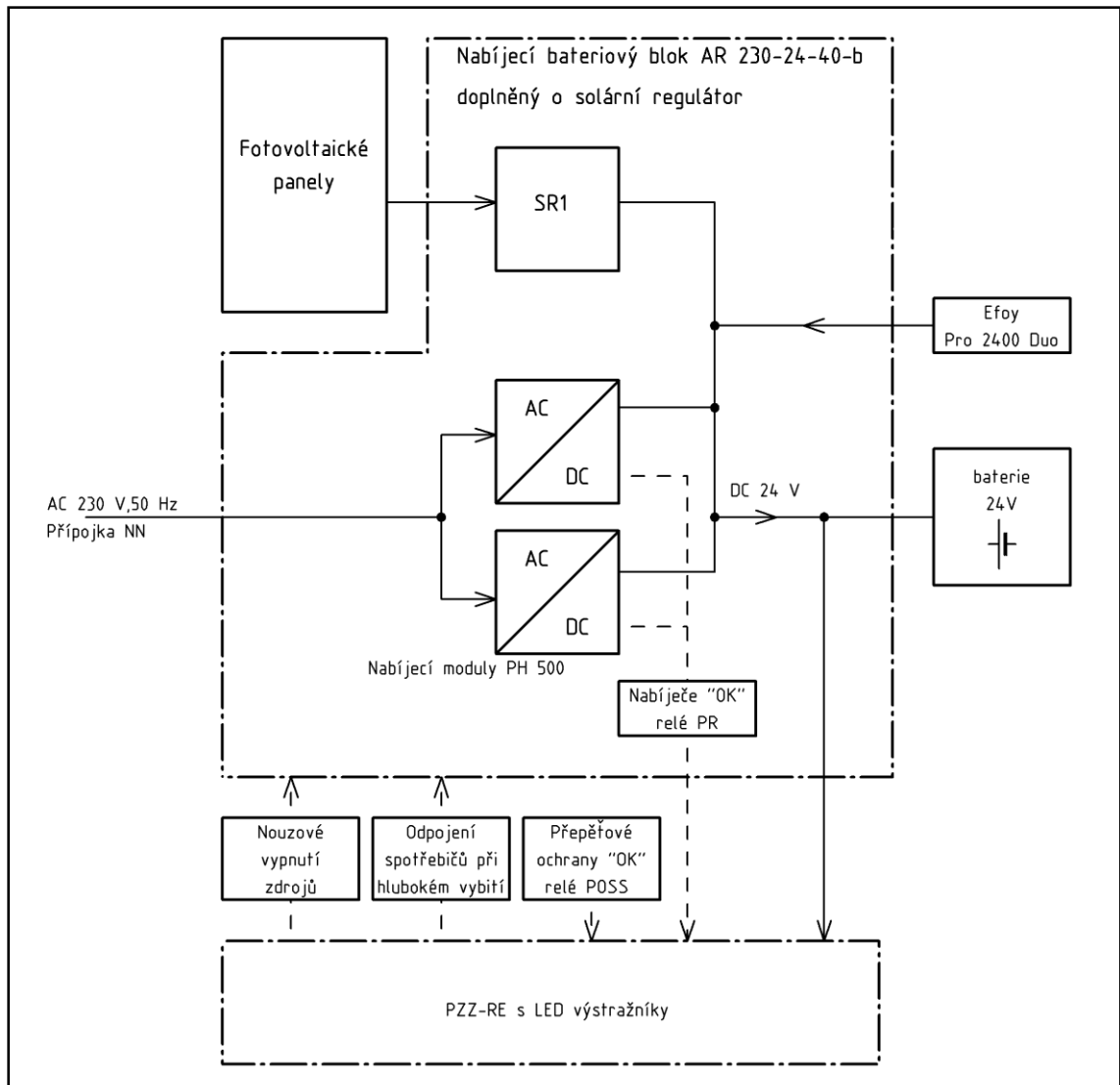


Obr. 26. Rozmístění zařízení v reléovém domku

7.3.1 Princip funkce napájení FV systému

Elektrická energie vyrobená z fotovoltaických panelů je přivedena na vstup solárního regulátoru SR1, jehož výstup je připojen k baterii. Udržovací napětí solárního regulátoru je nastaveno na hodnotu 27,6 V.

Krytí spotřeby zařízení PZZ-RE a dobíjení záložního akumulátoru je přednostně zajištěno elektrickou energií vyrobenou fotovoltaickými panely. Teprve v případě poklesu napětí baterie na hodnotu $23,2 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$ (při nedostatečném dobíjení akumulátoru z fotovoltaických panelů) je zajištěno napájení zařízení PZZ-RE z palivového článku Efoy Pro 2400 Duo. Dobíjecí moduly AR 230-24-40 jsou nastaveny na hodnotu $22,5 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$. Pokles napětí v obvodu baterie pod hodnotu 22 V je vyhodnocován dohlédacím relé napětí baterie DRB v zařízení PZZ-RE. Na výstup palivového článku je připojen kontrolní obvod skládající se z dvojice relé typ MUS80ACDC (napěťové kontrolní relé), jejichž kontakty jsou zapracovány do obvodu prvního pomocného návěstního relé přejezdníku a v případě zvýšení napětí na výstupu palivového článku Efoy Pro 2400 Duo na hodnotu 28,8 V přejde PZZ do poruchového stavu.



Obr. 27. Blokové schéma napájení

ZÁVĚR

Alternativní zdroje energie nacházejí své uplatnění ve stále větší skupině zařízení. Zde fotovoltaika je jedním z nejrychleji se rozvíjejících se oborů (v celosvětovém měřítku) s ročním nárůstem instalovaného výkonu převyšujícím 30%. Z tohoto důvodu je snaha o využití alternativní energie i v oblasti železniční dopravy. O napájení PZS z fotovoltaických panelů lze v současnosti uvažovat spíše jen na vedlejších tratích s menší hustotou provozu na železniční síti (čím větší hustota provozu, tím vyšší spotřeba elektrické energie). Kolejové obvody pro přibližovací a vzdalovací úsek je zde nutné s ohledem na nižší spotřebu nahradit počítači náprav s využitím směrových výstupů počítačů náprav, tímto odpadá nutnost použití anulačního souboru elektronického (ASE).

Z provedeného výpočtu spotřeby elektrické energie PZS za den vyplývá, že v podmínkách ČR není vhodné použít k celoročnímu napájení PZS pouze z fotovoltaických panelů. Toto řešení by si vyžádalo dimenzování solárního generátoru na nejnejpříznivější měsíc z hlediska specifického energetického výnosu ($0,78 \text{ Wh/den} \cdot W_P$ v prosinci), což by vedlo k potřebě velkého počtu fotovoltaických panelů (41 ks) a také k předimenzování solárního generátoru v letních měsících. S ohledem na rozměry technologického domku PZS by bylo nutné umístit fotovoltaické panely mimo střechu technologického domku, což by vedlo k prodražení celého systému a ke vzniku problému se zabezpečením fotovoltaických panelů proti krádeži. Při počtu 15 ks fotovoltaických panelů jež je možno umístit na střechu technologických domků PZS o půdorysu $3 \times 6 \text{ m}$ tyto nevyrobí dostatečné množství elektrické energie a proto je nutné doplnit napájení o dodatečný zdroj elektrické energie. V praktické části práce byl jako dodatečný zdroj navržen palivový článek Efoy Pro Cube, který zajišťuje napájení PZS zejména v zimních měsících a při déle trvající velké oblačnosti. Spotřeba tankovacích patron s palivem metanol pro palivový článek byla v testovaném období od ledna 2015 do dubna 2016 pět kusů a předpokládá se, že během následujících měsíců v roce pokryje plně spotřebu energie instalovaný fotovoltaický systém. Vezmeme-li cenu jedné tankovací patrony 1190 Kč včetně DPH, potom by roční provoz PZS z hlediska dodávky energie představoval náklady 5950 Kč včetně DPH. Provoz srovnatelného zařízení s využitím energie z rozvodné sítě by činil 3150 Kč při uvažované spotřebě $1917,6 \text{ Wh/den}$, která vychází z výpočtu spotřeby elektrické energie jednotlivých prvků PZS a uvažované ceně elektrické energie $4,50 \text{ Kč/kWh}$. Na první pohled je vidět provozní ekonomickou nevýhodnost popisovaného systému, proto najde systém uplatnění zejména v případech, kde není možné z jakéhokoliv důvodu vybudovat přípojku z rozvodné sítě.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN 34 2650 Ed. 2. *Železniční zabezpečovací zařízení - Přejezdová zabezpečovací zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 68 s.
- [2] MAS Moravský kras. *Využití obnovitelných zdrojů energie a úspory energie na venkově*. [online]. 2008 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.mas-moravsky-kras.cz/create_file.php?id=171
- [3] KŘIŽAN, Dušan. *Zabezpečovací technika II*. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1987. 240 s.
- [4] Webový portál Drážní inspekce. *Nehod na přejezdech ubylo, i tak zemřelo 32 lidí*. [online]. 2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.dicr.cz/nehod-na-prejezdech-ubylo-i-tak-zemrelo-32-lidi>
- [5] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. Praha: ČZU, 2005. ISBN 80-213-1335-8.
- [6] TECHNICKÝ POPIS T 70 840: *Závora AŽD 97*. AŽD Praha, s.r.o., 2001, revize 2004. 27 s.
- [7] TECHNICKÝ POPIS T 80 373: *Počítač náprav AZF*. AŽD Praha, s.r.o., 2006, revize 2007. 42 s.
- [8] Czech RE Agenci. *Solární článek*. [online]. 2009 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#fv>
- [9] Fotovoltaické panely. *E-shop*. [online]. 2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/c68811/fotovoltaicke-panely.html>
- [10] TECHNICKÝ POPIS T 70 828: *Výstražník AŽD 97*. AŽD Praha, s.r.o., 1998, revize 2003. 26 s.
- [11] KŘIŽAN, Dušan. *Zabezpečovací technika I*. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1986. 220 s.

- [12] TECHNICKÝ POPIS T 71 478: *Anulační soubor ASE 5*. AŽD Praha, s.r.o., 1997, revize 2007. 39 s.
- [13] CIHELKA J., *Solární tepelná technika*, 1. vydání. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9
- [14] Webový portál Drážní inspekce. *Přejezdy v číslech*. [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.szdc.cz/web/prejezdy/prejezdy-v-cislech.html>
- [15] QUASHNING, V. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-2473-250-3
- [16] Isofen energi. *Roční úhrn globálního slunečního ozáření v ČR*. [online]. 2009 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [17] European Commission, Joint Research Centre. *Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps*. [online]. 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- [18] Topin. *Autonomní fotovoltaická soustava*. [online]. 2004 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/download.php?idx=71937&di=7>
- [19] Efoy, energy for you. *Operation and instalation manual*. [online]. 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.efoy-pro.com/sites/default/files/sfc_user_manual_efoy_pro_800_2400_en_v1512_web.pdf
- [20] Bc. Jindřich Červený: *Přejezdové zabezpečovací zařízení pro regionální tratě*. Diplomová práce, Univerzita Pardubice, 2011.
- [21] Webový portál Drážní inspekce. *Směrnice komise 2009/149/ES ze dne 27. listopadu, kterou se mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/49/ES, pokud jde o společné bezpečnostní ukazatele a společné metody pro stanovení výše škod při nehodách*. [online]. 2009 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.dicr.cz/dokumenty>

Seznam použitých symbolů a zkratk

PZM	Přejezdové zařízení mechanické.
PZS	Přejezdové zařízení světelné.
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty.
ASE	Anulační soubor elektronický.
ASB	Vyhodnocovací jednotka kolového senzoru.
ZBG	Čítačová jednotka.
PB	Počítací bod.
PV článek	Fotovoltaický článek.
MPP	Bod maximálního výkonu.
EVA	Etylenvinylaceton.
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad.
LED	Dioda emitující světlo.
PZZ-RE	Přejezdové zabezpečovací zařízení reléového typu.
CJ	Časová jednotka.
EOS	Elektronické ovládání světel.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Pasivně zabezpečený žel. přejezd</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2. Železniční přejezd zabezpečen PZM 1</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 3. Železniční přejezd zabezpečen PZM 2.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4. Princip světelného přejezdového zabezpečovacího zařízení PZS</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 5. Výstražník typu AŽD 97 [10].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 6. Elektromechanická závora AŽD 99 [6].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 7. Návěsti přejezdníku</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 8. Sériový kolejový obvod [3]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 9. Paralelní kolejový obvod [3]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 10. Anulační soubor ASE [20]</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 11. Princip činnosti počítače náprav [7]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 12. Princip kolového senzoru [20]</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 13. Mapa ozáření Sluncem [16]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 14. Princip fotovoltaiického článku [8].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 15. Solární generátor [5]</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 16. Izolovaný solární systém</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 17. Solární systém spojený se sítí</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 18. Diagram návrhu FV systému.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 19. Systém doplněný o palivový článek Efoy Pro Cube [19]</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 20. Blokové schéma SR-1</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 21. PZS-RE vyráběný společností AŽD Praha s.r.o.</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 22. Reléový domek s konstrukcí pro FV panely.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 23. Bateriová studna.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 24. Skříň se solárním regulátorem</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 25. Palivový článek EFFOY</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 26. Rozmístění zařízení v reléovém domku.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 27. Blokové schéma napájení</i>	<i>66</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Statistika mimořádných událostí na žel. přejezdech v roce 2015 [4].....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 2. Počty železničních přejezdů dle kat. zabezpečení [14].....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3. Parametry přejezdového zabezpečovacího zařízení</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 4. Umístění solárního generátoru.....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 5. Vypočtené hodnoty solárního generátoru [17]</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 6. Dimenzování solárního generátoru pro jednotlivé měsíce.....</i>	<i>55</i>

SEZNAM GRAFŮ

<i>Graf. 1. Mimořádné události na železničních přejezdech [4]</i>	<i>23</i>
<i>Graf. 2. Průběh napětí při průjezdu drážního vozidla obvodem [12]</i>	<i>32</i>
<i>Graf. 3. Průběh proudu při průjezdu drážního vozidla [7]</i>	<i>34</i>
<i>Graf. 4. Voltampérová charakteristika PV článku [5]</i>	<i>41</i>
<i>Graf. 5. Dimenzování průřezu vodičů [18].....</i>	<i>57</i>