



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Analýza hodnocení stavu vybraného rozvodného zařízení
v distribuční soustavě**

**Analysis of condition evaluation of selected devices in the
distribution system**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Martin Hejhal

Bc. František Šmaus

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šmaus** Jméno: **František** Osobní číslo: **420296**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza hodnocení stavu vybraného rozvodného zařízení v distribuční soustavě

Název diplomové práce anglicky:

Analysis of condition evaluation of selected devices in the distribution system.

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popis současného statistického přístupu v PREDi, sledované parametry
- 2) Sběr dat u PREDi pro vybraná zařízení
- 3) Analýza rozložení stavů zařízení
- 4) Závěry a doporučení

Seznam doporučené literatury:

Asset Management for Infrastructure Systems: Energy and Water. Balzer, Gerd, Schorn, Christian. 2015. ISBN 978-3-319-17879-0.
Analysis of Time-to-Failure Data with Weibull Model in Product Life Cycle Management. Lian-Yin ZhaiWen-Feng LuYing LiuXiang LiGeorge Vachtsevanos. 2013. ISBN 978-981-4451-48-2.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Hejhal, PREDistribuce, a.s.

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **01.03.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Martin Hejhal
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne

.....

Bc. František Šmaus

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Hejhalovi za cenné rady a výbornou spolupráci. Také bych chtěl poděkovat rodičům, kteří mě podporují v mém studiu. V neposlední řadě pak děkuji své přítelkyni, sestře a kamarádům za podporu.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá analýzou hodnocení stavu vybraných zařízení v distribučních transformátorových stanicích. V teoretické části je věnována pozornost především termínu asset management, strategiím správy aktiv a Weibullovému pravděpodobnostnímu rozdělení. V praktické části se práce zabývá analýzou současného statistického přístupu spolu s řetězcem stárnutí. Dále se analyzuje současný stav v závislosti na sesbíraných datech, ze kterých vstanou doporučení, na která by měl v budoucnosti brát potaz při dlouhodobém hodnocení majetku.

Klíčová slova

Asset management, správa majetku, distribuční soustava, transformátor, rozváděč, Weibullovo rozdělení,

Annotation

This diploma thesis deals with the analysis of condition evaluation of selected devices in distribution system. The theoretical part focuses on asset management, strategies of it and Weibull probability distribution. In the practical part, the thesis deals with the analysis of the current statistical approach along with the chain of aging. Thesis also analyzes the current state depending on the collected data, which will give recommendations that should be taken into consideration in the long-term evaluation of the assets in the future.

Key words

Asset management, distribution systems, transformers, switchgear, Weibull distribution

Obsah

Úvod	8
1 Teoretická část	10
1.1 Provozovatel distribuční soustavy	10
1.2 Asset management	10
1.3 Úkoly Asset Managementu	12
1.4 Strategie údržby	13
1.4.1 Používané strategie	15
1.5 Systémy strategického plánování aktiv (ASP)	17
1.6 Funkce kontroly	18
1.6.1 Ekonomické kontrolní funkce	18
1.6.2 Statistické funkce	19
1.6.3 Weibullovo rozdělení	19
1.7 Technologie	22
1.7.1 Klasická technologie VN	22
1.7.2 Zapouzdřená technologie VN	22
2 Popis současného statistického přístupu v PREdi	24
2.1 Řetězec stárnutí	24
2.2 Statistické metody	27
2.2.1 Weibullovo rozdělení	27
2.2.2 Logistické rozdělení	28
3 Sběr dat u PREdi pro vybraná zařízení	29
3.1 Kontrola	29
3.2 Technický dotazník	29
3.2.1 Způsob vyplnění dotazníků	30

3.2.2	Problémy při vyplňování	33
4	Analýza rozložení stavů zařízení	35
4.1	Analýza současného Weibullova rozdělení	35
4.2	Analýza dílčích částí.....	37
4.2.1	Kontrola transformátorů.....	37
4.2.2	Kontrola části VN – klasická technologie	39
4.2.3	Kontrola části VN – zapouzdřená technologie	41
4.2.4	Kontrola stavební části.....	43
4.3	Citlivostní analýza.....	45
4.3.1	Klasické technologie VN	45
4.3.2	Zapouzdřené technologie VN.....	46
5	Závěry a doporučení.....	48
5.1	Kontrola transformátorů.....	48
5.2	Klasické technologie VN	50
5.3	Zapouzdřená technologie VN.....	51
5.4	Stavební část	52
5.5	Návrh dotazníku	52
5.6	Ekonomická analýza	53
	Závěr.....	56
	Citovaná literatura	57
	Seznam obrázků	58
	Seznam tabulek.....	58
	Seznam grafů.....	59
	Přílohy	60

Úvod

V dnešní ekonomicky náročné době musí společnosti neustále hledat způsoby, které by minimalizovaly jejich provozní náklady tak, aby byly i nadále konkurenceschopné. Toto je především výzva pro ty společnosti ve vyspělých státech, které působí v energetickém odvětví, jelikož je jejich hlavním úkolem obnova již stávajících infrastruktur. Mezitím se tento úkol v energetice zhoršuje měnícími se charakteristikami přenosové a distribuční sítě. Původní topologie sítě byla navržena k přenosu energie z centrálních zdrojů pro koncového uživatele. Toto však v dnešní době přestává platit a distributor musí také počítat s decentralizovanými zdroji.

Asset management neboli správa majetku je možností, kde může společnost mnoho získat. Jeho základní úlohou je optimalizovat finanční a provozní úkoly systému infrastruktury a přesně určit jejich rozvoj. Zodpovědné vedení podniku by se rozhodně asset managementem mělo zabývat za účelem snížení provozních nákladů a rizik na nečekané výdaje.

Tato práce se tedy zabývá analýzou hodnocení vybraných rozvodných zařízení v distribuční soustavě společnosti PREdistribuce, a.s., a to z hlediska asset managementu vybraných zařízení. Cílem práce je provést analýzu současného stavu vybraného zařízení a na základě této analýzy navrhnout taková doporučení, která budou mít pozitivní ekonomický dopad pro PREdistribuce, a.s.

Teoretická část je věnována asset managementu, především je zde zmíněn rozhodovací proces, jednotlivé úkoly, systémy pro strategické plánování a strategie, které se pro správu aktiv využívají. Dále se zabývá pro asset management velmi oblíbeným Weibullovým pravděpodobnostním rozdělením, pro stanovení spolehlivosti, které je v dnešní době takřka nezbytným nástrojem. Poté práce popisuje současně využívaný statistický přístup společnosti, spolu s řetězcem stárnutí, který je nedílnou součástí určení životních cyklů zařízení spolu s opatřeními pro údržbu či obnovu. Je zde definovaná míra poruchovosti a její vliv na výsledné pravděpodobnostní rozdělení stavů zařízení. To vše je následováno popisem sběru dat pro ohodnocování všech zařízení nacházejících se v distribučních transformátorových stanicích společnosti PREdistribuce, a.s. Data pro praktickou část byla získána prostřednictvím elektronických formulářů, poskytnutých pro diplomovou práci útvarem plánování. Jsou sesbírána za

roky 2016 a 2017 a obsahují 740 ohodnocených distribučních transformátorových stanic z celkového počtu 4 513. Formuláře jsou používány četami techniků pro záznam údajů jednotlivých ukazatelů zařízení. Práce formuláře popisuje a vysvětluje za pomoci příkladů a potíží, které vyvstávají při jejich vyplňování.

Všechny získané poznatky jsou v další kapitole popsány, zanalyzovány a vyhodnoceny. Pomocí parametrů pro různé doby životnosti jsou zde znázorněny průběhy jednotlivých stavů založených jak na statistických údajích, tak na naměřené skutečnosti. Ke konci této praktické části je provedena citlivostní analýza na velikost vah pro vybrané typy technologií. V závěru práce na základě všech zhodnocených parametrů navrhuje opatření k očekávanému zlepšení správy majetku společnosti. Tyto návrhy mohou mít značná úsporná opatření, které budou reálně využitelné ke zlepšení asset managementu vybrané společnosti.

1 Teoretická část

1.1 Provozovatel distribuční soustavy

Hlavním úkolem provozovatele distribuční soustavy je zajištění spolehlivého provozu, obnovy a rozvoje distribuční soustavy na území jeho působnosti. Dále umožňuje distribuci elektřiny, řídí toky elektrické energie, při respektování přenosů mezi ostatními účastníky v soustavě a spolupracuje s ostatními provozovateli. (1)

Z hlediska asset managementu provozovatel distribuční soustavy musí řešit řadu klíčových podmínek, jak v důsledku právních požadavků, tak v rámci široké škály technických a sociálních podmínek, které mají silný vliv na infrastrukturu. Jedná se o:

- Zachování, resp. Zvyšování kvality a spolehlivosti dodávek
- Integraci decentralizované výroby
- Dodržování regulačních požadavků
- Zajištění nákladově efektivní distribuce energie
- Optimalizaci výnosů a příjmů
- Kontrolu investic k obnově zařízení na konci doby životnosti
- Integraci IT technologií pro řízení a monitorování sítí
- Cílené plánování rozvoje
- Integrace elektromobility

Hlavní problém spočívá v tom, že se jednotlivé podmínky vzájemně překrývají a musí se vybrat takové řešení, které sloučí výše uvedené cíle. Tyto tendence jsou například zvýšení konkurenceschopnosti, zvýšená potřeba investic v následujících letech, integrace OZE, zvýšení požadavků na skladování energie a regulace zatížení v reakci na cenu elektrické energie. (2)

1.2 Asset management

Termín asset management neboli správa aktiv, popisuje všechny činnosti celého procesu spojené s údržbou a obnovou stávajících zařízení. V posledních letech se tento termín začal využívat také v oblasti inženýrských sítí a jejich zařízení. Základním úkolem asset managementu je optimalizovat správu pomocí jasně definovaných postupů a přesně určit jejich rozvoj. (2) (3)

Dobrá infrastruktura je jednou ze základních požadavků na ekonomický růst, jelikož usnadňuje investice v různých odvětvích a tím zvyšuje prosperitu obyvatelstva, což má za následek vyšší životní úroveň. Termín infrastruktura se může využít pro oblasti jako jsou například: energetické sítě, voda, silnice, železnice a telekomunikace. Konstrukce těchto sítí je dlouhodobě vysoce kapitálově náročná, takže špatná rozhodnutí na začátku investice budou mít v budoucím vývoji negativní dopad a bude třeba značné úsilí k nápravě. (2) (3)

Rozvoj, správa a optimalizace technických zařízení jsou prováděny rozhodovacím procesem, který zahrnuje tři hlavní účastníky, vlastníka, správce a poskytovatele.

Vlastník (asset owner) má funkci ekonomického majitele, který nastavuje základní požadavky na kvalitu, přijatelná rizika, spolehlivost, celkovou hodnotu využitého období a financování. Na základě těchto požadavků definuje základní strategie. Vlastník je také kontakt daného subjektu pro regulace a zabývá se regulačním řízením. Řídí správce majetku a schvaluje celkový rozpočet na různých úrovních. (2) (4)

Správce majetku (asset manager) definuje jednotlivé technické strategie založené na požadavcích specifikovaných majitelem. Je zodpovědný za splnění pokynů vlastníka do pracovního plánu a splnit stanovené cíle. Zařizuje nezbytná opatření a zajišťuje jejich realizaci na základě technických norem, které jsou rovněž v rámci jeho pravomocí. Správce majetku musí nastavit vhodná opatření, která kontrolují využití investovaných finančních prostředků a spolehlivost dodávek. (2) (4)

Třetím účastníkem je poskytovatel servisu, který provádí veškeré údržby jménem správce majetku. Existují dva typy poskytovatelů. Poskytovatelé podpory, poskytující obecný servis jako je financování, zadávání veřejných zakázek atd. a pracovníci se zařízením, kteří jsou zodpovědní za technické procesy, např. provádění staveb a návrhů. (2) (4)

V Obrázek 1 je znázorněn rozhodovací proces s jednotlivými účastníky.



Obrázek 1: Pyramida procesu správy aktiv (4)

1.3 Úkoly Asset Managementu

Úkoly asset managementu musí být definovány tak, aby splňovaly cíle uvedené v předchozí kapitole.

Postup určení strategie

Jednotlivé úlohy asset managementu lze rozdělit na několik dílčích úkolů, které definují vhodné pracovní kroky. Je důležité zachovat stanovený postup, jelikož se řídí postupným rozhodovacím procesem dle Obrázek 1. Jednotlivé kroky, které by se měli při určování správné strategie dodržovat jsou uvedeny níže. (2)

Prvním krokem je určení globální strategie pro všechny části majetku. Pomocí dlouhodobé analýzy se vypočítají celkové investiční i provozní náklady, to vše s přihlédnutím k různým strategiím údržby na jedné straně a k dalším podmínkám na straně druhé. Pomocí dlouhodobé analýzy se také řeší problémy jako např. ekonomický rozvoj. Vzhledem k tomu, že konkrétní vývoj nelze předvídat, je vhodné využít definovaný postup. Výsledkem jsou predikované potřeby majetku a daný rozpočet na vývoj, údržbu a obnovu. (2)

Druhým krokem je zavedení globální strategie na konkrétní skupině majetku. Zavedení konkrétní strategie vychází z výsledků z prvního kroku a vyvstanou z ní majetky, které musí podstoupit údržbu nebo obnovu. Určení majetku, který musí podstoupit údržbu či obnovu, je založeno na jeho stavu a významu pro systém. (2)

Třetím krokem je výběr vhodného způsobu údržby. Po výběru jednotky určené k údržbě je třeba přihlídnout k tomu, že výměna nebo revize může způsobit výpadek jednotky a tím způsobit nedodávku ke spotřebitelům. (2)

V posledním kroku se optimalizuje údržba zařízení. Na rozdíl od předchozích kroků, které se zabývaly zařízeními v celém systému, se v tomto kroku zabýváme pouze a výhradně konkrétním zařízením. Optimální údržbu lze stanovit na základě analýzy selhání ze statistických údajů a tím předejít následkům poruchy. (2)

1.4 Strategie údržby

Strategie údržby zařízení má za úkol zajistit dostupnost a výkon síťových komponentů po celou dobu životnosti. Volba jednotlivých strategií pro jednotlivá zařízení závisí na různých podmínkách, které je třeba zvážit v každém řešení. Tyto podmínky jsou například: chování při výpadku zařízení, důsledky výpadku, porovnání nákladů na údržbu, doba oprav, dostupnost náhradních dílů, použité technologie atd. (2)

V podstatě každé zařízení má určitou dobu využitelnosti, která může být ovlivněna vhodnou údržbou. Je třeba zdůraznit, že se musí rozlišovat mezi dostupností zařízení a dostupností síťového uzlu na který jsou připojeni spotřebitelé. Zatímco údržba přímo ovlivní stav zařízení a tím i jeho poruchovost, využitelnost síťových uzlů bude ovlivněna dalšími kritérii (topologií sítě, typem zařízení, skladováním náhradních dílů...). Údržba je tedy pouze jedním ze způsobů, jak zlepšit dostupnost sítě. S jakou mírou toho lze dosáhnout záleží vždy na konkrétních podmínkách jednotlivých sítí. (2)

V zásadě může být celá údržba zařízení rozdělena do různých částí. Jedná se o inspekci, údržbu, generální opravy a vylepšení.

Inspekce

Inspekce je činnost, která se používá výlučně k rozpoznání a vyhodnocení současného stavu zařízení, včetně příčin opotřebení. V důsledku inspekce jsou odvozeny nezbytné

činnosti, které umožní další využívání zařízení. Samotná kontrola může být provedena různými způsoby v závislosti na konkrétním zařízení:

- Místní kontrola: nejjednodušší možnost inspekce. Zjišťuje aktuální stav zařízení při hrubé vizuální prohlídce s ohledem na celkový stav.
- Vizuální kontrola: oproti místní kontrole, je stav konkrétního zařízení hodnocen lidskými smysly. Sledované parametry popisující daný stav zařízení jsou zaznamenány tak, aby bylo možné zjistit zjevné vady jako např. znečištění, stopy opotřebení apod.
- Kontrola funkčnosti: zajišťuje, že jsou splněny požadované funkce jako např. ochrana proti spuštění při zkratu.
- Určení podmínek: cílem určení podmínek je umožnit hlubší posouzení současného stavu zařízení. Stanovení stavu by mělo být provedeno měřením a tyto naměřené skutečné hodnoty jsou dále porovnány s předchozím měřením. Parametry měření závisí mimo jiné na druhu zařízení, provozních podmínkách a provozních zkušenostech.
- Hodnocení stavu: posouzení celkového stavu zařízení některými z výše uvedených způsobů pro určení optimální strategie údržby.

Údržba

Jsou to aktivity pro zachování požadovaného stavu zařízení, které by měly odložit technické opotřebení. Během údržby je zařízení obvykle alespoň částečně rozebráno, a pokud je třeba, opotřeбенé části jsou vyměněny a zajistí se funkčnost (např. zajištěním pohyblivých součástí, utažením šroubů apod.). Pro stanovení doby další údržby může sloužit průběžná inspekce zařízení, poslední provedená údržba, popřípadě provozní problémy.

Generální oprava

Na rozdíl od údržby je generální opravou aktivita, která zařízení uvede do takřka původního stavu. Definovaná a specifikovaná funkčnost zařízení je znovu dosažena potom, co se vymění část nebo dokonce celé zařízení.

Vylepšení

Vylepšení je kombinace všech technických a administrativních opatření stejně, jakož i opatření ke zvýšení spolehlivosti bez toho, aniž by se změnila funkčnost zařízení. Vhodné

vylepšení může být v zásadě, pokud provozní zkušenosti a inspekce naznačují systematické problémy. Vylepšení není údržba ani oprava a obvykle se provádí právě při těchto činnostech.

1.4.1 Používané strategie

Aby byla zajištěna funkčnost zařízení a tím dodávka, je třeba zvolit optimální rovnováhu mezi rizikem poruchy a četností přerušení dodávek kvůli údržbě. V praxi se uplatňují různé strategie údržby v závislosti na zařízení a konkrétních podmínkách.

1.4.1.1 Nápravná údržba (CM)

Výměna nebo oprava se provádí výhradně po poruše, která způsobila výpadek zařízení, což způsobilo přerušení dodávky k odběratelům. Tato strategie vede k nejnižším nákladům na údržbu, pokud jsou investiční náklady na zařízení nízké a současně jsou následky výpadku zanedbatelné, jelikož náklady vystávají až po způsobené chybě. Avšak náhradní díly by měly být k dispozici v co nejkratší době, aby se tím co nejvíce zkrátila doba výpadku a následky selhání byly co nejmenší. Tato strategie se využívá především v sítích s nižším napětím, proto se přerušení dodávky může v tomto případě prakticky zanedbat. Dalším důvodem pro použití této strategie, je využití velkého počtu jednotlivých komponentů. Žádná další strategie tedy nebude vyhovovat, z důvodu nárůstu investic a ekonomickému dopadu.

Při této strategii se nevyžaduje, aby se zařízení systematicky kontrolovala, jelikož by to bylo ekonomicky neefektivní. Důvodem pro omezené znalosti o zařízení a v některých případech je to způsobeno jejich částečnou nedostupností. Zařízení se využívá až do konce své životnosti. Tato strategie se tedy využívá pro výše zmíněné příčiny a když je poruchovost zařízení standardně na nízké úrovni a nedochází k zásadnímu stárnutí. Proto je riziko vysokých nepředvídatelných výdajů na údržbu nízké. (2) (5)

1.4.1.2 Časová údržba (TBM)

Při této strategii se kontroly a opravy provádějí po pevně stanoveném časovém intervalu a samotná výměna zařízení se provádí po předem stanoveném období v závislosti na očekávané technické životnosti. Časové období lze získat ze zkušeností provozovatele anebo na doporučení výrobce. Výsledný časový cyklus by měl být odůvodněný známým chováním při stárnutí zařízení, ale také statistickými údaji. Rozsah údržby je předem

definovaný. Tato strategie se využívá proto, aby se vyhnulo vynuceným výpadkům, proto se uplatňuje především na cenná zařízení a cenný majetek s dobrou dostupností. V podstatě to potom, ale vede v nejvyšším nákladům na údržbu a zpravidla se zařízení nevyužívají až do konce své životnosti.

Aplikovat tuto strategii v praxi však vyžaduje korelaci mezi stářím nebo kumulovaným zatížením zařízení a mírou poruch. Tedy na základě statistického testu lze určit nahrazení zařízení těsně před výpadkem a snížit tak náklady. Strategie TBM má v praxi významnou výhodu a to takovou, že se mohou odpojit celé rozvodny a díky naplánování nedojte k výpadku dodávky spotřebitelům. Je možné tedy využívat celou síť stanic k opravě jedné. (2) (5)

1.4.1.3 Údržba na základě podmínek (CBM)

Strategie CBM se uplatní v případě, že ve strategii TBM není k dispozici relevantní vztah mezi stářím a mírou poruch zařízení. V tomto případě dochází k údržbě či výměně zařízení na základě technického stavu. Potřeba opravy vychází z toho, že je pomocí monitorovacích nebo diagnostických postupů zjištěn stav, který může být porovnáván se stavem z historie. To však vede k dalším investicím do diagnostických a měřících zařízení, a také ke školení zaměstnanců. Náklady do měřících systému se provádějí v době investice do zařízení, i když se první roky nepočítá s plánovanými opravami. Důsledkem tedy je, že ekonomický přínos těchto přístrojů závisí na úrokové sazbě.

Nevýhodou této strategie je, že se ze všemi zařízeními musí zacházet stejně, bez ohledu na jejich umístění nebo důležitost pro spolehlivost systému. Naproti tomu je užitečné tuto strategii využít, pokud jsou zařízení již vybavena vhodnými přístroji na monitorování stavů nebo pokud je posouzení stavu zařízení možné při samotné inspekci. V zásadě se využívá, pokud stárnutí a opotřebení zařízení je jednoduše zjištělné, riziko výpadku je potom velmi nízké. (2) (5)

1.4.1.4 Spolehlivostní údržba (RCM)

Platí, že v případě strategie zaměřené na spolehlivost, význam zařízení pro opravu je vybrán bez ohledu na jeho technický stav. Na technický stav se nahlíží nepřímou přes míru rizika, například při výpočtu pravděpodobnosti výpadku dodávky energie. Avšak pod označením strategie RCM se obecně rozumí strategie, která bere v potaz jak důležitost

zařízení, tak i jeho stav, jelikož pouze kombinace těchto dvou ukazatelů vede k optimálnímu rozdělení finančních zdrojů. (2) (5)

1.4.1.5 Údržba na základě rizika

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o strategii založenou na rizicích a zároveň je to rozšíření strategie založené na spolehlivosti. V případě, že dojde k výpadku zařízení nebo přerušení dodávky je odhadnuté riziko rovno součinu pravděpodobnosti selhání a následků selhání. Pro tuto strategii je možné vzít v úvahu také náklady na údržbu a tím se zabrání výpadku zařízení. Je však nesmírně důležité vzít v potaz přijaté rizikové faktory, které jsou pro posouzení uplatnění nesmírně důležité. (2) (5)

1.5 Systémy strategického plánování aktiv (ASP)

Podpora softwarového systému s automatizovanými analýzami a vyhodnocovacími funkcemi k systémovým databázím je nutná pro realizaci správného asset managementu, jelikož se velmi rychle může dosáhnout technických limitů, tedy náročnosti času na zpracování pro vysoký počet zařízení. Čím více je vstupních údajů pro simulaci, tím se samotná simulace upřesňuje. Výsledky jsou využitelné díky statistickému přístupu k určení obnovy přímo jednotlivých zařízení nebo systémů ve stanoveném čase. Bez této simulace by plánování obnovy vždy záviselo na subjektivním hodnocení provozního personálu a historických investičních cyklech. Díky analýze strategického plánování lze dosáhnout konstantní pracovní zátěže v delším časovém období se stejnou nebo lepší kvalitou. (2) (6)

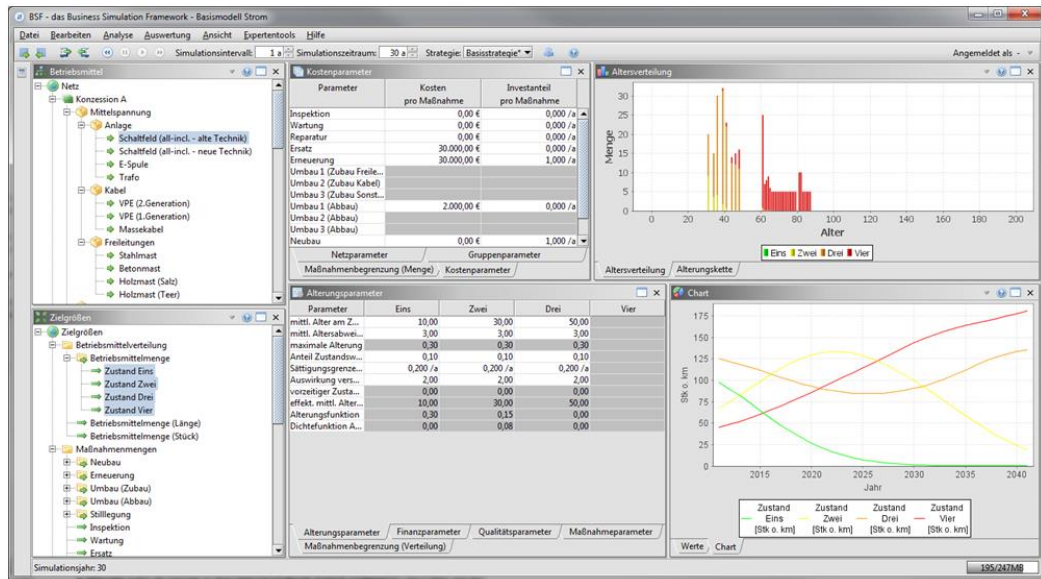


Abb.: Exemplarische Darstellung des Hauptfensters

Obrázek 2: Uživatelské prostředí softwaru pro ASP Entellgenio (7)

Společnost PREdistribuce a.s. (dále jen PREdi) využívá pro ASP software Entellgenio, jehož znázornění uživatelského prostředí je zobrazeno na Obrázek 2. Tento software byl použit pro výpočet budoucího vývoje obnov jednotlivých zkoumaných kategorií. Do softwaru se zadají počáteční údaje tak, aby mohla proběhnout simulace stárnutí zařízení. Po proběhnutí simulace systém vyexportuje tabulku a grafické zpracování s výsledky simulace. Tyto výsledky budou dále použity v ekonomické analýze, pro zjištění úspor díky navrhovaným opatřením. (7)

1.6 Funkce kontroly

Asset management znamená rozvíjet strategie založené na znalostech, které jsou obecně formulovány a definovány podle platných norem a pravidel. Kromě toho se musí tyto strategie implementovat jako součást procesu při uvádění zařízení do provozu a do jejich funkcí. Asset management proto vyžaduje vhodné ovládací funkce k zavedení strategií a měření a případně jsou zaváděny korekce pro zlepšení. Dosažení cílů, které si společnost určí, může být dosaženo pouze pomocí těchto funkcí. Níže jsou uvedeny jednotlivé funkce pro kontrolu, z nichž se budeme více zabývat statistickými funkcemi. (2)

1.6.1 Ekonomické kontrolní funkce

Každá společnost má svůj podnikatelský záměr, který se měří z výnosů a taková společnost může fungovat pouze, pokud dosahuje adekvátních finančních výsledků.

V případě společnosti zabývající se distribucí elektrické energie, má kontrola a sledování ekonomických proměnných zásadní význam. Celkový objem financí, který je pro správu majetku k dispozici je předem naplánován a odsouhlasen. Pro přípravu, organizaci a samotné naplánování se v závislosti na filosofii společnosti, struktuře nebo IT systému využívají různé charakteristiky. (2)

1.6.2 Statistické funkce

Znalost poruchovosti zkoumaného zařízení je důležitá pro zavedení dostatečných opatření pro údržbu a určení spolehlivosti. Úkolem je odvodit budoucí vývoj charakteristiky zařízení z množství statistických dat. Základem matematické statistiky je pravděpodobnostní teorie. V našem případě však k určení času údržby využíváme Weibullovo rozdělení, které je popsáno níže. (2)

1.6.3 Weibullovo rozdělení

Pro určení předpovědi selhání zařízení je nejjednodušší použít statistické modely spolehlivosti na základě minulých dat. Spolehlivost neboli pravděpodobnost znamená, že zařízení bude dál plnit svoji funkci bez poruchy po určitou dobu za stanovených podmínek. Běžně se používá exponenciální distribuce k určení spolehlivosti zařízení, což však znamená, že budoucí předpověď selhání je nezávislá na historii zařízení. Proto existuje Weibullovo rozdělení, které předpokládá stejnou míru chyb selhání jako exponenciální rozdělení, ale zároveň nabízí schopnost přizpůsobit větší škálu dat a populačních charakteristik změnou jeho parametrů. Dalším prvkem, který lze pro toto rozdělení poznamenat, je schopnost poskytnout poměrně přesné analýzy s extrémně malými vzorky dat (i menší počet vzorků než 20). Tato vlastnost je velmi cenná, jelikož data velkých a drahých zařízení jsou často nekompletní. Kvůli těmto vlastnostem, které Weibullovo rozdělení poskytuje se jedná o nejvyužívanější rozdělení pro statistickou analýzu dat. (8)

Obecný vztah pro Weibullovo rozdělení je definován takto:

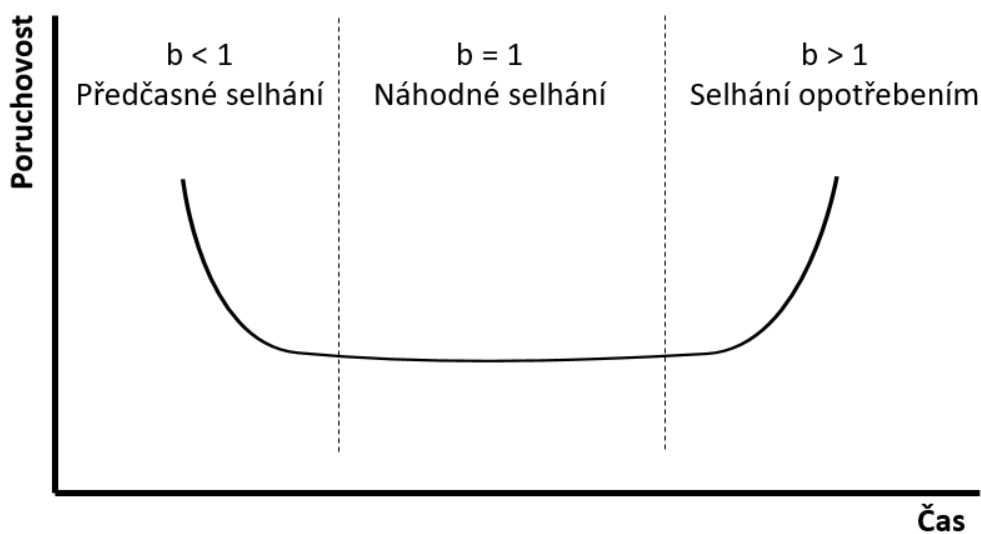
$$f(t) = \frac{b}{T} \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b} \quad [1]$$

Kde: t ... čas, $t \in t \geq 0$

b ... parametr pro tvar nebo sklon, $b \in b > 0$

T ... parametr měřítka rozdělení, $T \in T > 0$

Rovnice [1] je označována jako dvou parametrická rovnice Weibullova rozdělení. Parametr „ b “ je z uvedených parametrů nejdůležitější, jelikož nejlépe popisuje data. Koeficient b také označuje možné režimy poruch, což jde vidět v Obrázek 3 a udává, zda se míra poruchovosti zvyšuje, je konstantní, nebo klesá. Pokud $b < 1$ znamená to, že zařízení má klesající míru poruchovosti. Tato část je typická např. pro kojeneckou úmrtnost a naznačuje selhání v rané fázi životnosti. Pokud $b = 1$ znamená to, že poruchovost je konstantní, to jsou většinou zařízení, která přežila rannou fázi životnosti. A pokud je $b > 1$, znamená to, že se míra poruchovosti zvyšuje. To je typické pro zařízení, která se opotřebují svým provozem. (8)



Obrázek 3: Režimy poruch („bathtub curve“) (9)

Informace o parametru „ b “ jsou mimořádně užitečné pro plánování údržby zaměřené na spolehlivost a správu životnosti výrobku. Je to proto, že může poskytnout vodítko pro dobu selhání a informovat analytika o tom, zda je či není potřeba naplánovat opravy či údržbu. Například, jestliže „ b “ je menší nebo rovné jedné, opravy nejsou nákladově efektivní. Při „ b “ větším, než jedna je plánovaný interval kontroly viditelný přímo z grafu na základě určené pravděpodobnosti selhání. Pokud jsou tedy náklady na neplánované

selhání výrazně větší než náklady na plánovanou výměnu, bude existovat optimální interval výměny s minimálními náklady. (8)

Na druhé straně parametr měřítka „T,“ někdy nazývaný také jako charakteristická životnost, představuje typický časový úkon ve Weibullově analýze, kde je definován jako doba, kdy 63,2 % zařízení selhalo.

V zásadě existují dvě vhodné metody pro odhady parametrů v analýze spolehlivosti. Jedná se o metodu maximálního odhadu pravděpodobnosti a regresní metodu. Metoda maximálního odhadu pravděpodobnosti zahrnuje vývoj pravděpodobnostní funkce založené na dostupných datech a nalezení hodnot odhadů parametrů, které maximalizují pravděpodobnost funkce. Regresní metoda obecně pracuje nejlépe s daty s menším počtem vzorků, které zároveň obsahují jen úplná data. Dále se ve Weibullově analýze používá metoda „Median Rank Regression“ (MRR), která používá medián pro vhodnou regresi, tak aby se zjistily parametry tvaru a měřítka pro celková data o životnosti. (8)

Weibulova distribuce nebo také kumulativní distribuční funkce je pravděpodobnost selhání v čase t, je odvozena z rovnice (1) a je definována takto:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b} \quad [2]$$

Spolehlivost v čase je t dostaneme z rovnice [2], jako $1 - F(t) = R(t)$.

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b} \quad [3]$$

Weibulovo rozdělení patří k nejpoužívanějším statistickým metodám v oblasti plánování životních cyklů a analýzy spolehlivosti, protože má schopnost se přizpůsobit různým typům dat díky manipulaci s jednotlivými parametry. Weibulovo rozdělení je schopné reagovat na řadu technických problémů životního cyklu, jako je například průměrný odhad životnosti, spolehlivost produktů v provozním čase nebo odhad nákladů na obnovu atd. Výhody jsou: usnadnění rozhodovacích procesů, jako je odhad potřebných náhradních dílů nebo prostředků pro obnovu či opravu pro každý stav zařízení apod.

1.7 Technologie

Pro potřeby práce byla vybrána zařízení distribučních stanic 22/0,4kV. Níže jsou popsány rozdíly mezi klasickými a zapouzdřenými technologiemi VN. Popis technologií je uveden proto, aby se vysvětlily důvody rozdělení při analýze zapouzdřených a klasických systémů.

1.7.1 Klasická technologie VN

Klasické rozvodny VN využívají k izolaci fází vůči zemi a mezi fázemi převážně vzduch o atmosférickém tlaku. Používají se tam, kde není problém s prostorem, povětrnostními podmínkami ani s vlivem extrémního počasí. Výhody této technologie jsou:

- Krátká doba výstavby (vhodné pro rychlé instalace)
- Nízké stavební náklady a náklady na rozváděče
- Snadná údržba, protože je snadné si všimnout chyby/poruchy a věnovat se jí

Nevýhody v porovnání se zapouzdřenou technologií VN:

- Potřeba většího prostoru, což zejména v Praze vede k vyšším nákladům
- Více požadavků na údržbu, což vede k vyšším provozním nákladům
- Možné způsobení závad způsobených vnějšími prvky (znečištění, špatné počasí, poškození lidmi atd.)
- Horší dielektrické vlastnosti vzduchu

1.7.2 Zapouzdřená technologie VN

Jsou to zařízení pod napětím, která jsou uzavřena v uzemněném kovovém pouzdře, které je naplněno izolačním plynem SF₆ (hexafluorid síry), který je netoxický, udržuje atomové a molekulární vlastnosti i při vysokém napětí, má dobré chladicí schopnosti a vynikající schopnost zhášení oblouku. Kromě toho má SF₆ výborné dielektrické vlastnosti oproti jiným plynům. Zapouzdřená rozvodná zařízení mají stejné komponenty jako klasické technologie, s tím rozdílem, že jsou izolovány izolačním plynem a mají rozdílnou velikost. Dalším důležitým prvkem zapouzdřených technologií je systém na sledování tlaku plynu, kterým lze sledovat případný únik plynu. Hlavními výhodami oproti klasickým technologiím jsou:

- Nízké požadavky na údržbu, díky ochraně proti vnějším vlivům

- Zábor menšího prostoru, díky snížení vzdálenosti mezi aktivními a neaktivními částmi rozváděčů
- Bezpečné pracovní prostředí pro obsluhu, díky uzemněnému pouzdru
- Rychlá montáž (vysoká míra kompletace přímo při výrobě)
- Při plánované životnosti netřeba doplnění plynu

Naproti tomu hlavní nevýhody:

- Vysoké investiční náklady
- Kvalifikovaný personál na potřebnou údržbu
- Nákladné poruchy uvnitř systému (dlouhá odstávka, nákladné náhradní díly apod.)
- Rozbití inertního plynu na škodlivé látky

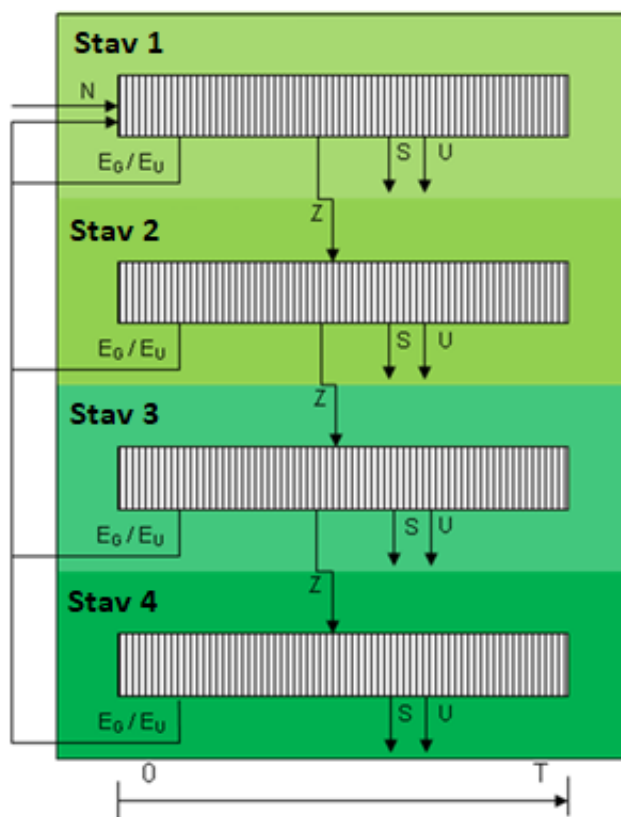
Správný výběr zapouzdřené či klasické technologie VN závisí na technologických a ekonomických podmínkách. Pro účely práce se tyto technologie rozlišují kvůli jejich rozdílným vlastnostem a kvůli tomu, že zapouzdřené technologie jsou v celkovém vzorku výrazně mladší než technologie klasické, ale také proto, že jsou techniky rozdílně hodnocené. (10)

2 Popis současného statistického přístupu v PREDi

2.1 Řetězec stárnutí

Různé stárnutí různých typů zařízení je mapováno v rámci simulace prostřednictvím stárnoucích řetězců. Řetězec stárnutí definuje počet stavů, kterým prochází zařízení během svého životního cyklu. Dále definuje opatření, která mohou být provedena na zařízeních v příslušném stavu. Vzhledem ke změně stavu ke stáří zařízení nebo akci je simulováno dynamické chování zařízení. (11)

Přechody mezi stavy popisuje generický řetězec stárnutí, který se skládá ze čtyř stavů. Každý stav je reprezentován pásmem, kde střed prochází jednotlivými roky. Stav se změní na základě hodnocení techniků nebo na základě Weibullova rozdělení.



Obrázek 4: Generický řetězec stárnutí (11)

Tok zdrojů/změna stavu

Z – Změna stavu (prostřednictvím funkce)

Opatření (změna stavu)

N – Nové zařízení

S – Odstavení / demontáž

EG – Plánovaná obnova

EU – Neplánovaná obnova

U – Přestavba

Opatření (proměnné náklady)

W – Údržba

I – Prohlídka

R – Oprava

V Obrázek 4 je znázorněn generický řetězec stárnutí o čtyřech stavech, kde stavy jedna až tři představují technickou životnost a stav čtyři představuje stav mimo rámec technického životního cyklu. Šipky představují opatření nebo změnu stavu, s nimiž mohou zařízení změnit stav ve stárnocím řetězci. Níže je popsáno, co konkrétně jednotlivé stavy znamenají:

- Stav 1: Nové zařízení (v bezvadném stavu), které nevyžaduje opravu ani obnovu
- Stav 2: Zařízení ve vyhovujícím stavu, které vykazuje jisté opotřebení a vyžaduje občasnou opravu
- Stav 3: Zařízení je zastaralé a vyžaduje opravu nebo obnovu, provoz je možný již jen po omezenou dobu
- Stav 4: Zařízení je v poruše (nepřípustný stav)

V každém stavu, zařízení pokračuje dál ve své funkci, dokud se nedostane do dalšího stavu, nebo dokud nepodstoupí obnovu či je vyřazeno z provozu. Pro změnu stavu zařízení nebo pro opatření proti nestandardním situacím, slouží definované typy opatření, které jsou dány pro jednotlivé stavy a které slouží pro vymezení situace a jasně definují možnosti a kroky v dané situaci. Takto je definováno osm opatření v generickém řetězci, která jsou popsána níže a v Tabulka 1:

- **Nová výstavba** – Rozšíření nových typů zařízení
- **Obnova** – Plánovaná akce, při které je zařízení nahrazeno stejným typem
- **Přestavba** – Plánovaná akce, při které je zařízení nahrazeno jiným typem
- **Odstavení** – Opatření na vyřazení zařízení z provozu

- **Inspekce** – Opatření k určení a ohodnocení současného stavu jednotky, včetně stanovení příčin opotřebení a určení postupů pro předcházení negativních vlivů.
- **Údržba** – Opatření k odložení či odstranění existujícího opotřebení
- **Neplánovaná obnova** – Neplánovaná akce, při které je zařízení nahrazeno stejným typem.
- **Neplánovaná oprava** – Opatření zaměřená na události pro návrat do funkčního stavu

Opatření	Dopad na stárnoucí řetězec	Znázornění
Nová výstavba	Vstup do vlastního řetězce stárnutí	Nové zařízení (N)
Obnova	Zpětný tok ve vlastním řetězci stárnutí	Náhrada zařízení za nové (EG)
Přestavba	Odtok z vlastního řetězce stárnutí a přítok do cílového řetězce	Koeficient 1 Koeficient 2 Koeficient 3
Odstavení	Odtok z vlastního řetězce stárnutí	Vynětí z řetězce (S)
Inspekce	Nemá přímý dopad	Není
Údržba	Změna rychlosti změny stavu	Není
Neplánovaná obnova	Zpětný tok ve vlastním řetězci stárnutí	Výměna (EU)
Neplánovaná oprava	Žádný tok	Oprava (z důvodu poškození)

Tabulka 1: Popis jednotlivých opatření a jejich vliv na řetězec stárnutí (11)

Pro popsání obecného postupu vytváření řetězců stárnutí, je třeba popsat vstupní a výstupní parametry, které jsou popsány dále.

Vstupní údaje se dělí na údaje o stavu zásob a na údaje o strategii. Údaje o stavu zásob neboli inventář jsou aktuální (pro rok nula) a budoucí (pro dobu trvání eventuálně pro jednotlivé kusy) zásoby, které jsou rozdělovány podle jejich stáří a do systému se načítají na začátku simulace. Strategické údaje se týkají parametrů, pomocí kterých se v simulaci mapují opatření pro měření nejnižší ceny nebo pro stanovení nákladů. Mohou předpokládat různé hodnoty a výsledek simulace je konkrétně ovlivněn. Příkladem strategických údajů je dočasné zvýšení míry působení na určitou skupinu zdrojů pro nápravná opatření. (11)

Výstupní parametry neboli cílové hodnoty si stavuje zákazník a slouží k výpočtu simulace z různých hledisek (náklady, kvalita, požadavky regulátora, podniková bilance...)

2.2 Statistické metody

Chování zařízení při stárnutí je mapováno pomocí tzv. modelů životnosti. Základem těchto modelů jsou statistická rozdělení, která se osvědčila v oblasti technických modelů životnosti. V současnosti se v PREDi používají dva typy rozdělení: Weibullovo rozdělení a Logistické rozdělení. (11)

2.2.1 Weibullovo rozdělení

Teorie Weibullova rozdělení je popsána v kapitole 1.6.3. Ze základního vztahu (vzorec [1]) vycházejí ostatní odvození pro toto rozdělení, jako pravděpodobnost selhání v čase t (vzorec [2]) a pravděpodobnost poruchovosti (vzorec [3]). Nejdůležitějším parametrem kromě času, je parametr „ b “, kterým lze řídit chování stárnutí. Například pro hodnoty 3,2 až 3,6 koeficientu „ b “ je výsledek podobný normálnímu rozdělení. (11)

V distribučním modelu uvažujeme parametr t_0 , který znázorňuje zpoždění, při kterém na zařízení určitě nedojde ke změně stavu. Výsledkem je míra poruchovosti:

$$\lambda = \frac{b}{T - t_0} \times \left(\frac{t - t_0}{T - t_0} \right)^{b-1} \quad [4]$$

Pokud je koeficient $b = 1$, stává se Weibullovo rozdělení rozdělením exponenciálním a v tomto případě je míra poruchovosti konstantní.

2.2.2 Logistické rozdělení

Logistické rozdělení je spojité pravděpodobnostní rozdělení. Obecný vztah neboli funkce hustoty je dán vztahem:

$$f(t) = \frac{e^{-\frac{t-\alpha}{\beta}}}{\beta(1 + e^{-\frac{t-\alpha}{\beta}})^2} \quad [5]$$

Kde: t ... čas, $t \in t \geq 0$

α ... průměrné stáří zařízení

β ... střední věková odchylka

Dále můžeme odvodit funkci distribuce, kterou lze odvodit ze vztahu [5].

$$F(t) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{t-\alpha}{\beta}}} \quad [6]$$

V těchto vzorcích parametr α představuje očekávanou hodnotu věkového rozdělení neboli průměrné stáří zařízení. Parametr β lze vypočítat ze vzorce [7] pomocí standardní odchylky.

$$\beta = \frac{\sigma\sqrt{3}}{\pi} \quad [7]$$

Díky výše uvedeným vzorcům lze určit míru poruchovosti $R(t)$, která určuje míru selhání zařízení, která změní stav v generickém řetězci.

$$R(t) = \frac{1}{\beta} \times \frac{1}{1 + e^{-\frac{t-\alpha}{\beta}}} \quad [8]$$

3 Sběr dat u PREdi pro vybraná zařízení

Tato kapitola se zabývá sběrem dat u PREdi pro vybraná zařízení. Data byla získána prostřednictvím elektronických formulářů, do kterých technik zaznamenává údaje o jednotlivých částech zařízení. Dostupná data jsou za roky 2016 a 2017 a obsahují 740 ohodnocených distribučních stanic z celkového počtu 4 513 stanic, kterými PREdi disponuje.

3.1 Kontrola

Jednotlivé distribuční stanice jsou hodnoceny týmy techniků, kteří provádějí inspekci místa na základě PN ŘPÚ¹. Rozsah a interval závisí na konkrétní technologii, místních podmínkách (vlhkost, prašnost...), doporučení výrobce, popřípadě na výsledcích předchozích kontrol. Intervaly se tedy automaticky vypočítávají v systému SAP, kde je vedena veškerá evidence majetku. Cílem těchto inspekcí je rozpoznat a ohodnotit současný stav zařízení, případně určit příčinu opotřebení. Kontrola se provádí vizuálně, kdy technik na místě zařízení ohodnotí na základě viditelných vad či poškození. Dále se provádí kontrola funkčnosti zařízení, pomocí které technik zjistí provozní parametry zařízení, díky naměřeným a vyhodnoceným hodnotám. Všechny data z inspekce zapisuje technik do elektronického dotazníku, který je popsán v následující kapitole.

3.2 Technický dotazník

Jedná se o elektronický dotazník dostupný technikovi v mobilním zařízení, do kterého zapisuje stavy jednotlivých zařízení. Samotný dotazník se skládá z těchto hodnocených parametrů:

- **Kontrola rozvaděče NN, VN včetně pojistek a bleskojistek**
- **Dotazení proudových spojů**
- **Kontrola funkce odp. a odpoj. vč. seřízení a promazání**
- **Kontrola kabelových koncovek NN, VN včetně jejich doplnění**
- **Kontrola transformátorů (teplota, stav, olej, těsnost)**
- **Kontrola funkce Indikátorů zkratových proudů**

¹ Podniková norma – Řád preventivní údržby

- **Kontrola stavební část – konstrukce, okapy**
- Vyčištění všech prostorů stanice včetně kabelových kanálů
- Kontrola elektrické instalace (oprava)
- Kontrola uzemnění, u TS z VV změření přechodového. odporu zemiče
- Kontrola výstražných tabulek (výměna, doplnění)
- Odstranění běžných závad na stav. a technolog. části
- Sběr a ověření kmenových dat
- Typ měřicího přístroje
- Hodnota uzemnění - 1.měření
- Hodnota uzemnění - 2.měření
- Zařízení schopné provozu

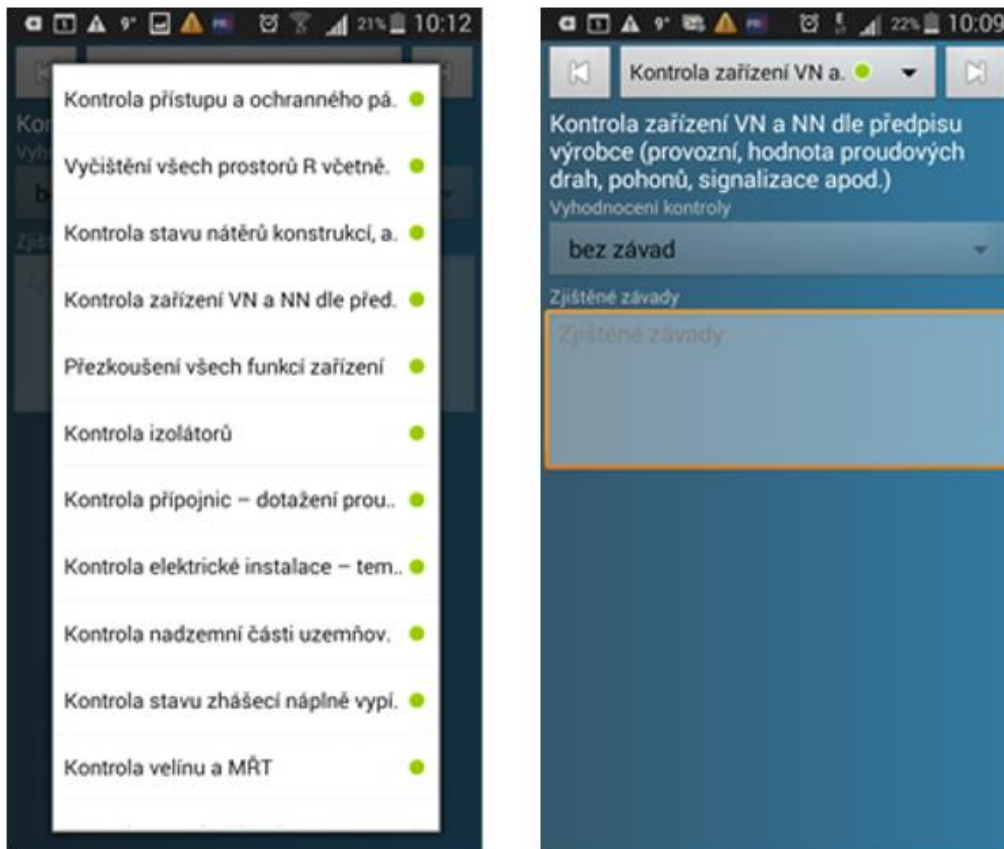
Níže jsou vysvětleny všechny části dotazníku, nicméně pro posuzování stavu distribučních transformátorových stanic se budeme zabývat výhradně prvními sedmi ukazateli.

Pro různé ukazatele existují různé možnosti vyplnění. Většina je hodnocena pomocí generického řetězce stárnutí popsaného v kapitole 2.1, část z těchto ukazatelů však má jiné možnosti vyplnění. Pro ukazatel *Typ měřicího přístroje*, technik vyplňuje typ přístroje použitého pro měření, technici pro měření využívají převážně klešťový měřicí přístroj. Pro ukazatele *Hodnota uzemnění - 1.měření* a *Hodnota uzemnění - 2.měření* se zadává číselný naměřený údaj, který technik do dotazníku zadává v ohmech. A ukazatel *Zařízení schopné provozu* má technik na výběr možnosti Ano/Ne. Pro zbylé parametry se vyplňuje stav jedna až čtyři, kdy pro stavy 3 a 4 technik musí vyplnit komentář s konkrétním problémem na zařízení (popřípadě může přiložit do formuláře fotografii), tak aby mohla proběhnout oprava či obnova. U stavu 1 komentář vyplnit nelze a u stavu 2 je možno vyplnit komentář dobrovolně. Pokud se v dotazníku objeví nula, znamená to, že dotazník byl uzavřen a uložen před řádným vyplněním, nebo nelze danou kategorii ohodnotit (zařízení, která nepatří do majetku PREDi).

3.2.1 Způsob vyplnění dotazníků

Technik při inspekci distribuční stanice otevře speciální aplikaci, kde se na základě jeho plánu práce a GPS otevře formulář pro příslušnou stanici. Dále jak je znázorněno v levé části Obrázek 5 vybere příslušnou kategorii, kterou zrovna hodnotí. Po výběru kategorie

se zobrazí přímo možnosti pro vyplnění stavu konkrétního zařízení (pravá část) a prostor pro případnou poznámku či fotografii.



Obrázek 5: Vyplňování formulářů v mobilním zařízení

Po vyplnění dotazníku v mobilním zařízení se formulář uloží a automaticky odešle do interní databáze, ve které se přímo vytvoří protokol o běžné údržbě. V tomto protokolu jsou všechny informace v takové formě, ze které se dají jednoduše vyčíst, jak přímo, tak elektronicky. Na Obrázek 6 je vyobrazen příkladový protokol fiktivní stanice 1234 v Pražské ulici z února 2016. Kde v první části jsou základní informace (číslo dTS, adresa), ve druhé skutečnosti zjištěné při kontrole (kontrola a vyhodnocení jednotlivých částí) a ve třetí jsou závěrečná ustanovení (nutnost provést údržbu, schopnost provozu).

3.2.2 Problémy při vyplňování

Níže jsou popsány základní problémy nebo chyby, které mohou nastat při hodnocení jednotlivých ukazatelů a zkreslit tak výsledná data.

1. Vyplněná nula pro stavy 1-4. Tento problém může nastat, pokud technik zavře dotazník, který se automaticky uloží, v průběhu inspekce a tím se do nevyplněných míst připiše nula. Nula je hodnota, která nedává žádné údaje a je v dotazníku považována za chybné hlášení. Tato situace může například nastat, pokud je tým techniků zavolán dispečinkem v průběhu inspekce k vážnější situaci, nebo pokud kategorie nelze ohodnotit.
2. Ohodnocení nesprávným stavem. Kvůli špatně ohodnoceným zařízením může dojít k předčasné výměně zařízení a tím ke zvýšení nákladů (v případě ohodnocení horším stavem, než ve kterém se zařízení skutečně nachází) anebo může dojít nečekané poruše v případě, že se zařízení ohodnotilo stavem lepším, než ve kterém se nacházelo.
3. Technik si usnadní práci. Tato situace může nastat, pokud se zařízení nachází mezi stavem 2 a 3. Kdy technik vyplní raději stav 2, aby nemusel vyplňovat komentář k zařízení a urychlil si tím postup.
4. Stejná stanice je ohodnocena dvakrát, ovšem s různými hodnotami. Tento stav může nastat, pokud stejnou stanici hodnotí dva technici a jejich subjektivní ohodnocení stanice se neshoduje.
5. Technik ohodnotí ukazatel stavem 3 nebo 4 i když je zařízení plně funkční a v dobrém stavu. Tuto chybu může udělat, pokud je na zařízení nějaká závada, která, ale přímo nesouvisí s jeho funkčností (např. ulomená klika, sloupnutá varovná nálepka, prach, nečistoty apod.)

Body 2–5 jsou způsobeny především subjektivitou hodnocení. Technik, který projde školením je sice seznámen s tím, jaký problém na daném zařízení odpovídá jaké známce, ale v praxi není pro techniky jednoduché určit, jakou známku by zařízení mělo správně dostat. Z tohoto důvodu je připravován projekt, který by měl vylepšit stávající dotazník, respektive celý proces sběru dat, tak aby co nejdříve odrážel reálný stav zařízení v síti. K tomuto účelu, by měl být vytvořen seznam nejčastějších závad, ve kterém technik přímo zaškrtně předem definované závady (nebude již vyplňovat známky 1-4), které na

zařízení nalezne. Na základě takto vyplněných možností systém vyhodnotí a stanoví dvě známky, jednu pro operativu (závady, které lze řešit okamžitě nebo jednoduše a levně jako např. ulomené kliky či sloupnuté varovné samolepky) a druhou známku pro asset management (závady, které ukazují na dlouhodobé opotřebení zařízení, např. koroze, opotřebení zařízení apod.).

4 Analýza rozložení stavů zařízení

V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé statistické přístupy využívané společností PREdi, včetně využívaných parametrů pro různé doby životnosti. Dále jsou zde rozebrány jednotlivé dílčí části pomocí statistického přístupu Weibullova rozdělení a skutečných hodnocení. V poslední části této kapitoly je provedena citlivostní analýza na velikost vah pro vybrané typy technologií.

4.1 Analýza současného Weibullova rozdělení

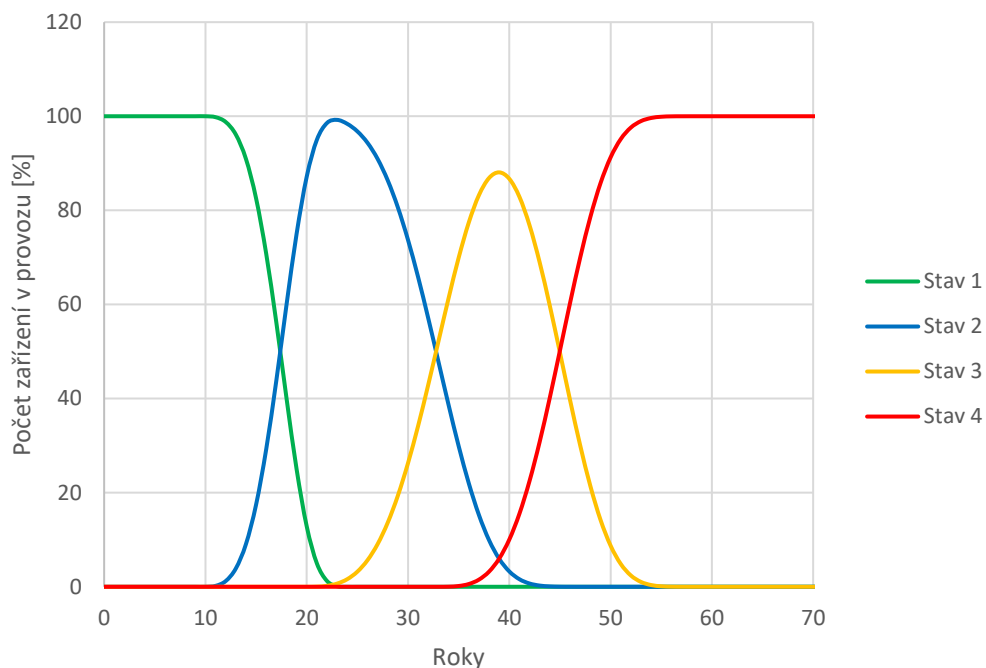
Současné hodnoty pro stanovení poruchovosti na základě Weibullova rozdělení jsou stanoveny pro 45 a 50 let životnosti. Pro životnost zařízení 45 let tyto parametry jsou následující:

	Stav 1	Stav 2	Stav 3
T	19	35	47
b	3,4	3,4	3,4
t_0	10	21	33

Tabulka 2: Parametry pro životnost 45 let

Parametry „T“ a „ t_0 “ jsou uvedeny v letech. Takto zvolené parametry vycházejí ze zkušeností z minulých let, pro zařízení s touto dobou předpokládané životnosti.

Dle vzorce [4] je vyobrazeno pravděpodobnostní rozdělení poruchovosti, respektive stálosti v Graf 1. Je zde jasně viditelné, že prvních 10 let jsou všechna zařízení ve stavu jedna a až poté se určitá část přesouvá do stavu dva a na základě zmíněného vzorce se zařízení posouvá do dalších stavů.



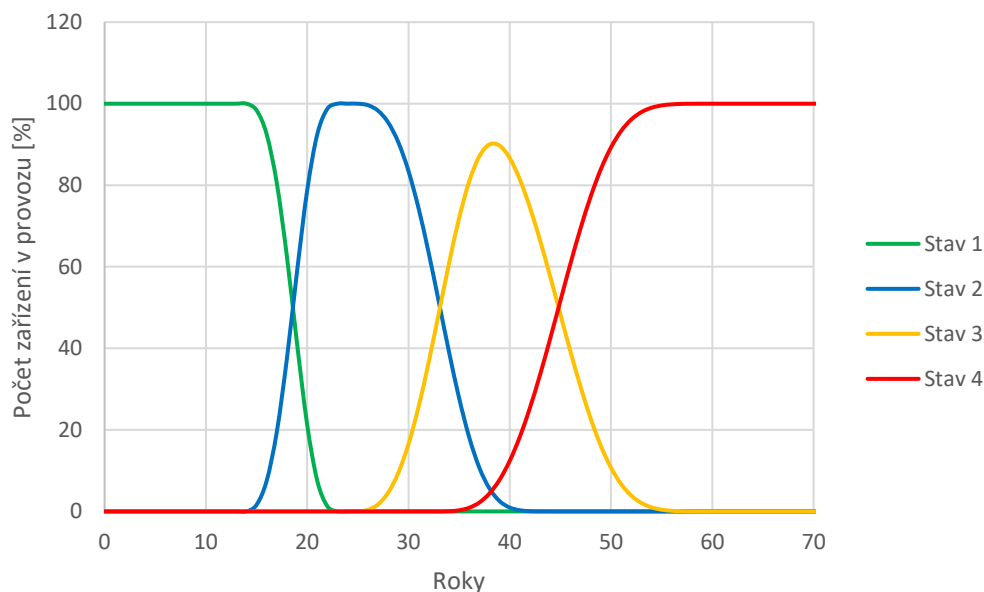
Graf 1: Weibullové rozdělení pro dobu životnosti 45 let

Dále pak PREDi počítá s životností 50 let především pro stavební části distribučních stanic. Parametry pro tuto dobu životnosti jsou:

	Stav 1	Stav 2	Stav 3
T	19	38	52
b	3,4	3,4	3,4
to	10	26	35

Tabulka 3: Parametry pro životnost 50 let

Pro tuto dobu životnosti a takto zvolené parametry vychází poruchovost, respektive stálost, tak jak je vyobrazeno v Graf 2. V tomto rozdělení jednotlivé stavy zabírají z podstaty věci delší časový úsek, např. ve stavu dvě se v letech 24 až 26 nachází 100 % majetku.



Graf 2: Weibullové rozdělení pro dobu životnosti 50 let

Na základě hodnot těchto parametrů je dále provedeno porovnání s teoretickými, tedy těmito hodnotami Weibullova rozdělení a se skutečnými hodnotami stavů odečtenými techniky.

4.2 Analýza dílčích částí

V této podkapitole jsou popsány a vyhodnoceny jednotlivé dílčí části distribučních stanic, které byly hodnoceny. Je to tedy „Kontrola transformátorů (teplota, stav, olej, těsnost),“ „Kontrola stavební část – konstrukce, okapy“ a kontrola částí VN, které se dále dělí na klasické a zapouzdřené, u kterých byly jednotlivé části přepočteny na základě stanovených vah.

4.2.1 Kontrola transformátorů

V letech 2016 a 2017 se zkontrolovalo 740 transformátorů. Z toho 405 v roce 2016 a 335 v roce 2017. Níže je popsáno, jak byly transformátory hodnoceny a zda byly ohodnoceny na základě stálosti Weibullova rozdělení správně či špatně.

- Počet transformátorů ve stavu 1: 389 (53 %)
- Počet transformátorů ve stavu 2: 269 (36 %)
- Počet transformátorů ve stavu 3: 57 (8 %)
- Počet transformátorů ohodnocen 0: 25 (3 %)

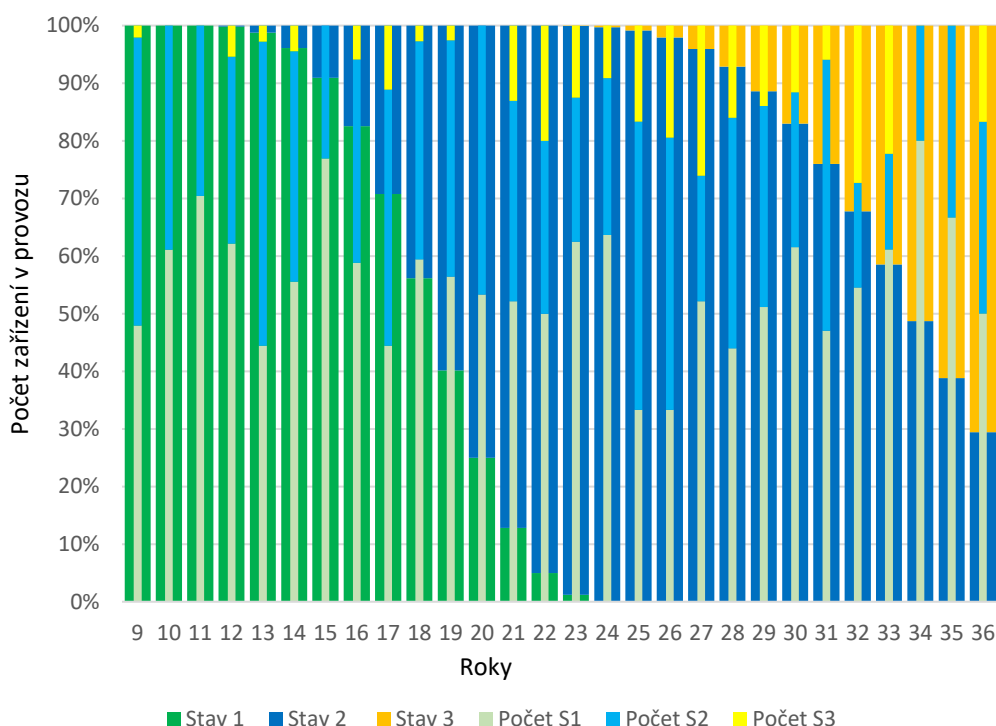
Je tedy patrné, že drtivá většina transformátorů je hodnocena velmi dobrými známkami. Pouhých 8 % je ohodnoceno stavem 3, to tedy znamená, že je třeba naplánovat obnovu na základě dotazníků jen u malé skupiny. Transformátorů ohodnocených nulou bylo ve sledovaném období pouze 25, tedy se výrazně nepodílí na zkresení výsledků.

Je však také nutné vzít v potaz, zda byly stroje ohodnoceny techniky správně.

- Ohodnoceno správně: 514 (69 %)
- Ohodnoceno nesprávně: 226 (31 %)

Tyto čísla ukazují, zda byly transformátory na základě stálosti Weibullova rozdělení hodnoceny stavem, do kterého časově spadají. Je zřetelné, že skoro třetina byla ohodnocena techniky nesprávně. Důvody a průběhy proč jsou transformátory takto hodnoceny, jsou popsány níže.

4.2.1.1 Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení



Graf 3: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – Kontrola transformátorů

V grafu výše je vidět teoretický průběh stálosti transformátorů na základě Weibullova rozdělení a procentuální počet ohodnocených transformátorů. Je zde vybrán vzorek dat v rozsahu stáří od 9 do 36 let a to proto, že počet zařízení mladších než 9 let nebo starších než 36 let dosahuje pouze několika málo jednotek, a tudíž je průběh v mezních letech

značně zkreslen. Ve vzorku hodnocených transformátorů se také v těchto krajních hodnotách nevyskytují vždy takto staré stroje.

Jak je vidět v Graf 3, teoreticky očekávané hodnoty se se skutečnými příliš neshodují. Stroje přecházejí do stavu 3 mnohem dříve, než je očekáváno, ale na druhou stranu se v tomto stavu nachází méně zařízení, než kolik se předpokládá pro starší stroje. Transformátory přecházejí do stavu 2 mnohem dříve, než se očekává, ale jejich počet v tomto stavu zůstává na téměř stejné úrovni pouze s nepatrným růstem. Ve stavu 2 by se v rozmezí 20 až 35 let mělo nacházet až dvakrát kolik strojů, než je tomu na základě hodnocení. Oproti tomu se stroje ve stavu 1 nacházejí tam, kde by se již dávno vyskytovat neměly a zároveň se vyskytují mnohem méně v prvních letech. Nicméně stavy 1 a 2 jsou od sebe ve skutečnosti velmi těžko rozlišitelné, jelikož závisí na vizuálním ohodnocení technikem a daly by se rozlišit pouze důkladným měřením transformátoru. Z hlediska asset managementu se považují za takřka stejné, jelikož ukazují, že je transformátor v pořádku a plně funkční. Naproti tomu je zde stav 3, ve který stroje přecházejí dříve, než je předpokládaný čas přechodu. Na základě analýzy hodnocení transformátorů vyplívá nutnost detailnějšího rozboru (měření, zkoušení atd.).

4.2.2 Kontrola části VN – klasická technologie

Technologie VN se skládají s více hodnocených pod částí, které jsou zmíněny v hodnotícím dotazníku. Jednotlivé váhy jsou uvedeny v následující tabulce:

Ukazatel	Váha
Kontrola rozvaděče NN, VN včetně pojistek a bleskojistek	50 %
Dotažení proudových spojů	15 %
Kontrola funkce odp. a odpoj. vč. seřízení a promazání	15 %
Kontrola kabelových koncovek NN, VN včetně jejich doplnění	10 %
Kontrola funkce Indikátorů zkratových proudů	10 %

Tabulka 4: Váhy jednotlivých ukazatelů pro VN

Zkontrolováno bylo ve sledovaném období 476 klasických technologií VN. Níže je popsáno, jak byly hodnoceny a zda byly ohodnoceny na základě stálosti Weibullova rozdělení správně či špatně.

- Počet klasických technologií VN ve stavu 1: 192 (40 %)
- Počet klasických technologií VN ve stavu 2: 243 (51 %)
- Počet klasických technologií VN ve stavu 3: 29 (6 %)
- Počet klasických technologií VN ohodnocen 0: 12 (3 %)

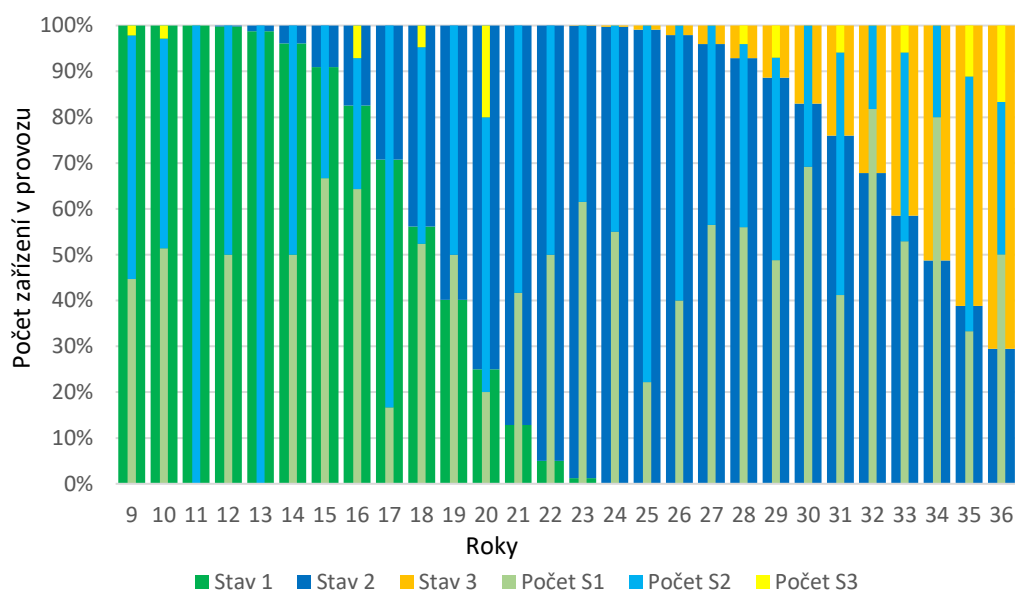
Opět je většina ohodnocena velmi dobrými známkami, ale je zde již polovina ohodnocena stavem 2. Stavem 3 je ohodnoceno pouze 6 % zařízení, opět tedy není třeba uvažovat rozsáhlé obnovy na zařízeních.

Znovu je nutné vzít v potaz, zda byla zařízení ohodnocena techniky správně.

- Ohodnoceno správně: 304 (64 %)
- Ohodnoceno nesprávně: 172 (36 %)

V tomto případě je již více než třetina ohodnocena nesprávně. Detailní rozbor rozdělení stavů je popsání v následující části.

4.2.2.1 Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení



Graf 4: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – klasické technologie VN

V grafu výše je vidět teoretický průběh stálosti klasických částí VN na základě Weibullova rozdělení a procentuálního počtu ohodnocených zařízení. Také je zde vybrán vzorek dat v rozsahu stáří od 9 do 36 let ze stejného důvodu jako u vzorku transformátorů.

Podobně jako u hodnocení transformátorů, je i u zařízení VN hodnocen techniky nepřesně. Je zde znatelné, že velká část zařízení přechází do stavu 2 mnohem dříve a ve velkém počtu. Na druhou stranu se opět brzký přechod do stavu 2 vyvažuje dokonce

mírným nárůstem zařízení ve stavu 1. I v tomto případě jsou stavy 1 a 2 považovány z hlediska asset managementu za prakticky totožné, jelikož naznačují správnou funkčnost zařízení. Oproti hodnocení transformátorů stavem 3, se v tomto případě nachází pouze malá část zařízení. Do stavu 3 se zařízení dostávají, až na výjimky, až když je to dle rozdělení očekáváno, i když v mnohem menší míře. Dalo by se tedy uvažovat o mírnějším náběhu stavu 3 a prodloužením životnosti.

4.2.3 Kontrola části VN – zapouzdřená technologie

Pro zapouzdřenou technologii VN se využívají stejné váhy jako pro klasickou technologii VN, které jsou uvedeny v Tabulka 4.

Zapouzdřených technologií VN bylo v letech 2016 a 2017 zkontrolováno 264. Níže jsou popsány, jednotlivé stavy a zda byly ohodnoceny na základě stálosti Weibullova rozdělení správně či špatně.

- Počet zapouzdřených technologií VN ve stavu 1: 124 (47 %)
- Počet zapouzdřených technologií VN ve stavu 2: 114 (43 %)
- Počet zapouzdřených technologií VN ve stavu 3: 6 (2 %)
- Počet zapouzdřených technologií VN ohodnocen 0: 20 (8 %)

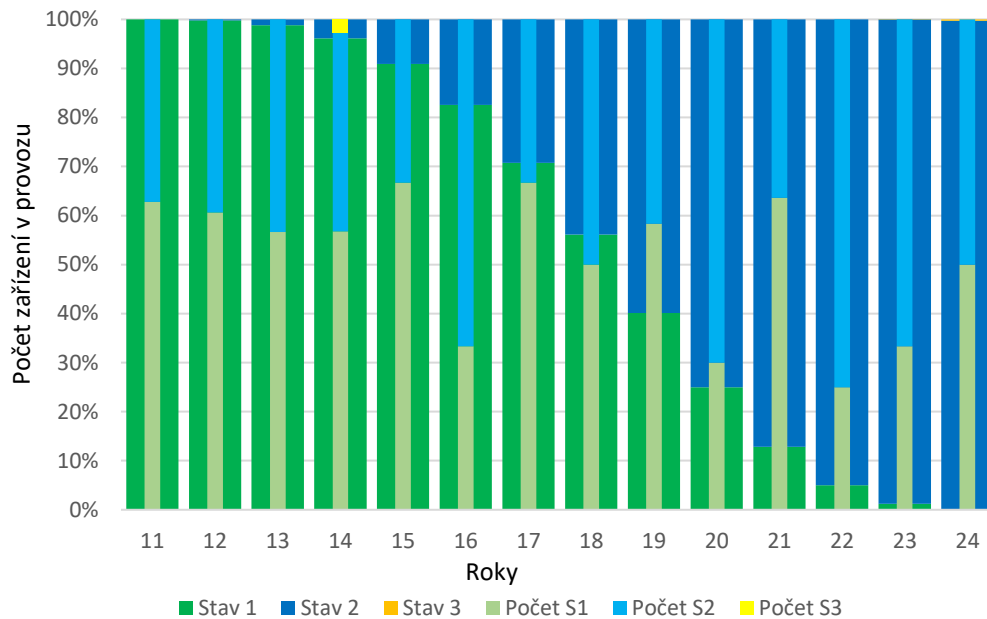
Znovu je většina ohodnocena stavy 1 a 2, což u zapouzdřených technologií očekáváme, jelikož se jejich provoz, díky ochranné atmosféře, blíží laboratorním podmínkám, tedy by měly mít vyšší předpokládanou živostnost. Počet zařízení ohodnocených stavem 3 je v tomto případě zanedbatelně malý.

Dále je nutné vzít v potaz, zda byla zařízení ohodnocena techniky správně.

- Ohodnoceno správně: 214 (81 %)
- Ohodnoceno nesprávně: 50 (19 %)

Je zde jasně patrné, že u zapouzdřených technologií většina zařízení spadá stále do prvních dvou stavů jak teoreticky, tak na základě hodnocení techniky. Zařízení hodnocena nesprávně je po odečtení zařízení ohodnocených nulou pouze desetina. Detailní rozbor rozdělení stavů je popsán v následující části.

4.2.3.1 Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení



Graf 5: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – zapouzdřená technologie VN

V grafu výše je znázorněn teoretický průběh stálosti zapouzdřených částí VN na základě Weibullova rozdělení a procentuální počet ohodnocených zařízení. Vzorek je tentokrát menší než u transformátorů a normálních částí VN, jelikož PREDi nedisponuje zapouzdřenými zařízeními starších 24 let a naproti tomu zařízeních mladších 11 let je malý vzorek, který nelze správně interpretovat.

Nastává zde podobný trend jako u předchozích částí, kde zařízení je hodnoceno stavem 2, přičemž by mělo být ve stavu 1. A naopak, je hodnoceno stavem 1 a mělo by být ve stavu 2. V celém vzorku se vyskytuje pouze jedno zapouzdřené zařízení, které je ohodnoceno stavem 3 a to ve 14. roce stáří, kde by rozhodně ve třetím stavu být nemělo. Mohlo takto být ohodnoceno kvůli vnějšímu zanesení nebo si technik všiml nějaké malé závady, která je ovšem pro asset management nepodstatná. Nicméně hodnotit správně zapouzdřené zařízení je pro techniky náročný úkol, jelikož nemohou vidět dovnitř zapouzdřeného obalu s ochranou atmosférou. Mohou provést dílčí měření a určit tak parametry celku, nikoli však jednotlivých částí uvnitř.

4.2.4 Kontrola stavební části

Ve sledovaném období bylo, stejně jako transformátorů, ohodnoceno 740 staveb/konstrukcí. Opět je zde popsáno, jak byly hodnoceny a zda byly ohodnoceny na základě stálosti Weibullova rozdělení správně či špatně.

- Počet staveb/konstrukcí ve stavu 1: 307 (41 %)
- Počet staveb/konstrukcí ve stavu 2: 290 (39 %)
- Počet staveb/konstrukcí ve stavu 3: 139 (19 %)
- Počet staveb/konstrukcí ohodnocen 0: 4 (1 %)

Většina je opět hodnocena stavu 1 a 2, avšak již ne tak výrazně jako u předchozích hodnocených částí. U kontroly stavební části stanic je hodnocena celá jedna pětina stavem 3. Důvody či příčiny tohoto jevu jsou dále popsány v následující kapitole.

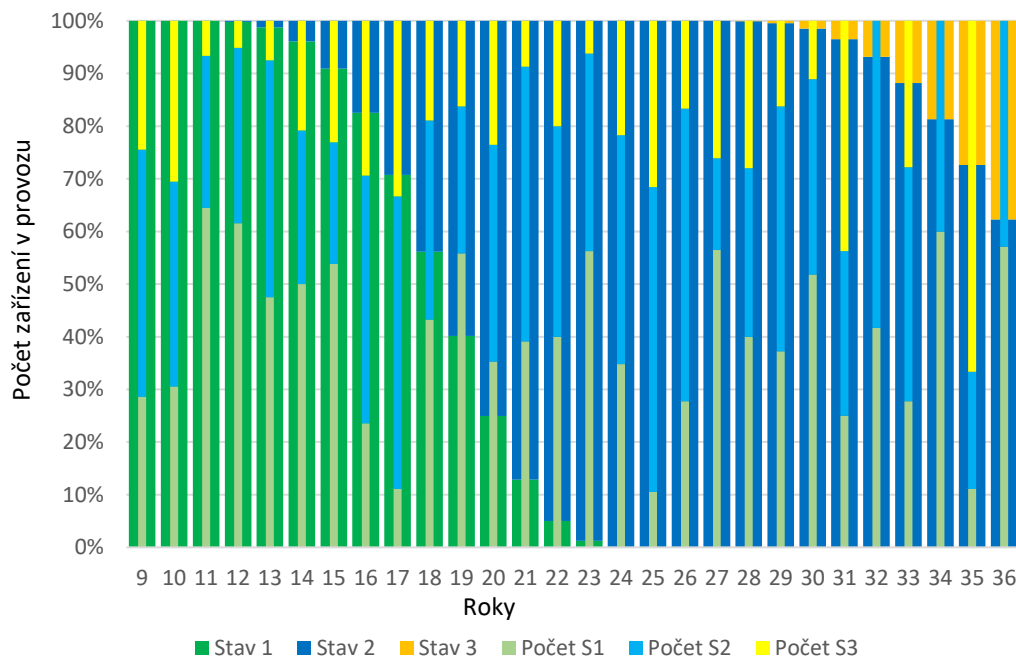
I tak je zapotřebí vzít v potaz správnost ohodnocení techniky.

- Ohodnoceno správně: 474 (64 %)
- Ohodnoceno nesprávně: 266 (36 %)

I když se procentuální správnost hodnocení příliš neliší od ostatních hodnocených stavů, je zde problém se stavem 3, který je popsán níže spolu s analýzou rozdělení stavů.

4.2.4.1 Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení

V grafu níže je vidět teoretický průběh stálosti stavebních částí distribučních stanic na základě Weibullova rozdělení a procentuálního počtu ohodnoceného majetku. Také je zde vybrán vzorek dat v rozsahu stáří od 9 do 36 let ze stejného důvodu jako hodnocení transformátorů a klasických částí VN zařízení.



Graf 6: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – stavební část

Již na první pohled se graf oproti ostatním liší. A to tak, že se značná část staveb nachází ve stavu 3, i když by se měly nacházet ve stavu 2 a dokonce i ve stavu 1. Jelikož se jedná o stavební část s uvažovanou delší dobou životnosti než u ostatních zařízení, je takovýto výsledek na první pohled překvapující. Naproti tomuto hodnocení jsou ale stavy 1 a 2 také ve velkém zastoupení v pozdějších letech životnosti.

Je pravděpodobné, že hodnocení stavební části je příliš subjektivní, technik zde nemůže nic změřit a určuje tedy stav pouze na základě vizuální kontroly. Kromě toho se zde opět projevují závady, které z hlediska dlouhodobého asset managementu nemají význam, jsou-li řešeny včas popřípadě hned na místě. Do této kategorie se totiž zaznamenávají také závady typu ucpaný/odcizený okap, nebo vegetace rostoucí v těsné blízkosti stanice. Pro posouzení skutečně relevantních dat pro asset management by bylo třeba projít jednotlivě všechny záznamy dle komentářů a fotodokumentace a vyhodnotit jen ty které se skutečně k asset managementu vztahují. Nicméně je i přes toto zkrácení jasně patrný trend narůstajícího počtu zařízení ve stavu 3 pro vyšší dobu stáří zařízení.

Vzhledem k tomu, že stavební část bývá často úzce svázána na danou technologii VN, tak zpravidla bývá prováděna alespoň částečná přestavba či obnova spolu s výměnou technologie VN.

4.3 Citlivostní analýza

Citlivostní analýza je provedena pro technologie VN, jak klasické, tak zapouzdřené. Jednotlivé dílčí ukazatele technologií VN mají stanovenou míru váhy, kterou se podílejí na výsledné známce. Změnou těchto vah lze změnit výslednou známku a určit tak optimální stanovení jednotlivých vah.

Provedeny byly změny v přípustném rozsahu tak, aby váhy jednotlivých ukazatelů byly v přípustném intervalu a znázorňovaly možnou skutečnost. Tedy pro méně důležité ukazatele byly voleny takové váhy, které přímo nezměnily celkový význam částí zařízení. Zkoumané možnosti jsou uvedeny v Tabulka 5.

Ukazatel	Váhy					
	0	A	B	C	D	E
Kontrola rozvaděče NN, VN včetně pojistek a bleskojistek	50 %	40 %	50 %	40 %	40 %	60 %
Dotažení proudových spojů	15 %	15 %	10 %	20 %	10 %	10 %
Kontrola funkce odp. a odpoj. vč. seřízení a promazání	15 %	15 %	10 %	20 %	10 %	10 %
Kontrola kabelových koncovek NN, VN včetně jejich doplnění	10 %	15 %	15 %	10 %	20 %	10 %
Kontrola funkce Indikátorů zkratových proudů	10 %	15 %	15 %	10 %	20 %	10 %

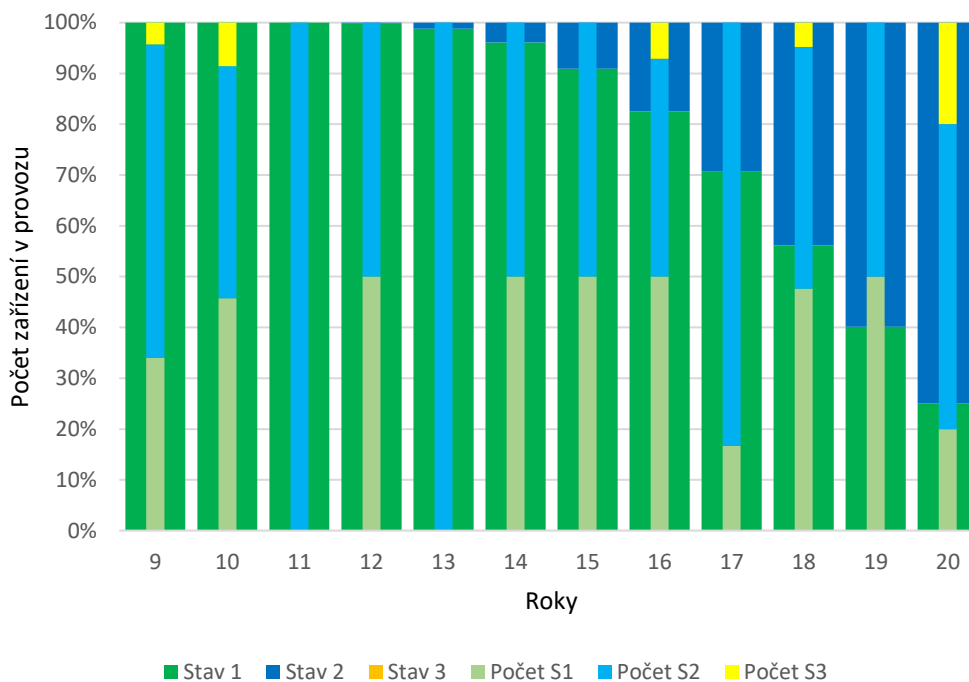
Tabulka 5: Alternativní rozdělení vah pro technologie VN

V tabulce jsou pod možností „0“ uvedeny původní zadané váhy a pod možnostmi A–E alternativní zkoumané váhy.

4.3.1 Klasické technologie VN

Pro části klasických technologií byly vyzkoušeny výše zmíněné váhy, přičemž pro možnosti A–D nenastaly výrazné změny ve změně výsledné známky. Změna nastala až když se pro část „Kontrola rozvaděče NN, VN včetně pojistek a bleskojistek“ zvolila váha 60 % a pro ostatní ukazatele se zbytek rovnoměrně rozdělil. Změna se projevila v tom, že se nachází vyšší počet zařízení ve stavu 1 než oproti původnímu rozdělení vah. Tato změna není příliš vysoká, ale se zvyšující se vahou pro kontrolu rozvaděče NN a VN tento

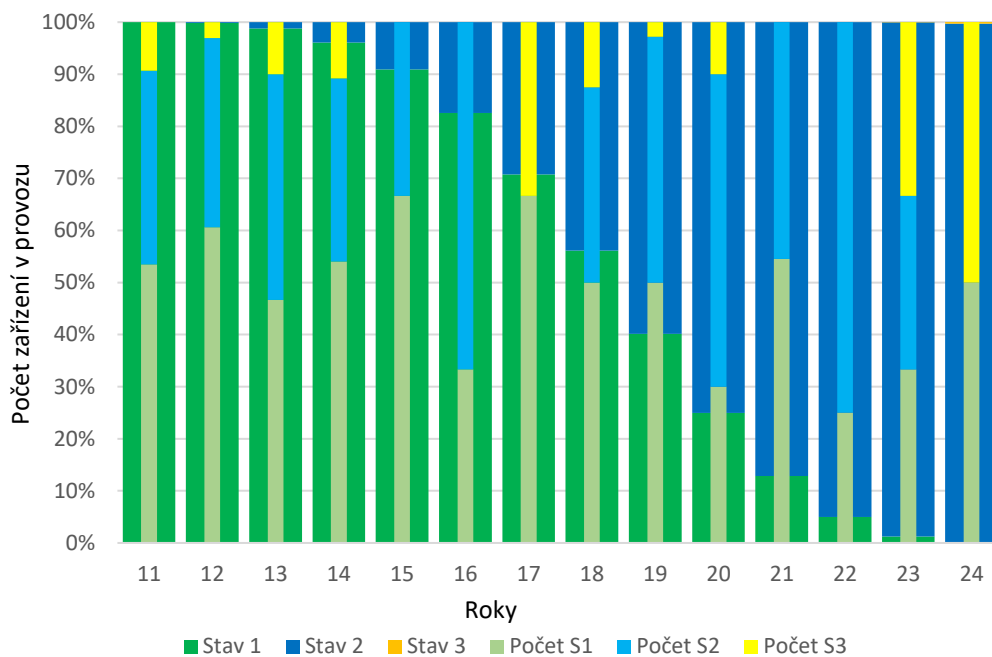
rozdíl narůstá. Vyšší váhy zde, ale uvažovány nejsou, jelikož by neznázornovali přípustnou skutečnost rozložení vah pro jednotlivé ukazatele.



Graf 7: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – klasická technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost E

4.3.2 Zapouzdřené technologie VN

Také pro zapouzdřené technologie VN se využily možnosti vah z Tabulka 5. Přičemž opět pro možnosti A–D nenastaly výrazné změny v rozložení výsledných známek. Toto obecně platí pro snižování váhy u parametru „Kontrola rozvaděče NN, VN včetně pojistek a bleskojistek“ v přípustných mezích. Výrazná změna naopak nastává při navýšení váhy tohoto ukazatele. Kde v možnosti E nastává nečekaný zvrát. A to takový, že se výrazně zvýší počet zařízení ve stavu 3 a to i ve stářích kde by se zařízení ve stavu 3 rozhodně vyskytovat nemělo. Pro hodnoty vyšší než 60 % se počet dále zvyšuje, ale tyto scénáře již nejsou v rámci reality přípustné.



Graf 8: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – zapouzdřená technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost E

Z citlivostní analýzy pro stanovení vah dílčích ukazatelů technologií VN tedy vyplývá, že lze měnit pro nejdůležitější ukazatel (Kontrola rozvaděče NN, VN včetně pojistek a bleskojistek) váhu mírně dolů a nenastanou výrazné změny. Naopak pokud se váha posune směrem nahoru, ve výsledné známce se promítne vyšší počet zařízení ve stavu 3, což neodpovídá realitě ani teoretickému rozdělení. Vzhledem ke změně výsledné známky při změně vah jednotlivých parametrů lze tedy uvažovat, že jsou původně stanovené váhy nastaveny dobře.

Grafy možností A–D jsou uvedeny v příloze.

5 Závěry a doporučení

Závěry z této diplomové práce budou sloužit pro skutečnou optimalizaci asset managementu společnosti PRE distribuce.

5.1 Kontrola transformátorů

Výsledky analýzy u transformátorů ukazují nutnost detailnějšího rozboru, který přesahuje rámec této práce. Samotná vizuální kontrola transformátoru tedy změnit nelze, proto musíme navrhnout jiné změny, které budou pro asset management sloužit.

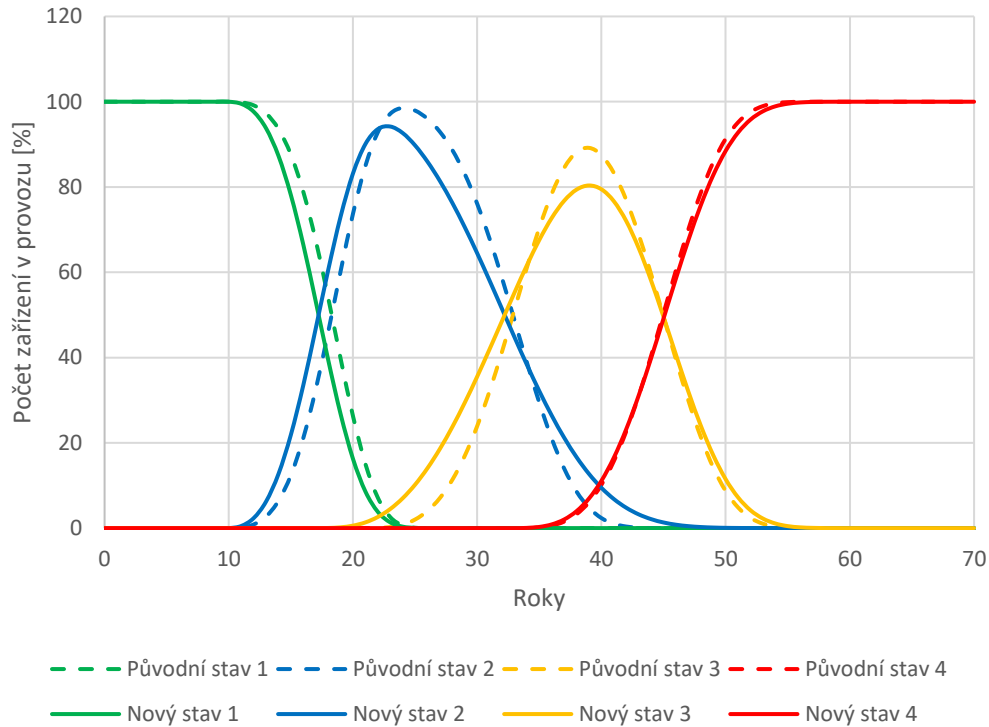
Jelikož se poměrně velká část transformátorů nachází ve stavu 1, lze pravděpodobnostní rozdělení stavu 1 prodloužit a tím se prodlouží také rozdělení stavu 2 a jelikož tyto stavy můžeme považovat za prakticky rovnocenné, bude Weibullovo rozdělení přibližně korespondovat z reálně naměřenými stavy. Zároveň ale zařízení přecházejí do stavu 3 dříve, než je očekáváno, tomuto je můžeme přiblížit tak, že zmenšíme parametr „ t_0 “, který znázorňuje zpoždění přechodu mezi stavy.

Návrh jednotlivých parametrů pro Weibullovo životnostní rozdělení transformátoru je tedy takovýto:

	Stav 1	Stav 2	Stav 3
T	19	35	47
b	2,9	2,9	3,1
t_0	10	17	33

Tabulka 6: Návrh parametrů pro Weibullovo rozdělení transformátoru

S výše uvedenými parametry by výsledný graf odpovídal více naměřené realitě a výsledný průběh je znázorněno v následujícím grafu:



Graf 9: Weibullovo rozdělení pro dobu životnosti 45 let s navrhovanými novými hodnotami pro transformátor

Dle navržených nových parametrů se změnilo Weibullovo rozdělení dle Graf 9. Můžeme zde vidět původní rozdělení stanovené útvarem plánování a nově navržené rozdělení, tak, aby lépe korespondovalo s reálně ohodnocenými stavy. Z červené křivky stavu 4 lze odečíst, že celková životnost transformátorů se nepatrně prodloužila. Dále se pak snížil celkový možný poměr transformátorů nacházejících se ve stavu 3, v tomto stavu se sice nacházejí méně čteně, ale zase o trochu dříve. Tento krok však na základě dat musel být učiněn i proto, aby do celkového rozdělení správně seděl stav 2, do kterého nyní zařízení přecházejí nepatrně dříve, ale zároveň stav 2 trvá déle. Je také vidět, že podle původních parametrů se stavy 1 a 3 nesetkali, ale dle nového návrhu, založeného na skutečných hodnotách se tyto dva stavy z části překrývají.

5.2 Klasické technologie VN

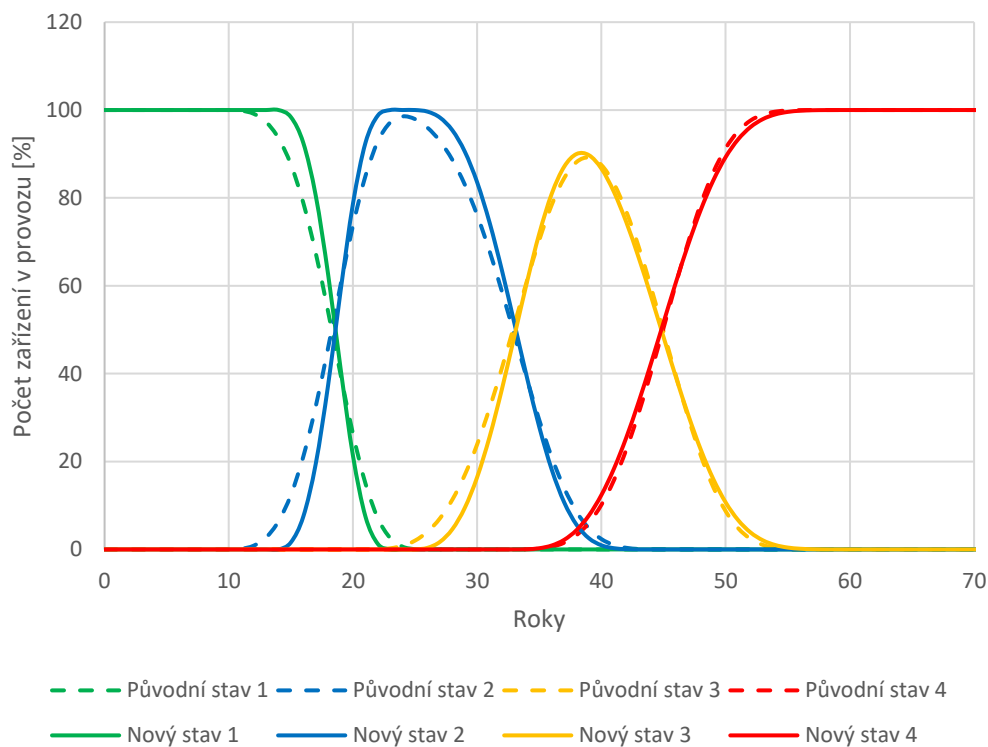
Z citlivostní analýzy vah klasických technologií VN vyplynulo, že stanovené váhy pro jednotlivé ukazatele jsou stanoveny správně a nevyžadují zásadní změnu. Dále ve Weibullově rozdělení můžeme opět považovat stavy 1 a 2 za prakticky identické. Jelikož i starší zařízení se nacházejí ve stavu 1 můžeme tento stav mírně prodloužit, zároveň s ním také stav 2, za předpokladu, že jsou takřka totožné. V tom případě můžeme díky mírnějším naměřeným hodnotám stavu 3, tento stav posunout dále a tím také prodloužit celkovou životnost klasických zařízení VN.

Návrh jednotlivých parametrů pro Weibullovo životnostní rozdělení klasických technologií VN je tedy takovýto:

	Stav 1	Stav 2	Stav 3
T	20	35	47
b	2,9	2,9	3,1
to	14	25	33

Tabulka 7: Návrh parametrů Weibullova rozdělení pro klasické technologie VN

Na základě nově stanovených parametrů by výsledné Weibullovo rozdělení v porovnání se skutečnými hodnotami vypadalo takto:



Graf 10: Weibullovo rozdělení pro dobu životnosti 45 let s navrhovanými novými hodnotami pro klasické technologie VN

Z Graf 10 lze vyčíst, že nově navržené parametry způsobily strmější přechod mezi stavy 1 a 2, přičemž stav 1 končí o trochu dříve než původně a stav 2 začíná později než původně. Je také jasně patrné, že po určitý čas by se 100 % zařízení mělo nacházet ve stavu 2. Z hlediska asset managementu tyto dva stavy můžeme považovat za totožné a díky těmto úpravám došlo k odsunutí stavu 3 do pozdější doby, tak aby výsledky lépe odpovídaly skutečným hodnotám. Kvůli těmto úpravám se životnost klasických technologií VN neposunula, pouze se zmírnila strmost stavu 4.

5.3 Zapouzdřená technologie VN

Z citlivostní analýzy vah pro zapouzdřené technologie VN vyplývá, že stanovené váhy pro jednotlivé ukazatele jsou stanoveny správně, dokonce pokud by se ukazatel „Kontrola rozvaděče NN, VN včetně pojistek a bleskojistek“ zvyšoval, přecházely by výsledné známky dříve do stavu 3. Protože se díky hermeticky uzavřené skříni s ochranou atmosférou, podmínky zapouzdřených zařízení VN blíží laboratorním podmínkám, lze zde uvažovat vyšší životnost, než jaká platí pro ostatní technologie VN. Také je zřetelné, že se naprostá většina nachází ve stavech 1 a 2. Je možné tedy opět navrhnout prodloužení stavu 1 i 2 a posunutí stavu 3 dále, ale jelikož na základě vzorku dat je obtížné

stanovit budoucí vývoj této technologie, po dohodě s oddělením strategického plánování se určilo, že se tyto hodnoty zatím měnit nebudou. Změny mohou nastat až po sběru většího vzorku dat.

5.4 Stavební část

Výsledky analýzy stavebních částí ukazují, že je třeba zvolit naprosto jiný způsob hodnocení, než jaký funguje doposud. Výsledky jsou nejednoznačné až náhodné a prakticky se nijak neřídí Weibullovým pravděpodobnostním rozdělením. To je způsobeno tím, že se do hodnocení dlouhodobého asset managementu projevují také dílčí, méně závažné závady, které lze vyřešit operativně a levně s porovnáním časově i finančně náročné obnovy či rekonstrukce. Nicméně obnova stavební části úzce souvisí s obnovou technologií VN, většinou se tedy obnova provádí simultánně.

Z důvodu nespolehlivosti dat tedy není možné stanovit jednotlivé koeficienty Weibullova rozdělení. Je tedy vhodné navrhnout změnu dotazníku, tak aby se rozdělily části pro dlouhodobý asset management a krátkodobou operativní údržbu, která je několikanásobně levnější. Navržením jiného způsobu vyplňování se zabývá následující kapitola.

5.5 Návrh dotazníku

Jelikož se hodnocení pomocí známek 1 až 4 a otevřených komentářů k nim ukazuje být značně subjektivní (dva technici mají dva různé výsledky hodnocení), je třeba změnit tento systém tak, aby se technikovi dala přímá možnost výběru a zamezilo se tak co nejvíce subjektivnímu hodnocení. Dále by se měly rozlišit potřeby pro asset management a potřeby pro správu rozvodných zařízení. Asset management vyžaduje hodnocení dlouhodobého stavu, přičemž drobnější závady nemusí být z dlouhodobého hlediska podstatné. Naproti tomu správa rozvodných zařízení potřebuje znát aktuální problémy na zařízení, které je nutno co možná nejrychleji řešit.

V praxi by to znamenalo, že technik nebude již vyplňovat celkové známky pro jednotlivé ukazatele či zařízení, ale bude vybírat ze seznamu konkrétních typizovaných závad tzv. závadovníků. Tento proces by měl potlačit subjektivitu hodnocení. Při výjezdu na distribuční stanici technik otevře aplikaci v mobilním zařízení, vybere zařízení nebo část, kterou bude hodnotit a dostane na výběr z typických závad, které se na daném zařízení

mohou vyskytovat, potom vybere ty, které odpovídají danému stavu, popřípadě vyplní komentář pro speciální závadu. Z takto vybraných typizovaných závad systém automaticky vygeneruje dvě známky, jednu ze závad dlouhodobého charakteru pro asset management a druhou známku naléhavých zásahů pro správu rozvodných zařízení (únik látek, oprava apod.). Úpravou tohoto formuláře také dojde k úsporám v oblasti provozních prostředků (technik stráví na jedné stanici méně času).

Zde jsou uvedeny příklady typizovaných závad, tedy závadovníků pro kontrolu transformátorů a kontrolu stavební části s rozdělenou známkou pro správu rozvodných zařízení a asset management.

Kontrola transformátorů (stav oleje, únik oleje, jímka)	Správa r.z.	A. M.
únik oleje – netěsnost	4	4
olejová jímka	3	
mechanická závada	3	3
jiné – volný zápis		

Tabulka 8: Závadovníky pro ukazatel Kontrola transformátorů (stav oleje, únik oleje, jímka)

Kontrola stavební části – konstrukce okapy	Správa r.z.	A. M.
vzlínající vlhkost, prostorová vlhkost	3	2
zatéká	4	3
opadávající omítka	3	2
popraskané zdivo	2	3
popraskaná podlaha	2	3
nátěr konstrukcí	2	
kovové konstrukce – dveře	2	2
kovové konstrukce – žaluzie	2	2
odcizené prvky	3	3
opláštění budovy (fasáda)	2	2
jiné – volný zápis		

Tabulka 9: Závadovníky pro ukazatel Kontrola stavební části – konstrukce okapy

5.6 Ekonomická analýza

Navrhované změny parametrů ve Weibullově rozdělení, budou mít také přímý vliv na ekonomickou stránku společnosti. Zavedení těchto nových parametrů bude z ekonomického hlediska znamenat značné úspory v oblasti správy majetku. Nově

zavedené procesy budou mít také vliv na časovou úsporu pracovníků provádějící potřebné inspekce.

Na základě nově navržených parametrů Weibullova rozdělení, se pomocí softwaru pro ASP zjistil nový průběh obnovy zařízení do roku 2038, tedy po dobu příštích 20 let. Z těchto nově získaných údajů jsou dále vypočtené úspory v obnově, jak pro samostatné typy zařízení, tak pro úspory celkové.

Pro výčet úspor čisté současné hodnoty byl na základě *Zprávy Energetického regulačního úřadu o metodice regulace IV. regulačního období pro odvětví elektroenergetiky a plynárenství* stanoven WACC po zdanění 6,44 %. (12) Níže je uveden vzorec pro výpočet čisté současné hodnoty.

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + WACC)^t} \quad [9]$$

Kde: NPV... čistá současná hodnota

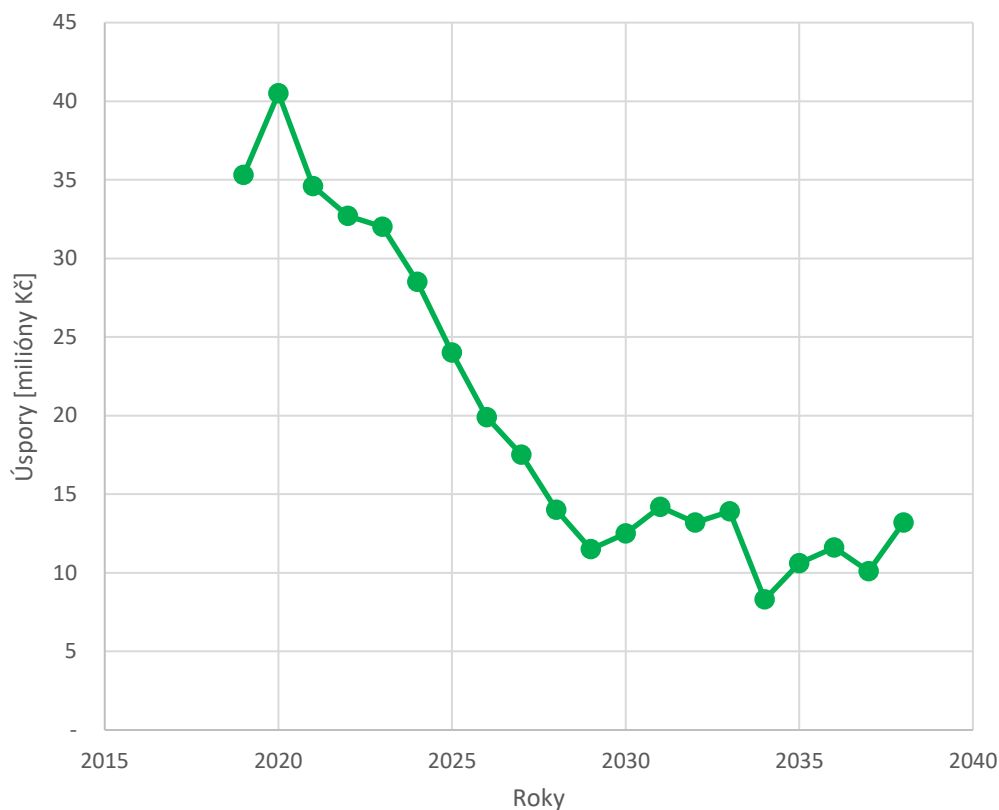
CF_t... finanční tok v roce t

WACC... míra výnosnosti (Weighted Average Cost of Capital)

Na základě vzorce [9], dat získaných ze softwaru pro ASP a poskytnutých údajů o ceně obnov jednotlivých zařízení je níže vypočtená čistá současná hodnota úspor pro jednotlivé typy zařízení.

NPV při úsporách na transformátorech	74 087 927 Kč
NPV při úsporách na technologiích VN	131 766 445 Kč
NPV při úsporách na stavební části	51 648 844 Kč

Celková čistá současná hodnota úspor za obnovu zmíněných typů zařízení je tedy **257 503 215 Kč.**



Graf 11: Vývoj celkových úspor v průběhu 20 let

V Graf 11 jde vidět, že výše úspor přibližně prvních 10 let klesá. Tento pokles je způsoben tím, že sice na základě nově získaných parametrů a tím nově získaných dat o údržbě, se v prvních letech počet zařízení, která na základě statistických dat potřebují obnovit sníží, ale postupem času se tato zařízení musí znovu obnovit. Pokud se tedy navrhovaná opatření zavedou v roce 2019, až do roku 2029 se bude počet obnovovaných zařízení postupně zvyšovat, proto klesají úspory a po roce 2030 se úspory na zařízeních a technologiích srovnají a nebudou se dále snižovat ani zvyšovat. Tento průběh je pro zavedení těchto úsporných opatření typický, jelikož potřebnou obnovu oddalujeme nikoli se jí zbavujeme.

Na základě navržených parametrů se tedy dosáhne v prvních deseti letech úspor v řádu deseti miliónů ročně. A celkové úspory za 20 let dosahují řádu stamiliónů korun. Náklady na navrhované softwarové změny dotazníků uvažovat nemusíme, jelikož se změny provedou přímo v IT oddělení PREDi, nejedná se tedy o přímé náklady, které by se do tohoto ohodnocení daly započíst.

Závěr

Asset management ve společnosti běžně řeší několik problémů, se kterými je třeba se vypořádat. Jedná se o stanovení jasně definovaných cílů a optimalizace finančních a provozních úkolů systému. Nelze tedy přistupovat ke všem technologiím stejně, je třeba brát v potaz různorodé finanční a provozní vlastnosti různých typů zařízení.

Cílem práce bylo na základě poskytnutých dat zanalyzovat současný statistický přístup používaný ve společnosti PREdistribuce, a.s. a na základě získaných poznatků navrhnout takové řešení, které přinese společnosti úspory v budoucích letech. Dílčí analýzy a doporučení pro jednotlivé typy zařízení distribučních transformátorových stanic jsou uvedeny a popsány v jednotlivých kapitolách práce.

Práce navrhuje zlepšení statistického přístupu na základě skutečně změřených dat pro kontrolu transformátorů, kontrolu klasických i zapouzdřených technologií VN a pro kontrolu stavebních částí distribučních stanic. Na základě dat získaných z inspekcí techniků se mohla ohodnotit kontrola transformátorů a kontrola klasických technologií VN, kde byly navrženy nové parametry Weibullova pravděpodobnostního rozdělení. Díky těmto nově navrženým parametrům je dle výpočtu čisté současné hodnoty možné v příštích dvaceti letech ušetřit na obnovách až stovky miliónů korun. Tyto úspory budou z principu v prvních letech zavedení vysoké, nicméně se postupně začnou snižovat, kvůli rozprostření nutných obnov.

Práce se dále zabývala návrhem efektivnějšího sběru dat z distribučních stanic. A to tak, aby se v co nejvyšší míře zamezilo subjektivnímu hodnocení od techniků a zároveň, aby se rozlišovaly údaje pro asset management a údaje pro správu rozvodných zařízení. Tohoto se docílí rozdělením známky na dvě části, které budou sloužit pro ohodnocení dlouhodobého nebo krátkodobého ukazatele.

Věřím, že tato práce a její výsledky budou pro PRE distribuce přínosem, který přinese úsporná opatření.

Citovaná literatura

1. Elektroenergetika - Legislativa. *moje energie*. [Online] Done, s.r.o. <http://www.mojeenergie.cz/cz/elektroenergetika-legislativa#distributor>.
2. Balzer, Gerd a Schorn, Christian. *Asset Management for Infrastructure Systems Energy and Water*. London : Springer, 2015. ISBN 978-3-319-17879-0.
3. Balzer G, Benz T, Schorn C, Spitzer H (2005) Asset Management in Energieversorgungsunternehmen.
4. Balzer G, Gaul A, Neumann C, Schorn C (2007) *The general asset management process of power*.
5. Balzer G, Benz T, Schorn C, Spitzer H. Asset Management in Energieversorgungsunternehmen. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* : „, 2005. Sv. H. 8, S. 552–555.
6. Strategic asset management of power networks. *International Electrotechnical Commission*. [Online] 2015. <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-assetmanagement-LR-en.pdf>.
7. Business Simulation Framework. AssetSimulation. Interní dokument PREdistribuce a.s. : Entellgenio, 2010.
8. Zhai, Lian-Yin, a další. *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*. Singapore : Springer, 2013. 978-981-4451-48-2.
9. Pasha, G.R.; M. Shuaib Khan; Ahmed Hesham Pasha (2006): *Empirical Analysis of The Weibull Distribution for Failure Data, Journal of Statistics, Vol. 13, No.1, pp.33-45*.
10. M., Martin. Gas insulated VS Air insulated substations. *Electrical installation & energy efficiency*. [Online] 7. květen 2015. <http://engineering.electrical-equipment.org/others/gas-insulated-vs-air-insulated-substations.html>.
11. Business Simulation Framework. Grundlagen der Simulation. Interní dokument PREdistribuce a.s. : Entellgenio, 2010.
12. Energetický regulační úřad. Zpráva Energetického regulačního úřadu o metodice regulace IV. regulačního období pro odvětví elektroenergetiky a plynárenství.

Energetický regulační úřad. [Online] 16. únor 2015.
https://www.eru.cz/documents/10540/462862/R%C3%A1mec_metodiky_IV+RO_2015-02-16.pdf/1370f896-8d16-441c-9153-d3fb6d6f3ffe.

13. S, Bartlett. Asset management in a De-regulated environment. Paris : Cigre session, 2002. report 23–303.

14. Balzer G, Schorn C. Life cycle costs analysis of a complete air insulated substation. Berlin : CIGRE B3 symposium, 2007. Sv. Report 104b.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Pyramida procesu správy aktiv (3).....	12
Obrázek 2: Uživatelské prostředí softwaru pro ASP Entellgenio (4).....	18
Obrázek 3: Režimy poruch („bathtub curve“) (5)	20
Obrázek 4 Generický řetězec stárnutí (5)	24
Obrázek 5 Vyplňování formulářů v mobilním zařízení.....	31
Obrázek 6 Protokol o běžné údržbě.....	32

Seznam tabulek

Tabulka 1: Popis jednotlivých opatření a jejich vliv na řetězec stárnutí (5).....	26
Tabulka 2 Parametry pro životnost 45 let.....	35
Tabulka 3 Parametry pro životnost 50 let.....	36
Tabulka 4 Váhy jednotlivých ukazatelů pro VN	39
Tabulka 5 Alternativní rozdělení vah pro technologie VN	45
Tabulka 6: Návrh parametrů pro Weibullovo rozdělení transformátoru	48
Tabulka 7: Návrh parametrů Weibullova rozdělení pro klasické technologie VN	50

Tabulka 8: Závadovníky pro ukazatel Kontrola transformátorů (stav oleje, únik oleje, jímka)..... 53

Tabulka 9: Závadovníky pro ukazatel Kontrola stavební části – konstrukce okapy 53

Seznam grafů

Graf 1: Weibullovo rozdělení pro dobu životnosti 45 let..... 36

Graf 2: Weibullovo rozdělení pro dobu životnosti 50 let..... 37

Graf 3: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – Kontrola transformátorů..... 38

Graf 4: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – klasické technologie VN..... 40

Graf 5: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – zapouzdřená technologie VN..... 42

Graf 6: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – stavební část 44

Graf 7: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – klasická technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost E 46

Graf 8: Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – zapouzdřená technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost E 47

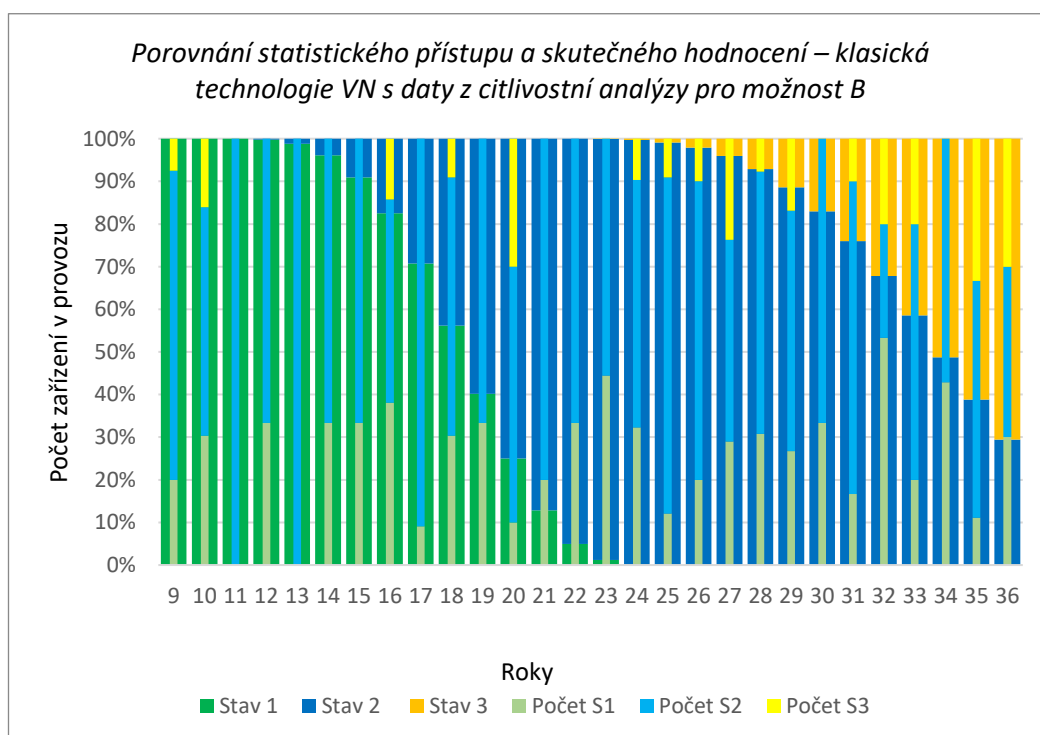
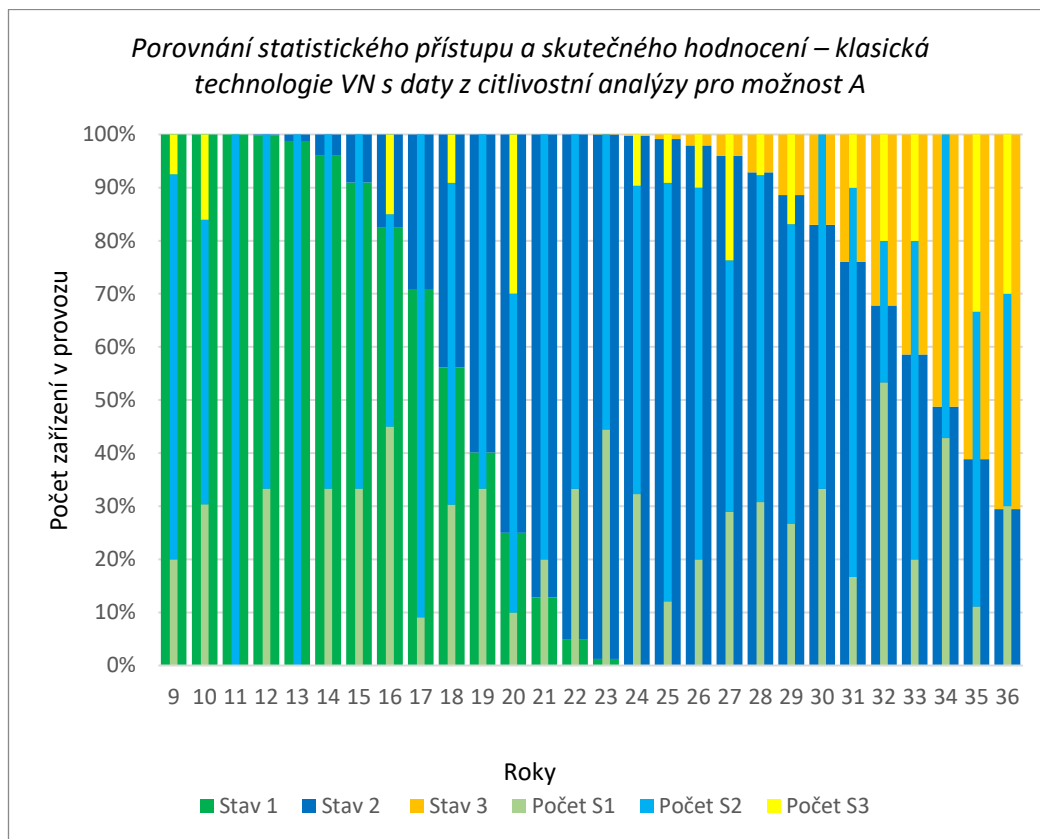
Graf 9: Weibullovo rozdělení pro dobu životnosti 45 let s navrhovanými novými hodnotami pro transformátor..... 49

Graf 10: Weibullovo rozdělení pro dobu životnosti 45 let s navrhovanými novými hodnotami pro klasické technologie VN 51

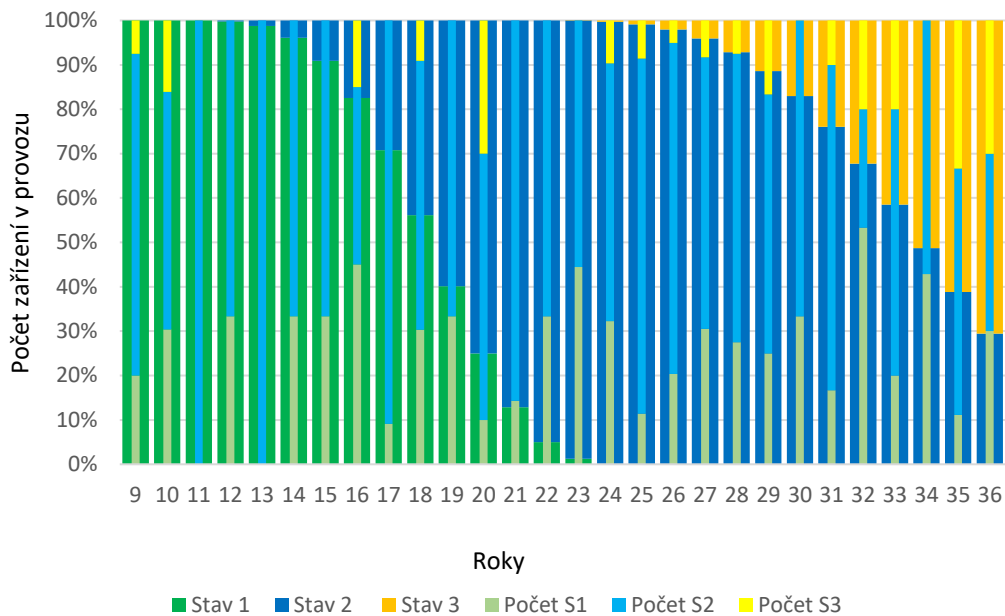
Graf 11: Vývoj celkových úspor v průběhu 20 let 55

Přílohy

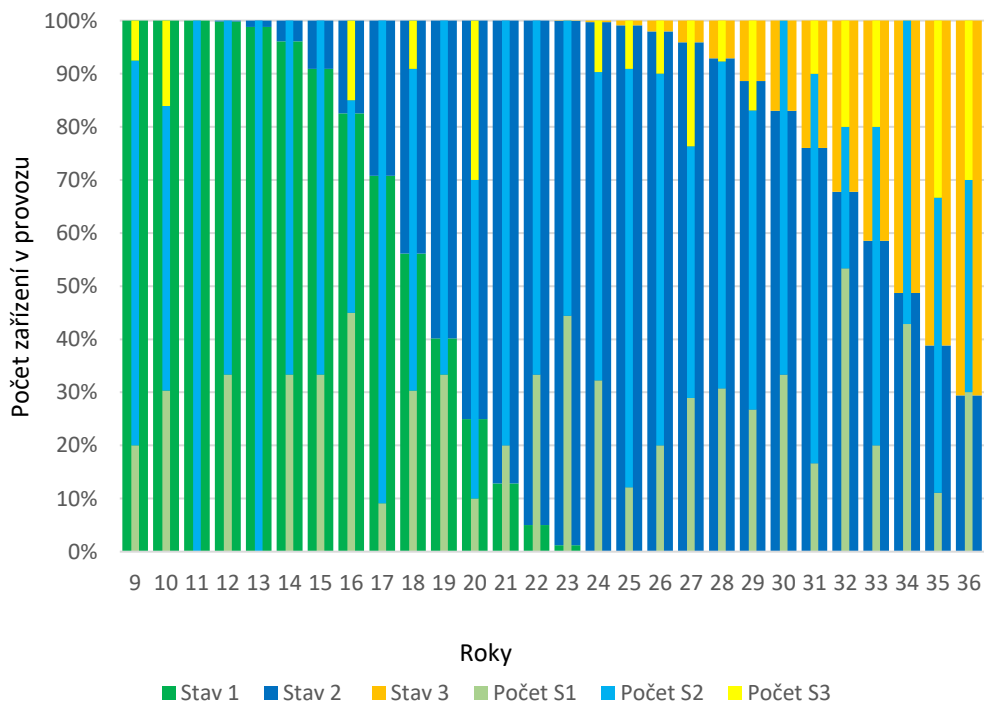
Grafy k citlivostní analýze



Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – klasická technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost C

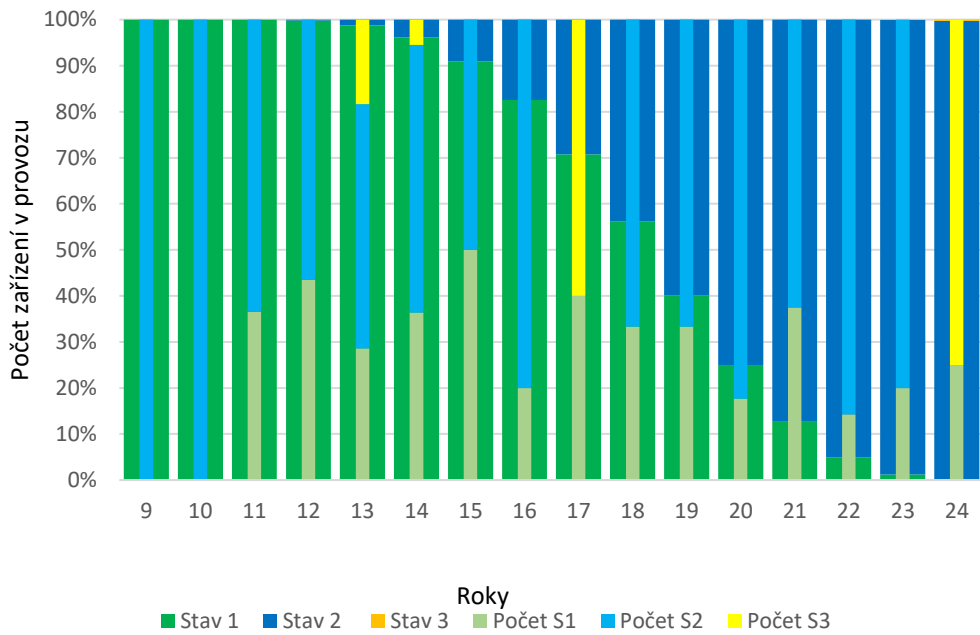


Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení – klasická technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost D



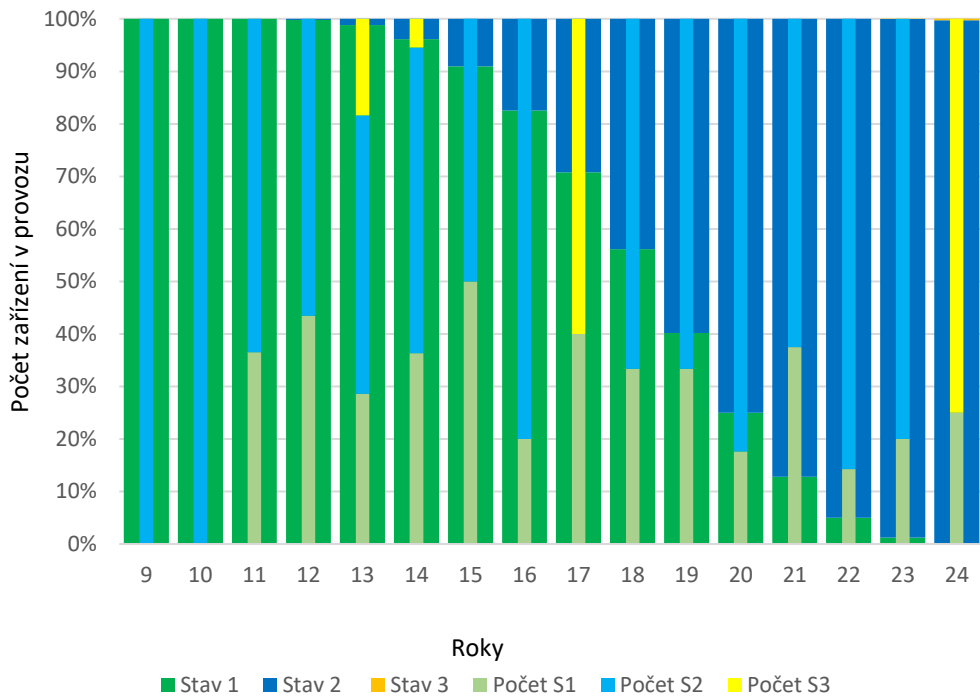
Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení –
zapouzdřená technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost

A

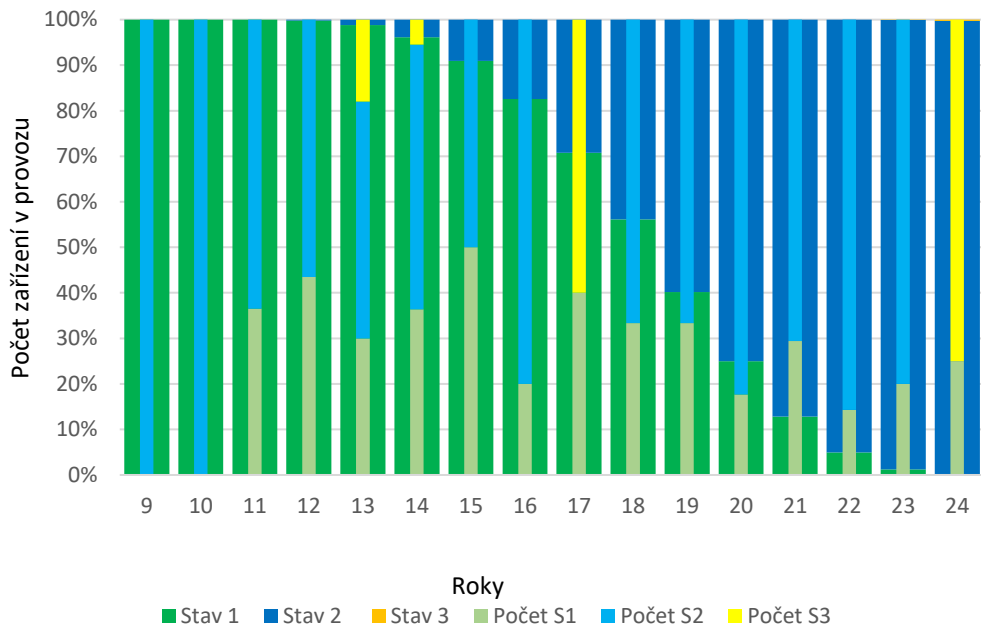


Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení –
zapouzdřená technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost

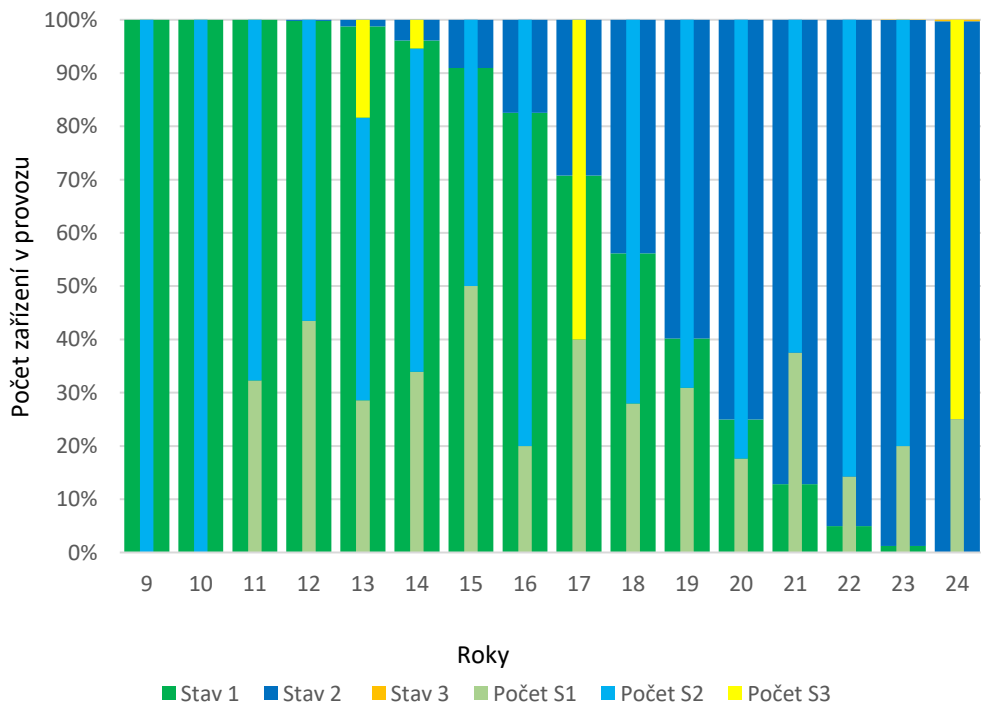
B



Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení –
zapouzdřená technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost
C



Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení –
zapouzdřená technologie VN s daty z citlivostní analýzy pro možnost
D



Porovnání statistického přístupu a skutečného hodnocení pro ukazatel kontrola transformátoru s celým vzorkem hodnocení.

