



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA UTAHOVÁKU MATICE OBĚŽNÉHO KOLA
ČERPADLA**

MANUFACTURE OF NUT TIGHTENING DEVICE FOR REACTOR COOLING PUMP'S IMPELLER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Filip Rygl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Filip Rygl**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2019/20

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

Výroba utahováku matice oběžného kola čerpadla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Demontáž oběžného kola čerpadla při generální opravě je u stávajícího způsobu povolování jeho matice ne zcela vyhovující. Návrh jednoúčelového přípravku situaci podstatně zlepší.

Cíle diplomové práce:

- Účel opravovaného zařízení a jeho specifické prostředí
- Generální oprava čerpadla všeobecně
- Posouzení kritických úseků
- Návrh nového způsobu úpravy montáže a demontáže oběžného kola
- Realizace nového procesu
- Celkové zhodnocení akce

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-80-214-3946-7.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07-146271-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší problematiku návrhu a výroby speciálního montážního přípravku pro matici oběžného kola hlavního cirkulačního čerpadla GCN-317. Navrhované zařízení má přinést řešení problémů spojených s montáží a demontáží této matice. Práce podává základní informace o Jaderné elektrárně Dukovany a systémech VVER-440 obecně, včetně jejich stručné historie. Dále přibližuje provozní i legislativní prostředí primárního okruhu jaderné elektrárny. Zabývá se úlohou a technickým popisem hlavního cirkulačního čerpadla a jeho generální opravou. Následující části představují základní východiska konstrukce zařízení a přehled jeho součástí s popisem jejich účelu a metody výroby. Poslední část práce popisuje funkci zařízení a její ověřování a referuje o jeho nasazení do provozu.

Klíčová slova

Hlavní cirkulační čerpadlo, utahovací zařízení, primární okruh, Jaderná elektrárna Dukovany, matice oběžného kola.

ABSTRACT

This thesis solves the problem of design and production of a special mounting device for the impeller nut of the main circulation pump GCN-317. The proposed device is intended to solve the problems associated with the mounting and dismounting of this nut. The work provides basic information about the Dukovany Nuclear Power Plant and VVER-440 systems in general, including their brief history. It also introduces the operational and legislative environment of the primary circuit of the nuclear power plant. It deals with the task and technical description of the main circulation pump and its overhaul. The following sections present the basic principles of construction of the device and an overview of its components with a description of their purpose and method of production. The last part of the thesis describes the function of the device and its verification and reports on its deployment.

Key words

Main circulation pump, nut tightening device, primary circuit, Dukovany nuclear power station, impeller nut.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RYGL, Filip. *Výroba utahováku matice oběžného kola čerpadla* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124907>.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba utahováku matice oběžného kola čerpadla** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26. 6. 2020

Datum

Bc. Filip Ryg

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat kolegovi Ing. Zdeňku Kratochvílovi za umožnění zpracování tohoto tématu práce.

Rovněž děkuji kolegovi Ing. Janu Hráčkovi za odbornou pomoc a konzultace během tvorby této práce.

V neposlední řadě děkuji své družce Martině a dceři Amálii za velkou vytrvalost a psychickou podporu po celou dobu studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	10
1 NÁSTIN SPECIFIČNOSTI PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ NA JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ	12
1.1 Stručná historie JE Dukovany.....	12
1.2 Uskutečněné modernizace elektrárny	13
1.3 Představení tlakovodních reaktorů.....	14
1.3.1 Základní koncepce tlakovodních reaktorů	14
1.3.2 Počátky a vývoj tlakovodních reaktorů	14
1.3.3 Projekt VVER-440 – základní skutečnosti	15
1.4 Primární okruh VVER-440.....	18
1.5 Sekundární okruh VVER-440.....	20
1.6 Chladicí médium primárního okruhu.....	22
1.6.1 Složení chladiva primárního okruhu.....	22
1.6.2 Aktivita chladicího média primárního okruhu	23
1.7 Příslušná legislativa v oboru	23
1.7.1 Vývoj jaderné legislativy	24
1.7.2 Stručný popis současné legislativy v oboru	24
1.8 Režimy reaktorového bloku VVER-440:	28
2 HLAVNÍ CÍRKULAČNÍ ČERPADLO NA JE DUKOVANY	30
2.1 HCČ jako přídavný zdroj tepla	30
2.2 HCČ v systémech VVER.....	30
2.2.1 Prvotní provedení HCČ na blocích VVER-440.....	31
2.2.2 Současný typ HCČ.....	32
2.3 Jednotlivé části HCČ GCN 317	33
2.3.1 Trojnoha.....	34
2.3.3 Těleso čerpadla a vlnovec.....	34
2.3.3 Spojovací materiál HDR.....	35
2.3.4 Sestava vyjímatelné části	36
2.3.5 Nosné konstrukce a příslušenství.....	36
2.3.6 Elektromotor	38
2.4 Vyjímatelná část čerpadla	39

3	GENERÁLNÍ OPRAVA HCČ V RÁMCI ODSTÁVKY BLOKU	43
3.1	Typová generální oprava reaktorového bloku	43
3.1.1	Rozdělení údržbových prací na jaderné elektrárně	44
3.1.2	Plánování a harmonizace prací při odstávce	45
3.1.3	Nástin průběhu odstávky	46
3.2	Opravy hlavního cirkulačního čerpalda	48
3.2.1	Jednolivé typy oprav HCČ	49
3.2.2	Generální oprava HCČ	50
3.2.3	Identifikace potenciálně problematických bodů:	56
4	VÝCHODISKA KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ	58
4.1	Obecné zásady	58
4.2	Východisko radiační	58
4.3	Východisko prostorové	59
4.4	Základní funkční východisko	59
4.5	Východisko tvaru funkčních prvků	60
4.6	Východisko technologické	61
4.7	Východisko jakostní	63
5	PODROBNÝ POPIS NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ	65
5.1	Díly nakupované	66
5.1.1	Převodovka	66
5.1.2	Pohon a příslušenství	67
5.1.3	Štítek ukazatele polohy	69
5.1.4	Pružina	70
5.1.5	Spojovací materiál a ostatní normalizované díly	70
5.2	Díly vyráběné	72
5.2.1	Těleso vnitřního klíče	72
5.2.2	Koruna reakčního klíče	76
5.2.3	Unašeč vnitřního klíče	80
5.2.4	Dutý drážkovaný hřídel	84
5.2.5	Unašeč drážkovaného hřídele	87
5.2.6	Těsné pero	91
5.2.7	Lucerna reakčního klíče	92
5.2.8	Spodní deska	96
5.2.9	Středový šroub	98
5.2.10	Matice horní	100

5.2.11 Závítová čelist.....	102
5.2.12 Matice spodní.....	105
5.2.13 Podpěra oběžného kola	107
5.2.14 Přítlačný plech	109
5.2.15 Podstavec převodovky	110
5.2.16 Spodní kryt.....	111
5.2.17 Žebro	113
5.2.18 Podstavec utahováku.....	115
5.2.19 Ukazatel polohy	116
5.2.20 Podložka pružiny	117
5.2.21 Modul vrchlíku matice.....	119
5.3 Popis sestaveného zařízení.....	121
6 FUNKČNÍ ZKOUŠKA A ROZBOR ČINNOSTI.....	123
6.1 Funkční zkouška utahováku.....	123
6.2 Popis pracovní činnosti a obsluhy zařízení.....	124
6.2.1 Demontáž vrchlíku a matice oběžného kola	124
6.2.2 Montáž matice a vrchlíku	126
7 PRAKTICKÉ NASAZENÍ UTAHOVÁKU A JEHO ZHODNOCENÍ.....	129
ZÁVĚR	132
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	133
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	138
SEZNAM PŘÍLOH.....	141

ÚVOD

Jaderná elektrárna je velice výkonným zdrojem stabilních dodávek elektrické energie. Jejím charakteristickým rysem je nesmírná koncentrace tepelné energie v aktivní zóně reaktoru, provázená ionizujícím zářením a radioaktivními látkami. K tomu, aby tato energie mohla být smysluplně využívána, slouží komplex různých systémů a zařízení, pracujících mnohdy s médii o vysokém tlaku a teplotě. Nebezpečnost radiokivity, krom jejích nepříznivých biologických efektů, spočívá také v její nepostižitelnosti lidskými smysly. Je tedy samozřejmé, že riziko radioaktivního ohrožení musí být minimalizováno a tyto požadavky se promítají nejen do konstrukce staveb a zařízení jaderné elektrárny, ale rovněž i do pracovního prostředí, postupů a organizačních opatření. To z jaderné elektrárny činí zvláštní prostředí, specifické po mnoha stránkách.

V rámci bližšího popisu mírového využití atomové energie nelze pominout jeho historický kontext. Vzhledem k zaměření této práce, jež je cíleno na JE Dukovany, bude historický exkurz omezen na tlakovodní reaktory, které, obdobně jako mnohé další významné technologie, mají své kořeny ve vojenských projektech.

Jaderná elektrárna Dukovany je nejlevnějším z velkých energetických zdrojů v České Republice. Její co největší provozní využitelnost je tedy v ekonomickém zájmu nejenom samotného podniku, ale i spotřebitelů. Pro zachování spolehlivého a především bezpečného provozu je však nezbytné provádět pravidelné revize a servis, což však v případě mnoha systémů vyžaduje nutnost odstavení bloku. Tyto údržbové činnosti se souhrnně nazývají Typová generální oprava a spojují se s výměnou paliva v reaktoru, při které blok přirozeně odstaven být musí. Protože však výměna paliva trvá kratší dobu, než vykonání všech servisních úloh, doba, po kterou je blok nečinný, závisí především na rychlosti jejich vykonání. Ta je v mnoha případech v zásadě neměnná, protože je podmíněna prioritními bezpečnostními hledisky a je s ní tak i kalkulováno. Klíčové je tedy jejich vzájemné zkoordinování, aby nedocházelo ke zbytečným prostojům, či naopak k přetížení kapacit. Problémy tak může způsobit jejich neplánované zdržení některých prací.

Jedním z nejdůležitějších strojů primárního okruhu je hlavní cirkulační čerpadlo. Jeho generální oprava, prováděná v rámci odstávky bloku, je díky dlouhé praxi servisující organizace velice dobře zvládnutá a většina problematických úseků byla eliminována. Přesto však ještě některá úskalí zůstávají a jedním z nich je poměrně problematický způsob demontáže a zpětné montáže matice oběžného kola, který v minulosti mnohokrát vyústil v komplikace. Pro vyřešení tohoto problému bylo vyvinuto specializované utahovací zařízení (obr. 1), jehož představení a uvedení do celkových souvislostí s obsluhovaným zařízením, je hlavním cílem této práce.



Obr. 1: Utahovák matice oběžného kola HCC

1 NÁSTIN SPECIFIČNOSTI PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ NA JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ

Jaderná elektrárna Dukovany, nacházející se v okrese Třebíč, je starším ze dvojice jaderných zdrojů na území České republiky. Je zařazena v základním pásmu diagramu zatížení – tzn. Pokrytí základní spotřeby elektrické energie s provozem 24 hodin denně [1].

1.1 Stručná historie JE Dukovany

O její výstavbě bylo rozhodnuto roku 1970 podpisem slouvy mezi tehdejší Československou socialistickou republikou a Sovětským svazem. Předmětem této dohody byla výstavba elektrárny s tlakovodními reaktory typu VVER-440. V případě Dukovan se jednalo o druhou generaci označenou V-213. Rozhodnutí o postavení československé jaderné energetiky na koncepci tlakovodních reaktorů znamenalo definitivní odklon od původně uvažovaného využití těžkovodních reaktorů. První reaktor na území ČSSR byl moderován těžkou vodou. Nacházel se v lokalitě Jaslovské Bohunice A-1 a nesl označení K-150. Bylo to především experimentální zařízení, vyprojektované a vybudované v rámci spolupráce mezi ČSSR a SSSR. Pro výstavbu dalších jaderných zdrojů bylo zprvu uvažováno použití reaktorů, jejichž vývoj měl probíhat na základě poznatků z provozu typu K-150. Tento projekt se však záhy ukázal neperspektivním, což vedlo k hledání dalšího řešení. Tím se nejprve zdál být kanadský těžkovodní reaktor CANDU. Během iniciační fáze byl však zjištěn zásadní problém, jehož řešení se nepodařilo žádným způsobem zajistit. Spočíval v dodávkách potřebného množství těžké vody pro celou dobu provozu jaderných zařízení. Dodávky této nezbytné provozní kapaliny za ekonomicky akceptovatelných podmínek nebyla kanadská schopna garantovat, rovněž tak československý průmysl nedokázal tuto spotřebu pokrýt. [2]

To bylo rozhodujícím důvodem k tomu, aby se pozornost obrátila k jinému provedení reaktoru, nevyžadujícím takto problematický materiál. Vzhledem k tehdejší politické situaci bylo možné další řešení hledat již pouze v Sovětském svazu. Zde probíhal vývoj reaktorů několika různých typů, pro příklad lze uvést známý grafitem moderovaný kanálový RBMK-1000. Avšak většina těchto projektů nebyla určena pro čistě energetické účely. Především vzhledem k jejich více či méně vojenským účelům, nebyl prakticky možný jejich provoz mimo území SSSR. V úvahu tak připadal pouze jediný typ, určený pro výhradně civilní, energetické účely a zároveň dostupný možnostem československého průmyslu. Tímto typem byl tlakovodní reaktor tzv. východní koncepce, čili VVER.

Samotná stavba dukovanské jaderné elektrárny se začala připravovat v roce 1974. Výstavba se naplno rozběhla roku 1978 a v letech 1985 až 1987 byly postupně spouštěny jednotlivé výrobní bloky, přičemž třetí a čtvrtý blok se podařilo spustit v průběhu jednoho roku.

1.2 Uskutečněné modernizace elektrárny

Jaderná elektrárna Dukovany během svého provozu prošla řadou modernizací realizovaných v návaznosti na připomínky a doporučení mezinárodních komisí a MAAE a také za účelem zvýšení výkonu.

Jednalo se především o:

- dokompletaci systémů a zařízení prováděnou v letech 1986 až 1996. Vycházela z prvních poznatků z provozu a rovněž reflektovala havárii reaktoru RBMK-1000 na Černobylské jaderné elektrárně V. I. Lenina roku 1986 [3],
- zvyšování jaderné bezpečnosti v rámci projektu MORAVA (akronymum složené ze slov Modernizace, Rekonstrukce, Analýza, Validace) realizované v letech 1994 až 1995. Zde se jednalo například o digitalizaci systémů kontroly a řízení [3],
- zvyšování výkonu prostřednictvím využití projektových rezerv systému VVER-440/V213 (bude rozvedeno v kapitole 1.3.3) provedené v letech 2005 až 2012. V rámci této etapy bylo realizováno množství dílčích akcí, jejichž výsledkem bylo zvýšení výkonu reaktoru z 1375 MWt na 1444 MWt a tím elektrického výstupního výkonu z původních 440 MWe na 500 MWe. Příkladem lze jmenovat zvýšení obohacení paliva a změnu jeho parametrů, modernizaci parních turbín, modernizaci a zvýšení účinnosti elektrických generátorů, výměnu vysokotlakých ohříváků a výměnu oběžných kol hlavních cirkulačních čerpadel [4],
- program LTO (Long-Term-Operation) realizovaný v letech 2004 až 2017 s cílem zajistit splnění podmínek k získání povolení SÚJB k provozu nad rámec projektované životnosti, která původně činila 30 let [5],
- program pojmenovaný „Stresstesty“ provedený v letech 2011 až 2015, reflektující havárii Jaderné elektrárny Fukušima I ze dne 11. března 2011 a mající za cíl další zvýšení odolnosti a jaderné bezpečnosti. V tomto programu byla nejprve zhodnocena odolnost staveb a zařízení elektrárny vůči vnějším vlivům, jakými jsou extrémní povětrnostní podmínky, zemětřesení o magnitudě větší, než je projektem uvažovaná, různé varianty ztráty napájení vlastní spotřeby, zvládání těžkých havarijních stavů včetně takových, jako je ztráta koncového jímáče tepla apod. [6] V návaznosti na zjištěný stav byla provedena řada opatření, z nichž lze jmenovat například stavbu ventilátorových věží pro chlazení technické vody důležité, seismické z odolnění určených objektů a zařízení, zbudování tzv. diverzních odvodů tepla z AZ reaktoru, instalace dodatečných mobilních dieselových generátorů a další opatření [7] a v současnosti poslední
- opatření zavedená na základě změny legislativy. Jako nejvýznamnější z nich lze uvést zřízení tzv. ŽDP – životně důležitých prostor, což jsou vybraná místa elektrárny, v nichž se nachází zařízení důležitá z hlediska jaderné bezpečnosti. Tyto prostory byly vybaveny dodatečnými fyzickými bariérami

s režimem řízení vstupu. Po pracovníky vstupující do těchto prostor byly dále zpřísněny požadavky na jejich kvalifikaci. [8]

1.3 Představení tlakovodních reaktorů

Jako hlavní charakteristické znaky, z nichž alespoň některými se tlakovodní reaktory (pro účely této práce nebudou uvažovány zvláštní varianty jako PHWR či SCWR) odlišují od jaderných reaktorů ostatních provedení lze jmenovat:

- jako moderátor štěpné reakce je použita obyčejná, tzv. lehká voda,
- moderátor plní zároveň funkci chladiva ,
- chladivo je v celém objemu primárního okruhu pouze v kapalném skupenství,
- jako palivo slouží obohacený uran.

Tlakovodní reaktor je zdaleka nejrozšířenějším energetickým reaktorem – celosvětově je jím vybaveno 66 % provozovaných jaderných elektráren a je také zastoupen v 82 % u nově budovaných zdrojů [9].

1.3.1 Základní koncepce tlakovodních reaktorů

Ač samotný princip funkce tlakovodních systémů je u všech elektráren shodný, lze rozeznat dvě základní koncepce konstrukčního řešení. Západní varianta označovaná jako PWR (Pressurized light-Water moderated and cooled Reactor) je od počátku vyvíjena a dodávána v rámci spolupráce amerických a též britských firem, v čele se známou společností Westinghouse Electric Company.

Druhou cestu představuje systém VVER (Vodou chlazený, Vodou moderovaný, Energetický reaktor, příp. zkráceně Vodo-Vodní Energetický Reaktor, v ruském originále pak „водо-водяной энергетический реактор“) vyvinutý v SSSR a používaný v zemích bývalé RVHP, ale také např. v Turecku, Indii, Finsku, Číně a dalších státech.

Mezi těmito koncepcemi lze rozeznat několik poměrně zřetelných rozdílů. Uspořádání paliva v AZ reaktoru je u VVER v šestinové symetrii, kdežto u PWR čtvercové. Parogenerátory jsou u VVER horizontálního provedení, v případě PWR se jedná o vertikální. Celkové pojetí VVER je daleko robustnější, než PWR, což s sebou nese vyšší stavební náklady, na druhou stranu se zde díky tomu uplatňuje větší pasivní bezpečnost (daná např. vyšší zásobou chladicího média v primárním okruhu) a také ochrana personálu větší vzdáleností od zdrojů ionizujícího záření. [10]

1.3.2 Počátky a vývoj tlakovodních reaktorů

Prvního použití se tlakovodní reaktory u obou velmocí dočkaly v padesátých letech dvacátého století (v USA o něco dříve) v oblasti lodních pohonů, především tedy jaderných

ponorek. Ostatně, k tomuto účelu jsou využívány dodnes; krom toho byla oblast jejich použití rozšířena o ledoborce a letadlové lodě.

V roce 1954 u Námořnictva Spojených států zahájila provoz první jaderná ponorka pojmenovaná Nautilus. Byla poháněna tlakovodním reaktorem s označením SW2. Vzhledem k limitované velikosti tlakového tělesa ponorky vyvstala nutnost co nejkompaktnější konstrukce reaktoru. Toho bylo docíleno vysokým obohacením palivových článků, které několikrát vyšší, než u reaktorů energetických. Díky tomu bylo uskutečnitelné dostatečné zmenšení aktivní zóny a tím i celé tlakové nádoby reaktoru natolik, že již bylo možné jaderný pohonný agregát do trupu ponorky umístit. SSN-571 Nautilus po svém nasazení demonstroval možnosti tohoto nového způsobu pohonu – pod hladinou dosáhl severního pólu, kde bylo provedeno vynoření skrz led. Rovněž podeplul Arktický ledovec, což bylo s ponorkami konvenčních pohonů do té doby nemyslitelné [11].

SSSR svoji první jadernou ponorku dokončil tři roky po Spojených státech - v roce 1957. Bylo jí plavidlo Projektu 627 označené K-3 "Кит", které později dostalo čestný název Leninskij Komsomol. Jako zdroj energie pro pohon byla použita dvojice tlakovodních reaktorů typu VM-A o výkonu 70 MW tepelných; každý poháněl jeden lodní šroub. Výkon převáděný na hřídel lodního pohonu prostřednictvím parní turbíny pak činil přibližně 13 MW na jednom hřídeli. [12]

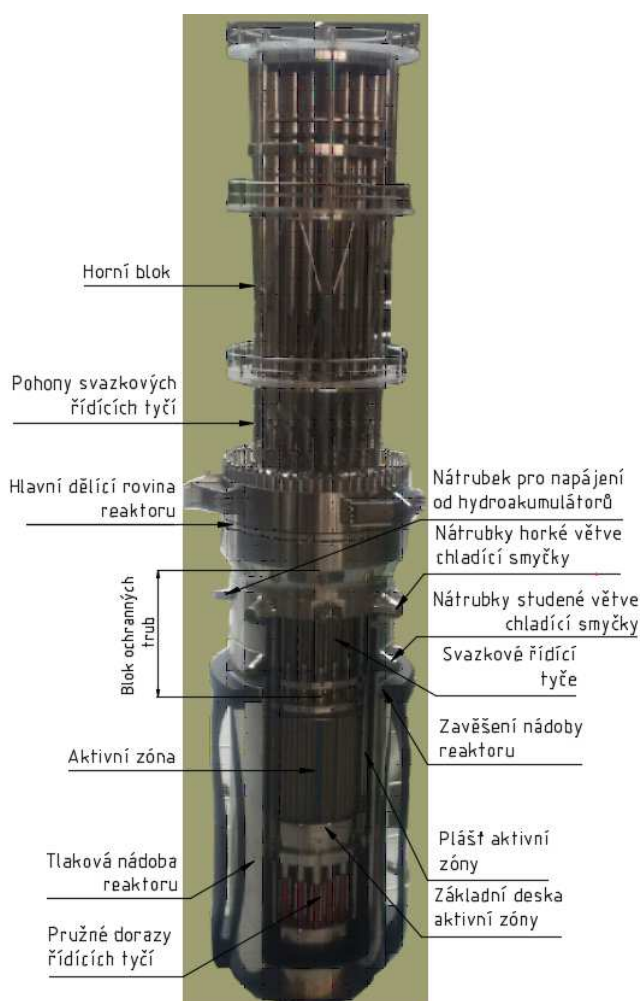
K prvnímu využití PWR v oblasti jaderné energetiky došlo na elektrárně v Shipping Portu v rámci programu tehdejšího amerického presidenta Eisenhowera, zaměřeného na mírové využití jaderné energie „Atoms for Peace“, roku 1957. Toto jaderné zařízení sloužilo především k demonstrativním a experimentálním účelům, nicméně i v tomto případě se ještě nejednalo o energetický reaktor v pravém slova smyslu, nýbrž o koncepci lodního pohonu, používající vysoce obohacený uran (pro použití v jaderných elektrárnách je charakteristické mnohem nižší obohacení uranu, obecně jednotky procent) [13] a z toho plynoucí konstrukční specifika. V roce 1960 zahájila provoz jaderná elektrárna Yankee Rowe, která byla prvním komerčním jaderným zdrojem, provozujícím PWR civilního, čistě energetického provedení. Jednalo se o systém s čtyřmi chladicími smyčkami o výkonu 485 MW tepelných, resp. 134 MW elektrických, navržený již zmiňovanou společností Westinghouse.[14] Elektrárna postupně prošla modernizací a zvýšením výkonu na 185 MW elektrických. Odstavena pak byla v roce 1992.

V Sovětském svazu byla (a stále je) kolébkou jaderných reaktorů tlakovodního typu, tedy VVER, Novovoronežská jaderná elektrárna. Její výstavba započala v roce 1957 a podílely se na ní podniky a organizace jako OKB Gidropress, Atom Energo Projekt, Ižorské závody, Kurčatovův institut a další. Po celou dobu jsou zde instalovány, testovány a provozovány prototypy VVER systémů. Prvním z nich byl typ VVER-210 (číslo značí hrubý elektrický výkon bloku v MW), spuštěný roku 1964. V roce 1970 následovalo spuštění VVER-365. V obou případech se jednalo o experimentální a ověřovací prototypy, které nebyly produkovány sériově. [15]

1.3.3 Projekt VVER-440 – základní skutečnosti

Na základě vyhodnocení poznatků z jejich provozu projektů VVER-210 a VVER-365 byl vyprojektován již plnohodnotný komerční energetický reaktorový blok, který byl

určen jak pro provoz na území Sovětského svazu, tak i pro export (na rozdíl od známého typu RBMK, který byl provozován pouze v SSSR). Původní návrh počítal s výkonem 500 MWe, nicméně vzhledem k aktuální situaci s výrobou parních turbín a jejich komponent o tomto výkonu, bylo nutno projekt zkorigovat tak, aby lépe reflektoval možnosti tehdejšího průmyslu. Upravený systém měl tedy výkon 440 MWe, což umožňovalo použít dvojici parních turbín typu K-220-44 KhTGZ vyráběných Charkovským turbínovým závodem (toto se týkalo SSSR – v JE Dukovany jsou instalovány turbíny tuzemské výroby zhotovené firmou Škoda k. p., Plzeň) a dostal označení VVER-440 [16] [17]. Spuštěn byl roku 1972-1973 a šlo o první generaci, označenou jako VVER-440/V-179, resp. V-230. Jednalo se o koncepci dvou reaktorových bloků sdružených v jedné budově a sdílejících některé společné pomocné systémy (nikoli však systémy pro chlazení reaktoru, výrobu elektrické energie a pro zvládání havarijních stavů). Tento systém nedisponuje klasickým kontejmentem pro zadržení radioaktivních látek uvnitř budovy reaktoru, nýbrž tzv. hermetickými boxy – prostory, v nichž se nachází potrubí a zařízení primárního okruhu. Tyto boxy jsou během provozu reaktoru hermeticky odděleny od ostatních stavebních částí. Se zvyšujícími se bezpečnostními požadavky byla v polovině sedmdesátých let dvacátého století vyprojektována druhá generace, označená jako VVER 440/V-213. Na obr. 2 je názorně částečný řez reaktorem s vyznačením jeho hlavních částí. Je zde patrné jedno ze základních pasivně-bezpečnostních konstrukčních řešení – totiž aktivní zóna je zcela pod úrovní nátrubků pro přívod a odvod chladicího média. Díky tomu je aktivní zóna i při porušení některé z chladicích smyček stále pod hladinou. Nad aktivní zónou se také nachází nátrubek pro samočinné nízkotlaké havarijní napájení.



Obr. 2: Řez reaktorem VVER-440

Zřejmě nejdůležitějším bezpečnostním parametrem jaderných elektráren je schopnost zvládat mimořádnou událost typu LOCA - loss-of-coolant accident, havárie spojená se ztrátou chladiva. Při této události dochází k prudkému zvyšování tlaku v prostorách, v nichž je umístěn primární okruh a k dramatickému nárustu aktivity. S chladivem primárního okruhu uniká i vodík, což navíc znamená nebezpečí explozí. V nejzávažnějším případě je poškozena samotná aktivní zóna reaktoru a nastanene její částečné, anebo úplné roztavení a hypoteticky i průnik vysoce aktivní taveniny tlakovou nádobou reaktoru. Důsledkem pak může být nejen definitivní zneprovozuschopnění elektrárny, ale i únik významného množství radioaktivních látek do okolí. [18]. Pro bezpečnostní systémy první generace bylo za maximální projektovou havárii považováno porušení potrubí primárního okruhu formou otvoru o průměru do 32 mm, a prevenci představovaly např. projektové rezervy, nižší namáhání komponent primárního okruhu atd. Druhá generace je schopna se vypořádat s havárií typu tzv. gilotinového řezu přes celý průměr hlavního cirkulačního potrubí a to o délce 1 m.[19]. Hlavní rozdíl oproti předchozí generaci spočívá v zařazení tzv. barbotážní věže. Barbotážní věž plní pasivně-bezpečnostní úlohu. Jedná se o rozšíření budovy reaktoru o stavební část do které je v případě LOCA z hermetických prostor

přepouštěno unikající médium. Zde dochází k jeho jímání v plynojemech a prostřednictvím barbotážních žlabů k jeho kondenzaci a tím k poklesu tlaku až k úrovni tlaku atmosférického. Dalšími novými bezpečnostními prvky bylo přidání havarijních dochlazovacích systémů a superhavarijního napájení parogenerátoru. Tlaková nádoba reaktoru byla u druhé generace opatřena výstelkou z korozivzdorné oceli [20]; obr. 3 zachycuje řez pláštěm reaktoru VVER-440/V213 s označenou výstelkou.

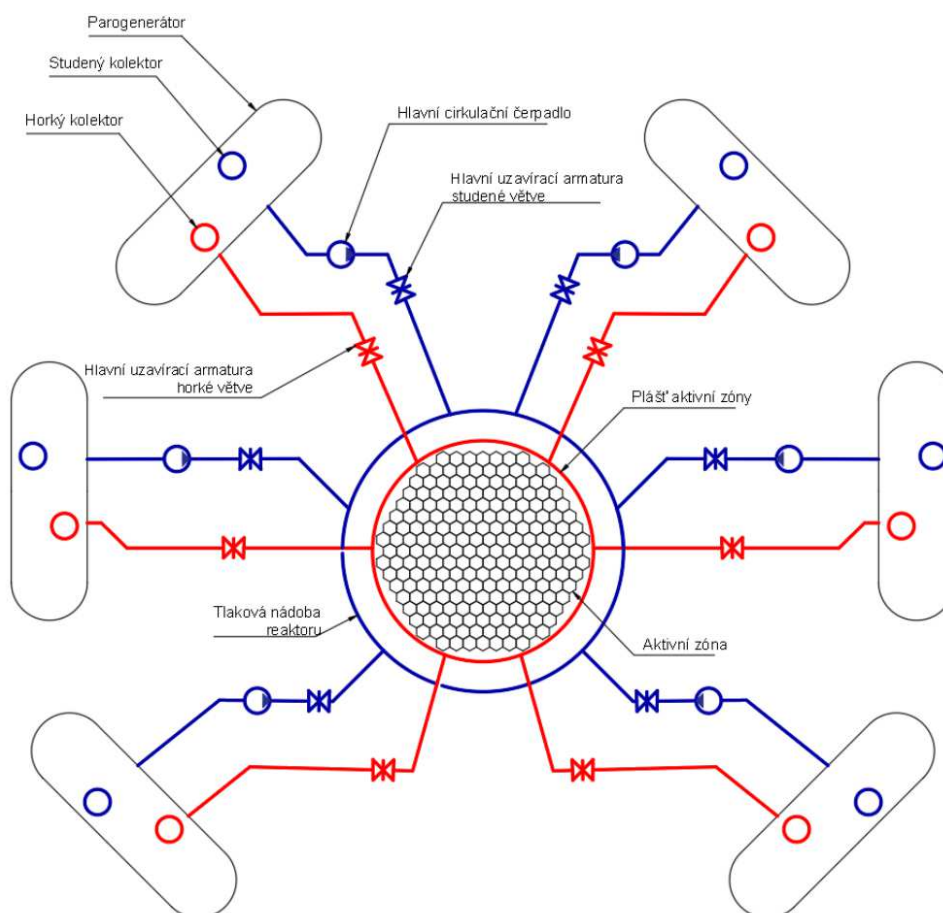


Obr. 3: Výstelka nádoby reaktoru z korozivzdorné oceli.

1.4 Primární okruh VVER-440

Primární okruh VVER-440 (shodně u obou generací) disponuje šesti chladicími smyčkami, které jsou tvořeny horkou a studenou větví. Jeho základní schematické zobrazení je na obr. 4. Na rozdíl od mnohých systémů koncepce PWR, anebo od modernějšího a výkonnějšího VVER-1000, disponuje každá větev hlavní uzavírací armaturou. Jedná se o šoupátko s pružným klínem složených ze dvou zkosených desek. Zamezení úniku chladiva kolem pohyblivé části –vřetene- je řešeno prostřednictvím měkké ucpávky složené z grafitových kroužků. Zbytkové netěsnosti jsou sbírány systémem orgaizovaných úniků Otevírání a uzavírání je prováděno servopohonem, který je navíc zálohován ručním kolem. Uzavřením obou hlavních uzavíracích armatur lze lokalizovat parogenerátor a hlavní cirkulační čerpadlo na příslušné smyčce, nicméně toto není možné

provést při provozu bloku na jmenovitém výkonu. K lokalizaci smyčky se přistupuje pouze při havarijních stavech, nebo v případě vážnějších poruch, vyžadujících roztěsnění primárního okruhu, anebo při odstávkových pracích, pokud je hladina v reaktoru výše, než otevření technologie – například během výměny paliva.



Obr. 4: Zjednodušené zobrazení chladicích smyček primárního okruhu. [21]

Horká větev začíná výstupem z aktivní zóny reaktoru a vede na horký kolektor parogenerátoru (obr. 5), kde se chladicí médium rozlévá do 5536 teplosměnných trubek a přes jejich stěny předává teplo okruhu sekundárnímu.



Obr. 5: Teplosměnné trubky v kolektoru parogenerátoru

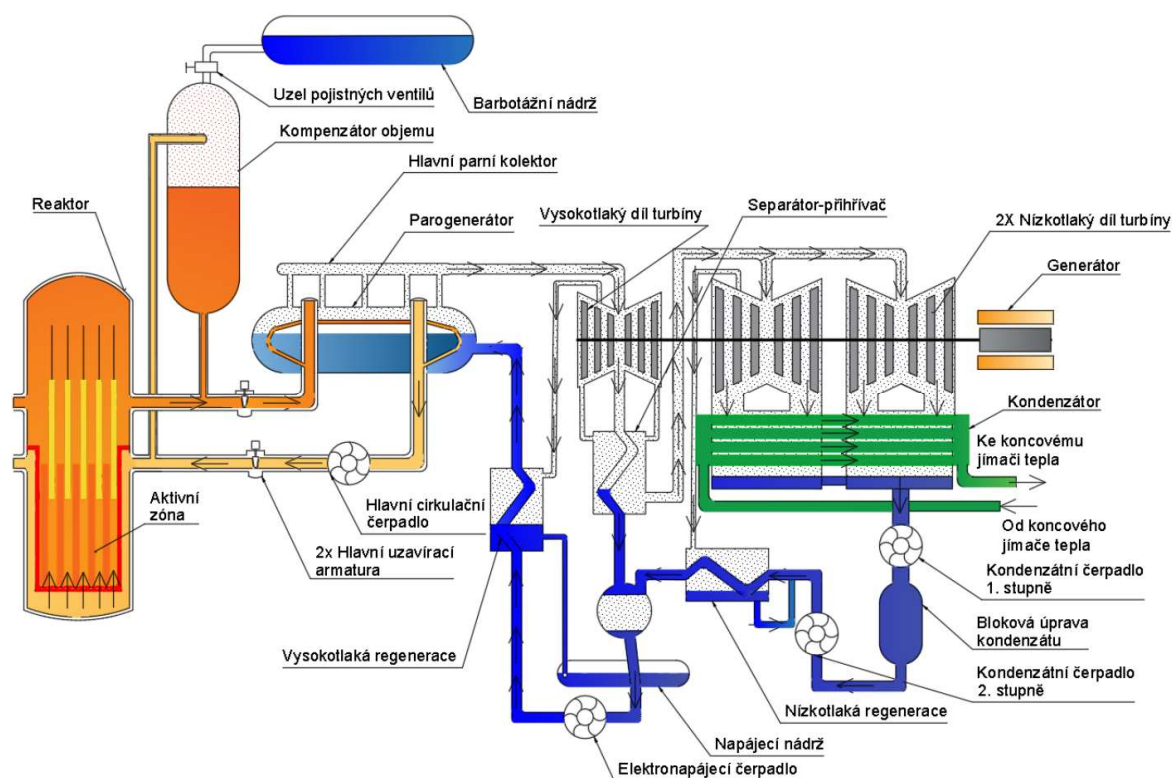
Teplosměnné trubky se pak spojují ve druhém (studeném) kolektoru, kde začíná studená větev chladicí smyčky. Ta odsud vede na sání hlavního cirkulačního čerpadla, které chladicí médium dopravuje zpět do reaktoru, pod aktivní zónu, kde dochází k jeho opětovnému ohřevu. Na jednu z chladicích smyček je připojen kompenzátor objemu (v anglojazyčné literatuře se u systémů VVER používá pojem „volume compensator“, u PWR se používá termín „pressurizer“), který udržuje požadovaný tlak v primárním okruhu – vyrovnává teplotně – objemové změny. Kompenzátor objemu je vertikální tlaková nádoba vybavena odporovými elektroohříváky a sprchami, vodním objemem je připojená k horké větvi jedné chladicí smyčky. Hladina média je zde udržována v určité výši a nad ní se za běžného provozu nachází parní polštář, přičemž jsou obě skupenství ve stavu sytosti. Je-li třeba tlak primárního okruhu zvýšit, aktivují se elektroohříváky; v případě požadavku na jeho snížení se sprchovým systémem, napojeným na studenou větev chladicí smyčky, začne skrápět parní polštář, což vede k částečné kondenzaci par a tím k poklesu tlaku v systému. Kompenzátor objemu je dále vybaven uzlem pojistných ventilů, které umožňují přepouštění par chladicího média do barbotážní nádrže, kde probíhá jejich kondenzace. [21]

K samotnému primárnímu okruhu je dále připojena řada pomocných systémů, jako například drenážní a odpuštěcí systémy, systém pro spalování vodíku, systém pro doplňování primárního okruhu a borovou regulaci, vysokotlaký a nízkotlaký systém havarijního doplňování a další. [21]

1.5 Sekundární okruh VVER-440

Na obr. 6 je znázorněno zjednodušené schema primárního a sekundárního okruhu VVER-440, přičemž je ještě nutno poznamenat, že na jeden reaktorový blok připadají ve skutečnosti 2 paralelní sekundární okruhy (s některými společnými zařízeními).

Sekundární okruh navazuje na okruh primární, přičemž rozhraní představuje parogenerátor. Voda sekundárního okruhu je zde ohřívána na teplotu $257\text{ }^{\circ}\text{C}$ při tlaku $4,56\text{ MPa}$, což vede k jejímu varu. Vzniklá ostrá pára je shromažďována v hlavním parním kolektoru, odkud pokračuje parovodem na vysokotlaký díl turbíny, kde odevzdáním části energie dochází ke změně jejích parametrů – na výstupu z vysokotlaké části turbosoustrojí má pára tlak $0,5\text{ MPa}$ a teplotu $154\text{ }^{\circ}\text{C}$, její relativní vlhkost za těchto podmínek dosahuje přibližně 10% . Před vstupem do vysokotlakého dílu proto musí být její parametry upraveny. K tomu je určena dvojice žaluziových separátorů-přihříváčů, natápěných odběrem páry z vysokotlakého dílu turbíny. Na nízkotlakou část turbosoustrojí tak vstupuje sytá pára o teplotě $213\text{ až }216\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlaku $0,45\text{ MPa}$. Po předání energie nízkotlakým oběžným kolům pára vstupuje do kondenzace. Pro snížení odvodu tepla ze systému posunutím kondenzační teploty níže, je v kondenzátoru udržován hluboký podtlak ($4,6\text{ kPa}$ v prvním a $6,2\text{ kPa}$ ve druhém stupni kondenzátoru) prostřednictvím obvodu vodoproudých vývěv. Teplo z kondenzátoru je odváděno cirkulační chladicí vodou terciálního okruhu ke koncovému jmači tepla (pro vodu terciálního okruhu a technickou vodu nedůležitou jsou to chladicí věže, pro technickou vodu důležitou jsou to nyní ventilátorové věže). [22]



Obr. 6: Schema primárního a sekundárního okruhu s naznačením směru proudění v jednotlivých úsecích. [22]

Zkondenzované médium sekundárního okruhu pak vstupuje na sání 1. stupně kondenzátních čerpadel, kterými je dopravováno na blokovou úpravu kondenzátu. Zde prochází přes ionexové filtry a přes druhý stupeň kondenzátních čerpadel je vháněno do ohříváků tzv. nízkotlaké regenerace. Tato sériová soustava pěti výměníků je ohřívána parou z odběrů na nízkotlaké části turbíny a kondenzát na výstupu má teplotu $145,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Z nízkotlaké regenerace je kondenzát vytlačován přes odplyňovací stanici v tepelné úpravně vody do napájecí nádrže, která poskytuje objemovou rezervu média sekundárního okruhu pro 5 minut provozu na jmenovitém výkonu. Kondenzát zde má teplotu 166 °C a tlak 0,72 MPa. Za napájecí nádrží je zařazena napájecí stanice s pěti napájecími čerpadly. Na VVER-440 jsou napájecí čerpadla poháněna elektromotorem, zatímco např. u VVER-1000 jsou poháněna parní turbínou. V chodu jsou za běžného provozu 4 čerpadla a jedno zůstává v rezervě. Z napájecí stanice je napájecí voda čerpána přes vysokotlakou regeneraci do hlavního napájecího kolektoru. Vysokotlakou regeneraci tvoří dva ohříváky natápěné odběrem páry z vysokotlaké části turbíny. Na výstupu má napájecí voda teplotu 222,5 °C a přes hlavní napájecí kolektor směřuje do napájecích hlav, kde je regulováno její okamžité množství. Odsud vstupuje do horní části parogenerátoru, odkud vedena rozvodem napájecí vody pod úroveň hladiny.

1.6 Chladicí médium primárního okruhu

Jak bylo předesláno v kapitole 1.3, chladicím médiem primárního okruhu je v případě VVER užitá („lehká“) voda upravená procesem demineralizace a sřízeným chemickým režimem. Při obtékání jednotlivých palivových prutů přejímá tepelnou energii z jejich pokrytí a v parogenerátoru je skrz stěny teplosměnných trubek předává vodě sekundárního okruhu. Druhou její funkcí je moderování řetězové reakce – zpomalování (snižování energie) rychlých neutronů, uvolněných z atomových jader během jejich štěpení, na požadovanou hodnotu – je tomu tak proto, že účinný průřez ^{235}U pro zachyt neutronu je nepřímo úměrný jeho energii. Prostřednictvím pružných srážek neutronů s atomy vodíku obsaženými ve vodě tedy dochází k jejich žádoucímu zpomalení a poklesu energie (uvádí se, že v průměru je ke zpomalení třeba 18) srážek. [23]

1.6.1 Složení chladiva primárního okruhu

V chladivu primárního okruhu se, mimo chemických reagentů pro řízení pH a dezoxidaci, objevuje také kyselina boritá H_3BO_3 , která je - díky obsahu izotopu bóru ^{10}B – účinným pohlcovačem neutronů. Při zachytu neutronu se izotop boru ^{10}B rozpadá na litium ^7Li a helium ^4He , případně tritium ^3H . Absorbční schopnosti boru se využívá k dlouhodobé regulaci a stabilizaci výkonu reaktoru v průběhu palivové kampaně redukováním přebytečné reaktivity. Její koncentrace se plynule snižuje až k nulové hodnotě – během vyhořívání paliva se snižuje neutronový tok a s ním tedy i potřeba pohlcování neutronů. Koncentrace na začátku palivové kampaně se vždy stanovuje v závislosti na uspořádání paliva v aktivní zóně a je tedy vždy individuální, orientačně lze uvést hmotnostní poměr 8g H_3BO_3 na 1 kg H_2O . Při odstavení reaktoru se do primárního okruhu přivede větší množství kyseliny borité – a to až na hodnotu 14 g H_3BO_3 na 1 kg H_2O . Tím je docíleno odstavné koncentrace, při níž řetězová reakce nemůže vůbec probíhat. [24] Dodávání koncentráту H_3BO_3 do primárního okruhu a udržování požadované koncentrace zabezpečuje Systém doplňování I. O. a bórové regulace.

Z primárního okruhu je kontinuálně odebírána část chladicího média jednak k filtraci od pevných složek a rozptýlených iontů čímž je snižována kontaminace a dále k odplynění. Chladivo je po provedení požadovaných úprav opět kontinuálně vráceno zpět do primárního okruhu.

Objem chladiva v celém primárním okruhu činí 251 m^3 a tento objem projde primárním okruhem přibližně stosedmdesátkrát za hodinu.

1.6.2 Aktivita chladicího média primárního okruhu

Ačkoli je jaderné palivo hermeticky uzavřeno prostřednictvím povlaku vůči svému okolí, chladicí médium primárního okruhu je přesto radioaktivním. Tento stav lze vysvětlit třemi hlavními příčinami – štěpné produkty se do něj mohou uvolňovat byť velmi nečistnými, avšak přesto existujícími mikroskopickými netěsnostmi. Další možnost průniku izotopů do chladiva představuje difuze skrz povlak. V těchto případech se tedy jedná o izotopy z uranové rozpadové řady. Příkladem lze uvést některé typické izotopy - jód ^{131}I a molybden ^{99}Mo s krátkým poločasem rozpadu. Cesium ^{137}Cs , promethium ^{147}Pm a stroncium ^{90}Sr zase reprezentují izotopy s delším poločasem rozpadu. [25]. Třetím faktorem je tzv. aktivace neutronovým tokem. Zde dochází, prostřednictvím zachytu neutronu v jádře stabilního izotopu k jeho přeměně na radioizotop. Typickými případy jsou draslík, vodík, kyslík, dusík a kobalt. Zdaleka největší význam však mají izotopy chromu ^{51}Cr a manganu ^{54}Mn , což jsou aktivované korozní produkty a představují nejzávažnější příčinu kontaminace zařízení a technologií. [26]

Na tomto místě lze ještě zmínit monitorování přítomnosti a koncentrace vybraných izotopů, zejména draslíku ^{40}K a tritia ^3H v sekundárním okruhu. Je realizováno kontinuálními detektory, a též prostřednictvím rozboru vzorků média sekundárního okruhu. Důvodem je včasné zachycení jedné z možných poruch systému – meziokruhové netěsnosti. Meziokruhovou netěsností je míněno pronikání chladicího média primárního okruhu do okruhu sekundárního (z důvodu podstatně vyššího tlaku I. O.). K tomu může dojít při porušení teplosměnné trubky v parogenerátoru typicky vlivem kritického zeslabení stěny. Včasné rozpoznání této události umožňuje eliminovat riziko kontaminace sekundárního okruhu a potažmo i okolního prostředí.

1.7 Příslušná legislativa v oboru

Oblast využívání atomové energie, potažmo jaderné energetiky, je vzhledem ke své fyzikální podstatě a potenciálním rizikům pro životní prostředí i obyvatelstvo, velmi specifická a odlišná od ostatních průmyslových oborů. To přirozeně ústí v nutnost její regulace dedikovanou legislativou a institucemi. Prvním takovým státním orgánem v tehdejší Československu byla Komise pro atomovou energii při Státním výboru pro rozvoj techniky vytvořená roku 1959. V roce 1962 byla nahrazena Československou komisí pro atomovou energii (ČSKAE). Po rozpadu Československa v roce 1992 byla tato

komise zrušena. Jejímí následnickými organizacemi se stal Úrad jadrového dozoru (ÚJD) [27] na Slovensku a v České Republice Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

1.7.1 Vývoj jaderné legislativy

Mimo vykonávání dozoru byla jednou z hlavních úloh ČSKAE formulace zásad provozování jaderných zdrojů a požadavků na jejich bezpečnost. Prvním legislativním dokumentem, do kterého byla tato problematika promítnuta, byla novelizace Stavebního zákona a z něj plynoucích prováděcích vyhlášek vydaná roku 1976 s číslem 50. Tato novela mimo jiné zaváděla prvotní legislativní oborovou terminologii. V dalších letech komise rozšiřovala soubor předpisů pro stavbu, spouštění a provoz jaderných zařízení, případně evidenci jaderných materiálů, a to formou výnosů. [28]

Zásadním milníkem jaderné legislativy byl rok 1984, kdy byl vydán zákon číslo 28/1984 Sb. - Zákon o státním dozoru nad jadernou bezpečností jaderných zařízení, který touto právní formou například zakotvuje postavení ČSKAE, jako orgánu zajišťujícího dozor nad jadernou bezpečností, schvalujícího podmínky pro provoz, ověřování způsobilosti a kontrolu atd. Dále zmíněný zákon určuje povinnosti orgánů a organizací zapojených do veškerých procesů v oblasti jaderných zařízení a stanovuje odpovědnost provozovatele za případné škody, které by vznikly v důsledku jejich provozování. Tento právní předpis je v platnosti do roku 1997, kdy je zrušen a místo něj uveden v platnost zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů [29]. Zde je například definována úloha a kompetence SÚJB, podmínky pro nakládání s radionuklidy, vyjmenovány typy povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření a náležitosti jeho získání a udržení. Dále je zde vymezeno nakládání s radioaktivními odpady a odpovědnosti za škody. Prováděcí předpisy tohoto zákona se pak týkají např. kategorizace zdrojů ionizujícího záření v závislosti na jejich potenciálu způsobit ohrožení životního prostředí a zdraví obyvatelstva (kategorie I až IV, vzestupně), požadavků na systémy jakosti služeb a zařízení, rozdělení zařízení do bezpečnostních tříd, zajišťování jakosti vybraných zařízení, radiační ochrany, havarijního plánování, fyzické ochrany jaderných zařízení atd.

1.7.2 Stručný popis současné legislativy v oboru

Současnou právní úpravou je zákon č. 263/2019 Sb. - Atomový zákon, přičemž ze zákona č. 18/1997 Sb. zůstala v platnosti pouze část upravující odpovědnost za způsobené škody.

Tento nový předpis reflektuje změny ve směrnících Evropského společenství pro atomovou energii a rovněž reaguje na nová doporučení Mezinárodní agentury pro atomovou energii. Zpřesňuje technické požadavky na jaderná zařízení a zajišťuje jejich harmonizaci se společným evropským legislativním prostředím.

Definuje podmínky ohledně využívání jaderné energie a zdrojů ionizujícího záření. Předepisuje obecná pravidla a principy radiační ochrany, radiační limity a povinnosti držitele povolení v zajišťování radiační ochrany. Vymezuje pojem Kontrolované pásmo, v němž se mj. Nachází primární okruh. Pro plánování prací v kontrolovaném pásmu je

jednou z určujících zásad povinnost provádět optimalizaci radiační ochrany – minimalizace ozáření pracovníků za ekonomicky akceptovatelných podmínek.

Dále tento zákon upravuje nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem, ukládá povinnosti jeho původcům a držitelům povolení. Zabývá se schvalováním výrobků pro oblast civilního využívání jaderné energie a jejich přepravou.

Následující části předepisují způsoby monitorování radiační situace (a předávání údajů SÚJB) jednak na území České republiky a rovněž v provozech pracovišť III. a IV kategorie, a to jak za normální situace, tak při havarijních stavech.

V oblasti zvládání mimořádných událostí radiačního charakteru je provedena jejich kategorizace jak do rozsahu ohrožení, tak v rámci potřebných opatření pro jejich zvládnutí. Držiteli povolení je uložena povinnost analyzovat rizika vzniku radiačních mimořádných událostí, zabezpečit připravenost k odezvám na tyto události a zajistit nápravu stavu po jejich zvládnutí.

Novým prvkem v resortu fyzické ochrany jaderných zařízení je tzv. životně důležitý prostor, neboli prostor, ve kterém jsou situovány zařízení a systémy důležité z hlediska jaderné bezpečnosti. Tento pojem přibyl ke stávajícím střeženým, chráněným a vnitřním prostorům. Životně důležitý prostor vyžaduje nástavbová technická a režimová opatření oproti původní organizaci prostorů; veškeré požadavky jsou stanoveny prováděcí vyhláškou.

Další oddíly se zabývají zákazem šíření jaderných zbraní, nakládáním s jaderným materiálem a položkami dvojího použití. Zároveň řeší výkon státní správy a mj. vymezuje kompetence a povinnosti SÚJB včetně a přestupků a pokut.

Oproti předchozímu zákonu, kde byl pojem „vybrané zařízení“ stanoven prováděcí vyhláškou č. 309/2005 Sb, je v současné úpravě určen přímo zákonem tak, že vybraným zřízením se rozumí *„systém, konstrukce, komponenta nebo jiná součást jaderného zařízení, které mají vliv na jadernou bezpečnost a na plnění bezpečnostních funkcí“*. [8]

Dále je nutno vyzdvihnout pojmy jaderná a technická bezpečnost, které patří k esenciálním požadavkům kladeným na zařízení a systémy a promítajícím se do jejich kontrol a údržby.

- Jadernou bezpečností je míněn *„stav a schopnost jaderného zařízení a fyzických osob obsluhujících jaderné zařízení zabránit nekontrolovatelnému rozvoji štěpné řetězové reakce nebo úniku radioaktivních látek anebo ionizujícího záření do životního prostředí a omezit následky nehod“* [8],
- Jako technická bezpečnost je definován *„stav trvalé shody vybraného zařízení s technickými požadavky na něj kladenými, při němž není ohroženo lidské zdraví a majetek“* [8].

Se změnou zákona je spojena i obměna prováděcích předpisů. Jmenovány budou vyhlášky, které jsou těsněji spjaty s tematem této práce a jejich stručný souhrn:

Vyhláška č. 361/2016 Sb.

Vyhláška o zabezpečení jaderného zařízení a materiálu zařazuje jaderný materiál do kategorií I až III – podle složení, množství a stavu ozáření. Tyto parametry jsou obsaženy v příloze. Předepisuje způsoby zabezpečení míst, kde se nachází materiál té které kategorie a požadavky na technické systémy, počítačové systémy a nakládání s daty v oblasti jejich fyzické ochrany, Omezuje vnášení určitých typů předmětů do těchto prostor a definuje požadavky na personál vstupující do těchto prostor. Nově je vyžadována bezpečnostní prověrka od Národního bezpečnostního úřadu, jakožto doklad spolehlivosti. Rovněž řeší fyzickou ochranu při transportu jaderných materiálů. [30]

Vyhláška č. 358/2016 Sb.

Vyhláška o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení svým zaměřením nahrazuje původní vyhlášku č. 309/2005 Sb. o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení. Oproti původní vyhlášce se zde již neobjevuje pojem „Vybrané zařízení speciálně navrhované“. Ukládá držiteli povolení vypracovat a udržovat seznam vybraných zařízení s textovou i výkresovou částí. U zařízení uvedených na tomto seznamu pak musí být prováděno posouzení shody. Určuje technické požadavky na vybraná zařízení a jejich části a řídí jak požadavky kvality, tak její zjišťování a dokumentování ve všech fázích od samotného návrhu až po provoz a údržbu. Upřesňuje formu dokumentace a dokladování splnění požadavků. Při posuzování shody při výrobě a montáži se nově musí posuzovat shoda s definovanými technickými požadavky i u výchozích materiálů. Velmi důležitým je §12, který rozděluje systém a zařízení dle jejich bezpečnostních tříd, účelu a parametrů (objem, světlost, pracovní tlak) do 3 skupin. Umístěním zařízení v té které skupině, se pak řídí i samotné posuzování shody, rozsah dokumentace a zkoušek a realizátor posouzení shody (upřesněno v přílohách vyhlášky). Na závěr realizace opravy, montáže, výroby či výměny musí být provedeno tzv. Konečné posouzení, skládající se z Konečné zkoušky, tlakové zkoušky, těsnostní zkoušky a kontroly funkce bezpečnostních prvků. [31]

Další významnější změnou oproti předchozí vyhlášce je zvýšení kvalifikačních nároků na osoby provádějící ověřování a dokumentaci kvality materiálů a pracovních postupů.

Vyhláška č. 329/2017 Sb.

Vyhláška o požadavcích na projekt jaderného zařízení nahradila vyhlášku č. 132/2008 o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení

s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd. Stanovuje nároky kladené na projekt jaderného zařízení ohledně jeho prevence havarijních stavů, havarijní připravenosti a zajištění jaderné bezpečnosti. Pro projektování i provoz určuje kritéria, mezi něž např. patří identifikace rizik z vnitřních i vnějších vlivů a jejich kombinací, a odolnost vůči jejich působení. U zařízení i palivových souborů vyžaduje systém na sebe navazujících bariér, které zamezují úniku radioaktivních látek. Upravuje provoz zařízení při ztrátě

některé bezpečnostní funkce. Jsou zde kategorizována zařízení podle jejich vlivu na jadernou bezpečnost, rozlišeny systémy podle jejich funkce a stanoveny požadavky na jejich funkčnost, spolehlivost, odolnost a kvalifikaci na prostředí. U systémů a zařízení jsou v závislosti na jejich zařazení dále předepsány hodnoty jejich minimální seismické odolnosti a odolnosti vůči pádu letadla či srovnatelného objektu. Ukládá držitel povolení povinnost zajištění systémů majících vliv na jadernou bezpečnost a jmenuje způsoby jeho zajištění prostřednictvím posuzování shody, ověřování a dokumentace. Zabývá se požadavky na vybraná zařízení ve všech etapách od výroby až po vyřazení. Specifikuje důležité technologické a stavební celky a určuje pravidla pro jejich návrh, provoz a údržbu. V dalších částech se zabývá radiační ochranou, resp. prostředky pro její zajištění a schopnosti jaderného zařízení zvládat mimořádné události a její následky. [32]

Příloha č. 1 této vyhlášky pak podobně popisuje zařazení systémů a zařízení do tří bezpečnostních tříd:

- a) V bezpečnostní třídě 1 jsou zařazena vybraná zařízení tvořící tlakovou obálku primárního okruhu a zároveň jejichž disfunkčnost, případně narušení integrity přímo vede k aktivaci bezpečnostních systémů [32]
- b) V bezpečnostní třídě 2 jsou zařazena vybraná zařízení, která tvoří bariérovou ochranu (povlak jaderného paliva, prvky hermetické obálky primárního okruhu), systémy pro prevenci a zvládání havarijních situací (rychlé odstavení reaktoru, dochlazování aktivní zóny, havarijní doplňování chladiva), stabilizaci havarijního stavu, vybrané informační systémy a zařízení, jejichž porucha by mohla vést k řetězci událostí ústícím v aktivaci havarijních systémů. [32]
- c) V bezpečnostní třídě 3 jsou zařazena vybraná zařízení, která plní bezpečnostní funkce a zároveň nepatří do předchozích bezpečnostních tříd. Jejich charakteristickým rysem je nahraditelnost jejich funkce dalšími opatřeními. Patří sem například systémy technické vody důležité pro chlazení tepelných výměníků havarijních systémů, odvodu zbytkového tepla, zajišťování provozních parametrů a obsluhování systémů vyšších bezpečnostních tříd. [32]

Vyhláška č. 422/2016 Sb.

Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje nahrazuje dřívější vyhlášku č. 307/2002 Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně. Stanovuje limity ozáření z umělých zdrojů jednak pro civilní obyvatelstvo a jednak pro radiační pracovníky. Upřesňuje součinitele pro stanovení nákladů optimalizace nařízené radiační ochrany atomovým zákonem a doplňuje další požadavky. Určuje pravidla pro provozování kontrolovaného a sledovaného pásma a provádění pracovních činností v těchto pásmech provozovaných. Předepisuje požadavky na přípravu radiačních pracovníků, požadavky na jejich zdravotní stav a ověřování jejich znalostí. Dále ukládá povinné administrativní úkony spojené s výkonem práce v kontrolovaném pásmu, evidenci dávek apod. Zbývající části vyhlášky řeší např. problematiku lékařského ozáření, průmyslových zdrojů ionizujícího záření, radonu ve stavebách a radiační ochranu při dalších činnostech. Rovněž je zde regulováno vypouštění a ukládání radioaktivních látek a stanovení opatření pro řešení nehod s rizikem ozáření. [33]

1.8 Režimy reaktorového bloku VVER-440:

U reaktorového bloku se rozeznává několik stavů, které jsou rozlišitelné na základě vybraných fyzikálních parametrů, respektive stavu aktivní zóny reaktoru. Tyto stavy pak mají mimo jiné vliv na možnost provádění kontrol a oprav zařízení. Vzhledem k zaměření práce budou jmenovány pouze normální stavy, nikoli havarijní.

Za běžného provozu, kdy jsou turbogenerátory typicky přifázovány k elektrorozvodné soustavě a dodávají elektřinu do sítě, nachází se blok v režimu 1, neboli Provozu bloku na výkonu. Určujícími parametry režimu 1 jsou: výkon reaktoru vyšší, než 2 % výkonu nominálního, koeficient reaktivity je větší, než – 1 %, tlak v primárním okruhu se pohybuje v rozmezí 9,3 až 13,7 MPa a teplota na výstupu z aktivní zóny činí minimálně 250 °C. [6]

Při podkročení 2 % jmenovitého výkonu přechází blok do režimu 2. Koeficient reaktivity je menší, nebo roven – 1 %, teplota na výstupu z aktivní zóny se pohybuje v rozmezí 190 až 250 °C, tlak nad hodnotou 9,3 MPa. V tomto režimu se blok nachází například při vynucených opravách zařízení, pro které není nutné celkové vychlazení a odtlakování systému, nýbrž postačuje snížení provozních parametrů – například revize ucpávky HCČ bez roztěsnění HDR při lokalizaci dané smyčky hlavními uzavíracími armaturami, výměna elektromotoru HCČ, opravy menšího rozsahu prováděné v hermetických boxech apod. Blok tímto režimem přirozeně prochází též při najíždění, nebo odstavení. Doba, po níž lze režim 2 udržovat je však omezena na maximálně 3 dny - z důvodu nižší stability způsobené slabším efektem záporných zpětných vazeb při nízkém výkonu. Režim 2 se nazývá Nevýkonový provoz. [34]

Do režimu 3, který se též nazývá Horká rezerva, se vstupuje dalším snížením reaktivity; od tohoto režimu již aktivní zóna pracuje toliko na zbytkový výkon. Teplota na výstupu z aktivní zóny je nižší, než v předchozím režimu, avšak vyšší, než 180 °C. Tlak je rovněž typicky nižší, avšak stále výrazně převyšuje hodnotu tlaku atmosférického. Maximální doba setrvání zde činí pouze 24 hodin z důvodu fyziky reaktoru – vzhledem k vyhoření k vyhoření xenonu ^{135}Xe v jaderném palivu by po uplynutí této doby nastal samovolný nárůst reaktivity. [6]

Režim 4, neboli Polohorká rezerva je charakterizován teplotou nižší, než 180 °C na výstupu z aktivní zóny, avšak teplota primárního okruhu musí být s dostatečnou rezervou převyšovat teplotu křehkého lomu tlakové nádoby reaktoru. Dochlazování nyní probíhá v parovodním a posléze vodo-vodním režimu a namísto cirkulační chladicí vody je koncový odvod tepla zajišťován systémem technické vody důležité. Tlakové a těsnostní zkoušky primárního a sekundárního okruhu, případně pevnostní zkoušky se provádějí právě v tomto režimu při najíždění bloku [6].

Při teplotě chladiva primárního okruhu na výstupu z aktivní zóny nižší, než 90 °C vstupuje blok do režimu 5, který se nazývá Odstavení s dochlazováním primárního okruhu. Tlak v tomto režimu je stále vyšší, než atmosférický – primární okruh je stále hermeticky uzavřen. Dochází k odstavení všech HCČ a dochlazování aktivní zóny od této chvíle probíhá samospádnou cirkulací. V tomto režimu je možné např. provádět funkční, tlakové, těsnostní či pevnostní zkoušky na pomocných zařízeních a systémech. [6]

Režim 6, nazvaný Odstavení s roztěsněním primárního okruhu, se z předchozího režimu přechází otevřením armatur zavzdušnění I. O., čímž dojde ke sjednocení tlaku v systému s tlakem atmosférickým. Samospádná cirkulace probíhá přes jeden určený parogenerátor, přičemž alespoň jeden další je v rezervě. V tomto režimu lze provádět práce na zařízení primárního okruhu spojené s jejich rozěšňováním a manipulace s jaderným palivem v aktivní zóně. Typové generální opravy bloku probíhají právě v tomto režimu. [6]

Posledním stavem je Vyvezení paliva z aktivní zóny, čili režim 7, který se však týká toliko samotného reaktoru. Nastává okamžikem, kdy je z aktivní zóny vyvezen poslední palivový soubor. V tomto režimu je možno provádět kontroly tlakové nádoby reaktoru. Tyto kontroly probíhají dle předepsané periody a jsou prováděny pomocí dálkově ovládaného manipulátoru. Jedná se o NDT pomocí ultrazvuku, vířivých proudů a nepřímé vizuální kontroly, při nichž je ověřován bezpečný stav tlakové nádoby a její další provozovatelnost. Práce na ostatních zařízeních probíhají stejně jako v režimu předchozím.

2 HLAVNÍ CIRKULAČNÍ ČERPADLO NA JE DUKOVANY

Ačkoli konstrukce primárního okruhu umožňuje přirozenou konvekci chladicího média samospádem, pro většinu provozních stavů reaktoru není tato forma tepelné výměny v žádném případě dostatečnou. S chlazením aktivní zóny přirozenou konvekcí se lze setkat například u nízkovýkonových školních či experimentálních reaktorů. U reaktorů energetických – vzhledem k vysoké koncentraci výkonu – se jí pak využívá pouze při odvodu zbytkového tepla při odstaveném a vychlazeném systému. Základním účelem hlavního cirkulačního čerpadla je tedy kontinuální zajišťování nuceného oběhu chladicího média primárního okruhu. Dalšími účely je pak nasazení HCČ jako pomocného zdroje tepla při náběhu bloku po jeho odstavení a využití tlakového spádu mezi sáním a výtlakem pro kontinuální čištění chladiva I. O.

2.1 HCČ jako přídavný zdroj tepla

Prvotní náhřev systému totiž neprobíhá prostřednictvím řízené štěpné reakce (aktivní zóna se v této fázi podílí pouze zbytkovým teplem), nýbrž vnosem tepelné energie z jiných zdrojů. Start reaktorového bloku bez externího zdroje tepla je sice teoreticky možný, avšak je velice problematický. Zásadním důvodem je nemožnost dodržení optimálních křivek ohřevu zařízení primárního i sekundárního okruhu a tím značné čerpání jejich životnosti. Dalším důvodem je jaderná bezpečnost – nízká teplota primárního okruhu přináší kladnou reaktivitu, proto je potřebné dosahovat MKV při vyšších teplotách. Krom toho je tento proces také podstatně zdlouhavější. [34]

Nejprve je tedy zahájeno natápění přes sekundární okruh pomocí páry přivedené z některého vedlejšího bloku. Odstávky jsou plánovány tak, aby vždy minimálně jeden, optimálně však tři bloky, byly provozovány na výkonu. Hypoteticky by ale působením nepříznivé kombinace různých příčin mohla nastat situace, kdy budou odstaveny zároveň všechny 4 bloky. V takovém případě by bylo nutno výrobu páry zajistit například prostřednictvím mobilní kotelny na mazut či zemní plyn. Takováto situace však – mimo prvotní spouštění – na JE Dukovany doposud nenastala.

Jakmile je během natápění dosaženo teploty chladiva I. O. 130 °C, dochází ke spuštění pěti HCČ. Provoz jednoho HCČ zvýší teplotu média I. O. o 1 °C za hodinu – příčinou je přeměna ztrátové energie na tepelnou. Běh pěti HCČ tedy zvyšuje trend náhřevu o 5 °C·hod⁻¹ – samozřejmě v režimu bez odebírání tepla sekundárním okruhem. Jakmile teplota chladiva I. O. přesáhne 200 °C, připojí se i poslední čerpadlo. V této fázi se pak aktivní zóna reaktoru uvádí do kritického stavu a snižováním koncentrace kyseliny borité se dosahuje MKV. [34]

2.2 HCČ v systémech VVER

V Československu probíhal v sedmdesátých letech 20. století vývoj hlavního cirkulačního čerpadla vlastní koncepce. Prováděla jej SIGMA Lutín n. p. pod označením

500 BIKS. Byl vyroben pouze jeden prototyp tohoto čerpadla a v roce 1976 byl vývoj zastaven.

Dodavatelem HCČ pro československé jaderné bloky tak zůstala ruská společnost CKBM Petrohrad (t. č. CKBM Leningrad). Historie tohoto výrobce čerpadel je, obdobně jako historie tlakovodních reaktorů, původně spjata s lodními pohony. V roce 1952 představila HCČ pro primární okruh jaderných ponorek označené CEN-402, později pak novější typy jako GCEN-162, VCEN-162. Čerpadla vyráběná od roku 1962, typu CEN-181MN a CEN-188 byla zase určena pro ledoborce s jaderným pohonem. Pro energetické účely tu pak jsou typy GCEN-310 a modernější GCN-317 (někde uváděno též GCEN-317) určené pro bloky VVER-440. Pro bloky VVER-1000 se je určen typ GCN-195M. [35]

2.2.1 Prvotní provedení HCČ na blocích VVER-440

U systémů VVER-440 se jako hlavní cirkulační čerpadlo původně používal typ GCEN-310, a to do roku 1978. Těmito čerpadly byly například vybaveny bloky V1 jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice. Jednalo se o radiální čerpadlo ve vertikálním provedení. Zde je nutno poznamenat, že svislá koncepce hlavního cirkulačního čerpadla je velmi typickým rysem primárních okruhů rozličných koncepcí jaderných elektráren. Je tomu tak z prostorových důvodů. Vertikální čerpadlo má menší půdorysnou plochu, což je výhodné, neboť rozloha hermetických prostor, resp. kontejmentu, je velmi limitována ponejvíce v horizontální rovině. [36]

Jedním ze základních požadavků na čerpadla je, aby čerpané médium co nejméně pronikalo ze jeho hydraulické části do okolního prostředí. Tento požadavek je tím naléhavější, čím je čerpaná látka nebezpečnější pro člověka, či životní prostředí – což u radioaktivních platí bezesbýtku. Čerpadlo GCEN-310 je bezucpávkového provedení. Pro zamezení unikání radioaktivních látek během provozu, je celá vyjímáatelná část, včetně elektromotoru zapouzďřena a v zásadě tak s primárním okruhem tvoří společný hermetický celek.. Chlazení elektromotoru je zajišťřeno přídavným elektroventilátorem. Ložiska jsou mazána vodou, díky čemuž na jednu stranu není vyžadováno olejové hospodářství, avšak z hlediska snížení tření a opotřebení to není optimální řešení. Aby bylo zamezeno zkratu vinutí elektromotoru způsoběnému vniknutím vodivého chladiiva primárního okruhu, nachází se mezi statorem a rotorem přepážka. Tato přepážka tedy tvoří základní bariéru mezi primárním okruhem a okolním prostředím. Jejím materiálem je slitina niklu a chromu. Její přítomnost má však nepříznivý vliv na elektromagnetické pole motoru, což vede k významnému snížení celkové účinnosti. Vzhledem k vnitřnímu zapouzďření zde není prostor pro umístění setrvačníku elektromotoru, což vede k další nevýhodě, kterou je velmi krátká doba doběhu v případě výpadku elektrického napájení. [37]

Výhodou tohoto provedení je tedy nepřítomnost úniků přes ucpávku. Vzhledem k nepřítomnosti ucpávek má zařízení nižší stavební výšku. Lze uvést i nepotřebnost olejového hospodářství, což je však značně ambivalentní vlastnost. Naproti tomu převažují jmenované nevýhody, k nimž se navíc přidává velká hmotnost agregátu a jeho vyšší cena.

2.2.2 Současný typ HCČ

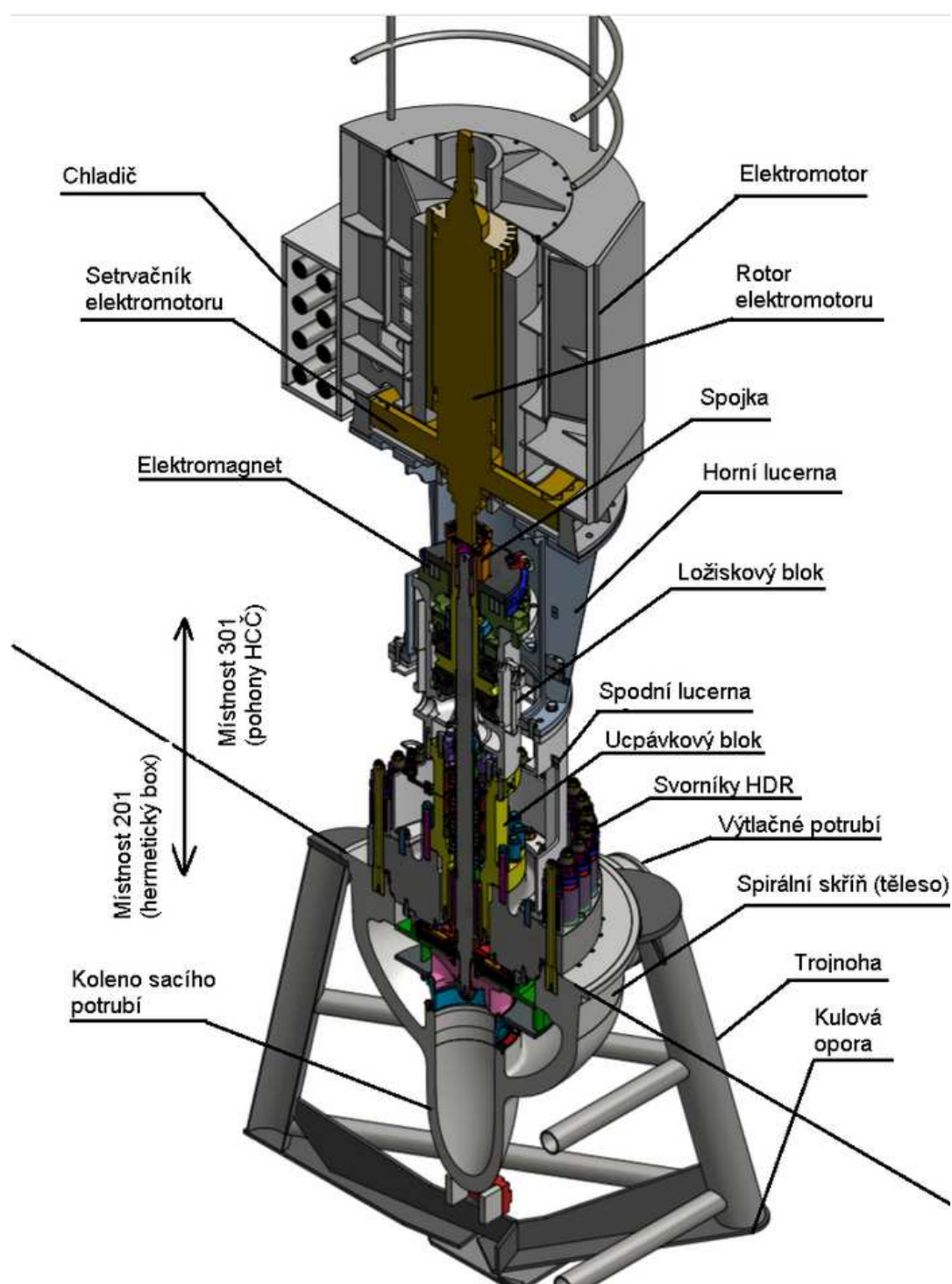
Na JE Dukovany jsou instalována čerpadla typu GCN-317, jehož základní charakteristiky uvádí tab. 2.1.

Tab. 2.1: Základní charakteristiky HCČ GCN-317 [37]

Stavební výška celého zařízení	9300 mm
Hmotnost zařízení	42 000 kg
Hmotnost vyjímatelné části s transportním zařízením	15 000 kg
Provozní teplota čerpaného média	270 °C
Příkon elektromotoru při studeném I. O.	1,6 MW
Příkon elektromotoru při provozní teplotě I. O..	1,4 MW
Napájení	6 kV, nezajištěné
Objemový průtok	7 100 m ³ ×hod ⁻¹
Tlak na sání	12,11 MPa
Tlakový spád sání - výtlač	0,425 ±0,025 MPa
Směr otáčení při pohledu shora	Pravý

I zde se jedná o vertikální provedení radiálního odstředivého čerpadla. Je rovněž jednostupňové. Na rozdíl od přechozího typu je však toto čerpadlo ucpávkové koncepce, neboli provedení s utěsněnou hřídelí. Problém s únikem čerpané látky přes mechanickou ucpávku je zde řešen formou tzv. zahlcení ucpávky. Toho je docíleno prostřednictvím vhánění tlakové vody do mechanické ucpávky, přičemž tato voda plní funkci chladicího a bariérového média ucpávky. Spodní ložisko je zde rovněž mazáno vodou, horní ložisko a elektromotor jsou však mazány turbínovým olejem. Jeho oběh, filtraci a chlazení zabezpečuje dedikované olejové hospodářství, které se nachází na kótě 0 m, mimo hermetické prostory. [37]

Z pohledu legislativy je HCČ zařazeno v bezpečnostní třídě 1 dle Vyhlášky 329/2017 Sb. a z hlediska nároků na dokladování jakosti náhradních dílů a postupů posuzování shody podléhá třetímu odstavci §12 Vyhlášky 358/2016 Sb.



Obr. 7: Řez hlavním cirkulačním čerpadlem typu GCN 317

2.3 Jednotlivé části HCČ GCN 317

V následujících podkapitolách jsou přiblíženy jednotlivé části zařízení, viditelné na řezu celým čerpadlem - obr. 7.

2.3.1 Trojnoha

Podpěrnou konstrukci zařízení tvoří svařenec z ocelových trubek, zvaný trojnoha HCČ. Vzhledem k poměrně značnému rozsahu teplot, ve kterých se systém nachází (od cca 25 °C při odstavení, až po 270 °C při provozu na výkonu) dochází k tepelné dilataci – především na hlavním cirkulačním potrubí chladicích smyček. Jelikož je s tímto potrubím HCČ pevně spojeno, nemůže být jeho trojnoha pevně ukotvena, nýbrž musí umožňovat pohyb v rámci této dilatace. Za tímto účelem trojnoha spočívá na tzv. kulových oporách, které umožňují odjetí čerpadla při náhřevu bloku a jeho zpětný pohyb při jeho vychlazení. Kulová podpěra je tvořena dvěma deskami, mezi nimiž se nacházejí broušené ocelové koule umístěné v rámečku. Spodní deska spočívá na podlaze, horní je uchycena k trojnoze a ve vymezeném rozsahu se po těchto koulích posouvá. Uložení čerpadla na trojnoze zachyceno na obr. 8



Obr. 8: Usazení HCČ v trojnoze a pryžový vlnovec

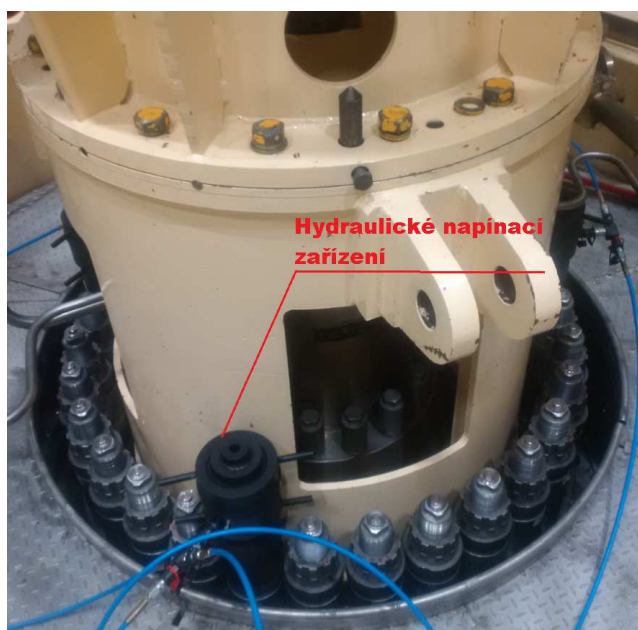
2.3.3 Těleso čerpadla a vlnovec

Těleso čerpadla, zvané též ulita je shora usazeno na trojnoze a připojeno šroubovými spoji. Tvoří jej spirální skříň sloužící ke směřování toku kapaliny, prstenec se závitovými hnízdy svorníků HDR, těsnicí plochy HDR a jejich středící průměry, příruba uchycení pryžového vlnovce a vnější prstenec pro uložení na trojnoze. K tělesu čerpadla je připojeno koleno sání a výtlačné hrdlo. Tato část se, společně s trojnohou, nachází v místnosti 201, neboli v hermetických prostorách, společně s parogenerátory, hydraulickou částí hlavních uzavíracích armatur a hlavním cirkulačním potrubím chladicích smyček. Ostatní části čerpadla se však nacházejí v jiné, výše položené místnosti č. 301. Tato místnost, nesoucí

označení Paluba HCČ, případně Místnost elektropohonů HCČ, však již patří do nehermetických prostor. Aby bylo dosaženo nepropustnosti mezi místnostmi 201 a 301 a zároveň byl umožněn pohyb čerpadla nezbytný z důvodu již zmíněné tepelné, dilatace potrubí, je použit pryžový vlnovec. Tento membránový vlnovec má tvar mezikruží a je opatřen vnější a vnitřní přírubou. Vnější příruba je přišroubována ke stavební části – stropu místnosti č. 201. Vnitřní příruba je sešroubována s tělesem čerpadla.

2.3.3 Spojovací materiál HDR

Spojení vyjímatelné části a tělesa čerpadla zajišťuje 30 ks svorníků M100 / M80. Tyto svorníky jsou zašroubovány v závitových hnízdech tělesa čerpadla a procházejí skrz díry v přítlačné přírubě. Na závitech v jejich horní části jsou našroubovány matice. Tyto matice přenášejí předepínací sílu na přítlačnou přírubu přes podložky a talířové pružiny umístěné ve válcových pouzdrech. Dotažení těchto svorníků se neověřuje kontrolou utahovacího momentu, nýbrž měřením jejich elastického prodloužení. Za tímto účelem je v nich vyvrtána díra zakončená dosedacím trnem. Do této díry se pak vkládá kalibrovaná měřicí tyč. Prostřednictvím úchylkoměru upevněného ve speciálním stojanu se pak změří vzdálenost čela vyčnívajícího konce tyče vůči čelu svorníku. Je přirozeně nutné znát výchozí délku nezatíženého svorníku – ta se zjišťuje při každé generální opravě HCČ, když jsou svorníky pouze volně natočeny v závitových hnízdech. Tato hodnota je pro každý svorník zaznamenána a archivována až do příští generální opravy, kdy jsou získány nové údaje. Porovnáním výchozí délky a délky naměřené po dotažení (případně při provozu) se pak zjistí jeho prodloužení. Obr. 9 znázorňuje svorníky HDR při jejich dotahování prostřednictvím hydraulického napínacího zařízení.



Obr.: 9 Svorníky HDR při dotahování

2.3.4 Sestava vyjímatelné části

Na tělese čerpadla spočívá přítlačná příruba, někdy zvaná též víko čerpadla. Proti sobě ležící těsnicí plochy přítlačné příruby a tělesa čerpadla tvoří hlavní dělicí rovinu čerpadla. Ta je utěsněna hřebínkovým těsněním z expandovaného grafitu s vložkou z korozi-vzdorné oceli. Těsnění má rozměr 1208 x 1250 mm. Přítlak nutný k zabezpečení správné těsnicí funkce je vyvozen jednak hmotností horní části čerpadla, ale především napětím svorníků HDR, daným jejich předepsaným pružným prodloužením, které se musí pohybovat v rozmezí 0,56 až 0,61 mm.

Dále se na přítlačné přírubě nachází drážka, ve které je uložena ucpávková šňůra zajištěná děleným a svíracím kroužkem. Tato ucpávková šňůra tvoří tzv. sekundární těsnění. V případě netěsnosti HDR tato šňůra zamezí pronikání chladiva I. O. do okolního prostoru. Unikající chladivo pak přetéká pouze do jímky, což je zachyceno čidlem a tento únik je pak signalizován na blokovou dozornu.

Přítlačná příruba je obestavěna demontovatelnými bloky biologického stínění. Tyto bloky sahají do úrovně matic svorníků HDR. V místnosti 201 je totiž jiná radiální situace, než v místnosti č. 301 - vzhledem k umístění hlavního cirkulačního potrubí, těles čerpadel a chladiva I. O., které obsahují. Účelem biologického stínění je tedy snížení dávkového příkonu ionizujícího záření pro personál provádějící opravy v místnosti č. 301.

K přítlačné přírubě je připojen ucpávkový blok, obsahující čtyřstupňovou mechanickou ucpávku a pouzdro spodního radiálního ložiska. Ucpávkový blok na sobě dále nese příruby pro připojení systému zahlcení ucpávky, přívod čistého kondenzátu, odvod do speciální kanalizace, přírub autonomního okruhu a měření tlaku.

Na ucpávkovém bloku je uložen ložiskový blok, nesoucí vnitřní osazení a vestavby pro výstelku horního radiálního ložiska a opěrných věnců axiálního ložiska. Ve vrchní části je umístěn elektromagnet a disk elektromagnetu. Nad odlehčovacím diskem elektromagnetu se nachází rovnoboké drážkování a koncová závitová část rotoru čerpadla. K ložiskovému bloku je prostřednictvím přírubových spojů napojen vstup a výstup mazacího oleje.

Přítlačná příruba, ucpávkový blok a ložiskový blok jsou vzájemně slícovány, svrtány a jejich poloha je zajištěna kolíky. Toto slícování je provedeno výrobcem pomocí speciálního přípravku – tento přípravek není jinak k dispozici. Proto tyto 3 části nejsou jednotlivě vyměnitelné a v případě neodstranitelných vad byt' jen jedné z těchto částí, musí být vyměněna celá vyjímatelná část.

2.3.5 Nosné konstrukce a příslušenství

Konstrukce ucpávkového a ložiskového bloku je uzpůsobena jejich prvotním účelům a nejsou tedy vhodné pro plnění funkce nosných prvků, zejména břemene o značné hmotnosti, jakým je elektromotor. Pro přenášení hmotnosti elektromotoru na přítlačnou přírubu je čerpadlo vybaveno nosnými konstrukcemi, obklopujícími ložiskový a ucpávkový blok. Tyto konstrukce se nazývají spodní a horní lucerna. Jedná se o svařence

z uhlíkové oceli. Horní lucerna nese navíc pomocné cirkulační čerpadlo (obr. 10) a hydrocyklon.

Pomocné cirkulační čerpadlo výrobního typu VCEN-315 je bezucpávkové, jednostupňové radiální čerpadlo zařazené do autonomního okruhu HCC. Je tvořeno válcovým statorovým pouzdem, uzavřeným přírubovými víky. Sání a výtlačk připojeny prostřednictvím přírubového spoje. Rotor uchycen ve dvou radiálních ložiskách a jednom axiálním ložisku. Tyto ložiska mají grafitovou výstelku a jsou mazána procházejícím médiem. Přenos točivého momentu z hřídele na oběžné kolo zajištěn perem. Vzhledem k poměrně malým rozměrům zařízení a nízké frekvenci provozního využití, je zde bezucpávkové provedení vhodným řešením.



Pomocné cirkulační
čerpadlo

Obr.: 10 Umístění pomocného cirkulačního čerpadla

Hydrocyklon je odstředivý (cyklonový) čistič kapaliny. Je zařazen na trase přívodu tlakové ucpávkové vody před chladičem a zabezpečuje její zbavení pevných částic a nečistot před vstupem na mechanickou ucpávku. Odvod z hydrocyklou je směřován do autonomního okruhu.

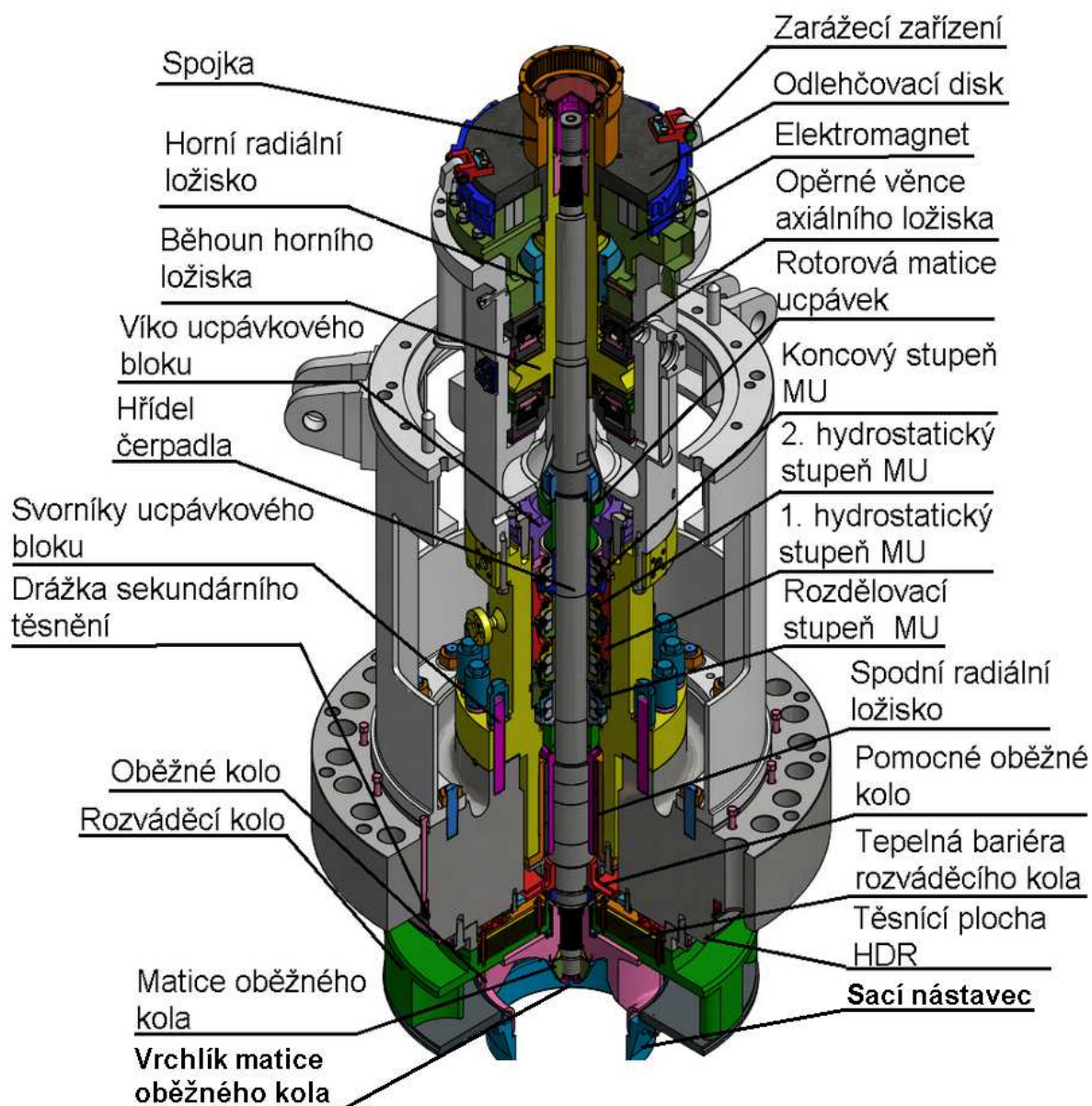
Z horní lucerny vystupuje konzola, na které je uložen chladič. Ten se skládá ze dvou částí. První polovina chladí tlakovou ucpávkovou vodu, která bezprostředně poté vstupuje do mechanické ucpávky. Druhá polovina zajišťuje chlazení autonomního okruhu. Teplo z chladiče je pak prostřednictvím technické vody důležité odváděno do koncového jímáče tepla. Avšak vzhledem k tomu, že ucpávková voda i autonomní okruh mají větší tlak, než systém technické vody důležité, nelze z důvodu jaderné bezpečnosti tuto tepelnou výměnu provádět přímo. Mezi TVD a chladič HCC je tedy umístěn tzv. vložený okruh chlazení HCC, jehož médiem je čistý kondenzát. Vložený okruh tedy odebírá tepelnou energii ucpávkové vodě a autonomnímu okruhu a předává ji TVD, čímž je zamezeno průniku radioaktivních látek do životního prostředí z důvodu meziokruhové netěsnosti. [38] Vložený okruh dále ještě odebírá teplo ze vzduchového chladiče elektromotoru a

elektromagnetu. K chladiči je připojena také trasa organizovaných úniků, určená k odvodu čerpadla.

2.3.6 Elektromotor

Hlavní cirkulační čerpadlo je poháněno trojfázovým asynchronním elektromotorem, který je umístěn na horní lucerně. Přenos točivého momentu z rotoru elektromotoru na rotor čerpadla zajišťuje spojka s pružnými lamelami. Protože napájení motoru HCČ není (na rozdíl od např. havarijních systémů) zálohováno dieselgenerátory, je ve spodní části motoru umístěn rozměrný disk setrvačníku. V případě ztráty napájení vlastní spotřeby tak HCČ díky tomuto setrvačníku doběh okolo 100 s, což je dostatečně dlouhý čas pro odstavení reaktoru a najetí diverzních systémů chlazení aktivní zóny.

Ložiska tohoto elektromotoru jsou rovněž mazána olejem dodávaným olejovým hospodářstvím, odvod tepla z chladiče elektromotoru zprostředkovává vložený okruh chlazení HCČ.



Obr.: 11 Řez vyjímatelnou částí HCČ

2.4 Vyjímatelná část čerpadla

Podrobnější řez vyjímatelnou částí je zachycen na obr. 11. Chladicí médium primárního okruhu vstupuje do čerpadla sacím nástavcem, který směřuje proud kapaliny na lopatky oběžného kola. Těsnicí kruh se pohybuje v horním osazení nástavce. Nástavec je uchycen k rozváděcímu kolu šroubovým spojem zajištěným pojistnými podložkami.

Rozváděcí kolo je odlitek z oceli 08CH18N10T. Lopatky rozváděcího kola zajišťují optimální tok média mezi oběžným kolem a výtláčným potrubím. V tělese rozváděcího

kola je namontována tepelná bariéra omezující kondukci tepla do dalších částí čerpadla. Rozváděcí kolo je přišroubováno k přítláčné přírubě a šrouby jsou zajištěny jazýčkovými podložkami. Mezi rozváděcí kolo a přítláčnou přírubu je vloženo grafitové (dříve měděné) těsnění, které zamezuje konvekci horké vody primárního okruhu do prostoru nad rozváděcím kolem.

Oběžné kolo čerpadla je odlitkem z oceli 08CH18N10T. Chladicí médium je nasáváno zespod ve směru osy kola těsnicím kruhem, který zvyšuje účinnost sání. Rotující lopatky kapalině udělují kinetickou energii a radiálně směřují do rozváděcího kola. Točivý moment je z hřídele přenášen prostřednictvím evolventního drážkování v náboji kola. Axiálně je oběžné kolo (respektive jeho náboj) zapřeno o osazení na hřídeli přes horní kužel a z druhé strany uchyceno maticí dotaženou na předepsaný moment a zajištěnou podložkou. Na matici dosedá vrchlík matice zašroubovaný do závitové díry v čele hřídele. Tento vrchlík, skládající se z kulové úseče a závitové části, zlepšuje obtékání matice čerpaným médiem. Materiálem matice a vrchlíku je ocel 25Ch17N2B-Š.

Nad rozváděcím kolem se nachází pomocné oběžné kolo. Přenos točivého momentu z hřídele přes pero. Toto oběžné kolo obstarává cirkulaci vody autonomního okruhu. Autonomní okruh HCC slouží k mazání a chlazení spodního radiálního ložiska. Potrubí autonomního okruhu je k ucpávkovému bloku připojeno jednou z bočních přírub. V ucpávkovém bloku voda autonomního okruhu pokračuje kanálem, který ji vyvede mezi rozdělovací stupeň MU a spodní radiální ložisko. Po průchodu ložiskem je nabírána lopatkami pomocného oběžného kola, ve kterém mění směr z axiálního na radiální a rozlévá se do vybrání mezi ucpávkovým blokem a vnitřní plochou přítláčné příruby. Poté pokračuje směrem vzhůru, kde je svedena do dalšího kanálu a opět vyvedena z ucpávkového bloku. Odtud pokračuje potrubím do chladiče a zpět do čerpadla. Při náběhu a doběhu čerpadla však samotné pomocné oběžné kolo není schopno zajistit potřebný průtok spodním radiálním ložiskem, což by vedlo k jeho zadírávání. Proto je do trasy autonomního okruhu ještě vloženo již popsané pomocné cirkulační čerpadlo, které se uvádí do chodu při startu nebo odstavování HCC. Pomocné cirkulační čerpadlo pak zabezpečí dostatečné mazání a chlazení spodního ložiska při nízkých otáčkách rotoru.

Spodní radiální ložisko tvoří hřídelové pouzdro z austenitické oceli a grafito-teflonová výstelka s podélnými drážkami. Výstelka je umístěna ve vložce s přírubou, přes níž je přišroubována ke spodnímu čelu ucpávkového bloku. Jmenovitý průměr ložiska je 200 mm a mezi pouzdem a výstelkou je radiální vůle 0,3 až 0,6 mm. Tímto prostorem a drážkami ve výstelce proudí voda autonomního okruhu.

Nad spodním radiálním ložiskem je umístěna sestava mechanické ucpávky. Vzhledem k reaktivně vysokému přetlaku primárního okruhu, jeho teplotě a zejména obsahu radioaktivních látek jsou na takovou ucpávku kladeny značné nároky. Skládá se ze 4 stupňů, přičemž každý tento stupeň je tvořen rotorovým a statorovým dílem – obr. 12 ukazuje rotor čerpadla s nasazenými rotorovými díly tak, jak je umístěn v čerpadle.



Obr. 12: Rotor HCC. V popředí odlehčovací disk se zarážecím zařízením, dále běhoun horního ložiska, rotorové díly ucpávky, pouzdro spodního ložiska, pomocné oběžné kolo a oběžné kolo.

Jednotlivé ucpávkové prvky se skládají z tělesa, grafitového kroužku, unašeče grafitu, trysek, sítky, příložky, spojovacího a těsnicího materiálu. Části, které jsou vůči sobě v relativním klidu jsou zatěsněny pryžovými O-kroužky. Jmenovitě jde o vnější obvod starorového tělesa ucpávky vůči vnitřní stěně ucpávkového bloku a vnitřní průměr rotorového tělesa ucpávky vůči vnějšímu obvodu hřídele. Těsnost mezi vzájemně se pohybujícími elementy, tedy mezi rotorovým a statorovým dílem zabezpečují ucpávkové kroužky vyrobené slinováním ze směsi grafitu a křemíku. Tyto kroužky jsou uloženy v ucpávkových tělesech a rovněž po obvodu zatěsněny O-kroužky. Těsnicí rozhraní zde tvoří čelní plochy těchto kroužků, které jsou stlačeny k sobě a konají vzájemný kluzný pohyb. Grafitový kroužek rotorového a statorového tělesa spolu tvoří tzv. třecí dvojici. Na kvalitu jejich povrchu jsou tak kladeny poměrně značné nároky. Z toho důvodu je jejich povrch lapován, jeho rovinnost je kontrolována planparalelním sklem a celistvost ověřována kapilární kontrolou. Ve statorovém tělese jsou grafitové kroužky uloženy na pružinách, aby byl zajištěn co nejrovnoměrnější přítlak čelních ploch. [38]

Na 1. hydrostatický stupeň MU je zavedena tlaková ucpávková voda, přiváděná z jedné z odboček systému doplňování I. O. Systém doplňování má vyšší tlak, než primární okruh (tento přetlak nabývá při provozu hodnot 0,2 až 0,5 MPa), čímž je zabráněno chladivu I. O. pronikat do dalších částí čerpadla. Tlaková těsnicí voda vchází přes sítko do trysek v grafitových kroužcích a odsud do vnitřního prostoru ucpávkového tělesa, poté se dostává mezi třecí dvojici, kde tvoří kluzný film. Odvod tlakové těsnicí vody z ucpávek je prostřednictvím systému organizovaných úniků veden zpět na sání doplňovacích čerpadel. Aby bylo zabráněno usazování a krystalizaci kyseliny borité na koncovém stupni MU, je prováděn jeho proplach čistým kondenzátem. Jeho odtok je pak sveden do speciální kanalizace. Rotorové ucpávky jsou staženy maticí na hřídeli. Ucpávkový blok je uzavřen přírubovým víkem a utěsněn grafitovým těsněním. [38]

V ložiskovém bloku se nachází nosné/opěrné axiální ložisko, tvořené dvěma věnci s kompozitními segmenty, přičemž během provozu je namáhán zejména horní věnec. Mezi těmito věnci se pohybuje disk vodící hlavy. Radiální ložisko jmenovitého průměru 240 mm je tvořeno pouzdrem s výstelkou z kompozitní slitiny B-83, uchycené v tělese ložiskového bloku. Ve výstelce rotuje válcová část vodící hlavy. Souosost vodící hlavy s hřídelí čerpadla je vymezena tolerovaným uložením F7/g6. Na hřídeli je tento tolerovaný průměr opatřen žárovým nástřikem s vysokou tvrdostí, neboť tato část je jinak velmi náchylná k vibrační korozi.

V horní části ucpávkového bloku je uložen elektromagnet, který přes odlehčovací disk stahuje rotor směrem dolů. Působí tím proti tlaku primárního okruhu, který naopak rotor vytlačuje směrem nahoru. Odlehčovací zařízení tak snižuje výsledný tlak na segmenty horního věnce axiálního ložiska.

Zarážecí zařízení tvoří rohatka upevněná na tělese elektromagnetu a dvě západky umístěné na odlehčovacím disku. Jeho funkce spočívá v zamezení reverzního chodu čerpadla. K tomu by jinak mohlo dojít například při výpadku napájení elektromotoru jednoho z HCČ. V takovém případě by totiž došlo k obrácení směru průtoku média danou smyčkou.

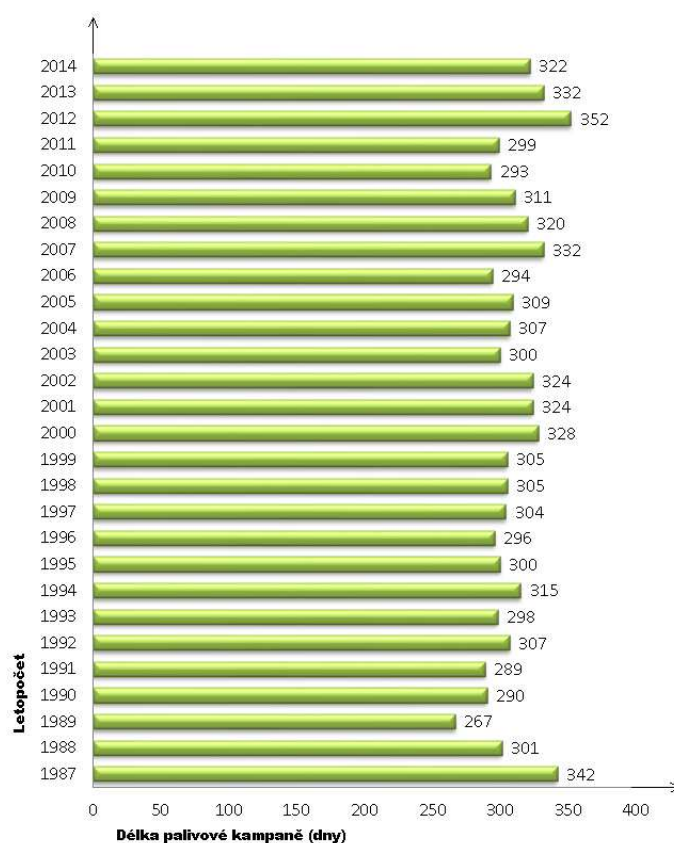
3 GENERÁLNÍ OPRAVA HCČ V RÁMCI Odstávky bloku

Vzhledem ke své konstrukci (všechny palivové soubory společně umístěné v aktivní zóně uvnitř tlakové nádoby), reaktory typu VVER neumožňují kontinuální výměnu paliva, kterou lze provádět kanálových typů reaktorů, jakými jsou např. RBMK či CANDU. Výměna paliva proto musí probíhat tzv. kampaňovým způsobem.

3.1 Typová generální oprava reaktorového bloku

Jak bylo předesláno v kapitole 1.3.2, energetické tlakovodní reaktory používají palivo s podstatně menším obohacením, nežli je tomu u (zejména vojenských) tlakovodních reaktorů určených jako lodní pohony. Zde výměna paliva probíhá cca po 10 ÷ 20 letech, zatímco u civilních energetických reaktorů dochází ke snížení zásoby reaktivity palivové vsázky (tzv. vyhořívání paliva) a k z toho vyplývajícimu poklesu tepelného výkonu reaktoru, podstatně dříve. Během palivové kampaně se tedy pokles reaktivity kompenzuje snižováním koncentrace kyseliny borité, po dosažení její nulové koncentrace lze ještě po určitý čas reaktor provozovat díky uvolnění reaktivity vlivem tepelného a výkonového efektu, nicméně výkon stále klesá (pokles tepelného výkonu je pochopitelně doprovázen poklesem výkonu elektrického) a brzy dosáhne hranice, za níž není již výhodné blok provozovat. [39]

Původní projektové obohacení paliva činilo 2,4 a 3,6 %, čímž byla dána i délka palivového cyklu, která činila tři roky, nicméně byla postupnými modernizacemi a zejména zvyšováním obohacení paliva prodloužena nejprve na čtyři, později na pět let. Samotnou délku kampaně v jednotlivých letech pak přibližuje graf na obr. 13.



Obr. 13: Doba trvání palivových kampaní v letech 1987 až 2014 [40]

3.1.1 Rozdělení údržbových prací na jaderné elektrárně

Doba, během níž probíhá výměna paliva a jeho reorganizace v aktivní zóně, se využívá k inspekcím a opravám zařízení odstaveného bloku. Jedná se o ta zařízení, která musí být během provozování reaktoru na výkon v chodu, proto jejich kontrola a údržba musí probíhat právě během výměny paliva, kdy mohou být vypnuta a systém odtlakován a vychlazen. Tyto činnosti lze rozdělit do tří okruhů. Provádí se údržba plánovaná, tedy vycházející z technických podmínek a předpisů dodavatelů daných zařízení či na základě legislativních požadavků a vnitřních předpisů elektrárny. Rovněž se realizuje nahodilá údržba, která vychází z okamžitých potřeb a zjištění během odstávky. Třetím případem jsou pak investiční akce za účelem modernizace, vylepšení či náhrady stávajících prvků.

Příkladem plánované údržby lze jmenovat:

- generální revize dle IPZJ na reaktoru a jeho řídicích a kontrolních prvcích,
- parogenerátoru,
- hlavním cirkulačním čerpadle,
- generální opravy hlavních uzavíracích armatur,
- práce na turbínách,

- systémech MaR a SKŘ,
- běžné a generální opravy havarijních systémů,
- kontroly a údržba stavební části elektrárny a to zejména hermetických prostor, či chladicích věží.

Jedná se o údržbu preventivní/prediktivní.

Nahodilou údržbou se obvykle míní práce, které se, na rozdíl od předchozích, nerealizují na základě předem stanoveného dlouhodobého harmonogramu, nýbrž v návaznosti na zjištění v rámci kontroly, při odstraňování poruchy, zjištění nestandardních parametrů zařízení pracovníky obsluhy a provozu apod. Může se jednat například o změnu rozsahu opravy, kdy je během běžné opravy či revize zjištěno větší poškození nebo opotřebení, které vyžaduje výměnu dílu nebo zařízení, či generální opravu. Dalším typickým reprezentantem jsou opravy svarových spojů na základě výsledků nedestruktivních kontrol potrubních tras či plášťů tlakových nádob.

V rámci investičních akcí se realizuje modernizace stávajícího zařízení buďto změnou některých jeho komponent, anebo instalací zcela nového zařízení, změny konfigurací systémů, přidávání nových prvků, za účelem zvýšení fyzické, technické či jaderné bezpečnosti, případně pro zlepšení výkonnosti, efektivity a hospodárnosti provozu. Významné investiční akce byly jmenovány v kapitole 1.2.

3.1.2 Plánování a harmonizace prací při odstávce

Ohledně trvání odstávky jsou v protikladu požadavky ekonomické a technické a bezpečnostní. Z ekonomického hlediska je žádoucí co nejkratší průběh odstávky (pozn.: nejkratší teoretická délka odstávky je dána dobou výměny paliva). Z hlediska technické i jaderné bezpečnosti, ale i provozní spolehlivosti je však potřebné provést co nejvíce kontrolních a servisních prací, aby byla zaručena plná funkčnost všech komponent a jejich schopnost plnit požadované bezpečnostní standardy. Na primárním okruhu se ještě navíc přidávají požadavky radiační ochrany. Pro dosažení optimálního stavu, který co nejlépe vyhovuje všem požadavkům se proto uplatňují různé postupy a opatření.

Zařízení, při jejichž kontrolách a opravách není vyžadován odstavený blok se servisují v období mimo typovou generální opravu. Ve velké míře se provádějí přípravné práce před odstávkou. U zařízení nebo jejich částí je upřednostňována oprava výměnným způsobem tam, kde je to z technického a legislativního hlediska možné. Příkladem lze jmenovat mechanickou ucpávku HCČ, jejíž elementy jsou zkontrolovány a zkompletovány mimo odstávku. Při generální opravě je pak vyměněna celá sada smontovaných stupňů ucpávky, které jsou opět po odstávce připraveny pro následující generální opravu. Velice důležitým prvkem je rovněž zkoordinování prací tak, aby nedocházelo ke kolizím. Kolize mohou nastat například v případě časového souběhu požadavků na zdvihací zařízení, obráběcí stroje a jiné strojní, či personální zabezpečení. Vzhledem k omezeným dispozicím, zejména v kontrolovaném pásmu, může dojít ke kolizím prostorovým – například lešení vystavěné pro opravu jednoho zařízení může bránit v přístupu k jinému. Neméně významným činitelem jsou požadavky na stav systémů, které mohou být pro

různé typy prací neslučitelné. Pokud například na úseku potrubní trasy probíhá oprava hydraulických částí armatur nebo výměna potrubí, je nezbytné, aby byla tato část systému odtlakována a zdrenážována. Na takovém úseku pak nelze až po hraniční armatury, provádět práce vyžadující zaplnění, případně dosažení provozních parametrů, tedy zkoušky těsnosti, proplachy, přemanipulace apod.

Aby nedocházelo k uvedeným konfliktním situacím, bývá vypracován harmonogram odstávkových prací. Tento harmonogramohledňuje potřeby a okolnosti jednotlivých činností a je sestaven tak, aby na sebe jednotlivé práce navazovaly a vzájemně se neovlivňovali a aby docházelo k co nejrovnoměrnějšímu využití personálu a strojního vybavení.

3.1.3 Nástin průběhu odstávky

Podrobnější průběh odstávkových činností na vybraných systémech a zařízení bude představen na proběhlé odstávce čtvrtého reaktorového bloku, která proběhla na přelomu let 2019 a 2020. Tab. 3.1 poskytuje stručný přehled prací na zvolených nejdůležitějších systémech a zařízeních – vzhledem k zaměření této práce bude přehled omezen pouze na primární okruh a jeho tlakovou a strojní část.

Tab. 3.1 Stručný přehled vybraných činností při odstávce

Zařízení	Popis činnosti	Odstávkový den č.
Reaktorový blok	Odstavení, dochlazení a drenáž na hladinu 19,8 m, poté odtlakování a přechod do režimu 6.	0 až 2
	Přemanipulování smyček po dochlazování reaktoru.	19
	Zkoušky ESFAS	33, 34
	Zkouška PERIZ.	34, 35
	Příprava na náhřev	36
	Náhřev systému.	37
	Tlaková a těsnostní zkouška.	37, 38
	Dohřev systému.	38, 39
	Fyzikální spouštění.	39, 40
	Energetické spouštění.	41, 42
Reaktor	Roztěsnění, zkoušky účinnosti pohonů HRK, drenáž pod hlavní dělicí rovinu, demontáž elektropohonů, roztěsnění vývodů MNT, kontrola prodloužení svorníků HDR	3
	Roztěsnění HDR, transport horního bloku, transport bloku ochrany trub	3 až 5
	Kontroly HDR, předání BV, kontrola čistoty, zvednutí hladiny BV na 21 m pomocí nízkotlakého havarijního doplňování, seřízení ZS	5, 6
	Ladění ZS, výměna paliva.	7 až 11

	Kontrola čistoty a zavezení AZ, drenáž, dekontaminace BV, HDR.	11, 12
	Kontroly na HDR, zavezení BOT, VT těsnění HDR, čistota, zavezení HB, montáž svorníků HDR, kontrola těsnosti, montáž izolace, zatěsnění vývodů MNT, montáž potrubí BV a BVP.	13 až 16
	Montáž el. plošiny, zvýšení hladiny na 19,8 m.	17
	Zkoušky účinnosti pohonů HRK, montáž a nastavení uzlu pohonů, zvýšení hladiny na 21 , kabeláž HRK.	18
Kompenzátor objemu	Revize a generální opravy armatur kompenzátoru objemu, revize elektroohřeváků, kontrola dotažení průlezu.	10 až 25
	Funkční zkoušky uzlu pojistných ventilů.	27, 28
Parogenerátor č. 1	V rezervě po dochlazování bloku.	2 až 10
	Drenáž.	11, 12
	Roztěsnění bočního průlezu, odvětrání, kontrola rozvodu napájecí vody, pročištění odluhu, kontrola a případné opravy svarových spojů, zpětná montáž a zatěsnění bočního průlezu.	13 až 24
	Zaplnění.	25
Parogenerátor č. 2	Drenáž. Příprava na opravu nátrubku superhavarijního napájení, kontrola a případná oprava svaru hrdla superhavarijního napájení.	3 až 6
	Oprava nátrubku superhavarijního napájení metodou Weld Overlay.	7 až 17
	Pročištění odluhu, kontrola a případné opravy svarů a armatur na trase odluhu.	4 až 15
	Zaplnění.	18
	Zajišťuje dochlazování bloku.	20 až 33
Parogenerátor č. 3	Zajišťuje dochlazování bloku.	2 až 19
	Drenáž.	20
	Pročištění odluhu, kontrola a případné opravy svarových spojů.	21 až 28
	Zaplnění.	29
Parogenerátor č. 4	Drenáž.	3, 4
	Repase rychločinné armatury, pročištění odluhu, kontrola a případné opravy svarových spojů.	4 až 16
	Zaplnění.	17
Parogenerátor č. 5	Zajišťuje dochlazování bloku.	2 až 11
	V rezervě po dochlazování bloku.	11 až 19
	Drenáž.	20
	Pročištění odluhu, kontrola a případné opravy svarových spojů.	21 až 29
	Zaplnění	30
Parogenerátor č. 6	Drenáž.	2, 3
	Roztěsnění bočního průlezu, odvětrání, kontrola a oprava rozvodu napájecí vody, kontrola vestaveb, pročištění odluhu, kontrola a případné opravy svarových spojů, zpětná montáž a zatěsnění bočního průlezu.	4 až 18
	Vyčištění a kontrola závitových hnízd.	4, 5

	Kontrola teplosměnných trubek vířivými proudy.	6 až 10
	Sušení a oprava nevyhovujících teplosměnných trubek jejich zaslepením.	13 až 18
	Test systému DINARY.	19, 20
	Příprava na opravu nátrubku superhavarijního napájení, kontrola a případná oprava svaru hrdla superhavarijního napájení, montáž plošiny.	6 až 12
	Oprava nátrubku superhavarijního napájení metodou Weld Overlay.	13 až 23
	Vyčištění + kontrola těsnících ploch a závitových hnízd, montáž vík kolektorů, relaxace těsnění, kontrola nepřítomnosti cizích předmětů dálkově ovládanou kamerou.	24, 26
	Zaplnění.	30
Hlavní cirkulační čerpadlo č. 1	Kontrola dotažení svorníků HDR; souběžně probíhá běžná oprava hlavní uzavírací armatury na horké i studené větvi této chladicí smyčky.	15 až 20
Hlavní cirkulační čerpadlo č. 2	Kontrola dotažení svorníků HDR; souběžně probíhá běžná oprava hlavní uzavírací armatury na horké i studené větvi této chladicí smyčky.	9 až 13
Hlavní cirkulační čerpadlo č. 3	Kontrola dotažení svorníků HDR; souběžně probíhá běžná oprava hlavní uzavírací armatury na horké i studené větvi této chladicí smyčky.	22 až 28
Hlavní cirkulační čerpadlo č. 4	Kontrola dotažení svorníků HDR; souběžně probíhá běžná oprava hlavní uzavírací armatury na horké i studené větvi této chladicí smyčky.	13 až 16
Hlavní cirkulační čerpadlo č. 5	Kontrola dotažení svorníků HDR; souběžně probíhá běžná oprava hlavní uzavírací armatury na horké i studené větvi této chladicí smyčky.	22 až 28
	Běžná oprava elektromotoru	20 až 33
Hlavní cirkulační čerpadlo č. 6	Generální oprava čerpadla + kontroly dle individuálního plánu zajištění jakosti.	4 až 20
	Generální oprava elektromotoru.	4 až 23
	Tlaková zkouška chladicí smyčky.	26

3.2 Opravy hlavního cirkulačního čerpadla

Účelem opravy hlavního cirkulačního čerpadla je nalezení, posouzení a identifikace opotřebení a vad vzniklých během provozu zařízení. Kontrolní a servisní činnosti na tělese čerpadla, jeho trojnoze a přilehlém potrubí se provádí na pozici, tedy v místnosti elektropohonů HCC a v prostoru hermetických boxů. Práce na chladiči a otrubkování probíhají ve vyhrazeném úseku na reaktorovém sále. U vyjímatelné části probíhá demontáž, kontroly dílů, oprava a montáž na dílně čerpadel v prostoru aktivních dílen na podlaží + 29,1 m. Opravy elektromotorů mají dedikovaný prostor rovněž na tomto podlaží. Mezi dílnami oprav čerpadel a motorů se nachází mechanické dílny, vybavené univerzálními soustruhy, horizontální frézou a sloupovou vrtačkou. Zde lze provádět

pomocné práce v rámci kontrol a oprav méně hmotných součástí. Například pro těleso ucpávkového a ložiskového bloku či přitlačnou příruba toto strojní vybavení nelze použít.

3.2.1 Jednolivé typy oprav HCČ

Časové intervaly a rozsahy oprav vycházejí jednak z legislativních požadavků a jednak z IPZJ který je nedílnou součástí dokumentace zařízení. IPZJ zpracovává výrobce zařízení, nebo výrobcem pověřená organizace, přičemž SÚJB k tomuto programu vydává stanovisko.

U hlavního cirkulačního čerpadla se provádí tyto opravy:

- Generální oprava s periodou 6 let. Provádí se roztěsnění HDR, vyvezení a kompletní rozebrání vyjímatelné části, kontroly a výměna demontovaných dílů – detailněji nastíněno níže.
- Běžná oprava s periodou 1 rok. Spočívá v kontrole dotažení přírub otrubkování na předepsaný moment a kontrole dotažení svorníků HDR na předepsané prodloužení. Pokud jsou zjištěny nevyhovující hodnoty, je provedeno dotažení a opětovná kontrola.
- Kontrola souososti – nahodilá údržba. Provádí se buď na požadavek správce zařízení založený na zvýšených hodnotách chvění, anebo v případě výměny elektromotoru, nebo vyjímatelné části. Pomocí číselníkového úchylkoměru se měří házení rotoru elektromotoru vůči osazení pro středění elektromagnetu a vůči čelu ložiskového bloku. V případě zjištění nevyhovujících hodnot je provedeno přeosení a opětovná kontrola.
- Revize ucpávky čerpadla – nahodilá údržba. Provádí se na požadavek správce zařízení, z důvodu zvýšeného tlaku za ucpávkou. Zahrnuje rozebrání a kontrolu ložiskového bloku na dílně oprav čerpadel a demontáž všech stupňů mechanické ucpávky. Tato demontáž se provádí s hydraulickou částí čerpadla na pozici, tedy bez roztěsnění HDR. Po výměně ucpávkových stupňů za novou sadu se provede opětovné složení.
- Výměna pryžového vlnovce – nahodilá údržba. Vzhledem k umístění vlnovce je jeho výměna možná pouze pokud je zdemontována a vyvezena vyjímatelná část HCČ. K výměně vlnovce se přistupuje v případě nevyhovujícího nálezu po jeho vizuální kontrole – tato kontrola bývá realizována v rámci generální opravy. Druhým podnětem k jeho výměně může být ztráta jeho těsnosti zjištěná např. tlakovou zkouškou hermetických prostor.
- Obrábění těsnicích ploch HDR – nahodilá údržba. Provádí se v návaznosti na nevyhovující výsledek jejich vizuální kontroly. Spočívá v odebrání vrstvy materiálu obsahující zjištěné vady prostřednictvím třískového obrábění a následné kontroly. Těsnicí plocha na tělese čerpadla se obrábí speciálním zařízením ZOTEP, pro

opravy těsnicí plochy přítlačné příruby se používá mobilního soustruhu – jedná se o týž soustruh, který se používá k výrobě odlehčovací drážky. Po obrábění se zařazuje vizuální, kapilární a kontrola sklonu a zvlnění prostřednictvím číselníkového úchylkoměru.

3.2.2 Generální oprava HCČ

Pro bližší seznámení s generální opravou hlavního cirkulačního čerpadla je třeba provést stručný soupis činností a identifikaci potenciálně problematických úseků. Budou vynechány činnosti přímo nesouvisející s čerpadlem jako takovým, tedy práce na trojnoze, chladiči, elektromotoru a otrubkování. Rovněž nebudou popisovány opravy a kontroly pomocného cirkulačního čerpadla a hydrocyklonu. Práce na tělese čerpadla a zpětné zavezení vyjímatelné části jsou popsány v Příloze 1.

Požadavky na výchozí stav systému:

- Zdrenážování hladiny v příslušné chladicí smyčce I. O. na hladinu 2 m od podlahy hermetických boxů,
- elektrické zajištění,
- vychlazení zařízení na maximální povrchovou teplotu 50 °C,
- zdrenážování olejového hospodářství a systému chladicí vody ucpávek HCČ,
- odpojení čidel MaR a diagnostiky
- odpojení a demontáž elektromotru
- odpojení pomocného cirkulačního čerpadla,
- odpojení rozvodu hasicího systému,
- odpojení elektromagnetu.

Činnosti v místnosti elektropohonů HCČ:

Odkrytování a demontáž potrubí:

- Demontáž potrubí olejového hospodářství,
- demontáž krytů spojky,
- demontáž olejového potrubí elektromotoru,
- demontáž potrubí vloženého okruhu chlazení ucpávky,
- demontáž potrubí chlazení elektromotoru a elektromagnetu,

- demontáž potrubí čistého kondenzátu,
- demontáž potrubí ucpávkové vody,
- demontáž potrubí autonomního okruhu,
- demontáž potrubí organizovaných úniků,
- demontáž potrubí měření tlaku v mechanické ucpávce,
- demontáž potrubí pomocného cirkulačního čerpadla,
- uložení spojovacího materiálu a překrytí otvorů v technologii.

Demontáž spojky, nosných konstrukcí a dalšího příslušenství:

- demontáž spojovacího materiálu,
- demontáž víka spojky,
- demontáž spojkové hlavy
- stažení náboje spojky a vyjmutí 2 ks per,
- demontáž hydrocyklonu,
- demontáž a vyvezení horní lucerny,
- demontáž matice ložiskového bloku,

Demontáž vyjímatelné části:

- demontáž spojovacího materiálu mezi ložiskovým a ucpávkovým blokem,
- montáž transportního přípravku na ložiskový blok,
- vyvezení ložiskového bloku,
- demontáž spodní lucerny a její vyvezení na odkládací místo,
- povolení rotorové matice ucpávek a šroubů víka ucpávkového bloku,
- uvolnění všech 30 ks matic svorníků HDR pomocí hydraulického napínacího zařízení,
- demontáž a uložení matic a podložek svorníků HDR,
- zavezení a montáž transportního přípravku vyjímatelné části,
- zavezení a montáž závěsu transportního přípravku,
- přizvednutí vyjímatelné části, kontrola její kompletnosti a obalení folií (pro zamezení šíření kontaminace od chladicího média I. O.),
- kontrola tělesa čerpadla na nepřítomnost cizích předmětů za účasti pracovníka technické kontroly JE; překrytí otvoru,

- vyvezení vyjímatelné části na reaktorový sál, odtud transport na aktivní dílny.

Činnosti v prostoru aktivních dílen:

Ložiskový blok je převezen na dílnu oprav čerpadel, zatímco hydraulická část čerpadla musí být nejprve předána na dekontaminaci.

Rozebrání ložiskového bloku:

- demontáž odlehčovacího kotouče,
- demontáž rohatky a elektromagnetu,
- demontáž horního radiálního ložiska a jímek teploměrů,
- demontáž horního opěrného věnce axiálního ložiska, běhounu a spodního opěrného věnce,
- demontáž jednotlivých segmentů a vahadel opěrných věnců.

Dekompletace sestavy ucpávkového bloku, rotoru, rozváděcího kola a přítlačné příruby:

- transport dekontaminované sestavy do montážního stojanu, usazení,
- odjištění zajišťovacích podložek šroubů sacího nástavce a jeho demontáž,
- odjištění zajišťovací podložky vrchlíku matice oběžného kola a jeho demontáž,
- odjištění zajišťovací podložky matice oběžného kola,
- povolení matice oběžného kola, demontáž oběžného kola včetně kuželu a jeho spuštění pomocí vozíku 317-33-0004SB, vyvezení mimo prostor montážního stojanu (obr. 15),
- odjištění pojistných podložek a povolení 24 ks šroubů rozváděcího kola, demontáž 20 ks šroubů, ponechání pouze 4 ks po 90°,
- demontáž matice a labyrintového pouzdra ucpávky,
- demontáž víka ucpávky a jeho transport do odkládacího prostoru,
- postupná demontáž dílčích stupňů mechanické ucpávky,
- demontáž matic svorníků ucpávkového bloku,



Obr. 14: Přítlačná příruba s oběžným a rozváděcím kolem v montážním stojanu. Pod oběžným kolem montážní vozík 317-33-0004SB

- demontáž ucpávkového bloku a jeho transport do odkládacího prostoru,
- vyvezení rotoru a jeho uložení do horizontálního stojanu,
- odjištění pojistné podložky matice pomocného oběžného kola a její demontáž, stažení pomocného oběžného kola
- demontáž distančního kroužku, pera a pouzdra spodního radiálního ložiska,
- montáž spodní lucerny k přítlačné přírubě, její transport do montážního prostoru dílny, demontáž zbylých 4 ks šroubů rozváděcího kola, demontáž ucpávkové šňůry a jejích zajišťovacích elementů, zptětné uložení přítlačné příruby do montážního stojanu, demontáž a uložení spodní lucerny,
- demontáž svorníků ucpávkového bloku z přítlačné příruby,
- rozebrání elementů mechanické ucpávky,
- kontrola radiační situace pracovníky dozimetrie a předání jednotlivých dílů na dekontaminaci,
- převzetí dekontaminovaných dílů, jejich kontrola pracovníky dozimetrie,
- demontáž vložky spodního radiálního ložiska z ucpávkového bloku,
- vyčištění všech dílů na předepsaný stupeň čistoty, případné ruční začištění vad,
- usazení hřídele do soustruhu, vyčištění a případná kalibrace závitů, kontrola házivosti.

Kontroly demontovaných dílů prováděné pracovníky kontroly kvality realizátora

- VT demontovaného spojovacího materiálu,
- VT hřídele, rozměrová kontrola v místě uložení běhunu horního ložiska; rozměrová kontrola dalších ploch pouze v případě nevyhovující kontroly vizuální,
- VT těsnicí plochy HDR na přítlačné přírubě, VT těsnicí plochy pro ucpávkový blok a VT těsnicí plochy a středicího průměru sekundárního těsnění za účasti pracovníka technické kontroly JE; v případě nevyhovujících či nejednoznačných nálezů se provede PT a rozměrové kontroly
- VT oběžného kola a rozměrová kontrola průměru; v případě nevyhovujících či nejednoznačných nálezů se provede rozměrová kontrola dalších rozměrů,
- VT rozváděcího kola,
- VT a RK vůle spodního radiálního ložiska (porovnáním průměrů pouzdra a grafitové výstelky),
- VT funkčních ploch elementů horního radiálně-axiálního ložiska, rozměrová kontrola v místě uložení běhounu na hřídeli, posouzení vůle, dále rozměrová kontrola a posouzení radiální vůle ložiska; v případě nevyhovujících či nejednoznačných nálezů se provede rozměrová kontrola dalších rozměrů,
- VT těsnicí plochy ucpávkového bloku (uložení na přítlačné přírubě) za účasti pracovníka technické kontroly JE; VT povrchu ucpávkového bloku,
- VT funkčních ploch dílů spojky; v případě nevyhovujících či nejednoznačných nálezů se provede rozměrová kontrola daných dílů.

Kontroly demontovaných dílů prováděné pracovníky defektoskopie a speciálních kontrol

- VT a PT středicího průměru pro rozváděcí kolo na přítlačné přírubě,
- PT lopatek a přechodu mezi lopatkami a tělesem, PT povrchu ochranného pouzdra oběžného kola,
- PT ochranného pouzdra rozváděcího kola, svarů zajišťovacích kroužků, VT a PT středicího průměru pro uložení na přítlačné přírubě,
- LT závitových hnízd ucpávkového bloku,
- VT, PT a UT svorníků HDR.

Díly s nevyhovujícím výsledkem některé z kontrol, které není možno uvést do vyhovujícího stavu, jsou vyměněny za nové. Rovněž je provedena výměna všech těsnicích prvků. Poté se přistoupí ke zpětné montáži. Ta v zásadě probíhá v opačném sledu jako

demontáž. Popsána zde proto bude pouze montáž rotoru a sestavy ucpávkového bloku s přítlačnou přírubou, další postup je uveden v příloze 1.

Složení rotoru

- nanesení kluzného laku na hřídel,
- nanesení montážní pasty na funkční plochy a závity,
- nasazení per a nasunutí pouzdra spodního radiálního ložiska, nasazení distančního kroužku,
- montáž pera pomocného oběžného kola, montáž matice a dotažení na předepsaný moment, zajištění podložky.

Kompletace sestavy ucpávkového bloku, rotoru, rozváděcího kola a přítlačné příruby:

- Montáž svorníků ucpávkového bloku do přítlačné příruby, montáž středícího přípravku spodního ložiska,
- usazení ucpávkového bloku, utažení 4 matic po 90°,
- montáž transportního přípravku, převoz k rozváděcímu kolu, montáž a vystředění rozváděcího kola k přítlačné přírubě, uložení sestavy zpět do stojanu, sejmutí transportního přípravku,
- demontáž ucpávkového bloku a středícího přípravku spodního ložiska,
- zavěšení rotoru prostřednictvím přípravku na jeřáb, ustavení do přítlačné příruby a rozváděcího kola,
- montáž nové grafitové výstelky spodního radiálního ložiska do ucpávkového bloku,
- usazení ucpávkového bloku na přítlačnou přírubu a utažení všech matic svorníků ucpávkového bloku,
- transport oběžného kola na vozík 317-33-0004SB, najetí pod usazenou vyjímatelnou část,
- nasazení oběžného kola a upínacích kuželů na hřídel,
- montáž zajišťovací podložky a matice oběžného kola na hřídel,
- dotažení matice oběžného kola na výrobcem čerpadla předepsaný moment 3500 ± 300 Nm, zajištění podložky,
- nasazení pojistné podložky vrchlíku matice, jeho dotažení, zajištění podložky,
- montáž sacího nástavce, zajištění podložek,

- zavezení všech stupňů ucpávek do ucpávkového bloku, nasazení víka, montáž šroubů, montáž a zajištění rotorové matice ucpávek.

3.2.3 Identifikace potenciálně problematických bodů:

- 1) Při vyvážení vyjímatelné části z tělesa čerpadla může dojít k zadření v oblasti styku středících průměrů a těsnění, vyjímatelnou část není možné dále zvednout ani při maximálním zatížení jeřábu. Důsledek: Vyjímatelnou část není možné vyvézt a blokuje se tak jednak zdvihací zařízení a jednak kontrolní pracovníci provádějící kontrolu kompletnosti vyjímatelné části a nepřítomnost cizích předmětů v tělese čerpadla. Řešení: Mezi transportní přípravek a svorníky HDR se vloží hydraulické napínací zařízení určené pro předepínání svorníků. Pomocí něj je vyvozena dodatečná síla, která je dostatečná k překonání pasivních odporů a uvolnění vyjímatelné části. Po dekontaminaci a vizuální kontrole se provede ruční začištění případných rýh.
- 2) Popraskání přitlačné příruby a rozváděcího kola tepelným vlivem tepelného namáhání v místě styku obou součástí. Důsledek: nutná výměna buď celé vyjímatelné části, anebo výměna rozváděcího kola a třískové obrobení přitlačné příruby – odstranění poškozeného materiálu vytvořením drážky. Nutnost dalších operací a z toho plynoucí úprava harmonogramu rezervací pracovníků provádějících NDT a ohrožení termínu zpětné montáže, kvůli čemuž je nutno posunutí tlakové zkoušky smyčky. Tím dojde ke kolizím s pracemi na dalších zařízeních a technologickými manipulacemi s parametry systémů. Řešení: Zaplánování obrobení přitlačné příruby mobilním soustruhem, výroba radiusové drážky v místě původního ostrého přechodu, vložení vlnovce za účelem snížení tepelného gradientu [41].
- 3) Nesprávné natočení vyjímatelné části při zavážení. Správné natočení vyjímatelné části vůči tělesu čerpadla je vyznačeno 2 ryskami – na vyjímatelné části a na tělese čerpadla. Tyto rysky reprezentují osu výtlaku a při montáži musí směřovat proti sobě. Přístupnost těchto značek je však poměrně špatná. Díky symetrickému rozmístění svorníků HDR a příslušných otvorů v přitlačné přírubě, není nesprávné natočení vyjímatelné části nikterak mechanicky blokováno. Větší pootočení je možné bezpečně rozpoznat pohledem, avšak pokud dojde k pootočení o pouhou jednu rozteč, není tato skutečnost zprvu nikterak patrná. Důsledek: Tato chyba se může projevit až při montáži otrubkování, kdy se viditelně projeví na vzájemné poloze přírub čerpadla a trubek, jež nyní nelze smontovat. Je tedy nutno opět zahájit demontáž, povolit HDR a provést vyvezení vyjímatelné části. S tím je ovšem spojena výměna těsnění HDR a očištění a kontrola těsnících ploch. Nutná opakovaná spoluúčast pracovníka technické kontroly JE. Dochází k neplánovanému blokování jeřábu a celkovému zpoždění o 0,5 dne až den. Řešení: Vzájemnou polohu značek osy výtlaku kontrolují 2 osoby nezávisle na sobě – před dosednutím vyjímatelné části. Robustnější řešení této problematiky zatím nebylo zpracováno.
- 4) Při demontáži oběžného kola z rotoru umístěného ve vyjímatelné části může vlivem použitého způsobu povolování dojít k zadření závitu hřídele a matice oběžného

kola. Důsledek: Nutná změna postupu demontáže, zdržení dekontaminace demontovaných dílů; nutnost přepracování harmonogramu v oblasti rezervace NDT kontrol a kontrol prováděných za účasti pracovníka technické kontroly JE, z toho plynoucí riziko kolize termínů. Nutnost provést odsoustružení matice, z čehož vyplývá vyšší využití zařízení a obsluhy mechanických dílen, více operací jeřábem a tím jeho delší blokování. Je třeba obstarat nový díl. Druhým problémem je obtížné dokladování utahovacího momentu při zpětné montáži.



Obr. 15: Dosavadní způsob montáže a demontáže matice oběžného kola HCČ

Stávající způsob (obr. 15) spočíval v dosahování potřebného momentu tažením za ramena klíče matice prostřednictvím řetězových řehťákových zvedáků. Záchyt reakčního momentu byl realizován na hřídeli nad ucpávkovým blokem, přes zapřený klíč. Jak je patrné, utahování a povolování neprobíhá optimálním způsobem, k točivému momentu se přidává i radiální zatížení matice. Dále je tato metoda potenciálně nebezpečná pro pracovníky a to jak z důvodu možného zranění uvolněným řetězem či částí klíče, tak z důvodu možné kontaminace při instalaci utahovacího instrumentu.

Řešením tedy bude najít jiný způsob povolování - zkonstruování speciálního zařízení, které umožní povolit i utáhnout matici vyvozením dostatečného momentu bez nežádoucích radiálních zatížení, bude bezpečnější pro obsluhu a umožní lepší kontrolu utahovacího momentu.

4 VÝCHODISKA KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

V prvotní fázi návrhu přípravku, či zařízení je nutné provést analýzu veškerých aspektů situace, okolností a podmínek, ve kterých bude zařízení pracovat. Do toho je třeba zahrnout výrobní a ekonomické možnosti a v neposlední řadě základní zásady konstrukce. Tím se vymezí základní osnova, jejímž rozvíjením se postupně zformuje vlastní konstrukční řešení a nezbytné další okolnosti podmiňující očekávané chování navrhovaného zařízení.

4.1 Obecné zásady

Z hlediska efektivity a hospodárnosti výroby zařízení by se mělo upřednostňovat používání normalizovaných součástí a hotových výrobků. Zejména pokud se jedná o komplexnější mechanismy či přístroje, byla by jejich produkce vlastními prostředky nejen nevhodná, ale mnohdy i zcela nemožná. Teprve pro unikátní prvky, vycházející ze specifického účelu výrobku se přistupuje k vlastnímu návrhu, vypracování výkresové a technologické dokumentace a poté k výrobě. [42]

Navrhovaný výrobek musí plnit i nezbytné bezpečnostní požadavky, je vyloučeno, aby jeho používání ohrožovalo obsluhu, nebo okolní osoby. Obsluha by měla být snadná a intuitivní, jednotlivé díly by měly být navrženy a uzpůsobeny tak, aby byla vyloučena jejich záměna, a to jak při sestavování, tak při vlastním provozu. Pro běžnou obsluhu by mělo být třeba co nejmenšího množství dalšího nářadí.

4.2 Východisko radiační

Protože oběžné kolo, matice a vrchlík náleží k hydraulické části čerpadla, která je ve styku s chladicím médiem primárního okruhu, jsou tyto zdrojem ionizujícího záření a možné povrchové kontaminace. Dekontaminační procedury, které jsou na vyjímatelné části aplikovány po jejím vyvezení sice jejich kontaminaci sníží, avšak zdaleka neodstraní. Krom toho je po okolní podlaze v průběhu generální opravy roznesena stíratelná kontaminace. Z toho lze vyvodit dva požadavky:

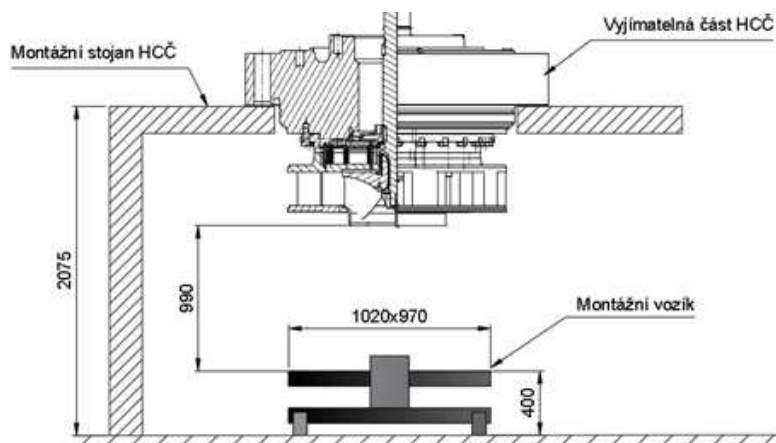
- doba strávená bezprostředně u vyjímatelné části by měla být co nejkratší. Zařízení by tedy nemělo vyžadovat složitou a časově náročnou instalaci na vyjímatelnou část. Alespoň některé procedury by mělo být možno provést mimo montážní stojan,
- zařízení, anebo alespoň jeho převážná část, by mělo co nejméně vázat případnou povrchovou kontaminaci a mělo by umožňovat její snadné odstranění. Pro dosažení těchto vlastností je třeba používat materiály s hladkým povrchem a vyvarovat se přespříliš členitých tvarů, v jejichž kapsách a záhybech by mohla být kontaminace vázána. Těmito vlastnostem nejlépe vyhovují kovové materiály s neporézní strukturou, dále např. sklo, či

tvrdší plasty. Naopak nevhodné jsou materiály jako měkké druhy plastů a pryže, dřevo a textil.

4.3 Východisko prostorové

Navrhované zařízení bude pracovat na vyjímatelné části HCČ umístěné v montážním stojanu. Dále bylo řečeno, že bude transportováno na vozíku. Deska vozíku se ve vertikálním směru pohybuje v rozmezí 400 ± 1400 mm od podlahy a její využitelná půdorysná plocha je 1000×970 mm. Situaci popisuje náčrt na obr. č.16

Zařízení se tedy musí vejít do vymezených dimenzí a umožnit stažení celé délky oběžného kola z hřídele a odjetí mimo prostor montážního stojanu HCČ. Zároveň je zřejmé, že obsluha zařízení se bude provádět ze strany. Upínací a dosedací elementy mohou částečně zasahovat do volného prostoru oběžného kola

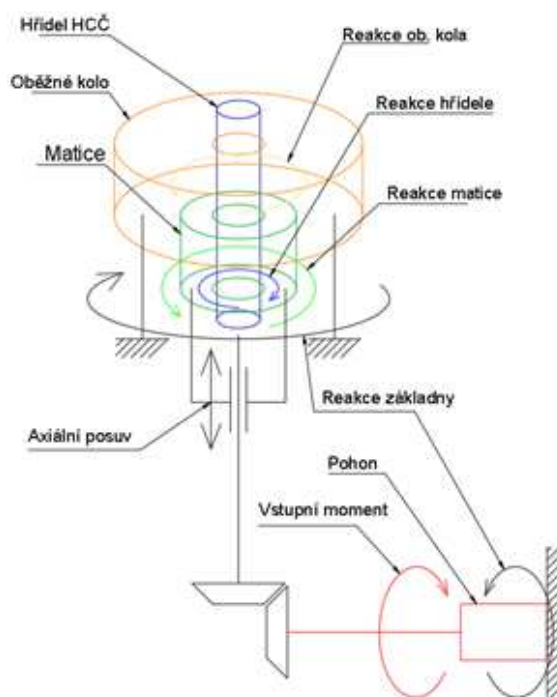


Obr. 16: Prostorová situace pod vyjímatelnou částí HCČ umístěnou v montážním stojanu.

4.4 Základní funkční východisko

Jedním ze základních požadavků na utahovací zařízení je absence radiálních zatížení. Pracovní síly musí působit po ose hřídele, silové dvojice k ose hřídele musí ležet v rovině na tuto osu kolmou.

Jak ukazuje schéma na obr. 17, zařízení musí umožňovat přenos točivého momentu z pohonu na matici oběžného kola, resp. vrchlík a záchyt momentu reakčního. Dále musí umožňovat axiální pohyb po dráze skládající se z délky závitové části hřídele z délky oběžného kola- pro jeho stažení z hřídele. Jelikož však při stahování kola z hřídele již není třeba vyvozování točivého pohybu, může být tato druhá fáze obsloužena posuvem vozíku při vypnutém pohonu, čímž se významně zredukuje potřebná délka axiálního vedení.



Obr. 17: Základní funkční schema navrhovaného zařízení

4.5 Východisko tvaru funkčních prvků.

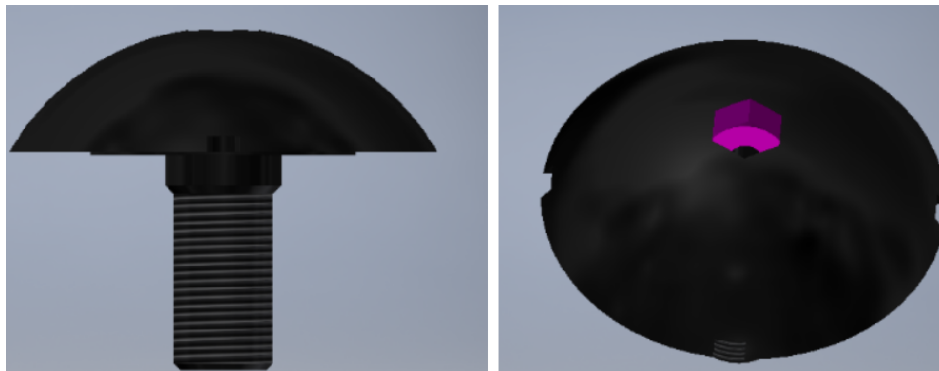
Z předchozí kapitoly plyne, že opěrné plochy, na které působí silové dvojice utahovacích a reakčních sil musí být rovnovážné s osou hřídele. Dále je nutné jejich symetrické rozmístění.



Obr. 18: Matice oběžného kola a její opěrné plochy pro montáž/demontáž

U matice je řešení jednoznačné – vyjde se z drážek pro stávající nástavec klíče (zvýrazněno na obr. 18). Stejně tak je tomu u vrchlíku (obr. 19), kde se vyjde z tvaru již

používaného klíče. Plochy pro záchyt reakčních sil a jejich přenesení na pevnou část zařízení, je třeba hledat vně matice. K tomu by bylo možné využít například rozváděcího kola, což by však vedlo k příliš velkým rozměrům zařízení a k nutnosti fixace hřídele v nad vyjímatelnou částí.



Obr. 19: Vrchlík matice oběžného kola

Výhodnějším se proto jeví záchyt reakčního momentu na oběžném kole, na které je přenášen prostřednictvím evolventního drážkování z hřídele. Na obr. 20 jsou zvýrazněny vyfrézované technologické drážky, které splňují požadavky symetrie a rovnoběžnosti s osou hřídele



Obr. 20: Oběžné kolo s technologickými drážkami

4.6 Východisko technologické

Jelikož se prozatím počítá se zhotovením celkem 2 utahovacích zařízení, budou muset být navrhované díly uzpůsobeny strojům a výrobním postupům pro kusovou výrobu. Z hlediska prostoru, který je k dispozici se jeví, že součásti zařízení nebudou ani příliš rozměrné, ani miniaturní. Z funkčního schématu se lze dovodit, že se bude možné vyhnout složitým mechanismům a tvarově značně problematickým součástem, nicméně půdorysný

prostor pod maticí a mezi plochami pro záhyt reakčních sil, je poněkud omezený. Dále lze pracovat s faktem, že toto utahovací zařízení nebude pracovat v příliš vysokých či naopak nízkých teplotách a rovněž nebude čelit chemicky agresivnímu prostředí.

Vyráběné součásti by se tedy měly zhotovovat především konvenčními technologiemi, a to třískovým obráběním a ručním svařováním. Ve zvláštních případech pak obráběním elektrojiskrovým. Příprava plochých polotovarů by měla být realizována řezáním plasmou, anebo laserem. Polotovary by měl tvořit běžně dostupný hutní materiál jakým jsou tyče a plechy. Méně exponované díly by měly být voleny z běžných konstrukčních ocelí, díly namáhané pak z ocelí ušlechtilých, popř. navíc tepelně zpracovaných. Přihlížet je přitom třeba i k mechanickým vlastnostem jednotlivých geometrií a rozměrů polotovaru z toho kterého materiálu.

Pro určení polotovarů z válcovaných tyčí kruhového průřezu se použije empirický vztah pro určení přídávku na průměr [43]:

$$p_{di} = \frac{5 * d_{iMax}}{100} + 2, \quad (4.1)$$

kde:

p_{di} [mm] je přídavek na průměr,
 d_{iMax} [mm] je největším průměrem součásti.

Pro určení polotovarů z válcovaných tyčí čtyřhranného průřezu se použije upravený empirický vztah pro určení přídávku:

$$p_{ai,bi} = \frac{5 * a, b_{iMax}}{100} + 2, \quad (4.2)$$

kde:

$p_{ai, bi}$ [mm] je přídavek na tloušťku,
 a, b_{iMax} [mm] jsou maximální jmenovité tloušťky součásti.

Délka polotovaru se bude určovat jako délka hotové součásti zvětšená o přídavek na obrábění (zarovnání čela a případně broušení), který se vypočte jako:

$$l_{pi} = l_{si} + 2p_{ci} + p_{bi}, \quad (4.3)$$

kde:

l_{pi} [mm] je délkou polotovaru včetně přídávků,
 p_{ci} [mm] je přídavek na zarovnání čela,
 p_{bi} [mm] je přídavek na broušení.

Délka prořezu při dělení materiálu nebude uvažována, neboť hutní materiál bude dodán již v požadovaných délkách.

Souhrn strojního vybavení, dostupného ve vymezeném časovém horizontu, tvoří přílohu č. 2. Je zredukován pouze na vybavení, které bylo skutečně použito na výrobu součástí utahovacího zařízení.

4.7 Východisko jakostní

Aby bylo dosaženo očekávaných funkčních vlastností a provozní spolehlivosti, je třeba provádět ověřování kvality ve všech etapách od výroby až po provoz. Co se týká materiálu, zásadní vliv má dodržení jeho deklarovaného chemického složení. To lze ověřit buďto ve vlastní režii prostřednictvím spektrometru, anebo požadovat atest chemického složení – pro účely tohoto zařízení bude postačující úroveň 3.1 dle ČSN EN 10204, tedy protokol vystavený nezávislým oddělením kontroly jakosti výrobce materiálu. Kvalitu obráběných součástí podmiňuje dodržení rozměrů a jejich tolerancí požadovaných výkresovou dokumentací a dodržení parametrů povrchu. Na životnost a spolehlivost má vliv mj. zachování spojitosti povrchových ploch. Pro ověření splnění těchto jakostních ukazatelů je tedy třeba zařadit kontroly – toto zařazení musí reflektovat zejména namáhání těch kterých součástí a jejich úseků. Jmenovitě by se tedy mělo jednat o kontroly rozměrové prováděné délkovým měřidlem s přesností odpovídající daným tolerancím, dále kontroly drsnosti funkčních ploch prostřednictvím drsnoměru a kontroly dodržení geometrických odchylek prováděné úchylkoměrem. Z hlediska jakosti a spojitosti povrchů se jako výchozí metoda tradičně zajišťuje kontrola vizuální. Po ní může následovat zkouška penetrační a to buď v místech s vyšším rizikem trhlin, s vyšším namáháním anebo v případě nejednoznačného závěru kontroly vizuální. Pokročilejší kontrolní metody, jakými jsou zkouška ultrazvukem, prozařováním, vířivými proudy či destruktivní kontrolní metody nejsou, vzhledem k dynamickým vlastnostem a bezpečnostnímu zařazení utahováku, nutné a ekonomicky odůvodněné.

Základní způsoby pro zajištění a ověření kvality svarových spojů jsou:

- řádné stanovení svařovacích parametrů s ohledem na materiály, rozměry a typ svarového spoje,
- vizuální, případně kapilární kontrola svarových ploch před započetím svařování, kontrola jejich čistoty a kontrola geometrie svarových úkosů
- kontrola dodržení svařovacích parametrů,
- vizuální kontrola povrchu svaru a teplem ovlivněné zóny společně s kontrolou geometrie svaru,
- kontrola kapilární a případně kontrola ultrazvukem, a/nebo prozařováním.

Požadavkem z hlediska vlastního provozu zařízení pak je možnost kontroly důležitých pracovních parametrů, aby mohlo být dokladováno jejich splnění. V tomto

případě je tedy nezbytným informačním výstupem údaj o dosahovaném utahovacím momentu.

5 PODROBNÝ POPIS NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ

Obstarávání jednotlivých dílů bylo přednostně řešeno nákupem normalizovaných, či komerčně dostupných hotových výrobků. Speciální součásti, tvořící vlastní mechanismus, byly navrženy v programu Inventor 2017. Odsud byly i čerpány geometrické údaje potřebné pro výpočty. Posouzení mechanického namáhání bylo provedeno metodou konečných prvků v softwaru ANSYS.

Vstupními zatěžovacími veličinami jsou maximální moment na vstupní hřídeli převodovky a maximální utahovací moment matice oběžného kola. Pro použití ve výpočtech byly tyto momenty vynásobeny bezpečnostním koeficientem $k = 1,5$, tedy

$$M_{vst} = M_{vstMax} * k = 1014 * 1,5 = 1521 \text{ Nm}, \quad (5.1)$$

$$M_{výst} = M_{výstMax} * k = 3800 * 1,5 = 5700 \text{ Nm}, \quad (5.2)$$

kde:

M_{vstMax} [Nm], je maximální vstupní moment na hřídeli převodovky

$M_{výstMax}$ [Nm], je maximální výstupní moment na matici oběžného kola,

K [-] je bezpečnostní koeficient.

Prostřednictvím MKP je v kritických místech namáhaných součástí provedeno ověření, že všude platí

$$\sigma_{red} \Rightarrow < R_{p0,2}, \quad (5.3)$$

kde:

σ_{red} [MPa] je redukované napětí dle podmínky maximálních smykových napětí,

$R_{p0,2}$ [MPa] je mez kluzu materiálu při 20 °C,

přičemž redukované napětí se spočte jako

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{mw}^2 + 4\tau_s^2}, \quad (5.4)$$

kde:

σ_{mw} [MPa] je střední tahové napětí,

τ_s [MPa]. je smykové napětí.

5.1 Díly nakupované

5.1.1 Převodovka

Převodovka utahováku matice oběžného kola HCČ má dva hlavní účely – zprostředkovat změnu směru osy přenášeného momentu o 90° (tedy z horizontálního směru do vertikálního) a zabezpečit požadovaný výstupní moment s dostatečnou rezervou. Naopak není požadován vysokootáčkový provoz a vícešupňová konfigurace. Rovněž vysoká účinnost není rozhodujícím požadavkem. Pro nejefektivnější využití pohonného zařízení TQSM-300 a dosažení požadovaných hodnot výstupního momentu byl výrobcem udán převodový poměr 7,5:1 (do pomala). Posledním důležitým parametrem byla dodací lhůta – zařízení muselo být zkompletováno a vyzkoušeno před následující TGO.

Tyto požadavky, společně s vyhovující dobou dodání, nejlépe splňuje šneková převodovka SL-200 se vstupní přírubou a dutou hřídelí na vstupu i na výstupu. Základní parametry ukazuje tabulka č. 5.1

Tab. 5.1: Základní parametry převodovky SL-200 [44]

Převodový poměr	7,5:1
Maximální výkon na vstupu	17,3 kW
Maximální přípustný moment na výstupu	9 800 N
Účinnost při 150 ot×min⁻¹	0,92
Maximální radiální zatížení na výstupu	6 600 N
Maximální axiální zatížení na výstupu	3 300 N
Průměr vstupní příruby	300 mm
Osová výška	200 mm
Průměr výstupní hřídele	80 mm
Tolerance průměru výstupní hřídele	H7
Hmotnost	240 kg

Tato převodovka bude zátroven sloužit i jako základna pro vlastní utahovací mechanismus. Krom toho je vybavena závitovými dírami pro upevnění uvazovacích bodů, čehož bude využito při transportu zařízení pomocí jeřábu.

5.1.2 Pohon a příslušenství

Pro pohon utahovacího zařízení bylo vybráno zařízení TQSM-300, jehož základní parametry jsou shrnuty v tab. 5.2.

Tab. 5.2: Přehled základních parametrů zařízení TQSM-300 [45]

Parametr	Hodnota
Rozsah utahovacích momentů	100 ÷ 3000 Nm
Počet převodových stupňů	4
Rychlost otáčení na 1. převodový stupeň:	1,2 ot. × min ⁻¹
Rychlost otáčení na 2. převodový stupeň:	2,5 ot. × min ⁻¹
Rychlost otáčení na 3. převodový stupeň:	6 ot. × min ⁻¹
Rychlost otáčení na 4. převodový stupeň:	12 ot. × min ⁻¹
Hmotnost bez reakční opěry:	10,5 kg
Provedení	Přímé

Důvody výběru tohoto zařízení jsou následující:

- zařízení je již používáno na jiné aplikace (např. montáž svorníků ucpávkového bloku,
- vyhovující dosahovaný moment,
- nerázový chod,
- akumulátorové provedení, díky němuž se lze vyhnout nebezpečí kontaminace přívodního kabelu,
- výrobce je schopen dodat další příslušenství jako reakční desku (obr. 21) připojitelnou na přírubu převodovky, měřicí zařízení a nástavec pro připojení převodovky



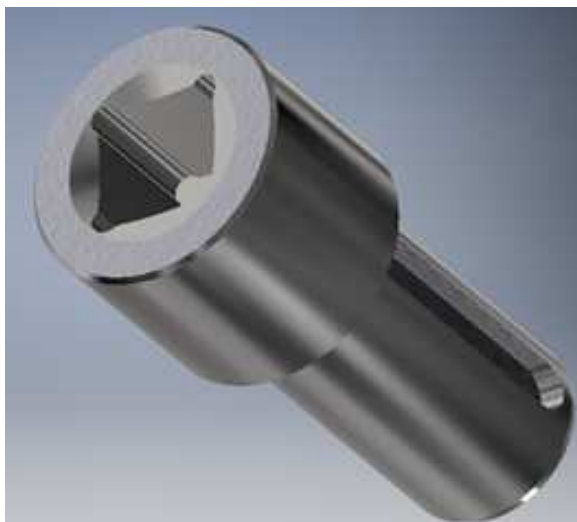
Obr.21: Reakční deska

Zařízení T-DOC

Jedná se o přístroj pro měření točivého momentu se zobrazením na číslicovém displeji v reálném čase a možností uchování naměřených hodnot v paměti, nebo jejich přenos do počítače prostřednictvím sériové linky RS-232-C. Měřicí rozsah je $100 \div 3500$ Nm a rozlišení stupnice 1 Nm. Protože je rozhodující moment na výstupní straně, je nutno provést přepočet. [46]

]

Zařízení je obecně určeno pro vložení mezi pohon a utahovaný element. Na vstupní straně je opatřeno vnitřním jemným drážkováním, na výstupu válcovou částí s jemným drážkováním, na které navazuje čtyřhran o straně 1". V tomto případě zde bude připojena převodovka. Pro přenos momentu mezi T-DOC a převodovkou je dodán nástavec (obr. 22) včetně pera. Tento nástavec je tvořen válcovou částí s drážkou pro pero pro vložení do převodovky a částí s vnitřní dírou pro 1" čtyřhran.



Obr.22: Nástavec pro připojení převodovky

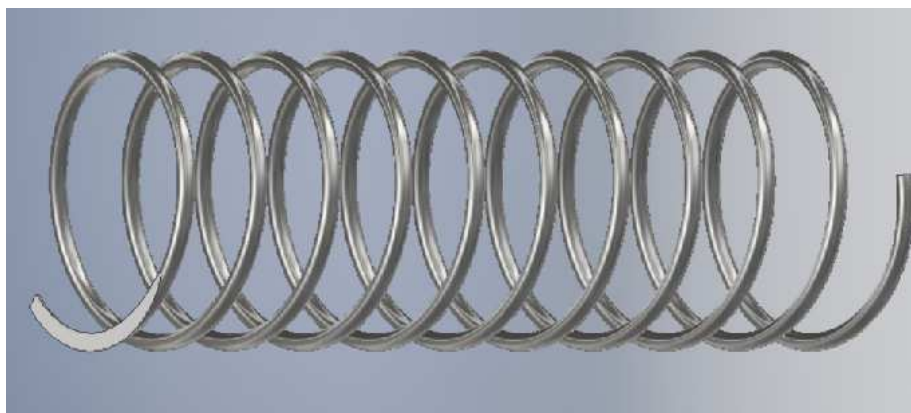
5.1.3 Štítek ukazatele polohy



Obr. 23: Štítek ukazatele polohy

Štítek ukazatele polohy (obr. 23) je přišroubován k lucerně reakčního klíče. Nese značky s informacemi o poloze pracovního prvku. Jedná se o plechový výpalek s laserovým gravírováním.

5.1.4 Pružina



Obr.24: Pružina

Tlačná, vinutá pružina (obr. 24) s 10 závitů, zabroušenými konci a tuhostí $k = 2,3$. Vyrobená z drátu o průměru 7,1 z materiálu EN 10270-1 SH. Slouží k vytváření stálého přitlaku vnitřního klíče na povolovanou, nebo utahovanou matici oběžného kola.

5.1.5 Spojovací materiál a ostatní normalizované díly

Další nakupované normalizované součásti jsou shrnuty v tab. 5.3.

Tab. 5.3: Přehled spojovacího materiálu a normalizovaných dílů

Název	Materiál	Poznámka
Šroub se šestihrannou hlavou M20 x 40 dle ISO 4017	8.8, galvanicky zinkováno	Připojení stojanu utahováku k převodovce.
Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem - M8 x 16 dle ISO 4762	8.8, galvanicky zinkováno	Doraz unašeče vnitřního klíče.
Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem – M8 x 25 dle ISO 4762	8.8, galvanicky zinkováno	Spojení koruny reakčního klíče s lucernou.
Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem – M16 x 25 dle ISO 4762	8.8, galvanicky zinkováno	Spojení lucerny reakčního klíče se spodní deskou
Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem - M6 x	8.8, galvanicky zinkováno	Připojení podpěry oběžného kola ke spodní desce

35 dle ISO 4762

**Šroub s válcovou hlavou s
vnitřním šestihranem - M20 x
50 dle ISO 4762**

8.8, galvanicky zinkováno

Spojení spodní desky
s převodovkou.

**Šroub s válcovou hlavou s
vnitřním šestihranem - M8 x
30 dle ISO 4762**

8.8, galvanicky zinkováno

Spojení unašeče vnitřního
klíče s tělesem vnitřního klíče.

**Šroub s válcovou hlavou s
vnitřním šestihranem - M6 x
10 dle ISO 4762**

8.8, galvanicky zinkováno

Přišroubování štítku ukazatele
polohy.

**Šroub s válcovou hlavou s
vnitřním šestihranem - M4 x
10 dle ISO 4762**

8.8, galvanicky zinkováno

Připojení ukazatele polohy
k unašeči vnitřního klíče.

**Šroub se zápusťnou hlavou s
vnitřním šestihranem - M4 x
10 dle ISO 10642**

8.8, galvanicky zinkováno

Upevnění přitlačného plechu
k unašeči vnitřního klíče.

**Šroub s válcovou hlavou s
vnitřním šestihranem - M14 x
40 dle ISO 4762**

8.8, galvanicky zinkováno

Připojení reakční desky
k převodovce.

**Vázací bod PLAW
2,5t/M20x2,5**

Zašroubováno ve skříni
převodovky, pro transport
zařízení.

**Matice smojistná M14 dle
DIN 985**

8.8, galvanicky zinkováno

Připojení reakční desky
k převodovce.

**Pružná podložka - A20 dle
DIN 128**

Připojení stojanu utahováku
k převodovce.

**Pružná podložka - A6 dle DIN
128**

Přišroubování štítku ukazatele
polohy.

**Pružná podložka - A8 dle DIN
128**

Spojení unašeče vnitřního
klíče s tělesem vnitřního klíče.

**Kruhová matice se zářezy -
KM 16 dle DIN 981**

Uchycení unašeče
drážkovaného hřídele.

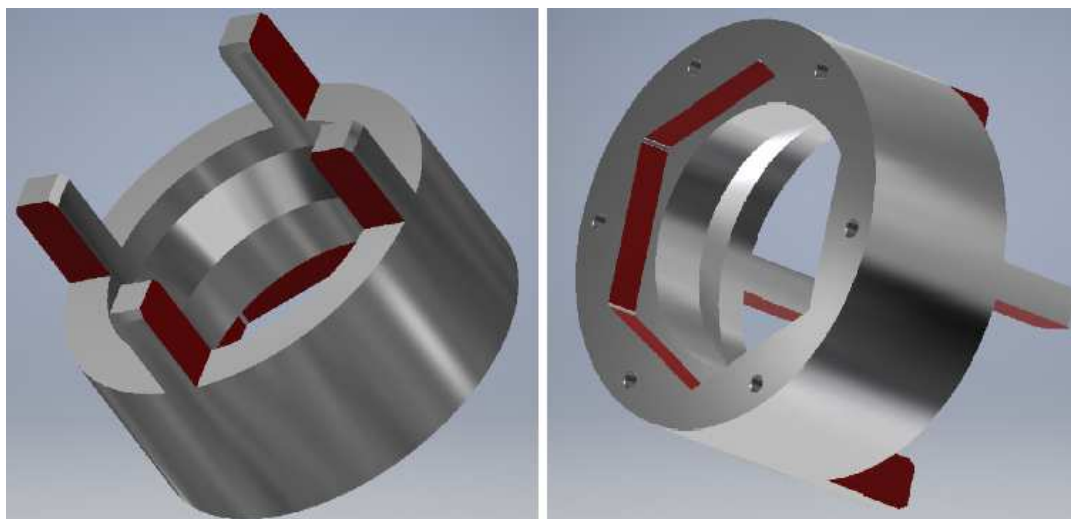
Pojistná podložka - MB 16 dle

Uchycení unašeče

DIN 981		drážkovaného hřídele.
Pojistný hřídelový kroužek – 28 dle ČSN 02 2930		Zavěšení horní matice.
Axiální kuličkové ložisko 51106 dle DIN 711		Umožnění rotace a zachycení axiální síly od sestavy horní a spodní matice.
Těsnící V kroužek 28 VA R SKF		Zatěsnění otvoru spodního krytu.
Šroub lícovaný s válcovou hlavou - 6-M5x40 dle ISO 7379	12.9-černěné	V sestavě horní a spodní matice a závitové čelisti.

5.2 Díly vyráběné

5.2.1 Těleso vnitřního klíče



Obr. 25: Těleso vnitřního klíče. Opěrné plochy jsou zvýrazněny.

Popis

Těleso vnitřního klíče (obr. 25) slouží k přenosu utahovacího momentu na matici oběžného kola. K tomu slouží 4 výstupky rozmístěné po 90 °, zapadající do jejích drážek. Vnitřní kuželové vybrání zrcadlí vnější povrch matice a dosedá na něj. Druhou čelní plochou dosedá na unašeč vnitřního klíče. Na této čelní ploše se dále nachází šest

závitových děr pro šroubové spojení s unašečem. Točivý moment z se unašeče předává prostřednictvím vnitřního šestihranu.

Návrh polotovaru

Součást je silně namáhána, čemuž musí být uzpůsoben výběr materiálu. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením největšího průměru součásti 165 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídatku na průměr:

$$p_{d1} = \frac{5 \cdot 165}{100} + 2, = 10,25 \text{ mm} \quad (5.5)$$

kde:

p_{d1} [mm] je přídavek na průměr polotovaru dané součásti.

.

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 180 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 132,5 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$p_{li} = 132,5 + 2 \cdot 5 + 0 = 142,5 \text{ mm} \quad (5.6)$$

kde:

l_{p2} [mm] je délkou polotovaru včetně přídatků..

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová $\varnothing 180 - 145$ mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - 30CrNiMo8+QT.

Popis technologických operací

Rotační těleso s dalšími tvarovými prvky – výstupky a vnitřním šestihranem. Uvnitř středová průchozí díra a kuželová plocha. Na čelní straně 6 závitových děr, ležících v kruhovém poli. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.4

Tab 5.4: Výrobní a kontrolní operace vnitřního klíče

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější plochy na hotovo	SP 280 MC	

Soustružit vnitřní plochy na hotovo**Frézovat vnitřní šestihran**

MCV 1000

Frézovat 4 výstupky

SPEED

Vrtat 6 děr**Řezat závit****Kontrola**

VT obrobeného povrchu, RK kolmosti výstupku k čelní ploše, RK šířky výstupku, RK výšky výstupku od čela, RK vnitřního průměru pod šestihranem, RK vnitřního šestihranu, RK polohy a rozteče závitových děr.

Pevnostní výpočet

Lze očekávat, že největší napětí se bude objevovat v oblasti paty výstupku a jeho přechodu do čelní plochy. Vizualizace výpočtu redukovaného napětí prostřednictvím MKP je zobrazena v příloze 3. Hodnoty přiřazené barevné stupnici a hodnoty vynesené jsou udávány v MPa. Je uvažováno, že v záběru jsou 2 drážky.

Dále je třeba provést kontrolu na otlacení; posouzení vyhovujícího stavu se pak provede z hlediska materiálu s nižší dovolenou hodnotou dovoleného tlakového napětí. Nejprve se vypočítá průměr těžiště kontaktní plochy jako

$$D_{T1} = \frac{d_1 + D_1}{2}, \quad (5.7)$$

kde:

 D_{T1} [mm],

je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy,

 d_1 [mm],

je průměr k vnitřní hraně výstupku a

 D_1 [mm],

je průměr k vnější hraně výstupku,

tedy:

$$\frac{165 + 124}{2} = 144,5 \text{ mm}$$

Poté se určí tangenciální síla v místě těžiště z výstupního momentu:

$$F_{Tan1} = \frac{2M_{výst}}{D_{T1}} \quad (5.8)$$

kde:

F_{Tan1} [N], je tangenciální silou působící na plochu výstupku a drážky matice,
 $M_{výst}$ [Nm], je výstupním momentem z převodovky a
 D_{T1} [mm], je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy vnitřního klíče,

tedy:

$$\frac{2 * 5700}{144,5} = 78892 \text{ N}$$

Vypočítá se kontaktní tlak působící na plochu výstupku klíče a drážky matice:

$$p_1 = \frac{F_{Tan1}}{S_1 * 2}, \quad (5.9)$$

kde:

p_1 [MPa] je tlak v místě styku výstupku klíče a drážky matice,
 F_{Tan1} [N], je tangenciální silou působící na plochu výstupku a drážky matice,
 S_1 [mm²] je plocha výstupku klíče,

tedy:

$$\frac{78892}{717 * 2} = 55 \text{ MPa}$$

Protože zřejmě platí, že

$$p_1 < \sigma_{1dov} \quad (5.10)$$

kde:

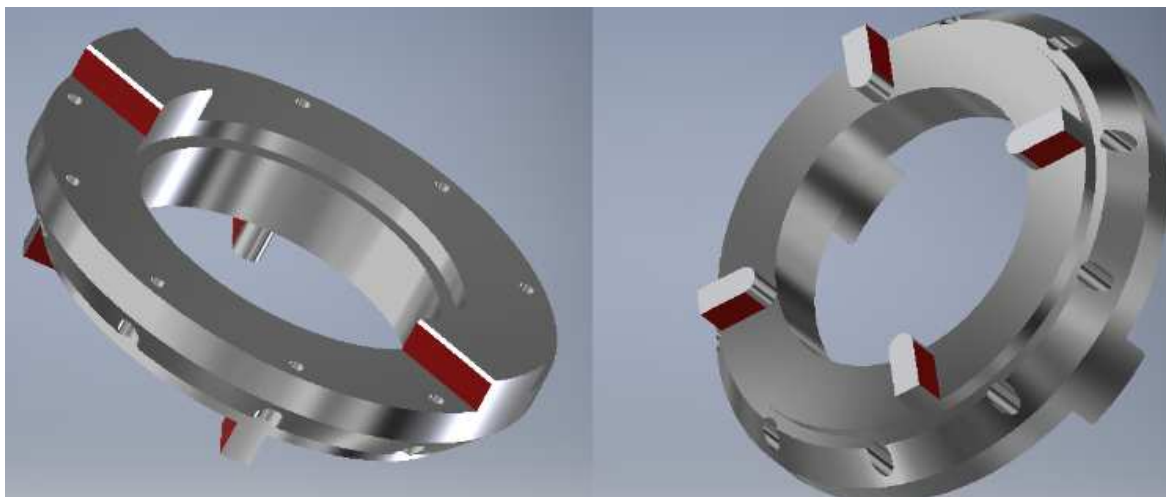
p_1 [MPa] je tlak v místě styku výstupku klíče a drážky matice,
 σ_{1dov} [MPa] je dovolené tlakové napětí materiálu matice,

tedy:

$$55 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa},$$

je kontrola na otlačení vyhovující.

5.2.2 Koruna reakčního klíče



Obr 26: Koruna reakčního klíče.. Opěrné plochy jsou zvýrazněny.

Popis

Koruna reakčního klíče (obr.26) slouží k záchytu reakčního momentu na oběžném kole a jeho přenesení na lucernu reakčního klíče. Do drážek oběžného kola zapadají 4 zvýrazněné výstupky na horní straně, k přenesení momentu na lucernu pak 2 masivnější výstupky na spodní straně. K lucerně je upevněna šroubovým spojem.

Návrh polotovaru

Při plném zatížení bude součást vysoce namáhána. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením největšího průměru součásti 295 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídávku na průměr:

$$p_{d2} = \frac{5 \cdot 295}{100} + 2, = 16,75 \text{ mm} \quad (5.11)$$

kde:

p_{d2} [mm] je přírůstek na průměr polotovaru dané součásti.

.

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 320 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 92 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přírůstek na délku polotovaru:

$$l_{p2} = 92 + 2 * 4 + 0 = 100 \text{ mm}, \quad (5.12)$$

kde:

l_{p2} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová $\varnothing 320 - 100 \text{ mm}$ ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - 34CrNiMo6+QT.

Popis technologických operací

Rotační těleso s dalšími tvarovými prvky – výstupky na horním i spodním čele. Vnitřní průchozí díra a osazení. Na čelní ploše 10 válcových děr se zahloubením, ležících v kruhovém poli. Vnitřní osazení a opěrné plochy spodních výstupků s vyšším požadavkem na přesnost rozměrů a kvalitu povrchu. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.5.

Tab 5.5: Výrobní a kontrolní operace koruny reakčního klíče

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější plochy na hotovo	SN 500	
Soustružit vnitřní osazení s přídavkem na broušení, ostatní plochy na hotovo	SA/2000	
Frézovat výstupky na spodní a horní straně s přídavkem na broušení.	MCV 1000	
	SPEED	
Vrtat 10 děr		
Zahloubit z vrchní strany válcovým záhlubníkem		
Brousit opěrné plochy výstupků na hotovo	BRH 50 III	
Brousit vnitřní osazení na hotovo	BHS 25-630	
	CNC	
Kontrola		VT obrobeného povrchu, RK kolmosti výstupků vůči čelním plochám, RK délky a šířky výstupků, RK výšky výstupků od čela, RK průměru vnitřní válcové plochy

spodních výstupků , RK průměru
vnitřní válcové plochy, RK polohy a
rozteče děr, kontrola Ra
broušených ploch.

Pevnostní výpočet

Zcela analogicky s vnitřním klíčem, lze i zde předpokládat největší koncentraci napětí u paty výstupku. Vizualizace posouzení napětí prostřednictvím MKP na v příloze 3.

Dále je třeba provést kontrolu na otláčení; posouzení vyhovujícího stavu se pak provede z hlediska materiálu s nižší dovolenou hodnotou dovoleného tlakového napětí.

Nejprve se vypočte průměr těžiště kontaktní plochy jako

$$D_{T2} = \frac{d_2 + D_2}{2}, \quad (5.13)$$

kde:

D_{T2} [mm], je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy,

d_2 [mm], je průměr k vnitřní hraně výstupku a

D_2 [mm], je průměr k vnější hraně výstupku,

tedy:

$$\frac{170 + 254}{2} = 212 \text{ mm}$$

Poté se určí tangenciální síla v místě těžiště z výstupního momentu:

$$F_{Tan2} = \frac{2M_{výst}}{D_{T2}} \quad (5.14)$$

kde:

F_{Tan2} [N], je tangenciální silou působící na plochu výstupku a drážky oběžného kola,

$M_{výst}$ [Nm], je výstupním momentem z převodovky a

D_{T2} [mm], je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy reakčního klíče,

tedy:

$$\frac{2 * 5700}{212} = 53774 \text{ N}$$

Vypočte se tlak působící na plochu výstupku klíče a drážky matice:

$$p_2 = \frac{F_{Tan2}}{S_2 * 2}, \quad (5.15)$$

kde:

F_{Tan2} [N], je tangenciální silou působící na plochu výstupku a drážky oběžného kola, :

S_2 [mm²] je plocha výstupku klíče,

tedy:

$$\frac{53774}{574 * 2} = 47 \text{ MPa}$$

Protože platí, že

$$p_2 < \sigma_{2dov} \quad (5.16)$$

kde:

p_2 [MPa] je tlak v místě styku výstupku reakčního klíče a drážky matice,

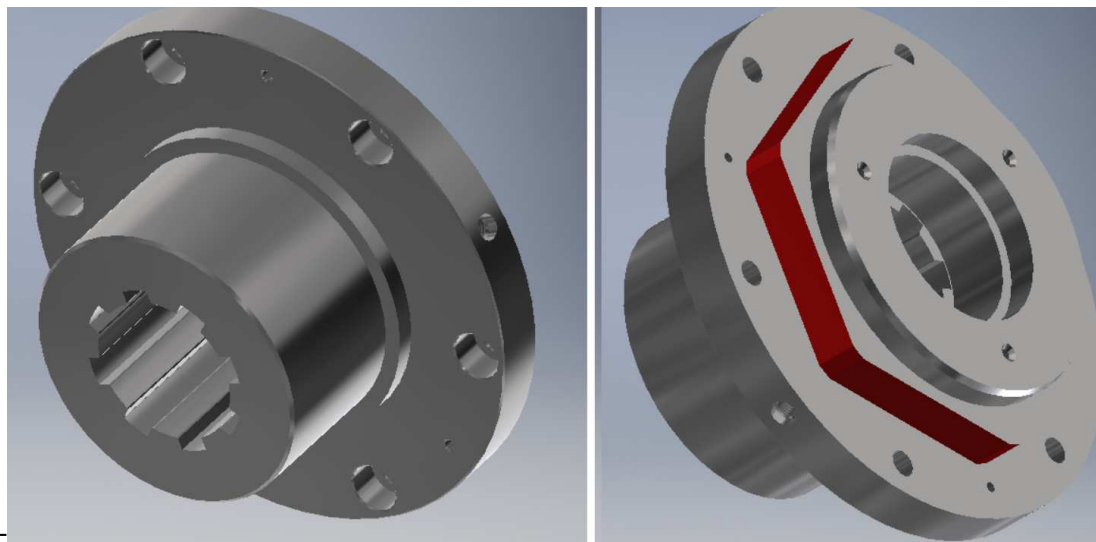
σ_{2dov} [MPa] je dovolené tlakové napětí materiálu oběžného kola,

tedy:

$$47 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa},$$

je kontrola na otláčení vyhovující.

5.2.3 Unašeč vnitřního klíče



Obr. 27: Unašeč vnitřního klíče. Opěrné plochy pro vnitřní klíč jsou zvýrazněny.

Popis

Do unašeče vnitřního klíče (obr. 27) je shora vsunut vnitřní drážkový hřídel, ze kterého je přenášen výstupní moment prostřednictvím rovnobokého drážkování. Na vnitřní klíč je moment předáván prostřednictvím šestihranu (na obrázku zvýrazněn). O spodní plochu příruby unašeče se přes ukazatel polohy opírá pružina, osazení pod přírubou slouží k uložení ukazatele polohy.

Návrh polotovaru

Součást je vysoce namáhána, čemuž bude uzpůsoben výběr materiálu. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením největšího průměru součásti 164 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídávku na průměr:

$$p_{d3} = \frac{5 * 164}{100} + 2, = 10,2 \text{ mm} \quad (5.17)$$

kde:

p_{d3} [mm] je přídavek na průměr polotovaru dané součásti.

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 180 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 93 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$l_{p3} = 93 + 2 \cdot 4 + 0 = 101 \text{ mm}, \quad (5.18)$$

kde:

l_{p3} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavek.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová $\varnothing 180 - 105$ mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - 34CrNiMo6+QT.

Popis technologických operací

Základ tvoří rotační těleso s tvarovými plochami vnějšího šestihranu. Průchozí středová díra s vnitřním drážkováním. Na čelech díry válcové se zahloubením a díry závitové. Na vnější obvodové ploše 3 díry závitové. Boční plochy vnějšího šestihranu a vnitřní osazení se zvýšeným požadavkem na přesnost rozměrů a kvalitu povrchu. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.6.

Tab 5.6: Výrobní a kontrolní operace unašeče vnitřního klíče

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější plochy, v místě šestihranu ponechat přídavek na frézování, ostatní na hotovo.	SP 280 MC	
Soustružit vnitřní osazení na hotovo a průchozí díru s přídavkem na broušení.		
Frézovat vnější šestihran s přídavkem na broušení.	MCV 1000 SPEED	
Vrtat 12 děr čelních.		
Řezat závit.		
Zahloubit díry válcovým záhlubníkem ze spodní strany.		
Vrtat 3 díry obvodové.		
Řezat závit.		
Brousit konturu vnějšího šestihranu na hotovo.	BRH 50 III	
Brousit vnitřní osazení – uložení drážkovaného hřídele - na hotovo.	BHS 25-630 CNC	

**Brousit průchozí díru – hlavovou kružnici
drážkování – na hotovo.**

Řezat drátem rovnoboké drážkování.

CUT 3000 S

Drát – mosaz, $\varnothing 0,2$ mm

Kontrola.

VT obrobeného povrchu, RK
vnějšího šestihranu, RK vnitřního
průměru uložení drážkovaného
hřídele, RK drážkování, RK horního
středicího průměru, RK osazení pro
ukazatel polohy, RK polohy a
rozteče děr, kontrola Ra
broušených ploch.

Pevnostní výpočet

Nejvýznamněji je namáhána oblast rovnobokého drážkování. Zde bude provedena kontrola na otlacení. Posouzení bude provedeno s uvažováním menšího z dvojice dovolených tlakových napětí. Bude uvažováno, že v záběru je všech 8 drážek.

Nejprve se vypočte průměr těžiště kontaktní plochy jako

$$D_{T3} = \frac{d_3 + D_3}{2}, \quad (5.19)$$

kde:

D_{T3} [mm], je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy,

d_3 [mm], je průměr k patě drážky a

D_3 [mm], je průměr k hlavě drážky,

tedy:

$$\frac{46 + 54}{2} = 50 \text{ mm}$$

Poté se určí tangenciální síla v místě těžiště z výstupního momentu:

$$F_{Tan3} = \frac{2M_{výst}}{D_{T2}} \quad (5.20)$$

kde:

F_{Tan3} [N], je tangenciální silou působící na plochu

výstupku a drážky oběžného kola,

$M_{\text{výst}}$ [Nm],

je výstupním momentem z převodovky a

D_{T3} [mm],

je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy unašeče vnitřního klíče,

tedy:

$$\frac{2 * 5700}{50} = 228000 \text{ N}$$

Vypočte se tlak působící na plochu boků drážek:

$$p_3 = \frac{F_{\text{Tan3}}}{S_3 * 2}, \quad (5.21)$$

kde:

F_{Tan3} [N],

je tangenciální silou působící na boky drážkování, :

S_3 [mm²]

je plocha výstupku klíče,

tedy:

$$\frac{228000}{240 * 8} = 118,75 \text{ MPa}$$

Protože platí, že

$$p_3 < \sigma_{3dov} \quad (5.22)$$

kde:

p_3 [MPa]

je tlak v místě kontaktu drážkování unašeče a dutého drážkového hřídele,

σ_{3dov} [MPa]

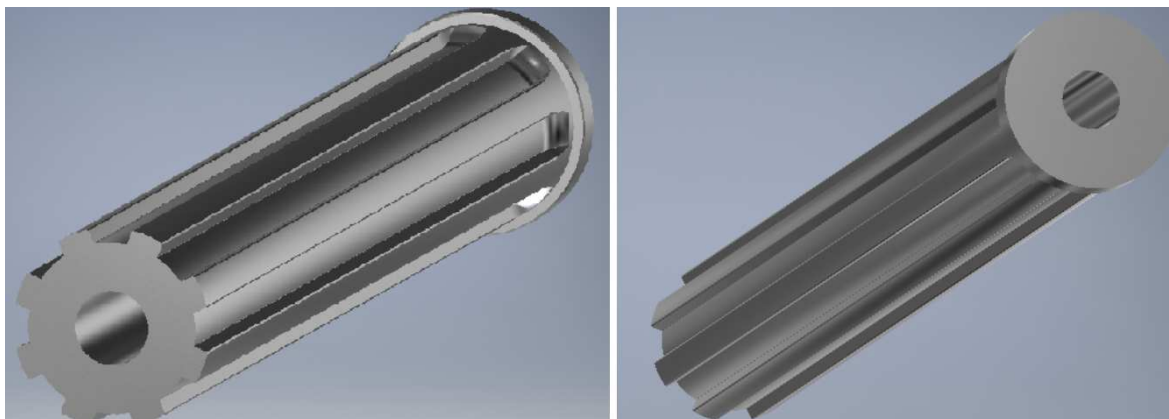
je dovolené tlakové napětí materiálu unašeče vnitřního klíče a dutého drážkového hřídele,

tedy:

$$118,75 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa},$$

je kontrola na otláčení vyhovující.

5.2.4 Dutý drážkovaný hřídel



Obr. 28: Dutý drážkový hřídel.

Popis

Účelem dutého drážkového hřídele (obr. 28) je zajišťovat přenos momentu z unašeče drážkového hřídele na unašeč vnitřního klíče a umožňovat suvný axiální pohyb při povolování i utahování matice oběžného kola. Horní koncová část je opatřena osazením, jímž je tento hřídel uložen v unašeči vnitřního klíče. Dále se zde nachází podélná kruhová díra, jíž prochází středový šroub.

Návrh polotovaru

I v případě dutého drážkovaného hřídele se jedná o velmi exponovanou součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením největšího průměru 61 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídatku na průměr:

$$p_{d4} = \frac{5 \cdot 61}{100} + 2, = 5,05 \text{ mm} \quad (5.23)$$

kde:

p_{d4} [mm] je přídavek na průměr polotovaru dané součásti.

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 68 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 400 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$l_{p4} = 400 + 2 \cdot 5 + 0 = 410 \text{ mm}, \quad (5.24)$$

kde:

l_{p4} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavek.

Dále je však třeba navýšit délku o pomocnou část k upnutí při výrobě drážkování. Celková délka polotovaru bude 515 mm.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová $\varnothing 68 - 515$ mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - 34CrNiMo6+QT.

Popis technologických operací

Rotační válcové těleso hřídelového typu s vnitřní průchozí válcovou dírou. Vnější rovnoboké drážkování. Z technologických důvodů je nutno délku polotovaru zvětšit o pomocný konec pro upnutí při výrobě drážkování. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.7.

Tab 5.7: Výrobní a kontrolní operace dutého drážkovaného hřídele

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější plochy, v místě uložení v unašeči vnitřního klíče ponechat přídavek na broušení, ponechat pomocný konec, ostatní na hotovo.	SP 280 MC	
Vrtat dělovým vrtákem.		
Brousit osazení na hotovo.	BHS 25-630 CNC	
Frézovat rovnoboké drážkování.	MCV 1000 SPEED	
Soustružit – upíchnout pomocný konec.	SP 280 MC	
Kontrola.		VT vnějších ploch, RK osazení pro unašeč vnitřního klíče, RK drážkování, RK celkové délky, RK souososti díry a osazení, kontrola Ra broušených ploch.

Pevnostní výpočet

Nejvyšší hodnoty napětí lze předpokládat okolo střední oblasti vyložené délky hřídele. Vizualizace posouzení napětí prostřednictvím MKP v příloze 3.

I zde je třeba provést kontrolu na otláčení. Posouzení vyhovujícího stavu se má provést z hlediska materiálu s nižší dovolenou hodnotou dovoleného tlakového napětí, avšak v tomto případě je materiál obou prvků totožný.

Kontrola na otláčení bude provedena na kontaktní dvojici unašeč drážkového hřídele – drážkový hřídel. Velikost tangenciální síly je přirozeně totožná s hodnotou tangenciální síly v kapitole 5.2.3, pro výpočet tlaku v drážkách proto může být rovnou použita:

$$p_4 = \frac{F_{Tan3}}{S_4 * 8}, \quad (5.25)$$

kde:

F_{Tan3} [N], je tangenciální silou působící na boky drážkování, :

S_4 [mm²] je plocha kontaktních ploch boků drážek hřídele a jeho unašeče,

tedy:

$$\frac{228000}{534 * 8} = 53,4 \text{ MPa}$$

Protože platí, že

$$p_4 < \sigma_{4dov} \quad (5.26)$$

kde:

p_4 [MPa] je tlak v místě kontaktu boků drážkování hřídele a jeho unašeče,

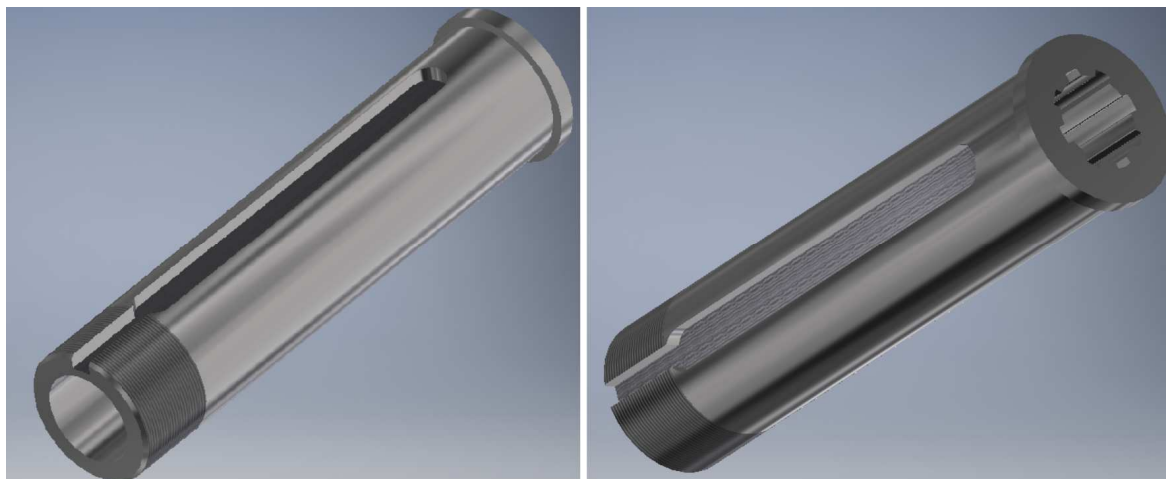
σ_{4dov} [MPa] je dovolené tlakové napětí materiálu hřídele a jeho unašeče,

tedy:

$$53,4 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa},$$

je kontrola na otláčení vyhovující.

5.2.5 Unašeč drážkovaného hřídele



Obr. 29: Unašeč drážkovaného hřídele..

Popis

Na unašeč drážkovaného hřídele (obr. 29) je prostřednictvím pera přenášen výstupní moment z náboje převodovky. Tento moment je předáván dutému drážkovanému hřídeli, uloženého v tomto unašeči, a to prostřednictvím rovnobokého drážkování. Dutý drážkový hřídel zde zároveň může konat suvný axiální pohyb. V horní části unašeče se nachází osazení, jímž je uložen v podložce pružiny. Spodní část je opatřena závitem pro KM matici a drážkou pro MB podložku.

Návrh polotovaru

Součást vystavená vysokému namáhání. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením největšího průměru 89 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přírůstku na průměr:

$$p_{d5} = \frac{5 * 89}{100} + 2, = 6,45 \text{ mm} \quad (5.27)$$

kde:

p_{d5} [mm] je přírůstek na průměr polotovaru dané součásti.

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 100 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 350 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přírůstek na délku polotovaru:

$$l_{p5} = 350 + 2 \cdot 5 + 0 = 360 \text{ mm}, \quad (5.28)$$

kde:

l_{p5} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavek.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová $\varnothing 100 - 370 \text{ mm}$ ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - 34CrNiMo6+QT.

Popis technologických operací

Rotační těleso se závitem na válcové ploše, vnějším osazením a dvěma na sebe navazujícími podélnými drážkami. Válcová plocha s vyššími požadavky na přesnost rozměru a kvalitu povrchu. Uvnitř průchozí středová díra a rovnoboké drážkování. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.8.

Tab 5.8: Výrobní a kontrolní operace unašeče dutého drážkovaného hřídele.

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější plochy, v místě uložení v náboji a v místě závitu ponechat přídavek na broušení, ostatní na hotovo.	SP 280 MC	
Soustružit vnitřní plochy na hotovo.		
Frézovat drážku pro těsné pero na hotovo.	MCV 1000	
Frézovat drážku pro MB podložku na hotovo.	SPEED	
Brousit průměr pro uložení v náboji převodovky na hotovo.	BHS 25-630	
Brousit závit na hotovo.	CNC	
Řezat drátem rovnoboké drážkování.	CUT 3000 S	Drát – mosaz, $\varnothing 0,2 \text{ mm}$
Kontrola.		VT vnějších ploch, kontrola závitu kalibrem, RK uložení v náboji převodovky včetně kontroly obvodového házení, RK drážkování, RK celkové délky, RK umístění a rozměrů drážky pro pero a drážky

pro MB podložku, kontrola Ra
broušených ploch.

Pevnostní výpočet

Namáhání rovnobokého drážkování bylo posouzeno v kapitole 5.2.4. Krom toho je ještě třeba provést kontrolu na otláčení u styčné dvojice těsné pero-drážka pro pero. I v tomto případě se jedná o kontakt dvou totožných materiálů.

Nejprve se vypočte průměr těžiště kontaktní plochy jako

$$D_{T5} = \frac{d_5 + D_5}{2}, \quad (5.29)$$

kde:

D_{T5}	[mm],	je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy,
d_5	[mm],	je průměr k patě drážky pro pero a
D_5	[mm],	je vnější průměr unašeče drážkovaného hřídele,

tedy:

$$\frac{63 + 80}{2} = 71,5 \text{ mm}$$

Poté se určí tangenciální síla v místě těžiště z výstupního momentu:

$$F_{Tan5} = \frac{2M_{výst}}{D_{T5}} \quad (5.30)$$

kde:

F_{Tan5}	[N],	je tangenciální silou působící na bok drážky pro pero,
$M_{výst}$	[Nm],	je výstupním momentem z převodovky a
D_{T5}	[mm],	je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy drážky pro pero,

tedy:

$$\frac{2 * 5700}{71,5} = 159441 \text{ N}$$

Vypočte se tlak působící na plochu boku drážky:

$$p_5 = \frac{F_{Tan5}}{S_5 * 2}, \quad (5.31)$$

kde:

F_{Tan3} [N], je tangenciální silou působící na bok drážky pro pero, :

S_5 [mm²] je boční plocha drážky pro pero,

tedy:

$$\frac{159441}{1570} = 101,55 \text{ MPa}$$

Protože platí, že

$$p_5 < \sigma_{5dov} \quad (5.32)$$

kde:

p_5 [MPa] je tlak v místě kontaktu boku drážky pro pero,

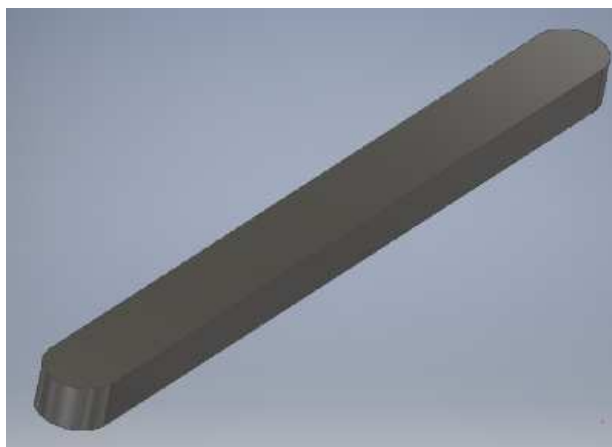
σ_{5dov} [MPa] je dovolené tlakové napětí materiálu unašeče dutého drážkového hřídele a těsného pera,

tedy:

$$101,55 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa},$$

je kontrola na otlačení vyhovující

5.2.6 Těsné pero



Obr.30: Těsné pero

Popis

Těsné pero (obr. 30) slouží k přenosu momentu mezi výstuním nábojem převodovky a unašečem drážkovaného hřídele.

Návrh polotovaru

Součást vystavená vysokému namáhání. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů 14, 22 a 248 mm do vztahu (4.2) se získá velikost přídavek:

$$p_{a6} = \frac{5 * 14}{100} + 2 = 2,7 \text{ mm}, \quad (5.34)$$

kde:

p_{a6} [mm] je přídavek na výšku

$$p_{b6} = \frac{5 * 22}{100} + 2 = 3,1 \text{ mm}, \quad (5.35)$$

kde:

p_{b6} [mm] je přídavek na šířku,

Dostupným polotovarem s adekvátním průřezem je tyč kruhová o průměru 35 mm.

Dosazením největší výkresové délky 248 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přírůstek na délku polotovaru:

$$l_{p6} = 248 + 2 \cdot 3 + 0 = 254 \text{ mm}, \quad (5.36)$$

kde:

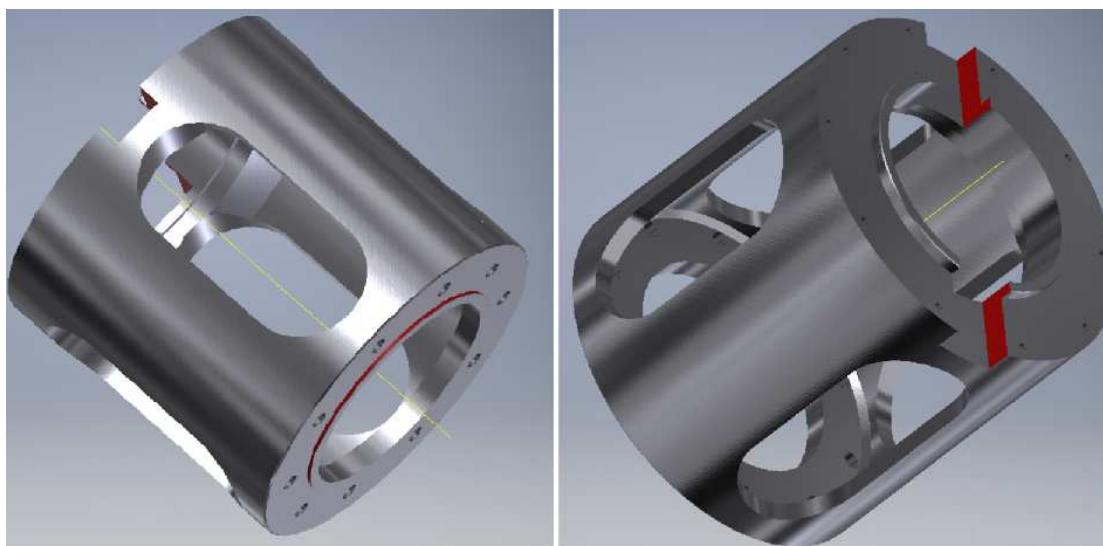
l_{p6} [mm] je délkou polotovaru včetně přírůstků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 35 – 255 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - 34CrNiMo6+QT.

Popis technologických operací

Těsné pero bude vyrobeno frézováním na stroji MCV-1000 SPEED s přírůstkem na broušení. Broušení bočních ploch bude provedeno na stroji BRH 50 III. Po broušení následuje vizuální kontrola a rozměrová kontrola šířky, výšky a celkové délky pera.

5.2.7 Lucerna reakčního klíče



Obr. 31: Lucerna reakčního klíče.

Popis

Lucerna reakčního klíče (obr. 31) k uložení koruny reakčního klíče a přenos reakčního momentu přes spodní desku k základně. Pro záchyt reakční silové dvojice z koruny reakčního klíče slouží příčná drážka (zvýrazněno červeně) na horní straně lucerny. Dále se zde nachází středící osazení pro vymezení správné polohy koruny reakčního klíče a závitové díry pro její uchycení prostřednictvím šroubového spoje. Na spodním čele je opatřena průchozími dírami pro šrouby pro spojení ze spodní deskou

a rovněž středícím průměrem (pro lepší patrnost rovněž zvýrazněno) pro vymezení řádné polohy v desce.

Návrh polotovaru

Středně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 294 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídavek:

$$p_{d7} = \frac{5 * 296}{100} + 2 = 16,8 \text{ mm}, \quad (5.37)$$

kde:

p_{d7} [mm] je přírůstek na průměr polotovaru dané součásti

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 320 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 294 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přírůstek na délku polotovaru:

$$l_{p7} = 294 + 2 * 5 + 0 = 304 \text{ mm}, \quad (5.39)$$

kde:

l_{p7} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavek.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 320 – 305 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - S355JR.

Popis technologických operací

Rotační duté těleso s příčnými rovinnými plochami a bočními vybráními. Na obočelních plochách závitové díry rozmístěné v kruhových polích. Středící průměr s vyššími požadavky na přesnost rozměru a kvalitu povrchu. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.9.

Tab 5.9: Výrobní a kontrolní operace lucerny reakčního klíče

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější plochy, v místě uložení koruny reakčního klíče ponechat přídavek na broušení, ostatní na hotovo.	SN 500 SA/2000	
Soustružit vnitřní plochy na hotovo.		
Frézovat boční vybrání na hotovo.	MCV 1000 SPEED	
Frézovat příčnou drážku pro korunu reakčního klíče na hotovo.		
Vrtat 10 děr na horním čele.		
Řezat závity.		
Vrtat 10 děr na spodní straně		
Řezat závity.		
Brousit středící průměr pro korunu reakčního klíče na hotovo.	BHS 25-630 CNC	
Kontrola.		VT vnějších ploch, RK celkové délky, RK středících průměrů včetně vzájemné souososti a kontroly kolmosti vůči čelním plochám a, RK příčné drážky včetně kontroly souměrnosti, RK polohy a rozteče děr, kontrola Ra broušených ploch.

Pevnostní výpočet

Největší namáhání lucerny reakčního klíče se objevuje v místě zachytu reakční silové dvojice. Boky příčné drážky tedy budou zkontrolovány na otlačení.

Nejprve se vypočte průměr těžiště kontaktní plochy jako

$$D_{T7} = \frac{d_7 + D_7}{2}, \quad (5.40)$$

kde:

D_{T7} [mm], je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy lucerny,
 d_7 [mm], je vnitřní průměr lucerny,
 D_7 [mm], je vnější průměr lucerny,

tedy:

$$\frac{170 + 295}{2} = 232,5 \text{ mm}$$

Poté se určí tangenciální síla v místě těžiště z výstupního momentu:

$$F_{Tan7} = \frac{2M_{výst}}{D_{T7}} \quad (5.41)$$

kde:

F_{Tan7} [N], je tangenciální silou působící na plochu boku příčné drážky lucerny,
 $M_{výst}$ [Nm], je výstupním momentem z převodovky a
 D_{T7} [mm], je souřadnice průměru těžiště kontaktní plochy příčné drážky lucerny,

tedy:

$$\frac{2 * 5700}{232,5} = 49032 \text{ N}$$

Vypočte se tlak působící na plochu výstupku klíče a drážky matice:

$$p_7 = \frac{F_{Tan7}}{S_7 * 2}, \quad (5.42)$$

kde:

F_{Tan7} [N], je tangenciální silou působící na plochu výstupku a drážky oběžného kola, :
 S_7 [mm²] je plocha boku příčné drážky,

tedy:

$$\frac{49032}{1180 * 2} = 20,78 \text{ MPa}$$

Protože platí, že

$$p_7 < \sigma_{7dov} \quad (5.43)$$

kde:

p_7 [MPa] je tlak v místě styku výstupku reakčního klíče a drážky lucerny,

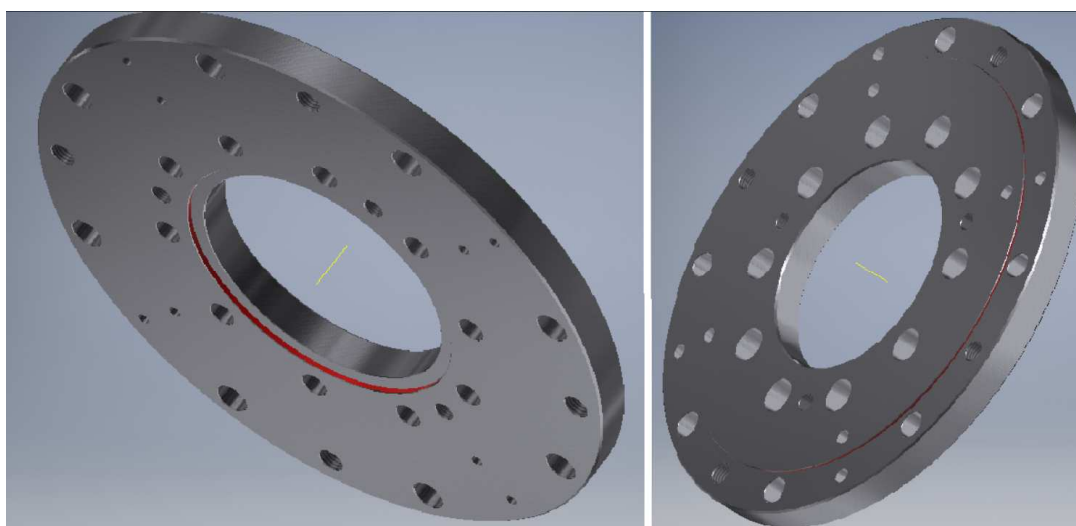
σ_{7dov} [MPa] je dovolené tlakové napětí materiálu lucerny,

tedy:

$$20,78 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa},$$

je kontrola na otláčení vyhovující.

5.2.8 Spodní deska



Obr.32:Spodní deska

Popis

Spodní deska (obr. 32) slouží jako spojovací prvek mezi lucernou reakčního klíče a tělesem převodovky. Na horní straně je opatřena vnitřním středícím průměrem pro vymezení polohy lucerny, na straně spodní vnějším středícím průměrem pro uložení v tělese převodovky (pro lepší patrnost jsou oba středící průměry zvýrazněny). Díry na vnitřní roztečné kružnici jsou určeny pro přišroubování lucerny reakčního klíče, vnější díry jsou určeny pro šrouby spojující spodní desku s tělesem převodovky. Dále se zde nacházejí čtyři dvojice děr rozmístěných po 90°, kterými prochází šrouby uchycující podpěry oběžného kola.

Návrh polotovaru

Středně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 428 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídavek:

$$p_{d8} = \frac{5 \cdot 428}{100} + 2 = 23,4 \text{ mm}, \quad (5.44)$$

kde:

p_{d8} [mm] je přídavek na průměr polotovaru dané součásti

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 460 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 294 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$l_{p8} = 30 + 2 \cdot 5 + 0 = 40 \text{ mm}, \quad (5.45)$$

kde:

l_{p8} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavek.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 460 – 40 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - S355JR.

Popis technologických operací

Rotační součást přírubového typu s tolerovaným středícím průměrem a čelní dosedací plochou. V ose průchozí díra s osazením, na čelních plochách díry v soustředných roztečných kružnicích. Všechny díry průchozí, z nich některé opatřeny závitem či válcovým zahloubením. Na hotovém obrobku je nutno provést kontroly vizuální a rozměrové. Výrobní operace rozepsány v tab. 5.10.

Tab 5.10: Výrobní a kontrolní operace spodní desky.

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit středící průměr pro uložení lucerny reakčního klíče a dosedací čelní plochu s přídávkem na broušení, ostatní na hotovo.	SN 500 SA/2000	
Soustružit vnitřní plochy na hotovo.		

Vrtat 33 děr.

MCV 1000

Řezat závity u 15 děr.

SPEED

Zahloubit 10 děr ze spodní strany válcovým záhlubníkem.

.

Brousit středící průměr pro lucernu reakčního klíče na hotovo.

BHS 25-630

CNC

Brousit čelní dosedací plochu na hotovo.

BRH 50 III

Kontrola.

VT vnějších ploch, RK celkové délky, RK středících průměrů včetně vzájemné souslosti a kontroly kolmosti vůči čelním plochám, RK polohy a rozteče děr, kontrola Ra broušených ploch.

5.2.9 Středový šroub



Obr 33.: Středový šroub.

Popis

Středový šroub (obr. 33) je vyjímatelným prvkem, nasazovaným pro montáž a demontáž matice – pro montáž a demontáž vrchlíku matice musí být vyňat. Jeho účelem je zajistit sousost utahovacího mechanismu s hřídelí HCČ a udržet ji během celého

pracovního cyklu. Je umístěn v díře dutého drážkovaného hřídele a upevněn prostřednictvím spodní matice.

Návrh polotovaru

Středně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 50 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídavek:

$$p_{d9} = \frac{5 * 50}{100} + 2 = 4,5 \text{ mm}, \quad (5.46)$$

kde:

p_{d9} [mm] je přídavek na průměr polotovaru dané součásti

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 55 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 774 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$l_{p9} = 774 + 2 * 3 + 0 = 780 \text{ mm}, \quad (5.47)$$

kde:

l_{p9} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavek.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 55 – 780 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - S355JR.

Popis technologických operací

Dlouhá rotační součást se závity a rovinnými plochami tvořícími šestihranný profil. Vzájemné natočení šestihranů kolem podélné osy je z funkčního hlediska přípustné. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.11.

Tab 5.11: Výrobní a kontrolní operace dutého drážkovaného hřídele

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit s přídávkem na frézování šestihranu a řezání zívitů, ostatní na hotovo.	SP 280 MC	

Soustružit zápich.

Soustružit závit.

Frézovat šestihrany.

MCV 1000

SPEED

Kontrola.

VT vnějších ploch, RK celkové délky,
RK dříku, RK šestihranů.

5.2.10 Matice horní



Obr. 34: Horní matice.

Popis

Horní matice (obr. 34) je uložena ve spodním krytu pod převodovkou, souose s dutým drážkovým hřídelem. Uložení je realizováno v jednom směru zavěšením přes pojistný kroužek umístěný v drážce na dutém čepu, ve druhém přes axiální ložisko. Vybrání pro toto ložisko se nachází okolo dutého čepu, na němž je uložen vnitřní kroužek ložiska. Z druhé strany je zde vybrání pro závitovou čelist a 2 závitové díry pro její přišroubování.

Návrh polotovaru

Méně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 80 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídatku na obrábění:

$$p_{d10} = \frac{5 \cdot 80}{100} + 2 = 6 \text{ mm}, \quad (5.48)$$

kde:

p_{d10} [mm] je přírůstek na průměr polotovaru dané součásti

Vypočtenému přírůstku odpovídá průměr 88 mm normovaného polotovaru.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 70 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přírůstek na délku polotovaru:

$$l_{p10} = 70 + 2 \cdot 2,5 + 0 = 75 \text{ mm}, \quad (5.49)$$

kde:

l_{p10} [mm] je délkou polotovaru včetně přírůstků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 88 – 75 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 – S275JR.

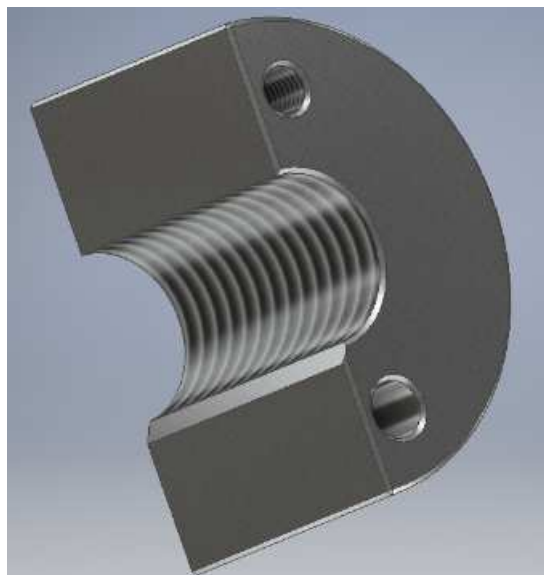
Popis technologických operací

Rotační součást s vnějším a vnitřním osazením a průchozí dírou. Mimo podélnou osu se nachází dvě díry se závitem a válcovým zahloubením. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.12.

Tab 5.12: Výrobní a kontrolní operace matice horní.

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější plochy na hotovo.	SP 280 MC	
Vrtat průchozí díru.		
Soustružit vnitřní plochy na hotovo.		
Vrtat díry.	MCV 1000	
Řezat závity.	SPEED	
Zahloubit válcovým záhlubníkem.		
Kontrola.		VT vnějších ploch, RK celkové délky, RK vybrání pro ložisko, RK polohy děr.

5.2.11 Závítová čelist



Obr. 35: Segment závítové čelisti.

Popis

Závítová čelist (obr. 35) se skládá ze dvou protilehlých polovin, pohyblivých vůči sobě v radiálním směru. Každá z polovin je opatřena dvěma dírami. První díra je určena pro šroub, jímž je přišroubována k horní matici – okolo tohoto šroubu koná segment závítové čelisti rotační pohyb. Šroubem ve druhé díře je propojena s maticí spodní.

Návrh polotovaru

Středně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Vnější průměr bude soustružen celkem dvakrát – před svařením a po svaření. Celkový přírůstek bude tedy součtem přírůstku pro vytvoření konečného vnějšího průměru a pro opracování polotovaru. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 50 mm do vztahu (4.1) se získá velikost prvního přírůstku:

$$p_{d11-I} = \frac{5 \cdot 50}{100} + 2 = 4,5 \text{ mm}, \quad (5.50)$$

kde:

p_{d11-I} [mm] je přírůstek na vytvoření konečného průměru součásti.

A opětovným dosazením tohoto výsledku do vztahu (4.1) se dostane velikost druhého přírůstku:

$$p_{d11-II} = \frac{5 * 54,5}{100} + 2 = 4,725 \text{ mm}, \quad (5.51)$$

kde:

p_{d11-II} [mm] je přídavek na průměr pro opracování polotovaru.

$$p_{d11} = p_{d11-I} + p_{d11-II}, \quad (5.52)$$

kde:

p_{d11} [mm] je celkový přídavek na průměr dané součásti,

p_{d11-I} [mm] je přídavek na vytvoření konečného průměru součásti,

p_{d11-II} [mm] je přídavek na průměr pro opracování polotovaru,

tedy:

$$4,5 + 4,725 = 9,225 \text{ mm}.$$

Nejbližší vyšší průměr normalizovaného polotovaru je 60 mm.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky, zvýšené o přídavek pro odfrézování svarů, tedy 38 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$l_{p11} = 38 + 2 * 3 + 0 = 44 \text{ mm}, \quad (5.53)$$

kde:

l_{p11} [mm] je délkou polotovaru včetně přídaveků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 60 – 45 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 - S355JR – 2 kusy.

Popis technologických operací

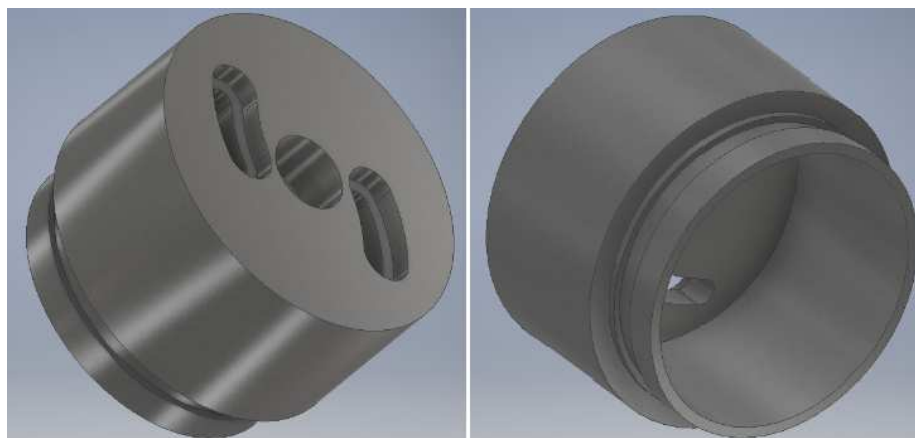
Součást tvořená dvěma segmenty. Segmenty mají tvar poloviny mezikruží, ve vnitřním oblouku se nachází závit. Na čelní ploše se nacházejí dvě díry mimo podélnou osu. Prvá díra je závitová s válcovým zahloubením, druhá čistě válcová. Obě díry průchozí. Z důvodu prořezu se musí každá z polovin zhotovit z jedné válcové části

polotovaru. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.13.

Tab 5.13: Výrobní a kontrolní operace závitové čelisti.

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější průměr.	SP 280 MC	
Vrtat průchozí díru.		
Frézovat v ose, podélně, na hotovo.	MCV 1000 SPEED	
Svařit oba segmenty proti sobě – na čelech.		Metoda 135 dle EN ISO 4063.
Soustružit vnější průměr, na hotovo.	SP 280 MC	
Vrtat průchozí díru.		
Řezat závit.		
Odfrézovat svary na čelech, frézovat čela na hotovo.	MCV 1000 SPEED	
Vrtat díry.		
Řezat závit.		
Zahloubit válcovým záhlubníkem.		
Frézovat zkosení u vnitřního závitu.		
Kontrola.		VT vnějších ploch, RK celkové délky, RK polohy děr, kontrola závitu kalibrem.

5.2.12 Matice spodní



Obr. 36: Spodní matice.

Popis

Spodní matice (obr. 36) je přes dva šrouby spojena se závitovou čelistí. Hlavy těchto šroubů se nachází ve dvou drážkách situovaných na spodním čele, které vymezují jejich rotační pohyb, kterým se sblíží či oddalují poloviny závitové čelisti. Uvnitř spodní matice se nachází vybrání pro závitovou čelist. V horní části se nachází osazení pro uložení v horní matici.

Návrh polotovaru

Méně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 80 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídatku na obrábění:

$$p_{d12} = \frac{5 * 80}{100} + 2 = 6 \text{ mm}, \quad (5.54)$$

kde:

p_{d12} [mm] je přírůstek na průměr polotovaru dané součásti

Vypočtenému přídatku odpovídá průměr 88 mm normovaného polotovaru.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 58 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přírůstek na délku polotovaru:

$$l_{p12} = 58 + 2 * 3 + 0 = 64 \text{ mm}, \quad (5.55)$$

kde:

l_{p12} [mm] je délkou polotovaru včetně přídavků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 88 – 65 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 – S275JR.

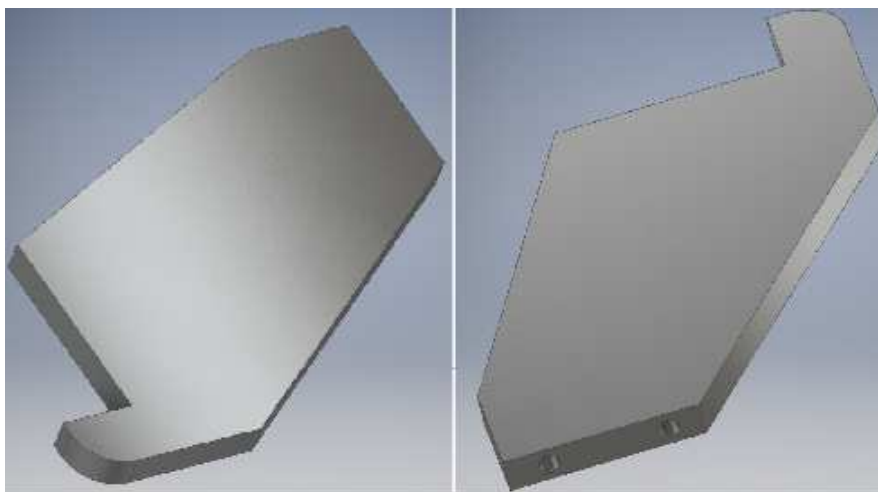
Popis technologických operací

Rotační součást se středovou průchozí dírou a vnitřním vybráním. Na čelní ploše se nachází dvě dvojice drážek s ekvidistantním půdorysem. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.14.

Tab 5.14: Výrobní a kontrolní operace závitové čelisti.

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější průměr, na hotovo.	SP 280 MC	
Soustružit vnitřní průměr, na hotovo.		
Frézovat svrchní drážky, na hotovo.	MCV 1000	
Frézovat spodní drážky, na hotovo.	SPEED	
Kontrola.		VT vnějších ploch, RK celkové délky, RK polohy a geometrie drážek, kontrola závitu kalibrem.

5.2.13 Podpěra oběžného kola



Obr. 37: Podpěra oběžného kola.

Popis

Oběžné kolo HCČ je při sjíždění z hřídele uloženo na čtyřech podpěrách (obr. 37), rozmístěných po 90°. Stejně tak při montáži je oběžné kolo usazeno na těchto podpěrách během jeho nasazování na hřídel. Na spodním čele jsou dvě závitové díry pro přišroubování ke spodní desce. Na horní straně je situováno vybrání, tvarově uzpůsobené pro uložení těsnicího kruhu oběžného kola.

Návrh polotovaru

Méně namáhaná součást. Jako polotovar bude použit výpalek z plechové tabule tloušťky 10 mm. Dosazením rozměrů hodnoty největší podélné vzdálenosti obráběných ploch 135 mm, resp největší příčné vzdálenosti obráběných ploch 22 mm do vztahu (4.2) se získá velikost přídaveků na obrábění:

$$p_{a13} = \frac{5 * 135}{100} + 2 = 8,75 \text{ mm}, \quad (5.56)$$

kde:

p_{a13} [mm] je podélný přírůstek na výšku

$$p_{b13} = \frac{5 * 22}{100} + 2 = 3,1 \text{ mm}, \quad (5.57)$$

kde:

p_{b13} [mm] je přídavek na šířku,

přičemž ostatní části obrysu budou vypáleny dle výkresu.

Výsledným polotovarem tedy bude plech P10-140x160 mm ČSN EN 10029, ocel EN 10025 – S275JR – 4 kusy.

Popis technologických operací

Plochá součást s vybráním a dosedacím čelem, ve kterém se nacházejí dvě závitové díry. Na hotovém obrobku budou provedeny kontroly vizuální a rozměrové. Rozepsáno v tab. 5.15.

Tab 5.15: Výrobní a kontrolní operace závitové čelisti.

Popis operace	Stroj	Poznámka
---------------	-------	----------

Vypálit laserem konturu polotovaru, v místě vybrání pro těsnicí kruh a spodního dosedacího čela s přídavkem na frézování, ostatní na hotovo.	TruLaser 3030	
--	---------------	--

Frézovat vybrání a dosedací čelo, na hotovo.	MCV 1000	
--	----------	--

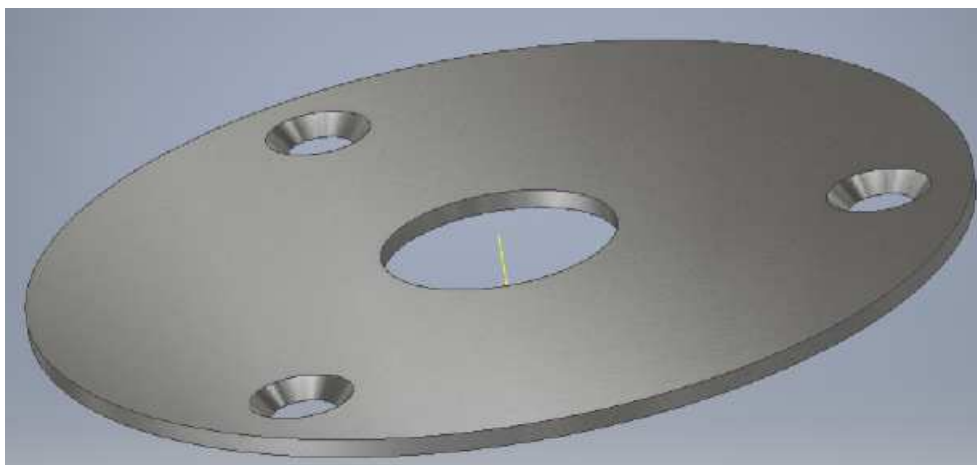
Vrtat díry.

Řezat závity

Kontrola.

VT vnějších ploch, RK celkové délky, RK délky horizontální plochy vybrání RK vzdálenosti horizontální plochy vybrání a spodního dosedacího čela, RK polohy děr.

5.2.14 Přítlačný plech



Obr. 38: Přítlačný plech.

Popis

Přítlačný plech (obr. 38) spočívá na čele dutého drážkového hřídele a zajišťuje unašeč vnitřního klíče proti axiálnímu posunu po drážkovém hřídeli. K unašeči vnitřního klíče je připojen šrouby, uloženými ve třech dírách rozmístěnými po 120°. Vnitřní díra slouží pro pohyb středového šroubu.

Návrh polotovaru

Méně namáhaná součást. Vnější obrys není třeba dále obrábět, otvory budou vytvořeny až na obráběcím stroji. Jako polotovar bude použit výpalek z plechové tabule tloušťky 2 mm.

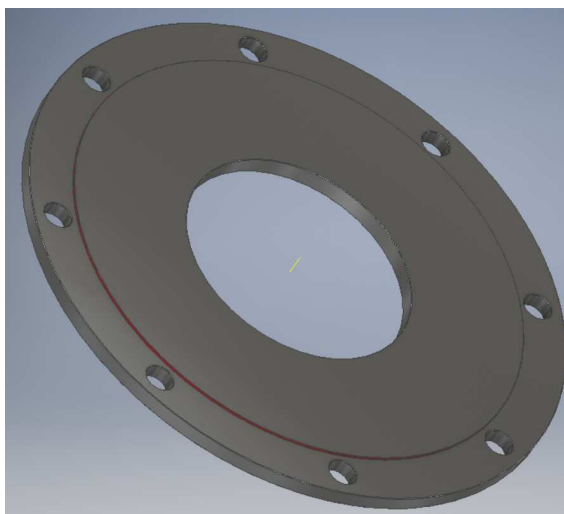
Výsledným polotovarem tedy bude plech P2 $\varnothing 112$ mm ČSN EN 10029, ocel EN 10025 – S275JR.

Popis technologických operací

Plochá rotační součást se středovou průchozí dírou a třemi kuželovými dírami mimo osu.

Na stroji TruLaser 3030 vypálit vnější obrys. Na stroji MCV 1000 SPEED vyvrtat díry a provést zahloubení kuželovým záhlubníkem. Na hotovém obrobku budou provést VT vnějšího pocrchu, RK průměru středového otvoru a RK polohy děr

5.2.15 Podstavec převodovky



Obr.39: Podstavec převodovky.

Popis

Podstavec převodovky (obr. 39) je součástí stojanu utahováku. K vymezení polohy vůči převodovce slouží středicí průměr (pro lepší viditelnost zvýrazněn). Spojení s převodovkou realizováno prostřednictvím šroubů, procházejících osmi dírami rozmístěnými v kruhovém poli mezi středícím průměrem a vnějším okrajem. Středový otvor je určen pro uložení spodního krytu.

Návrh polotovaru

Méně namáhaný díl, součást svařence – materiál musí mít dobrou svařitelnost bez zvláštních opatření. Plochy vnějšího a vnitřního kruhu není třeba dále obrábět, díry ležící v roztečné kružnici budou vytvořeny až na obráběcím stroji. Jako polotovar bude použit výpalek z plechové tabule tloušťky 20 mm.

Výsledným polotovarem tedy bude plech P20 $\varnothing$ 450 / 150 mm ČSN EN 10029, ocel EN 10025 – S275JR.

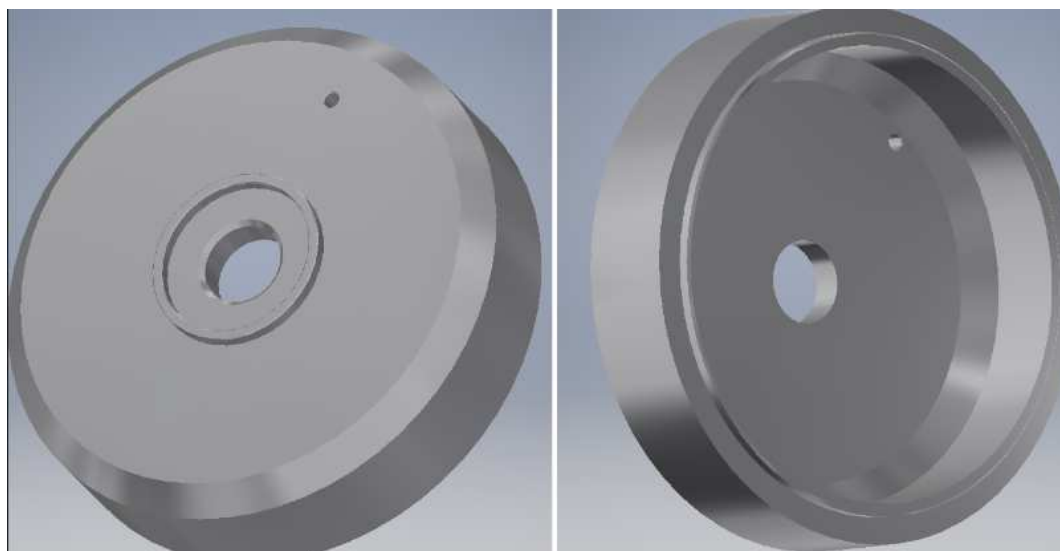
Popis technologických operací

Plochá rotační součást se středovou průchozí dírou, vnějším středícím průměrem a osmi válcovými dírami mimo osu. Tento díl bude, spolu se spodním krytem, žebry a podstavcem utahováku, tvořit svařenec. Na hotovém obrobku / svařenci je třeba provést kontrolní operace. Výroba rozepsána v tab. 5.16

Tab. 5.16: Výrobní a kontrolní operace podstavce převodovky

Popis operace	Stroj	Poznámka
Vypálit laserem mezikružní - vnější kruh a vnitřní kruh, na hotovo.	TruLaser 3030	
Svařit s žebry a spodním krytem.	TPS 400i	Metoda 135 dle EN ISO 4063.
Frézovat středící průměr a čelní plochy, na hotovo.	MCFV 2080	
Vrtat díry.		
Kontrola.		VT vnějších ploch, RK středícího průměru, RK polohy děr. VT + PT svarových spojů, RK geometrie svarů.

5.2.16 Spodní kryt



Obr. 40: Spodní kryt.

Popis

Spodní kryt (obr. 40). je uložen ve středovém otvoru podstavce převodovky. Spojení realizováno koutovým svarem. Středovým otvorem prochází dutý čep horní matice; okolo otvoru se nachází osazení vymezující její polohu. O spodní čelo krytu se opírá axiální ložisko horní matice.

Návrh polotovaru

Méně namáhaný díl, součást svařence. Požadavek na dobrou svařitelnost bez zvláštních opatření. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 197 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídatku na obrábění:

$$p_{d16} = \frac{5 * 197}{100} + 2 = 11,85 \text{ mm}, \quad (5.58)$$

kde:

p_{d16} [mm] je přídatek na průměr polotovaru dané součásti

Vypočtenému přídatku odpovídá průměr 210 mm normovaného polotovaru.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 58 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídatek na délku polotovaru:

$$l_{p16} = 58 + 2 * 3 + 0 = 64 \text{ mm}, \quad (5.59)$$

kde:

l_{p16} [mm] je délkou polotovaru včetně přídatků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 210 – 65 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 – S275JR.

Popis technologických operací

Rotační součást se středovou průchozí dírou a vnitřním vybráním. Na čelní ploše se nachází osazení a jedna válcová díra, ležící mimo podélnou osu. Součást je svařena s podstavcem převodovky. Na hotovém obrobku / svařenci budou provedeny kontroly vizuální, rozměrové a kapilární. Rozepsáno v tab. 5.17. Postup svařování stanoven v příloze 4.

Tab 5.17: Výrobní a kontrolní operace spodní podložky.

Popis operace	Stroj	Poznámka
Soustružit vnější průměr, na hotovo.	SP 280 MC	
Soustružit vnitřní průměr, na hotovo.		

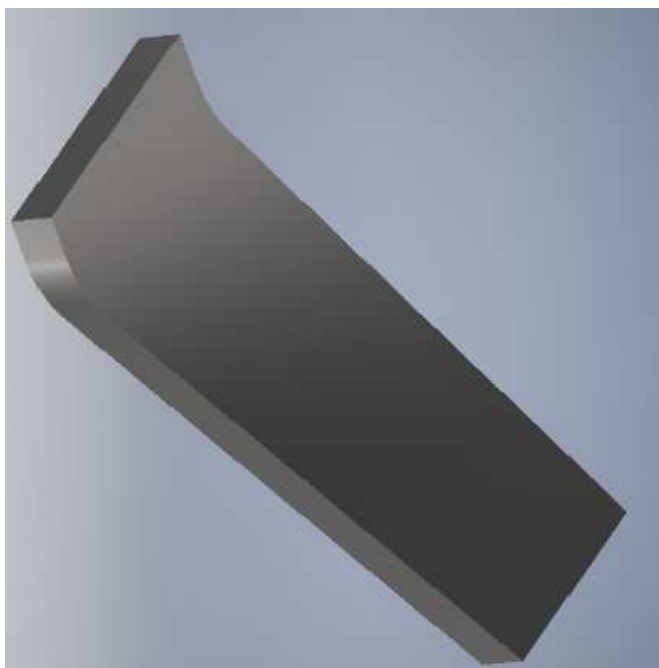
Vrtat díru.MCV 1000
SPEED**Svařit s podstavcem převodovky.**

TPS 400i

Metoda 135 dle EN ISO 4063.

Kontrola.VT vnějších ploch, RK celkové délky,
RK souososti středové díry a
osazení pro uložení v podstavci
převodovky. VT + PT koutového
svaru, RK geometrie svaru.

5.2.17 Žebro



Obr. 41: Žebro.

Popis

Žebro (obr. 41). v počtu 4 kusů přenáší hmotnost utahovacího zařízení mezi podstavcem převodovky a podstavcem utahováku. Spojení realizováno prostřednictvím koutových svarů.

Návrh polotovaru

Méně namáhaná součást. Požadavek na svařitelnost bez zvláštních opatření. Jako polotovar bude použit výpalek z plechové tabule tloušťky 10 mm. Dosazením rozměrů hodnoty největší podélné vzdálenosti obráběných ploch 194 mm, resp největší příčné vzdálenosti obráběných ploch 78 mm do vztahu (4.2) se získá velikost přídaveků na obrábění:

$$p_{a17} = \frac{5 * 194}{100} + 2 = 11,7 \text{ mm}, \quad (5.60)$$

kde:

p_{a17} [mm] je podélný přírůstek na výšku,

$$p_{b17} = \frac{5 * 78}{100} + 2 = 5,9 \text{ mm}, \quad (5.61)$$

kde:

p_{b17} [mm] je přírůstek na šířku,

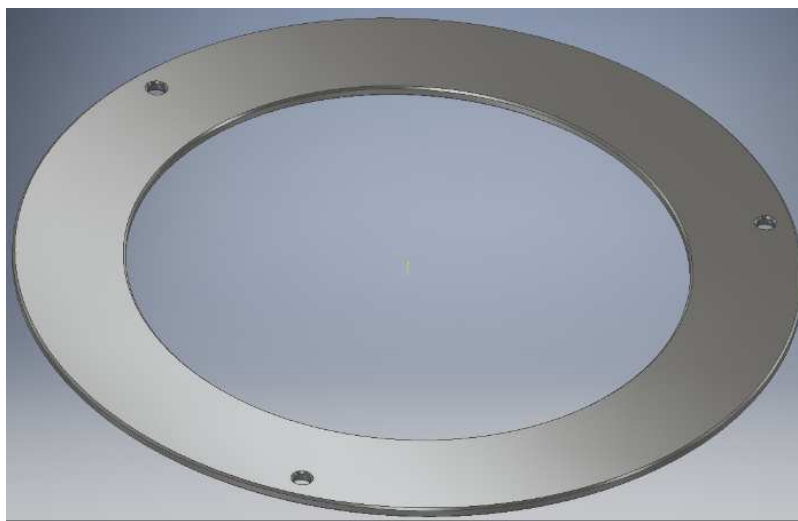
přičemž ostatní části obrysu budou vypáleny dle výkresu.

Výsledným polotovarem tedy bude plech P10-206x200 mm ČSN EN 10029, ocel EN 10025 – S275JR – 4 kusy.

Popis technologických operací

Plochá součást se 2 dosedacími čely. V místě svarových spojů je třeba vytvořit úkosy dle zadání svařovacího technologa. Konturu pálit na stroji TruLaser 3030 s přírůsky v místě dosedacích čel. Na zařízení MCV 1000 SPEED frézovat čelní plochy a svarové úkosy, na hotovo. Poté VT vnějších ploch, RK vzdálenosti čel, RK svarových úkosů.

5.2.18 Podstavec utahováku



Obr. 42: Podstavec utahováku.

Popis

Spodní částí zařízení je podstavec utahováku (obr. 42). Během pracovní činnosti spočívá na plošině montážního vozíku. Na podstavci jsou přivařena 4 žebra.

Návrh polotovaru

Méně namáhaný díl, součást svařence – materiál musí mít dobrou svařitelnost bez zvláštních opatření. Plochy vnějšího a vnitřního kruhu není třeba dále obrábět, díry ležící v roztečné kružnici budou vytvořeny až na obráběcím stroji. Jako polotovar bude použit výpalek z plechové tabule tloušťky 10 mm.

Výsledným polotovarem tedy bude plech P10 $\varnothing$ 450 / 150 mm ČSN EN 10029, ocel EN 10025 – S275JR.

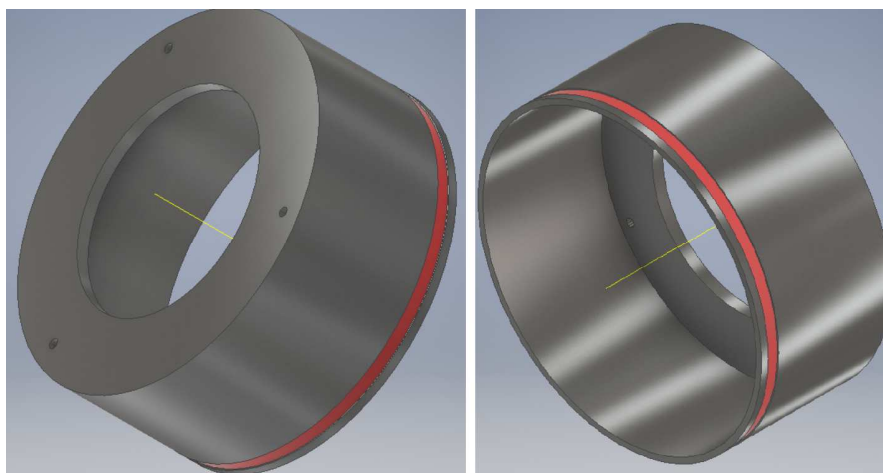
Popis technologických operací

Plochá rotační součást tvaru mezikruží. Na čelní ploše rozmístěny 3 válcové díry pod úhlem 120°. Bez zvláštních nároků na přesnost. Podstavec je součástí svařence, která je dále tvořena žebry, podstavcem převodovky a spodním krytem.

Konturu pálit na stroji TruLaser 3030, vnější s přídatkem na frézování, vnitřní na hotovo. Svařit s žebry metodou 135 dle EN ISO 4063, stroj TPS 400i. Postup svařování stanoven v příloze 4.

Po svaření frézovat vnější průměr, srazit hrany a vrtat 3 díry na stroji MCFV 2080. Po výrobě VT vnějších ploch, RK vnějšího průměru, RK celkové výšky svařence, VT + PT svarových spojů, RK geometrie svarů.

5.2.19 Ukazatel polohy



Obr. 43: Ukazatel polohy.

Popis

Ukazatel polohy (obr. 43) je uložen na spodní straně unašeče vnitřního klíče. Pro toto uložení slouží středová díra na čelní ploše. K unašeči je přišroubován třemi šrouby procházejícími skrze 3 díry rozmístěné po 120°. Do vnitřního čela se opírá pružina. Na vnější válcové ploše je vytvořen zápich, jehož dno je opatřeno červeným epoxidovým nátěrem. Poloha tohoto zápichu vůči značkám štítku ukazatele polohy pak dává informaci o pozici funkčních ploch pro tu kterou pracovní operaci, na jejímž základě lze pak buď pokračovat v operaci, anebo provést korekci.

Návrh polotovaru

Méně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 164 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídavku na obrábění:

$$p_{d19} = \frac{5 * 164}{100} + 2 = 10,2 \text{ mm}, \quad (5.62)$$

kde:

p_{d19} [mm] je přídavek na průměr polotovaru dané součásti

Vypočtenému přídavku odpovídá průměr 180 mm normovaného polotovaru.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 74 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$l_{p19} = 74 + 2 * 3 + 0 = 80 \text{ mm}, \quad (5.63)$$

kde:

l_{p19} [mm] je délkou polotovaru včetně přídaveků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 180 – 80 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 – S275JR.

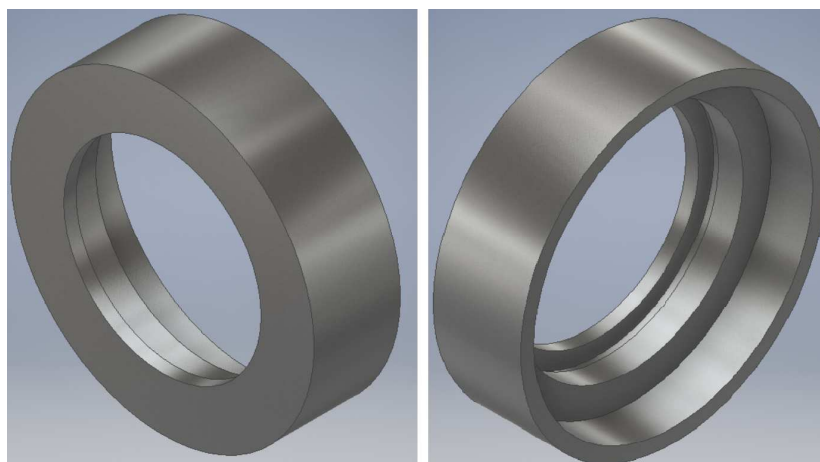
Popis technologických operací

Rotační součást se středovou průchozí dírou a vnitřním vybráním. Na vnějším obvodu se nachází zápich. Na čelní ploše rozmístěny 3 válcové díry pod úhlem 120.

Na stroji SP 280 MC soustružit vnější plochy na hotovo, vytvořit zápich, soustružit vnitřní plochy na hotovo. 3 díry vrtat na odráběcím centru MCV 1000 SPEED.

Po výrobě VT vnějších ploch, RK vnějšího průměru a celkové délky, RK vnitřního průměru uložení na unašeči vnitřního klíče, RK polohy a rozteče děr.

5.2.20 Podložka pružiny



Obr. 44: Podložka pružiny.

Popis

Podložka pružiny (obr. 44). spočívá na horním čele náboje převodovky. Do podložky je zasunut unašeč drážkovaného hřídele, který je uložen na jejím vnitřním osazení. Ve zbylém vnitřním prostoru podložky je pak uložena spodní část pružiny.

Návrh polotovaru

Méně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 136 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídatku na obrábění:

$$p_{d20} = \frac{5 * 136}{100} + 2 = 8,8 \text{ mm}, \quad (5.64)$$

kde:

p_{d20} [mm] je přídavek na průměr polotovaru dané součásti

Vypočtenému přídatku odpovídá průměr 150 mm normovaného polotovaru.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 34 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přídavek na délku polotovaru:

$$l_{p20} = 34 + 2 * 3 + 0 = 40 \text{ mm}, \quad (5.65)$$

kde:

l_{p20} [mm] je délkou polotovaru včetně přídatků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 150 – 40 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 – S275JR.

Popis technologických operací

Rotační součást se středovou průchozí dírou, vnitřním osazením a zápichem. Na vnitřním průměru a čelní ploše nachází uložení s vyšším nárokem na přesnost. Po výrobě je třeba provést vizuální a rozměrové kontroly. Rozepsáno v tab. 5.18

Tab 5.18: Výrobní a kontrolní operace spodní podložky.

Popis operace	Stroj	Poznámka
---------------	-------	----------

Zarovnat čelo, ponechat přídavek na broušení.	SP 280 MC	
---	-----------	--

Soustružit vnitřní plochy, v místě uložení na unašeči drážkovaného hřídele ponechat přídavek na broušení, ostatní na hotovo.		
--	--	--

Soustružit vnitřní zápich		
---------------------------	--	--

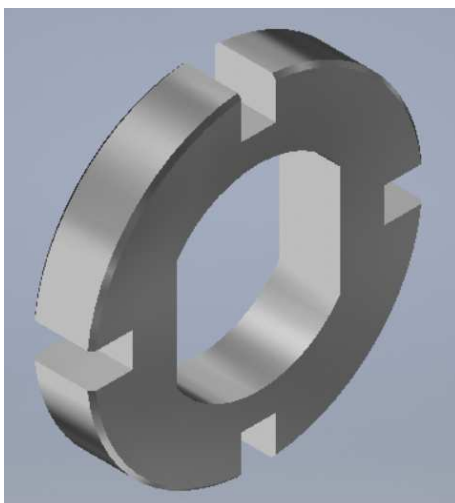
Brousit vnitřní středicí průměr.BHS 25-630
CNC**Brousit čelní plochu.**

BRH 50 III

Kontrola.

VT vnějších ploch, RK celkové délky, RK souososti vnitřních osazení, RK kolmosti čela vůči středicímu průměru, RK zápichu, RK zadního vnitřního osazení, kontrola Ra broušených ploch.

5.2.21 Modul vrchlíku matice



Obr. 45: Modul vrchlíku matice.

Popis

Modul kulového vrchlíku matice (obr. 45). je vyjímatelným pomocným pracovním prvkem, který slouží pro montáž a demontáž vrchlíku matice. Je opatřen drážkami, zapadajícími do výstupků vnitřního klíče.

Návrh polotovaru

Středně namáhaná součást. Jako polotovar bude použita tyč s kruhovým průřezem. Dosazením rozměrů hodnoty největšího průměru součásti 164 mm do vztahu (4.1) se získá velikost přídatku na obrábění:

$$p_{d21} = \frac{5 * 164}{100} + 2 = 10,2 \text{ mm}, \quad (5.66)$$

kde:

p_{d21} [mm] je přírůstek na průměr polotovaru dané součásti.

Vypočtenému přírůstku odpovídá průměr 180 mm normovaného polotovaru.

Koncové čelní plochy nebudou broušeny. Dosazením největší výkresové délky 29 mm do vztahu (4.3) se tedy dostane přírůstek na délku polotovaru:

$$l_{p21} = 29 + 2 * 3 + 0 = 35 \text{ mm}, \quad (5.67)$$

kde:

l_{p21} [mm] je délkou polotovaru včetně přírůstků.

Výsledným polotovarem tedy bude tyč kruhová 180 – 35 mm ČSN EN 10060, ocel EN 10025 – S355JR.

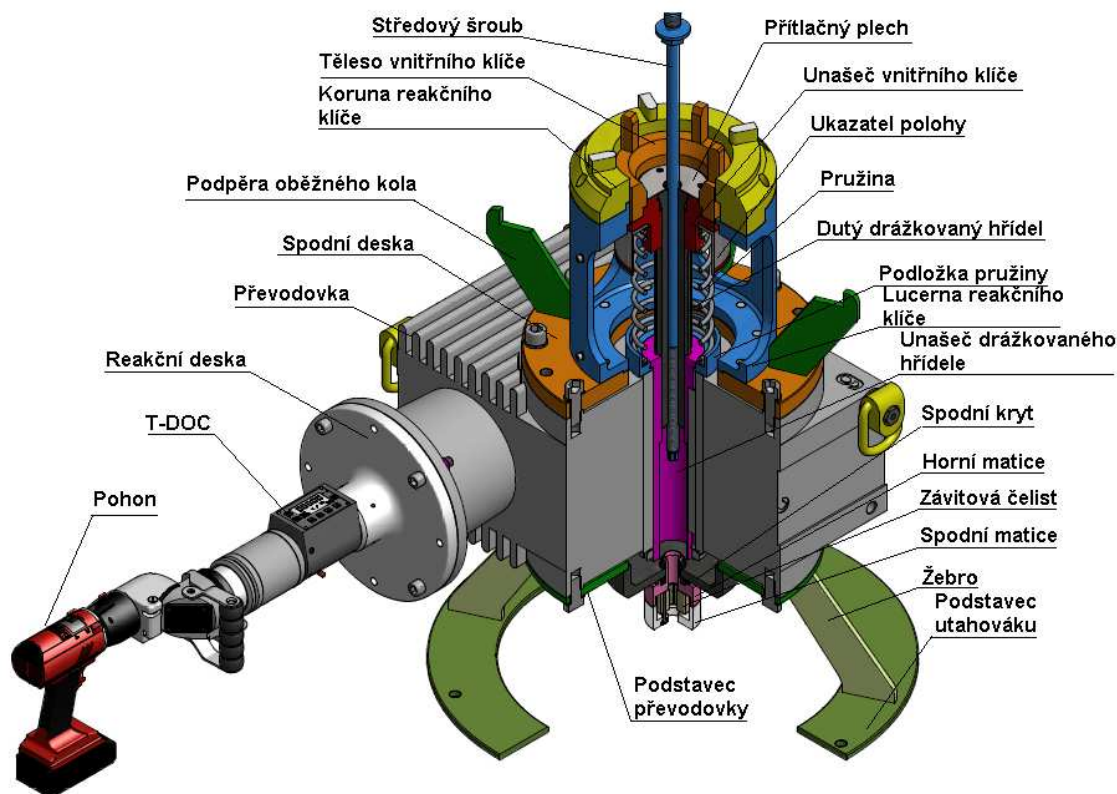
Popis technologických operací

Tvarová součást s vnějším obvodem rotačního charakteru. Po obvodu se nacházejí drážky ve čtvrtinové symetrii. Dna drážek rovnoběžná s podélnou osou, boky kolmé k dnům. Uvnitř vybrání rovněž ve čtvrtinové symetrii, nerotační, tvořené dvěma oblouky a přímkou částí.

Na stroji SP 280 MC soustružit vnější plochy na hotovo. Na odráběcím centru MCV 1000 SPEED frézovat drážky a vnitřní vybrání.

Po výrobě VT vnějších ploch, RK vzdálenosti boků vnitřního vybrání, RK vzdálenosti protilehlých dnů drážek, RK polohy drážek, RK šířky drážek.

5.3 Popis sestaveného zařízení



Obr. 46: Řez sestaveným zařízením

Utahovací zařízení (obr. 46) je usazeno na stojanu svařeném z podstavce utahováku, žeber, podstavce převodovky a spodního krytu. Stojan je přišroubován ke spodní přírubě převodovky. Spodní kryt nese sestavu horní a spodní matice a závitové čelisti. Tento mechanismus slouží pro uzamykání středového šroubu, který prochází středovými otvory všech součástí skrze výšku celého zařízení a při montáži či demontáži matice je zašroubován v čele hřídele HCC.

Převodovkou, resp. jejím vnitřním unašecím pouzdem, prochází unašeč drážkovaného hřídele; na tomto unašeči je rovněž usazena podložka pružiny. Dutý drážkový hřídel se otáčí spolu s jeho unašečem, ve kterém zároveň koná suvný pohyb, daný stoupáním či klesáním matice HCC po závitu hřídele čerpadla. Na dutém drážkovaném hřídeli je nasazen unašeč vnitřního klíče, přidržený přišroubovaným přítlačným plechem.

Unašeč vnitřního klíče nesoucí ukazatel polohy a těleso vnitřního klíče, je podpírán pružinou, zajišťující stálý přítlak pracovních ploch k drážkám matice po celou dráhu chodu.

Pracovní prvek tvoří těleso vnitřního klíče, případně modul kulového vrchlíku matice, unašený vnitřním klíčem.

Pro záchyt reakčního momentu jsou určeny funkční plochy koruny reakčního klíče, spočívající na lucerně reakčního klíče. Lucerna reakčního klíče obklopuje vnitřní části

mechanismu a přes spodní desku předává reakční moment základně, tvořené skříní převodovky.

Vstupní utahovací moment je vyvozován odpojitelným pohonem, reakční moment je prostřednictvím reakční desky přenášen opět na skříní převodovky.

6 FUNKČNÍ ZKOUŠKA A ROZBOR ČINNOSTI

Po obdržení všech dílů byla provedena kontrola jejich průvodní technické dokumentace a ověřeno splnění pořadovaného rozsahu požadovaných kontrol a jejich výsledků. Dále proběhla kontrola kompletnosti součástí a jejich čistoty a nepoškozenosti. Poté byla provedena kompletace.

6.1 Funkční zkouška utahováku

Po sestavení utahovacího zařízení bylo nutno ověřit jeho funkčnost a schopnost dosahovat požadovaných parametrů. První zkouškou bylo protočení na prázdko, zaměřená na pozorování chodu. Při této zkoušce nebyly pozorovány žádné disfunkce, zvýšená hlučnost, vibrace, ani jiné projevy signalizující možnou závadu. Druhou zkouškou bylo ověření dosahovaného momentu a zjištění účinnosti převodovky při utahovacích otáčkách, které jsou nižší, než katalogem uváděná hodnota (tab. 5.1).

Pro tento účel byl zhotoven měřicí přípravek obsahující tenzometrický snímač točivého momentu (obr. 47).



Obr. 47: Měření dosažitelného momentu a účinnosti převodovky.

Moment byl měřen prostřednictvím zařízení TorqueStar Opta s platnou kalibrací, naměřená data byla k vyhodnocení přenesena do počítače. Provedlo se porovnání hodnot momentu na vstupu (T-DOC) a na výstupu (TorqueStar Opta). Bylo ověřeno, že zařízení je schopno vyvinout požadovaný utahovací moment. Naměřená účinnost převodovky činí 73 %. Na základě této informace je možné provést přepočet vstupního utahovacího momentu potřebného k vyvození předepsané hodnoty 3500 Nm.

Dosazením do vztahu

$$M_{VstUt} = \frac{M_{Nom}}{n} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (6.1)$$

kde:

M_{VstUt} [Nm]	je vstupní utahovací moment,
M_{Nom} [Nm]	je nominální utahovací moment,
n [-]	je převodový poměr soukolí převodovky,
η [-]	je naměřená účinnost převodovky při pracovních otáčkách,

tedy:

$$\frac{3500}{7,5} \cdot \frac{1}{0,73} \doteq 640 \text{ Nm}$$

6.2 Popis pracovní činnosti a obsluhy zařízení

Práce s utahovákem bude předestřena ve stejném chronologickém sledu, v jakém je realizována v průběhu generální opravy čerpadla.

Výchozí stav: Vyjímatelná část HCČ je umístěna v montážním stojanu, jedná-li se o GO po provozu, pak musí být provedena dekontaminace a zařízení předáno k opravě po vyhovující dozimetrické kontrole. Utahovák je uložen na dílně oprav čerpadel s demontovaným pohonem i měřícím zařízením T-DOC.

6.2.1 Demontáž vrchlíku a matice oběžného kola

Před vlastním povolením je nutno odjistit zajišťovací podložky matice a vrchlíku. Z vozíku 317-33-0004SB se demontuje pomocná konstrukce. Vozík ustavit do nejnižší možné polohy (maximální výška plošiny je 400 mm od podlahy). Pomocí jeřábu se na vozík ustaví utahovací zařízení. Jako vázací body se musí použít výhradně k tomu určená oka. Z vnitřního klíče je nutno vyjmout středový šroub a namísto něj vložit modul pro povolení kulového vrchlíku.

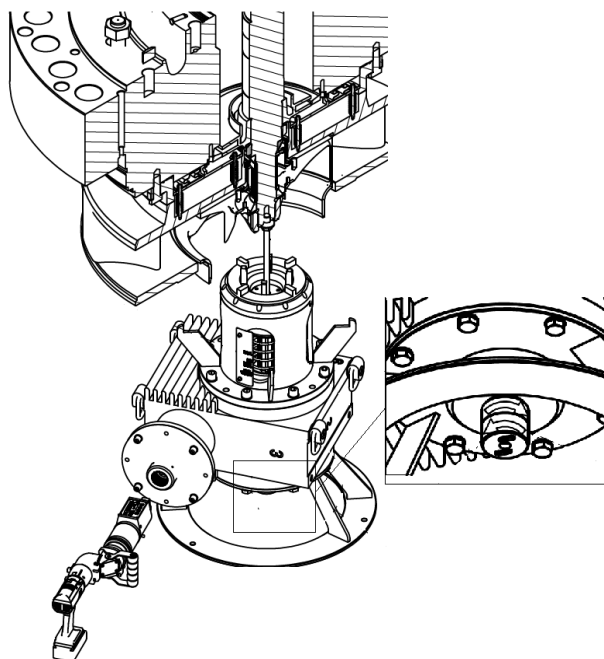
Vozík 317-33-0004SB s utahovacím zařízením se natlačí pod oběžné kolo HCČ. Pomocí šroubového mechanismu vozíku zdvihnout utahovací zařízení ke kulovému vrchlíku matice tak, aby bylo možno provést aretaci mechanismu. Zaaretovat mechanismus do správné pozice – ukazatel polohy je v úrovni značky „Začátek utahování / konec povolování“. Teprve nyní se k utahováku připojí zařízení T-DOC, poté se přidá pohonné

zařízení. Je nutno se ještě jednou ujistit se, že se utahovák nachází ve správné poloze a že pohonné zařízení je přepnuté na levý směr otáčení (tzn. „proti směru hodinových ručiček“).

Nyní je možno provést vlastní povolení vrchlíku, avšak nesmí se dojíždět až na samý konec závitů, neboť hrozí vzájemné dosednutí závitů pružiny. Povolený vrchlík však lze již bez obtíží demontovat rukou. Poté se odpojí pohonné zařízení.

Po demontáži vrchlíku se sjede s vozíkem do výchozí polohy a vyjme se modul pro povolení vrchlíku. Namísto něj se do vnitřního klíče a duté hřídele vloží středový šroub. Závit středového šroubu je vhodné namazat pastou Thermocup 1500; poté se zašroubuje do hřídele.

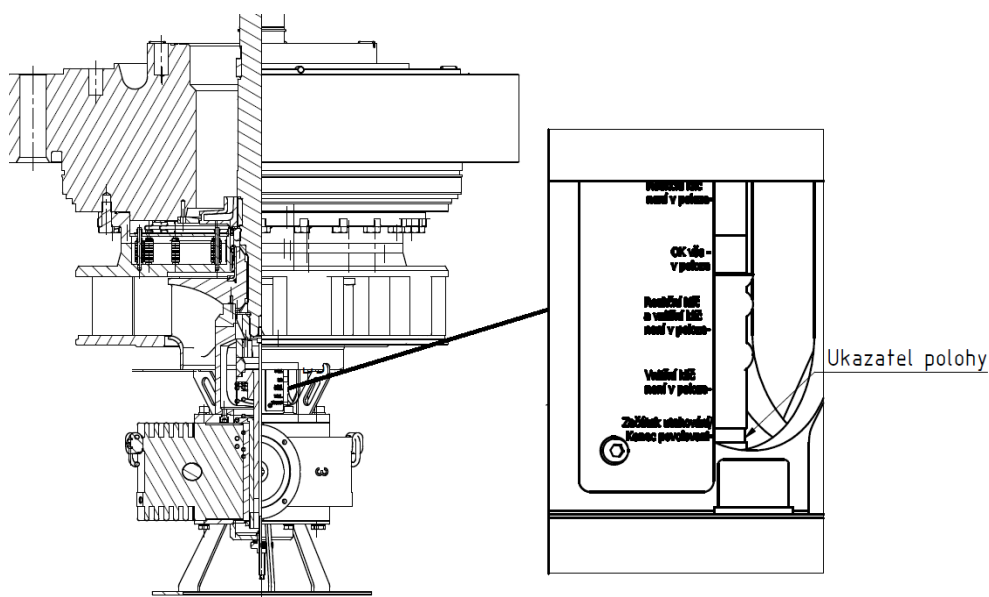
Vozík 317-33-0004SB s utahovákem se vyzvedne k matici oběžného kola HCČ. Utahovací mechanismus se zaaretuje do pozice pro začátek povolování - ukazatel polohy musí být úrovní značky „OK, vše v poloze“. Při přizvedávání je nutno odjistit spodní matici a horní matici, aby byl umožněn axiální pohyb středového šroubu –obr. 48.



Obr. 48: Ustavování utahováku do výchozí pozice a odemknutí matice pro uvolnění středového šroubu.

Po dosažení horní polohy se matice opět uzamkne ručním dotažením šroubu imbusovým klíčem. Poté lze připojit pohonné zařízení. Je nutné se znovu ujistit, že jsou všechny elementy ve správné poloze a že ukazatel je v úrovni značky „OK, vše v poloze“.

Zařízení T-DOC nastavit na vstupní povolovací moment $M_{VstUt} = 640 \text{ Nm}$. Po ujištění se, že je pohonné zařízení přepnuto na levý směr otáčení (tzn. „proti směru hodinových ručiček“), lze začít s vlastním povolováním. Ukončení povolování indikuje ukazatel polohy nacházející se v úrovni značky „Začátek utahování / konec povolování“ – obr. 49.



Obr. 49: Situace při konci povolování, nebo na počátku utahování matice oběžného kola.

Při dosažení této polohy je nutno vypnout pohonné zařízení; poté je lze demontovat a uložit. Rovněž tak je třeba odpojit a uložit zařízení T-DOC, aby nebylo vystaveno riziku poškození při dalších manipulacích. Následně se povolí spodní matice a demontuje se středový šroub. Po sjetí s plošinou vozíku do výchozí polohy je možné jej vytlačit mimo prostor montážního stojanu HCČ a oběžné kolo odtransportovat jeřábem. Utahovací zařízení je nutno podrobit dozimetrické kontrole a po případné dekontaminaci jej uložit společně s dalším příslušenstvím.

6.2.2 Montáž matice a vrchlíku

Z vozíku 317-33-0004SB je nutno demontovat pomocnou konstrukci. Poté se sjede s plošinou vozíku do nejnižší možné polohy (maximální výška plošiny je 400 mm od podlahy.). Pomocí zdvihacího zařízení se utahovák ustaví na vozík.

Do vnitřního klíče utahováku se vloží matice oběžného kola HCČ včetně podložky matice oběžného kola a spodního kužele. Následně se jeřábem položí samotné oběžné kolo na podpěry utahováku a nakonec se umístí vrchní kužel.

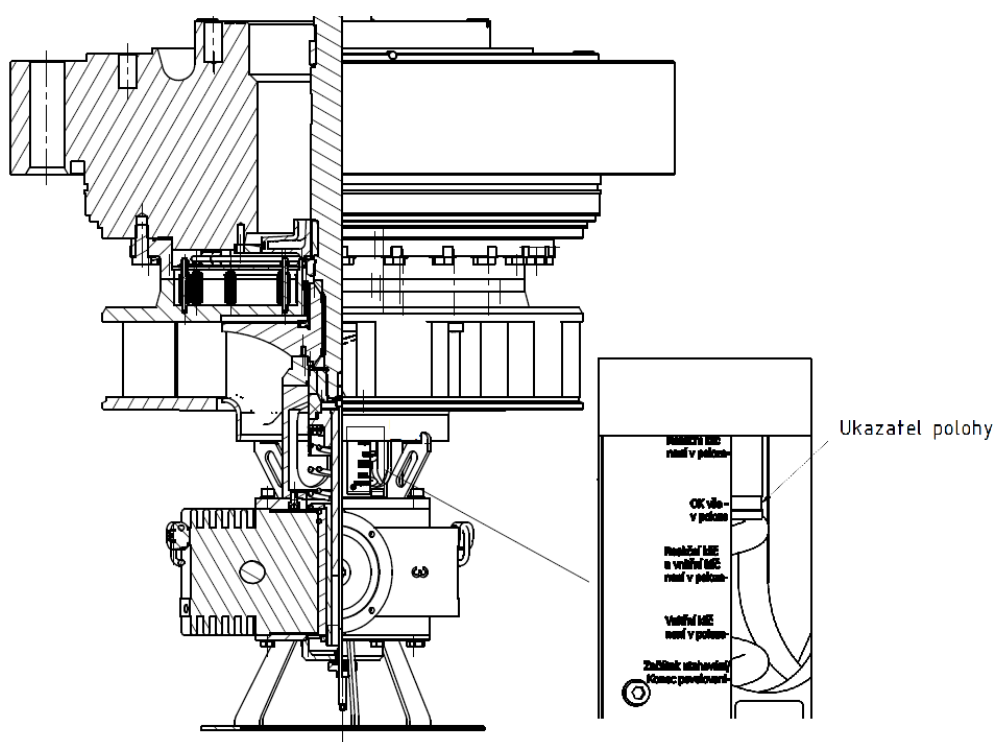
S vozíkem se poté zajede pod montážní stojan HCČ. Pomocí závitového mechanismu vozíku se vyzdvihne utahovák s oběžným kolem tak, aby jej bylo možno nasunout na hřídel, poté se matice oběžného kola našroubuje na závitovou část a mírně dotáhne (ručně). Po uchycení matice oběžného kola se z vozíkem vyjede mimo prostor montážního stojanu. Přes vnitřní klíče se do otvoru v drážkovaném hřídeli vloží středový šroub. Závit středového šroubu se namaže prostředkem Thermocup 1500.

S vozíkem se zajede pod vyjímatelnou část HCČ. Středový šroub se zašroubuje do závitové díry vrchlíku matice v hřídeli HCČ. Vozík s utahovákem se nyní vyzvedne k matici oběžného kola tak, aby bylo možno provést aretaci mechanismu.

Při zvedání je nutno odjistit sestavu horní a spodní matice, aby byl umožněn pohyb středového šroubu. Poté lze provést aretaci mechanismu – ukazatel polohy musí být v úrovni značky „Začátek utahování / konec povolování“.

Následně je nuto provést zajištění středového šroubu ručním dotažením spodní matice imbusovým klíčem.

Nyní lze připojit měřicí zařízení T-DOC a pohon. Je nutno se ujistit, že je pohonné zařízení přepnuto na pravý chod (tzn. „po směru hodinových ručiček“). T-DOC se nastaví na střední hodnotu vstupního utahovacího momentu – tedy 640 Nm. Poté lze již provést vlastní utahovací cyklus. Ten je ukončen při dosažení utahovacího momentu, zároveň ukazatel polohy musí být v úrovni značky „OK, vše v poloze“ - obr. 50



Obr.50: Správná poloha při konci utahování.

Bezprostředně po utažení matice je třeba před jakoukoli další manipulací odpojit pohon a měřicí přístroj T-DOC. Poté se odjistí sestava horní a spodní matice, čímž dojde k uvolnění středového šroubu. Po demontáži středového šroubu z hřídele HCČ se vyjede s vozíkem mimo prostor montážního stojanu. Vyjme se středový šroub a namísto něj se vloží modul pro kulový vrchlík matice.

Kulový vrchlík matice se ručně zašroubuje do závitové díry v hřídeli HCČ. S vozíkem se zajede pod vyjímatelnou část HCČ a prostřednictvím šroubového mechanismu se vyzdvihne plošina s utahovákem tak, aby bylo možno provést aretaci utahovacího mechanismu. Ukazatel polohy musí být na úrovni značky „Začátek utahování / konec povolování“.

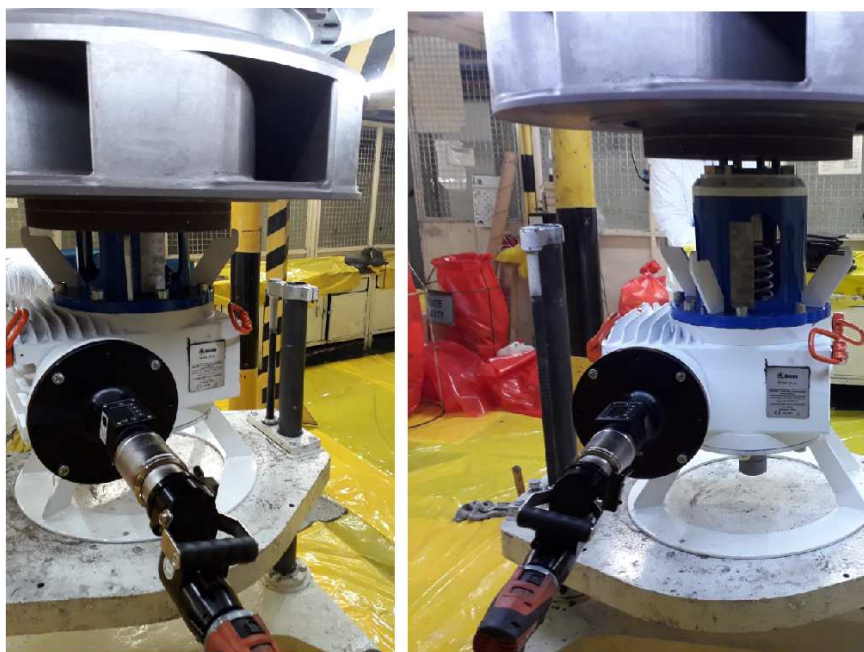
Po splnění této podmínky již lze připojit pohon a měřicí zařízení T-DOC. Je nutno se ujistit, že je nastaven pravý směr otáčení (tzn. „po směru hodinových ručiček“). Poté se nastaví vstupní utahovací moment 23,4 Nm (což odpovídá doporučené hodnotě 128 Nm na výstupu) a provede se vlastní utažení. Po dosažení utahovacího momentu je třeba odpojit pohon a měřicí zařízení. Plošina vozíku se spustí na nižší pozici tak, aby bylo možno s vozíkem vyjet mimo prostor montážního stojanu. Poté lze utahovák sejmout jeřábem z vozíku a společně s dalším příslušenstvím uložit do vyhrazeného prostoru.

7 PRAKTICKÉ NASAZENÍ UTAHOVÁKU A JEHO ZHODNOCENÍ

Utahovací zařízení se podařilo navrhnout, vyrobit, sestavit a vyzkoušet v souladu s časovým plánem, a to včetně splnění všech požadovaných jakostních výstupů. Během odstávky 4. reaktorového bloku Jaderné elektrárny Dukovany tak mohlo dojít k jeho vyzkoušení na vyjímatelné části HCC, procházející plánovanou generální opravou. V záloze byly připraveny i prostředky používané při původním způsobu demontáže a montáže matice oběžného kola.

Nejprve byla provedena demontáž vrchlíku a matice oběžného kola v rámci rozebírání vyjímatelné části pro GO. Demontáž proběhla ve shodě s postupem rozepsaným v kapitole 6.2.1. Demontáž obou součástí proběhla bez závad. Byla provedena vizuální kontrola opěrných ploch na dílech čerpadla i na utahovacím mechanismu. Kontrolou nebyly zjištěny žádné stopy poškození. Poté bylo provedeno měření účinnosti převodovky, aby bylo ověřeno, zda nedošlo ke skryté disfunkci mechanismu, a že měřený vstupní moment stále odpovídá momentu vypočtenému.

Při zpětné montáži oběžného kola (obr. 51) bylo opět použito navržené utahovací zařízení. Utažení matice a vrchlíku probíhalo dle kapitoly 6.2.2. I v tomto případě zařízení zcela splnilo očekávanou funkci a montáž proběhla bez závad. Po montáži bylo provedeno měření maximálního momentu a měření účinnosti převodovky pro ověření, že během pracovního cyklu nedošlo ke změně vlastností některého z prvků utahovacího zařízení. Rovněž byla provedena VT opěrných ploch. V rámci těchto kontrol nebyly zjištěny žádné vady a odchylky.



Obr. 51: Zpětná montáž matice oběžného kola

Před započatím výroby součástí utahovacího mechanismu se provedlo ověření správného geometrického tvaru a rozměrů navržených pracovních prvků. Tím se bylo

možné vyhnout výrobě potenciálně nefunkčních součástí, což by vedlo k marnému vynaložení finančních prostředků a zejména časové prodlevě. Modely vnitřního klíče a koruny reakčního klíče byly převedeny do formátu .stl a vyrobeny prostřednictvím aditivní technologie FFF (3D tisk), z materiálu PLA. Na oběžném kole a matici z náhradních dílů pak tyto modely byly usazeny do pracovních pozic, což se podařilo bez shledání závad – obr. 53. Po tomto ověření již mohly být součásti utahováku uvolněny pro výrobu.



Obr. 52: Modely pracovních prvků při zkoušce jejich usazení na matici a oběžné kolo.

Materiály jednotlivých dílů byly voleny na základě jejich mechanického namáhání. Pro nejvíce exponované části to byla zušlechtěná legovaná vysokopevnostní ocel značky 34CrNiMo6+QT.

Důvodem použití oceli 30CrNiMo8+QT pro těleso vnitřního klíče je skutečnost, že polotovar $\varnothing 180$ mm dosahuje u této oceli lepších hodnot mechanických vlastností, než je tomu u materiálu 34CrNiMo6+QT. Jmenovitě se jedná o hodnoty $R_{p0,2} = \text{min. } 800 \text{ MPa}$ a $R_m = \text{min. } 900 \text{ MPa}$ u materiálu 30CrNiMo8+QT vůči $R_{p0,2} = \text{min. } 600 \text{ MPa}$ a $R_m = 800 \text{ MPa}$ v případě oceli 34CrNiMo6+QT.

Pro středně zatížené součásti byla využita konstrukční ocel s nižší cenou značky S355JR, mající vyhovující mechanické vlastnosti a snazší obrobitelnost.

Poslední skupinou jsou málo exponované díly, kde byla použita ocel značky S275JR. Tento materiál se zároveň vyznačuje dobrou svařitelností, proto je použit i na díly tvořící svařenec stojanu utahováku.

U objednaných taveb materiálů byl požadován inspekční certifikát úrovně 3.1, dokladující chemické složení dané tavby a výstupy ze zkoušky pevnosti v tahu a zkoušky rázové houževnatosti.

Používání tohoto utahovacího zařízení přináší oproti původnímu způsobu tyto výhody:

- lepší pracovní kulturu,

- na matici oběžného kola působí pouze utahovací moment, bez dalších přídavných zatížení,
- vzhledem k použitému mechanismu již nehrozí náhlé nechtěné uvolnění naakumulované elastické energie napjatých řetězů, s rizikem poranění osob,
- snížení rizika kontaminace osob úkapy zbytků radioaktivních tekutin z prostoru oběžného či rozváděcího kola umístěním obsluhy mimo jejich prostor,
- při předchozím způsobu docházelo k přetahování matice z důvodu konzervativního přístupu pramenícího z nemožnosti přesného určení skutečného vyvinutého momentu. To bylo rovněž jednou z příčin, proč matici nebylo při některých GO možno zdemontovat. Nový způsob zpřístupňuje dostatečnou kontrolu utahovacího momentu a jeho dokladování.

Díky vyřešení problémů s montáží a demontáží matice se lze očekávat dosažení úspor v několika rovinách:

- menší potřeba náhradních dílů. Náhradní díly na vybraná zařízení (ve smyslu Atomového zákona) jsou velmi drahé z důvodu vysokých nároků na jejich kvalitu. Požadavky na kvalitu těchto dílů nesou nutnost rozsáhlého dokladování jejich splnění – a navíc i za nutné účasti dalších stran. Opatřování náhradních dílů vybraných zařízení je nejen finančně nákladné, ale i časově a logisticky náročné,
- odstranění rizika zvýšení pracovních generální opravy a vyššího využití personálu a strojního vybavení,
- pokud by se generální oprava HCČ nacházela na kritické cestě harmonogramu odstávkových prací, škoda z nevýroby elektrické energie způsobená prodlevou z důvodu zaseknuté matice by mohla dosáhnout značných částek v řádu milionů Kč.

K obsluze zařízení není třeba zvláštního náčiní – toliko klíč plochý pro montáž středového šroubu a imbusový klíč k utahování šroubů spodní matice.

Z důvodu ochrany duševního vlastnictví nebyly v této práci použity kótované výkresy. Určité udávané rozměry jsou poněkud pozměněny tak, aby nebyla možná přímá reprodukce součástí, avšak nikoli takovým způsobem, aby provedené úpravy měnily hodnocení pevnostních výpočtů.

ZÁVĚR

Práce se ve své úvodní části zabývá popisem prostředí, k němuž je vztažena, a které se přirozeně promítá do celkového pojetí řešené problematiky v různých formách. Těmito formami jsou mimo jiné prostředí s radioaktivními látkami, specifický provoz a údržba jaderné elektrárny a v neposlední řadě legislativní požadavky.

Poté je představeno hlavní cirkulační čerpadlo, pro jehož generální opravu je utahovací zařízení konstruováno. U čerpadla je uveden jeho technický popis, základní charakteristiky a úlohy, které plní v rámci svého provozu. Následuje přiblížení jednotlivých kroků samotné generální opravy čerpadla, zasazené do souvislosti s typovou generální opravou reaktorového bloku.

Pro návrh utahovacího zařízení byla vytvořena základní osnova požadavků a výrobních možností, podle níž se postupovalo při stanovení konstrukčního uspořádání, tvaru součástí, způsobu jejich výroby a způsobu obsluhy.

Při návrhu zařízení bylo využito počítačového 3D modelování, ověření namáhání nejzatíženějších součástí softwarovou analýzou pomocí MKP a výroba ověřovacích modelů metodou rapid prototyping.

Vzhledem k tomu, že díly byly vyráběny po jednom kusu, byla výrobní technologií jednoznačně zvolena výroba třískovým a elektroerozivním obráběním, resp. ručním svařováním, z normalizovaného hutního materiálu – a to přes zřetelně nízký koeficient využití materiálu zvláště některých součástí. V případě objednávek více zařízení by již bylo třeba provést cenovou kalkulaci za účelem nalezení hospodárnější formy polotovarů, kterými by mohly být například výkovky.

Jakost navrhovaného zařízení byla zajištěna ověřením chemického složení a mechanických vlastností výchozích materiálů, souhrnem kontrol vyráběných součástí a funkčními zkouškami, přičemž každá z hodnocených kontrol měla vyhovující výsledek. Funkční zkouška zároveň slouží ke zjištění účinnosti převodovky, která při utahovacích otáčkách dosahuje 73 %..

Bylo prokázáno, že utahovací zařízení je schopno dosáhnout maximálního povoleného utahovacího momentu 3800 Nm, přičemž nominální moment činí 3500 Nm. Hodnotu skutečného dosaženého momentu lze snadno odečíst a dokladovat.

Zařízení přineslo zlepšení v oblasti radiační ochrany, bezpečnosti práce a jakosti opravy HCC. Lze rovněž očekávat snížení spotřeby náhradních dílů, prostojů, víceprací a rizika nesplnění časového harmonogramu. Splnění těchto očekávání však bude možno potvrdit s rozhodující platností až zpětně.

Po otestování v provozu byla k utahovacímu zařízení zpracována průvodní technická dokumentace, obsahující veškeré doklady jakosti materiálu, vyrobených součástí a nakupovaných dílů. S touto dokumentací bylo zařízení předáno majiteli, kterým je provozovatel Jaderné elektrárny Dukovany, ČEZ a. s. Uživatelem zařízení bude organizace servisující hlavní cirkulační čerpadlo, tedy SIGMA GROUP a.s.

V technologickém postupu generální opravy hlavního cirkulačního čerpadla byl původní postup montáže a demontáže matice oběžného kola vč. vrchlíku vyřazen a nahrazen použitím navrženého utahovacího zařízení. Tím se zařadilo mezi mandatorně používané nástroje pro zajištění údržby Jaderné elektrárny Dukovany.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PROKOP, O. *Role elektrárny Dukovany v elektrizační soustavě ČR*. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUTvBrně, 2014, 52 stran
2. NEUMANN, Jan. *Začátky jaderné energetiky v Československu*. Řež: Ústav jaderného výzkumu, 2005. ISBN 80-239-4380-4.
3. NÁRODNÍ ZPRÁVA ČESKÉ REPUBLIKY: Pro účely Úmluvy o jaderné bezpečnosti. In: *SUJB - Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. Praha, duben 2016 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/zpravy/narodni_zpravy/CR_NZ_2016.pdf
4. KISSLER, Martin. *Modernizace Jaderné elektrárny Dukovany*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 67s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
5. PENZINGER, P. *Analýza zdrojového členu vyhořelého jaderného paliva JE Dukovany pro hlubinné úložiště s uvažováním variant LTO*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 66 stran. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Katovský, Ph.D.
6. NÁRODNÍ ZPRÁVA: „Zátěžové zkoušky“ JE Dukovany a JE Temelín Česká republika Národní zpráva „Zátěžové zkoušky“ JE Dukovany a JE Temelín Česká republika *Hodnocení bezpečnosti a bezpečnostních rezerv ve světle havárie JE Fukushima* [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2012 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/NarZprCZ.pdf>
7. LUDVÍK, L. *Přehled a analýza opatření provedených na základě výsledků zátěžových testů na jaderných elektrárnách u nás a ve světě*. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2014, 60 stran. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Katovský, Ph.D.
8. ČESKÁ REPUBLIKA. Atomový zákon: ve znění zákona č. 183/2017 Sb. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Parlament České republiky, 2016, ročník 2016, číslo 263.
9. *NUCLEAR POWER REACTORS IN THE WORLD: REFERENCE DATA SERIES No. 2, 2019 Edition*. Vienna: IAEA in Austria, 2019. ISBN 978-92-0-102719-1. ISSN 1011-2642
10. PUCHNAR, Jiří. *Svět jaderných reaktorů: Rozdíly mezi PWR a VVER*. *OEnergetice.cz* [online]. Třebíč: OM Solutions s.r.o, 24. červenec 2015 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/svet-jadernych-reaktoru-rozdily-mez-pwr-a-vver>
11. RIPPON, Simon. History of the PWR and its worldwide development. *Energy Policy* [online]. 1984, **12**(3), 259-265 [cit. 2020-02-17]. DOI:

- 10.1016/0301-4215(84)90026-0. ISSN 03014215. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0301421584900260>
12. REISTAD, Ole a Povl L. ØLGAARD. *Russian Nuclear Power Plants for Marine Applications*. Roskilde, Denmark: NKS, 2006. ISBN 87-7893-200-9.
13. STEWART, Hugh B. *Transitional energy policy, 1980-2030: alternative nuclear technologies*. New York: Pergamon Press, c1981. ISBN 978-0-08-027183-5.
14. LOCHBAUM, Dave. Yankee Rowe and Reactor Vessel Safety. *All things nuclear* [online]. Cambridge MA 02138, USA, 2018, allthingsnuclear.org [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://allthingsnuclear.org/dlochbaum/yankee-rowe-and-reactor-vessel-safety>
15. PUCHNAR, Jiří. Svět jaderných reaktorů: Vývoj tlakovodních reaktorů východní koncepce (VVER). <https://oenergetice.cz/> [online]. 16. červenec 2015 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/svet-jadernych-reaktoru-vyvoj-tlakovodnich-reaktoru-vychodni-koncepce-vver>
16. KOBELEV, O., S. MARKOV, D. ZHIDKOV, V. PANOV a A. LOBANOV. Technological and Materialogical Prospects for the Development of High-Power Pressurized-Water Reactors. *Metallurgist* [online]. Boston: Springer US, 2014, **58**(7-8), 694-699 [cit. 2020-03-13]. DOI: 10.1007/s11015-014-9979-y. ISSN 0026-0894.
17. SOVIET POWER REACTORS, 1974: *Report of the United States of America Nuclear Power Reactor Delegation Visit to the Union of Soviet Socialist Republics, Sept. 19-Oct. 1, 1974*. U.S. Energy Research & Development Administration, Division of Reactor Research & Development, 1975.
18. Havárie spojené se ztrátou chladiva (LOCA). <https://atominfo.cz/> [online]. 2013, 3.12.2013 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://atominfo.cz/2013/12/havarie-spojene-se-ztratou-chladiva/>
19. DRAGUNOV, Yu. a V. DENISOV. Securing safe operation of VVER reactor systems in nuclear power plants. *Atomic Energy* [online]. New York: Kluwer Academic Publishers-Consultants Bureau, 2006, **101**(2), 539-543 [cit. 2020-03-13]. DOI: 10.1007/s10512-006-0127-z. ISSN 1063-4258.
20. SLUGEN, Vladimir. *Safety of VVER-440 reactors: barriers against fission products release*. New York: Springer, c2011. ISBN 978-1-84996-419-7.
21. Učební texty pro přípravu personálu JE: primární část JE VVER 440 – textová část. [dokument pdf]. ČEZ a.s. Skupina ČEZ, ČR. 2007, 171 s. [vid. 18-4-2020].
22. ŠKRANC, Karel. *Sekundární část VVER 440: Modul 2, I. část*. Brno: ČEZ, 2012.

23. FLEISCHHANS, Ing. J. Et al, *Učební texty a soubory otázek pro přípravu a zkoušky vybraných pracovníků výzkumných jaderných zařízení*. Praha 5 - Zbraslav: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Ústav jaderných informací, 1994. ISBN 80-7073-005-6.
24. STECH A KOL., S. *Přednášky o fyzice reaktoru pro operátory a vedoucí bloku*. Praha 5 - Zbraslav: Československá komise pro atomovou energii, Ústav jaderných informací, 1990
25. *Manual for reactor produced radioisotopes*. Vienna: Industrial Applications and Chemistry Section of International Atomic Energy Agency, 2003. ISBN 92-0-101103-2. ISSN 1011-4289
26. NEEB, Karl-Heinz. *The radiochemistry of nuclear power plants with light water reactors*. New York: Walter de Gruyter, 1997. ISBN 3-11-013242-7.
27. *História Úradu jadrového dozoru SR* [online]. Bratislava: Úrad jadrového dozoru Slovenskej Republiky, 2014 [cit. 2020-04-26 Dostupné z: [https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/Hist%C3%B3ria%20C3%9AJD%20SR/\\$FILE/Hist%C3%B3ria%20C3%9Aradu%20jadrov%C3%A9ho%20dozoru%20SR.pdf](https://www.ujd.gov.sk/ujd/WebStore.nsf/viewKey/Hist%C3%B3ria%20C3%9AJD%20SR/$FILE/Hist%C3%B3ria%20C3%9Aradu%20jadrov%C3%A9ho%20dozoru%20SR.pdf)]
28. KŘÍŽ, Zdeněk. *Třicet let od vydání prvního zákona o státním dozoru nad jadernou bezpečností v roce 1984* [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/30_let_od_prvniho_AZ.pdf
29. JEBAS, Petr. *České atomové právo*. Praha, 2013. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Právnická fakulta, Katedra práva životního prostředí. Vedoucí práce Prof. JUDr. Milan Damohorský, DrSc.
30. ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o zabezpečení jaderného zařízení a jaderného materiálu. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Parlament České republiky, 2016, ročník 2016, číslo 361.
31. ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Parlament České republiky, 2016, ročník 2016, číslo 358.
32. ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o požadavcích na projekt jaderného zařízení. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Parlament České republiky, 2017, ročník 2017, číslo 329.
33. ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Parlament České republiky, 2016, ročník 2016, 172/2016, číslo 422
34. LUDVÍK, L. *Náhřev a spouštění jaderného bloku Elektrárny Dukovany po odstávce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 54s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Katovský, Ph.D

35. Historic reference: COMPANY'S HISTORY. CKBM [online]. Saint-Petersburg: CKBM, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://ckbm.ru/en/about/istoriya.html>
36. VÁCLAVÍK, Jan. *Čerpadla vjaderných elektrárnách*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. VŠB –Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky. Vedoucí práce Ing. Pavel Kolat, DrSc.
37. SVOBODA, Pavel. *Návrh těsnění HDR HČČ 317 v JE Paks*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing. Oldřich Matal, CSc
38. ГЛАВНЬЙ ЦИРКУЛЯЦИОННЬЙ НАСОС ГЦН-317: Техническое описание и инструкция по эксплуатации 317-00-0007 ТО-Э. АТОМЭНЕРГОЭКСПОРТ, 1978.
39. SMETANA, J. *Provoz bloku na teplotním a výkonovém efektu*. Brno, 2016. 72s. Diplomová práce. Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně
40. PEROUTKOVÁ, A. *Palivové cykly Jaderné elektrárny Dukovany*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Katovský, PhD.
41. KRATOCHVÍL, Zdeněk. *Úprava obráběcího procesu rozměrné součásti z čerpadla*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 46s. 3přílohy. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
42. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
43. KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
44. Produktkatalog: Rechtwinklige Kraftübertragung. ATEK Antriebstechnik [online]. Rellingen: ATEK Antriebstechnik Willi Glapiak, 2016, 02 / 2016 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2016/08/atek_katalog_04_2016_snekove_prevodovky-web_0.pdf
45. Technical data: TQSM-series. Juwel-schraubtechnik [online]. Wissen: Juwel-Schraubtechnik, 2015 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.juwel-schraubtechnik.de/fileadmin/PDF_s/Produkte_datenblaetter/Datenblaetter_15_de/Datenblatt_15_neu_de/TQSM_deu.pdf
46. Datasheet Juwel T-DOC: Technische daten. Juwel-schraubtechnik [online]. Wissen: Juwel-schraubtechnik, 2015 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: https://www.juwel-schraubtechnik.de/fileadmin/PDF_s/komplett_midqual.pdf
47. SP Line: Číslicově řízené soustruhy. KOVOSVIT MAS Machine Tools, a.s. [online]. Sezimovo Ústí: KOVOSVIT MAS Machine Tools, 2016, 2016 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z:

- https://www.kovosvit.cz/download/lightproducts_produkty_cs/1540314237_cs_1_80_sp-280-cz-pl-web.pdf
48. MCV Line: Vertikální obráběcí centra. *KOVOSVIT MAS Machine Tools, a.s.* [online]. Sezimovo Ústí: KOVOSVIT MAS Machine Tools, 2016, 2016 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.kovosvit.cz/download/lightproducts_produkty_cs/1540314572_cs_1_74_mcvlinecz-pl-web.pdf
49. AgieCharmilles CUT: 1000/2000/3000 Series. *Ellison Technologies* [online]. Santa Fe Springs: Ellison Technologies, 2020, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.ellisontechnologies.com/gf/agiecharmilles-cut-100020003000-series/agiecharmilles-cut-3000-s>
50. 2D laserový řezací stroj: TruLaser 3030/3040. *TRUMPF* [online]. Praha: TRUMPF Praha, spol. s r.o., 2020, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/2d-laserove-rezaci-stroje/trulaser-30303040/
51. Vertikální obráběcí centrum: MCFV 2080. *TAJMAC-ZPS* [online]. Zlín, Malenovice: TAJMAC-ZPS, 2018, 2018 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.tajmac-zps.cz/media/files/product/item/files-26/MCFV2080_CZ_032019_1.pdf
52. SN500SA: Technické parametre. *Trens* [online]. Trenčín: TRENS SK, 2020, 2020 [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.trens.sk/sn500sa>
53. *TPS 320i / 400i / 500i / 600i: MIG/MAG welding system*. Wels (Austria): Fronius International, 2016
54. PIONEER: The affordable quality Coordinate Measuring Machine. *HEXAGON MANUFACTURING INTELLIGENCE DIVISION* [online]. Surrey (Great Britain): Hexagon Manufacturing Intelligence, c2020 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/products/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms/pioneer>
55. HORŇAS, Jan. *Statický výpočet: Utahovací zařízení MOK-GCN-317-DU-KH-5700 pro matici OK HCČ*. Brno: KRÁLOVOPOLSKÁ STRESS ANALYSYS GROUP, 2019.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
I. O.	Primární okruh
II. O.	Sekundární okruh
AZ	Aktivní zóna
BOT	Blok ochranných trub
BV	Bazén výměny
BVP	Bazén vyhořelého paliva
ESFAS	Engineered safety feature actuation system
FFF	Fused filament fabrication
GO	Generální oprava
HB	Horní blok
HCČ	Hlavní cirkulační čerpadlo
HDR	Hlavní dělicí rovina
HRK	Havarijí a regulační kazety
IPZJ	Individuální program zajištění jakosti
JE	Jaderná elektrárna
LT	Leak test (heliová těsnostní zkouška)
LTO	Long term operation
LOCA	Loss of coolant accident
MAAE	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
MaR	Měření a regulace
MKP	Metoda konečných prvků
MKV	Minimální kontrolovaný výkon (reaktoru)
MORAVA	Modernizace, rekonstrukce, analýza, validace
MNT	Měření neutronového toku
MU	Mechanická ucpávka
PERIZ	Periodická integrální zkouška
PT	Penetrant Testing (kapilární kontrola)
RK	Rozměrová kontrola
SKŘ	Systém kontroly a řízení
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost

TGO	Typová generální oprava
TVD	Technická voda důležitá
Zkratka	Popis
VVER	Vodo-vodní energetický reaktor
VT	Visual testing (vizuální kontrola)
ZS	Zavážecí stroj
ŽDP	Životně důležitý prostor

Symbol	Jednotka	Popis
D_i	[mm]	Vnější průměr mezi hranami kontaktní plochy
D_{Ti}	[mm]	Průměr těžiště kontaktní plochy
$F_{Tan\ i}$	[N]	Tangenciální síla v místě těžiště
K	[-]	Bezpečnostní koeficient
M_{vst}	[Nm]	Vstupní moment na hřídeli převodovky (výpočtový)
M_{vstMax}	[Nm]	Maximální moment na vstupní hřídeli převodovky (skutečný)
M_{vstUT}	[Nm]	Vstupní utahovací moment
M_{Nom}	[Nm]	Nominální utahovací moment
$M_{výst}$	[Nm]	Maximální moment moment na matici oběžného kola (výpočtový)
$M_{výstMax}$	[Nm]	Maximální moment na matici oběžného kola (skutečný)
R_a	[μ m]	Střední aritmetická odchylka profilu povrchu
$R_{p0,2}$	[MPa]	Mez kluzu materiálu při 20 °C
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
S_i	[mm ²]	Obsah kontaktní plochy
a_{iMax}, b_{iMax}	[mm]	Maximální jmenovitá tloušťka součásti
d_{iMax}	[mm]	Maximální průměr obráběné součásti
d_i	[mm]	Vnitřní průměr mezi hranami kontaktní plochy
i	[-]	Index součásti
k	[-]	Tuhost pružiny
l_{pi}	[mm]	Celková délka polotovaru pro obrábění
n	[-]	Převodový poměr soukolí převodovky

Symbol	Jednotka	Popis
p_i	[MPa]	Tlak v místě kontaktních ploch
p_{ai}, p_{bi}	[mm]	Přídavek na tloušťku
p_{ci}	[mm]	Přídavek na zarovnání čela
p_{di}	[mm]	Přídavek na průměr
η	[-]	Účinnost převodovky
$\sigma_{i\text{ dov}}$	[MPa]	Dovolené tlakové napětí materiálu součásti
σ_{red}	[MPa]	Redukované napětí dle podmínky maximálních smykových napětí
σ_{mw}	[MPa]	Střední tahové napětí
τ_s	[MPa]	Smykové napětí

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Doplnění popisu generální opravy HCČ
Příloha 2	Soupis použitého výrobního strojního vybavení
Příloha 3	Vizualizace průběhu redukováného napětí nejvíce namáhaných součástí
Příloha 4	Stanovení postupu svařování