

## Analýza neplánovaných odstávek jaderné elektrárny Temelín

**Pracoviště:** RICE - Energetika a průmyslové systémy  
**Číslo dokumentu:** 22190-064-2017  
**Typ zprávy:** Výzkumná zpráva  
**Řešitelé:** Ing. Aleš Hromádka  
Ing. Jana Jiříčková, Ph.D.,  
doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.  
**Hlavní řešitel:** doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.  
**Počet stran:** 12  
**Datum vydání:** 16. 2. 2017  
**Oborové zařazení:** JF – Jaderná energetika

**Zadavatel / zákazník:**

**Zpracovatel / dodavatel:**

Západočeská univerzita v Plzni  
Regionální inovační centrum  
elektrotechniky  
Univerzitní 8  
306 14 Plzeň

**Kontaktní osoba:**

Ing. Aleš Hromádka  
tel. 377 634 106  
aleshrom@rice.zcu.cz

TAČR TH02020798 – Podpora výcviku obsluhy blokové dozorny JE

## Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá analýzou neplánovaných odstávek v JE Temelín. Tato analýza vychází z dat o všech odstávkách pro oba bloky v JE Temelín. Další šetření je především zaměřeno na selhání těch komponent, které mají významný dopad na snižování elektrického výkonu během provozu elektrárny. Tato analýza také poskytuje informace o selhání klíčových komponent z hlediska spolehlivosti, které musí být řešeny do budoucna. Určení klíčových komponent je velmi důležitý krok pro modelování spolehlivosti této elektrárny.

## Klíčová slova

Spolehlivost elektrárny, Jaderná elektrárna Temelín, Analýza poruch, modelování spolehlivosti, trvalá udržitelnost.

## Report title

Analysis of the unplanned Shutdowns in Temelin

## Abstract

This research report concerns the creation of the analysis of the unplanned shutdowns in Temelin. This analysis is based on the data of all shutdowns for both units in the nuclear power plant Temelin. Further investigation is mainly focused on failures of some components, which have significant impact of the decrease of electrical performance during operation of the power plant. This analysis also provides the information of the failures of key components, which must be solved in the future. The determination of the key components is very important step for the modeling of reliability of this power plant.

## Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

Reliability of a Power Plant, nuclear power plant Temelin, Analysis of Failures, Modelling of Reliability, and Sustainability.

## Obsah

ANOTACE .....	2
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	4
1 ÚVOD.....	5
2 ANALÝZA Odstávek.....	6
2.1 ANALÝZA PROVOZNÍ DOBY .....	6
2.2 ANALÝZA SELHÁNÍ .....	7
3 ZÁVĚR.....	12

## Seznam symbolů a zkratk

MSC a ASC	Hlavní parní kolektor a pomocný parní kolektor
SS a SPS	Separace a sekundární přehřívání páry
HP part TG	Vysokotlaká část turbosoustrojí
Shaft TG	Hřídel turbosoustrojí
TBF	System turbo-napáječek
MC	System hlavních kondenzátorů
CFP	System kondenzátorových čerpadel
PL	Potrubí
LP part TG	Nízkotlaká část turbosoustrojí
Regulation TG	Regulace turbosoustrojí
SG	System parogenerátorů
JE	Jaderná elektrárna
JETE	Jaderná elektrárna Temelín
Mil.	Miliony
Mld.	Miliardy

## 1 Úvod

Pro každou jadernou elektrárnu je žádoucí stav, aby fungovala bez neplánovaných odstávek, které mohou nastat při selhání určitých komponent na elektrárně. Neplánované odstávky mají významný dopad na ekonomiku provozu celé elektrárny. Odstavení jednoho bloku v Temelíně na jednu hodinu tvoří finanční ztrátu pro elektrárnu 1,1 mil. Kč v nevyrobené energii. Odstavení jednoho temelínského bloku na celý den tvoří finanční ztrátu cca 27 mil. Kč. Tyto náklady s odstávkami ukazují, že je silně žádoucí se těmito odstávkami dále zabývat a snažit se je minimalizovat. I malé zlepšení celkové spolehlivosti elektrárny může přinést velké úspory z hlediska celkových nákladů na provozování elektrárny.

Je nereálné dosáhnout úplné eliminace neplánovaných odstávek. Nicméně, minimalizace neplánovaných odstávek je možná skrze optimální plán údržby jednotlivých komponent, zavedení možných redundancí do systémů a také preventivními opatřeními zavedenými do systému. Nedílnou součástí celkové spolehlivosti elektrárny je také spolehlivost lidského faktoru, které musí být v souladu s preventivními opatřeními maximalizovaná.

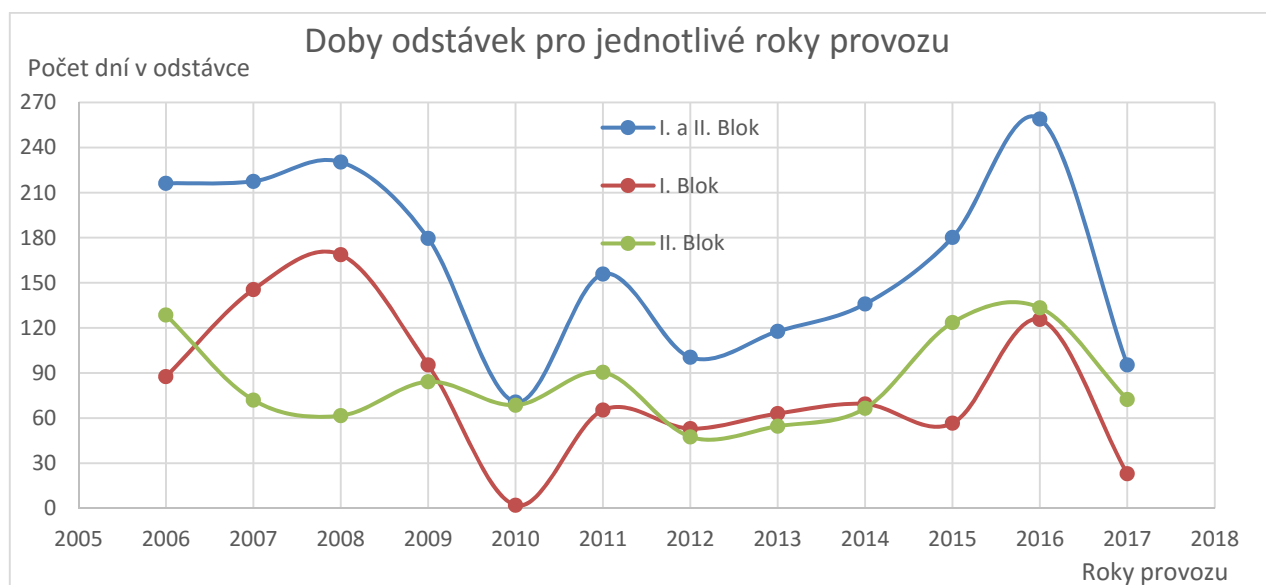
V této výzkumné zprávě budou uvedeny informace o všech druzích odstávek na JE Temelín (plánované i neplánované) během 12 let provozu. Za toto období teoreticky mohla být JE Temelín provozována 4 357 dní. Tento počet dní odpovídá době provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2017. Prakticky jsou zde ovšem plánované a neplánované odstávky. Plánované odstávky jsou zaměřeny na spolehlivostně orientovanou údržbu a inovace v provozu. Samozřejmě tyto odstávky mají předpokládatelný charakter a nemohou být odstraněny nebo více minimalizovány. Oproti tomu neplánované odstávky jsou způsobeny selháními klíčových komponent v průběhu provozu. Tyto odstávky mohou být minimalizovány.

Díky této analýze poruch budou určeny klíčové komponenty z hlediska spolehlivosti pro oba bloky JE Temelín. Vybrané komponenty budou v budoucnu dále řešeny.

## 2 Analýza odstávek

### 2.1 Analýza provozní doby

JE Temelín strávila za provozní dobu 12 let cca 1936 dní. To reprezentuje 44,43 % z teoretického možného času provozu. Odstávky JE Temelín lze rozdělit na částečné a úplné. Pokud budeme předpokládat, že oba typy odstávek mají stejný dopad na elektrárnu resp. blok. Dostáváme následující graf, který ukazuje doby v odstávkách za zkoumané roky provozu 2006/17. [1]



Obr. 1. Doby odstávek v JETE za jednotlivé zkoumané roky [1]

K této analýze je také nezbytné zmínit dobu, kdy byli v odstávce oba bloky najednou. Trvání tato situace, kdy JE Temelín měla de facto „nulový výkon“, bylo 121 dní za zkoumané roky provozu, což odpovídá 2,78 % teoreticky možného času. Tato situace je logicky považována za nejhorší scénář a je nutné pro lepší ekonomičnost provozu její pravděpodobnost minimalizovat pomocí preventivních opatření. [1]

Prostým odečtem doby, kdy byly odstaveny oba bloky zároveň, od celkové doby odstávek získáváme odhad nákladů všech odstávek v Temelíně. To znamená, že není zohledněn částečný provoz a výkon je automaticky považován za nulový.

Tab. 1. Odhad nákladů na všechny odstávky v průběhu 12 let provozu JETE

Situace	Počet dní	Při ceně 1,1 Kč/kWh	Náklady odstávek JETE
Jeden blok v odstávce	1815	27 mil. Kč	49 mld. Kč
Oba bloky v odstávce	121	54 mil. Kč	6,5 mld. Kč
<b>Celkem</b>	<b>1936</b>	<b>-</b>	<b>55,5 mld. Kč</b>

Rozložení provozní doby mezi oběma Temelínskými bloky je podobný. První blok je v provozu 3425 dní a druhý blok byl v provozu 3353 dní. První blok byl ve všech odstávkách 932 dní. Druhý blok byl ve všech odstávkách 1004 dní. Tyto čísla ale zahrnují jak plánované tak neplánované odstávky. Plánované odstávky jsou hůře ovlivnitelné, a proto se dále zaměříme na neplánované odstávky. [1]

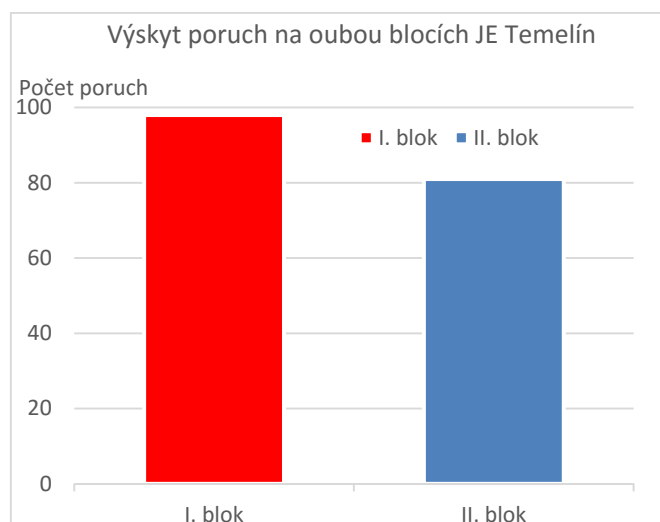
Následující analýza bude tedy zaměřena pouze na neplánované odstávky, protože tyto odstávky mohou být minimalizovány preventivními opatřeními a spolehlivostně orientovanou údržbou. Oba bloky byly v neplánovaných odstávkách celkem 413 dní, což odpovídá 9,47 % teoreticky možné doby provozu. Když se podíváme na situaci obou bloků, zjistíme, že 1. blok byl v neplánované odstávce 165 dní a 2. blok 248 dní. Situace, kdy by se nacházeli oba bloky zároveň v neplánované odstávce, v uvažované době nenastala. To znamená, že v případě odstávek obou bloků zároveň, byl jeden blok v plánované a druhý v neplánované odstávce. [1]

Tab. 2. Odhad nákladů na neplánované odstávky v průběhu 12 let provozu JETE

Situace	Počet dní	Procent z TMDP	Ceně 1,1 Kč/kWh	Náklady odstávek JETE
I. blok v odstávce	165	2,78	27 mil. Kč	4,46 mld. Kč
II. blok v odstávce	248	3,79	27 mil. Kč	6,7 mld. Kč
<b>Celkem</b>	<b>413</b>	<b>9,47</b>	<b>-</b>	<b>11,16 mld. Kč</b>

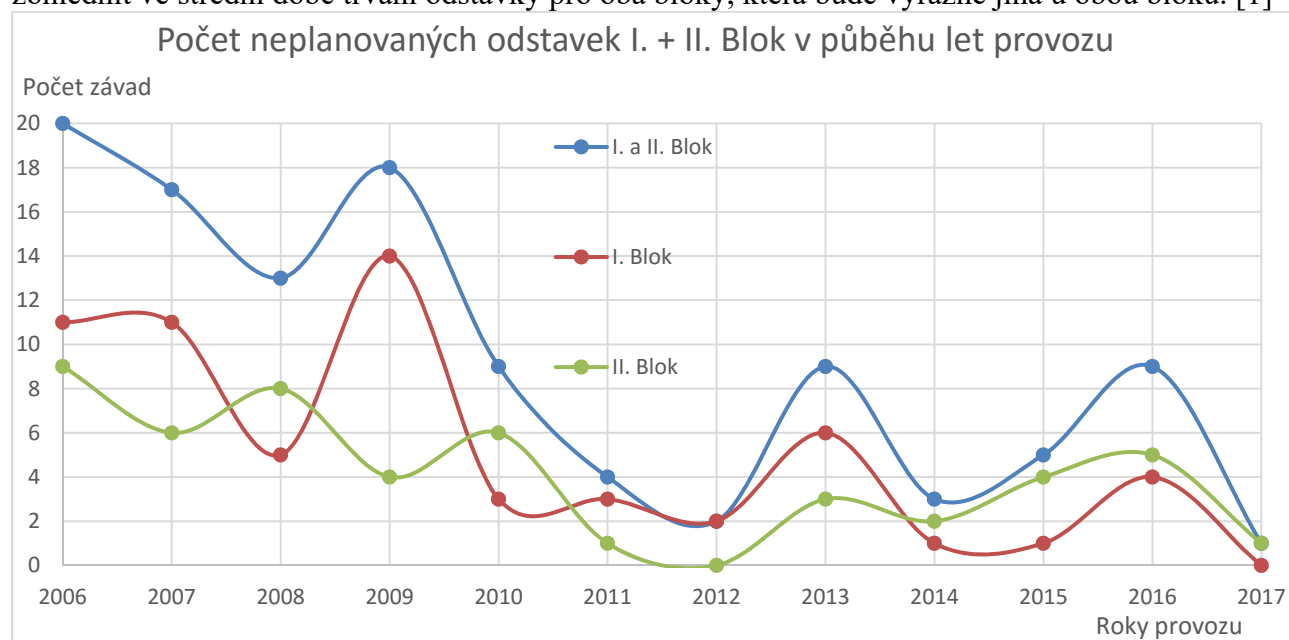
## 2.2 Analýza selhání

Když budeme posuzovat pouze výskyt selhání na obou blocích, dostáváme Obr. 2, který ovšem nerespektuje základní informace o selháních. Tyto základní informace jsou, na kterém subsystému nastalo selhání a jak dlouho trvala neplánovaná odstávka způsobená tímto selháním atd.



Obr. 2. Výskyt selhání na obou blocích v JE Temelín [1]

První provedená analýza provozní doby ukázala, že 1. blok byl v odstávkách méně dní než 2. blok resp. o 83 dní. Ovšem tato analýza ukazuje pravý opak v trendu z předchozí analýzy. Teda na prvním bloku se objevilo paradoxně více selhání (98) než na druhém bloku (81). Toto lze zohlednit ve střední době trvání odstávky pro oba bloky, která bude výrazně jiná u obou bloků. [1]

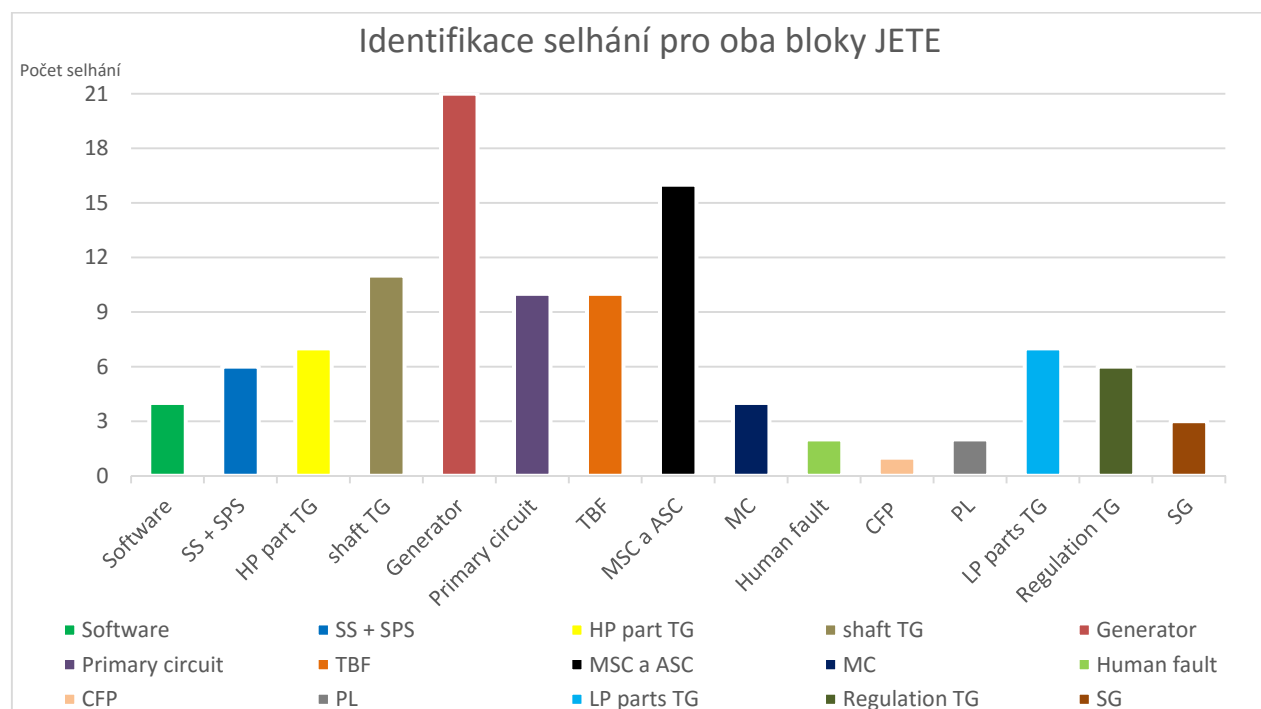


Obr. 3. Výskyt selhání na obou blocích v JE Temelín v průběhu zkoumaných let [1]

Obr. 3 nám ukazuje trend výskytu selhání pro oba bloky JE Temelín. Tento trend je flukтуаční a také klesající. Vysvětlení tohoto trendu je relativně správné nastavení spolehlivostně orientované údržby.

Nyní se zaměříme na určení klíčových komponent z hlediska spolehlivosti. Je nezbytné určit, které komponenty mají svou nespolehlivostí významný dopad na provozu elektrárny. [1]





Obr. 4. Identifikace selhání pro oba bloky v JE Temelín [1]

Rozdělení do těchto tříd je rozloženo na statistických datech z Temelína. Obr. 4 ukazuje výskyt selhání na jednotlivých komponentách pro oba bloky zároveň. Nejvyšší výskyt selhání (21) byl zaznamenán u elektrického generátor a jeho podpůrných provozech. Druhý nejvyšší výskyt selhání byl registrován u hlavního a podpůrného parního kolektoru. Tyto kolektory jsou umístěny mezi systém parogenerátorů a vysokotlakou část turbosoustrojí. Další významný dopad na provoz měly selhání na hřídel turbosoustrojí, selhání v primárním okruhu a selhání systému turbo napáječek v sekundárním okruhu. Ostatní selhání měly již menší dopady na provoz elektrárny. Nicméně jejich dopady nemůžeme zanedbat v budoucím šetření. [1]

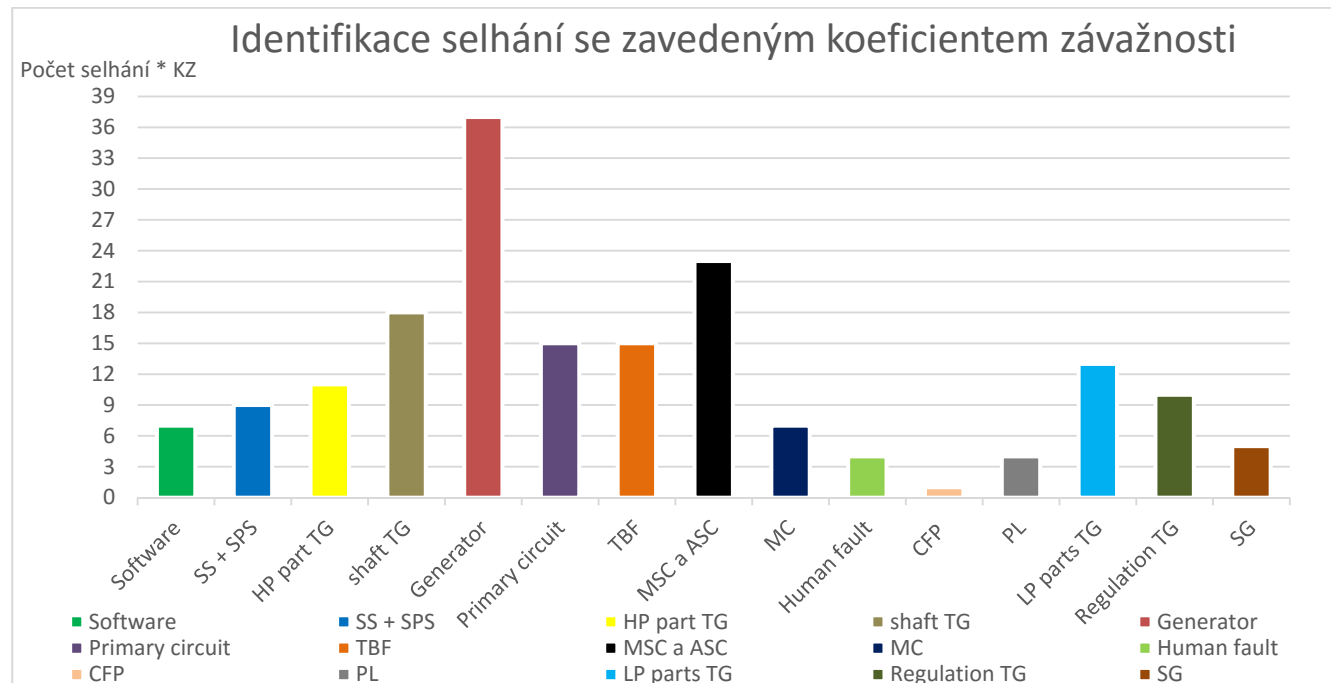
Předchozí analýza určila sice klíčové komponenty, ale nebyli brány v potaz důležité aspekty odstávek. Těmito aspekty jsou doba odstávky a snížení elektrického výkonu. Aby se tyto dva aspekty daly zakomponovat do následující analýzy, je nezbytné zavést tzv. koeficient závažnosti.

Tab. 3. Stanovení koeficientu závažnosti pro JE Temelín

Situace	Hodnota koeficientu závažnosti	Snížení výkonu	Doba odstávky
Méně vážné	1	$P > 50 \%$	Max. den
Vážné	2	$P < 50 \%$	Max. měsíc
Velmi vážné	3	$P = 0 \%$	Více než měsíc

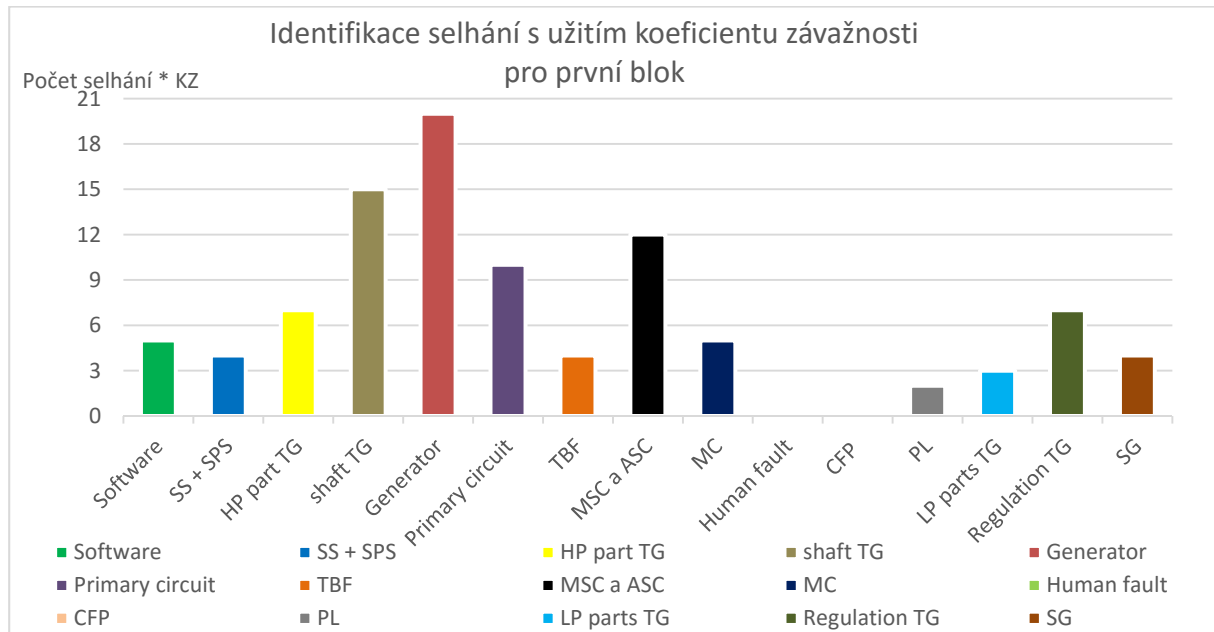
Tab. 3. ukazuje stanovení kategorií, do kterých spadají jednotlivá selhání. Do první kategorie „méně vážné“ spadají taková selhání, která jsou krátkodobá, tzn. opravitelné do jednoho dne a zároveň nemají za následek úplně odstavení bloku. Druhá kategorie označená jako „vážné“ odpovídá selháním, která s sebou nesou již významné snížení výkon pod 50% a zároveň nejsou opravitelné do jednoho dne, ale zároveň ne déle než jeden měsíc. Polední kategorií jsou označena selhání za velmi vážné z hlediska spolehlivosti, tedy mají za následek úplně odstavení bloku a nejsou opravitelné za dobu kratší, než je jeden měsíc. [1]

Pomocí koeficientů závažnosti budeme schopni lépe popsat jednotlivá selhání, která se již vyskytla na JE Temelín, což je ukázáno v Obr. 5.

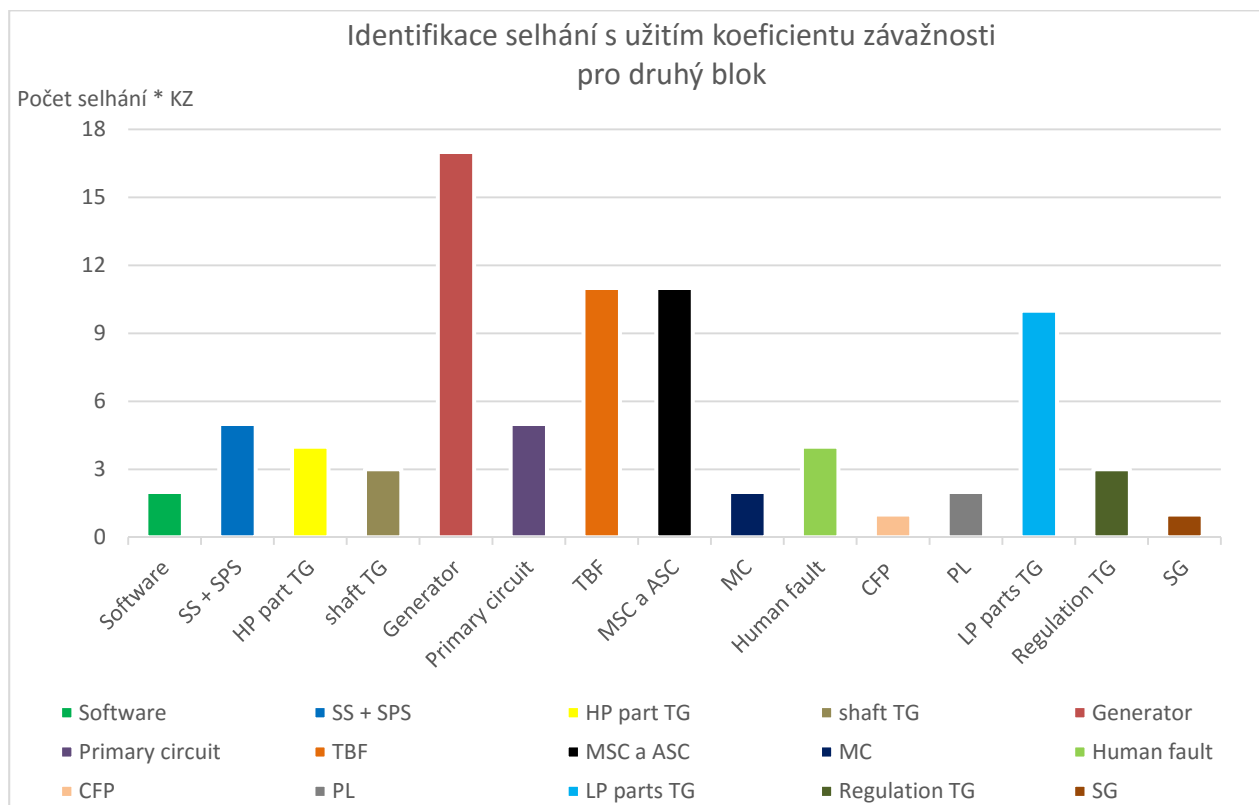


Obr. 5. Identifikace selhání se zavedeným koeficientem závažnosti pro oba bloky [1]

Obr. 5 víceméně potvrdil trend selhání v předchozím obrázku Obr. 4. Následující analýza bude zaměřena na každou jednotku zvlášť, protože jak jsme se si již ukázali v předchozích analýzách, oba bloky mají odlišný trend selhání.



Obr. 6. Identifikace selhání se zavedeným koeficientem závažnosti pro první blok [1]



Obr. 7. Identifikace selhání se zavedeným koeficientem závažnosti pro druhý blok [1]

Když se podíváme na oba grafy (Obr. 6 a Obr. 7) vidíme u obou bloků podobnosti ale také rozdíly v selháních. Proto musí být v budoucnu řešen optimální plán údržby pro každý blok jedinečně.

### 3 Závěr

Tato výzkumná zpráva byla zaměřena na analýzu neplánovaných odstávek jaderné elektrárny Temelín. Bylo ukázáno, že oba temelínské bloky jsou specifické svými selháními, a proto se musí řešit každá individuálně.

Cílem této výzkumné zprávy bylo poukázat na podobnosti a rozdílnosti v trendech obou bloků. Pro bloky byl největším zdrojem selhání generátor elektrické energie, který jako točivý stroj má největší náchylnost k selháním. Druhý nejvyšší výskyt selhání se již lišil pro oba bloky. U prvního bloku to byla hřídel turbosoustrojí, což je opět rotační náchylná část. Zatímco u druhého bloku to byl systém turbo napáječek shodně s hlavním a podpůrným parním kolektorem. I další výskyty selhání se odlišili u obou bloků. Například druhá nejčastější selhání na první bloku tedy selhání hřídele turbosoustrojí se na druhém bloku příliš neprojevila. Zatímco první blok neměl tolik problémů s turbo-napáječkami, u druhého bloku to bylo druhý nejčastěji porouchaný subsystém.

Všechny tyto informace musí být brány v potaz v další šetření a řešení těchto problémů.

### Literatura

[1] *Souhrn informací o provozních hodinách a závadách.* ČEZ a.s. Temelín, 2017.

### Seznam obrázků

Obr. 1. Doby odstávek v JETE za jednotlivé zkoumané roky .....	6
Obr. 2. Výskyt selhání na obou blocích v JE Temelín .....	7
Obr. 3. Výskyt selhání na obou blocích v JE Temelín v průběhu zkoumaných let .....	8
Obr. 4. Identifikace selhání pro oba bloky v JE Temelín .....	9
Obr. 5. Identifikace selhání se zavedeným koeficientem závažnosti pro oba bloky .....	10
Obr. 6. Identifikace selhání se zavedeným koeficientem závažnosti pro první blok.....	11
Obr. 7. Identifikace selhání se zavedeným koeficientem závažnosti pro druhý blok .....	11

