



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

ANALÝZA SPOLEHLIVOSTI PARNÍCH TURBÍN S PŘÍSLUŠENSTVÍM

SAFETY ANALYSE OF STEAM TURBINE WITH ACCESORIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin Soukeník

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Němec, CSc

BRNO 2008

ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

(na místo tohoto listu vložte originál a nebo kopii zadání Vaš práce)

LICENČNÍ SMLOUVA

(na místo tohoto listu vložte vyplněný a podepsaný list formuláře licenčního ujednání)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou funkční bezpečnosti ochran parní turbíny. Bezpečnostní funkce jsou zařazeny do příslušného stupně integrity, je proveden výpočet průměrné pravděpodobnosti poruchy a validace bezpečnosti bezpečnostního přístrojového systému dle ČSN EN 61511 a ČSN EN 61508.

Je proveden výpočet pravděpodobnosti poruchy zásroku nouzového olejového čerpadla při nouzovém odstavení turbosoustrojí.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals by analysis functional safety protections of steam turbine. Safety functions are sorted to the relevant integrity level, is made calculation of average probability of failure and validated safety factor of safety instrumented system according to ČSN EN 61511 and ČSN EN 61508.

Is made probability of failure emergency oil pump start-up calculation during shutdown of turbo set.

KLÍČOVÁ SLOVA

Funkční bezpečnost, průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání, stupeň integrity bezpečnosti, bezpečnostní přístrojový systém, střední doba mezi poruchami, střední doba do poruchy, střední doba do zotavení.

KEYWORDS

Functional safety, probability of failure on demand, safety integrity level, safety instrumented system, mean time between failure, mean time to failure, mean time to repair.

OBSAH:

ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE	3
LICENČNÍ SMLOUVA.....	5
ABSTRAKT	7
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ.....	11
1 ÚVOD	13
2 ROZBOR PROBLÉMU.....	15
2.1 POPIS SYSTÉMU TECHNOLOGIE.....	15
2.2 ZABEZPEČENÍ PARNÍCH TURBÍN	16
3 POUŽITÉ ŘEŠENÍ	17
3.1 POSOUZENÍ NEBEZPEČÍ A RIZIKA	17
3.2 PŘÍRAZENÍ BEZPEČNOSTNÍCH FUNKCÍ	17
3.3 SPECIFIKACE BEZPEČNOSTNÍCH POŽADAVKŮ	18
3.4 MINIMÁLNÍ POŽADAVKY HARDWARU K PORUCHÁM.....	19
3.5 URČENÍ Činitele β A β_D SPOLEČNÝCH PORUCH	20
3.6 VÝPOČET PRAVDĚPODOBNOTI PORUCH.....	20
4 APLIKACE VYTVOŘENÉHO ŘEŠENÍ	25
4.1 VÝPOČET PFD JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT	25
4.1.1 SUBSYSTÉM SNÍMAČŮ	25
4.1.2 SUBSYSTÉM LOGIKY	25
4.1.3 SUBSYSTÉM KONCOVÝCH PRVKŮ	27
4.1.4 TABULKY VÝPOČTŮ.....	29
4.2 VÝPOČET PFD BEZPEČNOSTNÍCH FUNKCÍ.....	36
4.3 VÝPOČET SPOLEHLIVOSTI ZÁSKOKU NOUZOVÉHO OLEJOVÉHO ČERPADLA	36
5 ZÁVĚR.....	39
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
SEZNAM PŘÍLOH	43

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

λ	[1/h]	Intenzita poruch (Failure Rate)
λ_D	[1/h]	Intenzita nebezpečných poruch (Dangerous Failure Rate)
λ_{DD}	[1/h]	Intenzita zjištěných nebezpečných poruch (Dangerous Detected Failure Rate)
λ_{DU}	[1/h]	Intenzita nezjištěných nebezpečných poruch (Dangerous Undetected Failure Rate)
λ_{SD}	[1/h]	Intenzita zjištěných bezpečných poruch (Safe Detected Failure Rate)
λ_{SU}	[1/h]	Intenzita nezjištěných bezpečných poruch (Safe Undetected Failure Rate)
PF_D	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání (Probability of Failure on Demand)
PF_H	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy za hodinu (Probability of Failure on Hour)
PF_{D_G}	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání pro skupinu kanálů s majoritní rozhodovací logikou (Probability of Failure on Demand for group of channels)
PF_{D_S}	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání pro subsystém senzorů (Probability of Failure on Demand for the sensor subsystem)
PF_{D_L}	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání pro subsystém logiky (Probability of Failure on Demand for the logic subsystem)
$PF_{D_{FE}}$	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání pro subsystém koncových prvků (Probability of Failure on Demand for the final element subsystem)
$PF_{D_{SS}}$	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání pro podpůrný subsystém (Probability of Failure on Demand for support subsystem)
$PF_{D_{SYS}}$	[h]	Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání bezpečnostní funkce pro E/E/PE systém (Probability of Failure on Demand for the E/E/PE safety-related system)
$MTBF$	[h]	Střední doba mezi poruchami (Mean Time Between Failure)
$MTTF$	[h]	Střední doba do poruchy (Mean Time to Failure)
$MCTF$	[h]	Střední počet cyklů do poruchy (Mean Cycles To Failure)
$MTTR$	[h]	Střední doba do zotavení (Mean Time to Repair)
T_1	[h]	Kontrolní interval periodické zkoušky (Test Interval – Mission Time)
t_{CE}	[h]	Ekvivalentní střední doba prostoje kanálů (Channel Equivalent Mean Down Time)
t_{GE}	[h]	Ekvivalentní střední doba prostoje rozhodovací skupiny pro architektury 1oo2 a 2oo3 (Voted Group Equivalent Mean Down Time for 1oo2 and 2oo3)
β	[%]	Podíl nezjištěných poruch, které mají nezjištěnou příčinu (Common Cause Ratio – undetected failures)
β_D	[%]	Z poruch zjištěných diagnostickými zkouškami podíl těch poruch, které mají společnou příčinu (Common Cause Ratio – failures detected by diagnostic test)
DC	[%]	Diagnostické pokrytí (Diagnostic Coverage)
SR	[%]	Podíl bezpečných poruch (safe ratio)
SFF	[%]	Podíl bezpečných výpadků (Safe Failure Fraction)
MoN		Výběr M z N (Voting M out of N)
HFT		Hardwarová poruchová tolerance (Hardware Fault Tolerance)
SIL		Stupeň integrity bezpečnosti (Safety Integrity Level)
$E / E / PES$		Elektrické a/nebo elektronické a/nebo programovatelné elektronické součásti (E/E/PES – electrical/electronic/programmable electronic system)
SIS		Bezpečnostní přístrojový systém (safety instrumented system)

1 ÚVOD

Spolehlivost je jedna z vlastností jakosti a patří mezi nejdůležitější. Je to schopnost plnit požadované funkce v čase za daných provozních okolností. Spolehlivost lze rozdělit na další části, tj. bezporuchovost, opravitelnost, udržitelnost, životnost, pohotovost, skladovatelnost a bezpečnost.

Bezporuchovost – schopnost výrobku plnit nepřetržitě požadované funkce po definované dobu a za stanovených podmínek

Opravitelnost – způsobilost výrobku ke zjištění příčin vzniku poruch a jejich odstraňování opravou.

Pohotovost – komplexní vlastnost výrobku, skládající se z bezporuchovosti a opravitelnosti.

Udržitelnost – způsobilost výrobku k předcházení poruch stanovenou údržbou.

Životnost – schopnost výrobku plnit požadované funkce do dosažení mezního stavu daného technickou dokumentací, při dané údržbě popřípadě opravě.

Bezpečnost – dílčí vlastnost spolehlivosti

Bezpečnost se dále dělí na tzv. *primární* bezpečnost, která se zabývá takovými riziky, jako jsou např. požár, výbuch, nebezpečné dotykové napětí. Druhá část bezpečnosti je *funkční*, která zahrnuje bezpečnost řízeného zařízení. Třetí částí je tzv. *nepřímá* bezpečnost, zahrnující nepřímé důsledky nesprávné činnosti systému, jako např. poskytování nesprávných údajů.

Tato práce se bude zabývat výpočtem funkční bezpečnosti systému ochrany parní turbíny a spolehlivostí záskoku nouzového olejového čerpadla. Parní turbíny v Siemens Industrial turbomachinery Brno s.r.o. (bývalá První brněnská strojárna) jsou vyráběny v rozsahu výkonu 2,5 až 150 MW. Převážná část aplikací je průmyslová tj. jejich účelem není vyrábět pouze elektrickou energii, ale i redukovat parametry páry pro další využití v průmyslové výrobě nebo za účelem vytápění. V současné době se používá nová koncepce dodávek turbosoustrojí pro výkony do cca 45 MW, kde turbína, převodovka a generátorem jsou umístěny na kovovém rámu. Na rámu jsou umístěna i další pomocná zařízení mezi něž patří systém dodávky mazacího a regulačního oleje, olejový systém zabezpečení turbíny, olejový systém regulace turbíny a elektronický systém pro sběr dat. Na takovém „turbínovém balíčku“ jsou osazeny i snímače pro zabezpečení, regulaci a monitorování turbosoustrojí. Informace z těchto snímačů mohou být použity i pro vibrační diagnostiku a pro automatické najíždění a zatěžování turbíny. Kompletace „turbínového balíčku“ je prováděna přímo ve výrobním podniku.

2 ROZBOR PROBLÉMU

První částí práce je zpracovat analýzu funkční bezpečnosti standardních ochran parní turbíny řady TURLOOP S7 dle norem IEC 61508 a IEC 61511 (česká verze ČSN EN 61508 a ČSN EN61511) a její zařazení do příslušné kategorie SIL.

Výše jmenované normy jsou komplexní a zabývají se všemi důležitými fázemi životního cyklu bezpečnosti. Stanovují obecný přístup bezpečnosti systémů obsahujících elektrické a/nebo elektronické a/nebo programovatelné elektronické součásti (E/E/PES systémy) a využívané pro bezpečnostní funkce. Ve většině případů se bezpečnost zajišťuje prostřednictvím kombinací dalších ochranných systémů založených na různých principech – např. mechanických, hydraulických, pneumatických, které dohromady tvoří celkovou sestavu bezpečnostních systémů. I když jsou tyto normy určeny pro E/E/PES systémy, je možné podle nich rámcově posuzovat i systémy založené na jiných než elektrických principech. Normy se zabývají jak posouzením hardwaru, tak i softwaru. Posouzení bezpečnosti softwaru je natolik komplexní, že není v silách autora této práce ho objektivně posoudit, protože se předpokládá spolupráce vývojáře systému (programovací nástroj STEP7 a firmware) a fy provádějící aplikaci (standardní software TURLOOP S7).

Druhá část práce obsahuje analýzu spolehlivosti záskoku olejových čerpadel mazacího oleje při nouzovém odstavení turbosoustrojí. Zde bude pro výpočty použito již výše jmenované normy pro E/E/PES systémy a mechanická část bude posuzována odděleně.

2.1 Popis systému technologie

Řídicí systém turbosoustrojí s označení TORLOOP S7 byl navržen tak, aby splňoval funkční, bezpečnostní a topologické požadavky. Snímače umístěné na „turbínovém balíčku“ jsou prokabelovány do elektronického systému pro sběr dat tj. do místního rozvaděče řídicího systému turbíny. Tento panel obsahuje kromě pomocných obvodů i inteligentní vstupně/výstupní moduly od fy Siemens ET200M a vyhodnocovací aparaturu pro měření vibrací turbosoustrojí od fy Bently Nevada typové řady 3500. Architektura modulů ET200M je tvořena třemi nezávisle a paralelně pracujícími kanály, včetně ztrojení funkčně důležitých snímačů. Komunikace se vzdáleným rozvaděčem umístěným v místnosti rozvaděčů je optickými kabely pomocí protokolu Profibus DP a je rovněž ztrojená. V tomto rozvaděči jsou umístěny dva rámy programovatelných automatů (PLC) od fy Siemens SIMATIC S7-400 a aparatura pro vyhodnocení otáček od fy Epro s označením DOPS. Jeden systém PLC je určen pro funkci regulace turbíny a druhý pro zabezpečení a sekvenční řízení pomocných zařízení turbosoustrojí. Systémy PLC jsou vzájemně propojeny sériovou komunikací Profibus DP, která zajišťuje výměnu potřebných informací. Pro styk systému s obsluhou je na velínu umístěno operátorské pracoviště obsahující průmyslové PC s příslušenstvím a s vizualizačním SW od fy Siemens Wincc. Komunikace mezi operátorským pracovištěm a rozvaděčem řídicího systému na velínu je pomocí sériové komunikace ETHERNET TCP/IP.

Mechanické prvky zabezpečení turbíny tvoří rychlozávěrný ventil a regulační ventily. Ventily jsou ovládány hydraulickými servomotory, které jsou napájeny olejem z hydraulického regulačního a zabezpečovacího systému turbíny. Ventily jsou zapojeny v sérii na přívodu vstupní páry do turbíny. Oba servomotory jsou jednočinné s poruchovou funkcí „failure close“.

Je potřeba se zmínit, že turbína má i další zabezpečovací orgány, které jsou použity v závislosti na konstrukci turbíny. Mezi ně patří zpětné odběrové klapky s i bez pneumatického servomotoru a standardní uzavírací ventily s pneumatickými servomotory na odběru páry. Tyto orgány nemají bezprostřední vliv na bezpečnost turbíny.

Servomotor rychlozávěrného ventilu dosahuje poloh otevřeno, test pohyblivosti, zavřeno a je ovládám blokem hydraulického olejového vypínače. Tento hydraulický olejový vypínač obsahuje tři solenoidové ventily a diferenciální píst, který provádí hydraulicky výběr 2 ze 3. Jsou zde také osazeny tři převodníky tlaku, které monitorují stav solenoidových ventilů a jeden převodník umístěný na výstupu z hydraulického vypínače. Servomotor rychlozávěrného ventilu obsahuje ovládací prvek pro test pohyblivosti za chodu turbíny. Při inicializaci této funkce dochází k mírnému přivření ventilu. Po zrušení této funkce se ventil vrátí do původní polohy.

Servomotor regulačních ventilů je plynule nastavitelný pomocí elektro-hydraulického převodníku od fy VOITH typu E360. Žádaná hodnota otevření ve formě 4-20mA je přiváděna z regulačního systému turbíny a v převodníku převedena na hodnotu 2 – 4 bar g. Elektro-hydraulický převodník má připojen napájecí napětí 24 VDC z řídicího systému turbíny. Při výpadku tohoto napětí, dochází k okamžitému uzavření servomotoru regulačních ventilů. Toho se využívá při zabezpečovací funkci, a to tak, že toto napětí je ovládáno systémem pro zabezpečení turbíny.

2.2 Zabezpečení parních turbín

Příslušné ČSN EN normy na funkční bezpečnost jsou rozděleny z hlediska použití:

ČSN EN 61508 pro výrobce a dodavatele zařízení

ČSN EN 61511 pro návrháře a projektanty SIS

Tyto normy mají drobné odlišnosti v definicích, ale vzájemně se doplňují a tvoří celek. Vzhledem k tomu, že fa Siemens Industrial turbomachinery Brno s.r.o. je dodavatelem vyššího celku turbosoustrojí, bude další postup proveden dle bodů uvedených v normě ČSN EN 61511-1.

3 POUŽITÉ ŘEŠENÍ

3.1 Posouzení nebezpečí a rizika

Protože pro posouzení nebezpečí a rizika je normou doporučena komise složená z příslušných expertů, byla použita starší interní norma fy Siemens Směrnice pro řídicí a bezpečnostní filosofii parních turbín (Control and Safety Philosophy for ABB Steam Turbines). Tato směrnice rozděluje bezpečnostní funkce do čtyř kategorií FC (Failure Category), kde FC1 je nejzávažnější kategorií poruchy, při které může dojít i ke smrti osob a velkým materiálním škodám. Do kategorie FC1 spadá zvýšení otáček turbosoustrojí.

3.2 Přiřazení bezpečnostních funkcí

Je nutné zařadit jednotlivé bezpečnostní funkce do kategorií. Toto zařazení bylo provedeno dle normy ČSN EN 61511-3. Tato norma popisuje tyto metody:

- koncepce nejnižšího rozumně možného a přijatelného rizika
- semikvantitativní metoda
- metoda matic ochranných vrstev
- semikvantitativní metoda: kalibrovaný diagram rizika
- analýza vrstvy ochrany
- kvalitativní metoda: diagram rizika

Poslední jmenovaná metoda byla vybrána pro posouzení úrovně integrity bezpečnosti. Příloha E výše citované normy popisuje příklad určení pro strojírenský sektor při aplikaci rizikových faktorů spojených s procesem a řídicím systémem. Metoda definuje čtyři parametry rizika:

- následku nebezpečné události C
- četnosti výskytu a době vystavení v nebezpečné události F
- možnost se nebezpečné události vyhnout P
- pravděpodobnost nežádoucího výskytu W

Dle EN 61511-3, tabulka E.1 a obrázek E.1 lze bezpečnostní funkce (jednotlivé ochrany) rozdělit na tři okruhy a přidělit jim nutné minimální snížení rizika.. Převodní tabulka mezi nutným minimálním snížením rizika a úrovní integrity bezpečnosti určuje stupeň SIL.

Zvýšení otáček

- C3 Smrt několika osob
- F1 Vzácné až častější vystavení v nebezpečné oblasti
- P2 Téměř nemožné
- W2 Malá pravděpodobnost, že dojde k nežádoucím výskytům
- nutné minimální snížení rizika: e
- stupeň integrity bezpečnosti: SIL3

Zvýšení posuvu axiálního ložiska, tlačítko nouzového vypnutí turbíny

- C2 Vysoká materiální škoda (dle normy je přípustné upravit klasifikační schéma)
- F1 Vzácné až častější vystavení v nebezpečné oblasti
- P2 Téměř nemožné
- W2 Malá pravděpodobnost, že dojde k nežádoucím výskytům
- nutné minimální snížení rizika: b
- stupeň integrity bezpečnosti: SIL1

Pokles tlaku mazacího oleje, zvýšení tlaku výstupní páry, zvýšení teploty mazacího oleje, zvýšení chvění ložiskového stojanu, zvýšení chvění hřídele, odstavení ze systému ochran generátoru,

odstavení z externího systému

- C2 Vysoká materiální škoda (dle normy je přípustné upravit klasifikační schéma)
- F1 Vzácné až častější vystavení v nebezpečné oblasti
- P1 Možné za určitých podmínek
- W2 Malá pravděpodobnost, že dojde k nežádoucím výskytům
- nutné minimální snížení rizika: žádné speciální bezpečnostní požadavky
- stupeň integrity bezpečnosti: žádné požadavky (uváděno SIL0)

Normy pro E/E/PES systémy rozdělují bezpečnostní systémy na dva základní typy dle vyžádání:

- *systémy provozu s velkým nebo trvalým vyžádáním* – jsou to systémy kde bezpečnostní funkce je jedinou ochranou, pravděpodobnost poruchy je určena hodnotou PFH
- *systémy provozu s malým vyžádáním* – jsou to systémy kde bezpečnostní funkci předchází zásah jiného systému, pravděpodobnost poruchy je určena hodnotou PFD

Vzhledem k tomu, že bezpečnostní funkci parních turbín předchází jiné funkce tj. regulační funkce včetně zapůsobení omezovací regulace, výstraha, je tento systém zařazen do systému provozu s malým vyžádáním.

Systémy zabezpečující bezpečnostní funkci jsou dle normy ČSN EN 61511-1, odstavce 9.2.4 rozděleny do čtyř kategorií SIL. SIL4 je pro nejvyšší stupeň integrity bezpečnosti a SIL1 pro nejnižší.

Tab. 1 Rozdělení E/E/PES systémů v provozu s malým vyžádáním do úrovně SIL.

SIL	PFD
4	$\geq 10^{-5}$ až $<10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ až $<10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ až $<10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ až $<10^{-1}$

3.3 Specifikace bezpečnostních požadavků

Bezpečnostní funkce musí uvést turbosoustrojí do bezpečného stavu tj. zastavení přívodu páry do turbíny a to rychlozávěrným ventilem turbíny a regulačními ventily turbíny. Bezpečný doběh rotorové soustavy a chlazení ložisek zajišťuje hlavní a pomocné olejové čerpadlo. V případě poruchy na těchto čerpadlech se samočinně uvede do funkce nouzové olejové čerpadlo poháněné stejnosměrným motorem napájeným z baterií.

Interval zkoušek bezpečnostních funkcí je stanoven na 1 rok (8760 hodin), což je obvyklý interval stanovený provozním předpisem turbíny. Zkouška se provádí skutečným zvýšením otáček turbíny, při které musí dojít k bezpečnému odstavení.

Bezpečnostní funkce zvýšení otáček je však navíc zkoušena každý měsíc (720 hodin) vestavěným oscilátorem v aparatuře pro měření otáček Epro. Při této zkoušce nedojde k odstavení turbíny, ale je možno vyzkoušet aparaturu pro měření otáček a hydraulický blok olejového vypínače. Zkouška pohyblivosti rychlozávěrného ventilu bez odstavení turbíny je také uvažována každý měsíc.

Norma požaduje i hodnotu doby odezvy SIS na uvedení turbosoustrojí do bezpečného stavu a popis měření SIS v procesu. Z hlediska zvýšení otáček je doba odezvy dána časovou konstantou rotorové soustavy turbosoustrojí a to tak, aby při vypnutí turbíny otáčky nepřesáhly hodnotu danou normou ČSN EN 60045 Parní turbíny. Bezpečnostní funkce zvýšení posuvu axiálního ložiska musí působit bez zpoždění a hodnota nebezpečného posuvu je závislá na konstrukci ložiska a přesnosti měření. Tlačítko nouzového vypnutí turbíny musí být umístěno v prostoru, kde se vyskytuje obsluha turbíny.

Vyhodnocovací aparatura měření otáček turbíny musí mít certifikaci SIL3. Protože aparatura přímo ovládá tři solenoidy na hydraulickém bloku olejového vypínače, není nutné, aby systém PLC

zabezpečení turbíny, byl také certifikován pro SIL3. Měření axiálního posuvu je prováděno aparaturou pro měření posuvu a vibrací a unifikovaný výstup je připojen na PLC systému zabezpečení turbíny. Z toho plyne, že aparatura pro měření posuvu a PLC systém zabezpečení turbíny musí splňovat stupeň integrity SIL1. Dle normy ČSN EN 61511-1 odstavec 11.5.5.5 lze použít pro aplikace SIL1 PLC v bezpečné konfiguraci a nemusí být pořízeno formální posouzení. Tlačítko nouzového vypnutí turbíny ovládá certifikované bezpečnostní relé, které ovládá tři solenoidy na hydraulickém bloku olejového vypínače.

3.4 Minimální požadavky hardwaru k poruchám

Požadavky na toleranci k poruchám hardwaru jsou charakterizovány hodnotou HFT, která popisuje kvalitu bezpečnostní funkce a znamená schopnost při výskytu poruch dále správně vykonávat funkci. Například při HFT=1 znamená systém s jednoduchou redundancí, kde při výskytu jedné nebezpečné poruchy nedojde k omezení bezpečné činnosti E/E/PES systému.

Tab. 2 Minimální požadavky hardwaru k poruchám programovatelných elektronických systémů.

SIL	HFT		
	SFF < 60%	SFF 60% až 90%	SFF > 90%
1	1	0	0
2	2	1	0
3	3	2	1
4	Zvláštní požadavky		

Tab. 3 Minimální požadavky hardwaru k poruchám snímačů, koncových členů.

SIL	HFT
1	0
2	1
3	2
4	Zvláštní požadavky

Vyhodnocovací aparatura pro měření otáček je tvořena třemi nezávislými kanály včetně snímače a výstupy ovládají tři solenoidové ventily hydraulického bloku olejového vypínače. Hodnota HFT tohoto měření je 2, což pro hodnotu SFF > 60% je dle výše uvedených tabulek dostačující pro SIL3.

Aparatura pro měření posuvu obsahuje dva nezávislé kanály a PLC systém zabezpečení turbíny obsahuje tři částečně nezávislé systémy (společný CPU). Hodnota HFT tohoto měření je 0, což pro hodnotu SFF > 60% je dle výše uvedených tabulek dostačující pro SIL1.

Tlačítko nouzového vypnutí turbíny ovládá certifikované bezpečnostní relé, které má hodnotu HFT=2, což je dostačující i pro hodnoty SFF < 60%, ve stupni SIL1.

U těchto bezpečnostních funkcí je dominantním režimem poruch detekce bezpečného stavu nebo nebezpečných poruch, proto dle ČSN EN 61511-1 odstavec 11.4.3 nemusí být HFT zvětšeno o jedničku. V praxi to znamená, že solenoidové ventily jsou při provozu turbíny trvale pod napětím a v případě inicializace bezpečnostní funkce nebo poruchy napájení SIS dojde ke ztrátě napájecího napětí solenoidů a tím i k vypuštění ovládacího oleje rychlozávěrného ventilu turbíny.

Hlediska bezpečnostní funkce musí splňovat i koncové členy tj. rychlozávěrný ventil turbíny a regulační ventily turbíny, minimální požadavky hardwaru pro SIL3. Dle ČSN EN 61511-1 odstavec 11.4.4 je možno snížit HFT u snímačů a koncových členů o jedničku vyhovují-li v normě vyjmenovaným podmínkám. Jedna z podmínek je dostupnost dokladů o vhodnosti součástky pro použití v SIS. Doklady mají obsahovat množství provozních zkušeností, zvážení jakosti a managementu výrobce, předvedení funkčnosti součástek. Formální posouzení koncového členu pro aplikace SIL3 norma nepředepisuje.

3.5 Určení činitele β a β_D společných poruch

β je činitel společných poruch pro nezjistitelné nebezpečné vady a β_D je činitel společných poruch pro zjistitelné nebezpečné vady. Systematické společné poruchy mohou být způsobeny například:

- chybou návrhu SIS
- použitím nevhodného hardwaru
- chybou softwaru
- chyby člověka
- chyby návrhu hardwaru
- chyba úpravy systému

Určení β a β_D pro kanály s architekturou 1oo2 a 2oo3 je provedeno dle normy ČSN EN 61508-6 příloha D. Pomocí tabulky D.1, D.2 a D.3 u výše citované normy určíme parametry:

- pro podsystém logiky X_{LS} , Y_{LS} , Z
- pro snímače a koncové prvky X_{SF} , Y_{SF} , Z

Pro bezpečnostní funkci zvýšení otáček jsou parametry:

pro podsystém logiky $X_{LS}=27$, $Y_{LS}=23,5$, $Z=1,5$

pro snímače $X_{SF}=21,5$, $Y_{SF}=21,5$, $Z=0$

Hodnoty dále zpracujeme podle následujících vzorců:

$$S = X + Y \quad (1)$$

$$S_D = X \cdot (Z + 1) + Y \quad (2)$$

Hodnotu S použijeme pro určení β dle tabulky D.4 výše citované normy. Obdobně použijeme S_D pro určení β_D .

pro podsystém logiky $\beta = 2\%$ a $\beta_D = 1\%$

pro snímače $\beta = 10\%$ a $\beta_D = 10\%$

Pro bezpečnostní funkci zvýšení axiálního posuvu jsou parametry:

pro podsystém logiky $X_{LS}=27$, $Y_{LS}=23,5$, $Z=0$ z toho plyne $\beta = 2\%$ a $\beta_D = 2\%$

pro snímače $X_{SF}=21,5$, $Y_{SF}=21,5$, $Z=0$ z toho plyne $\beta = 10\%$ a $\beta_D = 10\%$

Pro hydraulický blok olejového vypínače:

pro solenoid $X_{SF}=21,5$, $Y_{SF}=21,5$, $Z=0$ z toho plyne $\beta = 10\%$ a $\beta_D = 10\%$

pro hydraulické písty $X_{SF}=21,5$, $Y_{SF}=21,5$, $Z=0$ z toho plyne $\beta = 10\%$ a $\beta_D = 10\%$

3.6 Výpočet pravděpodobnosti poruch

Pro výpočet pravděpodobnosti poruch na vyžádání bezpečnostní funkce existují různé metody, které obsahují:

- simulaci
- analýzu příčin a následků
- analýzu stromu poruch
- Markovovy modely
- blokové diagramy spolehlivosti
- bezporuchovostní blokové schémata

Pro vlastní výpočet pravděpodobnosti poruch na vyžádání bezpečnostní funkce jsem zvolil metodu bezporuchovostních blokových schémat, která je popsána v normě ČSN EN 61508-6 příloha B.

Vzorce použité pro výpočet jsou platné za předpokladu, že intenzita poruch λ je konstantní, t.j. SIS systém se nachází v prostřední oblasti vanové křivky. V hodnotě času MTTF vyjádřeného v hodinách je pravděpodobnost bezporuchové funkce 36,8%.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \text{ pro obnovitelné zařízení} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{1}{MCTF} \text{ pro neobnovitelné zařízení} \quad (4)$$

Většina výrobců zařízení uvádí hodnotu MTBF a to v hodinách, rocích nebo v jednotkách FIT (1 FIT = 1 porucha / 10^9 hodin). MTBF vyjadřuje střední dobu mezi poruchami, která se skládá ze střední doby do poruchy a střední doby do zotavení. Ve většině případů je hodnota MTTR zanedbatelně nízká vůči hodnotě MTBF. Hodnota MTTR je typicky méně než 24 hodin.

Pro diskrétní součásti jako např. relé, tlačítka, se udává hodnota MCTF, která zastupuje hodnotu MTTF. Následné výpočty jsou prováděny stejně jako s hodnotou MTTF. Výrobci často uvádí hodnotu B_{10} , což je statistické 10% rozhraní pro elektrickou životnost. Potom můžeme tuto hodnotu při znalosti četnosti spínání C přepočítat na hodnotu MCTF.

$$MCTF = \frac{B_{10}}{0,1 \cdot C} \quad (5)$$

$$MTTF = MTBF - MTTR \quad (6)$$

Intenzita poruch se dělí na nebezpečné a bezpečné.

$$\lambda = \lambda_D + \lambda_S \quad (7)$$

Ta se dále dělí na zjištěné a nezjištěné.

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (8)$$

$$\lambda_S = \lambda_{SD} + \lambda_{SU} \quad (9)$$

Pro další výpočet se předpokládá exponenciální rozdělení intenzity poruch.

$$PFD = 1 - e^{-\lambda_D \cdot t_{CE}} \quad (10)$$

Ekivalentní střední doba prostoje kanálu, posuzuje kanál tak, jako by byl složen ze dvou sériově uspořádaných částí. Jedna s intenzitou nezjištěných nebezpečných poruch a druhá s intenzitou zjištěných nebezpečných poruch.

$$t_{CE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \cdot \left(\frac{T_1}{2} + MTTR \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} \cdot MTTR \quad (11)$$

Ve výpočtech se z důvodu zjednodušení vychází z předpokladu, že

$$PFD \approx \lambda_D \cdot t_{CE} \text{ za podmínky } \lambda_D \cdot t_{CE} \ll 1 \quad (12)$$

Podíl bezpečných poruch uvádí poměr intenzity bezpečných poruch a intenzity poruch.

$$SR = \frac{\lambda_S}{\lambda} \text{ z toho plyne } \lambda_D = \lambda \cdot (1 - SR) \quad (13)$$

Diagnostické pokrytí vyjadřuje poměr intenzity nezjištěných nebezpečných poruch a intenzity nebezpečných poruch. Hodnota $DC > 0\%$ je u zařízení, která mají diagnostiku hlídající SIS nebo její subsystem. Ve většině případů v elektrotechnice jsou to zařízení, která obsahují procesor, např. PLC systémy a SMART převodníky. U systémů pracujících na jiných principech (mechanickém, hydraulickém, pneumatickém) se hodnota uvádí tam, kde je možno testovat prvek za provozu systému, aniž by to ovlivnilo jeho funkci, např. při částečném posunutí pístu.

$$DC = \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} \text{ z toho plyne } \lambda_{DU} = \lambda_D \cdot (1 - DC) \quad (14)$$

Podíl bezpečných výpadků

$$SFF = \frac{\lambda_S + \lambda_{DD}}{\lambda_S + \lambda_D} \text{ z toho plyne } SFF = 1 - \frac{\lambda_{DU}}{\lambda} \quad (15)$$

Ekvivalentní střední doba prostoje rozhodovací skupiny

$$t_{GE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \cdot \left(\frac{T_1}{3} + MTTR \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} \cdot MTTR \quad (16)$$

Architektura 1oo1

$$PFD_G = (\lambda_{DU} + \lambda_{DD}) \cdot t_{CE} \quad (17)$$

Architektura 1oo2

$$PFD_G = 2 \cdot [(1 - \beta_D) \cdot \lambda_{DD} + (1 - \beta) \cdot \lambda_{DU}]^2 \cdot t_{CE} \cdot t_{GE} + \beta_D \cdot \lambda_{DD} \cdot MTTR + \beta \cdot \lambda_{DU} \cdot \left(\frac{T_1}{2} + MTTR \right) \quad (18)$$

Architektura 2oo3

$$PFD_G = 6 \cdot [(1 - \beta_D) \cdot \lambda_{DD} + (1 - \beta) \cdot \lambda_{DU}]^2 \cdot t_{CE} \cdot t_{GE} + \beta_D \cdot \lambda_{DD} \cdot MTTR + \beta \cdot \lambda_{DU} \cdot \left(\frac{T_1}{2} + MTTR \right) \quad (19)$$

Pokud bezpečnostní funkce závisí na více rozhodovacích skupinách snímačů, logik nebo koncových prvků, příslušné hodnoty PFD se sečtou

$$PFD_S = \sum_{i=1}^n PFD_{Gi} \quad (20)$$

$$PFD_L = \sum_{i=1}^n PFD_{Gi} \quad (21)$$

$$PFD_{FE} = \sum_{i=1}^n PFD_{Gi} \quad (22)$$

$$PFD_{SS} = \sum_{i=1}^n PFD_{Gi} \quad (23)$$

Průměrná pravděpodobnost poruchy při vyžádání bezpečnostní funkce SIS, se skládá z obdobných hodnot pro jednotlivé subsystemy snímačů, logik, koncových prvků a podpůrných subsystemů. Snímače jsou vstupní částí SIS a detekují nebezpečné situace. Subsystemy logiky zpracovávají tyto vstupy a generují správné povely pro koncové členy tak, aby se zabránilo nebezpečné situaci. Podpůrné subsystemy umožňují úspěšnou funkci SIS. Mezi ně patří např. napájecí

zdroj, pokud ostatní subsystémy pracují s funkcí, kdy až po přivedení napájecího napětí se inicializuje bezpečnostní funkce - “energize-to-trip”.

$$PFD_{SYS} = PFD_S + PFD_L + PFD_{FE} + PFD_{SS} \quad (24)$$

4 APLIKACE VYTVOŘENÉHO ŘEŠENÍ

4.1 Výpočet PFD jednotlivých komponent

4.1.1 Subsystem snímačů

Typ: snímač posuvu MMG1070
 Výrobce: Epro
 Zdroj údajů: dokument Epro *Consideration on MTBF times of the DOPS overspeed protection system* z 21.10.2004
 Hodnota: $MTBF = 10,6$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 4

Typ: snímač posuvu 3300 XL
 Výrobce: Bently Nevada
 Zdroj údajů: dokument Bently Nevada *Mean Time Between Failures* z 21.12.1999
 Hodnota: $MTBF = 54$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 5

Typ: vyhodnocovací karta 3500/42M
 Výrobce: Bently Nevada
 Zdroj údajů: dokument Bently Nevada *Mean Time Between Failures* z 21.12.1999
 Hodnota: $MTBF = 18,5$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 6

Typ: tlačítko ZBE 102
 Výrobce: Schneider Electric
 Zdroj údajů: typická hodnota
 Hodnota: životnost kontaktu $B_{10} = 10^5$ sepnutí, uvažováno 50 sepnutí/rok
 $(5,7 \cdot 10^{-3} \text{ sepnutí/h}), MCTF = \frac{10^5}{0,1 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}} = 1,75 \cdot 10^8 \text{ h}$

Výpočet uveden: Tab. 7

Typ: převodník tlaku DS III 7MF4033
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *SIL declaration of conformity* z 20.1.2006
 Hodnota: $MTBF = 169$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 8

4.1.2 Subsystem logiky

Typ: vyhodnocovací karta MMS6350
 Výrobce: Epro
 Zdroj údajů: dokument Epro *Consideration on MTBF times of the DOPS overspeed protection system* z 21.10.2004
 Hodnota: $MTBF = 13,06$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 9

Typ: základová deska MMS6351
 Výrobce: Epro
 Zdroj údajů: dokument Epro *Consideration on MTBF times of the DOPS overspeed*

- Hodnota: *protection system* z 21.10.2004
 Výpočet uveden: $MTBF = 31,24$ roků
 Tab. 10
- Typ: jednotka analogových vstupů ET200M, 6ES7 331
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007
 Hodnota: $MTBF = 19,6$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 11
- Typ: komunikační jednotka ET200M, 6ES7 153
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007
 Hodnota: $MTBF = 48,7$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 12
- Typ: komunikační jednotka Simatic S7 CP443-5, 6GK7 443
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007
 Hodnota: $MTBF = 9,1$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 13
- Typ: procesor Simatic S7 CPU414 2DP, 6ES7 414
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007
 Hodnota: $MTBF = 39$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 14
- Typ: jednotka digitálních výstupů Simatic S7, 6ES7 422
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007
 Hodnota: $MTBF = 15,5$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 15
- Typ: bezpečnostní relé PNOZ 11
 Výrobce: Pilz
 Zdroj údajů: dokument Pilz *Technical instructions Nr. 19147*
 Hodnota: životnost kontaktu $B_{10} = 1,2 \cdot 10^5$ sepnutí při indukční zátěži 24VDC/1A,
 uvažováno 50 sepnutí/rok ($5,7 \cdot 10^{-3}$ sepnutí/h),

$$MCTF = \frac{1,2 \cdot 10^5}{0,1 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}} = 2,11 \cdot 10^8 \text{ h}$$
 Výpočet uveden: Tab. 16
- Typ: jednotka analogových vstupů ET200M, 6ES7 331
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007

Hodnota: $MTBF = 19,6$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 17

Typ: komunikační jednotka ET200M, 6ES7 153
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007

Hodnota: $MTBF = 48,7$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 18

Typ: komunikační jednotka Simatic S7 CP443-5, 6GK7 443
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007

Hodnota: $MTBF = 9,1$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 19

Typ: jednotka digitálních výstupů ET200M, 6ES7 323
 Výrobce: Siemens
 Zdroj údajů: dokument Siemens *Mean Time Between Failures – list for Simatic products* z 19.10.2007

Hodnota: $MTBF = 21,8$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 20

4.1.3 Subsystem koncových prvků

Typ: solenoid olejového vypínače
 Výrobce: Rexroth
 Zdroj údajů: publikace *Reliability Data for Control and Safety System, 1998 Edition*
 Hodnota: $MTBF = 12,7$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 21

Typ: hydraulický píst olejového vypínače
 Výrobce: Siemens Industrial turbomachinery Brno s.r.o.
 Zdroj údajů: publikace *Reliability Data for Control and Safety System, 1998 Edition*
 Hodnota: $MTBF = 12,7$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 22

Typ: rychlozávěrný ventil turbíny
 Výrobce: Siemens Industrial turbomachinery Brno s.r.o.
 Zdroj údajů: publikace *Reliability Data for Control and Safety System, 1998 Edition*
 Hodnota: $MTBF = 43,9$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 23

Typ: elektrohydraulický převodník
 Výrobce: Voith Turbo E360
 Zdroj údajů: publikace *Reliability Data for Control and Safety System, 1998 Edition*
 Hodnota: $MTBF = 12,7$ roků
 Výpočet uveden: Tab. 24

Typ: regulační ventil turbíny
 Výrobce: Siemens Industrial turbomachinery Brno s.r.o.
 Zdroj údajů: publikace *Reliability Data for Control and Safety System, 1998 Edition*

Hodnota: $MTBF = 43,9$ roků

Výpočet uveden: Tab. 25

Typ: relé 55.33.9.024.0010

Výrobce: Finder

Zdroj údajů: katalog výrobce Finder

Hodnota: životnost kontaktu $B_{10} = 10^5$ sepnutí při zátěži DC13, uvažováno 1

$$\text{sepnutí/den (0,042 sepnutí/h), } MCTF = \frac{10^5}{0,1 \cdot 0,042} = 2,38 \cdot 10^7 \text{ h}$$

Výpočet uveden: Tab. 26

Typ: časové relé 60.13.9.220.0040

Výrobce: Finder

Zdroj údajů: katalog výrobce Finder

Hodnota: životnost kontaktu $B_{10} = 10^5$ sepnutí při zátěži DC13, uvažováno 1

$$\text{sepnutí/den (0,042 sepnutí/h), } MCTF = \frac{10^5}{0,1 \cdot 0,042} = 2,38 \cdot 10^7 \text{ h}$$

Výpočet uveden: Tab. 27

Typ: stykač 3RT1044-1BM40

Výrobce: Siemens

Zdroj údajů: Dokument Siemens *Recommendation of the standard B10 values* z 1.2.2006

Hodnota: životnost kontaktu $B_{10} = 10^6$ sepnutí při indukční zátěži, uvažováno 1

$$\text{sepnutí/den (0,042 sepnutí/h), } MCTF = \frac{10^6}{0,1 \cdot 0,042} = 2,38 \cdot 10^8 \text{ h}$$

Výpočet uveden: Tab. 28

Typ: pojistky 2xFH000-1S/T

Výrobce: Oez

Zdroj údajů: katalog výrobce Oez

Hodnota: životnost kontaktu $B_{10} = 200$ pracovních cyklů při proudu 160A, uvažováno 1 sepnutí/rok ($1,1 \cdot 10^{-4}$ sepnutí/h),

$$MCTF = \frac{200}{0,1 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}} = 1,82 \cdot 10^7 \text{ h}$$

Výpočet uveden: Tab. 29

Typ: jistič 5SY5206-7 2P 6A C

Výrobce: Siemens

Zdroj údajů: katalog výrobce Siemens

Hodnota: životnost kontaktu $B_{10} = 2 \cdot 10^5$ sepnutí při jmenovitém proudu, uvažováno 1 sepnutí/rok ($1,1 \cdot 10^{-4}$ sepnutí/h),

$$MCTF = \frac{2 \cdot 10^5}{0,1 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}} = 1,82 \cdot 10^9 \text{ h}$$

Výpočet uveden: Tab. 30

4.1.4 Tabulky výpočtů

Tab.4 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	92856	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	0	%
β	10	%
β_D	10	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$1,08 \cdot 10^{-5}$	1/h
λ_D	$1,08 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$1,08 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	90	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	2930	h
PFD_G	$5,45 \cdot 10^{-4}$	h

Tab.5 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	473040	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	0	%
β	10	%
β_D	10	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1002	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$2,11 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$2,11 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$2,11 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	90	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	2930	h
PFD_G	$9,37 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.6 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	162060	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1002	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$6,17 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$6,17 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$6,17 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$5,55 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	300	h
PFD_G	$5,60 \cdot 10^{-6}$	h

Tab.7 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	$1,75 \cdot 10^8$	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	0	%
β	10	%
β_D	10	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1002	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$5,71 \cdot 10^{-9}$	1/h
λ_D	$5,71 \cdot 10^{-10}$	1/h
λ_{DU}	$5,71 \cdot 10^{-10}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	90	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	2930	h
PFD_G	$2,51 \cdot 10^{-7}$	h

Tab.8 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	1480440	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	22	%
<i>DC</i>	75	%
β	10	%
β_D	10	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$6,75 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_D	$5,27 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$1,32 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$3,95 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	80,5	%
t_{CE}	1100	h
t_{GE}	738	h
<i>PF_D_G</i>	$5,92 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.9 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	114406	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	1	%
T_1	720	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$8,74 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$8,74 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$8,74 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$7,87 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	44	h
t_{GE}	32	h
<i>PF_D_G</i>	$7,13 \cdot 10^{-7}$	h

Tab.10 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	273662	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	1	%
T_1	720	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$3,65 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$3,65 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$3,65 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$3,29 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	44	h
t_{GE}	32	h
<i>PF_D_G</i>	$2,96 \cdot 10^{-7}$	h

Tab.11 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	171696	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1002	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$5,82 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$5,82 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$5,82 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$5,24 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	300	h
<i>PF_D_G</i>	$5,28 \cdot 10^{-6}$	h

Tab.12 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	426612	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1002	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$2,34 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$2,34 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$2,34 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$2,11 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	300	h
$PF D_G$	$2,11 \cdot 10^{-6}$	h

Tab.13 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	79716	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1002	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$1,25 \cdot 10^{-5}$	1/h
λ_D	$1,25 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$1,25 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DD}	$1,13 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	300	h
$PF D_G$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.14 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	341640	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	0	%
β_D	0	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	0	-
λ	$2,93 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$2,93 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$2,93 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$2,63 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	0	h
$PF D_G$	$1,31 \cdot 10^{-4}$	h

Tab.15 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	135780	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	50	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$7,37 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$3,68 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$1,84 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DD}	$1,84 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	75	%
t_{CE}	2200	h
t_{GE}	1470	h
$PF D_G$	$4,14 \cdot 10^{-4}$	h

Tab.16 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	$2,11 \cdot 10^8$	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	50	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2oo3	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$4,74 \cdot 10^{-9}$	1/h
λ_D	$4,74 \cdot 10^{-10}$	1/h
λ_{DU}	$2,37 \cdot 10^{-10}$	1/h
λ_{DD}	$2,37 \cdot 10^{-10}$	1/h
<i>SFF</i>	95	%
t_{CE}	2200	h
t_{GE}	1470	h
PFD_G	$2,08 \cdot 10^{-8}$	h

Tab.17 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	171696	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2oo3	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$5,82 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$5,82 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$5,82 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$5,24 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	300	h
PFD_G	$5,46 \cdot 10^{-6}$	h

Tab.18 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	426612	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	0	%
β_D	0	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2oo3	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$2,34 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$2,34 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DU}	$2,34 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	$2,11 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	300	h
PFD_G	$2,13 \cdot 10^{-6}$	h

Tab.19 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	79716	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	90	%
<i>DC</i>	90	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2oo3	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$1,25 \cdot 10^{-5}$	1/h
λ_D	$1,25 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$1,25 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DD}	$1,13 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	99	%
t_{CE}	446	h
t_{GE}	300	h
PFD_G	$1,24 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.20 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	190968	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	50	%
β	2	%
β_D	2	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$5,24 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$2,62 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$1,31 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DD}	$1,31 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	75	%
t_{CE}	2200	h
t_{GE}	1470	h
<i>PF_D_G</i>	$2,43 \cdot 10^{-4}$	h

Tab.21 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	111252	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	50	%
β	10	%
β_D	10	%
T_1	720	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$8,99 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$4,49 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$2,25 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DD}	$2,25 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	75	%
t_{CE}	188	h
t_{GE}	128	h
<i>PF_D_G</i>	$8,69 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.22 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	111252	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	50	%
β	10	%
β_D	10	%
T_1	720	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$8,99 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$4,49 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$2,25 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DD}	$2,25 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	75	%
t_{CE}	188	h
t_{GE}	128	h
<i>PF_D_G</i>	$8,69 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.23 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	384564	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	50	%
β	-	%
β_D	-	%
T_1	720	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$2,60 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$1,30 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$6,50 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DD}	$6,50 \cdot 10^{-7}$	1/h
<i>SFF</i>	75	%
t_{CE}	188	h
t_{GE}	-	h
<i>PF_D_G</i>	$2,44 \cdot 10^{-4}$	h

Tab.24 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	111252	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	85	%
β	-	%
β_D	-	%
T_1	720	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$8,99 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$4,49 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$6,74 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DD}	$3,82 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	92,5	%
t_{CE}	62	h
t_{GE}	-	h
$PF D_G$	$2,79 \cdot 10^{-4}$	h

Tab.25 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	384564	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	85	%
β	-	%
β_D	-	%
T_1	720	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	1	-
λ	$2,60 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_D	$1,30 \cdot 10^{-6}$	1/h
λ_{DU}	$1,95 \cdot 10^{-7}$	1/h
λ_{DD}	$1,11 \cdot 10^{-6}$	1/h
<i>SFF</i>	92,5	%
t_{CE}	62	h
t_{GE}	-	h
$PF D_G$	$8,06 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.26 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	$2,38 \cdot 10^7$	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	0	%
β	10	%
β_D	10	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	2003	-
<i>HFT</i>	2	-
λ	$4,20 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_D	$2,10 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DU}	$2,10 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	50	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	2930	h
$PF D_G$	$9,25 \cdot 10^{-6}$	h

Tab.27 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	$2,38 \cdot 10^7$	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	0	%
β	-	%
β_D	-	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	0	-
λ	$4,20 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_D	$2,10 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DU}	$2,10 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	50	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	-	h
$PF D_G$	$9,22 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.28 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	$2,38 \cdot 10^8$	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	25	%
<i>DC</i>	0	%
β	-	%
β_D	-	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	0	-
λ	$4,20 \cdot 10^{-9}$	1/h
λ_D	$3,15 \cdot 10^{-9}$	1/h
λ_{DU}	$3,15 \cdot 10^{-9}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	25	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	-	h
$PF D_G$	$1,38 \cdot 10^{-5}$	h

Tab.30 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	$1,82 \cdot 10^9$	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	0	%
β	-	%
β_D	-	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	0	-
λ	$5,49 \cdot 10^{-10}$	1/h
λ_D	$2,75 \cdot 10^{-10}$	1/h
λ_{DU}	$2,75 \cdot 10^{-10}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	50	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	-	h
$PF D_G$	$1,21 \cdot 10^{-6}$	h

Tab.29 Zadaná a vypočtená data.

<i>MTBF</i>	$1,82 \cdot 10^7$	h
<i>MTTR</i>	8	h
<i>SR</i>	50	%
<i>DC</i>	0	%
β	-	%
β_D	-	%
T_1	8760	h
<i>MooN</i>	1001	-
<i>HFT</i>	0	-
λ	$5,49 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_D	$2,75 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DU}	$2,75 \cdot 10^{-8}$	1/h
λ_{DD}	0	1/h
<i>SFF</i>	50	%
t_{CE}	4390	h
t_{GE}	-	h
$PF D_G$	$1,21 \cdot 10^{-4}$	h

4.2 Výpočet PFD bezpečnostních funkcí

Úvaha pro bezpečnostní funkci zvýšení otáček vychází ze situace, že koncové prvky jsou dva, tj. rychlozávěrný ventil a regulační ventil, které mají rozdílné charakteristické hodnoty. Proto nelze použít metodu bezporuchovostních blokových schémat pro výpočet v architektuře 1oo2. Norma požaduje pro stupeň integrity bezpečnosti SIL3, hodnotu HFT=1 u koncových prvků, proto je nutné výpočet PFD zpracovat samostatně pro každý koncový prvek zvlášť. Výsledkem bude nejhorší případ hodnoty PFD, protože bude zpracován pro architekturu 1oo1.

Tab.31 Výpočet PFD bezpečnostní funkce zvýšení otáček – při zapůsobení pouze rychlozávěrného ventilu turbíny.

	PFD_S	PFD_L	PFD_{FE}	PFD_{SYS}
Tabulka č.	4	9, 10	21-23	
h	$5,45 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$4,18 \cdot 10^{-4}$	$9,64 \cdot 10^{-4}$
% využití PFD_{SYS}	56,53	0,10	43,37	

Tab.32 Výpočet PFD pro bezpečnostní funkci zvýšení otáček – při zapůsobení pouze regulačního ventilu turbíny.

	PFD_S	PFD_L	PFD_{FE}	PFD_{SYS}
Tabulka č.	4	9, 10	24, 25	
h	$5,45 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$3,59 \cdot 10^{-4}$	$9,05 \cdot 10^{-4}$
% využití PFD_{SYS}	60,20	0,11	39,69	

Bezpečnostní funkce zvýšení axiálního posuvu je zařazena do stupně integrity bezpečnosti SIL1, kde je požadována hodnota HFT=0 u koncových prvků (bez redundance). Proto je výpočet PFD zpracován jen pro rychlozávěrný ventil turbíny.

Tab.33 Výpočet PFD bezpečnostní funkce zvýšení axiálního posuvu – při zapůsobení pouze rychlozávěrného ventilu turbíny.

	PFD_S	PFD_L	PFD_{FE}	PFD_{SYS}
Tabulka č	5, 6	11-15	21-23	
h	$9,93 \cdot 10^{-5}$	$5,64 \cdot 10^{-4}$	$4,18 \cdot 10^{-4}$	$1,08 \cdot 10^{-3}$
% využití PFD_{SYS}	9,19	52,13	38,68	

Bezpečnostní funkce tlačítko nouzového vypnutí turbíny je zařazena do stupně integrity bezpečnosti SIL1, kde je požadována hodnota HFT=0 u koncových prvků (bez redundance). Proto je výpočet PFD zpracován jen pro rychlozávěrný ventil turbíny.

Tab.34 Výpočet PFD bezpečnostní funkce tlačítko nouzového vypnutí turbíny – při zapůsobení pouze rychlozávěrného ventilu turbíny.

	PFD_S	PFD_L	PFD_{FE}	PFD_{SYS}
Tabulka č	7	16	21-23	
h	$2,51 \cdot 10^{-7}$	$2,08 \cdot 10^{-8}$	$4,18 \cdot 10^{-4}$	$4,18 \cdot 10^{-4}$
% využití PFD_{SYS}	0,06	0,00	99,94	

4.3 Výpočet spolehlivosti záskoku nouzového olejového čerpadla

Výpočet spolehlivosti záskoku nouzového olejového čerpadla je rozdělen na část skládající se

z elektronických/elektrických obvodů a na strojní část. Metodika výpočtu pro první část je shodná s výpočty bezpečnostních funkcí. Vzhledem k tomu, že přenos signálu pro zapnutí nouzového olejového čerpadla je realizován po komunikaci Profibus DP z místního rozvaděče řídicího systému turbíny do vzdáleného rozvaděče umístěného v místnosti rozvaděčů oběma směry, je hodnota PFD těchto komponent započítána dvakrát (Tab. 18,19). Subsystem koncových prvků je tvořen rozvaděčem pro spouštění nouzového olejového čerpadla. Motor nouzového olejového čerpadla je souhlasný kompaundní stejnosměrný motor, který je z důvodu omezení rozběhového proudu spouštěn pomocí dvoustupňového časově vyřazovaného rezistoru. Z tohoto důvodu byl ve výpočtu stykač uvažován třikrát (Tab. 28) a časové relé dvakrát (Tab. 27). Protože čerpadlo dodává potřebný olej až po přivedení napětí, je nutné počítat i se spolehlivostí podpůrného subsystému tj. pojistek a jističů přivádějících napětí. Spolehlivost vlastního stejnosměrného zdroje (baterií) není uvažována. Stejnosměrný zdroj je mimo rozsah dodávky turbosoustrojí a jeho technické provedení je různě složitě – rozvětvené, jeho spolehlivost závisí na mnoha okolnostech.

Tab.35 Výpočet PFD záskoku nouzového olejového čerpadla.

	PFD_S	PFD_L	PFD_{FE}	PFD_{SS}	PFD_{SYS}
Tabulka č.	8	17-20	26-28	29, 30	
h	$5,92 \cdot 10^{-5}$	$4,08 \cdot 10^{-4}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$1,22 \cdot 10^{-4}$	$8,24 \cdot 10^{-4}$
% využití PFD_{SYS}	7,19	49,49	28,54	14,78	

Strojní část záskoku nouzového olejového čerpadla se skládá z motoru a čerpadla. Při výpočtu se vycházelo z předpokladu, že strojní část „se opotřebovává“ pouze za chodu nouzového olejového čerpadla. Motor má elektrické krytí IP54 a čerpadlo je trvale ponořeno do olejové nádrže, proto nebyly uvažovány poruchy způsobené samovolným stárnutím zařízení jako např. zhoršení izolačního stavu vinutí motoru vlivem kondenzující vlhkosti, zatuhnutí hřídele čerpadla. Při výpočtu celkové doby chodu byl brán v úvahu nejhorší případ provozu turbosoustrojí:

- výpadek střídavé sítě a odstavení turbosoustrojí „blackout“ 1 h/rok
- najetí turbosoustrojí každý den, při spouštěcí sekvenci se testuje připravenost záskoku chodem čerpadla po dobu 1 min.
- životnost parního turbosoustrojí 20 let

Lze jednoduše spočítat, že motor s čerpadlem je v chodu za životnost turbíny pouze 140 h.

Dle sdělení výrobce motoru fy Winkelmann E-mailem ze dne 20.2.2008, je nutné provádět kontrolu uhlíkových kartáčů komutátoru každých 500 h provozu a jejich životnost je 5000 h. Čas pro periodickou kontrolu je delší než doba chodu motoru za celou životnost turbíny, proto je spolehlivost motoru počítána vzorcem pro neobnovitelné zařízení. Vychází se z předpokladu, že intenzita poruch λ je konstantní, t.j. zařízení se nachází v prostřední oblasti vanové křivky (doba provozu).

$$\lambda = \frac{1}{T_S} \quad (25)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (26)$$

T_S [h] střední doba mezi poruchami

t [h] doba provozu zařízení

F [h] pravděpodobnost poruchy

Po dosazení a výpočtu vyjde hodnota pravděpodobnosti poruch pro motor $2,76 \cdot 10^{-2}$ h.

Výrobce čerpadla fa Allweiler sdělil E-mailem ze dne 30.1.2008, že šroubová čerpadla mají životnost delší než 20 roků při správném provozování a údržbě. Při výpočtu pravděpodobnosti poruchy byly použity vzorce (25), (26) a hodnota $F(t)$ je $7,98 \cdot 10^{-4}$ h.

Výpočet výsledné hodnoty spolehlivosti záskoku nouzového olejového čerpadla vychází z předpokladu, že porucha libovolného prvku má za následek poruchu celého systému. To odpovídá sériovému poruchovému modelu pro který platí vztah:

$$F(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t)) \quad (27)$$

Pokud dosadíme hodnotu $PF D_{SYS}$ jako hodnotu $F(t)$ za elektronickou/elektrickou část a dále hodnoty $F(t)$ motoru a čerpadla, dostáváme výslednou hodnotu $2,92 \cdot 10^{-2}$ h.

5 ZÁVĚR

Analýzou a výpočtem bylo zjištěno, že standardní provedení ochran (bezpečnostních funkcí) parních turbín vyráběných firmou Siemens Industrial Turbomachinery s.r.o. splňuje požadavky na funkční bezpečnost dle norem ČSN EN 61508 a ČSN EN 61511.

Tab.36 Porovnání požadavků na bezpečnostní funkci zvýšení otáček – SIL3.

	PFD_{SYS} [h]	HFT [-]	SFF [%]
Vypočtená hodnota	$\leq 9,64 \cdot 10^{-4}$	2	99
Požadavek normy	$< 10^{-3}$	min. 1 (alternativně 2)	> 90 (alternativně > 60)

Tab.37 Porovnání požadavků na bezpečnostní funkci zvýšení axiálního posuvu – SIL1.

	PFD_{SYS} [h]	HFT [-]	SFF [%]
Vypočtená hodnota	$1,08 \cdot 10^{-3}$	0	> 75
Požadavek normy	$< 10^{-1}$	min. 0	> 60

Tab.38 Porovnání požadavků na bezpečnostní funkci tlačítko nouzového vypnutí turbíny – SIL1.

	PFD_{SYS} [h]	HFT [-]	SFF [%]
Vypočtená hodnota	$4,18 \cdot 10^{-4}$	1	95
Požadavek normy	$< 10^{-1}$	min. 0 (alternativně 1)	> 60 (alternativně < 60)

Poznámka: Hodnoty HFT a SFF v Tab. 36-38 jsou platné pro subsystém logiky.

Z hodnot výpočtů lze usoudit, že nejvíce poruchovým subsystémem a tudíž nejproblémovějším, je subsystém koncových prvků tj. regulační a rychlozávěrný ventil turbíny s příslušenstvím. Na základě porovnání hodnot můžeme provést doporučení pro zvýšení funkční bezpečnosti turbíny.

- použití snímače na principu vířivých proudů s odděleným oscilátorem pro měření otáček místo snímače se zabudovaným oscilátorem
- signál na uzavření regulačních ventilů zapojit HW přímo na výstup z aparatury pro vyhodnocení otáček
- použít koncové prvky, které mohou být testovány za provozu turbíny (lze zkrátit kontrolní interval periodické zkoušky a tím zvýšit funkční bezpečnost)
- zařízení obsahující mikroprocesor umístit do prostředí, kde jsou méně tepelně namáhány (při zvýšení teploty o 10 K se může zdvojnásobit pravděpodobnost vzniku poruchy)
- při výběru subdodavatelů přihlídnout nejen k ceně zařízení, ale i k hodnotě střední doby mezi poruchami
- při porovnávání údajů subdodavatelů se zaměřit i na hodnotu okolní teploty, při které je střední doba mezi poruchami udávána
- návrhovou hodnotu HFT a T_1 korigovat podle výsledné hodnoty PFD_{SYS} a SFF

Výpočet spolehlivosti záskoku nouzového olejového čerpadla je, dle mého názoru, zkrácen udanou hodnotou výrobce stejnosměrného motoru (střední doba mezi poruchami pouze 5000 h). Pravděpodobnost poruchy elektronické/elektrické a strojní části (kromě stejnosměrného napájecího zdroje) má hodnotu $2,92 \cdot 10^{-2}$ h. Na tuto hodnotu nejsou kladena normou žádná kritéria z hlediska stupně integrity bezpečnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- **Normy:**

- [1] ČSN EN 61508-1:1998 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností. Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: Český normalizační institut, 1998, 60 s.
- [2] ČSN EN 61508-2:2002 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností. Část 2: Požadavky na elektrické/elektronické/programovatelné elektronické systémy související s bezpečností. Praha: Český normalizační institut, 2002, 76 s.
- [3] ČSN EN 61508-3:2002 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností. Část 3: Požadavky na software. Praha: Český normalizační institut, 2002, 52 s.
- [4] ČSN EN 61508-4:2002 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností. Část 4: Definice a zkratky. Praha: Český normalizační institut, 2002, 32 s.
- [5] ČSN EN 61508-5:2002 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností. Část 5: Příklady metod určování úrovně integrity bezpečnosti. Praha: Český normalizační institut, 2002, 32 s.
- [6] ČSN EN 61508-6:2002 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností. Část 6: Metodické pokyny pro použití. Praha: Český normalizační institut, 2002, 72 s.
- [7] ČSN EN 61511-1:2004 Funkční bezpečnost – Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů – Část 1: Požadavky na systémy hardwaru a softwaru, struktura, definice. Praha: Český normalizační institut, 2004, 88 s.
- [8] ČSN EN 61511-2:2004 Funkční bezpečnost – Bezpečnostní přístrojové systémy pro průmyslové procesy – Část 2: Pokyny pro použití normy IEC 61511-1. Praha: Český normalizační institut, 2004, 48 s.
- [9] ČSN EN 61511-3:2004 Funkční bezpečnost – Bezpečnostní přístrojové systémy pro sektor průmyslových procesů – Část 3: Pokyn pro stanovení požadované úrovně integrity bezpečnosti. Praha: Český normalizační institut, 2004, 68 s.

- **Skripta:**

- [10] VDOLEČEK, František; *Spolehlivost a technická diagnostika: Text pro podporu výuky v kombinovaném studiu*. Brno, 2002. 49 s.

- **Firemní literatura:**

- [11] 1CWN002358:1996. Control and Safety Philosophy for ABB Steam Turbines. ABB Turbinen Nurnberg GmbH (DE), 1996, 28 s.

- **Článek v elektronickém časopise:**

- [12] UHER, Jaromír. Úvod do funkční bezpečnosti I: norma ČSN EN 61508. *Automa* [online]. 2004, č. 8-9 [cit. 13.2.2008]. Dostupný na WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32520.
- [13] UHER, Jaromír. Úvod do funkční bezpečnosti II: použití normy ČSN EN 61508. *Automa* [online]. 2004, č. 10 [cit. 13.2.2008]. Dostupný na WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32575.

- **Článek v elektronickém sborníku z konference:**

- [14] SUMMERS E, Angela, *Viewpoint on ISA TR84.0.02 – Simplified Methods and Fault Tree Analysis*. In *Presented at Interkama* [online]. 1999 [cit. 17.3.2008]. Dostupný na WWW: <http://www.sis-tech.com/Technical%20Resources/VIEWPOINT%20ON%20ISA%20TR8402%20SIMPLIFIED>

%20EQUATIONS%20AND%20FAULT%20TREE%20ANALYSIS.pdf.

- **WWW stránky:**

[15] KNICK, Funkční bezpečnost podle IEC/EN 61508: Normy – fakta - pozadí. *Profess - Info* [online]. 2005, Dostupný na WWW: http://www.profess.sk/pdf_pci_info/INFO-SIL.pdf.

SEZNAM PŘÍLOH

[1] Výkres fy Siemens *Control system configuration* T3-8461-00930 ze dne 26.3.2008, počet stran 1