



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY**

VÝZKUM SPOLEHLIVOSTI STATICKÝCH ELEKTROMĚRŮ

RESEARCH OF STATIC ELECTRICITY METERS RELIABILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR VOBORNÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. IVAN SZENDIUCH, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektrotechnická výroba a management

Student: Bc. Petr Voborník

ID: 119341

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Výzkum spolehlivosti statických elektroměrů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zpracujte metodiku pro stanovení intenzity poruch statických elektroměrů. Na základě využití dat získaných z pole vyhodnoťte u vybraných typů skutečné hodnoty intenzity poruch. Dále stanovte intenzity poruch s využitím predikce spolehlivosti, jak z jednotlivých použitých komponentů, tak na základě zrychlených zkoušek. Srovnajte výsledky získané z jednotlivých metod a navrhnete jednoduchý softwarový nástroj pro vyhodnocování dalších typů elektroměrů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 30.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Předkládaná diplomová práce se zabývá stanovením spolehlivosti statických elektroměrů. Po prvních dvou kapitolách pojednávajících o elektroměrech a spolehlivosti obecně, jsou zde presentovány tři možné cesty k získání parametrů spolehlivosti elektroměrů. První je metoda sběru dat o vadách z pole. Druhá je predikce ze spolehlivostních parametrů jednotlivých komponent. Třetí je metoda zkoušek stárnutím. Na závěr je provedeno zhodnocení dosažených výsledků a zdůrazněn význam této práce pro praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spolehlivost, statické elektroměry, předpověď spolehlivosti, sběr dat ze sítě, zrychlené spolehlivostní zkoušky.

ABSTRACT

This work deals with setting of dependability of static electricity meters. The first two chapters deal about electricity meters and dependability in general than there are introduced three possible ways for getting dependability parameters. The first methode is data collection from the field. The second methode is reliability prediction from component's reliability. The third methode is aging life tests. Conclusion contains evaluation of results and highligting of importance for practical usage.

KEYWORDS

Dependability, static electricity meters, reliability prediction, data collection from field, accelerated reliability testing.

VOBORNÍK, P. *Výzkum spolehlivosti statických elektroměrů* . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 49 s., 6 s. příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Výzkum spolehlivosti statických elektroměrů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. ing. Ivan Szendiuch, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
ÚVOD	1
1 ELEKTROMĚRY	2
1.1 Elektromechanické elektroměry	4
1.2 Statické elektroměry	6
2 SPOLEHLIVOST	8
2.1 Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů [1]	8
2.1.1 Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$	9
2.1.2 Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$	9
2.1.3 Hustota poruch $f(t)$	9
2.1.4 Intenzita poruch $\lambda(t)$	9
2.1.5 Souvislosti mezi ukazateli spolehlivosti $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$	10
2.1.6 Střední doba bezporuchového provozu T_s	11
2.1.7 Vanová křivka (Obrázek 7)	12
2.2 Ukazatele spolehlivosti obnovovatelných objektů [1]	12
2.2.1 Střední doba mezi poruchami T_s	12
2.2.2 Intenzita poruch λ	12
2.2.3 Součinitel pohotovosti $K_p(t)$	13
2.2.4 Střední doba oprav T_o	13
2.2.5 Střední frekvence oprav μ	13
2.2.6 Součinitel prostoje $K_n(t)$	13
2.2.7 Součinitel technického využití K_{tv}	13
3 METODY STANOVENÍ SPOLEHLIVOSTI	14
3.1 Metoda sběru dat z pole	14
3.1.1 Analýza dat z pole	16
3.2 Metoda predikce spolehlivosti z jednotlivých komponentů	19
3.3 Metoda predikce spolehlivosti zrychlenými zkouškami	23

4	STANOVENÍ SPOLEHLIVOST STATICKÝCH ELEKTROMĚŘŮ	26
4.1	Výběr zkoumaných elektroměrů.....	26
4.1.1	Stručná charakteristika vybraných elektroměrů	26
4.2	Vyhodnocení analýzy metodou sběru dat z pole	28
4.2.1	Vyhodnocení ZE 112 1T (výrobce).....	29
4.2.2	Vyhodnocení ZE 112 1T (zákazník).....	30
4.2.3	Vyhodnocení ZE 112 2T (výrobce).....	32
4.2.4	Vyhodnocení ZE 112 2T (zákazník).....	33
4.2.5	Vyhodnocení ZE 312 2T (výrobce).....	34
4.2.6	Vyhodnocení ZE 312 2T (zákazník).....	35
4.2.7	Shrnutí dosažených výsledků analýzy sběru dat z pole.....	36
4.3	Vyhodnocení analýzy metodou predikce spolehlivost z jednotlivých komponentů	37
4.3.1	Příprava vzorců s vlivem DPS	37
4.3.2	Vyhodnocení dle MIL-HDBK-217-F Notice 2 (1995).....	40
4.3.3	Vyhodnocení dle Bellcore TR332 (1997).....	40
4.3.4	Vyhodnocení dle Telcordia SR332 issue3.....	41
4.4	Srovnání výsledků dosažených oběma metodami	42
	ZÁVĚR	43
	LITERATURA	45
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	46
	SEZNAM PŘÍLOH	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Elektromechanický elektroměr	2
Obrázek 2: Statický elektroměr ZE312.D0.B1T012-010	3
Obrázek 3: Příklad zapojení s měřícím transformátorem	3
Obrázek 4: SHUNT (první pin pro napětí, druhý a třetí pin pro proud).....	3
Obrázek 5: Schéma indukčního ústrojí elektroměru [3].....	5
Obrázek 6: Blokové schéma statického elektroměru ZE312 (ZPA).....	7
Obrázek 7: Vanová křivka intenzity poruch [1]	11
Obrázek 8: Průběh závislosti bezporuchového provozu $R(t)$ na čase t [1].....	11
Obrázek 9: Schematicky naznačený průběh událostí na časové ose (zelená oblast) mezi prodejem a reklamací.	15
Obrázek 10: Grafické vyhodnocení analýzy dat z pole.	19
Obrázek 11: Klimatizační komora typ Walk-in.....	25
Obrázek 12: Závislost vypočteného $R(t)$ z příkladové studie v IEC 62059-31 [9]	25
Obrázek 13: Zkoumané typy elektroměrů zleva - ZE112 1T, ZE312 2T a ZE112 2T..	27
Obrázek 14: Grafický výstup analýzy pro ZE112 1T s daty výrobce	29
Obrázek 15: Grafický výstup analýzy pro ZE112 1T s daty zákazníka	30
Obrázek 16: Snížená maximální hodnota levé osy grafu z obrázku 15.....	31
Obrázek 17: Grafický výstup analýzy pro ZE112 2T s daty výrobce	32
Obrázek 18: Grafický výstup analýzy pro ZE112 2T s daty zákazníka	33
Obrázek 19: Grafický výstup analýzy pro ZE312 2T s daty výrobce	34
Obrázek 20: Grafický výstup analýzy pro ZE312 2T s daty zákazníka	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Příklad tabulky po první kroku analýzy	17
Tabulka 2: Hodnoty konstant pro rezistory dle IEC 61709	21
Tabulka 3: Přehled základních informací, parametrů a funkcí zkoumaných elektroměrů	27
Tabulka 4: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 1T (výrobce).....	29
Tabulka 5: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 1T (zákazník)	31
Tabulka 6: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 2T (výrobce).....	32
Tabulka 7: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 2T (zákazník)	33
Tabulka 8: Výsledková tabulka analýzy pro ZE312 2T (výrobce).....	34
Tabulka 9: Výsledková tabulka analýzy pro ZE312 2T (zákazník)	35
Tabulka 10: Souhrn výsledků analýzy sběru dat z pole.....	36
Tabulka 11: Výsledky z analýzy pomocí MIL-HDBK-217-F Notice 2	40
Tabulka 12: Výsledky z analýzy pomocí Bellcore TR332	40
Tabulka 13: Výsledky z analýzy pomocí Telcordia SR332	41
Tabulka 14: Srovnání výsledků dosažených metodou A a metodou B	42

ÚVOD

Všichni, kteří odebíráme, spotřebováváme či dokonce vyrábíme elektrickou energii a to ať již v domácnosti nebo jako součást svých podnikatelských záměrů, jsme se již setkali s elektroměry. Elektroměry jsou přístroje, které výraznou měrou ovlivňují obsahy našich peněženek a bankovních účtů, a také proto byly a jsou většinou lidem trnem v oku. Každý odběratel by si přál mít elektroměr, který „počítá“ (= měří) méně než on skutečně spotřebuje a každý výrobce či dodavatel elektrické energie by si na druhou stranu mohl přát zase opak. Samozřejmě i proto od určité doby je měření elektrické energie pod dohledem legislativy státu. Elektroměr, jakožto měřidlo určené pro fakturaci změřené odebrané či vyrobené elektrické energie, náleží do skupiny tzv. Stanovených měřidel. Na tyto měřidla jsou aplikována určitá pravidla, pomocí kterých se legislativa snaží stanovit podmínky, za kterých je možno měřidlo použít pro účely fakturace. Do této skupiny patří kromě elektroměrů také například vodoměry, plynoměry, váhy, ale třeba i taxametry či dokonce püllitry na pivo.

Přesněji řečeno stát určuje pravidla, za kterých může být stanovené měřidlo, uvedeno na trh. Tato legislativa je zakotvena v nařízení vlády NV 464/2005, jež vychází z požadavků směrnice Evropského parlamentu a rady 2004/22/ES (MID). V příloze 1 tohoto nařízení vlády (NV 464/2005) je uveden odstavec 8 věnující se Spolehlivosti měřidel, jehož doslovné znění je následující:

8 Spolehlivost

Měřidlo musí být konstruováno tak, aby byl co možná nejvíce omezen vliv závady, která by vedla k nepřesnému výsledku měření, pokud není existence takové závady zcela zřejmá.¹

Tato diplomová práce se zabývá problematikou na to, jak tuto spolehlivost daného elektroměru dokázat, vyčíslit či stanovit.

Zadání této diplomové práce vzešlo z potřeb mého současného zaměstnavatele, výrobce elektroměrů, společnosti ZPA Smart Energy a.s. (dále jen ZPA). Byl zde vznesen požadavek stanovit spolehlivostní parametry vyráběných elektroměrů a vytvořit metodu, která bude dále v ZPA využívána. Společnost ZPA tímto reaguje na požadavky svých zákazníků a notifikované osoby (ČMI) po důkazech spolehlivosti elektroměrů jí vyráběných. Toto zadání mi bylo nabídnuto pro diplomovou práci při studiu na VUT v Brně.

Na základě uvedených skutečností je cílem této diplomové práce určení spolehlivostních parametrů statických elektroměrů, porovnáním několika možných metod jejího stanovení, porovnání výsledků dosažených různými metodami a stanovením vhodné metody pro budoucí praktické využití v ZPA. Tato práce svým rozsahem pojednává nejen o problematice samotných elektroměrů a jejich spolehlivosti, ale odkazuje se také na normované přístupy k této tématice (normy řady IEC 62059). Na závěr této práce jsou uvedeny nástroje softwarové podpory pro některé metody.

¹ Příloha č. 1 Nařízení vlády NV 464/2005

1 ELEKTROMĚRY

Jak již bylo naznačeno dříve, každý z nás se již pravděpodobně setkal s elektroměrem. Popis detailní funkce elektroměru není předmětem této diplomové práce, ale pro zjednodušenou představu, si zde uvedeme příklady různého dělení elektroměrů a naznačíme jejich principy v blokových schématech.

Dělení elektroměrů dle principu měření:

- **Elektromechanické elektroměry – indukční elektroměry.** U těchto elektroměrů je měřená elektrická energie převedena na mechanický pohyb hliníkového kotoučku a měřeny jeho otáčky oproti konstantě elektroměru [ot./kWh] (vnitřní nastavení systému). Převod otáček na hodnoty může být proveden různými způsoby, například pomocí mechanického počítadla nebo elektronicky snímané otáčky (optické nebo magnetické sensorické snímání), které jsou následně zpracovávány v procesoru. Příklad elektromechanického elektroměru je na obrázku 1.



Obrázek 1: Elektromechanický elektroměr

- **Statické elektroměry** – do této skupiny patří elektroměry, které k převodu měřené elektrické energie nepoužívají převod na mechanický pohyb. Příklad statického elektroměru je na obrázku 2. Měřená veličina zůstává veličinou elektrickou za pomoci vstupních senzorů a převodníků. Nejčastěji je využito některého z následujících způsobů nebo kombinací:
 - Měřicí transformátor (CT – current transformer – viz obrázek 3)
 - Shunt (=bočník – viz obrázek 4)
 - Hallova sonda.

Tyto prvky jsou vlastně senzory proudu pro následné vyhodnocení měřených veličin. Napětí je zde sledováno jinou cestou a následně je pomocí obou veličin (napětí a proudu) vypočítán výkon.



Obrázek 2: Statický elektroměr ZE312.D0.B1T012-010



Obrázek 3: Příklad zapojení s měřícím transformátorem



Obrázek 4: SHUNT (první pin pro napětí, druhý a třetí pin pro proud)

Dělení podle druhu měřené energie

- Elektroměry pro měření činné energie
- Elektroměry pro měření jalové energie
- Elektroměry čtyř-kvadrantní (kombinace obou předchozích)

Dělení podle zapojení

- Elektroměry přímé – elektroměry jsou zapojeny přímo v měřeném obvodu, kde měří elektrickou energii.
- Elektroměry nepřímé – elektroměry měří elektrickou energii prostřednictvím převodních měřících transformátorů. U nepřímých elektroměrů je třeba nastavit správně konstantu v souladu s použitým převodním poměrem měřícího transformátoru.

Dělení podle použití

- Elektroměry fakturační – tyto elektroměry mohou být využity k měření a následné fakturaci spotřebované energie (Stanovená měřidla).
- Elektroměry informativní – tyto měřidla nemohou být k fakturaci využita přímo. Pouze jako poměrové měřidlo za měřidlem fakturačním.

Další kapitoly této diplomové práce jsou věnovány pouze spolehlivosti přímých statických elektroměrů pro měření činné energie.

1.1 Elektromechanické elektroměry

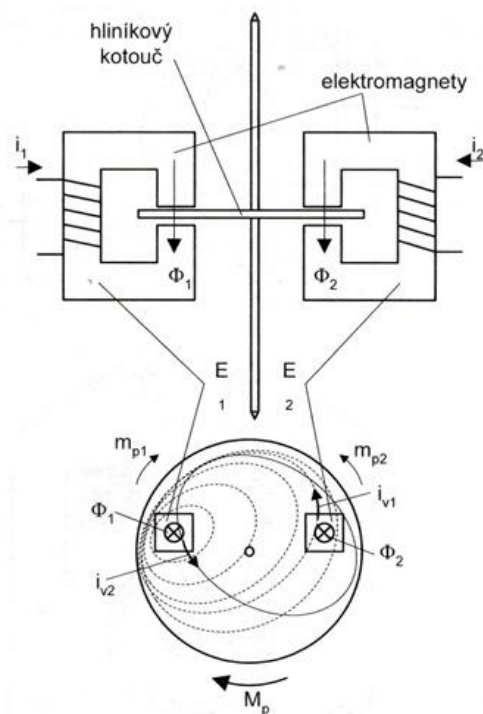
Jedná se indukční elektroměry, jejichž princip měření spočívá v tom, že do otočné části, kterou bývá hliníkový kotouč, se indukují proudy střídavým magnetickým tokem několika elektromagnetů. Vzájemným působením těchto proudů a magnetického pole vzniká pohybový moment. Otočné ústrojí (kotouč) nemá žádné přívody proudu a proudy se do něho dostanou pouze indukcí střídavých magnetických toků pevných cívek. Podmínkou funkce je tedy napájení střídavým proudem, takže tuto soustavu není možné použít k měření v obvodech stejnosměrného proudu.

Hliníkový kotouč prochází vzduchovými mezerami dvou elektromagnetů E_1 a E_2 . Pro pochopení vysvětlení vzniku pohybového momentu nám postačí, pokud si uvědomíme vztah pro výpočet velikosti síly působící v magnetickém poli na vodič protékáný proudem ($F = BI$).

Střídavý magnetický tok Φ_1 elektromagnetu E_1 indukuje v kotouči napětí, které jím protlačí vířivé proudy i_{v1} , které probíhají po drahách rozložených v ploše kotouče. Část proudových vláken proudu i_{v1} probíhá pod pólem druhého elektromagnetu v místě, kde kotoučem prochází tok Φ_2 tohoto elektromagnetu. Vzájemným působením proudu i_{v1} a magnetického toku Φ_2 vzniká síla F_1 a moment m_{p1} . Podobně tok Φ_2 indukuje v kotouči proud i_{v2} , který spolu s tokem Φ_1 dává sílu F_2 a moment m_{p2} . Velikosti pohybových momentů jsou úměrné velikosti magnetických toků obou elektromagnetů. Oba

pohybové momenty působí proti sobě, pro výsledný pohybový moment platí:

$$M_p = m_{p1} + m_{p2} \quad (1)$$



Obrázek 5: Schéma indukčního ústrojí elektroměru [3]

Komplikovaným matematickým postupem bychom zjistili, že za předpokladu souměrnosti a shodnosti provedení obou elektromagnetů pro výsledný pohybový moment platí:

$$M_p = k' \cdot \omega \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin \Psi \quad (2)$$

kde:

- k' - konstanta zahrnující vliv konstrukčního uspořádání ústrojí a odpor kotouče, velikost konstanty k' a tedy i pohybového momentu je přímo úměrná vodivosti kotouče
- ω - úhlová frekvence obou toků ($\omega = 2\pi f$)
- Φ_1, Φ_2 - amplitudy magnetických toků obou elektromagnetů
- Ψ - fázový posun mezi oběma toky.

$$M_p = \frac{k\omega}{\omega L \sqrt{2}\sqrt{2}} UI \sin\left(\frac{\pi}{2} - \Psi\right) = k_p UI \cos \varphi = k_p \cdot P \quad [N \cdot m] \quad (3)$$

Vidíme, že pohybový moment je úměrný činnému výkonu střídavého proudu (k_p je pohybová konstanta indukčního přístroje).

Indukčními přístroji lze měřit činný a jalový výkon, v současné době se ale indukční přístroje používají výhradně jako měřiče elektrické práce - měří časový integrál výkonu střídavého proudu (elektroměry).

$$E = \int_0^t u_z(t) \cdot i_z(t) \cdot dt \quad (4)$$

Pro měření práce je indukční ústrojí výhodné zejména proto, že jeho moment nezávisí na poloze kotouče a že se kotouč může otáčet trvale bez omezení, což u jiných měřicích ústrojí není možné, protože pohyb ručky je omezen maximální úhlovou výchylkou.

Otáčky hliníkového kotoučku jsou v elektroměru převáděny na mechanické počítadlo. Některé novější přístroje již snímají otáčky kotoučku elektronicky a tyto elektroměry mohou poskytnout podobné funkce jako elektroměry statické.

1.2 Statické elektroměry

Většina elektromechanických elektroměrů v současné době již dosluhuje, mám na mysli platností jejich ověření, a distributori a prodejci elektrické energie je nahrazují právě elektroměry statickými. Statické elektroměry (někdy nazývané také elektronické) mají oproti původním elektromechanickým několik výhod, které je upřednostňují při výběru:

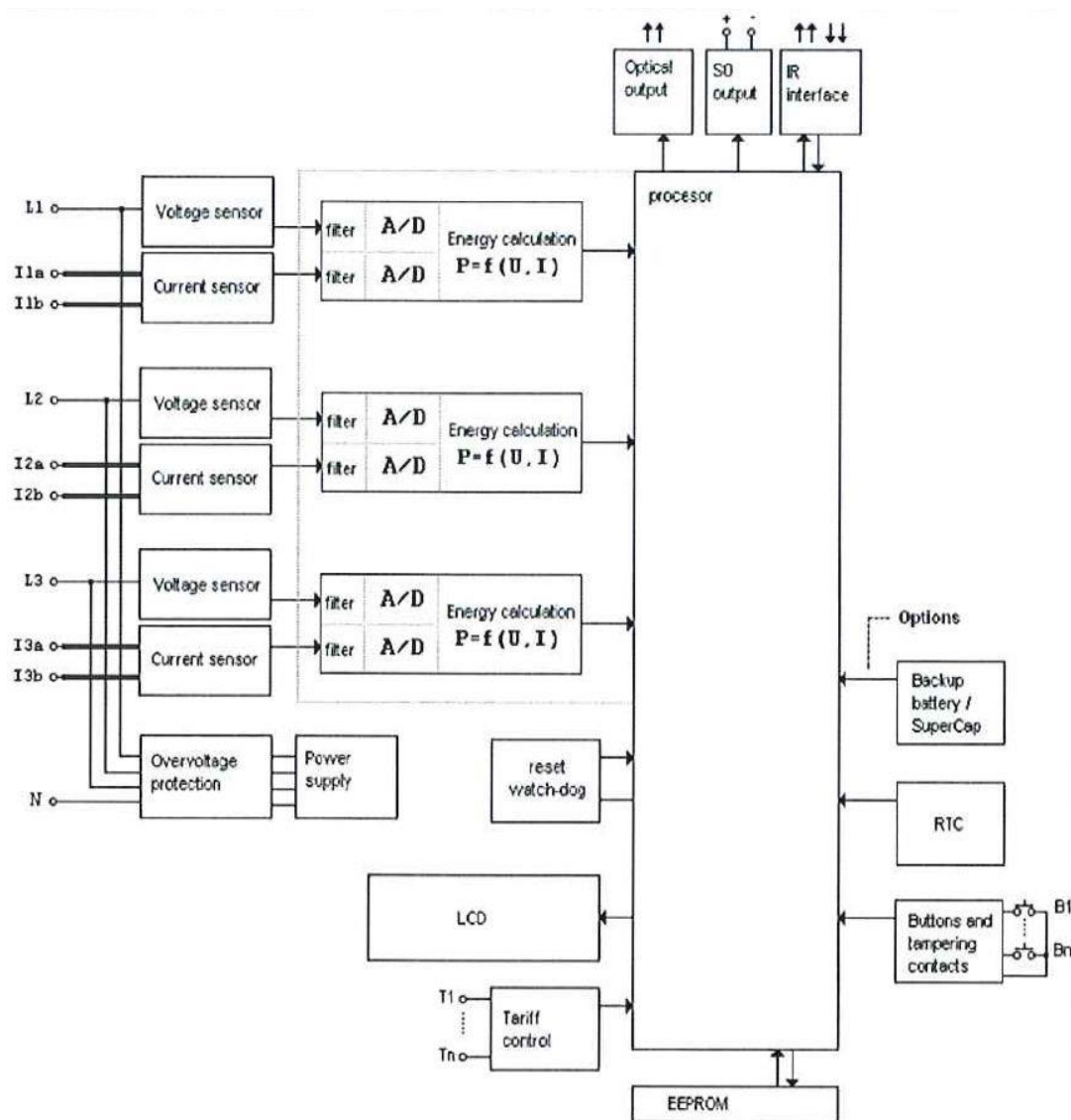
- Nižší vlastní spotřeba oproti elektromechanickým elektroměrům – tento parametr přináší distributorovi energie nemalé úspory v podobě nižších ztrát na všech instalovaných elektroměrech.
- Měření nižších minimálních proudů – tento parametr zase přináší distributorovi zvýšení příjmu z měřené energie. Elektroměry jsou již schopny měřit od proudů menších než 15mA. Elektroměry jsou tedy již schopny měřit několik zařízení ve Standby módu.
- Nižší pořizovací (a výrobní) cena
- Možnosti využití zpracovávaných výsledků měření – elektronické zpracování měřené energie umožňuje sledovat i jiné parametry spojené se spotřebou. Tyto data lze uchovávat v paměti nebo použít při případné dálkové komunikaci či dálkovém odečtu energií nebo profilů spotřeby.
- Vyšší spolehlivost

Základní princip statického elektroměru si zkusíme vysvětlit pomocí blokového schématu elektroměru ZE312 (ZPA) (viz obrázek 6). V našem případě se jedná o třífázový elektroměr pro přímé zapojení a měření činné energie. Pro všechny tři fáze je zde soustava vstupních senzorů napětí a proudů. Jejich výstupy jsou zpracovány A/D převodníky a dále přepočteny na naměřenou energii. Výstupy o naměřené energii jednotlivých fází jsou předány do procesoru, kde jsou hodnoty zpracovány a uloženy do paměti a následně do příslušných registrů v paměti EEPROM. Naměřené údaje jsou také zobrazovány na LCD.

Elektroměr má i jiné obvody umožňující například řízení fakturačních tarifů z externího zařízení (svorky) nebo pomocí interních hodin (RTC) podle vloženého tarifního programu. Elektroměry jsou také vybaveny kontrolními výstupy jako je metrologická LED dioda s odpovídající konstantou [imp./kWh] nebo S0 výstupem. Dále zde bývají obvody pro komunikaci s elektroměrem například přes IR optické

rozhraní, aktivní či pasivní rozhraní RS485 nebo i novější způsoby komunikací jako je PLC, GPRS, M-BUS, LAN a další. Elektroměr může být vybaven a doplněn mnoha dalšími funkcemi a obvody a to vše v závislosti na požadavcích zákazníků. Některé požadované funkcionality, hlavně v oblasti registrů a zobrazování jsou řešeny pouze vhodnou úpravou firmwaru a hardwaru elektroměru.

Každá přidaná funkce a přidaná součástka teoreticky snižuje spolehlivost elektroměru, neboť vnáší do celkového systému elektroměru další možnosti poruch.



Obrázek 6: Blokové schéma statického elektroměru ZE312 (ZPA)

2 SPOLEHLIVOST

*Spolehlivost = obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek.*²

Spolehlivost samozřejmě nelze definovat pouze touto obecnou definicí. Zkusíme si doplnit do této obecné formulace některé příklady týkající se této diplomové práce. Předně objektem zkoumání je zde statický elektroměr. Požadované funkce jsou obecně ty, které výrobce specifikuje v technické specifikaci a v návodu k obsluze. Samozřejmě je možné okruh těchto sledovaných funkcí zúžit pouze na sledované funkce. Stanovené provozní ukazatele pro elektroměr (provozní podmínky) také nalezneme v technické specifikaci.

Pojem spolehlivost je komplexní vlastnost v sobě zahrnující další pojmy jako bezporuchovost, životnost, udržovatelnost, skladovatelnost aj. I proto není spolehlivost jako taková vyčíslitelnou hodnotou. K vyjádření spolehlivosti se tedy používají ukazatele spolehlivosti. Pro vyhodnocení ukazatelů spolehlivosti je třeba určit, o jaký druh objektu se jedná, zda jsou to obnovované (opravované) nebo neobnovované (neopravované) objekty.

2.1 Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů [1]

Pro stanovení ukazatelů spolehlivosti využíváme pravděpodobnost a statistiku. Tyto ukazatele spolehlivosti mají tedy náhodný charakter.

Náhodná veličina je charakterizována svou distribuční funkcí, tj. pravděpodobností, že bude nabývat hodnoty menší než je určitá zadaná hodnota. Označíme-li náhodnou veličinu

$$\tau (\tau \geq 0)$$

pak její distribuční funkci $F(t)$ lze vyjádřit vztahem

$$F(t) = P(\tau < t) \quad (5)$$

kde: $P(x)$ je pravděpodobnost jevu x

t je nezáporné reálné číslo.

Distribuční funkce $F(t)$ je neklesající a platí pro všechna t

$$0 \leq F(t) \leq 1 \quad x, t \geq 0$$

Náhodná veličina τ charakterizuje časový interval od uvedení do provozu po dobu poruchy objektu.

² Postlerová H., Spolehlivost v elektrotechnice, VÚT Brno (2003)

2.1.1 Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$

Je-li t čas měřený od uvedení do provozu, potom distribuční funkce má význam pravděpodobnosti poruchy objektu do času t a označuje se $Q(t)$.

$$Q(t) = P(\tau \leq t) = \int_0^t f(t) dt \quad (6)$$

kde: $f(t)$ je hustota pravděpodobnosti poruchy.

Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$ je možno rovněž vypočítat pomocí empirického vztahu

$$Q(t) = \frac{N_p}{N_0} \quad (7)$$

kde: N_p je počet výrobků s poruchou za sledovaný interval 0 až t
 N_0 je počet výrobků ve zkoušeném souboru.

2.1.2 Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$

$R(t)$ – jedná se o pravděpodobnost, že v čase $\tau \leq t$ nedojde k poruše objektu. Pravděpodobnost bezporuchového provozu objektu do času t je doplňková funkce (doplňek distribuční funkce do 1)

$$R(t) = 1 - Q(t) = P(\tau > t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (8)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ je možno také vypočítat pomocí empirického vztahu

$$R(t) = \frac{N_b}{N_0} = 1 - \frac{N_p}{N_0} \quad (9)$$

kde: N_b je počet výrobků bez poruchy (bezporuchovém stavu)

2.1.3 Hustota poruch $f(t)$

Hustota poruch - je definována jako derivace $Q(t)$ podle času t

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \quad (10)$$

Součin $f(t)dt$ udává, s jakou pravděpodobností nastane ve sledovaném objektu porucha ve velmi krátkém intervalu dt , následujícím za okamžikem t .

$$dQ(t) = f(t) dt \quad (11)$$

2.1.4 Intenzita poruch $\lambda(t)$

Intenzita poruch $\lambda(t)$ patří k nejdůležitější spolehlivostním ukazatelům používaným v praxi. Udává podmíněnou hustotu poruch v čase t za předpokladu, že k poruše dosud nedošlo.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - Q(t)} \quad (12)$$

Nebo lze počítat

$$\lambda(t) = \frac{N_p}{T_{tot(t)}} \quad (13)$$

kde: $T_{tot(t)}$ je celkový čas v provozu od $t=0$ do $t=t$

$$T_{tot} = \sum_{i=1}^{N_o} t_{pri} \quad (14)$$

kde: t_{pr} je čas v provozu jednoho (i-tého) objektu

V praxi je někdy používaná jednotka FIT.

$$1FIT = \frac{1 \text{ failure}}{10^9 \text{ hours}} = \frac{1 \text{ vada}}{10^9 \text{ hodin}} \quad (15)$$

2.1.5 Souvislosti mezi ukazateli spolehlivosti $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$

Tyto ukazatele spolu úzce souvisejí. Proto lze vztahy mezi těmito ukazateli dále upravovat.

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (16)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \quad (17)$$

$$\frac{dR(t)}{R(t)} = -\lambda(t) dt \rightarrow \text{integraci získáme} \rightarrow R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (18)$$

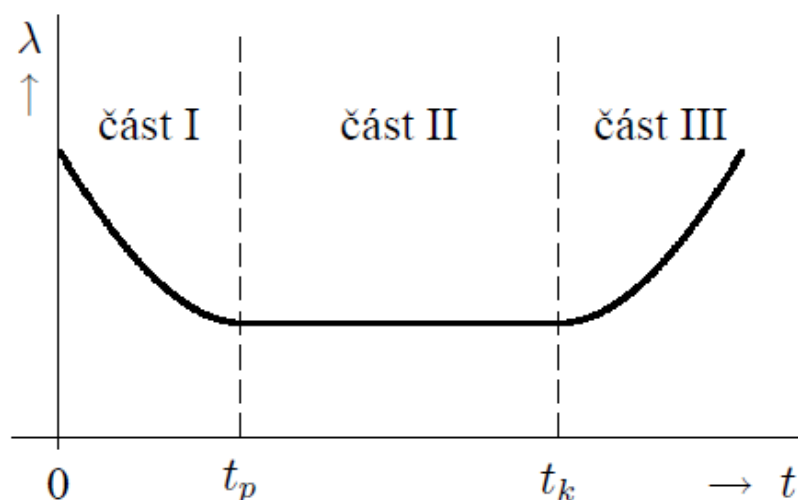
Pokud je průběh intenzity poruch $\lambda(t)$ na čase neznámý, nelze získaný výraz dále zjednodušovat.

Podle empirických poznatků má průběh tvar tzv. vanové křivky (viz Obrázek 7). Ve střední části (část II) vanové křivky platí, že $\lambda(t)$ má konstantní hodnotu a pro tento případ lze poslední uvedený výraz vypočítat. Integrací je možno získat vztahy:

$$R(t) = e^{-\lambda(t)} \quad (19)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda(t)} \quad (20)$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda(t)} \quad (21)$$

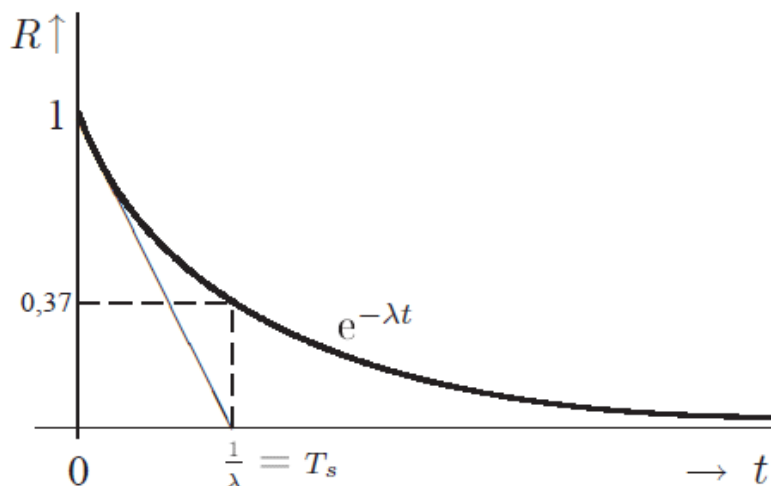


Obrázek 7: Vanová křivka intenzity poruch [1]

Uvedené vztahy popisují exponenciální zákon poruch. Jeho grafické vyjádření je exponenciála na Obrázku 8. Pro čas $t=0$ má hodnotu $R(t)=1$, což odpovídá předpokladu, že na začátku sledování je objekt v bezporuchovém stavu, pro rostoucí t klesá hodnota $R(t)$ asymptoticky k nule. Je tedy možno říci, že jestliže se v čase $t=0$ uvede do provozu N_0 výrobků s konstantní intenzitou poruch λ , počet bezporuchových výrobků n_b se bude s časem zmenšovat po exponenciální křivce

$$N_b = N_0 \cdot e^{-\lambda(t)} \quad (22)$$

Hodnota intenzity poruch λ je pro následující část považována za konstantní a to z důvodu zjednodušení.



Obrázek 8: Průběh závislosti bezporuchového provozu $R(t)$ na čase t [1]

2.1.6 Střední doba bezporuchového provozu T_s

Pro neobnovovatelné objekty se označuje také jako střední doba do první poruchy $MTTF$ (Mean Time to Failure), je to střední hodnota provozní doby objektu, během níž

nenastala žádná porucha. Pro její výpočet platí vztah

$$T_s = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (23)$$

Pro exponenciální průběh $R(t)$ je možno psát

$$T_s = \int_0^{\infty} e^{-\lambda(t)} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (24)$$

2.1.7 Vanová křivka (Obrázek 7)

Popíšeme si ještě tři rozdílné oblasti vanové křivky v čase.

Část I – etapa častých poruch

Intenzita poruch je zde ovlivněna výskytem časných poruch, které bývají způsobené vadami materiálu a technologií výroby.

Část II – etapa ustáleného (normálního) provozu

Tato oblast je charakterizována výskytem náhodných poruch. Hodnota intenzity poruch je v této oblasti považována za konstantní.

Část III – etapa stárnutí (normálního) provozu

Tato oblast je charakterizována jako období narůstajícího výskytu poruch vlivem stárnutí a opotřebení výrobku.

2.2 Ukazatele spolehlivosti obnovovatelných objektů [1]

2.2.1 Střední doba mezi poruchami T_s

$$T_s = \frac{t_p}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n} \quad (25)$$

kde: t_p je kumulativní doba provozu objektu za sledované období

n je počet výpadků způsobených poruchami.

Střední doba do poruchy T_s je také označována jako MTBF (Mean Time between Failure).

2.2.2 Intenzita poruch λ

Jedná se o převrácenou hodnotu střední doby mezi poruchami T_s (střední doby bezporuchového stavu). Nebo jí lze chápat také jako střední frekvenci poruch systému.

$$\lambda = \frac{1}{T_s} \quad (26)$$

2.2.3 Součinitel pohotovosti $K_p(t)$

$K_p(t)$ udává pravděpodobnost, že v čase t bude systém v provozuschopném stavu. Lze ho popsat vztahem

$$K_p = \frac{t_p}{t_p + t_o} \quad (27)$$

kde: t_p je kumulativní doba provozu
 t_o je kumulativní doba opravy

2.2.4 Střední doba oprav T_o

Jedná se o podíl kumulativní doby oprav t_o a počtu poruch n .

$$T_o = \frac{t_o}{n} \quad (28)$$

2.2.5 Střední frekvence oprav μ

Jedná se o střední počet oprav, které lze s dostupnou opravárenskou kapacitou uskutečnit za jednotku času.

$$\mu = \frac{1}{T_o} \rightarrow K_p = \frac{T_s}{T_s + T_o} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (29)$$

2.2.6 Součinitel prostoje $K_n(t)$

Jedná se o doplněk součinitele pohotovosti $K_p(t)$ do jedné a určuje se u něj okamžitá a ustálená hodnota.

$$K_n(t) = 1 - K_p(t) \quad (30)$$

Okamžitý součinitel prostoje $K_n(t)$ – udává pravděpodobnost, že systém v čase t nebude provozuschopný.

Stacionární součinitel prostoje $K_a(t)$ – udává pravděpodobnost, že v libovolně zvoleném okamžiku nebude systém provozuschopný.

$$K_a(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} K_n(t) \quad (31)$$

2.2.7 Součinitel technického využití K_{tv}

$$K_{tv} = \frac{t_p}{t_p + t_o + t_u} \quad (32)$$

kde: t_u je kumulativní doba plánované údržby.

3 METODY STANOVENÍ SPOLEHLIVOSTI

V této části jsou představeny možné způsoby, jak stanovit parametry spolehlivosti, v našem případě intenzitu poruch, pro výrobek. K dosažení hledaného parametru vede několik cest.

- **Analýza dat z pole** – sledování chování již zavedeného výrobku v poli
- **Předpověď spolehlivosti na základě jednotlivých intenzit poruch** – kalkulace s intenzitami poruch jednotlivých komponentů výrobku
- **Předpověď zrychlenými spolehlivostními testy** – vyhodnocení výsledků zrychlených zkoušek a aproximace na provozní podmínky.

V následující části jsou tyto způsoby popsány podrobněji.

3.1 Metoda sběru dat z pole

Tato metoda je založena na sběru dat z pole (ze sítě), nebo také od zákazníků. Zdroje těchto informací jsou zákaznické reklamace, výsledky z namátkových prověrek instalovaných elektroměrů, servisní výjezdy montérů či informace přímo od zákazníka. Zde budou, jako zdroj informací ke sběru dat z pole, využívány zákaznické reklamace. Pro použití této metody je třeba mít již připravený systém sběru a vyhodnocování dat z reklamací. Informace o reklamacích je třeba shromažďovat, potvrzovat reklamované vady, analyzovat a stanovit příčiny těchto vad. Je výhodné mít informační systém pro zákaznické reklamace, který tyto informace spravuje. Součástí takového systému by měla být také kategorizace vad a příčin těchto vad. Návod pro vytvoření takové kategorizace vad a příčin může posloužit norma IEC 62059-21, která slouží jako návod pro zavedení takového systému. Dobře spravovaná data lze následně využít pro analýzu dat z pole.

Výhoda této metody je v získání reálného obrazu o výskytu vad na zkoumaném typu elektroměru. Vady je třeba potvrzovat a přehodnotit je, některé vady totiž mohou být zákazníkem popsány chybně. Zde je příklad takové vady: „Elektroměr neměří“ a po potvrzení závady byla překlasifikována na „Nefunkční LCD“ ... a elektroměr stále měří, ale nezobrazuje naměřené hodnoty.

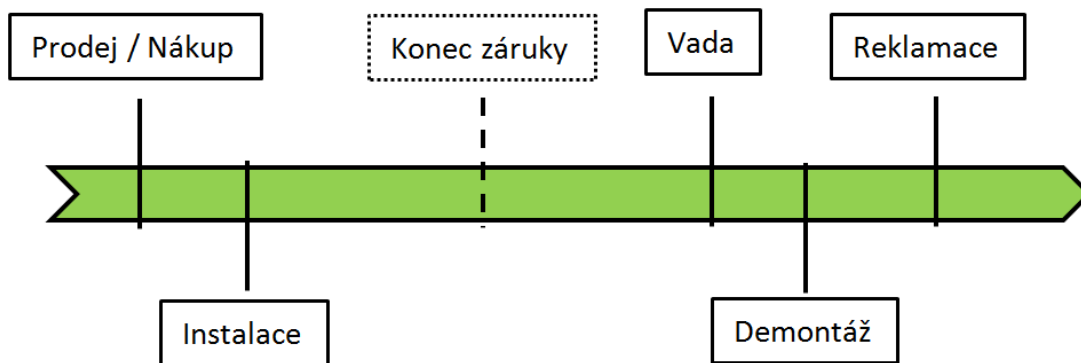
Některé vady je třeba ze souboru vad pro vyhodnocení vyřadit, jako například vady způsobené neoprávněným zásahem do elektroměru, vady způsobené zákazníky a vady způsobené vlivy okolního prostředí (blesk, přepětí, záplavy apod.). Tyto vady nemají totiž se spolehlivostí moc společného, pokud samozřejmě není odolnost vůči nim garantována. Jiné vady nemusí mít vliv na měření nebo fakturaci spotřebované energie. Jako příklad můžeme uvést vadu tisku na typovém štítku apod. Je třeba proto na začátku analýzy určit, které typy vad budou pro daný typ elektroměru sledovány pro vyhodnocení.

Jistou nevýhodou této metody je dostupnost a přesnost těchto dat. Dostupnost dat může být pro výrobce ohraničena záruční dobou. Většina reklamací je uplatňována právě v době platnosti záruky a po uplynutí této doby již tento zdroj informací končí. Toto je zapříčiněno nárůstem nákladů s tím spojených. Reklamace uplatněné po

uplynutí záruční doby jsou již brány výrobcem jako požadavky na placené opravy. S placenou opravou ještě vznikají další náklady jako ověření elektroměru apod. Tyto vícenáklady také přecházejí na zákazníka a v součtu již mohou hraničit nebo již převyšují nákupní ceny nového elektroměru. I proto zákazník již většinou nechce investovat své prostředky do placených oprav a výrobky opravuje svépomocí nebo šrotuje.

Další nevýhodou metody je určení doby, po kterou byl elektroměr v provozu. Zde může nastat několik nepřesností, které samozřejmě ovlivní přesnost provedené analýzy dat. Výrobce pro vyhodnocení spolehlivosti touto metodou (i pro začátek počítání doby záruky) počítá čas od prodeje elektroměru do data prováděné analýzy či vrácení reklamovaného výrobku. Zde již dochází ke vzniku prvních chyb v počítání doby v provozu.

Jak naznačuje obrázek 9, je zde mnoho časových prodlev, které mohou ovlivnit stanovení doby v provozu daného elektroměru.



Obrázek 9: Schematicky naznačený průběh událostí na časové ose (zelená oblast) mezi prodejem a reklamací.

Zákazník elektroměr v době prodeje neinstaluje do sítě, ale pouze nakupuje. Elektroměr je do sítě nainstalován s jistým zpožděním nebo může být zákazníkem držen po jistou dobu jako skladová zásoba. Pro odstranění této časové prodlevy je třeba znát datum instalace, které má k dispozici zákazník.

Dále zde mohou být chybně zahrnuty i elektroměry, které nebyly nikdy instalovány do sítě. Toto může být zapříčiněno okolnostmi jako odhalená nejakost v době instalace (reklamacce), tyto elektroměry jsou vyjmuty z analýzy pro stanovení spolehlivosti, nebyly instalovány, nebo poškození vlivem manipulace či dopravy, vnitřní zkoušky zákazníka atd. I toto řeší známé datum instalace poskytnuté zákazníkem.

Stanovení přesného data výskytu vady je velmi nesnadné. Některé vady mohou být skryty po celou dobu provozu, vadná funkce není využívána, proto není možné ji detekovat. Jiné vady se projeví, ale jejich odhalení je závislé na návštěvě montéra či pracovníka provádějícího pravidelný odečet. I zde vzniká jisté zpoždění mezi výskytem a odhalením vady, a následnou demontáží elektroměru, na kterou musí být přivolán technik s náhradním elektroměrem. Tato chyba se velmi těžko odstraňuje, i proto se jako přesný a poměrně dosažitelný údaj se jeví datum demontáže elektroměru, který zákazník vede ve své evidenci.

Další časové prodlevy vznikají administrativní činností na straně zákazníka. Po provedené demontáži je třeba zajistit svoz vadných elektroměrů, někteří zákazníci provádějí ověření vady. Následně jsou prováděny administrativní kroky pro uplatnění reklamace a samotný její transport k výrobci.

Pokud nefunguje spolupráce mezi výrobcem a zákazníkem v oblasti poskytnutí dat o instalaci či demontáži elektroměrů, jsou získané výsledky zatíženy chybou v určení celkové doby v provozu. Celková doba v provozu má hodnotu vyšší o rozdíl v čase mezi prodejem a instalací (+ nenainstalované elektroměry) a také čas mezi demontáží a přijetím reklamace.

Z těchto úvah jednoznačně vyplývá, že data pro přesné stanovení doby v provozu a následného dopočtu celkového provozního času je nejhodnějším zdrojem dat právě evidence zákazníka.

3.1.1 Analýza dat z pole

Analýzu dat z pole může být provedena v obou případech, ať již data od zákazníka jsou nebo nejsou k dispozici. Je třeba toto mít na paměti při interpretaci získaných výsledků.

Na elektroměry je nahlíženo jako na neopravitelné výrobky. Pravdou je, že elektroměry je možné opravovat. Elektroměr se po opravě následně vrací do sítě, kde je opět namontován, již na jiném odběrném místě. Pro zjednodušení výpočtu je budeme považovat za neopravitelné (neobnovovatelné). Jako odůvodnění může být uvedeno, že vadný elektroměr je z odběrného místa demontován a nahrazen novým.

Jako první krok před přistoupení k samotnému vyhodnocení analyzovaných dat je třeba samotná data prohlédnout a případně vyřadit vadné, nesmyslné nebo nepoužitelné záznamy, které jsou pro vyhodnocení nepoužitelné. Tyto závadné záznamy mohou být způsobeny jak v době zadávání (IS nebo databáze), tak mohou obsahovat nějaké systémové nebo náhodně zanesené chyby. Je zde možnost data opravit, je-li to možné a odůvodnitelné, nebo záznamy jednoduše vyřadit. Takto vyřazená data by neměla ovlivnit celkový výsledek, pokud tedy není vyřazeno větší množství, které by se již mohlo projevit. Jako příklady nesmyslných dat je zde uveden datum se dnem v roce 2020. Takovýto záznam je zcela nevhodný pro jakékoliv vyhodnocení. Do dat jsou samozřejmě zahrnuty pouze elektroměry, které byly prodány nebo úspěšně nainstalovány. K tomu slouží evidence prodeje či instalací v případě zákazníka. Po pročištění dat můžeme přistoupit k samotné analýze.

Princip samotného vyhodnocení dat z pole spočívá v hledání průběhu intenzity poruch v čase. Pro každý elektroměr vypočítáme jeho čas v provozu.

Postup:

Pokud jsou k dispozici pouze data o prodeji, je počítáno dle:

$$t_{pri} = \text{datum reklamace (nebo datum analýzy)} - \text{datum prodeje} + 1 \quad (33)$$

O elektroměrech, které nebyly reklamovány, je uvažováno jako o stále funkčních elektroměrech.

Pokud jsou k dispozici i data zákazníka, je počítáno dle:

$$t_{pri} = \text{datum demontáže (nebo datum analýzy)} - \text{datum instalace} + 1 \quad (34)$$

Výsledná hodnota t_{pr} [dny] odpovídá počtu dní v provozu pro jednotlivé elektroměry. Přičtení hodnoty 1 (1 den) je z důvodu, aby výsledný rozdíl nenabyl hodnoty 0, kterou nelze dělit. Uvažuje se zde tedy, že každý vyřazený elektroměr byl ještě ten den v provozu.

V dalším kroku se určují vadné elektroměry. Každý vadný elektroměr je v datech označen. Vadný elektroměr je označení pro elektroměry, na které byla uplatněna reklamace a ta byla následně uznána. Neuznané elektroměry z reklamace nejsou označeny jako vadné, ale pouze jako demontované, dále již nejsou v provozu. Toto samozřejmě platí pouze pro období platnosti záruky. Po uplynutí této doby již nejsou informace z reklamací dostupné. Poté již označení vadného elektroměru určuje osoba provádějící analýzu. Je zde i možnost některé typy vad (mechanické jako jsou vady šroubů nebo vady potisku apod.) za vadné také nepovažovat. Vše je závislé na úhlu pohledu osoby provádějící analýzu a posouzené relevance vady k určení spolehlivosti.

Po takto provedeném zpracování vstupních dat je získána pro každý elektroměr doba v provozu a označení, zda byl vadný či nikoli.

Tabulka 1: Příklad tabulky po první kroku analýzy

SN	Datum instalace	Datum demontáže	Reklam. uznána	t _{pr}
1003285977	20.1.2011			804
1003285978	19.1.2011	5.9.2011	x	230
1003285979	7.2.2011			786

Tabulka 1 ukazuje vstupy a výstup z prvního kroku analýzy. Tabulka je rozdělená do dvou oblastí. Žlutá oblast reprezentuje vstupní data analýzy. Obsahující již dříve popsané údaje jako data instalace a demontáže (prodeje a reklamace), a označení zda je elektroměr vadný. Poslední sloupec žluté oblasti určuje stav výrobku, kde označení „x“ znamená vadný elektroměr a bez vyplnění je elektroměr považován za bez vady. Šedá oblast je oblast výpočetní, kde se stanoví čas v provozu t_{pr} .

Druhá část analýzy počítá již pouze s výstupy prvního kroku. Výstupem je tabulka zachycující chování elektroměrů v čase t . Tato tabulka začíná řádkem pro $t=1$ a pokračuje s krokem 1 den až do $t=t_{prmax}$, což je nejdelší vypočtený čas v provozu elektroměru. Pomocí četností se zjišťuje, kolik elektroměrů bylo demontováno a kolik bylo vadných v čase t . Takto demontované elektroměry jsou odečteny od celkového počtu v čase $t-1$.

V následujícím přehledu je uveden postup výpočtu hodnot vyhodnocení analýzy pro $t=1$:

$$N(1) = N_0 \quad (35)$$

$$N_p(1) = \text{počet vadných} (t = 1) \quad (36)$$

$$N_b(1) = N(1) - N_p(1) \quad (37)$$

$$T_{tot}(1) = N(1) \quad (38)$$

$$\lambda(1) = \frac{N_p(1)}{T_{tot}(1)} \quad (39)$$

$$R(1) = \frac{N_B(1)}{N(1)} \quad (40)$$

$$Q(1) = 1 - R(1) \quad (41)$$

a dále pro libovolné další t :

$$N(t) = N(t-1) - \text{počet demontovaných v čase } t \quad (42)$$

$$N_p(t) = N_p(t-1) + \text{počet vadných v čase } t \quad (43)$$

$$N_b(t) = N(t) - N_p(t) \quad (44)$$

$$T_{tot}(t) = T_{tot}(t-1) + N(t) \quad (45)$$

$$\lambda(t) = \frac{N_p(t)}{T_{tot}(t)} \quad (46)$$

$$R(t) = \frac{N_B(t)}{N(t)} \quad (47)$$

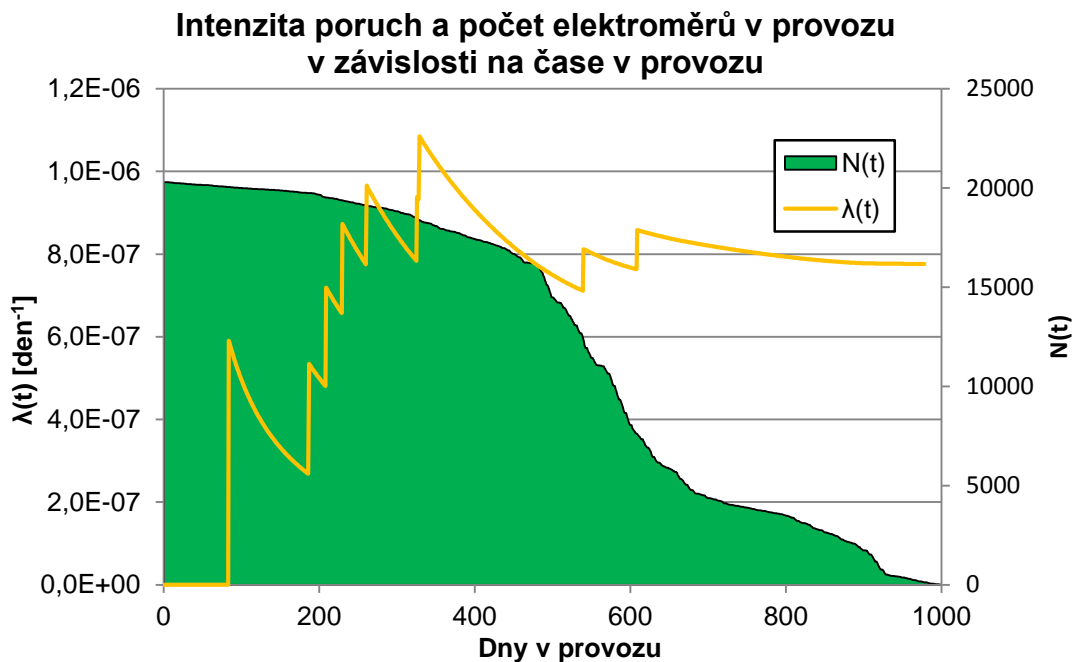
$$Q(t) = 1 - R(t) \quad (48)$$

Takto vypočtené výsledky v tabulce je možné dále statisticky a graficky zpracovat.

Grafické vyhodnocení takto získaných dat reprezentuje příklad na obrázku 10.

Výsledky jsou vyhodnoceny v čase v provozu ve dvou osách. Na hlavní ose je vynesena závislost intenzity poruch v čase $\lambda(t)$. Na vedlejší ose je vynesena závislost počtu kusů v čase $N(t)$. Zvýrazněná plocha pod křivkou representuje celkový čas zkoumaného typu elektroměru v provozu $T_{tot}(t)$.

Z tohoto grafického vyhodnocení již jsme schopni odhadnout hledanou intenzitu poruch zkoumaného elektroměru. Odhad provádíme určením hodnoty, která je větší než hodnota vynesená v grafu. Například z obrázku 10 bychom hodnotu intenzity poruch odhadli (stanovili) na $\lambda = 1,2e-6 \text{ den}^{-1}$ ($= 50 \text{ FIT}$).



Obrázek 10: Grafické vyhodnocení analýzy dat z pole.

Další statistické vyhodnocení je již otázkou práce s daty ve výsledné tabulce. Může být třeba vyhodnocena průměrná doba v provozu zkoumaného souboru dat, kolik elektroměrů v tomto období bylo vadných nebo vyhodnocení vztáhnout k prvnímu nebo druhému roku v provozu a podobně.

3.2 Metoda predikce spolehlivost z jednotlivých komponentů

Tato metoda je založena na sčítání hodnot intenzit poruch jednotlivých komponentů zkoumaného systému. Vychází se z předpokladu, že se zde jedná o sériový model systému, kde selhání jedné komponenty vede k selhání celého systému, potažmo ke vzniku vady. Proto tedy pro výpočet intenzity poruchy lze napsat:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (49)$$

- kde: λ je celková vypočtená intenzita poruch systému
 λ_i je intenzita poruch jednotlivých komponent systému
 n je počet komponent systému

Práce s touto metodou by měla být nedílnou součástí vývoje nového produktu, a to ať již na úplném začátku, kde se ověřuje koncept, tak i v období prototypů nebo nulových výrobních sériích. Pomocí této metody lze také už v rozběhnuté výrobě verifikovat plánované změny a jejich možný vliv na spolehlivost celkového systému.

Velmi důležitou součástí této metody je potřeba znát hodnoty intenzity poruch

jednotlivých komponentů. Tato informace není vždy dostupná. Teoreticky by každý výrobce elektronických komponentů měl mít k dispozici tyto údaje, které vycházejí buď z jeho vnitřních zkušebních metod, většinou předepisovaných příslušnou normou pro daný komponent nebo průmyslové odvětví, nebo z informací získávaných z pole a následně vyhodnocených. Tyto informace, ale nejsou u všech výrobců lehce dostupné například v katalogových listech, ale pouze na vyžádání nebo ani takto ne. Samozřejmě při výpočtu intenzity poruch v raném vývoji, ani samotní vývojáři nemusí mít dostatek informací, který z výrobců dané součástky bude vybrán oddělením nákupu a následně po schválení používán.

Stanovení hodnot intenzity poruch komponentů lze rozdělit do dvou přístupů:

- Určení intenzity poruch za referenčních podmínek
- Určení intenzity poruch za provozních (stresových) podmínek

Hodnoty intenzity poruch jednotlivých komponentů lze tedy získat z několika možných zdrojů:

- Výrobce nebo distributor
 - o tento zdroj hodnot intenzit poruch je považován za nejméně spolehlivý. Jak již bylo uvedeno výše, není tento zdroj informací zas tak lehce dostupný, jak by se mohlo zdát.
- Vlastní monitoring
 - o Naopak pokud některé velké firmy s propracovaným systémem monitoringu spolehlivosti, mohou mít vlastní databázi spolehlivosti (hodnot intenzit poruch) vysledovanou na vlastních výrobcích. Příkladem může být společnost Siemens, která má svou SN 29500.
- Jiné zdroje a databáze
 - o Tyto použitelné zdroje jsou vlastně různé příručky, postupy a standardy, ať již volně dostupné nebo komerčně nakoupené dokumenty nebo přístupy do databází. Některé tyto příručky umožňují stanovení jak referenčních intenzit poruch, tak i intenzit poruch v provozních (stresových) podmínkách.
 - o Zde je uvedeno několik příkladů z dostupných zdrojů:
 - MIL-HDBK-217-F Notice 2 (1995)
 - Bellcore TR332 (1997)
 - Telcordia SR332 issue 3 (2011)
 - Siemens SN29500
 - IEC 62380:2004
 - IEEE standardy
 - a další
 - o Lze samozřejmě využít i jejich vzájemné kombinací, ale je třeba vždy uvést zdroj hodnoty intenzity poruch.

Pro elektroměry je možné použít převzatou normu ČSN EN 62059-41, která především odkazuje na normy IEC 61709, IEC 62380:2004 a databázi SN 29500. V této normě je uvedena také poznámka o možnosti použít pro stanovení intenzit poruch jiné zdroje nebo vyčíslení provést pomocí komerčních softwarů.

Zde jsou uvedeny dva příklady teoretického postupu výpočtu intenzity poruch rezistoru s různými zdroji:

1) Pomocí přístupu z normy ČSN EN 62059-41

Tato norma nabízí základní vzorec pro výpočet intenzity poruch:

$$\lambda = \lambda_{ref} \cdot \pi_U \cdot \pi_I \cdot \pi_T \quad (50)$$

kde: λ_{ref} je intenzita poruch za referenčních podmínek
 π_U je napěťově závislý faktor
 π_I je proudově závislý faktor
 π_T je teplotně závislý faktor.

Norma dále odkazuje na IEC 61709, kde je již pro rezistory uveden specifický vzorec a konstanty pro samotný výpočet:

$$\lambda = \lambda_{ref} \cdot \pi_T \quad (51)$$

$$\pi_T = \frac{A \cdot e^{E_{a1} \cdot z} + (1 - A) \cdot e^{E_{a2} \cdot z}}{A \cdot e^{E_{a1} \cdot z_{ref}} + (1 - A) \cdot e^{E_{a2} \cdot z_{ref}}} \quad (52)$$

$$z = \frac{1}{k_0} \cdot \left(\frac{1}{T_{amb,ref}} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (53)$$

$$z_{ref} = \frac{1}{k_0} \cdot \left(\frac{1}{T_{amb,ref}} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (54)$$

kde: λ_{ref} je intenzita poruch za referenčních podmínek
 π_T je činitel namáhání pro závislost na teplotě (teplotně závislý faktor)

A je konstanta

E_{a1} a E_{a2} jsou aktivační energie v eV

$k_0 = 8,618 \cdot 10^{-5}$ eV/K

$T_{amb,ref} = 313$ K je střední referenční teplota rezistorového prvku

T_1 je skutečná teplota rezistorového prvku

Pro rezistory jsou v této normě uvedeny hodnoty konstant (viz tabulka 2).

Tabulka 2: Hodnoty konstant pro rezistory dle IEC 61709

A	E_{a1} [eV]	E_{a2} [eV]	$T_{amb,ref}$ [K]
0,873	0,16	0,44	313

Pro samotný výpočet je tedy potřeba znát intenzitu poruch za referenčních podmínek a teplotu rezistorového prvku (pro zjednodušení).

2) Pomocí přístupu dle příručky MIL-HDBK-217-F Notice 2

Příručka je používána především pro armádní zakázky, je také jednou z prvních a volně dostupných příruček. V této příručce je uveden pro stanovení hodnoty intenzity poruch rezistoru vzorec:

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_P \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot 10^{-6} [h^{-1}] \quad (55)$$

kde: λ_b je základní intenzita poruch pro danou součástku a její provedení (hodnota je v příručce uvedena)

π_T je faktor teploty

π_P je faktor výkonu (ztráty)

π_S je faktor stresu výkonu (ztráty) vůči referenční hodnotě

π_Q je faktor kvality (kvalitativní provedení)

π_E je faktor prostředí (kde bude používáno)

Hodnoty se základní intenzitou poruch a pro jednotlivé faktory jsou uvedeny v tabulkách nebo ve formě vzorce pro jejich stanovení v textu samotné příručky. Pro jejich stanovení je třeba znát pracovní podmínky, obvodové veličiny, konstrukce a provedení jednotlivých součástek, a další potřebné informace.

Po stanovení intenzit poruch jednotlivých komponentů je provedeno jejich sečtení. Toto sečtení odpovídá výsledné intenzitě poruch celého systému. Pro další zpřesnění výpočtu je možné dále zahrnout i intenzitu poruch desky plošných spojů a nestandardních druhů připojení. Návod na její stanovení nabízí například norma IEC 62380, která s pomocí výsledků intenzit poruch jednotlivých komponentů a informací o desce plošných spojů vypočítá hodnotu intenzity poruch celého systému dle vzorce:

$$\lambda = A + B \quad (56)$$

kde: λ je celková vypočtená intenzita poruch systému

A vyjadřuje intenzitu poruch komponentů a spojení

B vyjadřuje intenzitu poruch desky plošných spojů

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + \left(1 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot \sum \lambda_d \quad (57)$$

kde: λ_s je intenzita poruch SMD součástek

λ_f je intenzita poruch vývodových součástek

λ_d je intenzita poruch ostatních (různých) spojení

ΔT_i teplotní rozdíl mezi denní a noční průměrnou roční teplotou ($=9^\circ\text{C}$)

$(\pi_n)_i$ ovlivňující faktor ($=88,5814$)

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi_t \cdot \pi_c \cdot \left[N_t \cdot \sqrt{1 + \frac{N_t}{S}} + N_P \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \sqrt{S}}{3} \cdot \pi_L \right] \cdot C \quad (58)$$

$$C = \left(1 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \quad (59)$$

kde: N_t je celkový počet otvorů (otvory pro vývodové součástky a via prokovů)

S je plocha plošného spoje v cm^2

π_L je faktor dominantní šířky cest (=2)

π_c je faktor počtu vrstev (=1)

π_t je faktor vlivu teploty (=0,908)

$$\pi_t = e^{1740 \cdot \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{273+t_A} \right)} \quad (60)$$

t_A je teplota prostředí, kde se deska plošného spoje nachází (=25°C)

N_p je celkový počet cest, který se dá odvodit také jako

$$N_p = \frac{\text{celkový součet spojení}}{2} = \frac{\sum N_s + \sum N_f}{2} \quad (61)$$

N_s je celkový počet SMD plošek

N_f je celkový počet vývodových plošek

C je pomocná konstanta ve výpočtu ($C = 2,183992$)

Získaná hodnota intenzity poruch celého systému λ je hledaná cílová (teoreticky maximální) hodnota v oblasti II vanové křivky.

3.3 Metoda predikce spolehlivosti zrychlenými zkouškami

Cílem této metody je pomocí zrychlených spolehlivostních zkoušek vyvolat u výrobku zrychlené stárnutí a s tím spojený urychlený výskyt vad. Na výrobek tedy mohou být aplikovány různé stresové faktory, které mohou toto stárnutí vyvolat. Nejpoužívanějšími faktory jsou teplota, vlhkost, mechanické či elektrické namáhání, ale také různé jiné vlivy. Při tomto působení stresových faktorů se sleduje výskyt různých vad v čase. Zrychlené zkoušky se mohou opakovat s různým nastavením hodnot ovlivňujících faktorů, aby se určil vliv jednotlivých faktorů na výskyt vad. Těmto hodnotám vlivu se říká akcelerační faktory. Tyto akcelerační faktory popisují, jak daná ovlivňující veličina urychluje výskyt vady u výrobku. Poté je již možné získané výsledky ze zrychlených spolehlivostních zkoušek přepočítat na normální provozní podmínky a to je vlastně cílem této metody.

Pro elektroměry existuje norma IEC 62059-31, která právě popisuje možný způsob provedení zrychlené zkoušky. Tato norma používá jako ovlivňující veličiny právě teplotu a vlhkost. V normě je podrobně popsáno jak její matematické pozadí, tak požadované způsoby reportu výsledků.

Tato metoda je časově i finančně velmi náročná. Pro představu je zde uveden

přehled provedených zkoušek z příkladu, který je součástí této normy (IEC 62059-31: Annex G):

- Na jednu zkoušku bylo použito vždy 30 vzorků (5x30 elektroměrů)
- Zkoušky byly prováděny pro 5 různých kombinací ovlivňujících faktorů pro přesnější výpočet hodnot akceleračních faktorů. Zároveň, je zde uvedena délka jednotlivých provedených zkoušek:
 - o 85°C + 95% RH 648h = 27dní
 - o 85°C + 85% RH 576h = 24dní
 - o 85°C + 75% RH 816h = 34dní
 - o 75°C + 95% RH 888h = 37dní
 - o 65°C + 95% RH 2568h = 107dní
- Celkový čistý čas provedených zrychlených zkoušek je tedy 229 dní
- V průběhu zkoušky jsou vadné elektroměry opravovány, aby bylo možné v testu pokračovat a u daného elektroměru se mohl projevit i další druh vady. Samozřejmě opravář musí klimatizační komoru vypnout, odvětrat, opravit vadu na elektroměru a komoru opět nastartovat. I tyto operace také zaberou nějaký čas.

Pro představu finanční náročnosti pořízení vybavení pro takovéto zkoušky, je zde uveden přehled potřebných zařízení:

- Klimatizační komora typ Walk-in
- 30-ti (40-ti) poziční řadnice pro měření přesnosti + trafa pro shuntové verze elektroměrů + pojezdový stojan. Řadnice a trafa musí být umístěna mimo komoru, aby se zabránilo jejich stárnutí v komoře.
- Doprovodné instalace, aplikace a doplňky
- Software pro detekci a zaznamenání výskytu vad

Oslovení dodavatelé:

- Komora Walk-in – Kaitrade s.r.o. (komory Vötsch Industrietechnik)
- Řadnice pro měření přesnosti elektroměrů – Applied precision s.r.o.

Celkové poptané (informativní) náklady u výrobců či dodavatelů těchto zařízení by činili od 350-450 tis. €.

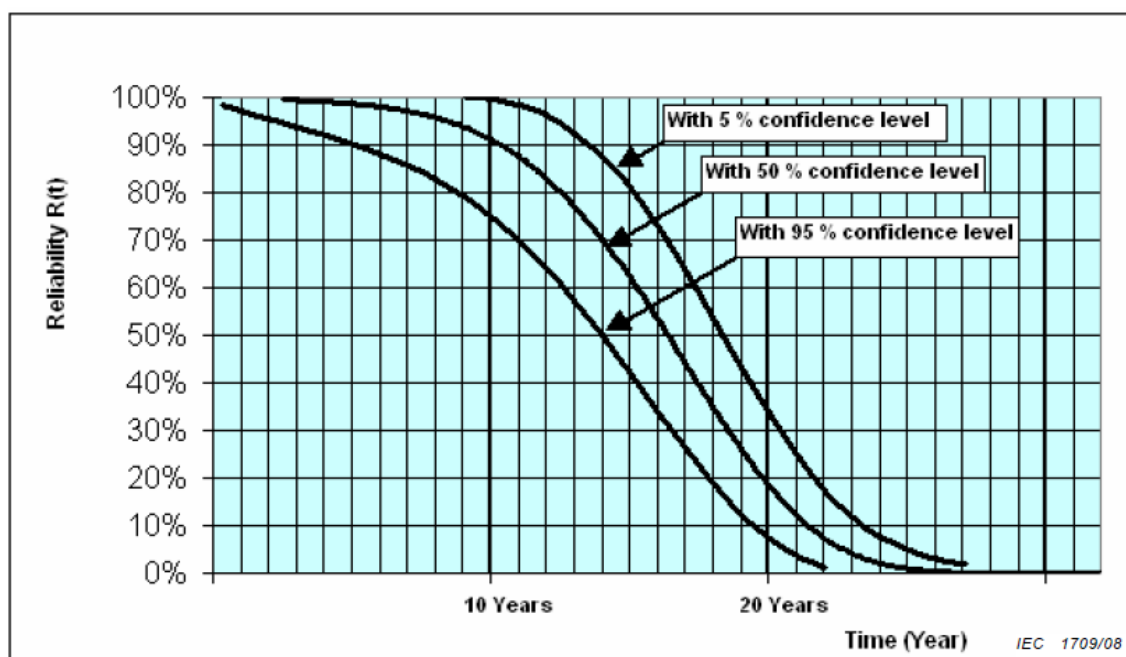
Je zde zřejmé, že takováto investice by se vyplatila v případě velkých a dlouhodobě trvajících dodávek v rozmezí 3-5 let a statisícových či milionových objemů.

Je třeba si také uvědomit, že pro dosažení co nejvíce reálných výsledků je třeba 30 vzorků vybrat z delšího časového úseku výrobních dávek, aby se předešlo testování jedné výrobní dávky, která nemusí odpovídat celkové produkci.



Obrázek 11: Klimatizační komora typ Walk-in

Je zde uveden výsledný výstup (grafický) vzorové analýzy popsané touto normou. Získaný výstup této predikce obsahuje vypočtenou pravděpodobnost bezporuchového stavu $R(t)$ (obrázek 12). Z takto vyhodnocené predikce je patrné, jaké bude očekávané chování výrobku v čase.



Obrázek 12: Závislost vypočteného $R(t)$ z příkladové studie v IEC 62059-31 [9]

Z důvodu nedostupnosti zkušebního zařízení a časové náročnosti nebude tato metoda součástí praktické části uvedené v kapitole 4.

4 STANOVENÍ SPOLEHLIVOST STATICKÝCH ELEKTROMĚŘŮ

4.1 Výběr zkoumaných elektroměrů

Před započítím provádění jednotlivých analýz je třeba stanovit, které typu elektroměrů budou podrobeny zkoumání.

Pro získání relevantních výsledků analýzy metodou sběru dat z pole, bude třeba zajistit, aby vybrané typy elektroměrů byly v provozu alespoň 2 roky. Vybrané typy elektroměrů musí mít kvalitně vedenou a dostupnou evidenci vad (reklamací). Dále je třeba mít k dispozici data od zákazníka pro porovnání výsledků z obou zdrojů vstupních dat (výrobce a zákazník).

Pro získání relevantních výsledků analýzy metodou predikce spolehlivosti z jednotlivých komponentů je zapotřebí mít k dispozici detailní výrobní dokumentaci. Ať se zde jedná o BOM list, schéma zapojení nebo layout desky plošného spoje s pokládacím schématem. Tyto informace nejsou vždy k dispozici v případě pouhého překupování výrobku či zastupování výrobce na trhu.

Výše uvedené požadavky splňují elektroměry řady ZEx12 vyráběné v roce 2010 pro zákazníka společnost ČEZ Logistika s.r.o. (ČEZ). Společnost ČEZ projevila silný zájem na této tématice spolupracovat a poskytla svá data z interní databáze potřebná pro provedení analýzy metodou sběru dat z pole.

Jako zkoumané typy elektroměrů byly tedy vybrány:

- ZE112.D0.A1B011-010 – jednofázový jednotarifní statický elektroměr
- ZE112.D0.B1B012-010 – jednofázový dvoutarifní statický elektroměr
- ZE312.D0.B1T012-010 – třífázový dvoutarifní statický elektroměr

4.1.1 Stručná charakteristika vybraných elektroměrů

V tabulce 2 je uveden stručný přehled některých parametrů a funkcí vybraných elektroměrů. Pro jednotlivé typy je v tabulce použito zkrácené označení dle následujícího klíče:

- ZE112.D0.A1B011-010 ... ZE112 1T
- ZE112.D0.B1B012-010 ... ZE112 2T
- ZE312.D0.B1T012-010 ... ZE312 2T

Tabulka 3: Přehled základních informací, parametrů a funkcí zkoumaných elektroměrů

	ZE312 2T	ZE112 1T	ZE112 2T
Základní informace			
Zákazník	ČEZ Logistika s.r.o.		
Prodáno	140000 ks	60000 ks	20320 ks
Vyrobeno	142000 ks	61000 ks	21000 ks
Záruka	60 měsíců (5 let)		
Životnost (metrologické vlastnosti)	15 let		
Způsob uvedení na trh	MID		
Základní technické parametry			
Třída přesnosti	A	A	A
Pracovní teplota	-40° až +70°C		
Jmenovité napětí	3x230V/400V	1x230V	1x230V
Jmenovitá frekvence	50Hz		
Referenční proud I_{ref}	5A	5A	5A
Startovací proud I_{st}	$\leq 15\text{mA}$	$\leq 15\text{mA}$	$\leq 15\text{mA}$
Minimální proud I_{min}	150mA	150mA	150mA
Maximální proud I_{max}	80A	40A	40A
Měření	Odběr i dodávka		
Rozhraní a funkce			
LCD	7 segmentový LCD displej (indikace fází, tarifů aj.)		
IR opto rozhraní	dle ČSN EN 62056-21		
S0 výstup	dle ČSN EN 62053-31		
Tarifní řízení	2 tarify externí svorky	-	2 tarify externí svorky
Metrologická konstanta LED	10000imp/kWh	10000imp/kWh	10000imp/kWh

Vzhled těchto zkoumaných elektroměrů je na obrázku 13.



Obrázek 13: Zkoumané typy elektroměrů zleva - ZE112 1T, ZE312 2T a ZE112 2T

4.2 Vyhodnocení analýzy metodou sběru dat z pole

Pro demonstraci vlivu vstupních dat pro analýzu na možné výsledky byly pro každý typ elektroměru provedeny analýzy dvě a to z dat výrobce, informace z prodeje a reklamací elektroměrů, a následně z dat zákazníka, informace o instalaci, demontáži a reklamací elektroměrů.

Ze vstupních dat výrobce byly vyřazeny elektroměry, které byly reklamovány na vadu z příjmu (transportní škody), z ověření (namátková kontrola) a z instalace (odhalena vada při montáži elektroměru na odběrném místě). Tyto elektroměry nebyly de facto instalovány do sítě, a proto byly z analyzovaných dat vyřazeny.

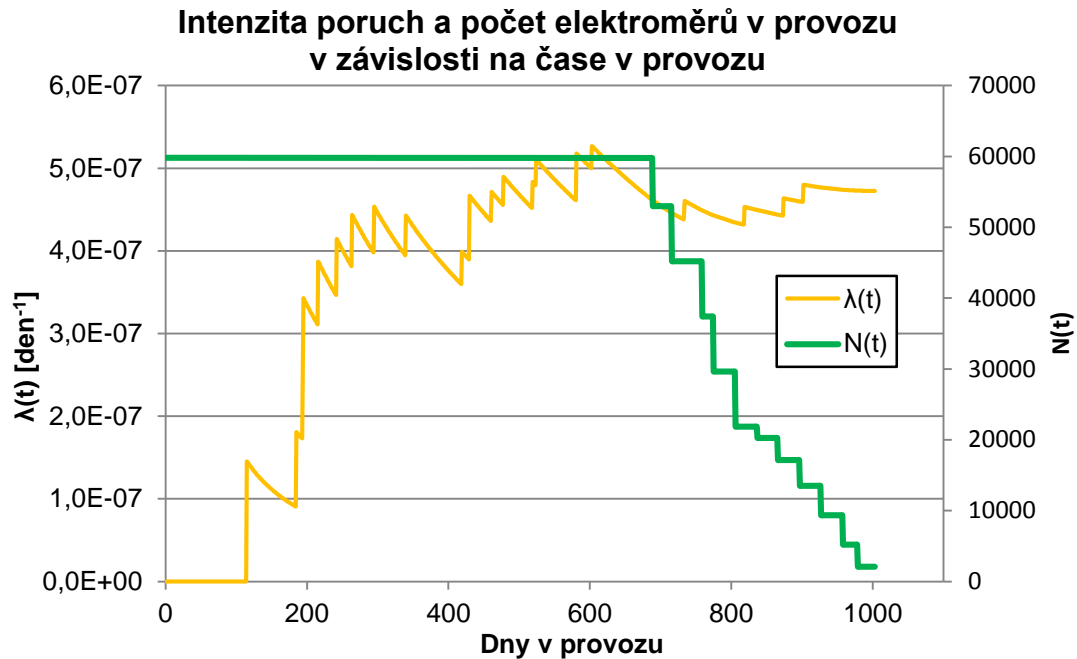
Ze vstupních dat zákazníka bylo vymazáno několik záznamů, které vykazovali nesmyslné data instalací či demontáží (zhruba 10-20 záznamů).

Finální výstupy z metody analýzy dat z pole jsou uvedeny pro jednotlivé analýzy v přílohách A1 až A6. Tyto výstupy byly vygenerovány pomocí nástroje vytvořeného v programu MS Excel s VBA makry (Metoda_A.xlsm), který je součástí přiloženého CD k této práci. Na tomto CD jsou také zdrojová data pro jednotlivé analýzy.

V této části budou uvedeny grafické výsledné výstupy jednotlivých analýz. Dále zde bude uvedena tabulka s výsledky analýzy a dalšími údaji. Bude obsahovat vypočtenou celkovou dobu v provozu T_{tot} , počet vadných elektroměrů, odhad hodnoty intenzity poruch λ pro lineární II oblast průběhu vanové křivky. Tento odhad je proveden z grafického vyhodnocení analýzy. Z odhadnuté intenzity poruch vypočtená hodnota MTTF a následně vypočtené očekávané výpadky za rok a to jak v kusech, tak v procentech z prodaného/instalovaného množství.

4.2.1 Vyhodnocení ZE 112 1T (výrobce)

Grafický výstup analýzy je na obrázku 14.



Obrázek 14: Grafický výstup analýzy pro ZE112 1T s daty výrobce

Z průběhu intenzity poruch $\lambda(t)$ byl proveden odhad její hodnoty na $\lambda = 7e-7 \text{ den}^{-1}$.

Tabulka 4: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 1T (výrobce)

T_{tot} [dny]	48691852
Vady [ks]	23
Prodáno [ks]	60000
Odhad λ [dny ⁻¹]	7,00E-07
MTTF [dny]	1428572
Výpadek za rok [ks]	16
Výpadek za rok [%]	0,026%

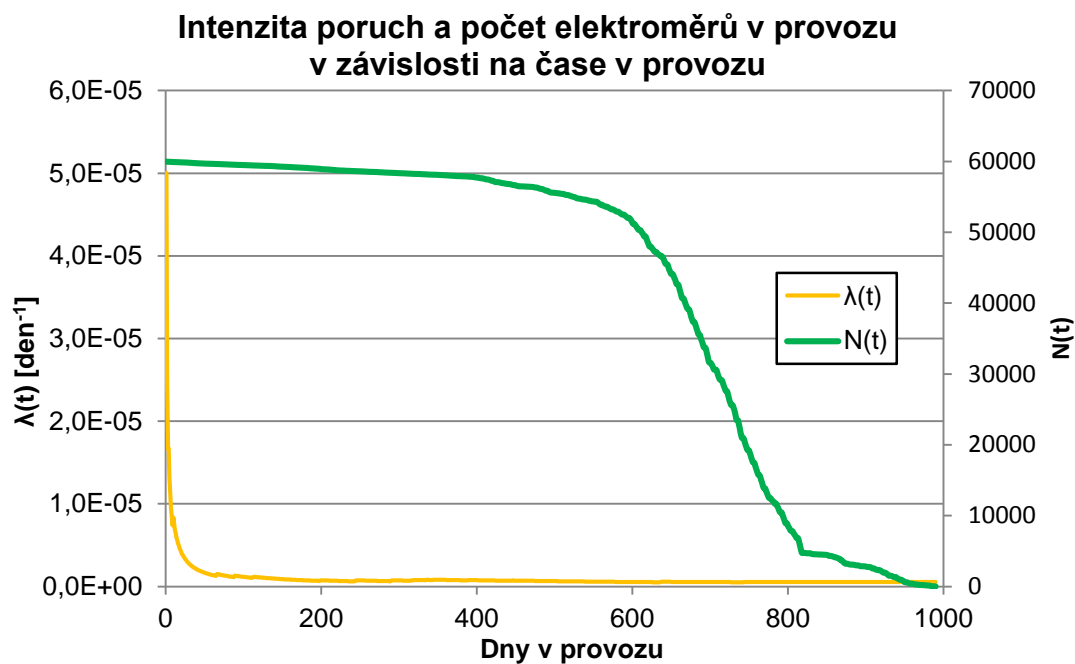
Příklad výpočtu:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{7 \cdot 10^{-7}} = 1428572 \text{ dní}$$

$$Výpadek = \lambda \cdot \text{Prodáno} \cdot 365 = 7 \cdot 10^{-7} \cdot 60000 \cdot 365 = 16 \text{ ks}$$

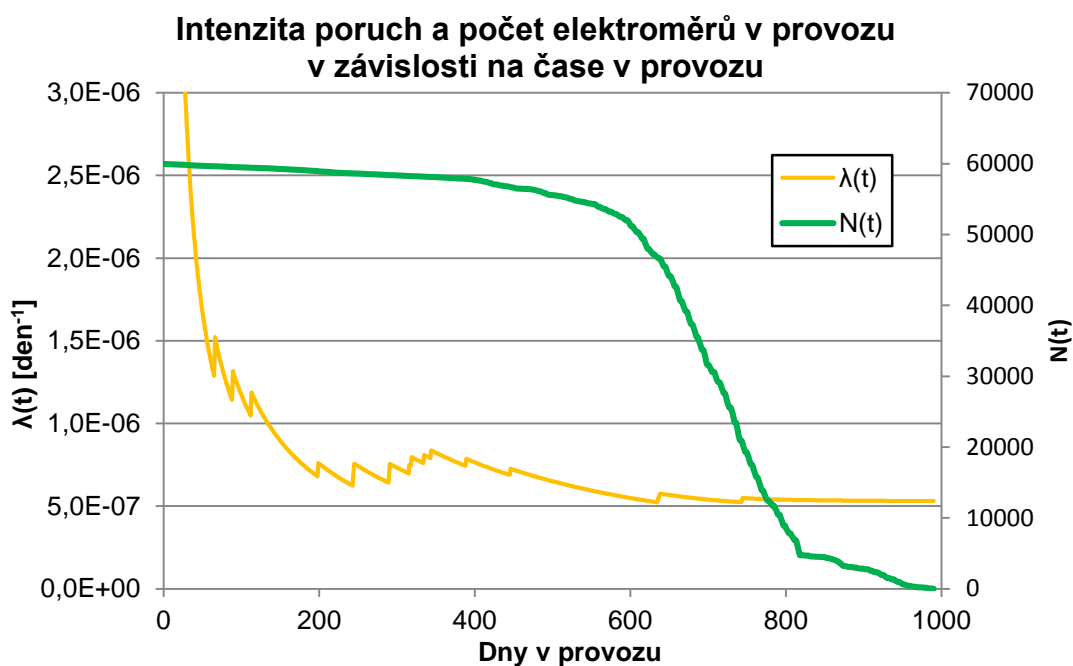
$$Výpadek(\%) = \frac{\lambda \cdot \text{Prodáno} \cdot 365}{\text{Prodáno}} \cdot 100 = 7 \cdot 10^{-7} \cdot 365 \cdot 100 = 0,026\%$$

4.2.2 Vyhodnocení ZE 112 1T (zákazník)



Obrázek 15: Grafický výstup analýzy pro ZE112 1T s daty zákazníka

Křivka intenzity poruch je v tomto případě v prvních dnech v provozu velmi strmá. Toto je zapříčiněno velkým počtem vadných elektroměrů již v prvním týdnu v provozu (1. den – 3 kusy; 4. a 10. den – 1 kus). Pro zřetelnější odečtení odhadované intenzity poruch bylo potřeba vidět podrobněji její průběh v dalším čase. V grafické závislosti na obrázku 15 byla změnou maximální hodnotu levé osy získána upravená závislost (viz obrázek 16).



Obrázek 16: Snížená maximální hodnota levé osy grafu z obrázku 15

Z průběhu intenzity poruch $\lambda(t)$ na obrázku 16 byl proveden odhad její hodnoty na $\lambda = 1,5e-6 \text{ den}^{-1}$.

Tabulka 5: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 1T (zákazník)

T_{tot} [dny]	41422427
Vady [ks]	22
Instalováno [ks]	59940
Odhad λ [dny ⁻¹]	1,50E-06
MTTF [dny]	666667
Výpadek za rok [ks]	33
Výpadek za rok [%]	0,055%

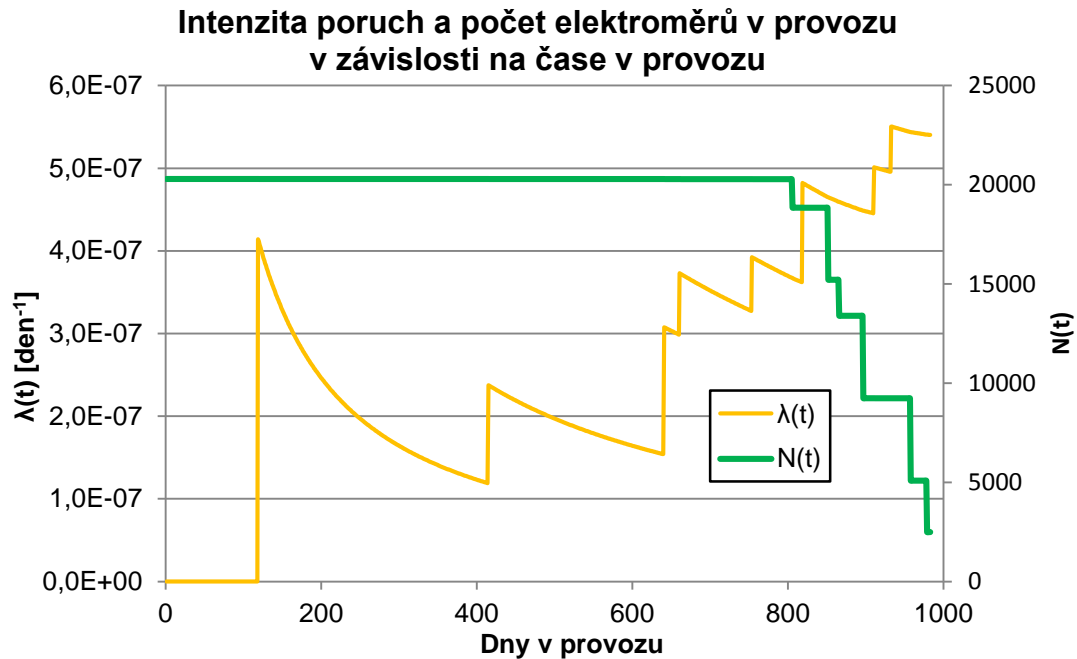
Příklad výpočtu:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{-6}} = 666667 \text{ dní}$$

$$Výpadek = \lambda \cdot \text{Instalováno} \cdot 365 = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 59940 \cdot 365 = 33 \text{ ks}$$

$$Výpadek(\%) = \frac{\lambda \cdot \text{Instalováno} \cdot 365}{\text{Instalováno}} \cdot 100 = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 365 \cdot 100 = 0,055\%$$

4.2.3 Vyhodnocení ZE 112 2T (výrobce)



Obrázek 17: Grafický výstup analýzy pro ZE112 2T s daty výrobce

Hodnota intenzity poruch stále stoupá v průběhu času, ale její přírůstek v čase se postupně zmenšuje, proto byl odhad průběhu intenzity poruch $\lambda(t)$ (obrázek 17) stanoven na hodnotu $\lambda = 8e-7 \text{ den}^{-1}$.

Tabulka 6: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 2T (výrobce)

T_{tot} [dny]	18507247
Vady [ks]	10
Prodáno [ks]	20320
Odhad λ [dny ⁻¹]	8,00E-07
MTTF [dny]	1250000
Výpadek za rok [ks]	6
Výpadek za rok [%]	0,029%

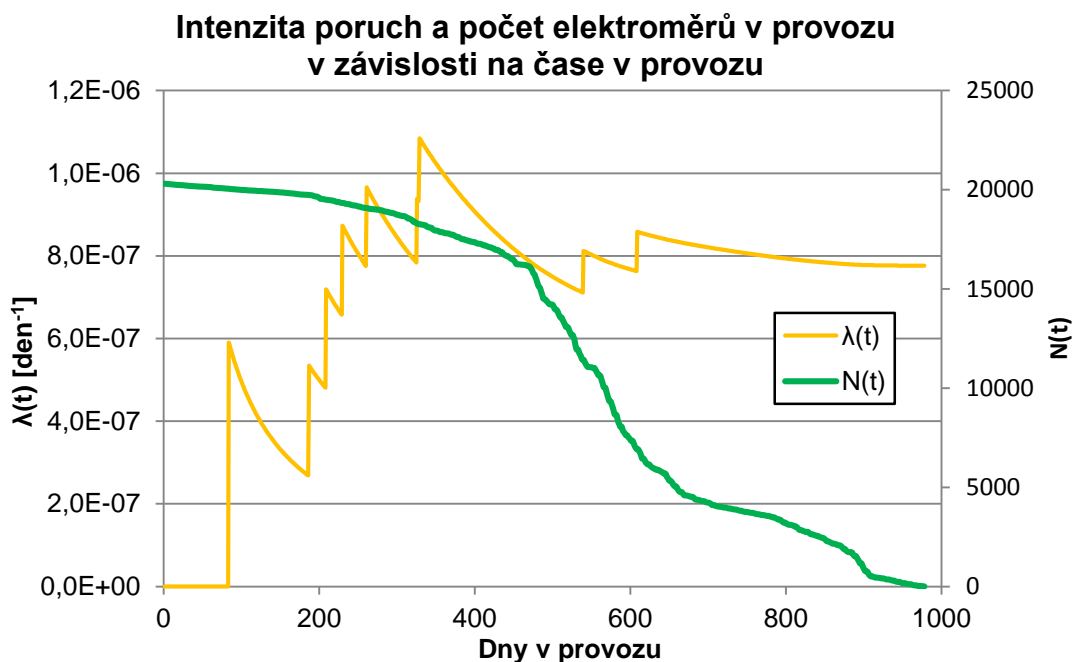
Příklad výpočtu:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{8 \cdot 10^{-7}} = 1250000 \text{ dní}$$

$$\text{Výpadek} = \lambda \cdot \text{Prodáno} \cdot 365 = 8 \cdot 10^{-7} \cdot 20320 \cdot 365 = 6 \text{ ks}$$

$$\text{Výpadek}(\%) = \frac{\lambda \cdot \text{Prodáno} \cdot 365}{\text{Prodáno}} \cdot 100 = 8 \cdot 10^{-7} \cdot 365 \cdot 100 = 0,029\%$$

4.2.4 Vyhodnocení ZE 112 2T (zákazník)



Obrázek 18: Grafický výstup analýzy pro ZE112 2T s daty zákazníka

Z průběhu intenzity poruch $\lambda(t)$ na obrázku 18 byl odhadnuta hodnota $\lambda = 1,2e-6$ den^{-1} .

Tabulka 7: Výsledková tabulka analýzy pro ZE112 2T (zákazník)

T_{tot} [dny]	11592816
Vady [ks]	9
Instalováno [ks]	20299
Odhad λ [dny^{-1}]	1,20E-06
MTTF [dny]	833334
Výpadek za rok [ks]	9
Výpadek za rok [%]	0,044%

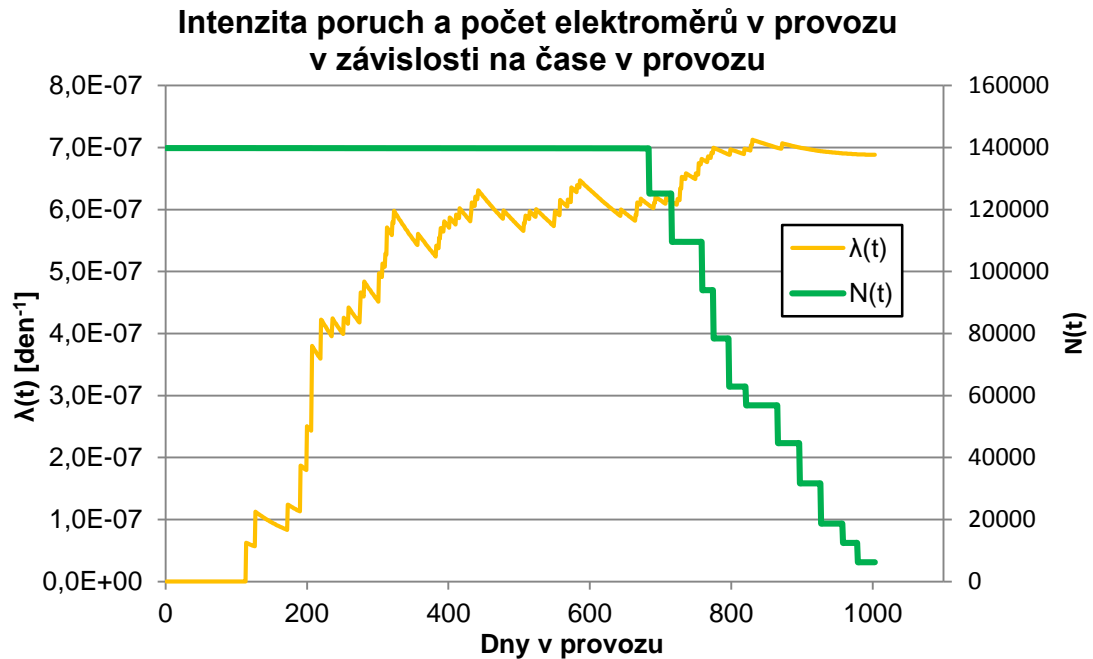
Příklad výpočtu:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-6}} = 833334 \text{ dní}$$

$$\text{Výpadek} = \lambda \cdot \text{Instalováno} \cdot 365 = 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 20299 \cdot 365 = 9 \text{ ks}$$

$$\text{Výpadek}(\%) = \frac{\lambda \cdot \text{Instalováno} \cdot 365}{\text{Instalováno}} \cdot 100 = 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 365 \cdot 100 = 0,044\%$$

4.2.5 Vyhodnocení ZE 312 2T (výrobce)



Obrázek 19: Grafický výstup analýzy pro ZE312 2T s daty výrobce

Hodnota intenzity již v průběhu času nestoupá s takovou strmostí, ale to může být způsobeno menším počtem elektroměrů v provozu. Odhad hodnoty intenzity poruch z obrázku 19 byl proveden na hodnotu $\lambda = 8,5e-7 \text{ den}^{-1}$.

Tabulka 8: Výsledková tabulka analýzy pro ZE312 2T (výrobce)

T_{tot} [dny]	114801761
Vady [ks]	79
Prodáno [ks]	140000
Odhad λ [dny ⁻¹]	8,50E-07
MTTF [dny]	1176471
Výpadek za rok [ks]	44
Výpadek za rok [%]	0,031%

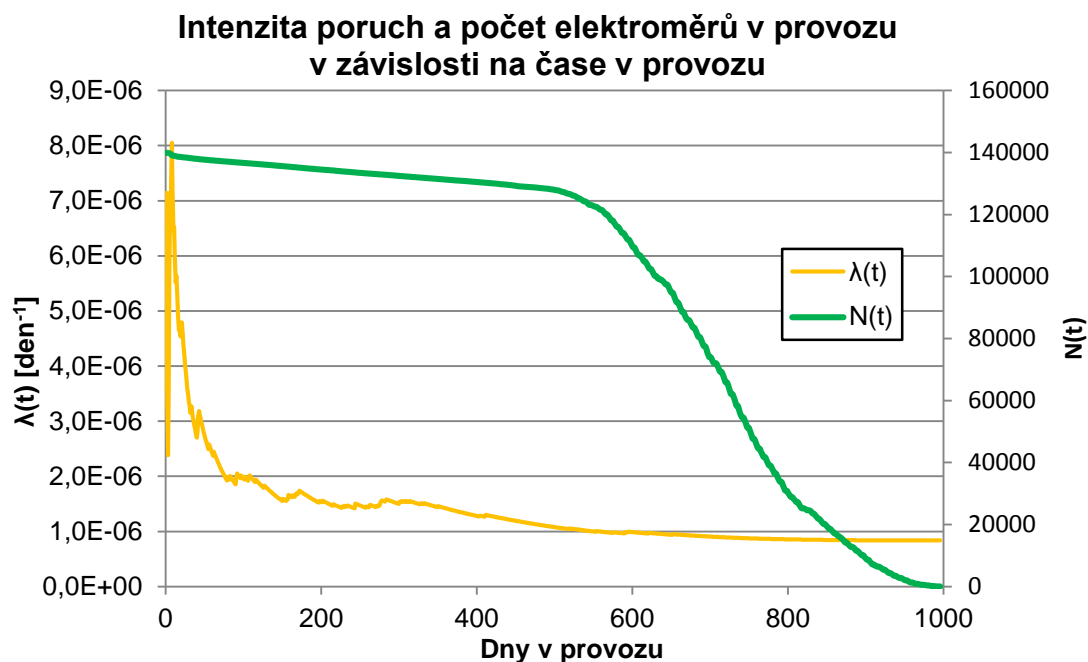
Příklad výpočtu:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{8,5 \cdot 10^{-7}} = 1176471 \text{ dní}$$

$$\text{Výpadek} = \lambda \cdot \text{Prodáno} \cdot 365 = 8,5 \cdot 10^{-7} \cdot 140000 \cdot 365 = 6 \text{ ks}$$

$$\text{Výpadek}(\%) = \frac{\lambda \cdot \text{Prodáno} \cdot 365}{\text{Prodáno}} \cdot 100 = 8,5 \cdot 10^{-7} \cdot 365 \cdot 100 = 0,031\%$$

4.2.6 Vyhodnocení ZE 312 2T (zákazník)



Obrázek 20: Grafický výstup analýzy pro ZE312 2T s daty zákazníka

Křivka intenzity poruch (obrázek 20) je i v tomto případě v prvních dnech v provozu velmi strmá s několika peaky. Toto je zapříčiněno velkým počtem vadných elektroměrů již v prvních dnech v provozu (1. týden – 7 kusů). Časem již křivka klesá a je možné odhad hodnoty intenzity poruch odečíst. Odhad je stanoven na hodnotu $\lambda = 1,8e-6 \text{ den}^{-1}$.

Tabulka 9: Výsledková tabulka analýzy pro ZE312 2T (zákazník)

T _{tot} [dny]	95640800
Vady [ks]	80
Instalováno [ks]	139960
Odhad λ [dny ⁻¹]	1,80E-06
MTTF [dny]	555556
Výpadek za rok [ks]	92
Výpadek za rok [%]	0,066%

Příklad výpočtu:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,8 \cdot 10^{-6}} = 555556 \text{ dní}$$

$$\text{Výpadek} = \lambda \cdot \text{Instalováno} \cdot 365 = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 139960 \cdot 365 = 92 \text{ ks}$$

$$\text{Výpadek}(\%) = \frac{\lambda \cdot \text{Instalováno} \cdot 365}{\text{Instalováno}} \cdot 100 = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 365 \cdot 100 = 0,066\%$$

4.2.7 Shrnutí dosažených výsledků analýzy sběru dat z pole

Všechny získané výsledky jsou shrnuty do jedné souhrnné tabulky 10.

Tabulka 10: Souhrn výsledků analýzy sběru dat z pole

Parametr	ZE312 2T		ZE112 1T		ZE112 2T	
	Výrobce	Zákazník	Výrobce	Zákazník	Výrobce	Zákazník
T _{tot} [dny]	114801761	95640800	48691852	41422427	18507247	11592816
Vady [ks]	79	80	23	22	10	9
Instalováno [ks]	140000	139960	60000	59940	20320	20299
Odhad λ [dny ⁻¹]	8,50E-07	1,80E-06	7,00E-07	1,50E-06	8,00E-07	1,20E-06
MTTF [dny]	1176471	555556	1428572	666667	1250000	833334
Výpadek [ks/rok]	44	92	16	33	6	9
Výpadek [%/rok]	0,031%	0,066%	0,026%	0,055%	0,029%	0,044%

Ze získaných výsledků je patrné, že při analýze pomocí dat výrobce je dosahováno lepších hodnot intenzity poruch než s daty zákazníka. Jednou z hlavních příčin je různá vypočtená doba v provozu. Tato doba se projevuje v samotných výpočtech analýzy pro jednotlivé elektroměry a je tedy promítnuta také do hodnoty celkové doby v provozu zkoumaného typu elektroměru. Tento nesoulad je také patrný v grafickém vyhodnocení (zelená křivka počtu kusů v provozu v čase $t - N(t)$). Její kostrbatost reflektuje prodej elektroměrů po dávkách, kdežto skoro hladký průběh této křivky u dat zákazníka odráží postupnou (reálnou) instalaci elektroměrů do sítě. Na rozdíl celkové doby se také podílí i fakt, že výrobce nemá informace o demontovaných nereklamovaných elektroměrech. Samozřejmě už jen z podstaty vstupních dat je jasné, že reálnější výsledné hodnoty jsou z analýzy dat od zákazníka, a proto budou tyto hodnoty použity po následné srovnání mezi jednotlivými metodami (označeny žlutě v tabulce 10).

4.3 Vyhodnocení analýzy metodou predikce spolehlivost z jednotlivých komponentů

Pro určení hodnot intenzity poruch pro jednotlivé komponenty byly zvoleny tři možné zdroje:

- MIL-HDBK-217-F Notice 2 (1995)
- Bellcore TR332 (1997)
- Telcordia SR332 issue 3 (2011)

Jako čtvrtý zdroj bude dále použit standard IEC 62380:2004, podle kterého bude vypočítán vliv desky plošných spojů na celkový systém.

Pro získání reálnějších hodnot predikce bylo provedeno ve všech typech zkoumaných elektroměrů měření teploty pouzder součástek při provozním zatížení. Elektroměry byly připojeny na napětí, nastaven protékající proud na hodnotu 10A a umístěny v laboratoři s okolní teplotou 25°C. Jelikož protékající proud způsoboval ohřev vnitřního prostředí elektroměru, byla vždy provedena teplotní stabilizace cca 30 minut. Jednotlivé teploty součástek byly měřeny několika termočládky. Naměřené teploty pouzder byly použity pro výpočty jednotlivých intenzit poruch komponentů. U některých dalších komponentů (např. kondenzátorů) bylo měřeno také napětí pomocí digitálního multimertu. Další potřebné parametry k jednotlivým komponentům byly buď určeny z jejich specifikace nebo odečtením ze schématu (dle zapojení a funkce například proudy nebo ztrátové výkony).

Samotné provedení výpočtů intenzit poruch jednotlivých komponentů již bylo provedeno pomocí zkušební verze softwaru λ -predict 3, kam byly jednotlivé komponenty zadávány a pro všechny tři zdroje (přístupy k výpočtu) vyhodnoceny. Výsledné hodnoty intenzit poruch pro jednotlivé komponenty byly následně přepsány do vyhodnocení v MS Excelu a jejich součtem byla získána hodnota celkové intenzity poruch komponentů. Některé komponenty nebylo možné zadat, například baterie ve zdroji MIL-HDBK-217-F nebyly uvedeny a proto do celkového součtu nebyly zahrnuty. Tento excelovský soubor je uložen na přiloženém CD k této diplomové práci (Metoda_B.xlsx).

K takto získanému výsledku byl přičten spočtený vliv desky plošného spoje (dále jen DPS). Získaná hodnota již byla hledaná celková intenzita poruch systému (zkoumaného elektroměru).

Nejprve tedy provedeme stanovení hodnot vlivu DPS a připravíme si vzorce pro následné dosazení vypočtených hodnot intenzit poruch jednotlivých komponentů.

4.3.1 Příprava vzorců s vlivem DPS

Uvádíme zde provedení vyhodnocení vlivu DPS pro jednotlivé typy zkoumaných elektroměrů.

ZE 112 1T

Parametry DPS:

$$N_t = 157; S = 72 \text{ cm}^2; N_p = 211; N_f = 70; N_s = 351$$

$$\lambda_d = 39 \times 0,5 \times 10^{-9} = 19,5 \times 10^{-9} \text{ h}^{-1}$$

$$C = 2,183992; \pi_L = 2; \pi_c = 1; \pi_t = 0,908$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + \left(1 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot \sum \lambda_d$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 2,183992 \cdot 19,5 \cdot 10^{-9}$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,259 \cdot 10^{-8}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi_t \cdot \pi_c \cdot \left[N_t \cdot \sqrt{1 + \frac{N_t}{S}} + N_p \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \sqrt{S}}{3} \cdot \pi_L \right] \cdot C$$

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,908 \cdot 1 \cdot \left[157 \cdot \sqrt{1 + \frac{157}{72}} + 211 \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \sqrt{72}}{3} \cdot 2 \right] \cdot C$$

$$B = 5,354 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda = A + B = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,259 \cdot 10^{-8} + 5,354 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda = \boxed{\sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,7944 \cdot 10^{-8} \text{ h}^{-1}}$$

ZE 112 2T

Parametry DPS:

$$N_t = 165; S = 72 \text{ cm}^2; N_p = 223; N_f = 72; N_s = 373$$

$$\lambda_d = 40 \times 0,5 \times 10^{-9} = 20 \times 10^{-9} \text{ h}^{-1}$$

$$C = 2,183992; \pi_L = 2; \pi_c = 1; \pi_t = 0,908$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + \left(1 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot \sum \lambda_d$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 2,183992 \cdot 20 \cdot 10^{-9}$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,368 \cdot 10^{-8}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi_t \cdot \pi_c \cdot \left[N_t \cdot \sqrt{1 + \frac{N_t}{S}} + N_p \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \sqrt{S}}{3} \cdot \pi_L \right] \cdot C$$

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,908 \cdot 1 \cdot \left[165 \cdot \sqrt{1 + \frac{165}{72}} + 223 \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \sqrt{72}}{3} \cdot 2 \right] \cdot C$$

$$B = 5,693 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda = A + B = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,368 \cdot 10^{-8} + 5,693 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda = \boxed{\sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,9373 \cdot 10^{-8} \text{ h}^{-1}}$$

ZE 312 2T

Parametry DPS:

$$N_t = 234; S = 154,35 \text{ cm}^2; N_p = 377; N_f = 116; N_s = 637$$

$$\lambda_d = 45 \times 0,5 \times 10^{-9} = 22,5 \times 10^{-9} \text{ h}^{-1}$$

$$C = 2,183992; \pi_L = 2; \pi_c = 1; \pi_t = 0,908$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + \left(1 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\sum_{i=1}^j (\pi_n)_i \cdot (\Delta T_i)^{0,68} \right] \right) \cdot \sum \lambda_d$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 2,183992 \cdot 22,5 \cdot 10^{-9}$$

$$A = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,914 \cdot 10^{-8}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi_t \cdot \pi_c \cdot \left[N_t \cdot \sqrt{1 + \frac{N_t}{S}} + N_p \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \sqrt{S}}{3} \cdot \pi_L \right] \cdot C$$

$$B = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,908 \cdot 1 \cdot \left[234 \cdot \sqrt{1 + \frac{234}{154,35}} + 377 \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \sqrt{154,35}}{3} \cdot 2 \right] \cdot C$$

$$B = 9,268 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda = A + B = \sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 4,914 \cdot 10^{-8} + 9,268 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda = \boxed{\sum \lambda_s + \sum \lambda_f + 5,8408 \cdot 10^{-8} \text{ h}^{-1}}$$

4.3.2 Vyhodnocení dle MIL-HDBK-217-F Notice 2 (1995)

První výpočet intenzit poruch jednotlivých komponentů byl proveden dle zdroje (postupu) MIL-HDBK-217-F. Prostředí pro použití bylo zvoleno GF = ground fixed, což odpovídá instalaci na zemi bez pohybu. Kvalita součástek byla zvolena jako pro komerční využití. Ostatní parametry již byly vždy specifické pro jednotlivé komponenty. Výsledné hodnoty analýzy jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11: Výsledky z analýzy pomocí MIL-HDBK-217-F Notice 2

Parametr	ZE112 1T	ZE112 2T	ZE312 2T
Prodáno [ks]	60000	20320	140000
Vypočtená λ [dny ⁻¹]	8,0760E-04	8,2338E-04	1,7265E-03
MTTF [dny]	1239	1215	580
Výpadek [ks/rok]	17687	6107	88225
Výpadek [%/rok]	29,477%	30,053%	63,017%

Při prvním pohledu na výsledky analýzy, předně na očekávaný výpadek po jednom roce, byly výsledky trochu zarážející. Přece jen výpadky 30% u ZE112 a 60% u ZE312 po prvním roce jsou alarmující. Na druhou stranu je třeba vědět, že MIL-HDBK-217-F je všeobecně považován za metodu, pomocí které je dosahováno velmi pesimistických výsledků. Předně metoda již od roku 1995 nebyla aktualizována, takže neobsahuje nové poznatky, nezahrnuje některé nové technologie a vliv pokročilejší kvality ve výrobních procesech. Dále tato metoda je určená pro vojenský sektor, kde je všeobecně vyžadována vysoká kvalita a spolehlivost. Stále dnes platí, že za military kvalitu komponentů je třeba si připlatit a nároky na ní jsou vysoké.

4.3.3 Vyhodnocení dle Bellcore TR332 (1997)

Druhý výpočet intenzit poruch jednotlivých komponentů byl proveden dle zdroje (postupu) Bellcore TR332. Ze všeobecných parametrů zde byla zvolena kvalita součástek Level II. Tento level II odpovídá součástkám, které podléhají jisté výstupní kontrole dle normovaných postupů. Použité součástky v elektroměrech toto dle katalogových listů splňují. Ostatní parametry již byly opět vždy určeny pro jednotlivé komponenty. Výsledné hodnoty analýzy jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12: Výsledky z analýzy pomocí Bellcore TR332

Parametr	ZE112 1T	ZE112 2T	ZE312 2T
Prodáno [ks]	60000	20320	140000
Vypočtená λ [dny ⁻¹]	1,2934E-05	1,3602E-05	2,1540E-05
MTTF [dny]	77314	73521	46425
Výpadek [ks/rok]	284	101	1101
Výpadek [%/rok]	0,472%	0,496%	0,786%

Bellcore TR332 vydané společností Bell Laboratories byla reakcí na nevhodné výsledky dosahované pro vlastní komerční produkty při výpočtech pomocí MIL-HDBK-217-F. Dosažené výsledky výpadků v jednom roce pro ZE112 na úrovni 0,5% a pro ZE312 na úrovni 0,8% jsou již mnohem přijatelnější.

4.3.4 Vyhodnocení dle Telcordia SR332 issue3

Třetí výpočet intenzit poruch jednotlivých komponentů byl proveden dle zdroje (postupu) Telcordiae SR332. Ze všeobecných parametrů zde byla opět zvolena kvalita součástek Level II a hermetická pouzdra. Ostatní parametry byly zadávány podobně jako v předchozích analýzách pro jednotlivé komponenty samostatně. Výsledné hodnoty analýzy jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13: Výsledky z analýzy pomocí Telcordia SR332

Parametr	ZE112 1T	ZE112 2T	ZE312 2T
Prodáno [ks]	60000	20320	140000
Vypočtená λ [dny ⁻¹]	4,5260E-06	4,6900E-06	9,8597E-06
MTTF [dny]	220944	213222	101424
Výpadek [ks/rok]	100	35	504
Výpadek [%/rok]	0,165%	0,171%	0,360%

Telcordia SR332 navazuje na předchozí Bellcore TR332. Je aktuálnější, co se týče poznatků a technologií, které jsou tímto postupem brány v potaz. Dokonce se dále pokračuje v jeho vývoji a aktualizacích. Dosažené výsledky výpadků v jednom roce jsou pro ZE112 na úrovni 0,2% a pro ZE312 na úrovni 0,4%.

Výsledky dosažené pomocí Telcordia SR322 jsou z těchto třech metod nejlepší. Tyto výsledky budou použity pro srovnání mezi metodami.

4.4 Srovnání výsledků dosažených oběma metodami

V této části je uvedeno porovnání dosažených výsledků metodou analýzy dat z pole a predikcí spolehlivosti z jednotlivých komponentů. Pro snadnější tabulkové vyhodnocení (zobrazení) jsou metody přejmenovány:

- Metoda A – Analýza dat z pole
- Metoda B – Predikce spolehlivosti z jednotlivých komponentů

Výsledky pro snadnější srovnání jsou v tabulce 14.

Tabulka 14: Srovnání výsledků dosažených metodou A a metodou B

Parametr	ZE112 1T		ZE112 2T		ZE312 2T	
	Metoda A	Metoda B	Metoda A	Metoda B	Metoda A	Metoda B
Instalováno [ks]	59940	60000	20299	20320	139960	140000
Odhad λ [dny ⁻¹]	1,500E-06	4,526E-06	1,200E-06	4,690E-06	1,800E-06	9,860E-06
MTTF [dny]	666667	220944	833334	213222	555556	101424
Výpadek [ks/rok]	33	100	9	35	92	504
Výpadek [%/rok]	0,055%	0,165%	0,044%	0,171%	0,066%	0,360%

Srovnání dosažených výsledků odpovídá očekávání. Výsledky dosažené metodou B jsou vlastně hodnocením návrhu systému (elektroměru) a dat použitých komponentů. Výsledky dosažené metodou B mohou být považovány za cílové hodnoty, pro které je daný výrobek konstruován. Tyto výsledky mohou být také prezentovány jako cílové hodnotu intenzity poruch pro II oblast vanové křivky, tedy oblast životnosti elektroměru.

Naopak hodnoty získané metodou A reprezentují reálné chování elektroměrů v síti. Samozřejmě vyhodnocení probíhalo na stále vcelku krátkém časovém úseku cca 2-3 roky, ale i tak vyhodnocení touto metodou již přináší zajímavé výsledky.

Hodnoty získané metodou A jsou v tomto případě nižší, než hodnoty získané metodou B. Lze tedy říci, že výrobek splňuje očekávaných cílů vycházejících z návrhu.

ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo určit metodu, kterou by společnost ZPA dále využívala pro dokazování spolehlivosti vyráběných elektroměrů. Po prostudování a zpracování problematiky elektroměrů a obecné spolehlivosti byly zvoleny tři možné způsoby, jak je možné spolehlivost elektroměrů vyhodnotit. Jedná se o následující tři metody, které jsou dále zhodnoceny:

- Metoda sběru dat z pole
 - o Metoda přináší opravdu reálná data, která odrážejí chování elektroměrů v provozu.
 - o Výsledky jsou k dispozici až s odstupem času, i proto je třeba, aby elektroměry byly již nějakou dobu v provozu.
 - o Pro výrobce zdroje dat pro tuto metodu často končí s koncem záruční doby, dále již zákazníci neuplatňují reklamace a garanční opravy
 - o Výrobce má možnost touto metodou porovnávat získané výsledky pouze u vlastního výrobního portfolia.
 - o Zákazník může tuto metody používat sám i po skončení záruční doby, pouze ztrácí potvrzení vady od výrobce.
 - o Zákazník má možnost pomocí této metody porovnávat výsledky dosažené pro různé dodavatele.

- Metoda predikce spolehlivosti z jednotlivých komponentů
 - o Jedná se o matematickou predikci, výsledky se mohou od reality lišit
 - o Metoda ověřuje návrh (schéma, BOM a DPS) je tedy vhodná pro vývojové fáze jako ověření splnění požadavků na výrobu elektroměrů.
 - o Provozní podmínky elektroměru mohou být odhadnuty (fáze vývoje) nebo změřeny (prototypy nebo výroba)
 - o Je zde velmi důležitá volba metody pro výpočet

- Metoda zrychlených spolehlivostních zkoušek
 - o Nutné vlastnit zkušební zařízení
 - o Časově a ekonomicky náročná metoda
 - o Vhodné pro rozběhlou a velkosériovou výrobu
 - o Zkoumané vzorky z delšího časového období (přesnost výsledků zkoušky)
 - o Složitý matematický aparát
 - o Stále se jedná o predikci, výsledky mohou být vzdálené od reality.

Z toho hodnocení byla jako metoda vhodná pro společnost ZPA zvolen způsob vyhodnocování na základě predikce spolehlivosti z jednotlivých komponentů. Tuto metodu bude možné podpořit některým z komerčních softwarů, který práci s vyhodnocením velmi usnadní.

Lze předpokládat, že pro zpětné ověření výsledků získaných metodou predikce spolehlivosti z jednotlivých komponentů bude po čase využívána metoda sběru dat z pole. U metody zrychlených zkoušek, jež je finančně nejnáročnější, se prozatím další

použití nepředpokládá.

Výsledky této práce byly prezentovány 23.5.2013 na akci Seminář energetiků pořádaném společností ZPA pro zákazníky a spolupracující firmy. Po konzultacích se společností ČEZ, byl z jejich strany projevěn zájem o poskytnutí informací ohledně metod analýzy dat z pole a vyhodnocovacího nástroje v MS Excel.

LITERATURA

- [1] POLSTEROVÁ, H., *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: FEKT VUT, 2003.
- [2] BEJČEK, L., ČEJKA, M., REZ, J., GESCHEIDTOVÁ, E., STEINBAUER, M., *Měření v elektrotechnice*. Měření v elektrotechnice. VUT- FEKT, 2002.
- [3] ELEKTRIKA.CZ, *Indukční měřicí přístroje* [online]. Dostupné na www: <http://elektrika.cz/data/clanky/indukcni-merici-pristroje>
- [4] EPSMA, *Guidelines to Understanding Reliability Prediction*, [online]. c2005, Edition 24 June 2005. Dostupné na www: http://www.epsma.org/pdf/MTBF%20Report_24%20June%202005.pdf.
- [5] RELIABILITY HOTWIRE [online]. Dostupné na www: <http://weibull.com/hotwire/index.htm>
- [6] HUSÁK, M., *12 Spolehlivost systému – prezentace*; [online]. Dostupné na www: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34EZS/prednasky/12%20Spolehlivost%20systemu.pdf>
- [7] IEC 62059-11 Electricity Metering Equipment - Dependability - Part 11: General Concept.
- [8] IEC 62059-21 Electricity Metering Equipment - Dependability - Part 21: Collection of Meter Dependability Data from the Field.
- [9] IEC 62059-31-1 Electricity Metering Equipment - Dependability - Part 31-1: Accelerated Reliability Testing – Evaluated Temperature and Humidity.
- [10] IEC 62059-32-1 Electricity Metering Equipment - Dependability - Part 32-1: Durability – Testing of the Stability of Metrological Characteristic by Applying Evaluated Temperature.
- [11] IEC 62059-41 Electricity Metering Equipment - Dependability - Part 41: Reliability Prediction
- [12] ČSN EN 61709 Elektrické součástky - Bezporuchovost - Referenční podmínky pro intenzity poruch a modely namáhání pro přepočty
- [13] MIL-HDBK-217F, Notice 2, 28 February 1995 [online]. Dostupné na www: <http://snebulos.mit.edu/projects/reference/MIL-STD/MIL-HDBK-217F-Notice2.pdf>
- [14] IEC TR 62380 Reliability data handbook – Universal model for reliability prediction of electronics component, PCBs and equipment.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

<i>MID</i>	Measuring Instrument Device directive 2004/22/EC (Směrnice EU)
<i>ČMI</i>	Český metrologický institut
<i>ZPA</i>	ZPA Smart Energy a.s.
<i>ČEZ</i>	Společnosti skupiny ČEZ (ČEZ Logistika s.r.o.; ČEZ Měření, s.r.o.; ČEZ Distribuce s.r.o. apod.)
<i>ot./kWh; imp./kWh</i>	Jednotka konstanty elektroměru otáček / impulzů za kWh
<i>E₁ a E₂</i>	Elektromagnety z obrázku 5
<i>Φ₁ a Φ₂</i>	Amplitudy magnetického toku elektromagnetů z obrázku 5
<i>F₁ a F₂</i>	Síla vznikající na indukčním měřicím systému
<i>i_{v1} a i_{v2}</i>	Vířivé proudy v hliníkovém kotoučku z obrázku 5
<i>M_p; m_{p1} a m_{p2}</i>	Celkový a dílčí pohybové momenty z obrázku 5
<i>k'</i>	konstanta zahrnující vliv konstrukčního uspořádání ústrojí a odpor kotouče
<i>ω</i>	úhlová rychlost
<i>Ψ</i>	fázový posun
<i>k_p</i>	pohybová konstanta pohybového ústrojí
<i>E</i>	výkon
<i>CT</i>	Current transformer (proudový transformátor)
<i>RTC</i>	real time clock (vnitřní čas)
<i>LCD</i>	Liquid Crystal Display (displej s tekutými krystaly)
<i>IR</i>	Infra red (infra červené)
<i>RS485</i>	Standard sériové komunikace
<i>PLC</i>	PowerLine communication (přenos zpráv po elektrické síti)
<i>GPRS</i>	General Packed Radio Service (přenos zpráv po GSM síti)
<i>M-BUS</i>	Meter BUS (průmyslový komunikační protokol)
<i>LAN</i>	Local Area Network (lokální počítačová síť)
<i>F(t)</i>	Distribuční funkce pravděpodobnosti
<i>f(t)</i>	Hustota pravděpodobnosti
<i>Q(t)</i>	Pravděpodobnost poruchy (poruchového stavu)
<i>R(t)</i>	Pravděpodobnost bezporuchového provozu (stavu)

N_p	Počet výrobků s poruchou
N_b	Počet výrobků bez poruchy
N_0	Počet výrobků ve zkoumaném vzorku
$\lambda(t); \lambda$	Intenzita poruch v čase t; celková intenzita poruch
$T_{tot}(t)$	Celkový provozní čas v čase t
$t_{pr}; t_{pri}$	Čas v provozu jednoho výrobku
FIT	Failure in Time
$1FIT = \frac{1 \text{ failure}}{1 \cdot 10^9 \text{ hours}} = \frac{1 \text{ vada}}{1 \cdot 10^9 \text{ hodin}}$	
$T_s; MTTF$	Střední doba do poruchy; Mean Time to Failure (neobnovitelné)
$T_s; MTBF$	Střední doba mezi poruchami; Mean Time between Failure (obnovitelné)
t_p	Kumulativní doba provozu
t_{pi}	Doba provozu jednoho výrobku
t_o	Kumulativní doba opravy
$K_p(t)$	Součinitel pohotovosti
$K_n(t)$	Součinitel prostoje
T_o	Střední doba oprav
μ	Frekvence oprav
$K_a(t)$	Stacionární součinitel prostoje
K_{tv}	Součinitel technického využití
t_u	Kumulativní doba plánované údržby
IS	Informační systém
t_{prmax}	Maximální doba v provozu výrobku ze zkoumaného vzorku
$N(t)$	Počet elektroměrů v provozu v čase t
λ_i	Intenzita poruch jednotlivých komponent systému
n	Počet komponent systému
$\lambda_{ref}; \lambda_b$	Intenzita poruch za referenčních podmínek; základní intenzita poruch (MIL-HDBK-217-F)
$\pi_U; \pi_I; \pi_T$	Ovlivňující faktory napětí, proudu a teploty
$\pi_P; \pi_S; \pi_Q; \pi_E$	Ovlivňující faktory výkonu, stresu, kvality a prostředí
A	Intenzita poruch komponentů a spojení
B	Intenzita poruch desky plošných spojů
C	Pomocná výpočetní konstanta pro zkrácení vzorce
λ_S	Intenzita poruch SMD součástek

λ_f	Intenzita poruch vývodových součástek
λ_d	Intenzita poruch ostatních (různých) spojení
ΔT_i	Teplotní rozdíl mezi denní a noční průměrnou roční teplotou
$(\pi_n)_i$	Ovlivňující faktor
N_t	Celkový počet otvorů (otvory pro vývodové součástky a via prokovů)
S	Plocha desky plošného spoje v cm^2
π_L	Faktor dominantní šířky cest na desce plošných spojů
π_c	Faktor počtu vrstev na desce plošných spojů
π_t	Faktor vlivu teploty na desce plošných spojů
DPS	Deska plošných spojů
t_A	Teplota prostředí, kde se deska plošného spoje nachází
N_p	Celkový počet vodivých cest na desce plošného spoje
N_s	Celkový počet SMD plošek
N_f	Celkový počet vývodových plošek
SMD	Surface Mount Device (součástka pro povrchovou montáž)
VBA	Visual Basic for Application (programovací jazyk)
GF	Ground fixed (druh prostředí dle MIL-HDBK-217-F)

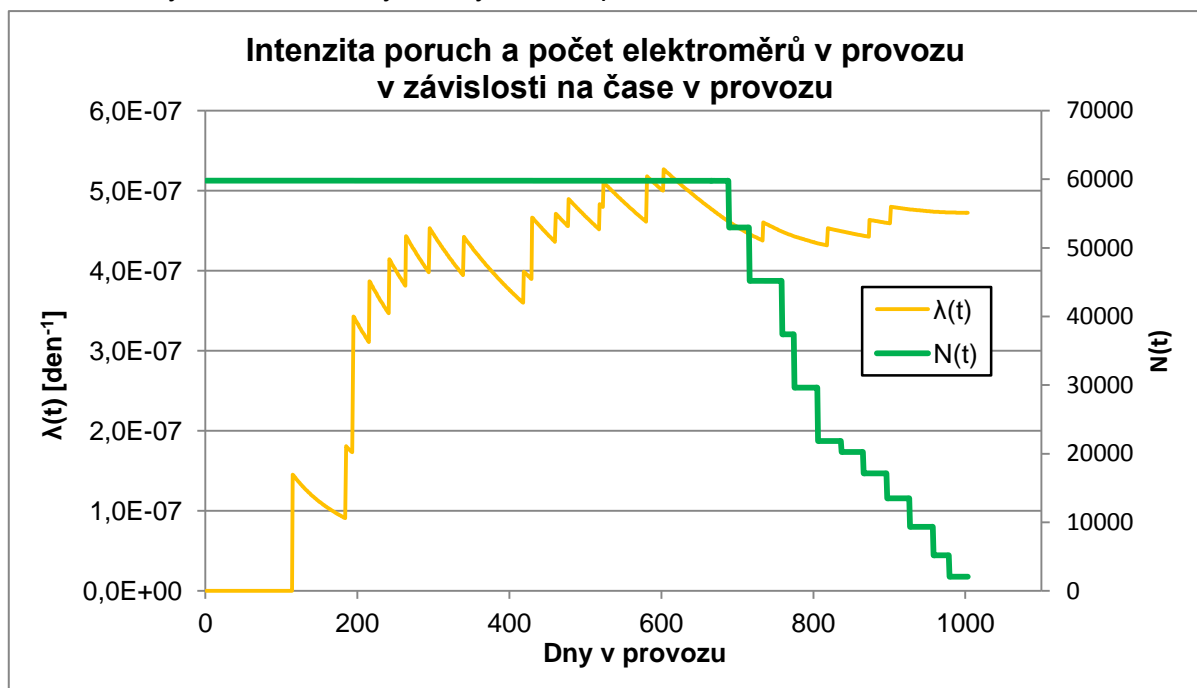
SEZNAM PŘÍLOH

A	Výstupy formou reportu z analýzy dat z pole	50
A.1	ZE112.D0.A1B011-010 – vstupní data z prodeje.....	50
A.2	ZE112.D0.B1B012-010 – vstupní data z prodeje.....	51
A.3	ZE312.D0.B1T012-010 – vstupní data z prodeje.....	52
A.4	ZE112.D0.A1B011-010 – vstupní data od zákazníka	53
A.5	ZE112.D0.B1B012-010 – vstupní data od zákazníka.....	54
A.6	ZE312.D0.B1T012-010 – vstupní data od zákazníka.....	55

Vyhodnocení spolehlivosti pomocí analýzy dat z pole

Název výrobku:	Elektroměr ZE 112 1T	
Typové značení:	ZE112.D0.A1B011-010	
Zákazník:	ČEZ Logistika s.r.o. (CZ)	
Rok výroby:	Datum pro výpočet dní v provozu (do):	
	2010 - 2011	29.3.2013
Prodáno:	Instalováno výrobků (zadáno ks):	
	60.000 ks (+ náhrady)	59817

Grafické vyhodnocení analyzovaných dat z pole:



Celková doba v provozu (dny):

Evidováno vadných výrobků celkem (uznaných reklamací) (ks):

Průměrná doba v provozu (dny):

Vadné výrobky v čase průměrné doby v provozu (ks):

Výrobků v provozu v čase průměrné doby v provozu (ks):

48691852
23
814
20
21837

Vyhodnocení spolehlivosti pomocí analýzy dat z pole

Název výrobku:

Elektroměr ZE 112 1T

Typové značení:

ZE112.D0.A1B011-010

Zákazník:

ČEZ Logostika s.r.o. (CZ)

Rok výroby:

Datum pro výpočet dní v provozu (do):

2010 - 2011

29.3.2013

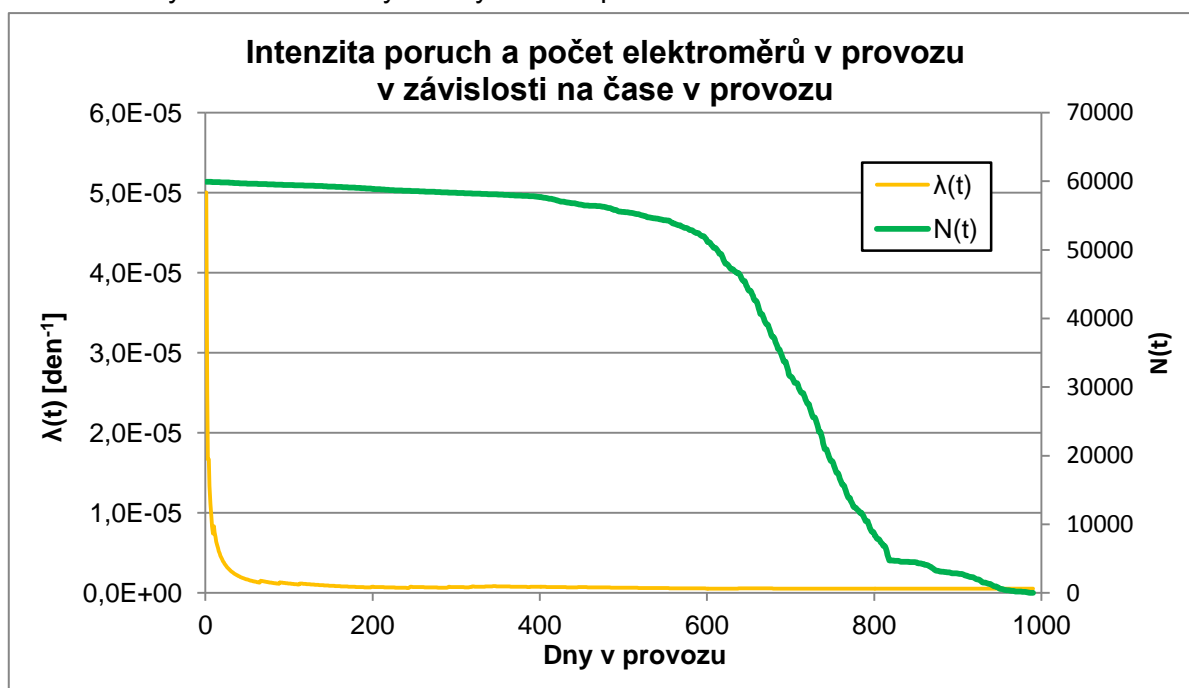
Prodáno:

Instalováno výrobků (zadáno ks):

60.000 ks (+ náhrady)

59940

Grafické vyhodnocení analyzovaných dat z pole:



Celková doba v provozu (dny):

41422427

Evidováno vadných výrobků celkem (uznaných reklamací) (ks):

22

Průměrná doba v provozu (dny):

691

Vadné výrobky v čase průměrné doby v provozu (ks):

21

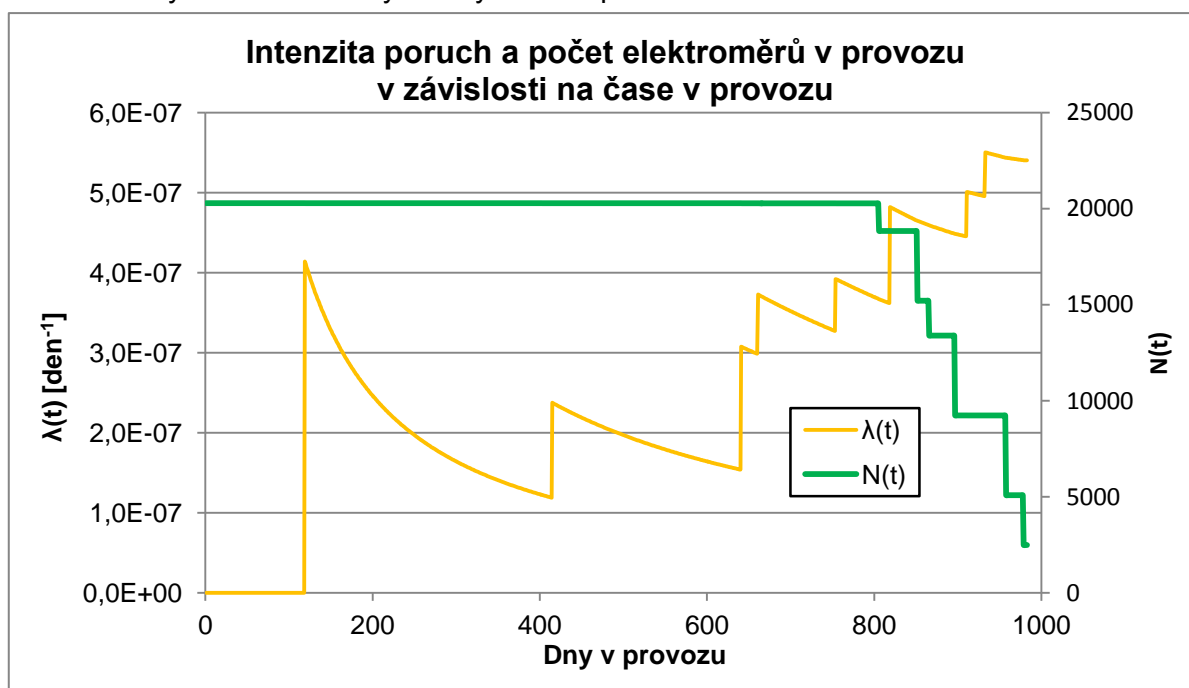
Výrobků v provozu v čase průměrné doby v provozu (ks):

34047

Vyhodnocení spolehlivosti pomocí analýzy dat z pole

Název výrobku:	Elektroměr ZE 112 2T	
Typové značení:	ZE112.D0.B1B012-010	
Zákazník:	ČEZ Logistika s.r.o. (CZ)	
Rok výroby:	2010 - 2011	Datum pro výpočet dní v provozu (do):
	2010 - 2011	29.3.2013
Prodáno:	Instalováno výrobků (zadáno ks):	
	20.320 ks (+ náhrady)	20288

Grafické vyhodnocení analyzovaných dat z pole:



Celková doba v provozu (dny):

18507247

Evidováno vadných výrobků celkem (uznaných reklamací) (ks):

10

Průměrná doba v provozu (dny):

912

Vadné výrobky v čase průměrné doby v provozu (ks):

9

Výrobků v provozu v čase průměrné doby v provozu (ks):

9230

Vyhodnocení spolehlivosti pomocí analýzy dat z pole

Název výrobku:

Elektroměr ZE 112 2T

Typové značení:

ZE112.D0.B1B012-010

Zákazník:

ČEZ Logostika s.r.o. (CZ)

Rok výroby:

Datum pro výpočet dní v provozu (do):

2010 - 2011

29.3.2013

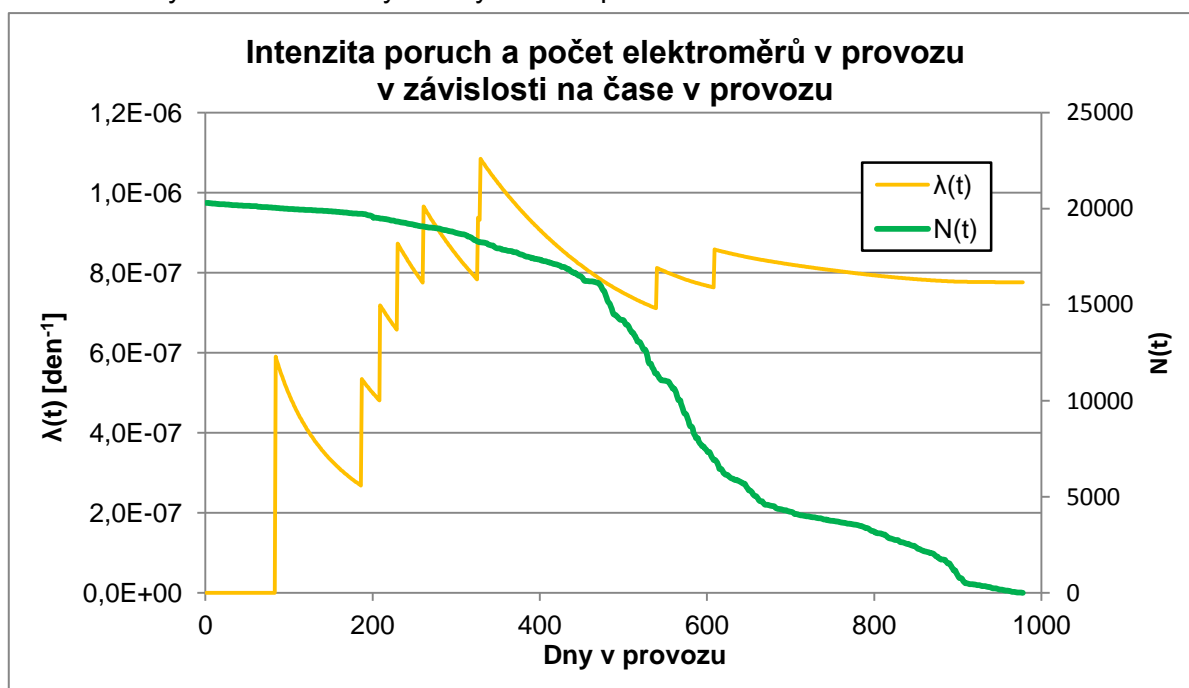
Prodáno:

Instalováno výrobků (zadáno ks):

20.320 ks (+ náhrady)

20299

Grafické vyhodnocení analyzovaných dat z pole:



Celková doba v provozu (dny):

11592816

Evidováno vadných výrobků celkem (uznaných reklamací) (ks):

9

Průměrná doba v provozu (dny):

571

Vadné výrobky v čase průměrné doby v provozu (ks):

8

Výrobků v provozu v čase průměrné doby v provozu (ks):

9569

Vyhodnocení spolehlivosti pomocí analýzy dat z pole

Název výrobku:

Elektroměr ZE 312 2T

Typové značení:

ZE312.D0.B1T012-010

Zákazník:

ČEZ Logistika s.r.o. (CZ)

Rok výroby:

Datum pro výpočet dní v provozu (do):

2010 - 2011

29.3.2013

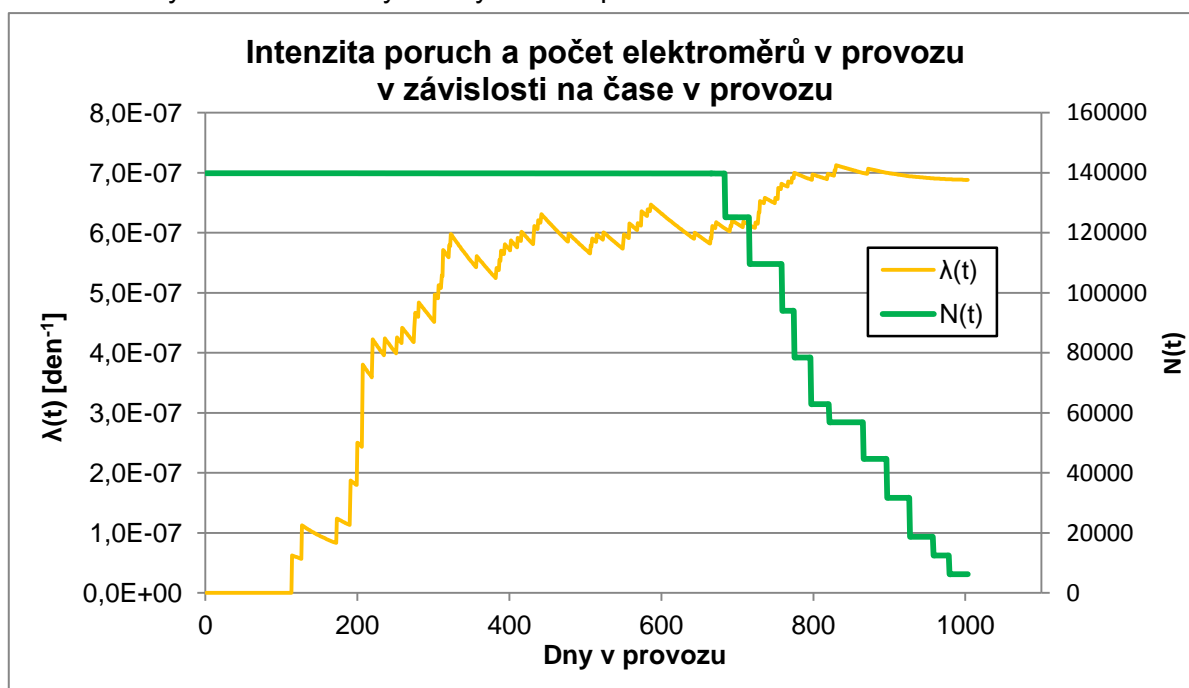
Prodáno:

Instalováno výrobků (zadáno ks):

140.000 ks (+ náhrady)

139799

Grafické vyhodnocení analyzovaných dat z pole:



Celková doba v provozu (dny):

114801761

Evidováno vadných výrobků celkem (uznaných reklamací) (ks):

79

Průměrná doba v provozu (dny):

821

Vadné výrobky v čase průměrné doby v provozu (ks):

76

Výrobků v provozu v čase průměrné doby v provozu (ks):

56755

Vyhodnocení spolehlivosti pomocí analýzy dat z pole

Název výrobku:

Elektroměr ZE 312 2T

Typové značení:

ZE312.D0.B1T012-010

Zákazník:

ČEZ Logostika s.r.o. (CZ)

Rok výroby:

Datum pro výpočet dní v provozu (do):

2010 - 2011

29.3.2013

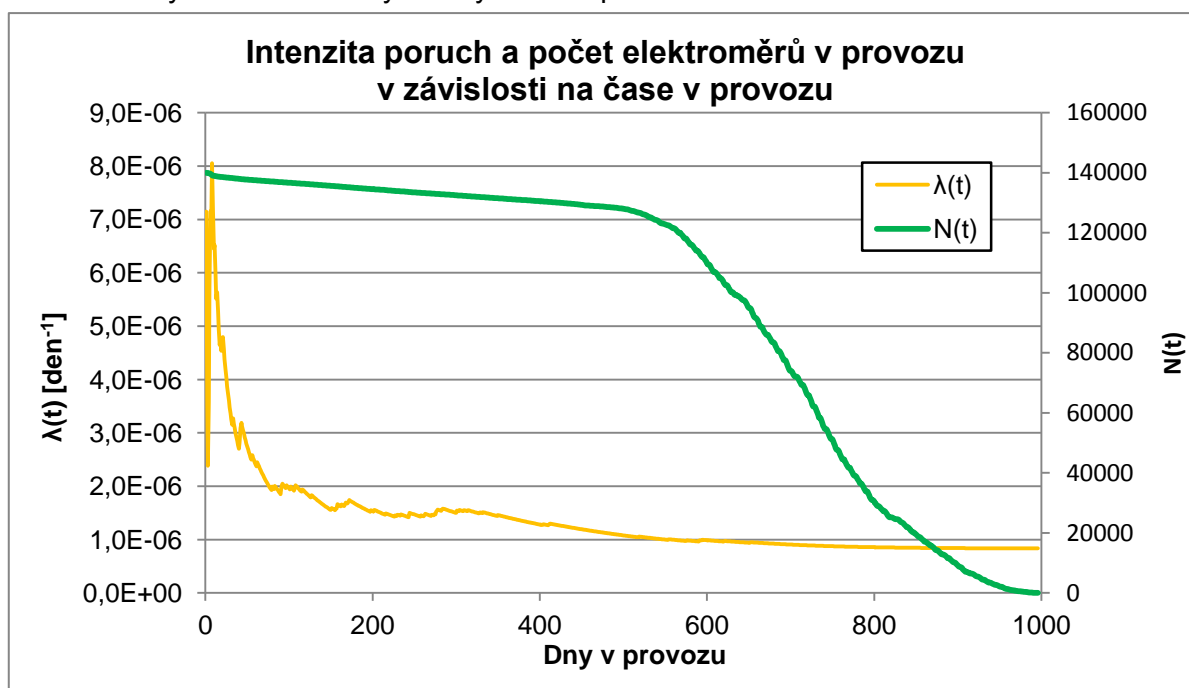
Prodáno:

Instalováno výrobků (zadáno ks):

140.000 ks (+ náhrady)

139960

Grafické vyhodnocení analyzovaných dat z pole:



Celková doba v provozu (dny):

95640800

Evidováno vadných výrobků celkem (uznaných reklamací) (ks):

80

Průměrná doba v provozu (dny):

683

Vadné výrobky v čase průměrné doby v provozu (ks):

80

Výrobků v provozu v čase průměrné doby v provozu (ks):

81650