

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Ekonomické důsledky časového vývoje vad FVE

Lenka Schröpferová

Vedoucí: Ing. Pavel Hrzina, PhD.

Obor: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní program: Elektrotechnika a management

Květen 2017

Poděkování

Největší poděkování patří vedoucímu této práce, panu Ing. Pavlu Hrzinovi, PhD. za trpělivost, cenné poznámky a podnětné návrhy při tvorbě celé práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Tomáši Králíkovi za pomoc při vypracování ekonomického modelu. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině, která mě při studiu podporovala.

Prohlášení

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

V Praze dne 26. 5. 2016

.....

Abstrakt

Bakalářská práce popisuje a analyzuje vliv výskytu vad na fungování celé FVE. Zvolený problém jsem vyřešila pomocí vytvoření diagramu kategorizující objevující se vady a ekonomického modelu, který problém řeší pomocí ekonomických ukazatelů NPV a IRR. Tyto dva nástroje jsou dále využity k vyhodnocení vlivu vad na reálné FVE.

Klíčová slova: FVE, fotovoltaika, prognóza vad FV modulů, vady FV modulů, NPV, IRR, ekonomický model

Vedoucí: Ing. Pavel Hrzina, PhD.

Abstract

The bachelor thesis describes and analyzes the influence of occurrence of defects on the functioning of the entire PV power station. I have solved the problem by creating a diagram that categorizes emerging defects and an economic model that solves the problem using NPV and IRR economical indicators. These two tools are further used to evaluate the effect of defects on actual PVP.

Keywords: PVP, photovoltaics, prediction of defections of PV modules, NPV,IRR, economical model

Title translation: The economic consequences of time evolution defects of PVP

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Schröpferová** Jméno: **Lenka** Osobní číslo: **434925**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ekonomické důsledky časového vývoje vad FVE

Název bakalářské práce anglicky:

The economic consequences of time evolution defects of PVP

Pokyny pro vypracování:

Popište vady FVE a metody jejich klasifikace.

Kategorizujte vstupní data z reálné FVE (výnosy, zjištěné vady,?) a stanovte prognózu jejich časového vývoje.

Stanovte technické a ekonomické důsledky jednotlivých druhů vad FVE.

Sestavte ekonomický model dopadů vad FVE, popř. upravte a aktualizujte stávající modely ekonomického hodnocení vad FVE.

Seznam doporučené literatury:

ŠUTKA, Jan. Ekonomické vyhodnocení provozu fotovoltaické elektrárny při poruše. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Ladislava Černá.

KÖNTGES, Marc. Review of Failures of Photovoltaic Modules. 2014. IEA International Energy Agency. ISBN 978-3-906042-16-9.

Jordan, D. C. and Kurtz, S. R. (2011), Photovoltaic Degradation Rates - an Analytical Review. Prog. Photovolt: Res. Appl. doi: 10.1002/pp.1182

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Hrzina Ph.D., katedra elektrotechnologie FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **27.05.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Obsah

ÚVOD.....	1
1 STRUKTURA FV MODULU	2
1.1 SKLO.....	2
1.2 EVA (ETYLEN VINYL ACETÁT)	2
1.3 TEDLAR	3
1.4 JUCTION BOX, PŘEKLENOVACÍ DIODY	3
1.4.1 Zastínění.....	4
2 FUNGOVÁNÍ ELEKTRÁRNY	5
2.1 ZÁRUKA KVALITY VÝKONU.....	5
2.2 SKUTEČNÝ DEGRADAČNÍ POKLES	5
2.3 VLIVY OVLIVŇUJÍCÍ FUNGOVÁNÍ ELEKTRÁRNY	6
2.3.1 STC (Standart testing conditions).....	6
3 KATEGORIZACE VAD	7
3.1 DEFINICE VADY	7
3.2 DEFINICE BEZPEČNOSTNÍ PORUCHY A BEZPEČNOSTNÍ KATEGORIE	7
3.3 ZTRÁTOVÉ KATEGORIZACE	7
4 JEDNOTLIVÉ PORUCHY OBJEVUJÍCÍ SE NA KRYSTALICKÝCH MODULECH	9
4.1 MIKROPRASKLINY A PRASKLINY FV ČLÁNKŮ, ULOMENÉ ČLÁNKY.....	9
4.1.1 Popis.....	9
4.1.2 Příčiny, řešení, doporučení.....	10
4.1.3 Prognóza.....	10
4.1.4 Snail trails (šnečí cesty).....	11
4.2 PID (POTENTIAL INDUCED DEGRADATION).....	12
4.2.1 Popis.....	12
4.2.2 Příčiny, řešení, doporučení.....	13
4.2.3 Prognóza	14
4.3 HOTSPOTY	15
4.3.1 Popis.....	15
4.3.2 Příčiny, řešení, doporučení.....	15
4.3.3 Prognóza.....	16
4.4 DELAMINACE, BUBLINY	16
4.4.1 Popis.....	17

4.4.2	<i>Příčiny, řešení, doporučení</i>	17
4.4.3	<i>Prognóza</i>	17
5	METODIKA K DIAGRAMU PRO NALEZENÍ ZÁVADY	20
5.1	PŘEDPOKLADY DIAGRAMU	20
5.2	CENOVÉ OHODNOCENÍ	20
5.3	JEDNOTLIVÉ STRUKTURY DIAGRAMU	21
5.4	BAREVNÉ OZNAČENÍ BLOKŮ	22
5.5	ÚDRŽBA A PROVOZ	22
5.5.1	<i>Konečné zelené bloky</i>	23
5.5.2	<i>Diagnostika VACH, diagnostika termografií</i>	26
6	SIMULACE ZÁVAD	27
6.1	POSTUP A ORIENTACE V SIMULACI ZÁVAD	27
6.2	ZTRÁTOVÁ KATEGORIE A	28
6.3	ZTRÁTOVÁ KATEGORIE B	29
6.4	ZTRÁTOVÁ KATEGORIE C	29
6.5	ZTRÁTOVÁ KATEGORIE D	30
6.6	ZTRÁTOVÁ KATEGORIE E	31
6.7	URČENÍ DOPADU KOMBINACE VAD	32
6.8	URČENÍ CELKOVÉ VYROBENÉ ENERGIE V ČASE	33
7	EKONOMICKÝ MODEL	35
7.1	ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY	35
7.2	BAREVNÉ ZNAČENÍ A ORIENTACE V MODELU	35
7.3	HODNOCENÍ INVESTIC	35
7.3.1	<i>Diskont</i>	36
7.4	INFLACE	36
7.5	ODPISY	37
7.5.1	<i>Daňové odpisy</i>	37
7.5.2	<i>Účetní odpisy a zůstatková hodnota</i>	37
7.6	ROZDĚLENÍ NA PŘÍPADY	38
7.6.1	<i>Případ bez vady</i>	38
7.6.2	<i>Případ s vadou</i>	38
7.6.3	<i>Případ s vadou a následnou opravou</i>	38
7.7	VYHODNOCENÍ	45
7.8	REKLAMACE	46
7.8.1	<i>Projevení reklamace v ekonomickém modelu</i>	47

8	APLIKACE DOSAVADNÍCH NÁSTROJŮ PRO VYHODNOCOVÁNÍ NA REÁLNOU INSTALACI.....	48
8.1	POPIS FVE.....	48
8.1.1	<i>Vstupní údaje</i>	48
8.1.2	<i>Vyrobena energie</i>	48
8.2	NALEZENÉ VADY A JEJICH PREDIKCE POSTUPU	50
8.3	SCÉNÁŘE	51
8.3.1	<i>Optimistický scénář</i>	51
8.3.2	<i>Pesimistický scénář</i>	54
	ZÁVĚR.....	58
	CITOVANÁ LITERATURA	59
A •	PŘÍLOHA – DIAGRAMY	62
B •	PŘÍLOHA – OBSAH CD.....	72

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 STRUKTURA FV MODULU	2
OBRÁZEK 2 VA CHARAKTERISTIKA UKAZUJÍCÍ VLIVY PROCENTUÁLNÍHO ZASTÍNĚNÍ MODULU (7).....	4
OBRÁZEK 3 VA CHARAKTERISTIKA UKAZUJÍCÍ, JAKÝ VLIV MÁ BYPASSOVÁ DIODA (6)	4
OBRÁZEK 4 UKÁZKA 25LETÉ GARANCE POKLESU VÝKONU	5
OBRÁZEK 5 UKÁZKA PRASKLINY V KOMBINACI SE ŠNEČÍMI CESTAMI	9
OBRÁZEK 6 UKÁZKA MODULU S PRASKLÝMI ČLÁNKY Z LUMINISCENČNÍHO TESTU.....	9
OBRÁZEK 7 VACH, KDE MODRÁ KŘIVKA ZNAČÍ MODUL, KTERÝ JE V POŘÁDKU A ČERVENÁ KŘIVKA ZNAČÍ MODUL S NALEZENÝMI HOTSPOTY (10).....	9
OBRÁZEK 8 VLIV SÉRIOVÉHO ODPORU NA VACH FV ČLÁNKU (6)	11
OBRÁZEK 9 UKÁZKA MODULU POŠKOZENÝM ŠNEČÍMI CESTAMI	11
OBRÁZEK 10 UKÁZKA ELEKTROLUMINISCENČNÍHO SNÍMKU MODULU NAPADENÉHO PID DEFEKTEM	13
OBRÁZEK 11 UKÁZKA TERMOGRAFICKÉHO SNÍMKU MODULU NAPADENÉHO PID DEFEKTEM (5)	13
OBRÁZEK 12 VACH NAPADENÉHO MODULU PID DEFEKTEM UKAZUJÍCÍ VLIV PROCENTUÁLNÍHO ZASTOUPENÍ POŠKOZENÍ (14)	13
OBRÁZEK 13 UKÁZKA TERMOGRAFICKÉHO SNÍMKU MODULU POŠKOZENÉHO HOTSPOTY (7)	15
OBRÁZEK 14 VACH MODULU S HOTSPOTY A POŠKOZENOU TEDLAR VRSTVOU (BLACKEND POINTS) (7)	15
OBRÁZEK 15 ZÁVISLOST MNOŽSTVÍ POŠKOZENÝCH ČLÁNKŮ NA CELKOVÝCH ZTRÁTÁCH (10).....	16
OBRÁZEK 16 RŮZNÉ DRUHY DELAMINACÍ	17
OBRÁZEK 17 ZÁVISLOST PROCENTUÁLNĚ POŠKOZENÉ OBLASTI NA PROUDU NAKRÁTKO (17)	18
OBRÁZEK 18 VACH POŠKOZENÉHO MODULU DELAMINACÍ (17)	19
OBRÁZEK 19 VÝVOJ CEN FV MODULŮ.....	24
OBRÁZEK 20 PRŮBĚH VADY TYPU A (POVŠÍMNĚTE SI VELMI MALÉ ZTRÁTY V POROVNÁNÍ S VADAMI B-E).....	28
OBRÁZEK 21 PRŮBĚH VADY TYPU B.....	29
OBRÁZEK 22 PRŮBĚH VADY TYPU C.....	30
OBRÁZEK 23 PRŮBĚH VADY TYPU D	31
OBRÁZEK 24 PRŮBĚH VADY TYPU E	32
OBRÁZEK 25 PRŮBĚH CELKOVÉ VADY.....	33
OBRÁZEK 26 POKLES VYROBENÉ ENERGIE	34
OBRÁZEK 27 POPIS STRUKTURY VYTVOŘENÍ CELKOVÉHO POKLESU UPRAVENÉHO O SPUŠTĚNÍ VÝMĚNY MODULU	39
OBRÁZEK 28 DIAGRAM VÝMĚNY V KOMBINACI S REKLAMACÍ	41
OBRÁZEK 29 PENĚŽNÍ TOK V ČASE – PŘÍPAD S VADOU A NÁSLEDNOU OPRAVOU	45
OBRÁZEK 30 MAXIMÁLNÍ DENNÍ VÝROBA V JEDNOTLIVÝCH LETECH	49
OBRÁZEK 31 UKÁZKA DELAMINACE NA FVĚ.....	50
OBRÁZEK 32 UKÁZKA ŠNEČÍCH CEST S PRASKLINAMI	50
OBRÁZEK 33 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA PRO ZÁVISLOST NPV NA ROKU OPRAVY.....	53

OBRÁZEK 34 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA PRO ZÁVISLOST NPV NA DISKONTU.....	54
OBRÁZEK 35 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA PRO ZÁVISLOST NPV NA ROKU OPRAVU	56
OBRÁZEK 36 OBRÁZEK 34 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA PRO ZÁVISLOST NPV NA DISKONTU – PESIMISTICKÝ SCÉNÁŘ	57



Seznam tabulek



TABULKA 1 SOUHRN BEZPEČNOSTNÍCH KATEGORIÍ (5).....	7
TABULKA 2 SOUHRN ZTRÁTOVÝCH KATEGORIÍ (5).....	7
TABULKA 3 SOUHRN DODATEČNÝCH PÍSMEN KE ZTRÁTOVÝM KATEGORIÍM (5)	8
TABULKA 4 DEFINICE BAREV V DIAGRAMU	22
TABULKA 5 VYČÍSLENÍ VÝMĚNY.....	24
TABULKA 6 VYČÍSLENÍ VÝMĚNY KONEKTORU.....	25
TABULKA 7 VYČÍSLENÍ VÝMĚNY KABELU	25
TABULKA 8 VYČÍSLENÍ VÝMĚNY JUNCTION BOXU A DIOD.....	25
TABULKA 9 VYČÍSLENÍ VÝMĚNY DIODY.....	26
TABULKA 10 VYČÍSLENÍ DIAGNOSTIKY VACH A TERMOGRAFIE	26
TABULKA 11 ROZHODUJÍCÍ TABULKA O VÝMĚNĚ.....	40
TABULKA 12 VSTUPNÍ ÚDAJE REÁLNÉ ELEKTRÁRNY	48
TABULKA 13 PRŮMĚRY SKUTEČNÉ A NAMODELOVANÉ VÝROBY	49
TABULKA 14 PARAMETRY K OPTIMISTICKÉMU SCÉNÁŘI.....	52
TABULKA 15 PARAMETRY A VYHODNOCENÍ K OPTIMISTICKÉMU SCÉNÁŘI VERZE 1	52
TABULKA 16 PARAMETRY A VYHODNOCENÍ K OPTIMISTICKÉMU SCÉNÁŘI VERZE 2	53
TABULKA 17 PARAMETRY K PESIMISTICKÉMU SCÉNÁŘI	55
TABULKA 18 PARAMETRY A VYHODNOCENÍ K PESIMISTICKÉMU SCÉNÁŘI VERZE 1	55
TABULKA 19 PARAMETRY A VYHODNOCENÍ K PESIMISTICKÉMU SCÉNÁŘI VERZE 2	56

Úvod

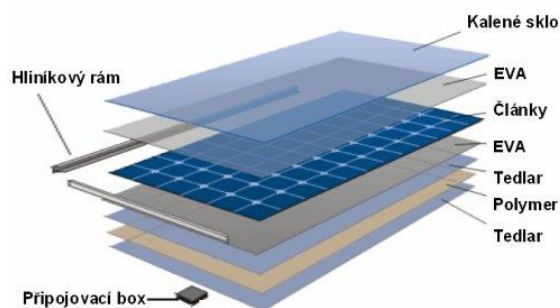
Mezi roky 2009 až 2011 byl největší rozmach výstavby fotovoltaický (FV) elektráren, které byly extrémně dotované. Stal se z toho velmi výhodný byznys. Každý, kdo v tom uviděl příležitost utržit nějakou tu korunu a měl potřebné finanční prostředky, na tom následně vydělal. S vysokou poptávkou výstavby přicházela také hra s časem. Zelený bonus a výkupní ceny byly omezené na roky a lidé se předháněli, aby měli tu nejlepší dotaci. Občas ale nepřemýšleli nad budoucností elektrárny. Používaly se nekvalitně vyrobené moduly a další komponenty, jen aby honbu s časem vyhráli a dostali potřebnou licenci udávající, že elektrárna je schopna provozu v tu chvíli, ve kterou potřebovali. Špatně vyrobené komponenty a dále i špatná manipulace nevyškolených pracovníků přispěly a dodnes přispívají k následné nepřírozené degradaci, kterou při stavbě nikdo moc neřešil.

Cílem této práce je zkategorizovat vážnosti vad, které mohou vznikat, uvést k nim pravděpodobný vývoj vlivu na výkon, vyčíslit možné ztráty a vyhodnotit konkrétní případ.

Otázka degradace FV modulů je velmi čerstvé téma a nelze stoprocentně říci, jaká vada bude mít jaký dopad a kdy se tento problém projeví. Při vytváření této práci se budu snažit vycházet z různých výzkumů z celého světa, které se tímto problémem zabývají. Výzkum je v některých oblastech rozvinutější, ale chybí jistota.

1 Struktura FV modulu

Práce je převážně zaměřena na krystalické typy FV modulů. Fotovoltaický modul se skládá ze sériově a paralelně zapojených FV článků. Sériové zapojení pro dosažení vyššího napětí a paralelní zapojení pro dosažení vyššího proudu. Články sami o sobě špatně odolávají klimatickým změnám, proto musí být zality do ochranného obalu sendvičové struktury lepeného silikonem do hliníkového rámu. (1)



Obrázek 1 Struktura FV modulu

1.1 Sklo

Zpravidla svrchní vrstva celého modulu je tvořena válcovaným sklem pokrytým antireflexní vrstvou (2), které odolává mechanickým a klimatickým změnám, je levné, stabilní, vysoce transparentní a má dobré samočistící vlastnosti. Od vrchního skla se vyžaduje vysoká propustnost v rozmezí vlnových délek od 350 nm do 1200 nm. Tyto vlnové délky jsou ideální pro fungování FV článku. Dalším požadavkem je nízká reflexivita. Nanáší se antireflexní vrstva, která však ne vždy vydrží klimatické podmínky v místě instalace. Druhou možností, jak zabránit reflexivitě, je zdrsňování povrchu. Při této metodě však hrozí větší znečištění od prachu a nečistot, které se pak v modulech usazují a špatně se smývají deštěm a větrem. Znečištění způsobuje sníženou transparentnost modulu. Samotné sklo může prasknout nebo se poškrábat v důsledku neopatrného zacházení při transportu a v důsledku přírodních vlivů. Obě varianty vedou k nežádoucímu snížení transparentnosti. (3)

1.2 EVA (etylen vinyl acetát)

Pod sklo se pokládá EVA fólie, která přispívá k vysoké propustnosti a nízké odrazivosti slunečních paprsků. Nezpracovaná EVA fólie má nažloutlou barvu a její

povrch je zdrsňený. Po výrobním cyklu, kdy se laminuje fólie, FV články a Tedlar ve vakuu při teplotě 150 °C, se díky polymeraci její struktura zprůhlední a dojde k jejímu vytvrzení. (3).

Od fólie EVA se vyžaduje vysoká kvalita a životnost, neboť snížením optické transparentnosti se sníží výkon FV modulu. Zbarvení EVA je však velmi běžné a objevuje se v důsledku UV záření a tepelného namáhání. Zabránit tomu faktu, by měly příměsi, které nejsou vždy přidány v optimálním množství. (4) Dalším problémem, který se zde objevuje, se nazývá delaminace, což oddělování EVA od vrchního skla, případně článků nebo zadní vrstvy modulu. Dochází opět ke snížené transparentnosti a porušení chemicko-mechanických vazeb. K rozšíření tohoto jevu přispívá vlhkost, která může dále způsobit korozi článků ve FV modulu, a tím i snížení výkonu. Rozlišujeme delaminaci v přední části modulu a v zadní části modulu (5).

1.3 Tedlar

Zadní stěnu FV modulu většinou tvoří vrstvy Tedlar - polymer. Především plní funkci ochrany před přírodními vlivy a dotykem živých částí (4). Zpravidla se jeví jako velmi odolná, ale zničit ji může přehřívání sběrnic modulu, kdy se objeví tmavé skvrny. Toto představuje bezpečnostní riziko a může dojít i k požáru. (5)

Zvláštní skupinou jsou pak moduly ve skladbě sklo-sklo, kdy zadní i přední stěnu tvoří sklo. Výrobci si od této konstrukce slibují výrazně větší odolnost proti mechanickému poškození článků. Pro objektivní zhodnocení vlivu této technologie ale nejsou v současné době dostupná historická data.

1.4 Junction box, překlenovací diody

Junction box (také nazývaný jako připojovací box) je umístěn na zadní straně modulu, kde slouží jako ochranný obal pro překlenovací diody. Zároveň slouží junction box jako propojení vnitřní a vnější struktury modulu, vedou od něj kabely s konektory k připojení k měničům. Jako překlenovací diody (také nazývané bypass diody) se využívají Schottkyho diody (4) s běžnými parametry 45 V/20 A, kvůli jejich nízkému úbytku napětí v závěrném směru. Jejich užití je velmi významné, neboť chrání před tepelným zničením nebo značným poklesem výkonu kvůli zastínění.

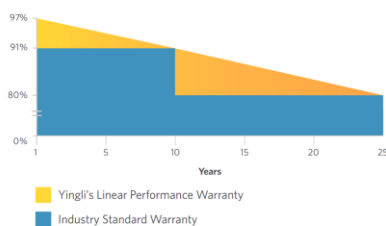
2 Fungování elektrárny

2.1 Záruka kvality výkonu

Životnost modulu je zhruba 25-30 let. Výrobce garantuje, že dodávaný modul je bez defektu a pokud se defekt objeví, tak zaručuje výměnu. Tento typ garance se realizuje nahrazením vadného modulu nebo vrácením peněz. Podrobněji je reklamační proces popsán v kap. 7.8. Výrobce garantuje, že výkon P_{MAX} uvedený v datovém listu dodaného modulu

- a) se nesníží o více než 10 % v průběhu 10 let a
- b) nesníží se o více než 20 % v průběhu 25 let. (8)

25 Years Linear Warranty



Obrázek 4 Ukázka 25leté garance poklesu výkonu (9)

Někteří výrobci dokonce přistoupili k tomu, že garantují průběh garančního poklesu, což je velmi výhodné pro spotřebitele a pro případný průběh reklamace.

2.2 Skutečný degradační pokles

Rozlišuje se garanční a skutečný degradační pokles. Výrobci do garančního poklesu uvažují i pravděpodobnost výskytu vad. Rychlost přirozeného poklesu krystalických modulů se pohybuje v rozmezí od 0,17 % (na území Švédska) do 1 % (na území Libye) za rok (10). Rychlost poklesu závisí především na klimatu a kvalitě modulů. Toto uvažuji v ekonomického modelu, kdy pro Českou republiku, díky mírnému podnebí, zvolím rychlost přirozeného poklesu K_{pr} mezi hranicemi od 0,12 % do 0,4 % za rok.

2.3 Vlivy ovlivňující fungování elektrárny

Vlivy, které snižují výkon elektrárny, můžeme dělit na krátkodobé a dlouhodobé. Do dlouhodobých vlivů patří právě poruchy, jejichž průběhy jsou popsány ve ztrátových kategoriích. V krátkodobých vlivech se zkoumá intenzita slunečního záření a teplota. Snižováním intenzity slunečního záření se přímo úměrně sníží hodnota proudu nakrátko. Zvýšená teplota FVČ se projeví nepřímo úměrně k napětí naprázdno. Vlivy se mezi sebou mohou kombinovat.

Vady, které vznikají na FV elektrárně mají příčiny ve třech bodech:

- Chyby ve výrobě, využití nekvalitních materiálů,...
- Lidský faktor – špatná manipulace, uskladnění, instalace,...
- Klimatické příčiny – blesk, krupobití, sníh, UV záření,...

2.3.1 STC (Standart testing conditions)

Za standardních testovacích podmínek se měří jmenovitý výkon modulu. Jedná se o přesně danou intenzitu záření $1\,000\text{ W/m}^2$, teplotu 25 °C a koeficient atmosférické masy AM 1,5. Za těchto podmínek se pak zjišťuje pomocí laboratorních flash testů, které dokážou nasimulovat tyto podmínky, jaký je stav modulu v průběhu stárnutí, aby výsledky byly relevantní a porovnatelné.

3 Kategorizace vad

3.1 Definice vady

Dle zdroje (5) se porucha neboli vada dá popsat jako na jev, který snižuje výkon celého modulu nebo způsobuje bezpečnostní riziko. Tento jev nejde zvrátit běžnou údržbou. Každá porucha FV modulu má svou bezpečnostní kategorii a určenou ztrátovou kategorizaci.

3.2 Definice bezpečnostní poruchy a bezpečnostní kategorie

Bezpečnostní porucha je taková porucha, která může ohrozit někoho, kdo pracuje nebo manipuluje s FV moduly nebo se pohybuje v blízkosti FV modulů. Definovány jsou tři bezpečnostní kategorie, podle kterých se určuje, jak závažná porucha je (5).

Bezpečnostní kategorie	Popis
A	Porucha nemá vliv na bezpečnost
B (f,e,m)	Porucha může způsobit požár (fire-f), zásah elektrickým proudem (electrical shock-e) nebo fyzický úraz (physical danger – m), pokud se porucha rozšíří nebo se objeví další porucha.
C (f,e,m)	Tento typ poruchy způsobuje přímé ohrožení výše definovaných f,e,m

Tabulka 1 Souhrn bezpečnostních kategorií (5)

3.3 Ztrátové kategorizace

Ztrátová kategorizace určuje, jak se bude vada v průběhu času vyvíjet.

Kategorie ztráty	Popis
<u>A</u>	Výkonová ztráta <3%
<u>B</u>	Exponenciálně tvarovaná výkonová ztráta
<u>C</u>	Lineárně tvarovaná výkonová ztráta
<u>D</u>	Výkonová ztráta se ustálí v průběhu času
<u>E</u>	Degradace ve skocích
<u>F</u>	Smíšené degradační typy

Tabulka 2 Souhrn ztrátových kategorií (5)

Ve ztrátových kategoriích se uvádí i dodatečné písmeno, které informuje o závislostech, které zvyšují ztrátu výkonu. Pro příklad uvádím lineární

degradaci $C(t,h,u)$, která uvádí, že ztráta výkonu se bude zvyšovat s teplotou, vlhkostí a UV zářením. (5)

Přidané písmeno	Zvýšení výkonových ztrát kvůli
t	Teplota
v	Napětí
i	Proud
h	Vlhkost
m	Mechanické napětí
tc	Tepelné cykly
s	Stínění
u	UV záření

Tabulka 3 Souhrn dodatečných písmen ke ztrátovým kategoriím (5)

4 Jednotlivé poruchy objevující se na krystalických modulech

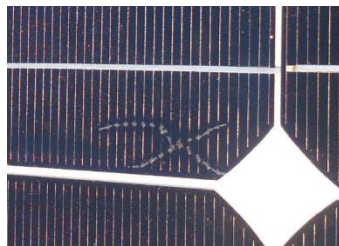
4.1 Mikropraskliny a praskliny FV článků, ulomené články

Bezpečnostní kategorie: B(f)

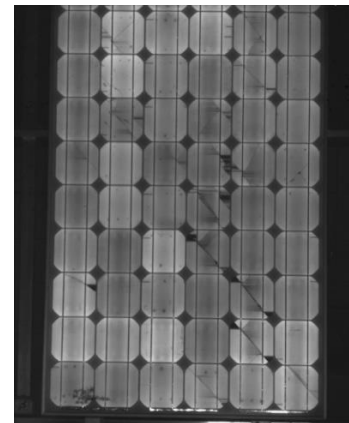
Ztrátová kategorie: D, E

4.1.1 Popis

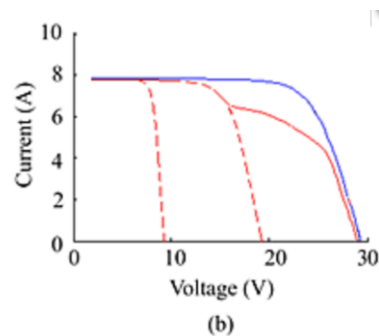
Praskliny a ulomené články jsou viditelné vizuální kontrolou, ale jejich rozsah zjistíme až pomocí diagnostických technologií. Velice efektivně se jeví elektroluminiscence nebo termografie. Mikropraskliny se jeví jako náročnější na zjištění a využívá se především elektroluminiscence k jejich zviditelnění.



Obrázek 5 Ukázka praskliny v kombinaci se šnečími cestami



Obrázek 6 Ukázka modulu s prasklými články z luminiscenčního testu



Obrázek 7 Voltampérová charakteristika, kde modrá křivka značí modul, který je v pořádku a červená křivka značí modul s nalezenými hotpoty (11)

Voltampérová charakteristika (dále uváděno jako VACH) na obrázku č. 7 byla vytvořena na poškozeném modulu s vznikajícími hotspoty, které byly způsobeny mikroprasklinami. Vlivem této vady se spojení článků od sebe oddělují a vzniká neaktivní plocha. Tím se VACH chová jako by byl FVČ zastíněný.

4.1.2 Příčiny, řešení, doporučení

Příčiny mikroprasklin se dají rozdělit do tří kategorií: vzniklé během výroby, během transportu, kdy vznikají nebezpečné vibrace, nebo během své funkce na elektrárně. Poslední z vyjmenovaných se objevuje nejčastěji, a to v důsledku zátěže ve formě sněhu nebo špatného konstrukčního řešení, kdy vznikají pnutí, které působí na modul. Nebezpečím se stává i chození po modulech, které je velmi časté při instalaci elektrárny. Z mikroprasklin se v průběhu času stávají viditelné praskliny FV článků. V průběhu času se mohou, ale nemusí vytvořit šnečí cesty. Ulomené články jsou jasná výrobní vada. V momentu propájení jednotlivých článků nebo manipulace s nimi se může stát, že se články poškodí. Při poslední vizuální kontrole by se mělo předejít usazení poškozených článků do rámu.

4.1.3 Prognóza

U mikroprasklin se vada téměř neprojevuje. V dalším stádiu praskliny velice záleží na rozsahu poškození. Rozdělují se čtyři základní druhy prasklin, které určují rozsah ztrátovosti a bezpečnostní kategorii. (5)

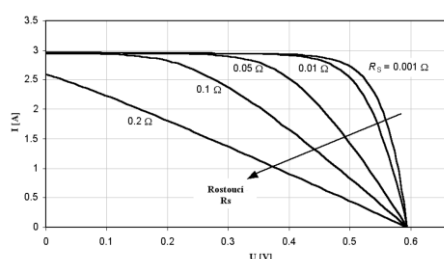
- Prasklina, která nemá vliv na tok proudu. Prasklina se jeví bez odporu, který by snižoval proud. – Neprogresivní prasklina. Bezpečnostní kategorie A
- Prasklina, která má vliv na tok proudu. Článek je však pořád připojen. – Progresivní prasklina. Bezpečnostní kategorie typu B(f).
- Prasklina, která rozděluje části FV článku. – Progresivní prasklina. Bezpečnostní kategorie typu B(f).
- Prasklina skrz celý článek – cross crack. – Progresivní prasklina. Bezpečnostní kategorie typu B(f).

Dle studie (12) výzkumníci testovali několik modulů a zjistili, že ne všechny praskliny vedou k elektrickému přerušení vazeb a výkonové degradaci, což právě navazuje na téma progresivních a neprogresivních prasklin, které jsou popsány výše. Více o této problematice se dá právě zjistit zde (12).

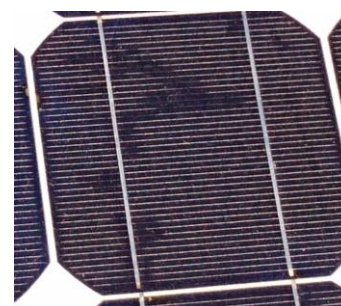
Mikropraskliny dále souvisí s hotspotsy, které se začnou tvořit po jejich objevení. S tím souvisí právě riziko požáru.

Ulomené články mají samozřejmě vliv na ztrátu účinnosti modulu. Závisí to na ploše, která v daném místě chybí. Pokud je u ulomených článků poškozeno i spojení, tak se zvyšuje hodnota sériového odporu R_s , což můžeme vidět na VA charakteristikách na obr. č. 9. V souvislosti s další poruchou hrozí riziko požáru.

Všechny jmenované poruchy mají nespécifikovanou možnost růstu.



Obrázek 8 Vliv sériového odporu na VACH FV článku (6)



Obrázek 9 Ukázka modulu poškozeným šnečími cestami

4.1.4 Snail trails (Šnečí cesty)

Popis

Šnečí cesty jsou poruchy, které je možné spatřit pouhou vizuální kontrolou. Jsou identifikací, že se na místě výskytu nachází prasklina či mikroprasklina, neboť jsou jejich přímým důsledkem. Objevují se po pár měsících, kdy jsou moduly vystaveny přírodním vlivům (13). Jedná se o zabarvení stříbrných spojů FV článku pod laminační vrstvou EVA (5). Šnečí cesty se buď objevují na okrajích článků, nebo podél žebec a sběrnic FV článku.

Příčiny, řešení, doporučení

Samy o sobě nezpůsobují šnečí cesty žádnou ztrátu na výkonu. Tvoří se na základě výskytu mikroprasklin, které pak způsobují ztráty v pokročilé fázi rozvoje.

Při vytvoření šnečích cest dochází k reakci na rozhraní stříbra a polymeru. Tam se rozpustí sloučeniny a skrz mikropraskliny nebo mikrotrhlíny v Tedlaru se dostane vlhkost až ke stříbrným spojům, kde vzniká vnitřní chemická reakce s následnou migrací stříbra (13). Z toho vyplývá, že výběr kvalitních materiálů na zadní stranu

modulu je velmi důležitý, rozhodující je i tloušťka EVA fólie. UV záření, přítomnost elektrického pole a vyšší teplota spouštějí celý proces, a tím dochází k přesunu stříbra do EVA fólie (13). Další podmínkou je přítomnost síry, fosforu nebo chloru, nacházející se v polymeru (EVA, Tedlar).

Prognóza

V konečném důsledku může dojít až k rozložení spojů, a tím i ztráty vodivosti. Je třeba pravidelně tento jev kontrolovat.

4.2 PID (Potential Induced Degradation)

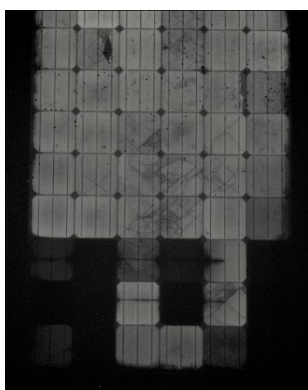
Bezpečnostní kategorie: A

Ztrátová kategorie: B(v, h, t)

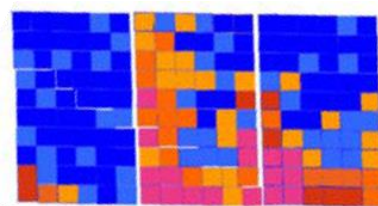
4.2.1 Popis

Jedná se o nevizuální poruchu, kterou lze zjistit pomocí elektroluminiscence nebo termografie. Na termografických snímcích jsou pak vidět oblasti článků se zvýšenou teplotou, většinou u spodní části rámu. Charakteristické je, že se jednotlivé FVČ v oblasti liší od sebe jen o pár stupňů. V některých případech se objevovaly i vizuální defekty jako koroze ve spojení s vlhkostí. (14)

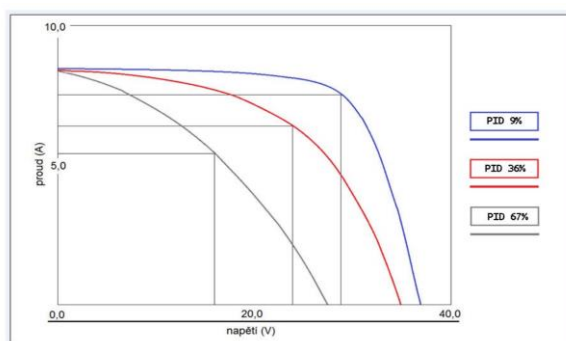
Diagnostika termografie se jeví jako nejjednodušší a není třeba přinášet FV moduly do laboratoře. V elektroluminiscenčních snímcích pak vidíme tmavou oblast FVČ, která je napadena PID defektem, opět ve spodním bloku modulu. Tento způsob je komplikovanější právě z důvodu nutnosti laboratoře.



Obrázek 10 Ukázka elektroluminiscenčního snímku modulu napadeného PID defektem



Obrázek 11 Ukázka termografického snímku modulu napadeného PID defektem (5)



Obrázek 12 VACH napadeného modulu PID defektem ukazující vliv procentuálního zastoupení poškození (15)

Jak je vidět z obrázku č. 12, PID způsobuje výkonové ztráty až 70 %, kdy v pokročilé fázi dochází vlivem iontů k mikrokratům (4), tím se nenávratně ničí struktura modulu. Z měřených VA charakteristik se dá vyčíst, že se zvýšením procentuálního zastoupení PID efektu v modulu, klesá napětí naprázdno, proud nakrátko zůstává stejný. Pracovní bod se pohybuje v nižších rovinách, a tím i Fill faktor klesá a klesá celkový výkon modulu. S klesajícím napětím mohu konstatovat, že se paralelní odpor snižuje díky vznikajícím svodovým proudům.

4.2.2 Příčiny, řešení, doporučení

Samotný děj se projevuje v důsledku záporného potenciálového napětí mezi FV články a hliníkovým rámem, který je uzemněn. Vlivem záporného napětí může dojít ke vzniku svodových proudů při přestupu elektronů z FV článku, které se vlivem napětí uvolní, do hliníkového rámu a vytvoří tok proudu (16). Příčinami může být

právě bezpečnostní uzemnění FV rámu, mnoho FV článků zapojených do série, což způsobuje velké napětí, nebo použití galvanicky neodděleného střídače, kde nemůže být záporný pól stringu uzemněn. Výrazně k tomuto jevu napomáhá vlhkost a vyšší teplota, které urychlují pohyblivost nosičů náboje. (5)

PID závisí na dvou hlavních faktorech.

1. Návrh FV elektrárny

Řešením se stává přijatelné přepojení modulů nebo výměna střídačů.

2. Použití vhodných materiálů

Volba skla hraje významnou roli, neboť dle mnoha výzkumů látky obsažené ve sklu jako sodík, draslík, hořčík atd., kladně podporují vznik svodového proudu. Dalším problémem je vlhkost, které s kombinací s EVA folii vytváří kyselinu octovou, ta může být pak zodpovědná za rozpouštění kovových iontů, která způsobuje korozi, která byla také objevena v důsledku PID. (14) Řešením se ve fázi výroby může stát použití oxidu křemičitého jako difúzní bariéry mezi sklem a FV článkem. (1) Cílem budoucích výzkumů bude vytvořit modul, který nebude citlivý k jevu PID, což se dle tvrzení výrobců daří. (9)

PID lze částečně zvrátit přiložením opačného napětí, kdy způsobíme opačný směr migrace iontů a dosáhneme částečného návratu k původním hodnotám výkonu FV modulu. Urychlit tento děj můžeme vložením do prostředí se zvýšenou vlhkostí a teplotou.

4.2.3 Prognóza

Tato porucha se od ostatních liší tím, že je částečně vratná.

Jak už bylo řečeno, tak ztráty mohou být ve výši až 70 % celkového výkonu. V okamžiku, kdy se kompletně poruší struktura modulu vlivem pohybu iontů, nehrozí žádné přímé nebezpečí, ale dojde k rapidnímu snížení napětí modulu na prázdno a díky tomu poklesne napětí stringu pod minimální hodnotu pro funkci MPP trackeru měniče. Toto je poslední fáze PID defektu, kdy jsou moduly nevratně poškozeny.

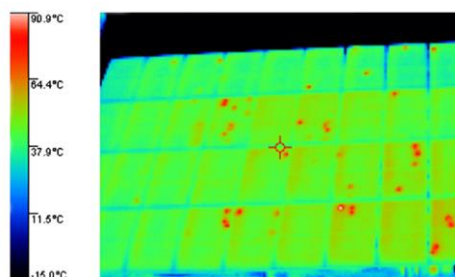
4.3 Hotspoty

Bezpečnostní kategorie: B/C(f,m)

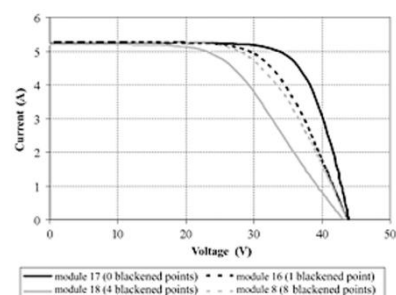
Ztrátová kategorie: D

4.3.1 Popis

Jedná se o běžnou nevizuální vadu, která je opět zjistitelná pomocí elektroluminiscence, termografie nebo hmatem. Vypadá velmi podobně jako PID efekt, který však tvoří určitou strukturu na poškozeném modulu. Hotspoty jsou horká místa tvořící se na celém modulu jednotlivě nebo ve skupinách, kdy se vada odvíjí od nejpoškozenější části (nejteplejší). Vysoká teplota totiž poškozují strukturu dalšího článku a vada se pohybuje.



Obrázek 13 Ukázka termografického snímku modulu poškozeného hotspoty (7)



Obrázek 14 VACH modulu s hotspoty a poškozenou Tedlar vrstvou (blackened points) (7)

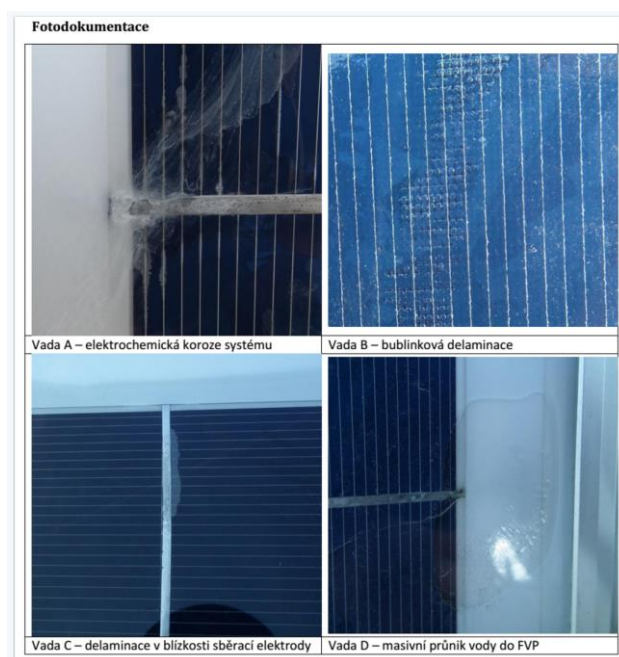
Typické VACH ukazující rozdílné křivky na bezvadném modulu a na poškozeném modulu se nachází na obr. č. 14. Průběh VACH vypadá jako, kdyby byl k modulu připojen paralelně odpor. Pracovní bod se snižuje a tím i výkon. Hodnoty proudu nakrátko I_{sc} a napětí naprázdno V_{oc} jsou neměnné. VACH na obr. č. 14 se vztahuje na hotspoty vytvořené v důsledku špatného pájení spojů a následného poškození Tedlar vrstvy (blackened points). (7)

4.3.2 Příčiny, řešení, doporučení

Hotspot je porucha krystalové mřížky a je znakem mnoha defektů. Patří mezi ně **stínění** (může být i v důsledku vysokého znečištění), kdy stíněný článek obrací polaritu a chová se jako spotřebič, **mikropraskliny/praskliny** (více v kap. 4.2) nebo **špatně připájených spojů**, tam vzniká velký přechodový odpor.

4.4.1 Popis

Jde o vizuální vadu, přičemž se tvoří různé bubliny nebo dutiny na různých částech modulu. Problémem u delaminace je ztráta přilnavosti mezi vrstvami struktury modulu. Rozlišuje se zadní a přední delaminaci, kdy hlavní roli hraje EVA fólie, která nemá ideální přilnavost k dalším povrchům.



Obrázek 16 Různé druhy delaminací

Na obr. č. 16 jsou znázorněny různé typy delaminace. Ve vadě typu A je vidět, že vlhkost pronikla ke sběrním a začala koroze. Ve vadě typu D lze jasně vidět masivní průnik vody u rámu FV modulu, kvůli delaminaci v pokročilejším stádiu. Vada B je delaminace FVČ a fólie EVA.

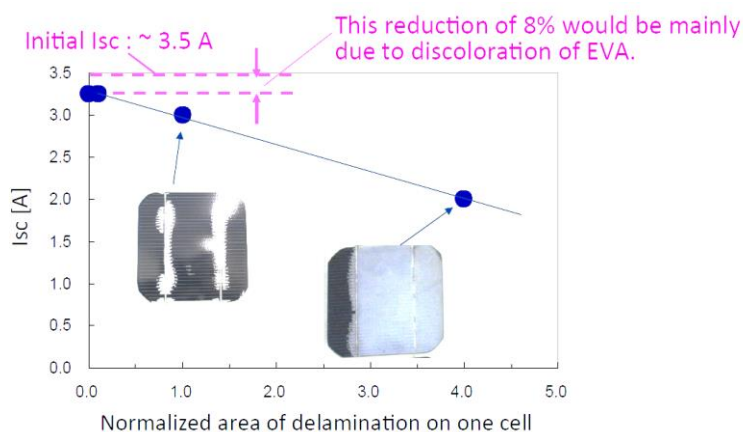
4.4.2 Příčiny, řešení, doporučení

Delaminace se řadí mezi výrobní vady, jelikož není stoprocentně zaručeno, že výrobní laminace bude vždy rovnoměrně nanесena a sklo šetrně ošetřeno. Vlivem tohoto procesu se objevují bubliny, které se dále, vlivem klimatických faktorů, zvětšují na delaminaci. Běžnější je v tropickém podnebí, kde se objevuje vyšší teplota a vlhko. Tyto dva faktory společně s UV zářením výrazně podporují růst tohoto defektu.

4.4.3 Prognóza

U poruchy delaminace záleží na pozici, kde se objevila. Při objevení uprostřed modulu se vada nemusí projevit na výkonu. V okamžiku objevení u okraje modulu nastává

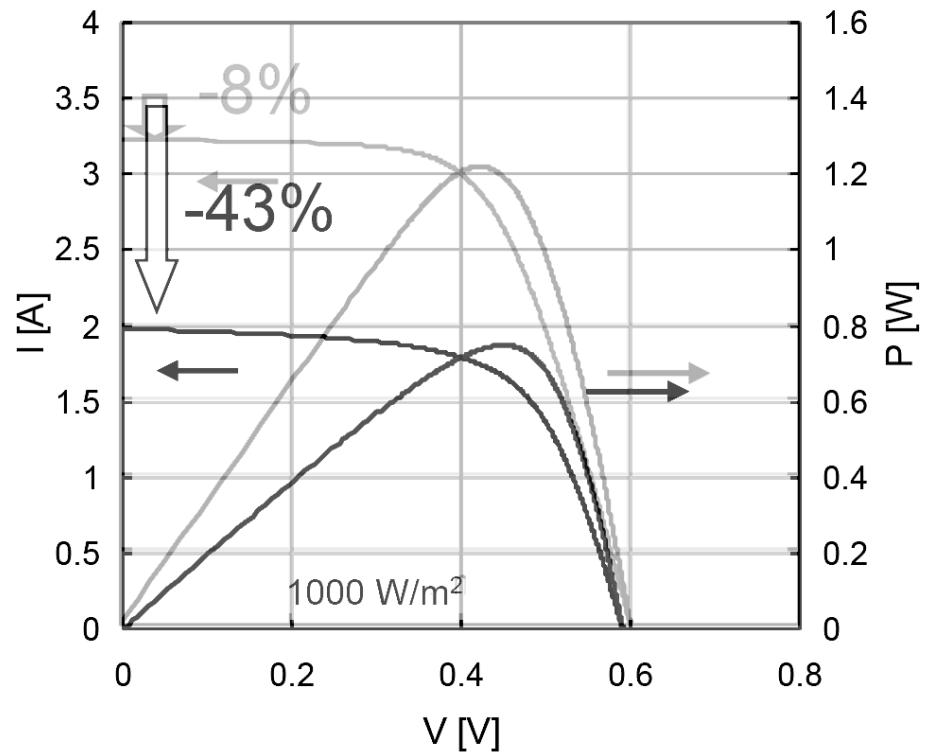
riziko toho, že v důsledku rozklížení do modulu vnikne voda. Pokud vlhkost vnikne do struktury sklo – EVA, tak se opět nic nestane, protože není ohrožena elektrická část. Snížena bude však transparentnost, a tím se článek bude chovat jako stíněný (mohou se objevit hotspots), a tím bude snížen i výkon. Pokud voda vnikne do struktury EVA – FV článek, tak je porušena izolační vrstva a nastává zkrat v místě poruchy. V důsledku toho i riziko zásahu elektrickým šokem. V průběhu nastává koroze spojů vlivem pronikající vlhkosti.



Obrázek 17 Závislost procentuálně poškozené oblasti na proudu nakrátko (18)

Existují dvě vady EVA, které se objevují v důsledku UV záření. Popsaná delaminace je první a druhá vada se nazývá zbarvení EVA fólie, což je důsledek stárnutí EVA. Na 17letém modulu vidíme (obr. č. 17), že zbarvení EVA má za důsledek v tomto případě 8 % ztrátu na proudu nakrátko I_{sc} .

Na obrázku č.17 je vidět, jak moc ovlivňuje zasažená plocha delaminací I_{sc} . Více zasaženou plochou proud nakrátko klesá.



Obrázek 18 VACH poškozeného modulu delaminací (18)

Z uvedených VA charakteristik na obr. č. 18 lze opět vidět, že vlivem delaminace klesá proud nakrátko I_{sc} a napětí naprázdno V_{oc} je neměnné. Světlejší VACH je z modulu, který degradoval vlivem zbarvení EVA a tmavší VACH ukazuje článek na totéž modulu, který podlehl delaminaci z jeho větší části. Proud nakrátko v tomto případě klesl o 43 % než je původní.

5 Metodika k diagramu pro nalezení závady

Diagram, zahrnující všechny typy vad, je pomocným nástrojem k vyhodnocení situace na FVE. Zjištěné vady a jejich dodatečné deskripce jsou vstupními parametry do ekonomického modelu (viz. kapitola 7).

5.1 Předpoklady diagramu

Diagram je vytvořen pro FV moduly instalované mezi lety 2008-2015. Pokud by byl využit pro jiné roky, nemůže být zaručena správnost dat. Technologie výroby FV modulů se stále zlepšuje a už nyní (v roce 2017) výrobci tvrdí, že potlačili výskyt PID vady. Zda je to pravdivé tvrzení se samozřejmě projeví v průběhu dalších 10 let. S tím je spojený možný výskyt dalších vad, které se mohou objevit v důsledku nedlouhodobého testování.

Předpokládám, že vlastníkem elektrárny je právnická osoba a platí správcovskou firmu, která se stará o údržbu elektrárny a její fungování.

Dalším předpokladem diagramu a následně ekonomického modelu je, že vady se mezi sebou nebudou kombinovat přímo na modulech, tzn. na každém modulu najdeme vadu jednoho druhu. Pokud by se tak nestalo, tak by tento model potřeboval na vyhodnocení složitější algoritmus.

Diagram je určen pro servisní firmy, diagnostiky nebo vlastníky elektráren. Cílem tohoto diagramu je informovat, poradit a také najít vstupní data do nástroje pro ekonomické zhodnocení. Celý diagram je zpracovaný na jeden FV modul a je určen především pro elektrárny nad 100 kWp. Nejvhodněji se celý diagram využije na moduly o vyšším výkonu, než je 180 W, což jsou moduly využívané právě na větších elektrárnách.

Při jeho tvorbě jsem vycházela především z tohoto dokumentu (5) a několikrát prošel konzultací odborníků z LDFS. Všechny diagramy jsou přiloženy v přílohách.

5.2 Cenové ohodnocení

U některých částí lze postřehnout cenovku. Procházením diagramu se tyto cenovky sčítají a uživatel pak může zhodnotit, kolik ho stojí daná vada. Ceny jsou orientační a

jejich odůvodnění popsáno především v kap. 5.5. Pokud by se diagram stal podkladem pro tvorbu aplikace, ceny by byly přepisovatelné.

Abych zohlednila časovou hodnotu peněz diskontuji všechny ceny inflací (viz. kap. 7.4) a volím rok, kdy se ceny volily.

Do cen nezapočítávám cenu dopravy, která je jednorázovou položku a nemá vliv na množství modulů, které technik opraví nebo zanalyzuje. Počítám s cenou 10 Kč/km, která se dále projeví v ekonomickém modelu v kap. 7.

5.3 Jednotlivé struktury diagramu

První část diagramu je určena především pro uživatele, kteří se musí rozhodnout o jakou vadu nebo poruchu se jedná. Jako hlavní bloky rozdělení mohu určit viditelné a neviditelné anomálie. Všechny diagramy lze rozdělit do následujících kategorií.

Graf můžeme rozdělit do tří úrovní:

I. Počáteční

Do této úrovně patří počáteční rozhodnutí, o jaký druh vady se jedná. Patří sem diagram s názvem začátek.

II. Rozhodovací

Do rozhodovacího procesu řadím již určené zařazení vad. Jedná se o vady mechanického poškození, elektrického poškození nebo poškození v jiném spektru. Výsledkem je rozpoznání vady, která je dále rozebrána v ukončujících diagramech.

III. Ukončující

Zde se nachází vyhodnocení vady, která se určila pomocí diagramu. Z vyhodnocení pak vyplývají vždy tři závěry:

- a. **Určení bezpečnostní kategorie** – zelené linie vedoucí k bílému elipsovitému útvaru – popsané v tabulce 1. Pokud uživatel spadne do bezpečnostní kategorie C, tak řešením je vždy výměna modulů.
- b. **Určení rady, doporučení** – černé linie vedoucí k zelenému elipsovitému útvaru – jsou dále popsané v následující kapitole 5.5.1.

- c. **Určení průběhu vady** – oranžové linie vedoucí ke žlutému informačnímu útvaru – vychází z tabulky 2. Toto určení průběhu poté slouží jako vstupní parametr do ekonomického modelu.

Z neviditelných anomálií se minimálně rozebírá elektroluminiscence, protože na tuto metodu jsou náročnější požadavky z hlediska provedení. Moduly se musí převést do speciální laboratoře a tam se výsledky i zpracovávají. Ostatní diagnostické metody, jako VACH nebo termografie, jsou prováděny přímo na elektrárně.

5.4 Barevné označení bloků

Pro lepší orientaci v diagramu jsem zvolila barevné rozlišení v co nejvíce kontrastních barvách, aby se uživatel snadno orientoval.

Barva	Účel	Poznámka
Bílá	Rozlišovací, informativní	Určena pro rozlišení vad
Oranžová	Konečné oznámení nebo pokyn	
Modrá	Odkaz	Odkazuje na další diagram
Zelená	Konečné oznámení nebo pokyn, doporučení	
Žlutá	Informativní	Vstupní parametr do ekonomického modelu

Tabulka 4 Definice barev v diagramu

5.5 Údržba a provoz

Údržba se provádí externě, tj. správcovskou firmou. Za hlavní činnosti spadající do údržby se považuje úprava krajiny u FVE (úpravy porostů, sekání trávy...), kontrola bezpečnosti, administrativa, pravidelné revize a preventivní kontroly, denní kontrola funkčnosti elektrárny dle monitoringu, opravy a následné postarání o řádnou recyklaci modulů. Pokud by některá z těchto činností zanedbala, mohla by to mít nepříznivý dopad na celý provoz, a tím i na finanční stránku.

Co se týče ceny za údržbu, tak má firma vyhrazený limit na náklady. V celé práci se počítá s procenty ze základní investice, přičemž v základu je určeno půl procenta z celé investice.

5.5.1 Konečné zelené bloky

Jak jsem již uvedla, z diagramu měly vzniknout tři závěry ke každé vadě. Průběhy vad, které jsou označeny žlutě jsou přímým vstupem do ekonomického modelu. Vzniklé zelené bloky souvisí s bezpečnostními kategoriemi a vytváří návod, co s danou situací dělat a kolik bude daná situace stát. V nákladech v ekonomickém modelu se objevují speciální buňky na doplnění tohoto problému, neboť předpokládám, že tyto aktivity jsou **nad práci běžné údržby**. V následujících kapitolách je zanalyzuji a vysvětlím, jaký je původ zadaných cen.

Doporučené sledování dle rozsahu

Doporučené sledování myšleno dle rozsahu procentuálního poškození na FV modulu. Sledování určí diagnostik dle ostatních parametrů. Typicky však v rozmezí jednorocní až pětiroční kontroly.

Vizuální kontrolu, testování a diagnostiku by dle (19) měl zastávat člověk s dvěma až pětiletými zkušenostmi a vzděláním. Hodinová sazba za tohoto technika se doporučuje 840 Kč. Na inspekci jednoho modulu stráví diagnostik 10 minut, pokud provádí jak vizuální kontrolu, tak i měření VACH a měření termokamerou. Jeho sazba za jeden modul je tedy 140 Kč.

Výměna modulu

Výměna modulu je náročný proces, kdy se musí zajistit doprava modulu na elektrárnu, odpojení stávajícího modulu, aby mohlo dojít k výměně, a hladký průběh celé demontáže a montáže nového modulu. Všechny tyto operace by měly být v režii hlavního elektrikáře, jehož hodinová sazba činí 840 Kč a pomocného elektrikáře, jehož hodinová taxa je 500 Kč/hod. Cena nového modulu se odvíjí od tržní poptávky a nabídky, ale nynější (duben/2017) průměrná **maloobchodní cena** je 4 800 Kč za modul o jmenovitém výkonu 250 Wp, což odpovídá 19 Kč/Wp, tudíž o polovinu více než je burzovní prodej, který činí 12,6 Kč/Wp. Předpokládám, že maloobchodní prodej bude kopírovat průběh burzovních cen, ale bude vždy cenově o polovinu vyšší. Pokud se tedy provádí výměna modulů, počítá se s cenou maloobchodní. Je možné samozřejmě uvažovat množstevní slevu, která by vlastníkovvi při výměně více modulů náležela, ale pro zjednodušení v celém modelu se soustředím jen na maloobchodní. Množstevní slevu uvažuji jen u počáteční investice, kde uvádím cenu 55 Kč/Wp místo ceny, která je daná z vývoje cen FV modulů a upravena o maloobchodní marži, která činí 75 Kč/Wp.

Výměna konektoru

Poměrně běžnou činností jako výměnu konektoru zastává pomocný elektrikář. Předpokládám, že není nutné, aby výměna konektoru trvala déle jak 5 min.

Konektor samice	47 Kč	Konektor samec	35 Kč
Práce elektrikáře 5 minut	42 Kč	Práce elektrikáře 5 minut	42 Kč
Celkem	89 Kč	Celkem	77 Kč

Tabulka 6 Vyčíslení výměny konektoru

Výměna kabelu

S výměnou kabelu povětšinou souvisí i výměna konektoru, proto je uvedena i u bloku. Pro zjednodušení počítám s tím, že délka kabelu je přímo úměrná času, který elektrikář stráví nad opravou.

FV kabel 1 x 6mm ²	30 Kč/m
Práce elektrikáře 5 minut	42 Kč
Celkem	72 Kč

Tabulka 7 Vyčíslení výměny kabelu

Výměna junction boxu

Tato činnost je mírně netypická a komplikovaná. Nejdříve se junction box musí seříznout a poté silikonem připevnit zpět na své místo.

Junction box + 3x dioda	200 Kč (21)
Práce elektrikáře 15 minut	125 Kč
Celkem	325 Kč

Tabulka 8 Vyčíslení výměny junction boxu a diod

Výměna diody

Výměna diody je méně prováděnou činností. Zda se dioda vůbec vymění, závisí především na tom, zda je vůbec vyměnitelná, protože je možné, že je připájená k modulu, a tím pádem by bylo obtížné se k diodě dostat. Diody jsou umístěny v junction boxu, který může být nenávratně poškozen, a tím může dojít i k průniku vody. Z toho vyplývá, že se zkontroluje nejdříve junction box a poté až diody.

Dioda 45 V/20 A	19 Kč (22)
Práce elektrikáře 15 minut	125 Kč
Celkem	144 Kč

Tabulka 9 Vyčíslení výměny diody

Privolání odborníka z laboratoře

Toto doporučení se objevuje především v situacích, kdy neznáme okolní situaci na elektrárně a nedá se z diagramu určit. Jako příklad lze uvést PID efekt, který závisí na druhu měniče, postavení zkoumaného modulu v řadě a ztráty na stringu. Nejlepším řešením je tedy privolání odborníka z laboratoře, který přesně určí i další faktory. Jeho hodinová taxa je 1 200 Kč.

Podezření a doporučené testování na hotspots, PID, bypass diody, ...

Bloky určené na testování vrací daného uživatele do prostřední úrovně diagramu, kterou jsem nazvala v kapitole 5.3 Rozhodovací. Z tohoto místa pak může zpětnými propojeními se vracet na upřesňující bloky Rozhodovací struktury a rozhodovat, zda je podezření na vadu správné.

5.5.2 Diagnostika VACH, diagnostika termografií

Zpracování voltampérové charakteristiky provádí firma, která se zaměřuje na diagnostiku. Není vyloučena, že to může být správcovská firma, se kterou vlastník spolupracuje. Daná společnost může dodat jen vypracovaná data nebo i jejich vyhodnocení.

U diagnostiky termografie vzniká totožný případ jako v případě diagnostiky VACH. Jedná se o službu, kterou daná společnost zpracuje s vyhodnocením nebo jen vypracuje a dle diagramu jde dále zjistit, jaká vada se objevuje. Vyčíslení je stejné jako v diagnostice VACH.

Služba	11 Kč
Celkem	11 Kč

Tabulka 10 Vyčíslení diagnostiky VACH a termografie

6 Simulace závad

Důležitou součástí ekonomického vyčíslení je správné určení průběhu vad, a tím i výnosu.

Simulace závad je zpracována na instalovaný výkon celé elektrárny. FVE se skládá z modulů stejné značky, ale většinou z různých sérií, které mohou mít různé zpracování, zejména u asijských výrobců. Zvláště u jednotlivých sérií se dá zpozorovat různá citlivost na jednotlivé vady. V ekonomickém modelu se zadává procentuální zastoupení každé vady.

Simulace závad jsou vytvořeny na základě ztrátových kategorií z tabulky 2 a jsou součástí ekonomického modelu. Přidána je jedna funkce typu D, neboť je jednou z nejrozšířenějších průběhů vad. Zahrnuji případ, kdy se objeví dvě vady stejného průběhu, ale s jinými počátečními parametry (doba objevení, rozsah...). Toto opatření samozřejmě můžeme udělat i s dalšími typy, ale pro zjednodušení jsem vybrala jen vadu typu D. V rozšíření do aplikace by se toto řešilo pomocí využití objektů.

U každého průběhu je možné nastavit dobu, kdy se zpozorovala, a tím zpřesnit výsledky modelu.

6.1 Postup a orientace v simulaci závad

Prvním krokem mimo model je vůbec zjištění vad, které se provede pomocí diagramu. Jak už bylo řečeno, každá vada má svůj ideální průběh, který je zjistitelný z konečných bloků diagramu. Pro simulaci využívám právě jej. Další důležitou informací je **evidence počtu napadených modulů**, což by mělo být v kompetenci správcovské firmy.

Jelikož jsou vady součástí ekonomického modelu, jako druhý krok bych považovala vyplnění vstupních údajů do prepisovatelných modrých polí. Uživatel může určit počet instalovaných modulů, jejich výkon, koeficient poklesu výkonu atd.

Třetím krokem a zároveň prvním krokem v samotné simulaci (list Simulace závad) je zapnutí a vypnutí určitých typ vad. Zvolením ON/OFF (1/0) se určí nalezené průběhy vad zjištěné z diagramu.

Druhým krokem v samotné simulaci navolím koeficienty postupu vad a rok, kdy se daná vada objevila. Třetím krokem je pak zadání počtu poškozených modulů danou vadou S_{A-E} a zároveň množství nepoškozených modulů S_0 .

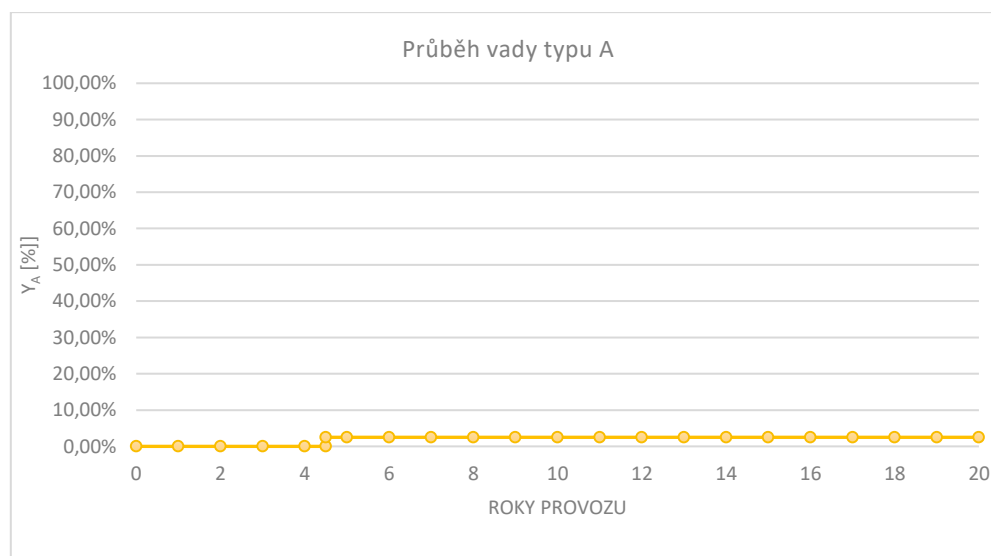
6.2 Ztrátová kategorie A

Do této kategorie se řadí výrobní vady, které ve většině případů nemají bezpečnostní riziko a na výkon mají minimální vliv (5). Dále se zde objevují vady, u kterých se nepředpokládá progresse a bezpečnostní kategorie je zde typu B, tudíž v kombinaci s dalšími vadami se může způsobit bezpečnostní riziko (5). Typickým příkladem jsou některé druhy prasklin.

Jedná se o konstantní průběh, jehož roční ztrátový koeficient nepřesahuje 3 % z instalovaného výkonu. Do této kategorie se řadí i naprosto neporušené moduly. Průběh lze matematicky vyjádřit takto:

$$y_A(t) = \begin{cases} 0\%; & t \in \langle 0; g_A \rangle \\ k_A; & \text{pro } k_A \in \langle 0; 3\% \rangle, t \in \langle g_A; 20 \rangle \end{cases} \quad (1.3)$$

kde k_A je procentuální pokles výkonu a nachází se v intervalu od 0 % do 3 %. Pro projevení funkce je podmínkou, aby rok provozu t se rovnal roku objevení g_A .



Obrázek 20 Průběh vady typu A (povšimněte si velmi malé ztráty v porovnání s vadami B-E)

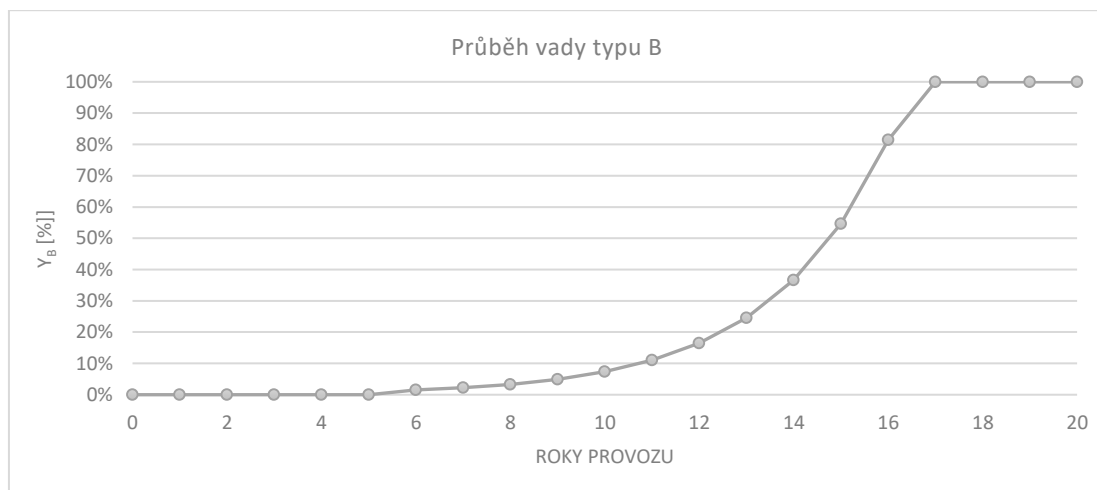
Parametry z obrázku 20: $k_A = 2,5\%$; $g_A = 5$.

6.3 Ztrátová kategorie B

Tento typ představuje nejrychlejší postup vady ze všech jmenovaných. S časem se tedy vada rozvíjí a rozšiřuje. Typický příklad se nachází ve vadě PID, která je specifická tím, že začíná v nulovém roce a v počátku není identifikovatelná, díky nízkému úbytku. Dle roku, kdy se vada objeví, mohou určit její koeficient sklonu k_B , který bych pro tento případ doporučila zvolit v intervalu $\langle 0,2;0,4 \rangle$. Záleží samozřejmě na konkrétním modulu a rozsahu poškození. Pro simulaci využívám základu e . Matematicky lze tento průběh popsat takto:

$$y_B(t) = \begin{cases} 0 \% ; \text{pro } \frac{e^{(t-g_B) \times k_B}}{100} \leq 0 \\ \frac{e^{(t-g_B) \times k_B}}{100} ; \text{pro } \frac{e^{(t-g_B) \times k_B}}{100} \leq 100\% , \\ 100 \% ; \text{pro } \frac{e^{(t-g_B) \times k_B}}{100} > 100\% \end{cases} \quad (1.4)$$

kde rok t určuje dobu provozu elektrárny a rok g_B (u PID se rovná nule) určuje rok objevení. Podmínkou pro fungování je, aby t bylo větší nebo rovno g_B .



Obrázek 21 Průběh vady typu B

Parametry z obrázku 21: $k_B = 0,4$; $g_B = 5$.

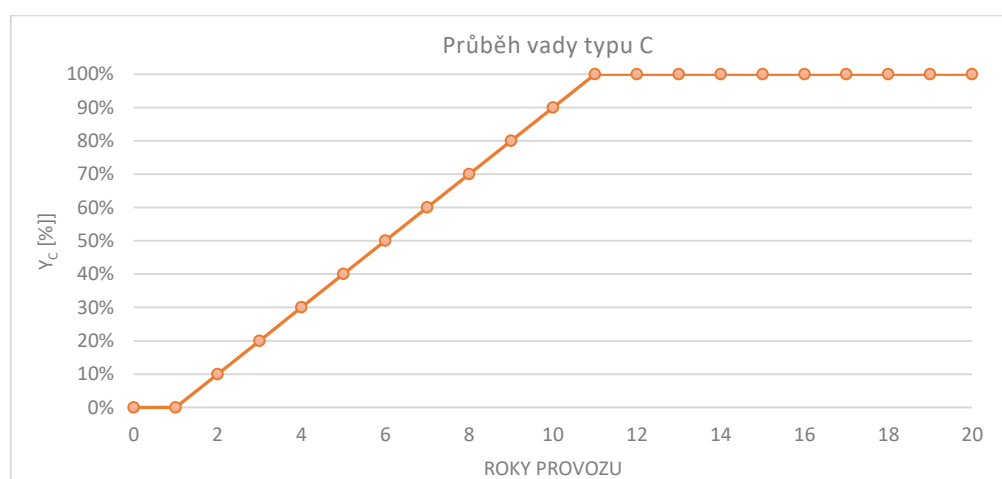
6.4 Ztrátová kategorie C

Ztrátová kategorie C znázorňuje lineární pokles. Předpokládá se, že vada se bude rozvíjet v čase a jedná se především o degradaci vrstev jako EVA fólie nebo Tedlar

vrstvy a ztrátu transparentnosti. Do tohoto průběhu patří některé druhy prasklin nebo tepelné vady jako hotspots. Částečně se uvádí i PID, neboť se zpočátku chová jako lineárně degradující. Z uvedených vad lze vyvodit, že kategorie typu C je jednou z nejčastějších průběhů. Matematicky ji lze napsat takto:

$$y_C(t) = \begin{cases} 0 \% ; \text{pro } k_C \times (t - g_C) \leq 0 \\ k_C \times (t - g_C) ; \text{pro } k_C \times (t - g_C) \leq 100 \% , \\ 100 \% ; \text{pro } k_C \times (t - g_C) > 100 \% \end{cases} \quad (1.5)$$

kde k_C je procentuální pokles, t doba provozu elektrárny a rok g_C určuje rok objevení vady. Opět podmínkou zůstává, že výraz $(t - g_C) \geq 0$.



Obrázek 22 Průběh vady typu C

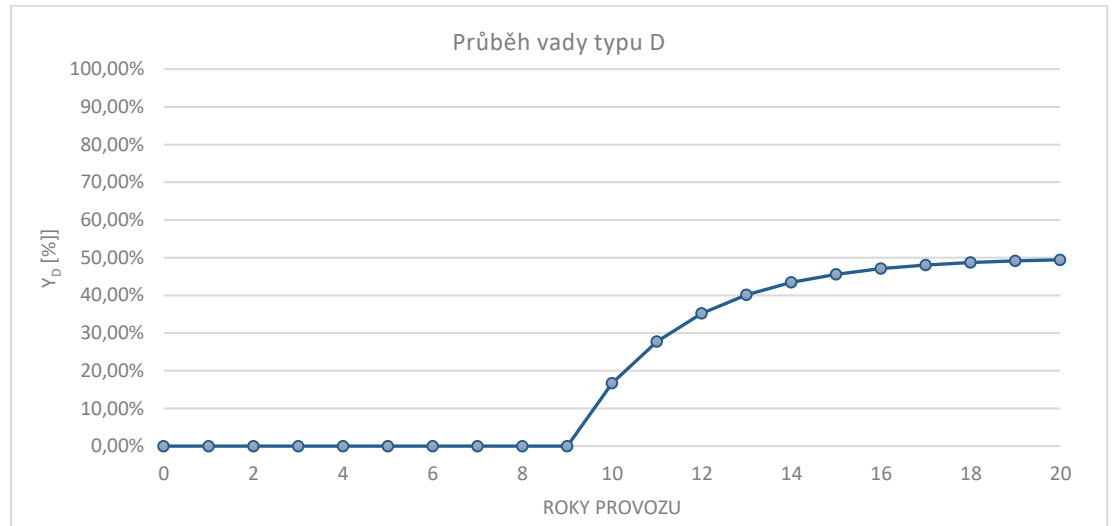
Parametry z obrázku 22: $k_C = 10 \%$; $g_C = 2$.

6.5 Ztrátová kategorie D

Ztrátová kategorie typu D spočívá v tom, že vada je zprvu více činná, probíhá rychleji a časem se ustaluje na konstantní hodnotu. Pro potřeby modelu byla vytvořena funkce exponenciálního typu, jejíž základ je číslo větší než 1. V tomto případě je základ 1,5. Tato kategorie patří opět do nejrozšířenějších a zahrnuje velké množství vad. Jako nejvýznamnějšího zástupce lze uvést delaminaci jak přední, tak i zadní. Pověštinou souvisí tento průběh vady s vyšším bezpečnostním rizikem a objevuje se v kombinaci s kategorií E. Matematicky je tento průběh znázorněn v rovnici č. 1.6.

$$y_D(t) = \begin{cases} 0 \% ; \text{pro výraz } 1 - k_D \times 1,5^{-t+g_D} \leq 0 & (1.6) \\ 1 - k_D \times 1,5^{-t+g_D}; \text{pro výraz } 1 - k_D \times 1,5^{-t+g_D} \leq 100 \% , \\ 100 \% ; \text{pro výraz } 1 - k_D \times 1,5^{-t+g_D} > 100 \% \end{cases}$$

kde k_D je hraniční procentuální hodnota poklesu, t doba provozu elektrárny a rok g_D určuje rok objevení vady. Podmínkou zůstává, že výraz $(t - g_D) \geq 0$.



Obrázek 23 Průběh vady typu D

Parametry z obrázku 23: $k_D = 50 \% ; g_D = 9$.

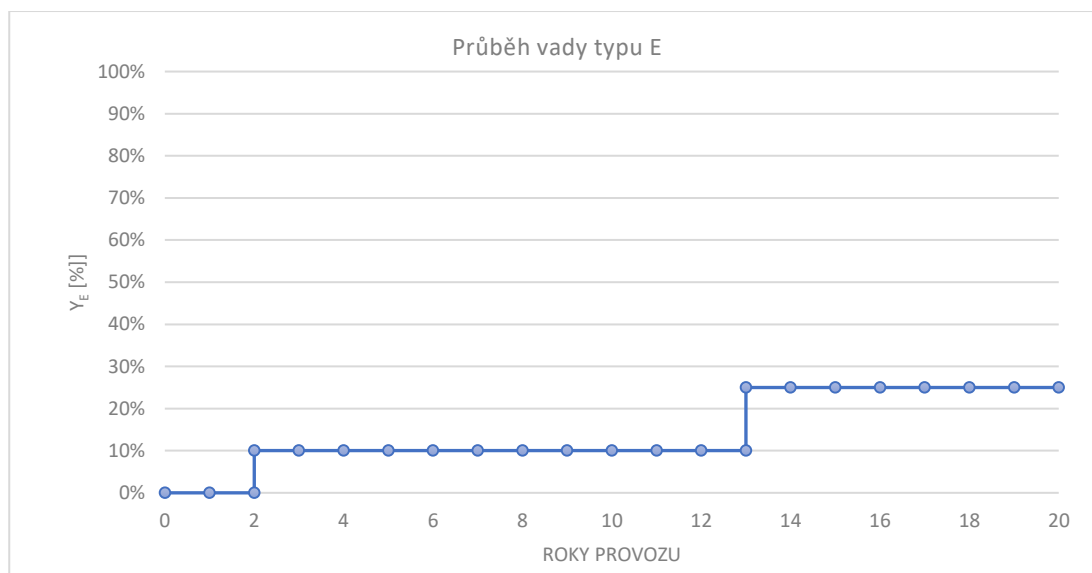
6.6 Ztrátová kategorie E

Schodkovitý průběh je typický především pro progresivní praskliny, které se projevují ve několika skocích v čase, nebo zkratovanou bypass diodou. Dalším příkladem mohou být klimatické příčiny (blesky, krupobití...), které mohou nevratně poškodit část výkonu modulu, a tím se projevit odpadnutou částí. V podstatě se jedná o konstantní poklesy ve modelově stanovených čtyřech fázích. Simulace této kategorie je vytvořena takto:

$$y_E(t) = \begin{cases} k_{E1}; \text{pro } k_{E1} \in \langle 0; 100 \% \rangle; t \in \langle 0; h_{E1} \rangle & (1.7) \\ k_{E2}; \text{pro } k_{E2} \in \langle 0; 100 \% \rangle; t \in (h_{E1}; h_{E2} \rangle \\ k_{E3}; \text{pro } k_{E3} \in \langle 0; 100 \% \rangle; t \in (h_{E2}; h_{E3} \rangle \\ k_{E4}; \text{pro } k_{E4} \in \langle 0; 100 \% \rangle; t \in (h_{E3}; 20 \rangle \end{cases}$$

kde $k_{E1}, k_{E2}, k_{E3}, k_{E4}$ jsou procentuální poklesy výkonu v určitém období. Roky h_{E1}, h_{E2}, h_{E3} jsou ohraničující roky trvání dané vady, přičemž platí, že koeficienty

$k_{E1} \leq k_{E2} \leq k_{E3} \leq k_{E4}$ a zároveň platí, že roky $h_{E1} \leq h_{E2} \leq h_{E3}$.



Obrázek 24 Průběh vady typu E

Parametry z obrázku 24: $k_{E1} = 0\% \leq k_{E2} = 10\% \leq k_{E3} = 10\% \leq k_{E4} = 25\%$ a zároveň platí, že $h_{E1} = 2 \leq h_{E2} = 5 \leq h_{E3} = 13$.

6.7 Určení dopadu kombinace vad

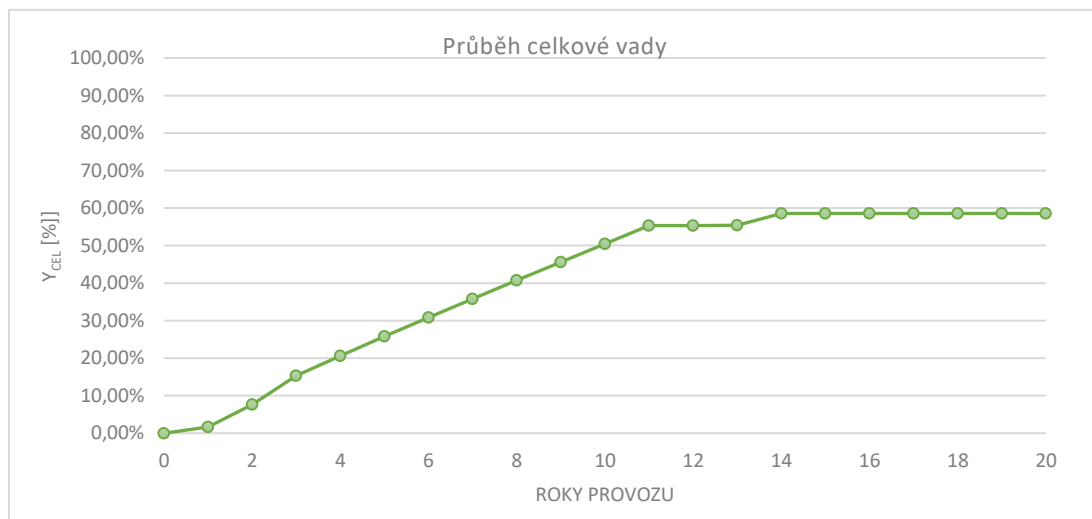
Tato kategorie kombinuje všechny definované vady uvedené v kap. 6.2-6.6. Po nastavení procentuálního zastoupení jednotlivých vad se vytvoří celkový procentuální pokles zahrnující všechny parametry. Vytvořený vážený průměr (VP) je definovaný v rovnici č. 1.8.

$$VP(t) = \frac{S_A \times y_A(t) + S_B \times y_B(t) + S_C \times y_C(t) + S_{D1} \times y_{D1}(t) + S_{D2} \times y_{D2}(t) + S_E \times y_E(t)}{S_0 + S_A + S_B + S_C + S_{D1} + S_{D2} + S_E} [\%], \quad (1.8)$$

kde $y_A(t), y_B(t), y_C(t), y_{D1}(t), y_{D2}(t), y_E(t)$ jsou funkce z kapitol 6.2-6.6. $S_A, S_B, S_C, S_{D1}, S_{D2}, S_E$ jsou procentuální plochy zastoupení jednotlivých vad. S_0 je procentuální plocha modulů bez vad.

Průběh vytvořené celkové funkce se zohledněnými vadami je pak výsledkem právě váženého průměru ve vzorci 1.9.

$$y_{cel1}(t) = VP(t) \quad (1.9)$$



Obrázek 25 Průběh celkové vady

Parametry z obrázku 25: $y_C = 0,1x$; $g_C = 2$; $S_C = 48\%$; $y_A = 0,002$; $g_A = 5$; $S_A = 1\%$; $y_{D1} = 0,5 \times 1,5^{-t}$; $g_{D1} = 0$; $S_{D1} = 10\%$; $k_{E1} = 0$; $g_{E1} = 2$; $k_{E2} = 10\%$; $g_{E2} = 5$; $k_{E3} = 10\%$; $g_{E3} = 13$; $k_{E4} = 25\%$; $S_E = 21\%$;

6.8 Určení celkové vyrobené energie v čase

Po zjištění průběhu $y_{cel1}(t)$ je možné konečně zjistit celkový pokles vyrobené energie, která je uveden v listu Vyrobena energie + opravy, pomocí vzorce:

$$W_1(t) = (1 - y_{cel1}(t)) \times W(t) [MWh], \quad (1.10)$$

kde $W(t)$ je vyrobená energie se zahrnutým koeficientem poklesu K_{pv} , t je rok provozu.

$$W(t) = P_{inst} \times K_{rv} \times (1 - K_{pv})^t [MWh], \quad (1.11)$$

kde P_{inst} je instalovaný výkon FVE, K_{rv} je koeficient ročního využití a K_{pv} je koeficient poklesu výkonu a t je rok provozu.

$$P_{inst} = P_p \times n [MW], \quad (1.12)$$

kde P_p je jmenovitý výkon modulu, při podmínkách STC a n je celkový počet modulů.

7 Ekonomický model

7.1 Základní předpoklady

V rámci zjednodušení se zaměřuji na konkrétní rok, a to rok 2010, kdy byl největší rozmach FVE s větším instalovaným výkonem. Vlastníkem elektrárny bude právnická osoba. Provoz je stanoven na 20 let a na tuto dobu je zároveň stanovena garantovaná výkupní doba. Ekonomický model se přímo zaměřuje na větší elektrárny postavené na volné ploše, jejichž instalovaný výkon přesahuje 100 kWp.

Majitel využil na výstavbu FVE vlastní kapitál.

Celý ekonomický model navazuje na práci Jana Šutky, který v minulém roce obhájil svou bakalářskou práci s názvem Ekonomické vyhodnocení provozu fotovoltaické elektrárny při poruše. K dispozici zde (4).

7.2 Barevné značení a orientace v modelu

V celém modelu je možná změna vstupních parametrů v buňkách označených **modrou barvou**. Přizpůsobení dle požadavků uživatele začíná u vstupních údajů. Dále se pokračuje do Simulace závad, jejíž postup je popsán v kap. 6.1, a po jejím uvedení do provozu se definuje rok opravy a vady, které se mají opravit. Dalším krokem je definování cen za údržbu a reklamaci. Následně se vytvoří zhodnocení a uživatel se dozví, zda se vyplatí výměnu provést či nikoliv.

Změna není možná u roku stavby, neboť se v práci zaměřuji na konkrétní rok 2010. S tím souvisí i nemožnost úpravy výkupní ceny, která je určena pro rok 2010.

7.3 Hodnocení investic

Pro hodnocení investic se rozlišují dvě skupiny ukazatelů (23): statický a dynamický. Všeobecně statické metody neuvažují faktory času a využívají se u krátkodobějších projektů. V práci se užívá metoda dynamická, kdy se právě uvažuje faktor času. Konkrétně se zaměřím na **Čistou současnou hodnotu** (dále jen NPV = Net present value) a jako doplňkovou metodu využiji **Vnitřní výnosové procento** (dále jen IRR = Internal Rate of Return).

Matematicky lze ukazatel NPV vyjádřit takto dle rovnice č. 1.14.

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t \times (1+r)^{-t}, \quad (1.14)$$

kde CF_t je peněžní tok v roce t , r je diskont, T je doba životnosti.

IRR je definováno jako suma diskontovaných peněžních toků rovnající se nule (23), kdy IRR je právě hledaný diskont. Hledáme tedy diskont, při kterém v citlivostní analýze funkce prochází nulou. Matematicky lze zapsat takto (23):

$$0 = \sum_{t=0}^T CF_t \times (1+IRR)^{-t}, \quad (1.15)$$

7.3.1 Diskont

Diskont zahrnuje časovou hodnotu peněz, riziko a vychází z teorie opportunity cost. Pro výpočty uvažuji diskontní sazbu $r = 7\%$. Vychází z doporučení ERÚ z metodiky stanovení výkupních cen a zelených bonusů pro rok 2010, kde se uvádí diskontní sazba $r = 6,3\%$. Zaokrouhluji nahoru, díky drobným odlišnostem v předpokladech a metodiky. Platí, že čím vyšší je diskont, tím je vyšší riziko investice, ale i výdělku. (24)

7.4 Inflace

V projektu musíme zohlednit hledisko inflace, jejíž hodnota určím stabilně na hodnotu 2% , což je dlouhodobý cíl ČNB. (25) Zohledňuji ji především při přepočtu práce, kterou stráví technici na opravě nebo práce, kterou stráví na sledování fungování elektrárny, neboť čísla mám propočtené na současnost a musím počítat s časovou změnou hodnoty peněz.

Přepočtení hodnot provedu matematicky takto:

$$FV = PV (1 + \alpha)^{-t}, \quad (1.16)$$

kde FV je budoucí hodnota, PV je současná hodnota, α je hodnota diskontu/inflace a t je počet let.

7.5 Odpisy

Odpisy udávají peněžní opotřebení dlouhodobého hmotného i nehmotného majetku. Rozlišují se odpisy daňové a účetní.

7.5.1 Daňové odpisy

Problematika daňových odpisů je uvedena v zákonu o daních z příjmu (dále uváděno jako ZDP) č. 586/1992 Sb., § 26-33. Soustředím se na ZDP č. 586/1992 § 30 b, Odpisy hmotného majetku využívaného k výrobě elektřiny ze slunečního záření, kde je uvedeno odepisování rovnoměrně a nepřerušované po dobu 240 měsíců do 100 % vstupní nebo zvýšené ceny. Daňové odpisy se využívají pro určení základu daně z příjmu a pro zjednodušení je uplatňujeme ročně začínajíc v roce 2011. Nezahrnují se do účetnictví, ale jen do daňových nákladů.

7.5.2 Účetní odpisy a zůstatková hodnota

Hlavní účel účetních odpisů spočívá ve znázornění trvalého snížení hodnoty dlouhodobého majetku. Problematiku účetních odpisů řeší 563/1991 Sb. § 28 zákon o účetnictví, kde je řečeno, že účetní jednotky jsou povinny sestavovat odpisový plán, na jehož podkladě provádějí odpisování majetku v průběhu jeho používání do výše jeho ocenění v účetnictví. Odpisový plán si každá účetní jednotka sestavuje sama a měl by věrohodně vyjadřovat průběh snižování hodnoty majetku. Účetní odpisy se objevují pouze v účetnictví a představují náklad. Rozdělují jednotlivé položky dle doby životnosti a v tomto případě se soustředím pouze na FV moduly, které v průběhu životnosti FVE vyměním na základě zjištění výhodnosti potencionální opravy na poškozené elektrárně.

Odepisují ročně po dobu 25 let, což je životnost FV modulů. Po odepsání v každém roce je možné zjistit zůstatkovou hodnotu majetku, která určuje sníženou skutečnou hodnotu majetku. Pokud se provede výměna FV modulů, předpokládám, že na konci životnosti FVE (určena na 20 let) vzniknout dvě varianty završení fungování. V jedné z nich prodám v nejlepším případě vyměněné moduly za plnou zůstatkovou hodnotu. To je však velmi nepravděpodobné, neboť mohu pouze odhadovat, jaká bude situace trhu a zda bude vůbec nějaká poptávka po těchto použitých modulech. Budu ale optimistická a budu předpokládat, že moduly prodám za zůstatkovou hodnotu sníženou o 30 %. (26)

7.6 Rozdělení na případy

V celém ekonomickém modelu se objevují tři případy, dle kterých vyhodnocuji, zda se oprava vyplatí. Nejdůležitější součástí všech případů jsou ukazatele NPV a IRR zasazené do roku 2010, které spolu porovnávám.

7.6.1 Případ bez vady

V tomto případě vyhodnocuji FVE, na které se nenachází a nepředpokládá se, že se bude nacházet vada. Uvažuji vyrobenou energii jen s koeficientem poklesu výkonu $W(t)$, která je vyčíslena ve vzorci č. 1.11

Tento případ je dán jako referenční a všechny veličiny propojené s tímto případem jsou vždy značeny s dolním indexem nula.

7.6.2 Případ s vadou

Případ s vadou ukazuje, jaké by bylo zhodnocení, pokud by se vady nechaly rozrůstat a nepodnikaly by se kroky, které by zabránily růstu vad. Vyrobenou energii se zohledněním nacházejících se vad $W_1(t)$ můžeme matematicky určit dle rovnice č. 1.10.

Všechny veličiny propojené s tímto případem jsou vždy značeny s dolním indexem jedna.

Pro případ bez vady a s vadou jsou společné náklady, neboť předpokládám, že, i přes případné bezpečnostní riziko, se nepodniknou kroky k jejich zastavení. Pokud by se tak stalo, tak by se moduly musely vyměnit, a tím pádem by se případ stal případem popsaným v následující kapitole.

7.6.3 Případ s vadou a následnou opravou

Předpokládaný průběh vyrobené energie s ohledem na provedenou opravu $W_2(t)$ je matematicky zapsán v rovnici 1.17.

$$W_2(t) = P_{inst} \times (1 - y_{cel2}(t)) \times K_{rv} [MWh], \quad (1.17)$$

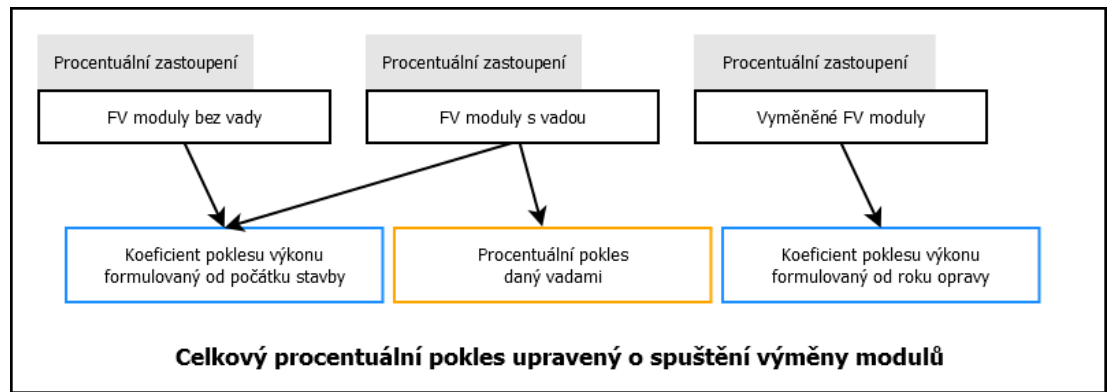
kde P_{inst} je instalovaný výkon a $y_{cel2}(t)$ je celkový procentuální pokles upravený o spuštění výměny, a tím i vyčíslenou opravou do nových modulů.

Tento případ a všechny veličiny propojené s tímto případem jsou vždy značeny s dolním indexem dvě.

Vytvoření průběhu $y_{cel2}(t)$ je komplikovanější než u předchozího případu celkového průběhu se zohledněnými vadami $y_{cel1}(t)$. Významnou položkou při tvorbě průběhu je průběh koeficientu poklesu závislého na čase $y_{pv}(t)$.

$$y_{pv}(t) = 1 - (1 - K_{pv})^t, \quad (1.18)$$

který se aplikuje vždy a na všechny moduly, jelikož je to pokles udaný přirozenou degradací. Do roku opravy t_o se aplikuje stejně jako v případě s vadou, ale po tomto roce se anuluje tento aplikovaný pokles koeficientu poklesu pro vyměněné části a pro tyto části začíná od počátku, v ostatní části pokračuje beze změny. Je tedy důležité části rozdělit. Na obrázku č. 27 je vidět struktura, podle které jsem tvořila průběh fce celkového procentuálního poklesu. Vzorec je komplikovanější na zápis a diagramová struktura je nápomocná k pochopení vytvoření vzorce.



Obrázek 27 Popis struktury vytvoření celkového poklesu upraveného o spuštění výměny modulu

$$y_{cel2_1}(t) = 1 - \left(S_0 \times (1 - y_{pv}(t)) + \sum_{i=0}^n (S_i \times (1 - y_{pv}(t)) \times (1 - y_i(t))) \right), \quad (1.19)$$

kde $i \in \{A, B, C, D1, D2, E\}$, S_i je procentuální plocha zastoupení jednotlivých vad, $y_i(t)$ je funkce průběhů jednotlivých vad

$$y_{cel2_2}(t) = 1 - \left(S_0 \times (1 - y_{pv}(t)) + \sum_{i=0}^n (S_i \times (1 - (1 - K_{pv})^{t-t_0} \times (1 - y_i(t)))) \right), \quad (1.20)$$

Celkový procentuální pokles upravený o spuštění výměny lze vidět v rovnici č. 1.21.

$$y_{cel2}(t) = \begin{cases} y_{cel2_1}(t), pro t \in < 0; t_0 > \\ y_{cel2_2}(t); pro t \in < t_0; 25 > \end{cases} \quad (1.21)$$

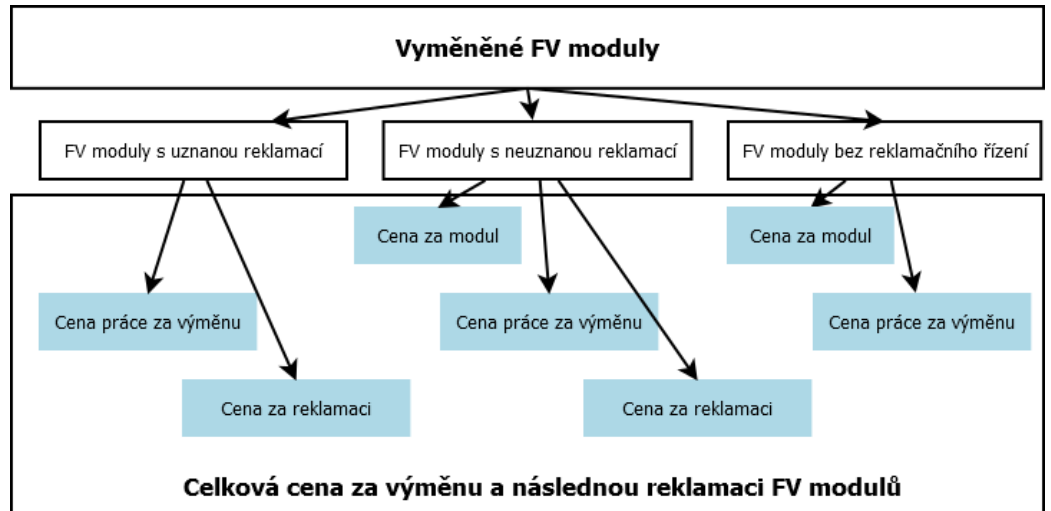
Výměna modulů a její projevení v celém modelu

VÝMĚNA		
	Rok opravy	13
A	0	ON/OFF
B	1	ON/OFF
C	1	ON/OFF
D1	1	ON/OFF
D2	0	ON/OFF
E	0	ON/OFF

Tabulka 11 Rozhodující tabulka o výměně

Výměnu modulů provádím v listu Vyrobena energie + oprava a určuje se pomocí zvolení ON/OFF (1/0). Z tabulky 11 se dá zjistit, že dle barevnosti jsou určeny tři vady typu A, C, D1 a vadu C a vadu D1 vyměňují. Nastavuji samozřejmě rok, kdy se výměna provede. V roce stanovené výměny zruším vlivy C a D1 vady v určeném množstevním zastoupení. Tato změna se projeví ve váženém průměru popsáném více v kapitole 6.7 a vznikne modifikovaný pokles $y_{cel2}(t)$ dle kterého vytvoříme předpokládaný průběh vyrobené energie $W_2(t)$.

Co se týče množství modulů, které vyměníme, tak je model nastaven tak, aby vyměnil všechny poškozené moduly, které byly uvedeny v listu Simulace vad. Není možné vyměnit jen část modulů z daného typu vady.



Obrázek 28 Diagram výměny v kombinaci s reklamací

Výměna se samozřejmě musí projevit i ve nákladech. Z tohoto pohledu je popsána v kapitole 5.5.1 a vyčíslení se nachází v listu Náklady – údržba. Z diagramu na obrázku č. 28 lze určit celkovou cenu za vyměněné moduly. Důležitou roli hraje reklamacce, která je popsána v kapitole 7.8.

Významnou položkou ve výměně zastává cena za modul $Z_{modul,t}$. Její stanovení je definováno v rovnici 1.22 a odůvodnění ceny za 1 Wp $Z_{1Wp_malo,t}$ se nachází v kapitole 5.5.1.

$$Z_{modul,t} = P_p \times Z_{1Wp_malo,t} \quad (1.22)$$

kde P_p je jmenovitý výkon jednoho modulu, $Z_{1Wp_malo,t}$ je maloobchodní cena za 1 Wp.

Vyčíslení ceny FV modulů s uznanou reklamací $Z_{uz_rekl,t}$ je uvedeno v rovnici 1.23. Vzorec je bez ceny za modul, protože díky reklamaci máme pokrytou jejich hodnotu.

$$Z_{uz_rekl,t} = n_{usp_rekl} \times rek_t, \quad (1.23)$$

kde n_{usp_rekl} je počet úspěšně reklamovaných modulů a rek_t je cena za reklamaci.

Do ceny za reklamaci rek_t se zahrnují další výdaje, které vzniknou při reklamaci, např. administrativa, potřebná diagnostika atd.

Vyčíslení ceny FV modulů s neuznanou reklamací je uvedeno v rovnici č. 1.24. Podstatné je, že se do tohoto výpočtu zahrnují i náklady na reklamaci rek_t . V konečném důsledku je výměna dražší, pokud u všech modulů neuznají reklamaci,

než kdyby se moduly pouze vyměnily a nakoupily nové. To je případ bez reklamačního řízení uvedený v rovnici č. 1.25.

$$Z_{neuz_rekl} = (n_{rekl} - n_{usp_rekl}) \times (Z_{modul} + rek_t), \quad (1.24)$$

kde n_{rekl} je celkový počet reklamovaných modulů.

$$Z_{bez_rekl} = (n_{vym} - n_{rekl}) \times Z_{modul}, \quad (1.25)$$

Dle popsaných skutečností už je možné vytvořit celkový náklad na výměnu modulů popsaný v rovnici č. 1.26.

$$N_{celk_vyměna} = Z_{uz_rekl} + Z_{neuz_rekl} + Z_{bez_rekl} + Z_{práce_modul_celk} + (s \times d), \quad (1.26)$$

kde s je počet km tam a zpět na dojezd k FVE, d je dojezdová taxa za 1 km, $Z_{práce_modul_celk}$ je celkové vyčíslení ceny práce na výměně modulů.

Dalo by se diskutovat nad vyčíslenou cenou práce u reklamovaných modulů. Počítám se stejnými náklady na všechny tři skupiny za tuto položku vyčíslenou v kapitole 5.5.1. Je to však velmi specifický případ a velice záleží na nastavení smluvních podmínek společnosti se zákazníkem, tj. majitelem elektrárny. Může se stát, v případě reklamace zaplatím nulovou částku za práci při výměně.

Sledování závad

Mimo výměny modulů se k dalším výdajům přidává i cena za **sledování závad** $N_{celk_sled,t}$, která se vztahuje na množství poškozených modulů. Tato položka je zde pro vyčíslení ceny za sledování možného bezpečnostního riziko a pro vyhodnocení, zda se vady rozrůstají dle předpokladů. V diagramu je určena frekvence na každoroční sledování.

$$N_{celk_sled,t} = n_{pos_mo,t} \times Z_{prav,t} + (s \times d), \quad (1.27)$$

kde $n_{pos_mo,t}$ je celkový počet poškozených modulů vyskytujících se na elektrárně, $Z_{prav,t}$ je cena sledování definovaná na jednotlivé moduly.

Legislativa

V této části by bylo také vhodné se zmínit o výměně FV modulů z hlediska legislativního.

Podnikání v energetických odvětvích na území České republiky se definuje v § 3 odst. 3 zák. č. 458/2000 Sb. energetického zákona. Podnikat ve výrobě elektřiny mohou osoby pouze na základě udělené licence ERÚ a po splnění podmínek uvedených v § 5 zák. č. 458/2000 Sb. energetickém zákonu.

Pokud by se zlepšili technické parametry FVE, a tím i změnili údaje uvedené v udělené licenci, je povinností změnu dle § 9 odst. 1 zák. č. 458/2000 Sb. energetického zákona neprodleně oznámit ERÚ a požádat o změnu rozhodnutí o udělení licence.

Dle § 12 odst. 1 zák. č. 165/2012 Sb. se oprava nebo údržba výroby nepovažuje za modernizaci nebo rekonstrukci a uvádí se zde, že uvedení výroby do provozu se považuje též ukončení rekonstrukce technologické části stávající výroby elektřiny, nebo ukončení modernizace, zvyšující technickou a ekologickou úroveň stávající výroby elektřiny. Tento paragraf je tím problematickým bodem celého právního hlediska výměny modulů.

Z hlediska daňového se výměna jakékoliv části výroby bere jako jednorázový výdaj vedený jako oprava. Nejedná se o modernizace, která je dle ZDP č. 586/1992 Sb., § 33 definována jako rozšíření vybavenosti nebo použitelnosti majetku. Nezlepšujeme parametry elektrárny a nové moduly kupujeme totožné s dosud instalovanými.

V nejlepším případě se oprava opravdu provede a není o čem diskutovat. Problém spočívá v tom, že pokud se stavěla výroba mezi roky 2009-2011, tak tzv. solární boom způsobil spuštění a následné zavření některých firem zabývajících se výrobou FV modulů. Z jejich nynější neexistence vyplývá, že sehnat moduly stejného typu je téměř nemožné, pokud vlastník elektrárny nebyl vizionář a při koupi modulů si nenakoupil některé do rezervy. Další možností, jak tuto situaci řešit, je koupit moduly se stejnými parametry, aby se nezlepšily parametry celé výroby. Tohle je ideální případ, ale problém je v tom, že technologie jde neustále vpřed a v roce 2017 se již vyrábí moduly o výkonu 300 Wp a není reálné koupit moduly o nižším výkonu jak 250 Wp, které by se daly nahradit na výrobně a byly využívány v roce 2010. Pro výpočty využívám ideálního případu výměnou za totožné moduly.

Závěrem z této rešerše je, že pokud by se vyměnil modul za jiný než totožný či v horším případě za modul se stejnými parametry, tak hrozí dle § 12 odst. 1 zák. č. 165/2012 Sb. **ztráta nároku na podporu**, neboť je zde řečeno, že *uvedení výrobní do provozu se považuje též ukončení rekonstrukce technologické části stávající výrobní elektrárny*.

Řešení si momentálně hledá svou cestu. Úřady jsou vědomy, že závady objevující se nad rámec záruky jsou problémem, který snižuje výdělky vlastníkům FVE a hledají nejrozumnější cestu nadefinování tohoto problému, aby nedošlo k případným zneužitím. Velice úzce souvisí s tímto tématem reklamace, jejíž případné následky jsou popsány v kap. 7.8. Věcně ale nesmí dojít k zvýšení celkového instalovaného výkonu, který je stanoven v licenci.

V budoucnu by se řešení mohlo najít v přeskládání struktury výrobní při zachování stejného instalovaného výkonu. Opravená výrobní by tedy měla menší počet modulů o vyšším jmenovitém výkonu při zachování instalovaného výkonu.

Završení fungování FVE

Jak již bylo řečeno, tak doba životnosti elektrárny je stanovena na 20 let. Po 20 letech je vše daňově odepsáno a očekávám, že je elektrárna poslána k recyklaci a zániku. V praxi to tak fungovat nebude. Nemohu očekávat, že po 20. roce se všechny elektrárny zruší pro nefunkční dotační program. Většina vlastníků FVE zatím netuší, jak naloží s elektrárnou bez dotací.

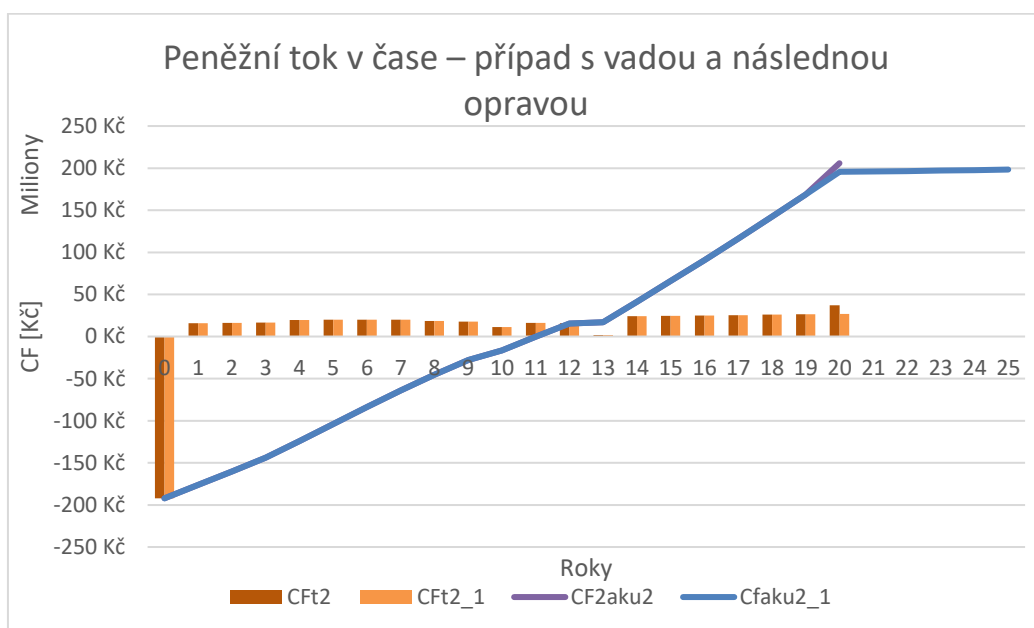
Diskutuje se však o tom, že vlastníci nechají elektrárny fungovat do doby jejich provozuschopnosti a dokud náklady nepřesáhnou své výnosy. Výnos mohou vlastníci získat z prodeje elektřiny distributorům, která se určuje podle tržní ceny. Ze zdroje (27) je tržní cena z roku 2016 0,9 Kč/kWh. Tato cena bude pro odhad sloužit jako výchozí. Jelikož tuto úvahu potřebuji v roce 2031 přepočítám tuto cenu pomocí inflace na 1 188 Kč/MWh.

Vytvořila jsem dva průběhy, jak by FVE mohla ukončit svůj provoz.

1. Na konci 20. roku prodám všechny opravené moduly za zůstatkovou hodnotu (viz. kap. 7.5.2) sníženou o 30 % a tím si zvýším výnosy. Mohu samozřejmě prodat i moduly původní, ale, jak už bylo řečeno, životnost těchto modulů je 25 let a vyměnit je v 20. roce znamená jejich předpokládanou životnost ještě 5 let a tyto moduly jsou již těžko prodatelné. Co se týče ostatních komponent

FVE, tak u měničů je ukončena životnost ve 20. roce, neboť se provádí jejich výměna v desetiletém cyklu a první výměna se provedla v 10. roce, a proto nemají žádnou hodnotu. Mohla bych uvažovat i odvoz hliníkové konstrukce do sběrného dvora, ale pro zjednodušení se soustředím jen na moduly.

- Elektrárnu nechám i nadále fungovat bez větších zásahů a pokračuji v běžné údržbě již bez odpisů a s odvody. Tento průběh je vytvořen na 25 let fungování elektrárny. S vyšším počtem let se samozřejmě zvyšuje pravděpodobnost výskytu další vady. Dále je zde problém s měniči, které by se měly měnit v desetiletém cyklu. Tento problém neřeším, neboť by tohle rozhodnutí velice navýšilo náklady a provoz by se dále nevyplatil.



Obrázek 29 Peněžní tok v čase – případ s vadou a následnou opravou

Konkrétní příklad je vidět na obrázku č. 29. Výměna modulů se provedla v 13. roce, přičemž ve 20. roce je vidět vzestup CF_{t2} , díky zmíněnému prodeji. Téměř konstantní pokračování akumulovaného CF značeného CF_{aku2_1} je pak dáno tím, že jsme snížili výnosy i náklady a jejich CF je poměrně zanedbatelný v porovnání s obdobím před 21. rokem. Z tohoto důvodu i peněžní tok CF_{t2_1} je téměř neviditelný.

7.7 Vyhodnocení

Dle vypočtených NPV a IRR jednotlivých vytvořených případů mohou konečně zanalyzovat, zda se oprava vyplatí či nikoliv. Hlavním principem je sledování, zda je NPV **kladné či záporné**.

- Pokud je tedy NPV_1 (případ s vadou) < 0 , a zároveň NPV_2 (případ s vadou a následnou opravou) ≥ 0 , tak lze jasně říci, že finančně výhodným řešením je moduly vyměnit. Případ je obdobný s vnitřním výnosovým procentem. Pokud je vnitřní výnosové procento $IRR_1 < IRR_2$, a zároveň $IRR_2 \geq r$ (diskont) tak je výhodné moduly vyměnit dle zadaných parametrů.
- Pokud je situace opačná, tudíž $NPV_1 \geq 0$ a $NPV_2 < 0$ a $IRR_1 > IRR_2$, a zároveň $IRR_1 \geq r$, tak se pochopitelně oprava nevyplatí a je výhodnější nechat FVE ve stavu, v jakém je s předpokládaným růstem jednotlivých vad. Tato situace nastává, pokud jsou komponenty vyměňovány v posledních letech provozu.
- Zajímavá situace nastává, pokud jsou obě čisté současné hodnoty **kladné** nebo obě **záporné**. Pokud jsou obě kladné nebo obě záporná, tak nastává situace, kdy buď $NPV_1 \geq NPV_2$, anebo $NPV_2 \geq NPV_1$. V takovém případě je rozhodnutí čistě na vlastníkovi. Pokud by byly záporné, mohl by si výměnou mohl např. snížit ztrátu způsobenou vadou. Pokud by byly obě kladné, mohl by dosáhnout ještě většího výdělku.

Výměna modulů však nesouvisí jen nástroji NPV a IRR, ale do rozhodnutí o výměně spadá i možné bezpečnostní riziko.

7.8 Reklamace

V kapitole 2.1 je řečeno, že výrobce zodpovídá za kvalitu svých produktů a stanovuje garanční pokles. Pokud garanční pokles přesáhne svou hranici, je možné nechat modul vyreklamovat. Výsledkem reklamačního řízení může být několik variant. Vše záleží na smlouvě výrobce se zákazníkem.

První z variant je **výměna prokazatelně poškozených modulů**. To lze považovat za běžnou praxi u většiny reklamačních řízení a s touto variantou budeme počítat v ekonomickém modelu. Z pohledu legislativy jde o jediné přijatelné řešení reklamačního řízení. Výrobce, po prokázání poškození, vymění dané moduly za moduly se stejnými parametry, pokud je to možné.

Druhou z variant výsledků reklamace je **dorovnání výkonu na nominální hodnotu**. Tato varianta předpokládá určení ztraceného výkonu a jeho dorovnání pomocí dodávky nových modulů ve výši právě tohoto výkonu. (4) Z hlediska legislativního je tato varianta naprosto nereálná, neboť by se zvýšil instalovaný výkon a následně byla odebrána licence (viz. kap. 7.6.3.)

Třetí variantou je finanční **dorovnání ušlého zisku**. Tato varianta spočívá v sestavení spolehlivého ekonomického modelu, aby bylo možné poměrně přesně spočítat ušlý zisk. Výrobce nabízí dvě varianty vyrovnání. První je okamžité celkové vyrovnání za všechny ušlé zisky v každém roce (4). V tomto případě se dá orientovat pomocí NPV, který by znázorňoval právě ušlý zisk. Částky, které by byly reprezentovány NPV, by mohly mít likvidační charakter pro danou společnost a z hlediska zákazníka je tedy důležité mít přehled, zda je daná společnost schopná dostát svého závazku. Druhou možností je postupné každoroční dorovnání ušlých risků, což už je přijatelnější varianta z pohledu společnosti. Z pohledu zákazníka se však opět stojí před otázkou, zda je daná firma schopná dostát tomuto závazku v dlouhodobějším hledisku. Z této varianta je znát poměrná rizikovost a záleží na konkrétním případě, zda se vyplatí pro daného zákazníka.

Pokud společnost již neexistuje, tak se reklamace neuplatní.

7.8.1 Projevení reklamace v ekonomickém modelu

Reklamace se v modelu projevuje v listu Náklady – údržba, kdy se zde pomocí modrých buněk určuje počet reklamovaných modulů a počet úspěšně reklamovaných modulů, neboť není vždy jisté, že výrobce uzná všechny. Více o vyčíslení a započtení reklamace do modelu je popsáno v kapitole č. 7.6.3.

8 Aplikace dosavadních nástrojů pro vyhodnocování na reálnou instalaci

8.1 Popis FVE

Reálná FV elektrárna, postavená na volné ploše o instalovaném výkonu 2 MWp, byla postavena a spuštěna na konci roku 2010. FVE se nachází v oblasti se zvýšenou vlhkostí vzduchu a leží na Moravě. Vlastníkem je PO, a tím splňuje i požadavky na využití ekonomického modelu.

8.1.1 Vstupní údaje

Pro účely výpočtu této FVE jsem doplnila parametry objevující se v tabulce č. 12.

PARAMETRY ELEKTRÁRNY		
Počet modulů	n	10 000
Výkon jednoho modulu	P_p	200 Wp
Instalovaný výkon	P_{inst}	2 MWp
Koeficient poklesu výkonu	K_{pv}	0,1% /rok
Koeficient ročního využití	K_{rv}	1 000 hod/rok
Výkupní cena elektřiny v roce 2010	A_0	12 150 Kč /rok
Valorizace výkupních cen	K_{val}	2,0% /rok
Inflace	α	2,0% /rok
Provozní výdaje (procent z poč. inv.)	K_{prov}	0,5% /rok
Sazba daně ze zisku	$d_{příjem}$	19,0%
Diskont	r	7,0%

Tabulka 12 Vstupní údaje reálné elektrárny

8.1.2 Vyrobená energie

K dispozici mám denní výrobu od roku postavení 2011 do konce roku 2016.

Na výrobně jsou zpozorovány některé druhy vad (viz. kap. 8.2) a pro zjištění jejich postupu, jsem vytvořila graf **maximální denní výroby** v každém roce. Předpokládám, že v každém roce je minimálně jeden perfektní jasný den, a proto lze tyto data porovnat. V ideálním případě by se v grafu měl objevit klesající trend, kvůli objevujícím se vadám. Z grafu na obrázku č. 30 lze konstatovat, že žádný trend nenastal a maximální vyrobená energie se pohybuje zhruba na konstantních hodnotách. Z toho vyplývá, že se dosud žádná vada neprojevila.



Obrázek 30 Maximální denní výroba v jednotlivých letech

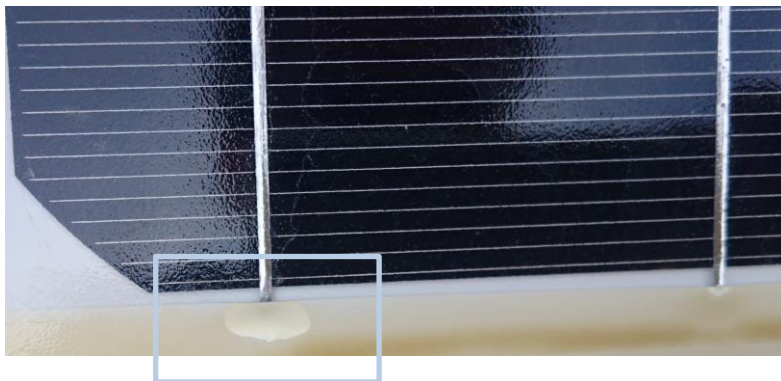
Roční vyrobená energie skutečné elektrárny $W_{skut}(t)$ do roku 2016 je znázorněna v tabulce č. 13. V této tabulce ji porovnávám s vyrobenou energií s koeficientem poklesu výkonu $W(t)$ definovanou v kap. 7.6.1, jelikož jsem zjistila, že se vliv vady neprojevil. Po zprůměrování lze konstatovat, že průměr skutečné vyrobené energie je nižší, než je předpokládaná vyrobená energie s koeficientem poklesu. Rozdíl však není nikterak markantní, a tak další rok mohu odhadovat průběh skutečné výroby energie jen pomocí průběhu funkce $W(t)$ bez jakýchkoliv dalších úprav.

Rok	t	W_{skut} [MWh]	W [MWh]
31.12.2010	0	0	0
2011	1	2 240	2 000
2012	2	1 944	1 998
2013	3	1 743	1 995
2014	4	1 877	1 993
2015	5	2 020	1 990
2016	6	1 935	1 988
Průměr		1 680	1 709

Tabulka 13 Průměry skutečné a namodelované výroby

8.2 Nalezené vady a jejich predikce postupu

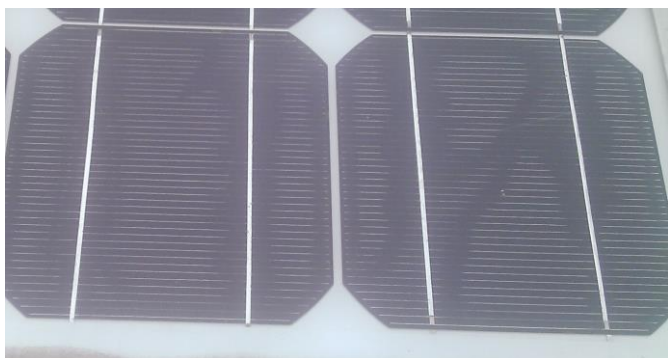
Dle postupu v diagramu jsem objevila **delaminace** v raném stádiu.



Obrázek 31 Ukázka delaminace na FVE

Jak již bylo řečeno, tak není zjištěna žádná ztráta, která by ovlivňovala výrobu, ale výskyt delaminace ve spodních částech modulů je velice závažný problém, v budoucnosti způsobující bezpečnostní riziko, který může zničit zásadní část elektrárny během velice krátké doby, kvůli možnému průniku vody.

Další vadou, která se objevila zhruba po třech letech provozu jsou neustále se rozrůstající **šnečí cesty**, které se jsou zviditelněním **prasklin**. Výskyt prasklin se dává do souvislosti s mechanickým pnutím, neopatrným zacházením při stavbě elektrárny nebo výrobě. Je možné, že zárodky samotných prasklin vznikly na začátku celé životnosti modulu a nyní se už jen rozrůstají a zviditelňují



Obrázek 32 Ukázka šnečích cest s prasklinami

Delaminace je jednoznačně výrobní vada, která by měla být úspěšně vyreklamována. Evidované množství poškozených modulů je 3 200 ks modulů, přičemž se zjistilo, že se tato vada objevuje na několika výrobních sériích, což přispívá k podezření na pochybení výrobce.

U prasklin je věc velmi diskutabilní. Může to být výrobní vada, ale pochybit mohla i společnost, která FVE stavěla. Zda bude reklamace úspěšná záleží na mnoha faktorech, které nejsou předmětem k řešení v této práci. Zaznamenaných modulů s vadou praskliny je 3 400 ks.

Další vadou, která se zde objevuje je jemné zabarvení Tedlaru, které má minimální vliv na fungování FVE.

Termovizní snímky neukázaly žádnou tepelnou vadu v podobě hotspotů nebo PID efektu.

8.3 Scénáře

Scénář bude především záležet na nastavení koeficientů v simulaci vad. Postup delaminace zachycuje ztrátová **kategorie typu D**. Šnečí cesty mají sami o sobě průběh lineární a jsou považovány za zviditelnění prasklin, jejichž průběh se liší v závislosti na typu praskliny. Primárně se rozlišují praskliny s progresí a bez progresu. Progresivním prasklinám přísluší průběh **typu E** a neprogresivním **typ D**.

Jelikož je elektrárna momentálně v 7. roce svého fungování, tak je zde několik možností, co se může stát. Rozebírám pesimistický a optimistický scénář rozvoje vad.

Počet nepoškozených modulů S_0 je v tomto případě 3 400 ks.

8.3.1 Optimistický scénář

Dle optimistického scénáře uvažuji koeficient největšího poklesu pro delaminaci $k_{D1}=40\%$ a koeficient největšího předpokládaného poklesu pro praskliny $k_{D2}=30\%$. Zvolit tyto koeficienty je velmi komplikované a chce to mít praxi v tomto oboru. Volení těchto koeficientů by mělo být v režii hlavního elektrikáře. V optimistickém scénáři uvažuji tyto koeficienty pro možný mírnější pokles. Dále uvažuji praskliny neprogresivního typu.

Parametry zvolené pro simulaci

Delaminace – průběh typu D		
Množství poškozených modulů	n_{D1}	3 200
Koeficient největší poklesu	k_{D1}	40 %
Rok objevení	g_{D1}	6

Prasklina – průběh typu D		
Množství poškozených modulů	n_{D2}	3 400
Koeficient největší poklesu	k_{D2}	30 %
Rok objevení	g_{D2}	7

Tabulka 14 Parametry k optimistickému scénáři

Rozhodla jsem se, že vyměním pouze část elektrárny, a to část s delaminací. Je zde větší pravděpodobnost objevení bezpečnostního rizika. Výměna bude situována do roku $t_o = 12$ a $t_o = 15$. Všechny vyměněné moduly zašlu do reklamačního řízení a celé řízení proběhne v pořádku a výrobce mi zašle nové FV moduly se stejnými parametry. Cenu modulů tedy neuvažuji, ale uvažuji cenu práce, kterou strávím nad demontáží, posláním a nové montáží, nemám totiž tento výdaj zavedený ve smlouvě s výrobcem.

Vyhodnocení

Rok opravy	t_o	12	
Diskont	r	7 %	
Případ bez vady		Případ s vadou a následnou opravou – s prodejem modulů na konci životnosti FVE	
NPV ₀	26 731 519 Kč	NPV ₂	-3 006 617 Kč
IRR ₀	9 %	IRR ₂	7 %
Případ s vadou		Případ s vadou a následnou opravou – bez prodeje modulů a pokračování provozu bez garantovaných výkupních cen	
NPV ₁	522 552 Kč	NPV _{2,1}	-4 584 090 Kč
IRR ₁	7 %	IRR _{2,1}	7 %

Tabulka 15 Parametry a vyhodnocení k optimistickému scénáři verze 1

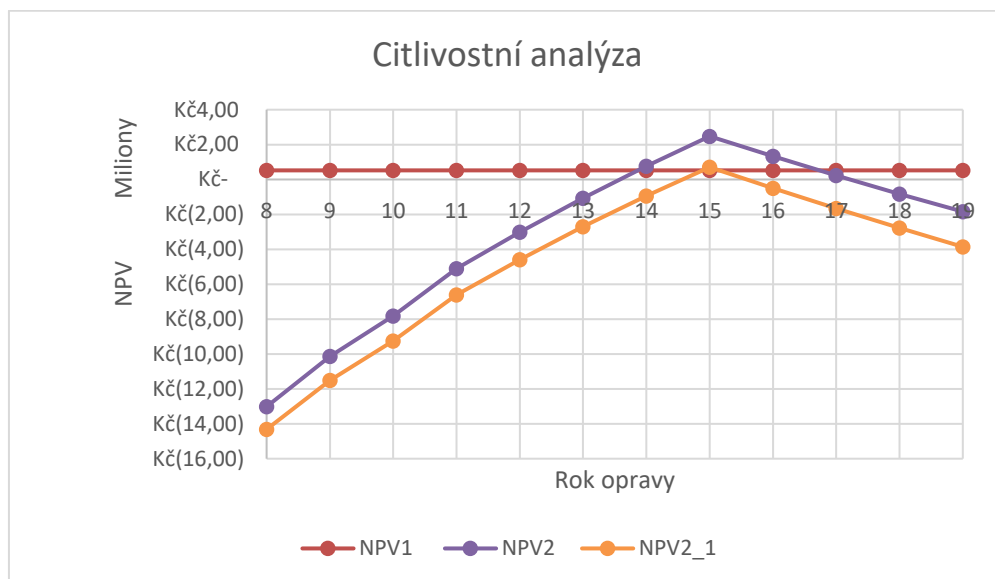
Z tabulky č. 15 lze vyhodnotit, že oprava splní požadavky na zvolený diskont, ale vyřešené NPV je stále záporné, a tudíž bude oprava prodělečná. Při prodeji vyměněných modulů vychází ztráta o něco méně. Hraje tu roli ale mnoho faktorů, a tudíž jde spíše o orientační údaj s tím, že v tomto případě opravy bude ztráta mezi třemi až pěti miliony. Pokud by se výměna neprovedla, tak by žádná ztráta nevznikla, ale pořád se vracím k otázce bezpečnosti, kdy může nastat průnik vody do struktury modulu. Nabízí se řešení ve výměně menšího počtu modulů, než je provedeno. Tímto se tato práce ale nezabývá.

Rok opravy	t_o	15
------------	-------	----

Diskont	r	7 %	
Případ bez vady		Případ s vadou a následnou opravou – s prodejem modulů na konci životnosti FVE	
NPV ₀	26 731 519 Kč	NPV ₂	2 475 461 Kč
IRR ₀	9 %	IRR ₂	7 %
Případ s vadou		Případ s vadou a následnou opravou – bez prodeje modulů a pokračování provozu bez garantovaných výkupních cen	
NPV ₁	522 552 Kč	NPV _{2,1}	705 425 Kč
IRR ₁	7 %	IRR _{2,1}	7 %

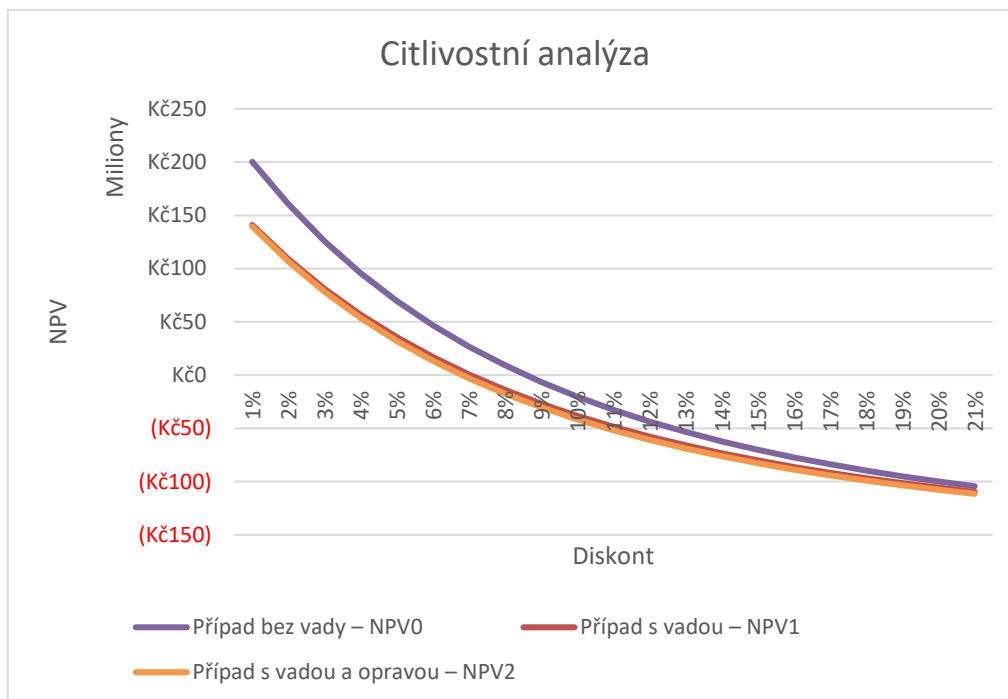
Tabulka 16 Parametry a vyhodnocení k optimistickému scénáři verze 2

Situace se změní, pokud vyměním moduly v roce $t_o = 15$. V této chvíli IRR u opravy splňuje požadavky na zvolený diskont, ale i situace bez opravy je kladná. Nezáleží tedy na tom, zda se v 15. roce provozu oprava provede či nikoliv. Investice splní mé očekávání v obou případech.



Obrázek 33 Citlivostní analýza pro závislost NPV na roku opravy

Zda se oprava vyplatí je závislé na zvolení roku opravy, a proto je v obr. č. 33 vytvořena citlivostní analýza, která ukazuje závislost NPV na roku opravy. Výsledkem této analýzy je, že se oprava vyplatí, pokud bude provedena mezi lety 14 až 17 s tím, že se jedná o variantu s prodejem modulů na konci životnosti FVE. Jen v roce 15 se oprava vyplatí pro pokračování v provozu.



Obrázek 34 Citlivostní analýza pro závislost NPV na diskontu

Dalším citlivým parametrem je hodnota diskontu, proto je zde vytvořena citlivostní analýza zasazená do roku opravy $t_o = 12$. Průběh případu s vadou a případu s vadou a následnou opravou se tolik neliší a oba průběhy protínají osu x (tj. IRR) v diskontu 7 %. Investice tedy splní mé očekávání.

8.3.2 Pesimistický scénář

V pesimistickém scénáři uvažují koeficient největšího poklesu pro delaminaci $k_{D1}=70\%$ a koeficient největšího předpokládaného poklesu pro praskliny $k_{D2}=50\%$. Opět jsou to odhady, jak daleko by průběh těchto vad mohl postoupit. V tomto scénáři také uvažují typ progresivních prasklin, které mají průběh typu E, přičemž do tohoto průběhu se zahrnují i moduly, které už nefungují, díky markantnímu nárůstu vad a tím i následné nefunkčnosti. Toto se projeví i v množství poškozených modulů, které se rozmělní do typu D a typu E.

Parametry zvolené pro simulaci

Delaminace– průběh typu D		
Množství poškozených modulů	n_{D1}	3 200
Koeficient největší poklesu	k_{D1}	70 %
Rok objevení	g_{D1}	6

Prasklina – průběh typu D						
Množství poškozených modulů		n_{D2}	1 000			
Koeficient největší poklesu		k_{D2}	50 %			
Rok objevení		g_{D2}	7			
Prasklina – průběh typu E						
Množství poškozených modulů		n_E	2 400			
Koeficienty poklesu		k_{E1}	0 %	Ohraničující roky	h_{E1}	7
		k_{E2}	10 %		h_{E2}	8
		k_{E3}	40 %		h_{E3}	15
		k_{E4}	70 %			

Tabulka 17 Parametry k pesimistickému scénáři

V tomto scénáři jsem se rozhodla, že vyměním všechny poškozené moduly. Celkový počet tedy 6 600 ks. Výměna bude opět situována do roku $t_o = 12$ a $t_o = 15$. Do reklamačního řízení zašlu 5 000 ks a kladné vyřízení reklamace bude aplikováno na 3 000 ks modulů. Celkový výpočet ceny za moduly je tedy komplikovanější než v předchozím případě.

Vyhodnocení

Rok opravy	t_o	12	
Diskont	r	7 %	
Případ bez vady		Případ s vadou a následnou opravou – s prodejem modulů na konci životnosti FVE	
NPV ₀	28 780 719 Kč	NPV ₂	-15 356 945 Kč
IRR ₀	9 %	IRR ₂	6 %
Případ s vadou		Případ s vadou a následnou opravou – bez prodeje modulů a pokračování provozu bez garantovaných výkupních cen	
NPV ₁	-17 920 249 Kč	NPV _{2,1}	-17 576 096 Kč
IRR ₁	6 %	IRR _{2,1}	6 %

Tabulka 18 Parametry a vyhodnocení k pesimistickému scénáři verze 1

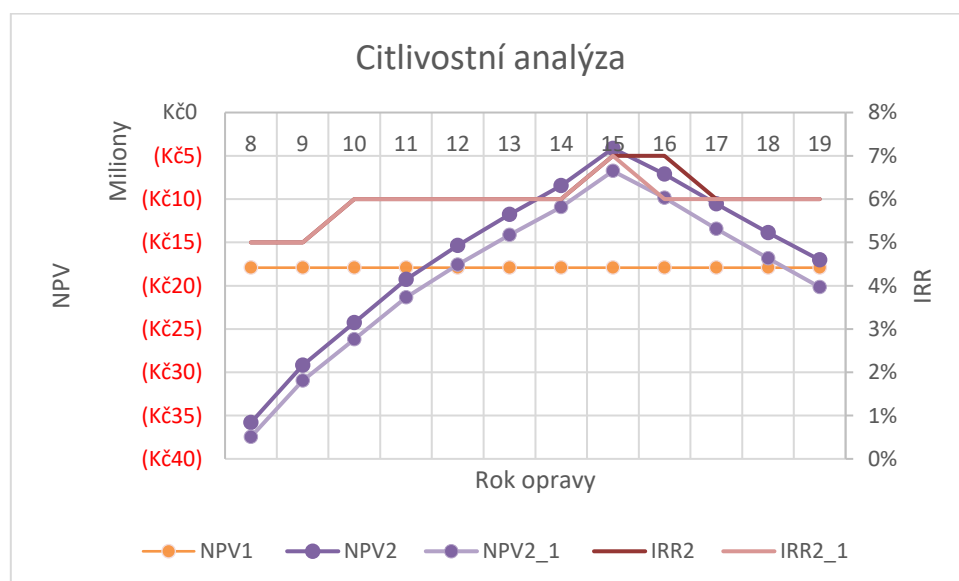
Z tabulky č. 18 lze vyčíst, že vypočtené vnitřní výnosové procento IRR nesplňuje podmínky definovaného diskontu ani v jednom případě a ukazatel NPV je pokaždé záporný. Oprava ve 12. roce tedy není nejoptimálnější variantou. Zajímavostí je, že

pokud provedu opravu a následně FVE nechám i nadále v provozu, tak ztráta bude podobná jako v případě, kdy s výrobnu budu provozovat bez opravy.

Rok opravy	$t_0 =$	15	
Diskont	$r =$	7 %	
Případ bez vady		Případ s vadou a následnou opravou – s prodejem modulů na konci životnosti FVE	
NPV ₀	28 780 719 Kč	NPV ₂	-4 143 444 Kč
IRR ₀	9 %	IRR ₂	7 %
Případ s vadou		Případ s vadou a následnou opravou – bez prodeje modulů a pokračování provozu bez garantovaných výkupních cen	
NPV ₁	-17 920 249 Kč	NPV _{2_1}	-6 760 803 Kč
IRR ₁	6 %	IRR _{2_1}	7 %

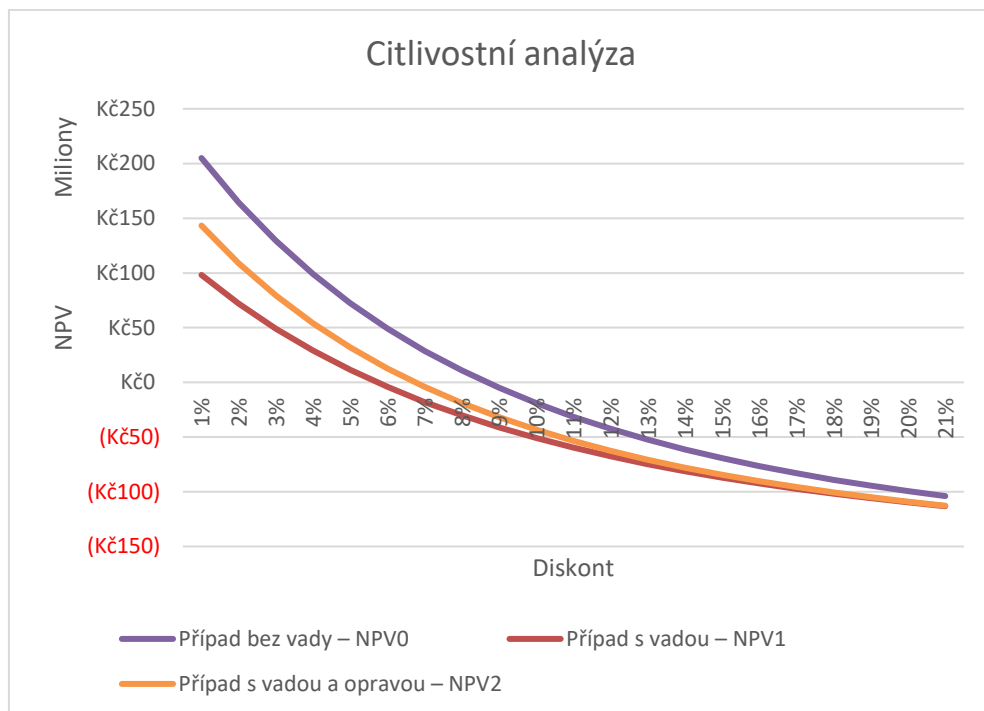
Tabulka 19 Parametry a vyhodnocení k pesimistickému scénáři verze 2

Provedením opravy v 15. roce by vnitřní výnosové procento splňovalo požadavky diskontu, ale hodnota ukazatele NPV by byla stále záporná, proto by se tato investice nevyplatila.



Obrázek 35 Citlivostní analýza pro závislost NPV na roku opravy

Opět jsem vytvořila citlivostní pro závislost NPV na roku opravy. Vyplývá z něj, že hodnota ukazatele NPV nebude nikdy kladná, a tím pádem je tato investice vždy prodělečná. Pro upřesnění jsem ještě doplnila závislost vnitřního výnosového procenta na roku opravy. Případ s výměnou a následným prodejem modulů splňuje podmínku diskontu pro roky 15 a 16, ale, jak už bylo řečeno, projekt je stále prodělečný.



Obrázek 36 Obrázek 34 Citlivostní analýza pro závislost NPV na diskontu – pesimistický scénář

Pro pesimistický scénář jsem také přidala citlivostní analýzu závislosti ukazatele NPV na diskontu pro rok výměny, který vyšel jako nejvýhodnější, tj. rok opravy $t_o = 15$. Investice splní mé očekávání, pokud uvažuji případ s vadou a následnou opravou vadných nadefinovaných modulů.

Závěr

Prvním cílem této práce bylo popsat vady FVE a metody jejich klasifikace. Zaměřila jsem se na krystalické FV moduly a popsala nejčastěji vyskytující se vady.

Ke každé vadě je uvedena typická VA charakteristika, pokud je to možné. Dále jak vada vypadá, buď pomocí termografie nebo elektroluminiscence, nebo vizuální kontrolou. Každá vada má zapsanou svoji ztrátovou kategorizaci a bezpečnostní kategorii. Jednotlivé vady jsou pro lepší přehlednost vždy rozděleny na tři kapitoly:

- Popis
- Příčiny, řešení, doporučení
- Prognóza

Na základě rešerše z popsání vad, byl vytvořen **diagram** pro nalezení závady, jehož účel spočívá v prokázání výskytu vady na jednotlivých modulech, a dále i vyhodnocení vážnosti této vady. Jedním z výsledků diagramu je definovaná ztrátová kategorizace, která tvoří základní vstup do ekonomického modelu.

Diagram považuji za hrubou strukturu k aplikaci, která se může stát námětem pro další práce a může být užitečná mezi vlastníky a spravujícími firmami. Dalším rozšířením by mohlo být rozpracováním diagramu z hlediska příčin každé vady, které momentálně chybí.

Druhým cílem bylo určení ekonomického dopadu výskytu vad na celé fungování FVE. Zabývám se v této části vlivem vad na výkon a udávám simulační proces průběhu vad zjištěný na základě rešerše v první části. Dále už řeším čistě ekonomický dopad tohoto průběhu pomocí ukazatelů NPV a IRR. Tyto ukazatele mezi sebou v **ekonomickém modelu** porovnávám a díky nim se řeší otázka výhodnosti výměny a reklamace FV modulů.

Ve třetí části se pak zabývám aplikací diagramu a ekonomického modelu na reálnou FVE a řeším tedy konkrétní případ. Celý ekonomický model lze plně individualizovat.

Možností, jak rozšířit v budoucnu tento model, je mnoho. Jak už bylo v průběhu celé práce řečeno, lze z uvedených nástrojů vytvořit sofistikovanější aplikaci, která by mohla být pomocníkem pro mnoho odvětví a rovnou by mohla uživateli ekonomicky vyčíslit jednotlivé vady. Dále lze rozvinout problém simulace vad, ve které není zahrnuta kombinace vad na samostatném modulu.

Citovaná literatura

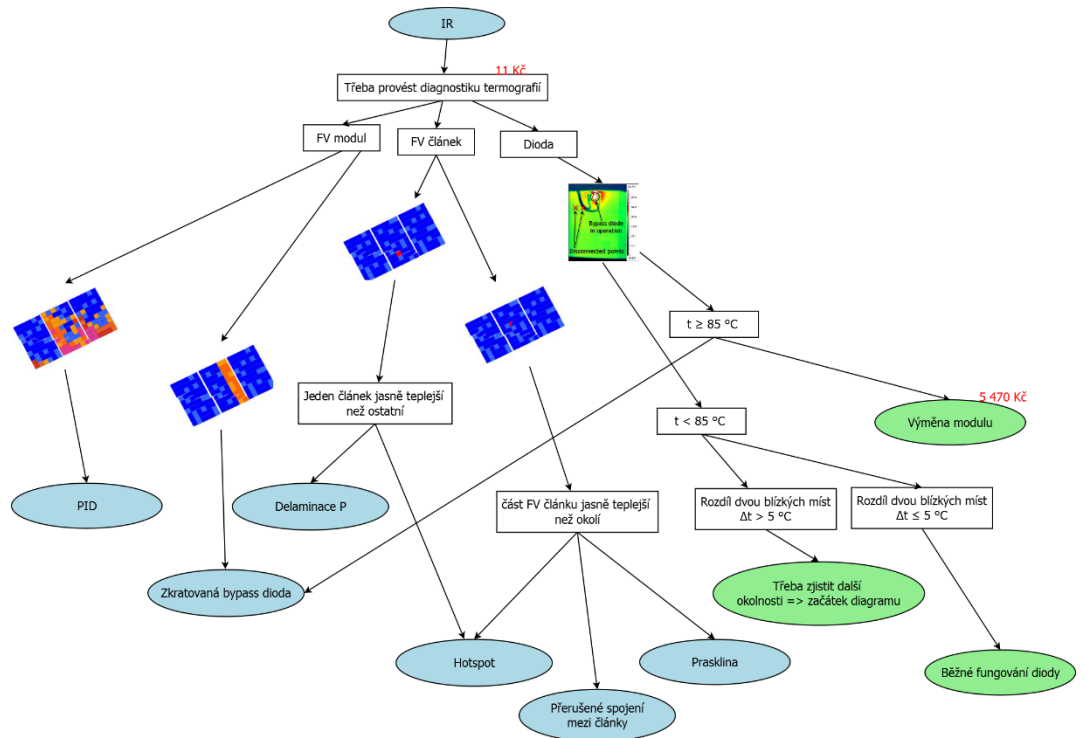
1. **Poledník, Tomáš.** *Degradace solárních panelů.* Brno : VUT v Brně, 2014. Bakalářská práce.
2. **Ing. Pavel Hrzina, Ph.D.** *AD1B13SVS.* [Online] Laboratoř fotovoltaických systému a elektrochemických zdrojů. [Citace: 9. leden 2017.] http://pasan.feld.cvut.cz/ad1b13svs/velke/prednes_03_SVS_DS.pdf.
3. **Šmíd, Václav.** *Uplatnění fotovoltaiky v elektrizační soustavě.* Praha : ČVUT v Praze, 2016. Diplomová práce.
4. **Šutka, Jan.** *Ekonomické vyhodnocení provozu fotovoltaické elektrárny při poruše.* Praha : ČVUT v Praze, 2016. Bakalářská práce.
5. *Review of Failures of Photovoltaic.* **Marc Köntges, Sarah Kurtz, Corinne Packard, Ulrike Jahn, Karl A. Berger, Kazuhiko Kato, Thomas Friesen.** místo neznámé : IEA PVPS, 2014. ISBN 978-3-906042-16-9.
6. **Chocholáč, Jan.** *Využití bypassových diod ve fotovoltaických panelech.* Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Brno : VUT v Brně, 2011. Bakalářská práce.
7. **Yunyun Wang, Shanming Ke, Fengshou Liu, Gang Pei.** Performance of a building-integrated photovoltaic/thermal system under frame shadows. *Research gate.* [Online] říjen 2016. [Citace: 2. leden 2017.] https://www.researchgate.net/publication/309229919_Performance_of_a_building-integrated_photovoltaicthermal_system_under_frame_shadows.
8. **AG, Heckert Solar.** Warranty Conditions of Heckert Solar AG Chemnitz / Germany, for Crystalline Solar Modules. [Online] 1. leden 2011. [Citace: 5. leden 2017.] http://www.heckertsolar.com/fileadmin/Redakteure/06_Partnerbereich/Downloads/warranty_conditions_01_2011_engl.pdf.
9. **Solar, Yingli.** *Datasheet YLM 72 CELL 40mm SERIES.*
10. **Jordan, D. C. and Kurtz, S. R.** Photovoltaic Degradation Rates - an Analytical Review. *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 2011. Sv. doi: 10.1002/pip.1182.

11. **Miguel García, Luis Marroyo, Eduardo Lorenzo, Javier Marcos, Miguel Pérez.** *Observed degradation in photovoltaic plants affected by hot-spots.* místo neznámé : Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/pip.2393, 2014. 1292–1301.
12. **Vivek Gadel, Narendra Shiradkarl, Marco Paggi and Jared Opalewskil.** *Predicting the Long Term Power Loss from Cell Cracks in PV Modules.* místo neznámé : IEEE, 2015. 978-1-4799-7944-8/15/.
13. **Rutschmann, Ines.** Unlocking the secret of snail trails. *Photon International.* leden, 2012.
14. **Fraunhofer Institute for solar energy.** *PID - Analysis and migration.* Freiburg : Fraunhofer Institute for solar energy. 06-924-16.
15. **s.r.o, EICERO.** PID (Potential Induced Degradation). [Online] 2014. [Citace: 9. leden 2017.] https://eicero.cz/storage/get/2-prezentace_eicero_pid.pdf.
16. **37. Nekonvenční zdroje elektrické energie-DEGRADACE FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ VLIVEM PID EFEKTU. J. Hylský, D. Strachala, J. Vaněk a T. Peroutka.** Vyškov : VUT v Brně, 2016. ISBN 978-80-02-02653-2.
17. **Kladiva, Roman.** *Dlouhodobé sledování parametrů FV panelů.* Brno : VUT v Brně, 2013. Diplomová práce.
18. **Shioda, Tsuyoshi.** *Delamination failures in long-term field-aged PV modules from point of view of encapsulant.* Denver : NREL PV Reliability Workshop, 2013.
19. **Group, NREL/Sandia/Sunspec Alliance SuNLaMP PV O&M Working.** Best Practices in Photovoltaic System Operation and Maintenance. prosinec 2016. NREL/TP-7A40-67553.
20. **Fraunhofer.** Fraunhofer.de. [Online] 1. květen 2017. [Citace: 12. květen 2017.] https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/AgoraEnergiewende_Current_and_Future_Cost_of_PV_Feb2015_web.pdf.
21. **Ebay.** *Ebay.* [Online] 5. květen 2017. [Citace: 12. květen 2017.] <http://www.ebay.com/itm/Solar-Panel-PV-Junction-Box-w-3-Diodes-Photovoltaic-Module-230W-320W-12A-/262780256371?hash=item3d2eec8073:g:1jYAAOSwA3dYYnAL>.

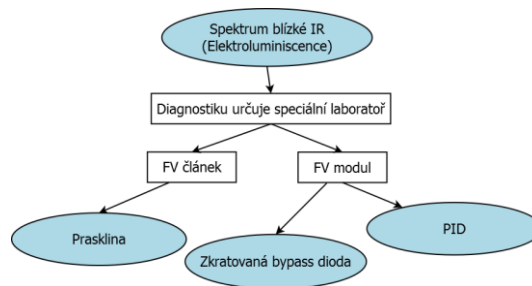
22. **GME.cz.** *GME.* [Online] 9. květen 2017. [Citace: 12. květen 2017.] <https://www.gme.cz/dioda-20sq045>.
23. **Hanák, Jaroslav.** *Metody hodnocení podnikových investic.* Brno : Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta, 2011. Bakalářská práce.
24. **ERÚ.** Metodika stanovení výkupních cen a zelených bonusů. [Online] [Citace: 20. duben 2017.] (https://www.eru.cz/documents/10540/462902/metodika_180_2005.pdf/80a0ec7c-cb1c-40e4-b7de-f5a4281877a5).
25. **ČNB. Zpráva o Inflaci. ČNB.cz.** [Online] 9. únor 2017. [Citace: 5. květen 2017.] https://www.cnb.cz/miranda2/export/sites/www.cnb.cz/cs/menova_politika/zpravy_o_inflaci/2017/2017_I/download/zoi_I_2017.pdf.
26. **Hejlová, Lenka.** *Automobil v podnikání - účetní a daňové dopady.* Brno : Masarykova univerzita, Ekonomicko-správní fakulta, 2011. Diplomová práce.
27. **Poncarová, Jana.** Za kolik dodavatelé vykupují elektřinu z fotovoltaiky? *Finance.cz.* [Online] 21. říjen 2016. [Citace: 10. květen 2017.] <https://www.finance.cz/477630-vykup-fotovoltaiicke-elektriny/>.
28. **PVeducation.org.** [Online] 9. leden 2017. <http://pveducation.org/pvcdrom/fill-factor-0>.

II. Rozhodovací diagram

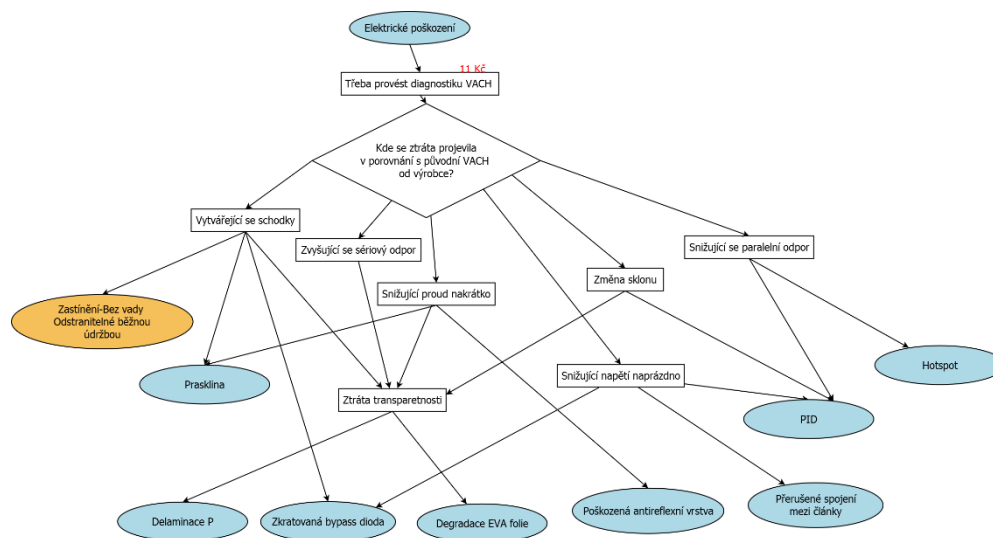
a) IR



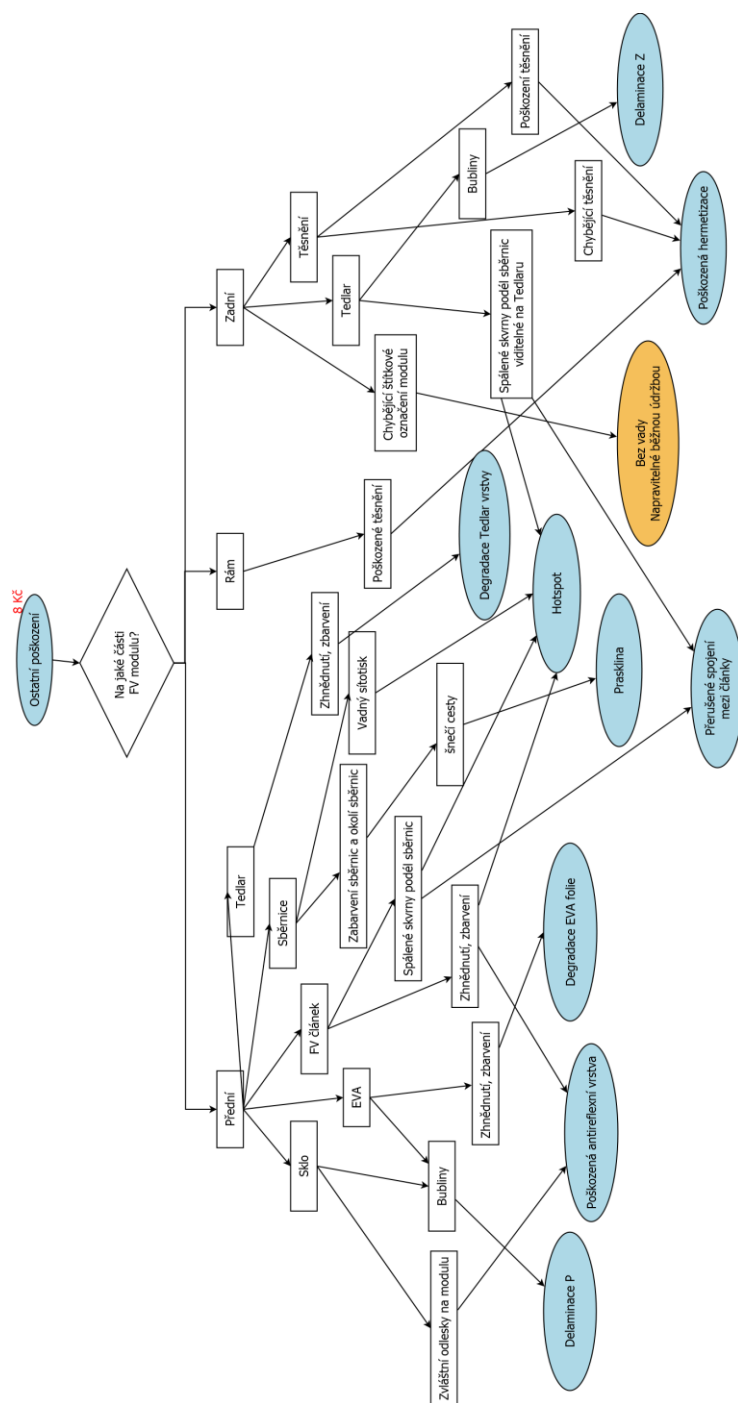
b) Spektrum blízké IR



c) Elektrické poškození



e) Ostatní poškození

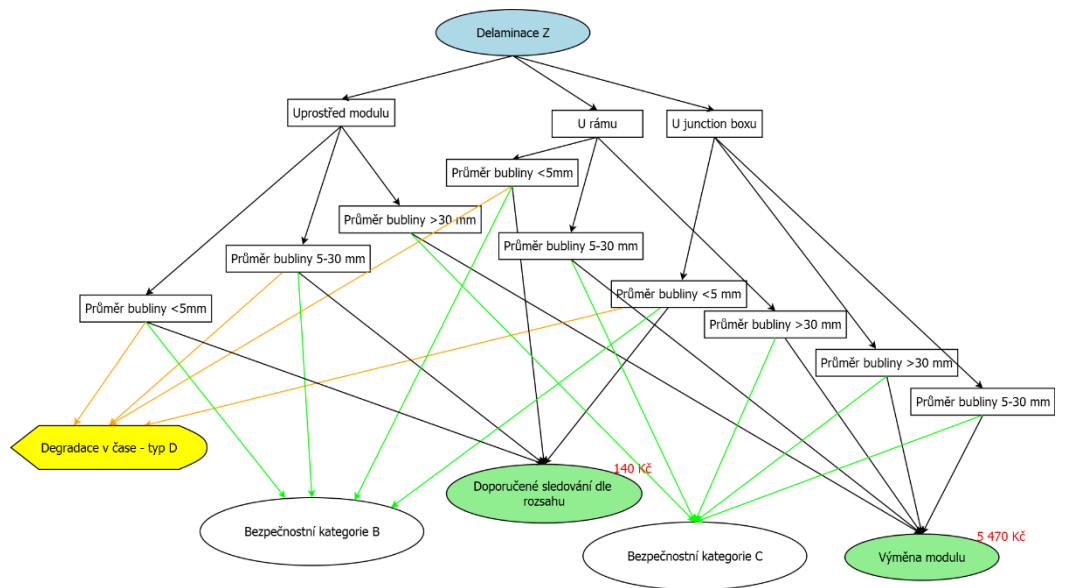


III. Ukončující diagram

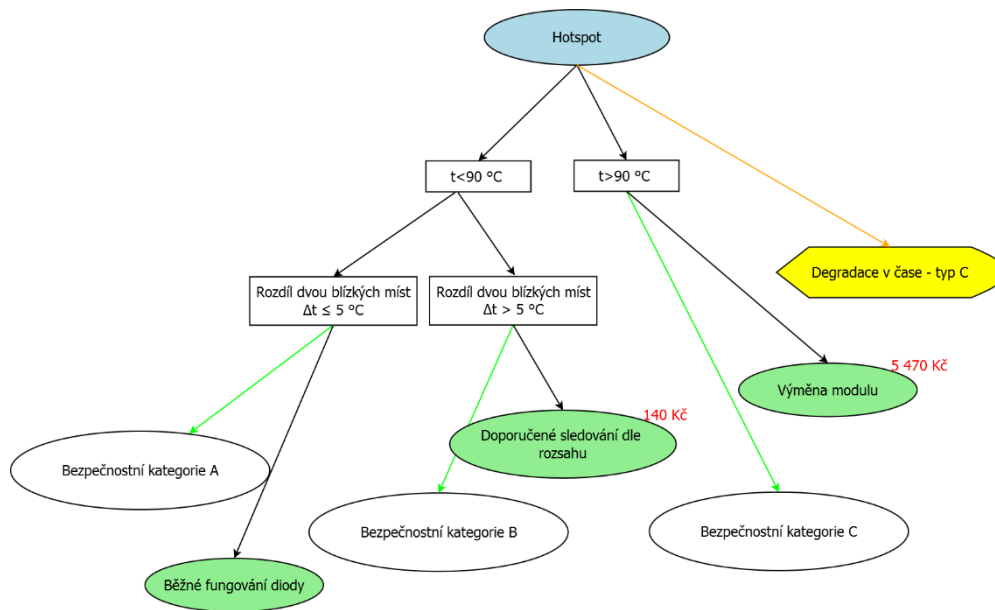
a) Delaminace P



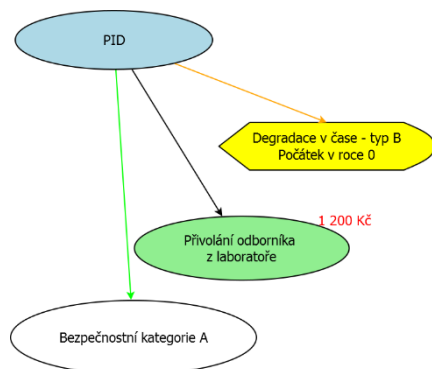
b) Delaminace Z



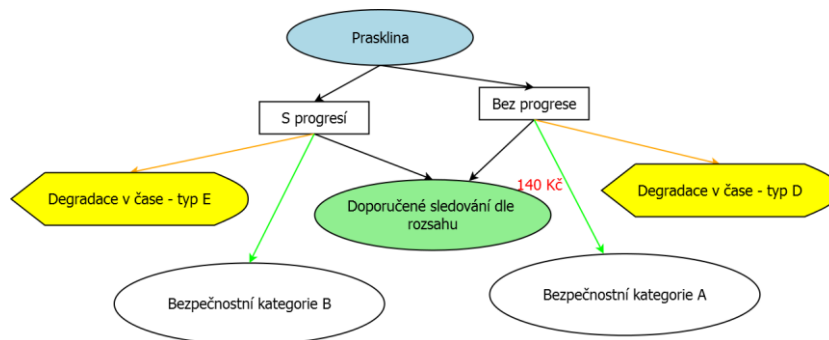
c) Hotspot



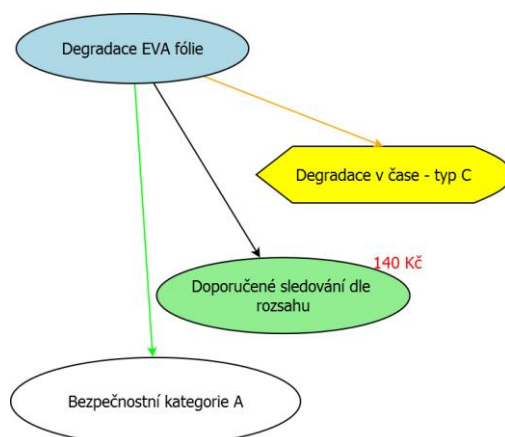
d) PID



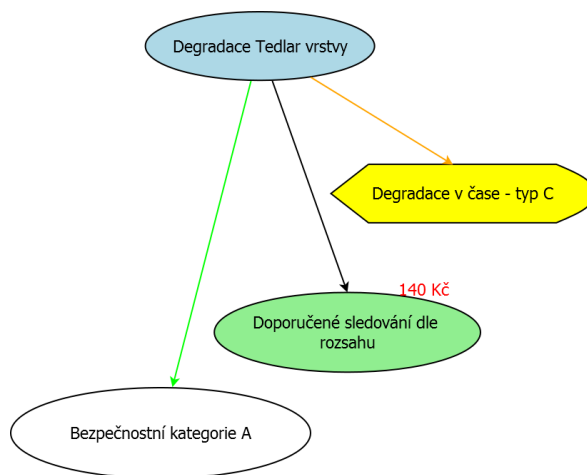
e) Prasklina



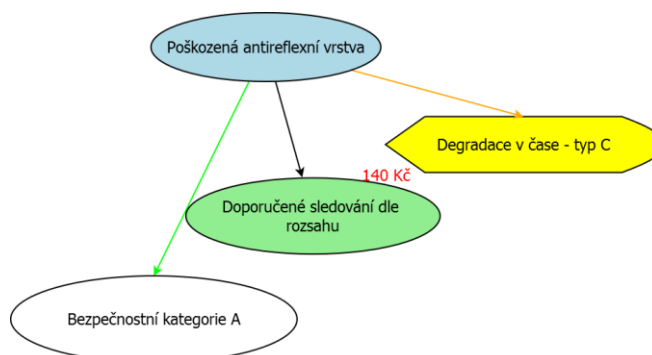
f) Degradace EVA fólie



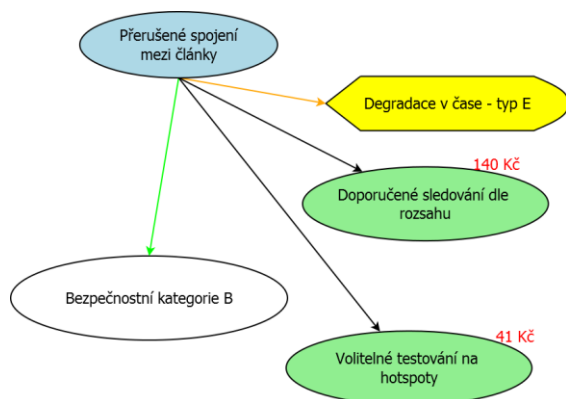
g) Degradace Tedlar vrstvy



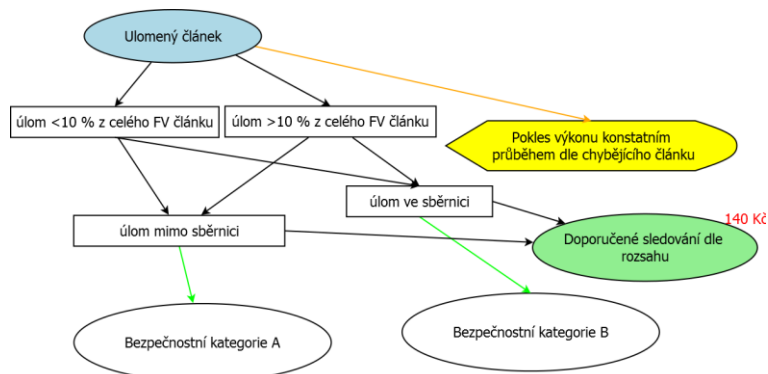
h) Poškozená antireflexní vrstva



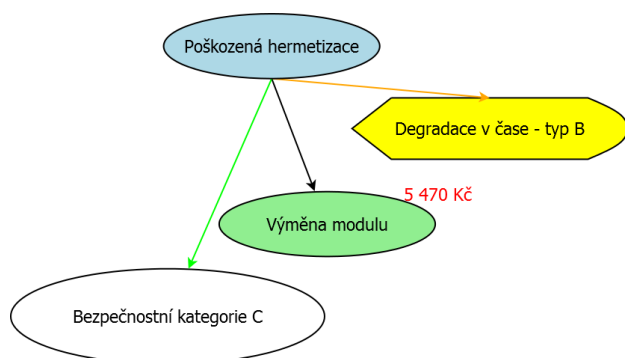
i) *Přerušené spojení mezi články*



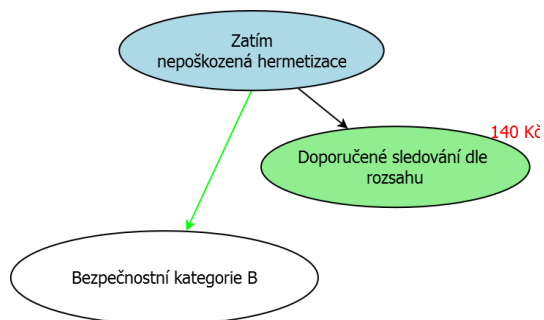
j) *Ulomený článek*



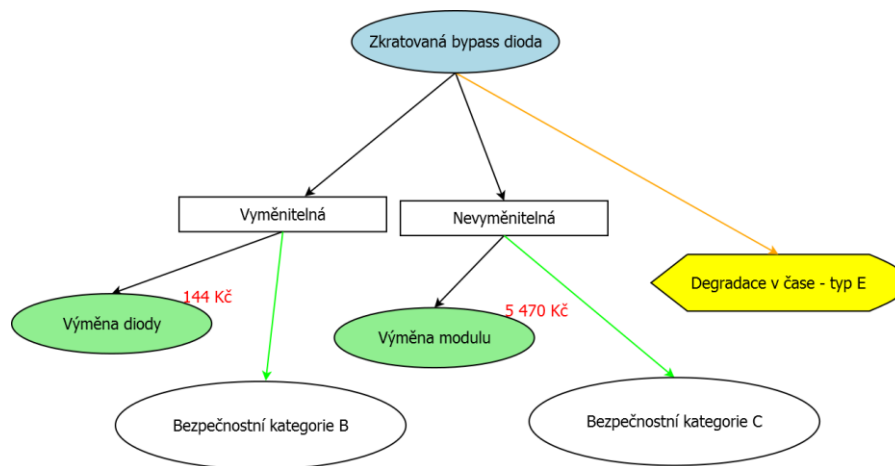
k) *Poškozená hermetizace*



l) *Zatím nepoškozená hermetizace*



m) Zkratovaná bypass dioda



B ● Příloha – Obsah CD

CD přiložené k bakalářské práci obsahuje následující položky:

./bakalarska prace – obsahuje znění bakalářské práce a kopii zadání

./ekon model zaklad – obsahuje ekonomický model vytvořený v programu Excel

./ekon model real – obsahuje ekonomický model vytvořený v programu Excel s použitím reálných dat

./diagram.zip – souhrn diagramů pro nalezení závady vypracovaných v programu Dia