

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

**ZVYŠOVANIE SPOLĀHLIVOSTI JE**  
IMPROVING RELIABILITY FOR NPP

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**DÁVID DUBOVSKÝ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. PAVEL NERUD**

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Dávid Dubovský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Zvyšování spolehlivosti JE**

v anglickém jazyce:

### **Improving of reliability for NPP**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- 1) Současný stav spolehlivosti JE EBO a ukazatelů WANO
- 2) Požadovaná úroveň spolehlivosti EBO
- 3) Možnosti a metody dosažení požadované úrovně spolehlivosti
- 4) Popis metody INPO AP 913
- 5) Doporučení - co je potřeba změnit pro zavedení uvedené metody

Cíle bakalářské práce:

- 1) Současný stav spolehlivosti JE EBO a ukazatelů WANO
- 2) Požadovaná úroveň spolehlivosti EBO
- 3) Možnosti a metody dosažení požadované úrovně spolehlivosti
- 4) Popis metody INPO AP 913
- 5) Doporučení - co je potřeba změnit pro zavedení uvedené metody

Seznam odborné literatury:

Internet

Technické knihovny a časopisy

Konzultace s odbornou firmou

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Nerud

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 14.11.2011



---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **Abstrakt**

Cieľom tejto práce je zhodnotiť a popísať spoľahlivosť jadrových elektrární Bohunice (JE EBO). Následne vysvetliť metódy zvýšenia spoľahlivosti a podrobnejšie popísať jednu z nich (INPO AP 913). Po popise tejto metódy, práca zhrnie dosiahnuteľné výsledky danej metódy a navrhne spôsob jej aplikácie.

## **Kľúčové slová**

Jadrová elektrárňa, spoľahlivosť zariadenia, komponent, zmena myslenia, neustále zlepšovanie

## **Abstract**

The aim of this paper is to describe and evaluate the reliability of nuclear plants at Bohunice (EBO). Then illuminate the methods for increasing the reliability and specify one of them (INPO AP 913). After describing the methods, summarize the work results of this method and proposes the way of application.

## **Keywords**

Nuclear Power Plant, equipment reliability, components, change of thinking, continuous improvement

### **Bibliografická citácia**

DUBOVSKÝ, D. *Zvyšovanie spoľahlivosti JE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 36 s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Nerud.

## **Čestné vyhlásenie**

Prehlasujem, že som bakalársku prácu s titulom Zvyšovanie spoľahlivosti JE vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

25.5.2012

.....  
Dávid Dubovský

## **Pod'akovanie**

Týmto ďakujem vedúcemu bakalárskej práce ing. Pavelovi Nerudovi a firemným konzultantom, za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.



## Obsah

<b>ZOZNAM SKRATIEK</b>	<b>6</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2 Definície dôležitých pojmov</b>	<b>8</b>
<b>3 Súčasný stav spoľahlivosti JE EBO</b>	<b>9</b>
3.1 Zoznam prevádzkových ukazovateľov WANO.....	9
3.2 WANO ukazovatele .....	10
3.3 Popis WANO ukazovateľov .....	10
3.4 Zhrnutie.....	12
<b>4 Požadovaná úroveň spoľahlivosti JE EBO</b>	<b>13</b>
4.1 Proces zvyšovania spoľahlivosti.....	14
<b>5 Možnosti a metódy dosiahnutia požadovanej úrovne spoľahlivosti</b>	<b>16</b>
5.1 Demingov cyklus (P-D-C-A).....	16
5.2 Zmena myslenia.....	17
5.3 Monitorovanie výkonnosti zariadení .....	20
5.3.1 Monitorovanie výkonnosti systémov a komponentov .....	20
5.3.2 Správa o stave zariadení elektrárne .....	22
5.3.3 Protokol o stave systémov / komponentov .....	23
5.4 Zhrnutie.....	23
<b>6 Popis metódy INPO AP 913</b>	<b>24</b>
6.1 Rozsah a identifikácia kritických a nekritických komponentov.....	25
6.2 Šablóny údržby .....	27
6.3 Stratégia udržiavania systému .....	27
6.4 Zhrnutie.....	28
<b>7 Záver</b>	<b>29</b>
<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY</b>	<b>30</b>
<b>Prílohy</b>	<b>32</b>

## ZOZNAM SKRATIEK

Skratka	Význam
AZ	Aktívna zóna
DGS	Diesel generátorová stanica
EBO	Elektrárň Bohunice
EMO	Elektrárň Mochovce
EPRI	Výskumný ústav energetiky (Electric Power Research Institute)
EQR	Spoľahlivosť zariadenia (Equipment reliability)
FMEA	Analýza typov a dopadov porúch (Failure Modes & Effects Analysis)
GO	Generálna oprava
HNČ	Havarijné napájacie čerpadlo
JE	Jadrová elektrárň
KI	Komponentný inžinier
PDCA	Naplánuj, urob, skontroluj, vyhodnot' (Plan, do, check, act) - etapy tzv. Demingovho cyklu
SE	Slovenské Elektrárne
SHNČ	Superhavarijné napájacie čerpadlo
SI	Systémový inžinier
SKK	Systém, konštrukcia, komponent
SKR	Systém kontroly a riadenia
ÚJD	Úrad jadrového dozoru
USA	Spojené štáty americké
VT hav.č.	Vysokotlaké havarijné čerpadlo
VVER/PWR	VVER je vodo-vodní energetický reaktor/PWR (Pressurized water reactor)
WANO	Svetové združenie jadrových prevádzkovateľov (World Association of Nuclear Operators)

# 1 ÚVOD

Zariadenia a prístroje, ktorými sme obklopený, nám poskytujú každodenne množstvo potrebných služieb a funkcií. Táto výsledná funkcia, respektíve výsledné funkcie sú však výsledkom harmonického fungovania viacerých drobných súčiastok - komponentov, z ktorých sa prístroje skladajú. Hovoríme teda o nejakom celku, ktorý funguje ako systém a je tvorený komponentmi.

Jadrovú elektrárň možno tiež charakterizovať ako celok fungujúcich zariadení, tvoriacich uzavretý systém a dosahujúcich požadovanú funkciu - výrobu elektrickej energie. Každé zo zariadení vykonáva určitú činnosť, ktorá mu bola pridelená (napr. chladiace čerpadlo čerpá chladiivo, núdzové čerpadlo je potrebné v havarijnom stave). Túto činnosť možno charakterizovať na základe dôležitosti voči výrobe elektrickej energie (ak dôjde k poruche, dôjde napríklad k výpadku bloku a prestane sa produkovať elektrická energia) a na základe vzťahu voči jadrovej bezpečnosti (ak dôjde k poruche je ohrozená bezpečnosť).

V tomto bode poznania chodu JE nastáva otázka, ako spoľahlivo a bezpečne udržať v pohotovosti všetky zariadenia po celý čas ich prevádzky. Táto otázka je veľmi často kladená desiatky rokov všetkými odborníkmi na prevádzku JE.

Moja bakalárska práca oboznamuje s možnosťami a metódami, ako dosiahnuť a udržať, čo najvyššiu spoľahlivosť JE. Možnosti, metódy, ale najmä výsledky a hodnotenia budú však aplikované na firmu JE EBO, v ktorej bola bakalárska práca konzultovaná s odborníkmi.

## 2 DEFINÍCIE DÔLEŽITÝCH POJMOV

**Spol'ahlivosť:** *Pod pojmom spol'ahlivosť zariadenia rozumieme, že zariadenie pracuje v zmysle projektu vždy a tak dlho ako je potrebné bez neočakávanej poruchy, pričom tento stav je dlhodobo udržateľný.*

**Proces zvyšovania spol'ahlivosti zariadenia:** predstavuje spojenie a koordináciu širokého rozsahu činností do jedného procesu, za účelom hodnotenia dôležitých zariadení a na zavedenie dlhodobých zdravotných plánov, za účelom monitorovať činnosti a podmienky zariadenia, a množstvo iných činností.

V spojení s procesom zvyšovania spol'ahlivosti nachádzame tiež pojmy, ako preventívna údržba (periodická, prediktívna a plánovaná), pravidlá údržby, riadenie plánovania životnosti, fungovanie zariadenia a monitorovanie podmienok. [1]

**Preventívna údržba:** zahŕňa činnosti, ktoré odhaľujú, zamedzujú alebo zmierňujú degradáciu funkčných štruktúr, systémov a zložiek na udržanie alebo predĺženie funkčnej životnosti riadením degradácie a zlyhaní tak, aby sa dostali na prijateľnú úroveň. Existujú tri typy preventívnej údržby: periodická, prediktívna a plánovaná. [1], [16]

- **Periodická údržba** je formou preventívnej údržby pozostávajúcej zo servisu, výmeny častí, dohľadu alebo testovania v predurčených intervaloch v kalendárnom čase, prevádzkovom čase alebo v predurčenom počte cyklov. [1]
- **Prediktívna údržba** je formou preventívnej údržby vykonávanej trvale alebo v intervaloch riadených prijatou podmienkou s cieľom monitorovať, diagnostikovať alebo zamerať funkčné alebo podmienené indikátory systémov a komponentov. Výsledky naznačujú súčasnú a budúcu funkčnú schopnosť alebo charakter a harmonogram plánovanej údržby. [1]
- **Plánovaná údržba** je formou preventívnej údržby pozostávajúcej zo zlepšenia alebo nahradenia, ktoré je naplánované a vykonáva sa s cieľom zamedziť zlyhaniam systémov a komponentov. [1]  
**Nápravná údržba** zahŕňa činnosti, ktoré obnovujú - opravou, odstávkou alebo nahradením, schopnosť poškodených systémov a komponentov fungovať v rámci prípustných kritérií. [1]

**Riadenie životnosti** je integráciou riadenia starnutia a ekonomického plánovania s cieľom optimalizovať prevádzku, údržbu a životnosti systémov a komponentov, udržiavať prijateľnú úroveň fungovania a bezpečnosti a maximalizovať návratnosť investície počas životnosti elektrárne. [1], [17]

### 3 SÚČASNÝ STAV SPOĽAHLIVOSTI JE EBO

K posúdeniu spoľahlivosti JE je nutné si spoľahlivosť charakterizovať. Charakteristika môže predstavovať slovnú formuláciu, ale môže byť vyjadrená aj číselne. Slovné je spoľahlivosť zariadenia už definovaná v predošlých kapitolách, a preto v tejto kapitole bude vyčíslená. Vzhľadom na rozsiahlosť zariadení obsiahnutých v JE, je nereálne odhadnúť spoľahlivosť JE, ako celku, jednou číslicou. Z toho vyplýva, že výstupných hodnôt bude viacero. Problémom je zjednotenie týchto hodnôt spoľahlivostí. V dnešnej dobe sa na planéte vyskytuje cez 400 jadrových blokov, čo si vyžaduje komplexné riešenie. [19]

Týmito problémami sa zaoberá celosvetová organizácia WANO, ktorej súčasťou sú všetky krajiny a spoločnosti vlastniace a prevádzkujúce JE. Cieľom je dosiahnuť čo najvyšší možný štandard a čo najvyššiu bezpečnosť JE. [2] Z tohto dôvodu boli zavedené celosvetovo jednotné indikátory spoľahlivosti, z ktorých každý indikátor, je zameraný na určitú veličinu, ktorú meria a hodnotí. Tieto hodnoty možno potom vyhodnocovať a porovnávať v rámci všetkých firiem, ktoré WANO združuje.

Na popis aktuálnej spoľahlivosti JE EBO je preto najvhodnejšie použiť WANO ukazovatele, ktoré udávajú hodnoty pre prevádzkové ukazovatele jadrových elektrární. Následne vykonám aktuálne porovnanie a hodnotenie spoľahlivosti JE EBO vo svete.

#### 3.1 Zoznam prevádzkových ukazovateľov WANO

1. Koeficient pohotovosti bloku k nominálnej elektrickej záťaži <i>/Unit capability factor/</i>	<b>UCF</b>
2. Koeficient pohotovosti bloku zohľadňujúci neplánované straty <i>Unplanned Capability Loss Factor/</i>	<b>UCLF</b>
3. Ukazovateľ počtu neplánovaných automatických odstavení reaktora za 7 000 hodín jeho prevádzky v kritickom stave <i>/Unplanned Automatic Scrams per 7000 Hours Critical/</i>	<b>UA7</b>
4. Ukazovateľ nepohotovosti bezpečnostných systémov <i>/Safety System Performance/</i>	<b>SSP</b>
VT hav.č.	<b>SP1</b>
HNČ + SHNČ	<b>SP2</b>
DGS	<b>SP5</b>
5. Ukazovateľ spoľahlivosti paliva <i>/Fuel Reliability Indicator/</i>	<b>FRIP</b>
6. Chemický index <i>/Chemistry index/</i>	<b>CHI</b>
7. Ukazovateľ kolektívnej dávky radiačného ožiarenia personálu <i>/Safety System Performance/</i>	<b>CRE</b>

- |   |              |
|---|--------------|
| 8. Ukazovateľ počtu pracovných úrazov<br>/Industrial Safety Accident Rate/                        | <b>ISAR</b>  |
| 9. Ukazovateľ vynútených strát<br>/Forced Loss Rate/  | <b>FLR</b>   |
| 10. Ukazovateľ počtu pracovných úrazov dodávateľa<br>/Contractor Industrial Safety Accident Rate/ | <b>CISAR</b> |
| 11. Koefficient strát spojených s rozvodnou sieťou<br>/Grid Related Loss Factor/                  | <b>GRLF</b>  |

### 3.2 WANO ukazovatele

Na čo najpresnejší popis spoľahlivosti JE, je potreba viacero ukazovateľov, pričom každý sa zameriava na inú vlastnosť. Ukazovatele sú vymenované v zozname [3], avšak pre tento konkrétny riešený prípad je potrebné definovať iba indikátory, ktoré sa vzťahujú na hodnotenie výroby elektrickej energie.

Spoľahlivosť zariadenia je definovaná, ako prevádzka zariadenia bez neočakávaných porúch. Z tohto vyplýva, že ak sú všetky zariadenia v JE pracujúce s vysokou spoľahlivosťou, neprejaví sa takmer žiadna strata pri výrobe elektrickej energie, voči vopred naplánovanej výrobe. Spoľahlivosť JE je možné najobjektívnejšie posúdiť podľa indikátora hodnotiaceho práve tento pomer medzi reálnou a predpokladanou možnou výrobou počas určitého časového obdobia - najčastejšie jeden rok. [3]

Je teda zbytočné posudzovať zaradenie JE EBO napríklad podľa ukazovateľa chemického indexu, pre účel tejto práce je postačujúce preukázanie spoľahlivosti JE EBO podľa ukazovateľa UCF (Obr. 1). Definície zvyšných ukazovateľov sú uvedené v prílohe tejto práce (str. 36). [3]

### 3.3 Popis WANO ukazovateľov

#### **1. Koefficient pohotovosti bloku k nominálnej elektrickej záťaži (UCF)** */Unit Capability Factor/*

##### *Definícia*

*Koefficient pohotovosti bloku k nominálnej elektrickej záťaži (UCF) je vyjadrený percentuálnym pomerom vyrobenej elektrickej energie za uvažované časové obdobie k referenčnej výrobe elektrickej energie za to isté časové obdobie. [3]*

## 2. Koefficient pohotovosti bloku zohľadňujúci neplánované straty (UCLF)

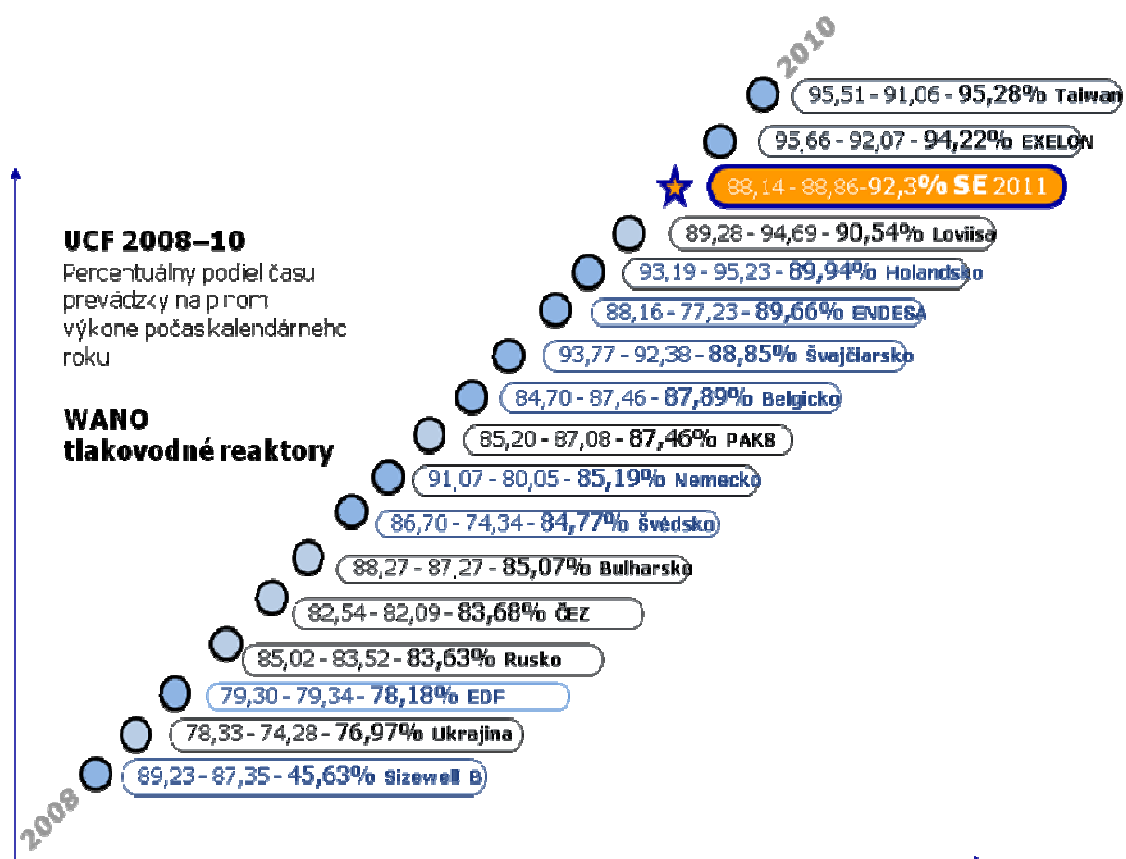
*/Unplanned Capability Loss Factor /*

### Definícia

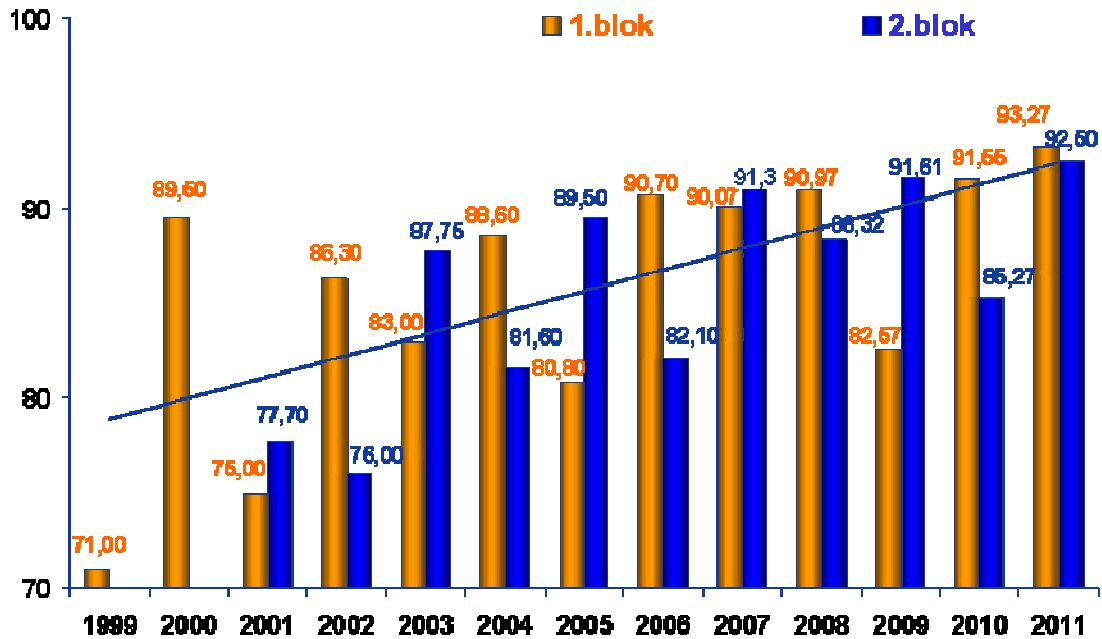
Koefficient pohotovosti bloku zohľadňujúci neplánované straty (UCLF) je vyjadrený percentuálnym pomerom neplánovaných strát výroby elektrickej energie za určité časové obdobie k referenčnej výrobe elektrickej energie za to isté časové obdobie.

Neplánovaná strata výroby je energia, ktorá nebola vyprodukovaná za určité obdobie, pretože bola spôsobená neplánovanými výpadkami, predĺžovaním odstávok alebo neplánovanými zníženiami výroby ovplyvnené vedením elektrárne.

Tieto straty výroby sú považované za neplánované, ak nie sú uvažované aspoň 4 týždne vopred. [3], [1]



Obr. 1: Postavenie SE vo svete na základe UCF. Interné výsledky SE z roku 2011 posadené do WANO výsledkov z roku 2010. [4]



Obr. 2: Trend vývoja UCF pre EBO v rokoch od 1999 do 2011. Graf ukazuje nárast spoľahlivosti JE EBO pre oba bloky. [4]

### 3.4 Zhrnutie

Na základe hodnotenia prevádzkových ukazovateľov, možno usúdiť, že JE EBO sa podľa najnovších výsledkov zaradia v roku 2012 medzi prvú trojicu v rámci EQR. Treba poznamenať, že proces zvyšovania spoľahlivosti je v JE EBO v implementácii už od začiatku rok 2011, a teda sa podpísal na najnovších výsledkoch, čo možno pozorovať na Obr. 2, kde vidíme väčšiu vyrovnanosť spoľahlivostí oboch blokov.

Na hodnotenie boli použité najnovšie výsledky z roku 2011, avšak tieto výsledky sú interne namerané hodnoty na Slovensku a vsadené do modelu WANO. Tento postup bol zvolený z dôvodu, že každoročné hodnotenie WANO nebolo v čase kompletizácie údajov k bakalárskej práci zverejnené.



## 4 POŽADOVANÁ ÚROVEŇ SPOLĀHLIVOSTI JE EBO

Pred objasnením samotných požiadaviek na zlepšenie úrovne spoľahlivosti JE EBO, je nutné si priblížiť záležitosti týkajúce sa JE. Jednou z nich je aj to, že JE spĺňajú funkciu závodu na produkciu a zároveň aj funkciu predajcu. Elektrickú energiu jednak produkujú a jednak s ňou obchodujú.

Každý podnik sa musí prispôsobovať trhu, či už sa jedná o odvetvie obchodu s potravinami, elektronikou, alebo iným tovarom, pretože trend tlačí obchodníkov ponúkať tovar za čo najnižšiu cenu, pri čo najvyššej kvalite. A tento problém nie je výnimkou ani pri JE.

Ďalším veľmi dôležitým faktorom pri produkcii elektrickej energie je bezpečnosť (či už ľudí pracujúcich, alebo bezpečnosť voči životnému prostrediu). Je neprípustné, aby pri výrobe elektrickej energie v jadrovej elektrárni prišlo k ohrozeniu bezpečnosti, pretože to môže mať za následky ohrozenie ľudských životov v celom okolí elektrárne.

Čiže jadrová elektrárňa (a všetky jej prvky) musia spĺňať a spĺňajú najprísnejšie bezpečnostné opatrenia a zároveň pri týchto všetkých nákladoch na opatrenia, byť konkurencie schopný na svetovom trhu. Dôraz je kladený najmä na vysokú efektivitu a produktivitu výroby. Tieto všetky „obchodné podmienky“ musí dodržiavať každá jadrová elektrárňa.

Efektivitu možno definovať ako, čo najvyššiu produktivitu výroby pri čo najmenších výrobných nákladoch. [5]

S pojmom bezpečnosť, úzko súvisí aj pojem spoľahlivosť, pretože s nespoľahlivým zariadením nie je možné dosiahnuť bezpečnú prevádzku.

Jednou z možností, ako zabezpečiť všetky tieto podmienky, je práve zvyšovanie spoľahlivosti jednotlivých zariadení a tým zvýšiť celkovú spoľahlivosť. Ide o zvýšenie spoľahlivosti na vopred určenú hranicu. Jedná sa o proces, v ktorom dochádza k postupnému, ale neustálemu (kontinuálnemu) zlepšovaniu parametrov a ktorý v sebe zahŕňa viacero podprocesov. [6] Podprocesy sú dôležitou a neoddeliteľnou súčasťou zlepšovania spoľahlivosti. Zabezpečujú najmä kontinuálnosť (spojitosť) a udržanie výsledkov, na už dosiahnutej úrovni. [6]

### **Proces zlepšovania spoľahlivosti v sebe zahŕňa:**

- Demingov cyklus (myšlienka cyklu neustáleho zlepšovania)
- Neustály monitoring funkcií komponentov,
- Celkovú zmenu myslenia a pohľadu na výrobu.

Cieľom procesu zvyšovania spoľahlivosti JE, je dosiahnuť takpovediac „absolútnu“ kontrolu nad všetkými prvkami- komponentmi v jadrovej elektrárni.

## 4.1 Proces zvyšovania spoľahlivosti

V tejto podkapitole je obsiahnutý popis vyššie uvedeného procesu zvyšovania spoľahlivosti, ktorý sa momentálne implementuje do fungovania systému JE EBO.

Je nesmierne dôležité, čo najefektívnejšie a najoptimálnejšie monitorovať fungovanie zariadení, vykonávať ich preventívnu údržbu, zlepšovať celkovú funkčnosť, a tým dosahovať stále lepšie a lepšie výsledky na trhu. Tento proces nám popisuje samotné zlepšovanie spoľahlivosti.

Proces zvyšovania spoľahlivosti je založený na princípe, že každé zariadenie, komponent bude pracovať bez poruchy tak dlho, ako sa od neho očakáva, prípadne ak nemá priamy vplyv na jadrovú bezpečnosť a na výrobu, môže byť prevádzkovaný do poruchy (snaha predísť neočakávaným poruchám). Ide o kontinuálne zlepšovanie spoľahlivosti zariadení, znižovanie nákladov spoločnosti a zvyšovanie efektivity elektrárne na vopred určenú hranicu. [6]

Proces zvyšovania spoľahlivosti zariadenia sa snaží zjednotiť široký rozsah činností vykonávaných na zariadeniach do jedného procesu. Zahŕňa dlhodobé plány udržiavania požadovaného technického stavu zariadení. Prostredníctvom tohto procesu bude personál elektrárne monitorovať výkonnosť a kondíciu zariadení, vykonávať úpravy, preventívne činnosti a zároveň ich optimalizovať. [6]

**Tieto dlhodobé plány možno zhrnúť do bodov: [17]**

- zvýšenie celkovej úrovne jadrovej bezpečnosti na prevádzkovaných JE,
- zvýšenie celkovej spoľahlivosti inštalovaných zariadení elektrárne,
- jednotný (spoločný) prístup pri udržiavaní zariadení v rámci EBO a EMO,
- zvýšenie celkovej efektívnosti elektrárne,
- zvýšenie výkonnosti a efektívnosti procesov,
- implementácia gradovaného prístupu v procese zvyšovania spoľahlivosti,
- zníženie výskytu neočakávaných a nepredpokladaných porúch na zariadeniach elektrárne,
- redukcia nepotrebných zásahov a opráv,
- zníženie časovej náročnosti GO,
- zníženie celkových nákladov potrebných na údržbu
- naplnenie cieľov a vízií spoločnosti.

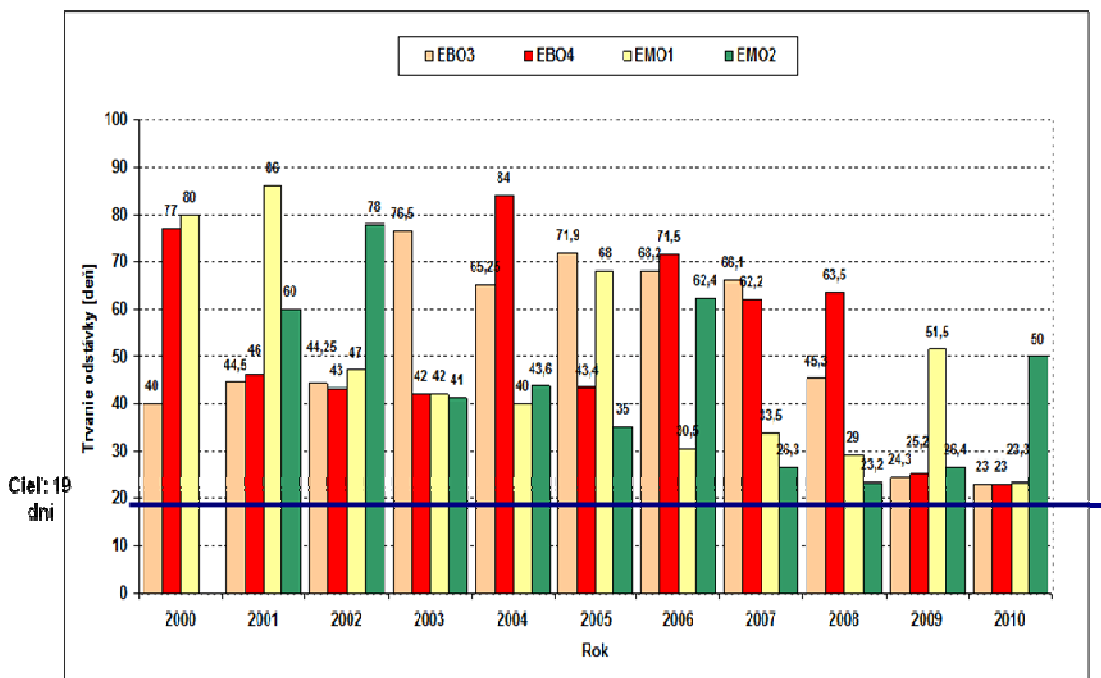
## Ciele efektívnosti prevádzky SE:

Dosiahnuť úroveň najlepších 10% svetových prevádzkovateľov PWR a stať sa najlepším prevádzkovateľom VVER technológie. Podľa ukazovateľov WANO a technicko-ekonomických ukazovateľov dosiahnuť: [6]

- Koeficient pohotovosti bloku (UCF) 93 % - 93,5 %
- Koeficient neplánovaného zníženia výkonu (UCLF) 0.30 %
- Výrobné náklady znížiť o 15 %\*
- Dĺžka odstávky 19 dní

\*oproti hodnotám dosiahnutým v roku 2006

## Ciele efektívnosti prevádzky SE – Trvanie odstávok



Obr.3: Vývoj trvania odstávok v rokoch 2000-2010 v rámci SE. Graf ukazuje neustále zlepšujúcu tendenciu. [6]

Po analýze jednotlivých cieľov vidno, že sa jedná o proces, ktorý uľahčí celkové sledovanie a vykonávanie údržby zariadení a je schopný zjednotiť tento monitoring pre obe jadrové elektrárne na Slovensku. Čím sa výrazne zlepší a urýchli možnosť sledovania aktuálneho technického stavu elektrární. [1], [6]

Je to organizačný proces, ktorý vyžaduje angažovanosť mnohých oddelení elektrárne spravidla preto, aby sa pracovalo efektívnejšie.

## 5 MOŽNOSTI A METÓDY DOSIAHNUTIA POŽADOVANEJ ÚROVNE SPOL' AHLIVOSTI

Požadovaná úroveň spoľahlivosti, teda ciele, ktoré majú byť dosiahnuté v EBO za pomoci procesu zvyšovania spoľahlivosti boli definované v predchádzajúcej kapitole. Teraz však vystáva otázka, ako a za pomoci akých nástrojov, metód tieto ciele dosiahnuť. Bolo tiež spomenuté, že proces zlepšovania spoľahlivosti sa zakladá najmä na dokumente INPO AP 913, ktorý bol aplikovaný už vo viacerých svetových JE, ale tiež na dôležitých podprocesoch, ktoré vyžadujú často krát zmenu prístupu a pohľadu ľudí. Táto kapitola je zameraná práve na tieto podprocesy, ktoré je nutné zaviesť pre realizáciu samotného procesu zvyšovania spoľahlivosti.

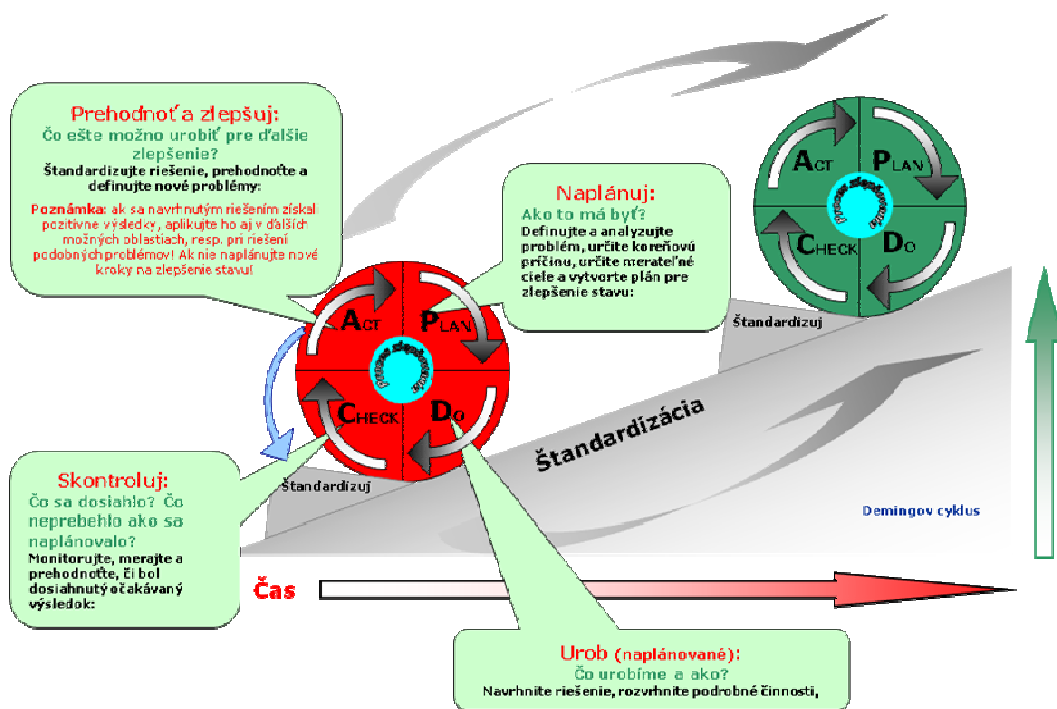
### 5.1 Demingov cyklus (P-D-C-A)

Pri hľadaní správneho dosiahnutia kontinuálneho zlepšovania sa nám otvárajú viaceré možnosti. Jednou z nich je postavenie samotného procesu zvyšovania spoľahlivosti na tzv. Demingovom cykle, ktorý definoval W. Edward Deming.

Jedná sa o tzv. Demingovo koleso, alebo PDCA cyklus (*plan, do, check, act*), ktorý v sebe zahŕňa štyri etapy. [7] Tento proces je založený na neustálom zlepšovaní systému, čo maximálne splňa požiadavky pre proces zvyšovania spoľahlivosti. [7], [8]

#### Samotný cyklus pozostáva zo štyroch etáp:

- *P - plan (plánovanie)*: Po zhromaždení informácií a popise problému, pripravíme plán na odstránenie problému (zlepšenie).
- *D - do (realizácia)*: Je potrebné implementovať zmeny a upovedomiť ľudí, ktorých sa táto zmena dotýka a vysvetliť im dôvod tejto zmeny, získať ich „pre vec“, pretože je to dôležité pre výsledný efekt, ktorý tvoria najmä títo zainteresovaní ľudia.
- *C - check (kontrola a preverovanie)*: nasleduje kontrola výsledkov a zmien, analyzujú sa údaje a je potrebné klásť si otázky: „Došlo ku zlepšeniu?, Do akej miery? Naplnili sa ciele? ...“
- *Act - (vyhodnocovanie)*: ak nedošlo k zlepšeniu problému, je potrebné vymyslieť nový plán na odstránenie problému a hľadať príčinu. Ak je problém odstránený, treba tieto úspešné zmeny zaviesť do systému a každodenných činností.



**Proces, ktorý sa cielene nezlepšuje, sa v priebehu času automaticky zhoršuje!!!**

Obr.4: Princíp neustáleho zlepšovania PDCA. Na obrázku je zachytený princíp fungovania procesu zvyšovania spoľahlivosti JE v spojení s Demingovým kolesom. [6]

## 5.2 Zmena myslenia

Zabezpečenie kontinuálneho rastu zlepšovania spoľahlivosti a najmä udržanie dosiahnutej úrovne si vyžaduje viaceré zmeny v myslení ľudí. Ako napríklad zmena pohľadu, chápania a inžiniersky prístup na údržbu.

JE sa skladá z množstva komponentov, ktoré spolu vzájomne fungujú a spolupracujú. Vytvárajú celky komponentov, nazývané systémami. Systémy možno triediť podľa funkcie, ktorú zabezpečujú (napr. primárny, sekundárny, terciárny okruh a iné).

Komponenty tvoria systémy a systémy sú tvorené komponentmi, ide teda o vzájomnú spoluprácu medzi komponentmi a systémami.

Pri predstave, že by jeden človek mal na starosti jeden komponent, napríklad poistný ventil, a jeho funkciu v rôznych podmienkach (systémoch). Ďalší človek by mal na starosti funkciu jedného systému a vzájomne by títo ľudia spolupracovali a dopĺňali si informácie, vznikne takisto spolupráca medzi systémami a komponentmi. Na jej základe možno včas monitorovať jednak všetky komponenty a jednak systém ako celok

Jedná sa o skvelý systém kontroly a monitoringu systému. Ak teda dôjde k samotnému rozčleneniu, funkcie budú nasledovné: [9]

**Systémový inžinier (SI)** má na starosti:

- zabezpečenie funkciu systému,
- systematické sledovanie výkonnosti systémov a spoľahlivosti,
- identifikáciu slabých miest a zraniteľnosti systémov,
- identifikáciu preventívnych opatrení.

SI pozerá na funkciu systému. Pohľad je ucelený na daný systém a jeho funkciu.

**Komponentný inžinier (KI)** má na starosti:

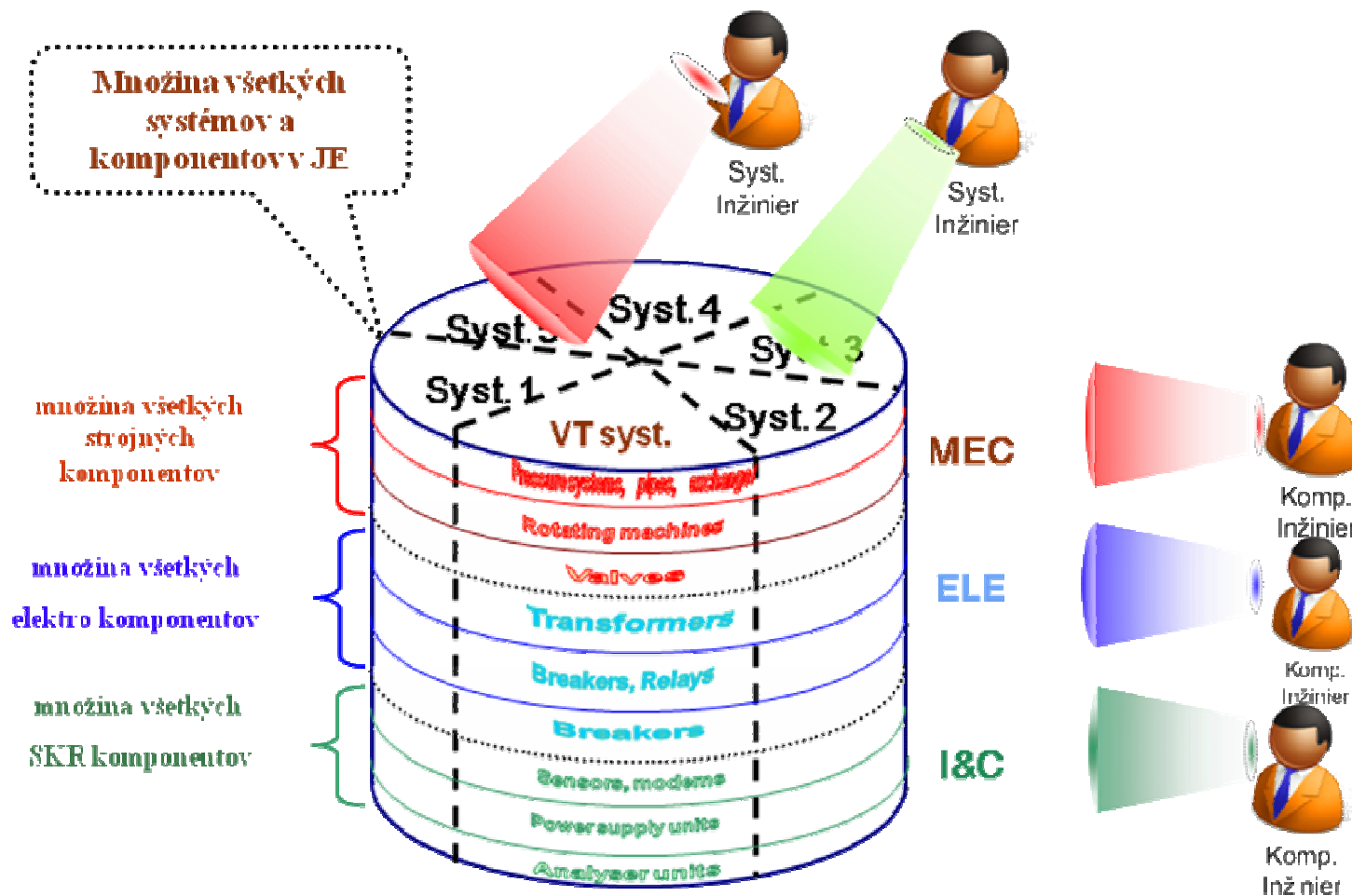
- funkciu komponentu v systéme,
- systematické sledovanie výkonnosti komponentov (u príslušného komponentu celoplošne v rámci celej elektrárne) a ich spoľahlivosti,
- identifikáciu slabých miest a degradovanie komponentov,
- identifikáciu preventívnych opatrení,
- prípravu podkladov pre SI,

Daný komponent (napríklad poistný ventil) sa môže nachádzať vo viacerých systémoch.

KI pozerá na funkciu komponentu, ak dôjde k poruche, dokáže včas preniesť a zväžiť prípadnú poruchovosť aj v iných systémoch.

Tento pohľad umožní zabezpečiť úplnú kontrolu, jednak nad systémom ako celkom a jednak nad každým komponentom a spolu uzatvárajú uzavretý pohľad na údržbu jadrovej elektrárne. [9]

## Rozdiel v pohľade medzi SI a KI



Obr.5: Výstižné zachytenie rozdielu v pohľade systémového a komponentného inžiniera. [9]

### 5.3 Monitorovanie výkonnosti zariadení

*Monitorovanie výkonnosti* predstavuje súhrn činností, ktoré využívajú možnosti na identifikáciu začínajúcich porúch a určenie činností potrebných pre zaistenie spoľahlivej výkonnosti zariadenia. [10]

Je to pravidelné preskúmanie špecifických informácií o systémoch / komponentoch za účelom určenia prijateľnosti súčasných podmienok systému / komponentu.

Monitorovanie výkonnosti musí byť systematické a musí vychádzať z histórie, aby bolo možné predpovedať budúcnosť. Delíme ho na **nepriame** a **priame**.

**Nepriame monitorovanie:** jedná sa o pravidelné preskúmanie historických výsledkov o systémoch/komponentoch, za účelom predikovania budúcej údržby na zlepšenie stavu zariadení (v budúcnosti). [10]

**Priame monitorovanie:** ide o pravidelné preskúmanie fyzických parametrov s cieľom posúdiť súčasnú výkonnosť systémov/komponentov a identifikovať ich degradáciu. [10]

#### 5.3.1 Monitorovanie výkonnosti systémov a komponentov

Pre bližšiu charakteristiku monitoringu výkonnosti zariadení a pre zodpovedanie otázky: *Prečo je monitoring dôležitým faktorom v procese zvyšovania spoľahlivosti?* Je nutné oboznámiť sa s monitorovaním výkonnosti dôvernejšie.

Pri monitoringu treba sledovať jednak aktuálny stav zariadení (priame) a jednak sa snažiť spozorovať slabé miesta, na základe ktorých sa potom predikuje údržba (nepriame). Ide o zložitý proces pozorovania mnohých faktorov a následné vyhodnocovanie a analýzu dát. Samotné vyhodnocovanie dát nebude pre rozsiahlosť v mojej bakalárskej práci popísané. Dôležité je porozumieť systému fungovania monitorovania výkonnosti systémov a komponentov.






Dochádza k práci s veľkým množstvom vstupných údajov, z ktorých sa po vyhodnotení vyprodukuje tabuľka najdôležitejších výstupných údajov. Tieto musia byť zrozumiteľné a prehľadne vyobrazené pre inžiniera, aby si mohol vytvoriť obraz o aktuálnom technickom stave zariadení (Obr. 6).

Výstupným parametrom z monitorovania výkonnosti systémov a komponentov, je ďalej podľa zaradenia komponentu / systému (kritický, nekritický,...) prisudzovaná hodnota dôležitosti. Na hodnotu dôležitosti je tiež braný ohľad pri posudzovaní stavu zariadenia.



Konečné hodnoty po spracovaní by mali udávať úplné hodnotenie stavu systémov a komponentov, ktoré obsahuje:

- prehľadovú tabuľku stavu všetkých hodnotených komponentových skupín (systémov) v JE
- sumárny prehľad stavu komponentových skupín (systémov) v JE
- krátky popis komponentových skupín (systémov), ktorých stav zmenil pásmo a zistení na základe ktorých táto zmena nastala
- navrhnuté a prijaté opatrenia
- protokoly o stave komponentov

Systém farebného hodnotenia a trendovania so skrátenými definíciami		
HODNOTENIE	VÝKONNOSŤ	ČINNOSŤ
ZELENÁ	Dobrá	Nevyžaduje zvýšenú pozornosť
BIELA	Akceptovateľná	Aktuálny výkon/činnosti sú primerané
ŽLTÁ	Podmienečne akceptovateľná	Vyžaduje zvýšenú pozornosť
ČERVENÁ	Neakceptovateľná	Vyžaduje zvýšené monitorovanie a nápravu
TREND	VÝKONNOSŤ	POPIS
	Zlepšujúci sa	Znamená zlepšenie so zmenou farby za posledné obdobie
	Trend zlepšovania	Znamená zlepšenie bez zmeny farby za posledné obdobie
	Neutrálny	Žiadna zmena stavu za posledné obdobie
	Trend zhoršovania	Znamená zhoršenie stavu bez zmeny farby za posledné obdobie
	Zhoršujúci sa	Znamená zhoršenie stavu so zmenou farby za posledné obdobie

Obr. 6: Popis a ukážka farebného značenia pre monitorovanie výkonnosti zariadenia [10]

### 5.3.2 Správa o stave zariadení elektrárne

Monitorujú sa jednak komponenty a jednak systémy, ktorých technický stav sa vyhodnocuje. Tieto informácie sa znova dávajú do súvisu a vychádza tzv. *Správa o stave zariadení elektrárne*. Podrobný obsah správy o stave zariadení elektrárne a podrobný postup jej tvorby, nie je podstatný pre porozumenie fungovania procesu zvyšovania spoľahlivosti JE. Na obrázku č. 7 je uvedený iba príklad z prehľadovej tabuľky stavu všetkých hodnotených systémov, ktorá je obsahom správy o stave zariadení elektrárne, takisto ako prehľadová tabuľka o stave všetkých hodnotených komponentov. [10]

V tabuľke sa uvádzajú parametre získané nielen z monitorovania výkonnosti, ale aj parametre hodnotiace celkový stav zariadenia, ako napríklad: opakujúce sa problémy, fyzický stav, stratégia udržiavania, technické riešenie,... [10]

Táto tabuľka je výstupným údajom pre inžiniera, a mala by mu podávať aktuálny obraz o stave zariadenia, na základe ktorého je schopný ihneď si predstaviť stav a kritickosť udržiavania systému / komponentu.

#### Prehľadová tabuľka stavu všetkých hodnotených systémov

Prehľadová tabuľka stavu systémov			Sledované parametre jednotlivých systémov						
Kód systému	Blok	Systém	Stav systému	Stratégia udržiavania	Opakujúce sa problémy	Fyzický stav	Znížená zaťaženosť a odstavenie	Monitorovanie výkonnosti	Technické riešenie
AA		Reaktor	8	Ž	B	B	Ž	Z	Ž
i		i	8	Č	Z	B	B	Ž	B
BA		Turbosústrojenstvo	4	Ø	Ø	Z	Ž	Ø	Ø
i		i	2	Z	Z	B	Z	B	Z
CA		Generátor a pomocné hospodárstvo	6	Z	B	B	Ž	Ž	Z
i		i	10	Č	Z	Č	Ž	Z	Ž

Obr. 7: Ukážka prehľadovej tabuľky stavu hodnotených systémov JE. Dôležitá je prehľadnosť a zrozumiteľnosť. [10]

### 5.3.3 Protokol o stave systémov / komponentov

Na hodnotenie stavu systémov a komponentov sa tiež používa *protokol o stave systémov / komponentov*, v ktorom je obsiahnuté:

- aktuálny stav systému / komponentu a trend stavu systému / komponentu
- všeobecné zdôvodnenie zaradenia systému komponentu
- popis problémov a ich príčiny
- vykonané a navrhnuté nápravné činnosti
  - zmeny v preventívnej údržbe
  - zmeny frekvencie monitorovania
- plán dlhodobých opatrení

Protokoly o stave systémov a komponentov poskytujú komplexnú informáciu o stave vo všetkých sledovaných oblastiach. Informujú o zmene stavu systému (farebné značenie) a stručne popisujú príčinu tejto zmeny. Popisujú vykonané analýzy na komponentoch / systémoch a informujú o ich výsledku. Oboznamujú o dlhodobom pláne pre daný systém / komponent a takisto o stave jeho plnenia. [10]

## 5.4 Zhrnutie

Monitorovanie výkonnosti patrí v súčasnosti k najproblematickejším článkom zavádzania procesu zvyšovania spoľahlivosti. Problematickým je z pohľadu zavádzania, ale bude aj z pohľadu udržovania (udržanie prehľadnosti dát, spracovanie, pravidelná dodávka výstupných dát). V súčasnosti monitorovanie výkonnosti v JE EBO nie je funkčné, stále sa zariadenia rozčleňujú (kritické, nekritické,... – obsiahnuté v kapitole č. 6) a pracuje sa na tom, aby monitorovanie v budúcnosti podávalo čo najlepší prehľad SI a KI o technickom stave zariadení.

Každý komponent / zariadenie v JE, alebo v procese starne, alebo degraduje. Používanie, aj keď je akokoľvek obozretné, napr. preťaženie, havárie alebo jednoducho čas, to všetko sú faktory, ktoré sa podieľajú na trende degradácie. Tento proces, ktorý je obvykle neviditeľný postupne znižuje schopnosť zariadenia alebo systému správne a spoľahlivo pracovať. Preto je nutné vymyslieť a zaviesť systém udržiavania, ktorý počíta s degradáciou a je schopný udržiavať komponenty v prevádzky schopnom stave tak dlho, ako je potrebné.

Tento systém bol prevzatý z amerického leteckého priemyslu a nazýva sa INPO AP 913. Metóda INPO AP 913 je v súčasnosti zavedená už vo viacerých JE a osvedčila sa ako funkčná, preto sa aj JE EBO rozhodli nasledovať túto cestu a postavili proces zvyšovania spoľahlivosti práve na tejto metóde. [10]

## 6 POPIS METÓDY INPO AP 913

Objasniť zložitejšiu skutočnosť je možné, aj na základe zodpovedania otázok, ktoré sú najčastejšie kladené ľuďmi, pri styku s touto skutočnosťou. Preto je dobré uviesť otázky a v zápatí podať odpovede. Otázky pre metódu *INPO AP 913* znejú:

Prečo sa v oblasti jadrovej energetiky používa metóda vyvinutá pre letecký priemysel? Aký je súvis medzi lietadlom a jadrovou elektrárnou? Možno prirovnať bezpečnosť cestujúcich v lietadle s bezpečnosťou pri výrobe elektrickej energie v jadrovej elektrárni? Je požadovaná spoľahlivosť komponentov v lietadle letiacom vo vzduchu porovnateľná s komponentmi na Zemi v jadrovom závode? [6], [10]

Toto sú najčastejšie kladené otázky pri styku verejnosti s procesom zvyšovania spoľahlivosti a preto budú v tejto kapitole vysvetlené.

Pri zobrať do úvahy času a veku používania lietadiel možno dospieť k istej vzájomnej súvislosti medzi leteckým priemyslom a jadrovou energetikou. Lietadlá bežne lietajú vo veku 20 až 30 rokov neustálej doby prevádzky. Z neinžinierskeho hľadiska možno povedať, že takýto stroj je starý a nespoľahlivý. No ak vezmeme do úvahy, že tento stroj je udržiavaný od vzlietnutia po pristátie, kde sú vždy monitorované jeho dôležité funkcie a dávajú presný obraz o stave zariadenia resp. systému. Všetky jeho kritické komponenty sú po prilete na letisko vymenené za nové resp. nahradené novými alebo vopred reparovanými a dôležité časti ako krídla, klapky prekontrolované, alebo monitorované. V lietadle sú vymenené všetky dôležité komponenty a lietadlo je uvedené do stavu ako nové. [6]

Presne tak sú prevádzkované a udržiavané prúdové dopravné lietadlá. Od štartu po najbližšie pristátie. Podobná požiadavka na prevádzku, udržiavanie a riadenie spoľahlivosti je aj v JE, to znamená od spustenia bloku do plánovaného odstavenia bloku. Myšlienka je rovnaká, len dĺžka prevádzkovania je rozdielna.

Treba však dodať, že nároky na spoľahlivosť lietadiel a JE nie sú zrovnateľné. Štatistiky uvádzajú, že pravdepodobnosť havárie pre JE (teda pravdepodobnosť, že dôjde k taveniu aktívnej zóny) musí byť 100 krát nižšia, ako je pravdepodobnosť havárie lietadla. To si vyžaduje nielen vynikajúcu vlastnú spoľahlivosť, ale tiež politiku údržby, ktorá prakticky vylučuje poruchy pre bezpečnostne dôležité zariadenia (tzv. „nulová tolerancia“ pre vznik poruchy na bezpečnostnom systéme). [6], [16]

## 6.1 Rozsah a identifikácia kritických a nekritických komponentov

V predošlých kapitolách bol spomenutý pojem „kritický komponent“. Tento názov evokuje, že všetky komponenty tvoriace systém možno rozdeliť do skupín. A to podľa dôležitosti funkcie, ktorá má samozrejme vplyv na spoľahlivú a bezpečnú prevádzku (u lietadla sa požaduje bezpečné pristátie a u JE nesmie dôjsť k poruche dôležitého zariadenia). Podľa týchto kritérií možno komponenty rozdeliť na: [17]

- kritické,
- nekritické,
- prevádzkované do poruchy,

Pozn.: Komponent alebo prvok komponentu môže byť vyhodnotený aj ako nulový komponent / prvok komponentu.

**Kritický:** zlyhanie je netolerovateľné, má skutočný dopad na jadrovú bezpečnosť alebo výrobu. [11]

**Tolerovateľnosť:** znamená, že v prípade výskytu poruchy musí byť táto porucha vyšetrená a musia sa prijať také preventívne opatrenia, aby sa zamedzilo jej výskytu v budúcnosti. [11]

**Nekritický komponent:** riziká a následky zlyhania sú akceptovateľné z pohľadu jadrovej bezpečnosti, alebo výroby. Zariadenie je však potrebné pre niektoré z dôležitých systémov a jeho porucha by viedla k poruche iných komponentov. Na určenie nekritického komponentu sú presne vypísané „kontrolné otázky“ (kritéria) podľa legislatívy SR, ak je odpoveď „áno“, jedná sa o komponent nekritický, v opačnom prípade, môže byť komponent prevádzkovaný do poruchy. [11]

**Ukážka kritérií:** [11], [17]

- porucha SKK spôsobuje neprijateľné zvýšenie bezpečnostného rizika pre pracovníkov, výrobu el. energie, alebo životné prostredie
- SKK má neakceptovateľne vysoké náklady na opravu, alebo výmenu
- porucha SKK predstavuje záťaž pre operátora alebo údržbársky personál
- SKK je zastaraný, jeho obstaranie je problémové, alebo je veľmi nákladná jeho oprava, alebo výmena
- čas dodávok náhradných dielov je dlhý, čo bráni včasnej oprave požadovaného komponentu
- komponent je dôležitý pre funkciu kritického zariadenia
- porucha SKK zvyšuje pravdepodobnosť vzniku poruchy na inom SKK
- existuje možnosť vzniku nových rizík, napr. pre životné prostredie

- porucha SKK môže viesť k neželaným prechodovým stavom v prevádzke, strate na výrobe el. energie, strate alebo znížení potrebnej redundantnosti, alebo narušení ochrany do hĺbky
- porucha SKK môže viesť k opatreniam zo strany ÚJD
- porucha komponentu bude brzdiť alebo brániť oprave kritického komponentu
- údržba komponentu je nákladovo výhodnejšia v porovnaní s opravou alebo výmenou.

Vo všeobecnosti možno povedať, že ide o nekritický komponent, ak pri poruche daného komponentu nastane neprijateľne zvýšené bezpečnostné riziko pre pracovníkov, výrobu el. energie, alebo životné prostredie, ak sú pri poruche neakceptovateľne vysoké náklady na opravu, ak je obstarávanie komponentu problémové, čas dodávok náhradných dielov je príliš dlhý, a pod.

**Komponent prevádzkovaný do poruchy:** riziká a následky zlyhania sú akceptovateľné, nie je potrebné vykonávať žiadnu preventívnu alebo prediktívnu údržbu. [11]

**Nulový komponent/prvok komponentu:** zariadenie, ktoré je konštrukčne spoľahlivé, s nízkou alebo nulovou prevádzkovou dôležitosťou a nepredpokladá sa jeho zlyhanie. Na nulový komponent/prvok komponentu nie je uplatňovaná žiadna šablóna údržby, hoci môže byť klasifikovaný ako kritický, nekritický alebo prevádzkovaný do poruchy. Medzi nulové komponenty/prvky komponentu patria napr. malé ručné ventily na drenáži alebo odvzdušnení, stožiare, podpery, podporné konštrukcie, závesy a pod. [11]

#### **Prvok komponentu:**

Každý komponent sa skladá z prvkov. Napríklad ak je merací obvod považovaný za komponent, jeho prvky sú rôzne snímače, zdroje, meracie zariadenia. [11]

#### **Označovanie komponentov a prvkov komponentov:**

-bolo zavedené pre prehľadnosť komponentov/prvkov [11]

**A** – kritické komponenty

**B** – nekritické komponenty

**C** – komponenty prevádzkované do poruchy

**D** – kritické prvky komponentov

**E** – nekritické prvky komponentov

**F** – prvky komponentov prevádzkované do poruchy

Úlohou zostáva samotné rozčlenenie komponentov do daných kategórii, ktoré v praxi môže byť problematické. Znamená to, že na presné rozčlenenie komponentov / prvkov komponentov, sú stanovené doplňujúce otázky, pomocou ktorých je inžinier schopný správne zaradiť komponent / prvok. Otázky sa týkajú špecifickejších porúch, dopadov porúch na systémy, čím umožnia inžinierovi lepší pohľad na dôležitosť komponentu a tak uľahčujú rozdeľovanie.

Takisto ako aj tvorba systémov, je presne dimenzovaná činnosť, podľa kontrolných otázok a definícií.

## 6.2 Šablóny údržby

Po samotnom rozdelení komponentov podľa kritickosti, treba pre každú kategóriu komponentov stanoviť údržbu, čiže frekvenciu a spôsob údržby. Toto je nevyhnutné pre splnenie požadovanej funkcie komponentu a pre samotný proces zvyšovania spoľahlivosti. Údržbu stanovujeme pomocou tzv. *šablón údržby*.

**Šablóna údržby:** je hlavným nástrojom kontinuálneho zvyšovania spoľahlivosti zariadenia.

Je to dokument, ktorý vymedzuje komponenty, definuje typy činností a rámcovo popisuje činnosti prediktívnej a preventívnej údržby (monitorovanie, skúšky, inšpekcie, bežné a generálne opravy, kontroly a diagnostika na zistenie porúch), ktoré sa vykonávajú na **kritických (A) a nekritických (B) komponentoch a ich prvkoch (D,E)** rovnakého alebo podobného typu (napr. armatúry, čerpadlá, elektromotory) so stanovením frekvencie činnosti. [12]

Tvorba šablón údržby je podobne ako rozčleňovanie komponentov podľa kritickosti zložitý proces. Na samotnú tvorbu šablón sa používajú dlhodobé skúsenosti s udržiavaním JE v USA, množstvo zložitých analýz typov a dopadov porúch (FMEA) a EPRI šablóny. [12] Týmto sa pre prílišnú rozsiahlosť a zložitosť nebudem v mojej bakalárskej práci podrobnejšie zaoberať.

## 6.3 Stratégia udržiavania systému

Rozdelenie komponentov, začlenenie prvkov komponentov, priradenie šablón údržby k jednotlivým komponentom / prvkom znamená vytvorenie *stratégie udržiavania systému*.

Do celkovej stratégie udržiavania však treba zahrnúť oveľa viac faktorov, ako je príslušnosť prvku ku kritickým, nekritickým. Treba uvažovať aj podmienky prevádzky komponentu (teplota, vlhkosť, zaťaženie a iné).

Toto všetko však pôsobí zložito a v praxi môže dôjsť k zlej orientácii, preto je dôležité prehľadné grafické a symbolické značenie. Ukážka je na obr.č.4.

Technické miesto	Názov technického miesta	Kritičnosť	Staž. podmienky	Ťažký prac. cyklus	Kód SU
05	06	49	50	51	53
PA03-1BDM.014	VYVOD 1JNF61AP001 500KW	A	nie	nie	SU2202.4
PA03-1BJB40.002:06	VYVOD 1JNF60AA001	B	nie	nie	SU2201.8
PA03-1BNM40.006:02	VYVOD 1JNF61AA011	A	nie	nie	SU2201.4
PA03-1BNM41.002:03	VYVOD 1KAA60AP001	B	nie	nie	SU2201.8
PA03-1BNM41.004:04	VYVOD 1JNF61AA018	A	nie	nie	SU2201.4
PAU3-1JNF60AAU01	VENTIL-PRIVOD 1JNF60BB001	B	áno	áno	SU1003.5
PA03-1JNF60AA001-M 001	SERVOPOHON	E	nie	áno	
PA03-1JNF60AA002	VENTIL-ODVOD NA SOV-8	A	áno	nie	SU1003.2
PA03-1JNF60AA002-M 001	SERVOPOHON	D	nie	nie	
PA03-1JNF60AA003	POSUVAC-PRIV.Z 1JNF60BB01 NA SANIE CERP.	A	áno	nie	SU1003.2
PA03-1JNF60AA003-M 001	SERVOPOHON	D	nie	nie	

Obr. 8: Stratégia udržiavania systému [13]

## 6.4 Zhrnutie

Šablóny údržby, stratégie udržiavania systémov, rozčleňovanie komponentov, sú procesy, ktoré sa v dnešnej dobe stále zavádzajú do behu v EBO. Teda nie sú plne funkčné, na vývoji presných šablón údržby a na stratégiách udržiavania systémov pracuje tím ľudí. Pre správny výsledok tvorby šablón a stratégií, sú potrebné vstupy z monitorovania výkonnosti (z hodnotenia výkonnosti systému / komponentu), z určenia rozsahu a identifikovania kritických komponentov a množstvo iných vstupov.

Tvorba šablón údržby a stratégií udržiavania systémov je kontinuálne zlepšujúci sa proces. Zdrojom podnetov pre zlepšovanie je buď proces EQR samotný, iné procesy v EBO (Demingov cyklus, zmena myslenia, a iné), alebo vonkajšie prostredie. Zlepšovanie znamená neustále prispôsobovanie šablón a stratégií udržiavania systémov všetkým podnetom, ktoré upozorňujú na potrebnú zmenu. Dôležité je včas zaregistrovať podnet, identifikovať charakter zmeny plynúcej z podnetu a zhromaždiť dostupné podklady pre zmenu. [12]



## 7 ZÁVER

Spôľahlivosť JE patrí v súčasnosti k diskutovaným témam v oblasti energetiky. Podľa spôľahlivosti a bezpečnosti sa hodnotia a porovnávajú všetky energetické spoločnosti sveta, ktoré sa predbiehajú a súperia o najlepšie výsledky, aby mali čo najmenší dopad na životné prostredie a zdravie človeka. Spôľahlivosť je jedným z najdôležitejších hodnotení JE, a teda tomuto cieľu sa podriaďuje množstvo dát, kontrol, konaní pracovníkov JE. Od dosiahnutých výsledkov závisí totiž chod a budúcnosť JE. Na základe čoho možno zhrnúť, že od úspešnosti zavedenia procesu zvyšovania spôľahlivosti závisí aj úspešnosť EBO v budúcnosti.

Táto bakalárska práca zahŕňa všetky podprocesy a procesy dôležité pre zavádzanie procesu zvyšovania spôľahlivosti. Ukazuje, že poprepájaním podprocesov vznikne uzavretý celok, ktorý má ustálenú činnosť a je schopný sebakontroly a tým pádom aj nekonečného chodu. Ukazuje, že jednotlivé časti procesu zvyšovania spôľahlivosti sú všetky rovnako dôležité a porušením, prípadne nedodržiavaním, alebo nedostatočným porozumením pravidiel plynúcich z týchto podprocesov môže spôsobiť celkovú nefunkčnosť procesu zvyšovania spôľahlivosti.

Na začiatku práce sú zhodnotené najaktuálnejšie výsledky spôľahlivosti. Tieto výsledky sú už v súčasnej dobe na veľmi dobrej úrovni. Z tohto vyplýva, že proces zvyšovania spôľahlivosti naberá na účinnosti hneď od začiatku, pretože väčšina podprocesov už bola implementovaná do chodu elektrárne. Je však otázne, či sa JE EBO udržia na tejto úrovni aj počas najbližších rokov, pretože samotné INPO AP 913 nie je kompletne zavedené. V aktuálnom čase prebieha tvorba šablón údržby, a hierarchické rozčleňovanie komponentov, systémov podľa kritérií. Domnievam sa, že celková úspešnosť tohto projektu závisí v prvom rade na schopnostiach a tímovej práci inžinieringu EBO. Dôležitým faktorom pri zavádzaní tohto procesu je tiež dodržiavanie princípu Demingovho cyklu, pretože z aktuálnych výsledkov pozorujeme zlepšenie, no otázkou zostáva, či je toto zlepšenie trvalé, alebo iba skokové. Isté však je, že zavedenie procesu zvyšovania spôľahlivosti si vyžaduje ešte veľa úsilia a plánované dokončenie je termínované do roku 2017.

V budúcnosti by bolo zaujímavé porovnať ciele, ktoré mali byť dosiahnuté zavedením procesu zvyšovania spôľahlivosti s reálnymi cieľmi dosiahnutými týmto procesom.

Bakalárska práca bola vytvorená v spolupráci s odborníkmi na spôľahlivosť, pod vedením podniku EBO. V blízkej budúcnosti môže byť použitá ako školiaci materiál, pre tím ľudí pracujúcich na zavádzaní procesu zvyšovania spôľahlivosti v EBO. Môže tiež slúžiť pre personál EBO, ako pomôcka pri objasnení procesu zvyšovania spôľahlivosti.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] SE. *INPO AP-913r1*. Jaslovské Bohunice, 2011.
- [2] THE WORLD ASSOCIATION OF NUCLEAR OPERATORS. *WANO Mission* [online]. 1989-2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://wano.forepoint.biz>.
- [3] EBO. *WANO správa*. Jaslovské Bohunice, 2010.
- [4] SE. *Prezentácia na Kaskády 2 úroveň 2012: Upravené*. Jaslovské Bohunice, 2012.
- [5] *FT6 - Finančný trh* [online]. Bratislava, 2010 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: [www.fses.uniba.sk/fileadmin/user\\_upload/.../FT6-Financny\\_trh.doc](http://www.fses.uniba.sk/fileadmin/user_upload/.../FT6-Financny_trh.doc). Prednáška. Univerzita Komenského v Bratislave.
- [6] EBO. *Equipment reliability (EQR): Všeobecná časť*. Jaslovské Bohunice, 2011.
- [7] Ing. Jozef Priesol, PhD. *Jozef Priesol, integrovaný systém* [online]. 2008 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.jozefpriesol.sk>
- [8] Lukáš Richter. *Lukáš Richter* [online]. 2010 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.lukasrichter.sk/>
- [9] EBO. *Equipment reliability (EQR): Záverečná časť*. Jaslovské Bohunice, 2011.
- [10] EBO. *Equipment reliability (EQR): Performance monitoring*. Jaslovské Bohunice, 2011.
- [11] EBO. *Equipment reliability (EQR): Scoping & Identification*. Jaslovské Bohunice, 2011.
- [12] EBO. *Equipment reliability (EQR): Continuous Equipment Reliability Improvement*. Jaslovské Bohunice, 2011.
- [13] EBO. *Equipment reliability (EQR): LTP & LCM final*. Jaslovské Bohunice, 2011.
- [14] Ivara. *Ivara Asset Performance* [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.ivara.com/content/pdfs/Ivara%20EXP%20Supports%20INPO%20AP-913.pdf>
- [15] Westinghousenuclear. *Westinghouse Electric Company: LLC* [online]. 2010 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: [http://www.westinghousenuclear.com/Products\\_&\\_Services/docs/flysheets/NS-ES-0071.pdf](http://www.westinghousenuclear.com/Products_&_Services/docs/flysheets/NS-ES-0071.pdf)
- [16] American Nuclear Society. *Equipment Reliability Index* [online]. 2005 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.ans.org/pubs/magazines/nn/docs/2005-10-2.pdf>
- [17] SE. *Methodical guide: Equipment reliability*. Jaslovské Bohunice, 2011.

- [18] SE. *ER implementation in Slovenské Elektrárne*. Jaslovské Bohunice, 2012.
- [19] HRIVÍK, Ing. Rudolf. SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE A ZLEPŠOVANIE SPOĽAHLIVOSTI ZARIADENIA. *SPRAVODAJ ATDSR* [online]. 2008, č. 1 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z:  
[http://atdsr.sk/Documents/spravodajATDSR\\_2008.pdf#page=21](http://atdsr.sk/Documents/spravodajATDSR_2008.pdf#page=21)

## **PRÍLOHY**

Príloha č.1: Definície ukazovateľov WANO

## Definície ukazovateľov WANO

### 3. Ukazovateľ počtu neplánovaných automatických odstavení reaktora za 7 000 hodín jeho prevádzky v kritickom stave (UA 7)

*/Unplanned Automatic Scrams per 7 000 Hours /*

#### Definícia

Ukazovateľ charakterizujúci počet automatických odstavení reaktora za 7 000 hodín jeho kritickej prevádzky (UA 7) je určený ako počet neplánovaných automatických odstavení reaktora za 7 000 hodín trvania kritickej prevádzky

### 4. Ukazovateľ nepohotovosti bezpečnostných systémov

*/Safety System Performance -SSP/*

#### Definícia

Ukazovateľ nepohotovosti bezpečnostných systémov (SSP) sa určuje zvlášť pre každý z troch bezpečnostných systémov (BS) a je definovaný ako súčet nepohotovostí komponentov (alebo jednotlivých vetví systému zaisteného napájania), vybraných BS za určité časové obdobie, ktoré sú delené počtom jednotlivých trás v systéme.

Cieľom tohoto ukazovateľa je aproximovať priemernú nepohotovosť trasy, ktorá je spôsobená nepohotovosťou jednotlivých komponentov v príslušnej trase.

Pre elektrárne typu VVER sa pomocou tohto ukazovateľa monitorujú nasledovné bezpečnostné systémy:

- a. systém vysokotlakového havarijného chladenia AZ reaktora
- b. systém havarijného napájania a systém superhavarijného napájania
- c. systém II. kategórie zaisteného napájania vlastnej spotreby

Bezpečnostné systémy boli vybrané pre výpočet ukazovateľa SSP na základe svojho významu pre zabránenie poškodenia AZ reaktora, alebo dlhodobého odstavenia bloku.

Sú to systémy, ktoré sú nevyhnutné pre udržanie zásoby chladiva v prípade udalostí spojených s únikom chladiva, dôležité pre odvod zvyškového tepla z reaktora po jeho automatickom odstavení, alebo strate napájacej vody a systémy nevyhnutné pre zaistené elektrické napájanie vlastnej spotreby v prípade úplnej straty vonkajších zdrojov napájania bloku.

### 5. Chemický ukazovateľ

*/Chemistry Index - CHI /*

#### Definícia

Chemický ukazovateľ (CHI) porovnáva koncentráciu vybraných nečistôt a koróznych produktov so zodpovedajúcimi limitnými, resp. doporučenými hodnotami. Každý chemický parameter je delený limitnou hodnotou, resp. doporučenou hodnotou a suma pomerných hodnôt je normovaná k jednotke.

Limitné hodnoty sú „dosiahnuteľné hodnoty“, ktoré sú medzinárodne definované

v priemysle ako akceptovateľné hodnoty

Doporučené hodnoty sú „*dosiahnuteľné hodnoty*“, ktoré sú doporučené pre SE.

Pokiaľ sú hodnoty všetkých chemických parametrov bloku rovné limitným hodnotám, prípadne sú nižšie ako tieto limitné hodnoty, je hodnota chemického ukazovateľa rovná jednej, čo je najnižšie dosiahnuteľná hodnota.

Pre bloky VVER sú limitné hodnoty uvedené v nasledujúcej tabuľke [ppb]:

Vážený priemer chloridov v odluhoch PG	75 ppb
Vážený priemer síranov v odluhoch PG	125 ppb
Vážený priemer sodíka v odluhoch PG	100 ppb
Vážený priemer železa v napájacej vode do PG	9 ppb
Vážený priemer medi v napájacej vode do PG	2 ppb
Vážený priemer katexovej vodivosti v odluhoch PG	2 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Tab. 1: Limitné hodnoty chemických parametrov

## 6. Ukazovateľ spoľahlivosti paliva /FRI/

*/Fuel Reliability Indicator /*

Ukazovateľ spoľahlivosti paliva (FRI) sa určuje na základe hodnôt aktivít štiepných produktov, ktoré sa nachádzajú v chladive primárneho okruhu.

### Definícia

*Ukazovateľ je definovaný ako ustálená aktivita jódu 131 ( $^{131}\text{I}$ ) v chladive primárneho okruhu, ktorá je upravená na migrujúce usadeniny uránu a úroveň výkonu a je normovaná na celkovú rýchlosť čistenia chladiva v primárnom okruhu.*

### Ustálený stav:

Je definovaný ako nepretržitá prevádzka v období najmenej troch dní na výkone, ktorý sa v danom intervale nemení viac ako  $\pm 5\%$ .

Hodnoty pre tento ukazovateľ musia byť získavané na výkone väčšom ako 85 %. Pre bloky prevádzkované na nižšom výkone, musia byť tieto hodnoty odčítavané pri najvyššom výkone, ktorý bol dosiahnutý v priebehu mesiaca.

### Migrujúce usadeniny uránu:

Predstavujú palivo, ktoré sa usadilo na vnútro reaktorových častiach počas predchádzajúcich porušení palivových článkov, alebo sa objavilo na povrchu

palivových článkov počas výrobného procesu.

Pre účely tohto ukazovateľa sa predpokladá, že migrujúca usadenina uránu je zložená z 30 % uránu a 70 % plutónia.

### **Celková rýchlosť čistenia chladiva v primárnom okruhu:**

Je to intenzita čistenia, ktorá predstavuje hmotnostný podiel chladiva v primárnom okruhu, ktoré prechádza čistiacou stanicou chladiva primárneho okruhu za sekundu.

## **7. Ukazovateľ kolektívnej dávky radiačného ožiarenia personálu**

*/Collective Radiation Exposure - CRE/*

### *Definícia*

*Ukazovateľ kolektívnej dávky radiačného ožiarenia personálu (CRE) vyjadruje celkovú celotelovú dávku, ktorú obdrží personál elektrárne (vrátane pracovníkov dodávateľských organizácií a návštevníkov) za uvažované časové obdobie.*

Dávka je meraná pomocou filmových osobných dozimetrov, alebo termoluminescenčných dozimetrov (TLD).

Pre účely ukazovateľa sa uvažujú len tí návštevníci elektrárne, ktorí oficiálne navštívia elektrárňu v záležitostiach týkajúcich sa prevádzky. Kolektívna dávka zahŕňa výsledky z monitorovania externej expozície metódou Filmovej dozimetrie. Filmové dozimetre sa vyhodnocujú v presne stanovených mesačných intervaloch. V monitorovaní externej expozície sa pre vybranú skupinu pracovníkov používajú aj neutrónové dozimetre. Vyhodnocujú sa v nepravidelných intervaloch. Hodnoty získané vyhodnotením týchto neutrónových dozimetrov sa neuvádzajú v rámci kolektívnej dávky radiačného ožiarenia personálu pre účely WANO.

## **8. Ukazovateľ počtu pracovných úrazov**

*/Industrial Safety Accident Rate - ISAR/*

### *Definícia*

*Ukazovateľ počtu pracovných úrazov (ISAR) sa definuje ako množstvo úrazov (pre celý stabilný personál jadrovej elektrárne), ktoré vedú k strate jedného, alebo viacerých pracovných dní (s výnimkou dňa úrazu), alebo k zníženej pracovnej schopnosti v práci v trvaní jedného, alebo viac dní, alebo počet smrteľných pracovných úrazov vzťahnutých na  $2 \times 10^5$ , alebo  $1 \times 10^6$  odpracovaných človekohodín.*

## **9. Koeficient vynútených strát počas prevádzky FLR**

*/Operating period forced loss rate/*

### *Definícia*

*Koeficient vynútených strát je vyjadrený ako percentuálny pomer neplánovaných strát elektrickej energie počas prevádzky k referenčnej výrobe elektrickej energie mínus straty zodpovedajúce plánovaným odstávkam a ich možným neplánovaným predĺženiam*

počas toho istého časového obdobia.

## **10. Ukazovateľ počtu pracovných úrazov dodávateľa**

*/Contractor Industrial Safety Accident Rate - CISAR/*

### *Definícia*

*Tento indikátor je definovaný ako počet úrazov všetkého zmluvného personálu, vrátane všetkých dodávateľov, pomocného personálu a všetkého mimoelektrárenského personálu, pracujúceho na lokalite, ktorých dôsledkom je jedno- alebo viacdenná neprítomnosť na pracovisku (s výnimkou dňa úrazu) alebo počet smrteľných nehôd na 200 000 alebo 1 000 000 odpracovaných človekohodín. Výber počtu odpracovaných človekohodín 200 000 alebo 1000 000 vykonáva krajina, ktorá údaje zberá a medzinárodné údaje sú uvádzané pomocou oboch mierok.*

## **11. Koefficient strát spojených s rozvodnou sieťou GRLF**

*/Grid Related Loss Factor/*

### *Definícia*

*Faktor strát spojených s rozvodnou sieťou (GRLF) sa definuje ako pomer strát energie v dôsledku nestability alebo straty rozvodnej siete z príčin mimo kontroly vedenia závodu počas daného časového obdobia a referenčnou výrobou elektrickej energie počas toho istého obdobia, a vyjadruje sa v percentách.*