

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie –
technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti využití vybraných nástrojů řízení kvality v oblasti dodávek
obráběných dílů do ŠKODA ELECTRIC a.s.

Autor: **Bc. Žaneta BENEŠOVÁ**

Vedoucí práce: **Ing. Martin MELICHAR, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Žaneta BENEŠOVÁ**
Osobní číslo: **S14N0032K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Možnosti využití vybraných nástrojů řízení kvality v oblasti
dodávek obráběných dílů do ŠKODA ELECTRIC a.s.**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

1. Představení firmy, definice problému
2. Analýza současného stavu
3. Vlastní aplikace
4. Zhodnocení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

- **Nenadál J. a kol.: Moderní management jakosti. Principy. Postupy. Metody. Praha: Management Press, 2008, 378 s. ISBN 978-80-7261-186-7.**
- **Zvoneček, F.; Zídková, H.: Jakost-styl života pro třetí tisíciletí. 2. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2003.139 s.**
- **Interní dokumenty ŠKODA ELECTRIC s.r.o.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Melichar, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. Martin Melichar, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **20. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2014

Poděkování

Děkuji vedoucímu své práce, Ing. Martinovi Melicharovi, Ph.D., za ochotně poskytnuté rady, výborné odborné vedení a čas, který mi poskytl při zpracovávání této práce.

Dále děkuji svým nejbližším a svým kolegům z mého pracovního kolektivu za trpělivost a podporu a Ing. Vladimíru Šitrovi za cenné rady.

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Benešová	Žaneta
STUDIJNÍ OBOR	N2301 Strojírenská technologie – technologie obrábění	
VEDOUcí PRÁCE	Ing. Melichar, Ph.D.	Martin
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Možnosti využití vybraných nástrojů řízení kvality v oblasti dodávek obráběných dílů do ŠKODA ELECTRIC a.s.	

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	78	TEXTOVÁ ČÁST	60	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Cílem této diplomové práce je praktická aplikace vybraných nástrojů kvality na přesně obráběné díly vytipovaného projektu a odhalení tak slabých míst u těchto komponent a zlepšení fungování celého procesu z hlediska dodávek do společnosti ŠKODA ELECTRIC a.s. v Plzni.
KLÍČOVÁ SLOVA	Metoda FMEA, formulář, týmová práce, rizikové číslo, kritéria hodnocení, Paretův graf, Diagram příčin a následků, Škoda Electric a.s., Trakční motory, obráběné díly

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Benešová		Žaneta
FIELD OF STUDY	N2301 Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Ing. Melichar, Ph.D.	Martin	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Possibilities of using the chosen quality management tools in the branch of deliveries the machine parts to ŠKODA ELECTRIC a.s.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	78	TEXT PART	60	GRAPHICAL PART	18
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	The aim of this Diploma thesis is the practical application of the chosen quality management tools to the precisely machined parts of the selected project and improve the process functioning in terms of the deliveries to ŠKODA ELECTRIC a.s. in Pilsen.
TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	
KEY WORDS	FMEA method, form, teamwork, risk priority number, evaluation criteria, Pareto chart, Ishikawa diagram, Traction motors, precision machine parts

Přehled použitých zkratk

DP - Diplomová práce

ŠELC - Škoda Electric a.s.

GET - GE Transportation

FMEA - Metoda možnosti vzniku vad a jejich následků / Failure Mode and Effect Analysis

RPN - Rizikové číslo / Risk priority Number

Obsah

1. Úvod, definice problému, představení firmy	11
1.1. Úvod.....	11
1.2. Cíle DP a definice problému	12
1.3. Základní údaje a charakteristika společnosti	12
1.3.1. Výrobní program divize Trakční motory.....	13
2. Analýza současného stavu.....	14
2.1. Projekt Kazachstán	15
2.2. Trakční motor	17
2.3. Vybrané díly	19
2.4. Nástroj FMEA	21
2.4.1. Historie metody FMEA	21
2.4.2. Rozdělení metody FMEA.....	22
2.4.3. Cíle, přínosy a využití FMEA	22
2.4.4. Tým FMEA	24
2.4.5. Brainstorming.....	24
2.4.6. Postup při FMEA	25
2.5. FMEA výrobku.....	27
2.6. Návrh kritérií nástroje FMEA.....	28
2.7. Diagram příčina následků.....	31
2.7.1. Postup při sestavování diagramu.....	32
2.8. Paretova analýza	33
2.8.1. Postup Paretovy analýzy	34

3. Vlastní aplikace	35
3.1. Návrh formuláře FMEA	36
3.2. Zpracování FMEA	39
3.3. Zpracování výsledků FMEA	45
3.3.1. Analýza rozměrových a tvarových odchylek	45
3.4. Zpracování diagramu příčin a následků.....	48
3.5. Zpracování Paretovy analýzy	53
4. Zhodnocení.....	55
4.1. Ekonomické zhodnocení.....	59
4.2. Foto ukázka hotových dílů	61
5. Závěr.....	62
Seznam použité literatury	63
Seznam použitých obrázků.....	64
Seznam tabulek	65
Seznam příloh.....	65

1. Úvod, definice problému, představení firmy

1.1. Úvod

V moderním řízení výroby se pojmem kvalita nemíní pouze průběžná kontrola výrobků, ale také odstraňování zjištěných nedostatků, jejich předcházení, vylepšování výrobků i motivace pracovníků, aby si kvality hleděli.

Každá práce, která má kvalitní výstup vyžaduje nejen osobní nasazení člověka, jeho znalosti a dovednosti, ale vyžaduje doplnění vhodnými nástroji.^[3] Je neefektivní dopracovat se k cíli zdoluhavou cestou metodou pokus - omyl, ale vhodnější je čerpat znalostí od jiných a zefektivnit tak svoji cestu k úspěchu.^[3] K tomu slouží používané nástroje řízení a zabezpečování jakosti. Tyto metody a analytické techniky jsou zpravidla soustředěny na zvýšení kvality výsledného produktu, snížení chybovosti a na zlepšení celkové organizace práce. Vhodné nástroje budou vybrány i pro splnění cílů této práce.



Obrázek 1 Dosažení cíle^[10]

1.2. Cíle DP a definice problému

Cílem této práce je zajištění kvalitních přesně obráběných dílů na vybraný projekt ve Škoda Electric a.s. a zamezit tak případným vznikajícím problémům a s tím i souvisejícím nákladům na nekvalitu. Použitím metody FMEA budou identifikovány možné typy neshod, za pomoci Paretova diagramu se oddělí podstatné faktory řešených problémů z hlediska časové osy a pomocí Diagramu příčin a následků budou hledány potenciální zdroje problémů.

Využití nástrojů přispěje k monitorování a lepšímu zvládnutí řízení procesu nákupu přesně obráběných dílů, lepšímu pochopení procesu, lepší identifikaci, diagnostice a řešení problémů, k objektivnějšímu rozhodování a tím i k lepšímu fungování celého procesu z hlediska neshodných dodávek.

Analýza bude probíhat před a na začátku zahájení procesu, bude mít tedy i proaktivní charakter a v průběhu projektu bude moc dojít k vlastní aplikaci a vyhodnocení.

1.3. Základní údaje a charakteristika společnosti

Obchodní jméno: ŠKODA ELECTRIC a.s.
Sídlo: Tylova 1/57, 301 28 Plzeň
Výrobní závod: Průmyslová 4, 301 28 Plzeň
Počet zaměstnanců: 770



Obrázek 2 Znak skupiny Škoda^[1]

ŠKODA ELECTRIC a.s. je předním světovým výrobcem trolejbusů, elektrických pohonů a trakčních motorů pro trolejbusy, tramvaje, lokomotivy, příměstské vlakové jednotky, metro, důlní vozidla apod. a navazuje na dlouholetou tradici elektrotechnické výroby Škodových závodů v Plzni, která byla zahájena v roce 1901 v Elektrotechnickém závodě. ^[1]

Vysoká technická úroveň, výkonové parametry a spolehlivost výrobků vychází z výsledků vlastního technického vývoje, s využitím výsledků spolupráce s jinými odbornými pracovišti.

Společnost je schopna dodávat jak kompletní pohony vozidel, které nachází uplatnění u tuzemských i zahraničních zákazníků, tak dílčí komponenty, jako jsou trakční a pomocné elektromotory, řídicí a regulační výkonová elektronika včetně patřičného programového vybavení, zvládnuta byla i náročná technologie výroby statorů lineárních motorů a cívek elektromagnetů pro lineární krokové pohony, určených pro jadernou energetiku. V oboru trolejbusů navazuje společnost ŠKODA ELECTRIC a.s. na dlouhou a úspěšnou tradici výroby trolejbusů, trvající od roku 1936. Společnost převzala tento obor ze společnosti ŠKODA OSTROV a vyvinula ve spolupráci s výrobcí karosérií moderní trolejbusy poháněné asynchronními trakčními motory vlastní výroby, a patří v tomto oboru ke světové špičce. ^[2]

1.3.1. Výrobní program divize Trakční motory

Divize Trakční motory (dále jen "Trakční motory") je světovým výrobcem elektrických trakčních motorů a zabývá se nejen jejich výrobou a prodejem, ale také návrhem, vývojem, servisem a opravami. Trakční motory dodává do tramvají, trolejbusů, lokomotiv, příměstských jednotek i důlních vozidel.

Výrobní program je členěn na:

- Výroba trakčních motorů
 - asynchronní trakční motory
 - stejnosměrné trakční motory
 - synchronizační motory s permanentními magnety
 - lineární krokové motory
- Výroba komponentů trakčních motorů
- Generální opravy, servis a náhradní díly

Výrobní prostor firmy je tvořen jednou halou. Jednotlivá odborná pracoviště charakterizující i technologické možnosti jsou obrábění, svařování, výroba cívek, navíjení, impregnace, montáž, testování. Výrobky, na které jsou třeba jiné speciální technologie nebo převyšují dané možnosti, firma nakupuje nebo kooperuje.

2. Analýza současného stavu

Škoda Electric a.s. uzavřela zajímavý projekt pro rok 2015 a dále, který je pro firmu maximálně důležitý. Cílem projektu je strategický záměr společnosti a to především ukázat své dodávky jako maximálně kvalitní a včasné pro zvednutí prestiže svého jména. Vzhledem k tomu bude vhodné zaměřit se na díly pro tento projekt a zajistit je bezchybně a zamezit tak případným vznikajícím problémům a s tím i souvisejících nákladů na nekvalitu a včasnost plnění termínů.

Hlavními vstupy budou požadavky od zákazníka, které musí být zpracovány do finálního výrobku. Tyto vstupy jsou pro firmu nestandardní a výrazně náročné oproti jiným projektům. Z hlediska vytipovaných dílů dále, budou po určení kritických znaků od zákazníka analyzovány potencionální kritické vady a dle nich navržen samotný díl, technologie a kontrolní plán. Metodou FMEA a s pomocí dalších podpůrných nástrojů kvality, budou analyzovány možné vady, jejich rizika a po realizaci opatření doplněn kontrolní plán tak, že se sníží integrované kritérium rizika. Takový sled zobrazuje následující diagram.



2.1. Projekt Kazachstán

Významným projektem, který Divize Trakční motory podepsala, je smlouva na dodávku 660 kusů kompletních mechanických pohonů pro 110 lokomotiv s americkým koncernem GE Transportation (dále jen GET), který patří ke globálním strojírenským lídrům a mezi největší světové výrobce lokomotiv. Mechanický pohon zahrnuje motor, převodovku a dvojkolí.^[1]

Samotná nová dieselelektrická lokomotiva pro osobní přepravu bude provozována Kazašskými státními dráhami (Kazakhstan Temir Zholy). Maximální rychlost lokomotivy je 160 km/h a má takové uspořádání, kdy na každou lokomotivu připadají dva podvozky, každý se třemi samostatně poháněnými osami. Na každé ose je uložena dvoustupňová převodovka spojená zubovou spojkou s asynchronním motorem, který je pevně připevněn v podvozku.^[1]

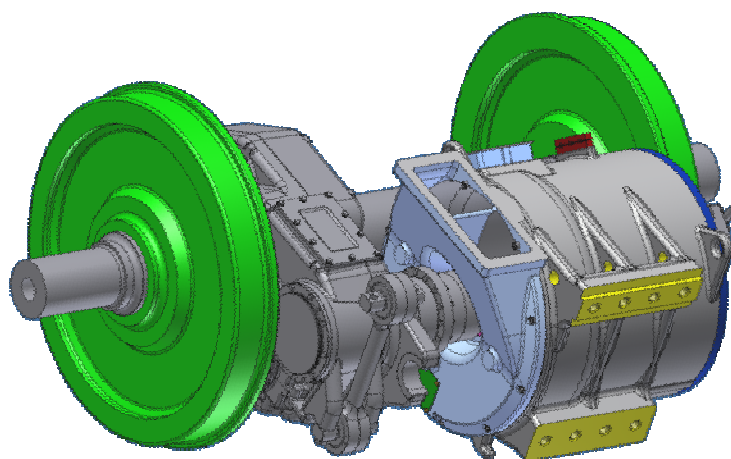
Protože budou lokomotivy jezdit v rozlehlém území Kazachstánu, musí mechanický pohon odolat extrémním podobám klimatu i změny krajiny. Provozovatel vyžaduje extrémní odolnost všech částí stroje a to nejen pro teploty ohraničující hodnoty -55°C a $+55^{\circ}\text{C}$, ale i pro podmínky, kdy se během velmi krátké doby může klima výrazně měnit, např. kdy trasa vede z údolí do hornatého území. Pak během několik desítek minut může dojít ke změně teploty o 20°C . Tyto nároky je nutné zohlednit u všech navržených konstrukcí a materiálu.^[1]



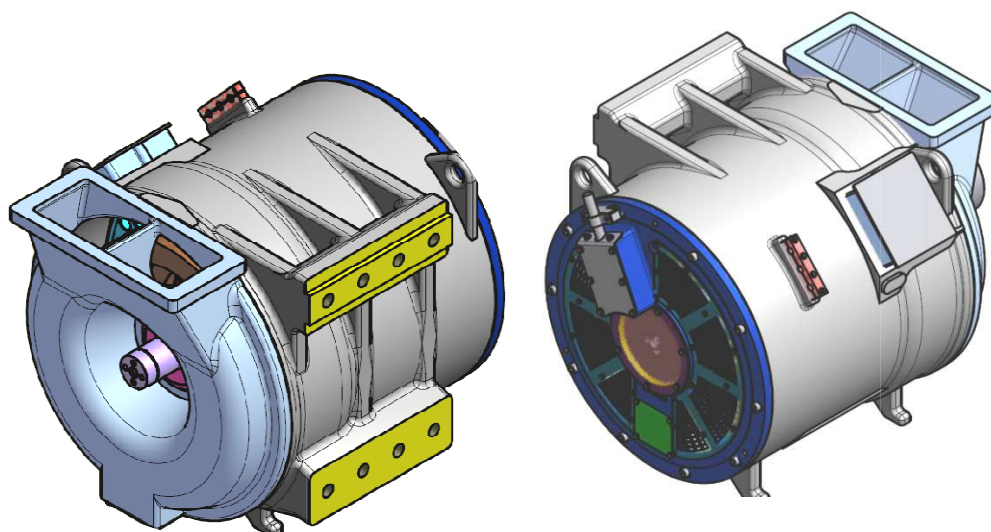
Obrázek 3 Lokomotiva pro Kazachstán ^[5]

Vstupní podmínky projektu Kazachstán	
Předmět zakázky	trakční motor, převodovka, dvojkolí
Rozsah zakázky	660 kompletních mechanických pohonů
Maximální rychlost	160 km/h
Rozsah teplot	- 55° C až + 55° C
Okamžitá změna teplot	až 20° C

Tabulka 1 Vstupní podmínky projektu Kazachstán



Obrázek 4 Vizualizace celého komba pro Loko Kazachstán ^[2]



Obrázek 5 Vizualizace motoru pro Loko Kazachstán ^[2]

2.2. Trakční motor

Trakční motor je elektrický stroj, který slouží k pohonu vozidla a to za pomoci přeměny elektrické energie na mechanickou práci. Zdrojem elektrické energie pro trakci je trolejové napětí (závislá vozidla), dieselelektrický pohon, baterie či akumulátor, solární či palivové články (nezávislá vozidla) nebo jejich kombinace. [2]

Trakční motor se sestává ze dvou částí, statoru a rotoru. Stator je pevná část, která bývá vnější. Na statoru jsou upevněny cívky vinutí s magnetickým obvodem, magnety a elektromagnety. V dutině statoru je pohyblivě umístěn rotor. Rotor je otočná část stroje s magnetickým obvodem, vinutím a hřídelí, na které jsou nasazeny kroužky nebo komutátor. Stroj je konstruován tak, aby na sebe vhodně vzájemně působila magnetická pole rotoru a statoru a působením vytvářela kroutící moment. Kroutící moment je přenášen na hřídel stroje. Otáčející se rotor vykonává mechanickou práci. [2]



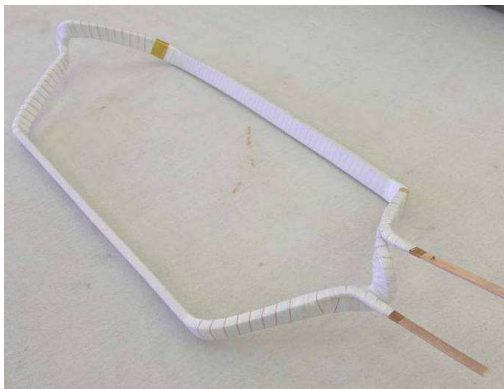
Obrázek 6 Foto ukázka rotoru

Výroba statoru probíhá slisováním tzv. paketu, který se stává z plechů, krajních plechů a stahovacích desek do kostry, která je celistvá nebo svařená z trámců a patek.



Obrázek 7 Foto ukázka statoru svařeného

Takto připravená část statoru se opracuje načisto a založí se vinutím. Vinutí tvoří měděný vodič a izolace. Při výrobě rotoru se plechy, krajní plechy a stahovací desky nasadí za tepla na hřídel, do drážek se zajistí měděné tyče a připájí se měděné kruhy.

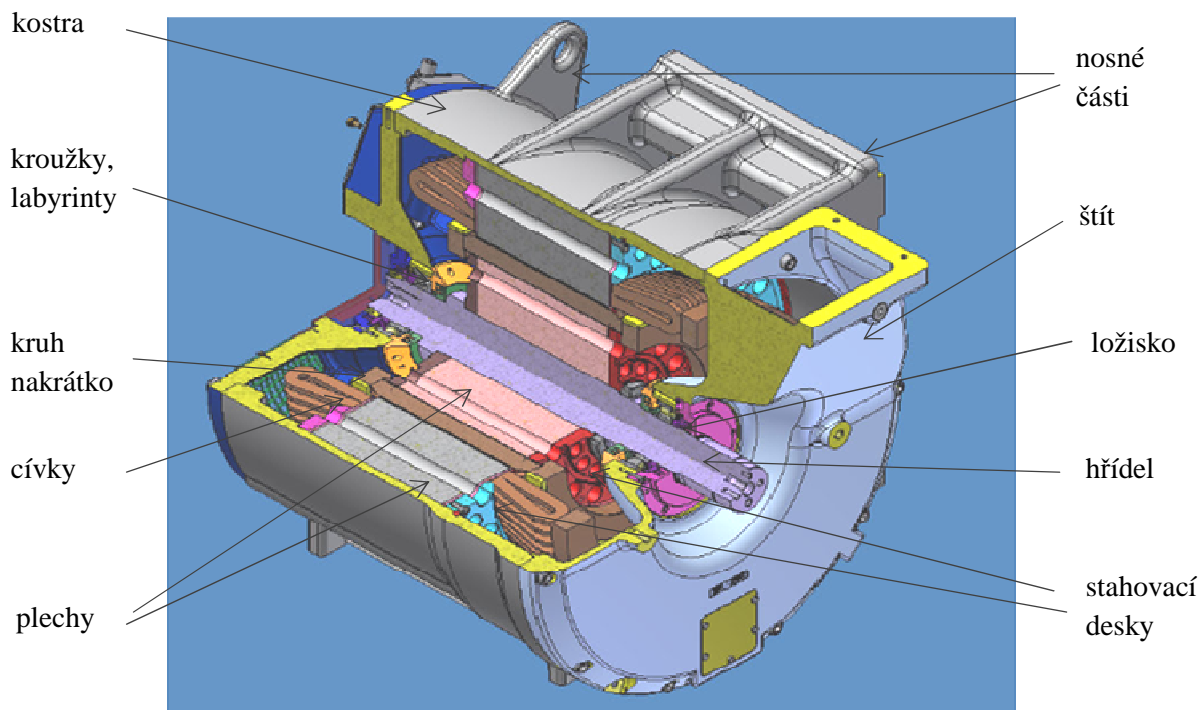


Obrázek 8 Foto ukázka cívky



Obrázek 9 Foto kompletního motoru

Pro kompletaci motoru jsou použity nosné části, ložiskové štíty, ložiska, patky, příruby, kryty, svorkovnice, chlazení, aretace atd.



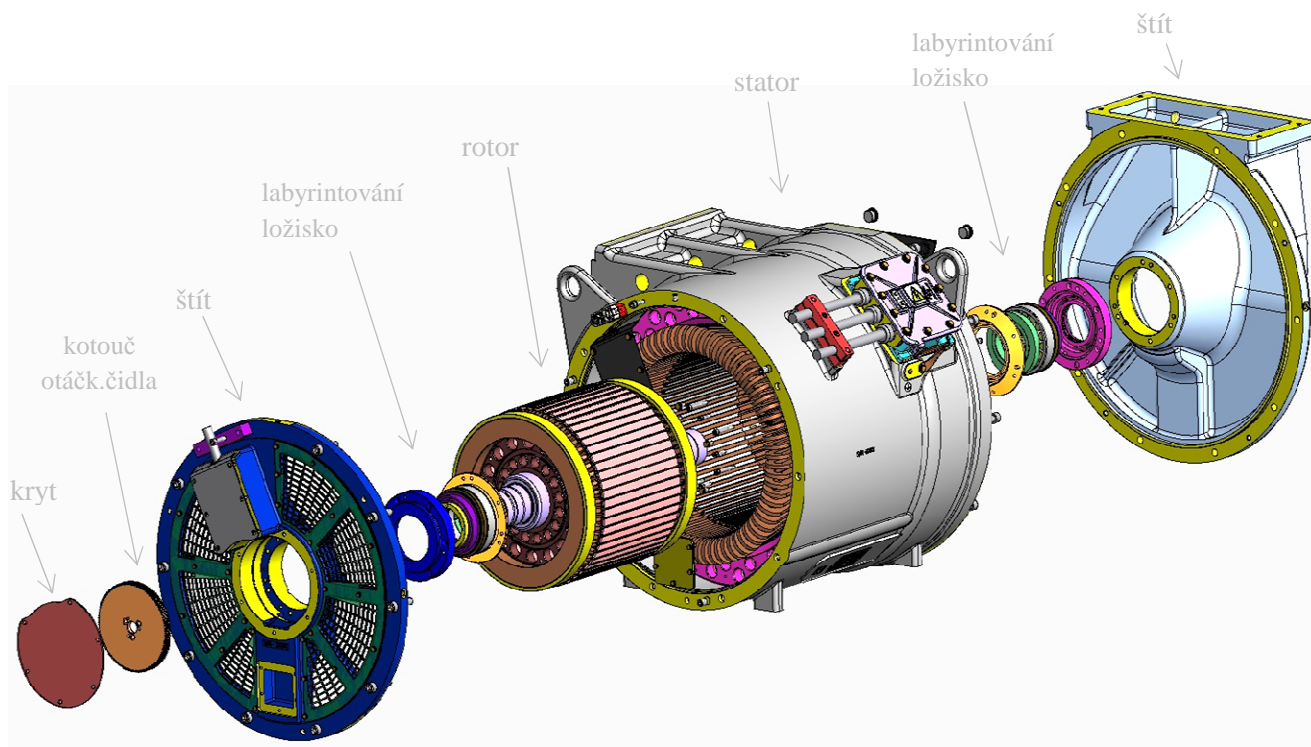
Obrázek 10 3D vizualizace kompletního motoru v řezu

2.3. Vybrané díly

Trakční motor pro projekt Kazachstán se skládá z mnoha komponent a z toho velká část se nakupuje, outsourcuje a kooperuje. Zhruba 80% komponent na motor jsou díly vyráběny na zakázku a jen asi 20% jsou standardizované díly pro montáž.

Jednotlivé komponenty můžeme rozdělit do těchto skupin:

- Odlitky
- Výkovky
- Výpalky, dělený hutní materiál
- Hřídele
- Zámečnické výrobky
- Ložiska
- Elektromateriál, kabely
- Přípravky
- Cu materiál (tyče, kruhy, vodiče)
- Izolační materiál
- Plechy
- Obráběné výrobky
- Díly s ozubením
- Snímače, pt články
- Pájky, tavidla
- Spojovací materiálů, těsnění a ostatní



Obrázek 11 3D vizualizace součástí motoru pro Loko Kazachstán [2]

Mezi významné díly patří přesně obráběné díly dle konkrétních technických specifikací. Protože je snaha pro proaktivní přístup k zajištění dobrých kusů v požadovaném termínu, nestačí jen technické parametry, pořizovací cena a termíny. Je nutný posun požadavků směrem k identifikaci rizik a ohrožení, k zajištění spolehlivosti, bezpečnosti, životnosti a nákladů životního cyklu dodávaných výrobků.

Komodita přesně obráběných dílů pro projekt Kazachstán je aktuálně v ŠELC zavedena jako kompletně nakupované díly. Pro zmíněný významný projekt je vhodné zaměřit se na díly z komodity přesně kovoobráběných dílů a zajistit tak bezchybné díly a zamezit případným vznikajícím problémům a s tím i souvisejících nákladů na nekvalitu.

Mezi přesně obráběné díly projektu Kazachstán a tedy mezi díly, které budou vybrány a sledovány pomocí dále zmíněných nástrojů, patří: hřídel, stahovací desky pro plechy u rotoru i statoru, 7 dílů tvořících uložení a zatěsnění rotoru ve statoru a kotouč čidla pro signál snímači otáček. Tyto položky jsou významné z hlediska technické specifikace, materiálových nákladů a termínů a proto je vhodné jim dát z hlediska kvalitativního, maximální péči a minimalizovat neshody. Již technickým zadáním od zákazníka se vytipované díly budou lišit od standardně podobných dílů u jiných typů motorů.

Technická specifikace v podobě výkresů pro jednotlivé díly je přiložena v příloze.

Číslo výkresu	Název dílu	Počet kusů na motor
ED609616	Hřídel	1 ks
ED609617	Deska stahovací rotoru D-end	1 ks
ED609618	Deska stahovací rotoru N-end	1 ks
ED609607	Deska stahovací statoru D-end	1 ks
ED609876	Deska stahovací statoru N-end	1 ks
ED609699	Distanční vložka	1 ks
ED609700	Kroužek	2 ks
ED609701	Labyrint N-end vnější	1 ks
ED609702	Kroužek distanční	2 ks
ED609703	Labyrint vnitřní	2 ks
ED609704	Kroužek vnitřní	2 ks
ED609754	Labyrint D-end vnější	1 ks
ED609837	Kotouč čidla	1 ks

Tabulka 2 Přehled vybraných dílů Loko Kazachstán

2.4. Nástroj FMEA

FMEA je zkratka z anglického znění Failure Mode and Effect Analysis, které v českém jazyce překládáme jako Analýza možných způsobů a důsledků závad nebo také jako Analýza možnosti vzniku vad a jejich následků.

Metoda představuje týmovou analýzu možností vzniku vad, ohodnocení jejich rizik a návrh a realizaci opatření ke zlepšení jakosti. Zkušenosti ukazují, že použitím této metody lze odhalit 70 až 90% možných neshod. Jedná se tedy o velmi účinnou preventivní metodu zajištění kvality. Používání této metody je doporučováno normami řady ISO 9000 a stále častěji je také požadována zákazníky pro ověření, že výrobce posoudil a vyhodnotil všechna rizika, která mohou vést k selhání výrobku či procesu a provedl vše pro minimalizaci těchto rizik. Jedna z nejdůležitějších podmínek úspěšného uplatnění programu FMEA je jeho včasnost.^[4]

K dosažení největšího přínosu se musí FMEA uskutečnit před tím, než byla možnost vzniku závady výrobku nebo procesu do výrobku nebo procesu zabudována.

FMEA je přísně direktivní metodou, norma přesně definuje, co musí být provedeno. Česká verze této normy je ČSN EN 60812: Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).



Obrázek 12 Rizika?^[10]

2.4.1. Historie metody FMEA^[9]

Metoda FMEA byla vyvinuta v 60. letech minulého století v USA během vesmírného programu společnosti NASA, jako nástroj pro hledání závažných rizik. První civilní využití této metody bylo ve společnosti Ford asi o 10 let později. Z důvodu špatné kvality projektu Ford Pinto, byla poprvé využita tato metoda a následně dále používána a rozšiřována.

Na začátku 80. let byla metoda FMEA zpracována do jednotné příručky a byla zahrnuta do normy QS9000. V průběhu posledních 20 let se FMEA postupně vyvíjela a rozšiřovala, vznikly například metody VDA, DRBFM, FMECA aj. které navazují nebo mají základ v této metodě.

2.4.2. Rozdělení metody FMEA

FMEA můžeme rozdělit na více druhů, hlavním předpokladem je, že pro každý projev poruchy se na nejnižší úrovni analyzují možné lokální nebo systémové následky. ^[4]

- FMEA konstrukce (FMEA-K)
Zkoumá všechny možné selhání systému, přičemž vychází z jeho funkcí. Možné příčiny poruch mohou být konstrukčního charakteru.
- FMEA procesu (FMEA-P)
Zkoumá všechny potenciální poruchy procesu výroby a montáže a jejich příčiny a určuje nezbytná nápravná opatření jako při FMEA konstrukce.
- FMEA výrobku (FMEA-V)
Zkoumá konstrukci a výrobní proces výrobku jako celek a analyzuje je v jednom projektu FMEA. Dochází k tomu nejčastěji ve formě nakupovaného dílu.
- FMEA výrobních prostředků (FMEA-VP)
Optimalizuje výrobní prostředky a používá se jako součást programů TPM s cílem snížit rizika možných poruch důležitých zařízení.

2.4.3. Cíle, přínosy a využití FMEA ^[6]

FMEA se dá popsat jako systematický soubor činností prováděných s cílem:

- identifikovat a vyhodnotit potenciální závady výrobku/ procesu a důsledky této chyby
- určit nápravné opatření, která by mohla pravděpodobnost výskytu možné závady omezit. Tím se zvýší funkční bezpečnost a spolehlivost produktů/ procesů.
- celý proces dokumentovat. Doplnuje proces definování toho, co musí návrh nebo proces pro uspokojení zákazníka splňovat.



Obrázek 13 FMEA - systematický soubor ^[10]

Hlavní přínosy metody jsou:

- systémový přístup k prevenci nekvality
- snížení ztráty vyvolané nízkou kvalitou systému
- zkrácení doby řešení vývojových prací
- optimalizace návrhů a snížení počtu změn ve fázi realizace - umožňuje dělat věci správně napoprvé
- umožnění ohodnocení rizika možných chyb a na jeho základě stanovení priority a opatření vedoucí ke zlepšení kvality návrhu
- podpoření účelného využívání zdrojů
- vytváření velmi cenné informační databáze o systému, využitelnosti pro podobné systémy (TPV, konstrukce)
- poskytnutí podkladů pro zpracování nebo zlepšení plánu jakosti
- je důležitou součástí kontrolního systému v oblasti tvorby návrhu
- zlepšení značky - jméno a konkurenceschopnost organizace
- pomáhá zvýšení spokojenosti zákazníka
- náklady vynaložené na její provedení jsou pouze zlomkem nákladů, které by mohly vzniknout při výskytu neshod

Jsou tři základní situace, ve kterých se FMEA vypracovává, a v každé je její předmět nebo zaměření jiné:

- o Nové návrhy, nové technologie nebo nové procesy. Předmětem FMEA je celý návrh technologie nebo proces.
- o Změna stávajícího návrhu nebo procesu. FMEA se má soustředit na změnu v procesu navrhování, na možné interakce změnou vyvolané a na projev výrobku v provozu.
- o Použití stávajícího návrhu nebo procesu v novém prostředí, na novém místě nebo pro nové uplatnění. Předmětem FMEA je dopad nového prostředí nebo místa na stávající návrh nebo proces.

2.4.4. Tým FMEA

Tým by mělo tvořit maximálně dvanáct nositelů znalostí z jednotlivých oddělení, jako jsou pracovníci vývoje, konstrukce, technologie, výroby, zkušeben, řízení kvality, servisu a další. V týmu však mají své místo i zástupci ekonomického útvaru nebo zásobování. Mezi všemi týmy pro FMEA by měla existovat komunikace a koordinace. Diskuze může probíhat formou brainstormingu a pro práci týmu je důležitý schopný moderátor. ^[6]

Mezi důležité aspekty týmové práce patří odborná vyváženost, ovládnutí potřebných analytických a zlepšovacích nástrojů, technik a metod řízení kvality a vzájemná kombinace tvůrčích schopností. Dalším důležitým rysem týmové práce je komunikativnost. V týmu se mohou uplatnit pouze lidé, kteří jsou ochotni spolupracovat, naslouchají názorům druhých a jsou schopni kompromisu. ^[3]

2.4.5. Brainstorming

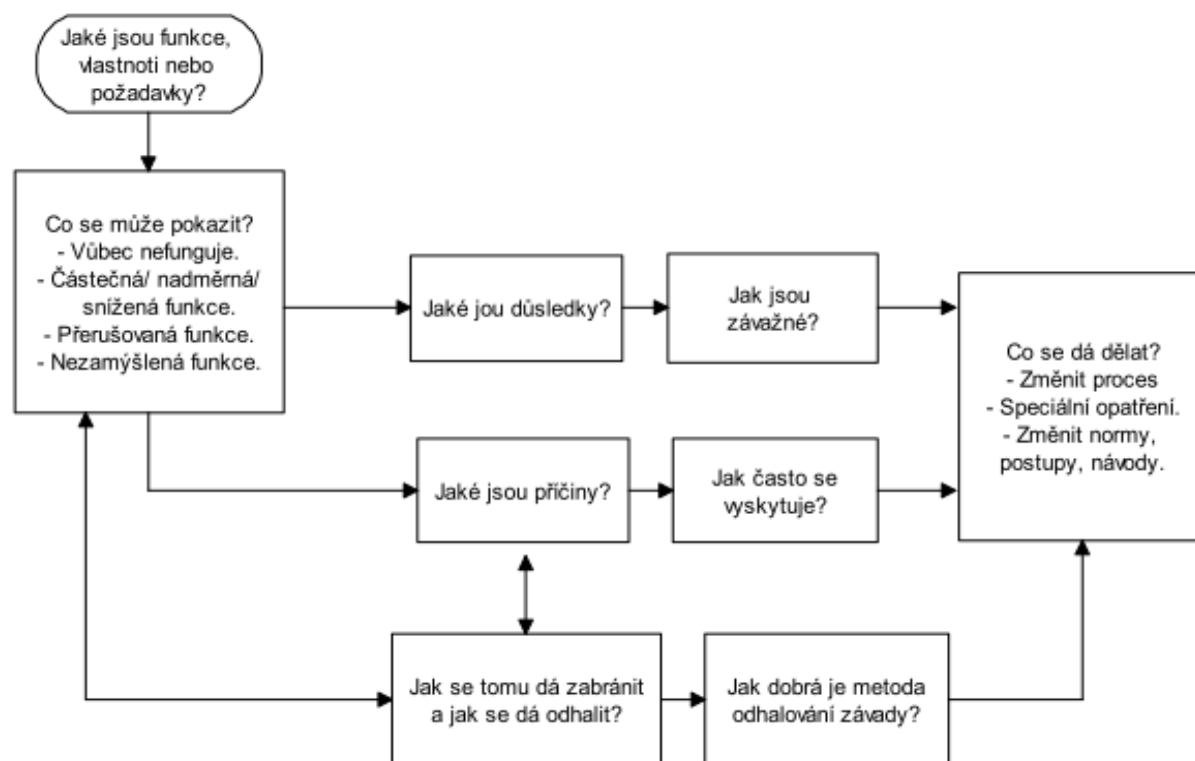
Brainstorming je postup, kdy se pomocí volné diskuze týmu získávají tvůrčí nápady na zlepšení. Můžeme to také nazvat burzou nápadů. Důležitým pravidlem brainstormingu je, že diskuzi řídí pouze jeden vedoucí – moderátor. Dále nesmí hovořit více osob naráz, každý se vyjadřuje pouze k projednávanému tématu, každý může říci svůj libovolný nápad, bez ohledu na realizovatelnost a nemusí svůj názor zdůvodňovat. Cílem je kvantita návrhů a diskuze skončí v případě, kdy žádný z účastníků nemá pět minut nový námět. Moderátor provádí záznam a následuje vyhodnocení. ^[3]



Obrázek 14 Brainstorming ^[10]

2.4.6. Postup při FMEA

Před samotným zpracováním FMEA je třeba si dobře uvědomit a promyslet, jak bude analýza probíhat. Takový sled zobrazuje následující diagram. ^[6]



Plán průběhu analýzy FMEA je ^[4]:

1. etapa – plánování a příprava, vytyčení cílů, sestavení pracovního týmu, sběr informací
2. etapa – analýza možných chyb, definice komponentů a uzlů, součástí, prvků, procesů, strojních zařízení, operací, apod. včetně definice jejich funkcí, hledání potenciálních druhů chyb a jejich příčin, stanovení a odhad účinků těchto chyb, návrh a popis aktivit k odkrytí a zábraně chyb za současného stavu, úrovně poznání, reálných možností, apod.
3. etapa – vyhodnocení rizika, posouzení a odhodnocení 3 faktorů (pravděpodobnost výskytu vady, význam vady, pravděpodobnost odhalení vady)
4. etapa – zlepšení kvality, návrh alternativních řešení, dávat přednost opatření pro prevenci chyb před opatřeními pro jejich následné odhalení

5. etapa – výběr a zhodnocení návrhů, výběr vhodných návrhů na zlepšení, posouzení nákladů a termínů možné realizace, nový propočtení rizikového čísla RZ u alternativního řešení a porovnání s původním propočtem
6. etapa – zavedení doporučených návrhů, návrh plánu realizace, určení zodpovědnosti za realizaci a zavedení, časový harmonogram zavedení

Po přípravě se v rámci druhé etapy zpracuje přehled všech možných závad, které by mohly nastat. U možných závad se analyzují možné následky, ke kterým mohou závady vést, přičemž jako následek se chápe působení na zákazníka/ odběratele. Ke každé možné závadě se analyzují možné příčiny, které mohou závadu vyvolat.

Po provedení analýzy vstupujeme do 3. etapy, kdy následuje hodnocení současného stavu, při kterém se u identifikovaných závad hodnotí tři základní hlediska: význam vady, očekávaný výskyt vady a odhalitelnost vady.

Po stanovení všech tří bodových hodnocení se pro každou možnou závadu, která může vzniknout vlivem určité příčiny, vypočte integrované kritérium, tzv. rizikové číslo RPN (z anglického znění Risk priority number), které představuje součin příslušných bodových hodnocení jednotlivých kritérií. Hodnota rizikového čísla by měla sloužit ke stanovení pořadí důležitosti jednotlivých možných závad vyvolaných určitou příčinou. Vzhledem k tomu, že jednotlivá dílčí kritéria budou hodnocena v rozmezí od jednoho do deseti bodů, může se rizikové číslo pohybovat v rozmezí od 1 do 1000. ^[6]

$$\text{RPN} = \text{význam} \times \text{výskyt} \times \text{odhalitelnost}$$

Po provedeném hodnocení a stanovení rizikových čísel následuje vyčlenění skupiny těch možných závad, jejichž riziková čísla jsou příliš vysoká, tzn. budou přesahovat kritické RPN, a bude nutné navrhnout opatření ke snížení rizika. Kromě hodnoty rizikového čísla je vždy potřeba ještě analyzovat ty možné závady, u nichž některé z dílčích kritérií dosahovalo vysoké hodnoty. ^[6]

Následná činnost je přijmout účinné preventivní opatření a opatření k nápravě a vhodně sledovat výsledky těchto akcí. FMEA by měla vždy odrážet poslední stav i poslední příslušná opatření včetně těch, která se uskutečnila po zahájení výroby. ^[6]

2.5. FMEA výrobku

Jednou z forem FMEA analýzy je FMEA výrobku, FMEA-V, která zkoumá konstrukci a výrobní proces výrobku jako celek a analyzuje je v jednom projektu FMEA. Tato FMEA je iniciována zákazníkem/ odběratelem a obvykle jí zákazník řídí a koordinuje. Typické prvky pro FMEA-V jsou:

- funkčně orientovaný způsob myšlení a postupu
- systematický pracovní postup
- týmová práce
- využívání metod kreativity
- formulace návrhů na zlepšení kvality

FMEA-V zahrnuje část konstrukce a návrhu výrobku, kde se zaměřujeme na druhy vad způsobené nedostatky konstrukce a procesní část, kdy analyzujeme výrobní a montážní procesy, nedostatky procesu výroby nebo montáže. FMEA-V je používána týmem především k ujištění, že byly vzaty v úvahu a řešeny všechny možné druhy vad a s nimi spojené příčiny/mechanismy. FMEA-V bere v úvahu změny návrhu výrobku k překonání slabín procesu, ale především charakteristiky návrhu výrobku ve vztahu k plánovanému procesu výroby nebo montáže, aby se zajistilo, že výsledný výrobek bude v největší možné míře splňovat potřeby a očekávání zákazníka.

2.6. Návrh kritérií nástroje FMEA

Hodnocení kritérií významu závady: ^[6]

Důsledek vady	Kritéria závažnosti (dopad na zákazníka)	Kritéria závažnosti (dopad na výrobu/ montáž)	Známka
Kritický, bez výstrahy	Ohrožení bezpečného provozu vozidla a/nebo nesplnění závazného předpisu s výstrahou.	Bez výstrahy ohrožení operátora (nebo stroje, sestavy).	10
Kritický s výstrahou	Ohrožení bezpečného provozu vozidla a/nebo nesplnění závazného předpisu s výstrahou.	Ohrožení operátora (stroje nebo sestavy) s výstrahou.	9
Velmi závažný	Vozidlo/ prvek nefunkční (ztráta základní funkce).	Vozidlo/ prvek se musí opravit v opravárenské dílně za dobu delší než hodinu.	8
Závažný	Vozidlo/ prvek funguje, ale úroveň výkonu snižena. Zákazník nespokojen.	Vozidlo/ prvek se musí opravit v opravárenské dílně za dobu od ½ do 1 hodiny.	7
Mírný	Vozidlo/ prvek funguje, ale položky určující komfort/pohodlí nefungují. Zákazník nespokojen.	Vozidlo/ prvek se musí opravit v opravárenské dílně za dobu kratší než ½ hodiny.	6
Nízký	Vozidlo/ prvek funguje, ale položky určující komfort/pohodlí fungují se sníženým výkonem. Zákazník poněkud nespokojen.	Oprava, ale nemusí se jít do opravárenského oddělení.	5
Velmi nízký	Úprava/ skřípot a drnčení prvku neodpovídá. Vady si všimne většina zákazníků (přes 75%).	Oprava, ale nemusí se jít do opravárenského oddělení.	4
Nepatrný	Úprava/ skřípot a drnčení prvku neodpovídá. Vady si všimne 50 % zákazníků.	Oprava, ale nemusí se jít do opravárenského oddělení.	3
Zanedbatelný	Úprava/ skřípot a drnčení prvku neodpovídá. Vady si všimne kritičtí zákazníci (méně než 25%).	Oprava, ale nemusí se jít do opravárenského oddělení.	2
Žádný	Žádný znatelný důsledek.	Nepatrná obtíž v operaci nebo pro operátora nebo žádný dopad.	1

Tabulka 3 Hodnocení kritérií významu závady

Hodnocení kritérií odhalitelnosti závady: ^[6]

Odhalení vady	Kritéria	Druh kontroly			Návrh rozsahu metod odhalování	Známka
		A	B	C		
Téměř vyloučené	Absolutní jistota, že nebude odhaleno.			X	Nedá se odhalit nebo se nekontroluje.	10
Velmi nepravděpodobné	Nástroje řízení poruch pravděpodobně neodhalí.			X	Řízení se provádí jen nepřímo nebo náhodnými kontrolami.	9
Nepravděpodobné	Nástroje řízení mají malou šanci poruchu odhalit.			X	Řízení se provádí jen vizuální kontrolou.	8
Velmi nízká pravděpodobnost	Nástroje řízení mají malou šanci poruchu odhalit.			X	Řízení se provádí jen dvojí vizuální kontrolou.	7
Nízká pravděpodobnost	Nástroje řízení mohou odhalit.		X	X	Řízení se provádí pomocí diagramů jako je SPC.	6
Mírná pravděpodobnost	Nástroje řízení mohou odhalit.		X		Řízení se opírá o měření, když součásti opustily pracoviště, nebo kontrolu kalibrem sta procent součástí, když opustily pracoviště.	5
Poněkud vyšší pravděpodobnost	Nástroje řízení mají dobrou šanci odhalit.	X	X		Odhalení chyb v následných operacích nebo kontrola kalibrem prováděná po seřízení a kontrola prvního kusu.	4
Vysoká pravděpodobnost	Nástroje řízení mají dobrou šanci odhalit.	X	X		Odhalení chyb na pracovišti nebo v následujících operacích vícenásobnými přejímkami: při dodání, výběru, instalaci, verifikaci. Nedají se převzít neshodné součásti.	3
Velmi vysoká pravděpodobnost	Nástroje řízení téměř s jistotou odhalí.	X	X		Odhalení chyb na pracovišti (automatické měření s automatickým pozastavením). Nemůže propustit neshodné díly.	2
Téměř jistota	Nástroje řízení odhalí s jistotou.	X			Neshodné součásti se nedají vyrobit, protože prvek byl návrhem procesu/ výrobku proti vzniku vad zajištěn.	1

Druh kontroly: A. Zajištěno proti chybám B. Kontrola kalibrem C. Ruční kontrola

Tabulka 4 Hodnocení kritérií odhalitelnosti závady

Hodnocení kritérií výskytu závady: ^[6]

Pravděpodobnost výskytu vady	Možný výskyt (četnost)	Známka
Velmi vysoká: Neustálé závady	1-2 ze 2	10
	1 ze 3	9
Vysoká: Časté závady	1 z 8	8
	1 z 15	7
Mírná: Občasné závady	1 ze 40	6
	1 ze 100	5
	1 ze 400	4
Nízká: Poměrně málo závad	1 ze 2 000	3
	1 ze 15 000	2
Vzácná: Závada nepravděpodobná	≤ 1 z 150 000	1

Tabulka 5 Hodnocení kritérií výskytu závady

Po provedeném hodnocení a stanovení rizikových čísel (RPN) následuje vyčlenění skupiny těch možných závad, jejichž riziková čísla jsou příliš vysoká, a bude nutné navrhnout opatření ke snížení rizika.

K tomuto účelu se používá porovnání dosažené hodnoty rizikového čísla se stanovenou kritickou hodnotou. Často používanou kritickou hodnotou rizikového čísla je hodnota 125, která odpovídá průměrnému hodnocení všech dílčích kritérií.

Význam	Výskyt	Odhaltelnost	Charakteristika	Potřeba opatření
1	1	1	Ideální, cílový stav	NE
1	1	10	Bezpečně řízený proces	NE
10	1	1	Vada se nedostane k zákazníkovi	NE
10	1	10	Vada se může dostat k zákazníkovi	ANO
1	10	1	Častá, snadno odhalitelná závada, která ale stojí peníze	ANO
1	10	10	Častá vada, která se může dostat k zákazníkovi	ANO
10	10	1	Častá vada velkého významu	ANO
10	10	10	NIC není v pořádku	ANO

Tabulka 6 Zvláštní rozdělení při hodnocení rizika možných závad a potřeba opatření

2.7. Diagram příčina následků

Diagram příčin a následků, též Išikawův diagram nebo též diagram rybí kostry, který poprvé představil Kaoru Išikawa, řeší určení pravděpodobné příčiny problému, který řešíme. Tento nástroj je použit v týmu, kde pomocí brainstormingu jsou hledány všechny možné, i málo pravděpodobné, příčiny problému. Různé faktory ovlivňující výsledek jsou znázorněny graficky do diagramu. Išikawův diagram se používá pro hledání nejpravděpodobnějších příčin problému, pro roztrídění a seřazení vlivu možných příčin. ^[4]

Při sestavování diagramu tvoří problém hlavu pomyslné rybí kostry a hlavní kosti vedoucí od páteře znamenají oblasti či kategorie, ve kterých se může problém nacházet. Vedlejší kosti pak znamenají konkrétní potencionální příčiny. Takto lze diagram vést ve více úrovních příčin a podpříčin. ^[4]

Obrácený Išikawův diagram se nazývá Awakišův diagram a slouží například k zachycení potřebných úkolů, které je třeba vykonat pro dosažení nějakého cíle. ^[4]

Diagram příčin a následků nemusí řešit jen nedostatky. Za jeho pomoci lze řešit možné požadavky zákazníků, případně možná opatření ke zlepšení. Diagram umožňuje systémový přístup k řešení problému, umožňuje i dodatečně podrobně zmapovat řešený problém a při jeho řešení se můžou objevit náměty, které představují nová, nekonvenční řešení problému. ^[3]

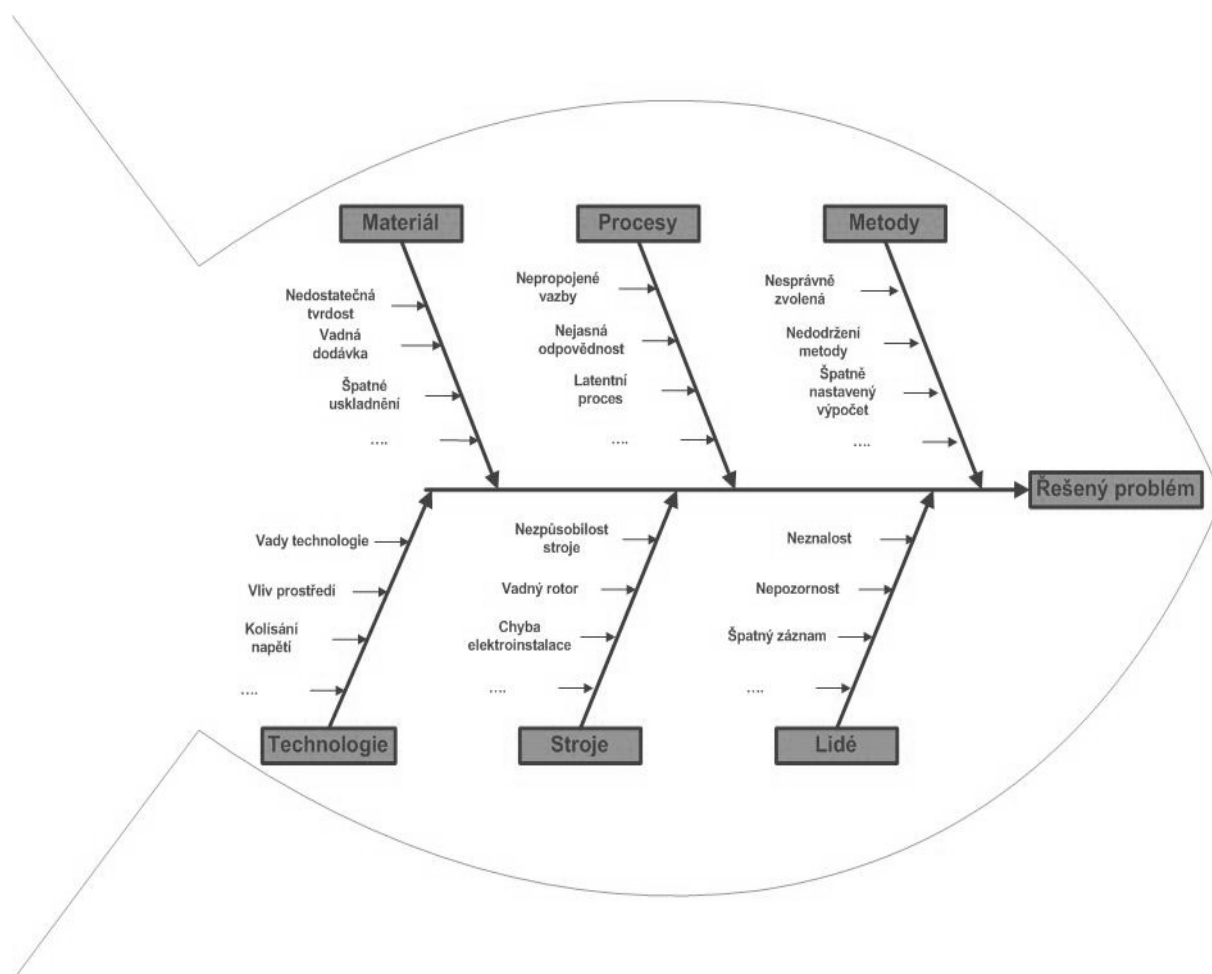
Výhody diagramu rybí kostry jsou:

- jednoduchost a snadná pochopitelnost
- systematický přístup k řešení problému
- podrobné zmapování problému

Často jsou díky diagramu nacházeny náměty k nekonvenčnímu řešení.

2.7.1. Postup při sestavování diagramu ^[3]

1. Jasně a stručně definování následku
2. Zapsání následku do rámečku na pravé straně pracovní plochy a zakreslení hlavní osy
3. Určení hlavních kategorií možných příčin
4. Zakreslení větví hlavních kategorií příčin
5. Analýza příčina podpříčin různých úrovní v jednotlivých hlavních kategoriích
6. Volba určitého malého počtu kořenových příčin, o nichž lze předpokládat, že mají největší vliv na posuzovaný následek



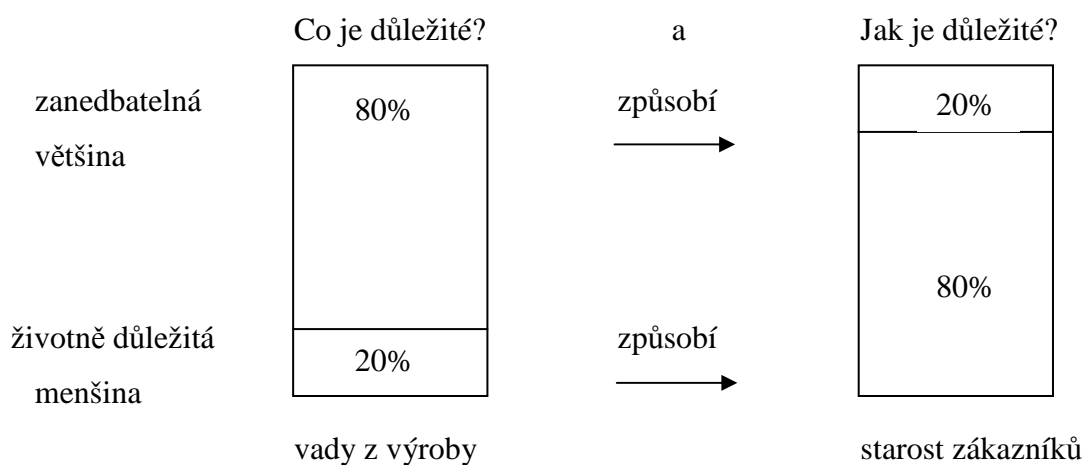
Obrázek 15 Diagram rybí kostry ^[9]

2.8. Paretova analýza

Analýza pomocí Paretova grafu je důležitým nástrojem, který umožňuje proniknout do podstaty jevů, napomáhá oddělit podstatné faktory řešeného problému od méně podstatných. S pomocí Paretova pravidla se snažíme definovat hlavní nositele problému v procesu. Díky názorné prezentaci je dobrým pomocníkem při určení priorit při zavádění nápravných opatření.

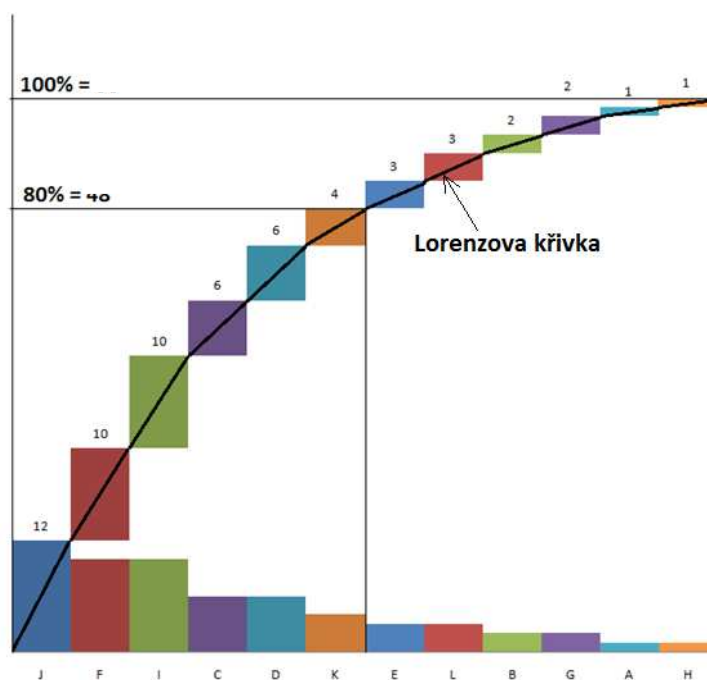
Paretovu analýzu definoval italský ekonom Vilfredo Pareto, který v roce 1897 přišel na to, že 80% bohatství země je v rukou 20% lidí. Většina lidí předpokládala, že 50% úsilí vede přibližně k 50% výsledků, resp. že 50% vstupů vytváří 50% výstupů. To však Vilfredo Pareto vyvrátil. Ve svém pravidle vyvrátil základní rovnováhu mezi vynaloženým úsilím a následnou odměnou. Paretova analýza vychází z principu, který říká: 20% všech našich činností přináší 80% zisku.^[4] Tento Paretův princip transformoval J.M.Juran do oblasti řízení kvality a formoval ho: Většina následků – problémů s kvalitou (asi 80%) je způsobena pouze malým podílem příčin (asi 20%) z jejich celkového počtu.^[3] Je-li tomu tak, pak nemá smysl se stejně důsledně zabývat všemi problémy. Vhodnější je zaměřit se na ty problémy, které mají největší efekt.^[3]

Paretův diagram, kromě grafického znázornění závažnosti jednotlivých příčin, umožňuje tyto dvě skupiny příčin rozlišit. Identifikace životně důležité menšiny (malá skupina příčin) umožňuje soustředit pozornost přednostně na odstranění těch příčin, které se nejvíce podílejí na analyzovaném problému.^[3]



2.8.1. Postup Paretovy analýzy ^[4]

1. Definování místa analýzy - výběr procesu, činností, kde chceme zvýšit zisk nebo efektivitu. Může se např. jednat o reklamace, neshody ve výrobě, administrativě, úspěšnost produktů apod.
2. Sběr dat - pro analýzu je zapotřebí získat relevantní data o fungování a jejich hodnoty se zapíše do tabulky.
3. Uspořádání dat - získaná data se seřadí podle největšího výskytu, četností, největší váhy, či jiného kritéria. Vždy se však seřadí od největší zvolené hodnoty po nejmenší.
4. Lorenzova kumulativní křivka - tato křivka vznikne tak, že se kumulativně sečtou hodnoty u jednotlivých dat a vynesou se do grafu.
5. Stanovení kritéria rozhodování - zde se můžeme rozhodnout využít striktně Paretova pravidla 80/20 a nebo si také můžeme vybrat, že chceme odstranit jen 60% neshod apod.
6. Identifikování hlavních příčin - z levé strany grafu vzniklého z dat zapsaných do tabulky, z hodnoty 80% vyneseme čáru na kumulativní Lorenzovu křivku. Z ní pak spustíme svislou čáru, která nám oddělí ty případy, příčiny, kterými se máme zabývat. Ty, které mají největší vliv na následky.
7. Stanovení nápravných opatření k odstranění nebo rozvoji příčin, které nám způsobují nejvíce ztrát, nebo naopak vedou k navýšení zisku.



Obrázek 16 Paretoův graf [7]

3. Vlastní aplikace

Vybrané nástroje popsané v předchozí kapitole budou aplikovány na díly, které spadají do kategorie obráběných dílů projektu Kazachstán, s cílem odladit díly a zamezit tak případným problémům. Metoda FMEA napomůže zanalyzovat možnosti vzniku vad a budou navrženy opatření ke zlepšení jakosti.

Protože navržené možné vady můžou mít mnoho příčin, bude zpracován diagram příčin a následků pro jednotlivé skupiny dílů a budou tak hledány všechny možné příčiny a faktory ovlivňující výsledek.

Aby bylo možné efektivně zpracovat navržená opatření pro rizikově vyhodnocené možné závady, bude využito Paretova pravidla a budou tak určeny priority při zavádění nápravných opatření.

Všechny metodiky budou vycházet z námi již známé teorie a diskuze budou řízeny dle pravidel brainstormingu.

Pro metodiku FMEA bude v první fázi navržen potřebný formulář a bude nastavena kritická hodnota rizikového čísla. Ta bude nastavena na hodnotu 100. Od této hodnoty bude přistoupeno k návrhu opatření s cílem rizikové číslo snížit.

Diagram rybí kostry bude vycházet od pomyslné hlavy, kde bude zachycen problém, který může nastat, a k němu budou hledány možné příčiny. Jednotlivé příčiny budou diskutovány po jednotlivých kategoriích.

Zpracování Paretovy analýzy proběhne rozdělením jednotlivých závad dle jejich četnosti a za pomocí Lorenzovy kumulativní křivky rozhodneme, které potencionální závady způsobují problémy, kterými se prioritně budeme zabývat. Bude využito standardního pravidla 80/20.



Obrázek 17 Aplikace

3.1. Návrh formuláře FMEA

ANALÝZA MOŽNÝCH ZÁVAD A JEJICH DŮSLEDKŮ (FMEA)										FMEA číslo: 1)			
										strana:			
Prvek: 2)				Odpovědnost za proces: 3)				Zpracoval: 4)					
Vozidlo-model/rok: 5)				Rozhodné datum: 6)				Datum zprac.: (orig) 7) (rev)					
Řešitelský tým: 8)													
a) Analýza a hodnocení současného stavu													
Prvek	Funkce	Možná závada	Možné následky závady	Význam	Kritičnost	Možné příčiny závady (mechanismy vady)	Výskyt	Stávající opatření pro prevenci	Stávající řízení procesu - odhalování	Odhalitel-nost	Rizikové číslo		
9)		10)	11)	12)	13)	14)	15)	16)	16)	17)	18)		
b) Návrh opatření						c) Hodnocení stavu po realizaci opatření 22)							
Doporučená opatření				Odpovědnost/ Termín realizace		Provedená opatření				Význam	Výskyt	Odhalit el-nost	Rizikov é číslo
19)				20)		21)							

- 1) **FMEA číslo** Číslo dokumentu FMEA, které může sloužit pro další sledování. ^[6]
- 2) **Prvek** Název a číslo systému, subsystému nebo položky. ^[6]
- 3) **Odpovědnost za proces** Funkce, útvar a skupina a název dodavatele, je-li známý. ^[6]
- 4) **Zpracoval** Jméno, telefon a společnost technika odpovědného za vypracování FMEA. ^[6]
- 5) **Vozidlo-model/ rok** Příslušné číslo modelu nebo ročník, pro které bude analýza využita a/nebo které jí budou ovlivněny. ^[6]
- 6) **Rozhodné datum** Požadovaný termín ukončení FMEA. ^[6]
- 7) **Datum zprac.** Datum vypracování prvotní FMEA a datum poslední revize. ^[6]
- 8) **Řešitelský tým** Jména odpovědných pracovníků a útvarů oprávněných určovat a/nebo vykonávat úkoly. (Doporučuje se také uvést telefon, adresu, atd. každého člena týmu.) ^[6]
- 9) **Prvek/ Funkce** Název a jiné významné informace analyzovaného prvku.
- 10) **Možná závada** Posouzení možných závad, které mohou nastat. Předpokládáme, že se porucha může, ale nemusí vyskytnout. (Ohnuté, prasklé, poškozeno, příliš drsný povrch, přerušovaný okruh, s otřepy, díra příliš mělká, znečištěno, deformováno, nesprávný popis,...) ^[6]
- 11) **Možné následky závady** Posouzení, jaký dopad bude mít vznik závady na zákazníka nebo na navazující procesy. Důsledky pro finálního uživatele se popíší jako projevy výkonu výrobku nebo systému (hluk, nepravidelná funkce, nestabilní, vynechává, špatný vzhled, zhoršené ovládání, drsnost, netěsní, průvan,...) a pro následující operace/ pracoviště (nedrží, nedá se montovat, poškozuje zařízení, nelícuje, nedá se spojit,...) ^[6].
- 12) **Význam** Význam je známka spojená s nejzávažnějším následkem daného způsobu závady. Hodnocení se vyjadřuje podle tabulky kritérií významu na stupnici 1 až 10 bodů.
- 13) **Kritičnost** Klasifikace jakékoli speciální charakteristiky výrobku nebo procesu (kritické, klíčové, hlavní, významné,...) nebo zdůraznění způsobů závad s vysokou prioritou pro technické vyhodnocení. ^[6]
- 14) **Možné příčiny závady** Posouzení nedostatků. Je to způsob jakým se závada může vyskytnout, popsáný jako něco, co se dá napravit nebo zvládnout. Je to příznak slabiny návrhu, jejímž důsledkem je způsob závady. Příčiny by se měly popsat tak, aby mohla být opatření k nápravě zaměřena na související příčiny. Zaznamenávají se výhradně specifické chyby nebo nesprávné fungování, nemají se používat nejednoznačná vyjádření jako chyba operátora, nesprávná funkce stroje. (Nesprávný točivý moment – nedostatečný, nadměrný; nesprávné svařování – proud, doba, tlak;

nepřesné měření; nesprávné tepelné zpracování – doba, teplota; nevhodné vtoky/průtoky; nevhodné nebo žádné mazání; opotřebený nástroj; nesprávné seřízení stroje;...) [6]

15) Výskyt

Hodnocení pravděpodobnosti vzniku závady způsobené konkrétní příčinou. Pravděpodobnost výskytu se odhadne podle tabulky kritérií výskytu ve stupnici 1 až 10 bodů. Jsou-li k dispozici statistické údaje z podobných procesů, měly by se pro určení známky výskytu použít. Ve všech ostatních případech se dá výskyt ohodnotit subjektivně na základě slovního popisu dohromady s jakýmkoli historickými údaji, které jsou k dispozici z podobných procesů.

Jediný způsob jakým se dá známka výskytu snížit, je odstranění nebo zvládnutí příčin/mechanismů závady. [6]

16) Stávající opatření pro prevenci/ odhalování

Seznam preventivních opatření, která buď v možné míře výskytu způsobu nebo příčiny poruchy zabraňují, nebo zjišťují způsob nebo příčinu závady, kdyby se vyskytla. Tato opatření mohou zahrnovat nástroje řízení procesu jako je předcházení chybám, statistické řízení procesů (SPC), nebo následné hodnocení po ukončení procesu. Je třeba uvažovat dva druhy nástrojů řízení: Prevence – předcházení výskytu příčiny nebo způsobu závady nebo snížení četnosti jejich výskytu. Odhalení – odhalení příčiny závady nebo způsobu závady vedoucí k opatření k nápravě. Přednostně, je-li to možné, se uplatní opatření k prevenci. [6]

17) Odhalitelnost

Známka schopnosti odhalit vadu nebo její příčinu stávajícími způsoby kontroly. Hodnocení dle tabulky kritérií odhalitelnosti na stupnici od 1 do 10 bodů. Při předpokladu, že závada se vyskytla, zhodnotíme způsobilost, všech stávajících nástrojů řízení procesu, zabránit expedici dílu s tímto typem poruchy nebo závady. Pro odhalování je platný nástroj statistický výběr.

18) Rizikové číslo

Ukazatel priority rizika (RPN) je součin hodnot významu, výskytu a odhalitelnosti. RPN se porovnává s kritickou hodnotou, kterou obvykle určuje zákazník (např. $RPN_{krit} = 125$). V rámci jednotlivé FMEA se tato hodnota (v rozmezí 1 až 1000) dá použít pro sestavení pořadí problémů procesu.

19) Doporučená opatření

Pro všechny možné závady, jejichž rizikové číslo překročí kritickou hodnotu, se stanoví taková opatření, která by riziko možné závady snížila. Závěrem doporučeného opatření je snížení známek v pořadí: význam, výskyt, odhalitelnost. Kromě hodnoty rizikového čísla je potřeba ještě analyzovat ty možné vady, u nichž některé z dílčích kritérií dosahovalo vysoké hodnoty.

20) Odpovědnost/ Termín realizace

Pracovník odpovědný za doporučená opatření a cílové datum jeho ukončení. [6]

21) Provedená opatření

Po zavedení opatření se zapíše stručný popis provedení a datum účinnosti.

22) Hodnocení rizik

Po realizaci opatření se opětovně hodnotí význam, výskyt a odhalitelnost a vypočítá se rizikové číslo, které se porovná s kritickou hodnotou. Všechny revidované známky se přezkoumají a je-li nezbytné další opatření, analýza se opakuje.

3.2. Zpracování FMEA

Analýza možných závad a jejich důsledků (FMEA)											FMEA číslo: 1						
Prvek: Přesně obráběné díly pro projekt GET-KAZ				Odpovědnost za proces: N, TRM, ŠELC							Zpracoval: Žaneta Benešová						
Vozidlo - model/ rok: ML 4342 K/4				Rozhodné datum: 10.5.2015							Datum zprac.: (orig) 8.1.2015 (rev) 22.4.2015						
Řešitelský tým: Benešová Ž., Šitra V., Milan R., Slaný K.																	
a) Analýza a hodnocení současného stavu											b) Návrh opatření			c) Hodnocení stavu po realizaci opatření			
Prvek/ Funkce	Možná závada	Možné následky závady	Význam	Kritičnost	Možné příčiny závady	Výskyt	Stávající opatření pro prevenci	Stávající řízení procesu odhalování	Odhaltitelnost	Rizikové číslo (RPN krit = 100)	Doporučená opatření	Odpovědnost/ Termín realizace	Provedená opatření	Význam	Výskyt	Odhaltitelnost	Rizikové číslo
rotor (ED609698)	hřídel (ED609616)	vibrace způsobené ohnutím hřídele		snížení životnosti ložiska	nehodně definovaný materiál	3	zkušenosti	FEA	3	63	žádné		žádné				
					nízká tepelná stabilita - tepelné zpracování	5	zkušenosti	žádné	5	175	analýza vibrací a ohybu na prototypch, externí poradenství	TÚ-K	analýza prototypů	7	5	2	70
					záměna materiálu	2	značení materiálu	atest	5	70	žádné		žádné				

			7	chybné rozměry hřídele	6	zkušenosti	kontrola prvního kusu	5	210	prototypové odladění, materiál od ověřených dodavatelů, kontrolní plán, MSA	N, Q	kontrolní plán, měřicí listy	7	4	3	84
	neprůchodný kanál hydraulické demontáže	nelze demontovat ložiska, spojku	5	chybné rozměry kanálu	3	zkušenosti	kontrola prvního kusu	5	75	žádné		žádné				
			5	třísky v kanálu	3	žádné	vizuální kontrola	4	60	žádné		žádné				
	poškození hřídele	nepohyblivé kombo	8	špatné rozměry	6	zkušenosti	kontrola prvního kusu	5	240	balící a manipulační předpis		balící a manipulační předpis	8	2	5	80
			8	chybný návrh hřídele - zakótování	2	zkušenosti	FEA, schvalovací proces	3	48	žádné		žádné				
			8	nevhodně definovaný materiál	3	zkušenosti	FEA	3	72	žádné		žádné				
	vibrace způsobené chybným obrobením	snížení životnosti ložiska	7	chybné středící důlky	4	zkušenosti, návrh dle DIN	kontrola prvního kusu	3	84	žádné		žádné				
rotorové stahovací desky (ED609617, ED609618)	vibrace způsobené nevyvážeností	snížení životnosti ložiska	7	uvolnění vyrovnávacích prvků	2	návrh dle standardu, osvědčený design	žádné	4	56	žádné		žádné				
	zakrytí ventilačních otvorů	přehřátí motoru, odpojení motoru	8	sestavení rotorových plechů a stahovacích desek v zákrytu ventilačních otvorů	7	žádné	tepelná zkouška	2	112	POKA-YOKE	TÚ-K	montážní drážka	8	3	2	48

				8		chybné ventilační otvory	5	CAM	kontrola prvního kusu	3	120	žhánání na odstranění pnutí	TÚ-T, N	doplnění postupu o žhánání	8	2	3	48
		nedostatečné stlačení rotorových plechů	vibrace, hluk	7		chybný návrh stahovacích desek	2	zkušenosti	schvalovací proces	2	28	žádné		žádné				
				7		chybné rozměry	5	CAM	kontrola prvního kusu	3	105	kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů	N, Q	kontrolní plán, měřicí listy	7	4	2	56
				7		poškození prstů	7	žádné	vizuální kontrola	2	98	žádné		nastavení vhodného balení pro manipulaci	7	4	2	56
				nevhodná vzdálenost mezi prsty stahovacích desek a rotorovými tyčemi	poškození rotorových tyčí	6		chybné sestavení desek a tyčí	3	toleranční analýza + POKA-YOKE	vizuální kontrola	2	36	žádné		žádné		
		6				poškození prstů	7	žádné	vizuální kontrola	2	84	žádné		nastavení vhodného balení pro manipulaci	6	4	2	48
stator (ED610081)	statorové stahovací desky (ED609607, ED609876)	nedostatečná ventilace	přehřátí motoru, odpojení motoru	8		chybné rozměry	5	CAM	kontrola prvního kusu	3	120	kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů	N, Q	kontrolní plán, měřicí listy	8	4	2	64
				8		sestavení stahovacích desek a statorových plechů v zákrytu ventilačních otvorů	2	montážní drážka, POKA-YOKE	tepelná zkouška	1	16	žádné		žádné				

				8		chybný návrh stahovacích desek	2	zkušenosti	FEA, schvalovací proces	2	32	žádné		žádné					
		uvolnění paketu	nepohyblivé kombo	8		chybné rozměry	5	CAM	kontrola prvního kusu	3	120	kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů	N, Q	kontrolní plán, měřicí listy	8	4	2	64	
montáž motoru (ED610083)	Labyrintové kroužky (ED609699, ED609700, ED609701, ED609702, ED609703, ED609704, ED609754)	špatná těsnící funkce - ztráta maziva	snížení životnosti ložiska degradace funkčních ploch	8		nehodná konstrukce těsnících labyrintů	3	GET design	žádné	3	72	žádné		prototypové ověření, IP test	8	2	2	32	
				8		chybné rozměry	6	CAM	kontrola prvního kusu	4	192	kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů, MSA	N, Q	kontrolní plán, měřicí listy	8	4	3	96	
		špatná těsnící funkce - znečištění maziva	snížení životnosti ložiska degradace maziva	8		nehodná konstrukce těsnících labyrintů	6	GET design	žádné	3	144	design validace, IP test	TÚ-K, TÚ-T	prototypové ověření, IP test	8	3	3	72	
				8		chybné rozměry	6	CAM	kontrola prvního kusu	4	192	kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů, MSA	N, Q	kontrolní plán, měřicí listy	8	4	3	96	
		vibrace	snížení životnosti ložisek	7		nedostatečné axiální tolerance	5	toleranční analýza	žádné	2	70	žádné		žádné					
				7		nedodržené axiální tolerance	7	zkušenosti	kontrola prvního kusu	6	294	revize GET předpisu, kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů	TÚ-K, N, Q	rozvolnění tolerancí, kontrolní plán, měřicí listy	7	4	3	84	
				7		nedostatečné geometrické tolerance	5	GET design, GET předpis, zkušenosti	design validace	2	70	žádné		žádné					

			7	nedodržené geometrické tolerance	7	zkušenosti	kontrola prvního kusu	5	245	revize GET předpisu, kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů	TÚ-K, N, Q	rozvlnění tolerancí, kontrolní plán, měřicí listy	7	4	3	84
	zadření labyrintů	nepohyblivé kombo	8	nevhodná konstrukce těsnících labyrintů - radiální	4	zkušenosti	GD&T analýza	3	96	žádné		žádné				
			8	nevhodná konstrukce těsnících labyrintů - axiální	4	toleranční analýza, tepelné výpočty	GD&T analýza	2	64	žádné		žádné				
			8	axiální pohyb labyrintových kroužků na D-straně motoru	4	žádné	GD&T analýza včetně tepelné roztažnosti	3	96	žádné		žádné				
			8	chybné rozměry	4	CAM	kontrola prvního kusu	4	128	kontrolní plán, 100% 3D měření kritických rozměrů	N, Q	rozvlnění tolerancí, kontrolní plán, měřicí listy	8	3	3	72
			8	korozí	4	pracovní postup	žádné	3	96	žádné		žádné				
			nemožnost mazání	snížení životnosti ložiska	7	nevhodná poloha drážky pro domazávání	3	žádné	žádné	9	189	POKA-YOKE	TÚ-K	asymetrická poloha šroubu	7	2
	7	chybně vyrobená drážka pro domazávání			3	CAM	kontrola prvního kusu	3	63	žádné		žádné				
kotouč čidla (ED609837)	chybný signál otáčkového	motor není kontrolovaný,	7	špatný návrh kotouče čidla	3	GET design	žádné	4	84	žádné		žádné				

	čidla	snížený výkon	7		chybné ozubení	5	CAM	kontrola prvního kusu	7	245	prototypová zkouška	N, V	prototypová zkouška	7	2	6	84
			7		poškozené ozubení - mechanické	4	žádné	namátková kontrola	6	168	balící předpis	N	nastavení vhodného balení pro manipulaci, Ni povrch	7	2	4	56
			7		poškození ozubení - koroze	7	konzervace	žádné	7	343	niklovaný povrch kotouč	TÚ-K, N	Ni povrch	7	2	7	98
	žádný signál otáčkového čidla	motor není kontrolovaný, snížený výkon	7		špatný návrh kotouče čidla	3	GET design	otáčková zkouška	1	21	žádné		žádné				
7				chybné ozubení	5	CAM	otáčková zkouška	1	35	žádné			žádné				
7				poškozené ozubení	4	žádné	otáčková zkouška	1	28	žádné				žádné			

3.3. Zpracování výsledků FMEA

K jednotlivým komponentám byly za pomoci brainstormingu detekovány možné závady a k nim stanoveny možné následky a možné příčiny. Taktéž byly zaznamenány stávající opatření pro prevenci a odhalování. Po vypočtení rizikového čísla ze stanovených hodnot výskytu, významu a odhalitelnosti se ukázalo, že často opakovanou možnou závadou jsou chybné rozměry a tvarové odchylky jednotlivých dílů. Z toho důvodu bude dále podrobně zaměřeno právě na možné chybné parametry dílů a budou podrobeny dalším, již zmíněným metodám.

3.3.1. Analýza rozměrových a tvarových odchylek

K jednotlivým dílům specifikujeme konkrétní možné závady pro následné lepší stanovení konkrétních opatření. Jednotlivé příčiny budou následně zobrazeny pomocí diagramu příčin a následků.

❖ Kotouč čidla

- nedodržení geometrických tolerancí
- nedodržení technologie značení pořadového čísla (deformace dílu)
- nedodržená sousost
- nedodržené tepelné zpracování (deformace dílu)
- nedodržená tolerance centráže H7
- nedodržena tolerance délky 8 mm
- nedodržena tolerance šířky ozubení

❖ Hřídel

- prohnutí
- chybné středící důlky
- nedostatečné zápichy
- nedodržení kužel 1:50
- poškození G1/8
- nedodržené házení 0,1 mm
- chybné stoupání závitu M10x2
- nedodrženy geometrické tolerance

❖ Distanční vložka ED609699

- nedodržená souosost
- nedodržená délka závitů
- nedodržená tolerance centráže D84
- nedodržena tolerance délky centráže 27 mm
- nedodržení technologie značení pořadového čísla (deformace dílu)
- nedodržena tolerance délky labyrintu
- nedodrženy geometrické tolerance

❖ Kroužek ED609700

- nedodržená souosost
- nedodržená délka závitů
- nedodržená tolerance centráže H7
- nedodržena tolerance délky centráže 25 mm
- nedodržení technologie značení pořadového čísla (deformace dílu)
- nedodržena tolerance délky labyrintu
- nedodrženy geometrické tolerance

❖ Kroužek ED609702

- nedodržená souosost
- nedodržená tolerance centráže D160
- nedodržena tolerance délky centráže 12,3 mm
- nedodržení technologie značení pořadového čísla (deformace dílu)
- nedodržena tolerance délky labyrintu
- nedodrženy geometrické tolerance

❖ Labyrint vnitřní ED609703

- nedodržená souosost
- nedodržená délka závitů
- nedodržená tolerance centráže k7
- nedodržena tolerance délky centráže 10 mm
- nedodržení technologie značení pořadového čísla (deformace dílu)
- nedodržena tolerance délky labyrintu
- nedodrženy geometrické tolerance

- ❖ Kroužek vnitřní ED609704
 - nedodržená souosost
 - nedodržená délka závitů
 - nedodržená tolerance centráže H7
 - nedodržena tolerance délky centráže 37 mm
 - nedodržení technologie značení pořadového čísla (deformace dílu)
 - nedodržena tolerance délky labyrintu
 - nedodrženy geometrické tolerance

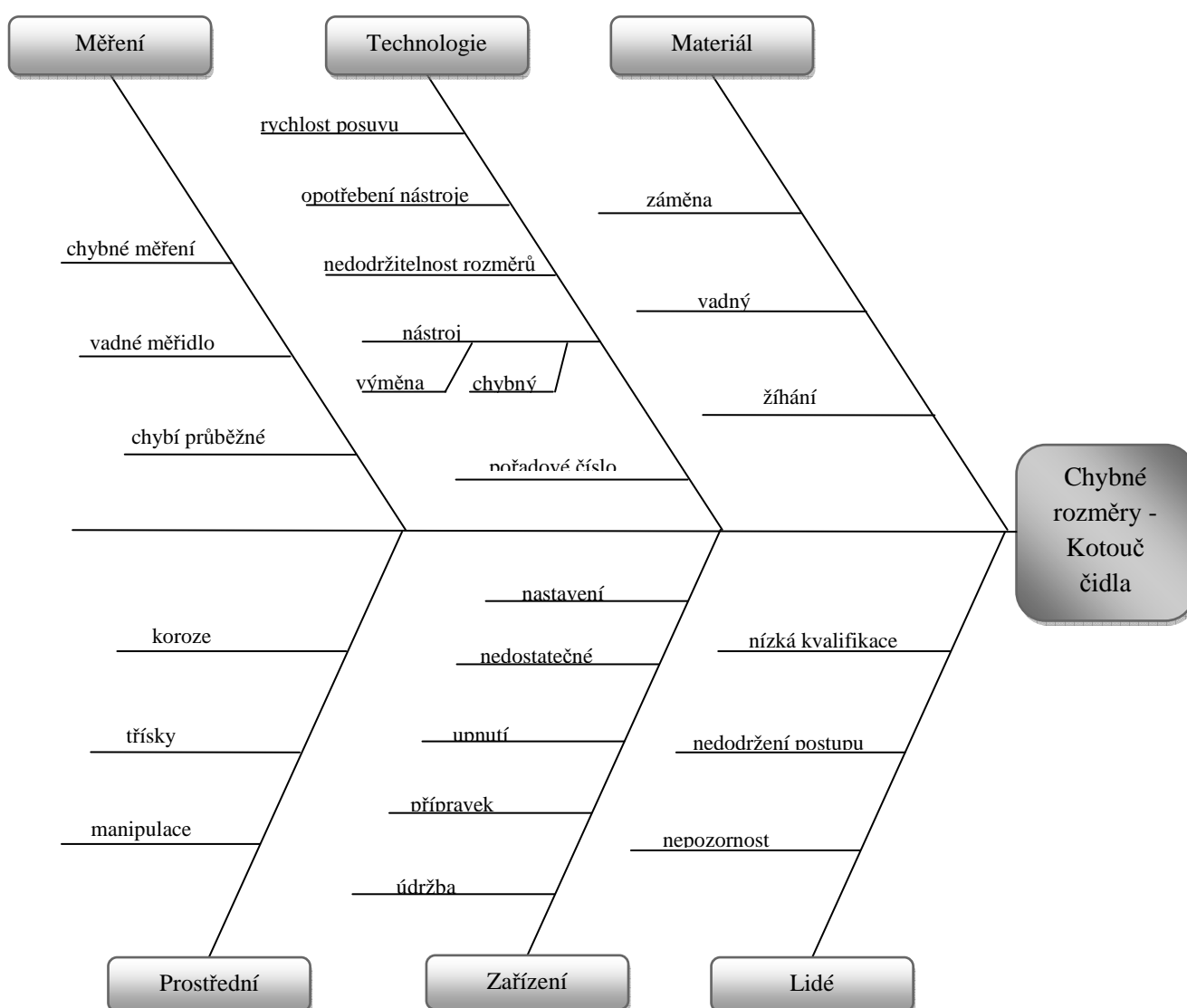
- ❖ Labyrint vnější ED609701, ED609754
 - nedodržená souosost
 - nedodržená délka závitů
 - nedodržená tolerance centráže h6
 - nedodržena tolerance délky centráže 2,5 mm
 - nedodržení technologie značení pořadového čísla (deformace dílu)
 - nedodržena tolerance délky labyrintu

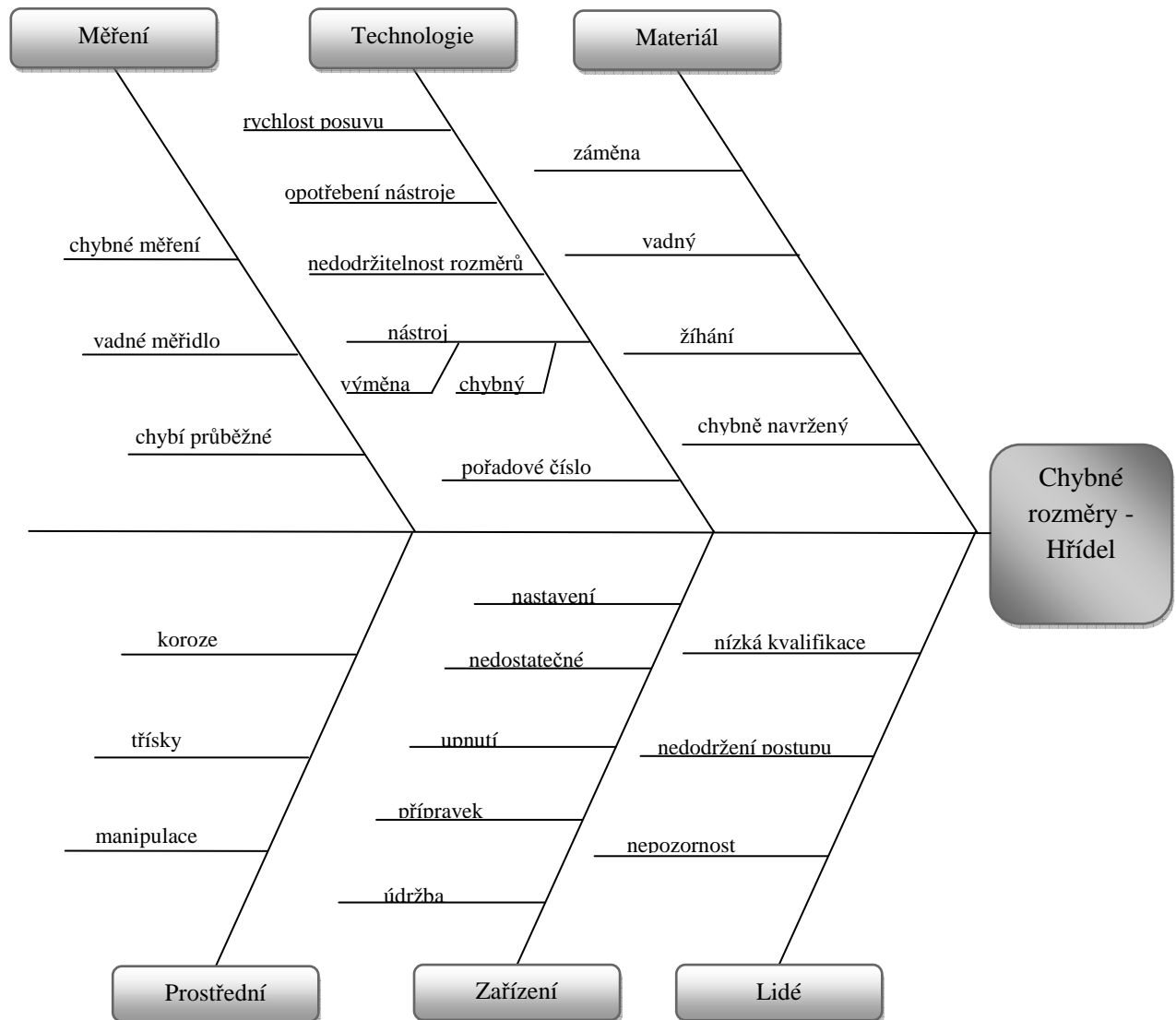
- ❖ Desky stahovací rotoru ED609617, ED609618
 - nedodržené házení 0,05
 - nedodržená tolerance centráže H7
 - nedodržena tolerance délky centráže 5 mm
 - nedodrženy geometrické tolerance

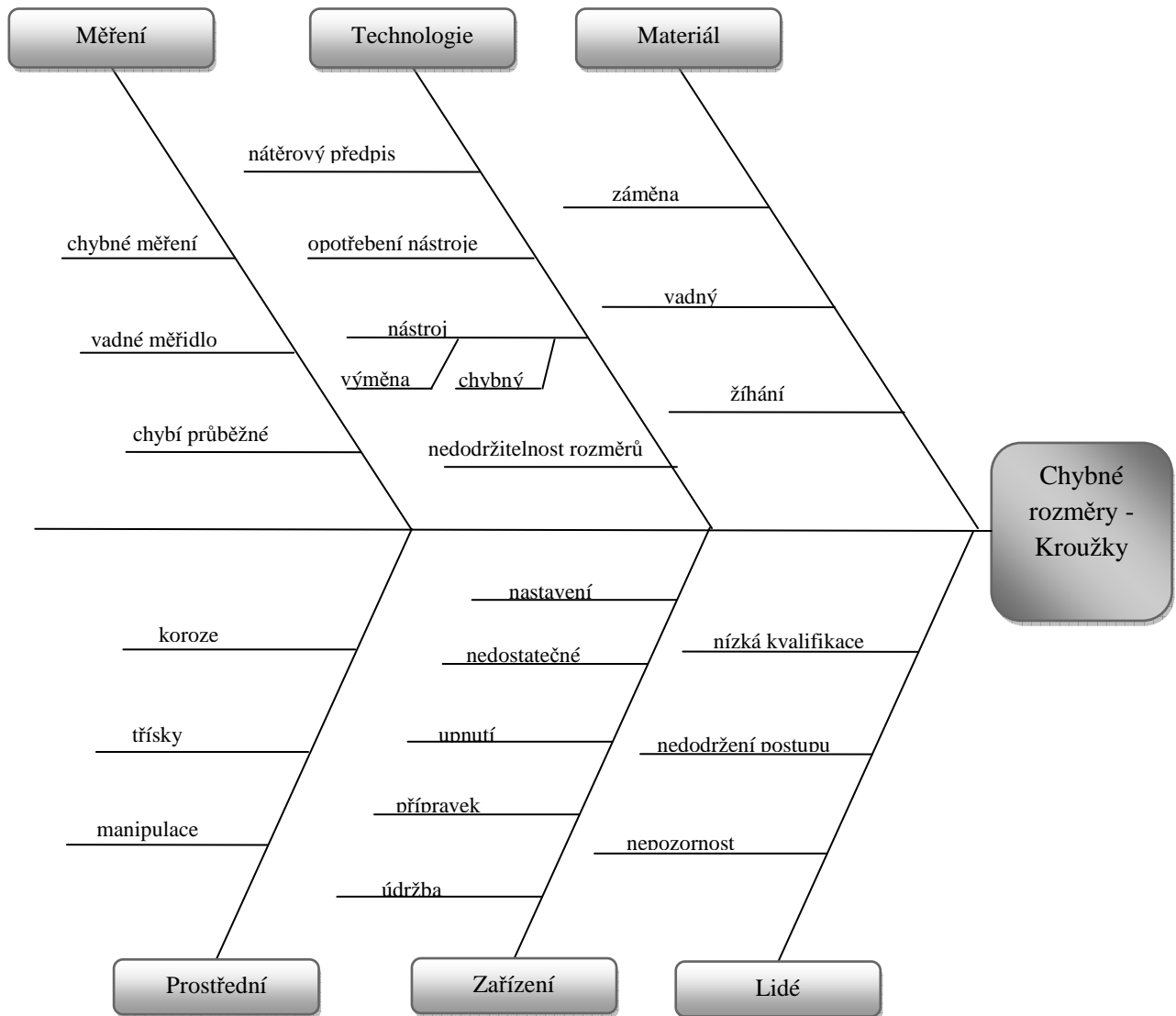
- ❖ Desky stahovací statoru
 - nedodržená tolerance centráže f7
 - nedodržena tolerance délky desky
 - nedodrženy geometrické tolerance
 - nedodržená délka závitů

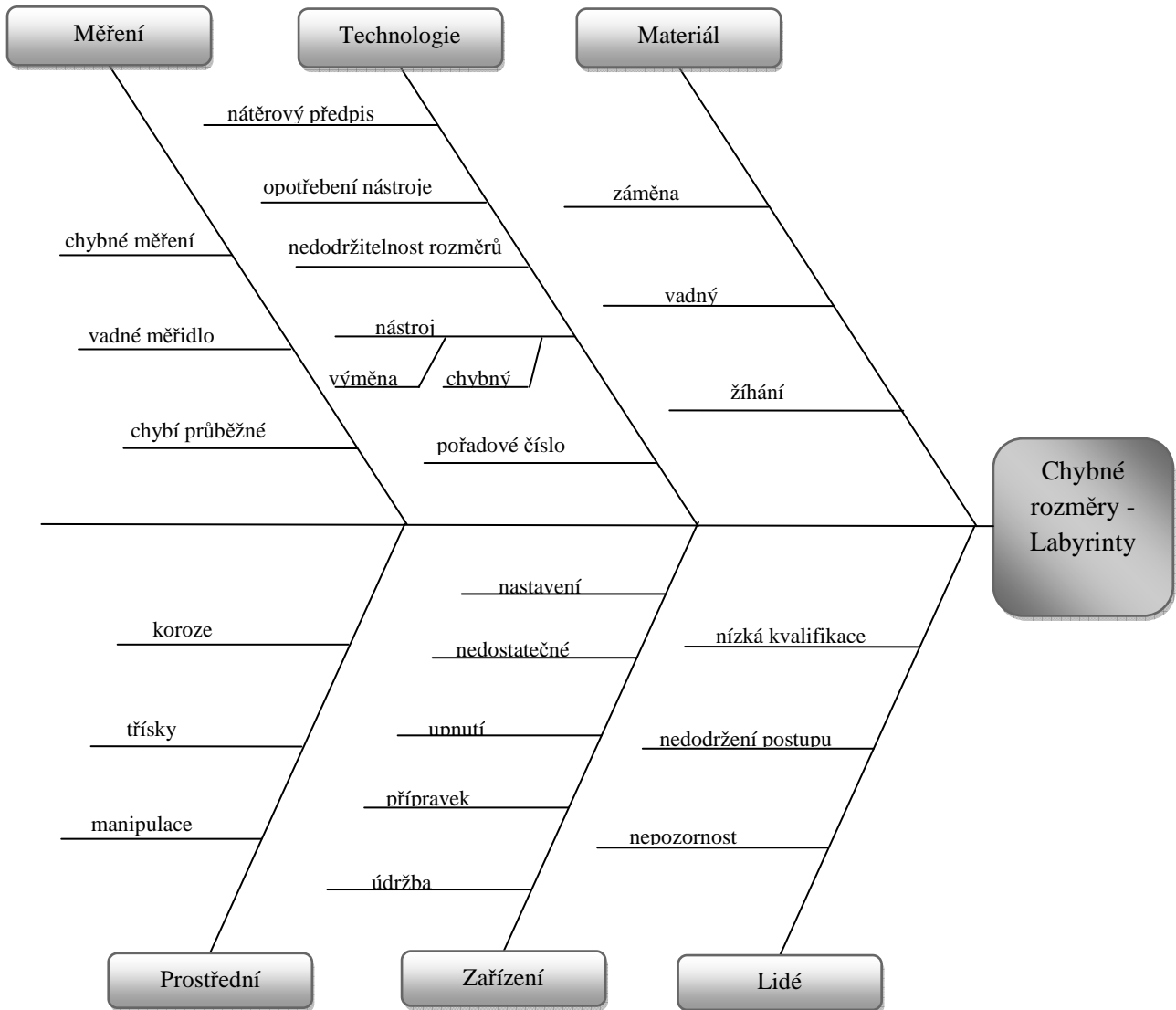
3.4. Zpracování diagramu příčin a následků

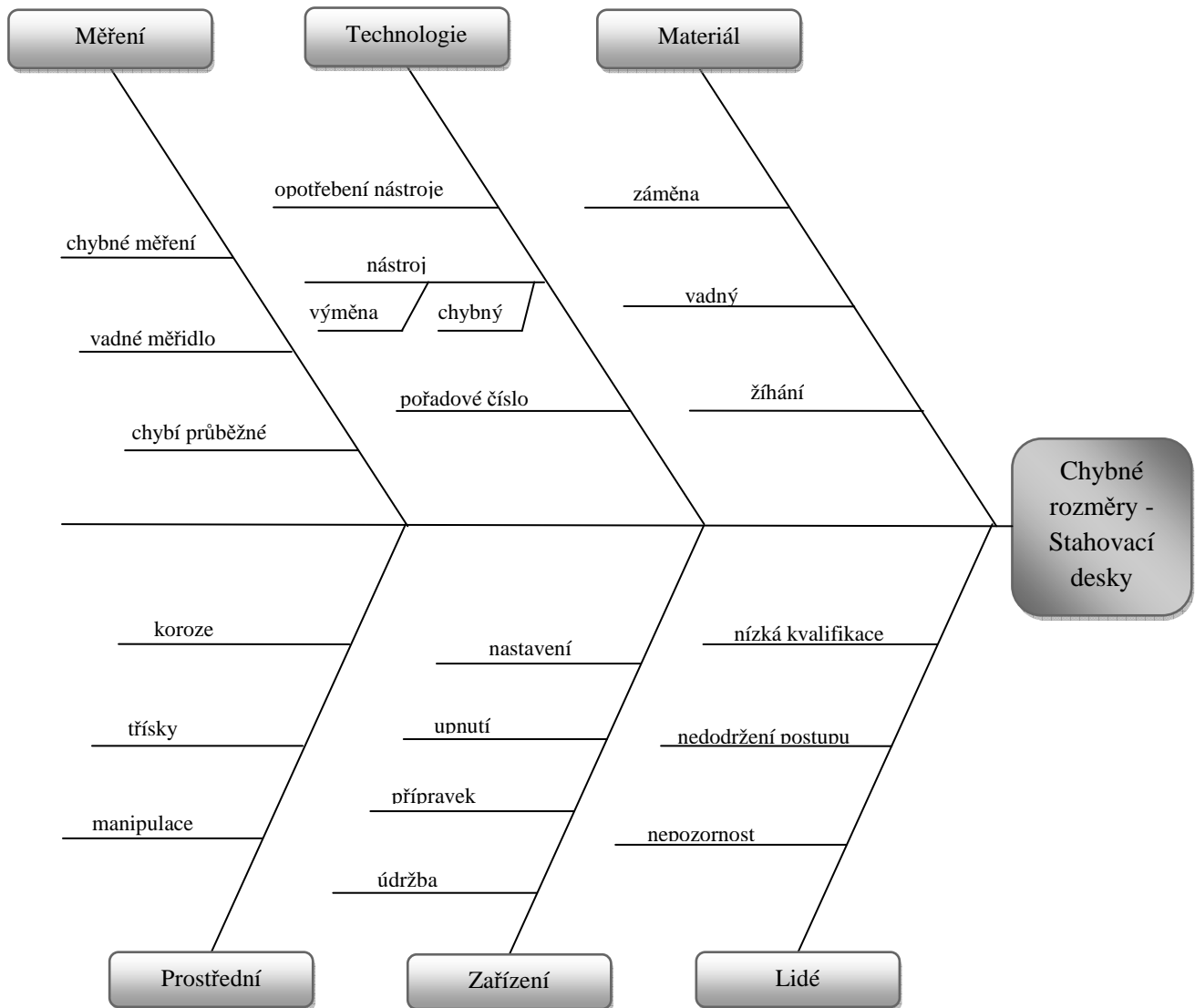
Pravděpodobné příčiny problému se znázorní pomocí diagramu rybí kostry. Bude opět využito týmové spolupráce a brainstormingu. Pro hledání nejpravděpodobnějších příčin problému se vlivy možných příčin roztřídí a seřadí. Následek bude zachycen na pravou stranu a všechny možné příčiny budou tvořit hlavní kosti od páteře pomyslné hlavy ryby. Pro každou skupinu podobných dílů bude vytvořen samostatný diagram pro přehledné zpracování možných příčin.











3.5. Zpracování Paretovy analýzy

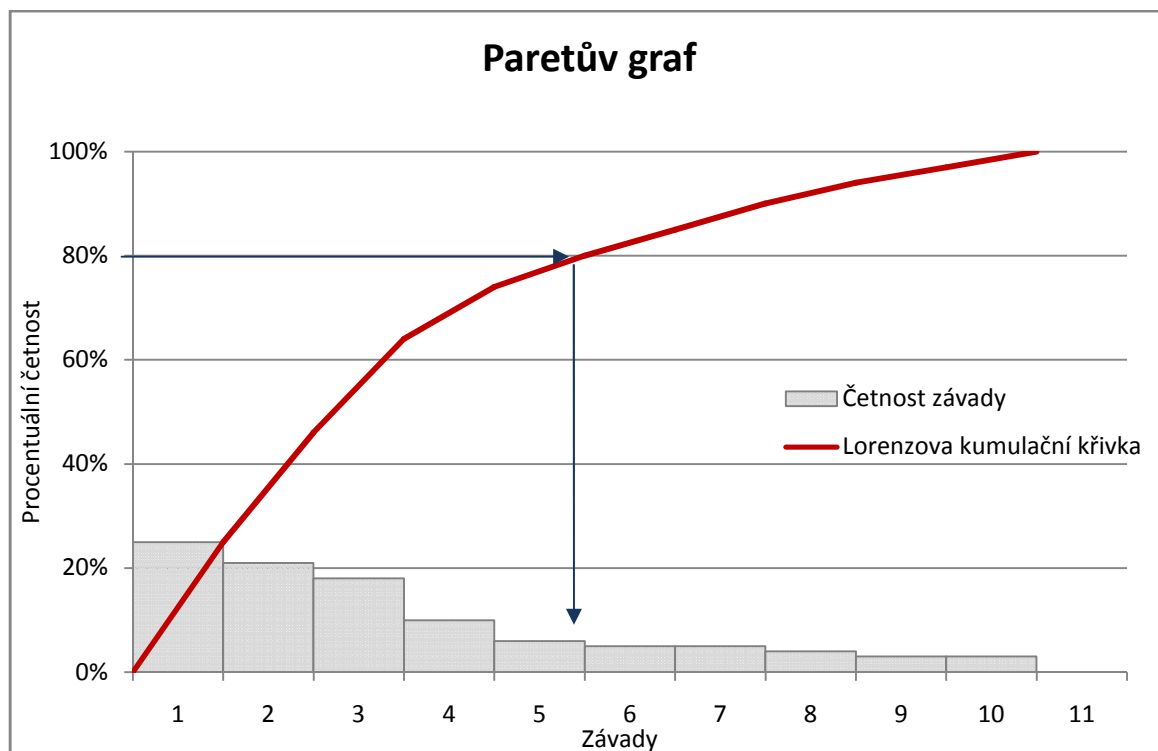
Metodou FMEA a Diagramem příčin a následků bylo určeno několik závažných možných závad a doporučena opatření. Za pomoci Paretova pravidla se znázornění ty závady, u kterých zavedeme nápravná opatření co nejdříve.

Možné závady a jejich četnosti jsou:

Možná závada	Četnost
1. Chybný signál otáčkového čidla	25%
2. Vibrace	21%
3. Netěsnění labyrintů	18%
4. Ohnutá hřídel	10%
5. Zadření labyrintů	6%
6. Poškozená hřídel	5%
7. Zákryt ventilačních otvorů	5%
8. Nedostatečné stažení paketu plechů	4%
9. Nedostatečná ventilace	3%
10. Uvolnění plechů	3%

Tabulka 7 Závady pro Paretoův graf

Jednotlivé závady v závislosti na četnosti se zanesou do grafu a za pomoci Lorenzovy kumulativní křivky a pravidla 80/20 se určí závady, které způsobí největší problémy a tedy u kterých je vhodné v první fázi nastavování opatření, je zavést.



Možná závada	Četnost
1. Chybný signál otáčkového čidla	25
2. Vibrace	21
3. Netěsnění labyrintů	18
4. Ohnutá hřídel	10
5. Zadření labyrintů	6
6. Poškozená hřídel	5
7. Zákryt ventilačních otvorů	5
8. Nedostatečné stažení paketu plechů	4
9. Nedostatečná ventilace	3
10. Uvolnění plechů	3

↑
Prioritní závady
↓

Tabulka 8 Závady vyhodnocené Paretovým grafem

Z grafu vyplývá, že je nutné prioritně řešit příčiny problémů, jejichž následkem jsou závady s číslem 1 - 5.

4. Zhodnocení

Aplikace vybraných nástrojů kvality bylo provedeno postupně. Po zavedení přípravné fáze a připravení potřebného formuláře, tým přikročil k samotnému vyplnění FMEA formuláře.

Dle první kolonky Prvek/Funkce byly komponenty rozděleny dle podsestav kompletního motoru. Poté byly u každého prvku detekovány možné závady. Při tom platí pravidlo, že se vyhodnocují všechny možné závady, i ty, které se na první pohled zdají nevýznamné nebo se vyskytují velice zřídka.

Dalším krokem bylo stanovení následků vzniklé závady. Jednotlivé následky byly oklasifikovány ve sloupci význam hodnotami 1 až 10. Kolonka kritičnost slouží k okamžitému upozornění na vysoce závažnou závadu. V tomto případě tým neodhalil žádný takový problém, který by závažným způsobem ohrožoval zdraví či život pracovníka nebo zákazníka. Další vyplňovanou položkou byly možné příčiny závady, které se ohodnotily v kolonce výskyt.

Následovalo vypsání všech stávajících opatření pro prevenci a odhalování. To jsou takové metody, jejichž vhodným užitím dochází ke snížení pravděpodobnosti výskytu, nebo takové kontrolní mechanismy, které mohou výskyt dané závady odhalit nejlépe už během operace nebo v co nejkratší době po jejím skončení. Při stanovení odhalitelnosti se postupovalo podle Tab. 4.

Hodnota rizikového čísla se stanovila jako součin význam, výskyt a odhalitelnost. Před začátkem aplikace metody FMEA se tým dohodl, že hodnota, od které se začnou přijímat doporučená opatření, se stanoví na RPN 100.

U závad, u nichž tedy byla odhalena hodnota rizikového čísla vyšší než 100, bylo nutné provést nápravná opatření. Těchto závad bylo vytipováno 12.

Závady s RPN vyšším než 100:

- vibrace motoru způsobené ohnutou hřídelí
- poškození hřídele
- zakrytí ventilačních otvorů u rotorových stahovacích desek
- nedostatečné stlačení plechů rotorovými stahovacími deskami
- zakrytí ventilačních otvorů u statorových stahovacích desek
- uvolněné paketu motoru
- špatná těsnicí funkce a tím ztráta maziva u labyrintového systému motoru
- špatná těsnicí funkce a tím znečištění maziva u labyrintového systému motoru
- vibrace motoru způsobené chybným labyrintovým systémem motoru
- zadření labyrintového systému motoru
- nemožnost mazání labyrintového systému motoru
- chybný signál otáčkového čidla způsobené kotoučem čidla

Při vypracování analýzy se také tým shodl na příčinách závad, které se v některých případech opakovaly. Analýza pokračovala zpracováním časté závady pomocí diagramu příčin a následků. Díly byly rozděleny do typových kategorií a pro každý typový komponent byl vytvořen diagram rybí kostry a díky tomu byly hledány a znázorněny možné příčiny vedoucí k problémům. Následně mohly být lépe doporučeny opatření.

Hlavní příčiny můžeme shrnout:

- nízká tepelná stabilita materiálu
- chybné rozměry hřídele způsobené:
 - chybným nastavením stroje
 - chybnou technologií
 - opotřebením nástroje
 - nedodržáním technologického postupu
 - poškozením při manipulaci
- zákryt ventilačních otvorů
- chybné rozměry rotorových i statorových stahovacích desek způsobené:
 - chybným nastavením stroje
 - chybnou technologií
 - opotřebením nástroje
 - nedodržáním technologického postupu
 - poškozením při manipulaci
- nevhodná a nedodržitelná konstrukce
- chybné rozměry labyrintových kroužků způsobené:
 - chybným nastavením stroje
 - chybnou technologií
 - opotřebením nástroje
 - nedodržáním technologického postupu
 - poškozením při manipulaci
- chybnými a poškozenými rozměry kotouče čidla
- rez a povrchové ošetření

U všech vytipovaných závad byla navržena doporučená opatření. Protože uvedených závad a s tím souvisejících doporučených opatření bylo několik, provedla se analýza možné četnosti závad pomocí Paretova pravidla a dle toho se následně zaváděli a realizovali z hlediska časové osy doporučená opatření. Paretův graf sice nedoložil přímé pravidlo 80/20, ale to bylo způsobeno méně rozsáhlým počtem závad s podobnou četností.

Téměř všechna doporučení byla realizována a nebo se jejich realizace plánuje. Vzhledem ke složitosti navržených komponentů, navíc firma dospěla k dalším změnám ve formě změny opracovatele. Při prototypové výrobě se projevilo, že díly s nutnými tolerancemi je natolik nadstandardní, že vybavení stroje pro dodržení kvality u dílů pro labyrintování, musí být moderní 5-ti osé obráběcí centrum.

Po realizaci opatření tým opětovně klasifikoval výskyt, význam, odhalitelnost a opět stanovil hodnotu rizikového čísla, u něhož došlo, vlivem provedených změn, ke snížení hodnot pod kritickou hodnotu a to ve všech případech.

Na základě zavedení nápravných opatření a díky podrobnému zmapování celého procesu, se díly odladily, jejich výroba maximálně zefektivnila a neshody minimalizovaly. Následkem toho se můžou vyčíslit úspory, které se na dílech podařilo vygenerovat.



Obrázek 18 Zhodnocení^[10]

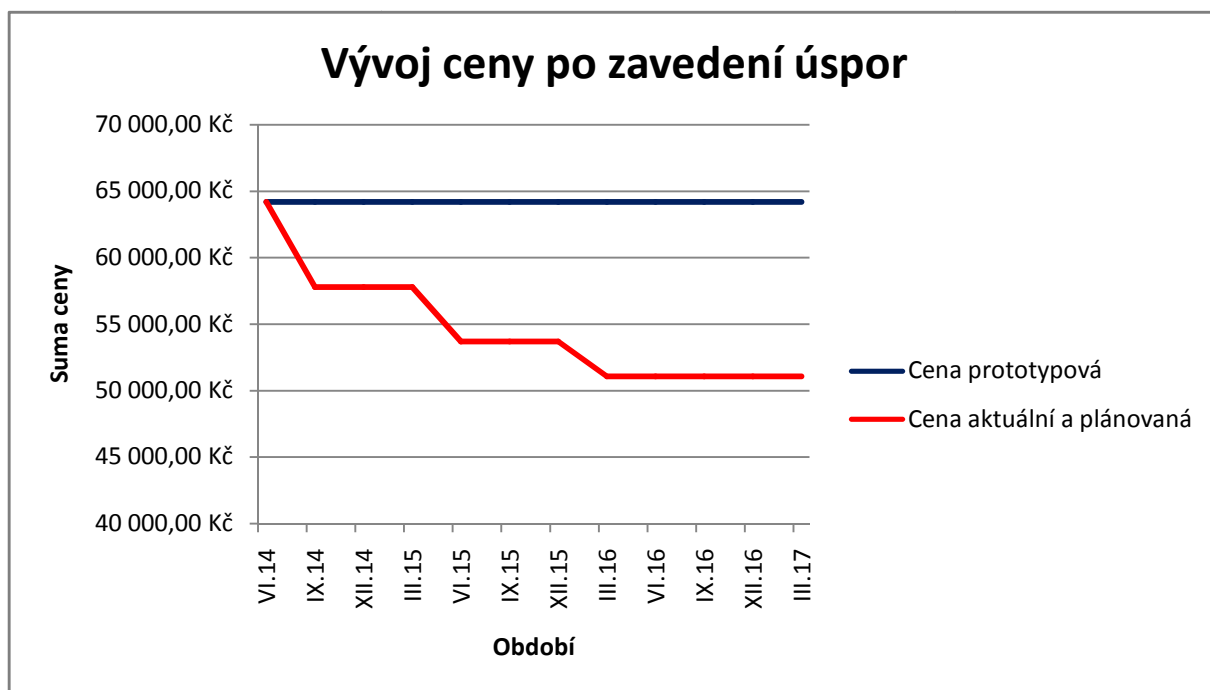
4.1. Ekonomické zhodnocení

Na základě důkladného odladění a zavedení všech navržených opatření se podařilo dosáhnout úspor u jednotlivých dílů. Pro jednotlivé komponenty, u kterých došlo k nastavení navržených opatření tak mohl vzniknout plán teoretických úspor. Po realizaci opatření, které vedli k zefektivnění a minimalizaci nekvality dílů se jednotkové ceny snížili a po první etapě realizace je prokazatelné, že firma generuje zajímavé úspory.

Při kompletním výhledu projektu 660 motorů bude úspora v součtu již realizované a plánované tvořit částku 6 848 060,- Kč.

číslo výkresu	Název dílů	Počet ks na motor	Období 06/2014 - 08/2014	Období 09/2014 - 05/2015	Období 06/2015 - 02/2016	Období 03/2016 - 03/2017
			Prototypová cena	Aktuální cena	Plánovaná cena	Teoretická cena
ED609616	Hřídel	1 ks	14 000,00 Kč	12 500,00 Kč	11 200,00 Kč	10 345,00 Kč
ED609617	Deska stahovací rotoru D-end	1 ks	4 480,00 Kč	4 080,00 Kč	3 800,00 Kč	3 745,00 Kč
ED609618	Deska stahovací rotoru N-end	1 ks	4 480,00 Kč	4 080,00 Kč	3 800,00 Kč	3 745,00 Kč
ED609607	Deska stahovací statoru D-end	1 ks	6 260,00 Kč	6 200,00 Kč	6 160,00 Kč	6 160,00 Kč
ED609876	Deska stahovací statoru N-end	1 ks	6 160,00 Kč	6 100,00 Kč	6 060,00 Kč	6 060,00 Kč
ED609699	Distanční vložka	1 ks	510,00 Kč	460,00 Kč	440,00 Kč	440,00 Kč
ED609700	Kroužek	2 ks	3 800,00 Kč	3 200,00 Kč	2 700,00 Kč	2 280,00 Kč
ED609701	Labyrint N-end vnější	1 ks	3 870,00 Kč	3 700,00 Kč	3 500,00 Kč	3 500,00 Kč
ED609702	Kroužek distanční	2 ks	1 080,00 Kč	1 060,00 Kč	1 020,00 Kč	1 020,00 Kč
ED609703	Labyrint vnitřní	2 ks	8 710,00 Kč	7 120,00 Kč	6 300,00 Kč	5 160,00 Kč
ED609704	Kroužek vnitřní	2 ks	6 734,00 Kč	5 400,00 Kč	5 130,00 Kč	5 130,00 Kč
ED609754	Labyrint D-end vnější	1 ks	4 100,00 Kč	3 900,00 Kč	3 600,00 Kč	3 500,00 Kč
Suma ceny na motor:			64 184,00 Kč	57 800,00 Kč	53 710,00 Kč	51 085,00 Kč
Realizované množství v období:			20	170	150	320
Suma ceny na celé období:			1 283 680,00 Kč	9 826 000,00 Kč	8 056 500,00 Kč	16 347 200,00 Kč
Kompletní náklady na projekt bez úspor:			42 361 440,00 Kč			
Kompletní náklady na projekt při realizaci úspor:			35 513 380,00 Kč			
Celková úspora:			6 848 060,00 Kč			

Tabulka 9 Úspory pro GET-KAZ na komoditě přesně obráběných dílů



Obrázek 19 Graf vývoje plánované ceny po realizaci úspor

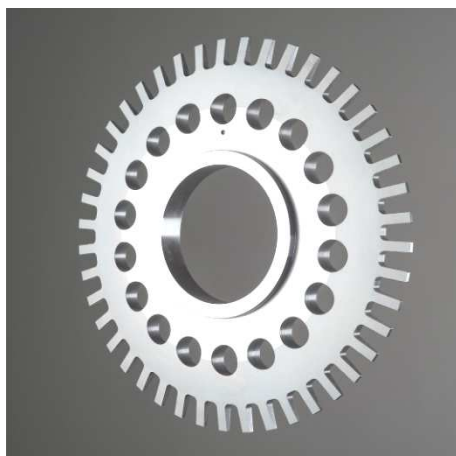
4.2. Foto ukázka hotových dílů ^[8]



Obrázek 20 Kroužek vnitřní ED609704



Obrázek 21 Labyrint N-end vnější ED609701



Obrázek 22 Deska stahovací rotoru ED609617



Obrázek 23 Labyrint D-end vnější ED609754



Obrázek 24 Kotouč čidla ED609837



Obrázek 25 Labyrint vnitřní ED609703

5. Závěr

Využití známých metod a analytických technik vede k přehlednému a důkladnému zmapování dílů a procesů a takových nástrojů kvality bylo využito i k dosažení cílů navržených v této diplomové práci. Cílem bylo odhalení slabých míst u vybraných komponent z trakčního motoru mířící pro kazašské lokomotivy vyrábějící se u průmyslového giganta GE Transportation. Jako vhodné nástroje kvality byly vybrány metoda FMEA pro zanalyzování všech možností vzniku vad a jejich následků, Diagram příčin a následků pro podrobné zmapování možných příčin problémů a Paretova analýza pro znázornění prioritních možných vad a tím usnadnění návržení harmonogramu zavedení opatření.

Po návržení potřebného dokumentu pro metodu FMEA, bylo důležité zanalyzovat současný stav. Poté mohly být určeny možné typy závad, které mohou nastat, ke kterým se přiřadily možné následky a příčiny a vypracovala se podrobná analýza FMEA. Zpracování diagramu příčin a následků napomohlo k důkladné analýze možných příčin problémů a tím snadnějšímu návržení opatření. Pomocí Paretova pravidla se určili možné závady, které bylo potřeba odstranit v prvním období změn.

Postupně byla navržená opatření realizována a ze zhodnocení je patrné, že využití nástrojů kvality vedlo ke zvýšení kvality vybraných komponent a tedy ke snížení hodnot rizikového čísla u závad, kde přesáhlo RPN kritickou mez. K tomu došlo snížením výskytu a zvýšením odhalitelnosti potencionálních závad.

Všechna doporučená opatření a zahájení sériové výroby motorů vedlo ke snížení nákladů na nekvalitu, zajištění kvality a tím možnosti snížení jednotkové ceny jednotlivých dílů. Vyčíslené úspory, které jsou z části již prokazatelné jsou velice zajímavé a potvrzují vhodnost využití nástrojů kvality v této oblasti. Došlo nejen ke značným úsporám a snížení nákladů na nekvalitu, ale i ke zlepšení image se zákazníkem.

Závěrem je ještě důležité zmínit, že metoda FMEA je tzv. živý dokument a tedy jakékoliv pozdější změny by měly být zahrnuty do projektové dokumentace a mělo by být provedeno jejich hodnocení a tedy můžeme zmínit, že použití metody FMEA není nikdy ukončeno.



Obrázek 26 Vítězný závěr.^[10]

Seznam použité literatury

- [1] ŠKODA ELECTRIC a.s. [online]. 2013 [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: <www.skoda.cz>
- [2] Interní dokumenty ŠKODA ELECTRIC a.s.
- [3] ZVONEČEK, F.; ZÍDKOVÁ, H.: Jakost – styl života pro třetí tisíciletí. 2. Vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v plzni, 2003. 139 s.
- [4] IKVALITA – portál pro kvalitáře [online]. 2015 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <www.ikvalita.cz>
- [5] GE Transportation [online]. 2015 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <www.getransportation.com>
- [6] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST, FMEA: Analýza možných způsobů a důsledků závad, 4. vydání: 2008.
- [7] NRJ - příklady pro dálkové studium, 2010 [cit. 2015-04-20].
- [8] Tripura studio [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <www.tripura.cz>
- [9] Wikipedia [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <cs.wikipedia.org>
- [10] FMEA.co.uk. [online] 2015 [cit. 2015-05-18] . Dostupné z: <<http://www.fmea.co.uk>>
- [11] Nenadál J. a kol.: Moderní management jakosti. Principy. Postupy. Metody. Praha: Management Press 2008, 378 s. ISBN 978-80-7261-186-7.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 Dosažení cíle.....	11
Obrázek 2 Znak skupiny Škoda	12
Obrázek 3 Lokomotiva pro Kazachstán	15
Obrázek 4 Vizualizace celého komba pro Loko Kazachstán.....	16
Obrázek 5 Vizualizace motoru pro Loko Kazachstán.....	16
Obrázek 6 Foto ukázka rotoru	17
Obrázek 7 Foto ukázka statoru svařeného.....	17
Obrázek 8 Foto ukázka cívky, Obrázek 9 Foto kompletního motoru	18
Obrázek 10 3D vizualizace kompletního motoru v řezu.....	18
Obrázek 11 3D vizualizace součástí motoru pro Loko Kazachstán.....	19
Obrázek 12 Rizika?	21
Obrázek 13 FMEA - systematický soubor	22
Obrázek 14 Brainstorming	24
Obrázek 15 Diagram rybí kostry	32
Obrázek 16 Paretův graf.....	34
Obrázek 17 Aplikace	35
Obrázek 18 Zhodnocení	58
Obrázek 19 Graf vývoje plánované ceny po realizaci úspor.....	60
Obrázek 20 Kroužek vnitřní ED609704.....	61
Obrázek 21 Labyrint N-end vnější ED609701	61
Obrázek 22 Deska stahovací rotoru ED609617	61
Obrázek 23 Labyrint D-end vnější ED609754.....	61
Obrázek 24 Kotouč čidla ED609837	61
Obrázek 25 Labyrint vnitřní ED609703.....	61
Obrázek 26 Vítězný závěr	62

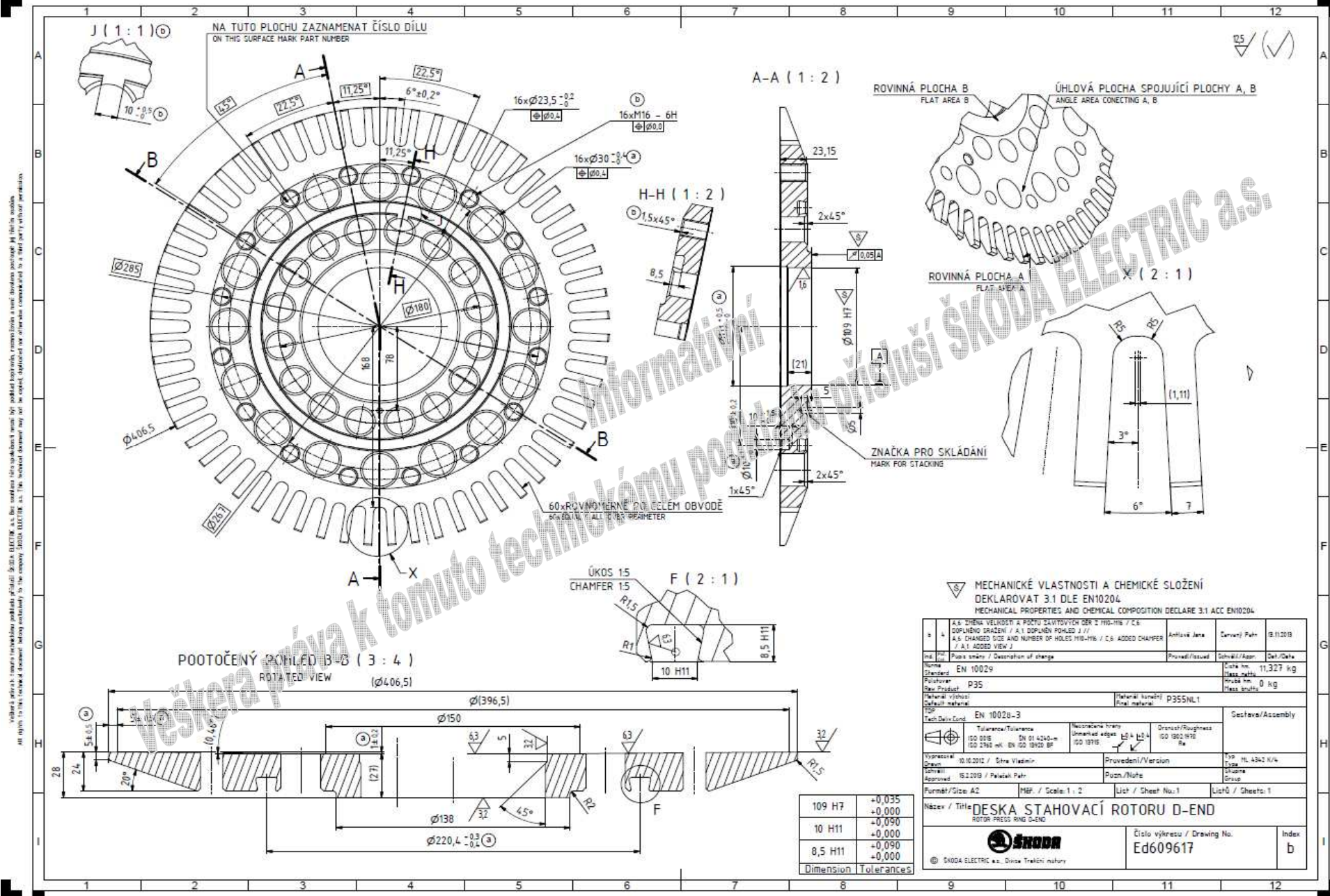
Seznam tabulek

Tabulka 1	Vstupní podmínky projektu Kazachstán	16
Tabulka 2	Přehled vybraných dílů Loko Kazachstán.....	20
Tabulka 3	Hodnocení kritérií významu závady	28
Tabulka 4	Hodnocení kritérií odhalitelnosti závady	29
Tabulka 5	Hodnocení kritérií výskytu závady	30
Tabulka 6	Zvláštní rozdělení při hodnocení rizika možných závad a potřeba opatření.....	30
Tabulka 7	Závady pro Paretův graf.....	53
Tabulka 8	Závady vyhodnocené Paretovým grafem.....	54
Tabulka 9	Úspory pro GET-KAZ na komoditě přesně obráběných dílů	59

Seznam příloh

Příloha č. 1	Hřídel ED609616	66
Příloha č. 2	Deska stahovací rotoru D-end ED609617	67
Příloha č. 3	Deska stahovací rotoru N-end ED609618	68
Příloha č. 4	Deska stahovací statoru D-end ED609607	69
Příloha č. 5	Deska stahovací statoru N-end ED609876	70
Příloha č. 6	Kroužek ED609700	71
Příloha č. 7	Labyrint N-end vnější ED609701	72
Příloha č. 8	Labyrint vnitřní ED609703	73
Příloha č. 9	Kroužek vnitřní ED609704.....	74
Příloha č. 10	Labyrint D-end vnější ED609754	75
Příloha č. 11	Kotouč čidla ED609837.....	76
Příloha č. 12	Distanční vložka ED609699	77
Příloha č. 13	Kroužek distanční ED609702	78

Příloha č. 2 Deska stahovací rotoru D-end ED609617

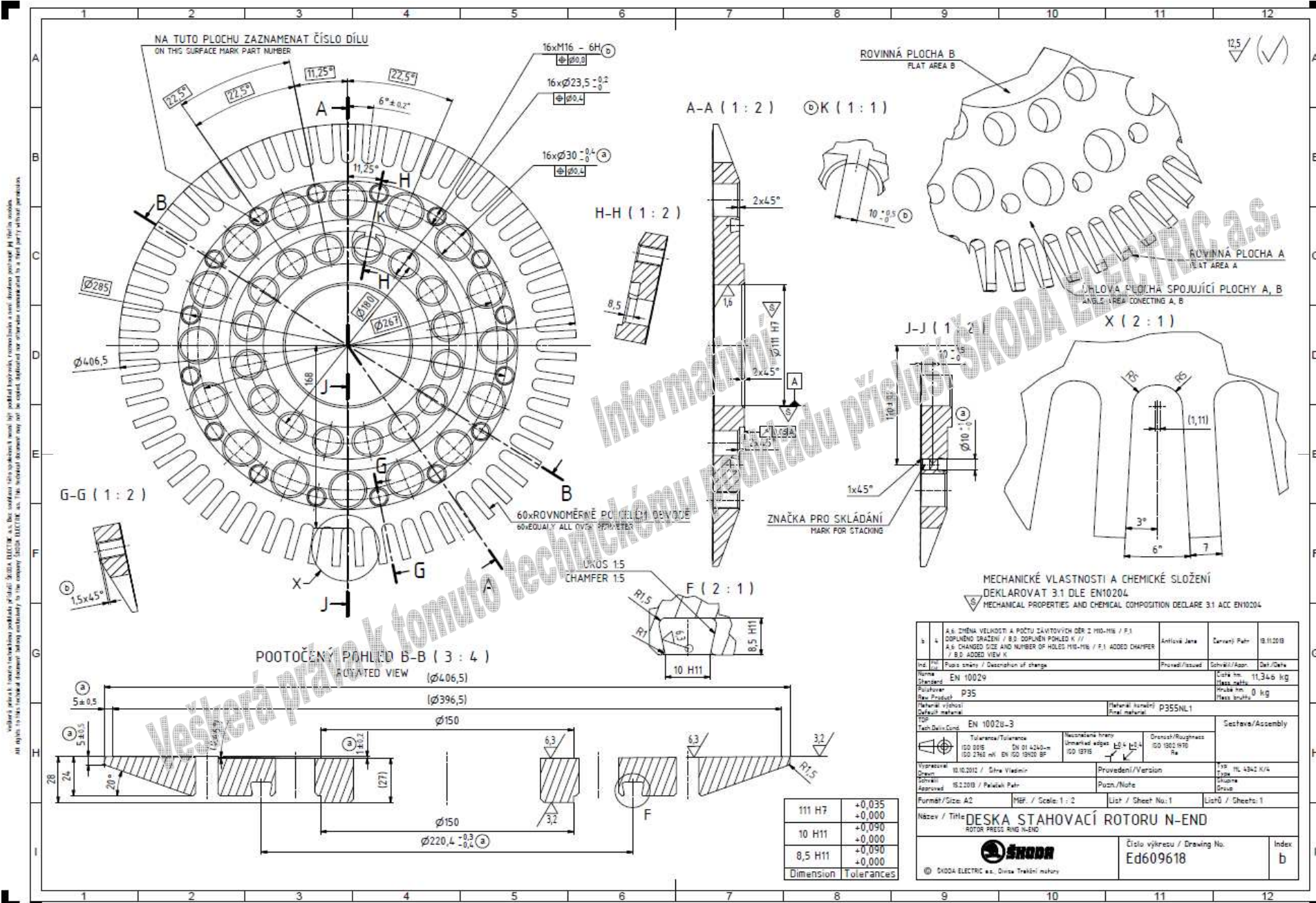


MECHANICKÉ VLASTNOSTI A CHEMICKÉ SLOŽENÍ
DEKLAROVAT 3.1 DLE EN10204
MECHANICAL PROPERTIES AND CHEMICAL COMPOSITION DECLARE 3.1 ACC EN10204

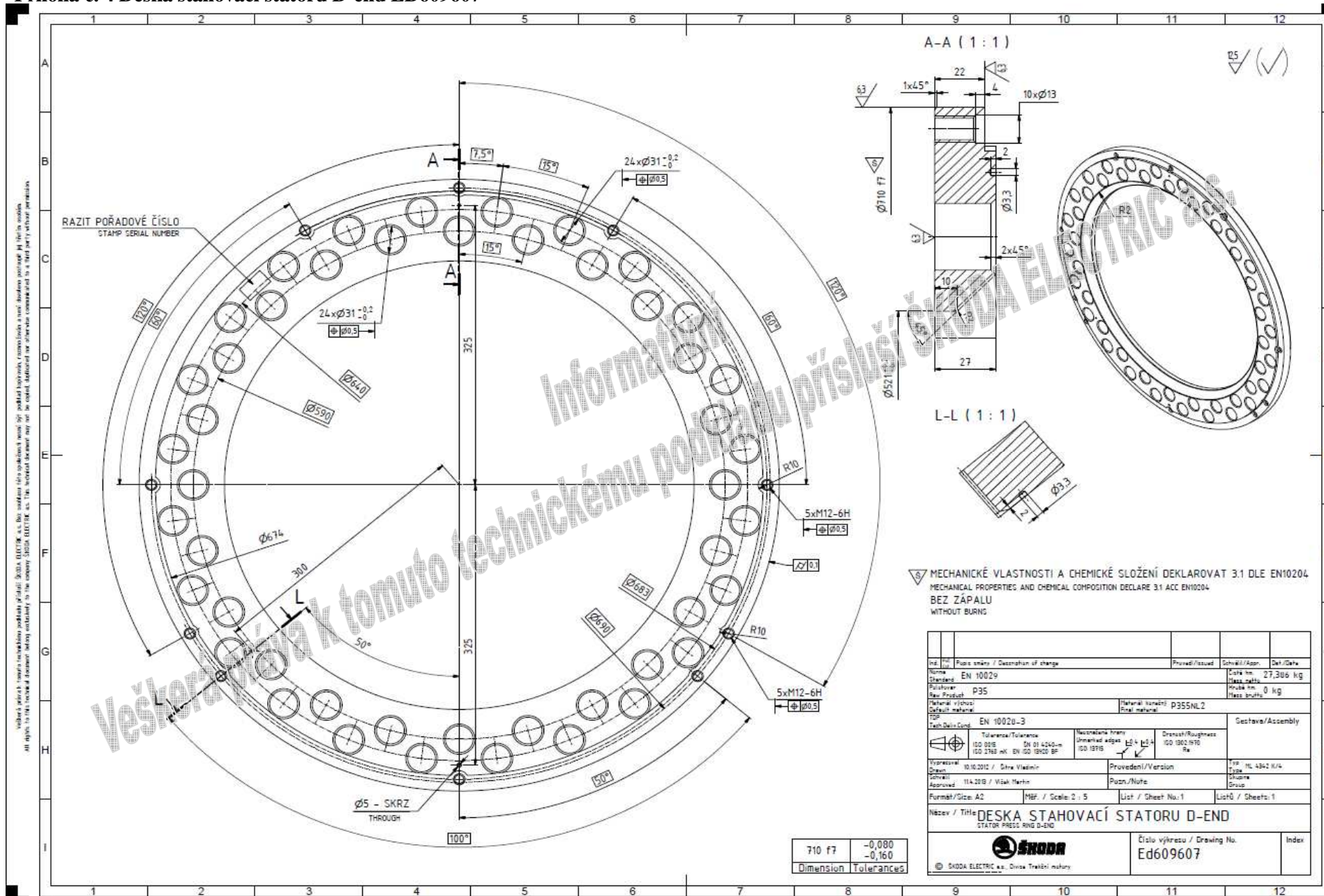
1	A.S. ŠKODA VELIKOSTI A POČTU ZAVTVOVÝCH OBER 2 H10-H16 / Č.S. DOPLNĚNÉ PRAŽENÍ / A.1 DOPLNĚN POKLAD J.// A.S. CHANGED SIZE AND NUMBER OF HOLES H10-H16 / C.S. ADDED CHAMFER / A.1 ADDED VIEW J.	Antivize Jena	Čerpaný Pahr	B.11208
2	EN 10029	Průvodič/Issued	Schválil/Aspn	Det./Date
3	EN 10029	Číslo km.	11,327	kg
4	P35	hmota km.	0	kg
5	P355NL1	hmota km.		
6	EN 10020-3	Sestava/Assembly		
7	ISO 2768-1	ISO 13715	ISO 1802-1	ISO 1802-2
8	10.10.2012 / Strá Vlastník	Průvodič/Version	Typ	11.4342 K/4
9	18.2.2008 / Paláček Pahr	Pozn./Note	Skupina	Group
10	Formát/Size: A2	MĚR / Scale: 1 : 2	Líst / Sheet No.: 1	Lístů / Sheets: 1
Název / Title: DESKA STAHOVACÍ ROTORU D-END ROTOR PRESS RING D-END				
ŠKODA ELECTRIC a.s. Divize Tržební služby			Číslo výkresu / Drawing No.	Index
			Ed609617	b

109 H7	+0,035
	+0,000
10 H11	+0,090
	+0,000
8,5 H11	+0,090
	+0,000
Dimension Tolerances	

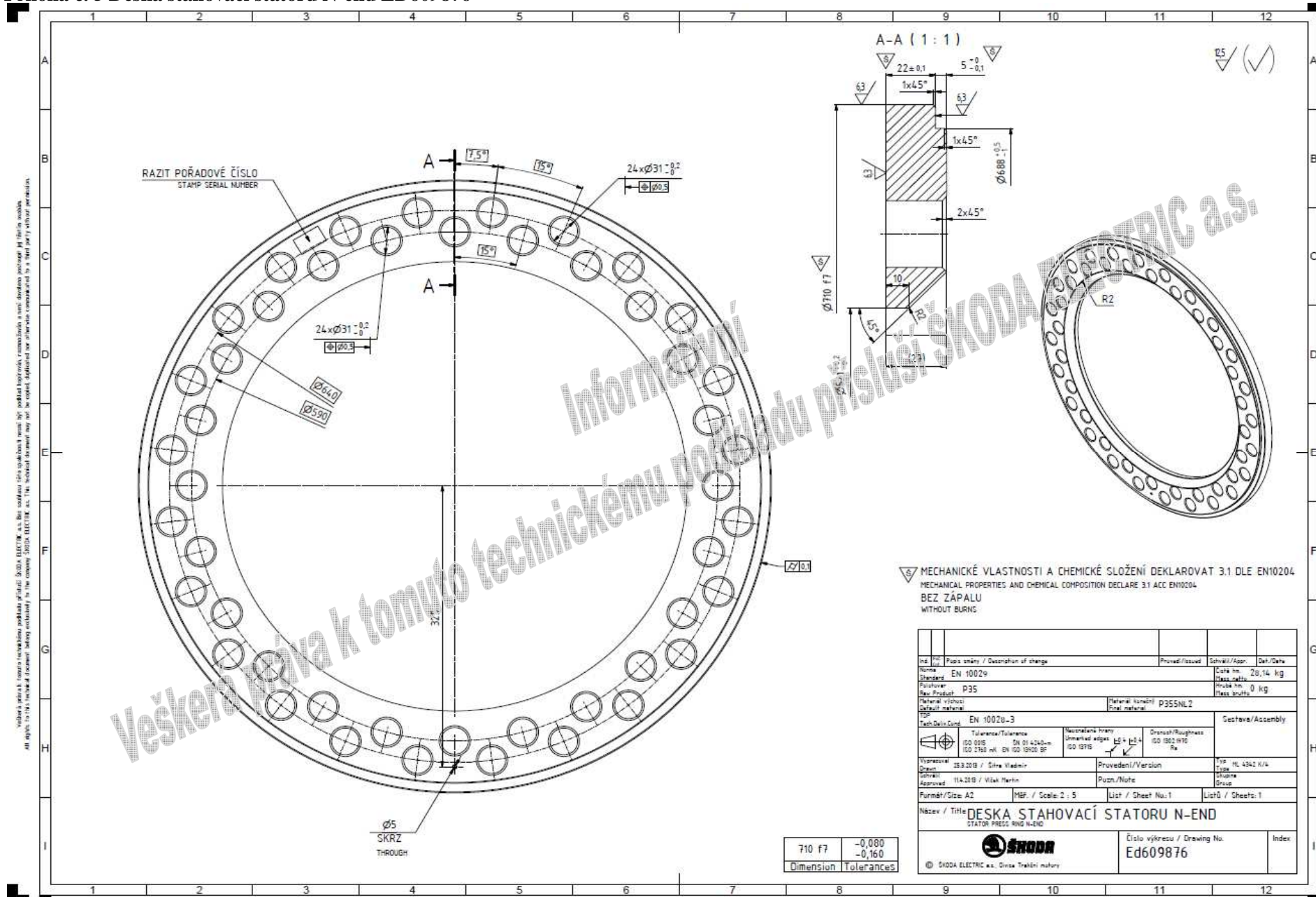
Příloha č. 3 Deska stahovací rotoru N-end ED609618



Příloha č. 4 Deska stahovací statoru D-end ED609607

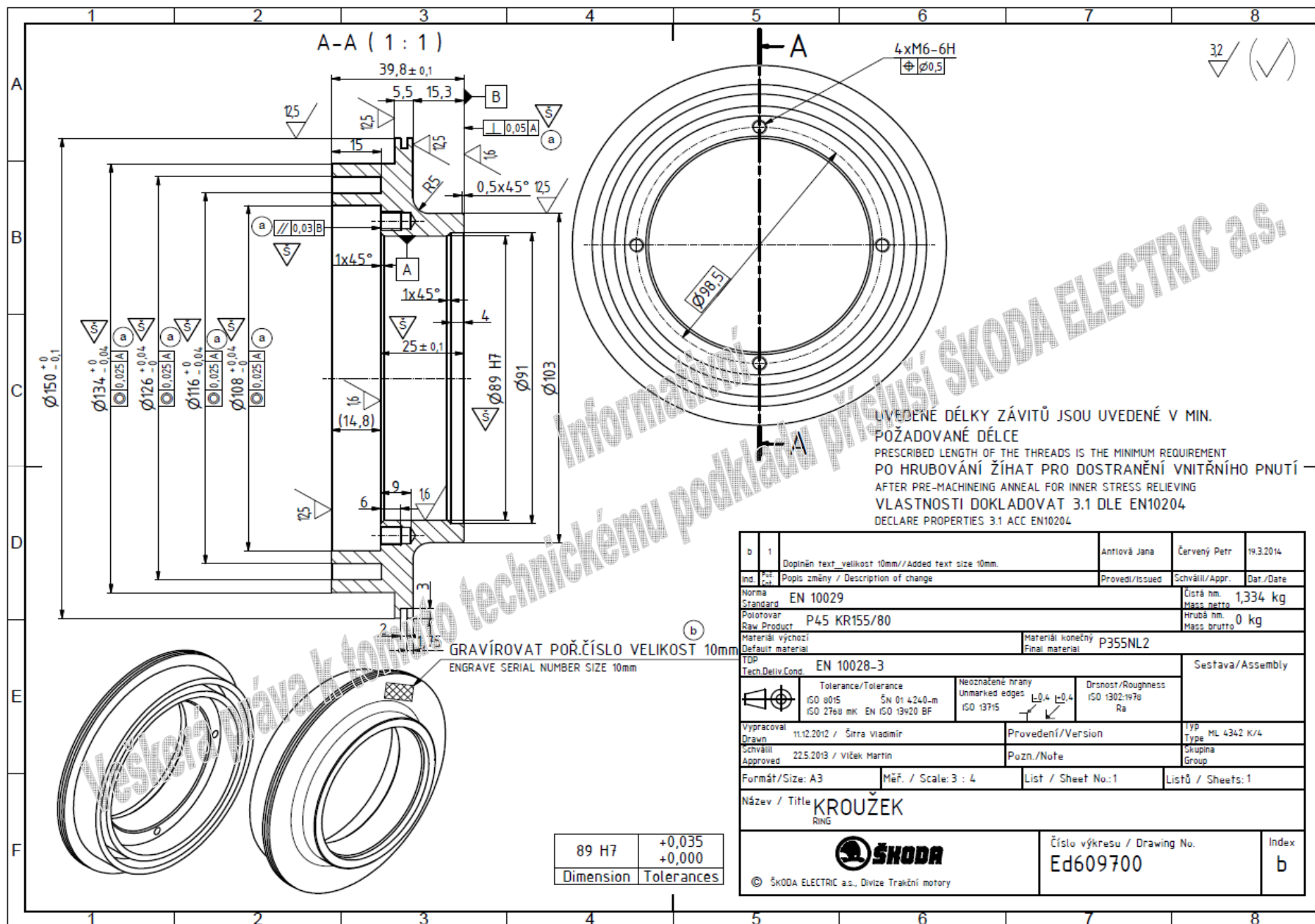


Příloha č. 5 Deska stahovací statoru N-end ED609876



Příloha č. 6 Kroužek ED609700

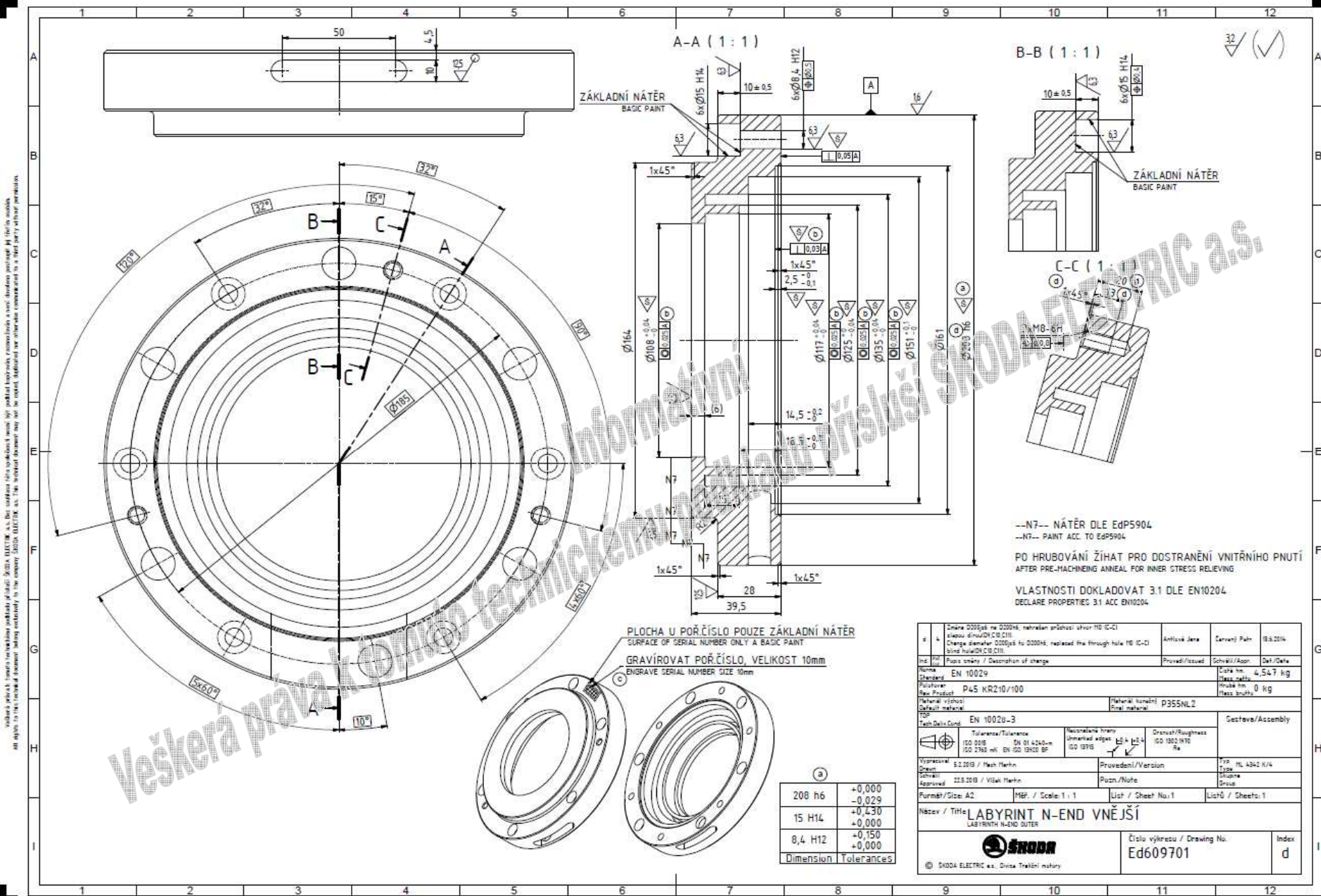
Všechná práva k tomuto technickému podkladu přísluší ŠKODA ELECTRIC a.s. Bez souhlasu této společnosti nesmí být podléhá kopírován, rozmnožován a není dovoleno postoupit jej třetímu osobám. All rights to this technical document belong exclusively to the company ŠKODA ELECTRIC a.s. This technical document may not be copied, duplicated nor otherwise communicated to a third party without permission.



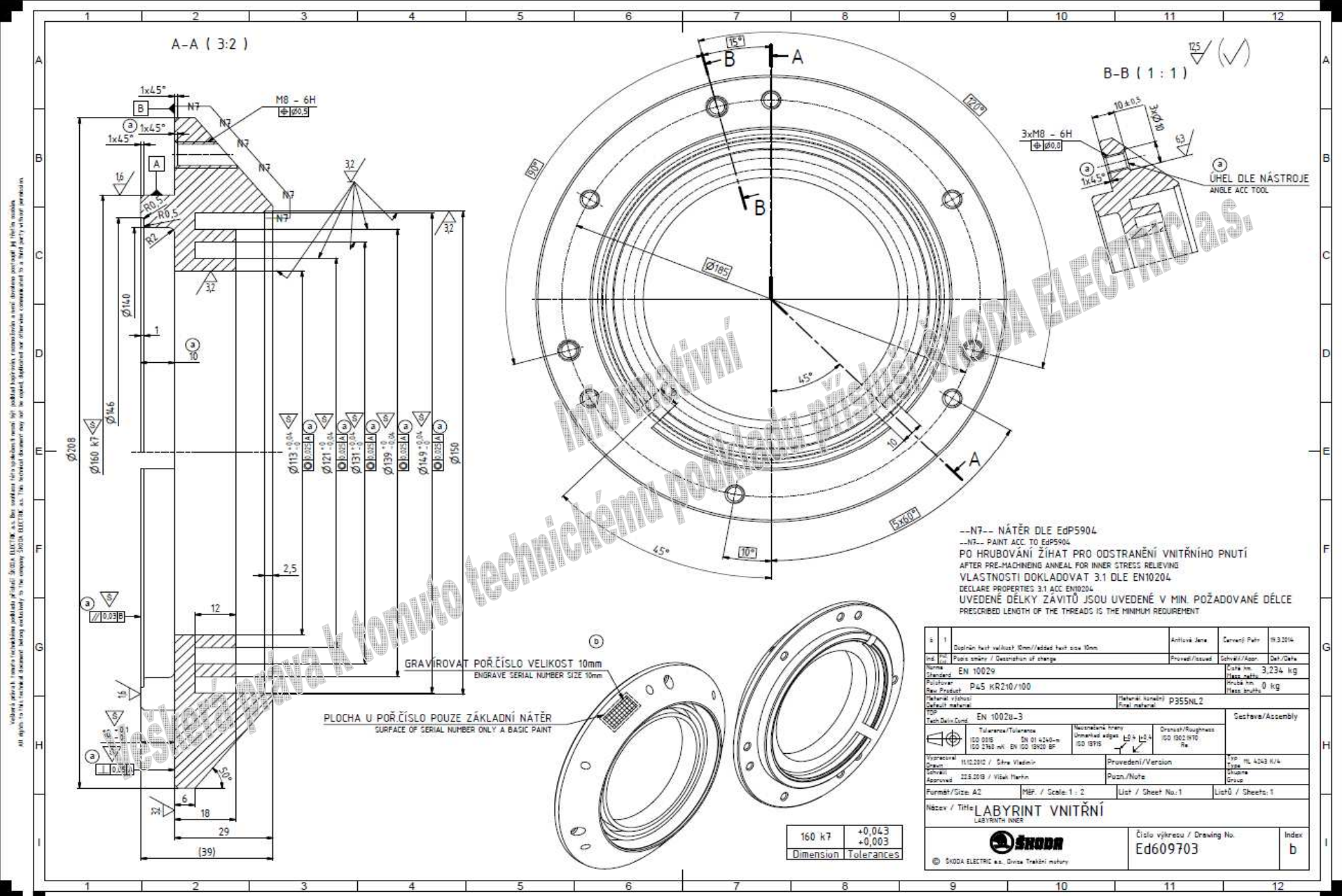
UVEDENÉ DÉLKY ZÁVITŮ JSOU UVEDENÉ V MIN.
POŽADOVANÉ DÉLCE
PRESCRIBED LENGTH OF THE THREADS IS THE MINIMUM REQUIREMENT
PO HRUBOVÁNÍ ŽÍHAT PRO DOSTRANĚNÍ VNITŘNÍHO PNUTÍ
AFTER PRE-MACHINING ANNEAL FOR INNER STRESS RELIEVING
VLASTNOSTI DOKLADOVAT 3.1 DLE EN10204
DECLARE PROPERTIES 3.1 ACC EN10204

Ind. / Popis změny / Description of change	Antlová Jana	Červený Petr	19.3.2014
Norma / Standard EN 10029	Provedl / Issued	Schválil / Appr.	Dat. / Date
Polotovary / Raw Product P45 KR155/80	Materiál výchozí / Default material	Materiál konečný / Final material P355NL2	Cistá hm. / Mass netto 1,334 kg
Materiál / Material		Hrubá hm. / Mass brutto 0 kg	
TOP / Tech Deliv Cond. EN 10028-3		Sestava / Assembly	
Tolerance / Tolerance ISO 8015 ŠN 01 4240-m ISO 2768 mk EN ISO 13420 BF		Neoznačené hrany / Unmarked edges ISO 13715 L0,4 L0,4	Drsnost / Roughness ISO 1302:1978 Ra
Vypracoval / Drawn 11.12.2012 / Štira Vladimír	Provedení / Version		Typ / Type ML 4342 K/4
Schválil / Approved 22.5.2013 / Višek Martin	Pozn. / Note		Skupina / Group
Formát / Size: A3	Měř. / Scale: 3 : 4	List / Sheet No.: 1	Listů / Sheets: 1
Název / Title KROUŽEK RING			Index b
Číslo výkresu / Drawing No. Ed609700			
© ŠKODA ELECTRIC a.s., Divize Trakční motory			

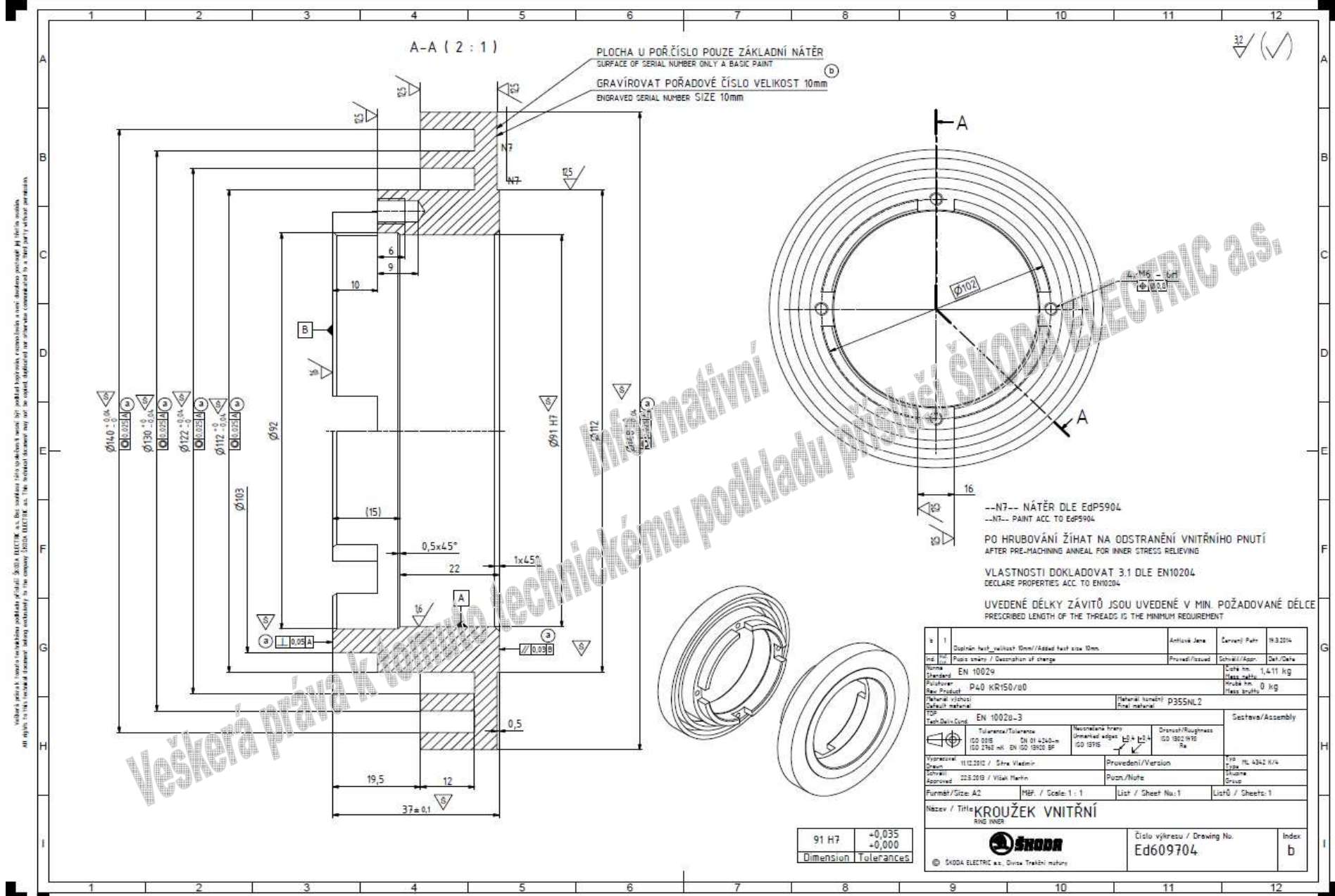
Příloha č. 7 Labyrint N-end vnější ED609701



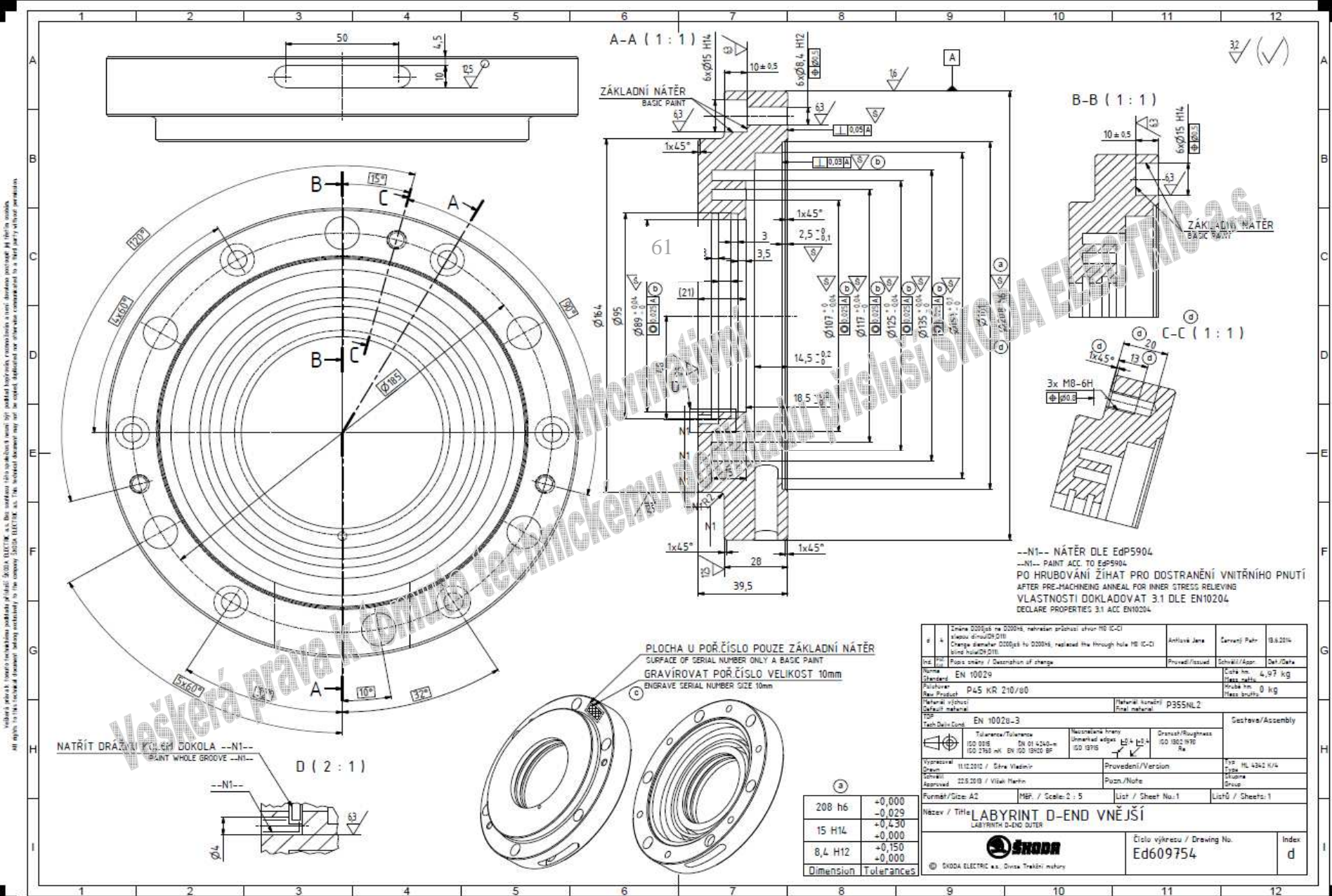
Příloha č. 8 Labyrint vnitřní ED609703



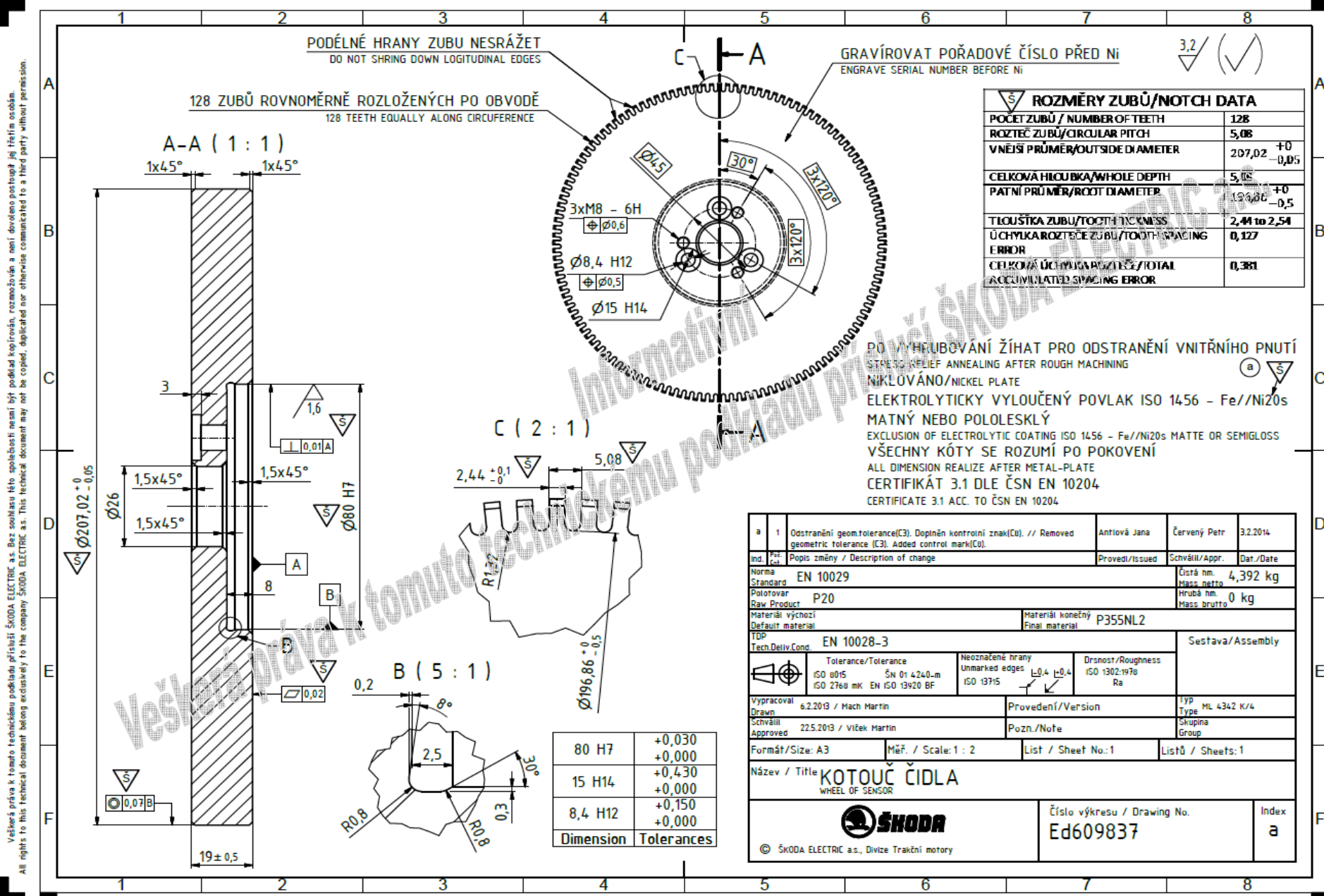
Příloha č. 9 Kroužek vnitřní ED609704



Príloha č. 10 Labyrint D-end vnější ED609754



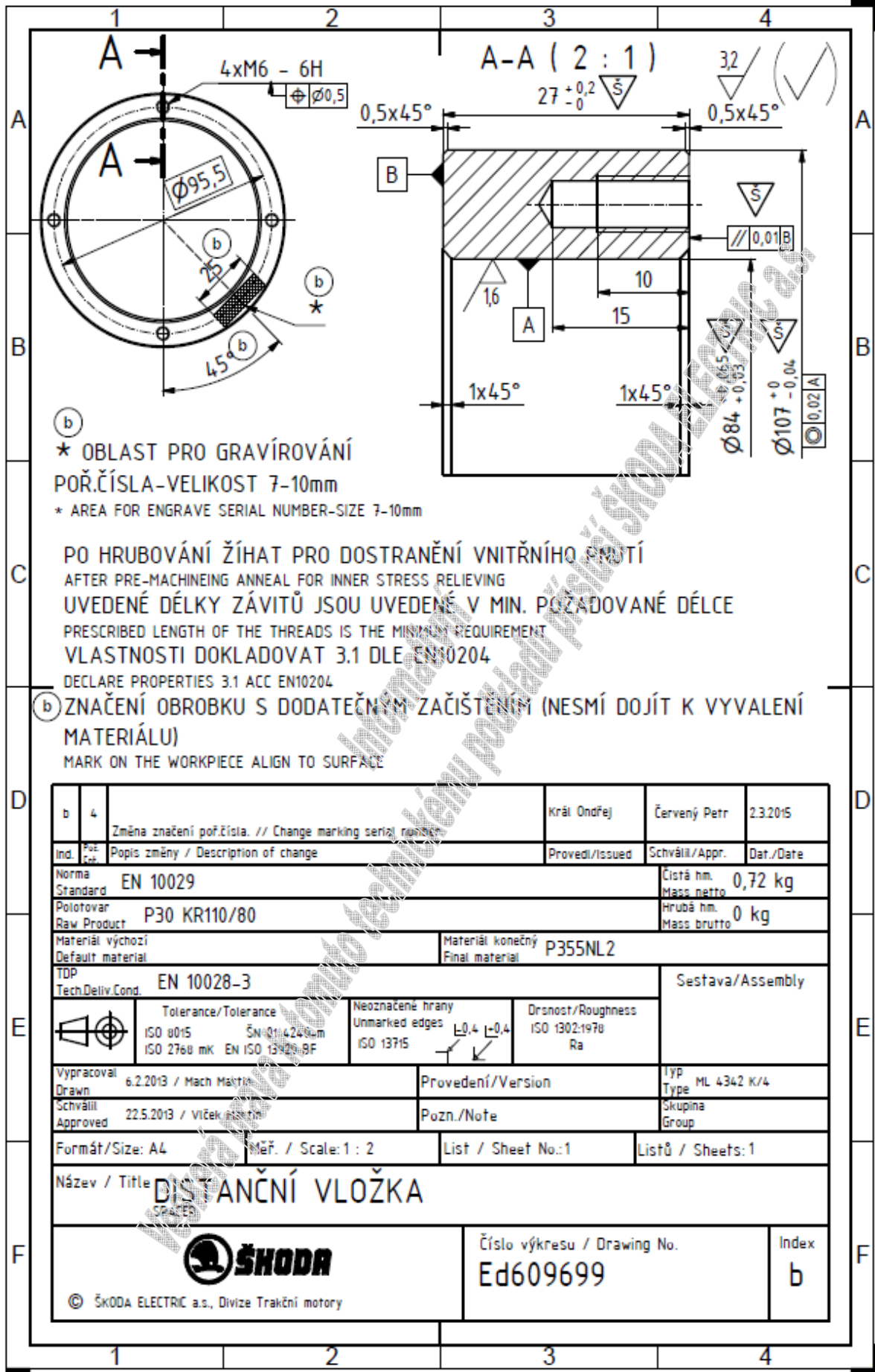
Příloha č. 11 Kotouč čidla ED609837



Všechná práva k tomuto technickému podkladu přísluší ŠKODA ELECTRIC a.s. Bez souhlasu této společnosti nesmí být podklad kopírován, rozmnožován a není dovoleno postoupit jej třetímu osobám. All rights to this technical document belong exclusively to the company ŠKODA ELECTRIC a.s. This technical document may not be copied, duplicated nor otherwise communicated to a third party without permission.

Příloha č. 12 Distanční vložka ED609699

Veškerá práva k tomuto technickému podkladu přísluší ŠKODA ELECTRIC a.s. Bez souhlasu této společnosti nesmí být podklad kopírován, rozmnožován a není dovoleno postoupit jej třetí osobě.
 All rights to this technical document belong exclusively to the company ŠKODA ELECTRIC a.s. This technical document may not be copied, duplicated nor otherwise communicated to a third party without permission.



- (b) * OBLAST PRO GRAVÍROVÁNÍ
POŘ.ČÍSLA-VELIKOST 7-10mm
* AREA FOR ENGRAVE SERIAL NUMBER-SIZE 7-10mm

PO HRUBOVÁNÍ ŽÍHAT PRO DOSTRANĚNÍ VNITŘNÍHO PÍŤÍ
 AFTER PRE-MACHINING ANNEAL FOR INNER STRESS RELIEVING
 UVEDENÉ DÉLKY ZÁVITŮ JSOU UVEDENÉ V MIN. POŽADOVANÉ DÉLCE
 PRESCRIBED LENGTH OF THE THREADS IS THE MINIMUM REQUIREMENT
 VLASTNOSTI DOKLADOVAT 3.1 DLE EN10204
 DECLARE PROPERTIES 3.1 ACC EN10204

- (b) ZNAČENÍ OBROBKU S DODATEČNÝM ZAČIŠTĚNÍM (NESMÍ DOJÍT K VYVALENÍ MATERIÁLU)
 MARK ON THE WORKPIECE ALIGN TO SURFACE

b	4	Změna značení poř.číslo. // Change marking serial number	Král Ondřej	Červený Petr	2.3.2015
Ind.	Pop.	Popis změny / Description of change	Provedl/Issued	Schválil/ Appr.	Dat./Date
Norma Standard	EN 10029			Cistá hm. Mass netto	0,72 kg
Polotovary Raw Product	P30 KR110/80			Hrubá hm. Mass brutto	0 kg
Materiál výchozí Default material	Materiál konečný Final material			P355NL2	
TDP Tech.Deliv.Cond.	EN 10028-3			Sestava/Assembly	
	Tolerance/Tolerance		Neo značené hrany Unmarked edges		Drsnost/Roughness ISO 1302:1978 Ra
	ISO 8015	SN 01:4240-m	L0,4 L-0,4		
ISO 2768 MK	EN ISO 13920-9F		ISO 13715		
Vypracoval Drawn	6.2.2013 / Mach Martin		Provedení/Version		Typ Type ML 4342 K/4
Schválil Approved	22.5.2013 / Višek Martin		Pozn./Note		Skupina Group
Formát/Size: A4	Měř. / Scale: 1 : 2	List / Sheet No.:1	Listů / Sheets: 1		
Název / Title DISTANČNÍ VLOŽKA					
			Číslo výkresu / Drawing No.	Index	
© ŠKODA ELECTRIC a.s., Divize Trakční motory			Ed609699	b	

Příloha č. 13 Kroužek distanční ED609702

Veškerá práva k tomuto technickému podkladu přísluší ŠKODA ELECTRIC a.s. Bez souhlasu této společnosti nesmí být podklad kopírován, rozmnožován a není dovoleno postoupit jej třetí osobám.
 All rights to this technical document belong exclusively to the company ŠKODA ELECTRIC a.s. This technical document may not be copied, duplicated nor otherwise communicated to a third party without permission.

