

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrotechnologie



Příloha P1

Základní metodika pro sběr dat

Basic methodology for data collection

Terezie Klášterková

Praha 2024

Obsah

1	Sběr dat	1
1.1	Jednorázový sběr dat.....	1
1.2	Kontinuální sběr dat.....	1
2	Vliv na výkon	2
2.1	Teplota	2
2.2	Intenzita záření.....	2
2.3	Zastínění.....	3
2.3.1	VA charakteristiky	4
2.3.2	Zastínění celého modulu a dlouhodobé zastínění.....	4
2.4	Sériový a paralelní odpor	5
3	Analýza dat	6
3.1	Porovnání s historickými daty.....	6
3.1.1	Překlenovací diody	6
3.1.2	Praskliny, odštípnuté články	7
3.1.3	Hotspot	7
3.1.4	PID	7
3.2	Nulová výroba.....	7
4	Kontrola při vzniku poruchy	9

1 Sběr dat

1.1 Jednorázový sběr dat

Získávání dat je možné jednorázově, pokud se nám na funkčnosti elektrárny něco nelíbí. Možné je měřit výkon elektrárny i jednotlivých modulů. Měření je ovšem nepřesné, a to z důvodu různých okolních podmínek (teplota, intenzita záření...). Výkon se tedy bude hodně lišit od skutečného. Měřit lze i VA charakteristiku, kdy přístroj zahrnuje do měření i okolní podmínky. Měření obsahuje opět větší nejistotu. Pro pozdější vyhodnocování některá data moc nepomohou, jelikož bude měření probíhat vždy za jiných podmínek. Další možnou kontrolou je termografie, která pomůže odhalit více ohřátá místa. Je pak na následném vyhodnocení, zda jde o poruchu, a co s tím dělat.

1.2 Kontinuální sběr dat

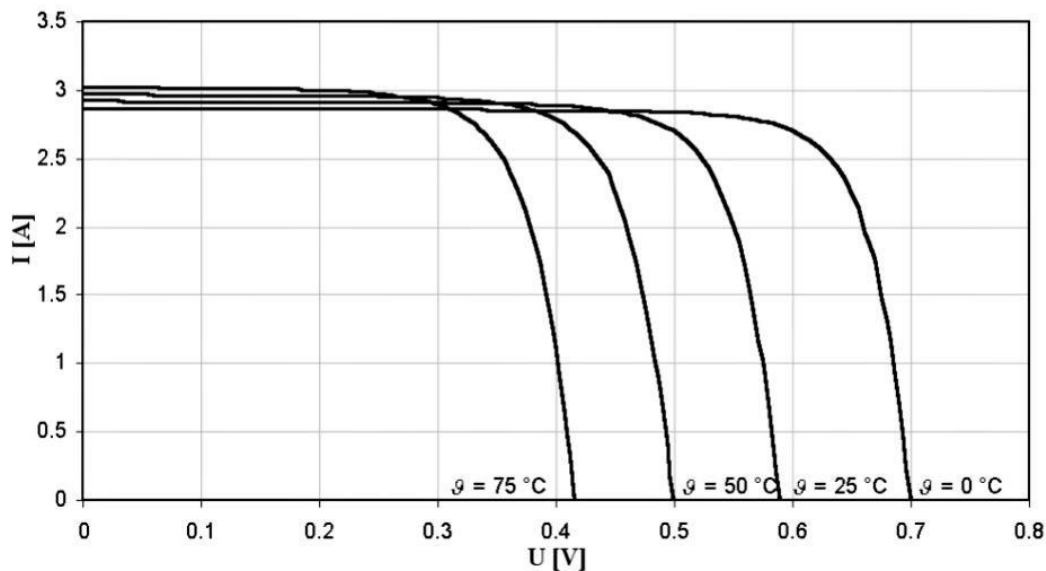
Používají se systémy pro monitorování v reálném čase se záznamem naměřených dat. Monitoring může být jen základní – ukládání základních parametrů elektrárny. Pro kvalitnější vyhodnocování je potřeba systém doplnit o senzory (teplotní, intenzita záření, vlhkost...), datalogery a monitorovací systémy. Monitorovací systémy umožňují i online monitoring. Na základě podrobných dat z elektrárny je pak v budoucnu možné identifikovat přesněji místo poruchy, případně předem odhadnout narůstající problém.

2 Vliv na výkon

2.1 Teplota

Teplota má významný vliv na výkon fotovoltaických modulů. Obecně platí, že s rostoucí teplotou klesá účinnost modulů. Důvodem je to, že vyšší teploty způsobují zvýšenou tepelnou energii, což vede ke zvýšenému odporu a snížení napěťového výkonu modulů.

Důležitým parametrem je teplotní koeficient, ať už pro proud nakrátko, napětí naprázdno nebo maximální výkon. Koeficient udává procentuální změnu proudu, napětí nebo výkonu vzhledem ke změně teploty. Obvykle se udává v procentech na kelvin. Pro c-Si fotovoltaické články je pokles napětí naprázdno 0,2 – 0,4%/K.

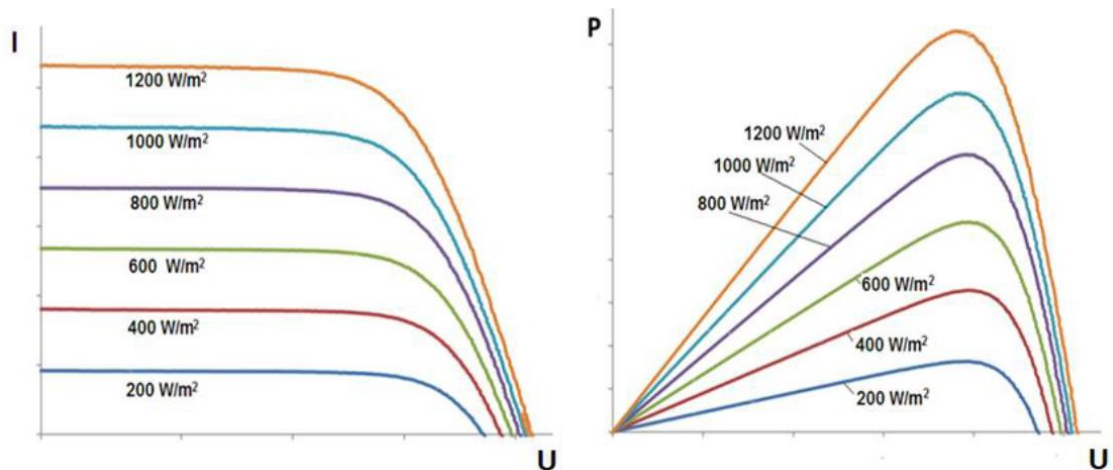


Obr. 1: Teplotní závislost VA charakteristiky

V praxi to znamená, že pokud se teplota zvyšuje, výkon FV modulů klesá. To může být problematické zejména ve velmi horkých klimatických podmínkách nebo pokud jsou moduly umístěny na místech s omezeným prouděním vzduchu.

2.2 Intenzita záření

Intenzita slunečního záření má klíčový vliv na výkon fotovoltaických modulů. Čím vyšší je intenzita záření, tím více elektrické energie mohou moduly produkovat (intenzita záření ovlivňuje množství fotonů dopadajících na modul za jednotku času).



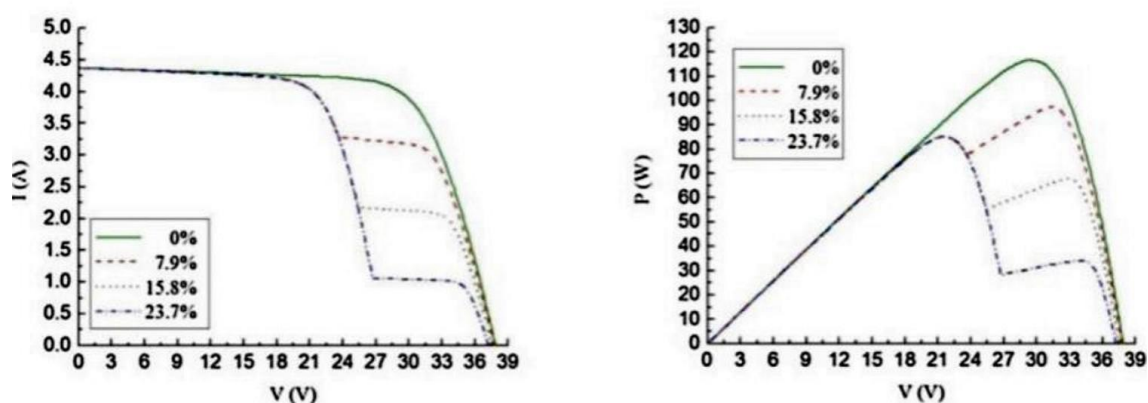
Obr. 2: VA charakteristika (vlevo) a výkonová charakteristika (vpravo) v závislosti na intenzitě slunečního záření

V praxi to znamená, že pokud je intenzita slunečního záření vyšší (jasný slunečný den), moduly vyprodukují více elektrické energie. Naopak za podmínek nižší intenzity záření (oblačno, zataženo) bude výkon modulů nižší. Zároveň v místě s vyšší intenzitou slunečního záření bude vyšší výkon a i efektivita.

2.3 Zastínění

Zastínění článku(ů) fotovoltaického modulu může dramaticky ovlivnit jeho výkon. Zastínění jednoho článku může vést ke snížení výkonu celého modulu.

Velikost poklesu výkonu modulu závisí na velikosti zastínění a typu zastínění. Proti poklesu výkonu vlivem zastínění obvykle mívají moduly zapojené překlenovací diody paralelně k určitému počtu článků. Překlenovací diody zmírňují, nedokážou však eliminovat, vliv zastínění na snížení výkonu modulu.

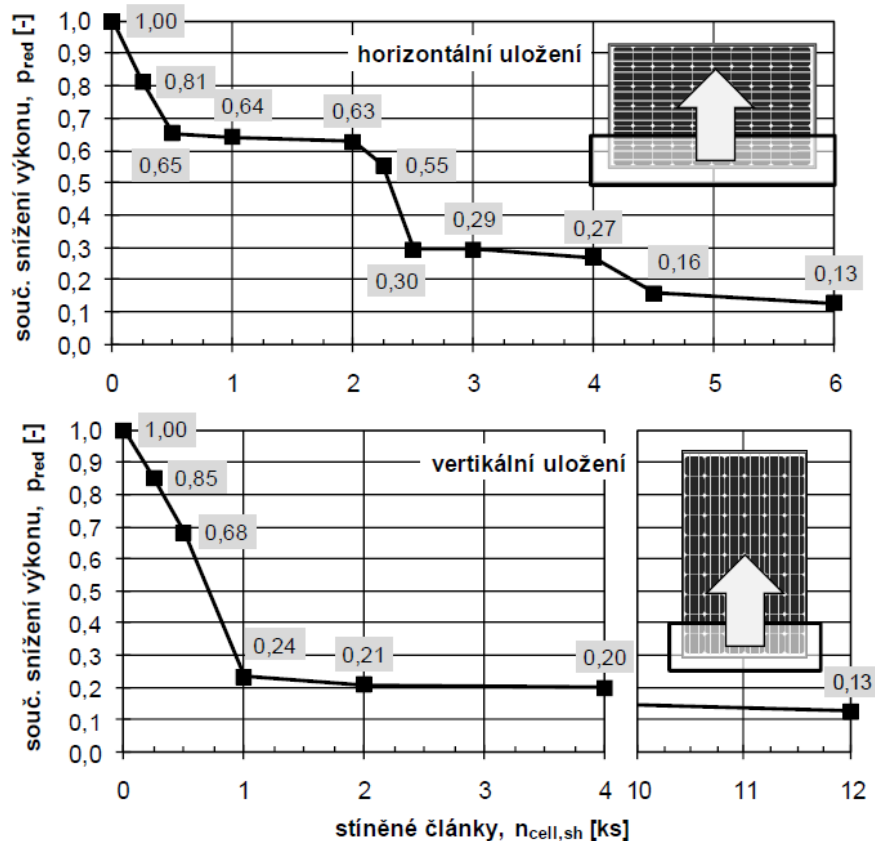


Obr. 3: Vliv procentuálního zastínění na VA (vlevo) a výkonovou (vpravo) charakteristiku

2.3.1 VA charakteristiky

I když je pouze část modulu zastíněna, může to vést k výraznému poklesu výkonu. To je způsobeno tím, že články jsou obvykle propojeny v sérii do subřetězce (ty jsou pak spojeny paralelně), a pokud byt jen jeden článek bude zastíněn, dochází ke snížení toku proudu.

Záleží také na místě zastínění. Je rozdíl, pokud je zastíněn jeden subřetězec, to může vyřešit částečně překlenovací dioda, nebo částečně všechny subřetězce. To je potom pokles výkonu velký.



Obr. 4: Závislost výkonu na pozici uložení při částečném zastínění

Pokud dojde k zastínění 1/3 modulu při uložení v horizontální poloze, uplatní se překlenovací dioda a výkon modulu klesne o třetinu. Zastínění 1/3 modulu uloženého ve vertikální poloze způsobí rapidní pokles výkonu i přesto že dojde k uplatnění všech diod.

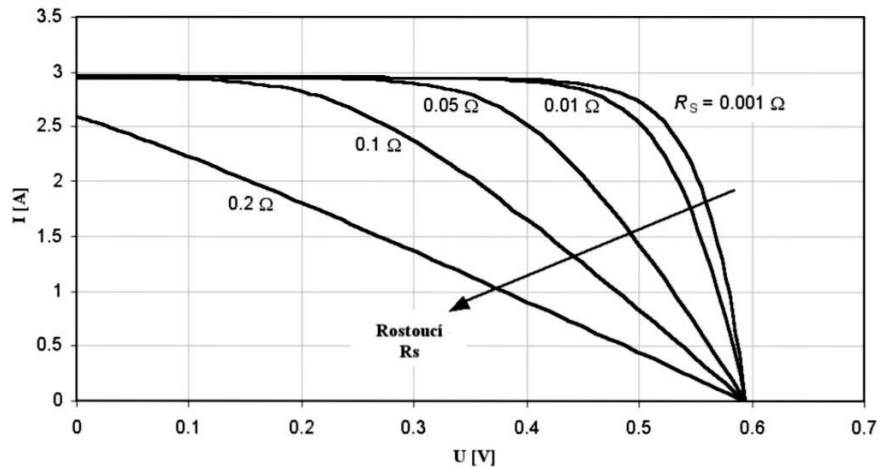
2.3.2 Zastínění celého modulu a dlouhodobé zastínění

Pokud je zastíněn celý modul (například stromem nebo budovou) dojde ke ztrátě výkonu na celém modulu. Výstupní napětí modulu se sníží na nulu a dojde ke snížení výkonu celé elektrárny.

Dlouhodobé zastínění může nastat například pokud jsou moduly částečně zastíněny v průběhu dne v důsledku pohybu slunce nebo v průběhu roku v důsledku změny polohy slunce.

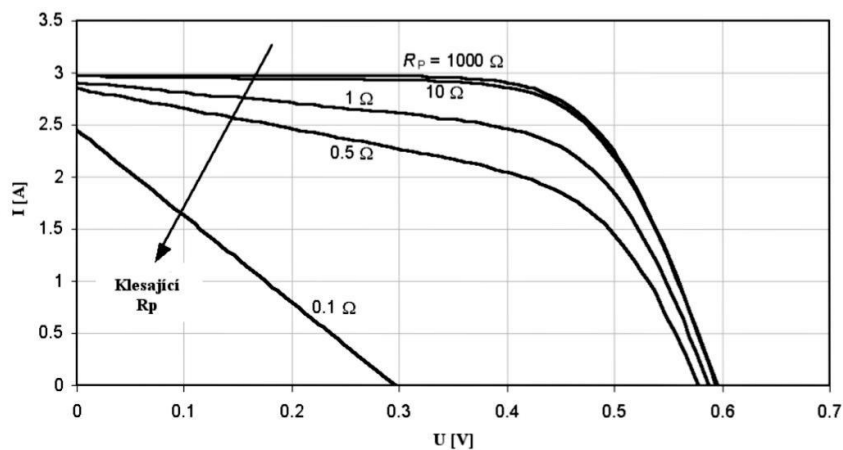
2.4 Sériový a paralelní odpor

Sériový odpor vzniká v elektrickém obvodu fotovoltaického modulu z důvodu vnitřního odporu materiálů, propojení mezi jednotlivými články, spoji. Při ideálních podmínkách ($R_S = 0$) je vliv sériového odporu zanedbatelný. Významným se pak stává při samotném zvýšení a nízkých světelných podmínkách. Sériový odpor lze minimalizovat použitím kvalitního materiálu a techniky výroby. Čím větší je sériový odpor, tím je výkon modulu nižší (viz Obr. 5)



Obr. 5: Vliv sériového odporu na VA charakteristiku

Paralelní odpor se týká struktury přechodu PN. Přestože paralelní odpor je přítomen ve fotovoltaických modulech, jeho vliv na výkon je obvykle menší než vliv sériového odporu. Pokud bude paralelní odpor malý, snížení výkonu modulu je výrazné. Malý paralelní odpor může být způsoben prasklinami v izolaci, defekty krystalické mřížky nebo svodovými proudy kolem okrajů článků. Ideální hodnota paralelního odporu je $R_P = \infty$.



Obr. 6: Vliv paralelního odporu na VA charakteristiku

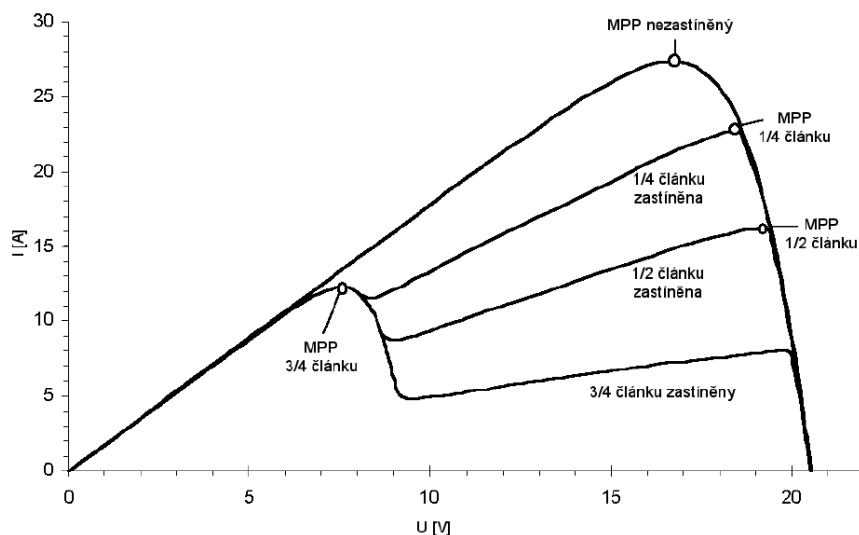
3 Analýza dat

3.1 Porovnání s historickými daty

V případě poklesu výkonu, kdy hledáme problém, můžeme porovnávat aktuální data s daty historickými. Data, která porovnáваме, by měli být měřeny za stejných podmínek. Pokud máme k dispozici doplňující senzory, je porovnávání přesnější. Pokud senzory nejsou k dispozici, je možné meteorologické informace získat z blízké meteorologické stanice. Je však nutné počítat s tím, že nemusí být tak přesné, jako při použití senzorů přímo na elektrárně. Cílem je pak porovnávat dat získaná za stejných podmínek. Pokud dojde k výraznému snížení výkonu, je vhodné provést vizuální kontrolu elektrárny, která může odhalit časté příčiny poklesu výkonu. Následuje výčet nejčastějších poruch vyskytujících se na elektrárnách.

3.1.1 Překlenovací diody

Poškození překlenovacích diod na fotovoltaických modulech může mít za následek snížení výkonu celého modulu. Překlenovací diody mají za úkol minimalizovat ztráty výkonu v případě zastínění nebo poruchy článku. Existují dva typy selhání diod. Dioda je poškozená a setrvává v rozpojeném stavu (chová se jako neexistující) nebo dojde k trvalému zkratu (chová se jako vodič s malým odporem).



Obr. 7: Závislost VA charakteristiky na počtu překlenovacích diod

Důsledkem poškození diody je snížení výkonu celého modulu, protože dioda není v daný moment schopna odklonit proud. Z tohoto důvodu je pak i výsledná VA charakteristika (Obr. 7) velmi podobná charakteristice při zastínění (Obr. 3). Nelze tak při prvním pohledu určit, zda se jedná o zastínění nebo poškození překlenovacích diod.

Dalším důsledkem je riziko přehřátí. Pokud je totiž dioda poškozena, může docházet k nadměrnému zatížení ať už zbývajících článků nebo samotné diody a následnému přehřátí a poškození. V extrémních případech pak může vést poškození ke vzniku zkratu. To může mít za důsledek úplný výpadek výkonu nebo i požár. I když není překlenovací dioda úplně poškozena, její částečné poškození může vést k postupné degradaci výkonu panelu v průběhu času.

3.1.2 Praskliny, odštípnuté články

Praskliny nemusí mít z počátku nutně veliký vliv na výkon modulu, mají však vliv na životnost modulu. Odštípnuté části článku už mohou mít za následek snížení výkonu a také životnosti celého modulu. Hlavním důsledkem je snížení výkonu modulu, kdy odštípnuté části článků snižují schopnost modulu generovat elektrickou energii. Později pak mohou tvořit horká místa. Dochází tak k přehřátí článků a snížení jejich účinnosti. Zároveň mohou praskliny vést až ke zkratům ve struktuře FV článku. V extrémních případech může nadměrné tepelné zatížení způsobené prasklinami zvýšit riziko požáru. Během všech těchto důsledků dochází současně k degradaci výkonu a životnosti modulu (praskliny slouží jako vstup pro vlhkost a nečistoty).

3.1.3 Hotspot

Hotspoty jsou oblasti s vysokou teplotou, které mohou vzniknout v důsledku nadměrného zatížení proudem v určitém místě modulu. Hotspoty mohou mít vážné důsledky pro výkon a životnost modulu. Důsledkem je opět snížení výkonu a účinnosti celého modulu. Dlouhodobé vystavení vysokým teplotám může způsobit degradaci materiálu a snížení životnosti modulu. V extrémních případech mohou hotspoty způsobit požár, pokud teplota dosáhne dostatečně vysokých hodnot. Hotspoty nemusí být na první pohled viditelné, dokud nedojde k vypálení části článku. Hotspoty jsou identifikovatelné termografií.

3.1.4 PID

PID (Potential Induced Degradation) je termín používaný pro popis degradace výkonu modulů způsobené elektrickým napětím mezi článkem a zemí. Důsledkem je snížení výkonu až o několik procent. Zároveň může přispívat k předčasnému stárnutí modulů a zkrácení životnosti. Minimalizovat riziko PID lze správným uzemněním systému. Nejedná se o vizuální poruchu, lze ji identifikovat elektroluminiscencí.

3.2 Nulová výroba

Pokud dojde k nulové výrobě, je pravděpodobně problém někde mezi modulem a měničem. Dochází k přerušení elektrického obvodu a pokud není obvod uzavřen, neprochází skrz proud.

Jednou z možných příčin je poškození junction boxu vyskytujícím se na modulu. V boxu jsou uloženy překlenovací diody a jsou zde napojené vodiče s konektory vedoucí od modulu.

Pokud dojde k poškození diod, izolace nebo vodičů při provozu, může být dojit k porušení elektrické části (elektrické oblouky, zkrat) a poškození boxu.

Další možnou příčinou jsou kabely spojující moduly s měničem. Kabely by měly být uloženy v chrániče pro ochranu před okolními vlivy, nebo ve žlabu. Pokud jsou takto kabely uloženy, je menší riziko problémů v této části elektrárny. Ne vždy tomu tak ale je. Často jsou kabely jen tak umístěny na zem, podél FV pole a vystaveny okolním vlivům. Vlivem počasí pak jednoduše dochází k degradaci izolace, což může vést ke zkratům, mechanickému namáhání a přerušení obvodu. Hlodavci jsou pak dalším vysvětlením pro překousané kabely.

4 Kontrola při vzniku poruchy

Po zjištění problému následuje ideálně kontrola na elektrárně. Přimo v místě elektrárny (na elektrárně) je možné provádět pouze některé kontroly. Určitá data pak mohou mít zároveň větší nepřesnost než data získaná v akreditované laboratoři. Do nepřesností se promítá vliv okolí, ať už jde o teplotu, intenzitu záření a jiné.

Možné kontroly/měření prováděné přímo na elektrárně:

- ❖ Vizuální kontrola (identifikace viditelných poruch)
- ❖ Termografie
- ❖ Měření výkonu
- ❖ Měření VA charakteristiky

Kontrola, ať už jde o revizi, prohlídku nebo zkušební postupy, je obsahem normy ČSN EN 62446-1-A1 Fotovoltaické (PV) systémy – Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu. V normě lze také najít podrobnější popis dat získaných na elektrárně a jejich následné vyhodnocení.

Pokud se v rámci kontroly přijde na poruchy či problémy je vhodné (po konzultaci) provést kontrolu i v laboratoři.

V rámci kontroly prováděné v akreditované laboratoři je možné získat data a vyhodnocení ve vysoké kvalitě. Měření jsou prováděna za konstantních okolních podmínek tudíž je možno se zbavit nepřesností vzniklých proměnným okolím na rozdíl od kontroly na elektrárně.

Kontroly/měření prováděné v akreditované laboratoři:

- ❖ Vizuální kontrola
- ❖ Měření VA charakteristiky
- ❖ Termografie
- ❖ Elektroluminiscence
- ❖ Měření izolačního odporu napětím do 500 V
- ❖ Měření elektrické pevnosti
- ❖ Měření vodivosti kostry proudem do 30 A

Použitá literatura

- [1] SCHRÖPFEROVÁ, Lenka. *Ekonomické důsledky časového vývoje vad FVE* [online]. 2017 [cit. 2023-10-24]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/69516>. Bakalářská práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Pavel Hrzina.
- [2] SCHRÖPFEROVÁ, Lenka. *Predikce chování fotovoltaických systémů na konci jejich životnosti* [online]. 2020 [cit. 2023-10-24]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/90127>. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Pavel Hrzina.
- [3] *Review of Failures of Photovoltaic Modules Final* [online]. International Energy Agency, 2014 [cit. 2023-10-24]. ISBN 978-3-906042-16-9. Dostupné z: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_T13-01_2014_Review_of_Failures_of_Photovoltaic_Modules_Final.pdf
- [4] ČSN EN 62446-1+A1 (36 4623) *Fotovoltaické (PV) systémy - Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu*. Část 1: Systémy spojené s rozvodnou sítí - Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a kontrola. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.