



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## SPOLEHLIVOST DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

RELIABILITY OF POWER DISTRIBUTION NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

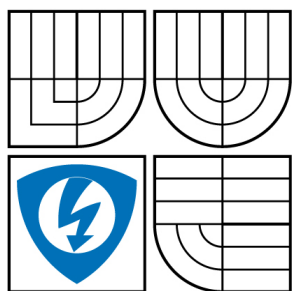
JIŘÍ POLÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV ŠPAČEK

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Polák Jiří

**ID:** 77856

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2007/2008

**NÁZEV TÉMATU:**

**Spolehlivost distribuční sítě**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Způsoby hodnocení spolehlivosti distribučních sítí v EU.
2. Způsoby hodnocení spolehlivosti distribučních sítí v ČR.
3. Zadanými metodami zhodnoťte spolehlivost distribuční sítě.
4. Porovnejte výsledky použitých metod.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího

**Termín zadání:** 17.12.2007

**Termín odevzdání:** 4.6.2008

**Vedoucí práce:** Ing. Jaroslav Špaček

**doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.**

*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA

## POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

### 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jiří Polák  
Bytem: Vodárenská 1996, 54701, Náchod - Babí  
Narozen/a (datum a místo): 18.2.1986, Jaroměř

(dále jen "autor")

a

### 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

## Článek 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Spolehlivost distribuční sítě  
Vedoucí/školicel VŠKP: Ing. Jaroslav Špaček  
Ústav: Ústav elektroenergetiky  
Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě - počet exemplářů 1
- elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

**Článek 2**  
**Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

**Článek 3**  
**Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Bibliografická citace práce:

POLÁK, J. *Spolehlivost distribuční sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 69 stran. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Špaček.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Špačkovi za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**  
**Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

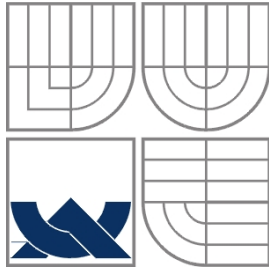
# **Spolehlivost distribuční sítě**

**Jiří Polák**

**vedoucí: Ing. Jaroslav Špaček**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2008**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**



**Faculty of Electrical Engineering and Communication**

**Department of Electrical Power Engineering**

**Bachelor's Thesis**

# **Reliability of power distribution network**

**by**

**Jiří Polák**

**Supervisor: Ing. Jaroslav Špaček**

**Brno University of Technology, 2008**

**Brno**

## ABSTRAKT

Cílem této práce je seznámení se způsoby hodnocení spolehlivosti distribučních sítí ve státech Evropské unie a v České republice a zhodnocení spolehlivosti konkrétní distribuční sítě a výsledků metod, které byly použity. Z těchto důvodů je nejprve provedeno seznámení s teorií spolehlivosti, se základními pojmy a veličinami z této oblasti. Po úvodním seznámením s touto problematikou je přiblíženo použití a výpočet spolehlivosti v elektroenergetice a jsou podrobněji popsány metody, které se používají k jejímu výpočtu. Podrobněji je přiblížen princip a podstata metod spolehlivostních schémat a simulačních metod. Je zde popsáno hodnocení spolehlivosti v České republice z hlediska garantovaných standardů nepřetržitosti dodávky elektrické energie a jsou zde uvedeny a vysvětleny jednotlivé standardy. Současná situace v Evropské unii je ukázána na přehledu systémových a zákaznických standardů nepřetržitosti dodávky elektrické energie používaných v těchto zemích. Pro zhodnocení spolehlivosti dané distribuční sítě je použito metody tzv. krabicových grafů a metod oceňování spolehlivosti určením nákladů na pravděpodobně nedodanou energii a nákladů na penalizace při překročení limitu počtu přerušení a limitu souhrnné doby trvání přerušení. U metody tzv. krabicových grafů je použito hodnocení celé sítě i jednotlivých oblastí sítě z hlediska ročního počtu přerušení a souhrnné roční doby trvání přerušení. U hodnocení nákladů na pravděpodobně nedodanou elektrickou energii a nákladů na penalizace při překročení limitu počtu přerušení a limitu souhrnné doby trvání přerušení je uděláno srovnání nejen celé sítě a jednotlivých oblastí, ale také jednotlivých vývodů sítě a jejich následné seřazení podle výše nákladů. Srovnání výsledků použitých metod i metod samotných je provedeno v závěru této práce.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** teorie spolehlivosti; spolehlivost; spolehlivost distribuční sítě; garantované standardy; SAIFI; SAIDI; CAIDI; MAIFI; distribuční síť; nedodaná energie; elektrická energie;



**ABSTRACT**

The goal of this thesis is to inform about ways of evaluation of distribution network reliabilities in the states of the European Union and in the Czech Republic and evaluation of reliability of particular distribution network and results of used methods. Therefore, there is at first an introduction to the reliability theory, basic terms and quantities from this field. After the introduction follows the explanation of using and calculating of the reliabilities in the electro-energetics and detailed description of methods used for their calculations. There is also a detailed explanation of the basis of reliability schemes and simulative methods. This part includes the evaluation of the reliability in the Czech Republic from the position of guaranteed standards of the continuousness electric energy delivery and the individual standards are introduced and explained here. The present situation in European Union is being shown in the summary of system and customer standards of electric power supply continuousness used in the specific countries. Distribution network reliability is evaluated with the use of so called box graphs and methods for evaluation of reliabilities by giving the expenditures of probable undelivered energy and expenditures of crossing limit of the total time of interruption penalization. The box graphs method shows evaluation of the whole network and individual areas of the network from the view of number of year interruptions and the total amount of the time of all interruptions. The evaluation of the remaining two expenditure methods includes not only comparison of the whole network, but also comparison of the individual outputs of the network and their arrangement according to the height of expenditures. The comparison of the used method results is made in the thesis conclusion.

**KEY WORDS:** reliability theory; reliability; distribution network reliability; guaranteed standards; SAIFI; SAIDI; CAIDI; MAIFI; distribution network; undelivered energy; electric energy

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>13</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>15</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ.....</b>	<b>16</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>	<b>18</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>19</b>
<b>2 TEORIE SPOLEHLIVOSTI A ZÁKLADNÍ POJMY .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 OBLASTI ŘEŠENÍ SPOLEHLIVOSTI .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 ZÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI SPOLEHLIVOSTI. ....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 DRUHY PORUCH .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 ČÍSELNÉ VYJÁDŘENÍ SPOLEHLIVOSTI .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 VZTAHY MEZI ZÁKLADNÍMI SPOLEHLIVOSTNÍMI VELIČINAMI .....</b>	<b>25</b>
<b>3 VÝPOČET SPOLEHLIVOSTI V ENERGETICE .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 ZÍSKÁVÁNÍ VSTUPNÍCH ÚDAJŮ PRO SPOLEHLIVOSTNÍ VÝPOČTY .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 METODY VÝPOČTU SPOLEHLIVOSTI.....</b>	<b>29</b>
3.2.1 ZÁKLADNÍ METODY VÝPOČTU SPOLEHLIVOSTI .....	29
3.2.2 METODA SPOLEHLIVOSTNÍCH SCHÉMAT .....	29
3.2.3 MODIFIKOVANÁ METODA SPOLEHLIVOSTNÍCH SCHÉMAT .....	30
3.2.4 METODY SIMULAČNÍ (METODA MONTE-CARLO).....	30
<b>4 SOUČASNÁ SITUACE V ČR.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI DISTRIBUČNÍ SÍTĚ .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 GARANTOVANÉ STANDARDY .....</b>	<b>34</b>
4.2.1 GARANTOVANÉ STANDARDY NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	35
<b>5 SOUČASNÁ SITUACE V OSTATNÍCH STÁTECH EU .....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 PŘEHLED SYSTÉMOVÝCH STANDARDŮ NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY POUŽÍVANÝCH V ZEMÍCH EU .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2 PŘEHLED ZÁKAZNICKÝCH STANDARDŮ NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY POUŽÍVANÝCH V ZEMÍCH EU .....</b>	<b>37</b>
<b>6 HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI DANÉ SÍTĚ.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1 INFORMACE O ZADANÉ DISTRIBUČNÍ SÍTĚ .....</b>	<b>41</b>
<b>6.2 HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI POMOCÍ TZV. KRABICOVÝCH GRAFŮ.....</b>	<b>41</b>
6.2.1 HODNOCENÍ DISTRIBUČNÍ SÍTĚ Z HLEDISKA ROČNÍHO POČTU VÝPADKŮ .....	42
6.2.2 HODNOCENÍ DISTRIBUČNÍ SÍTĚ Z HLEDISKA SOUHRNNÉ DOBY TRVÁNÍ VÝPADKŮ .....	45
<b>6.3 URČENÍ NÁKLADŮ NA PŘERUŠENÍ POMOCÍ NEDODANÉ ENERGIE .....</b>	<b>48</b>
<b>6.4 URČENÍ NÁKLADŮ NA PŘERUŠENÍ POMOCÍ NÁKLADŮ NA PENALIZACE.....</b>	<b>60</b>
6.4.1 NÁKLADY NA PENALIZACI PŘI PŘEKROČENÍ ROČNÍHO LIMITU POČTU PŘERUŠENÍ.....	60
6.4.2 NÁKLADY NA PENALIZACI PŘI PŘEKROČENÍ LIMITU SOUHRNNÉ DOBY TRVÁNÍ PŘERUŠENÍ.63	63
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>67</b>

---

**POUŽITÁ LITERATURA .....69**

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Vanová křivka.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 5-1 Ukázka krabicového grafu [5].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 6-1 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech <math>n_v</math> v celé síti za dobu sledování <math>T_s</math>.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 6-2 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech <math>n_v</math> v Oblasti 1 za dobu sledování <math>T_s</math>.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 6-3 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech <math>n_v</math> v Oblasti 2 za dobu sledování <math>T_s</math>.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 6-4 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech <math>n_v</math> v Oblasti 3 za dobu sledování <math>T_s</math> ....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 6-5 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech <math>t_s</math> v celé síti za dobu sledování <math>T_s</math>.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 6-6 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech <math>t_s</math> v Oblasti 1 síti za dobu sledování <math>T_s</math>.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 6-7 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech <math>t_s</math> v Oblasti 2 síti za dobu sledování <math>T_s</math>.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 6-8 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech <math>t_s</math> v Oblasti 3 síti za dobu sledování <math>T_s</math>.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 6-9 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii bez rozlišení MO, VO pro jednotlivé oblasti.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 6-10 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii bez rozlišení MO a VO pro celou síť.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 6-11 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM bez rozlišení MO, VO pro jednotlivé oblasti.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 6-12 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM bez rozlišení MO, VO pro celou síť.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 6-13 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii MO pro jednotlivé oblasti.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 6-14 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii MO pro celou síť.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 6-15 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, MO pro jednotlivé oblasti.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 6-16 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, MO pro celou síť.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 6-17 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, VO pro jednotlivé oblasti.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 6-18 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, VO pro celou síť.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 6-19 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii VO pro jednotlivé oblasti.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6-20 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii VO pro celou síť.....</i>	<i>59</i>

---

<i>Obr. 6-21 Graf vyjadřující náklady na penalizaci při překročení limitu pro jednotlivé oblasti sítě</i>	<i>61</i>
<i>Obr.6-22 Graf vyjadřující <math>C_{p,L_t}</math> pro limit <math>L_t = 1 \div 12 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}</math> pro jednotlivé oblasti sítě</i>	<i>64</i>

## SEZNAM TABULEK

Tab. 4-1 Tabulka standardů nepřetržitosti dodávky na úrovni systému [5] .....	37
Tab. 4-2: Zákaznické standardy s limitem roční doby trvání jednoho přerušení (neplánovaného) v zemích EU [5].....	39
Tab. 4-3: Zákaznické standardy s limitem roční doby trvání jednoho přerušení (neplánovaného) v zemích EU [5].....	40
Tab. 4-5: Tabulka zkratk zemí použitých v tabulkách .....	40
Tab. 6-1: $C_{ENS}$ bez rozlišení MO, VO.....	50
Tab. 6-2: $C_{ENS}$ na IOM bez rozlišení MO, VO.....	51
Tab. 6-3: $C_{ENS}$ MO .....	53
Tab. 6-4: $C_{ENS}$ na IOM, MO .....	55
Tab. 6-5: $C_{ENS}$ na IOM, VO.....	56
Tab. 6-6: $C_{ENS,VO}$ .....	58
Tab. 6-7: Průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii.....	59
Tab. 6-8: Tabulka 10% nejhorších vývodů z hlediska průměrných ročních nákladů na pravděpodobně nedodanou energii.....	60
Tab. 6-9: Náklady na přerušení při limitu výpadků $L_n = 4 \div 10 \text{ rok}^{-1}$ .....	61
Tab. 6-10: 10% nejhorších vývodů z hlediska nákladů na přerušení pro limit $L_n = 4 \div 6 \text{ rok}^{-1}$ .....	62
Tab. 6-11: 10% nejhorších vývodů z hlediska nákladů na přerušení pro limit $L_n = 7 \div 10 \text{ rok}^{-1}$ ....	63
Tab. 6-12: $C_{p,L_t}$ pro limit souhrnné doby trvání přerušení $L_t = 1 \div 12 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$ .....	64
Tab. 6-13: 10% nejhorších vývodů celé sítě z hlediska $C_{p,L_t}$ pro $L_t = 1 \div 6 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$ .....	65
Tab. 6-14: 10% nejhorších vývodů celé sítě z hlediska $C_{p,L_t}$ pro $L_t = 7 \div 12 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$ .....	66

## SEZNAM SYMBOLŮ

$C_{ENS}$	průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii
$C_{ens, mo}$	průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii pro maloodběratele
$C_{ENS,o}$	průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii pro $o$ -tého odběratele
$C_{ens,vo}$	průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii pro velkoodběratele
$CI$	(customer interruption) - ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení
$C_{kwh}$	cena za jednu kWh nedodané energie
$CML$	(customer minutes lost) - ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení
$C_p$	penalizace na jedno odběrné místo
$C_{p,Ln}$	náklady na penalizaci při překročení ročního limitu přerušení
$C_{p,Lt}$	náklady na penalizaci při překročení limitu souhrnné doby ročního trvání přerušení
$C_{pv,q}$	náklady na penalizace
$f$	funkce hustoty pravděpodobnosti
$I_{max,o}$	maximální proudové zatížení u $o$ -tého odběratele
$l$	intenzita poruch
$L_n$	limit ročního počtu přerušení
$L_t$	limit souhrnné roční doby trvání přerušení
$L_x$	limit obecného ukazatele
$MAIFI$	ukazatel průměrné četnosti krátkodobých přerušení
$n$	je roční počet přerušení
$N_{MO}$	počet maloodběratelů v jednom odběrném místě sítě
$n_o$	počet přerušení u $o$ -tého odběratele
$n_v$	počet přerušení pro jedno odběrné místo v jednom roce
$o$	index odběratele
$O_G$	celkový počet odběrných míst v síti
$O_u$	počet odběrných míst v $u$ -tém uzlu
$O_v$	počet odběratelů ve sledované oblasti
$P_{max,o}$	maximální odebíraný výkon
$P_{MO}$	výkon odebíraný maloodběrateli
$Q$	pravděpodobnost poruchy
$R$	pravděpodobnost bezporuchového chodu

---

$SAIDI$	ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení
$SAIFI$	ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení
$t$	střední doba trvání poruchy
$t_{p,o}$	je průměrná doba trvání jednoho přerušení u o-tého odběratele v určeném období
$T_s$	doba sledování
$t_s$	souhrnná doba trvání přerušení na vývodech
$t_s$	střední doba mezi poruchami
$T_{u,o}$	je doba užívání maxima
$t_{umax}$	doba užití maximálního výkonu
$u$	index uzlu sítě.
$U_s$	sdružené napětí sítě
$W_{ned,MO}$	pravděpodobně nedodaná energie pro maloodběratele
$W_{ned,o}$	pravděpodobně nedodaná energie pro o-tého odběratele
$W_{ned,VO}$	pravděpodobně nedodaná energie pro velkoodběratele
$x$	hodnota náhodné veličiny
$x_o$	porovnávaný obecný ukazatel pro danou část sítě



**SEZNAM ZKRATEK**

ČR	Česká republika
EE	Estonsko
EU	Evropská unie
FI	Finsko
FR	Francie
GB	Velká Británie
HU	Maďarsko
IE	Irsko
IT	Itálie
LT	Lotyšsko
MO	maloodběratelé
NO	Norsko
OM	odběrné místo
PO	Polsko
PT	Portugalsko
SSSR	bývalý Sovětský svaz
USA	Spojené státy americké
VO	velkoodběratelé

# 1 ÚVOD

Problematika spolehlivosti se dotýká téměř všech oblastí lidského působení. Je nepostradatelnou součástí nejen elektroenergetiky a elektrotechniky, ale i řady dalších oborů. Její vliv na současnou podobu výroby, distribuce a spotřebu elektrické energie neustále roste. Je to mimo jiné zapříčiněno neustále se zvyšujícími požadavky na kvalitu a nepřetržitost dodávky elektrické energie. Pomocí nástrojů spolehlivosti lze provádět jednodušší porovnání v kvalitě dodávek elektrické energie zákazníkům a sledovat dohodnutou kvalitu služeb, což hraje na dnešním trhu s energií významnou úlohu. Díky spolehlivostním výpočtům lze minimalizovat náklady na výrobu a přenos elektrické energie, a tím snížit koncovou cenu a zlepšit konkurenceschopnost na trhu s elektřinou.

V této práci je provedeno seznámení s teorií spolehlivosti a jednoduchými spolehlivostními výpočty. Jsou zde popsány základní pojmy používané při určování a hodnocení spolehlivosti. Práce seznamuje s výpočtem spolehlivosti v elektroenergetice a jsou zde popsány metody používané při určování spolehlivosti distribučních sítí. Podrobněji jsou popsány metody spolehlivostních schémat a metody simulační. Je zde přiblížena současná situace v České republice z hlediska hodnocení spolehlivosti a jsou zde popsány garantované standardy nepřetržitosti dodávky elektrické energie v České republice. Je zde i ukázána současná situace této problematiky v ostatních státech Evropské Unie. Cílem práce je zadanými metodami zhodnotit spolehlivost konkrétní distribuční sítě. Je použita metoda tzv. krabicových grafů, pomocí které je provedeno hodnocení distribuční sítě z hlediska ročního počtu výpadků a z hlediska souhrnné doby trvání výpadků. Dále jsou použity metody oceňování spolehlivosti. Je provedeno určení nákladů na přerušení pomocí nedodané elektrické energie a z hlediska nákladů na penalizace. Náklady na penalizace jsou určovány pro překročení ročního limitu počtu přerušení a při překročení limitu souhrnné doby trvání přerušení. Výsledky získané použitím těchto metod jsou zhodnoceny a na jejich základě je provedeno srovnání jednotlivých metod.

## 2 TEORIE SPOLEHLIVOSTI A ZÁKLADNÍ POJMY

Pojem spolehlivost se často užívá při posuzování různých systémů, výrobku atd. Základní definici spolehlivosti uvádí norma ČSN 01 0102 : Spolehlivost je obecná vlastnost objektu, spočívající ve schopnostech plnit požadované funkce, při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů, v daných mezích a čase, podle stanovených technických podmínek [1].

Výpočet spolehlivosti zařízení se začal používat nejdříve v oblasti vojenské techniky. V této oblasti je také teorie spolehlivostních výpočtů nejlépe propracována. Mnoho spolehlivostních teorií (např. teorie stromu poruch) vzniklo při vývoji řízených střel. Výzkum spolehlivosti elektrizační soustavy začal ve 40. letech v USA, později v bývalém SSSR a ve Velké Británii. Od 50. let se provádí výzkum teorie spolehlivosti elektroenergetické soustavy ve všech vyspělých státech světa [1].

Spolehlivost elektroenergetické soustavy, konkrétně elektrických sítí, je v současné době stále více diskutovanou záležitostí. V době, kdy jednotlivé rozvodné akciové společnosti plně odpovídají za kvalitní dodávku elektrické energie odběratelům, vstupuje do hry tzv. nedodaná energie a její ocenění. Výpočet pravděpodobně nedodané energie je možný právě pouze z výsledků spolehlivostních výpočtů [1].

### 2.1 Oblasti řešení spolehlivosti

Spolehlivost elektroenergetické soustavy je chápána jako schopnost této soustavy zajistit kvalitní a nepřetržitou dodávku elektrické energie spotřebitelům. Nejedná se tedy jen o oblast přenosu a rozvodu elektrické energie [1].

Spolehlivost elektrických sítí byla obvykle rozdělována do tří základních oblastí [1]:

**A: Spolehlivost jednotlivých částí sítí v době tvorby projektové dokumentace.** Řešením matematických modelů lze určit spolehlivost na základě vztahů mezi jednotlivými prvky s využitím matematických modelů. Projektované řešení musí zajišťovat požadovanou spolehlivost, technické aspekty a ostatní požadavky. Výsledky spolehlivosti musí alespoň dosahovat požadované úrovně předepsaných hodnot.

**B: Spolehlivost již provozovaných sítí.** Znalost ukazatelů spolehlivosti jednotlivých částí sítě, až do prvků sítě, umožní optimalizaci revizní činnosti údržby a modernizaci zařízení. Cílem provozu je zlepšit spolehlivost jednotlivých prvků sítě a tím i celého systému. Dále je nutno sledovat trend spolehlivosti v jednotlivých letech a hodnotit ho na základě vynaložených prostředků.

**C: Spolehlivost v přípravě provozu elektroenergetického systému.** Jedná se o posuzování provozní spolehlivosti v oblasti dispečerského řízení. Z požadované spolehlivosti dodávky elektrické energie do jednotlivých uzlů se pak stanoví program chodu sítě, který musí respektovat plánované revize a opravy zařízení. Tento program musí brát v úvahu také zatížení sítě (např. zimní špička) a možné poruchové stavy.

V současné době jsou výpočty spolehlivosti elektrických sítí stále více spojovány s dvěma problémy provozu elektroenergetické soustavy:

A: Výpočet pravděpodobně nedodané energie, jehož základem je výpočet spolehlivosti, je v současné době stále více žádán. V době, kdy bude provedeno ocenění nedodané energie, budou výsledky výpočtu pravděpodobné nedodané energie jedním ze základních podkladů pro plánování investic a rekonstrukcí elektroenergetických zařízení.

B: Dalším problémem je oblast údržby elektroenergetické soustavy. Snahou provozovatelů elektrických sítí je minimalizovat náklady na údržbu, ovšem za předpokladu, že nedojde ke snížení spolehlivosti dodávky elektrické energie.

Pro řešení této problematiky je nutno provádět výpočty spolehlivosti s respektováním údržbových prostojů a dále provádět příslušná ekonomická vyhodnocení. Snahou je provádět údržbu nikoli podle času, ale dle skutečného stavu zařízení a minimalizovat údržbové prostoje.

Výpočty spolehlivosti v elektroenergetice mají spousty modifikací podle toho, co se od výsledků výpočtů očekává. Je nutno určit, jaká je struktura vstupních dat, jaká má být struktura výstupních dat a jaké mají být vazby výsledků výpočtů spolehlivosti na další matematické modely [1].

## 2.2 Základní pojmy z oblasti spolehlivosti.

V poslední době došlo k upřesnění základních pojmů teorie spolehlivosti vydáním norem:

ČSN 01 0101 Názvosloví z oboru řízení jakosti

ČSN 01 0102 Názvosloví spolehlivosti v technice

ČSN 01 0103 Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav

ČSN 01 0250, ČSN 01 0252, ČSN 01 0253 - Statistické metody v průmyslové praxi

Uvedeme několik základních pojmů a definic z normy ČSN 01 0102:

**Bezporuchovost** je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce, po stanovenou dobu a za stanovených podmínek. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností bezporuchového provozu v daném intervalu, intenzitou poruch, střední dobou bezporuchového provozu apod.

**Životnost** je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce do dosažení mezního stavu, při stanoveném systému předepsané údržby a oprav. Číselně se vyjadřuje např. technickým životem s předepsanou pravděpodobností, středním technickým životem nebo střední dobou používání.

**Udržovatelnost** je vlastnost objektu, spočívající ve způsobilosti k předcházení poruch předepsanou údržbou. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností provedení údržby ve stanovené době, střední dobou údržby nebo intenzitou údržby.

**Opravitelnost** je vlastnost objektu, spočívající ve způsobilosti ke zjišťování příčin vzniku jeho poruch a odstraňování jejich následků opravou. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností provedení opravy ve stanovené době, intenzitou oprav nebo střední dobou opravy.

**Skladovatelnost** je schopnost objektu zachovávat nepřetržitě bezvadný (a tedy provozuschopný) stav po dobu skladování a přepravy, při dodržení předepsaných podmínek. Číselně se vyjadřuje např. střední dobou skladovatelnosti.

**Bezpečnost** je vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí, při plnění předepsané funkce, po stanovenou dobu a za stanovených podmínek. Číselně se vyjadřuje např. pravděpodobností výskytu nebezpečné poruchy v daném časovém intervalu, intenzitou nebezpečných poruch apod.

**Objekt** je předmět stanoveného určení, uvažovaný z hlediska jeho zamýšleného poslání, jehož spolehlivost se studuje, zkoumá nebo zkouší. Objektem může být systém (soustava) nebo jeho (její) prvek.

**Prvek** je samostatně uvažovaná část objektu.

**Systém** (soustava) je souhrn vzájemně spjatých prvků, určených k plnění předepsaných funkcí.

**Porucha** je jev, spočívající v ukončení provozuschopného stavu objektu.

**Provozuschopný stav** je stav objektu, ve kterém je objekt schopen plnit (nebo plní) stanovené funkce a dodržuje hodnoty stanovených parametrů v mezích, stanovených technickou dokumentací.

**Údržba** je činnost, konaná za účelem udržení objektu v provozuschopném stavu, po dobu stanovenou technickými podmínkami. Spočívá (v pravidelně prováděné) kontrole stavu objektu a v provedení preventivních zásahů. Používá se též názvu "preventivní údržba".

**Oprava** je souhrn činností, konaných po poruše, za účelem navrácení objektu do provozuschopného stavu.

**Ukazatel spolehlivosti** je kvantitativní charakteristika jedné nebo několika vlastností, tvořících spolehlivost objektu.

Dále si uvedeme výklad základních pojmů z oblasti spolehlivosti při použití v energetickém systému [1]:

**Stáří** - Měřítka celkové doby zatížení, vyjádřené jako počet provozních hodin, počet cyklů, nebo jiných jednotek od nové nebo poslední údržby.

**Pohotovost** - Pravděpodobnost, že materiál, součástka, vybavení, systém nebo proces, je ve svém určeném funkčním stavu v daném čase, a je tedy buď v používání nebo je připraven pro použití v daném prostředí.

**Vanová křivka** - Křivka podmíněné pravděpodobnosti, která představuje vztah stáří-spolehlivost určitých objektů, charakterizovaná oblastí časných poruch („dětských nemocí“), oblastí s relativně konstantní mírou rizika, a oblastí identifikovatelného opotřebení.

**Podmíněná pravděpodobnost poruchy** - Pravděpodobnost, že systém nebo jeho část selže během specifického intervalu času, s tím, že neselže do tohoto intervalu.

**Projektovaná životnost** - Očekávaná doba nebo počet cyklů založený na návrhu objektu, během kterých zůstává daný objekt provozně efektivní a ekonomicky užitečný před opotřebením.

**Intenzita poruch** - Počet poruch na jednotkovou míru životnosti. Intenzita poruch je považována za konstantní během periody praktické životnosti.

**Období časných poruch** („Dětská nemoc“) - Relativně vysoká podmíněná pravděpodobnost poruchy během období okamžitě poté, co objekt začne pracovat. Takové poruchy jsou způsobeny vadami ve výrobě, nedetekovanými kontrolou kvality.

**Provozní spolehlivost** - Charakteristická vlastnost návrhu a instalace, která zajistí schopnost systému (zařízení) pracovat uspokojivě za daných podmínek, po specifickou časovou periodu.

**Životnost** - Uplynulý čas (v čase, cyklech atd.) od doby, kdy byl prvek nově vyroben (nebo obnoven na nulový stav), ve kterém utrpěl poruchu z opotřebením nebo je odstraněn z provozu, aby se zabránilo poruše z opotřebením v provozu.

**Udržovatelnost** - Měřítko snadnosti a rychlosti, se kterou lze systém nebo zařízení opravit do provozního stavu, následujícím po poruše, vyjádřené jako pravděpodobnost, že objekt bude uchován ve stavu nebo vrácen do původního stavu v dané periodě času, když se provádí údržba v souladu s předepsanými postupy a provozními prostředky.

**Střední doba mezi poruchami** - Celkový provozní čas (často uváděný v hodinách) dělený celkovým počtem poruch.

**Střední doba opravy** - Střední čas potřebný pro dokončení údržbářské činnosti tj. celkový prostoj aktivní údržby (tj. lokalizace poruchy, oprava poruchy, kalibrace a přezkoušení) dělený celkovým počtem údržbářských činností v daném časovém období, kromě těch časových prvků, které se vztahují k přípravě, administrativnímu prostoji a ze zpoždění dodávky.

**Spolehlivost** - Charakteristika objektu vyjádřená pravděpodobností, že bude provádět požadovanou funkci, za stanovených podmínek, po stanovený časový úsek.

**Spolehlivostní charakteristiky** - Parametry dané vztahem mezi provozním stářím prvku a jeho podmíněnou pravděpodobností poruchy.

**Spolehlivostně orientovaná údržba** - Disciplinovaná logika nebo metodologie použitá pro identifikaci úkolů preventivní údržby, k realizaci vnitřní spolehlivosti zařízení, při minimálním vydání provozních prostředků.

## 2.3 Druhy poruch

Poruchy mohou mít nejrůznější příčiny a mohou také různě ovlivňovat schopnosti provozu. Poruchy lze rozdělit podle několika hledisek. Podle povahy vzniku se poruchy dělí na náhlé a postupné, podle vlivu na schopnost provozu se rozlišují poruchy úplné a částečné. Zhoršení schopnosti provozu, které ještě nezpůsobí poruchu, se označuje jako závada. Havarijní porucha způsobí okamžitou a úplnou ztrátu schopnosti provozu. Degradáční porucha znamená částečnou poruchu vzniklou postupným zhoršením schopnosti provozu [1].

Částečné poruchy se projevují v počátečním období provozu. Jejich výskyt s rostoucím časem klesá. Příčinou těchto poruch jsou nedostatky při návrhu a výrobě. Poruchy dožitím

vznikají následkem opotřebení a stárnutí. Opotřebení znamená ve spolehlivosti postupné změny znaků soustavy nebo prvků, které jsou vyvolány zatížením, způsobeným pouze provozními podmínkami. Stárnutí znamená změny, vzniklé zatížením mimo provoz [1].

V teorii spolehlivosti se zvažují pouze náhodné poruchy, které vznikají bez zjevných předchozích příčin. Ostatní poruchy, které lze vysvětlit a předpovědět podle jiných závislostí, nejsou náhodné. Podle souvislosti s jinými poruchami se poruchy dělí na nezávislé a závislé. Závislá porucha vzniká následkem poruchy jiného prvku, nezávislá nikoliv. Podle doby trvání se rozlišují poruchy trvalé a poruchy dočasné. Trvalou poruchu je možno odstranit pouze opravou nebo náhradou porouchaného prvku, dočasné poruchy mohou samovolně vymizet nebo trvají jen po dobu působení vnějšího vlivu [1].

Dělení poruch do tříd je často relativní. Náhlé poruše obvykle předcházejí skryté změny vlastností prvku, které by bylo možno dosti podrobným zkoumáním zjistit a poruchu označit jako postupnou. Dokonalá znalost všech dějů probíhajících v materiálech prvku a přesná znalost postupu výroby a podmínek provozu, by dovolily předpovědět dobu vzniku poruchy prvku. V takovém případě by se porucha označila jako nenáhodná. Omezená znalost těchto činitelů je důvodem pro označení poruchy prvku jako náhodné [1].

## 2.4 Číselné vyjádření spolehlivosti

Číselné vyjádření spolehlivosti může být velmi různé podle toho, z jakých vstupních údajů se vychází a jaké metodiky se použije.

Nejběžnějším vyjádřením spolehlivosti je [1]:

- intenzita poruch  $\lambda$  [rok<sup>-1</sup>]
- střední doba trvání poruchy  $\tau$  [h]
- pravděpodobnost bezporuchového chodu  $R$  [-]
- pravděpodobnost poruchy  $Q$  [-]
- střední doba mezi poruchami  $t_s$  [h]

Intenzita poruch se vyjadřuje v počtu poruch za jednotku času (u zařízení v energetice zpravidla za rok). Střední doba trvání poruchy je udávána ve hodinách nebo ve dnech. Pravděpodobnost bezporuchového chodu a pravděpodobnost poruchy se udává jako poměrné číslo (desetinný zlomek) nebo je udávána v procentech. Tyto hodnoty jsou vztaheny na dobu, za kterou se pravděpodobnost určuje. Pravděpodobnost bezporuchového chodu (nebo poruchy) je i u zařízení s konstantní intenzitou poruch funkcí času, tj. doby, na kterou se spolehlivost vztahuje. Součet pravděpodobností bezporuchového chodu a pravděpodobnosti poruchy téhož systému je roven 1 (100%) [1].

Někdy splývá pojem pravděpodobnost bezporuchového chodu s pojmem spolehlivost.

Střední doba mezi poruchami se udává ve dnech nebo rocích a je to poměr celkové doby provozu k celkovému počtu poruch za tuto dobu. Střední doba mezi poruchami je úměrná převrácené hodnotě intenzity poruch [1].

V oblasti spolehlivosti jsou definovány tzv. obnovované a neobnovované objekty (systémy). Neobnovované objekty jsou ty, které jsou neopravitelné nebo ty, u kterých je oprava mnohem nákladnější než výměna. U těchto objektů je střední doba mezi poruchami nahrazena střední dobou do poruchy [1].

## 2.5 Vztahy mezi základními spolehlivostními veličinami

Jestliže daný objekt zahájí svoji činnost v čase  $t = 0$  a porucha nastane v čase  $t = x$ , nazývá se doba  $x$ , dobou do poruchy. V závislosti na povaze objektu nemusí jít vždy o astronomický čas, ale jen o dobu, po kterou je daný objekt v provozu nebo, v některých případech, o počet provozních cyklů (např. u výkonových vypínačů) [1].

Distribuční funkce doby do poruchy  $x$ . Vyjadřuje pravděpodobnost toho, že na intervalu  $(I;t)$  dojde k poruše. Je neklesající funkce času.

$$Q(t) = P(x < t) \quad (2.1)$$

Funkce spolehlivosti (pravděpodobnost bezporuchového stavu) vyjadřuje pravděpodobnost, že na intervalu  $(I;t)$  nedojde k poruše. Je to rostoucí funkce času.

$$R(t) = P(x \geq t) \quad (2.2)$$

Je-li distribuční funkce  $Q$  absolutně spojitá, nazývá se odpovídající hustota hustotou poruch.

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Poměr hustoty pravděpodobnosti poruchy a pravděpodobnosti bezporuchového stavu se nazývá intenzita poruchy.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.4)$$

Veličiny  $f(t)$  a  $\lambda(t)$  mají rozměr převrácené hodnoty času. Nejčastěji (hodina<sup>-1</sup>), (rok<sup>-1</sup>).

Každá ze základních veličin  $Q(t)$ ,  $R(t)$ ,  $f(t)$ ,  $\lambda(t)$  popisuje bezporuchovost neobnovovaného objektu stejně úplně a lze z každé z nich odvodit zbývající [1].

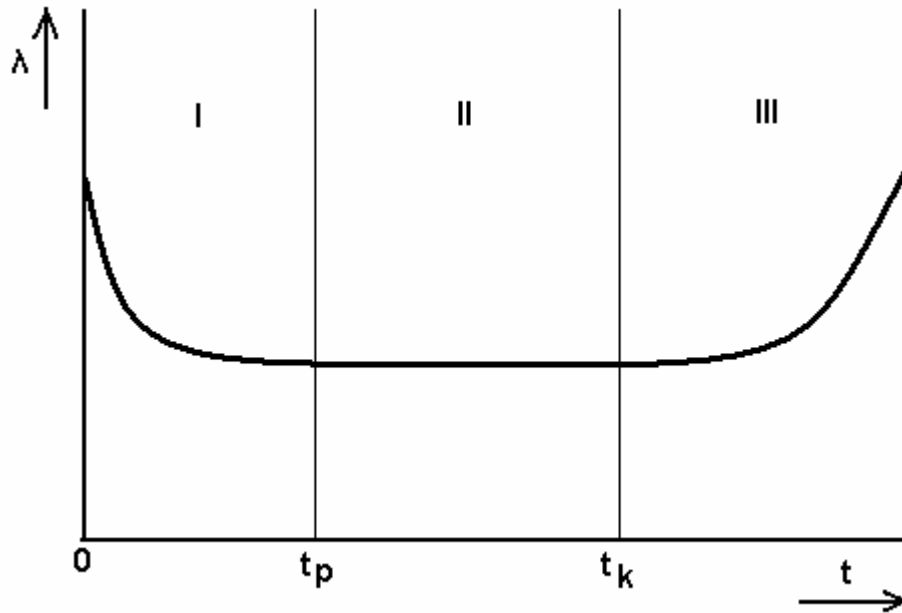
Jednou z velmi důležitých funkcí v teorii spolehlivosti je intenzita poruchy  $\lambda(t)$ , definovaná pro dobu do poruchy  $x$ , se spojitou distribuční funkcí  $Q(t)$  a hustotou  $f(t)$  pro taková  $t$ , pro která je  $Q(t) < 1$  [1].

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - Q(t)} \quad (2.5)$$

Na obr. 2-1 je její typický tvar. Tato křivka se nazývá vanová. Je rozdělena na tři části. První období I. se nazývá obdobím časných poruch a je typické jejich zvýšeným množstvím (období



dětských nemocí). Tyto poruchy jsou zaviněny různými výrobními vadami, vadami při montáži, ale i chybami při samotném návrhu. Po jejich odstranění však intenzita poruch klesá, došlo k záběhu výrobku či objektu, a k poruchám dochází spíše z vnějších příčin. Intenzita poruch je téměř konstantní a toto období II. se nazývá obdobím normálního využívání. Konečně období III. je charakterizováno procesy stárnutí, projevuje se degradace materiálu a intenzita poruch opět narůstá. Toto období se nazývá období poruch dožitím. [1]



Obr. 2-1 Vanovská křivka

### 3 VÝPOČET SPOLEHLIVOSTI V ENERGETICE

Většina spolehlivostech výpočtů probíhá tak, že ze znalosti spolehlivosti jednotlivých prvků systému je proveden výpočet celkové spolehlivosti systému. Proto spolehlivostní výpočty mají dvě základní fáze. První fází představuje získání vstupních spolehlivostech údajů, druhou fází pak představuje samotný výpočet spolehlivosti. Další fází pak může být zhodnocení výsledků výpočtu popř. stanovení opatření pro zvýšení spolehlivosti. Je však sporné, zda tyto další fáze řešení problému patří do samotné problematiky výpočtu spolehlivosti [1].

Je nutno konstatovat, že ve většině případů je daleko složitější a pracnější získat hodnověrná vstupní spolehlivostní data, než provést samotný spolehlivostní výpočet [1].

#### 3.1 Získávání vstupních údajů pro spolehlivostní výpočty

Metodiky pro získávání vstupních dat jsou rozdílné, vycházejí z druhu zkoumaného objektu, z dostupných údajů o zkoumaném objektu atd.

Podle způsobů získání vstupních dat pro výpočet lze spolehlivost rozdělit do dvou základních skupin [1] :

**Empirická spolehlivost** - Vstupní údaje pro výpočet spolehlivosti jsou získány z údajů o činnosti daného zařízení, nebo podobného zařízení, které pracuje v obdobných podmínkách. Pro empirickou spolehlivost je zapotřebí mít k dispozici údaje o chodu a poruchách prvků, které se ve spolehlivostním schématu vyskytují, nebo údaje o prvcích stejného typu, které pracují ve stejných nebo obdobných provozních podmínkách. Čím je tato informační databáze širší, tím jsou údaje z ní získané věrohodnější. Pro prvky elektroenergetické soustavy to znamená mít údaje o poruchách vypínačů, odpínačů, transformátorů, vedení atd. podle napěťové hladiny a konkrétního typu prvku. Je ovšem nutno mít také údaje o počtu a rozsahu zkoumaného zařízení. Nejde tedy pouze o údaj např. o počtu poruch a střední době poruchy vedení daného typu a dané napěťové hladiny, ale také o údaje o celkovém rozsahu sledovaného zařízení, tedy v tomto případě, o celkové délce vedení daného typu a dané napěťové hladiny. Sledování poruchovosti elektroenergetické soustavy je tedy základem pro výpočet její empirické spolehlivosti.

**Apriorní spolehlivost** - Vstupní údaje jsou určeny „předem“. Ze znalostí možných stavů daného objektu se vyjádří pravděpodobnost bezporuchového chodu. Apriorní spolehlivost prvků elektroenergetického rozvodu je provozní spolehlivost prvku při jeho nasazení do provozu, která je určena, aniž jsou známy údaje o poruchách prvků (nebo jiné provozní spolehlivostní údaje stejného typu). Jedná se o určení spolehlivostních veličin přímo z údajů výrobce. Znamená to, že pouze z údajů výrobce by bylo možno určit, optimální dobu mezi revizemi, intenzitu poruch atd. Komplexní výzkum v této oblasti podle dostupných zdrojů dosud nebyl prováděn. Otázka apriorní spolehlivosti prvků elektroenergetické soustavy nemůže být řešena obecně pro všechny prvky, protože každý prvek má jinou funkci, jinou konstrukci, jiný význam atd. Proto je nutno problematiku apriorní spolehlivosti řešit pro každou část elektroenergetického zařízení zvlášť.

Nekorektní vstupní data vedou samozřejmě k chybným výsledkům i při použití výpočtové metody. V mnoha případech spolehlivostních výpočtů v oblasti elektroenergetiky ovšem stojíme před problémem, že není k dispozici dostatek údajů o daném objektu (např. málo

historických údajů o poruchách). V těchto případech lze použít i přibližné vstupní spolehlivostní údaje, ale výsledky spolehlivostních výpočtů pak mohou sloužit pouze ke srovnání jednotlivých variant (např. zapojení sítě) s tím, že stejné vstupní spolehlivostní údaje budou použity pro spolehlivostní výpočet každé varianty [1].

Pro získávání vstupních údajů pro spolehlivostní výpočty se většinou používá empirická metoda, protože aplikace apriorních metod vyžaduje rozdílný přístup ke každému prvku elektroenergetické soustavy [1].

Empirické metody ovšem vyžadují přesné záznamy o poruchách. Aby byla daná poruchová databáze statisticky významná, vyžaduje to většinou, mít k dispozici údaje o poruchách za mnoho let zpět [1].

Z analýzy těchto databází lze pak stanovit základní spolehlivostní údaje jednotlivých prvků [1].

Pro intenzitu poruch je možno napsat následující vztah [1]:

$$\lambda = \frac{N}{Z * X} \quad [\text{rok}^{-1}] \quad (3.1)$$

Kde:

N - je počet poruch [-]

Z - je počet prvků příslušného typu v síti [-]

X - je délka sledovaného období [rok]

Pro intenzitu poruch vedení (za předpokladu rovnoměrného rozdělení četnosti poruch na jednotku délky vedení) platí [1]:

$$A = \frac{N}{L * 0,1 * X} \quad [\text{rok}^1/100 \text{ km}] \quad (3.2)$$

Pro střední dobu poruchy platí [1]:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i}{N_p} \quad [\text{h}] \quad (3.3)$$

Kde:

N<sub>p</sub> - je počet poruch prvku příslušného typu [-]

τ<sub>i</sub> - je doba poruchy prvku příslušného typu [h]

Intenzity poruch a střední doby poruch jednotlivých prvků pro stejný spolehlivostní výpočet je nutno brát z analýzy téže poruchové databáze [1].

## 3.2 Metody výpočtu spolehlivosti

### 3.2.1 Základní metody výpočtu spolehlivosti

Pro řešení spolehlivosti systémů existuje celá řada metod, které většinou řeší spolehlivost systému při známé spolehlivosti prvků systému. Výsledná spolehlivost je řešena v ustáleném stavu (nezávisle na čase) nebo jako časová funkce. Systém je ve spolehlivosti definován jako souhrn vzájemně vázaných prvků. Prvkem může být součást, skupina součástí, celé zařízení nebo soubor zařízení. Rozkladem soustavy na prvky lze popsat systém blokovým schématem. Prvky se obvykle uvažují jako dvoustavové, mohou se tedy vyskytovat buď v provozuschopném stavu nebo ve výpadku. Výpadek je definován poruchou, nebo vyřazením z důvodu údržby. Přejít mezi oběma stavy většinou zjednodušeně považujeme za okamžitý. V blokovém schématu se uvažuje vzájemná nezávislost prvků. Tento předpoklad v praxi vždy neplatí, proto je nutné blokové schéma doplnit o prvky, které existující vzájemné ovlivňování prvků simulují [1].

Vhodnost použití jednotlivých metod závisí na systému, jehož spolehlivost je řešena. Dalšími faktory jsou: struktura vstupních dat, požadované výsledky výpočtu, rozsah řešeného systému, požadovaná přesnost výsledků atd. [1].

Mezi základní metody výpočtu spolehlivosti patří mj. [1] :

- metoda spolehlivostních schémat
- metoda rozkladů
- metoda minimálních řezů
- metoda drah
- metoda incidenčních matic
- metoda stromu událostí
- metoda stromu poruch
- Markovovy procesy
- simulační metody výpočtu.

### 3.2.2 Metoda spolehlivostních schémat

Základním principem metody spolehlivostních schémat je sestavení spolehlivostního schématu, přiřazení příslušných spolehlivostních veličin k jednotlivým prvkům spolehlivostního schématu a následné zjednodušování spolehlivostního schématu až na jeden prvek, jehož spolehlivostní parametry jsou výsledné spolehlivostní parametry celého systému, který byl spolehlivostním schématem namodelován [1].

Hlavní výhody metody spolehlivostních schémat jsou mj.:

- studované systémy nemusejí ještě vůbec reálně existovat
- postup řešení je přehledný a matematicky málo náročný
- matematický postup nevyžaduje iterační výpočet

- přesnost výsledků je závislá pouze na přesnosti vstupních parametrů výpočtu

Nevýhody metody spolehlivostních schémat :

- nelze provádět výkonovou bilanci sítě (přetížení větví)
- odbočení typu „T“ je možno modelovat pouze přibližně

Metoda spolehlivostních schémat je základní metoda řešení spolehlivosti. Nejčastější je sériové a paralelní spojení prvků spolehlivostního schématu.

### 3.2.3 Modifikovaná metoda spolehlivostních schémat

Jedná se vlastně o aplikaci základní metodiky spolehlivostních schémat jenž je důsledně aplikována na elektroenergetické systémy. Její výhody oproti metodě spolehlivostních schémat jsou [1]:

- uvažuje údržbové prostoje
- umožňuje do výpočtu zahrnout i manipulace, uvažuje tedy s tzv. studenými rezervami
- umožňuje zavedení principu tzv. koordinace údržby

Při výpočtu se uvažují tyto provozní stavy:

- provoz
- poruchový prostoje, údržbový prostoje

Předpoklady a zjednodušení, které tato metodika využívá:

- neuvažuje se vliv počasí na intenzitu poruch a oprav
- uvažuje se exponenciální rozdělení distribuční funkce dob poruch a oprav
- pro všechny prvky elektrické sítě
- vychází se z průměrných údajů

Touto metodou můžeme provést výpočet prakticky všech druhů elektrických sítí. Základem této výpočtové metody spolehlivosti je řešení dílčích spolehlivostních zapojení dvou prvků. Jsou definována tři zapojení:

- sériové zapojení
- paralelní zapojení (horká rezerva)
- paralelní zapojení s manipulací (studená rezerva)

### 3.2.4 Metody simulační (Metoda Monte-Carlo)

Předpokladem simulačních metod je znalost intenzity výpadků (intenzita poruch + intenzita údržby) a střední doby výpadku všech prvků vyšetřované soustavy. Simulací se rozumí numerická metoda, která spočívá v experimentování s matematickými modely reálných systémů na číslicových počítačích [3].

Jako jedna ze simulačních metod je využívána pro výpočet spolehlivosti simulační metoda Monte-Carlo.

Uvedeme si praktické využití této metody v elektrických sítích.

Výhody simulační metody [3]:

- studované systémy nemusejí ještě vůbec reálně existovat
- studovaný systém může být příliš složitý pro použití analytických postupů
- simulace umožňuje studium chování systémů v reálném, zrychleném či zpomaleném čase. Druhá možnost je v tomto případě nejdůležitější, protože procesy výpadků prvků a jejich opětového uvádění do provozu jsou značně pomalé. Studovat je jinak než ve zrychleném čase by bylo značně neefektivní
- simulací lze ověřit výsledky získané jinými nezávislými postupy
- je možno modelovat odbočky typu „T“
- je provedena jednoduchá výkonová bilance schématu, u přetížených prvků je vždy simulován výpadek.

Nevýhody simulační metody [3]:

- výstavba užitečného simulačního modelu bývá značně zdlouhavá. Většinou je potřeba vytvořit několik variant modelu
- simulace je numerická metoda, takže řešení určitého problému obvykle nelze přenést na problémy obdobné
- výsledky získané ze stochastických simulačních modelů jsou hodnoty náhodných veličin. Zvyšování jejich přesnosti klade značné nároky na spotřebu strojového času.
- přesnost výsledků závisí na počtu iterací

Dalším problémem této metody je stanovení potřebného počtu iterací. Potřebný počet iterací je závislý na rozsahu řešené sítě a na požadované přesnosti.

Principem metody Monte-Carlo je numerický postup stochastického typu, jehož základem je nalezení souvislosti mezi veličinami, které jsou řešením zkoumaného problému a charakteristikami náhodných procesů. Použitím metody Monte-Carlo dostáváme hodnoty, které řeší daný problém pomocí umělé realizace náhodných procesů. Tyto procesy jsou postaveny tak, aby jejich statistické hodnoty byly hledanými hodnotami [3].

## 4 SOUČASNÁ SITUACE V ČR

### 4.1 Hodnocení spolehlivosti distribuční sítě

Spolehlivost distribučních sítí lze popsat řadou různých ukazatelů, které jsou speciálně určeny pro tyto sítě a v jiných oblastech elektroenergetiky se nepoužívají. Pokud není výslovně uvedeno jinak, zahrnují se do výpočtu ukazatelů pouze dlouhodobá přerušení.

Ukazatele spolehlivosti distribučních sítí rozdělujeme na [5]:

- základní ukazatele
- agregované ukazatele

U  $o$ -tého odběratele zachycují spolehlivost dodávky elektrické energie základní (lokální) ukazatele [5]:

- počet přerušení u tohoto odběratele v určeném období  $n_o$  (nejčastěji v roce)
- souhrnná doba trvání přerušení u tohoto odběratele v určeném období (nejčastěji v roce)
- průměrná doba trvání jednoho přerušení u tohoto odběratele v určeném období (nejčastěji v roce)

Tyto ukazatele charakterizují dodávku u jednotlivých odběratelů. Dá se tedy říci, že ji charakterizují z pohledu zákazníků. V  $u$ -tém uzlu sítě zachycují spolehlivost dodávky elektrické energie ukazatele [5]:

- počet přerušení v tomto uzlu v určeném období  $n_u$  (nejčastěji v roce)
- souhrnná doba trvání přerušení v tomto uzlu v určeném období (nejčastěji v roce)
- průměrná doba trvání jednoho přerušení v tomto uzlu v určeném období (nejčastěji v roce)

Pro získání přehledu o spolehlivosti dodávky v síti jako celku (příp. v její určité části) je obvykle prováděna agregace jednotlivých údajů o přerušeních. Jsou vypočítávány tzv. agregované ukazatele spolehlivosti dodávky, které mají obvykle podobu průměrné hodnoty. Mezi nejobvyklejší globální ukazatele patří [5]:

- ukazatel průměrné systémové četnosti přerušení **SAIFI** (system average interruption frequency index)

$$SAIFI = \frac{\sum_u n_u O_u}{O_G} = \frac{\sum_o n_o}{O_G} \quad (4.1)$$

Kde:

$O_u$  - je počet odběrných míst v  $u$ -tém uzlu,

$O_G$  - je celkový počet odběrných míst v síti,

$n_o$  - je počet přerušení u  $o$ -tého odběratele.

Pozn. V některé literatuře bývá používáno také označení *CI* (customer interruption).

- ukazatel průměrné systémové doby trvání přerušení **SAIDI** (system average interruption duration index)

$$SAIDI = \frac{\sum_u t_{s,u} O_u}{O_G} = \frac{\sum_o t_{s,o}}{O_G} \quad (4.2)$$

Kde  $t_{s,u}$  je souhrnná doba trvání přerušení

Pozn. Ukazatel **SAIDI** bývá také označován **CML** (customer minutes lost).

- ukazatel průměrné doby trvání přerušení u odběratele **CAIDI** (customer average interruption duration index)

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (4.3)$$

Mimo uvedený způsob výpočtu jsou někdy jednotlivá přerušení „vážena“ podle:

- počtu postižených stanic nebo transformátorů,
- nedodaného výkonu.

Tyto způsoby výpočtu se používají v případech, kdy nelze díky nedostatku dat provést výpočet podle ( 4.1 ) a ( 4.2 ). Jednotlivé způsoby výpočtu vedou k odlišným hodnotám ukazatelů, což ztěžuje posuzování hodnot ukazatelů v širším měřítku (srovnávání v rámci Evropy apod.). Narůstající citlivost odběrů na krátkodobá přerušení vedla k zavedení ukazatelů i pro tato přerušení. Obvykle je používán ukazatel průměrné četnosti krátkodobých přerušení **MAIFI** (momentary average interruption frequency index) [5]:

$$MAIFI = \frac{\sum_o n_o^{(kr)}}{O_G} \quad (4.4)$$

Kde:

$n_o^{(kr)}$  - je počet krátkodobých přerušení u  $o$ -tého odběratele v daném období (obvykle roce).

Ukazatel **MAIFI** řadíme také mezi agregované ukazatele.

Dalším důležitým ukazatelem spolehlivosti je pravděpodobně nedodaná elektrická energie  $W_{ned,o}$ , která se pro případ  $o$ -tého odběratele sítě stanoví na základě četnosti přerušení  $n_o$  podle vztahu [5]:

$$W_{ned,o} = \frac{n_o \cdot t_{p,o} \cdot T_{u,o} \cdot P_{max,o}}{T_s} \quad (4.5)$$

Kde:

$t_{p,o}$  - je průměrná doba trvání jednoho přerušení u  $o$ -tého odběratele v určeném období



$T_{u,o}$  - je doba užívání maxima

$T_s$  - je doba sledování (doba, za kterou je  $W_{ned,o}$  určována)

$P_{max,o}$  je maximální odebíraný výkon

Kromě těchto uvedených ukazatelů je možné zavést ještě další ukazatele. Ovšem toto velké množství ukazatelů ztěžuje orientaci v údajích, při srovnávání spolehlivostí různých sítí. Ukazatele spolehlivosti by nám naopak měli usnadnit porovnávání spolehlivosti distribučních sítí, i za cenu ztráty množství cenných informací o spolehlivosti sítě, které třeba lépe zachycují různé spolehlivostní charakteristiky [1].

## 4.2 Garantované standardy

Požadovaná kvalita dodávek elektřiny a souvisejících služeb je vyjadřována pomocí garantovaných standardů kvality dodávky elektřiny a souvisejících služeb. Garantované standardy stanoví vyhláška č. 540/2005 Sb., včetně výše náhrad za jejich nedodržení a postupu při uplatňování nároku na náhrady.

**Garantovanými standardy přenosu nebo distribuce elektřiny** podle vyhlášky č. 540/2005 Sb. jsou:

- Standard obnovy přenosu nebo distribuce elektřiny po poruše,
- Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny,
- Standard výměny poškozené pojistky,
- Standard kvality elektřiny,
- Standard lhůty pro vyřízení reklamace kvality elektřiny,
- Standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality elektřiny,
- Standard zaslání stanoviska k žádosti o připojení zařízení žadatele k přenosové nebo distribuční soustavě,
- Standard umožnění přenosu nebo distribuce elektřiny,
- Standard obnovy distribuce elektřiny po přerušení distribuce elektřiny z důvodu prodloužení konečného zákazníka nebo dodavatele sdružené služby s úhradou plateb za poskytnutou distribuci elektřiny,
- Standard obnovy distribuce elektřiny po přerušení distribuce elektřiny na žádost dodavatele nebo dodavatele sdružené služby,
- Standard lhůty pro vyřízení reklamace měření dodávky elektřiny,
- Standard předávání údajů o měření,
- Standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování distribuce elektřiny,
- Standard dodržení termínu schůzky s konečným zákazníkem.

**Garantovanými standardy dodávek jsou:**

- Standard zajištění obnovy dodávky elektřiny po přerušení dodávky z důvodu prodloužení konečného zákazníka s úhradou plateb za odebranou elektřinu,
- Standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování dodávky elektřiny.

**4.2.1 Garantované standardy nepřetržitosti dodávky elektrické energie**

Mezi garantované standardy nepřetržitosti dodávek elektrické energie patří pouze první tři garantované standardy přenosu nebo distribuce elektřiny (§5, §6, a §7 vyhlášky č. 540/2005 Sb.)

**Standard obnovy přenosu nebo distribuce elektřiny po poruše**

**Standardem obnovy distribuce elektřiny po poruše** je obnova distribuce elektřiny do odběrného nebo předávacího místa provozovatele lokální distribuční soustavy nebo konečného zákazníka po vzniku poruchy, a to ve lhůtě do:

- a) 18 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní do 1 kV
- b) 12 hodin v sítích distribuční soustavy s napětovou úrovní nad 1 kV

Uvedená lhůta počíná okamžikem, kdy se provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku poruchy na příslušné napětové hladině nebo kdy vznik poruchy zjistil nebo objektivně mohl zjistit.

Jestliže dojde ke vzniku více poruch současně nebo dojde ke vzniku poruch následných, je standard obnovy distribuce elektřiny po poruše dodržen, jsou-li v uvedené lhůtě odstraněny všechny poruchy, které spolu vzájemně souvisejí nebo které vznikly v důsledku první poruchy. Krátkodobá obnova distribuce elektřiny, při provádění manipulací pro vymezení místa poruchy, neznamená prodloužení lhůty stanovené ve standardu obnovy distribuce elektřiny po poruše.

**Standardem obnovy přenosu nebo distribuce elektřiny z výroby elektřiny** připojené do přenosové nebo distribuční soustavy po poruše je obnova schopnosti přenosové nebo distribuční soustavy, přenášet nebo distribuovat elektřinu z předávacího místa výroby elektřiny ve lhůtě 48 hodin od okamžiku, kdy se provozovatel přenosové distribuční soustavy dozvěděl o vzniku poruchy nebo kdy vznik poruchy zjistil nebo objektivně mohl zjistit.

Za nedodržení standardu obnovy distribuce elektřiny po poruše poskytuje provozovatel distribuční soustavy konečnému zákazníkovi náhradu ve výši 10 % z jeho roční platby za distribuci, stanovené podle platného cenového rozhodnutí a rezervované kapacity a množství elektrické práce dodané v předchozím ročním účetním období, maximálně však:

- a) 5 000 Kč v sítích do 1 kV
- b) 10 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV
- c) 100 000 Kč v sítích nad 52 kV

**Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny**

Standardem dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny je zahájení a ukončení omezení nebo přerušení distribuce elektřiny v době, která byla jako doba zahájení a

ukončení omezení nebo přerušení distribuce elektřiny konečným zákazníkům ohlášena. Zahájení a ukončení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny provozovatel distribuční soustavy též zveřejní způsobem umožňujícím dálkový přístup. Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny není dodržen, jestliže provozovatel distribuční soustavy omezí nebo přeruší distribuci elektřiny dříve, než ohlásil, nebo ukončí omezení nebo přerušení distribuce elektřiny později, než ohlásil.

Za nedodržení standardu dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny poskytuje provozovatel distribuční soustavy konečnému zákazníkovi náhradu ve výši 10 % z jeho roční platby za distribuci, stanovené podle platného cenového rozhodnutí a rezervované kapacity a množství elektrické práce dodané v předchozím ročním účetním období, maximálně však:

- a) 5 000 Kč v sítích do 1 kV
- b) 10 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV
- c) 100 000 Kč v sítích nad 52 kV

Plánované omezení nebo přerušení distribuce, je daný distributor, podle energetického zákona [4], povinen oznámit, a to „způsobem v místě obvyklým, nejméně však 14 dnů předem“. Podle tohoto zákona „oznamovací povinnost nevzniká při provádění nutných provozních manipulací, při nichž omezení nebo přerušení dodávky elektřiny nepřekročí 20min“.

#### **Standard výměny poškozené pojistky**

Standardem výměny poškozené pojistky je provedení výměny poškozené pojistky v hlavní domovní pojistkové nebo kabelové skříni konečného zákazníka a umožnění obnovení distribuce elektřiny nejdéle do 6 hodin od okamžiku, kdy je příslušný provozovatel distribuční soustavy konečným zákazníkem nebo dodavatelem sdružené služby informován o přerušení distribuce elektřiny do odběrného místa konečného zákazníka. Tento standard se nevztahuje na vztah provozovatele distribuční soustavy a provozovatele lokální distribuční soustavy.

Za nedodržení standardu výměny poškozené pojistky se nepovažuje výměna poškozené pojistky a obnova distribuce elektřiny ve lhůtě delší než 6 hodin, pokud se prokazatelně jedná o přerušení distribuce elektřiny v důsledku poškození pojistky způsobené odběrným elektrickým zařízením konečného zákazníka nebo elektrickou přípojkou, která není ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy a není ani provozovatelem distribuční soustavy provozována podle § 45 odst. 5 energetického zákona, nebo společným elektrickým zařízením nemovitosti.

Za nedodržení standardu výměny poškozené pojistky poskytuje příslušný provozovatel distribuční soustavy konečnému zákazníkovi náhradu ve výši 1 000 Kč.

U všech těchto tří standardů musí o náhradu zákazník požádat. A to do 5 pracovních dnů ode dne následujícího po dni, ve kterém uplynul limit podle příslušného standardu a to formou žádosti. Vzory potřebných žádostí jsou přílohou vyhlášky č. 540/2005 Sb..

## 5 SOUČASNÁ SITUACE V OSTATNÍCH STÁTECH EU

### 5.1 Přehled systémových standardů nepřetržitosti dodávky používaných v zemích EU

V posledních 5 letech vyvinuli evropští regulátoři různá schémata pro regulaci nepřetržitosti dodávky z distribučních sítí, která obsahují systémové standardy spojené s penalizacemi, případně i s pobídkami. Tyto systémové standardy jsou v platnosti v 8 z 19 sledovaných zemí: v Itálii (od r. 2000), Norsku a Irsku (od r. 2001), Velké Británii (od r. 2002), Maďarsku a Portugalsku (od r. 2003), Švédsku (od r. 2004) a Estonsku (od r. 2005). Další země vyjádřily zájem o využívání pobídkového schématu v budoucnu: Finsko (od r. 2008), Francie a Litva (od r. 2008), Polsko, Španělsko a Slovinsko (viz *Tab. 4-1*) [5].

*Tab. 4-1 Tabulka standardů nepřetržitosti dodávky na úrovni systému [5]*

Systémové standardy	GB ( <i>SAIDI, SAIFI</i> ) HU (míra výpadků, poruchy/km, průměrná doba obnovy (vn), průměrný počet vzájemně závislých poruch (nn), <i>SAIDI, SAIFI</i> , procento zaznamenaných obnovení za 3 hod až 24 hod) IE ( <i>SAIDI</i> a ztráty do 2005; <i>SAIDI, SAIFI</i> a ztráty od 2006) IT ( <i>SAIDI</i> ) NO ( <i>ENS</i> ) PT ( <i>ENS</i> ) SE ( <i>SAIDI, SAIFI</i> ) ES ( <i>TIEPI-MV, NIEPI-MV, 80procentní TIEPI-MV</i> ) EE (není k dispozici)
Zvláštní plány	ES, PT, SE
Jiné schéma režimu pobídek, resp. penále	EE, GB, HU, IE, IT, NO, PT, SE
Zájem	ES, FI, FR, LT, PL, SI

### 5.2 Přehled zákaznických standardů nepřetržitosti dodávky používaných v zemích EU

Zákaznické standardy nepřetržitosti dodávky obsahují limity, které mají být dodrženy u každého jednotlivého zákazníka, který je připojen k síti. V rámci zákaznických standardů jsou hodnoceny základní ukazatele spolehlivosti. Jako posuzované ukazatele se tedy objevují u těchto standardů [5]:

- roční počet přerušení,
- roční souhrnná doba trvání přerušení,

- doba trvání jednoho přerušení.

Standardy se mohou lišit v závislosti na typu zákazníka (domácnosti, podnikatelský maloodběr atd.), ale také v závislosti na úrovni napětí sítě. Zákazníci, kteří neobdrží služby stanovené standardem, jsou oprávněni získat kompenzační platby od distributora. Tyto kompenzační (z pohledu distributora „penalizační“) platby mohou být buď automatické nebo na požádání postižených zákazníků, mohou se lišit podle typu zákazníka, a v některých případech, podle rozdílu mezi skutečnou hodnotou ukazatele a limitem. Stanovení standardů pro jednotlivé zákazníky znamená, že je nutné mít systém měření na úrovni jednotlivých zákazníků, kteří si mohou dělat nároky na kompenzace [5].

Zákaznické standardy s limitem ročního počtu přerušení, jak je možné vidět v tabulce (*Tab. 4-2*), již zavedlo 8 zemí. Tři země (Španělsko, Portugalsko a Polsko) zavedly zákaznické standardy s limitem doby trvání jednoho přerušení (viz. *Tab. 4-3*) [5].

Tab. 4-2: Zákaznické standardy s limitem roční doby trvání jednoho přerušení (neplánovaného) v zemích EU [5]

Země	Standard	Podmínky	Kompenzace	
BE (Wall.)	4 hod.	Mimořádné události (vyšší moc) jsou vyloučeny	Ekonomická kompenzace na požádání. Po 4 hod. musí být instalován mobilní zdroj.	Odškodnění pouze v případě, že se jedná o vinu distributora.
EE	20 hod. (v létě) 24 hod. (v zimě); v r. 2008 přísnější standardy	Mimořádné události (vyšší moc) jsou vyloučeny	Automaticky u 3 největších distribučních společností; na požádání u státních společností	nn<63A: od 8 € (do 48 hod) do 28 € (více než 96 hod) vn: od 0,77 €/kW do 2,3 €/kW podle doby trvání
FI	12 hod.	Mimořádné události (vyšší moc) jsou vyloučeny; kromě toho v případě rizika bezpečnosti práce pracovníků může distributor odložit zahájení počítání času	Zákazník musí požádat o kompenzaci, ale Provozovatel distribuční soustavy by měl zajistit snadnost. Mnoho společností platí kompenzace automaticky.	Přerušení 12 hod. až 24 hod.: kompenzace 10 % poplatků zákazníka za síť za rok; přerušení 24 hod. až 72 hod.: kompenzace 25 %; přerušení 72 hod. až 120 hod.: kompenzace 50 %; nad 120 hod.: 100%, max.350€/přerušení
FR	6 hod.	Mimořádné události (vyšší moc) jsou vyloučeny	automaticky	Pro každých 6 hod. přerušení 2 % z pevné složky tarifu závislé na odebírané energii (4 % po 12 hod., ...)
GB	18 hod. (normální počasí); 24 hod. až 141 hod. pro mimořádné události	Vyloučení extrémního počasí. Některé mimořádné události vyloučeny	Na požádání zákazníka	50 £ domácnosti, 100 £ ostatní zákaz., +25 £ za každých dalších 12 hod.; 25 £ (do 36 £) + 25 £ za každých dalších 12 hod. až do 200 £ (všechny typy zákazníků)
HU	12 hod. (u jednotlivých poruch); 18 hod. (u několika poruch)	Mimořádné události vyloučeny	Automaticky u 1 společnosti ze 6, u ostatních 5 na požádání	Domácnosti: automatické platby do 8 €, na požádání 20 €. Ostatní zákazníci: od 12 € (nn, automaticky) do 120 € (vn na požádání)
LT	24 hod. (přísnější standardy u zvláštních dohod pouze u některých zákazníků)	Mimořádné události vyloučeny	Na požádání zákazníka	Není definováno

Tab. 4-3: Zákaznické standardy s limitem roční doby trvání jednoho přerušení (neplánovaného) v zemích EU [5]

Země	Standard	Podmínky	Kompenzace	
ES	Zákazníci vn: města: 4 hod./rok, příměstské oblasti: 8 hod./rok, konc. venkov: 12 hod./rok; rozptýlený venkov: 16 hod./rok; Zákazníci nn: města: 6 hod./rok, příměstské oblasti: 10 hod./rok, konc. venkov: 15 hod./rok; rozptýlený venkov: 20 hod./rok; Zákazníci vn (>36 kV): 6 hod/rok	Mimořádné události jsou vyloučeny	Automaticky	$Sleva = PW * DH * 5 * P$ PW= fakturovaný průměrný roční výkon, DH= rozdíl mezi počtem hodin přerušení u zákazníka a hodinami v požadovaném standardu; P= cena za kWh pro neoprávněného zákazníka nebo P = poslední roční průměrná hodinová cena za kWh na burze pro oprávněného zákazníka
PL	zákazníci nn: 60 hod./rok	Využitelné pouze u přerušení kvůli přenosovým službám; mimořádné události (vyšší moc) jsou vyloučeny	Na požádání zákazníka	Za každou nedodanou jednotku elektrické energie by zákazník měl být oprávněn dostat slevu = 5x cena elektřiny za období přerušení
PT	Zákazníci vn: města: 4 hod./rok, příměstské oblasti: 8 hod/rok, venkov: 16 hod./rok; Zákazníci nn: města: 6 hod./rok, příměstské oblasti: 10hod./rok, venkov: 20 hod./rok; Zákazn. vn (>36 kV): 4 hod./rok	Vyloučeny jsou všechny mimořádné události kvůli vyšší moci, veřejnému zájmu, bezp.důvodům, smlouvám se zákazníkem a okolnosti připisované zákazníkovi	Automaticky	Kompenzace závisí na standardu, skutečné době přerušení registrované pro každého zákazníka, úrovni napětí a nasmlouvané energii

Tab. 4-5: Tabulka zkratk zemí použitých v tabulkách

Seznam zkratk zemí	
EE	Estonsko
FI	Finsko
FR	Francie
GB	Velká Británie
HU	Maďarsko
IE	Irsko
IT	Itálie
LT	Lotyšsko
NO	Norsko
PO	Polsko
PT	Portugalsko

Tyto nastavené limity se mohou v jednotlivých zemích lišit, a to v závislosti na napěťové hladině a typu zákazníka. Ve Španělsku a Portugalsku jsou limity rozděleny podle zásobované oblasti (města, příměstské oblasti, venkov). Odlišným limitům pak mnohdy odpovídají i rozdílné výše penalizací [5].

## 6 HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI DANÉ SÍTĚ

### 6.1 Informace o zadané distribuční síti

Předmětem hodnocení spolehlivosti je distribuční síť o jmenovité hodnotě sdruženého napětí 22 kV. Jedná se o skutečné hodnoty konkrétní sítě v ČR. Protože se jedná o velmi cenné a citlivé údaje, nejsou uvedeny informace, které by konkretizovaly zadanou síť (název sítě, lokalita ve které je tato síť umístěna). Předmětem zpracování byly pouze statistické údaje, získané při provozu. Ani tyto údaje nejsou v této práci zobrazeny pro svoji cenu a strategickou hodnotu a proto si to poskytovatel nepřál.

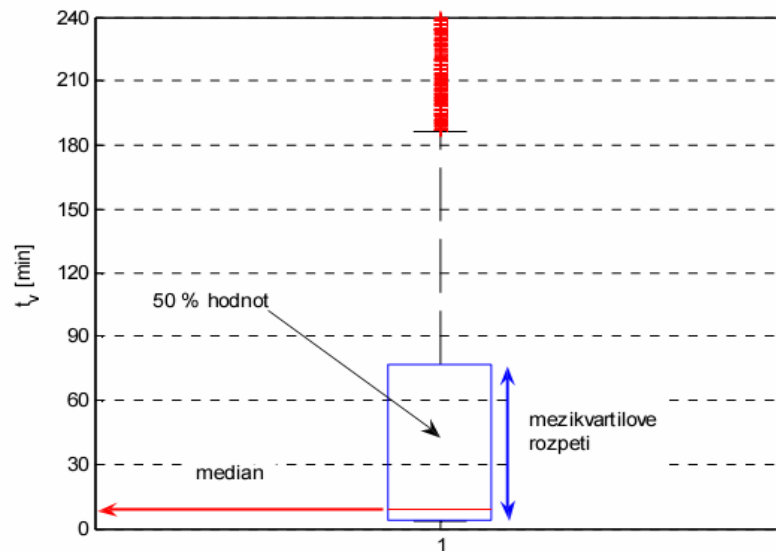
Tato statistická data, která byla získána formou záznamů a měření za 10 let této provozu distribuční sítě. Celá síť je rozdělena do tří oblastí (Oblast 1, Oblast 2 a Oblast 3) a každá oblast obsahuje určitý počet vývodů. Každý vývod je určen svým číslem. Data byla k dispozici formou tabulky, která obsahovala: číslo vývodu, příslušnost vývodu ke konkrétní oblasti a hodnoty příslušející k danému vývodu. Jedná se o hodnoty: počet odběrných míst (OM), počet výpadků v roce, souhrnná doba trvání výpadků v roce [min], počet velkoodběratelů (VO), počet maloodběratelů (MO) a proudové zatížení (měřeno v ročním maximu na začátku vývodu). Hodnota doby využití maximálního výkonu je pravšechny vývody stejná i OM stejná  $T_{umax} = 2500$  h.

Z důvodu neúplnosti a nepřesnosti vstupních dat za první 2 roky provozu nemůžeme výsledkům získaných při použití metod hodnocení spolehlivosti pro toto období dávat přílišnou váhu a brát je jako směrodatné. Proto výsledky jednotlivých metod pro toto období nejsou příliš brány v potaz při celkovém hodnocení. Pokud se v tomto období vyskytne ve výsledcích některé z použitých metod výrazné odlišení od zbývajících let, toto již není dále komentováno a bráno v potaz jako relevantní.

### 6.2 Hodnocení spolehlivosti pomocí tzv. krabicových grafů

Graficky zobrazují vybrané percentily tzv. krabicové grafy, které dávají rámcový (zjednodušený), ale velmi názorný přehled o rozdělení. Krabicové grafy v podstatě vymezují obdélníkem o délce odpovídající mezikvartilovému rozpětí oblast, do které spadá 50 % hodnot sledované veličiny. V místě mediánu je vyznačena čára rozdělující obdélník na dvě části. Od obou protilehlých stran obdélníku pokračují úsečky s délkou přibližně odpovídající 1,5-násobku mezikvartilového rozpětí. Pozorované hodnoty ležící mimo tento násobek mezikvartilového rozpětí jsou vyznačeny samostatně (někdy jsou považované za odlehlá pozorování) [5].

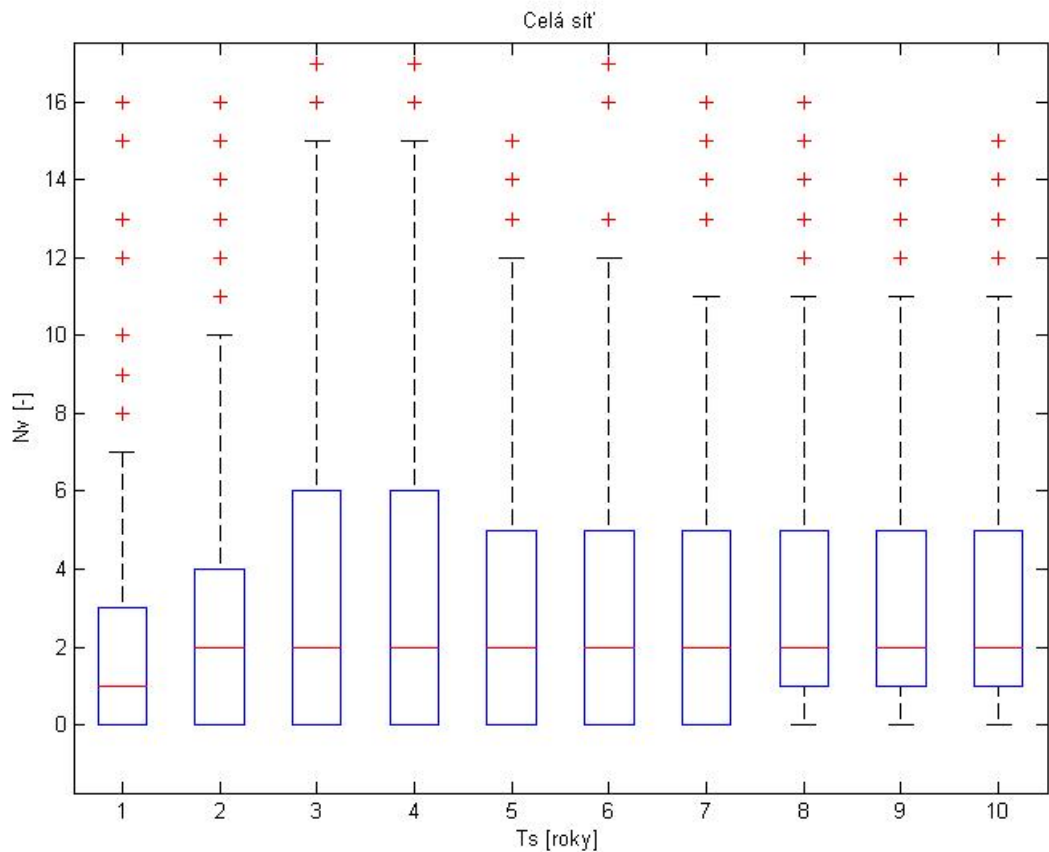




Obr. 5-1 Ukázka krabicového grafu [5]

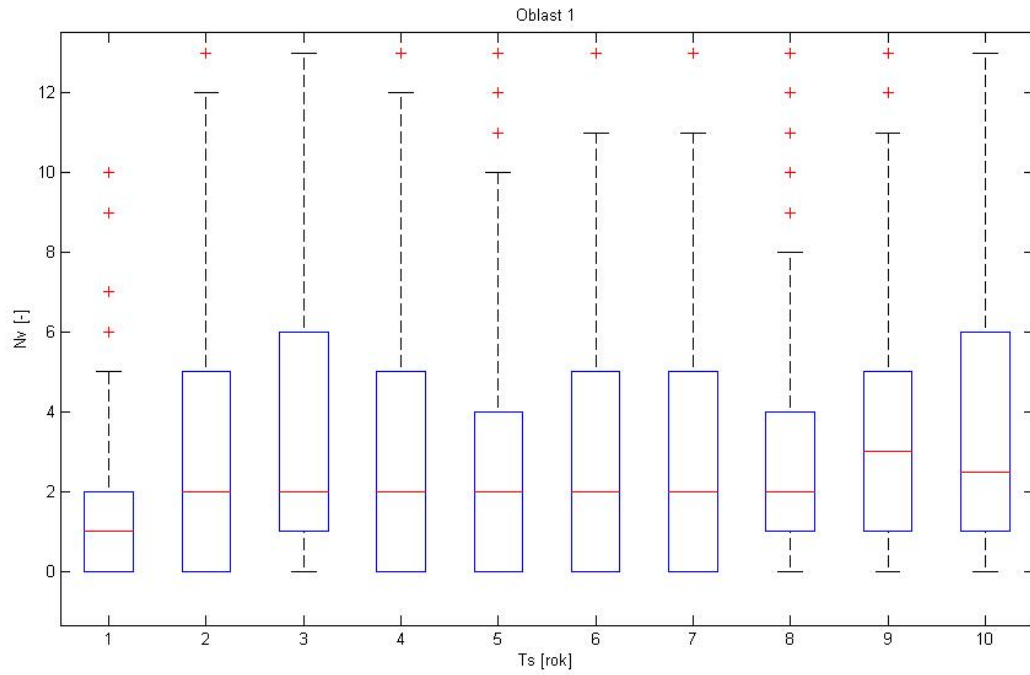
### 6.2.1 Hodnocení distribuční sítě z hlediska ročního počtu výpadků

Z tabulky, která obsahovala data o distribuční síti v 10 letech jejího provozu, byly vytvořeny pomocí programu Matlab tzv. krabicové grafy vyjadřující závislost počtu přerušení dodávky elektrické energie v jednotlivých letech. Grafy byly vytvořeny pro celou síť i pro jednotlivé oblasti sítě, abychom mohli hodnotit nejen vývoj poruch v jednotlivých letech pro celou síť ale i pro její části. Distribuční síť byla z hlediska získaných dat rozdělena na tři oblasti. Do programu Matlab byla data zadávána jako matice, která obsahovala počet výpadků na každém vývodu distribuční sítě v jednotlivých letech.

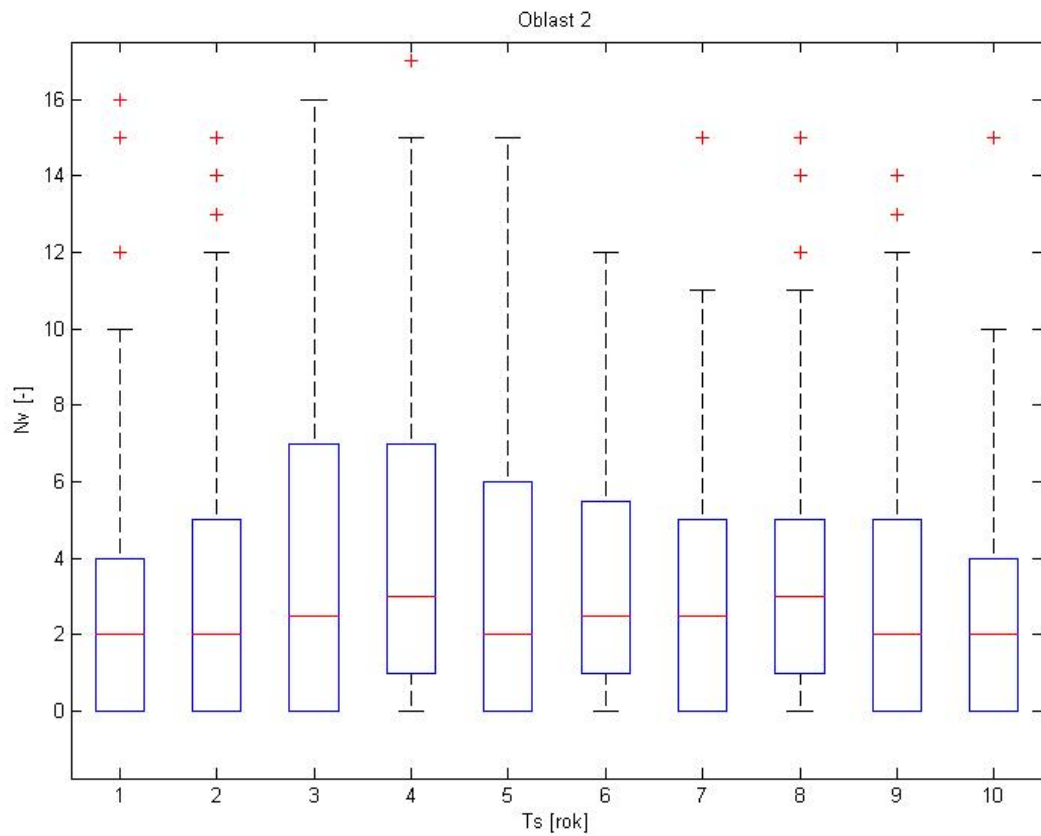


Obr. 6-1 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech  $n_v$  v celé síti za dobu sledování  $T_s$

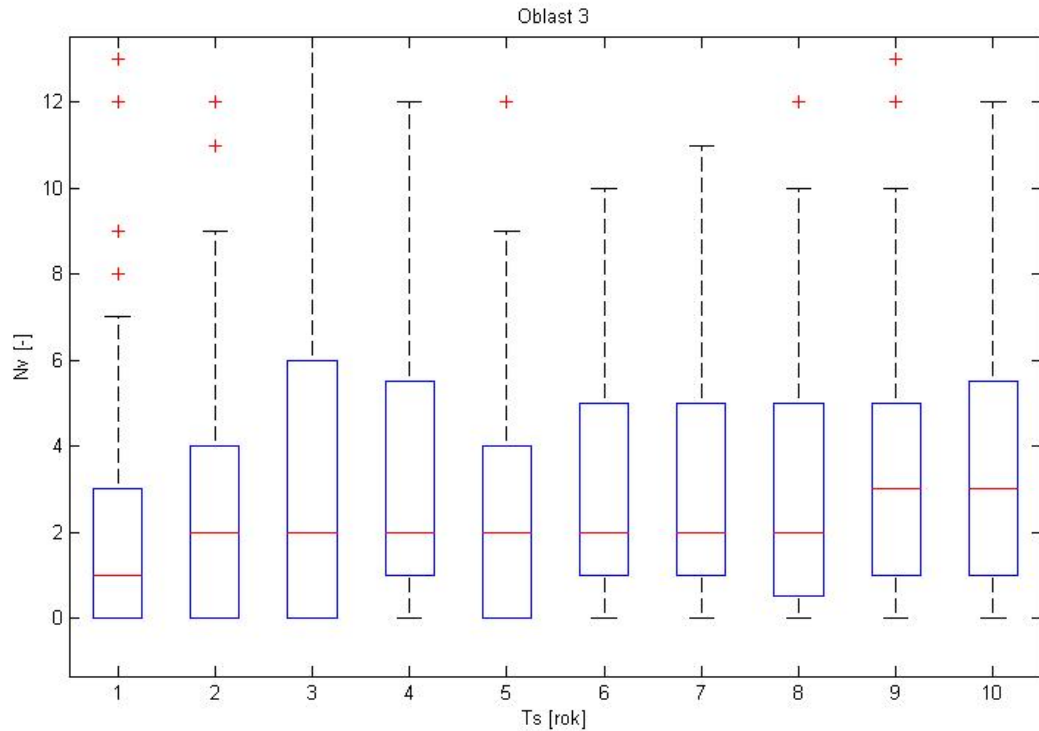
Z grafu lze vyčíst, že počet poruch na jednotlivých vývodech celé sítě se v jednotlivých letech sledování příliš neměnil. Malé zvýšení poruch je možné sledovat v letech 3 a 4 ale toto zvýšení není příliš veliké. Dalo by se říci, že protože je vývoj poruch v jednotlivých letech konstantní spolehlivost sítě se nemění.



Obr. 6-2 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech  $n_v$  v Oblasti 1 za dobu sledování  $T_s$



Obr. 6-3 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech  $n_v$  v Oblasti 2 za dobu sledování  $T_s$

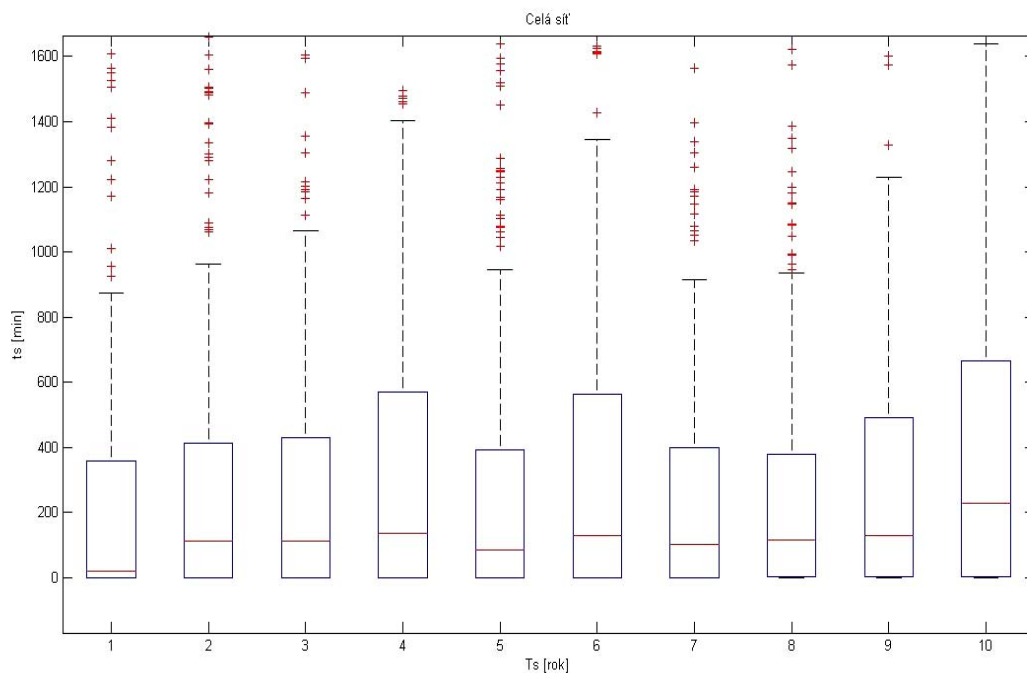


Obr. 6-4 Graf vyjadřující četnost přerušení na vývodech  $n_v$  v Oblasti 3 za dobu sledování  $T_s$

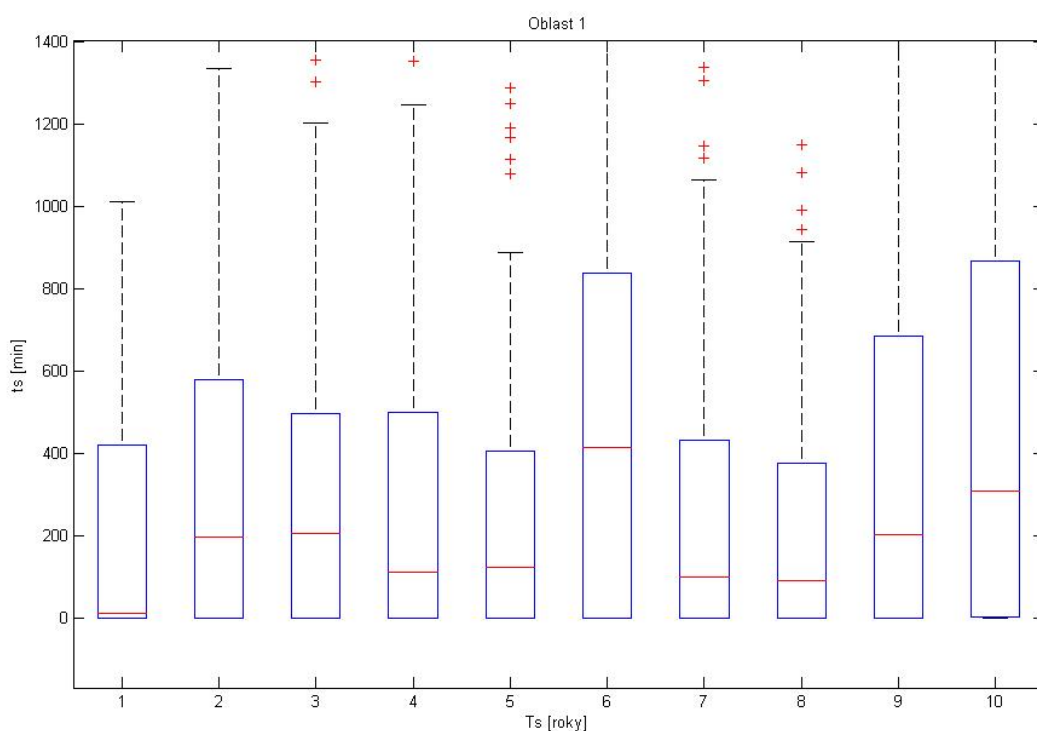
Srovnáme-li četnost výpadků v jednotlivých oblastech distribuční sítě vyjde nám, že se četnost poruch v jednotlivých letech, až na drobné výchyly, nemění a nemění se tedy, stejně jako u celé sítě, spolehlivost dodávky el. energie. Srovnáme-li jednotlivé oblasti sítě zjistíme, že 50% naměřených výpadků je v rozmezí 0÷6 a toto rozmezí je téměř stejné (výchylka není větší než 2 přerušení)

### 6.2.2 Hodnocení distribuční sítě z hlediska souhrnné doby trvání výpadků

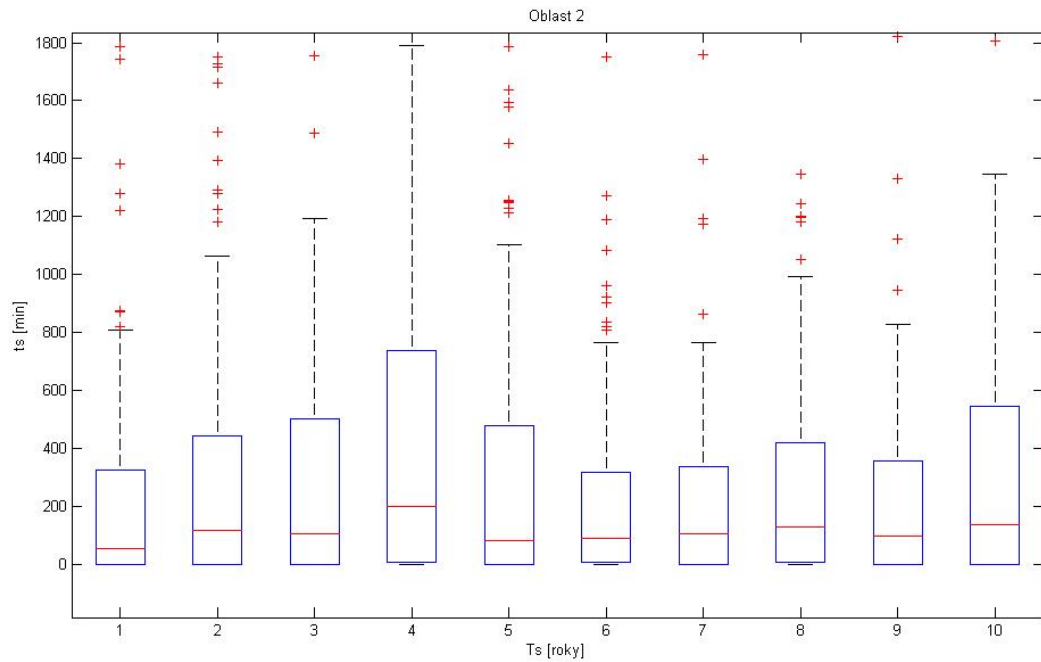
Při vytváření tzv. krabicových grafů v programu Matala byla z tabulky spolehlivostních údajů o distribuční síti použita souhrnná doba přerušení na jednotlivých vývodech sítě v jednotlivých letech. A formou matice byla zadána do Matlabu a byly vytvořeny grafy určující četnost souhrnné doby trvání přerušení na vývodu v jednotlivých letech sledování celé sítě a jednotlivých oblastech sítě.



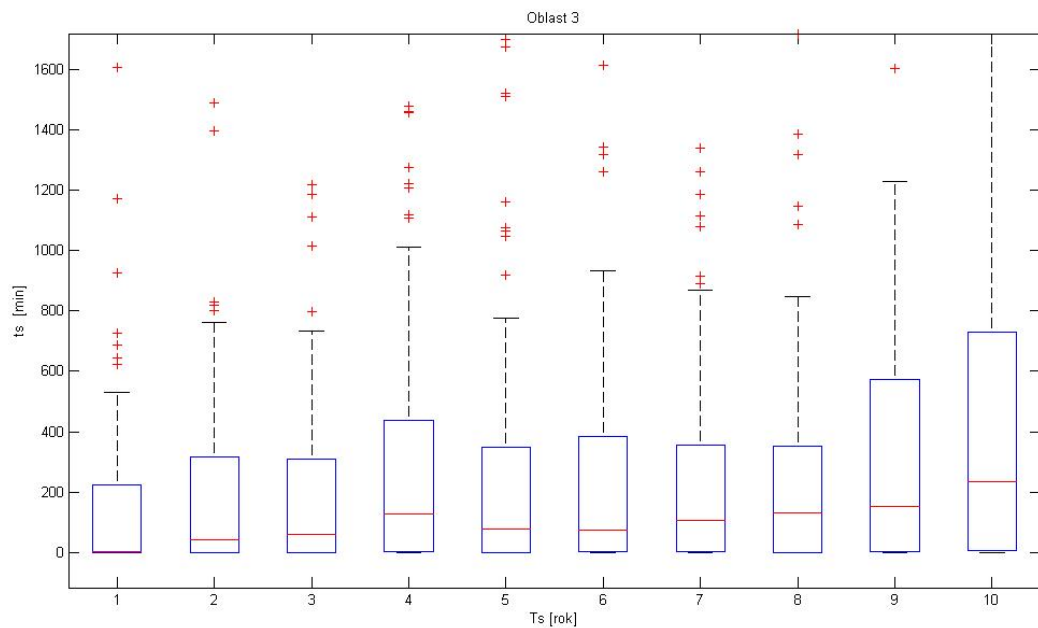
Obr. 6-5 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech  $t_s$  v celé síti za dobu sledování  $T_s$



Obr. 6-6 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech  $t_s$  v Oblasti 1 síti za dobu sledování  $T_s$



Obr. 6-7 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech  $t_s$  v Oblasti 2 sítě za dobu sledování  $T_s$



Obr. 6-8 Graf vyjadřující četnost souhrnné roční doby trvání přerušení na vývodech  $t_s$  v Oblasti 3 sítě za dobu sledování  $T_s$ .

Z grafu vyjadřujícího četnost souhrnné doby přerušení na vývodech  $t_s$  v celé síti za dobu sledování  $T_s$  (Obr. 6-5) je patrné, že 50% hodnot souhrnné doby trvání přerušení je v rozmezí 0÷600 min. Souhrnná doba trvání přerušení se v jednotlivých letech příliš nemění a tím i spolehlivost zůstává stejná. Mírný nárůst souhrnné doby přerušení lze pozorovat ve čtvrtém a šestém roce sledování a následně pak v desátém roce.

Srovnáme-li grafy pro jednotlivé oblasti zjistíme, že i zde je průběh souhrnné doby přerušení téměř neměnný a jeho drobné výchylky jsou u všech oblastí stejné a téměř kopírují výchylky pro celou síť. U všech oblastí je patrný nárůst souhrnné doby přerušení ve čtvrtém a desátém roce sledování. Z tohoto vyplývá, že i spolehlivost jednotlivých oblastí zůstává po celou dobu sledování stejná s dvěma menšími výchylkami.

### 6.3 Určení nákladů na přerušení pomocí nedodané energie

Náklady, které musí distribuční společnost vyplatit zákazníkům za nedodání energie vlivem přerušení dodávky, lze vyjádřit pomocí  $C_{ENS}$ . Průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii pro  $o$ -tého odběratele  $C_{ENS,o}$  se určí podle vztahu:

$$C_{ENS,o} = C_{kWh} \cdot W_{NED,o} \quad (6.1)$$

Kde:

$C_{kWh}$  - je cena za jednu kWh nedodané energie

$W_{NED,o}$  - je pravděpodobně nedodaná energie pro  $o$ -tého odběratele.

Pravděpodobně nedodanou energii pro případ  $o$ -tého odběratele vyjádříme podle vztahu:

$$W_{NED,o} = \frac{P_{\max,o} \cdot t_{u\max} \cdot t_s}{T_s} \quad (6.2)$$

Kde:

$P_{\max,o}$  - je maximální odebíraný výkon u  $o$ -tého odběratele

$t_{u\max}$  - je doba užití maximálního výkonu

$t_s$  - je souhrnná roční doba trvání přerušení

$T_s$  - je doba sledování (doba za kterou je  $W_{NED,o}$  určována)

Maximální odebíraný výkon  $P_{\max,o}$  u  $o$ -tého odběratele určíme podle vztahu:

$$P_{\max,o} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_{\max,o} \quad (6.3)$$

Kde:

$U_s$  - je sdružené napětí sítě

$I_{\max,o}$  - je maximální proudové zatížení u  $o$ -tého odběratele.

U zkoumané distribuční sítě je jmenovité sdružené napětí  $U_s = 22$  kV. Maximální proudové zatížení pro jednotlivé odběratele  $I_{\max,o}$  bylo určeno z tabulky, kde byly uvedeny hodnoty maximálního proudového zatížení jednotlivých vývodů v zimním maximu. Hodnoty byly měřeny na začátku vývodu. Doba užití maximálního výkonu  $t_{u\max} = 2500$  h. Doba sledování  $T_s = 8760$  h.

Pro zjištění průměrných ročních nákladů na pravděpodobně nedodanou energii pro jednotlivé oblasti sítě nebo pro celou síť, uděláme sumu přes všechny odběratele v dané oblasti respektive síti. Zjistíme tedy celkovou nedodanou energii a vynásobíme ji cenou za jednotku nedodané energie.

Průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii:

$$C_{ENS} = C_{kWh} \cdot W_{NED} \quad (6.4)$$

Nerozlišujeme zde, zda se jedná o VO (velkoodběratele) nebo MO (maloodběratele).

Pro rozlišení VO a MO použijeme následující vztah pro maximální odebíraný výkon VO  $P_{max, VO}$ :

$$P_{max, VO} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_{max} - P_{MO} \cdot N_{MO} \quad (6.5)$$

Kde:

$U_s$  - je sdružené napětí sítě

$I_{max}$  - je maximální proudové zatížení vývodu

$P_{MO}$  - je odebíraný výkon MO

$N_{MO}$  - je počet MO v jednom vývodu

V tomto případě uvažujeme se stejným odebíraným výkonem pro všechny MO. Odebíraný výkon jednoho MO -  $P_{MO} = 300$  W.

Potom pravděpodobná nedodaná energie pro VO bude:

$$W_{NED, VO} = \frac{P_{max, VO} \cdot t_{u max} \cdot t_s}{T_s} \quad (6.6)$$

A průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii pro VO:

$$C_{ENS, VO} = C_{kWh} \cdot W_{NED, VO} \quad (6.7)$$

Pravděpodobně nedodaná energie pro MO:

$$W_{NED, MO} = \frac{P_{max, MO} \cdot t_{u max} \cdot t_s}{T_s} \quad (6.8)$$

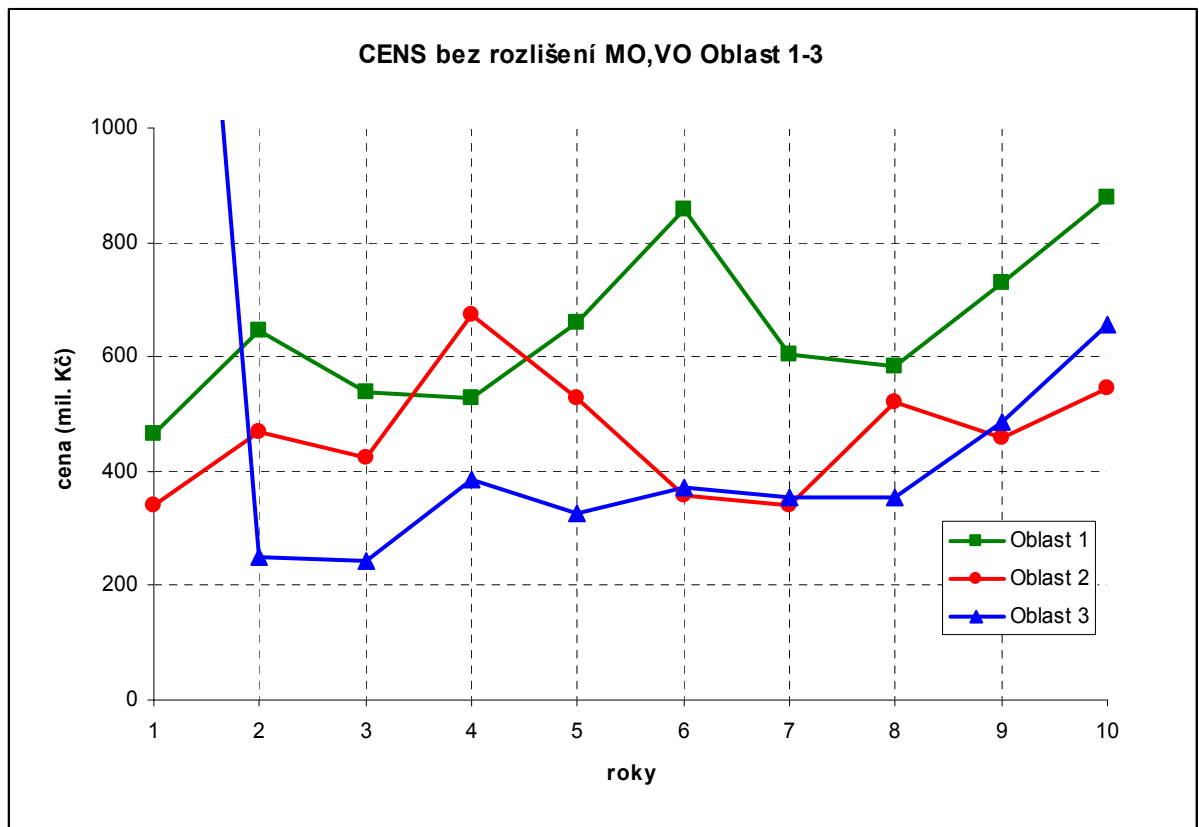
Průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii MO:

$$C_{ENS, MO} = C_{kWh} \cdot W_{NED, MO} \quad (6.9)$$



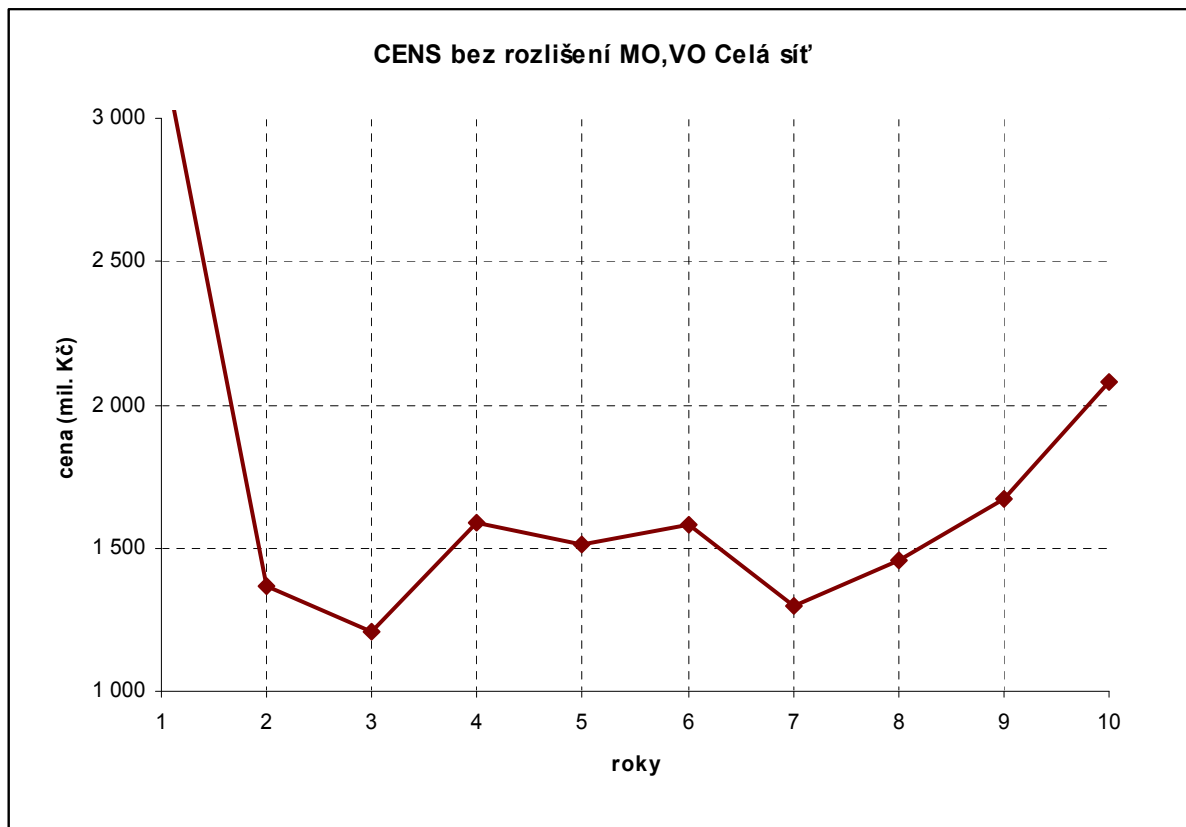
Tab. 6-1:  $C_{ENS}$  bez rozlišení MO, VO

	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	celá síť
Roky	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil. Kč]
1	464	342	2 449	3 256
2	646	470	249	1 365
3	539	425	244	1 208
4	529	675	386	1 590
5	660	529	325	1 513
6	856	356	371	1 583
7	605	341	355	1 301
8	584	520	354	1 457
9	730	457	487	1 674
10	879	544	655	2 078



Obr. 6-9 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii bez rozlišení MO, VO pro jednotlivé oblasti

Z tohoto grafu je patrné, že největší náklady na pravděpodobně nedodanou energii připadají, kromě roku 4, na Oblast 1. Náklady pro všechny oblasti v posledních třech letech rostou.

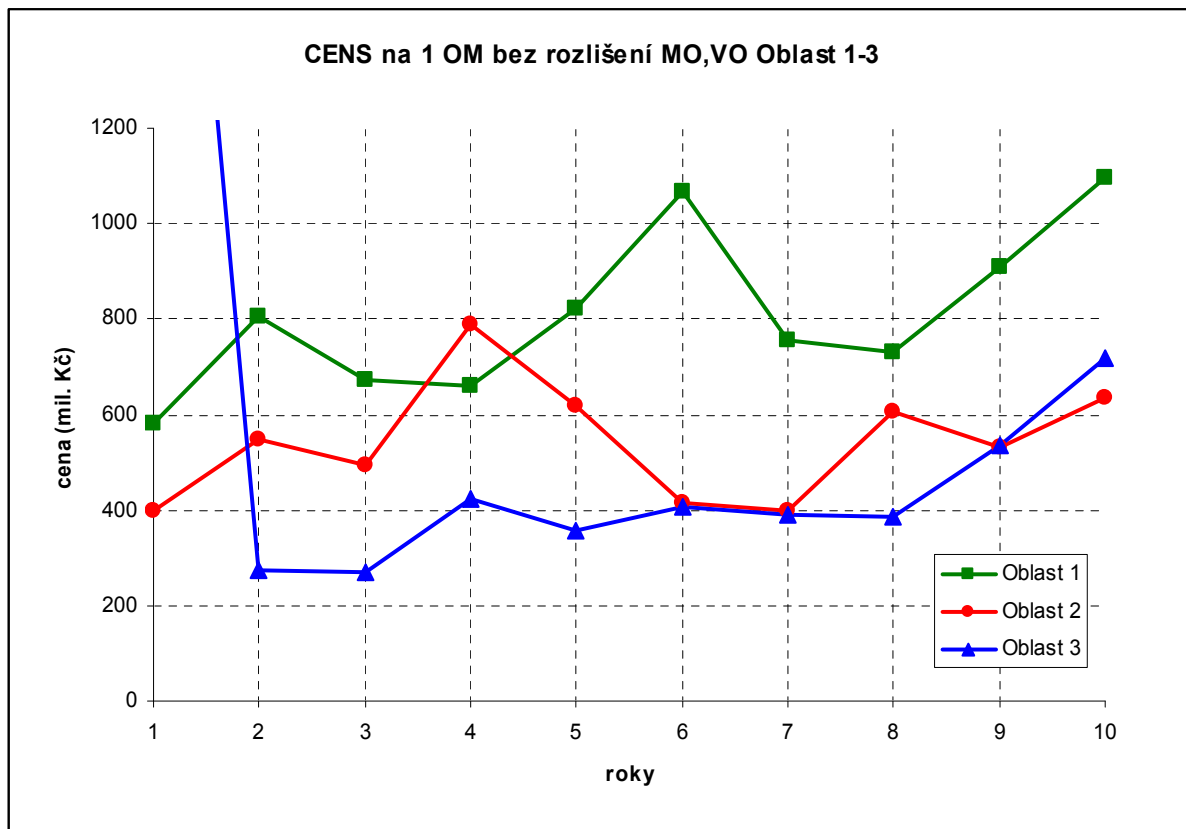


Obr. 6-10 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii bez rozlišení MO a VO pro celou síť

I v tomto grafu je patrný nárůst nákladů v posledních třech letech.

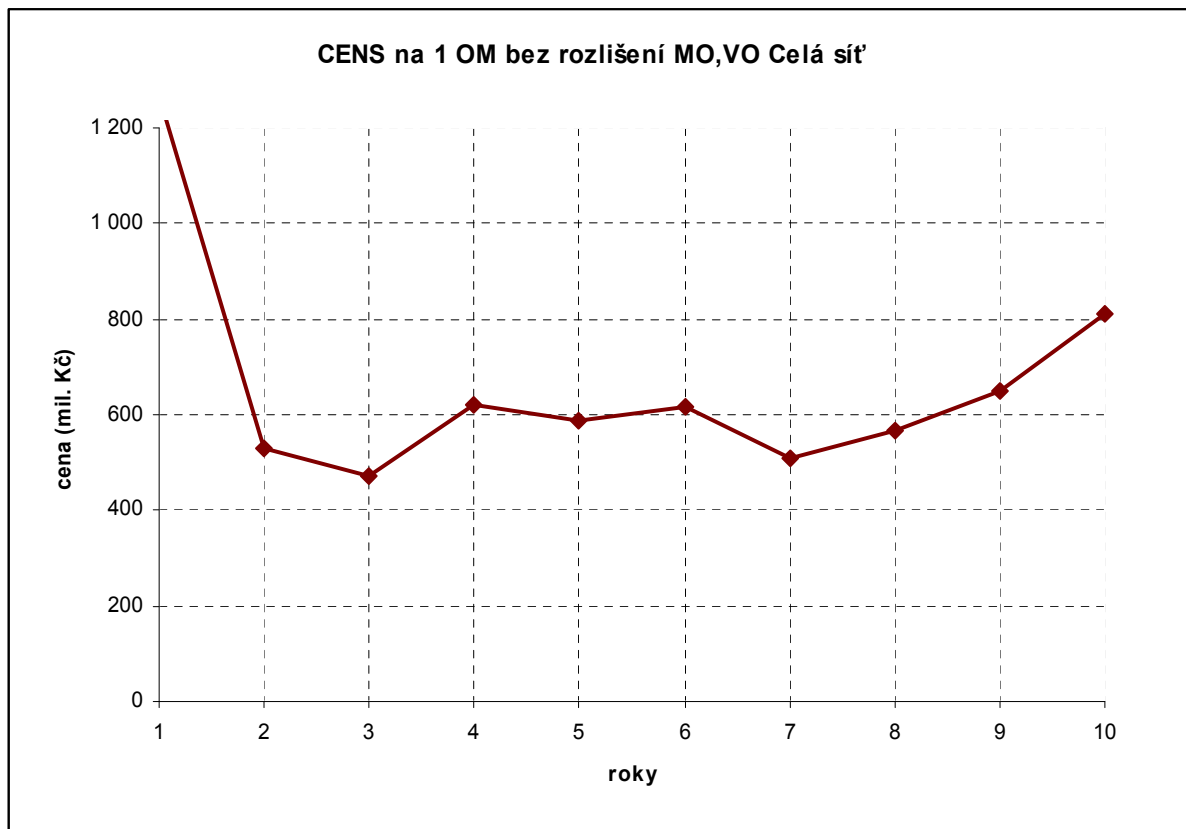
Tab. 6-2:  $C_{ENS}$  na IOM bez rozlišení MO, VO

	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	celá síť
Roky	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
1	580	399	2 687	1 267
2	807	549	273	531
3	673	496	268	470
4	660	787	424	619
5	824	617	356	589
6	1 069	415	407	616
7	755	398	390	507
8	729	606	388	567
9	911	533	535	651
10	1 098	634	718	809



Obr. 6-11 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM bez rozlišení MO, VO pro jednotlivé oblasti

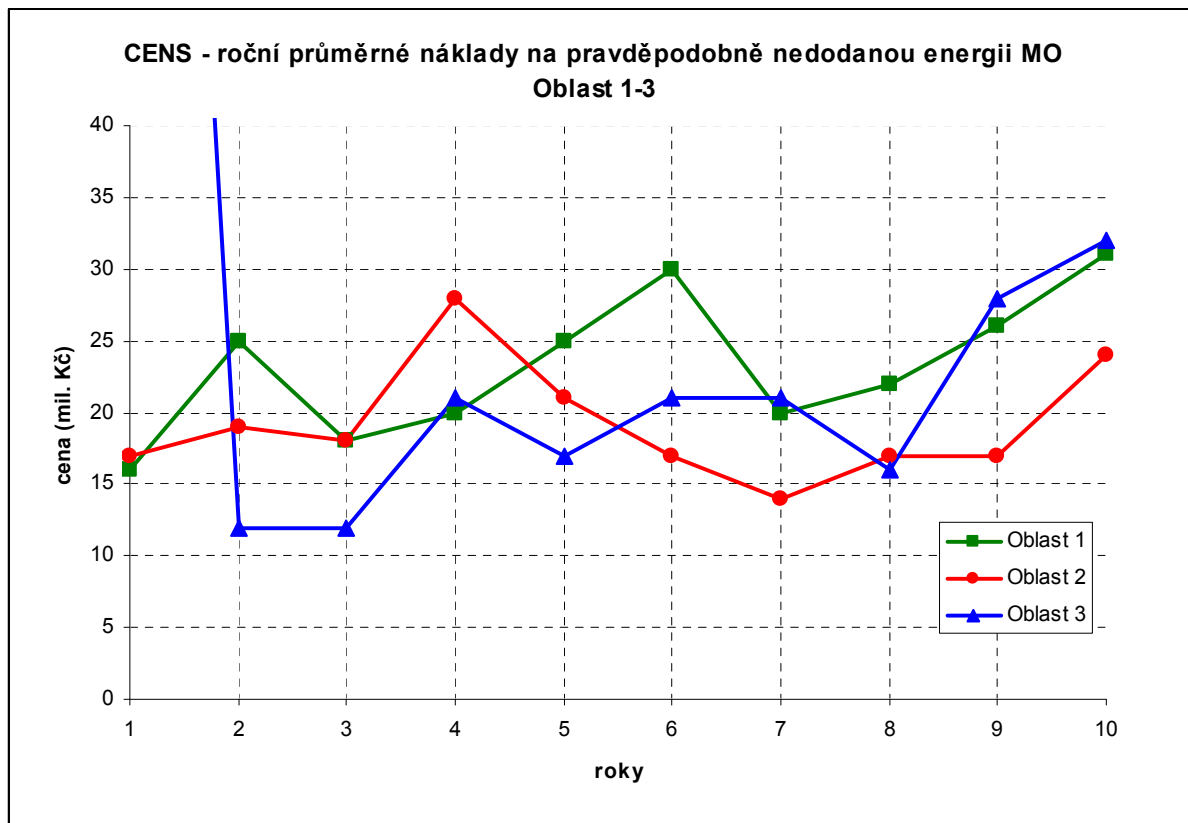
Vývoj nákladů na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM pro jednotlivé oblasti má téměř stejný průběh jako vyjádření celkových nákladů pro jednotlivé oblasti. Totožný je i vývoj nákladů v jednotlivých letech na 1 OM pro celou síť.



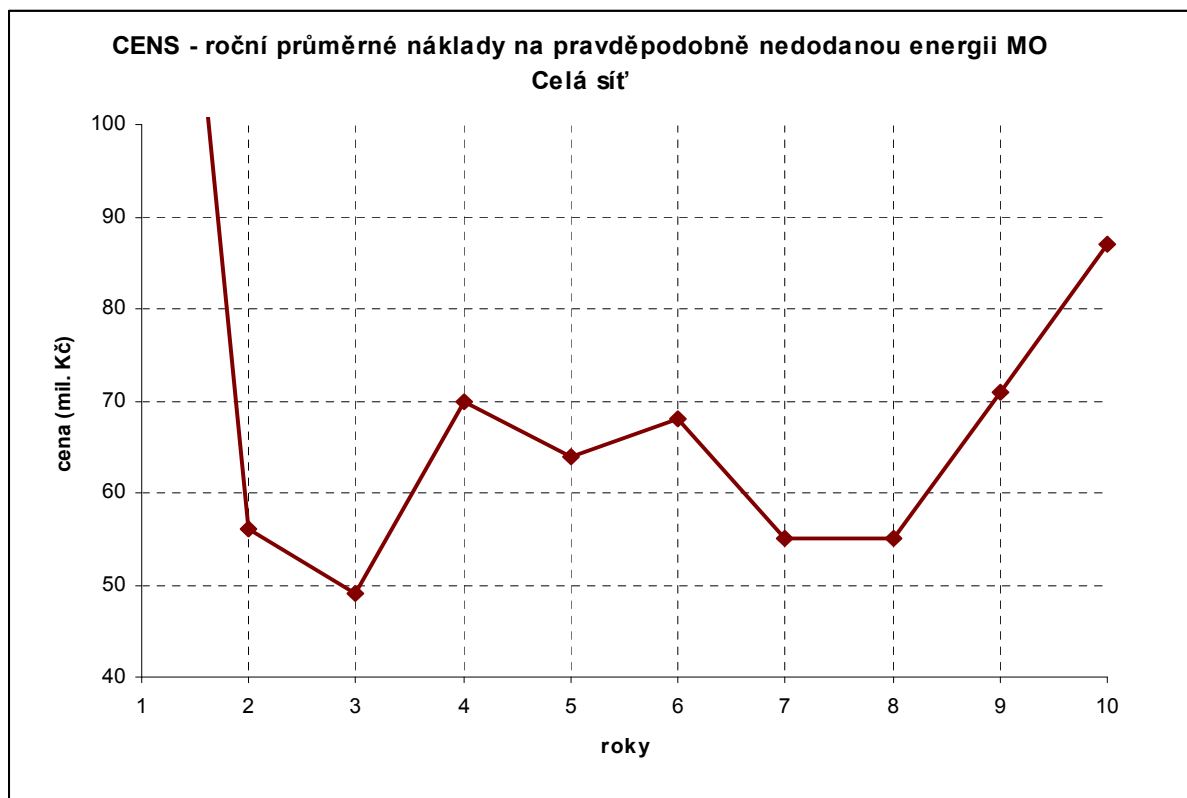
Obr. 6-12 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM bez rozlišení MO, VO pro celou síť

Tab. 6-3:  $C_{ENS}$  MO

	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	celá síť
Roky	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil.Kč]
1	16	17	140	174
2	25	19	12	56
3	18	18	12	49
4	20	28	21	70
5	25	21	17	64
6	30	17	21	68
7	20	14	21	55
8	22	17	16	55
9	26	17	28	71
10	31	24	32	87



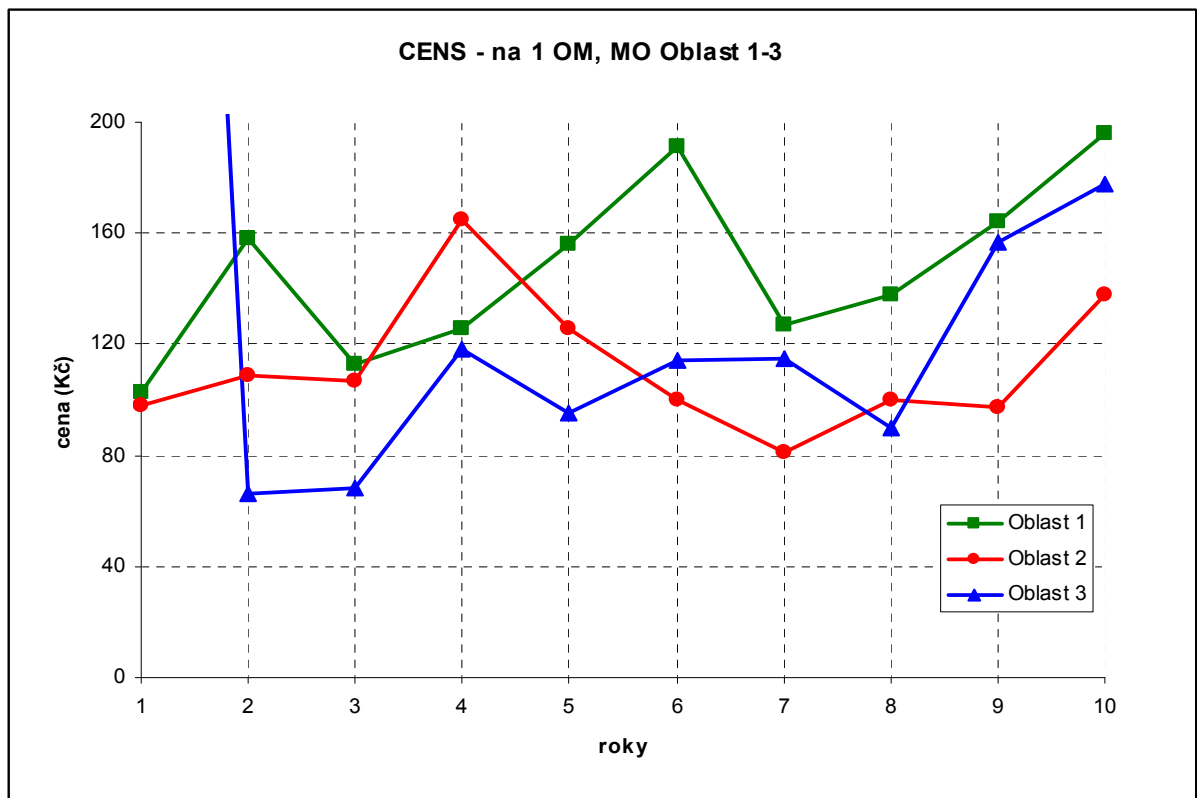
Obr. 6-13 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii MO pro jednotlivé oblasti



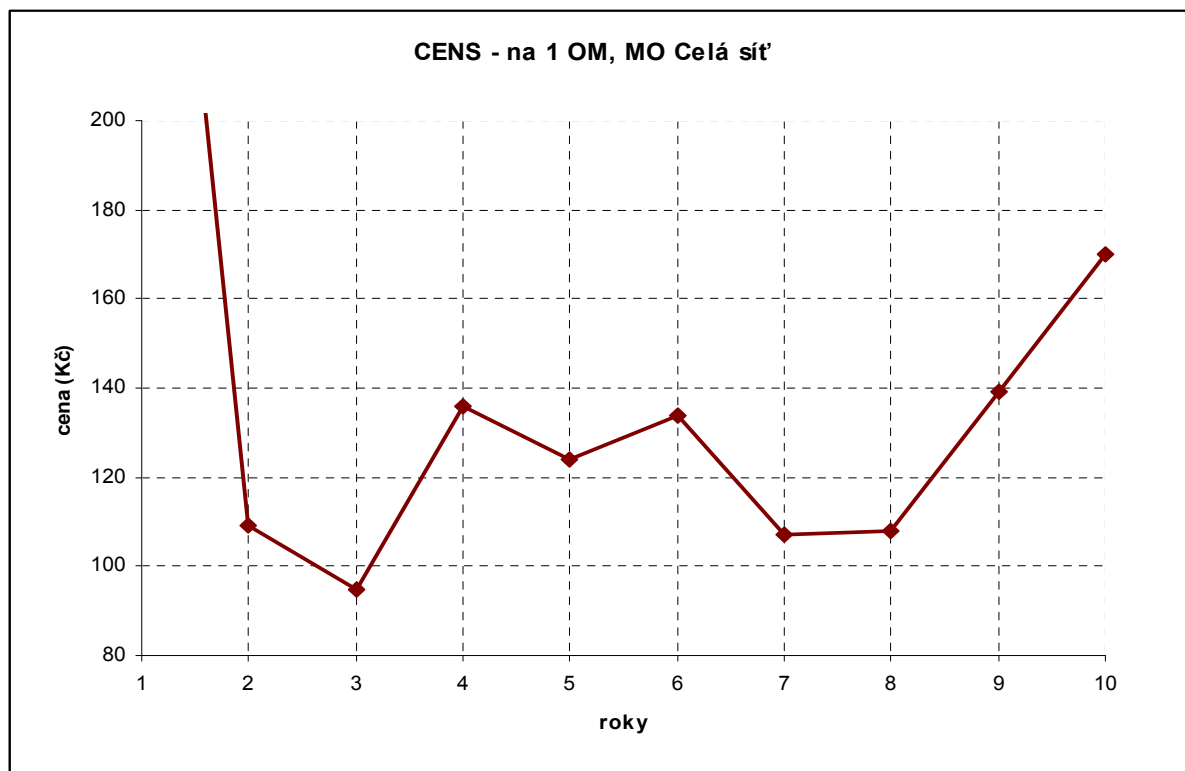
Obr. 6-14 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii MO pro celou síť

Tab. 6-4:  $C_{ENS}$  na 1OM, MO

	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	celá síť
Roky	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
1	103	98	775	340
2	158	109	66	109
3	113	107	68	95
4	126	165	118	136
5	156	126	95	124
6	191	100	114	134
7	127	81	115	107
8	138	100	90	108
9	164	97	157	139
10	196	138	178	170



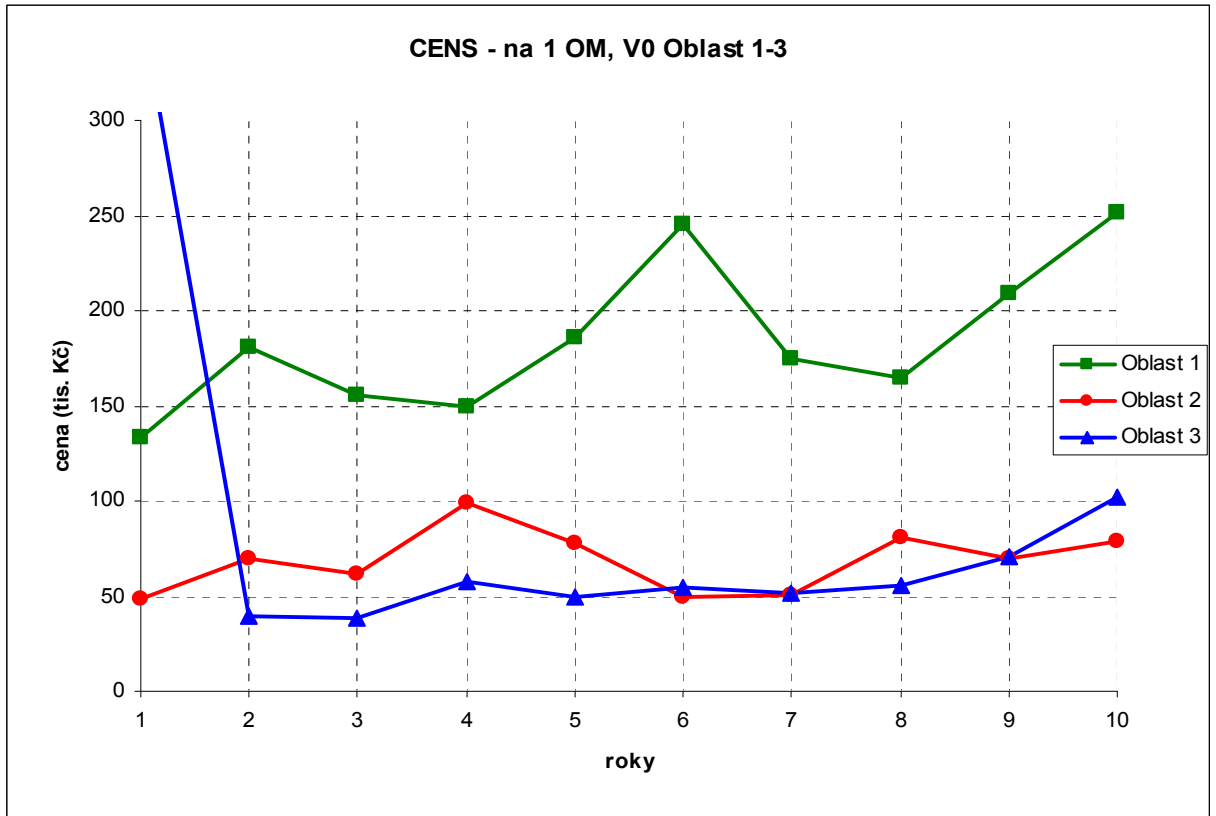
Obr. 6-15 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, MO pro jednotlivé oblasti



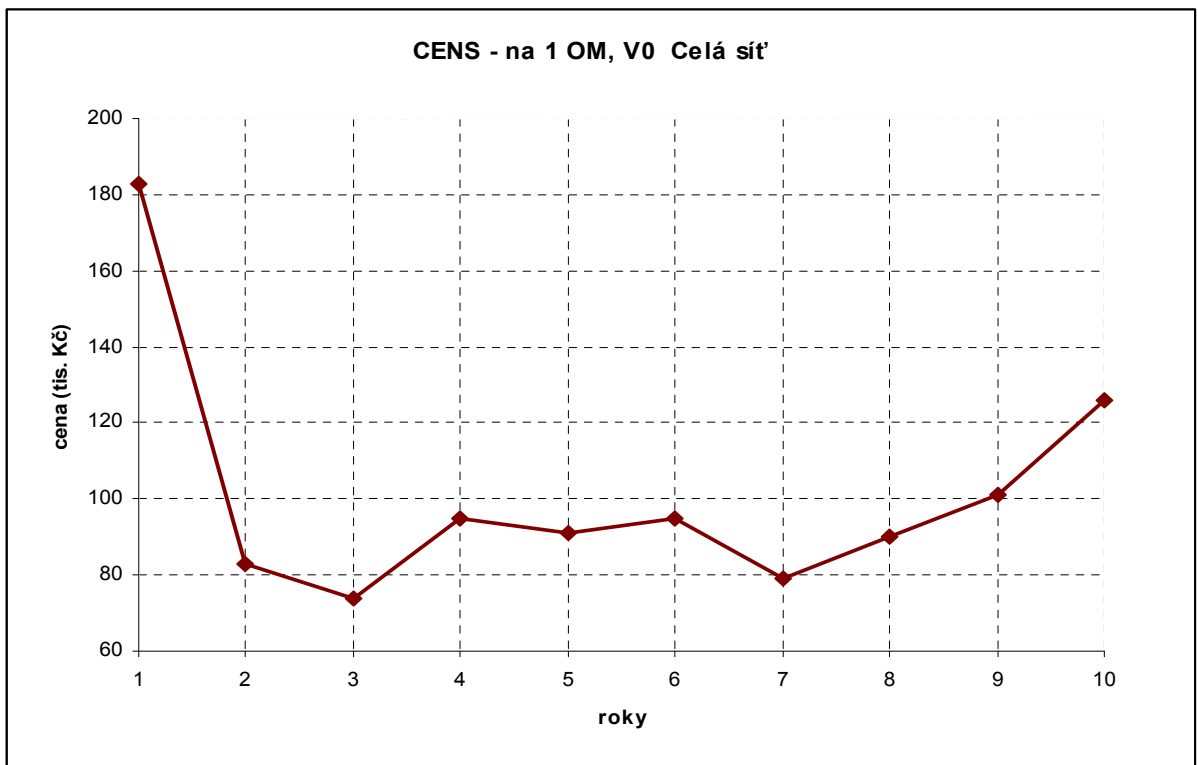
Obr. 6-16 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, MO pro celou síť

Tab. 6-5:  $C_{ENS}$  na 1OM, VO

	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	celá síť
Roky	[tis. Kč]	[tis. Kč]	[tis. Kč]	[tis. Kč]
1	133	48	361	183
2	181	70	39	83
3	156	62	38	74
4	149	99	58	95
5	186	78	49	91
6	245	50	55	95
7	175	51	52	79
8	165	81	56	90
9	209	70	71	101
10	252	79	102	126



Obr. 6-17 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, VO pro jednotlivé oblasti

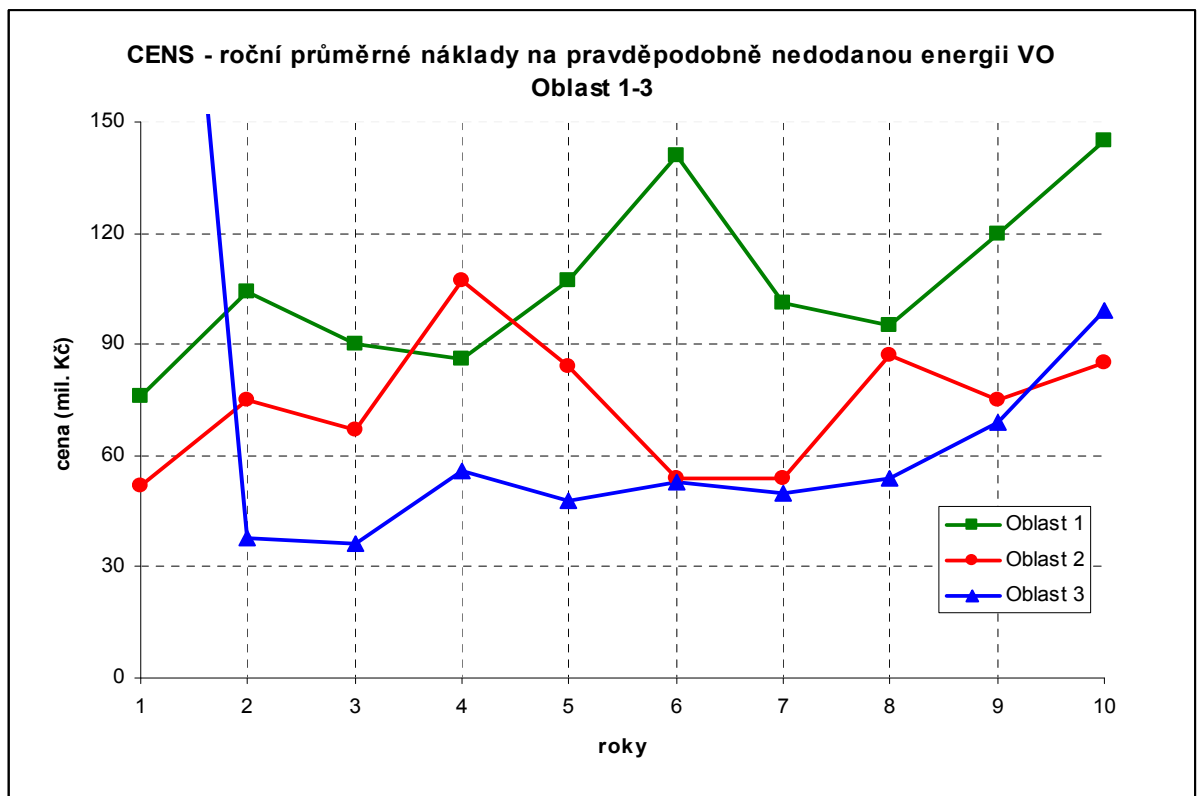


Obr. 6-18 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii na 1 OM, VO pro celou síť

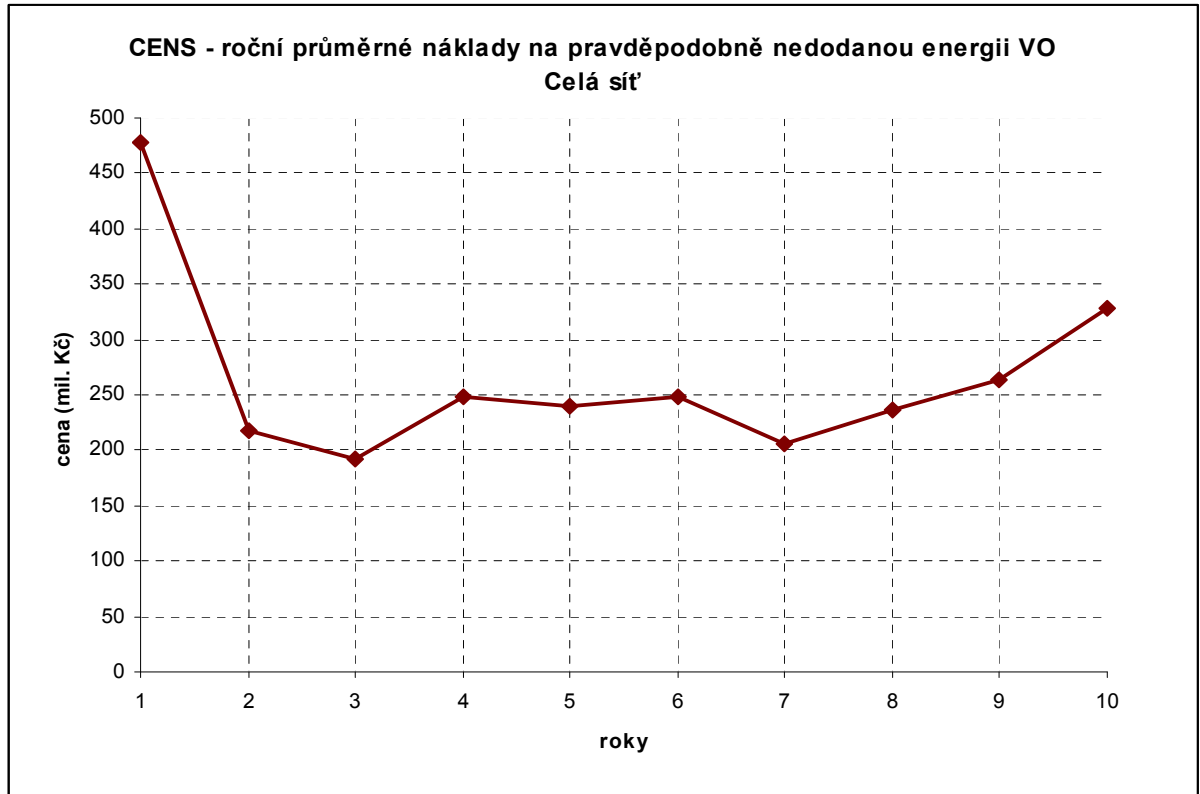


Tab. 6-6:  $C_{ENS,VO}$ 

	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 3	celá síť
Roky	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil. Kč]	[mil.Kč]
1	76	52	349	478
2	104	75	38	217
3	90	67	36	193
4	86	107	56	248
5	107	84	48	239
6	141	54	53	248
7	101	54	50	205
8	95	87	54	236
9	120	75	69	264
10	145	85	99	329



Obr. 6-19 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii VO pro jednotlivé oblasti



Obr. 6-20 Graf vyjadřující náklady na pravděpodobně nedodanou energii VO pro celou síť

Srovnáme-li grafy nákladů na pravděpodobně nedodanou energii pro celou síť, zjistíme, že jejich průběhy jsou téměř totožné. Z průběhů grafů pro jednotlivé oblasti je možné vyčíst, že největší náklady na pravděpodobně nedodanou energii jsou pro Oblast 1. Největší rozdíl mezi Oblastí 1 a zbývajícimi oblastmi je patrný při vyčíslení nákladů na pravděpodobně nedodanou energii pro VO.

Tab. 6-7: Průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii

	$C_{ENS}$ bez roz. [mil. Kč]	$C_{ENS}$ VO [mil. Kč]	$C_{ENS}$ MO [mil. Kč]	$C_{ENS}$ na 1OM bez rozl. [Kč]	$C_{ENS}$ na 1 OM, VO [tis. Kč]	$C_{ENS}$ na 1 OM, MO [Kč]
Oblast 1	649	106	24	811	185	147
Oblast 2	466	74	19	543	69	112
Oblast 3	588	85	32	645	88	178
celá síť	1 702	266	75	663	102	146

Srovnáme-li průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii  $C_{ENS}$  bez rozlišení VO a MO, zjistíme, že nejhůře je na tom Oblast 1, poté Oblast 3 a nejlépe je na tom Oblast 2. U srovnání  $C_{ENS}$  VO je situace stejná. U  $C_{ENS}$  MO vychází nejhůře Oblast 3 poté Oblast 1 a nejlépe Oblast 2. Při srovnání  $C_{ENS}$  na 1OM bez rozl. Vychází nejhůře Oblast 1 a poté Oblast 3 a 2. Stejná situace je i při srovnání  $C_{ENS}$  na 1 OM, VO. U  $C_{ENS}$  na 1 OM, MO vychází nejhůře Oblast 3 poté Oblast 1 a nejlépe Oblast 2.

Z tohoto srovnání vyplývá, že pokud nebudeme uvažovat vliv VO a MO, tak abychom snížili průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii, bude zapotřebí se z hlediska

údržby zaměřit na Oblast 1. Stejný postup je potřeba zvolit i při uvažování VO. Dále je patrné, že vliv VO i náklady na VO jsou výrazně větší než pro MO.

Tab. 6-8: Tabulka 10% nejhorších vývodů z hlediska průměrných ročních nákladů na pravděpodobně nedodanou energii

pořadí	$C_{ENS}$ bez rozl. MO, VO	č.v	pořadí	$C_{ENS}$ bez rozl. MO, VO	Číslo vývodu	pořadí	$C_{ENS}$ bez rozl. MO, VO	č.v
[-]	[mil. Kč]	[-]	[-]	[mil. Kč]	[-]	[-]	[mil. Kč]	[-]
1	18,55	224	12	4,74	274	23	3,78	87
2	17,27	262	13	4,52	32	24	3,68	61
3	10,55	257	14	4,38	192	25	3,67	10
4	9,17	277	15	4,37	29	26	3,61	324
5	6,78	38	16	4,29	221	27	3,45	106
6	6,04	189	17	4,17	18	28	3,45	25
7	5,91	9	18	4,03	179	29	3,34	3
8	5,53	1	19	3,93	297	30	3,21	46
9	5,15	206	20	3,93	51	31	3,17	142
10	4,80	85	21	3,90	44	32	3,02	8
11	4,79	12	22	3,86	45	33	2,95	314

V tab. 6-8 je seřazeno 10% vývodů z celé sítě s nejvyššími průměrnými ročními náklady na pravděpodobně nedodanou energii. Pokud bychom chtěli minimalizovat náklady na pravděpodobně nedodanou energii, měli bychom začít s údržbou na těchto vývodech, protože průměrné roční náklady jsou u těchto vývodů největší. Obzvláště vysoké průměrné roční náklady oproti ostatním vývodům, jsou u prvních dvou vývodů (v.č. 224 a 262) respektive prvních 5 vývodů.

## 6.4 Určení nákladů na přerušení pomocí nákladů na penalizace

Náklady na penalizace  $C_{pv,q}$  pro část sítě resp. pro celou síť pro jednoduchý zákaznický standard se skokovou penalizací vyjádřit výrazem :

$$C_{pv,q} = C_p \cdot O_v \cdot \text{cond}(x_o \geq L_x) \quad (6.10)$$

Kde:

$C_p$  - je penalizace na jedno odběrné místo

$O_v$  - je počet odběratelů ve sledované oblasti (v části pro kterou se náklady vyčíslují)

$x_o$  - je porovnávaný obecný ukazatel pro danou část sítě (roční počet přerušení  $n_o$  nebo souhrnná roční doba trvání přerušení  $t_s$ ) a  $L_x$  je limit obecného ukazatele  $x_o$  (limit  $L_n$  nebo  $L_t$ ).

### 6.4.1 Náklady na penalizaci při překročení ročního limitu počtu přerušení

Náklady na penalizaci při překročení ročního limitu přerušení  $C_{p,Ln}$  spočteme podle vztahu:

$$C_{pv,Ln} = C_p \cdot O_v \cdot \text{cond}(n_o \geq L_n) \quad (6.11)$$

$C_p$  - je penalizace na jedno odběrné místo

$O_v$  - je počet odběratelů ve sledované oblasti (v části pro kterou se náklady vyčíslují)

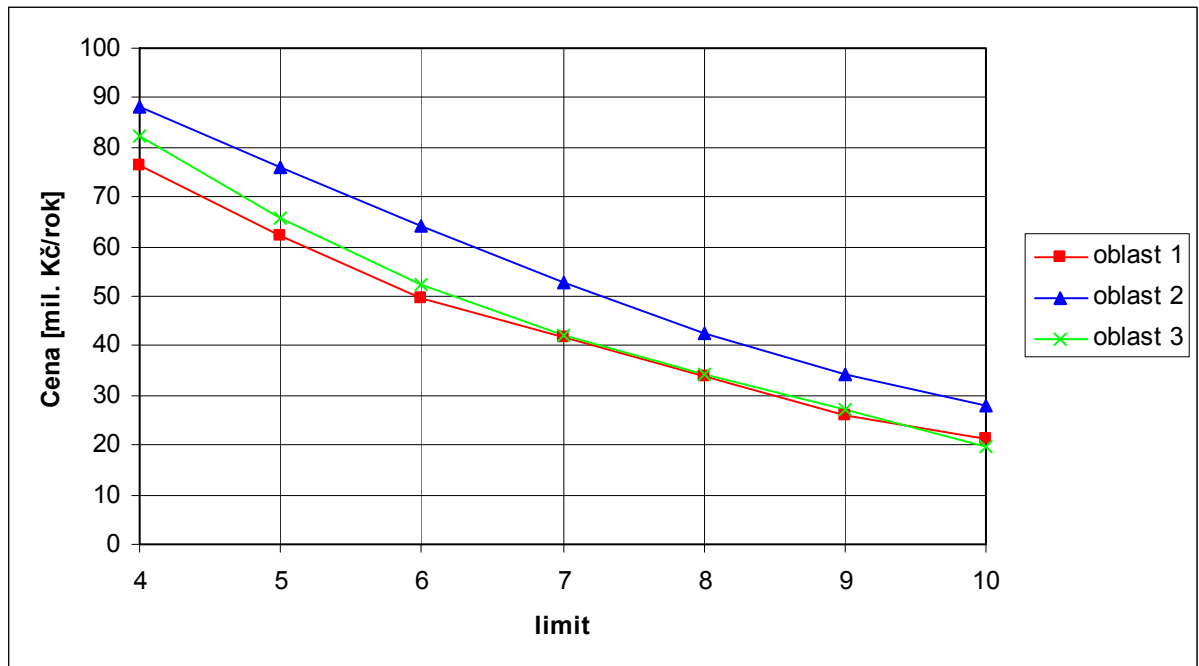
$n_o$  - je roční počet přerušení

$L_n$  - je limit přerušení (v našem případě 4÷10 výpadků za rok)

Penalizace na jedno odběrné místo  $C_p$  byla zvolena 1000 Kč.

Tab. 6-9: Náklady na přerušení při limitu výpadků  $L_n = 4 \div 10 \text{ rok}^{-1}$

Limity	[rok <sup>-1</sup> ]	4	5	6	7	8	9	10
Oblast 1	[mil.Kč]	76	62	49	42	34	26	21
Oblast 2		88	76	64	53	43	34	28
Oblast 3		82	66	53	42	34	27	20
celá síť		246	204	166	137	110	88	69



Obr. 6-21 Graf vyjadřující náklady na penalizaci při překročení limitu pro jednotlivé oblasti sítě

Z grafu na obr.6-21 můžeme odečíst, že pro všechny zvolené limity přerušení vyšla jako nejhorší Oblast 2. U oblastí 1 a 2 se náklady na penalizaci se zvyšujícím se limitem zmenšují a pro limit 7, 8 a 9 výpadků za rok jsou téměř shodné a pro limit 10 výpadků za rok jsou dokonce náklady na penalizaci pro Oblast 1 větší než pro oblast 3.

Pokud bychom chtěli zlepšit spolehlivost sítě a tím zmenšit náklady na penalizaci, měli bychom začít u Oblasti 2. Tato oblast se podílí nejvíce na celkových nákladech na penalizaci celé sítě.

V tab. 6-10 a tab. 6-11 je seřazeno 10% nejhorších vývodů celé sítě z hlediska nákladů na penalizaci. Srovnání je provedeno pro limity dovoleného počtu přerušení v rozsahu  $L_n = 4 \div 6 \text{ rok}^{-1}$ . Pomocí těchto tabulek můžeme pro konkrétní nastavený limit určit nejhorší

vývody a začít u nich se zlepšováním spolehlivosti dodávky elektrické energie. Tím, že budeme zlepšovat spolehlivost právě u nejhorších vývodů pro daný nastavený limit, nejvíce snížíme náklady na penalizaci a investované náklady na údržbu nebo obnovu sítě budou nejefektivnější.

Z tab. 6-10 a tab. 6-11 je patrné, že naprosto nejhorší jsou první 4 vývody (č.v. 224, 179, 189 a 85). U těchto vývodů jsou nejvyšší náklady na penalizaci nezávislé na nastaveném limitu dovoleného ročního počtu přerušení a dosahují nejvyšších hodnot ze všech vývodů sítě.

Tab. 6-10: 10% nejhorších vývodů z hlediska nákladů na přerušení pro limit  $L_n = 4 \div 6 \text{ rok}^{-1}$

Pořadí	č.v.	limit 4	č.v.	limit 5	č.v.	limit 6
[-]	[-]	[mil. Kč]	[-]	[mil. Kč]	[-]	[mil. Kč]
1	224	9,61	224	9,61	224	9,61
2	179	5,73	179	5,73	179	5,73
3	189	4,33	189	4,33	189	4,33
4	85	4,10	85	4,10	85	3,65
5	9	3,86	317	3,63	317	3,63
6	317	3,63	187	3,39	197	3,15
7	25	3,62	116	3,21	192	3,10
8	116	3,61	197	3,15	9	3,01
9	257	3,39	142	3,12	289	2,95
10	187	3,39	25	3,11	51	2,94
11	51	3,36	192	3,10	187	2,64
12	289	3,32	9	3,01	32	2,63
13	18	3,25	289	2,95	121	2,59
14	8	3,24	51	2,94	25	2,59
15	197	3,15	87	2,94	1	2,52
16	181	3,14	18	2,84	183	2,51
17	142	3,12	109	2,83	285	2,48
18	192	3,10	201	2,66	324	2,47
19	29	3,10	209	2,64	18	2,44
20	57	3,08	32	2,63	116	2,41
21	209	3,02	121	2,59	201	2,33
22	277	2,98	1	2,52	209	2,26
23	87	2,94	183	2,51	314	2,08
24	32	2,93	285	2,48	57	2,05
25	121	2,92	324	2,47	288	1,90
26	285	2,90	277	2,31	107	1,87
27	109	2,83	257	2,26	142	1,87
28	183	2,82	3	2,22	207	1,80
29	201	2,66	8	2,16	117	1,78
30	288	2,54	274	2,10	3	1,73
31	1	2,52	314	2,08	109	1,70
32	324	2,47	29	2,07	10	1,69
33	12	2,42	57	2,05	277	1,65

Tab. 6-11: 10% nejhorsích vývodů z hlediska nákladů na přerušení pro limit  $L_n = 7\text{-}10 \text{ rok}^{-1}$ 

Pořadí	č.v.	Limit 7	č.v.	limit 8	č.v.	limit 9	č.v.	limit 10
[-]	[-]	[mil. Kč]	[-]	[mil. Kč]	[-]	[mil. Kč]	[-]	[mil. Kč]
1	224	8,65	224	7,69	224	7,69	224	4,81
2	179	5,73	179	5,16	179	5,16	179	4,59
3	189	4,33	189	3,90	189	3,90	189	3,03
4	85	3,65	85	3,65	85	3,69	85	2,74
5	317	3,63	192	3,10	192	2,33	324	1,92
6	192	3,10	1	2,52	201	1,99	289	1,84
7	9	3,01	317	2,42	324	1,92	1	1,76
8	51	2,52	32	2,34	289	1,84	116	1,61
9	1	2,52	201	2,33	314	1,82	183	1,57
10	183	2,51	324	2,19	1	1,76	314	1,56
11	324	2,47	9	2,15	32	1,76	192	1,55
12	32	2,34	51	2,10	9	1,72	32	1,46
13	201	2,33	314	2,08	116	1,61	201	1,33
14	197	2,25	187	1,88	288	1,59	9	1,29
15	289	2,21	183	1,88	183	1,57	288	1,27
16	314	2,08	289	1,84	29	1,55	3	1,23
17	25	2,07	116	1,61	187	1,51	317	1,21
18	18	2,03	288	1,59	114	1,33	109	1,13
19	116	2,01	25	1,55	3	1,23	187	1,13
20	209	1,88	29	1,55	317	1,21	114	1,11
21	187	1,88	117	1,49	109	1,13	70	1,07
22	117	1,78	197	1,35	86	1,13	29	1,03
23	3	1,73	114	1,33	70	1,07	206	1,01
24	70	1,61	277	1,32	25	1,04	86	0,90
25	288	1,59	3	1,23	206	1,01	207	0,90
26	207	1,57	18	1,22	277	0,99	197	0,90
27	29	1,55	206	1,16	44	0,99	117	0,89
28	57	1,54	44	1,15	121	0,97	82	0,86
29	239	1,45	82	1,15	94	0,96	51	0,84
30	10	1,41	109	1,13	142	0,94	87	0,84
31	86	1,35	209	1,13	207	0,90	94	0,80
32	114	1,33	86	1,13	197	0,90	185	0,77
33	277	1,32	207	1,12	185	0,89	181	0,70

#### 6.4.2 Náklady na penalizaci při překročení limitu souhrnné doby trvání přerušení

Náklady na penalizaci při překročení limitu souhrnné doby ročního trvání přerušení  $C_{p,Lt}$  spočteme podle vztahu:

$$C_{pv,Lt} = C_p \cdot O_v \cdot \text{cond}(t_s \geq L_t) \quad (6.12)$$

$C_p$  - je penalizace na jedno odběrné místo

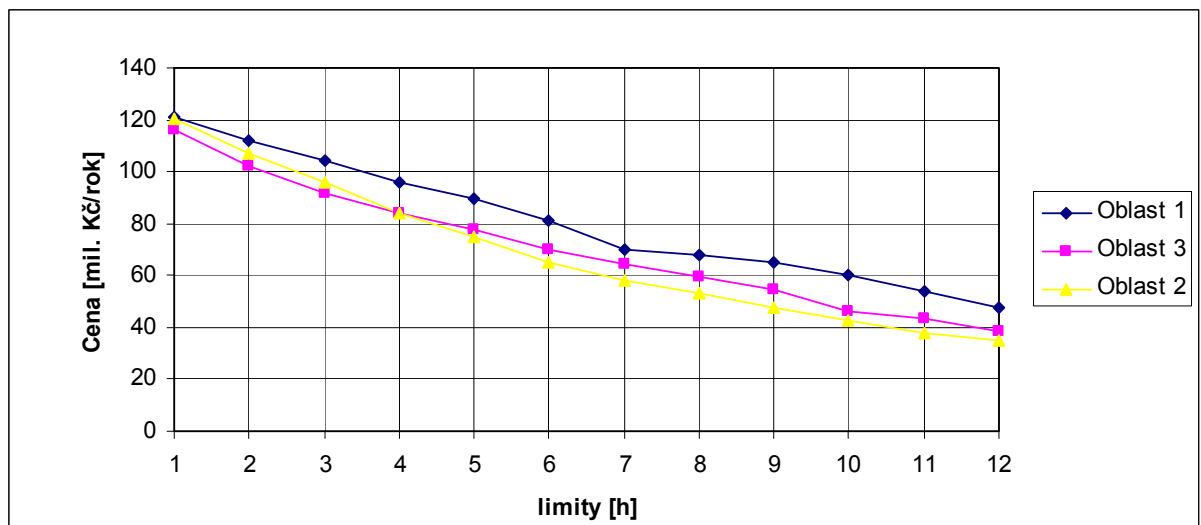
$O_v$  - je počet odběratelů ve sledované oblasti (v části pro kterou se náklady vyčíslují)

$t_s$  - je souhrnná doba roční trvání přerušení

$L_t$  - je limit souhrnné doby trvání přerušení (v našem případě  $1 \div 12$  h za rok)  
 Penalizace na jedno odběrné místo  $C_p$  byla zvolena 1000 Kč.

Tab. 6-12:  $C_{p,L_t}$  pro limit souhrnné doby trvání přerušení  $L_t = 1 \div 12$  h-rok<sup>-1</sup>

limit	[h]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Oblast 1	[mil. Kč]	121	112	104	96	89	81	70	68	65	60	54	48
Oblast 2		116	103	92	84	78	70	64	59	54	46	43	38
Oblast 3		120	107	96	84	75	65	58	53	47	42	38	35
celá síť		357	322	292	264	242	216	192	180	166	148	135	121



Obr. 6-22 Graf vyjadřující  $C_{p,L_t}$  pro limit  $L_t = 1 \div 12$  h-rok<sup>-1</sup> pro jednotlivé oblasti sítě

Z grafu na obr. 6-22 a z tab. 6-12 je patrné, že nejhůře z hlediska  $C_{p,L_t}$  je na tom Oblast 1 a to nezávisle na nastaveném limitu  $L_t$ . Oblast 2 a 3 jsou na tom přibližně stejně. Do  $L_t = 1 \div 3$  h-rok<sup>-1</sup> je na tom oproti Oblasti 3 lépe Oblast 2. Při  $L_t = 4$  h-rok<sup>-1</sup> jsou  $C_{p,L_t}$  pro Oblast 2 a 3 téměř stejné a od  $L_t = 4$  h-rok<sup>-1</sup> do  $L_t = 12$  h-rok<sup>-1</sup> se jako nejhorší jeví Oblast 2.

Pokud bychom chtěli zvyšovat spolehlivost distribuční sítě, měli bychom začít u Oblasti 1, která je nejhorší pro všechny  $L_t$ . Při nastavení  $L_t = 1 \div 3$  h-rok<sup>-1</sup> by bylo nejvýhodnější se jako na druhou oblast pro zlepšení spolehlivosti dodávky el. energie zaměřit na Oblast 2 a od  $L_t = 4 \div 12$  h-rok<sup>-1</sup> by to byla Oblast 3.

V tab. 6-13 a 6-14 je sestupně uspořádáno 10% nejhorších vývodů sítě z hlediska  $C_{p,L_t}$  pro  $L_t = 1 \div 12$  h-rok<sup>-1</sup>. Pomocí těchto tabulek můžeme pro zvolený  $L_t$  najít nejhorší vývody. Tedy vývody celé sítě, u kterých jsou  $C_{p,L_t}$  nejvyšší a mají tedy největší podíl z celkový nákladů sítě.

Pokud bychom se rozhodli zlepšovat spolehlivost jednotlivých vývodů sítě, bude nejefektivnější začít u těch vývodů u kterých jsou  $C_{p,L_t}$  nejvyšší pro nastavený  $L_t$ .

Tab. 6-13: 10% nejhorších vývodů celé sítě z hlediska  $C_{p,Lt}$  pro  $L_t = 1 \div 6 \text{ h-rok}^{-1}$ 

pořadí	limit 1h		limit 2h		limit 3h		limit 4h		limit 5h		limit 6h	
	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$
1	224	9,61	224	9,61	224	9,61	224	9,61	224	9,61	224	9,61
2	47	6,12	179	5,73	179	5,73	179	5,73	179	5,73	179	5,73
3	179	5,73	29	5,17	47	4,76	29	4,65	29	4,65	189	4,33
4	25	5,18	47	4,76	29	4,65	85	4,56	85	4,56	29	4,13
5	29	5,17	85	4,56	85	4,56	189	4,33	189	4,33	51	3,78
6	279	4,95	189	4,33	189	4,33	8	4,33	8	4,33	18	3,65
7	8	4,87	8	4,33	8	4,33	18	4,06	51	3,78	85	3,65
8	85	4,56	9	4,29	25	4,14	192	3,88	18	3,65	25	3,62
9	12	4,36	51	4,20	18	4,06	9	3,86	25	3,62	192	3,49
10	189	4,33	25	4,14	317	4,03	51	3,78	192	3,49	9	3,43
11	9	4,29	57	4,11	192	3,88	285	3,72	9	3,43	109	3,39
12	51	4,20	18	4,06	9	3,86	25	3,62	109	3,39	12	3,39
13	57	4,11	317	4,03	51	3,78	47	3,40	12	3,39	87	3,36
14	18	4,06	192	3,88	285	3,72	109	3,39	87	3,36	285	3,31
15	317	4,03	12	3,87	181	3,49	12	3,39	285	3,31	8	3,24
16	109	3,96	285	3,72	109	3,39	87	3,36	187	3,01	187	3,01
17	192	3,88	197	3,59	187	3,39	317	3,22	277	2,98	317	2,82
18	87	3,78	181	3,49	12	3,39	116	3,21	32	2,93	274	2,80
19	285	3,72	109	3,39	87	3,36	274	3,15	317	2,82	70	2,68
20	289	3,69	187	3,39	289	3,32	181	3,14	116	2,81	32	2,63
21	116	3,61	87	3,36	116	3,21	57	3,08	274	2,80	10	2,53
22	197	3,59	289	3,32	274	3,15	257	3,02	181	2,79	1	2,52
23	181	3,49	277	3,31	57	3,08	187	3,01	47	2,72	324	2,47
24	257	3,39	116	3,21	257	3,02	277	2,98	70	2,68	181	2,44
25	187	3,39	274	3,15	277	2,98	32	2,93	201	2,66	201	2,33
26	201	3,32	142	3,12	32	2,93	70	2,68	257	2,64	82	2,31
27	277	3,30	279	3,09	70	2,68	201	2,66	57	2,57	257	2,26
28	274	3,15	257	3,02	201	2,66	237	2,60	10	2,53	3	2,22
29	142	3,12	32	2,93	237	2,60	284	2,56	1	2,52	45	2,20
30	176	3,10	121	2,92	314	2,60	10	2,53	324	2,47	183	2,20
31	284	2,98	237	2,89	82	2,59	1	2,52	314	2,34	314	2,08
32	32	2,93	82	2,88	121	2,59	45	2,48	237	2,31	47	2,04
33	121	2,92	45	2,76	284	2,56	3	2,47	82	2,31	86	2,03

Pozn.  $C_{p,Lt}$  jsou v mil. Kč za rok



Tab. 6-14: 10% nejhorších vývodů celé sítě z hlediska  $C_{p,Lt}$  pro  $L_t = 7 \div 12 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$ 

pořadí	limit 7h		limit 8h		limit 9h		limit 10h		limit 11h		limit 12h	
	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$	v.č.	$C_{p,Lt}$
1	224	9,61	224	9,61	224	8,65	224	8,65	224	8,65	224	7,69
2	179	5,73	179	5,73	179	5,16	179	5,16	179	5,16	179	4,59
3	189	4,33	189	3,90	189	3,90	189	3,90	189	3,90	189	3,90
4	85	3,65	85	3,65	85	3,65	85	3,65	12	3,39	12	3,39
5	25	3,62	25	3,62	25	3,62	25	3,62	25	3,11	25	3,11
6	9	3,43	9	3,43	9	3,43	9	3,43	9	3,01	51	2,94
7	12	3,39	12	3,39	12	3,39	12	3,39	51	2,94	29	2,58
8	285	3,31	8	3,24	8	3,24	8	3,24	8	2,70	285	2,48
9	8	3,24	29	3,10	29	3,10	51	2,94	29	2,58	274	2,45
10	29	3,10	187	3,01	187	3,01	29	2,58	1	2,52	192	2,33
11	187	3,01	51	2,94	51	2,94	1	2,52	285	2,48	85	2,28
12	51	2,94	285	2,90	285	2,90	285	2,48	274	2,45	3	2,22
13	192	2,72	192	2,72	192	2,72	274	2,45	192	2,33	8	2,16
14	32	2,63	32	2,63	32	2,63	32	2,34	85	2,28	9	2,15
15	10	2,53	1	2,52	1	2,52	192	2,33	187	2,26	1	2,01
16	1	2,52	87	2,52	87	2,52	187	2,26	10	2,25	187	1,88
17	87	2,52	274	2,45	274	2,45	10	2,25	3	2,22	32	1,76
18	324	2,47	201	2,33	109	2,26	3	2,22	32	2,05	109	1,70
19	274	2,45	109	2,26	10	2,25	324	2,19	324	1,92	10	1,69
20	317	2,42	10	2,25	3	2,22	18	2,03	197	1,80	277	1,65
21	201	2,33	3	2,22	324	2,19	197	1,80	82	1,73	18	1,62
22	109	2,26	324	2,19	181	2,09	82	1,73	109	1,70	289	1,48
23	3	2,22	70	2,15	18	2,03	109	1,70	201	1,66	82	1,44
24	183	2,20	181	2,09	107	1,87	87	1,68	277	1,65	38	1,39
25	70	2,15	86	2,03	86	1,81	201	1,66	18	1,62	324	1,37
26	181	2,09	18	2,03	207	1,80	277	1,65	289	1,48	197	1,35
27	86	2,03	82	2,02	197	1,80	86	1,58	38	1,39	70	1,34
28	18	2,03	183	1,88	82	1,73	107	1,56	207	1,35	201	1,33
29	82	2,02	107	1,87	193	1,69	289	1,48	70	1,34	314	1,30
30	116	2,01	314	1,82	201	1,66	46	1,39	314	1,30	121	1,30
31	121	1,94	207	1,80	277	1,65	38	1,39	121	1,30	183	1,26
32	45	1,93	197	1,80	45	1,65	45	1,38	87	1,26	107	1,25
33	107	1,87	193	1,69	121	1,62	207	1,35	183	1,26	44	1,15

Pozn.  $C_{p,Lt}$  jsou v mil. Kč za rok

Srovnání výsledků použitých metod je provedeno v závěru této práce.

## 7 ZÁVĚR

Při použití metody tzv. krabicových grafů pro hodnocení spolehlivosti distribuční sítě jsme zjistili, že souhrnný počet výpadků i souhrnná doba přerušení v jednotlivých letech zůstává téměř konstantní. A to jak pro jednotlivé oblasti tak pro celou distribuční síť. Menší vzestup souhrnné roční doby trvání výpadků lze pozorovat u Oblasti 3 v posledních dvou letech sledování. Tento vzestup ovšem není příliš výrazný a protože se jedná o poměrně krátký časový úsek nemůžeme z tohoto vyvozovat patřičné závěry. Pokud by tento vzestup pokračoval i v dalších letech mohli bychom soudit že se spolehlivost Oblasti 3 zhoršuje.

Metoda krabicových grafů nám neumožňuje více o vývoji spolehlivosti dané oblasti nebo celé sítě za dobu sledování určit. Tato metoda nám pouze říká, v jakých mezích se pohybuje většina sledovaných hodnot a statisticky nám tedy určuje jejich vývoj za dané období. Pomocí této metody nejsme schopni na rozdíl třeba od metody která počítá náklady na nedodanou energii nebo náklady na penalizaci při překročení dovolených limitů ocenit změnu spolehlivosti dané oblasti nebo celé sítě. Nejsme tedy schopni určit jaký vliv na distributora el. energie bude mít případné zhoršení spolehlivosti distribuční sítě. Nelze také lokalizovat nejhorší vývoje u kterých může docházet ke zhoršování spolehlivosti a i když se celková spolehlivost celé sítě nebo dané oblasti nemusí příliš měnit může u některých odběratelů docházet ke značnému zhoršení kvality dodávky elektrické energie. Tato metoda nám slouží k sledování jednotlivých oblastí nebo celé sítě jako celku a pokud by došlo ke zhoršení spolehlivosti většiny vývodů jsme schopni pomocí této metody tuto změnu zaznamenat.

Metodami, které nám slouží k oceňování spolehlivosti vyčíslením nákladů na pravděpodobně nedodanou energii a na penalizaci vlivem překročení dovolených ročních limitů jsme převedli spolehlivostní ukazatele na veličiny vyjádřené v peněžních jednotkách. Tyto metody nám ukazují změnu spolehlivosti změnou nákladů buď na pravděpodobně nedodanou energii nebo na penalizaci. Pomocí těchto metod jsme schopni určit jakou část nákladů nám zabírá konkrétní oblast celé sítě dokonce lokalizovat nejhorší vývoje. Jsme tedy schopni efektivně provádět údržbu a opravy nejhůře hodnocených částí sítě. Díky znalosti nákladů na konkrétní část sítě můžeme porovnat investované prostředky pro zlepšení spolehlivosti a následné výdaje vlivem poruch dodávky elektrické energie.

Oceňováním spolehlivosti metodou vyčíslením nákladů na pravděpodobně nedodanou energii jsme zjistili že se průměrné roční náklady na pravděpodobně nedodanou energii pro celou síť i pro jednotlivé oblasti téměř nemění. Tento stav se nemění ani když vyčíslení provedeme pro VO, MO. Můžeme stejně jako u tzv. krabicových grafů vidět mírný vzestup nákladů v posledních 3 letech.

Srovnáme-li jednotlivé oblasti pomocí metody vyčíslením nákladů na pravděpodobně nedodanou energii, zjistíme, že nejhůře je na tom Oblast 3 a to i v případě uvažování vlivu VO a MO. Vývoj spolehlivosti pro všechny 3 oblasti je podobný jako vývoj spolehlivosti celé sítě. Jen u Oblasti 1 je možné pozorovat náhlé zvýšení nákladů v šestém roce sledování. Toto náhlé zvýšení nákladů u Oblasti 3 se v nákladech na celou síť projevilo jen minimálně a mělo jen chvilkový charakter (projevilo se jen v jednom roce), takže nejde o trvalé zhoršování spolehlivosti.

Srovnáním spolehlivosti pomocí vyčíslení nákladů na penalizace vlivem překročení dovoleného počtu limitu přerušení dodávky elektrické energie nebo limitu doby výpadku jsme zjistili, že i zde vychází jako nejhorší Oblast 1 a to pro všechny zvolené limity. Takže pokud bychom chtěli tyto výdaje minimalizovat musíme začít se zlepšováním spolehlivosti u této oblasti. U ostatních oblastí je jejich pořadí ve výši nákladů na penalizace závislé na zvoleném limitu. Náklady na penalizace u všech oblastí klesají se zvyšujícím se limitem téměř lineárně. I u této metody jsme identifikovali 10% nejhorších vývodů. Pro všechny metody vyčíslování nákladů se jeví jako nejhorší vývod č. 224.

Zadanými metodami se podařilo zhodnotit spolehlivost této distribuční sítě i jednotlivých oblastí sítě. Výsledky získané použitím těchto metod i samotné metody se povedly porovnat a zhodnotit. Tímto byl splněn cíl této práce.

Přínosem této práce je, že získané výsledky mohou být použity pro další určování spolehlivosti této sítě nebo na jejich základě může být provedeno srovnání s jinými sítěmi nebo volen optimální způsob zlepšování spolehlivosti této sítě.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] RUSEK, S. *Spolehlivost elektrických sítí*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001. 116 s. ISBN 80-7078-847-X
- [2] ČSN 01 0102: Názvosloví spolehlivosti v technice. Praha, 1974.
- [3] TŮMA, J., RUSEK, S., MARTÍNEK, Z., CHEMŠINEC, I., GOŇO, R. *Spolehlivost v elektroenergetice*. ISBN 80-239-6483-6.
- [4] Zákon 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), v úplném znění (91/2005 Sb.). Praha, 2005.
- [5] SKALA, P. *Spolehlivost dodávky elektrické energie zákazníkům*. Skripta VUT, Brno, Zář 2007