ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

TOMÁŠ KŘINECKÝ

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Křinecký** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **473559**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Prodlužování životnosti jaderné elektrárny Dukovany

Název bakalářské práce anglicky:

Long-Term Operation of the Dukovany Nuclear Power Plant

Pokyny pro vypracování:

Obsahem práce bude studie zaměřená na problematiku prodlužování projektové životnosti jaderné elektrárny Dukovany. Ve studii by mělo být provedeno rámcové shrnutí důvodů, ze kterých se přistupuje k prodlužování životnosti jaderných elektráren. Stěžejní část práce by následně měla být zaměřena na podrobnější popis problematiky prodlužování životnosti jaderné elektrárny Dukovany se zaměřením na stěžejní kroky celého procesu, jejich přínos v rámci celého procesu a případné stručné zhodnocení z hlediska jaderné bezpečnosti.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Václav Železný, ústav energetiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.06.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2021**

Ing. Václav Železný podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

9. 6. 2020 Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Prodlužování životnosti jaderné elektrárny Dukovany" jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Václava Železného a že jsem uvedl veškeré použité zdroje a literaturu tak, aby to bylo v souladu s Metodickým postupem o dodržování etických principů při tvorbě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

Podpis: .....

Anotační list

Jméno autora:	Tomáš Křinecký
Název BP:	Prodlužování životnosti jaderné elektrárny Dukovany
Anglický název:	Long-Term Operation of the Dukovany Nuclear Power Plant
Akademický rok:	2019/2020
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí BP:	Ing. Václav Železný
Konzultant:	Ing. Václav Bláha, C Sc.
Bibliografické údaje:	Počet stran: 54
	Počet obrázků: 18
	Počet tabulek: 10
	Počet příloh: 0
Klíčová slova:	Jaderná elektrárna, Dukovany, prodlužování životnosti, Dokompletace, MORAVA, LTO, SKŘ, VPR, EDU
Keywords:	Nuclear power plant, Dukovany, long term operation, Dokompletace, MORAVA, LTO, SKŘ, VPR, EDU

Anotace: Tato bakalářská práce se zabývá problematikou prodlužování životnosti na Jaderné elektrárně Dukovany a jejím vlivem na jadernou bezpečnost. Nejprve jsou sepsány důvody k prodlužování životnosti jaderné elektrárny Dukovany. Následně jsou vypsány programy, které na elektrárně proběhly a zasloužily se o prodloužení životnosti.

Abstract: This bachelor thesis deals with the issue of long term operation at the Dukovany Nuclear Power Plant and it's impact on nuclear safety. First, the reasons for long term operation of the Dukovany Nuclear Power Plant are written down. Subsequently are written the programs that took place at the power plant and contributed to the long term operation.

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce panu Ing. Václavu Železnému za odborné vedení práce, rady, které mi poskytl a čas vynaložený na konzultace. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Václavu Bláhovi, C Sc. za poskytnutí jeho nezměrných znalostí a zkušeností týkající se Jaderné elektrárny Dukovany.

Obsah

1. Úvod ... 1
   1.1. Důvody k prodlužování životnosti EDU ... 1
2. Přístup JE Dukovany pro prodlužování životnosti ... 3
3. Program Dokompletace EDU ... 4
   3.1. Kategorizace programu ... 4
   3.2. 1. Stavba ... 6
   3.3. 2. Stavba ... 7
4. Program obnovy zařízení JE DUKOVANY– MORAVA ... 8
   4.1. Vnitřní audit ... 8
   4.2. Vnější audit ... 8
   4.3. Další zdroje pro program MORAVA ... 9
5. Obnova systému kontroly a řízení JE Dukovany ... 11
   5.1. Historie ... 11
   5.2. Požadavky pro obnovu ... 11
   5.3. Přehled obnovovaných systémů modulů M1 a M2 ... 12
   5.4. Nové systémy SKŘ ... 13
   5.5. Systémy modulu M1 ... 14
   5.6. Popis systémů modulu M1 ... 15
   5.7. Zařízení modulu M2 ... 18
   5.8. Další práce při obnově SKŘ ... 19
   5.9. Realizace Obnovy SKŘ modulů M1 a M2 ... 19
   5.10. Moduly M3, M4 a M5 ... 23
   5.11. Nově instalované systémy ... 25
6. Program Využití projektových rezerv (VPR) ... 27
   6.1. Seznam provedených modifikací ... 28
   6.2. Modernizace VT dílů TG EDU ... 29
   6.3. Úprava statorů generátorů ... 30
   6.4. Modernizace blokových transformátorů ... 31
   6.5. Rekonstrukce vyvedení výkonu generátorů ... 31
   6.6. Realizace ... 32
7. Příprava k dlouhodobému provozu EDU ... 33
8. Realizace LTO EDU ... 34
   8.1. Organizační uspořádání pro zajištění připravenosti zařízení ... 34

8.2. Sběr dat a udržování záznamů ... 35
8.3. Výběr SKK pro řízení stárnutí ... 36
8.4. Zhodnocení řízení stárnutí ... 38
8.5. Hodnocení aktuálního stavu SKK ... 40
8.6. Vývoj, realizace, optimalizace programů řízeného stárnutí ... 41
8.7. Komplexní posouzení (KOPO) ... 48
9. Současný a budoucí provoz ... 50
9.1. Povolení k provozu bloků po 30 letech ... 50
9.2. Budoucí provoz ... 50
10. Závěr ... 51
11. Seznam použité literatury: ... 52
12. Seznam obrázků: ... 54
13. Seznam tabulek: ... 54

Seznam použitých zkratek:

AKNT – Aparatura kontroly neutronového toku

AKOBOJE – Automatizovaný komplex Bezpečnostní ochrany Jaderné elektrárny

AMR – Ageing Management Review (Přezkum řízení stárnutí)

APS – Automatika postupného spouštění

ASDŘ – Automatizovaný systém dispečerského zařízení

BD – Bloková dozorna

BT – Bezpečnostní třída

DMU – Display Management Unit (Jednotka pro zprávu zobrazení)

EDU – Elektrárna Dukovany

ELS – Emergency Load Sequencer (Automatika postupného spouštění)

ENAC – European Nuclear Assistance Consortium (Evropské konsorcium pro jadernou pomoc)

ESFAS – Engineered Safety Feature Actuation System (Systém pro spuštění technických prostředků pro zajištění bezpečnosti)

HCČ – Hlavní cirkulační čerpadlo

HO – Havarijní ochrana

HRK-RRCS – Systém ovládání kazet

IDMS – Interface and Data Management System (Řízení přenosu dat a displejů)

IVS – Informační výpočetní systém

JE – Jaderná elektrárna

KASKAD – Kontrolní systém primárního okruhu

KOPO – Komplexní posouzení

KVRK – Komplex vnitroreaktorové kontroly

LOPG – Lokální ochrany parogenerátoru

LTO – Long Term Operation (dlouhodobý provoz)

MAAE – Mezinárodní agentura pro atomovou energii

MDC – Maintenance and Diagnosis Computer (Systém pro podporu údržby)

MORAVA – Modernizace – Rekonstrukce – Analýza – Validace

ND – Nouzová dozorna

OSART – Operational Safety Review Team (Tým pro kontrolu provozní bezpečnosti)

PAMS – Pohavarijní monitorovací systém

PCS – Process Computer System (Informační monitorovací systém)

PG – Parogenerátor

PO – Příspěvkové organizace

PŘS – Program řízeného stárnutí

PŘŽ – Program řízené životnosti

PSR – Periodic Safety Review (periodické hodnocení bezpečnosti)

PTD_{TLL} – Původně–technická dokumentace

RAPO – Reléové automatiky primárního okruhu

RASO – Reléové automatiky sekundárního okruhu

RMSS – Riziková místa se svarovými spoji

RLS – Reactor Limitation System (Systém omezování výkonu reaktoru)

RRCS – Reactor Rod Control System (Systém ochran řazení reaktoru)

RTS – Reactor Trip System (Systém rychlého odstavení reaktoru)

ŘSBP – Řídící systém primárního okruhu

ŘSBS – Řídící systém sekundárního okruhu

ŘSBT – Řídící systém turbosoustrojí

SALTO – Safety aspects of long term operation (bezpečnostní aspekty LTO)

SAS – Support Action System (Podpůrný akční systém)

SGPS – Steam Generator Protection System (Lokální ochrany parogenerátorů)

SHZ – Stabilní hasicí zařízení

SKK – Systém, konstrukce (stavba), komponenta

SKŘ – Systém kontroly řízení

SSU – System Surveillance unit (Systém dozorové jednotky)

SOB – Systém zajištění bezpečnosti

SSHZ – Specifická souhrnná hodnotící zpráva

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SW – Software

TG – Turbogenerátor

TLAA – Time Limited Ageing Analysis (Hodnocení stárnutí s časově omezenou platností)

TNR – Tlaková nádoba reaktoru

TOPG – Technologické ochrany parogenerátoru

ÚJV ŘEŽ–Ústav jaderného výzkumu Řež

VBK – Vakuo-barbotážní kondenzátor

VPR – Využití projektových rezerv

VT – Vysokotlaký díl

WANO – World Association of Nuclear Operators (Světová asociace jaderných operátorů)

ZRAO – Zpracování radioaktivního odpad

1. Úvod

Jaderná elektrárna Dukovany je první jadernou elektrárnou postavenou na českém území. Obsahuje čtyři výrobní bloky typu VVER 440 a její současný instalovaný výkon činí 4x510 MW. Dnes je její životnost udávána do roku 2037 s možností prodloužení až do roku 2047. V této práci se zaměřuji na projekty, které byly na JE Dukovany provedeny a díky kterým byla prodloužena životnost elektrárny. Nejdříve zhodnocuji důvody prodlužování životnosti jaderné elektrárny jak z energetických, tak z ekonomických hledisek. Dále se zabývám konkrétními programy, které byly na Jaderné elektrárně Dukovany provedeny. [1]

1.1. Důvody k prodlužování životnosti EDU

K prodlužování životnosti EDU existuje mnoho důvodů. Na tuto problematiku se lze dívat z několika různých úhlů pohledu.

Z energetického hlediska je jaderná elektrárna výhodná v tom, že je její výkon stabilní a tudíž poskytuje dobrý základ pro stabilní elektrickou síť. Dále EDU nyní produkuje zhruba 20% elektřiny pro Českou republiku. V případě odstavení této elektrárny by bylo potřeba tuto chybějící energii nahradit. V plánu je výstavba nového bloku, který by částečně nahradil výkon, který poskytuje EDU. Do roku 2022 by mělo být provedeno výběrové řízení, v roce 2029 by měla začít výstavba. Spuštění nového bloku je naplánováno na rok 2036, tudíž ještě před koncem plánované životnosti EDU. K tomuto časovému vymezení je ale mnoho odborníků skeptických vzhledem k době výstavby jaderných elektráren jinde ve světě. [2]

Pro tuto skutečnost je potřeba, aby EDU byla v provozu po co nejdelší dobu, a tudíž bylo podporováno prodlužování její životnosti.

Z ekonomického hlediska se prodlužování životnosti jaderné elektrárny jeví jako jedna z nejlevnějších variant. Cena projektu, která prodlouží životnost elektrárny, se jeví jako výhodnější varianta oproti stavbě nové elektrárny. Nadále je potřeba rozlišovat novou výstavbu na lokalitu, kde je již vybudované zázemí pro elektrárnu a lokalitu úplně novou. V případě Dukovan se jedná o okres Třebíč, kde je již vybudována infrastruktura, je zde vhodný vodný tok k provozu elektrárny a existuje zde sociální zázemí pro pracovníky elektrárny a jejich rodiny. V neposlední řadě je potřeba vzít v potaz umístění zdroje elektřiny vzhledem k elektrické síti v ČR. Výpadek tohoto zdroje by vedl k destabilizaci sítě a její úprava by vyžadovala další náklady.

Mezi zápory prodlužování by se dalo zařadit snižování jaderné bezpečnosti kvůli pravděpodobnějšímu výskytu potřebných oprav a stárnutí všech zařízení na elektrárně. Pro vyvážení těchto faktorů je prováděna údržba, pravidelné kontroly a další věci popsané v kapitole LTO.

Obrázek 1: Jaderná elektrárna Dukovany [1]

2. Přístup JE Dukovany pro prodlužování životnosti

První blok byl spuštěn roku 1985, roku 1987 již byly v provozu všechny 4 bloky. Původní odhad životnosti byl zhruba na 30 let s tím, že elektrárna byla projektovaná s rezervami na možné zvýšení výkonu a s předpokladem, že se bude později modernizovat a tím prodlužovat její životnost. [1]

K modernizaci v pozdějších letech došlo, ale nejdříve se muselo provést zhodnocení stavu JE a rozhodnutí o dalším postupu. Hlavní požadavky při modernizaci činily jaderná bezpečnost, maximální využití již existujících technologií a ekonomická výhoda nad stavbou nové jaderné elektrárny. [3]

Důraz byl kladen na mechanismy náchylné na opotřebení a na části, které je možné vyměnit. U těch, kde je výměna nemožná, se uvažovalo o případné opravě či ochraně nějakým technologickým procesem. Jako části, které nelze vyměnit, se braly ty, které byly příliš rozměrné, finančně nákladné, či technologicky náročné k výměně. Pro části, které šly vyměnit, se nejdřív brala v potaz možnost jejich opravy či pouze varianta částečné výměny. [3]

Důležitá je údržba všech součástí. Jestliže bylo možné zabránit degradaci různých částí správnou údržbou, jejich úprava by k ní měla směřovat. Hlavním konceptem modernizace bylo převážně zvýšení jaderné ochrany v rámci mezinárodních směrnic a norem.

Zpracovat celkovou analýzu a naplánovat další postupy je tudíž dost komplikované. Proto byl JE Dukovany, společně s ČEZ a SÚJB, zpracován Program řízení životnosti JE Dukovany. Hlavní systémy, které tento program sledoval, byly následující:

Reaktorová nádoba a její části

Parogenerátory spolu s trubkami

Hlavní cirkulační potrubí a pumpy

Potrubí bezpečnostní třídy 1 [3]

3. Program Dokompletace EDU

Oficiálně byla výstavba JE Dukovany ukončena dne 31.7.1989. V té době ale nebyly dostaveny všechny projektované části. Elektrárna sice byla v provozuschopném stavu, bylo ale potřeba dostavět ještě části týkající se zvýšené jaderné bezpečnosti či části týkající se nevýrobních složek elektrárny. Zároveň nebyly vyčerpány rozpočtové náklady (1,9 mld Kč). Na základě těchto nedostatků vznikl Program „Dokompletace", který měl za úkol rozvrhnout dostavbu elektrárny. V roce 1990 byla provedena analýza, následně v roce 1991 započaly přípravy na realizaci těchto akcí. [4] [5]

V roce 1989 byl vydán schvalovací protokol, který rozdělil výstavbu JE Dukovany na dvě etapy. V 1. etapě je zahrnuta výstavba čtyř bloků, jejíž hlavní náplň byla v této době již naplněna. 2. etapa se týkala dostavby jednotlivých projektovaných částí, které bylo v plánu dostavět. Tato etapa je rozdělena na 2 části.

3.1. Kategorizace programu

V první části je zahrnuta výstavba nevýrobních objektů. Týká se systému bezpečnostní ochrany AKOBOJE a likvidace radioaktivních odpadů ZRAO. [5]

Druhá část je rozdělena na 4 samostatné projekty:

a) Radioreléový spoj EDU – Praha
   - Slouží pro přenos informací při mimořádných situacích na JE a současně zajišťuje rychlé a kvalitní přenosy informací pro automatizované systémy dispečerského zařízení (ASDŘ).

b) Vyrozumění a varování orgánů, organizací a obyvatel v okruhu 30 km od JE
   - Jde o instalování zařízení ve všech obcích a samotách v blízkosti jaderné elektrárny.

c) Vyvedení tepelného výkonu z EDU

- Jeho účelem je nahrazení dosavadního zdroje systému centralizovaného zásobování teplem, který převážně spaloval plynné či kapalné palivo. Využití odpadního tepla zapříčiní úsporu zemního plynu, mazutu a uhlí. Je šetrnější k přírodnímu prostředí, a to snížením emisí SO_2 a NO_X. Jeden turbogenerátor vyvede 85 MW v horké vodě. Maximální tepelný výkon ze všech čtyř bloků je cca 680 MW při teplotě vratné vody do EDU 70°C.
- Oběhová voda je přivedena vratnou větví do sání oběhových čerpadel. Odtud je dopravována rozvodním potrubím do výměníkových stanic u turbín, kde dojde k jejímu ohřevu. Odtud je odvedena do přečerpávací stanice na trase EDU – Brno.

d) Dokompletace EDU 1. a 2. stavba

- V roce 1987 byla zpracována techniko-ekonomická zadání, která by řešila problematiku zajištění jaderné bezpečnosti, účinnosti jejího kontrolního systému a opatření k jejímu dalšímu zvýšení. Na základě tohoto zadání byla stavba Dokompletace EDU rozdělena na dvě stavby. 1. stavba zahrnuje akce, které nevyžadují spolupráci se sovětskou stranou. 2. stavba se týká konkrétních projektů, které v dané době vyžadovaly spolupráci se sovětskou stranou. [5]

3.2. 1. Stavba

V 1. stavbě byly zařazeny tyto projekty:

a) Náhřev objemu nádrží havarijních systémů chlazení aktivní zóny
   - Jde o doplnění elektroohřevu nádrží havarijní zásoby kyseliny borité (slouží k zabránění vzniku materiálových trhlin při vstupu studené kyseliny do reaktoru př mimořádném provozním stavu).

b) Odvzdušnění reaktoru při jmenovitém tlaku primárního okruhu
   - Slouží k odvodu paroplynné směsi do barbotážní nádrže jak při běžných provozních stavech, tak při havarijních stavech, kdy dochází k vzniku nekondenzovatelných plynů.

c) Odvzdušnění primárního okruhu parogenerátorů (PG) při jmenovitém tlaku primárního okruhu

d) Propojení spodní části primárního okruhu
   - Tento systém slouží k drenážování sloupce vody na horké smyčce hlavního cirkulačního potrubí, který v případě havárie brání v průchodu páry z reaktoru do PG.

e) Úprava algoritmů HCČ – 1. etapa
   - Řeší problematiku měření tlaku v boxu PG

f) Zvýšení spolehlivosti měření hladiny parogenerátorů
   - Jde o náhradu sovětských snímačů, které se vyznačují velkou nestabilitou, a tudíž nevěrohodností údajů o stavu hladiny v PG

g) Zdvojené monitorování odpadních vod

h) Mechanizace manipulace s poklopy překrytí vlečkového koridoru
   - Zajištuje jednodušší, pohotovější a bezpečnější způsob otevírání překrytí transportního otvoru z reaktorového sálu do vlečkového koridoru

i) Výměna VT kompresorů pro ovládání rychločinných armatur
   - Jde o výměnu poruchových sovětských kompresorů.

j) Zálohování 4. systému zajištěného napájení I. kategorie

k) Chlazení střešní konstrukce strojovny
   - Slouží k zabránění destrukce střechy při požáru.

l) Vybavení olejového hospodářství čerpadel doplňování a borové regulace a HCČ stabilním hasícím nařízením

m) Vytvoření přetlaku vzduchu v prostorech BD, ND, SORK, VO a počítače
    - V případě požáru nepronikne hoření do místností obsluhy.

n) Vybavení centrálního olejového hospodářství, elektronapaječek a TG SHZ

o) Protipožární opatření ve vnějších kabelových prostorách

p) Zdokonalení EPS systému

q) Halonové SHZ v místnostech elektrozařízení bloků

r) Cvičný kanál pro PO elektrárny

s) Úpravy osvětlení a interiéru blokových dozoren

t) Rozšíření zdravotního střediska [5]

3.3. 2. Stavba

Pro 2. stavbu byly zařazeny tyto projekty:

- Náhřev objemu hydroakumulátorů
- Úpravy algoritmů HCČ – 2. etapa
- Automatizace řízení chemických režimů
- Instalace měření radiační situace v hermetické zóně
- Odsávání a odstraňování vodíku vznikajícího při případné havárii v hermetické zóně
- Inovace měření vybraných technologických parametrů bloku
- Inovace měření vlhkosti pod kolpakem na základě tuzemských zařízení [5]

Program „Dokompletace“ probíhal do roku 1996, kdy byla provedena většina plánovaných akcí. Zbytek byl přesunut do programu „MORAVA“. [4]

4. Program obnovy zařízení JE DUKOVANY– MORAVA

Na počátku devadesátých let se objevily tendence zpochybňovat úroveň jaderné bezpečnosti jaderných elektráren postavených na základě sovětských projektů. Toto byl jeden z hlavních důvodů provést hlubokou analýzu a zhodnocení stavu JE Dukovany a její jaderné bezpečnosti. Program MORAVA (Modernizace – Rekonstrukce – Analýza – Validace) se zabýval zhodnocením stavu JE Dukovany a jeho cílem bylo navržení seznamu, který by obsahoval potřebné modifikace a byl by podkladem pro následující rekonstrukci. Koncepce přípravy tohoto programu začala po dokončení programu „Dokompletace". Ta byla dopracována roku 1998 a v rámci dalšího postupu bylo vypsáno výběrové řízení na obnovu systému kontroly řízení. [6]

Technické posouzení neboli technický audit byl rozdělen na dvě části, a to na vnitřní a vnější audit.

4.1. Vnitřní audit

Vnitřní audit prováděly týmy o zhruba 100 pracovnících EDU spolu s podporou externích organizací. Ty následně zhodnotily audit z pohledů spolehlivosti a poruchovosti v závislosti na jadernou bezpečnost. Dále hodnotily i z pohledu náročnosti na údržbu, zbytkové životnosti, stavu náhradních dílů a dalších vlivů. [6]

4.2. Vnější audit

Vnější audit byl proveden konsorciem ENAC (jehož členy byly jaderné firmy ze západní Evropy, například z Velké Británie, Německa či Francie) z důvodu nezávislého posouzení technické bezpečnosti. Dalším verifikačním krokem byla mise MAAE, která se zaměřila na tzv. Safety issues (Bezpečnostní problémy) v rámci mimorozpočtového programu. [6]

4.3. Další zdroje pro program MORAVA

EDU taktéž využívala pro podporu své činnosti pomoc Evropské unie v rámci regionálních projektů PHARE. K roku 1999 proběhlo dvanáct projektů, kde EDU byla hlavním příjemcem a jedenáct dalších projektů, kde byla spolupříjemcem. Jedním z projektů byla experimentální kvalifikace vakuo-barbotážního kondenzátoru. V městech Elektrogorsk v Rusku (firma EREC) a v Levicích na Slovensku (firma VUEZ) vznikla experimentální zařízení, která zkoumala podmínky maximální projektové havárie. Projekt trval od roku 1995 do roku 1999 a jeho výsledky byly nesporně přínosné pro průkaz bezpečnosti JE EDU. [7]

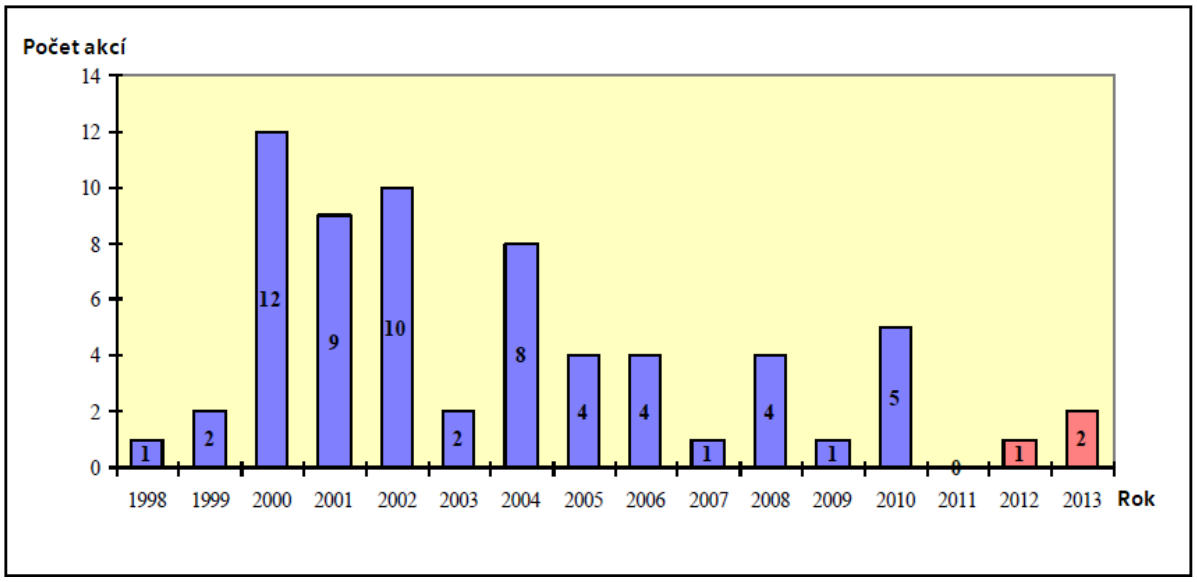
K posouzení úrovně provozu se od roku 1989 uskutečnila další řada zahraničních misí. Byly to například již dříve zmíněná mise MAAE, dále mise OSART nebo mise WANO. Tyto mise hodnotily jadernou bezpečnost a vyhodnotily seznam potřebných úprav, díky kterým by se EDU vyrovnalo v jaderné bezpečnosti ostatním jaderným elektrárnám. V budoucnu probíhaly i další mise, které už nebyly součástí Programu obnovy zařízení. [1]

Po skončení programu MORAVA se začaly provádět akce, které byly v rámci mise MAAE rozčleněny do 4 kategorií stoupající dle závažnosti. Pro typ JE VVER440/213 byly bezpečnostní nálezy zařazeny pouze do kategorií I až III. [6] [7]

Do kategorie III je zařazeno:

- Ukončení kvalifikace a průkaz bezpečnosti vakuo-barbotážního kondenzátoru (VBK)
- Vnitřní riziko v důsledku prasknutí VT potrubí
- Kvalifikace zařízení
- Prevence požárů
- Seizmický projekt

V kategorii II bylo zařazeno 41 problémů, z nichž byla většina vyřešena do roku 2010.



Obrázek 2: Počty realizovaných akcí programu MORAVA v letech [7]

Mezi projekty zajištěné mimo program MORAVA patří:

- Využití projektových rezerv (2009-2012)
- Zajištění obyvatelnosti BD a ND (2012-2014)
- Havarijní způsob dochlazování bloku (2011-2013)

Mezi nejvýznamnější akci Programu MORAVA patří „Obnova zařízení systému kontroly řízení modul 1, 2" (SKŘ).

V roce 2000 firma ČEZ podepsala smlouvu s firmou Škoda JS, která již vypracovala dokumentaci ohledně provedení obnovy a zajistila smlouvy s jednotlivými subdodavateli pro realizaci této akce. [8]

Poslední rozsáhlou akcí bylo „Využití projektových rezerv". Tato akce byla realizována v roce 2009 na 3. bloku a zakončena byla v roce 2012. [7]

5. Obnova systému kontroly a řízení JE Dukovany

Systém kontroly a řízení (nadále SKŘ) je jeden z nejdůležitějších systémů, které jaderná elektrárna obsahuje. SKŘ kontroluje a řídí všechny procesy, které se v JE dějí. Proto je nutné, aby SKŘ odpovídalo bezpečnostním požadavkům národních i mezinárodních legislativních předpisů. Důležitá je též životnost a technické provedení, aby byla JE dostatečně moderní a bezpečná pro stanovenou dobu životnosti. Realizace obnovy začala v roce 2000. [8]

5.1. Historie

Primární část jaderné elektrárny byla projektována firmou LOTEP Leningrad, dnes SptAEP Petersburg. Sekundární část projektoval Energoprojekt Praha, dnes ÚJV Řež/divize EGP. Tudíž zařízení SKŘ pro primární část bylo dodáváno sovětskou stranou, zatímco pro sekundární část bylo zhotoveno za pomoci tuzemských dodavatelů. Jelikož se jaderná elektrárna projektovala v 70. letech minulého století, elektronika i technické provedení odpovídalo technickým standardům tehdejší doby. [8]

5.2. Požadavky pro obnovu

Hlavním cílem projektu obnovy SKŘ bylo dosažení jaderné úrovně odpovídající novým nařízením. Provoz by měl být tímto zajištěn minimálně po dobu tehdy plánované prodloužené životnosti JE Dukovany, a to do roku 2025. [3] Obnova byla rozdělena do pěti základních modulů, a to na moduly M1 až M5. Tyto moduly byly vytvořeny podle důležitosti a míry nezbytnosti. Moduly M1 a M2 se týkaly převážně řídích systémů okolo reaktoru. Tuto obnovu zajišťovala firma Škoda JS a.s. v rámci jedné investiční akce. Moduly M3 až M5 byly zhotoveny později a jejich obnova probíhala až po dokončení obnovy modulů M1 a M2. [8]

Obnova modulů M1 a M2 byla naplánována konzervativně. Hlavní zásady se týkaly zachování koncepce řízení a ochran, preferování stávající bezpečnostní funkce, nepříliš výrazné změny pro práci operátorů, minimálních požadavků úpravy stavebních objektů a snaze omezit rizika vyplývající ze změny funkcí a technických prostředků.

Jelikož se jednalo o velký zásah do řídících systémů, Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) vydal řadu požadavků, jež bylo nutné dodržet a respektovat, aby mohl SÚJB vystavit povolení v pokračování provozu jaderných bloků. Jednalo se převážně o zajištění dokládání informací o průběhu funkcí SKŘ a možností dokládat analýzy a zprávy z provozu jaderných bloků.

Tabulka 1: Seznam modulů SKŘ [9]

Modul M1	Systémy reaktoru a primárního okruhu
Modul M2	Systémy vnitroreaktorové kontroly, blokové dozorny a PAMS
Modul M3	Reléové automatiky primárního okruhu (RAPO) Kontrolní systém primárního okruhu (KASKAD)
Modul M4	Ochranný systém bloku a turbíny (ZSB, ZSTG) Kontrolní systém turbíny (TVER)
Modul M5	Reléové automatiky sekundárního okruhu (RASO) Kontrolní systém sekundárního okruhu (MODIN)

5.3. Přehled obnovovaných systémů modulů M1 a M2

Tabulka 2: Rozsah obnovy modulů M1 a M2 [8]

Rozsah obnovy – úplná náhrada		
modul	**Systém**	**značení**
M1	systém havarijních ochran reaktoru	HO
	systém zajištění bezpečnosti	SOB
	aparatura kontroly neutronového toku	AKNT
	snižování a omezování výkonu reaktoru	ROM
	systém regulace výkonu reaktoru	ARM
	lokální ochrany parogenerátoru	LOPG
	technologické ochrany PG	TOPG
	automatika postupného spouštění	APS
	systém ochrany a řízení reaktoru	SPRR
M2	komplex vnitroreaktorové kontroly	KVRK
	informační výpočetní systém	IVS-URAN
Rozsah obnovy – omezené změny MMI		
M1 + M2	bloková dozorna	BD
	nouzová dozorna	ND
Rozsah obnovy – kompletně nová instalace		
M1	pohavarijní monitorovací systém	PAMS

5.4. Nové systémy SKŘ

Při návrhu nových zařízení se dbalo, aby architektura obnovené části vycházela z té původní a aby se respektovaly požadavky na obnovu. Staré systémy byly přeznačeny na mezinárodní názvy. Dále byly přidány nové systémy.

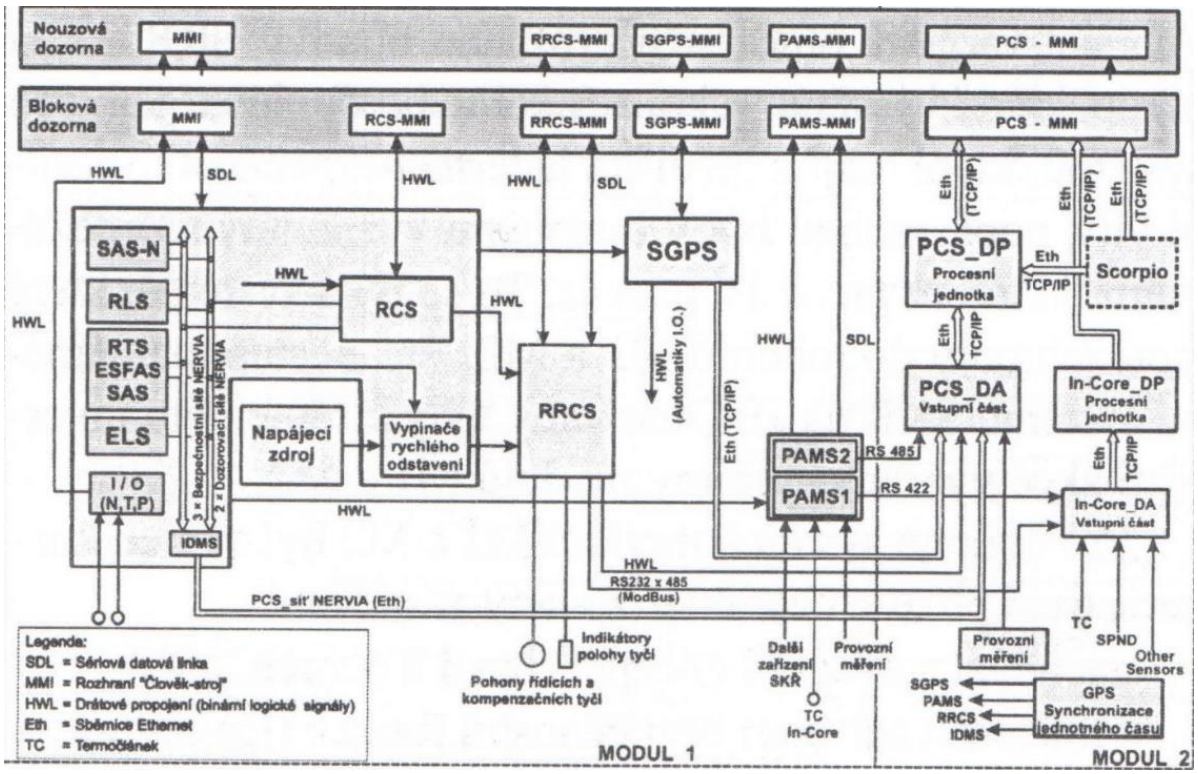
Tabulka 3: Nové značení systémů u modulu M1 a M2 [8] [10]

Systém	Původní označení	Nové označení	Nové označení dílčích zařízení
Systém rychlého odstavení reaktoru (Reactor Trip System)	HO1	RTS	DIS + DRPS (včetně vypínačů RTB)
Systém pro spuštění technických prostředků pro zajištění bezpečnosti (Engineered Safety Feature Actuation System)	SOB	ESFAS	DIS DRPS
Systém kontroly neutronového toku (Ex-Core Neutron Flux Measurement System)	AKNT	EX–CORE	DIS IDMS/NCU (výpočet reaktivity)
Systém omezování výkonu reaktoru (Reactor Limitation System)	ROM, HO3, HO4	RLS	DRLS DIS
Systém regulace výkonu reaktoru (Reactor Control System)	ARM	RCS	DIS RCS
Systém ochran řazení reaktoru (Reactor Rod Control System)	SORR	RRCS	RRCS (bez vypínačů RTB)
Automatika postupného spouštění (Emergency Load Sequencer)	APS	ELS	ELS
Lokální ochrany parogenerátorů (Steam Generator Protection System)	LOPG	SGPS	SGPS
Technologické ochrany parogenerátorů + nesystémová část SOB (Support Action System)	TOPG + SOB – N	SAS	DIS SAS + SAS-N
Komplex vnitroreaktorové kontroly (In-Core Measurement System)	KVRK	IN-CORE	IN-CORE + PCS
Informační výpočetní systém (Process Computer System)	IVS-URAN	PCS	PCS
Pohavarijní monitorovací systém (Post Accident Monitoring System)	----	PAMS	PAMS
Další navazující systémy			
Řízení přenosu dat a displejů (Interface and Data Management System)	----	IDMS	IDMS
Řízení přenosu dat do PCS (System Surveillance Unit)	----	IDMS	Část SSU
Monitorování bezpečnostních systémů (System Surveillance Unit + Display Management Unit)	----	IDMS	Část SSU/DMU
Systém pro podporu údržby (Maintenance and Diagnosis Computer)	----	IDMS	Část MDC

5.5. Systémy modulu M1

Modul M1 obsahuje tyto systémy:

- **Ochranný systém reaktoru**
- **Digitální systém instrumentace**
- **Digitální systém ochrany reaktoru**
- **Systém regulace výkonu reaktoru**
- **Systém pro podpůrné zásahy**
- **Systém ovládání kazet HRK-RRCS**
- **Systém ochrany parogenerátorů**
- **Systém pro pohavarijní monitorování-PAMS**



Obrázek 3: Blokové schéma architektury Obnovy SKŘ, M1 A M2. [8]

5.6. Popis systémů modulu M1

a) Ochranný systém reaktoru

Ochranný systém reaktoru se dělí na dvě základní úrovně, kde se provádí bezpečnostní funkce pro systémy RTS a ESFAS:

- Sběr jaderných a technologických signálů a jejich zpracování v digitálním systému instrumentace (DIS).
- Výběr v obvodech výběrové logiky v digitálním ochranném systému DRPS, tvorba a vydání povelu na iniciaci bezpečnostního zásahu.

b) Digitální systém instrumentace – DIS

Tento systém je určen pro snímání, úpravu a zpracování signálů z měřících okruhů, které jsou určeny převážně pro RTS a ESFAS. DIS se skládá ze dvou částí.

První část slouží k měření neutronového toku (Ex – Core). To je prováděno za pomoci vnějších detektorů neutronového toku. Měří se zde četnost impulzů pro nízké pásmo a proud pro vysoké pásmo. Druhá část zajišťuje sběr technologických dat, které jsou zasílány do DIS, a zde i zpracovány. Jde například o snímače teploty, tlaku či dalších veličin.

Každý systém DIS obsahuje čtyři procesní jednotky. Signály a vyhodnocené meze dále zasílá po bezpečnostní síti NERVIA do DRPS, DRLS a dále do RCS, SAS–N a IDMS.

c) Digitální systém ochrany reaktoru

Systém DRPS slouží k realizaci bezpečnostních funkcí RTS, ESFAS a SAS. Skládá se ze tří nezávislých divizí, jejichž základem jsou dvě dvojice procesních jednotek. Systém zpracovává signály z DIS a ze všech divizí vyhodnocuje na základě výběrové logiky dvou ze tří.

Výstupní signály RTS jsou přivedeny na manuální povel pro rychlé odstavení reaktoru. Společný signál je předáván do obvodů vypínačů rychlého odstavení reaktoru (RTB). Procesní jednotky také odvádí záložní signál pro rychlé odstavení reaktoru pomocí systému RRCS.

Instalované jsou dvě nezávislé RTB. V případě požadavku na rychlé odstavení reaktoru vypínače RTB přeruší napájení pro ovládání regulačních a kompenzačních kazet HRK. Sada RTB obsahuje tři vypínače, kde se opět realizuje výběr dvou ze tří.

d) Systém regulace výkonu reaktoru (RCS)

RCS reguluje výkon reaktoru v různých provozních režimech. Zabezpečuje stabilizaci výkonu na určité hladině nebo tlak v hlavním parním kolektoru. Výstupní povely jsou zasílány do RRCS ze tří procesních jednotek, které jsou zde instalovány.

e) Systém pro podpůrné zásahy (SAS)

Systém SAS je určen pro inicializaci oddělení parogenerátoru v případě příslušných podmínek a k započetí podpůrných zásahů při zapůsobení ESFAS. Tento systém je kontrolní a zároveň řídící. Přebírá původní funkce předchozích systému OPG a SOB–N. Zajišťuje ochranu všech šesti parogenerátorů. Systém je napojen k bezpečnostním sítím NERVIA.

f) Systém ovládání kazet HRK – RRCS

Tento systém je učen pro ovládání pohybu regulačních tyčí. Pohyb je řízen signály z RCS (automatická regulace výkonu), DRLS (zajištění limitační funkce), DRPS (záložní způsob odstavení reaktoru) či operátorem z blokové dozorny. Systém se dělí na základní úrovně, a to na řízení pohonu kazet HRK, indikaci polohy a diagnostický monitor pro sledování stavu zařízení.

Obrázek 4: Modul M1 – RRCS Ovládání pohonů HRK RRCS [11]

g) Systém ochrany parogenerátorů – SGPS

Systém SGPS zajišťuje omezování přílišných odchylek hladiny v jednotlivých parogenerátorech. Je rozdělen na části k jednotlivým PG a na společnou část, která zabezpečuje společnou funkci pro všechny PG.

h) Systém pro pohavarijní monitorování – PAMS

Systém PAMS monitoruje vybrané signály dle různých důležitostí v případě havárie. Signály jsou podpůrným nástrojem pro vyhodnocení stavu zařízení personálem. PAMS slouží převážně k podpoře postupů, které zefektivní zvládnutí havarijního stavu.

Komunikace v modulu mezi jednotlivými systémy je zajištěna přenosovými systémy a datovými linkami. Tyto sítě jsou bezpečnostní síť NERVIA, dozorovací síť NERVIA, sériové linky MODBUS a sériové datové linky RS 485 a RS 232. [3] [12]

5.7. Zařízení modulu M2

Hlavními systémy modulu M2 je Informační výpočetní systém (PCS) a Komplex vnitroreaktorové kontroly (IN-CORE). Mezi jejich hlavní činnosti patří sběr, digitalizace, archivace a další zpracování parametrů zařízení bloku a jejich předání personálu blokových dozoren, případně ostatním uživatelům dat na EDU.

Systém PCS a IN-CORE nahrazuje původní systém IVS Uran, SVRK Hindukuš, Záloha teplotních měření a Bloková LAN. Zachovává původní architekturu a koncepci, přičemž přináší nové zlepšení. Mezi ně patří HW unifikace, která snižuje sortiment náhradních dílů, a tudíž snižuje náklady na údržbu. Zvyšuje kvalitu poskytovaných dat, umožňuje sběr dat komunikačními linkami, čímž je propojený se systémy RTS, ESFAS, PAMS, RRCS a SGPS. Dále sjednocuje prostředky MMI (rozhraní „Člověk – Stroj“) na blokové dozorně a obsahuje nové specializované funkce.

Tento víceúrovňový systém se skládá ze tří částí, a to vstupní, procesní a MMI. Architektura systému je redundantní a zajišťuje odolnost proti jednoduché poruše pro důležité funkce. Mezi další zařízení modulu M2 dále patří ještě systém jednotného času a návazná zařízení pro komunikaci se systémem SCORPIO a s nadblokovou sítí (NLAN).

Komunikace mezi zařízeními modulů M1 a M2 je provedena pomocí optických sítí a sériových datových linek. Přenos dat ze systému IDMS zajišťuje síť PCS_NERVIA. Při návrhu se vycházelo z požadavků relevantních norem. [8]

5.8. Další práce při obnově SKŘ

Při obnově SKŘ byly nutné zásahy do polní instrumentace v prostorách primárního a sekundárního okruhu. Byly instalovány nové snímače pro bezpečnostní systémy. Pomocí těchto snímačů byla navýšena bezpečnost, jelikož snímače byly instalovány nezávisle na systémy, a pro měření jedné technologické veličiny byly použity i desítky samostatných snímačů.

Jedním z kritických míst projektu byla výměna kabeláže kvůli nedostatku volného místa v původních kabelových prostorách. Hlavní bezpečnostní požadavky se týkaly separace a segregace signálních a silových kabelů. Dále bylo vyžadováno bezhalogenové provedení, nízká korozivita zplodin hoření a malá hustota dýmů při hoření.

Optické kabely byly použity pro datové přenosové trasy a bezpečnostní sítě. Pro tuto realizaci byly provedeny změny současných tras a optimalizace umístění nových i původních snímačů. [8]

5.9. Realizace Obnovy SKŘ modulů M1 a M2

Vlastní realizace probíhala od roku 2002 do roku 2009. Prováděla se postupně při pravidelných odstávkách postupně na všech 4 blocích, přičemž první práce začaly na bloku B3. Práce, které nebylo možné vykonat za běžného provozu, aniž by snížily jadernou bezpečnost či omezily provoz, byly vykonány právě při těchto čtyřech odstávkách.

Časový průběh Obnovy SKŘ po blocích

Rok / blok	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	počet odstávek
B3	K	K	K	D					4
B1			K	K	K	D			4
B2				K	K	K	D		4
B4					D	K	K	P	4

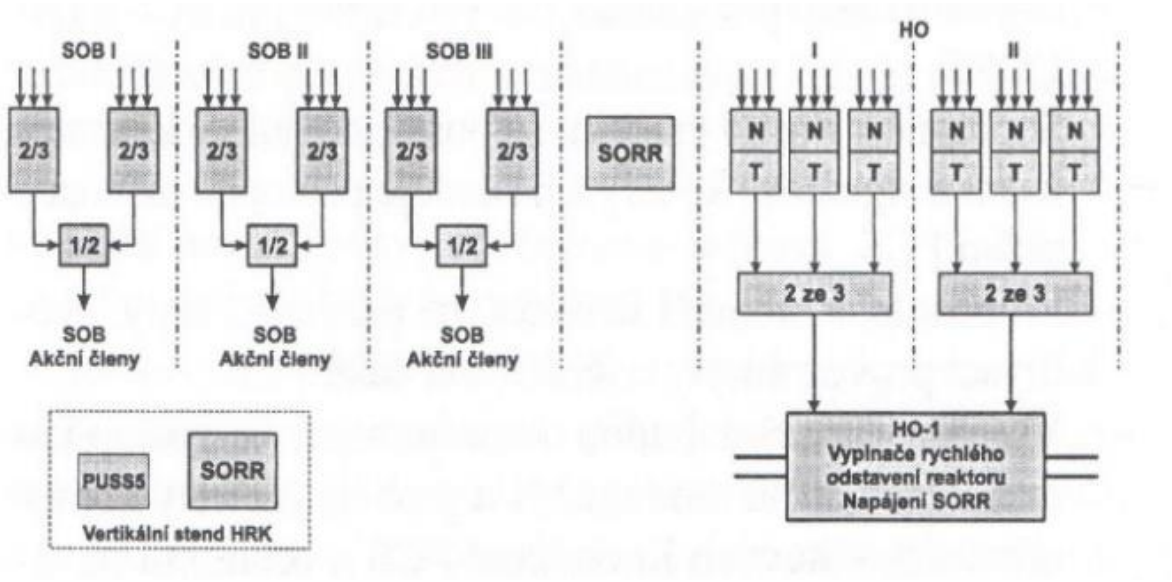
K – krátká odstávka, D – dlouhá odstávka, P – prodloužená odstávka

Obrázek 5: Časový průběh Obnovy SKŘ [8]

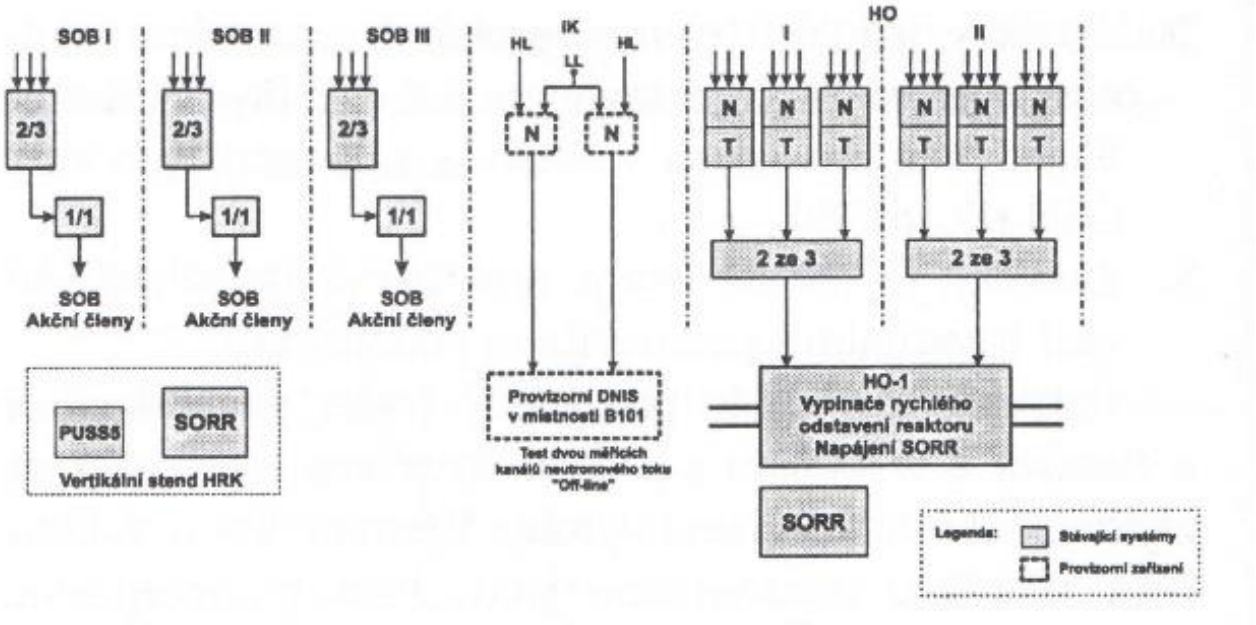
Při instalování bezpečnostních systémů modulů M1 se vycházelo z předpokladu, že původní systémy havarijní ochrany HO – 1 zůstanou v kompletní funkční konfiguraci až do poslední odstávky, stejně tak bezpečnostní systémy SOB I, II, III. Systém řízení regulačních a kompenzačních RRCS tyčí nemohl být instalován postupně, tudíž byl také instalován až při čtvrté odstávce. Výměna rychlého odstavení reaktoru musela být provedena opět až při čtvrté odstávce.

Realizace přechodu systémů modulů M2 proběhla v několika krocích. Nejprve se provedla demontáž nepoužívaných skříní informačního výpočetního systému IVS a provedly se stavební úpravy pro budoucí instalaci PCS. Některé skříně IVS se přesunuly, aby bylo uvolněno místo pro PCS a IN-CORE. Montáž se prováděla postupně, přičemž se prováděly testy. Všechny činnosti se koordinovaly s montáží systémů modulu M1. Poslední a finální úpravy měly proběhnout při čtvrté odstávce.

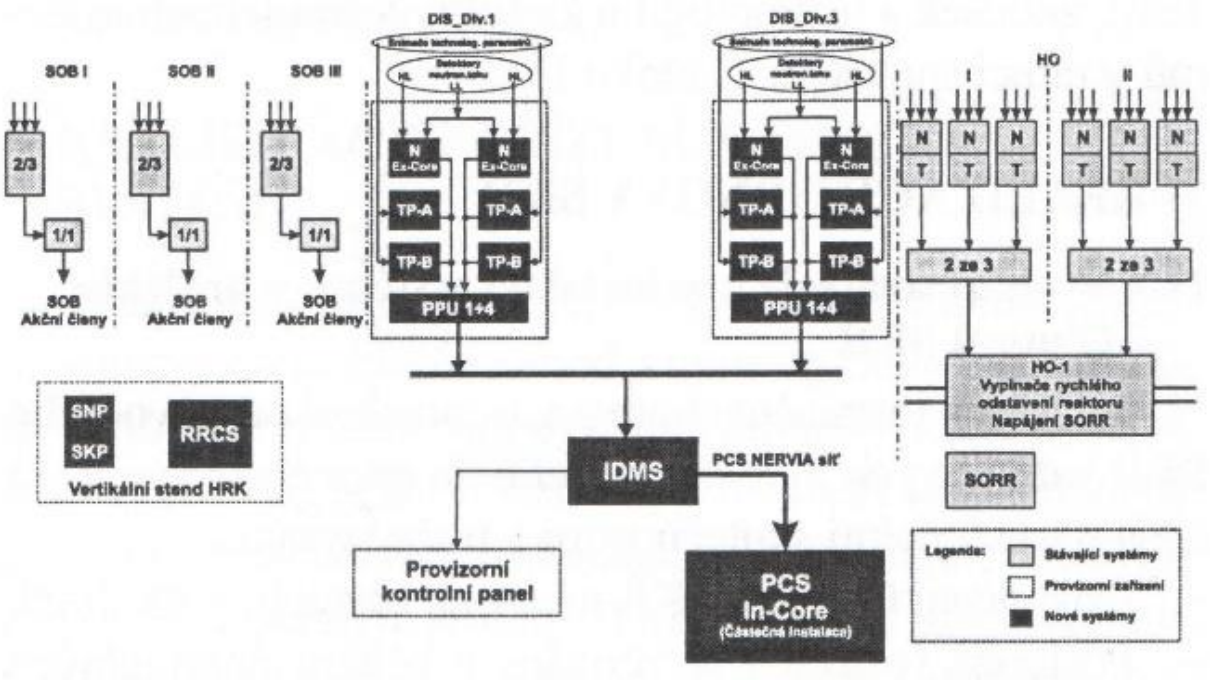
Z časových důvodů byly na 3. bloku některé činnosti (pokládání nových kabelových tras či monitorování rušivých pozadí pro ověření odolnosti systémů z hlediska EMC) provedeny v průběhu kampaně mezi odstávkami.



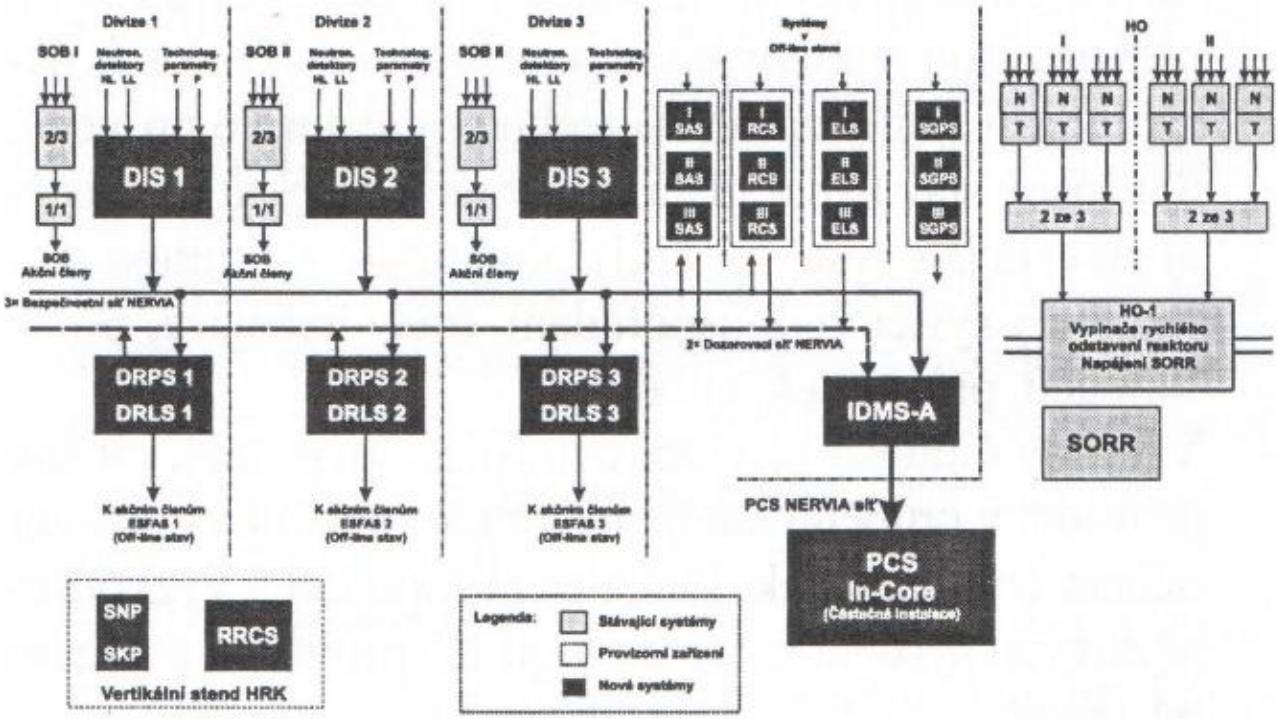
Obrázek 6: Výchozí stav konfigurace systémů po SKŘ-hlavní části modulu M1. Kroky 1+2 – přípravná a 1. odstávka (krátká) [8]



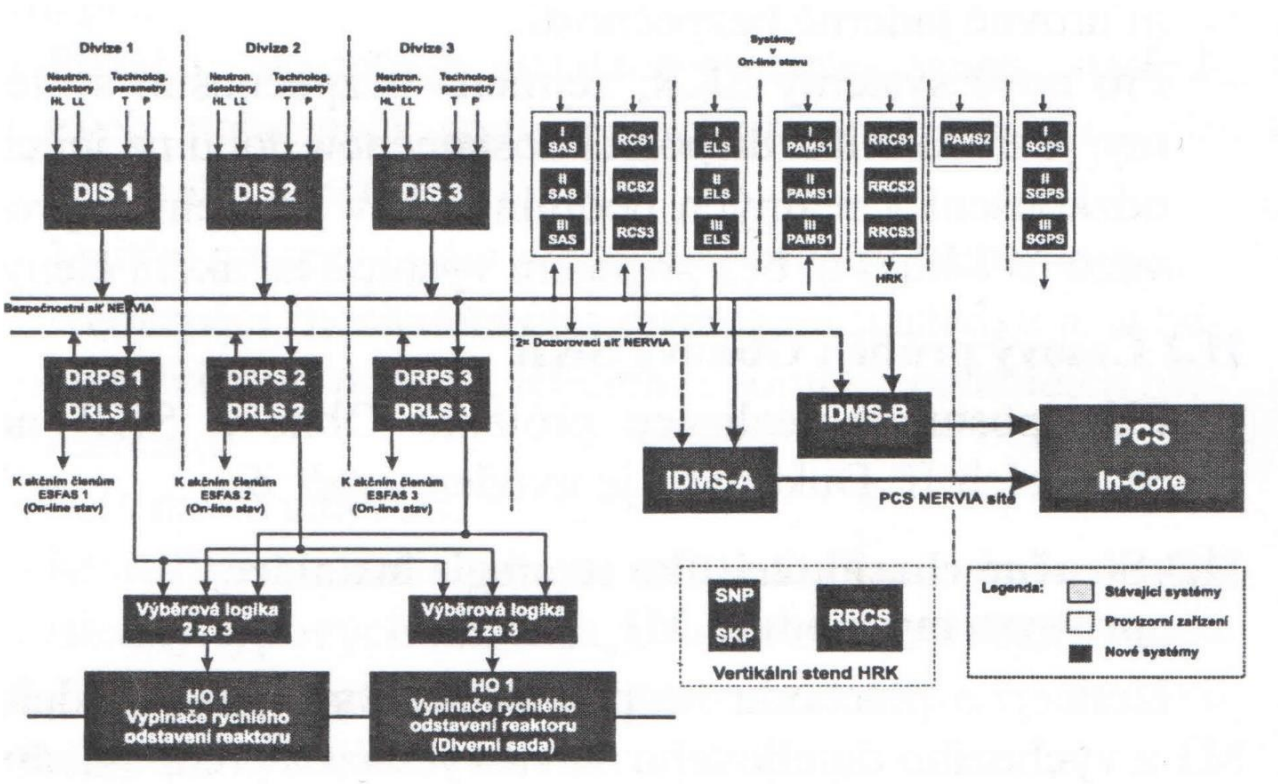
Obrázek 7: Stav konfigurace systémů SKŘ krocích 1+2. Kroky 3+4 – kampaň mezi odstávkami a 2. odstávka (krátká) [8]



Obrázek 8: Stav konfigurace systémů SKŘ po krocích 3+4 – hlavní části modulů M1 a M2. Kroky 5+6 – kampaň mezi odstávkami a 3. odstávka (krátká) [8]



Obrázek 9: Stav konfigurace systémů SKŘ po krocích 5+6 – hlavní části modulů M1 a – M2.Kroky 7+8 – kampaň mezi odstávkami 4. odstávka (dlouhá) [8]



Obrázek 10: Stav konfigurace systémů SKŘ po 4. odstávce– finální uspořádání modulů M1 a M2[8]

5.10. Moduly M3, M4 a M5

Druhá fáze obnovy systémů SKŘ se týkala modulů M3, M4 a M5. Jejich zhotovení proběhlo mezi lety 2007–2017, kdy byla dokončena modernizace na všech výrobních blocích. Moduly M3 – M5 se týkaly výměny řídících systémů primárního okruhu, turbíny a sekundárního okruhu. I na těchto modulech se měnily původní systémy za nové, které obsahují nový hardware a software odpovídající jaderné bezpečnosti. Systémy byly rozděleny do kategorií odpovídající úrovní bezpečnosti. Tyto systémy jsou založeny na automatizačním systému ZAT Plant Suite MP, kterou zajistila firma ZAT a.s., jenž se ve spolupráci s firmou Škoda JS podílela na obnově SKŘ. [13] [14]

Tabulka 4: Třídy bezpečnosti pro moduly M3, M4 a M5 [14]

Typ	Úroveň řízení	Kategorie bezpečnosti
hardware	Technologická	A
		B
	Procesu	C
	Operátorská	C
software	Technologická	B
	Procesu	C
	Operátorská	C

Při obnově SKŘ jsou použity čtyři platformy (A, B, C1, C2), které jsou použity k realizaci funkcí dané kategorie bezpečnosti (A, B, C, N) dle normy ČSN UEC 61226.

Tabulka 5: Původní značení systémů pro moduly M3, M4 a M5 [14]

Původní zařízení (nahrazované)	Použitá platforma			
	A	B	C1	C2
Části reléových automatik primárního okruhu RAPO	x	x	x	
Části regulačního systému primárního okruhu KASKAD	x	x	x	
Části reléových automatik sekundárního okruhu RASO	x	x	x	
Části regulačního systému turbíny TVER		x		
Části zabezpečovacího systému bloku ZSB		x		x
Části zabezpečovacího systému turbogenerátoru ZSTG		x		x
Části automatik DIAMO-K DASO		x	x	
Části regulačního systému sekundárního okruhu MODIN		x	x	
Regulační systém turbíny TVER plnící funkci regulaci otáček turbosoustrojí				x

Obnovené systémy SKŘ byly následně rozděleny na dílčí podsystémy. Rozdělení bylo provedeno z hlediska jejich poslání a z hlediska významu na bezpečnosti.

Tabulka 6: Nové značení systémů pro moduly M3, M4 a M5 [14]

Název nového dílčího systému	Zkratka
Blokový nadřazený diagnostický a informační systém	DIAG
Řídící systémy bloku – primár	ŘSBP
Řídící systémy bloku – sekundár	ŘSBS
Řídící systémy bloku – turbína	ŘSBT
Řídící systémy bloku – bloková dozorna	ŘSBB
Řídící systémy bloku – nouzová dozorna	ŘSBN
Řídící systémy bloku – systém vlastní spotřeby bloku elektro	ŘSBE

5.11. Nově instalované systémy

a) Systém DIAG

Systém DIAG je blokový diagnostický systém, který zajišťuje sběr a zpracování dat mimo systém PCS. Provádí diagnostiku dat, či vstupních signálů SKŘ na vyšší úrovni. Taktéž zpracovává signály o poruchách. Dále zobrazuje data z bloků a poskytuje časové synchronizace mezi systém DIAG a PCS, či dalšími systémy, které byly nově nainstalovány.

b) Systém ŘSBP

Řídící systémy primárního okruhu (ŘSBP) slouží k řízení technologických zařízení primárního okruhu. Zajišťují řídící a informační funkce systémů RAPO a KASKAD. Provádí sběr provizorních a diagnostických údajů z měřících obvodů, akčních členů a ostatních zařízení. Zpracovávají údaje a zajišťují jejich přenos do systému DIAG.

c) Systém ŘSBS

Řídicí systémy sekundárního okruhu bloku (ŘSBS) slouží k řízení technologického zařízení sekundárního okruhu kromě turbosoustrojí a jeho příslušenství. Zajišťují řídící a informační funkce systémů RASO a MODIN a části systému DASO. Sbírají a zpracovávají data, která jsou dále zasílána do systému DIAG.

d) Systém ŘSBT

Systém ŘSBT má na starosti turbosoustrojí a jeho příslušenství. Zajišťuje funkce systému TVER, ZSB a ZSTG a části systému DASO.

e) Systém ŘSBB, ŘSBN

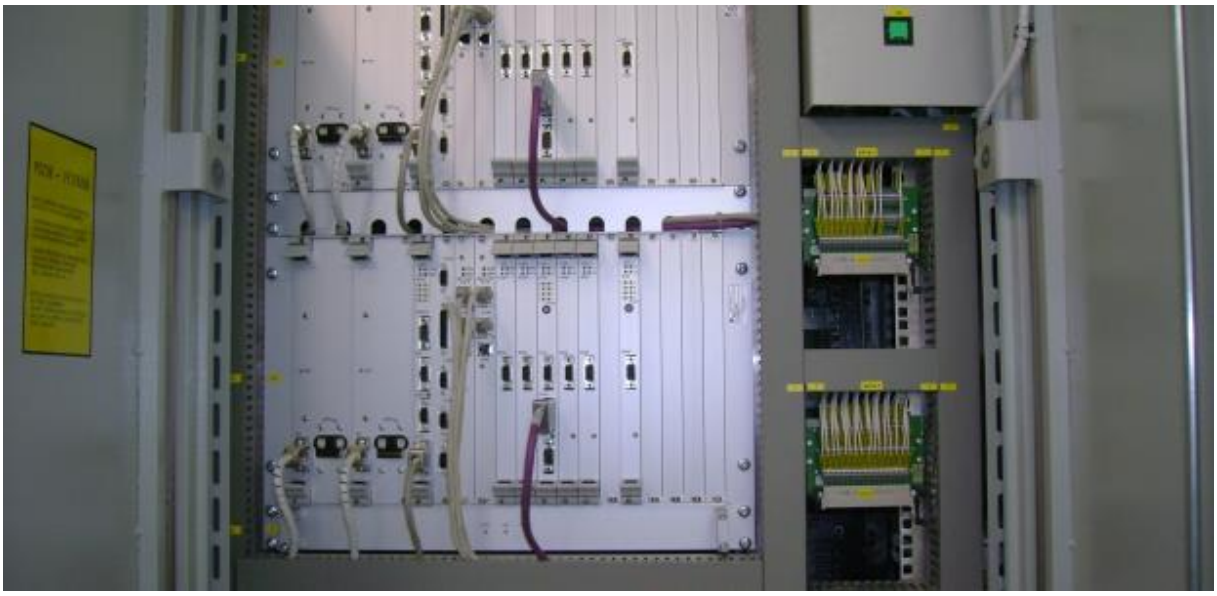
Automatizační systémy ŘSBB A ŘSBN jsou určeny k digitalizaci odbočených analogových signálů přiváděných do blokové a nouzové dozorny, k realizaci algoritmů zpracování poruchových signálů a dalších řídících funkcí dostupných v prostorách blokové a nouzové dozorny.

f) Systém ŘSBE

Systém ŘSBE, který je umístěn v blokové dozorně, slouží ke sledování a řízení elektrické části zařízení. Zajišťuje řídící a informační funkce původního řídícího systému vlastní spotřeby bloku, sběr provozních a diagnostických údajů, ověřování platnosti, zpracování uvedených dat a jejich přenos do elektrické dozorny.

Dále byly při realizaci tohoto projektu instalovány nové skříně a panely, přičemž byla zachována původní kabeláž.

[14]



Obrázek 11: Rozvaděče modul M3, M4, M5 [15]

6. Program Využití projektových rezerv (VPR)

Program Využití projektových rezerv zahrnuje dvě hlavní myšlenky: zvýšení tepelného výkonu reaktoru a zároveň rekonstrukci některých zařízení, u kterých docházelo k vyplnění jejich projektované životnosti. Podobný program byl proveden i na jiných elektrárnách (např JE Paks) a byl i doporučen projektanty reaktoru VVER 440. [7]

Pro EDU bylo rozhodnuto o navýšení výkonu o 5 %. V úvahu se bralo namáhání tlakové nádoby reaktoru, konstrukce sekundárního okruhu s jeho projektovými rezervami a další zařízení. Některá by však vyšší výkon nepřinesla. Proto byla schválena rekonstrukce těchto zařízení, která navíc byla před koncem své projektované provozní životnosti. Jde primárně o vysokotlakou část TG, stator elektrického generátoru a blokový transformátor. [7] [16]

Celkový výkon všech bloků po rekonstrukci byl navýšen na 2 000 MWe. Dále bylo účelem projektu zajistit technologické podmínky pro provoz za zvýšeného provozu do konce plánované životnosti. [16]

Tabulka 7: Porovnání parametrů EDU pro původní a navýšený výkon reaktoru [7]

	Původní stav	**Současný stav**	
Tepelný výkon aktivní zóny	100 1375	105 1444	% MWt
Hmotnostní průtok chladiva reaktorem	8783,7	8765,9	kg/s
Střední teplota na vstupu do reaktoru	267	267,7	°C
Střední teplota na výstupu z reaktoru	291,1	299,2	°C
Střední ohřev chladiva na reaktoru	30,1	31,5	°C
Jmenovitý výkon TG	220	250	MWe
Jmenovitý hmotnostní průtok páry	1350	1417,5	t/h
Teplota chladící vody	20	20	°C
Tlak páry na vstupu do turbíny	4,315	4,318	MPa
Teplota páry na vstupu do turbíny	254,86	254,9	°C

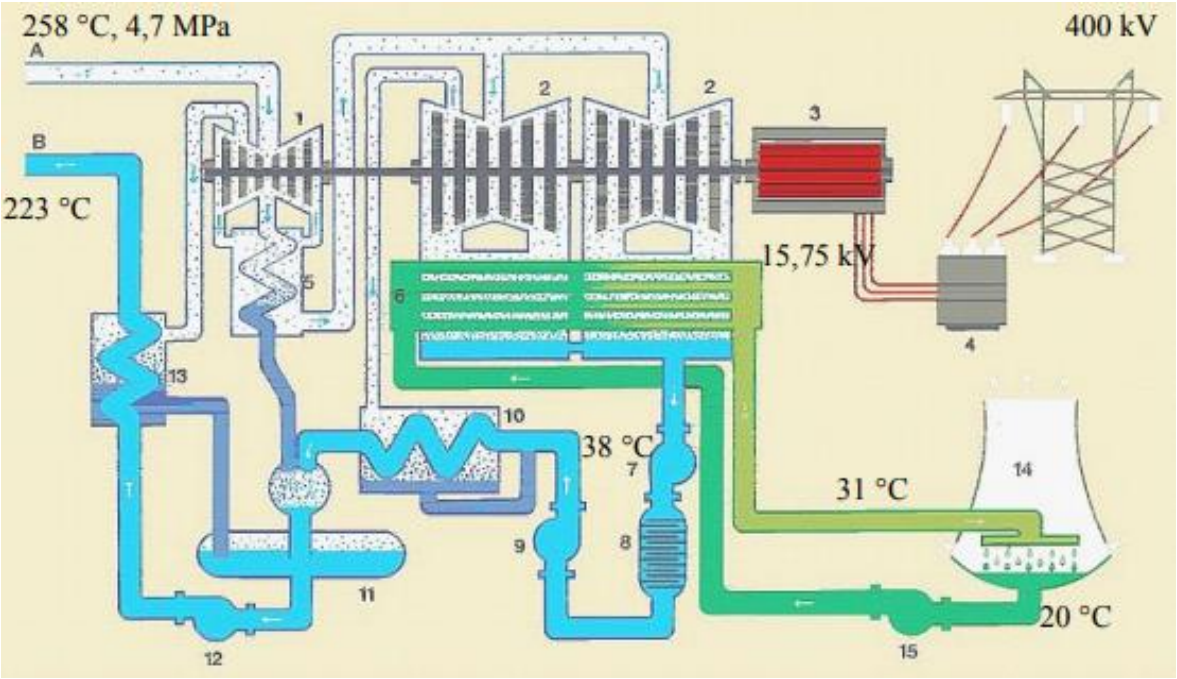
6.1. Seznam provedených modifikací

Mezi provedené modifikace patří:

- **Modernizace VT dílů TG EDU**
- **Úprava statorů generátorů**
- **Náhrada měřících dýz a vysokotlakých odlučovačů na parovodech**
- **Zvýšení hltnosti přepouštěcích stanic do kondenzátorů**
- **Regulace hladiny v hlavním kondenzátoru**
- **Modernizace blokových transformátorů**
- **Rekonstrukce vyvedení výkonu generátorů**

Na tyto dílčí projekty navazovaly:

- **Upgrade systému SCORPIO – VVER**
- **Zpracování programu a realizace ověřovacího měření na 3. reaktorovém bloku**
- **Zpracování programů, realizace a vyhodnocení zkoušek a testů pro náběh bloku na vyšší výkon**
- **Zabezpečení složení a transportu těžkých břemen uvnitř areálu elektrárny**



Obrázek 12: Schéma sekundárního a cirkulačního chladícího okruhu [2]

6.2. Modernizace VT dílů TG EDU

Na EDU je instalováno osm turbosoustrojí, které obsahují VT díly. Ten má dva dvouproudové uspořádání průtočných částí a v každém proudu je šest rovnotlakých stupňů. Původní díly byly prověřeny z hlediska výkonu, životnosti a optimalizace provozu. Potřebná změna v konstrukci průtočné části je navržena i s uvažováním, že životnost VT těles končila v letech 2010-2011. [7]

V rámci úpravy VT dílu se provedly tyto modifikace:

- Výměna VT rotoru za nový s modernější konstrukcí
- Výměna rozváděcích kol VT dílu
- Výměna vnitřního tělesa VT dílu
- Osazení VT dílu kompletní sadou vnějších a vnitřních ucpávkových kroužků
- Vybavení olejových prostorů u VT dílu novými olejovými vložkami
- Repase předního a zadního ložiska
- Modernizace regulačních ventilů (změna utěsnění vřetene regulačních ventilů a obtokového ventilu)
- Repase vnějšího tělesa VT dílu

Mezi některé požadavky bylo zahrnuto umožnit trvalé snížení relativní měrné spotřeby tepla na vyrobenou kWh, trvalé přetížení turbosoustrojí při 105 % jmenovitého tepelného výkonu, životnost komponent minimálně 280 000 provozních hodin a další konkrétní technické požadavky. Modernizace byla příhodná i z pohledu užití nových technologických možností, které zvýší celkovou účinnost. [7] [16]

6.3. Úprava statorů generátorů

Byla provedena instalace čtyř nových statorů generátorů včetně vnějších koster. Za účelem této rekonstrukce bylo zajištění požadované provozuschopnosti generátorů na zvýšeném výkonu z původních 259MVA na 300 MVA.

Tabulka 8: Cíle úpravy při maximální teplotě chladící vody 34 °C [7]

Zdánlivý výkon generátoru	300 MVA
Činný výkon	255 MW
cos φ	0,85
Jmenovité napětí	15,75 kV ± 5%
Jmenovitý proud statoru	11 000 A
Jmenovitý kmitočet	50 Hz ± 2%
Jmenovité otáčky	3000 min-1

Obrázek 13: Stator generátoru [17]

6.4. Modernizace blokových transformátorů

Bylo potřeba modernizovat šest stávajících blokových transformátorů a dodávka třech nových. Takto je zajištěna provozuschopnost po dobu plánované životnosti a zabránění možným nekontrolovatelným výpadkům. Dále bylo cílem snížení ztrát blokových transformátorů podle nových technologických možností. [7] [16]

6.5. Rekonstrukce vyvedení výkonu generátorů

Kvůli zvýšení jmenovitého proudu z 10 kA na 11 kA byly nutné některé modifikace. Jde o výměnu a přemístění kondenzátorů u generátorového vypínače, úpravu připojení generátorového vypínače a blokových transformátorů na zapouzdřené vodiče a úpravu zapouzdřených vodičů v uzlu generátoru a ve fázových vývodech. [7]

Obrázek 14: Vyvedení elektrického výkonu [18]

6.6. Realizace

Realizace díla začala v roce 2007 a skončila v roce 2012. Modifikace se prováděly při pravidelných odstávkách, nejdříve vždy na 3. reaktoru

Tabulka 9: Harmonogram provedených akcí Programu VPR [16]

FUNKČNÍ CELEK	Reaktorový blok	TERMÍN REALIZACE
Náhrada měřících dýz a VT odlučovačů na parovodech	3 2 1 4	3.2.2007-4.3.2007 10.3.2007-10.4.2007 8.9.2007-13.11.2007 24.11.2007-26.12.2007
Zabezpečení složení a transportu těžkých břemen uvnitř areálu elektrárny	3 a 4 1 a 2	22.4.2008-30.9.2008 30.4.2009-18.9.2009
Modernizace VT dílů turbogenerátorů	3 4 1 2	10.1.2009-4.4.2009 10.10.2010-28.12.2010 28.8.2011-13.11.2011 26.2.2012-13.5.2012
Úprava příčných kolejí před strojovnami 1. a 4. bloku		9.7.2007-14.10.2007
Úprava statorů generátorů	3 4 1 2	10.1.2009-4.4.2009 10.10.2010-28.12.2010 28.8.2011-13.11.2011 26.2.2012-13.5.2012

Díky tomuto projektu byla prodloužena životnost částí sekundárního okruhu a zároveň navýšen výkon. [19]

7. Příprava k dlouhodobému provozu EDU

Po dokončení Programu MORAVA měla elektrárna dobrý předpoklad k zajištění LTO (Long term operation). V roce 2007 byla zpracována technicko-ekonomická studie proveditelnosti LTO EDU a riziková analýza. V roce 2008 proběhla expertní mise SALTO Peer Review jakožto součástí mise MAAE pro verifikaci náplně Programu zajištění LTO EDU. Též byla vytvořena dokumentace a ustanoven pracovní tým. Roku 2010 byl vytvořen program revalidace TLAA (Time Limited Ageing Analysis). [7]

V následujících letech proběhly follow-up mise MAAE, proběhlo prodloužení platnosti TLAA a byly předloženy výsledky PSR EDU (Periodic safety review) po 30 letech. [7]

Na základě těchto projektů byly realizované tyto akce v rámci přípravy LTO:

- Nápravná opatření z PSR
- Doporučení MAAE
- Akce zhodnocení připravenosti EDU na LTO dle SALTO mise MAAE
- Nápravná opatření ze stress testů

V letech 2005-2007 proběhlo PSR EDU po 20 letech. Nalezená opatření byla následně zrevidována misí MAAE a všechny nálezy jsou dnes již vyřešeny. [7]

Tabulka 10: Výsledky nálezů z PSR EDU po 20 letech [7]

Závažnost	Vysoká	Střední	Nízká	Velmi malá	Celkem
Počet	4	37	99	38	178

Obrázek 15: Reaktorový sál Dukovany [20]

8. Realizace LTO EDU

Mezi podmínky provozu JE z rozhodnutí Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) patří i předložení Programu zajištění LTO EDU. Před každým uváděním bloku do provozu po výměně paliva je předkládán Průkaz o připravenosti zařízení a personálu. Průkaz o připravenosti zařízení je rozdělen na 7 částí:

- Organizační uspořádání pro zajištění připravenosti zařízení
- Sběr data udržování záznamů
- Výběr SKK (Systém, konstrukce (stavba), komponenta) pro řízené stárnutí
- Zhodnocení řízení stárnutí
- Hodnocení aktuálního stavu SKK
- Vývoj, realizace, optimalizace programů řízeného stárnutí
- Komplexní posouzení

[7]

8.1. Organizační uspořádání pro zajištění připravenosti zařízení

Firma ČEZ má zavedeno procesní řízení. Pro prodlužování životnosti je důležitý útvar péče o majetek. Tento útvar se nadále dělí na podútvary, které každé mají své kompetence a povinnosti.

Řízení procesu Péče o majetek je prováděno dle stanovené dokumentace. Na soubor řídící dokumentace navazuje soubor metodik. Péče o majetek je založena na několika principech týkajících se kategorizace SKK a specifických zařízení. Specifická zařízení a SKK jsou kategorizována do několika úrovní dle kritičnosti a důležitosti, pro které jsou vyhotoveny konkrétní programy preventivní údržby a řízení stárnutí. U SKK se sleduje především výkonnost, stárnutí a sledování poruchových mechanismů. [7]

a) Útvary péče o zařízení
    - Tyto útvary stanovují a implementují program péče o majetek, vyhodnocují stav SKK a přijímají opatření v režimu provozu. Dále monitorují stav vybraných SKK, provádí kontrolu kvality výkonu údržby a diagnostické kontroly zařízení.
b) Útvary provozu
    - Tyto útvary převážně monitorují stav SKK za provozu a chemické režimy. Nadále provádí provozní zkoušky a pořizují data pro hodnocení výkonnosti, spolehlivosti a stárnutí.
c) Útvar správa projektu JE
    - Zde se provádí periodické hodnocení řízení stárnutí, či kontrola dokumentace Programu LTO
d) Útvar technická bezpečnost
e) Útvar jaderná bezpečnost
f) Útvar nákup
g) Útvar inženýring JE
h) Útvar řízení aktiv [7]

8.2. Sběr dat a udržování záznamů

Pro sběr a vyhodnocení dat pro řízení údržby a udržování informací, které souvisejí s údržbou, existuje Informační systém údržby. Jádro tohoto systému tvoří softwarové aplikace, které mají za úkol zpracovat alfanumerická a grafická data a vytvořit výstupy pro evidenci dokumentů LTO a dalších podprogramů.

Mezi vstupy se řadí požadavky na nějakou činnost z pohledu řízení stárnutí. Mezi ně se řadí:

- Pořízení nebo změna alfanumerických nebo grafických dat pro konkrétní zařízení
- Nastavení nebo změna péče o zařízení nebo komponentu
- Vytvoření nebo aktualizace pracovního postupu pro zařízení či komponentu
- Nastavení nebo změna systému kontrol pro zařízení nebo komponentu
- Nastavení či změna monitoringu parametrů u definovaného zařízení

V roce 2016 byla dokončena analýza dostupných softwarových nástrojů. Byl proveden výběr softwaru pro zakreslení potrubních tras a vybraných svarových spojů, kde do té doby byly nedostatky v datové registraci.

Jedna z nejpodstatnějších aplikací je LTO Suite. Tato aplikace má mnoho modulů, které zpracovávají různé programy řízení stárnutí, hodnotí aktuální stav systémů a na kterou jsou napojeny další podpůrné aplikace. [7]

8.3. Výběr SKK pro řízení stárnutí

V rámci kategorizace, výběru a hodnocení zařízení pro LTO jsou používány 2 postupy, a to Scoping a Screening.

a) Scoping

Scoping je proces výběru zařízení určeních k hodnocení pro LTO z pohledu jejich bezpečnostní významnosti. Jako zdroj dat byla použita základní množina zařízení registrovaných v JE EDU. Scoping byl nadále prováděn ve čtyřech krocích neboli kritériích.

1. a 2. kritérium zahrnují deterministický přístup. To znamená zahrnutí některých položek (např. matice, podložky, závitová hnízda...), které jsou součástí velkých komponent. Dále šlo o využití výstupů z projektu Efektivní strategie údržby.

3. kritérium se řídí pravděpodobnostním přístupem. Zde jsou data použita na základě metodiky ÚJV Řež pomocí výběru pro diferencovaný přístup řízení životnosti.

4. kritérium obsahuje součásti, které jsou posouzeny na základě doporučené praxe. [7]

b) Screening

Screening neboli identifikace zařízení je typ analýzy zaměřený na vyloučení faktorů méně významných pro ochranu a bezpečnost. Díky tomu je možné se soustředit na důležité faktory.

Konkrétně v případě LTO se jedná o proces výběru zařízení z rozsahu daným Scopingem, pro které je nutné prokázat, že je jejich stárnutí řízeno odpovídajícím způsobem. [7]

c) Specifika Scopingu a Screeningu

Specifické položky registru zařízení EDU, které se chápou jako součást nadřazené komponenty, nemusí být uvedeny ve výsledné databázi Scopingu a Screeningu. Přesto jsou tato zařízení v rámci připravenosti k dlouhodobému provozu zvažována, a to v rámci hodnocení stavu nadřazené komponenty.

Jedná se zejména o:

- Matice, podložky, závitová hnízda, spoje, svary
- Nosné konstrukce a závěsy potrubních tras
- Kotvící prvky zařízení
- Vnitřní části strojních zařízení (hřídele, ložiska, oběžná kola, ucpávky, těsnění apod.)
- Obvodové prvky signalizace a ovládání elektro, SKŘ
- Signály, příslušenství čidel, ventilky, nádoby na měření apod.
- Vnitřní konstrukce skříní a rozvaděčů, upevňovací přístrojové prvky
- Kabelové konstrukce
- Utěsňování kabelových a potrubních prostorů
- Nehermetické kabelové průchodky

[7]

Následně je vytvořena databáze Scopingu a Screeningu, dle které se podávají informace do hodnocení v rámci LTO. [7]

Obrázek 16: Strojovna Dukovany [20]

8.4. Zhodnocení řízení stárnutí

Řízení stárnutí je proces, který zajistí, že dané zařízení bude vykonávat svou funkci minimálně do okamžiku další kontroly. V praxi to znamená, že pro každé zařízení musí být každý známý degradační mechanismus řízen odpovídajícím způsobem.

Zhodnocení řízení stárnutí je rozčleněno do 4 podkapitol.

a) Výstupy hodnocení KK – konstrukcí a komponent

Pro zařízení, která byla ve výsledné množině po provedení screeningu, je následně provedeno zhodnocení současného stavu řízení stárnutí AMR. (Ageing Management Review)

Zhodnocení postupuje dle následujících kroků:

- Identifikace TLAA a ověření platnosti TLAA
- Identifikace významného dopadu stárnutí
- Ověření řízení dopadu stárnutí
- Hodnocení současného stavu zařízení

Identifikace TLAA se provádí souběžně s ostatními body. Identifikace významného dopadu stárnutí vychází z porozumění stárnutí daných zařízení. Dopady stárnutí a degradační mechanismy jsou určovány na základě analýz z oblastí projektu, materiálů a jejich vlastností a provozních podmínek. Pro ověření řízení dopadu stárnutí se používají stávající metody monitorování, detekce a predikce. Následně je zhotoveno hodnocení, které je prováděno ze dvou pohledů. Jde o pohled na analýzu současného stavu péče o zařízení a o zobecnění světové zkušenosti a doporučení z ní vyplývajících. [7]

b) TLAA (Hodnocení stárnutí s časově omezenou platností)

Účelem obnovy TLAA bylo obnovení platnosti výpočtů a hodnocení zařízení JE eventuálně životnosti zařízení omezené původně–technickou dokumentací (PTD_{TLL}) po uplynutí původních časových předpokladů.

Pro řešení byly využity mezinárodní zkušenosti s prodlužováním životnosti JE. Na základech těchto zkušeností byla provedena identifikace, evidence, hodnocení a případná revalidace TLAA nebo PTD_{TLL} jaderné elektrárny. Byla provedena analýza materiálu (destruktivní i nedestruktivní zkoušky) vyřezaných komponent jako armatur, potrubí, svarů, částí čerpadel atd. na pozicích s významnou provozní zátěží.

Po mnohaletém zkoumání byla v roce 2017 platnost posuzovaných dokumentů TLAA a PTD_{TLL} obnovena s tím, že řešiteli zvolený postup k prodloužení platnosti je konzervativní na straně bezpečnosti. [7]

c) SSHZ (Specifická souhrnná hodnotící zpráva)

SSHZ je jedním z typů specifických zhodnocení. Tato zpráva obsahuje závěry hodnocení, která sice jsou v rozsahu LTO, ale neprovádělo se u nich hodnocení AMR. Specifická zhodnocení jsou tvořena zprávou pro kabeláž, armatury s pohonem, zařízení elektro, zařízení SKŘ a RMSS.

Ze závěrů zpráv vyplívá, že elektro EDU a SKŘ je schopné bezpečného a spolehlivého provozu minimálně po dobu dalších 10 let (tzn. minimálně do roku 2027). Pro ostatní hodnocené komponenty je vyhodnoceno, že jsou dodržovány předepsané údržby a jsou schopny plnit své projektové funkce pro další provoz v rámci LTO. [7]

d) ESÚ (Efektivní strategie údržby)

Účelem ESÚ je optimalizace programů preventivní údržby důležitých zařízení. Realizace spočívá v několika krocích. Jde o rozdělení technologických systémů, jejich definování, kategorizování a následně vytvoření šablon údržby. Nakonec se vypracuje závěrečná zpráva, která shrnuje všechny předchozí body. [7]

8.5. Hodnocení aktuálního stavu SKK

Hodnocení stavu SKK se provádí za účelem podání uceleného přehledu o aktuálním stavu systému programů péče o SKK. Umožňuje tak predikovat vývoj stavu systému a včas reagovat na případný negativní vývoj.

Hodnocení se provádí v 7 oblastech. Tyto oblasti jsou:

- Bezpečnost
- Nedostatky a provozní události
- Fyzický stav
- Ekonomika údržby
- Ztráty na výrobě
- Technické změny a jmenovité akce
- Hodnocení stárnutí

Každá oblast má své specifické ukazatele a kritéria hodnocení. Specifické ukazatele jsou odvozeny od indikátorů spolehlivosti a výkonnosti. Kritéria pro hodnocení jsou stanovena v pracovní dokumentaci.

Po provedení hodnocení SKK byl vytvořen závěr, že za předpokladu stávajícího řízení stárnutí a dodržování předepsané údržby jsou hodnocené komponenty schopné plnit svoje projektové funkce v rámci LTO. [7]

8.6. Vývoj, realizace, optimalizace programů řízeného stárnutí

Program řízeného stárnutí (PŘS) vytváří předpoklady pro zajištění požadované kvality informací nezbytných pro hodnocení a řízení stárnutí mnoha zařízení. PŘS zahrnuje tři základní kroky:

1. Výběr zařízení JE, pro které by mělo být stárnutí hodnoceno
2. Porozumění dominantním dopadům stárnutí a mechanismům stárnutí, vyvinutí účinných a použitelných metod pro monitorování a zmírňování dopadů jejich stárnutí
3. Řízení degradace vlastností vybraných zařízení způsobených stárnutím pomocí realizace účinných opatření v oblasti provozních kontrol, údržby a řízení provozu [7]

Na elektrárně je momentálně v provozu mnoho programů řízeného stárnutí, pro které jsou vytvořeny specifické metodiky. Mezi bezpečnostně významná SKK patří:

- PŘS reaktoru
- PŘS kompenzátoru objemu
- PŘS parogenerátoru
- PŘS hlavního cirkulačního čerpadla
- PŘS hlavní uzavírací armatury
- PŘS potrubních tras
- PŘS hraničních armatur

PŘS byly zpracovány pro potenciální degradační mechanismy, které se mohou na zařízení EDU vyskytovat a pro další specifická zařízení.

Degradační mechanismy sledované a hodnocené v rámci PŘS:

- **Nízkocyklová únava**
- **Radiační křehnutí**
- **Erozně-korozní poškozování**
- **Tepelné stárnutí**
- **Korozní praskání pod napětím**
- **Vysokocyklová únava**
- **Koroze (štěrbinová, pitting, působením kyseliny borité)**
- **Mechanické opotřebení / otěr**
- **Ztráta předpětí šroubových spojů způsobená zvýšenou teplotou a jejími změnami**
- **Další mechanismy**

Specifická zařízení:

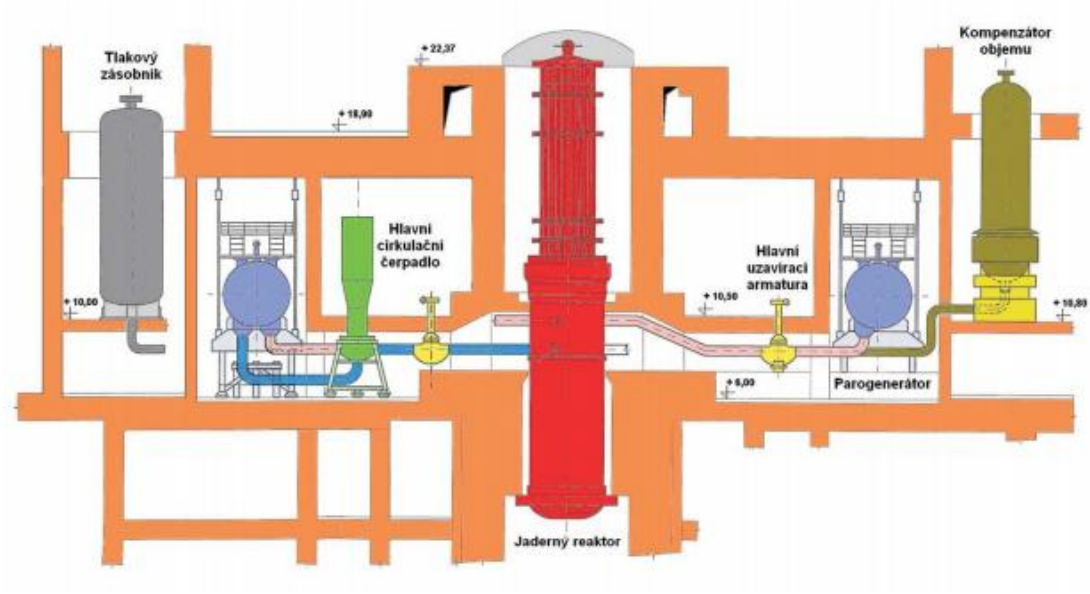
- **TNR (Tlaková nádoba reaktoru)**
- **Bezpečnostní kabely**
- **Kontejnmenty**
- **Bazény skladování**

Na EDU je momentálně v provozu 30 PŘS. Ty mají za úkol sledovat degradační mechanismy a dopady stárnutí. Dále jsou vyjmenovány a popsány některé z nich. [7]

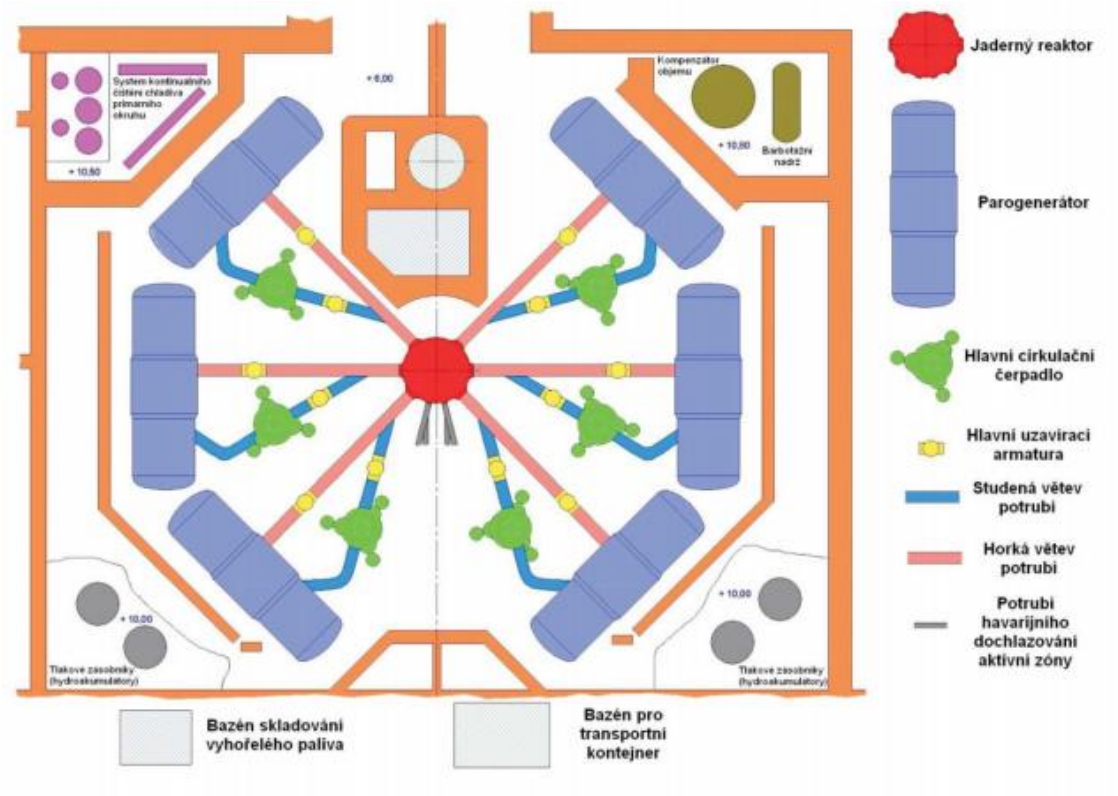
a) PŘS nízkocyklová únava na JE – strojní zařízení pasivní

Pro hodnocení stárnutí zařízení, která jsou vystavena účinkům nízkocyklové únavy, se používá software DIALIFE. Tento software pozoruje únavu u těchto komponent:

- **Reaktor**
- **Parogenerátor**
- **Kompenzátor objemu**
- **Hlavní uzavírací armatura**
- **Hlavní cirkulační čerpadlo**
- **Potrubí systémů TC, TH, TJ**
- **Spojovací potrubí ke kompenzátoru objemu**
- **Potrubí mezi kompenzátorem objemu a barbotážní nádrží** [7]



Obrázek 17: Vertikální řez primárním okruhem reaktoru VVER – 440 [9]



Obrázek 18: Schéma primárního okruhu reaktoru VVER – 440 [9]

b) PŘS Erozní koroze – potrubí sekundárního okruhu JE

Zařízení sekundárního okruhu, které jsou pod vlivem účinků erozní koroze (koroze urychlená prouděním média), podléhají periodickému sledování a analýzy. Analýzy jsou prováděny s podporou SW nástrojů a pravidelným zajišťováním vstupů do těchto softwarů. Jde o sledování tloušťky stěny či chemické složení potrubní komponenty. Toto sledování probíhá při pravidelných odstávkách.

Výstupy predikční analýzy jsou prováděny pro každou potrubní komponentu (koleno, T – kus, přímá část apod.). Mezi výsledky se řadí:

- Predikovaná tloušťka stěny potrubní komponenty
- Erozně korozní rychlost
- Doba do dosažení kriteriální tloušťky stěny
- Termín další kontroly či výměny

Postupem času bylo sledování rozšířeno o monitorování svarů na dotčených trasách a o monitorování potrubí malých průměrů. Dále byl tento program rozšířen o monitorování poškození plášťů nádob. Cílem programu je mít aktuální informace o stavu potrubní trasy a trvale ji udržovat v provozuschopném stavu. [7]

c) PŘS tlakových nádob reaktorů

Předmětem tohoto programu je zajištění znalosti TNR a trendu čerpání zbytkové životnosti. Díky tomu je možné zavádět včasná opatření pro zmírnění provozních podmínek.

Hodnocení životnosti TNR prodělalo mnoho změn v posledních letech. První změna byl posun z teplotního přístupu na přístup s využitím lomové mechaniky. Následný posun byl, kdy „tradiční kritická teplota křehkosti Tk“ byla rozšířena o teplotu T_0 stanovenou ze zkoušek lomové houževnatosti.

K pozorování chování materiálu TNR slouží „svědečný program“, kde se na speciálních vzorcích sledují degradační změny vlastností materiálu. Převážně jsou to změny způsobené radiačním křehnutím po dlouhodobém ozařování materiálu.

Nadále jsou v pravidelných intervalech prováděny provozní kontroly nedestruktivními metodami. Tímto je při provozu sledována míra degradace vlivem ozáření neutrony. Kvůli radiaci dochází ke zkřehnutí materiálu tlakové nádoby v oblasti aktivní zóny. Rozsah ozáření postihuje chování základního materiálu, svarového kovu, tepelně ovlivněné oblasti svarových spojů a návaru. [7]

d) PŘS armatury s pohony

Pro řízené stárnutí armatur s pohony jsou sledované a hodnocené tyto degradační mechanismy:

- Mechanické namáhání
- Termické namáhání
- Zatížení pracovními cykly
- Únava částí armatur

Působením uvedených vlivů dochází časem a intenzitou užívání k postupnému zhoršování fyzikálních charakteristik konstrukce či komponent armatury a pohonu. Jako dopady této degradace může být porušení vnitřní těsnosti armatury, ztráta integrity, mechanické opotřebení vnitřních částí a převodového ústrojí či degradace izolačního systému elektrického motoru servopohonu. [7]

e) PŘS bezpečnostní kabely JE

Tento program sleduje životnost a provozování bezpečnostně významných kabelů v JE. Jsou zde zařazené kabelové trasy, které jsou vystaveny za normálního provozu radiačnímu, tepelnému, mechanickému, tlakovému a chemickému namáhání. Mezi degradační mechanismy, které se zde projevují, jsou sledovány:

- Oxidační degradace vlivem ionizujícího záření
- Vliv teploty
- Vlhkost, pára, voda
- Katalytická reakce
- Působení chemických látek
- Jouleův (Ohmický) ohřev
- Mechanické namáhání

Hlavní sledované parametry popisují elektrické a mechanické vlastnosti, které hrají roli při procesu stárnutí izolace kabelů. Neustále se v EDU měří teplota, vlhkost, dávkový příkon ionizujícího záření a fluence tepelných a rychlých neutronů. [7]

f) PŘS rizikových míst se svarovými spoji v JE

Účelem tohoto programu je poskytnout postup pro stanovení stupně rizika a stavu rizikových míst se svarovými spoji. Cílem je stanovit vhodná nápravná opatření pro zajištění jejich bezpečného a ekonomického provozu. [7]

g) Komponentní PŘS

Některé SKK jsou zařazená do skupin s řízením životnosti komponentních PŘS. Dříve se tyto programy označovaly PŘŽ (program řízené životnosti). Tyto programy sledují degradační mechanismy a dopady stárnutí. Existují tyto programy:

- PŘŽ reaktoru
- PŘŽ hraničních armatur BT1 JE
- PŘŽ bezpečnostně významné kabely
- PŘŽ HCČ
- PŘŽ PG
- PŘŽ hlavních uzavíracích armatur
- PŘŽ kompenzátoru objemu
- PŘŽ bazénů skladování a výměny paliva
- PŘŽ kontejmentů EDU, ETE
- PŘŽ potrubních tras a úseků BT1 JE
- PŘŽ vysokoenergetického potrubí JE ČEZ
- PŘŽ chladících věží EDU
- PŘŽ blokový výkonový olejový transformátor
- PŘŽ generátory
- PŘŽ turbíny

Většina těchto programů člení danou komponentu na části, které slouží k snazšímu řízení životnosti. Hodnocení životnosti těchto programů je vždy v souladu s danou pracovní dokumentací. Každá dokumentace definuje rozsah, parametry a způsob hodnocení dané komponenty. Cílem těchto programů je zajištění bezpečného a ekonomického provozu. Ze zprávy z roku 2017 vyplývá, že všechny komponenty jsou schopné bezpečného a spolehlivého provozu minimálně dalších 10 let. [7]

8.7. Komplexní posouzení (KOPO)

Komplexní posouzení slouží k důkladnému posouzení dokumentace, která je zpracována pro průkaz připravenosti zařízení k dlouhodobému provozu (LTO). Prověřuje se ucelenost jednotlivých výroků a informací a sumarizují se základní data z pohledu dlouhodobého provozu EDU. [7]

Komplexní prověření SKK má danou strukturu, dle které se řídí:

a) Rozsah prověřované dokumentace
   - V rámci KOPO je provedena analýza jednotlivých dokumentů, například TLAA či PTD_{TLL}

b) Současný stav řízení stárnutí
   - Dopady stárnutí

     Identifikované degradační mechanismy a dopady stárnutí jsou v rámci posuzované dokumentace prověřeny, tak aby byla zachována ucelenost jednotlivých výroků a informací.
   - Ověření řízení dopadu stárnutí

     Identifikované dopady stárnutí jsou prověřovány, aby byly řízeny odpovídajícím způsobem. Poruchové mody jsou prověřeny z hlediska pokrytí preventivní údržby.
   - Nápravné opatření nebo doporučení.

c) Životnost zařízení
   - Časově omezené analýzy (TLAA, PTD_{TLL})

     Je prověřováno, že zařízení, která mají svou životnost omezenou časem nebo obsahují časově omezené předpoklady stárnutí zařízení, jsou platnými i pro provoz v rámci LTO.
   - Kvalifikovaná životnost

     Protokoly o kvalifikaci na vnější prostředí mají časem omezenou platnost. U dotčených zařízení je požadavek ověření funkční způsobilost v náročných podmínkách prostředí při projektové havárii. Je prověřeno, že protokoly jsou platné i pro provoz v rámci LTO.

d) **Aktuální stav zařízení**

- **Je prověřeno, že informace z aktuálního stavu zařízení, která má vliv na řízení stárnutí a dlouhodobý provoz, je zohledněna v dokumentaci průkazu připravenosti zařízení.**

e) **Závěrečné hodnocení**

- **Souhrnná informace o schopnosti systému pro bezpečný a spolehlivý provoz v rámci LTO**

Z hodnocení následně vzejdou hodnotící zprávy, které obsahují souhrnné informace z pohledu dlouhodobého provozu EDU.

a) **Rozsah prověřované dokumentace**

- **Uvádí výčet prověřované dokumentace**

b) **Současný stav řízení stárnutí**

- **Dopady stárnutí – uvádí výčet identifikovaných degradačních mechanismů, dopadů stárnutí a poruchových modů**
- **Ověření řízení dopadu stárnutí – uvádí, zdali jsou dopady stárnutí řízeny odpovídajícím způsobem**
- **Nápravné opatření nebo doporučení – seznam doporučení z prověřované dokumentace**

c) **Životnost zařízení**

- **Časově omezené analýzy – seznam dokumentace TLAA a PTD_{TLL}**
- **Kvalifikovaná životnost – seznam zařízení s kvalifikací**

d) **Aktuální stav zařízení – informace o aktuálním fyzickém stavu zařízení**

e) **Závěrečné hodnocení – souhrnná informace o schopnosti systému pro bezpečný a spolehlivý provoz v rámci LTO** [7]

9. Současný a budoucí provoz

Aktuálně elektrárna funguje dle platného harmonogramu. Probíhají pravidelné odstávky bloků pro výměnu paliva a pravidelné kontroly. EDU svojí výrobou pokrývá 20% spotřeby České republiky. Pro povolení k provozu musí splňovat požadavky zadané Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. [1]

9.1. Povolení k provozu bloků po 30 letech

Povolení k provozu vydává SÚJB. Momentálně fungují všechny 4 výrobní bloky JE EDU s povolením vydaným 19.12.2017. Toto povolení je vydáno na dobu neurčitou, jestliže budou splněny podmínky provozu. Mezi nimi je pravidelné dokládání Provozní bezpečnostní zprávy, provádění monitorování úrovně rizika a jejich předávání SÚJB, analýzy seismických rizik a další záležitosti týkající se lidských a finančních zdrojů v ohledu bezpečnosti. [21]

9.2. Budoucí provoz

Jak jsem již dříve zmínil, elektrárna by měla být v provozu minimálně do roku 2037 s tím, že je možnost prodloužení provozu až do roku 2047. Elektrárnu obsluhuje odborný personál, jehož kvalifikaci je věnována velká pozornost. Budoucí pracovníci elektrárny musí projít několika pohovory a testy, než jsou zaškoleni na vybrané pozice.

Z hlediska bezpečnosti patří EDU dle měřítek WANO mezi pětinu nejlépe provozovaných jaderných elektráren na světě. Toto hodnocení získalo díky úrovni provozování elektrárny, k níž patří již zmíněný dobře kvalifikovaný personál, využívání provozních zkušeností, provádění technických kontrol, úrovni radiační ochrany a mnoha dalších faktorů. Při pokračování v nynějším provozu by tak elektrárna měla být provozuschopná i v následujících letech. [1]

10. Závěr

Od spuštění všech bloků proběhlo na elektrárně mnoho projektů, které výrazně přispěly k prodlužování životnosti.

Na začátku práce uvádím důvody k prodlužování životnosti jaderné elektrárny. Zejména se jedná o hlediska energetická a ekonomická. Dále se věnuji akcím, které byly provedeny po spuštění všech bloků. O tom pojednává kapitola Programu Dokompletace. Tento program se následně překlenul v program MORAVA, který již rozčlenil potřebné práce a modifikace na elektrárně, jež bylo potřeba provést.

Následně se věnuji konkrétněji třem programům. Programy jsem popsal tak, jak proběhly časově za sebou. První program Obnova SKŘ se týkal převážně digitalizace systému kontroly řízení a modernizaci řídících systémů a elektronice na elektrárně. Program Využití projektových rezerv se týká navýšení výkonu elektrárny na 105 % a následných modifikací, které byly provedeny za účelem provozu o zvýšeném výkonu a prodloužení životnosti některých zařízení.

Program LTO se týká celkové přípravě na dlouhodobý provoz, jeho administrativního rozdělení na konkrétní programy, které nyní na elektrárně probíhají a které se zasluhují o správný provoz, údržbu a řízení stárnutí jaderné elektrárny.

Na závěr popisuji budoucí provoz a povolení k provozu JE. Elektrárna je dobře vedena, provozována, obsluhována a je způsobilá k dlouhodobému provozu.

11. Seznam použité literatury:

[1] JADERNÁ ELEKTRÁRNA DUKOVANY, *cez* [online]. 2019 [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu

[2] VSTUPNÍ ŠKOLENÍ DO EDU, čez [online]. 2016 [cit. 01.06.2020]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/skoleni/skripta-2016.pdf

[3] PROGRAMS OF PLANT LIFE MANAGEMENT AT NPP DUKOVANY, *osti.gov* [online]. 2003 [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20146181

[4] PROVOZOVÁNÍ A ÚDRŽBA JADERNÉ ELEKTRÁRNY, inis.iaea [online]. 1990 [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/__Public/22/029/22029381.pdf?r=1&r=1

[5] PROVOZOVÁNÍ A ÚDRŽBA JADERNÉ ELEKTRÁRNY, Medlov – Nové město na Moravě [online]. 1990 [cit. 2020.04.10.]. Dostupné z: https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:22029388. ISBN 80-02-00246-6

[6] PROGRAM OBNOVY ZAŘÍZENÍ JE DUKOVANY, *Sújb* [online]. 2001 [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/narodni_zpravy/Priloha5.pdf

[7] Interní zdroje ČEZ

[8] *Bezpečnost Jaderné energie*. Praha: SÚJB, 2006, **14**(3/4). ISSN 1210-7085.

[9] MĚŘENÍ V JADERNÉ ENERGETICE, podklady k předmětu. FS ČVUT. Ústav energetiky

[10] JADERNÁ ENERGETIKA, e-consult [online]. 2014 [cit. 2019.12.09]. Dostupné z: https://www.e-consult.cz/reference.php?sekce=3&podsekce=13

[11] EDU MODUL M1, zat [online]. 2020 [cit. 02.06.2020]. Dostupné z: https://www.zat.cz/cz/jaderna-elektrarna-dukovany-modul-m1-r50.htm

[12] SAFETY SYSTEMS AT DUKOVANY, nei [online]. 2001 [cit. 2019.12.09]. Dostupné z: https://www.neimagazine.com/features/featuresafety-systems-at-dukovany/

[13] PROJEKTY MODERNIZACE NEBO ZÁMĚNY SYSTÉMU ŘÍZENÍ, *skoda-js* [online]. 2019 [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: https://www.skoda-js.cz/reference/projekty-modernizace-nebo-zameny-systemu-rizeni-i-c/

[14] OBNOVA SKŘ JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY- MODULY M345, automa [online]. 2010 [cit. 2019.12.09]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf__articles/42324.pdf

[15] NA EDU MODERNIZUJÍ SKŘ, atominfo [online]. 2017 [cit. 02.06.2020]. Dostupné z: https://atominfo.cz/2017/09/ihonem-cz-na-edu-modernizuji-system-kontroly-rizeni/

[16] VYUŽITÍ PROJEKTOVÝCH REZERV BLOKŮ JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY, škoda [online]. 2012 [cit. 03.05.2020]. Dostupné z: https://docplayer.cz/6624826-Vyuziti-projektovych-rezerv-bloku-jaderne-elektrarny-dukovany.html

[17] TŘEBÍČÍ PROJEDE OBŘÍ STATOR GENERÁTORU Z DUKOVAN, třebíčský denník [online]. 2017 [cit. 02.06.2020]. dostupné z: https://trebicsky.denik.cz/zpravy__region/trebici-projede-obri-stator-generatoru-z-dukovan-20170213.html

[18] VIRTUÁLNÍ PROHLÍDKA EDU, čez [online]. [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-dukovany/

[19] ŠINDLER, Petr. Využití projektových rezerv bloků Jaderné elektrárny Dukovany. All for Power. Ostrava: Konstrukce Media, 2010, č. 01, s. 14-21. Dostupné z: http://www.floowie.com/cs/zobrazeni/afp-1-10

[20] EDU V PROVOZU OD ROKU 1985, oenergetice [online]. 2018 [cit. 02.06.2020]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/jaderna-elektrarna-dukovany

[21] DŮLEŽITÁ ROZHODNUTÍ K PROVOZU EDU, sújb [online]. 2017 [cit. 19.05.2020]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/jaderna-elektrarna-dukovany/dulezita-rozhodnuti-k-provozu-edu/

12. Seznam obrázků:

Obrázek 1: Jaderná elektrárna Dukovany [1] 2
Obrázek 2: Počty realizovaných akcí programu MORAVA v letech [7] 10
Obrázek 3: Blokové schéma architektury Obnovy SKŘ, M1 A M2. [8] 14
Obrázek 4: Modul M1 – RRCS Ovládání pohonů HRK RRCS [11] 17
Obrázek 5: Časový průběh Obnovy SKŘ [8] 19
Obrázek 6: Výchozí stav konfigurace systémů po SKŘ-hlavní části modulu M1. Kroky 1+2 –přípravná a 1. odstávka (krátká) [8] 20
Obrázek 7: Stav konfigurace systémů SKŘ krocích 1+2. Kroky 3+4 – kampaň mezi odstávkami a 2. odstávka (krátká) [8] 21
Obrázek 8: Stav konfigurace systémů SKŘ po krocích 3+4 – hlavní části modulů M1 a M2. Kroky 5+6 – kampaň mezi odstávkami a 3. odstávka (krátká) [8] 21
Obrázek 9: Stav konfigurace systémů SKŘ po krocích 5+6 – hlavní části modulů M1 a – M2.Kroky 7+8 – kampaň mezi odstávkami 4. odstávka (dlouhá) [8] 22
Obrázek 10: Stav konfigurace systémů SKŘ po 4. odstávce– finální uspořádání modulů M1 a M2[8] 22
Obrázek 11: Rozvaděče modul M3, M4, M5 [15] 26
Obrázek 12: Schéma sekundárního a cirkulačního chladícího okruhu [2] 28
Obrázek 13: Stator generátoru [17] 30
Obrázek 14: Vyvedení elektrického výkonu [18] 31
Obrázek 15: Reaktorový sál Dukovany [20] 33
Obrázek 16: Strojovna Dukovany [20] 37
Obrázek 17: Vertikální řez primárním okruhem reaktoru VVER – 440 [9] 43
Obrázek 18: Schéma primárního okruhu reaktoru VVER – 440 [9] 44

13. Seznam tabulek:

Tabulka 1: Seznam modulů SKŘ [9] 12
Tabulka 2: Rozsah obnovy modulů M1 a M2 [8] 12
Tabulka 3: Nové značení systémů u modulu M1 a M2 [8] [10] 13
Tabulka 4: Třídy bezpečnosti pro moduly M3, M4 a M5 [14] 23
Tabulka 5: Původní značení systémů pro moduly M3, M4 a M5 [14] 24
Tabulka 6: Nové značení systémů pro moduly M3, M4 a M5 [14] 24
Tabulka 7: Porovnání parametrů EDU pro původní a navýšený výkon reaktoru [7] 27
Tabulka 8: Cíle úpravy při maximální teplotě chladící vody 34 °C [7] 30
Tabulka 9: Harmonogram provedených akcí Programu VPR [16] 32
Tabulka 10: Výsledky nálezů z PSR EDU po 20 letech [7] 33