

ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST
Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

PROGRAM SPOLEHLIVOSTI



**MATERIÁLY Z XII. SETKÁNÍ
ODBORNÉ SKUPINY PRO SPOLEHLIVOST**

Praha, září 2003



OBSAH

PROGRAM SPOLEHLIVOSTI A JEHO UPLATNĚNÍ V ETAPĚ PROVOZU A ÚDRŽBY Ing. Pavel Fuchs, CSc.	3
ZKUŠENOSTI S UPLATŇOVÁNÍM PROGRAMU SPOLEHLIVOSTI PŘEDVÝROBNÍCH ETAPÁCH Prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc.,Vojenská akademie v Brně	9
VYUŽITÍ SPOLEHLIVOSTI PŘI HODNOCENÍ SYSTÉMŮ KONTROLY A ŘÍZENÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY Ing. Josef Krpálek, SÚJB - OKJZ	17



PROGRAM SPOLEHLIVOSTI A JEHO UPLATNĚNÍ V ETAPĚ PROVOZU A ÚDRŽBY

*Ing. Pavel Fuchs, CSc.
Technická univerzita v Liberci*

1 ÚVOD

Šedá je všechna teorie, věčně zelený je strom života. Parafrázi známého výroku bychom mohli použít i na skutečnost, že teprve etapa provozu a údržby vydá rozhodnutí o spolehlivosti a tedy potažmo i o jakosti produktu (výrobku či služby). Bylo by však chybou domnívat se, že etapa provozu a údržby je jen jakýmsi neustranným rozhodčím, který sčítá plusové a minusové body za předvedenou volnou jízdu. Již ze samé podstaty provozu a údržby plyne její aktivní vliv (pozitivní i negativní) na spolehlivost produktu a tedy potřeba uplatňování programu spolehlivosti v této etapě.

2 PŘEHLED PROGRAMU SPOLEHLIVOSTI

Program spolehlivosti je jedním ze základních způsobů realizace managementu spolehlivosti. Program spolehlivosti specifikuje organizační strukturu, odpovědnosti, postupy, procesy a zdroje používané pro řízení spolehlivosti.

Program spolehlivosti je tvořen prvky programu spolehlivosti. Prvky programu spolehlivosti se člení na prvky nezávislé na produktu a na prvky specifické pro produkt.

- Prvky nezávislé na produktu
 - zavádění programu spolehlivosti
 - metody
 - soubory informací
 - záznamy o spolehlivosti
- Prvky specifické pro produkt
 - plánování a management
 - přezkoumání smlouvy a služební styk
 - požadavky na spolehlivost
 - inženýrství
 - externě dodávané výrobky
 - analýza, předpověď a přezkoumání návrhu
 - ověřování, validace a zkoušky
 - program nákladů životního cyklu
 - plánování provozu a zajištění údržby
 - zlepšování a modifikace
 - zpětná vazba zkušeností

Prvky programu spolehlivosti pokrývají specifické tematické oblasti a každý prvek programu spolehlivosti obsahuje řadu úkolů programu spolehlivosti. Úkol programu spolehlivosti pak představuje soubor činností zaměřených na hlediska spolehlivosti produktu.

Program spolehlivosti v obecné rovině zahrnuje všechny fáze životního cyklu produktu od plánování po provoz a případnou likvidaci. Seznam prvků a úkolů programu

spolehlivosti řazených podle článků ČSN EN 60300-2 a jejich vztahu k etapám životního cyklu produktu je uveden v tab. 1.

Tab. 1: Prvky a úkoly programu spolehlivosti specifické pro produkt

Článek	Prvek/úkol programu spolehlivosti	Etapa životního cyklu					
		Koncepce a stanovení požadavků	Návrh a vývoj	Výroba	Instalace	Provoz a údržba	Vypořádání
6.1	PLÁNOVÁNÍ A MANAGEMENT						
6.1.1	Plány spolehlivosti	x					
6.1.2	Management rozhodování o projektu	x	x	x	x	x	
6.1.3	Management sledovatelnosti	x	x	x	x	x	
6.1.4	Management konfigurace		x	x	x	x	x
6.2	PŘEZKOUMÁNÍ SMLOUVY A SLUŽEBNÍ STYK						
6.2.1	Přezkoumání smlouvy	x					
6.2.2	Představitelé managementu	x	x	x	x	x	
6.3	POŽADAVKY NA SPOLEHLIVOST						
6.3.1	Specifikace požadavků na spolehlivost	x					
6.3.2	Interpretace požadavků	x	x				
6.3.3	Rozdělení požadavků	x	x				
6.4	INŽENÝRSTVÍ						
6.4.1	Inženýrství bezporuchovosti	x	x				
6.4.2	Inženýrství udržovatelnosti		x				
6.4.3	Inženýrství zajištěnosti údržby		x	x	x	x	
6.4.4	Inženýrství testovatelnosti		x				
6.4.5	Inženýrství lidských faktorů	x	x	x			
6.5	EXTERNĚ DODÁVANÉ VÝROBKY						
6.5.1	Výrobky ze smluvních subdodávek	x	x	x			
6.5.2	Výrobky dodané zákazníkem		x	x	x		
6.6	ANALÝZA, PŘEDPOVĚĎ A PŘEZKOUMÁNÍ NÁVRHU						
6.6.1	Analýza způsobů a důsledků poruch		x				
6.6.2	Analýza stromu poruchových stavů		x				
6.6.3	Analýza namáhání a zatížení		x	x			
6.6.4	Analýza lidských faktorů		x	x			
6.6.5	Předpovědi	x	x	x	x		
6.6.6	Analýza optimalizace nákladů a přínosů		x	x			
6.6.7	Analýza rizik	x	x	x			
6.6.8	Oficiální přezkoumání návrhu		x	x	x		
6.7	OVĚŘOVÁNÍ, VALIDACE A ZKOUŠKY						
6.7.1	Plánování ověřování, validace a zkoušek	x	x				
6.7.2	Zkoušení životnosti		x	x			
6.7.3	Zkoušení spolehlivosti		x	x	x	x	
6.7.4	Zkoušení růstu bezporuchovosti			x	x	x	
6.7.5	Výrobní zkoušky			x			
6.7.6	Přejímací zkoušky			x	x		
6.7.7	Třídění namáháním pro zlepšení bezporuchovosti			x			

Tab. 1: Prvky a úkoly programu spolehlivosti - pokračování

Článek	Prvek/úkol programu spolehlivosti	Etapa životního cyklu					
		Koncepce a stanovení požadavků	Návrh a vývoj	Výroba	Instalace	Provoz a údržba	Vypořádání
6.8	PROGRAM NÁKLADŮ ŽIVOTNÍHO CYKLU	x	x	x	x	x	x
6.9	PLÁNOVÁNÍ PROVOZU A ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY						
6.9.1	Plánování zajištění údržby	x	x	x			
6.9.2	Instalace				x		
6.9.3	Zajištění servisu					x	
6.9.4	Inženýrství zajištění údržby			x	x		
6.9.5	Zásobování náhradními díly		x	x			
6.10	ZLEPŠOVÁNÍ A MODIFIKACE						
6.10.1	Programy zlepšování		x	x	x	x	
6.10.2	Řízení modifikací		x	x	x	x	
6.11	ZPĚTNÁ VAZBA ZKUŠENOSTÍ						
6.11.1	Získávání dat		x	x	x	x	x
6.11.2	Analýza dat		x	x	x	x	x

Rozsah a obsah konkrétního programu spolehlivosti má odpovídat potřebám a případným specifickým omezením a okolnostem projektu, pro který je zpracován. Efektivní program spolehlivosti lze pro produkt sestavit výběrem vhodných prvků a úkolů specifických pro produkt (informativně uvedených v tab. 1) a jejich vhodným přizpůsobením.

3 PROGRAM SPOLEHLIVOSTI - PŘÁNÍ A REALITA

Cílem managementu by mělo být ideální naplnění programu spolehlivosti, jež by zákazníka učinilo plně spokojeným (po stránce spolehlivosti) a omezilo jeho roli na spolupráci při vyhodnocování zkušeností z provozu zařízení a poskytování příslušných dat. Úmyslně zde pomímám úlohu zákazníka při formulování požadavků na spolehlivost produktu. Skutečnost je zpravidla zcela odlišná. Ve své dosavadní praxi jsem se dosud nesetkal s organizací, která by v oblasti energetiky byla schopna jakost dodávaného produktu ošetřovat pomocí programu spolehlivosti v rozsahu procesů uváděných v tab. 1. A byla mezi nimi řada renomovaných zahraničních firem. Otázka, zda je to podcenění technické úrovně ČR, nebo skutečná slabina těchto organizací, vybočuje z rozsahu příspěvku. Omluvou však pro ně však nemůže být ani často vágní způsob zadání požadavků na spolehlivost zařízení ze strany zákazníka.

Důsledkem této skutečnosti je, že zákazník musí sám zabezpečovat celou řadu činností, které by jinak byly ošetřeny programem spolehlivosti v etapě provozu a údržby. K tomu se řadí i fakt, že v odvětví energetiky je obnova zařízení dlouhodobý proces a jsou zde provozována zařízení, na které nebyl aplikován management spolehlivosti v dnešním pojetí. Na provozovatele zařízení jsou pak kladeny dnešní ekonomické či legislativní (po stránce bezpečnosti) požadavky na spolehlivý a bezpečný provoz. Jemu pak chybí příslušné informace či znalosti, které měl získat od dodavatele odpovědně realizujícího program spolehlivosti.

Konkrétně si můžeme tuto situaci přiblížit na tak důležitém článku programu spolehlivosti jakým je čl. 6.4 „Inženýrství“. Do etapy životního cyklu „Provoz a údržba“ z něho sice zasahuje pouze prvek „Inženýrství zajištění údržby“ (viz čl. 6.4.3), takže se může jevit jeho snadná náhrada vlastní činností zákazníka. Zdání však klame, což se zjistí až při pokusu o realizaci tohoto prvku.

Proces, který je skryt pod prvkem „Inženýrství zajištění údržby“ obsahuje (chceme li jej realizovat) se neobejde bez informací, které poskytují ostatní prvky uvedené v čl. 6.4 „Inženýrství“. Tyto informace pak nelze získat bez aplikace vhodných metod uvedených v čl. 6.6 „Analýza, předpověď a přezkoumání návrhu“, bez dat získávaných podle čl. 6.11 „Zpětná vazba zkušeností“. Rovněž je nutná vazba na čl. 6.7 „Ověřování, validace a zkoušky“, kde údaje ze zkoušení životnosti, spolehlivosti a dalších procesů vstupují do „Inženýrství zajištění údržby“. Pochopitelně se rovněž nelze se obejít bez postupů užívaných v čl. 6.9 „Plánování provozu a zajištění údržby“. Tento výčet zdaleka není úplný a pro čtenáře článku, který není blíže seznámen s praktickými důsledky procesu „Inženýrství zajištění údržby“, nemusí být uvedené vazby zřejmé. Lepší představu lze získat na příkladu toho, co vyžaduje zajištění údržby pro zařízení jehož poruchy mají za následek bezpečnostní a ekonomické důsledky a zadané požadavky na spolehlivost vyžadují i provedení údržby ve stanoveném časovém limitu.

4 POŽADAVKY PLYNOUCÍ Z INŽENÝRSTVÍ ZAJIŠTĚNOSTI ÚDRŽBY

V definici 191-02-08 uvedené v ČSN IEC 50(191) se zajištěností údržby rozumí „*schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu podle stanovené koncepce údržby*“. Obecně lze pod pojmem „organizace poskytující údržbářské služby“ uvažovat jak vlastní útvar údržby zákazníka tak cizí organizaci. Rovněž existují způsoby zajištění údržby, kde se prolínají činnosti zabezpečované vlastními pracovníky zákazníka a externí organizací. Vždy jsou však klíčovým pojmem pro zajištění údržby „prostředky“ a „koncepce údržby“.

Základním cílem údržby je, aby dodané zařízení bylo udržováno ve stavu bezpečného, spolehlivého a hospodárného provozu po celou dobu jeho uvažované životnosti při vynaložení minimálně nutných nákladů. Proto je třeba vycházet z pravděpodobnostního pojetí procesů údržby zaměřených na dosažení bezpečnostních a ekonomických cílů.

V oblasti bezpečnosti je způsob údržby založen na hodnocení důsledků poruch komponent na hodnotu pravděpodobnosti vzniku nebezpečné události. V oblasti provozní spolehlivosti je způsob údržby založen na hodnocení důsledků poruch komponent na výrobu (ekonomické ztráty spojené s přerušением výroby). V obou případech je návrh způsobu údržby založen na ekonomické optimalizaci prostředků vynakládaných na údržbu a je také v souladu s postupy údržby zaměřené na bezporuchovost - RCM.

Vzhledem k tomu, že údržba a udržovatelnost jsou nedílným aspektem spolehlivosti a výrazně ovlivňují ukazatele spolehlivosti zařízení je nutné při inženýrství zajištění údržby vzít v úvahu tyto skutečnosti:

- číselné požadavky na spolehlivost zařízení,
- charakteristiky prostředí,
- rozsah preventivní údržby (je-li uvažována),
- požadovaná životnost zařízení,
- požadavky na provozní bezpečnost.

Rovněž musí být analyzována udržitelnost a podmínky údržby zařízení. K tomuto je třeba znát údaje, které charakterizují:

- kvalifikaci údržbářů,
- navržená místa údržby,
- typ a rozsah údržby prováděné na každém navrženém místě údržby,
- přístupnost zařízení,
- modularita zařízení,
- funkční zaměnitelnost komponent zařízení,
- navržená či požadovaná střední doba do obnovy (MTTR),
- náklady na údržbu.

Důležitým faktorem zajištění údržby je, zda jsou při údržbě využity ověřené postupy udržování zařízení vycházející:

- ze zkušeností s obdobným zařízením,
- z analýzy či expertního posouzení snadnosti údržby, diagnostikovatelosti poruch, logistiky apod.

Vzhledem k tomu, že náklady na údržbu a provoz jsou důležitým prvkem pro plánování a rozhodování zákazníka, musí v sobě inženýrství zajištění údržby zahrnout i procesy, které poskytují zákazníkovi dostatečné podklady pro stanovení nákladů na údržbu a provoz za celý plánovaný život zařízení s použitím hodnot nákladů existujících v období návrhu, vývoje, výroby a dodávky zařízení.

Inženýrství zajištění údržby musí umožnit vypracování počátečního plánu údržby na základě:

- počtu potřebných pracovníků údržby, jejich výcviku a kvalifikaci,
- technické dokumentace, příruček a softwaru určeném pro údržbu,
- vybavení pro údržbu a zajištění údržby,
- údajů o testovacím a podpůrném zařízení,
- údajů o zásobování náhradními díly.

Protože zajištění údržby nemůže pracovat bez zpětné vazby, kterou poskytuje jediné provoz a údržba zařízení, je její součástí sběr a analýza dat o udržitelnosti. Zásahy údržby musí být monitorovány a hodnoceny během života zařízení tak, aby byla zavedena účinná zpětná vazba pro optimalizaci nákladů a případné zlepšování a modifikace zařízení a postupů údržby.

Inženýrství zajištění údržby složitých systémů se neobejde bez výsledků hodnocení vlivu údržby komponent na opravitelnost systému s ohledem na tyto složky doby obnovy:

- logistické zpoždění,
- technické zpoždění,
- doba preventivní údržby,
- doba lokalizace porouchané části,
- doba aktivní opravy (po poruše),
- doba kontroly.

Pro inženýrství zajištění údržby je podstatným údajem přiměřenost údržby vzhledem k bezpečnostní a ekonomické důležitosti zařízení. Přiměřenost údržby je třeba

zvažovat již od úrovně komponent, kdy limitní doba opravy komponenty je dána vlivem poruchy komponenty na spolehlivost zařízení jako celku.

Údajů, které jsou podstatné pro kvalifikované inženýrství zajištění údržby je značné množství. Pro uváděný příklad jako velmi podstatné se jeví:

- identifikace komponenty,
- kategorie důležitosti komponenty,
- intenzita poruch □, resp. střední doba provozu mezi poruchami (MTBF),
- limitní doba do obnovy (MTTR),
- počet a kvalifikace pracovníků pro údržbu po poruše,
- doba aktivní údržby po poruše,
- pracnost údržby po poruše,
- interval plánované údržby,
- počet a kvalifikace pracovníků pro plánovanou údržbu,
- doba (trvání) plánované údržby,
- pracnost plánované údržby,
- životnost,
- omezení vyvolané údržbou komponenty vzhledem k funkci zařízení,
- přístupnost,
- možnost údržby za provozu,
- opravitelnost,
- místo údržby,
- poskytovatel údržby,
- dostupnost náhradního dílu,
- objednáací číslo náhradního dílu,
- cena náhradního dílu,
- dodací lhůta náhradního dílu,
- dodavatel náhradního dílu,
- doba administrativního zpoždění.

Z uvedeného vyplývá značné množství parametrů, které se berou v úvahu při inženýrství zajištění údržby a to není jejich vyčerpávající výčet. Umožňují si však učinit představu o souvislostech zajištění údržby s dalšími prvky a úkoly programu spolehlivosti.

5 ZÁVĚR

Program spolehlivosti v etapě „Provoz a údržba“ se zdánlivě může jevit jako okrajová záležitost. Zkušenosti s jeho podceněním jsou však varovné. Zákazník, který si mnohdy nedokáže představit procesy, které v této etapě probíhají a zpětně ovlivňují jeho ekonomiku, pak při pokusu o nápravu musí vynaložit enormní úsilí.

Na druhou stranu je vhodné upozornit, že takto široce pojaté aplikace programu spolehlivosti mají oprávnění v náročných technických a průmyslových odvětvích. Pro běžné podmínky vystačí v etapě „Provoz a údržba“ požadovat po dodavateli zařízení jen přiměřené zabezpečení postupů a procesů programu spolehlivosti.

ZKUŠENOSTI S UPLATŇOVÁNÍM PROGRAMU SPOLEHLIVOSTI V PŘEDVÝROBNÍCH ETAPÁCH

Prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc.

Vojenská akademie v Brně

1. Úvod

Účastníkům setkání Odborné skupiny pro spolehlivost působící při České společnosti pro jakost patrně není nutné obšírně vysvětlovat proč program spolehlivosti musí být nedílnou součástí každého programu jakosti výrobku. Jednoduše to vyplývá z faktu, že bezporuchovost, udržitelnost, pohotovost a zajištěnost údržby, které termín spolehlivost v sobě zahrnuje, představují sami o sobě základní vlastnosti výrobku a velmi často bývají specifikovány jako klíčové znaky jakosti. Z toho logicky vyplývá, že bez systematické péče o spolehlivost výrobku nelze zajistit vysokou úroveň jeho jakosti. Přesto se v praxi až příliš často můžeme setkat s výrobními podniky, které se honosí nejrůznějšími certifikáty z oblasti managementu jakosti a přitom žádný program spolehlivosti buď nemají, nebo mají, ale pouze jako formální dokument, jehož požadavky nejsou v činnosti podniku uplatňovány.

Takový přístup k problematice zabezpečování spolehlivosti výrobků potom nevyhnutně vede k celé řadě závažných důsledků, jako je například nižší konkurenceschopnost výrobků, vyšší náklady na pokrytí záruk za jakost či potíže s plněním požadavků odběratelů. Zejména při dodávkách výrobků pro zahraniční odběratele z vyspělých zemí, se mohou podniky, které otázkám zabezpečování spolehlivosti nevěnují dostatečnou pozornost, snadno dostat do vážných problémů ohrožujících i jejich ekonomickou stabilitu.

Zástupci zahraničních firem se zpravidla v problematice zabezpečování spolehlivosti velice dobře orientují a snadno dokáží, při obchodních a technických jednáních s „méně zkušeným“ partnery, prosadit do uzavíraných smluv zásadní požadavky týkající se spolehlivosti výrobků, jejichž skutečný význam si představitelé druhé smluvní strany v okamžiku podpisu smlouvy vůbec neuvědomují. Teprve v průběhu realizace takto uzavřených smluv dodavatel postupně zjišťuje k čemu se vlastně zavázal a často ani netuší co musí vykonat proto, aby dostal svým závazkům.

Autor článku měl příležitost prakticky se podílet na řešení takových situací u mnoha českých výrobců z různých průmyslových odvětví, kdy v roli odborného poradce a konzultanta napomáhal při tvorbě a zavádění programů spolehlivosti a při řešení konkrétních problémů spojených s plněním požadavků odběratelů v oblasti spolehlivosti. Předložený článek prezentuje zkušenosti a poznatky autora týkající se vybraných aspektů zabezpečování spolehlivosti výrobků zejména v předvýrobních etapách.

V první části článku je stručně pojednáno o typických úkolech programu spolehlivosti, které mají být realizovány v předvýrobních etapách a v druhé části jsou potom charakterizovány vybrané problémy, které se při realizaci těchto úkolů v praxi objevují a jsou zde také naznačeny možnosti jejich řešení.

2. Program spolehlivosti výrobku v předvýrobních etapách

Předvýrobními etapami životního cyklu výrobku obvykle rozumíme následující dvě etapy [1]:

a) Etapa koncepce a stanovení požadavků

V této etapě se formulují požadavky na výrobek. Činnosti týkající se spolehlivosti se mají v této etapě soustředit na stanovení racionálních požadavků na výrobek, na budoucí zajištění jeho údržby a na sestavení programu spolehlivosti jako základu pro řízení spolehlivosti v následujících etapách.

b) Etapa návrhu a vývoje

V této etapě se vytváří a dokumentuje hardware, případně software výrobku v podobě podrobné výrobní dokumentace a vytváří se také další dokumentace, jako jsou například instrukce pro údržbu.

Tyto etapy mají v životním cyklu každého výrobku z hlediska spolehlivosti mimořádný význam, protože rozhodnutí učiněná v této fázi životního cyklu předurčují výslednou úroveň spolehlivosti výrobku a tedy i výši budoucích nákladů životního cyklu výrobku. V průběhu těchto etap se mají jasně zformulovat cíle, kterých by mělo být v oblasti spolehlivosti výrobku dosaženo a také se má jasně stanovit jakým způsobem budou tyto cíle dosaženy. V následujících etapách životního cyklu tj. během výroby, instalace, provozu a údržby a případně při vypořádání výrobku se potom cíle a záměry specifikované v předvýrobních etapách realizují.

K tomu aby všechny činnosti směřující k zajištění spolehlivosti výrobku byly během celého životního cyklu přiměřeně organizované je vhodné je uspořádat do programu spolehlivosti. Obecné návody k sestavení efektivního programu spolehlivosti lze nalézt v řadě odborných publikací a norem [1], [2],[3], [4], [5], [6]. V každém jednotlivém případě je však třeba rozsah a obsah programu spolehlivosti přizpůsobit zvláštním potřebám každého konkrétního projektu či výrobků. Pro dosažení efektivních výsledků je také třeba celý program spolehlivosti vhodně integrovat do programu jakosti výrobku, aby činnosti týkající se spolehlivosti byly úzce koordinovány s ostatními činnostmi.

Z hlediska charakteru výrobku se při formulování programu spolehlivosti se můžeme v zásadě setkat se dvěma typickými situacemi:

- a) Program spolehlivosti je připravován pro výrobek, který je určen pro předem známého odběratele, či přímo na zakázku konkrétního odběratele. V takovém případě je v nejvlastnějším zájmu odběratele, aby jasně specifikoval svoje požadavky na spolehlivost výrobku i na rozsah a obsah programu spolehlivosti, který má zajistit splnění těchto požadavků. V takovém případě se všechny požadavky týkající se spolehlivosti výrobku mají stát nedílnou součástí uzavřených obchodních smluv. Tento přístup je obvyklý u velkých technologických celků, při dodávkách komponent finálnímu výrobcí nebo u dodávek většího počtu stejných finálních výrobků jednomu odběrateli (např. obranné akvizice).
- b) Program spolehlivosti je připravován pro výrobek, který není předem určen pro žádného konkrétního zákazníka (např. výrobky spotřebního charakteru). V takovém případě výrobce nemá žádného partnera, se kterým by při přípravě programu spolehlivosti spolupracoval, nebo který by sám požadavky na spolehlivost výrobku či program spolehlivosti specifikoval. Jeho „partnerem“ zde je trh a situace na něm. I v takové situaci

však existuje řada způsobu jak alespoň zprostředkovaný názor zákazníka získat. Může to být například marketingový průzkum mezi potenciálními zákazníky či průzkum spokojenosti zákazníků s obdobným, již používaným výrobkem. Tímto způsobem, samozřejmě nemůžeme získat precizně vymezené požadavky na spolehlivost, ale jen základní rámcovou informaci, která však v procesu formulování programu spolehlivosti může sehrát významnou roli.

Rozsahu programu spolehlivosti a výběr jeho jednotlivých prvků (úkolů) je třeba přizpůsobit specifickým podmínkám těchto dvou potenciálně možných situací a vzít do úvahy i další okolnosti, jako jsou například technický charakter výrobku, použité technologie výroby, podmínky trhu, požadavky a očekávání uživatelů, smluvní situace atd. S ohledem na konkrétní situaci mohou být do části programu věnované předvýrobním etapám zahrnuty prvky a úkoly, jejichž realizace představuje poměrně rozsáhlou škálu činnosti. Například ČSN EN 60300-2 [2] uvádí výčet celkem 46 činností, jejichž realizace v předvýrobních etapách přichází do úvahy. Samozřejmě do konkrétního programu spolehlivosti se vždy vybírají jen ty prvky a úkoly, jejichž aplikace je v daném případě efektivní a žádoucí.

Vzhledem k omezenému rozsahu článku se dále zaměříme jen na dva prvky programu spolehlivosti a to na specifikaci požadavků na spolehlivost a analýzy a předpovědi spolehlivosti, protože právě při realizaci těchto prvků programu se v praxi můžeme setkat s celou řadou závažných problémů. Popisovány budou zejména situace, se kterými se typicky můžeme setkat v průběhu realizace předvýrobních etap u výrobků vyvíjených na základě zakázky konkrétního odběratele, který má problematiku zabezpečování spolehlivosti plně zvládnutu.

3. Specifikace požadavků na spolehlivost

Předpokládejme, že odběratel požaduje dodávku agregátu do vlastního finálního výrobku, který doposud není ve výrobním programu dodavatele a bude třeba zrealizovat jeho vývoj podle požadavků odběratele.

Požadavky na spolehlivost výrobku předložené odběratelem mají v takovém případě obvyklé velice propracovanou podobu. Zpravidla se jedná o samostatný dokument, který tvoří přílohu příslušných obchodních smluv. Tento dokument velice podrobně specifikuje jak kvalitativní tak i kvantitativní požadavky na jednotlivé subvlastnosti spolehlivosti, upřesňuje za jakých podmínek mají být požadavky splněny, určuje jakým způsobem musí dodavatel splnění požadavků prokázat a zpravidla také specifikuje vybrané prvky (úkoly), které musí dodavatel zahrnout do svého programu spolehlivosti. Běžně požadavky na spolehlivost představují dokument o rozsahu 50 až 80 stran.

Proto aby si čtenář mohl udělat detailnější představu o obvyklé komplexnosti dokumentu specifikujícího požadavky na spolehlivost je dále prezentován příklad obsahu takového dokumentu. Jedná se o překlad obsahu reálného dokumentu nazvaného „Požadavky na bezporuchovost a udržitelnost a LCC“ vypracovaného zahraničním výrobcem kolejových vozidel.

Obsah dokumentu:

1. Všeobecně
2. Použité dokumenty, odkazy a standardy
3. Provozní podmínky



4. Bezporuchovost

4.1 Definice bezporuchovosti

4.2 Kategorizace poruch

4.2.1 Kategorizace poruch vozidla

4.2.2 Kategorizace poruch subsystémů a komponent

4.2.3 Významné poruchy

4.3.4 Nevýznamné poruchy

4.3.5 Střední doba mezi poruchami (MTBF)

4.3.6 Střední vzdálenost (*ujetá*) mezi poruchami (MDTF)

4.3.7 Intenzita poruch

5. Pohotovost

5.1 Definice pohotovosti

5.1.1 Inherentní pohotovost

5.1.2 Technická pohotovost (*bere v úvahu i preventivní údržbu*)

5.1.3 Logistická pohotovost (*bere v úvahu i logistická zpoždění*)

5.2 Doba provádění údržby

6. Udržovatelnost

6.1 Definice udržovatelnosti

6.2 Všeobecné aspekty

6.3 Stupně údržby

7. Náklady na údržbu během životního cyklu

7.1 Definice nákladů životního cyklu

7.1 Náklady vyjmuté z LCC

7.2 Cenová základna

8. Analýzy spolehlivosti v etapě návrhu

8.1 Analýza preventivní údržby

8.2 Analýza nápravné údržby

8.3 Analýza bezporuchovosti

8.4 Analýza pohotovosti

8.5 Analýza druhů poruchových stavů a jejich důsledků (FMEA)

8.6 Stanovené hodnoty

9. Ověřování hodnot o bezporuchovosti, udržovatelnosti a LCC

9.1 Ověřování v provozu

9.1.1 Implementace

9.1.2 Období ověřování

9.1.3 Záznam údajů

9.1.4 Kontrolní skupina

9.2 Smluvní penalizace

10. Náhradní díly

10.1 Nabídka náhradních dílů

10.2 Seznam náhradních dílů

10.3 Dodací a skladovací podmínky

11. Nářadí a zařízení pro testování

12. Termíny realizace

13. Dodatek

Dokument je z pravidla pro všechny subdodavatele jednotný, pouze v dodatku se uvedou konkrétní číselné hodnoty požadovaných ukazatelů daného výrobku .

Taková forma zadání požadavků je pro dodavatele vcelku výhodná, protože jasně specifikuje co se od něj žádá a výrazně také omezuje možnost vzniku rozporů v obchodních vztazích s ohledem na spolehlivost výrobku. To však platí pouze v případě, kdy požadavky odběratele jsou vypracovány kvalifikovaně a bez postraních úmyslů.

Nejsou výjimkou případy, kdy odběratel využije nezkušenosti dodavatele a požadavky zadá takovým způsobem, že je nelze v plném rozsahu splnit. Tímto způsobem totiž může snadno dosáhnout finálního profitu cestou uplatnění smluvních sankcí. (viz bod 9.2 v prezentovaném obsahu programu spolehlivosti).

V praxi se lze setkat s celou řadou nenápadných „triků“ používaných při formulování požadavků na spolehlivost s cílem získat ekonomické výhody. Patří sem například:

- neúplné zadání požadavků na spolehlivost umožňující různou interpretaci;
- zadání vzájemně rozporných požadavků;
- zadání takových číselných hodnot ukazatelů, které jsou jen obtížně splnitelné;
- vyžadování průkazu splnění číselných hodnot ukazatelů s přehnaně vysokou konfidencí;
- nejasné zadání kritérií poruchových stavů;
- nejasné zadání podmínek pro provádění zkoušek spolehlivosti a následné zpochybňování jejich výsledků;
- požadavek na konečné ověření spolehlivosti v provozu bez možnosti kontroly ze strany dodavatele;
- stanovení takových způsobů hodnocení dosažené úrovně spolehlivosti, které jsou svojí podstatou neobjektivní (např. použití nestandardních ukazatelů);
- nejasné zadání podmínek provozu a údržby atd.

Pokud v zadání požadavků na spolehlivost na podobné problémy narazíme nemusí to vždy nevyhnutně naznačovat snahu obchodního partnera o podraz. I v renomovaných zahraničních firmách se můžete setkat s tím, že za řešení problematiky zabezpečování spolehlivosti jsou odpovědni ne příliš kompetentní „odborníci“.

Z těchto důvodů by každý program spolehlivosti měl standardně zahrnovat úkol „Přezkoumání smlouvy“, jehož hlavním cílem je ověření jednoznačnosti, úplnosti a splnitelnosti specifikovaných požadavků. Má-li být realizace tohoto úkolu efektivní, je třeba zajistit:

- aby přezkoumání provedli erudovaní odborníci z oblasti spolehlivosti s dostatečnými praktickými zkušenostmi;
- aby přezkoumání vždy proběhlo před uzavřením obchodních smluv;
- aby management podniku respektoval výsledky přezkoumání a bral je v úvahu při uzavírání obchodních smluv;
- aby požadavky, které se při přezkoumání ukáží jako těžko splnitelné, v žádném případě nebyly ve smlouvách akceptovány.

Manažeři mají obecnou tendenci realizaci úkolů souvisejících se zabezpečováním spolehlivosti podceňovat a často tak k posouzení požadavků na spolehlivost před uzavřením

obchodních smluv vůbec nedojde nebo výsledky přezkoumání, pokud proběhlo, nejsou ve smlouvách zohledněny. Takový postup však může mít (a často má) pro podnik velice negativní důsledky.

4. Analýzy a předpovědi spolehlivosti

Dalším důležitým úkolem programu spolehlivosti výrobku v předvýrobních etapách, je provedení analýz a předpovědi spolehlivosti. Tento úkol se provádí s cílem posoudit zda vyvíjený výrobek bude splňovat specifikované požadavky na spolehlivost. Úkol je vhodné v přiměřeném rozsahu opakovat ve všech význačných kontrolních bodech předvýrobních etap a po každé zásadní změně provedené v návrhu výrobku, ve specifikaci podmínek prostředí, provozu a údržby a pod.

Standardně se v rámci tohoto úkolu realizuje analýza FMEA/FMECA především s následujícími cíli:

- posoudit důsledky a posloupnosti jevů pro každý zjištěný druh poruchy na všech funkčních úrovních výrobku;
- určit významnost nebo kritičnost každého druhu poruchy vzhledem k požadované funkci nebo provozuschopnosti výrobku s uvážením důsledků na bezporuchovost nebo bezpečnost daného procesu;
- klasifikovat zjištěné druhy poruch podle toho, jak snadno je lze zjistit, diagnostikovat, testovat, nahradit danou součást nebo provádět kompenzační a provozní opatření (oprava, údržba, podpůrný systém atd.), i podle dalších účelově zvolených charakteristik.

Analýza je zde tedy využívána jako tzv. metoda předběžného varování, která má odhalit slabá místa v konstrukci výrobku a zabránit tak pozdějším problémům vyplývajícím z nespolehlivosti výrobku.

Ve specifikaci požadavků na spolehlivost se zpravidla vyžaduje, aby metoda byla realizována v závěrečné fázi návrhu výrobku a aby se s jejím využitím prokázalo splnění požadavků na bezporuchovost a bezpečnost výrobku.

Metoda FMEA/FMECA je patrně nejznámější i nejrozšířenější metodou analýzy spolehlivosti, která je rutinně využívána v mnoha českých firmách. Metoda však může být realizována podle celé řady standardizovaných postupů, které se navzájem od sebe více či méně liší [7], [8], [9], [10], [11]. Proto je vhodné, aby konkrétně použitý postup byl stanoven ve specifikaci požadavků na spolehlivost nebo odsouhlasen oběma smluvními stranami. Z praktických zkušeností však vyplývá, že prostý odkaz na normu, podle které má být metoda realizována, nepostačuje. V jednotlivých normách je totiž postup provádění metody popsán velice vágně a tím se vytváří prostor pro rozdílné chápání požadavků normy, které v konečném důsledku může vést až odmítání výsledků analýzy ze strany odběratele.

Z těchto důvodů je vhodné aby analýza byla prováděna podle oboustranně odsouhlasených zásad obsahujících zejména:

- cíle, termíny a požadovanou hloubku analýzy;
- normu, podle které má být analýza prováděna;
- požadavky na formální uspořádání a obsah formuláře pro záznam výsledků analýzy;
- požadavky na případné využití softwarové podpory při provádění analýzy;

- výčet akceptovatelných zdrojů informací a způsob jejich využití pro odhad ukazatelů bezporuchovosti jednotlivých prvků výrobku (v případě provádění FMECA);

U velkých projektů, kdy jsou předmětem dodávky složité technické systémy, nebo systémy, kde spolehlivost a bezpečnost mají vysokou prioritu, je účelné vypracovat a nechat schválit podrobnou metodiku provádění analýzy.

V každém případě může být prospěšné požádat odběratele o to, zda-li by nemohl poskytnout nějakou dříve vypracovanou analýzu jako vzor, který splňuje jeho požadavky. Ve většině případů „solidní“ obchodní partneři takové žádosti vyhoví a zpracování analýzy se potom zásadním způsobem zjednoduší. Obdobně je prospěšné s odběratelem průběžně konzultovat všechny potenciální sporné body, které se při realizaci analýzy objeví, stejně tak jako dílčí výsledky analýzy.

V návaznosti na analýzu FMEA/FMECA se dále provádí další analýzy s cílem předpovědět (odhadnout) hodnoty ukazatelů jednotlivých subvlastností a ověřit že vyhovují specifikovaným požadavkům. Zpravidla se využívají standardní metody jako jsou analýza stromu poruchových stavů, blokové diagramy bezporuchovosti, analýza udržovatelnosti a pohotovosti a další metody. I při realizaci těchto metod přiměřeně platí to, co už bylo uvedeno u metody FMEA/FMECA. Největší problémy zpravidla jsou s číselnými hodnotami ukazatelů bezporuchovosti jednotlivých prvků výrobku. Zde je opět vhodné předejít případnému zpochybňování výsledků analýzy jasným stanovením a schválením informačních zdrojů, které budou pro potřeby analýzy využity.

Často odběratelé také požadují provedení analýzy nákladů životního cyklu, do které vstupuje mnoho údajů, které bez úzké spolupráce s odběratelem mohou být jen těžko specifikovány. Standardně bývají tyto informace obsaženy již v zadání požadavků na spolehlivost (viz příklad požadavků uvedený ve 3. kapitole, bod 7). Pokud není datová základna pro kalkulaci LCC stanovena tímto způsobem, je nezbytné ve spolupráci s odběratelem specifikovat alespoň následující údaje:

- výčet nákladů, které mají být do analýzy zahrnuty (respektive z analýzy vyloučeny);
- cenovou základnu – měsíc a rok ke kterému budou všechny použité ceny fixovány;
- způsob diskontování cen; předpokládaný růst cen a vliv inflace;
- postupy výpočtu (nejlépe ve formě výpočtových vztahů);
- cenu práce při údržbě;
- intervaly preventivní údržby;
- pracnost preventivní údržby a počet osob potřebných k provedení;
- množství a cena náhradních dílů a spotřebního materiálu potřebného k provedení preventivní údržby;
- přehled nástrojů a zařízení k provádění údržby s jich cenami;
- náklady (ztráty) vyplývající z nepohotovosti výrobku;
- požadavky na rozsah záruk za jakost.

Rozsah těchto informací se přirozeně mění v závislosti na požadované komplexnosti modelu nákladů.

Uvedený výčet není zdaleka úplný a k provedení analýzy LCC je nutná znalost celé řady dalších údajů, které však již může dodavatel určit bez pomoci dodavatele. Především jsou to údaje o četnosti poruch jednotlivých prvků výrobku, cenách prvků (náhradních dílů) a o pracnosti oprav. K těmto údajům může odběratel dospět vlastními kalkulacemi, respektive je obdrží jako výsledky provedených analýz spolehlivosti. S těmito vstupy je třeba pracovat velice obezřetně, tak aby odhadnuté LCC pokud možno co nejvíce odpovídaly budoucí realitě. Poměrně často totiž odběratelé požadují ověření stanovených LCC v provozu a případné překročení odhadnutých hodnot je penalizováno.

V zásadě zde mohou nastat dvě pro odběratele nepříjemné situace:

- LCC jsou nadhodnoceny (vyšší četnost poruch, vyšší potřeba náhradních dílů, vyšší pracnost oprav atd.), aby při ověřování v provozu nebyly překročeny. Tato situace může vést odběratele k rozhodnutí o změně dodavatele, protože vysoké LCC obecně charakterizují výrobky s nízkou úrovní spolehlivosti a zcela přirozeně více zatěžují hospodaření uživatele.
- LCC jsou podhodnoceny (nerealistický odhad bezporuchovosti, podcenění pracnosti oprav, podcenění důsledků poruch na provozuschopnost celého výrobku atd.), aby se výrobek jevil v lepším světle. Pokud se v provozu ukáže významné překročení odhadnutých hodnot je dodavatel zpravidla penalizován.

5. Závěr

Sestavení kvalitního plánu spolehlivosti a jeho důsledná realizace v předvýrobních etapách zásadním způsobem ovlivňuje budoucí spolehlivost výrobku. Proto by podniky měly ve vlastním zájmu tuto problematiku řešit systematicky a ne jen pod tlakem požadavků odběratelů. Ze zkušeností vyplývá, že tam kde není zabezpečování spolehlivosti chápáno jako nedílná součást zabezpečování jakosti výroby a kde nejsou standardně programy spolehlivosti uplatňovány, nelze vyvinout a navrhnout výrobek, který má šanci uspět na vyspělých trzích.

Použitá literatura

- [1] ČSN ISO 9000-4/IEC 300-1 Normy pro řízení a zabezpečování jakosti. Část 4: Pokyny pro řízení spolehlivosti / Řízení spolehlivosti. Část 1: Řízení programu spolehlivosti.
- [2] ČSN EN 60300-2 Management spolehlivosti. Část 2: Prvky a úkoly programu spolehlivosti.
- [3] MIL-STD-785B Reliability Program for Systems and Equipment, Development and Production.
- [4] SAE JA 1000 Reliability Program.
- [5] SAE JA 1000-1 Reliability Program – Guide.
- [6] SAE JA 1010 Maintainability Program.
- [7] ČSN IEC 812 Metody analýzy spolehlivosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).
- [8] MIL-STD-1629A Procedures for Performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis.
- [9] SAE AIR 4845 The FMECA Process in the Concurrent Engineering (Ce) Environment.
- [10] SAE ARP 5580 Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications.
- [11] SAE J 1739 Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA, in Manufacturing and Assembly Process (Process FMEA) and for Machinery (Machinery FMEA).



VYUŽITÍ SPOLEHLIVOSTI PŘI HODNOCENÍ SYSTÉMŮ KONTROLY A ŘÍZENÍ JADERNÉ ELEKTRÁRNY

Ing. Josef Krpálek, SÚJB - OKJZ

VYTÝČENÍ CÍLŮ

- Posoudit technický stav jednotlivých systémů kontroly a řízení (SKŘ) Jaderné elektrárny Dukovany (EDU) prostřednictvím objektivních informací získaných ze zkušeností s jejich provozem.
- Stanovit referenční úroveň spolehlivosti SKŘ pro posuzování vlivu úprav stávajícího SKŘ na úroveň bezpečnosti provozu EDU a pro schvalování provozu inovovaných subsystémů SKŘ EDU.

STANOVENÍ METODIKY

Hodnocení spolehlivosti systému kontroly a řízení na základě hodnocení funkčně ucelených částí SKŘ a jejich typických funkcí.

NÁSTROJ

Analýza údajů evidovaných v provozních záznamech o poruchovosti funkčně ucelených částí a komponent SKŘ EDU a jejich vyhodnocení metodami a postupy používanými v oboru spolehlivosti. Kvantitativní hodnocení spolehlivosti funkcí subsystémů SKŘ pomocí strukturní analýzy spolehlivosti na základě dat o spolehlivosti komponent.

POSUZOVANÉ OBLASTI

- Poruchovost jednotlivých subsystémů SKŘ a jejich komponent
- Způsob údržby subsystémů SKŘ včetně zjištění náhradními díly
- Hodnoty ukazatelů spolehlivosti komponent SKŘ
- Hodnoty ukazatelů spolehlivosti základních funkcí subsystémů SKŘ

POSUZOVANÉ SUBSYSTÉMY SKŘ

- Systém havarijních ochran reaktoru (HO)
- Systém ochrany bloku (SOB)
- Systém kontroly neutronového toku (AKNT)
- Systém ochrany a řízení reaktoru (SORR)
- Systém automatické regulace výkonu reaktoru (ARM)
- Systém regulace omezení výkonu reaktoru (ROM)



- Systém technologických ochran parogenerátoru (TOPG)
- Systém lokálních ochran parogenerátoru (LOPG)
- Systém vnitroreaktorové kontroly (SVRK)
- Systém postupného spouštění (APS)

UKÁZKA HODNOCENÍ SYSTÉMU HAVARIJNÍCH OCHRAN

Stručný popis systému

Systém havarijní ochrany reaktoru (HO) patří mezi nejdůležitější ochranné systémy jaderné elektrárny. Systém havarijní ochrany působí, jestliže technologický proces překročí předem určené technologické a jaderně fyzikální meze. V tomto případě vytváří signály, které působí na orgány regulace reaktoru což má za následek automatické zpomalení nebo přímé zastavení řetězové reakce v reaktoru zasouváním havarijních regulačních kazet (HRK) do aktivní zóny. Havarijní signály jsou rozděleny do 4 kategorií podle stupně nebezpečnosti překročené meze sledovaného parametru. Poruchy zařízení HO lze z hlediska dopadů do jaderné bezpečnosti rozdělit do dvou skupin:

- bezpečné poruchy - poruchy, které vyvolají působení havarijní ochrany, aniž došlo k překročení mezních hodnot sledovaných parametrů (falešný signál)
- nebezpečné poruchy - poruchy, které způsobí nečinnost havarijní ochrany při skutečném překročení mezních hodnot sledovaných parametrů

Systém havarijních ochran reaktoru je řešen tak, aby byla minimalizována možnost vzniku nebezpečné poruchy, která by ohrozila činnost ochran. Pro minimalizaci možnosti nebezpečné poruchy jsou použity tyto způsoby zajištění spolehlivosti působení ochran:

- Havarijní signály HO-1 až HO-4 se formují nezávisle ve dvou samostatných kompletech havarijních ochran. Do obou kompletů vstupují kvalitativně stejné signály, ale od různých, vzájemně nezávislých měřicích obvodů (snímač + měřicí/vyhodnocovací přístroj). Výstupní signály z obou kompletů jsou samostatné signály HO-1 až HO-4. K aktivaci určité havarijní ochrany stačí, aby havarijní signál vydal alespoň jeden ze dvou kompletů.
- Všechny prvopříčiny havarijních signálů se měří několika samostatnými a vzájemně nezávislými měřicími obvody (třemi nebo šesti). Logický signál o překročení nastavené hodnoty parametrů se zpracovává ve výběrovém členu 2 ze 3, případně 2 ze 6 a 4 ze 6. U takto vytvořeného výstupního signálu je malá pravděpodobnost, že v důsledku poruchy jednoho měřicího obvodu bude vydán falešný signál nebo nebude signál vydán vůbec.
- Pro zvýšení spolehlivosti výběru je zavedena signalizace nesouladu údajů snímačů měřicích obvodů, vstupujících do výběrového členu. Jakmile se údaje dvou snímačů (měřicích identický parametr) liší o určitou předem nastavenou hodnotu, jednotka L02 vyše signál o nesouladu údajů na blokovou dozornu, což umožní provést okamžitě příslušnou opravu.
- Důsledný systém napájení sekundárních přístrojů a zálohování napájení releových řetězců (logik HO). Napájení logiky HO je provedeno třemi nezávislými zdroji 220 Vss, připojenými přes oddělovací diody na zajištěné napájení 1. kategorie. Napájení měřicích kanálů včetně rozmnožovacích relé (KL) je provedeno ze tří samostatných zdrojů 220 Vstř tak, že ve výběru dva ze tří je každý měřicí kanál napájen jiným zdrojem napětí. Výpadek jednoho zdroje tak nevyvolá zapůsobení ochrany. Zdroje jsou připojeny na zajištěné napájení 1. kategorie se záskokem na zajištěné napájení 2. kategorie.

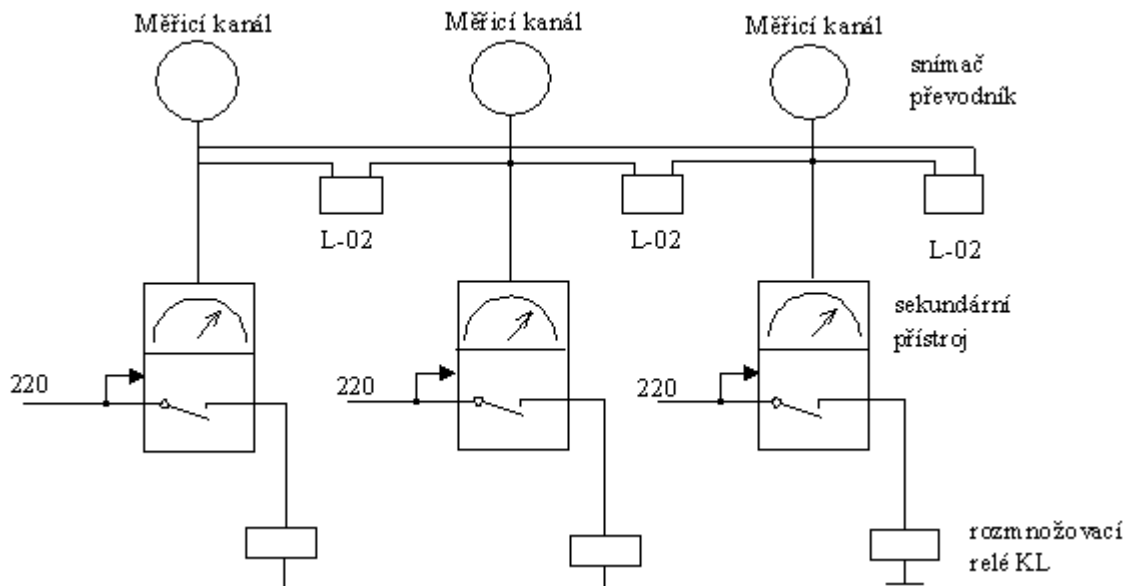
Systém havarijních ochran je založen na reléové logice, která výběrovým uspořádáním založeným na majoritním rozhodování generuje ochranné signály.

Zařízení systému havarijních ochran je možné z pohledu tvorby a zpracování ochranného signálu rozdělit na tři funkční celky:

- měřicí kanály s diskretním výstupem
- soubor logických prvků (reléová logika), který tyto diskretní signály zpracovává
- výstupní obvody - působí do obvodů pohonů kazet HRK, do příslušných automatik pohonů primárního a sekundárního okruhu, do signalizací a do IVS

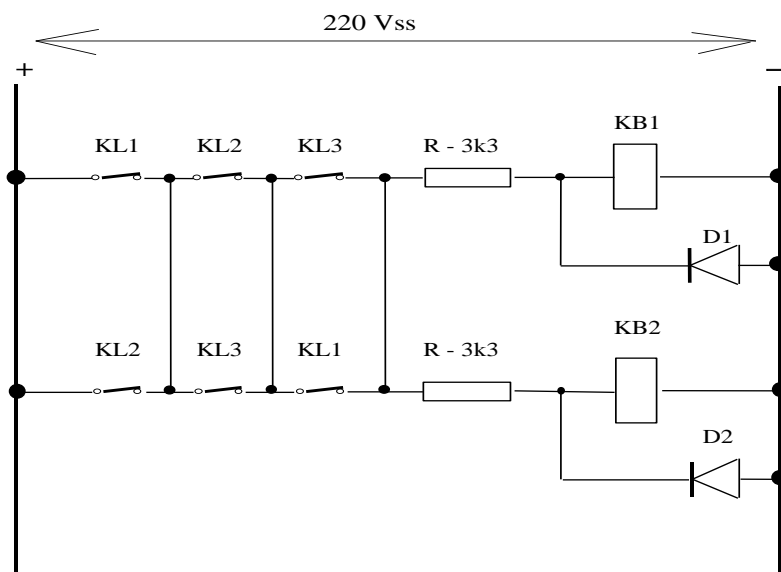
Zařízení HO obsahuje rovněž obvody, které zajišťují napájení HO, dávají informace obsluze o stavu systému a obvody pro zkoušení správné funkce HO.

Měřicí kanál obecně tvoří snímač měřeného parametru, převodník a analogový sekundární přístroj (s možností registrace), který rozpínacím kontaktem vydává signál při překročení meze měřeného parametru. Diskretní signál je rozmnožen pomocí rozmnožovacích relé KL. Analogová hodnota od dvojice čidel je dále vždy porovnávána ve speciálním obvodu L-02 za účelem vyhodnocení nesouladu údajů, viz obr. 1.

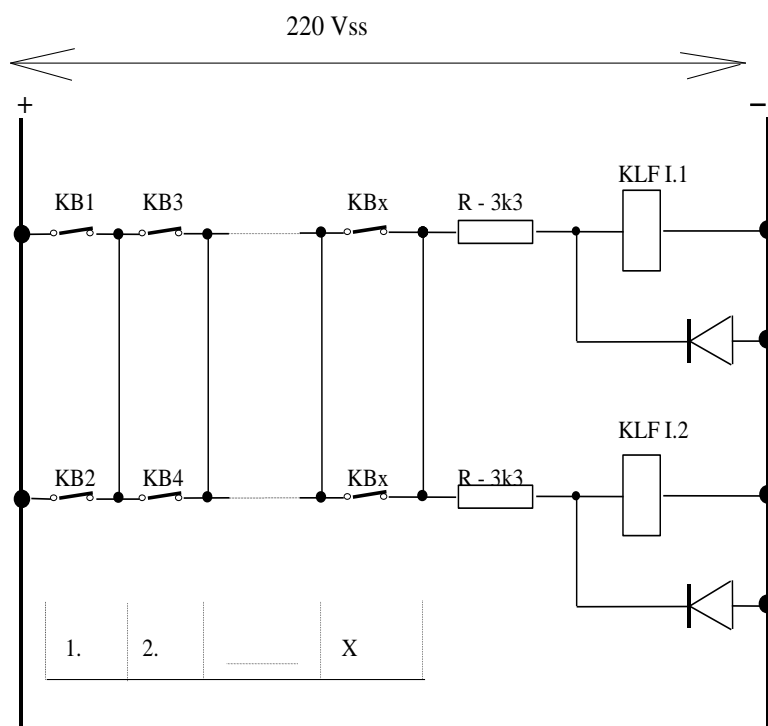


Obr. 1: Blokové schéma měřicích kanálů kompletu havarijní ochrany

Prostřednictvím reléové logiky je výběrovými členy 2 ze 3 prováděn výběr platného signálu od jednotlivých technologických příčin je znázorněno na obr. 2. Ochranné signály od technologických příčin příslušných úrovní (HO-1 až HO-4) se formují v tzv. havarijních řetězcích, jejichž uspořádání je patrné z obr. 3. Filozofie uspořádání je obdobná jako u výběrového členu. Jedná se o sériové zapojení kontaktů relé jednotlivých příčin. Rozpojení kontaktů dvojic relé KB od kterékoliv technologické příčiny způsobí odpadnutí výstupních relé (KLF).

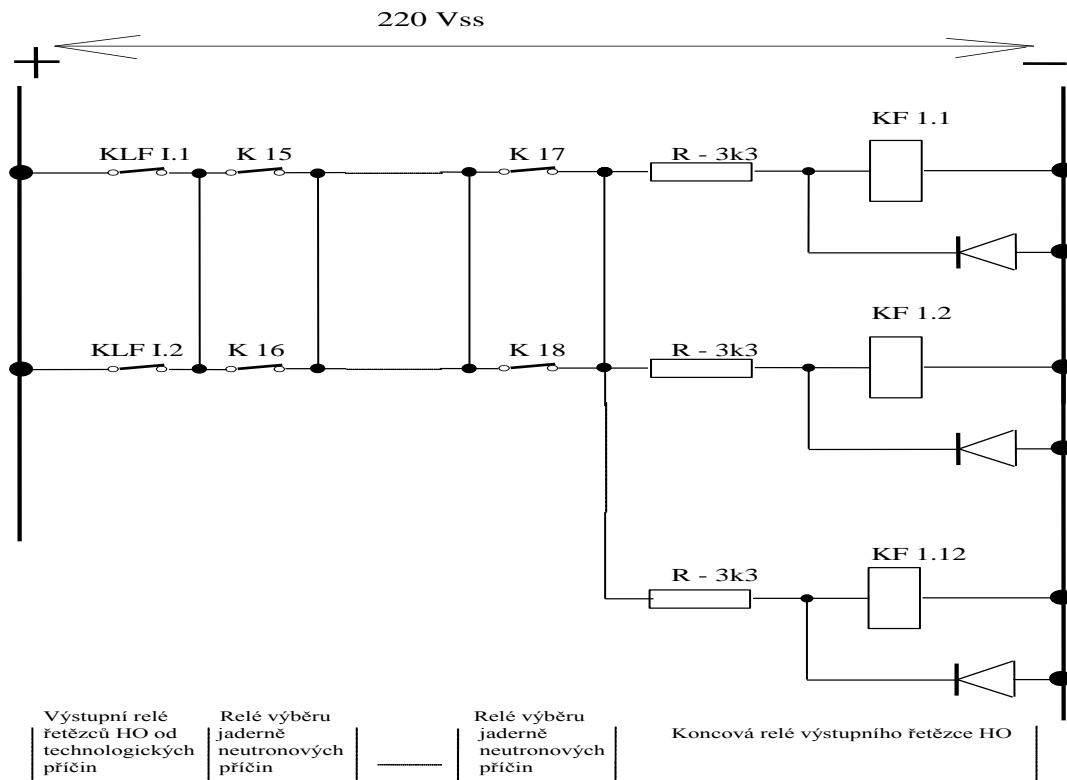


Obr. 2: Zapojení výběrového členu



Obr. 3: Řetězec havarijní ochrany od technologických příčin

Ve výstupních havarijních řetězcích, jejichž uspořádání je patrné z obr. 4, se formují havarijní signály příslušných úrovní (HO-1 až HO-4).



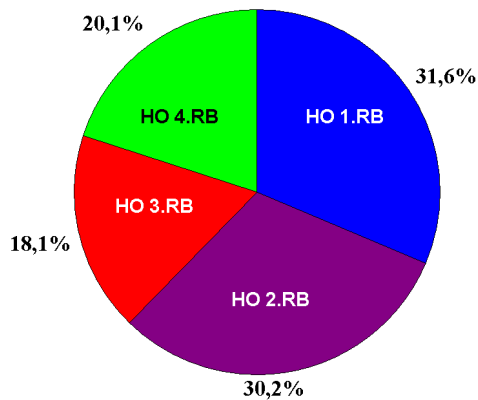
Obr. 4: Výstupní havarijní řetězec

Filozofie uspořádání tohoto řetězce je stejná jako v předchozích případech. Řetězec je tvořen sériovým zapojením kontaktů výstupních relé řetězců HO od technologických příčin, od jaderných příčin a ostatních příčin, vstupujících do výstupního havarijního řetězce. Bez překročení bezpečnostních mezí jsou všechny kontakty sepnuty (relé aktivována). Při působení libovolné příčiny dojde k rozpojení řetězce a zapůsobení HO příslušného druhu.

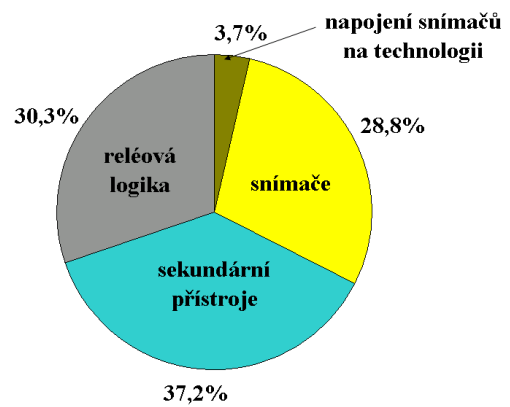
Hodnocení poruchovosti

Vzhledem k vysoké spolehlivosti ochranných systémů reaktoru (dané redundancí struktury a výběrovému zapojení) nejsou dostupné žádné údaje o selhání jejich funkce. Hodnocení poruchovosti se proto opíralo o záznamy údržby o poruchách jednotlivých komponent systému HO vedených v databázi údržby SRND. Porucha komponenty nikdy neznamená poruchu funkce systému (z uvedeného důvodu redundantnosti struktury a výběrového zapojení). Při hodnocení bezporuchovosti systému je však údaj o poruchách jeho komponent důležitým zdrojem informací o vývoji systému v čase a nezbytným podkladem pro výpočet spolehlivosti funkcí systému. Příkladem některých výstupních informací z hodnocení poruchovosti komponent systému havarijních ochran jsou údaje obsažené grafech na obr. 5.

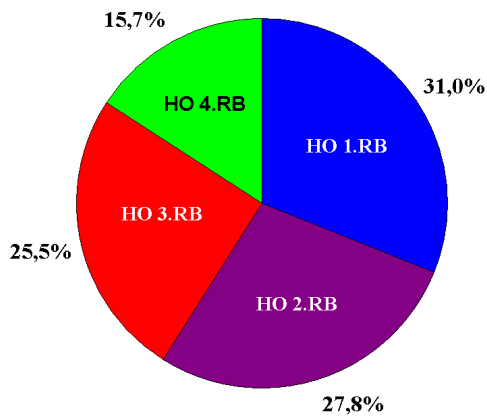
Porovnání poruchovosti systému HO podle reaktorového bloku



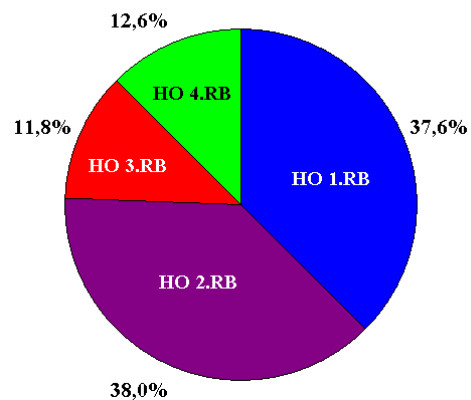
Podíl poruchovosti komponent HO na poruchovosti systému HO jako celku



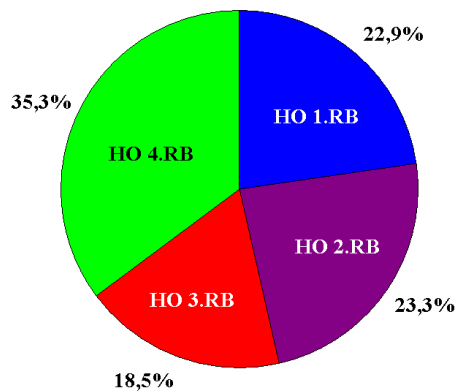
Porovnání poruchovosti snímačů systému HO podle reaktorového bloku



Porovnání poruchovosti sek. přístrojů systému HO podle reaktorového bloku



Porovnání poruchovosti reléové logiky systému HO podle reaktorového bloku



Obr. 5: Příklad výstupních informací

Součástí vyhodnocování poruchovosti je sledování trendů vývoje poruchovosti systémů HO a jejich komponent po jednotlivých rocích. To umožňuje účinnou zpětnou vazbu spočívající v analýze příčin poruch komponent, volbě vhodné strategie údržby a včasného zajištění náhradních dílů.

Hodnocení spolehlivosti komponent

Z údajů o poruchovosti komponent shromažďovaných v databázi SRND se jako základní ukazatel bezporuchovosti určuje bodový odhad intenzity poruch pro jednotlivé typy komponent systému HO. Vzhledem k dostatečně velké populaci komponent a dlouhé době sledování poskytuje toto hodnocení cenné generické údaje o intenzitě poruch komponent. Intenzity poruch komponent pak slouží jako vstupní parametr pro základní strukturální analýzy spolehlivosti funkcí systému HO. Představu o rozsahu sledování je možno učinit na základě počtu sledovaných komponent HO, který činí **12 432 komponent**.

Hodnocení spolehlivosti funkcí

Poruchy zařízení HO lze z hlediska dopadů do jaderné bezpečnosti rozdělit do dvou skupin:

- bezpečné poruchy - poruchy, které vyvolají působení HO, aniž došlo k překročení mezních hodnot sledovaných parametrů (falešný signál)
- nebezpečné poruchy - způsobí nezpracování HO při skutečném překročení mezních hodnot sledovaných parametrů

Proto při hodnocení spolehlivosti funkcí jsou zvažovány možné módy poruch komponent a jejich projev do bezpečné a nebezpečné poruchy. Hodnota intenzity poruch je pak rozdělena v příslušném poměru na intenzitu poruch pro bezpečnou a pro nebezpečnou poruchu, viz tab. 1.

Tab. 1: Příklad výsledku analýzy poruch komponent

Komponenta	bezpečná porucha [%]	nebezpečná porucha [%]
manometr tlakový elektrický MPE-MI (0-16 MPa)	50	50
termočlánek Chromel Alumel TCHA 2077 (0-400 °C)	30	70
relé RPU-1	10	90
sekundární přístroj KSU2-004	10	90

Vlastní hodnocení spolehlivosti funkcí systému HO je pak založeno na výpočtu spolehlivosti struktury, která danou funkci realizuje. Analýza spolehlivosti byla provedena pro funkci:

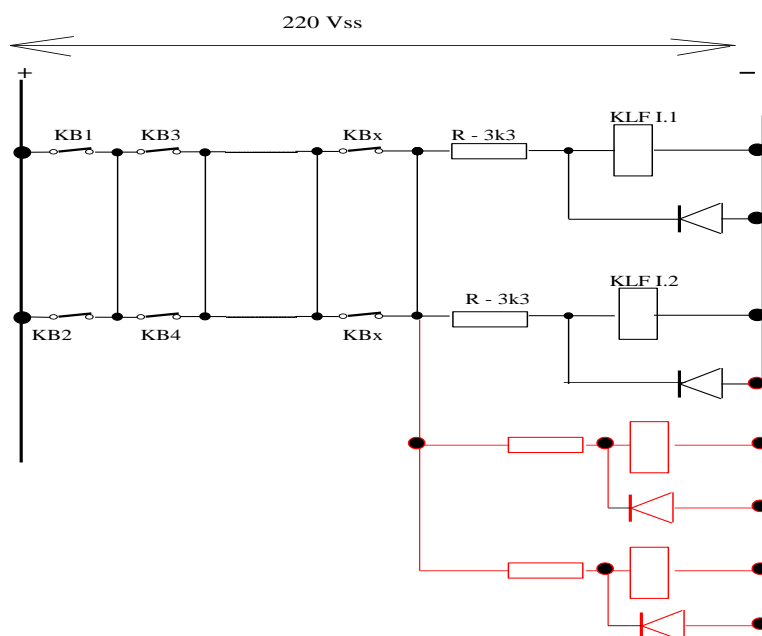
- měření neutronového toku jedním měřicím kanálem

- měření technologického parametru jedním měřicím kanálem
- měření neutronového toku třemi měřicími kanály jednoho kompletu s výběrem 2 ze 3
- měření technologického parametru třemi měřicími kanály jednoho kompletu s výběrem 2 ze 3
- měření technologického parametru šesti měřicími kanály jednoho kompletu s výběrem 2 ze 6
- rychlé odstavení reaktoru od neutronového toku - jeden komplet systému HO
- rychlé odstavení reaktoru od technologického parametru - jeden komplet systému HO
- rychlé odstavení reaktoru od neutronového toku - oba komplety systému HO
- rychlé odstavení reaktoru od technologického parametru - oba komplety systému HO

Výsledkem hodnocení spolehlivosti funkcí systému HO bylo stanovení hodnoty součinitele nepohotovosti **U** pro nebezpečnou poruchu a střední doby mezi poruchami **T** pro bezpečnou poruchu. Hodnota součinitele nepohotovosti **U** charakterizuje, s jakou pravděpodobností nebude požadovaná funkce vykonána. Hodnota střední doby **T** udává interval mezi falešnými signály.

Hodnocení vlivu prováděných úprav na spolehlivost

Při znalosti spolehlivosti komponent a funkcí systému HO je možné vyhodnocovat vliv úprav prováděných v systému HO na spolehlivost funkcí systému. Příkladem může být posouzení změny zapojení uvedené na obr. 6.



Obr. 6: Úprava řetězce havarijní ochrany



Uvedená změna vedla k výraznému zvýšení odolnosti systému HO vůči nebezpečné poruše, které se projevilo řádovým poklesem hodnoty součinitele nepohotovosti **U**.

ZÁVĚR

Z uvedených příkladů je zřejmý značný praktický význam měření a vyhodnocování bezporuchovosti v praktických provozních aplikacích. Na základě hodnocení spolehlivosti bezpečnostně významných subsystémů systému kontroly a řízení Jaderné elektrárny Dukovany předložených Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost, bylo možné kladně posoudit žádost o prodloužení licence k dalšímu provozu jaderné elektrárny.