

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Online a offline diagnostika servopohonů na JETE

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr BRONEC**
Osobní číslo: **E11N0144P**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **On-line a off-line diagnostika servopohonů na JETE**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte přehled současných diagnostických přístupů v energetice.
2. Popište nejčastější příčiny poruch servopohonů v JETE.
3. Proveďte kompletní diagnostiku servopohonu a analyzujte výsledky.
4. Navrhněte pro zjištěnou poruchu konkrétní kroky vedoucí k jejímu odstranění.
5. Na opraveném zařízení proveďte kontrolní diagnostiku.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

1. Mentlík V., a kol.: Diagnostika elektrických zařízení, BEN, 2008
2. Elektronické informační zdroje
3. Bartoš, V.: Teorie elektrických strojů, ZČU, 2006
4. MENTLÍK, V., TRNKA, P., MAGDALÉNA, T., LUMÍR, Š.:
Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie, 1. vyd. Praha, Ben-technická
literatura, 2011, 120 s., ISBN 978-80-7300-412-5

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na on-line a off-line diagnostiku servopohonů v Jaderné elektrárně Temelín. Úvodní část je věnována obecné diagnostice a poté diagnostice malých a středních strojů. Uvádím zde základní přehled metod používaných v diagnostice těchto strojů. Stručně popisuji také rozdíl mezi off-line a on-line diagnostikou. Další část je zaměřena na poruchy elektricky ovládaných armatur, kterými je nutné se zabývat. Tyto poruchy se ještě dělí do dvou skupin. První skupina uvádí poruchy servopohonů a druhá skupina poruchy armatur, které jsou pomocí servomotorů ovládány. Podrobně jsou zde popsány jednotlivé závady a jejich příčiny a důsledky, které mohou nastat. Následuje návrh konkrétních kroků vedoucí k odstranění těchto poruch. V poslední části je popsána kompletní diagnostika servopohonů a vyhodnocení získaných dat.

Klíčová slova

Servopohon, diagnostika, jaderná elektrárna, servomotor, on-line, off-line, porucha, moment.

Abstract

The following dissertation is focused on on-line and off-line diagnostics of Temelín nuclear power plant actuators. The opening part introduces the common diagnostics and the diagnostics of light and medium machines. I am going to present a basic overview of methods used in diagnostics of these machine types. The difference between off-line and on-line diagnostics is also going to be described in a basic way. The next part is focused on defects of electricity-based armatures, which need to be solved. These defects can be divided into following groups. The first group is focused on actuators defects. The second one specializes in armatures, which are controlled by the actuators, and it also specializes in defects of these armatures. I am going to describe these defects in a general way and I am also going to tell something about what causes these defects and what are consequences of these defects, which can occur easily. In the last part, I am going to describe the complete diagnostics of actuators and summarize collected data.

Key words

Actuator, diagnostics, nuclear power plant, servomotor, on-line, off-line, fault, torque.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 8.5.2013

.....

Petr Bronec

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Trnkovi, Ph.D. a zaměstnancům v JETE, především Jiřímu Broncovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD.....	9
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	11
1 PŘEHLED SOUČASNÝCH DIAGNOSTICKÝCH PŘÍSTUPŮ V ENERGETICE..	12
1.1 SOUČASNÉ DIAGNOSTICKÉ PŘÍSTUPY V ENERGETICE.....	12
1.2 METODY TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY	13
1.3 DOPADY DIAGNOSTIKY	14
1.4 DIAGNOSTIKA OFF-LINE A ON-LINE	14
1.5 DIAGNOSTIKA MALÝCH A STŘEDNÍCH STROJŮ	15
2 NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY PORUCH SERVOPOHONŮ V JETE	17
2.1 PORUCHY SERVOPOHONŮ	18
2.1.1 Olejová netěsnost.....	18
2.1.2 Koncové vypínače.....	19
2.1.3 Snímače polohy.....	20
2.1.4 Ostatní poruchy servopohonů.....	23
2.2 PORUCHY ARMATUR	24
3 DIAGNOSTIKA SERVOPOHONŮ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	26
3.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ DIAGNOSTIKY SERVOPOHONŮ NA JETE.....	26
3.2 DIAGNOSTIKA SERVOPOHONŮ V PROVOZU.....	26
3.3 DIAGNOSTIKA SERVOPOHONŮ NA ZKUŠEBNĚ	31
ZÁVĚR	35
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	37
SEZNAM OBRÁZKŮ	38
PŘÍLOHY.....	39
PŘÍLOHA A.....	I
PŘÍLOHA B -	II
PŘÍLOHA C	III
PŘÍLOHA D.....	IV
PŘÍLOHA E	V
PŘÍLOHA F	VI

Úvod

Tato práce se zabývá on-line a off-line diagnostikou servopohonů, které se používají na Jaderné elektrárně Temelín. Je založena na zkušenostech, které jsem získal během svého působení na JETE a informačních materiálů, které mi byly poskytnuty. Ve sbírání informací a zkušeností mi pomáhali kvalifikovaní pracovníci, kteří se servopohony zabývají již od výstavby elektrárny. Volně navazuje na mojí bakalářskou práci, kde jsem popsal servopohony, které se na elektrárně používají. Dále stručně popisují i některé jejich poruchy. V této práci se věnuji diagnostice servopohonů podrobněji. Popisují příčiny poruch a jejich možné důsledky, které by nastaly, pokud by nebyly včas odstraněny. Vlivem prvotních zásahů obsluhy nejsou tyto příčiny destruktivního charakteru. Tudíž je lze rychleji odstranit. Z toho se dá vyzorovat, že diagnostika ve výsledku ušetří finance na případnou kompletní opravu či výměnu.

Práce je rozdělena do tří částí. První část se věnuje obecné diagnostice a poté diagnostice malých a středních strojů. Uvádím zde základní přehled metod používaných v diagnostice těchto strojů. Stručně popisují také rozdíl mezi off-line a on-line diagnostikou. On-line diagnostika se prakticky u servomotorů na JETE nepoužívá. To ovšem neznamená, že se žádný stroj nesleduje on-line. Takových strojů je na elektrárně několik. Jako příklad bych zde uvedl hlavní cirkulační čerpadla. U elektropohonu hlavního cirkulačního čerpadla se sleduje teplota vinutí, teplota ložisek, vibrace a proudový odběr.

Druhá část je zaměřena na poruchy elektricky ovládaných armatur, kterými je nutné se zabývat. Tyto poruchy se ještě dělí do dvou skupin. První skupina uvádí poruchy servopohonů a druhá skupina poruchy armatur, které jsou pomocí servomotorů ovládány. Detailně popisují jednotlivé závady a jejich příčiny. V případě neodstranění těchto příčin jsou zde zmíněny důsledky, které mohou nastat. Tato kapitola obsahuje také příklad výměny dosluhujícího indukčního snímače polohy za kapacitní snímač polohy.

V třetí části je uvedeno několik příkladů diagnostiky servopohonů a jejich následné vyhodnocení, kterých jsem se osobně zúčastnil a asistoval jsem u nich. Následně jsou zde vylíčeny kroky k odstranění diagnostikované poruchy. Dále uvádím i diagnostiku po opravě zařízení. Diagnostiku servomotorů jsem rozdělil do dvou skupin. První skupina popisuje diagnostiku servopohonů v provozu. Tato kontrola se provádí osciloskopem nebo vizuální kontrolou pomocí videoskopu. Zatímco druhá

skupina líčí diagnostiku servopohonů na zkušebně. Tyto kontroly a následné opravy se provádí dle Pracovních postupů opravy (PPO). PPO jsou pro jednotlivé typy pohonů odlišné. Provádí se kontrola elektrické a mechanické výzbroje, stav silových a ovládacích převodů, stav elektromotoru, ložisek, těsnění a tak dále. Stručně je zde také uvedena funkce momentové stolice, která se na JETE používá k nastavování vypínacích momentů.

Seznam zkratk a symbolů

JETE Jaderná elektrárna Temelín

JE Jaderná elektrárna

BD Bloková dozorna

KV Koncové vypínače

MO Moment otevřeno

MZ Moment zavřeno

PO Poloha otevřeno

PZ Poloha zavřeno

PPO Pracovní postup opravy

U Elektrické napětí [V]

I Elektrický proud [A]

P Elektrický výkon [W]

M Moment síly [Nm]

1 Přehled současných diagnostických přístupů v energetice

V této části uvádím přehled metod, které jsou nejčastější v elektrotechnice obecně. Dále se budu zabývat diagnostikou servopohonů na Jaderné elektrárně Temelín, kterou zde zaměstnanci elektrárny provádí, což je hlavní téma této práce. Dnešní doba se vyznačuje neustále rostoucími nároky na přesnost, kvalitu a spolehlivost objektů s ohledem na cenu a šetrnost k životnímu prostředí. Aby tyto požadavky byly splněny, je důležité získat co nejvíce informací o daném problému a způsobu jejich získávání. Tato disciplína získávání informací se nazývá diagnostika. Je to prostředek k zjišťování a určení stavu objektů. [1]

1.1 Současné diagnostické přístupy v energetice

Diagnostika je provázaná s dalšími odvětvími, které se podílejí na vzniku a provozu zařízení v elektrotechnice. Jedním z těchto odvětví je materiálové inženýrství zajišťující potřebné prvky pro daný účel - výběr materiálů - eventuálně modifikaci základních látek, aby mohly plnit předpokládanou funkci. Na to navazuje diagnostika ve vlastní výrobě zařízení. V této oblasti technologických procesů mají diagnostická šetření význam hned v několika rovinách. Jsou to v první řadě vstupní a navazující mezioperační kontroly. Tyto kontroly včas vyloučí z výrobního procesu špatné díly a to má značný dopad na ekonomickou stránku výroby. Neboť zabrání dalšímu postupu výrobku s vadnou částí. Další druh diagnostiky v oblasti výroby je oblast výstupní kontroly - odzkoušení hotového výrobku. Tato diagnostika má opět dopad na ekonomickou stránku výroby. Dokáže omezit případné záruční opravy na minimum, případně je úplně odstranit. [3]

Další důležité odvětví je údržba. V dnešní krizové době je bohužel v řadě podnicích častým jevem snaha o úsporu finančních prostředků na úkor údržby, či diagnostiky. V první fázi ušetříme, ale zanedbáme-li investice, popř. šetříme-li na nevhodném místě, tak se nám to v konečném výsledku vymstí a následné odstranění škod stojí mnohem více, než jsme z počátku ušetřili. Provádění údržby můžeme rozčlenit do několika kategorií.

Využívání metod technické diagnostiky a údržby je nezbytnou součástí včasné identifikace poruchových stavů stroje. Aplikací technické diagnostiky můžeme dosáhnout značných finančních úspor týkajících se včasné identifikace vznikající poruchy a možností naplánovat vhodný čas odstávky, čímž se zabrání vzniku prostojů.

Dlouhé prostoje může způsobit například čekání na dodání náhradního dílu. Vhodné a účelné nasazení technické diagnostiky a údržby je nedílnou součástí konkurenceschopného a prosperujícího podniku.

Pro diagnostikování technického stavu zařízení můžeme použít rozdílných metod a to samozřejmě i s rozdílnými výsledky. Ne každá metoda je vhodná na dané zařízení nebo na daný pracovní režim. [2] Pro správné určení technického stavu zařízení je vždy důležité, použít správnou metodu diagnostiky.

1.2 Metody technické diagnostiky

Prvním způsobem údržby je oprava po poruše. Ta se aplikuje na nenáročné, většinou levné zařízení, které nezpůsobí při jeho poruše škody na majetku nebo na zdraví. Dočasná absence těchto zařízení nezpůsobí přerušení výroby, a tak se jejich diagnostika finančně nevyplatí.

Dalším způsobem údržby je metoda plánovaných preventivních oprav – řídí se předem stanoveným časovým cyklem, při kterém jsou provedeny naplánované údržbové práce. Časové cykly údržby jsou stanoveny s ohledem na zkušenosti se stejnými nebo podobnými zařízeními. Pro strojní zařízení jsou navrženy časové plány, v kterých je stanoveno, kdy dojde k preventivní opravě nebo údržbě. Tato metoda nerespektuje aktuální potřebu provádění údržby, ale řídí se předem stanoveným časovým plánem.

Další metodou je systém diferencované proporcionální péče - stroje jsou rozčleněny do několika skupin podle různých vlastností a důležitosti, což vede k rozdílnému přístupu k různým skupinám. Systém diagnostické údržby – je prvním, který respektuje skutečný technický stav technických zařízení. Využívá metod technické diagnostiky k sledování skutečného stavu zařízení. Zařízení je pod systematickou kontrolou a k odstávkám dochází pouze v případě dosažení mezní životnosti. [2]

Na Jaderné elektrárně Temelín se používá kombinace těchto metod. Servopohony umístěné na méně důležitých pozicích se opravují až po poruše a mají nejmenší prioritu. Naopak na důležitých servopohonech probíhá pravidelná diagnostika a popřípadě údržba každou odstávku nebo kdykoliv je to možné.

1.3 Dopady diagnostiky

Dopad diagnostiky tedy spatřujeme v širším kontextu, a to v rozboru příčin poruch, k nimž dochází během provozu zařízení. Vzniklé poruchy je nutné zaznamenávat, třídit a archivovat v databázích. Z dalších rozborů příčin poruch získáme velmi cenné informace. Jedná se zejména o návrhy směřující ke změnám konstrukce dotyčného zařízení, případně k posouzení správnosti provozování daného zařízení (například nevhodně nastavené tzv. mrtvé pásmo regulace vede k příliš častému zásahu regulačního servopohonu, což vede k předčasnému opotřebení). K těmto krokům se přistupuje v případě, že se opakují stejné poruchy zařízení. Diagnostika pak přispívá k odstranění příčin poruch a zlepšení spolehlivosti diagnostikovaného objektu. Příčinou těchto poruch může být například prostředí, ve kterém zařízení pracuje nebo chybný výrobní proces. [1]

1.4 Diagnostika off-line a on-line

Z hlediska provádění vlastních diagnostických šetření existují dva způsoby v závislosti na tom, zda je diagnostikovaný objekt mimo provoz - off-line, nebo zda je v provozu - on-line. [1]

U off-line systému se provádí diagnostikování testem, který využívá ke zjištění stavu objektu signály získané v dílčích kontrolách měření generované zdrojem signálu. Výsledkem jsou odezvy objektu na signál, které určují aktuální stav objektu, přičemž je diagnostikovaný objekt po celou dobu testování mimo provoz. Nevýhodou je však pevně stanovená periodičita, která ne vždy vychází z aktuálního stavu zařízení a je určována dle pevně stanovených dob. Mezi výhody patří dobrá aplikovatelnost diagnostikovaných metod při odstávce.

Pro diagnostikování v provozu se používá systém on-line diagnostiky. Provozní systémy on-line vyhodnocují technický stav zařízení při jeho provozu. K tomuto slouží funkční diagnostika, která ke stanovení diagnózy využívá provozních signálů. On-line systémy, které jsou trvale připojeny k diagnostikovanému objektu, nazýváme monitorovací systémy. Monitorování je trvalé sledování stavu objektu s průběžným vyhodnocováním stavů objektu. Výhodou je nepřetržité sledování stavu zařízení, umožňující rychlou reakci na možné změny sledovaných parametrů. [4]

1.5 Diagnostika malých a středních strojů

V této podkapitole se zaměřím již konkrétněji na diagnostiku malých a středních strojů, kam spadají i servopohony, na které je tato práce zaměřena. Tato skupina strojů je nejpočetnější skupinou točivých elektrických strojů. Tvoří prakticky 90% všech vyráběných točivých strojů. Jedná se o stroje do výkonu několika set kilowatů.

Během technického života těchto strojů, od jejich výroby až po vyřazení z provozu, vzhledem k jejich diagnostice, rozeznáváme jednotlivé etapy lišící se nejen místem života stroje, ale i jejich významem a rozsahem. Jedná se o následující diagnostické kroky:

- výstupní kontrola u výrobců a subdodávek,
- vstupní kontrola materiálu a subdodávek ve výrobním závodě,
- mezioperační výrobní kontroly,
- zkoušky elektrických strojů:
 - typové zkoušky
 - kusové zkoušky
- výstupní kontrola,
- výchozí revize při uvádění stroje do provozu,
- pravidelné periodické kontroly a prohlídky,
- on-line diagnostika,
- zkoušky a kontroly pro stanovení diagnózy při provozních potížích a po poruše či havárii,
- zkoušky po opravě.

Uvedená diagnostická šetření a činnosti vyžadují splnění základních technických a ekonomických předpokladů a podmínek. Pro diagnostiku malých a středních točivých strojů je potřeba mít odpovídající zkušební prostory. Zkušebny musí být vybaveny speciálními přípravky a technologickým zařízením. Mezi dalším technickým vybavením nesmí chybět měřicí přístroje a odpovídající dané údržbářské činnosti na elektrických pohonech. Vybavení je nutno zajistit jak pro zkušebnu, tak i pro měření v provozu. U malých a středních točivých strojů je efektivnější převést diagnostikovaný stroj na diagnostické pracoviště - zkušebnu. [1] V některých případech je technicky jednodušší diagnostikovat stroj v místě provozu. Tento případ je ovšem výjimečný.

Diagnostice této skupiny strojů nebyla vždy věnována taková pozornost, jaká je potřebná a opodstatněná. Často byla opomíjena z důvodů porovnatelné ceny diagnostiky s případnou opravou stroje a jeho kompletní výměnou. Tento pohled se ale mění spolu s racionalizací výroby a snahou o snižování nákladů. Další možnosti úspor jsou v nových diagnostických postupech založených na digitálním sběru dat a v databázích pro prognózu, na základě shromažďovaných naměřených hodnot. Cena diagnostiky systémů se může stát vzhledem k narušení výrobního procesu způsobené výpadkem stroje zanedbatelná. Důležitou roli zde hraje ekonomický rozbor možné vzniklé havarijní situace. Cena stroje nemusí být vysoká, ale důsledky výpadku pohonu např. výrobní linky mohou být značné. Často může investice do vhodného diagnostického systému stroje zaručit bezporuchový chod důležité částí výroby. [1]

2 Nejčastější příčiny poruch servopohonů v JETE

Tato část obsahuje nejčastější poruchy a příčiny poruch servopohonů, které se na JETE vyskytují a kterými se zaměstnanci zabývají. Servopohony jsou součástí armatury, kterou ovládají. Příklad takového servopohonu s armaturou můžeme vidět na obr. 2.1. Proto můžu poruchy elektricky ovládaných armatur, které se objevují na elektrárně Temelín, rozdělit na dvě skupiny. Do první skupiny spadají poruchy servopohonů. Do druhé skupiny patří poruchy na armaturách, které v první řadě řeší údržba servopohonů. Armaturou se v tomto případě myslí uzavírací a regulační armatury (tj. ventily, klapky, kohouty, šoupata). Pokud údržba servomotorů zjistí, že se jedná o poruchu pohonu, pracuje na odstranění závady. V některých případech je porucha nebo poškození servopohonu takového rozsahu, že je nutné vyměnit servopohon za nový. Poškozený servopohon se buď odešle k celkové opravě do výrobního závodu, nebo se vyřadí a ekologicky zlikviduje.

Při zjištění poruchy na armatuře je nutné, toto nahlásit příslušnému pracovníkovi, který povolá skupinu, provádějící údržbu armatur. V dalších částech rozeberu podrobněji jednotlivé poruchy a jejich příčiny obou skupin.



Obr. 2.1 Servopohon na armatuře

2.1 Poruchy servopohonů

V této podkapitole popisují pouze nejčastější poruchy servopohonů. S většinou poruch, které zde ukazují, jsem se setkal v praxi osobně. Některé poruchy mohou spolu také souviset, případně může nastat i kombinace více poruch. Toto však není běžné. Pro lepší orientaci nejprve uvedu přehled poruch. Poté jednotlivé závady podrobněji rozeberu a dále popíši i jejich příčiny a důsledky, které mohou vzniknout.

Přehled poruch na JETE

1. Olejová netěsnost,
2. Nespolehlivé sepnutí / vypnutí u KV,
3. Opálené kontakty KV,
4. Neseřízené KV – dle typů, nejvíce u pohonů typu 52000,
5. Spálený motor,
6. Zkrat v ovládacím obvodu,
7. Neseřízený vysílač polohy,
8. Vadný vysílač polohy,
9. Přerušená (vydřená) dráha u odporových vysílačů polohy,
10. Vadný napájecí zdroj vysílače polohy (vysílač značky INPOS),
11. Mechanické poškození nebo opotřebení převodů,
12. Mechanické poškození ovládací desky,
13. Opotřebení převodů na signalizačních, koncových nebo momentových vypínačích,
14. Únava pružných podložek momentového vypínání – plovoucího uložení šneku.

2.1.1 Olejová netěsnost

Snad nejčastější závada servopohonů je olejová netěsnost. Tu způsobuje staré nebo opotřebované těsnění, gufero nebo O-kroužky. Olej se používá k mazání převodovky. Vyteklý olej z převodovky způsobí znečištění pohonu, armatury a okolí. Pohony pracují prakticky v jakékoliv poloze, takže může olej natéci i do motoru, ovládání nebo svorkovnice. Případně vyteče i ven z pohonu a v extrémním případě může způsobit i požár. To tedy jen v případě, že vyteče na horké potrubí a vznítí se. Další důsledek vytečení oleje z převodovky je možné její zadření. Z důvodu toho, že olejová netěsnost je jedna z nejčastějších závad, jsou servopohony pravidelně kontrolovány obsluhou. Proto je vznícení nebo zadření převodovky málo pravděpodobné.

2.1.2 Koncové vypínače

Další častou poruchou jsou vadné koncové spínače. Spínače slouží k vypnutí pohonu v požadované poloze. V servopohonu jsou většinou čtyři spínače. První dvojice spínačů slouží k vypínání servopohonu pomocí momentu - moment otevřeno MO, moment zavřeno MZ. Pro signalizaci polohy se používají spínače, které značí polohu otevřeno PO nebo polohu zavřeno PZ. Ve většině případech je u víceotáčkových servopohonů zapojení takové, že v poloze zavřeno vypíná chod pohonu MZ proto, aby armatura zavřela natěsno. Polohový vypínač PZ je zapojen jako signalizační a je seřízen tak, aby zapůsobil dříve než momentový. Na obslužném panelu se tak nejdříve objeví signalizace „Zavřeno“, ale pohon dojíždí až na momentový vypínač. V poloze „Otevřeno“ nepotřebujeme, aby pohon dojížděl až na MO, proto v této poloze vypíná chod motoru polohový vypínač, který zároveň signalizuje dosaženou polohu. Tento spínač je seřízen tak, aby zapůsobil dříve než momentový spínač. Momentový spínač MO je zapojen sériově a slouží jako bezpečné vypnutí při selhání polohového vypínače. Příklad takového neseřízeného spínače PO, kde servopohon zastavil až momentový spínač MO, popíšeme v další kapitole. V té se diagnostikováním poruch servopohonů budu zabývat detailněji.

Víceotáčkové servopohony dodává výrobce také se samostatnými spínači pro signalizaci, které se mohou seřít tak, aby signalizovaly jakoukoli zvolenou polohu armatury. Na JETE se ale tyto signalizační kontakty používají jen u několika armatur.

Dostáváme se k příčinám, které způsobují nevypnutí motoru v požadované poloze. Jeden z častých důvodů selhání spínače je únava materiálu. Jiné důvody jsou kupříkladu opálené kontakty nebo mechanické poškození spínačů. Dalším původcem nevypnutí může být špatné seřízení spínačů v ovládací části servopohonu. To je většinou zaviněno posunutím spínače při provozu z výchozí polohy.

Dále se dostáváme k důsledkům, jež zaviní vadný koncový spínač. Chybný spínač může způsobit zkrat v ovládacím obvodu, nevypne pohon ve správné poloze nebo vůbec nesepe a servopohon se poté nemůže otáčet na opačnou stranu (není uzavřená cesta ovládacího signálu). Kontakty spínačů totiž nejen přerušují signál v daném směru, ale zároveň nastaví cestu pro signál k reverzaci chodu. Pokud selže momentový vypínač, hrozí poškození armatury nebo spálení motoru. Kvůli tomuto případu je zde nainstalována nadproudová (tepelná) ochrana, která motor chrání před spálením.

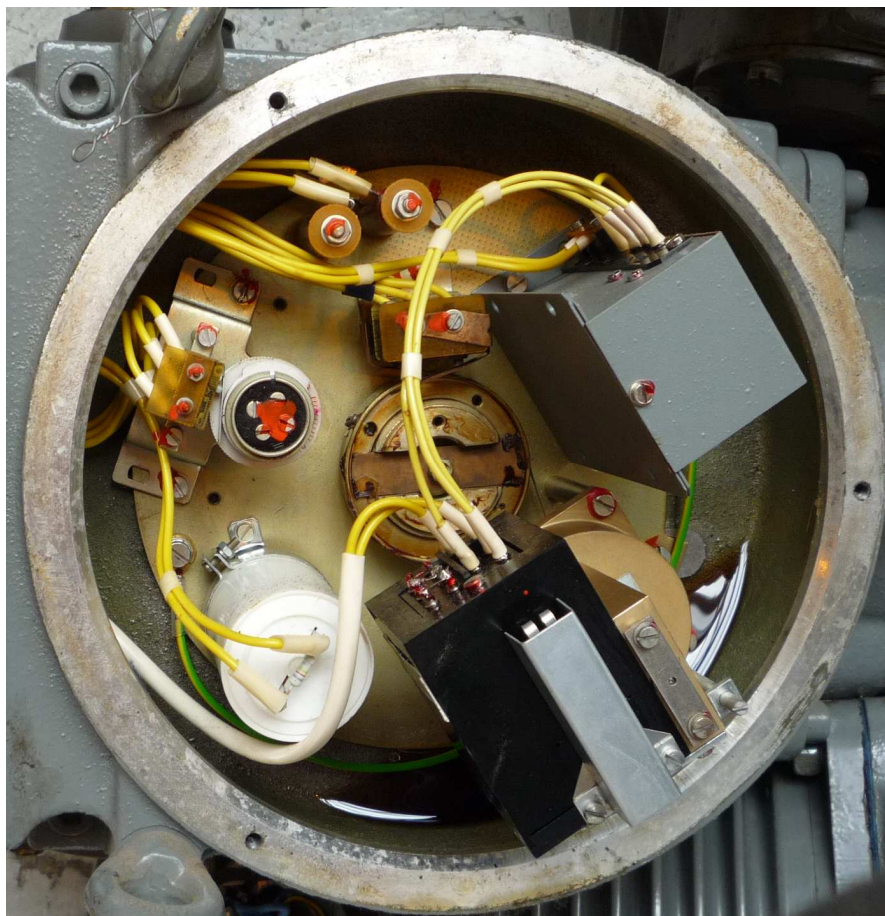
Podobné poruchy způsobují i nespolehlivé stykače, které se nachází v rozvaděčích. Může se stát, že se kontakty stykače neoddělí (tzv. stykač „lepí“) a nepřeruší napájení pohonu. Tím je opět v ohrožení armatura nebo motor servopohonu.

2.1.3 Snímače polohy

Snímače polohy zapříčiňují další poruchy, kterými se tato kapitola zabývá. Konkrétně jsou to indukční snímače polohy INPOS. Pro lepší vysvětlení příčin poruch popíši, jak indukční snímač funguje. Indukční snímač převádí změnu dráhy malého přímočarého posuvu nebo úhlového natočení na stejnosměrný proudový signál. Z příslušného zatěžovacího odporu lze odebírat i napěťový signál. Používá se pro přenos údajů z převodníku fyzikálních veličin nebo z akčních členů na elektrický vyhodnocovací přístroj. Indukční vysílač sestává ze dvou konstrukčně oddělených celků: zdroje napětí a vlastního indukčního snímače posuvu. Ze zdroje je snímač napájen napětím, které dvojčinný střídač mění na střídavé napětí pravoúhlého tvaru, jímž se napájí primární cívka diferenciálního transformátoru snímače. Na sekundárních vinutích cívky se objeví střídavé napětí, jehož velikost je úměrná poloze pohyblivého jádra uvnitř válcového otvoru cívky. Sekundární vinutí cívky je zapojeno do měřícího můstku, kde se střídavý proud usměrní.

Výstupní napětí můstku se přivádí na vstup zesilovače, jehož výstupem je ss proud lineárně úměrný vstupnímu signálu snímače. Zesilovač pracuje s proudovou zpětnou vazbou a jeho zisk lze v určitých mezích měnit. Nulový výstupní signál (nulová poloha), případně potlačení začátku, se nastavuje pouze změnou polohy jádra. Maximální výstupní signál lze nastavit v daných mezích plynule potenciometrem, skokově změnou zapojení vnějších svorek. Přepojením měřícího můstku je dále umožněna změna smyslu strmosti výstupního signálu, to znamená opačnou nulovou polohu jádra a obrácený směr posuvu. [5]

Na obr. 2.2 je vidět indukční snímač polohy INPOS (napájecí zdroj - šedý, snímač polohy - černý a převodový pásek).



Obr. 2.2 Indukční snímač INPOS

Nejčastější příčinou poruchy indukčního snímače byl převod pomocí ocelového pásku, který postupem času vlivem únavy materiálu praskal. Dalším původcem závad byl převod na zasouvání jádra do diferenciálního transformátoru. Součástí v převodu vybrousila drážku do snímače, čímž se změnilы hodnoty výstupního signálu, i když s nastavením vysílače nikdo nehýbal. Napájecí zdroj snímače polohy bylo v některých případech také nutno měnit. Poslední závada byla způsobena tím, že hnací tyčka byla k jádru přilepena a tento spoj se časem uvolnil.

Důsledky závad mohou být různé. V případě, že je snímač polohy chybně seřízen, nemusí servopohon dojíždět do krajních poloh. A dále přináší nesprávné informace o poloze armatury na BD. V extrémních případech může dojít k neovladatelnosti servopohonu a následnému poškození armatury. Nespolehlivost je zaviněna zastaralou technologií, která je dnes již překonána jinými zařízeními. Kvůli těmto poruchám a nespolehlivosti indukčního snímače polohy INPOS, se postupně provádí výměna za

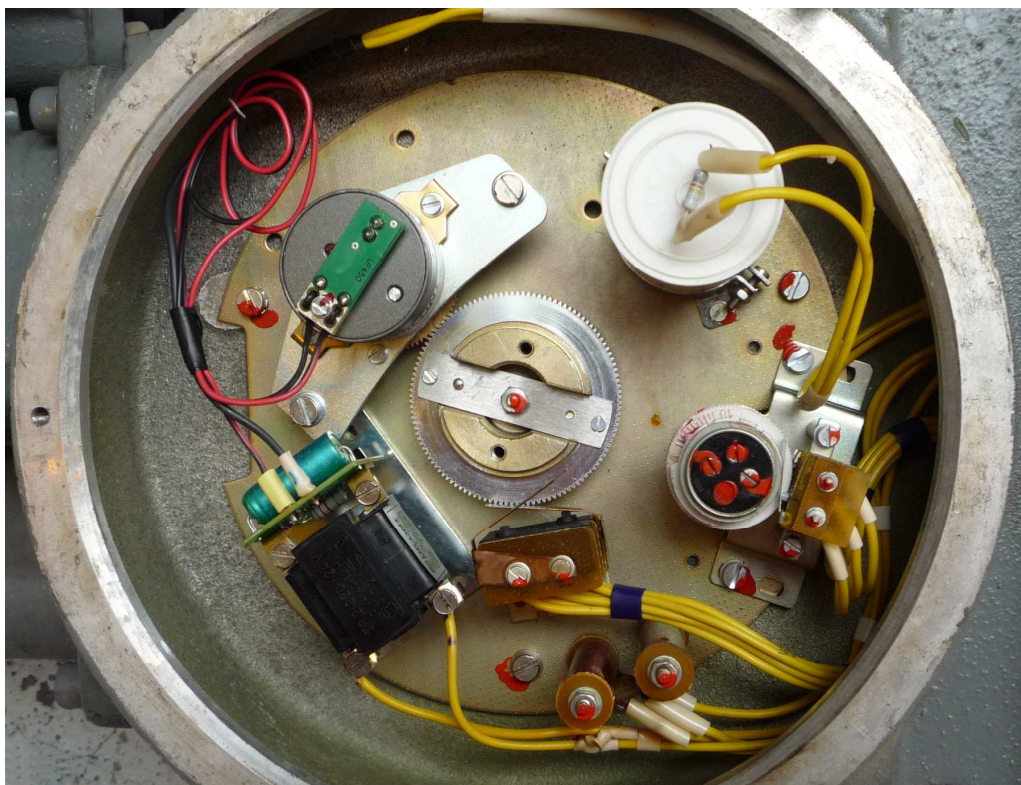
bezkontaktní snímač polohy od výrobce DICONT. Pro lepší představu uvedu popis kapacitního bezkontaktního snímače CPT1. Je zde vidět velký technologický posun.

Bezkontaktní kapacitní snímače polohy typu CPT jsou určeny k převodu polohy na stejnosměrný signál 4 až 20 mA. Snímač polohy CPT 1 je odolný proti vniknutí cizích předmětů a hrubých prachových částic. Snímač polohy CPT 1 má také zvýšenou odolnost proti vniknutí vody a hřidel je odolná korozi. Typickými vlastnostmi snímačů polohy CPT jsou jednak malé rozměry, vysoká životnost, velká přesnost. Dále pak monotónní průběh výstupního signálu a dvou vodičové připojení.

Mimo aplikací v servopohonech lze snímač polohy CPT použít všude tam, kde je třeba měřit úhlové natočení s malým krouticím momentem.

Snímač polohy CPT pracuje na kapacitním principu. Změny kapacity se vyhodnocují elektronikou umístěnou uvnitř snímače. Elektronika obsahuje obvod, který měří kapacitu měrného kondenzátoru a převádí ji na malé stejnosměrné napětí, dále pak převodník na proud 4 až 20 mA, kvalitní víceotáčkový trimr k nastavení velikosti sektoru, ochranu proti přepólování a proudové omezení. Celá elektronika je provedena technikou povrchové montáže. Současně s minimálními rozměry zaručuje povrchová montáž vysokou odolnost proti otřesům a vysokou provozní spolehlivost. Součásti zajišťují kromě jiného i minimální proudovou spotřebu, menší než 2 mA, takže je možné kromě elektrických poruch (výpadek napětí, poruch elektroniky) vyhodnotit i mechanické závady servopohonu (např. přejetí koncové polohy).

Napájecí napětí pro zátěž odporem 500 Ohmů je 18 až 28 V, a tak není zapotřebí stabilizovaný zdroj napětí. Celý snímač polohy CPT1 je galvanicky izolovaný, a proto je možné na jeden zdroj připojit i větší počet snímačů. Připojení snímače je provedeno dvěma vodiči, jimiž protéká signál v unifikované úrovni 4 až 20 mA. Současně je vodiči dodávána energie pro elektroniku (2 mA, 7 V), takže není zapotřebí žádných dalších vodičů pro napájení. Pootočením snímače v objímce lze využít i druhou větev charakteristiky, která při stejném smyslu otáčení rotoru dává invertovaný signál 20 až 4 mA. Standardní nastavení od výrobce je 120° pro rozsah signálu 4 až 20 mA. Trimrem lze spojitě zúžit sektor až na 40°. Snímač polohy CPT1 je chráněn proti většině poškození i při nesprávné manipulaci. [6] Nainstalovaný kapacitní bezkontaktní snímač polohy v servopohonu můžeme vidět na *obr. 2.3*. Na první pohled je viditelný technologický pokrok oproti indukčnímu snímači INPOS. Například ocelový převodový pásek byl nahrazen ozubenými kolečky a indukční snímání bylo nahrazeno kapacitním, tudíž nedochází k odírání stěn diferenciálního transformátoru.



Obr. 2.3 Kapacitní snímač polohy DICONT CPTI

2.1.4 Ostatní poruchy servopohonů

Ostatní popsané poruchy a příčiny se nevyskytují příliš často. Mezi další příčiny poruch může být vniknutí páry nebo vody do servopohonu. Při vniknutí vlhkosti do převodovky může dojít ke korozi převodů, což není žádoucí. Pokud se dostane voda nebo pára do motoru, nebo do ovládací části, hrozí zkrat a případně i spálení motoru. V méně extrémním případě koroze svorkovnice. Servopohon je proti vniknutí vlhkosti chráněn těsněním. Těsnění vlivem stárnutí ztrácí schopnost zabránit vniknutí vlhkosti. Obsluha se tomuto snaží zabránit pravidelnými kontrolami a výměnami těsnění.

Přerušený přívodní kabel může také způsobit mnoho problémů. K zařízení vedou dva druhy kabelů. Jeden silově napájí elektromotor a druhým prochází signály k ovládání. Mechanickým poškozením dojde k porušení izolace, nebo ke zlomení vodiče v kabelu. Odtud je už jen malý krůček ke zkratu nebo neovladatelnosti. Na jaderné elektrárně se používají kabely se zvýšenou odolností proti šíření plamene a v případě přerušení nebo poškození kabelu je nutné ho vyměnit.

Jako poslední zde zmíním závadu, kterou začala obsluha využívat při uvádění servopohonu do provozu. Touto závadou je přerušení zpětné vazby. Při přerušení zpětné

vazby se stává zařízení neovladatelné z BD. Toto obsluha využívá, aby nebylo možné se servopohonem manipulovat, dokud není seřízený. Je to způsobené pracovním postupem, který je na JETE zaveden. Zaměstnanci dostávají pracovní příkazy, kde mají uvedeny pracovní postupy a pokyny pro bezpečnost při práci. Pracovní příkazy jsou rozdělené na jednotlivé úkoly. Úkoly pro demontáž, odpojení, výměny KV nebo zdrojů a větší opravy vyžadující zajištění. Zajištění je specifikováno a provedeno provozním personálem podle Zajišťovacích příkazů. Na krycím listu Zajišťovacího příkazu je seznam pracovních příkazů a prací, které vyžadují toto zajištění. Po ukončení prací vyžadujících zajištění je Zajišťující příkaz ukončen a provozní zaměstnanci provedou odjištění zařízení. Po odjištění by bylo možné s armaturou manipulovat. Servopohon však ještě nebyl seřízen. Pokyn k seřízení zařízení dostanou zaměstnanci až v dalším úkolu pracovního příkazu. Proto vědomě přerušují zpětnou vazbu, aby nebylo možné se servopohonem manipulovat z BD. Je to čistě bezpečnostní krok, který předchází případným nehodám. Operátor na blokové dozorně má kontrolu o stavu prací na zajištěném zařízení. Pokud je však servopohon odjištěn, může manipulovat s neseřízeným zařízením a poškodit armaturu nebo servopohon.

2.2 Poruchy armatur

Tato kapitola je zaměřena jen na poruchy armatur. Armatury dělíme na zavírací a regulační. Uzavírací armatura slouží jen k uzavření či otevření potrubí (tzn. má jen dvě pracovní polohy). Regulační armatura pracuje v jakékoliv poloze, ale v poloze „zavřeno“ nemusí vždy dostatečně těsnit. Obě armatury se proto nacházejí za sebou, spolupracují. Servopohony se ve většině případů demontují právě kvůli revizím či poruchám na šoupatech, klapkách nebo ventilech. Velký počet revizí je naplánován vždy na odstávku bloku elektrárny. Je to z důvodu toho, že v provozu bloku se s většinou armatur nemůže manipulovat nebo nelze trasu s armaturou oddělit a zdrenážovat či odtlakovat.

Velké množství závad je zaviněno poškozenou nebo nepromazanou vřetenovou maticí. Servopohon otáčí vřetenovou maticí, která pohybuje vřetenem. Na vřetenu je připevněná kuželka, která reguluje průtok uzavíráním do kruhového sedla. V případě, že se vřetenová matice zadře, servopohon s maticí nemůže otáčet. To vede k zastavení servomotoru momentovým spínačem. Jestli zapůsobí MO nebo MZ, záleží na směru chodu armatury. Tato porucha lze odstranit promazáním vřetenové matice nebo úplnou

výměnou. Ztržená vřetenová matice je další možná závada, která se na elektrárně musí řešit. Ztržení matice způsobí neschopnost pohybovat s vřetenem. Stroj se poté točí, ale nepohybuje s ventilem. V tomto případě je nutné matici vyměnit za nový kus. Dále se může stát, že se kuželka od vřetene oddělí a ventil opět neplní správnou funkci. Tato závada se dá rozpoznat velmi snadno. Když se vřeteno točí společně s maticí, je to důkaz utržené kuželky. Zde je zapotřebí vyměnit vřeteno s kuželkou.

Příčinou poruchy ovšem nemusí být jen chyba v mechanické části. Může se také stát, že stroj s armaturou nemůže otočit a vypne ho momentový spínač. Je to způsobené jednostranným tlakem na armaturu. Rozdíl tlaků před a za armaturou způsobuje vzpříčení kuželky. Problém lze odstranit pomocí bočního obtoku, který tyto tlaky vyrovná. U důležitých armatur jsou boční obtoky také elektricky ovládány. U méně důležitých armatur boční obtoky nejsou ovládány elektricky a je zapotřebí zásah obsluhy. Obsluha povolí obtok ručně a servopohon již může armaturu otevřít. Boční obtoky jsou instalovány pouze na armaturách s velkým provozním tlakem protékajícího média. Nejčastěji je toto médium pára.

3 Diagnostika servopohonů a vyhodnocení výsledků

V této kapitole spojím poslední tři body zadání dohromady. Dané body spolu souvisí a jejich rozdělení by nebylo přehledné. Uvedu zde několik příkladů diagnostiky servopohonů a jejich následné vyhodnocení, kterých jsem se osobně na JETE zúčastnil. Následně vylíčím kroky k odstranění zjištěné poruchy, u kterých jsem zaměstnancům asistoval. Jako poslední krok popíši kontrolní diagnostiku opraveného servopohonu. Tato diagnostika bývá zpravidla již rychlá. Záleží ovšem na tom, jestli byla odstraněná porucha jediná. Krátce představím i měřicí přístroje a jejich základní technické specifikace.

3.1 Základní rozdělení diagnostiky servopohonů na JETE

Diagnostika servopohonů na Jaderné elektrárně Temelín lze rozdělit na dvě základní varianty. První variantou je diagnostikování stroje na místě, kde je nainstalován (v provozu). Tato varianta je rychlejší a tudíž i levnější. V některých případech ovšem nestačí a je nutné přistoupit ke druhé variantě. Druhou variantou je transportovat servopohon na zkušebnu a zde provést diagnostiku. Varianta převozu na zkušebnu se volí v případě, že poruchu nelze odstranit na místě nebo je potřeba stroj důkladně zkontrolovat. Tento způsob je časově náročnější. Některé armatury jsou důležité pro provoz bloku a není možné je zajistit, proto jsou kontroly na zkušebně prováděny pouze během plánovaných odstávek.

Ať už se jedná o diagnostiku na pozici nebo diagnostiku a opravu na dílně, obě jsou prováděny podle schválených tzv. Pracovních postupů opravy. PPO jsou vytvořeny pro každý typ pohonů, ale i pro druhy činností na servopohonech. To znamená, že například pro opravy servopohonů řady Mo 5203x.xxxx je jiný postup, než pro servopohony řady MoA 5202x.xxxx. Ale pro měření výkonových křivek (zde uváděné jako diagnostika v provozu) je PPO stejný pro obě typové řady.

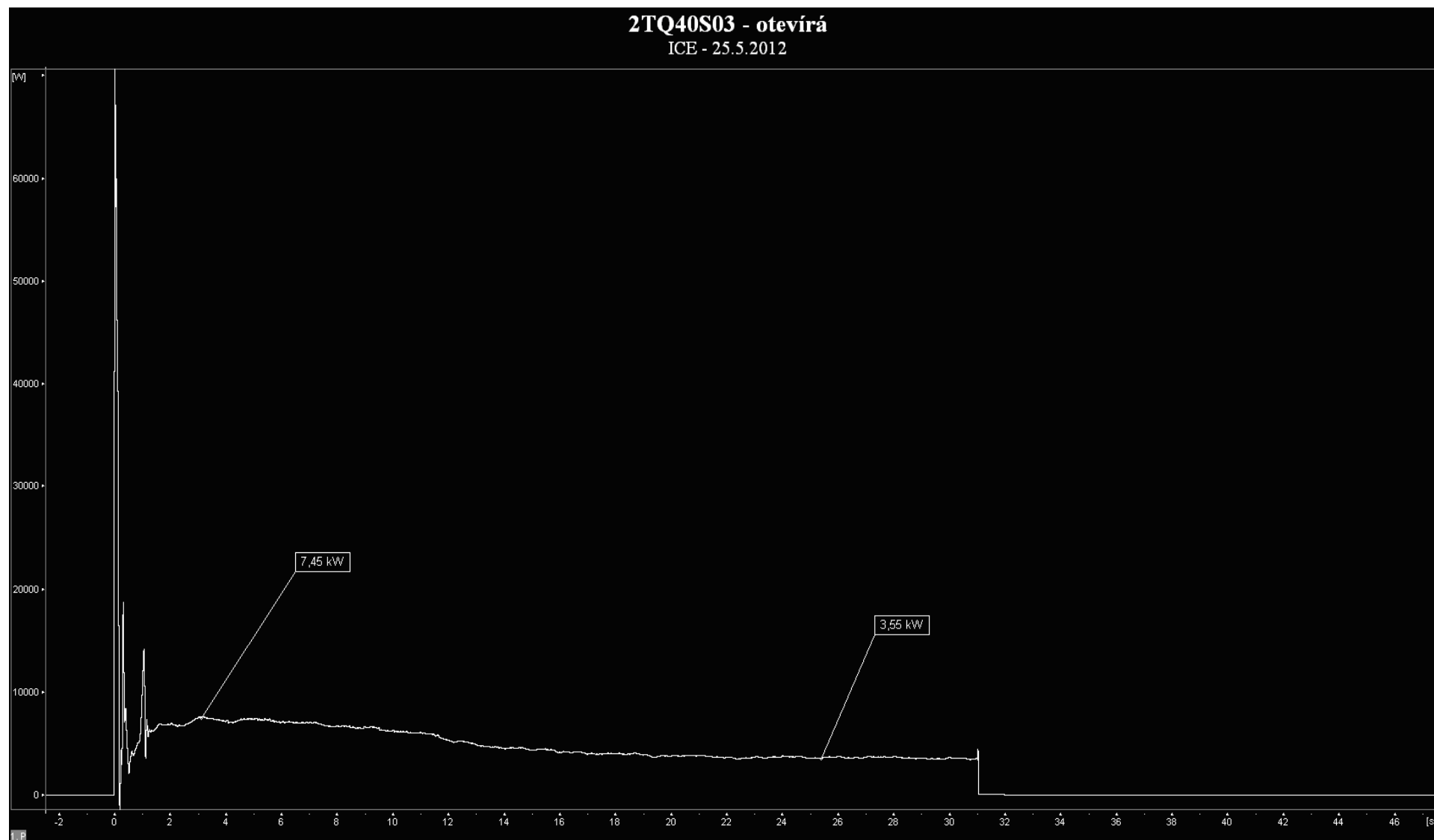
3.2 Diagnostika servopohonů v provozu

Diagnostikou servopohonu, ale i armatury na místě je zjišťován stav celého funkčního celku. Měření se provádí digitálním osciloskopem. Měří se napětí a proudy ve všech fázích silového obvodu, ale také napětí na jednotlivých kontaktech spínačů ovládacího obvodu. Napětí se měří pomocí napěťových sond, které jsou připojeny do zásuvných karet osciloskopu. Proud se měří pomocí klešťových převodníků.

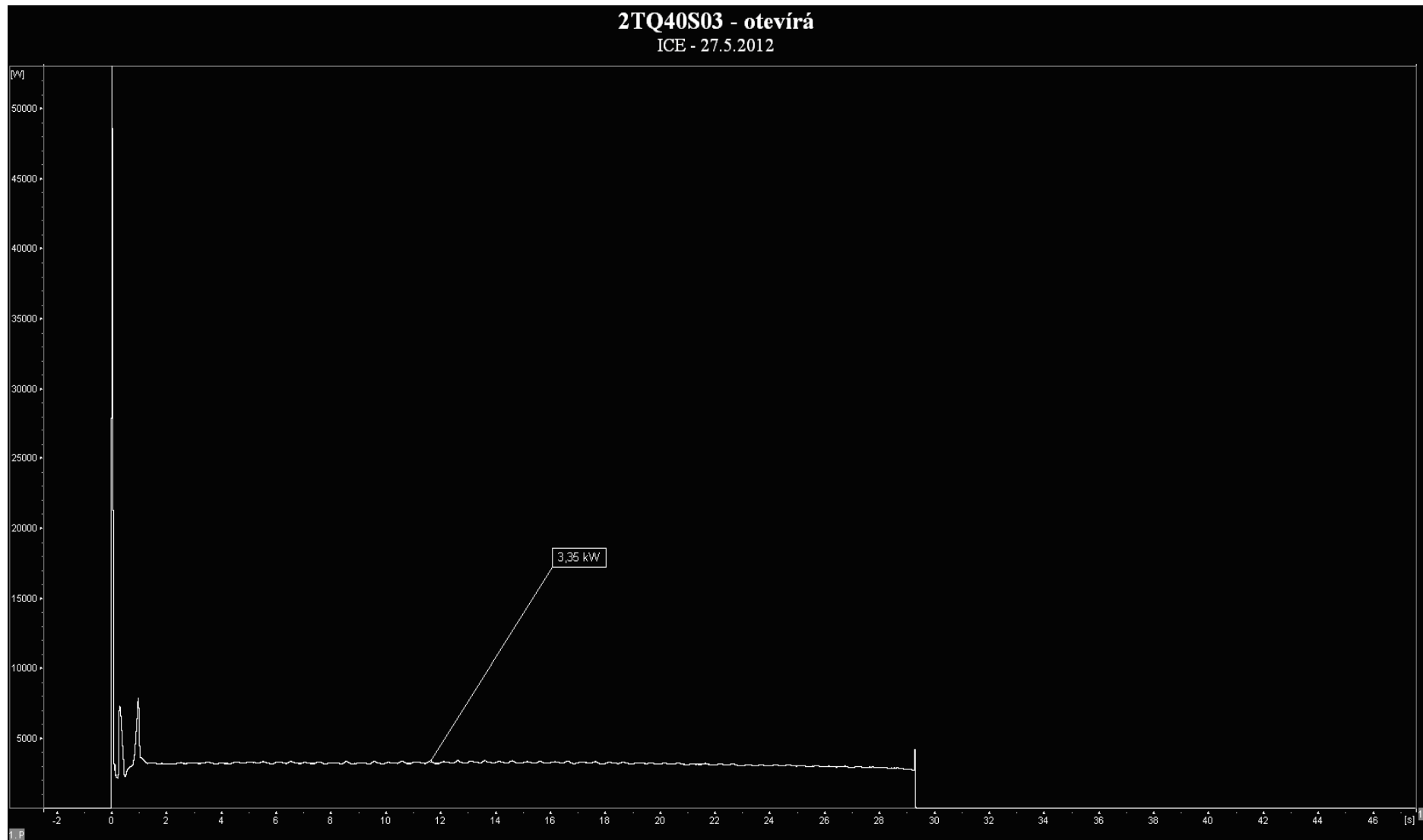
Klešťové převodníky převádí proud tekoucí silovým vodičem na napětí, které je poté přivedeno do karty osciloskopu. Zde je potřeba nastavit správný rozsah měření. Start záznamu je nastaven 1-2 sekundy před chodem armatury, aby bylo možné zachytit i záběrný proud. Diagnostikuje se stav nejen elektricky ovládané armatury, ale na změřených průbězích může být patrný i špatný stav silových kontaktů stykače nebo spínačů uvnitř servopohonu. To se projevuje jiskřením nebo nespolehlivým sepnutím či rozepnutím stykače nebo spínače. Na JETE se však tato diagnostika praktikuje hlavně k zjišťování trendu opotřebení (stárnutí) zařízení.

Měření se spouští automaticky pomocí funkce „TRIGGER“. Spustí měření, jakmile se objeví napětí na prvním kanálu, kam se připojuje první fáze motoru. Doba měření se nastavuje dle doby chodu servopohonu. Z naměřených průběhů se vypočítá výkon. Výpočet provede software, který je dodáván k osciloskopu. Výstupem je graf obsahující vypočtený činný výkon. Data se porovnávají s dříve naměřenými, čímž se stanovují lhůty oprav a revizí. Také lze odhalit poruchu zařízení před plánovanou odstávkou. Oprava se poté provede při odstavení bloku.

Uvedu zde tři příklady zjištěných závad. Na prvním příkladu můžeme vidět příkonovou křivku servopohonu s označením 2TQ40S03. Jedná se o servopohon amerického výrobce Limitorque. Přesný typ je Limitorque 28/SMB2-80/2 a jeho jmenovitý příkon je 6,84 kW. Na průběhu *obr. 3.1* můžeme vidět zvýšený diagnostikovaný výkon a nepravidelný tvar křivky. Tento výkon je dvojnásobný oproti normálnímu stavu. Výkyvy na okrajích křivky jsou zapříčiněné zvýšeným proudovým odběrem. Ten zapříčiňuje odjetí servopohonu z polohy zavřeno. U polohy zavřeno je toto zvýšení odběru proudu vždy, protože pohon vypíná momentový spínač a při otevírání musí být vytržena kuželka zatažená natěsno do sedla. Na grafu je patrný také velký záběrný proud při startu elektropohonu. V tomto případě se nejedná o závadu na servopohonu. Tato zjištěná závada byla zapříčiněna tuhým chodem armatury. Přesněji málo promazaná vřetenová matice, o kterou se následně odíralo vřeteno. Po následném promazání vřetenové matice a vřetena byl průběh v pořádku, jak můžeme vidět na křivce *obr. 3.2*, kde výkon klesl na obvyklou hodnotu a má plochý charakter. Pokud by se tento stav nezlepšil, byla by nutná revize armatury. K revizi armatury je zapotřebí zajistit drenáž trasy, demontáž pohonu a dále „roztěsnit“ armaturu. Poté přichází na řadu armaturu opravit a znovu provést kontrolu. Opravu většiny armatur lze provádět pouze v době odstávky bloku. Tato oprava je náročnější a dražší. Průběhy při zavírání armatury jsou přiloženy v příloze (příloha A, Příloha B).



Obr. 3.1 Graf příkonové křivky servopohonu 2TQ40S03 - s poruchou



Obr. 3.2 Graf příkonové křivky servopohonu 2TQ40S03 - bez poruchy (po opravě)

V druhém případě se jedná o poruchu, která byla diagnostikována také pomocí osciloskopu Yokogawa. Zde je již závada v servopohonu. Přesněji je příčinou vadný spínací kontakt polohy „otevřeno PO“. Na grafu obsaženém v příloze (Příloha D) je viditelné, že byl servopohon odstaven spínačem pro moment „otevřeno MO“. Ukazuje to i průběh křivky příkonu (červená křivka), která v normálním stavu nemá tak výrazný stoupající trend. Toto stoupání je způsobeno nárůstem proudu motoru při dojetí na pevnou zarážku – klín armatury dojde až k víku armatury nebo k ucpávce. Následně dochází k zapůsobení „MO“ (šedivý průběh) a zastavení pohybu. Spínač „PO“ vůbec nezapůsobil (modrý průběh). Porucha může být způsobena špatným seřízením spínače nebo mechanickým, případně elektrickým poškozením spínače. Dále na grafu vidíme další dva průběhy. Zelený průběh znázorňuje napětí na spínači „MZ“ a žlutý průběh napětí na spínači „PZ“. Odhalená příčina v tomto případě byla v nesprávném seřízení spínače „PO“. Následný graf po seřízení spínače můžeme vidět v příloze (Příloha E). Zde je i názorný důkaz, že jsou spínače v sériovém zapojení.

Další diagnostika, která se provádí v provozu, je kontrola pomocí videoskopu (fibroskopu). Cílem diagnostiky pomocí videoskopu je zjištění stavu a opotřebení silového převodu servopohonu bez rozebrání převodovky. Z převodové skříně se pouze vypustí olej. Servopohon zůstává namontován na armatuře. Na svorkovnici motoru se přivede napětí přes frekvenční měnič. Tím je umožněn pomalý chod a plynulá regulace otáček. Kamera videoskopu se vsune dovnitř skříně otvory od výpustných šroubů. Pomalé otáčky jednak umožňují sledování otáčejících součástí převodu, ale také chrání kameru před poškozením při možném kontaktu s převodem. Obraz je přenášen kabelem na zobrazovací displej na přístroji, ale také se přímo nahrává na micro-SD kartu. Kamera je instalována v pružném konci ohebné trubky s bovdenem. Tím je možné pákovým ovladačem na přístroji ovládat naklápění kamery ve čtyřech směrech. Osvětlení vnitřního prostoru zajišťují vysoce svítivé LED diody, které jsou také instalovány na pružném konci. Záznam se přenese do PC a vizuálně je kontrolován stav převodů. Opotřebení, kovové piliny, vrypy či jiné patrné mechanické poškození povrchů. Na JETE se tato diagnostika provádí hlavně na víceotáčkových regulačních servopohonech se šnekovým převodem.

Videoskop také posloužil na kontrolu servopohonů Limitorque. Vzhledem k častým poruchám v amerických jaderných elektrárnách servopohonů tohoto typu, vypracovala firma Limitorque zprávu o příčinách poruch. Ve zprávě určila přesný typ servopohonů, které byly náchylné k selháním. Určili, že na vině jsou rotory vyrobené

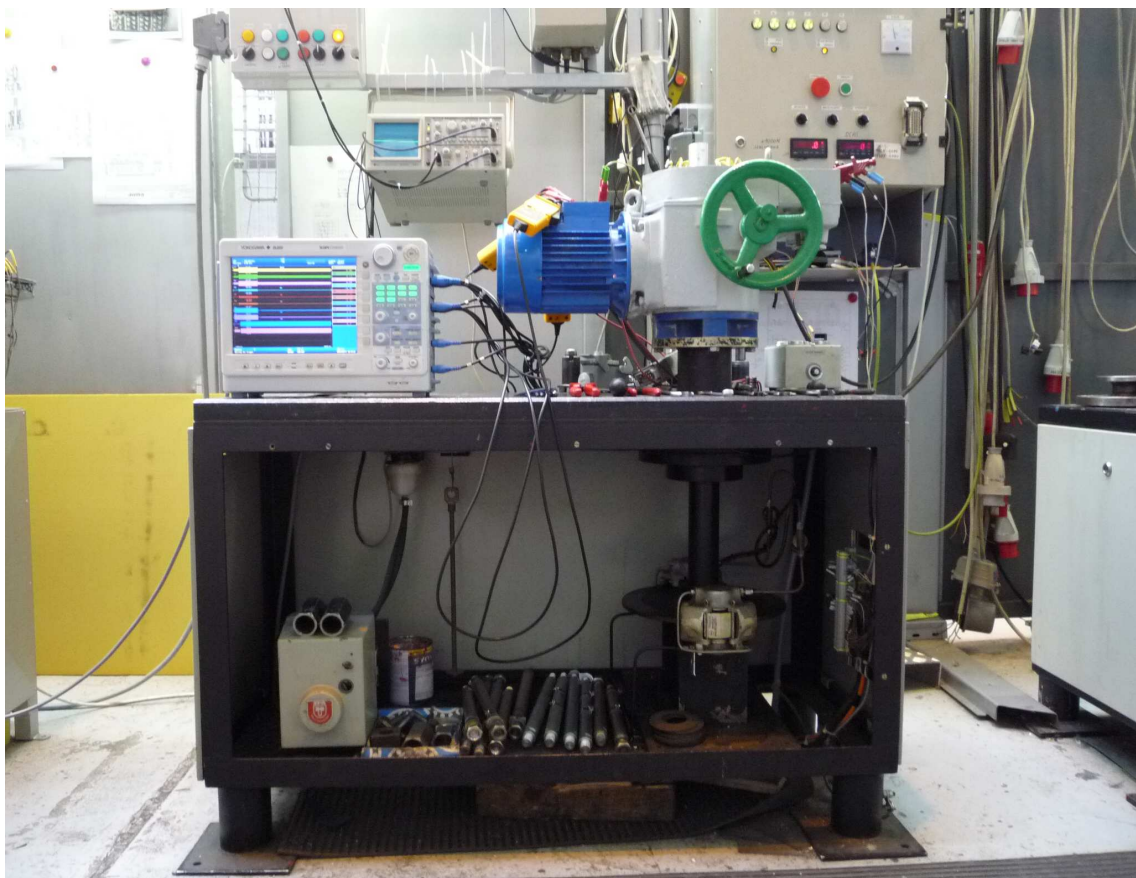
převážně z hořčíku. Rotorům vyrobených převážně z hliníku nehrozilo nebezpečí závady. Dále jsou ve zprávě popsány degradační mechanismy. Lopatky jsou slitinou 90% hořčíku, 9,9% hliníku a 0,1% manganu. Zatímco hořčík poskytuje motoru větší točivý moment ve srovnání s hliníkem, hrozí u něj praskání (kvůli křehkosti a pórovitosti).

Především hrozí 3 druhy degradace. Prvním je galvanická koroze, druhým druhem degradace je vzdušná koroze a třetí vyšší teplota zapříčiněná indukovaným napětím. Degradace koroze je způsobena vyšší vlhkostí a také rozdílem potenciálů mezi ocelovým jádrem a hořčíkem. Velikost napětí díky rozdílu potenciálů je 1,9 V. Toto vytváří podmínky pro vzniknutí galvanické koroze. Výrobce se chtěl tohoto vyvarovat tím, že na chladicí lopatky nanal barvu nebo lak. Lak sice zprvu rotor ochránil, ale i nejmenší škrábnutí v nátěru způsobí urychlení koroze ve formě prášku z hydroxidu hořečnatého (MgOH). Tvoření prachu vede k větším trhlinám laku. To urychlí praskání a degradaci lopatek. Vyšší teplota toto ještě urychluje. Rotory mohou selhat dvěma způsoby. První druh poruchy může nastat vychýlením chladicího žebra lopatky do statoru a k následnému poškození motoru. Druhá příčina může být způsobena poruchou kroužku na konci rotoru, který je také z hořčíku. Poté může dojít k přehřátí motoru. [7] Na JETE z bezpečnostního hlediska proběhla také kontrola těchto pohonů. Nebyla ovšem zjištěna žádná degradace chladicích lopatek rotorů.

3.3 Diagnostika servopohonů na zkušebně

Diagnostika a oprava na zkušebně se provádí také podle PPO pro jednotlivé typy servopohonů. Na servopohonu se provádí kontroly elektrické i mechanické výzbroje, stav silových i ovládacích převodů, stav elektromotoru, ložisek, těsnění, oleje, atd. Všechny provedené opravy se zaznamenávají do protokolu. Příklad takového protokolu je obsažen v příloze (Příloha F). Součástí PPO je také měření izolačního stavu a činného odporu vinutí elektromotoru, přechodového odporu kontaktů spínačů, případně hodnoty výstupního signálu vysílače polohy a napájecího zdroje vysílače (u regulačních servopohonů). Než pohon opustí zkušebnu, jsou na měřící momentové stolici nastaveny vypínací momenty, které jsou stanoveny podle typu armatury, druhu a parametrů protékajícího média.

Na *obr. 3.3* můžeme vidět momentovou stolicí se servopohonem. Dále vidíme také digitální osciloskop Yokogawa DL850V. Osciloskop se takto na zkušebně nepoužívá. Je zde jen pro názornou ukázkou. Osciloskop se používá v provozu a měří se z rozvodu, kde se nachází rozváděčové skříň jednotlivých servopohonů. Na osciloskopu je nastaven režim, kde je možné pozorovat průběhy a hodnoty napětí a proudů na jednotlivých fázích motoru a dále koncové vypínače. Potřebujeme tedy minimálně deset kanálů. Tento osciloskop je šestnácti-kanálový, takže nám vyhovuje k měření.

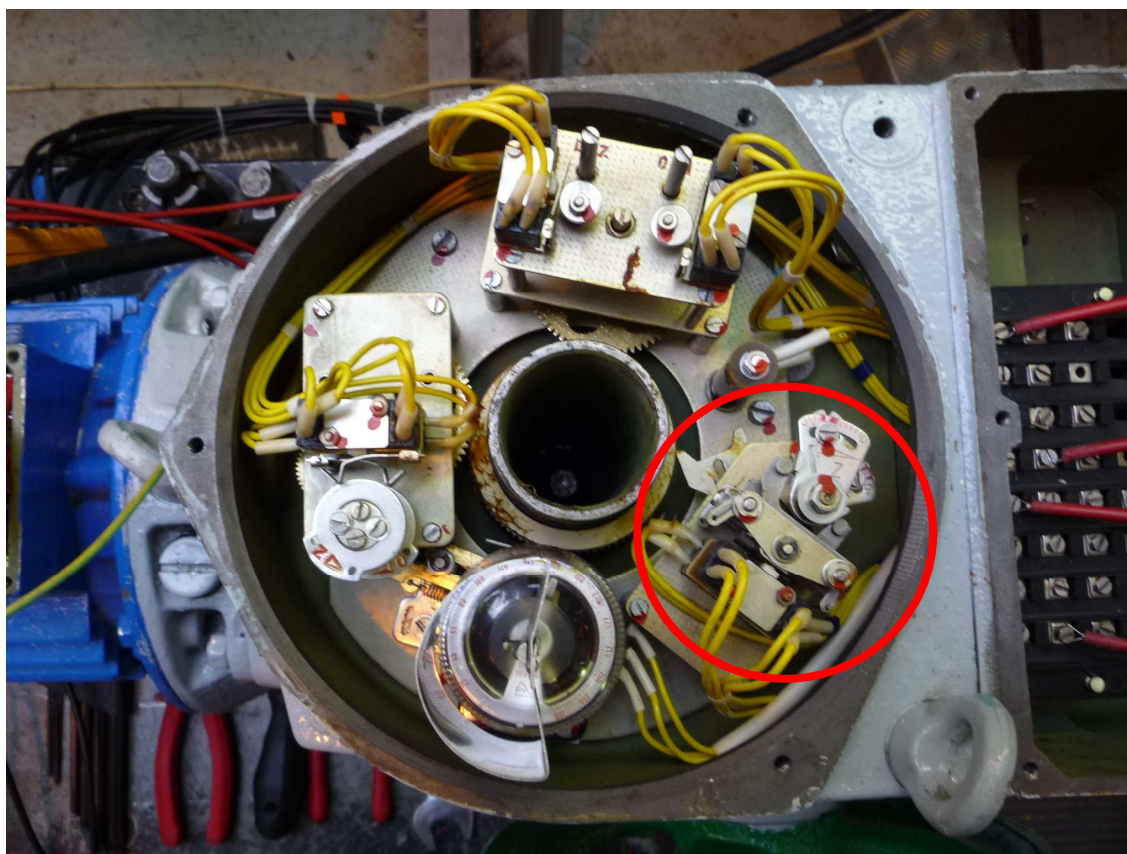


Obr. 3.3 Momentová stolice se servopohonem

Dále jsou pro ukázkou nainstalovány i klešťové převodníky značky FLUKE typu i310s. Na těchto převodnících můžeme nastavit dva měřicí rozsahy. Rozsah 30 A a 300 A střídavého proudu nebo 45 A a 450 A stejnosměrného proudu. Výstupní napětí při rozsahu 30 A udává výrobce 10 mV/A. [8] Tento údaj je nutné nastavit na osciloskopu kvůli správnému zpracování hodnot.

Nyní se vrátíme k momentové stolici. Momentová stolice byla nainstalována na požadavek firmy ČEZ od výrobce servopohonů firmy ZPA Pečky.

ČEZ potřeboval kontrolovat nastavení momentů servopohonů a jediná možnost byla posílat servopohony do firmy ZPA Pečky. To bylo časově i finančně nevýhodné. Proto dal požadavek na nainstalování momentové stolice přímo na JETE. Stolice měří moment pomocí tenzometru, který převádí mechanickou energii na elektrickou. Z tenzometru jde elektrický signál přímo na zobrazovací jednotku, která je přizpůsobená na výstupní napětí tenzometru. To znamená, že jednotka již zobrazí hodnotu v jednotkách momentu [Nm]. Momentovou stolicí je potřeba zkalibrovat. Kalibrace se provádí třikrát ročně. A to před odstávkou prvního bloku, po odstávce prvního bloku a poté po odstávce druhého bloku elektrárny, tím se stolice připraví na další měření neblokovaných pohonů. Kalibrace se provádí pomocí závaží, která se věší na rameno tenzometru. Z kalibrace stolice je pořízen kalibrační list (Příloha C).



Obr. 3.4 Ovládací jednotka servopohonu

Pro lepší pochopení vypínání servopohonů pomocí momentových spínačů, popíší jejich princip. Přestavování vypínacích momentů je možné pomocí jednotky momentového vypínání. Jednotka momentového vypínání je zvýrazněna na *obr. 3.4*. Je tvořena základní deskou, která nese mikrospínače a současně tvoří ložiska pro hřídel momentového ovládání. Hřídel přenáší pohyb plovoucího šneku ze silového převodu

pomocí segmentů se stupnicí a páček na mikrospínače „MZ“ nebo „MO“. Natočením segmentů oproti vypínacím páčkám se nastavuje velikost vypínacího momentu. Při zatížení výstupního hřídele servomotoru kroutícím protimomentem se pootočí hřídel momentového ovládní a tím i segmenty, z nichž se pohyb přenesou na vypínací páčku. Dosáhne-li kroutící moment na výstupním hřídeli servopohonu hodnoty, na kterou je jednotka momentového vypínání nastavena, stlačí vypínací páčka mikrospínač, čímž se dosáhne zastavení elektromotoru. [9]

Na momentové stolici se změří jednotlivé momenty nastavené na momentové jednotce. Poté se pomocí šroubků na jednotlivých segmentech pro „MO“ nebo „MZ“ nastaví požadovaná hodnota momentu. Tyto šrouby se následně zakápnou červenou barvou, aby nebylo možné s nimi dále hýbat.

Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval on-line a off-line diagnostikou servopohonů na Jaderné elektrárně Temelín. Servopohony jsou nedílnou součástí jaderné elektrárny a nacházejí se ve všech technologických prostorech. Tato práce navazuje na moji bakalářskou práci, kde popisuji jednotlivé typy a výrobce servopohonů, které jsou v elektrárně instalovány. Právě na těchto servopohonech prezentuji podrobně diagnostiku.

Bouřlivý rozvoj diagnostiky v posledních letech významně přispěl k výraznému zlepšení přesnosti i použití diagnostiky v praxi. Tento rozvoj vedl ke vzniku spousty nových metod a kvalitnějších vyhodnocovacích zařízení, které sledují technický stav zařízení. K tomuto rozvoji technické diagnostiky přispěl hlavně větší tlak na úspornější provoz a výrobu.

V první části práce jsem popsal metody technické diagnostiky, které se uplatňují na servopohonech, ale mohou se použít i na dalších zařízeních. Mezi tyto metody patří oprava po poruše, která se aplikuje na nenáročná, levná zařízení. Dále je to metoda plánovaných preventivních oprav. Ta se řídí předem stanoveným cyklem, kde jsou provedené naplánované údržbové práce. Následující metodou je systém diferencované proporcionální péče. To znamená, že jsou stroje rozčleněny do několika skupin podle různých vlastností a důležitostí. Tyto metody nerespektují skutečný stav zařízení. Metoda, která tento stav respektuje se nazývá systém diagnostické údržby. Zařízení je pod systematickou kontrolou a k odstávkám dochází pouze v případě dosažení mezní životnosti stroje. Na JETE se využívá kombinace těchto metod. Záleží na důležitosti servopohonu, respektive armatury, kterou ovládá. V této kapitole jsem také stručně popsal rozdíly mezi on-line a off-line diagnostikou. Na servopohony se uplatňuje především off-line diagnostika, která je prováděna pomocí různých přístrojů, když je zařízení mimo provoz. On-line diagnostika se u servopohonů nepoužívá. Ta se používá jen u důležitých zařízení, která by případnou poruchou mohla ohrozit lidský život nebo způsobit velkou finanční ztrátu.

Ve druhé části se věnuji nejčastějším příčinám poruch servopohonů na JETE. Těmito poruchami se zabývají zaměstnanci, kteří působí na elektrárně od doby výstavby, tudíž mají velké množství zkušeností v této problematice. Dále využiji také mé zkušenosti, získané na elektrárně při praxi, kterou jsem zde vykonával. Poruchy elektricky ovládaných armatur jsem rozdělil do dvou skupin. V první skupině jsem věnoval pozornost servomotorům a v druhé skupině jen armaturám.

Nejčastější porucha, vyskytující se u servopohonů, je olejová netěsnost. Způsobuje jí staré nebo opotřebované těsnění. Olej je potřeba k mazání převodů a v případě jeho vytečení z převodovky hrozí její zadření. Servopohony jsou proto pravidelně kontrolovány obsluhou. Zabýval jsem se také vadnými koncovými spínači, které slouží k vypnutí pohonu v požadované poloze. V případě, že spínač servopohon nevypne, může dojít k neovladatelnosti pohonu nebo zničení armatury. Dále zmiňuji snímače polohy. Používaly se indukční snímače polohy, které byly postupně vyměněny za kapacitní snímače polohy. Popsal jsem princip a rozdíl mezi nimi. Zmínil jsem i další poruchy, které obsluha nemusí řešit tak často.

Na armaturách je velké množství závad zaviněno vřetenovou maticí, která pohybuje vřetenem s kuželkou. Ta armaturu otevírá nebo uzavírá. Matice může být zadřená nebo ztržená a to vždy vede k neovladatelnosti průtoku média. Závada se vyskytuje také na vřetenu s kuželkou. Kuželka se může oddělit od vřetene a ventil opět neplní svou funkci. Porucha ovšem nemusí být způsobena jen mechanickou částí. Rozdíl tlaků před a za armaturou způsobí vzpříčení kuželky a servopohon s vřetenem nemůže pohybovat. Z tohoto důvodu jsou nainstalovány na důležité armatury obtoky. Ty vyrovnají tlaky na kuželku a dojde k jejímu uvolnění.

V poslední části uvádím několik praktických měření, která se na JETE provádí. Diagnostika se provádí v provozu i na zkušebně. V případě zjištění závažné poruchy pohonu v provozu, je nutné jeho převezení na dílnu. Tam se provede oprava servomotoru a kontrolní diagnostika jeho funkce. Všechny činnosti jsou prováděny dle schválených Pracovních postupů opravy. Ty vychází z montážních návodů výrobce a jsou rozdílné pro každou typovou řadu.

Diagnostika v provozu je levnější a rychlejší varianta kontroly funkce. Provádí se pomocí digitálního osciloskopu Yokogawa. Z tohoto osciloskopu se data převedou do počítače a vyhodnotí v softwaru, který je dodáván s osciloskopem. Výstupem je výkonová křivka, ze které se hodnotí stav armatury a stav koncových spínačů. Další přístroj sloužící ke kontrole v provozu je videoskop. Pomocí toho přístroje se kontroluje stav převodů. Data se poté vyhodnotí a určí se stav převodů. Není proto nutné převážet servopohon na dílnu a rozebírat převodovku.

Diagnostika na zkušebně slouží spíše ke kontrole funkce opraveného servopohonu. Zkušebna je vybavena speciálními přístroji. Je zde prováděna kompletní kontrola stavu servopohonu. Všechny tyto zásahy jsou zaznamenávány do Protokolu o kontrole servopohonu dle PPO. Tyto protokoly jsou vyhodnocovány a archivovány. Jako poslední jsou také popsány přístroje, které se používají k diagnostice na zkušebně.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 439 s. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [2] BLATA, Jan. *Metody technické diagnostiky* [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2013-03-2]. ISBN 978-80-248-2735-3. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2735-3.pdf>. Učební text předmětu „Technická diagnostika“. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [3] MENTLÍK, Václav. *Aspekty a perspektivy diagnostiky elektrických silnoproudých zařízení*. Elektro [online]. 2004, roč. 2004, č. 11, s. 4-9 [cit. 2013-03-14]. ISSN 1210-0889. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26027
- [4] RŮŽIČKOVÁ, Vladislava. *Aspekty on-line diagnostiky transformátorů*. In: [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce2/17.pdf>
- [5] *Indukční snímač polohy INPOS: Katalogový list*. Nová Paka : ZPA Trutnov, koncernový podnik, 1980, 5 s.
- [6] *Bezkontaktní kapacitní snímač polohy CPT1 : Technické údaje*. Praha : DICON, a.s., 2005. 2 s.
- [7] *Inspection of Motor Operated Valve Limitorque AC Motors with Magnesium Rotors*. U.S.A., 2009, 66s.
- [8] *AC/DC Current Clamp: Instruction sheet*. U.S.A.: Fluke Corporation, 2007.
- [9] *Elektrické servomotory otočné a víceotáčkové: Montážní návod*. Pečky.

Seznam obrázků

OBR. 2.1 SERVOPOHON NA ARMATUŘE

(Zdroj: *Elektrické servomotory: Výrobní program. Pečky.*)

OBR. 2.2 INDUKČNÍ SNÍMAČ INPOS

OBR. 2.3 KAPACITNÍ SNÍMAČ POLOHY DICONT CPT1

OBR. 3.1 GRAF PŘÍKONOVÉ KŘIVKY SERVOPOHONU 2TQ40S03 - S PORUCHOU

OBR. 3.2 GRAF PŘÍKONOVÉ KŘIVKY SERVOPOHONU 2TQ40S03 - BEZ PORUCHY (PO
OPRAVĚ)

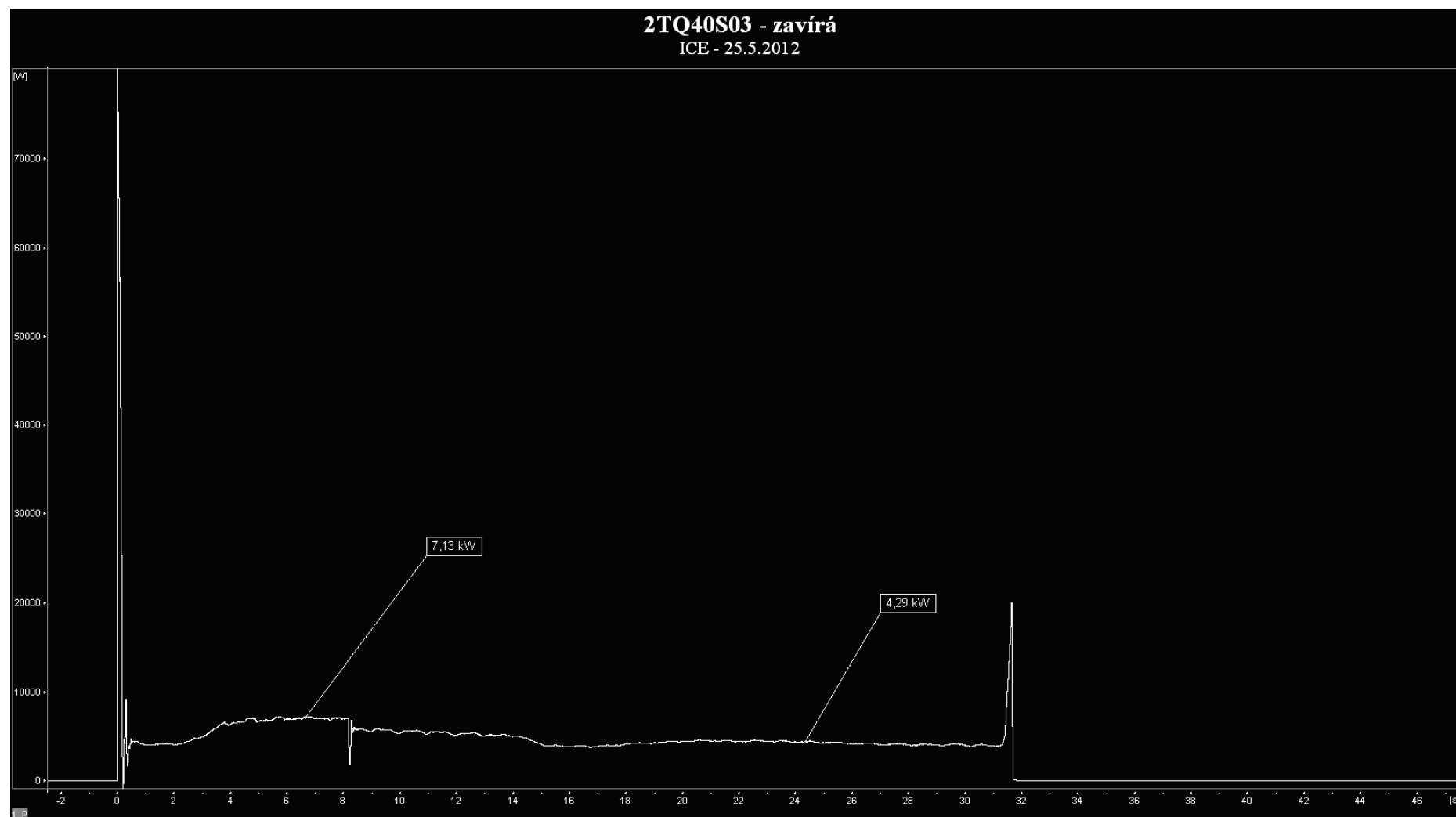
OBR. 3.3 MOMENTOVÁ STOLICE SE SERVOPOHONEM

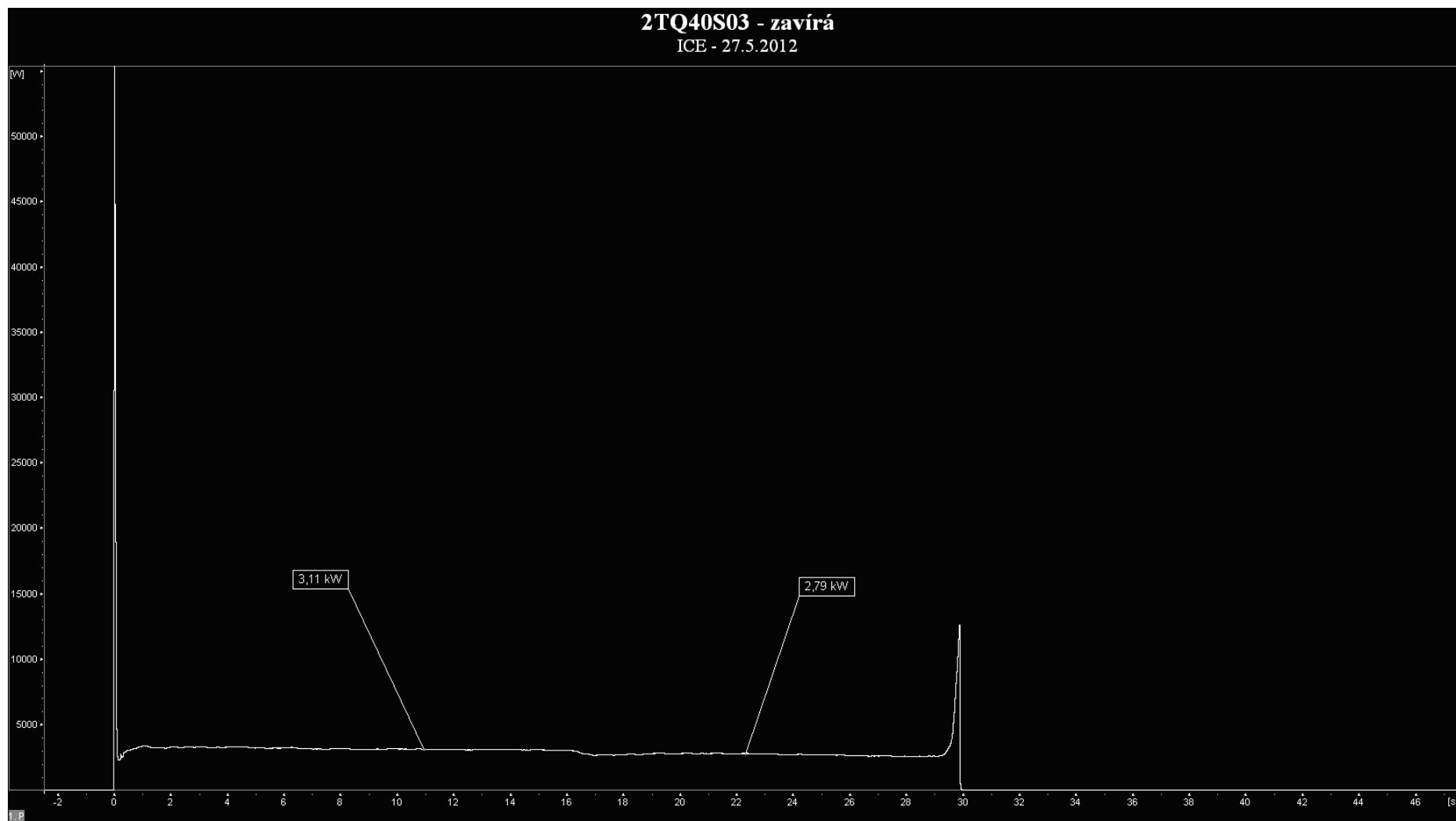
OBR. 3.4 OVLÁDACÍ JEDNOTKA SERVOPOHONU

Přílohy

Seznam příloh:

- Příloha A Průběh příkonové křivky servopohonu 2TQ40S03 - s poruchou (zavření)
- Příloha B Průběh příkonové křivky servopohonu 2TQ40S03 - bez poruchy (zavření)
- Příloha C Kalibrační list momentové stolice ZPA Pečky.
- Příloha D Diagnostikovaná porucha koncového spínače polohy otevřeno „PO“.
- Příloha E Odstraněná porucha koncového spínače polohy otevřeno „PO“.
- Příloha F Protokol o kontrole servopohonu dle PPO

Příloha A - Průběh příkonové křivky servopohonu 2TQ40S03 - s poruchou (zavření)

Příloha B - Průběh příkonové křivky servopohonu 2TQ40S03 - bez poruchy (zavření)

Příloha C - Kalibrační list momentové stolice ZPA Pečky

KALIBRAČNÍ LIST MOMENTOVÉ STOLICE ZPA Pečky

Použité přístroje, etalony:	Typ: ZÁVAŽÍ 12,5kg ZÁVAŽÍ 17,5kg ZÁVAŽÍ 20kg	výr. č.:(ev. č.) 4443MOM12 4443MOM17 4443MOM20	<i>Multifunction - METRA HIT-295</i> <i>K.C. KK 8670</i>
-----------------------------	---	---	---

Stolice 3 - MOMENTOVÁ ČAST		výr. č.:(ev. č.):	1211001	rozvaděč: 1211003	
Hodnota parametrů při kalibraci:		SCAL: <i>0,089</i>	OFSET: <i>+3</i>		
velikost závaží [kg]	přesná hmotnost závaží dle platného kalibračního listu závaží [kg]	správná hodnota momentu pro dané závaží dle výrobce [Nm]	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [Nm] měření č. 1	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [Nm] měření č. 2	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [Nm] měření č. 3
12,5	12,28866	60,214434	<i>62,0</i>	<i>62,0</i>	<i>62,0</i>
17,5	17,79279	87,184671	<i>88,0</i>	<i>88,0</i>	<i>88,0</i>
20	20,24544	99,202656	<i>99,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>
50	50,32689	246,601761	<i>248,0</i>	<i>249,0</i>	<i>249,0</i>
			MALE PŮHONY	STŘEDNÍ PŮHONY	VELKÉ PŮHONY

Stolice 3 - PRIMOCARA ČAST		výr. č.:(ev. č.):	1211001	rozvaděč: 1211003	
Hodnota parametrů při kalibraci:		SCAL: <i>0,502</i>	OFSET: <i>0,2</i>		
Předepsaná velikost kalibračního napětí [mV]	správná hodnota síly pro dané napětí dle výrobce [kN]	Přesná velikost kalibračního napětí (odečtená na kal.přístroji)[mV] měření č. 1	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [kN] měření č. 1	Přesná velikost kalibračního napětí (odečtená na kal.přístroji)[mV] měření č. 2	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [kN] měření č. 2
0	0	<i>0,029mV</i>	<i>0</i>	<i>0,029mV</i>	<i>0</i>
3	25	<i>3,007mV</i>	<i>25,0</i>	<i>3,007mV</i>	<i>25,0</i>
6	50	<i>6,007mV</i>	<i>50,0</i>	<i>6,007mV</i>	<i>50,0</i>
9	75	<i>9,007mV</i>	<i>75,0</i>	<i>9,008mV</i>	<i>75,0</i>
12	100	<i>12,008mV</i>	<i>100,0</i>	<i>12,008mV</i>	<i>100,0</i>
15	125	<i>15,008mV</i>	<i>125,0</i>	<i>15,008mV</i>	<i>125,0</i>

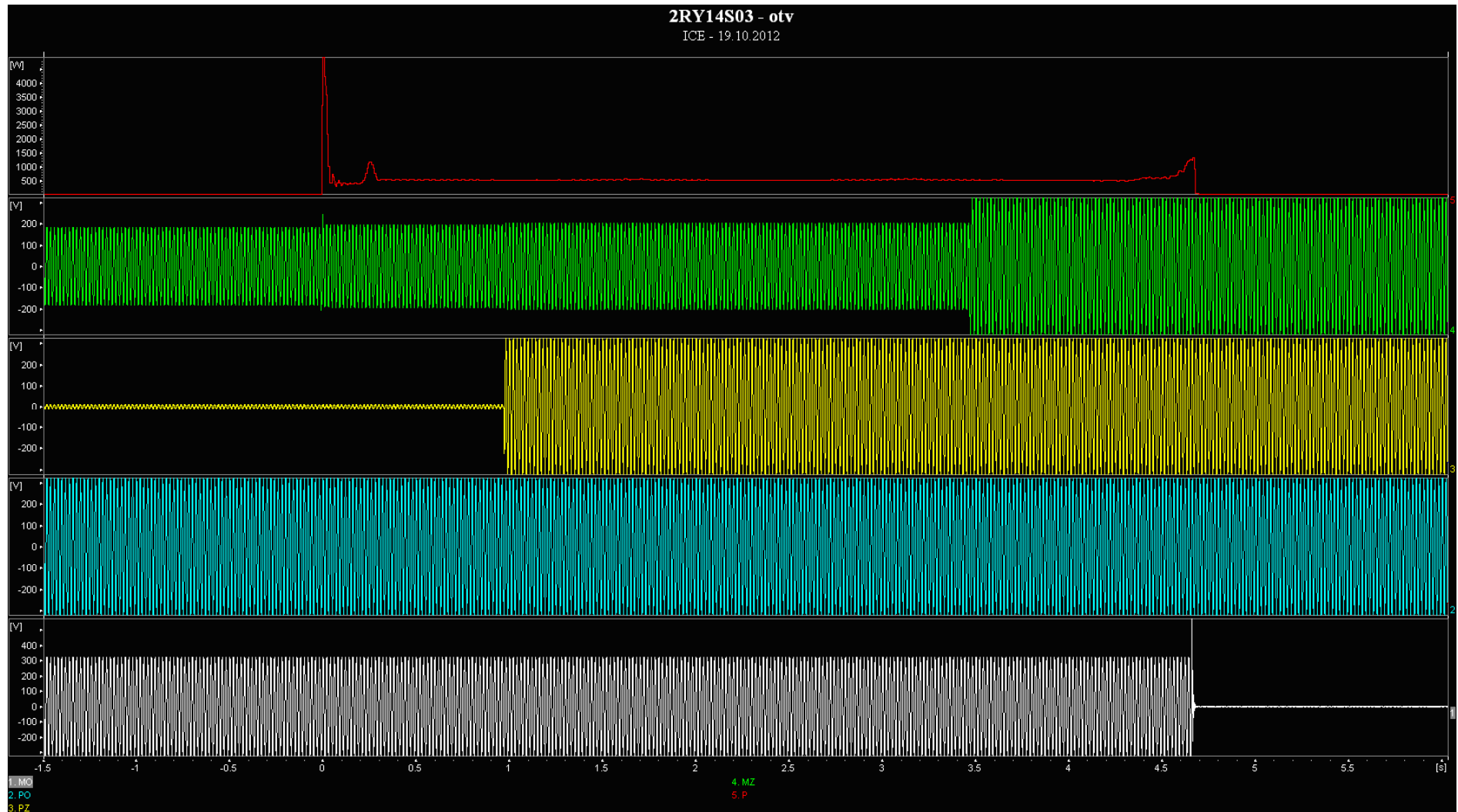
Stolice 5		výr. č.:(ev. č.):	1211002	rozvaděč: 1211003	
Hodnota parametrů při kalibraci:		SCAL: <i>0,520</i>	OFSET: <i>-3</i>		
velikost závaží	přesná hmotnost závaží dle platného kalibračního listu závaží [kg]	správná hodnota momentu pro dané závaží dle výrobce [Nm]	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [Nm] měření č. 1	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [Nm] měření č. 2	odečtená (skutečná) hodnota po kalibraci [Nm] měření č. 3
12,5	12,28866	90,4445376	<i>91,0</i>	<i>91,0</i>	<i>91,0</i>
17,5	17,79279	130,9549344	<i>132,0</i>	<i>133,0</i>	<i>133,0</i>
20	20,24544	149,0064384	<i>150,0</i>	<i>151,0</i>	<i>150,0</i>
50	50,32689	370,4059104	<i>368,0</i>	<i>369,0</i>	<i>369,0</i>
			MALE PŮHONY	STŘEDNÍ PŮHONY	VELKÉ PŮHONY

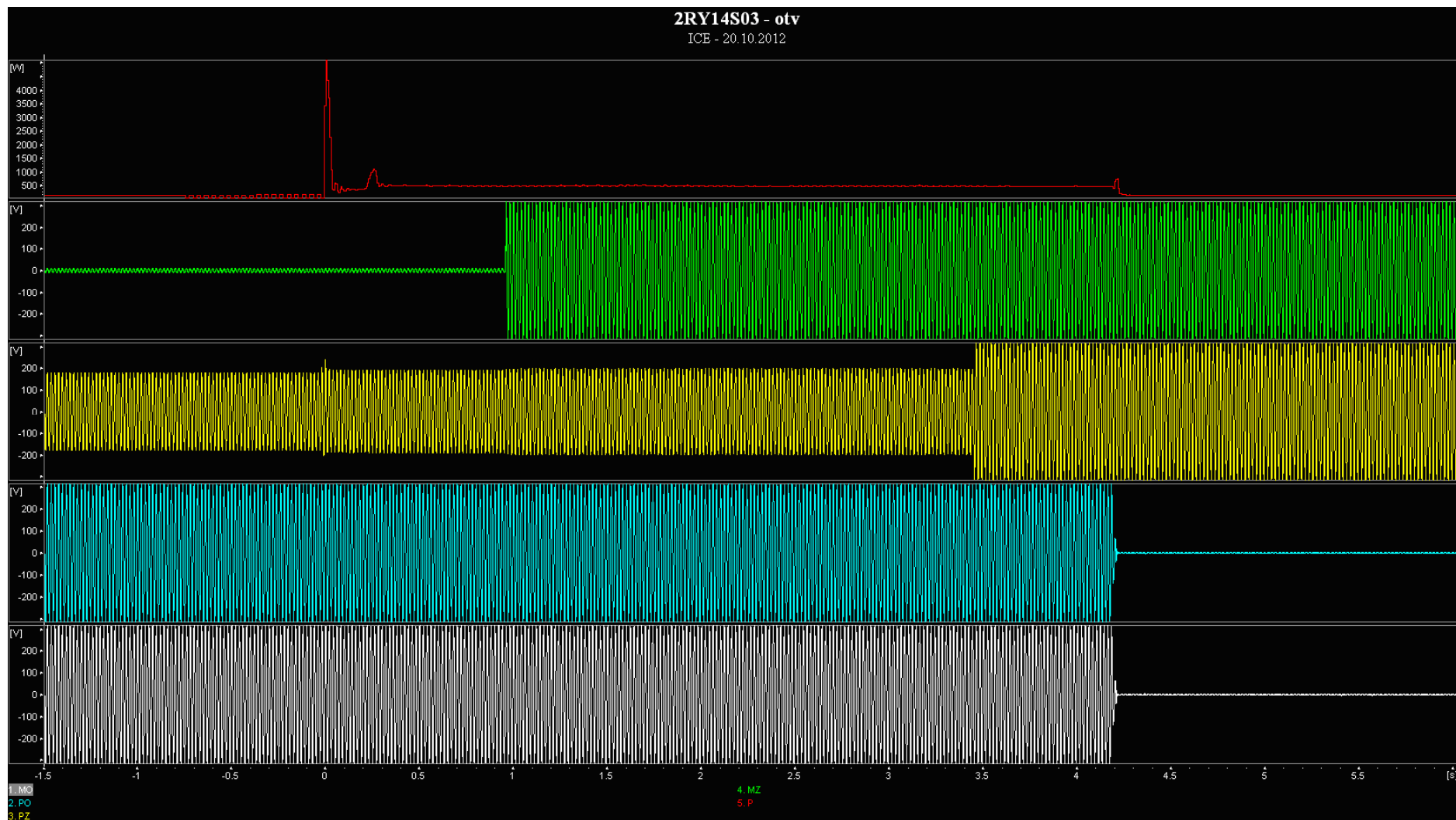
Datum kalibrace: *25.3.2010*Kalibrovali: *CHUDOBA*Podpis: 

Závěr kalibrace:

Zařízení vyhovuje kritériím stanoveným výrobcem

Příloha D - Diagnostikovaná porucha koncového spínače polohy otevřeno „PO“



Příloha E - Odstraněná porucha koncového spínače polohy otevřeno „PO“.

Příloha F - Protokol o kontrole servopohonu dle PPO

č. kroku v TTP	PROTOKOL O KONTROLE SERVOPOHONU DLE PPO						výsledky kontrol OK / KO		
1	Příprava:								
	č. PP:	302 1149 - 02	SJZ:	140015497	PPO:	1157 DPSF D004			
	Typ serva:	52001.052	Výrobní č. serva:	9011770/89					
	Měřidla:								
	TYP:	G18A0H7 - 111 - 3103	VÝR. č.:	0854006					
	TYP:		VÝR. č.:						
	TYP:		VÝR. č.:						
2	Sejmnutí pohonu:								
	stav spoje s armaturou:						OK		
	stav připojovacích svorkovnic, konektorů:						OK		
3	Vizuální kontrola servopohonu: VNĚJŠÍ KORÓZE - OTRAVA MATERIÁLU								
4	Kontrola těsnění:								
	Poškozená těsnění: VYHĚNA TĚSNĚNÍ						OK		
5	Kontrola převodovky a elektromotoru:								
5.1	silový převod:						OK		
	předloha:						OK		
	zdrž:						OK		
	náhon vysílače polohy a spínačů: BEZ VYSÍLAČE						OK		
	náhon mom. spínačů:						OK		
	ložiska motoru:						OK		
5.2	RU-V [Ω]:	29,5 Ω	RV-W [Ω]:	29,5 Ω	RU-W [Ω]:	29,5 Ω	Riz [MΩ]:	780010	OK
	zatěžovací zkouška:						OK		
	ruční ovládání:						OK		
6	Kontrola tukové náplně: VYHĚNA OLEJE						OK		
7	Kontrola funkce ovládací části:								
	napětí zdroje:		mechanický chod vysílače:						
	RMZ [Ω]:	0,03	RMO [Ω]:	0,03	RPZ [Ω]:	0,02	RPO [Ω]:	0,03	OK
8	Nastavení momentových spínačů na momentové stolici:								
	MMAX armatury [Nm]:	MZSTÍTKOVÝ pohonu [Nm]:	MOŠTÍTKOVÝ pohonu [Nm]:	120 - 160 Nm					
č. měření	Původní MZ před nast. [Nm]:	Původní MO před nast. [Nm]:	Nový MZ po nast. [Nm]:	Nový MO po nast. [Nm]:					
1	58	118	125	153		OK			
2	60	200	124	155					
3	60	199	127	152					
4	59	202	126	154					
průměr	59,25	199,75	126,25	153,5					
	Poznámka:								
9	kontrola dotažení svorek (upevnění konektoru):						OK		
	utěsnění vývodek:						OK		
10	Seřízení servopohonu: Vzdálenosti mezi působením jednotlivých mikrospínačů:								
10.1.	[mm]	MZ - PZ:	PZ - PO:	PO - MO:			OK		
	[otáčky]	MZ - PZ:	PZ - PO:	PO - MO:					
10.2.	[mm]	MZ - 4mA	4 - 20mA	20mA - Mo	Bez vysílače polohy		OK		
	[otáčky]	MZ - 4mA	4 - 20mA	20mA - Mo					
11	Kritéria správné funkce servopohonu na pozici:								
	Konecové polohy a momenty:						OK		
	Zpětná vazba:						OK		
	Kontrola samosvomosti a ručního ovládání:						OK		
	chování pohonu v při přejiždění (regulaci):						OK		

demonoval:
strojní části kontroloval:
momenty a elektrovýstavu kontroloval:
seřizoval:

PETERKA
RAXHOŘ
CHUDOBA
Mach

podpis:
podpis:
podpis:
podpis:

datum: 23. 7. 2012
datum: 24. 7. 2012
datum: 25. 7. 2012
datum: 26. 7. 2012