



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## KŘIVKY STÁRNUTÍ PRO PRVKY DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

AGING CURVES OF ELEMENTS OF THE DISTRIBUTION NETWORK

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Bočan

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2022

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Tomáš Bočan

**ID:** 220752

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## Křivky stárnutí pro prvky distribuční soustavy

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zhodnocení současných přístupů při hodnocení křivek stárnutí pro jednotlivé prvky distribuční sítě, popis praktické aplikace křivek na provoz distribuční sítě
2. Popis vstupních dat, zhodnocení jednotnosti a konzistentnosti dat, kategorizace prvků/zařízení, výběr konkrétních prvků/zařízení, prvotní zhodnocení použitelnosti dat pro vybrané prvky
3. Příprava a agregace dat, dodatečné zhodnocení použitelnosti dat pro vybrané prvky
4. Návrh metodiky a poskytnutí doporučení - zpracování a vyhodnocení dat, grafické vyjádření, aplikace váhování, ovlivňující faktory aj.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce + seznam poruch a závad na jednotlivých zařízeních EG.D, a.s. (poskytne konzultant)

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 31.5.2022

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením současné metodiky, poskytnuté zadavatelem práce EG.D, a.s., pro vytváření křivek stárnutí prvků distribuční soustavy, konkrétně pak i samotným zhodnocením poskytnutých vstupních dat, ze kterých je následně vytvořena metodika nová. Nová metodika je pro ukázkou aplikována na podpěrné body vysokého napětí a porovnána s metodikou původní. Součástí práce je také rozbor analýzy stárnutí prvků distribuční soustavy a její využití u jednotlivých regionálních provozovatelů distribučních sítí, jakožto důležitý ilustrativní a všeobecný přehled k lepšímu pochopení jednotlivých souvislostí.

## **Klíčová slova**

Křivky stárnutí, distribuční soustava, plánování obnovy, porucha, závada, podpěrný bod

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the evaluation of the current methodology, provided by the client EG.D, a.s., for the creation of aging curves of distribution system elements, specifically the evaluation of the provided input data, from which a new methodology is subsequently created. The new methodology is applied to the high voltage support points and compared with the original methodology. The paper also includes an analysis of the ageing of distribution system elements and its application to each regional distribution network operator, as an important illustrative and general overview to better understand the individual context.

## **Keywords**

Aging curves, distribution system, recovery planning, failure, defect, support point

## **Bibliografická citace**

BOČAN, Tomáš. *Křivky stárnutí pro prvky distribuční soustavy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2022. 40 s., 2 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Tomáš Bočan</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>220 752</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2021/2022</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Křivky stárnutí pro prvky distribuční soustavy</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních, a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 30. května 2022

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph.D. za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Langovi ze společnosti EG.D, a. s. za odbornou pomoc a Ing. Adamu Teringlovi za poskytnutá data z ČEZ Distribuce, a. s. Všem výše zmíněným bych také poděkoval za rychlou komunikaci.

V Brně dne: 30. května 2022

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1. SOUČASNÝ STAV .....</b>	<b>11</b>
1.1 PREDISTRIBUCE, A. S. ....	11
1.1.1 <i>Index poruchovosti</i> .....	12
1.1.2 <i>Index obnovitelnosti</i> .....	13
1.2 EG.D, A. S. ....	14
1.3 ČEZ DISTRIBUCE, A. S.....	15
<b>2. KŘIVKY STÁRNUTÍ PRVKŮ DS.....</b>	<b>17</b>
2.1 STÁVAJÍCÍ METODIKA – POPIS A IDENTIFIKOVANÉ NEDOSTATKY.....	17
2.2 VSTUPNÍ DATA .....	20
2.2.1 <i>SAM_VEN_PB_VN</i> .....	20
2.2.2 <i>ERP_PM_NOTIF_DT</i> .....	21
2.2.3 <i>PB_2016-2021_BCpráce_AT</i> .....	21
<b>3. NOVÁ METODIKA .....</b>	<b>23</b>
3.1 ALGORITMUS NOVÉ METODIKY .....	23
3.2 ZPRACOVÁNÍ V MS EXCEL.....	25
3.2.1 <i>Přřazení váhování</i> .....	25
3.2.2 <i>Analyza stárnutí</i> .....	28
<b>4. ZÁVĚR.....</b>	<b>36</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>37</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>40</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Dvourozměrná matice rizik, převzato z [2].....	11
1.2	Schéma technického řešení pomocí softwarového nástroje PRIOTOOL, převzato z [3].....	12
1.3	Kabel VN mezi dvěma TS, převzato z [3].....	12
1.4	Využití indexu poruchovosti kabelu, převzato z [3].....	13
1.5	RIM pro kabelové úseky VN, převzato z [5].....	14
2.1	Vzorek současné metodiky křivek stárnutí pro poslední dvě pětiletky u plastového VN kabelu, převzato z [7].....	18
2.2	Křivka stárnutí pro VN kabel plastový, převzato z [7].....	18
3.1	Algoritmus nové metodiky.....	23
3.2	Nově definované funkce ve VBA, převzato a upraveno z [13].....	26
3.3	Četnost opakovaných závad/poruch.....	26
3.4	Kontingenční tabulka typu závady vztažená k typu PB.....	27
3.5	Graf četnosti výskytu úseků se závadou/poruchou s různým počtem PB.....	28
3.6	Určení počtu instalovaných PB ČEZ Distribuce v jednotlivých obdobích.....	29
3.7	Ukázka zpracování nové metodiky pro betonové PB.....	29
3.8	Pravděpodobnost vzniku závady/poruchy v čase pro novou a stávající metodiku u betonových PB.....	31
3.9	Určení možné oblasti výměny/rekonstrukce betonového PB.....	32
3.10	Derivace pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy betonových PB v čase.....	32
3.11	Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy v čase u betonových PB.....	33
3.12	Četnost výskytu závad/poruch dle váhy v čase u betonových PB.....	34
3.13	Četnost výskytu jednotlivých závad v čase u betonových PB.....	34
3.14	Vývoj průměrné váhy u betonových PB v čase.....	35

# SEZNAM TABULEK

1.1	Vstupní data RIM, převzato z [5].....	15
-----	---------------------------------------	----

# ÚVOD

Jelikož jsou v dnešní době ze strany Energetického regulačního úřadu (ERÚ) uplatňovány stále větší nároky na spolehlivost dodávek elektrické energie a zároveň rostou ceny materiálů a následně i jednotlivých prvků distribuční soustavy (DS), je potřeba o to více i systematicky plánovat obnovu DS. Při obnově je potřeba znát průběh stárnutí a tím pádem i pravděpodobnost poruchy jednotlivých prvků v průběhu času, přičemž tato závislost nebývá lineární a vstupuje do ní více faktorů, než jen stáří jednotlivých síťových prvků.

Cílem práce je tedy zhodnocení současného přístupu k vytváření křivek stárnutí prvků DS u EG.D, a.s. (dále jako EG.D), zhodnocení vstupních dat poskytnutých EG.D a na základě těchto dat vytvoření metodiky nové, která bude reflektovat zjištěné nedostatky. Další motivací práce je i zohlednění databáze poruch dalšího regionálního provozovatele distribuční soustavy (PDS), konkrétně ČEZ Distribuce, a. s. (dále jako ČEZ Distribuce), na základě které by se mohl vzorek vstupních dat rozšířit o závady/poruchy detekované na jejich DS. V práci bude nejprve proveden rozbor analýzy stárnutí prvků DS u jednotlivých regionálních PDS a následně stanoveny cíle využití získaných dat, pro všeobecný přehled a lepší pochopení souvislostí. Poté dojde ke zhodnocení metodiky současné a na základě zjištěných nedostatků ke tvorbě metodiky nové, přesnější. Nakonec bude nová metodika porovnána s původní na konkrétním vybraném prvku DS. V neposlední řadě nutno podotknout, že cílem zadavatele je především plánování obnovy a alokace financí s ní spojená, zlepšení ukazatelů spolehlivosti je až důsledkem.

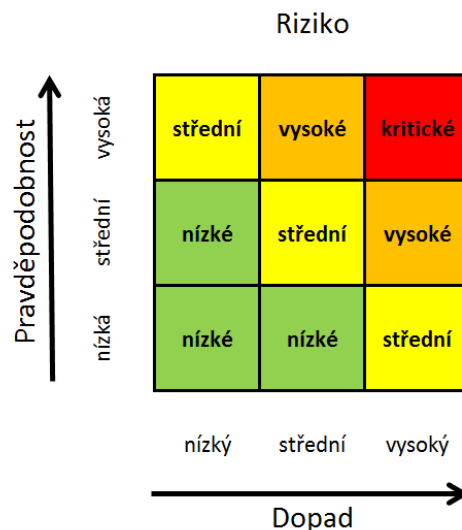
# 1. SOUČASNÝ STAV

Tato kapitola se zabývá současným přístupem k vytváření a následným využitím analýz stárnutí u jednotlivých regionálních PDS. Všechny následující informace vyplývají z potřeb Asset Managemetu jednotlivých regionálních distribučních společností, přičemž ostatní oddělení společností mohou mít mírně odlišné cíle využití získaných dat.

## 1.1 PREdistribuce, a. s.

PREdistribuce, a. s. (dále jen PREdi), jakožto PDS na území hl. města Prahy, má oproti společnostem EG.D a ČEZ Distribuce dosti specifickou distribuční soustavu, kde ve velké míře převládá kabelové vedení, u kterého je těžší analyzovat konkrétní místo poruchy. Proto je zde snaha rozdělit vedení na úseky s určitou pravděpodobností poruchy, podle které se následně mohou řídit technici při opravě, aby byla závada či porucha co nejrychleji odstraněna a neměla významný vliv na SAIDI a SAIFI ukazatele (více informací o SAIDI a SAIFI možno nastudovat v [1]). Dále je zde také snaha o zvyšování spolehlivost DS pomocí optimalizace obnovy, která zohledňuje aspekty technické, především však ekonomické a strategické cíle společnosti [2].

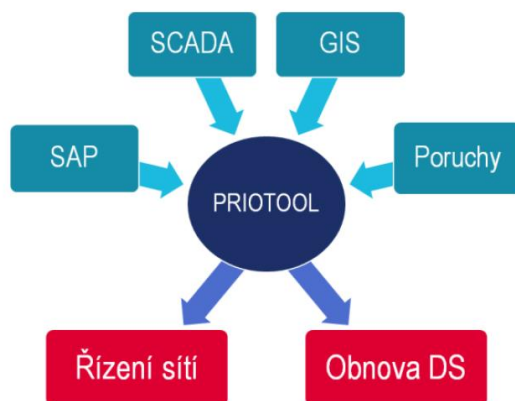
Při plánování obnovy jde tedy především o zvyšování spolehlivosti DS. Ta kromě počtu poruch závisí také na počtu postižených zákazníků a délce trvání výpadku. Výslednou závislost lze tedy zobrazit ve dvourozměrné matici rizik (viz obrázek 1.1 [2]), kde pravděpodobnost poruchy může reprezentovat například stáří zařízení a dopad je závislý na počtu spádových odběratelů, popřípadě rychlosti vymanipulování poruchy [2].



Obrázek 1.1 Dvourozměrná matice rizik, převzato z [2]

PREdi používá k obnově a optimalizaci distribuční sítě softwarový nástroj PRIOTOOL (viz obrázek 1.2 [3], na kterém jsou obecně shrnuty vstupní a výstupní data), realizovaný v softwaru Wolfram Mathematica, kterým vyhodnocuje indexy poruchovosti

a obnovitelnosti pro kabelové vysokonapětového (VN) vedení. Jako první bylo pro implementaci zvoleno kabelové VN vedení z důvodu největšího příspěvku do ukazatele četnosti přerušení dodávky (SAIFI) a ukazatele celkové doby trvání dlouhodobého přerušení (SAIDI). Vstupními daty jsou data jednotlivých kabelů skládajících se z kabelových úseků, spojek a koncovek, dalšími potřebnými daty je analýza poruch za posledních 20 let [3].



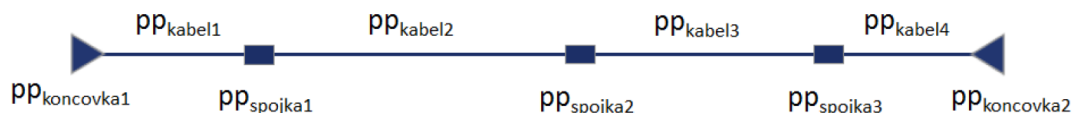
Obrázek 1.2 Schéma technického řešení pomocí softwarového nástroje PRIOTOOL, převzato z [3]

Kde: SAP – software, který integruje a automatizuje procesy v podniku, SCADA – dispečerský řídicí program, GIS – geografický informační systém

### 1.1.1 Index poruchovosti

PREdi provozuje VN síť dvoustupňově, a to jako napájecí a distribuční, přičemž v napájecí síti jsou již zavedeny prvky automatizace pro rychlejší lokalizaci a vymanipulování poruchy. V distribuční síti jsou tyto prvky teprve zaváděny, a proto je potřeba při operativním řízení poruchu co nejdříve vymezit a eliminovat, k čemuž slouží právě index poruchovosti [3].

Pro určení indexu poruchovosti vedení mezi dvěma transformačními stanicemi (TS) (obrázek 1.3 [3]) je nejprve potřeba určit indexy dílčích komponent, tedy koncovek, kabelů a spojek s jejich pravděpodobnostmi poruchy (pp) [3].

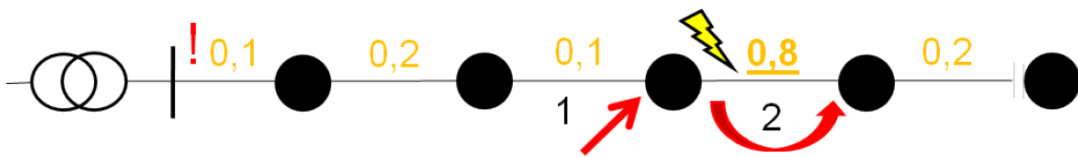


Obrázek 1.3 Kabel VN mezi dvěma TS, převzato z [3]

Pravděpodobnost poruchy pro jednotlivé prvky se určí podle [3] (str. 2) jako: „počet poruch daného typu zařízení za rok dělený celkovým rozsahem provozovaného zařízení příslušného typu (km či ks) v daném roce“. Z pravděpodobností poruch jednotlivých prvků lze poté vypočítat výsledný index poruchovosti (IP) celého kabelu, pomocí rovnice (1.1), z obrázku 1.3 [3].

$$\begin{aligned}
 IP_{celykabel} = & 1 - (1 - pp_{koncovka1}) \cdot (1 - l_{kabel1} \cdot pp_{kabel1}) \\
 & \cdot (1 - pp_{spojka1}) \cdot (1 - l_{kabel2} \cdot pp_{kabel2}) \\
 & \cdot (1 - pp_{spojka2}) \cdot (1 - l_{kabel3} \cdot pp_{kabel3}) \\
 & \cdot (1 - pp_{spojka3}) \cdot (1 - l_{kabel4} \cdot pp_{kabel4}) \\
 & \cdot (1 - pp_{spojka4}) \cdot (1 - pp_{koncovka2})
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

V praxi při poruše tedy čtyři vyrazí přímo ke kabelovému úseku s nejvyšší pravděpodobností poruchy, aby ji co nejrychleji detekovaly a vymanipulovaly. Přičemž indexy jednotlivých kabelů mají k dispozici v dispečerském řídicím programu SCADA. Postup při vymezení poruchy četou by tedy byl na obrázku 1.4 [3] následující: u nejbližší nadřazené ochrany byl detekován zkratový proud na vedení, technici tak v řídicím programu určí kabelový úsek s největším indexem poruchovosti, u kterého následně zkontrolují začátek a konec (krok 1 a 2 na obrázku). Pokud by se závada nevyskytovala na daném úseku, postupuje se k úseku s druhým nejvyšším indexem poruchovosti [3].



Obrázek 1.4 Využití indexu poruchovosti kabelu, převzato z [3]

### 1.1.2 Index obnovitelnosti

Tento index slouží k určování prioritizace obnovy prvků DS, přičemž prioritu mají prvky, jejichž výpadek by měl výrazný dopad na spolehlivostní ukazatele. Dále jsou zde také zohledněny strategické cíle společnosti, jako je například zavedení optické infrastruktury, nebo zvýšení ampacity kabelů v souvislosti s rozvojem elektromobility. Pro výpočet indexu obnovitelnosti (IO) u VN vedení je definována následující rovnice (1.2) [2].

$$IO = \frac{\Delta P \cdot OM_{total} \cdot k + O \cdot I(T = 1)}{C} \tag{1.2}$$

Kde:  $\Delta P$  - změna počtu poruch na vedení za rok,  $OM_{total}$  - počet odběrných míst,  $k$  - konstanta zohledňující vliv SAIDI a SAIFI ukazatelů,  $O$  - benefit plynoucí z optických kabelů,  $I(T=1)$  - indikátorová funkce, při propojení celé trasy má hodnotu 1, v opačném případě 0,  $C$  - náklady nezbytné pro danou obnovu [2].

## 1.2 EG.D, a. s.

EG.D využívá analýzu stárnutí pro plánování údržby a obnovy v závislosti na optimalizaci kapitálových nákladů (CAPEX), provozních nákladů (OPEX) a zlepšení spolehlivostních ukazatelů, oproti PREDi však EG.D využívá analýzu především pro obnovu DS, nikoli pro operativní řízení sítě (více informací o CAPEX a OPEX možno nastudovat v [4]). Požadovaná analýza stárnutí prvků DS, která má být cílem této práce, je jedním ze vstupních faktorů Risk index matice (RIM), na základě které probíhá obnova prvků DS.

### Risk index matice (RIM)

Jedná se o kontingenční tabulky pro všechny analyzované prvky DS, kde každý prvek má určitý rizikový faktor a důsledek poruchy (jak je patrné na obrázku 1.5 [5]), přičemž vstupní data jsou obecně shrnuta v tabulce 1.1 [5].

Důsledek poruchy	10	E 7 0	D 9 0	C 12 5	B 6 0	A 13 2	A 9 0	A 104 22	A 52 30	A 19 8	A 5 2
	9	E 18 0	D 13 0	C 28 2	B 12 5	A 20 0	A 36 0	A 205 20	A 117 51	A 54 19	A 10 7
	8	E 214 3	D 173 1	C 248 10	B 144 3	A 187 3	A 213 1	A 767 0	A 368 32	A 182 115	A 65 39
	7	E 32 2	D 24 3	C 86 4	B 47 9	A 76 8	A 142 14	A 634 39	A 333 96	A 131 32	A 26 3
	6	E 196 9	D 142 1	C 259 3	B 142 8	A 239 10	A 380 15	A 1427 63	A 1011 220	A 584 111	A 119 22
	5	E 185 15	D 252 7	C 434 3	B 265 10	A 492 26	A 728 50	A 2949 53	A 1696 270	A 873 177	A 125 33
	4	E 175 3	D 82 1	C 190 3	B 116 10	A 214 10	A 333 12	A 1351 46	A 697 103	A 445 86	A 83 19
	3	E 40 1	D 24 0	C 44 0	B 21 1	A 39 0	A 62 4	A 220 13	A 122 24	A 105 30	A 21 3
	2	E 6 0	D 3 0	C 11 0	B 12 0	A 20 0	A 38 1	A 127 1	A 66 10	A 53 14	A 21 1
	1	E 43 4	D 8 0	C 21 0	B 9 1	A 33 1	A 31 1	A 184 5	A 140 31	A 42 9	A 18 8
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Rizikové faktory										

Obrázek 1.5 RIM pro kabelové úseky VN, převzato z [5]

U obrázku 1.5 [5] je patrná potřeba obnovy podle písmen A až E, kde A – maximální doporučení pro obnovu, E – minimální doporučení pro obnovu. Analyzovanými prvky, pro které se vytváří RIM, a tím pádem i křivky stárnutí, jsou [5]:

- Kabelové úseky VN
- Venkovní úseky VN – podpěrné body
- Venkovní úseky VN – vodiče
- Venkovní úseky VN – úsekové spínače
- Venkovní úseky VN – agregace podpěrných bodů, vodičů a úsekových spínačů na agregovaný úsek venkovního vedení
- Distribuční trafostanice VN/nízké napětí

Tabulka 1.1 Vstupní data RIM, převzato z [5]

Zdroj	Poskytnutá data
GIS	Technická data o zařízení
SAP PM	Informace o závadách a poruchách a jejich aktuálním stavu
OMS	Informace o poruchách
Křivky zastarávání	Vliv stáří na stav zařízení
Diagnostika kabelů	Informace o měření tangens Delta a částečných výbojů
ITS	Výsledek výpočtu ITS ve VDS

U technických dat zařízení z GIS se pro každý druh, typ a materiál daného prvku volí odpovídající váhovací koeficient pro vstup do RIM. Pro kabelové úseky VN je dán další koeficient podle počtu spojek. Další váhování zohledňuje: lesní průsek u venkovního vedení, intravilán obce, námrazové oblasti, počet odběrných míst, nahraditelnost, typ vedení (kmen, odbočka, přípojka). Další koeficienty pro RIM jsou dány: indexem technického stavu zařízení, koeficientem stáří zařízení, poruchami, náklady na odstranění závad, diagnostikou kabelů. Váhovací koeficienty zde byly určeny v závislosti na CAPEX, proto by se pro OPEX mohly lišit [5].

### 1.3 ČEZ Distribuce, a. s.

Využití analýzy stárnutí je zde shodné s cíli EG.D. Oproti EG.D, kde jsou data zpracována pomocí příkazů v SQL databázích, využívá ČEZ Distribuce pro požadované úlohy a výpočty automatizované zpracování pomocí datových sestav a skriptů s použitím nástrojů Business Intelligence. Místo indexu technického stavu zařízení je zde využíván index rizika, který zahrnuje všechna dílčí kritéria, proto se zde dají snáze plánovat potřebné intervaly preventivní údržby, a tím pádem i alokace potřebných investic [6].

Všechny následující informace této podkapitoly byly převzaty z [6].:

#### Asset Management systém

Jedná se o systém řízení obnovy, který zahrnuje tři dílčí komponenty:

- **Asset performance management**

Tato komponenta se zaměřuje na analýzu spolehlivosti jednotlivých prvků DS. Klíčovým výstupem jsou zde celkové indexy rizika jednotlivých prvků DS, které dostaneme vyhodnocením dílčích indexů. (index rizika = pravděpodobnost poruchy + důležitost)

- Do hodnocení tedy vstupuje index zdraví, jehož váha je vyhodnocena na základě nákladů vynaložených na poruchy a závady, historií závad, hodnocení při preventivní údržbě a pomocí diagnostiky.
- Dalším vstupem je index důležitosti, který zohledňuje topologii sítě, počet odběratelů a velikost odběru.
- Degradční křivka tvořená statistikou poruch.

- Efektivní stáří dáno kombinací reálného stáří a indexu zdraví
  - Index nebezpečí selhání je dán efektivním stářím a tvarem degrační křivky zařízení
- **Asset Investment Planning**

Tato komponenta má za úkol zefektivnění investic a údržby, tedy vytváření možných OPEX a CAPEX simulací, citlivostních analýz a what-if scénářů.
- **Enterprise Asset Management**

Jedná se o systémové prostředí pro techniky a asset managery, ve kterém lze na mapách zobrazit indexy zdraví, závady, poruchy, topologie dané sítě. Spadá sem také vytváření dvourozměrných RIM, kde je hodnoceno zařízení dvěma kritérii, a to pravděpodobností poruchy a důležitostí.

## 2. KŘIVKY STÁRNUTÍ PRVKŮ DS

U EG.D se jedná o jeden ze vstupních parametrů do RIM, podle kterého je následně plánována obnova sítě. „Křivky stárnutí“ zde není definovaný technický pojem, jedná se spíše o snahu simulovat předpokládanou životnost zařízení pomocí dostupných dat. Jelikož mají prvky DS dlouhou životnost, firmy se pravidelnými revizemi snaží zajistit jejich spolehlivost a k výměně dochází ještě před koncem životnosti, je těžké určit jejich reálnou křivku stárnutí, proto se při simulacích vychází z technických dat předpokládané životnosti udávané výrobcem. Tato kapitola zhodnotí současný přístup vytváření křivek a poskytnutá vstupní data pro vytvoření metodiky nové.

### 2.1 Stávající metodika – popis a identifikované nedostatky

Celý následující popis vychází ze stávající metodiky, jejíž komplexní představení je uvedeno v [7].:

Zadavatel aplikoval svoji metodiku prozatím pouze na kabelové VN vedení, na kterém bude stávající metodika reprezentována. Potřebná data jsou nejprve zpracována programem MS Excel, do kterého musí být vstupní data získaná z databázi SQL manuálně vkládána.

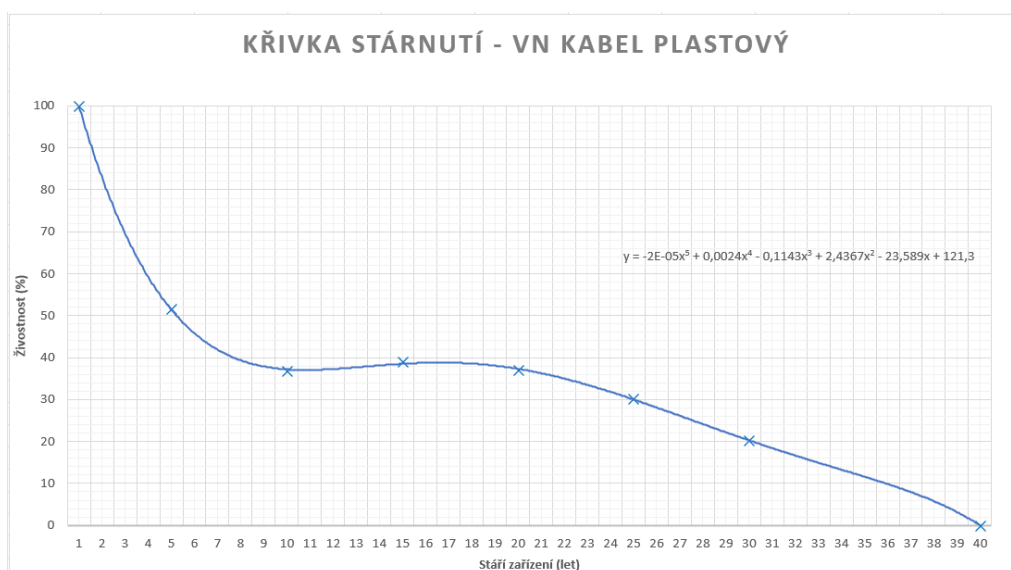
Vstupními daty jsou zde závady, poruchy a u kabelového vedení ještě diagnostika částečného výboje a tangens delta. Závady a poruchy se berou v potaz pouze ty, které nebyly způsobeny cizím zaviněním, ale únavou materiálu či nedostatky konstrukčního řešení (např. překopnutí kabelu při stavebních pracích, nebo pád vedení způsobený větrem bude mít váhu 0). Jelikož se EG.D pomocí dat z pravidelných revizí snaží zajistit bezporuchový chod DS, je vstupní vzorek závad a poruch tak malý, že jsou jednotlivá srovnávaná období ve formě pětileték.

Pro jednotlivá pětiletá období je zde udán počet zařízení, která se v těchto letech postavila, nebo která prošla rekonstrukcí, dále je zde udán počet provedených diagnostik. Z těchto diagnostik je dále vypsán počet zjištěných mírných a vysokých rizik, který je následně vynásoben vahou daného rizika pro získání výsledných bodů. Body celé diagnostiky jsou dány jako součet bodů diagnostiky částečného výboje a tangens delta pro mírné a vysoké riziko, podělený celkovým počtem diagnostik. Závady jsou u kabelového vedení rozděleny na: mechanicky poškozené nadzemní chráničky, zkorodované nadzemní chráničky a konstrukce, poškozené uzemnění chráničky. Jako porucha se bere pouze vadný kabel, přičemž u závad a poruch je obdobný postup výpočtu jako u diagnostik, pro dosažení výsledných bodů tedy počet vynásobíme vahou a výsledné body následně podělíme počtem zařízení. Pro získání výsledných bodů kabelového vedení za pětileté období vynásobíme body diagnostiky váhovacím koeficientem diagnostiky a výslednou hodnotu přičteme k celkovým bodům poruch a závad, vynásobeným jejich váhovacím koeficientem (výsledky výše uvedeného

postupu jsou znázorněny na obrázku 2.1 [7]). Výsledné body kabelu za jednotlivá období jsou následně přepočteny na procentuální životnost pomocí indexu maxima (maximální hodnoty výsledných bodů), kde výsledné body za období jsou poděleny indexem maxima, vynásobeny hodnotou 100 a odečteny od 100 %. Takto vypočtená životnost je následně vykreslena do grafu ve formě bodů a proložena polynomem, v tomto případě průběh nejlépe reprezentoval polynom pátého řádu (obrázek 2.2 [7]). Následně je dopočtena životnost pro jednotlivé roky pomocí dosazení stáří zařízení do polynomicke funkce, kterou je graf proložen.

<b>Plastový</b>						
Celkem		Kategorie rok výstavby / rekonstrukce	2020-2016		2015-2011	
17144	Počet zařízení		3113		3517	
2910	Počet diagnostik		220		510	
		Váha	počet	body	počet	body
Diagnostika	Mírné riziko	0,25	22	5,5	85	21,25
částečné výboje	Vysoké riziko	0,50	14	7	22	11
Diagnostika	Mírné riziko	0,25	17	4,25	61	15,25
tangens delta	Vysoké riziko	0,50	24	12	79	39,5
	<b>Váha diagnostiky do výsledných bodů</b>	<b>0,70</b>	<b>77,00</b>	<b>28,75</b>	<b>247,00</b>	<b>87,00</b>
	Přepočet na počet diagnostik			0,1307		0,1706
Závady	Mechanicky poškozené nadzemní chráničky	0,10	2	0,2	5	0,5
	Zkorodované nadzemní chráničky a konstrukce	0,10	2	0,2	2	0,2
	Poškozené uzemnění chráničky	0,10		0		0
Poruchy	Vadný kabel VN	0,00		0	2	0
	<b>Váha závad a poruch do výsledných bodů</b>	<b>1,00</b>	<b>4,00</b>	<b>0,40</b>	<b>9,00</b>	<b>0,70</b>
	Přepočet na počet zařízení			0,0001		0,0002
	Výsledné body	1,70		<b>0,0916</b>		<b>0,1196</b>

Obrázek 2.1 Vzorek současné metodiky křivek stárnutí pro poslední dvě pětiletky u plastového VN kabelu, převzato z [7]



Obrázek 2.2 Křivka stárnutí pro VN kabel plastový, převzato z [7]

## Nedostatky stávající metodiky

Nedostatky vychází ze stávající metodiky [7].:

Prvním technickým nedostatkem, který má nová metodika eliminovat, je potřeba manuální aktualizace dat v MS Excelu, přičemž nová metodika by měla brát ohled na budoucí přepracování do SQL databáze, kde by bylo možné provádět potřebné operace pomocí předem definovaných dotazů.

Nedostatky po stránce zpracování dat jsou následující:

- Zařízení, která byla v daném roce zrekonstruována a nově postavena, by neměla být počítána dohromady, protože i po rekonstrukci se mohou projevit určité negativní vlivy dané stářím. Proto by bylo vhodnější separovat zařízení podle roku výstavby, pokud to vstupní data dovolí, a pro případnou rekonstrukci přidělit zařízení definovaný váhovací koeficient pro další výpočty.
- Dalším nedostatkem je malý vzorek závad a především poruch, přičemž nová metodika bude ve spolupráci s Asset Managementem ČEZ Distribuce rozšířena o data závad a poruch diagnostikovaných na jejich DS.
- Kvůli malému vzorku závad a poruch a použití pětiletých období analýzy není aproximace polynomem pátého řádu zcela přesná a bylo by vhodné využít například iterace pro určení aproximačního polynomu.
- U výpočtu životnosti pro jednotlivé roky se pro prvky zhotovené v aktuálním roce bere stáří 1 rok, přitom by se spíše mělo jednat 0 let. Tato nepřesnost však zanáší do vypočítané životnosti pouze minimální chybu.
- Aby 0 % životnosti vyšlo přesně na očekávanou dobu životnosti, tedy 40 let, je index maxima určen součtu indexů za poslední dvě období, tedy mezi lety 1981 až 1990. Index je takto určen, aby vyšel maximální, zanáší se však chyba do výpočtů, jelikož ostatní období jsou počítána pouze po pěti letech.

Primární limitací metodiky je však fakt, že prvky DS jsou měněny ještě před koncem jejich životnosti, což je z ekonomického pohledu logické. Nelze však proto jasně určit reálnou křivku stárnutí, a tak se vychází z předpokladu, že nově instalované zařízení má 100% životnost a v době konce životnosti udávané výrobcem bude mít životnost 0 %, tím pádem dojde k jeho selhání a vyřazení z provozu. Mezi těmito body je následně hledán průběh stárnutí pomocí dat o poruchách a závadách. Pro praktickou aplikaci však není potřebná reálná křivka stárnutí, hlavním cílem je zde určit interval zlomu v modelovaném průběhu, v jehož rozmezí bude optimální realizovat výměnu zařízení.

Ve výsledku je tedy výpočet původní metodiky jako procentuální pokles životnosti v čase poněkud nešťastně vyřešen, protože na konci životnosti v 0 % zařízení mohou fungovat, je u nich však větší pravděpodobnost vzniku závady/poruchy. Ve výpočtu musí být také manuálně upraven index maxima, jinak by se životnost ke konci sledovaného období, po průchodu 0 %, mohla opět zvyšovat. Optimálním řešením by tedy mohl být například vývoj pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy na daném prvku v čase.

## 2.2 Vstupní data

Pro vytvoření křivek stárnutí byly zadavatelem vybrány podpěrné body (PB) VN vedení včetně jejich databáze závad a poruch od roku 2017 do roku 2021. Vstupní data jsou zpracována ve formě dvou MS Excel tabulek [8][9]. Pro určení vah byl zadavatelem poskytnut ještě závadovník [10], ve kterém jsou jednotlivým závadám přiděleny váhy. Dále byla také od Asset Managementu ČEZ Distribuce získána data o závadách a poruchách na jejich DS od roku 2016 do roku 2021 [11] a seznam počtu jejich PB a instalovaného vedení v km v jednotlivých letech [12]. Data ČEZ Distribuce mají mírně odlišný charakter, jelikož se nejedná o záznam závad/poruch na konkrétním PB, ale na daném úseku, u kterého je uveden počet dotčených PB.

Pro zorientování se by bylo vhodné uvést rozdíl mezi závadou a poruchou. Při závadě je prvek stále schopen plnit svou funkci a v datech je u každého záznamu uveden jeho kód, dle kterého se dá v závadovníku dohledat jeho typ a závažnost. Oproti tomu při poruše se prvek stává nepoužitelným a je potřeba ho opravit či vyměnit. Záznamy o poruchách mají kódy jako závady, ale v dalším sloupci je definováno, zda se jedná o závadu, nebo poruchu.

### 2.2.1 SAM\_VEN\_PB\_VN

Následující popis vychází z [8].:

Obsahem tohoto dokumentu je databáze všech VN podpěrných bodů, jejichž počet činí 240 230 ks. V tabulce se nachází sloupce, které mají následující identifikační rozlišení použitelné pro analýzu stárnutí:

- G3R\_FID
  - Jednoznačný identifikátor zařízení. Jedná se o číslo, pod kterým lze daný PB najít i v jiných interních dokumentech.
- TENSION
  - Typový tah pro daný PB.
- POLE\_HEIGHT
  - Výška podpěrného bodu.
- CATEGORY\_TXT
  - Druh podpěrného bodu (betonový, dřevěný, ocelový).
- YEAR\_OF\_CONSTRUCTION
  - Rok výstavby.
- OPERATION\_TXT
  - Typ provedení (koncový, nosný, rohový atd.).

Primární vstupy pro analýzu tedy budou sloupce CATEGORY\_TXT, kde se pro každý typ PB vytvoří křivky stárnutí, a YEAR\_OF\_CONSTRUCTION, podle kterého se určí stáří zařízení. Dále bude vhodné provést analýzu, zda je korelace na závady a poruchy pro následujících data: TENSION, POLE\_HEIGHT, OPERATION.

### 2.2.2 ERP\_PM\_NOTIF\_DT

Následující popis vychází z [9].:

Obsahem tohoto dokumentu je tabulka závad a poruch PB VN analyzovaných mezi lety 2017 a 2021. Jedná se o 49 884 detekovaných závad a poruch s různou mírou závažnosti.

Pro analýzu budou důležitá následující pole:

- ZZPM\_CZ\_IDPTE
  - Jedná se o identifikátor zařízení odpovídající poli G3E\_FID ze SAM\_VEN\_PB\_VN.
- STACTU, STACTUTXT
  - Status závady/poruch (nález, investice, provozní oprava, odloženo atd.), kde STACTU je zkratka STACTUTXT.
- ZZPM\_CZ\_DRZAVKOD
  - Kód závady/poruchy, podle kterého budou přidělovány váhy ze závadovníku.
- ZZPM\_DRZAVTXT
  - Popis dané závady/poruchy.
- ERDAT
  - Datum vzniku závady/poruchy.
- ZZPM\_CENA
  - Cena za vymanipulování dané závady/poruchy.
- PRIORITY\_DESC, BRK\_CAUSE\_DESC
  - Pomocí těchto dat se dá určit, zda porucha vznikla stárnutím zařízení, nebo cizím zaviněním, popř. vlivy počasí (vichřicí, bouřkou atd.).

### 2.2.3 PB\_2016-2021\_BCpráce\_AT

Následující popis vychází z [11]:

Obsahem tohoto dokumentu je seznam závad/poruch na úsecích vedení ČEZ Distribuce od roku 2016 do roku 2021. Jedná se o 22 491 záznamů závad a poruch.

Důležité pole dokumentu:

- Hlášení
  - Kód, podle kterého budou přiřazovány roky výstavby
- Technické místo
  - Kód úseku, podle kterého budou přiřazovány chybějící roky výstavby
- Rok výroby
  - Část roků výroby je přidělena podle hlášení, část podle technického místa
- Napětí – text
  - Napěťová hladina
- Text kódu k části objektu
  - Typ PB (betonový, dřevěný s patkou/ bez patky, ocelový)

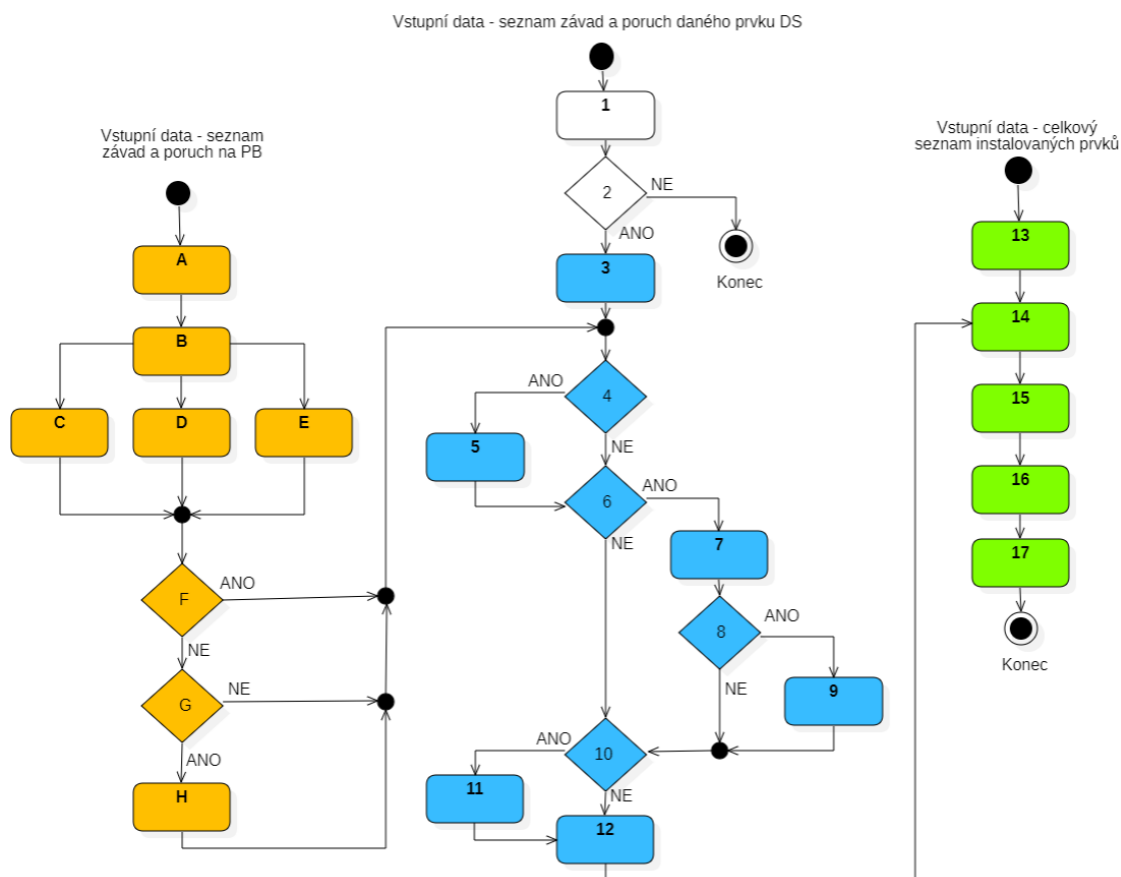
- Priorita
  - Závažnost poruchy/závady (1-5)
- Text kódu příčiny
  - Popis závady/poruchy, podle kterého budou odfiltrována cizí zavinění
- Text kódu problému
  - Popis závady/poruchy, podle kterého budou přiřazována váhování
- Množství
  - Počet PB na daném úseku, kterých se daná závada/porucha týká
- Založeno dne
  - Datum vzniku závady/poruchy

### 3. NOVÁ METODIKA

Na základě požadavků EG.D byla nová metodika zpracována ve formě algoritmu, podle kterého bude následně možná její aplikace v libovolném programu/databázi. Dále bude v této kapitole rozebrán postup zpracování dat ČEZ Distribuce a EG.D v MS Excelu, prezentace výsledků a jejich zasazení do kontextu.

#### 3.1 Algoritmus nové metodiky

V této podkapitole je rozepsán postup realizace nové metodiky, přičemž v následujícím algoritmu (obrázek 3.1) je oranžově označeno doporučení konkrétně pro PB, zbytek je univerzální pro všechny prvky DS. Modrou barvou je realizováno přiřazení vah jednotlivým podpěrným bodům a zeleně je označen postup pro vytvoření požadovaných výstupů, tedy analýzy stárnutí prvků DS. Přičemž přehlednější algoritmus s postupy vepsanými do jednotlivých prvků diagramu lze nalézt v příloze A.



Obrázek 3.1 Algoritmus nové metodiky

Popis jednotlivých bloků schématu z obrázku 3.1, přičemž vstupní data zahrnují seznam PB a jejich záznamy o závadách/poruchách:

1. Odečtení roku vzniku závady/poruchy na PB od jeho roku instalace.
2. Jedná se o kladnou hodnotu? (Jelikož u dat není rozlišeno, zda se jedná o rok instalace, nebo rekonstrukce, jsou pomocí tohoto bloku odfiltrovány záporné hodnoty. Tedy hodnoty, kdy závada/porucha vznikla ještě před rekonstrukcí a již není znám rok instalace, pouze rekonstrukce.)
3. Přiřazení vah ze zavadovníku jednotlivým poruchám.
4. Jedná se o duplicitní záznam? (Záznam kdy se vyskytla stejná porucha vícekrát na totožném PB)
5. Uvažovat pouze první záznam. (Jelikož je rozmezí vzniku poruch/závad maximálně 5 let, je uvažováno, že daná porucha/závada nebyla odstraněna, nebo byla nekvalitně opravena a opět se projevila. Při větším časovém horizontu zůstává toto řešení k diskusi.)
6. Je na jednom PB více záznamů závad/poruch?
7. Sečíst váhy a uvažovat pro ně datum nejstaršího záznamu.
8. Je součet vah  $>1$ ?
9. Přiřadit váhu 1. (Váha na jednom PB nesmí přesáhnou hodnotu 1, tedy hodnotu nejhoršího stavu.)
10. Jedná se o poruchu?
11. Přiřadit váhu 1.
12. Přiřadit výslednou váhu každému PB.
13. Určit počet zařízení vyrobených v 5letých intervalech do 50 let stáří (50 let zvoleno jako průměrná životnost PB, dle normy ČSN EN 50341-1 ED.2). (5leté intervaly zvoleny kvůli charakteru dat ČEZ Distribuce, kde nebyly k dispozici detailnější data, jinak by stálo za zvážení přepracování například do tříletých intervalů pro následnou přesnější aproximaci.)
14. Určit počet zařízení se závadou/poruchou v daném časovém intervalu rozčleněný podle váhy.
15. Vynásobit počty zařízení danými váhami, tyto hodnoty v daném období následně sečíst a podělit celkovým počtem zařízení instalovaných v daném období. (Výsledkem bude relativní dopad závad/poruch na počet zařízení v daném období neboli pravděpodobnost vzniku závady/poruchy.)
16. Proložit získaná data za jednotlivá období polynomem a zobrazit jeho rovnici v daném programu, popřípadě provést iterace pro určení aproximačního polynomu. (Výsledkem bude průběh vývoje pravděpodobnosti poruchy v čase, který bude vstupovat do RIM.)
17. Provést derivaci daného polynomu. (Tím bude získána relativní informace o zvyšování/snižování počtu závad/poruch vzhledem ke stáří.)

- A. Určit typ PB. (ocel/dřevo/beton)
- B. Určit procentuální zastoupení jednotlivých závad ve všech záznamech závad.
- C. Určit procentuálního zastoupení jednotlivých závad u jednotlivých hodnot napětí v tahu.
- D. Určit procentuálního zastoupení jednotlivých závad u jednotlivých typů PB dle pozice (rohový, kotevní atd.).
- E. Určit procentuálního zastoupení jednotlivých závad u jednotlivých hodnot výšky.
- F. Je vzorek daného typu/hodnoty zastoupen pod 5 % z celku? (Nízké počty PB daného typu by nemusely mít vypovídající hodnotu a mohly by být zkresleny)
- G. Liší se zastoupení jednotlivých závad u typu/hodnoty podpěrného bodu oproti hodnotám z bodu B o více než 30 %?
- H. Tento bod zůstává k diskusi, je možné váhu méně závažných výrazněji zastoupených závad snížit, aby jimi data nebyla zkreslena a více se projevily závažnější závady, na druhou stranu můžou být tyto váhy navýšeny, aby se dané závadě věnovala větší pozornost, když je známo, že je na ni daný typ PB náchylný.

## 3.2 Zpracování v MS Excel

V této podkapitole bude nastíněn postup zpracování dat v MS Excelu, sloučení dat ČEZ Distribuce a EG.D, prezentace výsledků nové metodiky a zasazení dat do kontextu. Nová metodika se dá rozdělit na dvě oblasti, a to přiřazení váhování jednotlivým PB a výpočtu pro zobrazení výstupů analýzy stárnutí.

### 3.2.1 Přiřazení váhování

#### Data EG.D:

- Nejprve byl jednotlivým záznamům závad přiřazen rok jejich vzniku a rok výstavby PB společně s typem PB přes příkaz SVYHLEDAT().
- Poté byl odečten datum vzniku závady od data výstavby a záporné roky byly odfiltrovány. Tento fakt je dán tím, že u dat není rozlišeno, zda se jedná o rok instalace, nebo rekonstrukce.
- Sloučením identifikačního čísla PB s jeho kódem závady pomocí příkazů HODNOTA() a CONCAT() a podmíněným formátováním zůstaly u duplicitních závad na PB pouze první výskyty.
- Dále byly jednotlivým závadám přiřazeny váhy ze závadovníku pomocí příkazů INDEX() a POZVYHLEDAT().
- Následně byly přes pomocné sloupce a nově definované funkce, pomocí maker ve VBA (obrázek 3.2), sloučeny váhy při výskytu více závad na jednom PB. Zároveň bylo zařízeno, aby součet vah nepřesáhl na jednom PB

hodnotu 1. Přičemž funkce FirstVisibleCell zobrazí při použití filtru v excelu první viditelnou hodnotu v následující buňce a LastVisibleCell zobrazí při použití filtru v excelu poslední viditelnou hodnotu v buňce.

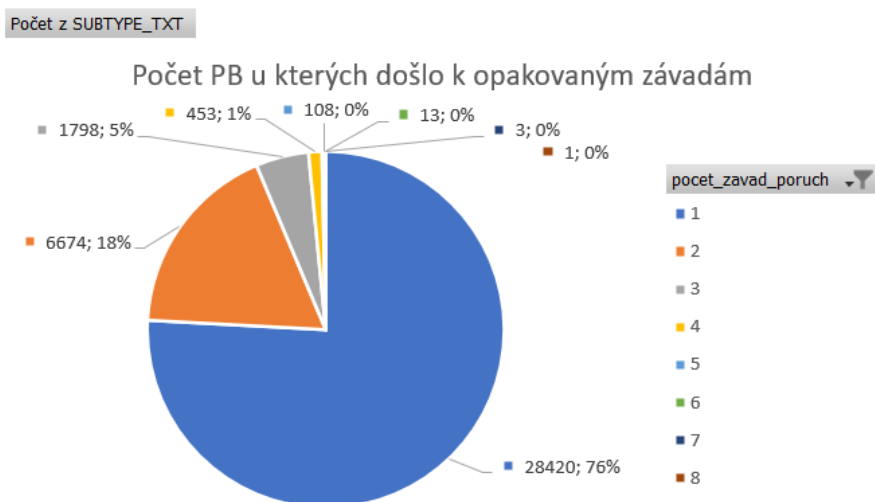
```
Function FirstVisibleCell(R As Range) As Variant
    Dim C As Range
    For Each C In R.Cells
        If Not (C.EntireRow.Hidden Or R.EntireColumn.Hidden) Then
            FirstVisibleCell = C.Value
            Exit For
        End If
    Next C
End Function
```

---

```
Function LastVisibleCell(R As Range) As Variant
    Dim C As Range
    For Each C In R.Cells
        If Not (C.EntireRow.Hidden Or R.EntireColumn.Hidden) Then
            LastVisibleCell = C.Value
        End If
    Next C
End Function
```

Obrázek 3.2 Nově definované funkce ve VBA, převzato a upraveno z [13]

- Z charakteru funkcí vyplynulo, že při dvou závadách se k součtu vah přiřadilo datum vzniku staršího záznamu, u třech funkcí se přiřadilo datum prostředního záznamu a u více poruch se uvažovalo datum předposledního záznamu, což je ovšem k počtu výskytu více poruch zanedbatelné (viz obrázek 3.3).



Obrázek 3.3 Četnost opakovaných závad/poruch

- Dále byly všem záznamům označených jako porucha přiděleny váhy 1.
- Konkrétně pro PB byly ještě vytvořeny kontingenční tabulky pro napětí v tahu, výšku PB a typ PB (obrázek 3.4), pomocí kterých by se dala realizovat

již zmíněná oranžová větev algoritmu z obrázku 3.1 v kapitole 3.1, pomocí které by bylo upraveno váhování.

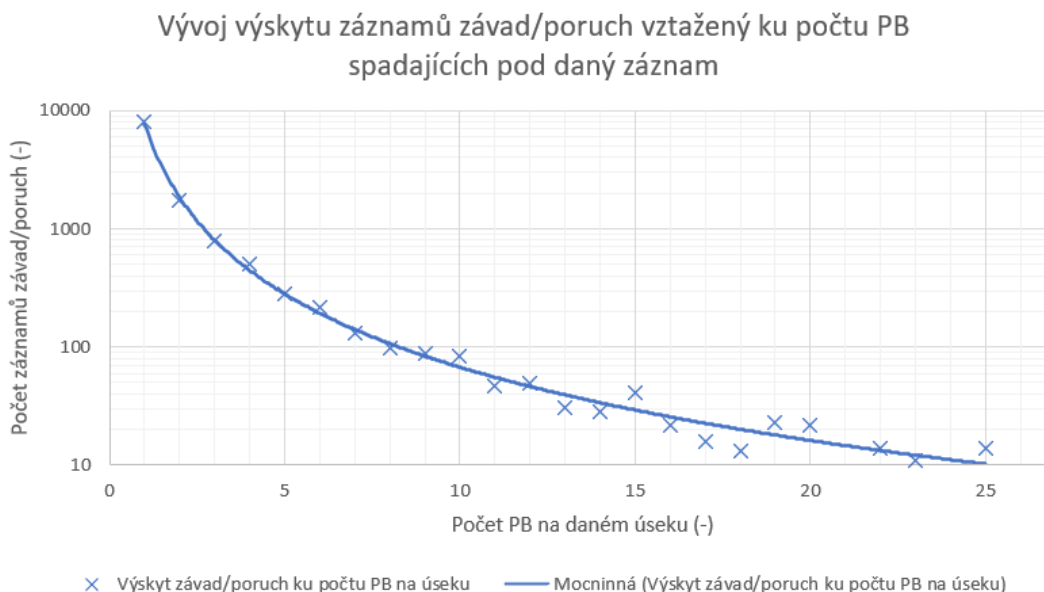
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	typ_pb	(Vše)																						
2																								
3	Počet z ZZPM_DRZAVTXT	Popisky sloupců																						
4	Popisky řádků		192	193	194	195	196	199	200	201	202	203	206	207	208	209	210	211	212	213	414	416	417	Celkový součet
5	koncový		7	15	1	1	80	11	13	7	3	32	2	96	3	70	45	17	1	13	30	9	2	458
6	křížovatkový nosný		8	5			39	19	14	7	3	40	4	96		43	23	9	1	2	23	10		346
7	křížovatkový nosný rohový						1											1						2
8	křížovatkový rohový výztužný			2		1		5	6	2		3		27		7	11	1		1	5			71
9	křížovatkový výztužný		2				4	5	8	8	1	5		49	3	7	12	1		10	5	2		122
10	nosný		49	643	801	17	8878	313	187	105	544	6914	2055	738	12	5652	441	350	853	21	1470	401	18	30462
11	odbočný		8	54	7	7	395	53	38	30	36	229	37	217		421	85	61	18	6	226	64		1992
12	odbočný výztužný		15	26	6	10	338	149	121	83	31	179	8	691	7	319	309	37	5	75	153	60		2622
13	rohový		9	65	5	20	703	48	52	21	37	529	146	322		558	98	54	59	9	268	51	1	3055
14	rohový odbočný		4	11		2	73	18	29	12	5	54	14	94		57	41	7	8	17	37	10		493
15	rohový výztužný		18	24	5	8	332	118	146	81	34	294	13	775	4	270	333	30	10	116	125	41	1	2778
16	výztužný		21	13	6	1	178	108	110	55	20	96	54	571	5	171	280	32	25	101	83	38	1	1969
17	Celkový součet		141	858	831	67	11021	847	724	411	714	8375	2333	3676	34	7575	1678	600	980	371	2425	686	23	44370

Obrázek 3.4 Kontingenční tabulka typu závady vztažená k typu PB

### Data ČEZ Distribuce:

- Nejprve bylo potřeba ke všem záznamům přiřadit roky výstavby, přičemž přibližně polovina záznamů byla přiřazena podle kódu hlášení na kartě „GISID“, zbylé roky výstavby byly aproximovány pomocí kódu technického místa. Na kartě „Rok výroby (alt.)“ byl každému technickému místu přiřazen různý počet PB včetně dat jejich instalace, proto bylo uvažováno, že se závada/porucha stala na nejstarším PB daného úseku. Pro doplnění těchto dat byl definován skript v Pythonu (viz příloha B).
- Dále proběhlo vyfiltrování hladiny napětí na 22 kV a 35 kV, aby byla úroveň shodná s daty EG.D.
- Poté proběhlo přiřazení vah ze zavadovníku EG.D k záznamům ČEZ Distribuce prostřednictvím „Text kódu problému“. Váhy byly přiřazeny na základě podobnosti textu, jelikož stejný text kódu problému nabýval u různých záznamů různých priorit ČEZ Distribuce. Dalším řešením by mohlo být vytvoření průměrné priority, dle ní a podobnosti u popisu závady/poruchy přiřazovat váhy ze zavadovníku. K poruchám byla opět přiřazena váha 1.
- Následně byly odfiltrována cizí zavinění pomocí „Text kódu příčiny“.
- Dále proběhlo, stejně jako u dat EG.D, odečtení data vzniku závady/poruchy od roku výstavby a odfiltrování záporných hodnot.
- Kvůli charakteru dat nebylo možné určit, zda se na jednom PB nachází více poruch/závad. Zároveň bylo dohodnuto zjednodušení, že pro každý záznam bude uvažována pouze jedna váha, jako by se jednalo o jeden PB, jelikož realizace roznásobení vah počtem PB a jejich následné sloučení s daty EG.D by bylo v Excelu obtížně realizovatelné. Tato aproximace by na základě charakteru dat neměla do výpočtu zanést znatelnou chybu, jelikož cca 66 % záznamů se týká pouze jednoho PB, cca 16 % záznamů se týká dvou PB a s rostoucím počtem PB na daném úseku počet záznamů exponenciálně klesá,

jak je patrné z obrázku 3.5. V grafu na obrázku 3.5 byly zobrazeny pouze úseky s výskytem záznamů vyšším jak 10, aby byla data přehledná. Úseky, které tvoří vyšší desítky či nižší stovky, je lepší odfiltrovat, jelikož se jedná o závady s nízkou vahou, které mohou zkreslit data po stránce váhy i data vzniku závady (Lehké závady se zřejmě vyskytují na více PB, než je ve skutečnosti zaznamenáno, datum jejich vzniku tedy závisí převážně na plánu jejich kontroly v terénu.).



Obrázek 3.5 Graf četnosti výskytu úseků se závadou/poruchou s různým počtem PB

### 3.2.2 Analýza stárnutí

V této podkapitole budou popsány postupy pro vytvoření jednotlivých možných prezentací průběhu stárnutí a zasazení dat do kontextu pro všeobecný přehled.

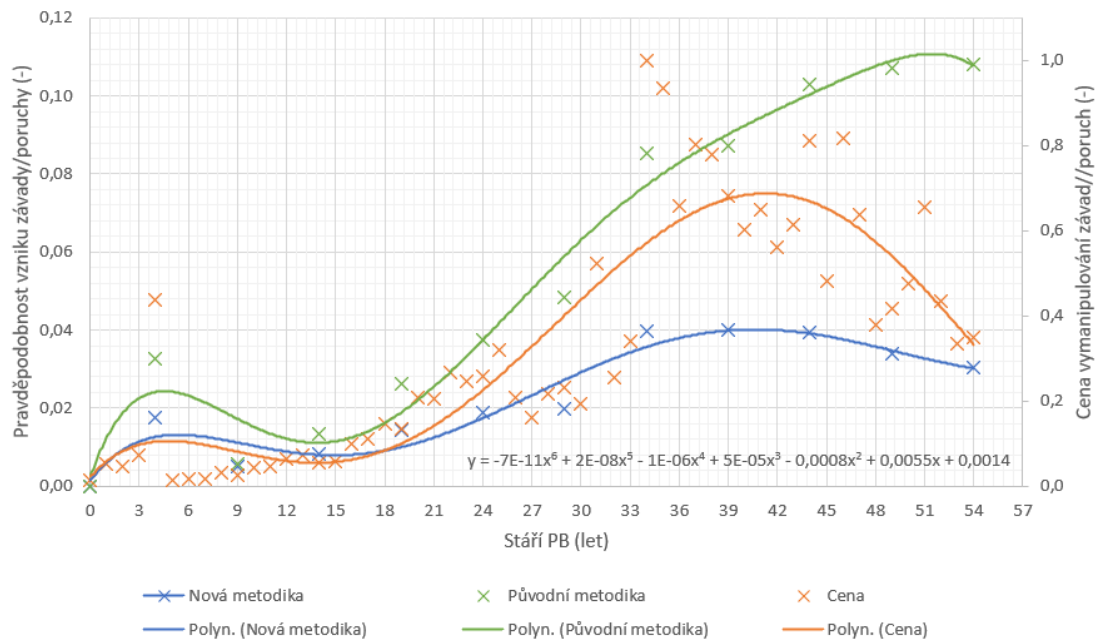
Po přidělení vah byly data ČEZ Distribuce a EG.D sloučena podle shodných identifikátorů, kterými jsou: rok výstavby, rok vzniku závady/poruchy, typ PB, kód závady a přidělená váha. Pro výpočet nové metodiky je potřeba určit celkový počet PB instalovaný v daných letech, popř. v daném období, což bylo u dat EG.D realizovatelné pomocí kontingenční tabulky. ČEZ Distribuce však neměl takto přené údaje, a proto bylo potřeba provést aproximaci znázorněnou na obrázku 3.6, na kterém je znám celkový počet instalovaného vedení v kilometrech pro jednotlivá pětiletá období do roku 2020 a celkový počet instalovaných PB k roku 2020 rozdělený podle typu. Aproximace byla provedena dělením celkového počtu instalovaných PB celkovým počtem instalovaného venkovního vedení v km, čímž byl získán počet PB spadajících na 1 km (cca 10,98 PB/km), čímž byly následně roznásobeny počty kilometrů za jednotlivá období, která byla poté roznásobena poměrným zastoupením jednotlivých typů v celku.



Jelikož původní metodika s procentuálním úbytkem životnosti v čase (tzv. křivka stárnutí) neudávala zcela relevantní informaci o stavu zařízení, bylo pro prezentaci metodiky nově uvažováno s vývojem pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy v čase. Do grafu (obrázek 3.8) byl tedy zanesen vývoj pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy v čase pro data vstupující do původní metodiky (zelená křivka) a data vstupující do metodiky nové, která je rozšířena o data ČEZ Distribuce a u které bylo dosaženo přesnějšího váhování (modrá křivka). Dále byl do grafu přidán vývoj investic EG.D v jednotlivých letech pro vymanipulování závad/poruch (oranžová křivka), přičemž kvůli anonymizaci dat jsou alokované finance převedeny na relativní počet.

Průběh nové metodiky odpovídá očekávaným předpokladům, a to zvýšené pravděpodobnosti vzniku v prvních letech po instalaci, kdy se projevují závady/poruchy zapříčiněné chybou výroby, nebo instalace. Následně dochází ke snižování pravděpodobnosti, která začne opět růst okolo 30. roku, kdy se začíná projevovat únava materiálů daná stářím. V poslední části, po 40. roce, začne pravděpodobnost opět klesat, jelikož závadné prvky již byly opraveny a u zbylých prvků se jedná o dražší odolnější PB, popř. prvky v méně rizikových oblastech. Vývoj alokovaných financí víceméně kopíruje pravděpodobnost vzniku závady/poruchy u nové metodiky, kde v prvních letech roste pravděpodobnost vzniku závady/poruchy výrazněji než investované prostředky, protože se jedná převážně o méně finančně náročné závady dané z výroby, nebo instalace. Ke konci životnosti je patrná zvýšená poměrná alokace financí, která je dána závažnějšími závadami/poruchami způsobenými celkovou amortizací PB. Původní metodika dosahuje znatelně větší pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy oproti metodice nové, což je dáno charakterem dat, jelikož u nové metodiky se díky datům ČEZ Distribuce zvýšil počet závad/poruch u betonových PB o cca 10 % (pro srovnání nárůst u dřevěných PB činil cca 26 % a u ocelových PB cca 102 %), ale celkový počet PB, ke kterým jsou data vztažena, se zvýšil o cca 156 %. Další minoritní zkreslení bylo zapříčiněno neuvažováním více PB pro daný záznam. Tvar křivky původní metodiky zpočátku odpovídá metodice nové, okolo 40. roku života však průběh nedosahuje svého inflexního bodu, naopak stále roste, i když o něco pomaleji, což je dáno neslučováním vah závad/poruch ve výpočtu, kdy při větším stáří zařízení dochází k akumulaci těžších závad, přičemž záznamy na jednom PB mohou bez problémů přesáhnout váhu 1.

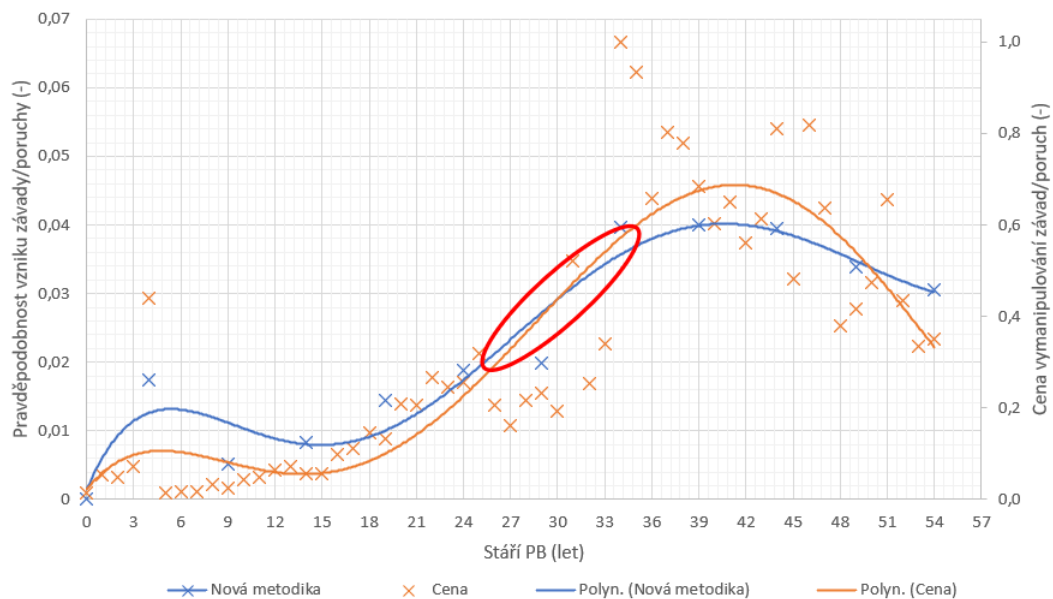
Vývoj pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy v čase u betonového PB vztahený k roku instalace a cena vymanipulování závad/poruch v čase



Obrázek 3.8 Pravděpodobnost vzniku závady/poruchy v čase pro novou a stávající metodiku u betonových PB

Reálné využití v praxi, mimo RIM, by mohlo být například určení únosné meze (na obrázku 3.9 příklad této oblasti zvýrazněn červeně) pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy závislé na ceně za vymanipulování spolu s uvažováním cen za nový PB. Pomocí této meze by se dala například naplánovat výměna/rekonstrukce PB v rizikových oblastech, kde se nachází PB náchylnější na závady/poruchy, které mají výraznější podíl na výsledné pravděpodobnosti závady/poruchy v daném období (viz obrázek 3.13). Dalším využitím je například plán alokace financí na vymanipulování závad/poruch.

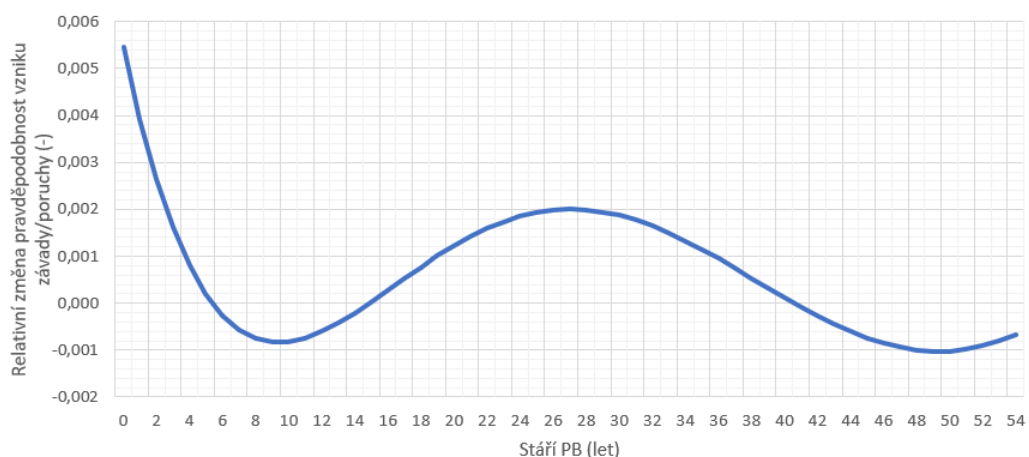
Vývoj pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy v čase u betonového PB vztahovaný k roku instalace a cena vymanipulování závad/poruch v čase



Obrázek 3.9 Určení možné oblasti výměny/rekonstrukce betonového PB

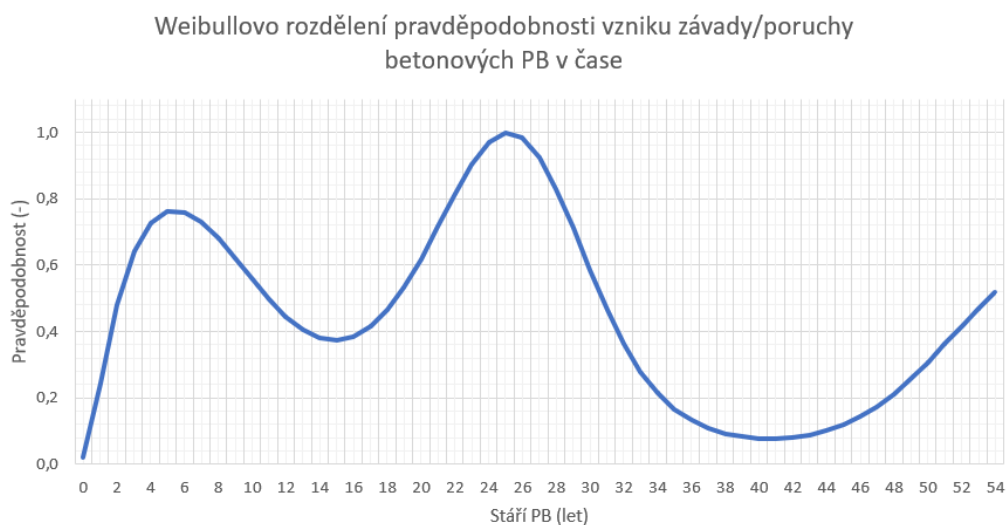
Výše uvedený průběh nové metodiky (obrázek 3.8) lze navíc reprezentovat například pomocí derivace funkce, přičemž výsledkem bude relativní informace o zvyšování/snižování počtu závad/poruch vzhledem ke stáří. Přičemž realizace v MS Excelu proběhla pomocí vyjádření rovnice polynomu, jímž byl graf proložen, přes funkci LINREGRESE(), následné derivace funkce a dosazení hodnot stáří za  $x$  pro získání hodnot funkce v jednotlivých letech a finální vytvoření grafu (obrázek 3.10).

Derivace pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy betonových PB v čase



Obrázek 3.10 Derivace pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy betonových PB v čase

Další možnou prezentací dat může být distribuční funkce Weibullova rozdělení. Její realizace proběhla v MS Excelu pomocí funkce WEIBULL.DIST(), přičemž za  $x$  byly dosazeny dopočtené hodnoty polynomu v jednotlivých letech, jako parametr „alfa“ je dle [14] vhodné zvolit Eulerovo číslo (pomocí funkce EXP(1)) a jako parametr „beta“ medián z hodnot vstupujících za  $x$  (pomocí funkce MEDIAN()) [14]. Reálné využití této distribuční funkce je však, vzhledem k charakteru dat požadovaných zadavatelem a vstupujících do RIM (viz obrázek 3.8), diskutabilní. Dále byla snaha uplatnit na daná data distribuční funkci Poissonova rozdělení, výsledek byl však s ohledem na charakter dat nepoužitelný, což se shoduje s výsledky analýzy [14].

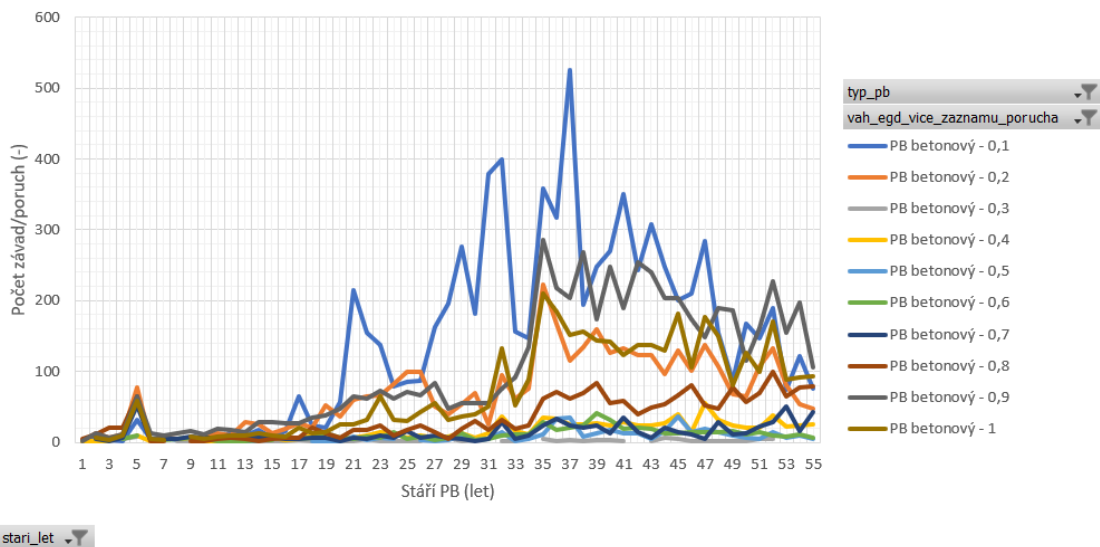


Obrázek 3.11 Weibullovo rozdělení pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy v čase u betonových PB

Pro přehled byl dále vytvořen graf zobrazující vývoj různých vah závad a poruch v čase (obrázek 3.12). Z grafu je patrné, že v prvních letech instalace se projevují spíše závažnější závady, což může být dáno kladením menšího důrazu na kontrolu méně závažných závad u nových PB a vznikem vážnějších závad spojených převážně s instalací prvků, popřípadě závadami danými z výroby. Závady nejnižší váhy v průběhu let výrazně kolísají, jelikož tyto závady jsou identifikovány většinou až při údržbě, závisí tedy na počtu kontrolovaných PB v jednotlivých letech s ohledem na rizikové úseky vedení. Výraznější nárůst závažnějších závad a poruch způsobený amortizací je patrný po 30. roce života.

Počet z STACTUTXT

Vývoj výskytu poruch a závad dle váhy na betonových PB v čase



Obrázek 3.12 Četnost výskytu závad/poruch dle váhy v čase u betonových PB

Pro zobrazení převažujících závad, které se zásadně podílí na průběhu stárnutí, byl vytvořen následující graf (obrázek 3.13), kde převažují:

Světle zelená – chybí krycí hlavice PB (váha 0,1)

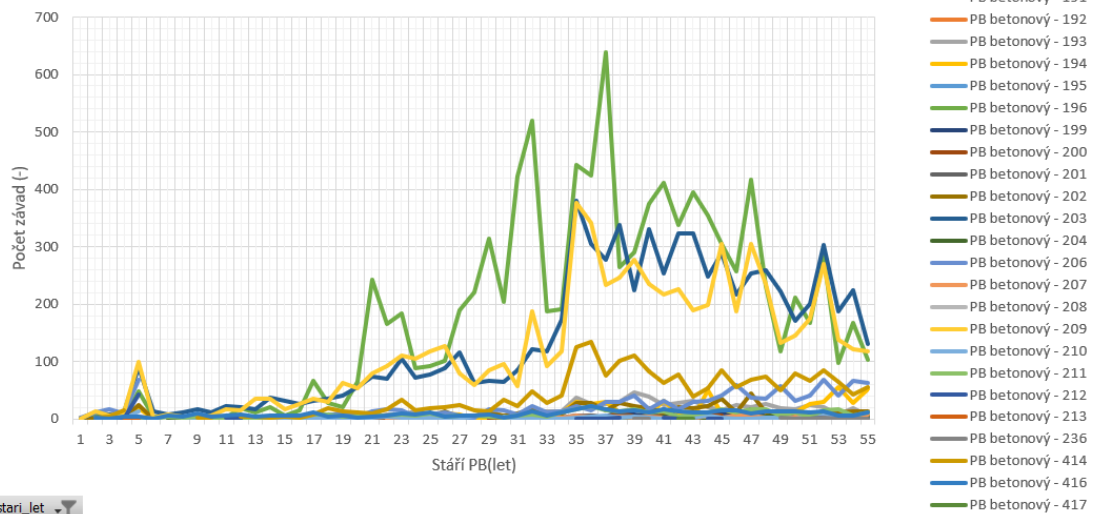
Tmavě modrá – podkopaný, nakloněný PB (váha 0,9)

Světle žlutá – popraskaný PB, vlásenčnicové trhliny (váha 0,2)

Žlutohnědá – popraskaný PB, viditelná armatura (váha 0,8)

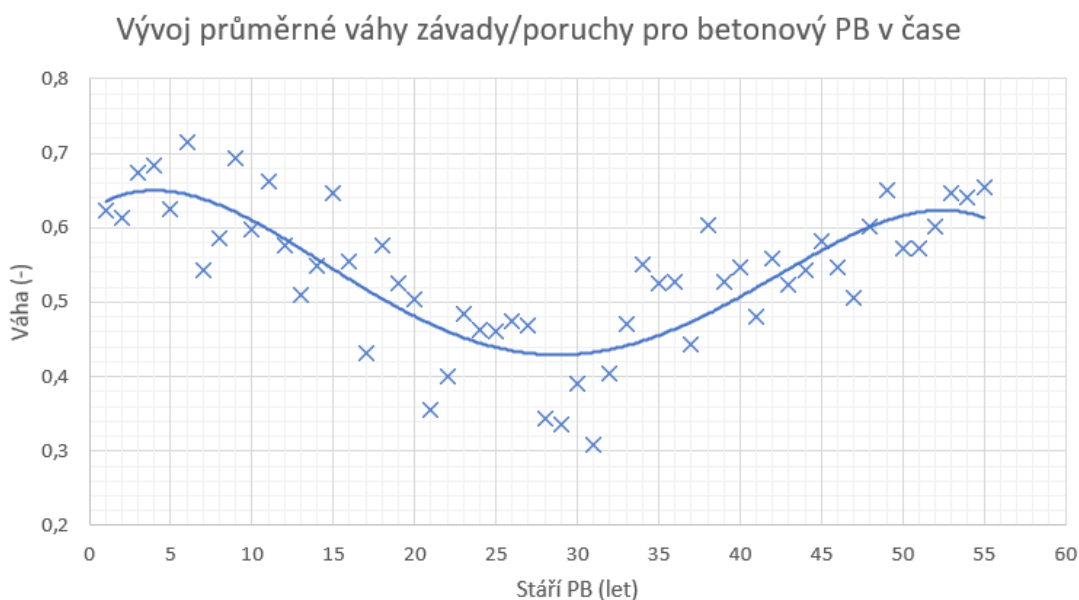
Počet z STACTUTXT

Vývoj výskytu jednotlivých závad na betonových PB v čase



Obrázek 3.13 Četnost výskytu jednotlivých závad v čase u betonových PB

Na následujícím grafu vanové křivky na obrázku 3.14 je zobrazen průběh vývoje průměrné váhy závady/poruchy v čase, přičemž v prvních letech se jedná především o závažnější nálezy dané chybou z výroby nebo instalace. Následně váha klesá, jelikož většina závad je nalezena při preventivní údržbě a nemá zásadnější dopad na funkčnost zařízení. Po třicátém roce váha opět narůstá, protože se projevuje únava materiálů stářím, což odpovídá průběhům předchozích grafů (viz obrázky 3.12 a 3.13).



Obrázek 3.14 Vývoj průměrné váhy u betonových PB v čase

## 4. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl nejprve zhodnocen současný přístup k využití analýzy stárnutí prvků DS u jednotlivých regionálních provozovatelů DS pro obecný pohled na problematiku. Kde ČEZ Distribuce a EG.D mají shodné cíle využití získaných dat, a to plánování údržby a obnovy v závislosti na optimalizaci CAPEX a OPEX, zlepšení spolehlivostních ukazatelů je až důsledkem. Oproti tomu PREdi, která má většinu vedení v kabelech, dává větší důraz na operativní řízení a analýzu stárnutí tak používá především pro rychlou lokalizaci a vymanipulování poruch na vedení, aby poruchy neměly výrazný vliv na SAIDI a SAIFI ukazatele.

Hlavními cíli práce bylo zhodnocení současného přístupu k vytváření křivek stárnutí, zhodnocení vstupních dat a vytvoření metodiky nové, do které budou implementovány data ČEZ Distribuce. Při zhodnocení současné metodiky se došlo k závěru, že procentuální úbytek životnosti v čase neudává zcela relevantní informaci o stavu PB, vzhledem k charakteru vstupních dat, a lepším řešením by zde bylo zobrazení pravděpodobnosti vzniku závady/poruchy na PB v čase.

Ze vstupních dat byl pro reprezentaci nové metodiky vybrán betonový PB, jelikož v celkovém zastoupení PB tvoří přes 80 % u ČEZ Distribuce i EG.D. Vstupní data byla shledána použitelnými pro potřeby nové metodiky, přínos sloučení dat ČEZ Distribuce a EG.D je však diskutabilní. Data ČEZ Distribuce sice rozšíří vstupní vzorek, díky jejich charakteru však zanášejí do dat EG.D určité nepřesnosti, jelikož aproximací zde byly přiřazovány roky výstavby, váhy závad a počet instalovaných PB v průběhu let. Seznam závad a poruch se u betonových PB z dat EG.D po sloučení s daty ČEZ Distribuce zvýšil o 10 %, celkový počet PB, ke kterým je následně výpočet pravděpodobnosti vztažen, se však zvýšil o 156 %, což ve výsledku výrazně snížilo pravděpodobnosti závady/poruchy, průběh však zůstal obdobný.

Ze sloučených dat byla následně vytvořena metodika nová, která se dá rozdělit do třech částí, a to: přidělení váhování, úprava váhování konkrétně pro PB a vytvoření analýzy stárnutí. Výsledek byl reprezentován formou algoritmu, dle kterého bude možné metodiku aplikovat v požadovaném programu/databázi.

Nová metodika byla aplikována na betonové PB a výsledek byl porovnán s metodikou stávající, přičemž nová metodika byla s ohledem na předpokládaný průběh i na alokované finance za vymanipulování závad/poruch shledána jako přesnější. Nakonec byly uvedeny další možné způsoby prezentace výsledné metodiky, a to formou derivace funkce, popř. distribuční funkcí Weibullova rozdělení.

## LITERATURA

- [1] ŠEFRÁNEK, Jan. *Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování* [online]. Praha, 2014 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/60902?show=full>
- [2] HEJHAL, Martin, Zbyněk BRETTSCHEIDER a Radek HANUŠ. *Prioritizace obnovy distribuční sítě s využitím SW PRIOTOOL* [online]. Tábor: Konference ČK CIRED, 2019 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.ckcired.cz/konference-cired/konference-ck-cired-2019-27/ke-stazeni.html>
- [3] BRETTSCHEIDER, Zbyněk, Martin HEJHAL a Radek HANUŠ. *Implementace strategických opatření pro řízení a obnovu distribuční sítě PREDistribuce, a. s.* [online]. Tábor: Konference ČK CIRED, 2018 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.ckcired.cz/konference-cired/konference-ck-cired-2018-26/ke-stazeni.html>
- [4] FERNANDO, Jason. *Capital Expenditure (CapEx)* [online]. 10.4.2021 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/c/capitalexpenditure.asp>
- [5] MALÍNSKÝ, Vladimír a Ondřej PLOJHAR. *Metodika Vypočtu RIM\_VN\_verze03*. 2021, 17 s. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Word.
- [6] TERINGL, Adam, Jan KŮLA a Libor KOZUBÍK. *Asset management systém v ČEZ Distribuce a. s. s využitím datového skladu pro pokročilé analytiky* [online]. Tábor: Konference ČK CIRED, 2021 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.ckcired.cz/konference-cired/konference-ck-cired-2021-29/ke-stazeni.html>
- [7] MALÍNSKÝ, Vladimír. *KabUsekVN\_KrivkyStarnuti\_Verze5*. 2020. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Excel.
- [8] MALÍNSKÝ, Vladimír. *SAM\_VEN\_PB\_VN*. 2021. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Excel.
- [9] MALÍNSKÝ, Vladimír. *ERP\_PM\_NOTIF\_DT*. 2021. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Excel.
- [10] MALÍNSKÝ, Vladimír. *ZAVADOVNIK\_EGD*. 2021. Interní dokument EG.D, a. s. v MS Excel.
- [11] *PB\_2016-2021\_BCpráce\_AT*. 2021. Interní dokument ČEZ Distribuce, a. s. v MS Excel.
- [12] *PB vn počet 2013-2021*. 2021. Interní dokument ČEZ Distribuce, a. s. v MS Excel.
- [13] Microsoft Community [online]. [cit. 2022-05-25]. Dostupné z: <https://answers.microsoft.com/cs-cz/msoffice/forum/all/po%C4%8D%C3%ADt%C3%A1n%C3%AD-pouze-s/eb48ea06-cb36-467a-8317-34431073c98b>

- [14] KRBAL, Michal a Luděk PELIKÁN. *Analýza možností určování křivek stárnutí zařízení distribuční soustavy*. Brno, 2021, 49 s. Analýza zpracovaná VUT jako zakázka od EG.D.

# SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Zkratky:

CAPEX	Kapitálové náklady
ČEZ Distribuce	ČEZ Distribuce, a. s.
ČSN	Česká technická norma
DS	Distribuční soustava
EG.D	EG.D, a. s.
ERÚ	Energetický regulační úřad
GIS	Geografický informační systém
IO	Index obnovy
IP	Index poruchovosti
ITS	Index technického stavu
MS	Microsoft
OMS	System pro zprávu výpadku
OPEX	Provozní náklady
PB	Podpěrný bod
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
pp	Pravděpodobnost poruchy
PREdi	PREdistribuce, a. s.
PRIOTOOL	Softwarový nástroj
RIM	Risk index matice
SAIDI	Ukazatel celkové doby trvání dlouhodobého přerušení
SAIFI	Ukazatel četnosti přerušení dodávky
SAP	System pro integraci a automatizaci procesů
SCADA	Řídící dispečerský program
SQL	Standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk
TS	Transformační stanice
VBA	Visual Basic for Applications
VDS	Zobrazovací systém
VN	Vysoké napětí

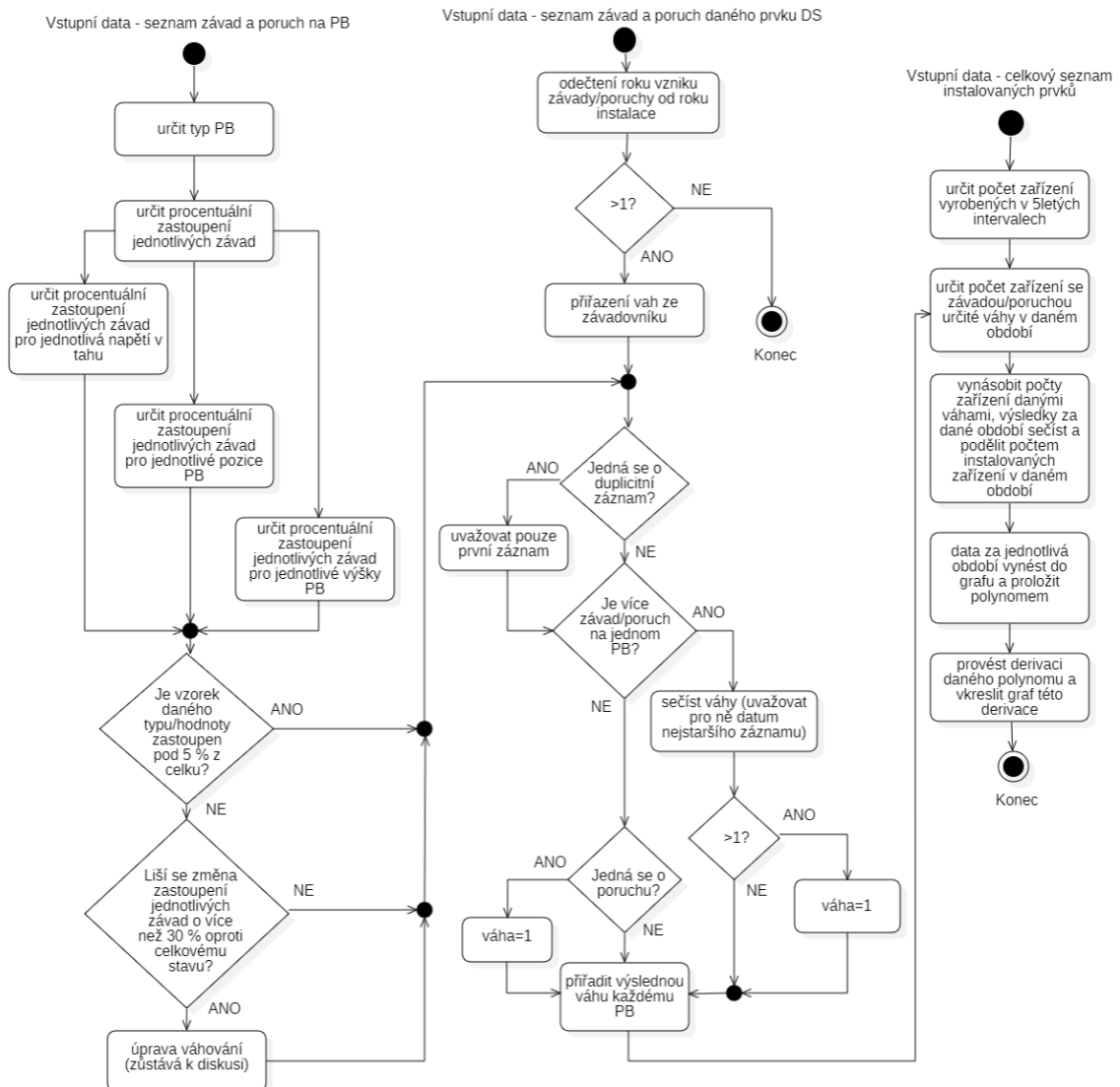
## Symboly:

$C$	náklady nezbytné pro danou obnovu	(-)
$I(T=1)$	indikátorová funkce	(-)
$k$	konstanta zohledňující vliv SAIDI a SAIFI	(-)
$O$	benefit plynoucí z optických kabelů	(-)
$OM_{total}$	počet odběrných míst	(-)
$\Delta P$	změna počtu poruch na vedení za rok	(-)
$x$	proměnná	(-)

# SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - ALGORITMUS NOVÉ METODIKY .....	41
PŘÍLOHA B - SKRIPT V PYTHONU PRO PŘÍŘAZENÍ DAT VZNIKU ZÁVAD/PORUCH U DAT ČEZ DISTRIBUCE .....	42

# Příloha A - Algoritmus nové metodiky



# Příloha B - Skript v Pythonu pro přiřazení dat vzniku závad/poruch u dat ČEZ Distribuce

```
from openpyxl import load_workbook
from openpyxl.utils.cell import column_index_from_string

workbook = load_workbook('data-cez.xlsx')
worksheetD = workbook['D6']

for row in worksheetD.iter_rows(min_row = 2):
    rowNumber = row[0].row
    reportID = worksheetD.cell(row = rowNumber, column = 2).value
    constructionYears = []
    found = False
    worksheet = workbook['GISID']
    for row in worksheet:
        for cell in row:
            if cell.value == reportID:
                found = True
                print(worksheet.cell(row = cell.row, column = 3).value)
                constructionYears.append(worksheet.cell(row = cell.row, column = 3).value)

    if found == False:
        worksheet = workbook['Roky výroby (alt.)']
        technicalPlace = worksheetD.cell(row = rowNumber, column = 8).value

        for row in worksheet:
            for cell in row:
                if cell.value == technicalPlace:
                    found = True
                    constructionYears.append(worksheet.cell(row = cell.row, column = 4).value)

    if found:
        columnNumber = column_index_from_string('AD')
        worksheetD.cell(row = rowNumber, column = columnNumber).value = min(constructionYears)
        print(min(constructionYears))
    else:
        print("0")

workbook.save(filename = 'test.xlsx')
print('HOTOVO')
```