



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SVORNÍKU NA CNC SOUSTRUHU

PRODUCTION OF A BOLT ON CNC LATHE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Kališ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jiří Kališ
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Milan Kalivoda
Akademický rok:	2018/19

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

Výroba svorníku na CNC soustruhu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jednoúčelová součást charakteru šroub/svorník je doložena záležitostmi z celého realizačního průběhu, tj. od konstrukčního záměru až po zhodnocení vlastností výrobku.

Cíle bakalářské práce:

- Konstrukční a funkční rozbor součásti "svorník".
- 3D model součásti v SW Inventor.
- Vstupní data pro výrobu.
- Sestavení technologického postupu.
- Vygenerování NC programu.
- Výroba vzorového kusu.
- Technicko–ekonomické posouzení.

Seznam doporučené literatury:

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

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

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

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

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

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-21-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o použití svorníku v energetickém průmyslu. Tento svorník se používá jako spojka přírubové hřídele turbíny s generátorem. Práce vypracovaná v rámci bakalářského studia řeší použití tohoto svorníku a technologický postup výroby součásti zadané zahraničním zákazníkem. V práci je také vysvětlena montáž a demontáž tohoto svorníku. Z podmínek zákazníka na vlastnosti materiálu je zvolen materiál 34CrNiMo6, podle německého označení DIN 1.6582. Svorník je následně vyroben na CNC soustruhu a je na něm provedena řada nedestruktivních zkoušek.

Klíčová slova

svorník, CNC, soustruh, obrábění

ABSTRACT

This bachelor thesis treats about application coupling bolt in energy power industry. This coupling bolt is used as a coupler of flange shaft on the turbine with generator. Work developed in the bachelor degrees addresses application of this coupling bolt and technological proces of the component production order by foreign client. There is also described mounting and disassembly of this coupling bolt. According to the needs of client is used material 34CrNiMo6, persuant to germany marking DIN 1.6582. Then coupling bolt is made by using CNC lathe and after that are made nondestructive tests.

Key words

coupling bolt, CNC, lathe, machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALIŠ, Jiří. *Výroba svorníku na CNC soustruhu*. Brno, 2019. 34 s, 1 příloha, Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/113048>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba svorníku na CNC soustruhu** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jiří Kališ

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Františku Dufkovi a celé firmě Kovo Dufek za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Rád bych také poděkoval panu Ing. Milanovi Kalivodovi. Zejména chci poděkovat mé rodině a přátelům, kteří mi byli oporou po celou dobu studia.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah.....	6
Úvod	7
1 Rozbor svorníku	9
1.1 Popis svorníku	10
1.2 Montáž	11
1.3 Model svorníku v programu Autodesk Inventor	11
2 Výroba.....	15
2.1 Společnost Kovo Dufek s.r.o.	15
2.1.1 Strojní park.....	16
2.2 Postup výroby.....	17
2.3 NC kod	20
3 Kontrola svorníku	22
3.1 Zkouška magnetická	22
3.2 Zkouška ultrazvukem	23
3.3 Spektrometr.....	24
3.4 Kontrola kuželovitosti pomocí sinusového pravítka	25
3.5 Laserový popis	26
4 Technicko ekonomická rozvaha	27
5 Závěr.....	29
Seznam použitých zdrojů	30
Seznam použitých symbolů a zkratek	31
Seznam obrázků	32
Seznam příloh	33

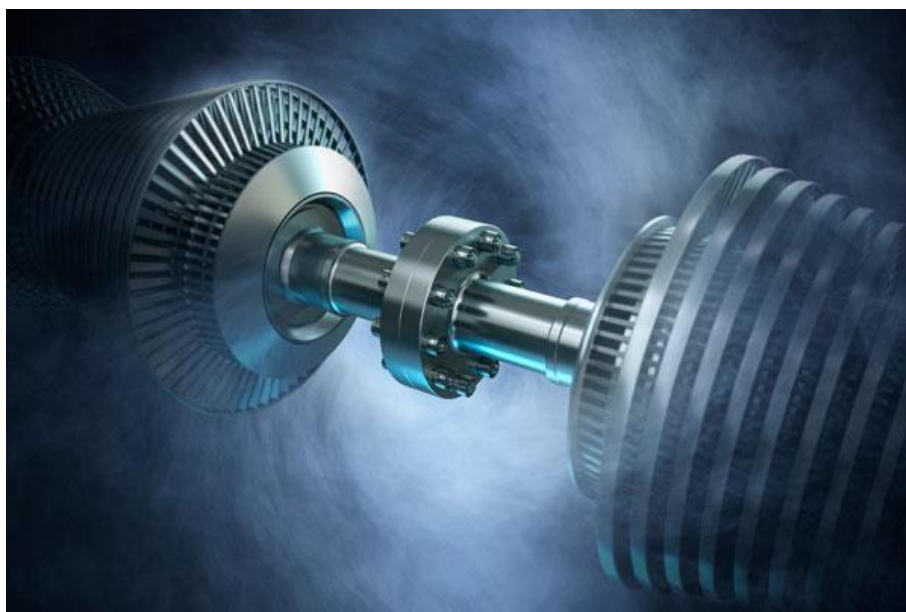
ÚVOD [1], [2], [3]

Spojky jsou stejně staré jako industrializace, a to i na raných jednoduchých strojích, jako jsou větrné mlýny a mlýny na bavlnu, které potřebují nějaký způsob spojování hřídelí. Nicméně, někdy od vynálezu parní turbíny v roce 1884 [4], se hřídelové spojky staly nezbytné v energetice a lodním průmyslu. Vzhledem k tomu jak turbíny tak i lodě se zvětšily, tak i množství energie a točivého momentu, které je třeba přenášet. To zase výrazně zvýšilo nároky na hřídele a spojky a v případě šroubových spojek na samotné šrouby.

Když se podíváte na spojku před 60-70 lety, je skoro stejný design a koncept jako dnes. Nicméně, inženýrství za nimi se vyvinulo hodně. Zejména šrouby a svorníky jsou oblastí, kde se spojky staly mnohem sofistikovanější a umožnily menším spojkám přenášet větší točivý moment.

Jednou z nejdůležitějších funkcí šroubové spojky je udržování vyrovnávání hřídele. V námořních aplikacích, kde se hřídele typicky otáčejí při nízkých otáčkách, způsobí každé vyosení vibrace, což zase způsobí zbytečné zatížení ložisek. V aplikacích na výrobu elektřiny, kde rotace může dosahovat až 3600 otáček za minutu je i sebemenší vibrace nebo nerovnoměrné zatížení nepříjemné a výrazně by omezilo schopnost turbíny pracovat při plném výkonu. Z tohoto důvodu je do optimalizace vyrovnání hřídelí investováno mnoho času a zdrojů. Například i nesouosost v parních turbínách způsobuje vibrace, zbytečně zatěžuje ložiska a omezuje provoz při plném výkonu.

Spojky tedy hrají důležitou úlohu při udržování vyrovnávání a přenosu kroutícího momentu hnacího hřídele. Spojovací šroub je mechanický prostředek pro držení dvou polovin přírubového hřídele mezi samotnou turbínou a generátorem, viz obr. 1. Musí se správně přenášet točivý moment při zachování vyrovnání hřídele.

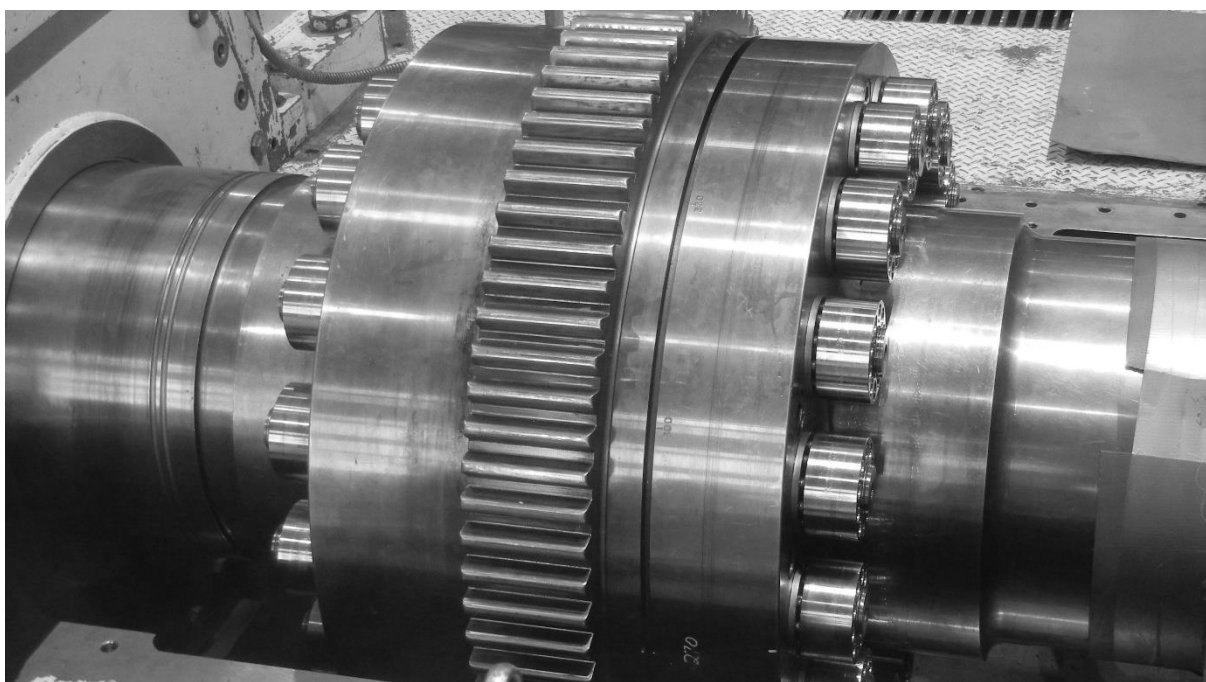


Obr. 1 Vizualizace šroubového spojení [2].

Vysoké zatížení spojené s potřebným přenosem kroutícího momentu skrz hřídelové spojení pomocí svorníků je opravdu vysoké. Díky tomu je šroubový spoj nutný. Spojovací šrouby jsou velké a složité. Na údržbářské práce jsou zapotřebí nástroje s vysokou spotřebou energií jako třeba hydraulický napínák. Šrouby musí být přesně osazeny nebo opatřeny protilehlými pouzdry pro přenášení správného momentu. V ideálním případě by se použil jeden hřídel, což je však vzhledem k nutnosti údržby nebo výměny nemožné. K připevnění obou polovin hřídele pomocí spojky je potřeba použít spojkový šroub (svorník), viz obr. 2.

Standartní šrouby, které se často používají k zajištění spojek jsou levné a snadno dostupné. Tyto šrouby a jejich protilehlá pouzdra však vyžadují přesné obrábění, extrémní tolerance a vysoce kvalitní materiál a povrchové úpravy. I přes velké kroutící momenty mohou vzniknout plastické deformace příruby nebo spojkového šroubu. Kromě poruch to může znemožnit to, aby obsluha během údržby odstranila namontované šrouby.

Hydraulicky montované spojovací šrouby (svorníky) se skládají z kuželového šroubu s kuželovým pouzdrům a dvou válcových matic.



Obr. 2 Spojkový šroub (svorník) v praxi [1].

1 ROZBOR SVORNÍKU

V této kapitole je popsán konkrétní svorník, který zákazník poptává a objednává. Zákazník celkem objednává 16 těchto svorníků. Výkres viz příloha č. 1. Materiál musí splňovat tyto pokyny v chemickém složení, mechanických vlastnostech a všech ostatních uvedených požadavcích. Tvar, rozměry a další podmínky jsou uvedeny v objednávce. Požadavky na materiál jsou:

Tabulka 1 Chemické složení požadovaného materiálu.

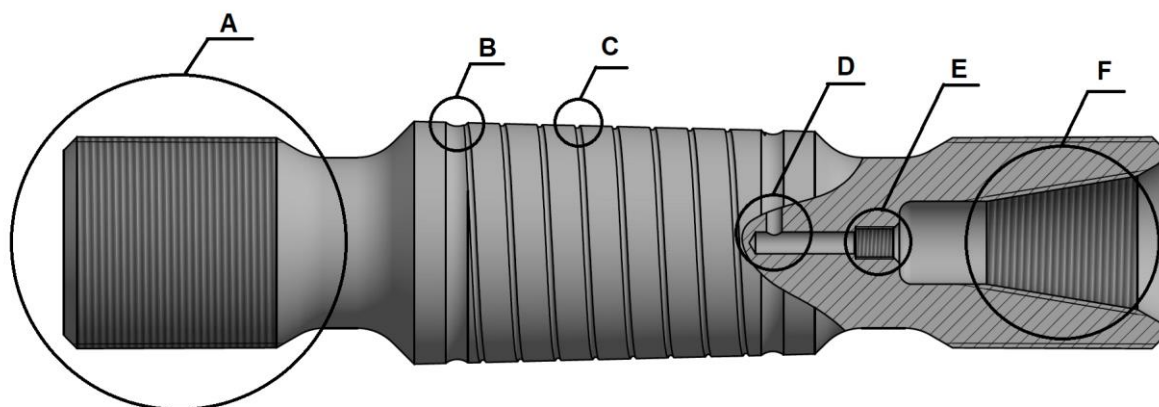
Prvek	Minimální hmotnostní %		Maximální hmotnostní %
C	0,30	až	0,38
Si		maximálně	0,40
Mn	0,50	až	0,80
P		maximálně	0,035
S		maximálně	0,035
Cr	1,30	až	1,70
Ni	1,30	až	1,70
Mo	0,15	až	0,30

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě požadovaného materiálu.

R _m	Mez pevnosti v tahu	980 až 1130	MPa
R _{p0,2}	Mez kluzu	minimálně 880	MPa
A ₅	Podélné prodloužení	minimálně 14	%
KV	Vrubová houževnatost	minimálně 35	J

1.1 Popis svorníku

Tento svorník spolu s dalšími (celkem 16 kusů) spojuje přírubový hřídel parní turbíny s generátorem. Na svorníku, který je kuželový s kuželovitostí 1:20 je nasazeno pouzdro s vnitřní identickou kuželovitostí a venkovní průměr už je válcový. Důvod této kuželovitosti je více rozepsán v podkapitole Montáž. Tento celek je vložen do otvorů přírubového hřídele. Obr. 3.



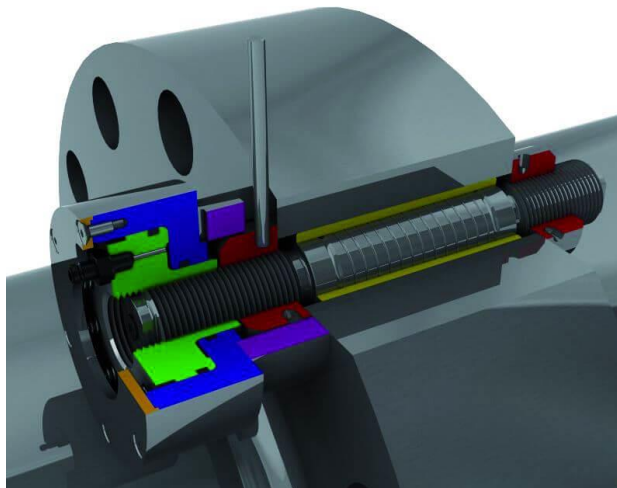
Obr. 3 Jednotlivé části svorníku.

Na obrázku 3 jsou vyznačeny nejdůležitější části svorníku.

- A. Metrický závit M68 x 6, který je vysoustružený na kuželu s kuželovitostí 8 ‰, závit je tedy kuželový. Závit díky tomu mnohem lépe drží než klasický válcový závit a nepovolí e tak jednoduše. Všechny profily závitu jsou namáhány stejným zatížením a nejsou v záběru pouze první dva profily závitu jak je tomu u klasického válcového závitu. Uvnitř svorníku je rovněž otvor se závitem, oba konce svorníku jsou identické.
- B. Vybrání které zamezí úniku tlakového oleje, který je přiváděn středem svorníku aby vzlínal mezi svorníkem a pouzdem kvůli demontáži.
- C. Šroubovice pro přívod a rovnoměrné nanesení tlakového oleje podél celého obvodu kuželovitého samosvorného profilu s kuželovitostí 1:20.
- D. Vnitřní rozvod tlakového oleje skrz vyvrtané otvory středem až na venek svorníku do jednoho ze dvou vybrání.
- E. Vnitřní závit pro přišroubování hadice s tlakovým olejem.
- F. Vnitřní kuželový závit s kuželovitostí 1:3. Zde se šroubuje trn stahovacího šroubu hydraulického napínáku, který je nezbytný pro montáž/demontáž svorníku.

1.2 Montáž

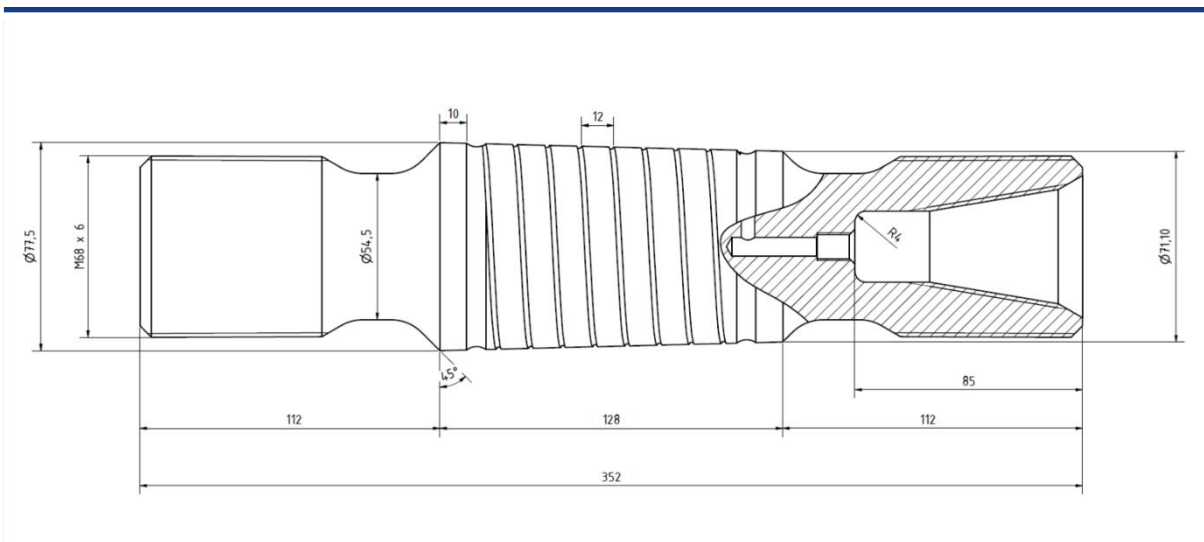
Svorník, který má spojit dva přírubové hřídele, má kónusový tvar a nasadí se na něj pouzdro, které má na vnitřním průměru totožný kónus jako svorník a venkovní průměr pouzdra je válcový. To se celé vloží do přírubového hřídele napřed tenčím koncem. Na tomto zúženém konci svorníku je také otvor s kuželovým vnitřním závitem. Tam se nejprve zašroubuje šroub hydraulického napínače a speciální podložka pro zapření hydraulického čerpadla se opře o čelo přírubového hřídele a o pouzdro. Poté se do sestavy přidá napínač, na jehož zadní části je hydraulické čerpadlo. Napínač je pak pomocí hydraulického čerpadla natlakován tak, aby se svorník posunul dál do přírubové hřídele, čímž se víc zasune do pouzdra svorníku. Díky kónusovému tvaru se tím pouzdro napne a zvětší svůj průměr, díky kterému se svorník i s pouzdem ještě více zaklesne do přírubového hřídele a zamezí tím pohybu a vůli svorníku při námaze. Hydraulické čerpadlo vytváří tlak do té doby, než je pouzdro svorníku zvětšeno do potřebné velikosti. Poté se tlak uvolní a čerpadlo, napínač, nastavovací podložka a stahovací šroub jsou odstraněny. Dvě matice se pak přišroubují na konce čepu, dokud se nezajistí o čelo spojky. Viz obr. 4. Demontáž probíhá přesně obráceně s tím, že do středu svorníku z jednoho konce je přiváděno médium pod tlakem, které se přivádí vnitřkem svorníku na jeho povrch kde vzlíná po celém jeho plášti díky šroubovici po obvodu a svorník se tím uvolňuje.



Obr. 4 Montáž svorníku [5].

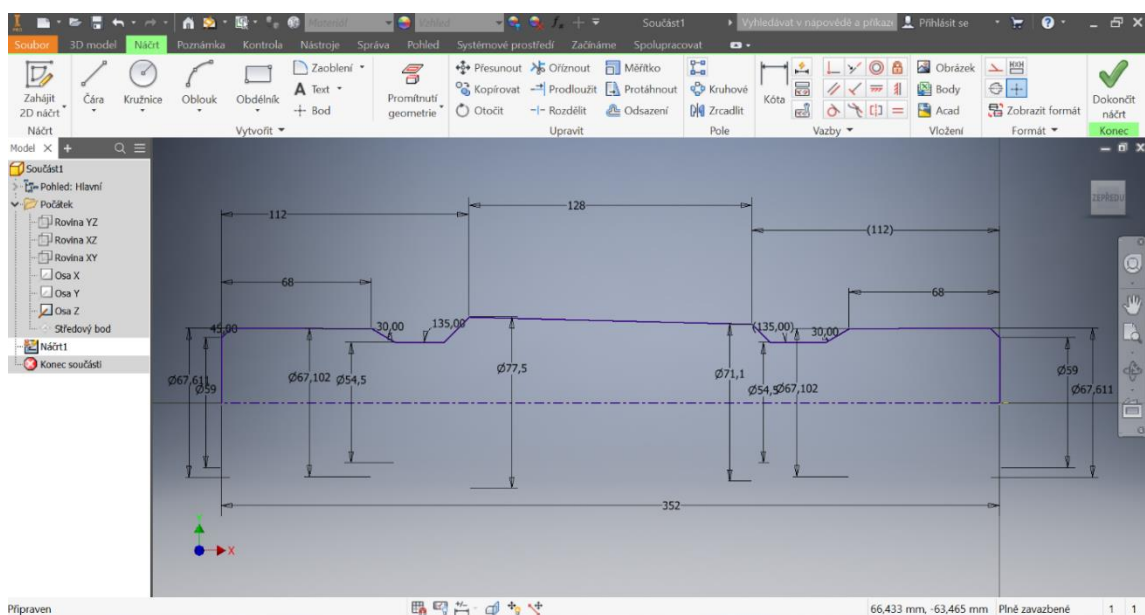
1.3 Model svorníku v programu Autodesk Inventor

Pro vytvoření strategie obrábění a vygenerování NC kódu je svorník nejprve vymodelován v programu Autodesk Inventor. Na obrázku 4 je zjednodušený výkres svorníku. Plnohodnotný výkres, ze kterého je vycházeno, je v příloze 1 avšak tento výkres je od zákazníka proto je právě na konci této práce. Obrázek 5 je pouze orientační. Svorník je vymodelován na střed tolerancí všech rozměrů. Zbývá uložení v kompatibilním formátu pro program Kovoprog na vytvoření obráběcích strategií a vygenerování NC kódu.



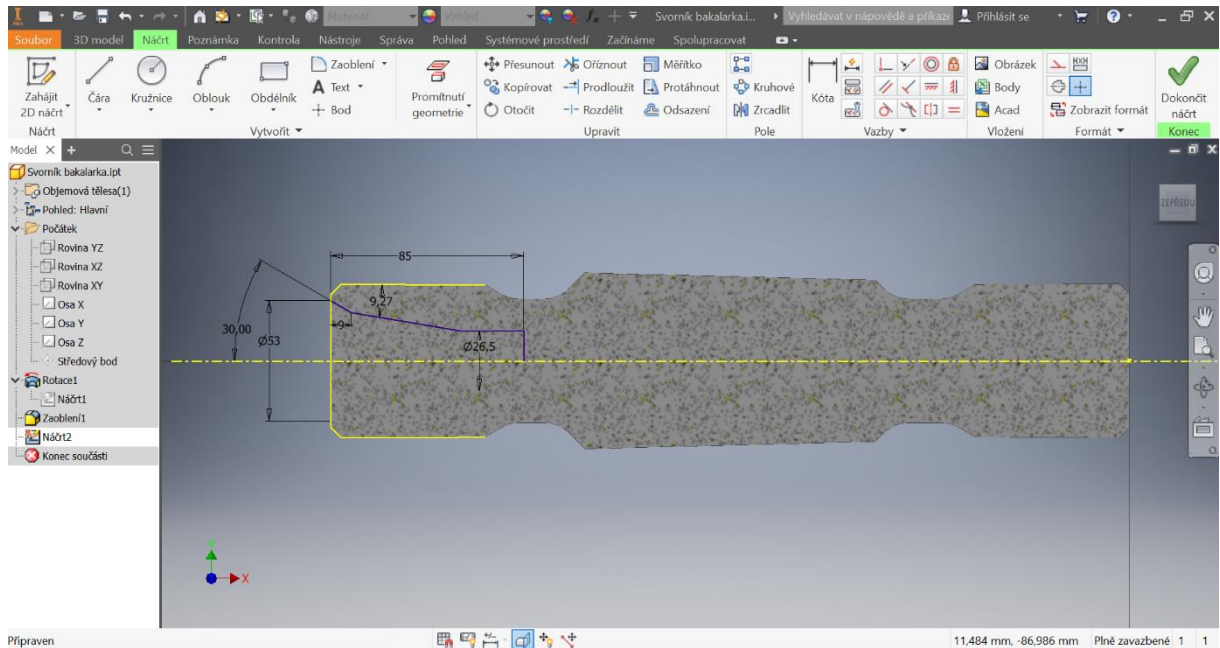
Obr. 5 Zjednodušený výkres svorníku.

Jako první se vybere nová součást s příponou .ipt. Následně je vybrán nový 2D náčrt v rovině XY. Vybráním funkce čára je nakreslena kontura svorníku spolu s osou svorníku. Je kótováno nejprve kliknutím na konturu, potom na osu. Tímto způsobem se kótuje ihned průměr. Opačným postupem se kótuje pouze vzdálenost mezi dvěma prvky, tudíž poloměr. Viz obr. 6.



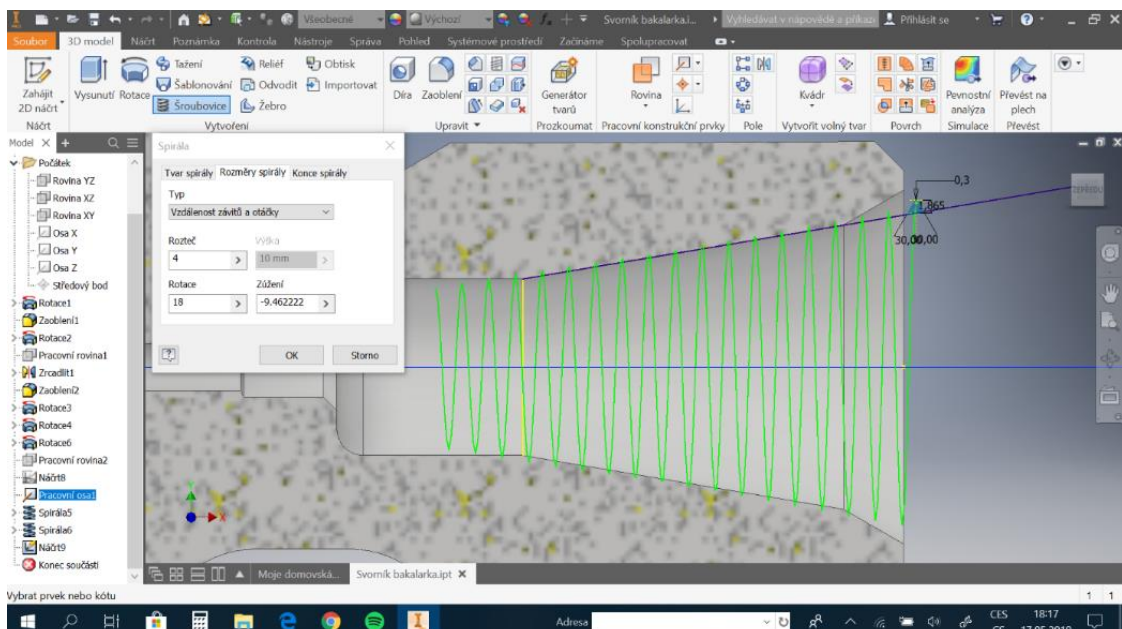
Obr. 6 2D náčrt v Autodesk Inventor.

Náčrt se plně zakótuje. Další krok je dokončení náčrtu a vybráním nástroje rotace. Je vybrán náčrt, osa a náčrt je orotován kolem osy. Tím vznikl plný 3D model. Následně je vybrán další 2D náčrt v rovině XY. Funkční klávesou F7 vznikne řez modelem. Vybráním nástroje čára se nakreslí kontura vnitřní díry pro trn šroubu hydraulického napínáku viz Obr. 6. Náčrt se plně zakótuje a ukončí se. Vybráním nástroje rotace se náčrt orotuje a v dialogovém okně rotace se vybere rozdíl, tím se materiál odebere. Viz obr. 7.



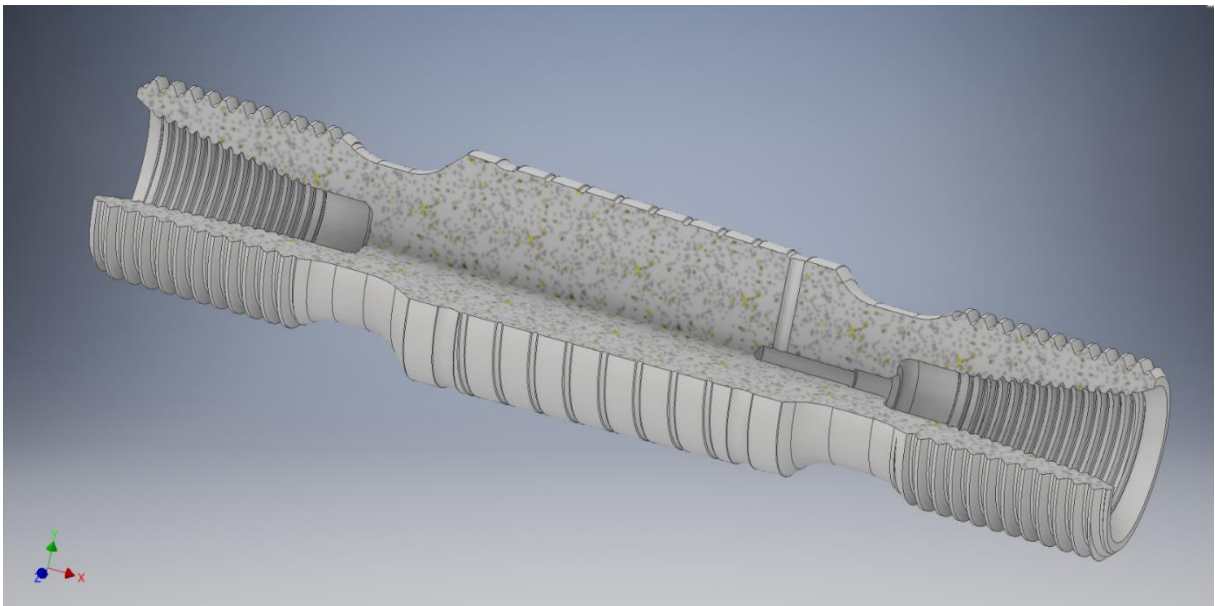
Obr. 7 Náčrt v řezu.

Následně je zvolen další náčrt ve stejné rovině, opět se použije funkční klávesa F7 pro zobrazení v řezu. Jako další je vymodelován požadovaný profil závitů na kuželu 1:3 dle výkresu v příloze 1. Vybráním nástroje šroubovice vyskočí dialogové okno viz Obr. 7. Je vybrán profil závitů viz obr. 8, osa, doplněna rozteč a stoupání. Z výkresu úhel $9^{\circ}27'44''$ je převeden na desetinné číslo 9,462 a číslo je napsáno do zúžení v tomtéž dialogovém okně. Při zaškrtnutí "rozdíl" a "OK" je závit vyřezán.

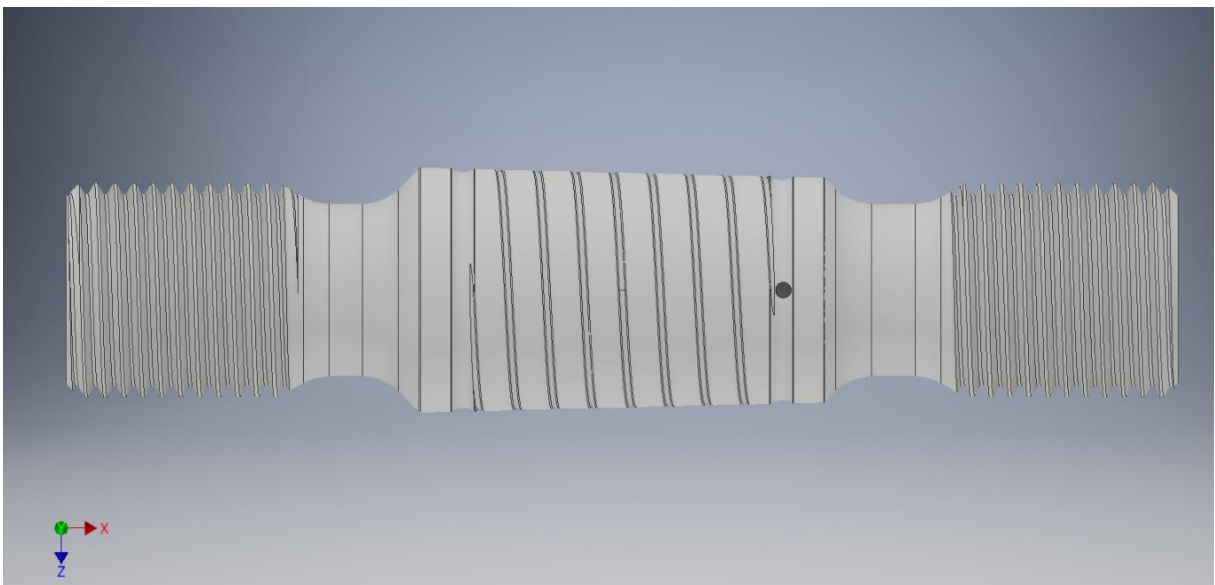


Obr. 8 Vyřezání závitů pomocí šroubovice.

Stejný postup se použije na druhém konci svorníku, následně tedy je z obou čel svorník vymodelovaný s vnitřním kuželovým závitem. Pomocí dalšího náčrtu se vymodeluje závit na vnější části svorníku, který je rovněž na kuželu s kuželovitostí 8 ‰. Dále se vymodeluje vybrání se šroubovicí uprostřed svorníku, které slouží pro rozvod média, které je nezbytné při demontáži. Následně dokončení díry $\text{Ø}5 \text{ mm}$, která spojuje střed svorníku, kam se připojuje hadice s tlakovým olejem/médiem pro uvolnění svorníku z pouzdra, s vybráním na povrchu svorníku. 3D model svorníku je hotov. Viz Obr. 9 a Obr. 10.



Obr. 9 Hotový 3D model svorníku s řezem.



Obr. 10 3D model svorníku zepředu.

2 VÝROBA

2.1 Společnost Kovo Dufek s.r.o.

Práce vznikla ve spolupráci s firmou Kovo Dufek. Společnost Kovo Dufek byla založena v roce 2003 s hlavním výrobním programem zaměřeným na CNC kovo strojní obrábění podle výkresové dokumentace a standardů. Úspěšná obchodní strategie umožnila firmě stabilní ekonomický růst a investice do nové výrobní haly v průmyslové zóně ve Velkém Meziříčím. V roce 2010 došlo ke změně právní formy subjektu na KOVO Dufek s.r.o. Od roku 2011 byla zahájena kovo výroba v nové moderní hale. Společnost KOVO Dufek s.r.o. patří mezi významné české strojírenské firmy, které působí v oblasti CNC kovoobrábění. Zabývá se výrobou složitých a náročně obrobitelných dílů převážně pro energetický průmysl a také pro další odvětví jako automobilový průmysl, stavebnictví a další. Logo viz Obr. 11.



Obr. 11 Logo Kovo Dufek s.r.o..

Kvalita a jakost výroby a schopnost uspokojit specifické potřeby zákazníků je ve společnosti KOVO Dufek s.r.o. založena na bohatých, letitých zkušenostech a know-how vlastních zaměstnanců. Společnost vlastní certifikát kvality (Obr. 12) dle normy ČSN EN ISO 9001:2016.



Obr. 12 Certifikát kvality.

2.1.1 Strojní park

Tabulka 3 Strojní park [6]

CNC Soustruhy		
DOOSAN PUMA 300LMC	max. Ø:	300 mm
	max. délka:	1100 mm
DOOSAN PUMA 300LC	max. Ø:	300 mm
	max. délka:	750 mm
DOOSAN LYNX 220LC	max. Ø:	250 mm
	max. délka:	500 mm
DAEWOO LYNX 210L	max. Ø:	200 mm
	max. délka:	400 mm
CNC Vertikální Frézy		
HURCO VMX1	ŠxDxV:	600 x 400 x 300 mm
HURCO VMX30	ŠxDxV:	750 x 550 x 500 mm
Ostatní stroje		
SV 18	univerzální hrotový soustruh	
SIC EC9	značící zařízení	
PILOUS 230ARG : STANDARD	poloautomatická pila	
BOMAR INDIVIDUAL 520.360 GANC	plně automatická pila	
Innov-X Analyser	spektrální analyzátor	
UPW 25	válcovačka závitů	
PROMA	stojanová vrtačka	
MOSTOVÝ JEŘÁB	4.000 kg	

2.2 Postup výroby

Dle požadavků zákazníka je zvolen materiál 34CrNiMo6 + QT – zušlechtěno, temperováno, žháno na odstranění vnitřního pnutí. Označení podle německé normy DIN 1.6582. Spolu s tímto materiálem je dodávat atest 3.1 podle DIN EN 10204, což je certifikát/dokument kontroly, který potvrzuje odběrateli, že vlastnosti materiálu odpovídají požadavkům objednávky. V tomto atestu jsou tedy kompletní informace o materiálu jako je např. chemické složení, mechanické vlastnosti, zkouška ultrazvukem atd. Tento materiál tedy už prošel ultrazvukovou zkouškou na zjištění vnitřních vad podle DIN EN 10308, třída vyhodnocení 4 – nejpřísnější. Materiál je tedy bez vad. Hotový svorník už nemusí na ultrazvukovou zkoušku. Tento atest je nakonec dodáván s hotovým svorníkem.

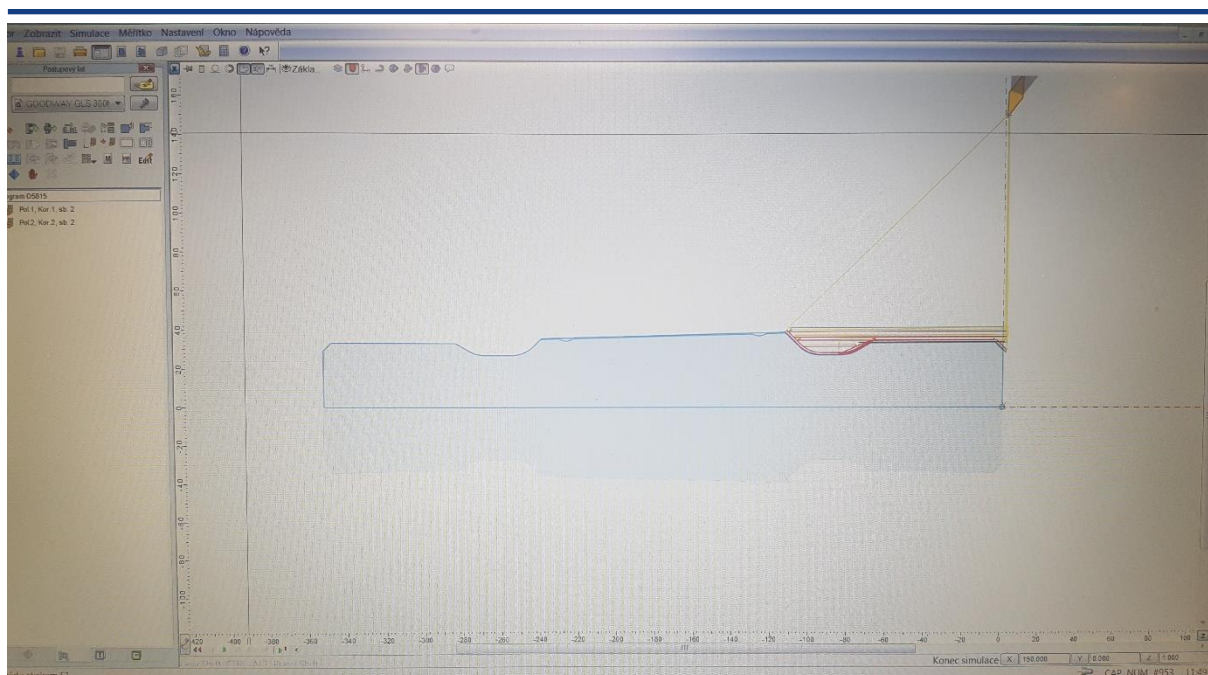
Materiál je vybrán a tyče tohoto materiálu dlouhé 6 metrů, průměr 85 mm se nařezou na automatické pilce na polotovary dlouhé 358 mm. Viz Obr.13. Každý polotovar je ihned popsán názvem materiálu a tavnou, aby nedošlo k záměně s jinou zakázkou.

Pro účel této bakalářské práce je vyráběn jeden svorník navíc z duralu.



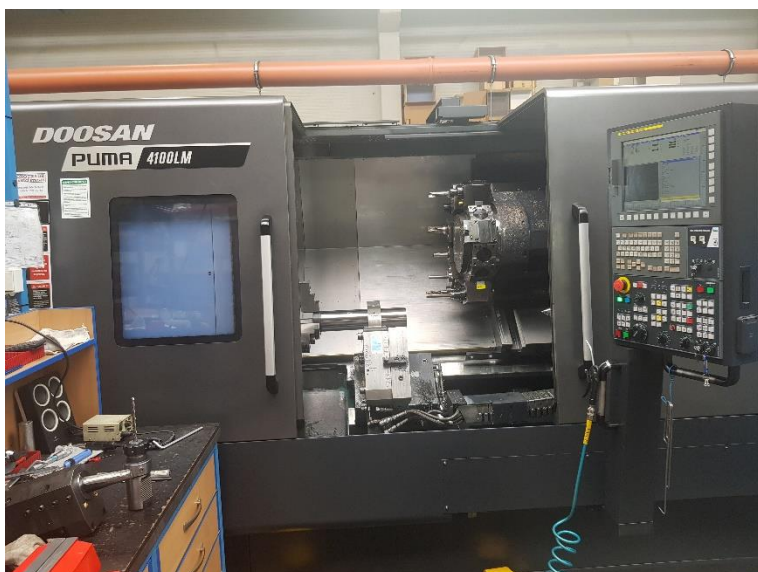
Obr. 13 Automatická pila BOMAR INDIVIDUAL 520.360 GANC.

Polotovary jsou připraveny k soustružení na CNC soustruhu DOOSAN Puma 4100. Maximální délka soustružené tyče je 2028 mm a maximální průměr soustružené tyče je 560 mm. Tento soustruh má také všech 12 nástrojů v nástrojové hlavě poháněných proto může soustruh i frézovat čehož se využije i zde při výrobě svorníků. Model z programu Autodesk Inventor je importován do programu Kovoprog (Obr. 14). Zde se volí strategie obrábění. Definují se nástroje, dráhy nástrojů, rychloposuvy, pracovní posuvy, výměny nástrojů atd.



Obr. 14 Kovoprog.

Z programu Kovoprog jsou vygenerovány skrz postprocesor NC kódy přímo na soustruh DOOSAN Puma 4100LM. Viz Obr. 15 a 16.



Obr. 15 Soustruh DOOSAN Puma 4100LM.



Obr. 16 Ovládací panel soustruhu.

První operace obrábění je chycnutí surového polotovaru do tvrdých čelistí. Vřeteno se neotáčí a polotovaz podpírá spolu s čelistmi vřetena luneta. Support s poháněným navrtávákem vyvrtá otvor pro koňa. Kůň pomocí supportu přijede a zastaví kousek před polotovarem. Z koně se vysune pinola a luneta se otevře. Hrubovacím nástrojem se zarovná čelo a přetočí se průměr až ke sklíčidlu. Luneta se opět zavře, odjede kůň a vyhrubuje se celá vnitřní díra na vtok tlakového oleje a na vnitřní kuželový závit. Viz Obr. 17.

Druhá operace je otočení kusu, chycnutí do měkkých čelistí a zavření lunety. Nástrojová hlava nesmí být plně osazena nástroji, jinak by vznikla kolize s lunetou a nástrojem. Vyhrubování vnitřní díry na druhém konci polotovaru a vyhrubování venkovního profilu svorníku.

Třetí operací se svorník opět otočí a drží v měkkých čelistech, vnitřním závitovým nožem se vysoustruží vnitřní závit, následně dalším vnějším závitovým nožem se vysoustruží venkovní závit.

Čtvrtou operací se svorník otočí. Čelisti jsou měkké a drží svorník už za hotový vnější závit (viz Obr. 18), který je kuželový, proto jsou i čelisti nepatrně kuželové, aby nevymačkávaly závit.

Pátou operací je dokončeno vybrání na obou stranách kužele uprostřed svorníku. Následně dokončena spirálová drážka mezi vybráním pro pohyb média při demontáži svorníku. Viz Obr. 19, 20, 21, 22, 23, 24.



Obr. 17 Soustružení první operace.



Obr. 18 Držení závitu měkkými čelistmi.

2.3 NC kod

Příklady NC kódu.

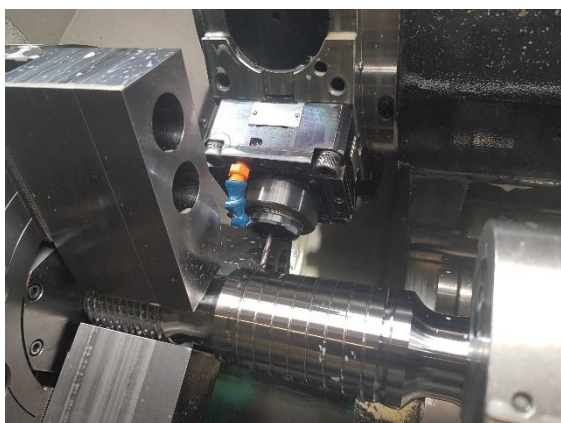
N100	Číslo bloku
(PDJNR R0.8)	Nůž, rádius špičky, info. pro obsluhu stroje
T0505	Číslo nástroj a korekce
G50S1500	Omezení otáček stroje na 1500 min^{-1}
G96S170M3P11	Řezná rychlost $170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, pravé otáčky
M8	Spuštění procesní kapaliny
G0Z1.	Rychloposuv
G0X78.213Z1.	
G1Z-112.588F0.3	posuv 0,3 mm ; hrubování
G0X80.213Z-111.999	dále souřadnice soustružení
Z1.	.
X73.425	.
G1Z-109.931	
.	
G32X71.367Z-226.467F12.000	Funkce řezání závitu, závitový cykl ,
G0X80.817Z-226.522	posuv 12 mm – 12 mm stoupání
X80.817Z-125.672	(šroubovice na povrchu) , nástroj jede
X76.249Z-125.615	po kuželu, souřadnice X a Z se
G32X71.201Z-226.465F12.000	zároveň mění
.	.
.	.
M35	Minutový osuv, mm za minutu
G28H0	Zařazení osy C
G97S3000M3P12	Zreferování osy
C90.	Konst. ot 3000 min^{-1}
G0Z-227.	Natočení na úhel
G0X77.M8	Najetí souřadnice Z
G1X62.F0.02	Najetí souřadnice X
G0X400.M9	Pilotní průměr
Z1.	Odskok nahoru pryč
M5	Zast. Ot.
M34	Vyřazení osy C
.	.
.	.
.	.
M0	Konec programu



Obr. 20 Závitový nůž.



Obr. 19 Dokončovací nůž.



Obr. 22 Frézování díry.



Obr. 24 Nůž vyrobený na zakázku na šroubovici.



Obr. 21 Příprava použití lunety.

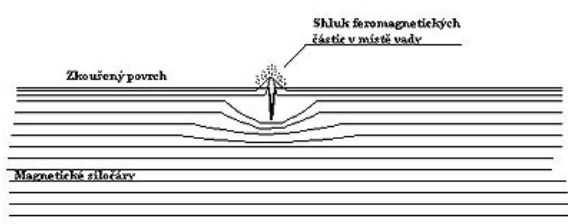


Obr. 23 Řezání závitu.

3 KONTROLA SVORNÍKU

3.1 Zkouška magnetická

Elektromagnetickou zkouškou práškovou lze zjistit povrchové nebo podpovrchové vady ve feromagnetických materiálech. Za feromagnetické materiály se považují železo, kobalt a nikl. Při zkoušce se vada zviditelní tím, že u zkušebním zařízením zmagnetovaného předmětu, se v místě vady vlivem zmenšeného průřezu dostanou magnetické siločáry nad povrch. Viz Obr. 25 a 26. Ty potom zachytí feromagnetický prášek, který je na povrch součásti dopravován v průběhu zkoušky a který má vůči povrchu součásti kontrastní barvu. [7]



Obr. 25 Schéma trhliny [7].



Obr. 26 Zviditelnění trhliny [7].

Způsob magnetizace se volí s ohledem na předpokládanou orientaci vad. Obecně je tato metoda nejcitlivější pro povrchové vady kolmé ke směru siločar. K magnetizaci se používá střídavého, nebo stejnosměrného proudu. Při magnetizaci stejnosměrným proudem je rovnoměrně zmagnetován celý průřez součásti což umožní i zjištění podpovrchových vad. Viz Obr. 27 a 28. Nevýhodou je vyšší hodnota remanentního (zbytkového) magnetismu po ukončení zkoušky. Zbytkový magnetismus může například negativně ovlivnit životnost ložisek, nebo proces svařování. Toto se musí zohlednit při předepisování elektromagnetické zkoušky, kdy může být součástí požadavku na zkoušku i požadavek na následnou demagnetizaci. Dostatečnost intenzity použitého magnetického toku, vhodnosti zvolené magnetizační metody a vlastnosti magnetických suspensí se musí prokázat. K tomu slouží různé měřící přístroje, nebo kontrolní tělesa, jejichž zmagnetováním se ověřuje zjistitelnost vad v různých hloubkách, nebo směrech. [7]



Obr. 27 Kontrola pomocí UV lampy.



Obr. 28 Příprava zkoušky.

3.2 Zkouška ultrazvukem

Ultrazvuková zkouška se používá na zjištění vnitřní nehomogenity uvnitř výrobků, pod povrchem. Je založena na principu odrazu ultrazvukových vln od jakýchkoliv trhlin a nehomogenit uvnitř materiálu. Ultrazvuk se do zkoušeného materiálu vysílá pomocí sondy v krátkých impulsích. Viz Obr. 29. Časové zpoždění a velikost odezvy se vyhodnocuje na obrazovce ultrazvukového přístroje a lze z nich usoudit umístění odrazné plochy/vady a velikost. [8]

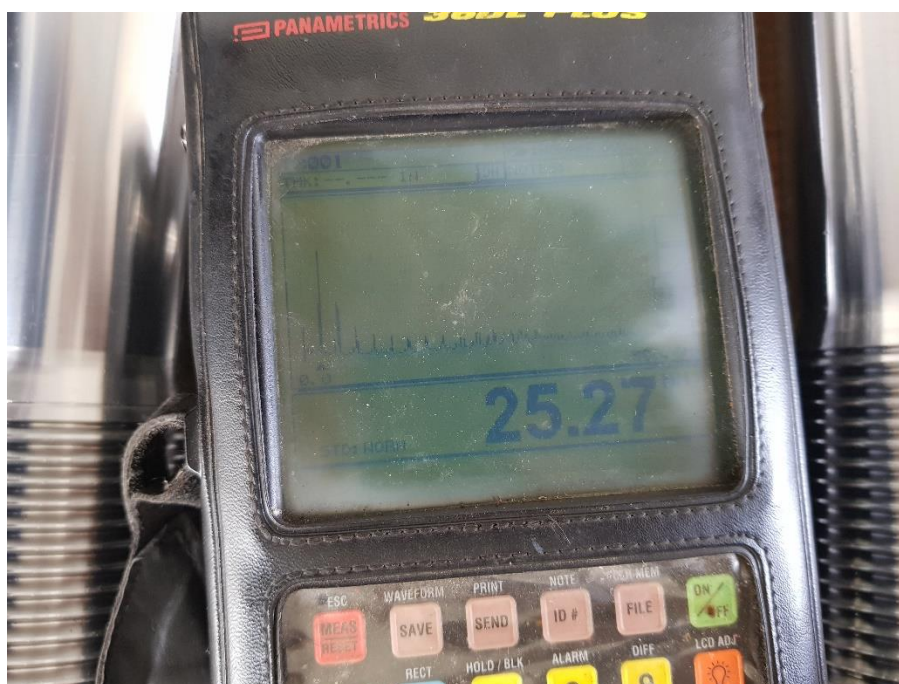


Obr. 29 Sonda ultrazvuku.

Ultrazvukovou zkouškou lze obecně nejlépe zjistit vady, které jsou orientovány kolmo ke svazku ultrazvukových vln, jako například vady ve svarech vzniklé ve výrobě i provozu, vady v kovaných a válcovaných materiálech, odlitcích a podobně. Použití není omezeno pouze na ocel, lze zkoušet i jiné kovové materiály dokonce i plasty. Běžně se používají ultrazvukové tloušťkoměry, tvrdoměry, hladinoměry. Měřením rychlosti šíření lze zjistit záměnu materiálu, nebo dokonce kvalitu litiny. Vady uvnitř materiálu lze vidět na displeji ultrazvukového přístroje. Viz Obr. 30. Další aplikací je změření protažení šroubů při dotahování výměníků, turbínových skříní a vík reaktorů. [8]

K provádění běžných ultrazvukových zkoušek je potřeba připravit povrch. Je nutné povrch očistit, případně obrousit rozstříky svarového kovu, volné okraje, nátěry a další nečistoty. Teplota nad 60°C ovlivňuje funkci měniče běžných ultrazvukových sond a je vysoké riziko jejich znehodnocení, je proto nutno použití speciálních sond. Vysoké nároky jsou kladeny na kvalifikaci operátora. [8]

Citlivost ultrazvukových souprav se nastavuje na etalonech s umělými vadami a kontroluje se periodicky v průběhu, a po skončení zkoušky. Materiál etalonu musí odpovídat zkoušenému materiálu. [8]



Obr. 30 Ultrazvukový přístroj.

3.3 Spektrometr

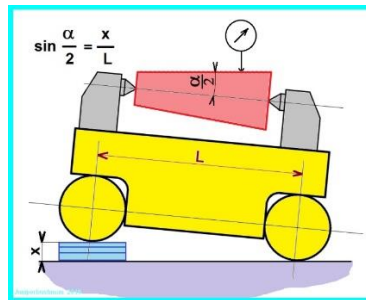
Nedestruktivní zkouška materiálu. Přístroj měří chemické prvky v součásti pomocí slabého rentgenového záření. Přístroj samozřejmě musí procházet kontrolou každý rok. Bohužel tento typ spektrometru neumí měřit obsah uhlíku a ten je obsažen v obsahu železa. Přístroj má v sobě spoustu knihoven materiálu a změřený materiál ihned podle složení přiřazuje k některému materiálu z knihovny. K provedení testu nejdříve nutně povrch očistit a odmastit. Těžké kovy a legury jsou měřeny do 3 sekund. Ostatní lehké prvky jsou měřeny od 3 do 10 sekund. Viz Obr. 31.



Obr. 31 Použití spektrometru.

3.4 Kontrola kuželovitosti pomocí sinusového pravítka

Touto zkouškou se kontroluje a měří správná kuželovitost svorníku. Celá zkouška je položena na granitové desce. Granit je broušený kámen, který má rovinnost v tisícinách milimetru, nemění rozměry vlivem teploty v místnosti. Svorník je podložen sinusovým pravítkem, vzdálenost středů je 200 milimetrů. Jeden konec sinusového pravítka je podložen pomocí johansonovy měřky. Viz Obr. 32. Po granitové desce jezdí měřicí stojánek s indikátorem. Hrot měřicího indikátoru se pohybuje po povrchu svorníku a kontroluje rovinnost vůči granitové desce, respektive kuželovitost. Viz Obr. 34 a 35.



Obr. 32 Schéma sestavení sinusového pravítka [9].

Výpočet tloušťky johansonovy měřky. Nejprve z kuželovitosti z výkresu (příloha 1) se vypočítá jaký má kužel úhel (vztah 1.1). V dalším kroku se délka sinusového pravítka vynásobí sinem vypočítaného úhlu (vztah 1.2).

$$\sin^{-1}\left(\frac{1}{20}\right) = 2,8659 \cong 2^{\circ}51'57'' \quad (1.1)$$

$$x = 200 \cdot \sin(2,8659) = 9,987 \text{ mm} \quad (1.2)$$

Výsledná tloušťka johansonovy měřky je 9,987 mm. Tuto měřku složíme z jednotlivých etalonů podle obr. 33, které jsou 7 mm + 1,5 mm + 1,48 mm.



Obr. 33 Johansonovy měřky.



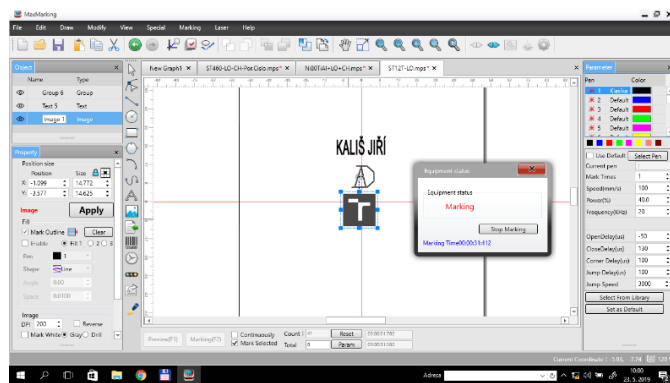
Obr. 34 Průběh měření kuželovitosti.



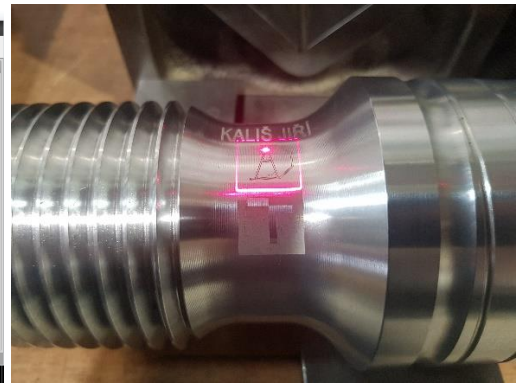
Obr. 35 Průběh měření kuželovitosti shora.

3.5 Laserový popis

Vektorový program MaxMarking (Obr. 36) ovládá laserový popisovač. Nejprve je nutné zaostřit laser nastavením výšky zařízení, odkud je laser vyslán. V prostředí programu se napíše text nebo vytvoří jakýkoliv obrazec, logo. Na všechny výrobky společnosti Kovo Dufek je napsán materiál, logo a tavba. Viz Obr. 37.



Obr. 36 Prostředí programu MaxMarking.



Obr. 37 Průběh popisování laserem.

4 TECHNICKO EKONOMICKÁ ROZVAHA

V této kapitole se zhodnotí a zpočítají celkové náklady na výrobu jednoho kusu svorníku, při výrobní sérii 16ti kusů.

Materiál

Cena materiálu 34CrNiMo6 = 80 Kč/kg.

Polotovar o průměru 85 mm a délce 358 mm.

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 7850 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,085}{2}\right)^2 \cdot 0,358$$

$$m = 15,94 \text{ kg}$$

Váha polotovaru je 15,94 kg.

$$\begin{array}{r} 80 \text{ Kč} \dots\dots\dots 1 \text{ kg} \\ x \dots\dots\dots 15,94 \text{ kg} \\ \hline 80 \cdot 15,94 \\ x = \frac{\quad}{1} \\ x = 1\,276 \text{ Kč} \end{array}$$

Cena materiálu na polotovar je 1 276 Kč.

Výroba na poloautomatické pile BOMAR INDIVIDUAL 520

Uříznutí na poloautomatická pile trvá 5 minut.

Hodinová cena poloautomatické pily včetně el. energie, opotřebení nástroje, mzdových nákladů a další vedlejší náklady činí 650 Kč/h

$$\begin{array}{r} 650 \text{ Kč} \dots\dots\dots 60 \text{ minut} \\ x \dots\dots\dots 5 \text{ minut} \\ \hline 650 \cdot 5 \\ x = \frac{\quad}{60} \\ x = 55 \text{ Kč} \end{array}$$

Díličí cena výroby na poloautomatické pile je 55 Kč.

Výroba na CNC soustruhu PUMA 4100

Hodinová cena CNC soustruhu včetně el. energie, opotřebení nástrojů, mzdových nákladů a další vedlejší náklady činí 1 900 Kč/h.

Výroba jednoho svorníku probíhá v CNC soustruhu na více operací:

1. seřízení stroje + výroba 27 minut
 2. seřízení stroje + výroba 29 minut
 3. seřízení stroje + výroba 14 minut
 4. seřízení stroje + výroba 12 minut
 5. seřízení stroje + výroba 20 minut
- Celkem 102 minut

$$\begin{array}{r} 1\,900 \text{ Kč} \dots\dots\dots 60 \text{ minut} \\ x \dots\dots\dots 102 \text{ minut} \\ \hline 1\,900 \cdot 102 \\ x = \frac{\quad}{60} \\ x = 3\,230 \text{ Kč} \end{array}$$

Dílčí cena výroby na CNC soustruhu je 3 230 Kč.

Dokončovací práce + výstupní kontrola + balení

Magnetická zkouška	5 minut
Spektrometr	1 minuta
Zkouška tvrdosti	1 minuta
Vyvažování	10 minut
Ražení technických údajů	1 minuta
Vizuální kontrola	1 minuta
Balení	3 minuta
Celkem	22 minut

Hodinová práce činí 510 Kč/h

510 Kč..... 60 minut

x.....22 minut

$$x = \frac{510 \cdot 22}{60}$$

$$x = 187 \text{ Kč}$$

Dílčí cena dokončovacích prací je 187 Kč.

Cena materiálu na polotovar je	1 276 Kč
Dílčí cena výroby na poloautomatické pile je	55 Kč
Dílčí cena výroby na CNC soustruhu je	3 230 Kč
Dílčí cena dokončovacích prací je	187 Kč

Celkový součet výrobních nákladů	4 748 Kč
Marže podniku 45%	+ 2 137 Kč

Celková prodejní cena jednoho svorníku (Obr. 38) bez DPH je 6 885 Kč.



Obr. 38 Hotový svorník z duralu.

5 ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo popsat funkci a výrobu svorníku. Tyto svorníky se používají v energetickém průmyslu, konkrétně v parních turbínách. Slouží ke spojení přírubového hřídele turbíny a generátoru. Zákazník zadal 16 těchto svorníků s požadavkem konkrétních vlastností materiálu. Svorníky byly vyrobeny z materiálu 34CrNiMo6 a pro účel této bakalářské práce byl vyroben jeden navíc z duralu. Byl kladen velký důraz na kvalitu výroby čehož bylo dosaženo. V průběhu práce je rozebrán pouze kousek NC programu kvůli uchování firemní know-how. Magnetická a ultrazvuková zkouška neodhalila žádné povrchové ani objemové vady. Zkouška spektrometrem potvrdila materiál, který zákazník požadoval a byl dodán atest 3.1. Zkouška kuželovitosti svorníku odhalila pouze 0,01 milimetrů odchylku od ideálního rozměru, avšak pořád vysoce v toleranci. Na konci práce je rozebráno ekonomické hledisko.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. COUPLING BOLTS, 2018. *Turbomachinery international* [online]. 3.12.2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.turbomachinerymag.com/coupling-bolts/>
2. COUPLING CHALLENGES & THE EVOLUTION, *Nord-Lock Group* [online]. 11.10.2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.nord-lock.com/insights/knowledge/2016/coupling-challenges--the-evolution/>
3. Radial Fit Bolt – Hydraulically Fitted Coupling Bolts, *Riverhawk company* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://riverhawk.com/engineered-studs-nuts-bolts/radial-fit-bolt-hydraulically-fitted-coupling-bolts/>
4. Parní turbína, *Wikipedie* [online]. 25.11.2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Parn%C3%AD_turb%C3%ADna
5. HYDRAULIC BOLTS, *Maucour* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.maucour.fr/en/hydraulic-bolts#prettyPhoto>
6. Strojní park, 2014. Kovo Dufek s.r.o. [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.kovodufek.cz/cs/strojni-park>
7. Zkouška magnetická, *TECHNOTEST* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_magneticka
8. Zkouška ultrazvukem, *TECHNOTEST* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_ultrazvukem
9. Sinusové pravítko, *Wikipedie* [online]. 14.10.2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sinusov%C3%A9_prav%C3%ADtko

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
R _m	MPa	Mez pevnosti v tahu
R _{p0,2}	MPa	Mez kluzu
A ₅	%	Podélné prodloužení
KV	J	Vrubová houževnatost
C		Uhlík
Si		Křemík
Mn		Mangan
P		Fosfor
Cr		Chrom
Mo		Molybden
Ni		Nikl
v _c	m.min ⁻¹	Řezná rychlost
f	mm	posuv

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 VIZUALIZACE ŠROUBOVÉHO SPOJENÍ [2].	7
OBR. 2 SPOJKOVÝ ŠROUB (SVORNÍK) V PRAXI [1].	8
OBR. 3 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI SVORNÍKU.	10
OBR. 4 MONTÁŽ SVORNÍKU [5].	11
OBR. 5 ZJEDNODUŠENÝ VÝKRES SVORNÍKU.	12
OBR. 6 2D NÁČRT V AUTODESK INVENTOR.	12
OBR. 7 NÁČRT V ŘEZU.	13
OBR. 8 VYŘEZÁNÍ ZÁVITU POMOCÍ ŠROUBOVICE.	13
OBR. 9 HOTOVÝ 3D MODEL SVORNÍKU S ŘEZEM.	14
OBR. 10 3D MODEL SVORNÍKU ZEPŘEDU.	14
OBR. 11 LOGO KOVO DUFEK S.R.O.	15
OBR. 12 CERTIFIKÁT KVALITY.	15
OBR. 13 AUTOMATICKÁ PILA BOMAR INDIVIDUAL 520.360 GANC.	17
OBR. 14 KOVOPROG.	18
OBR. 15 SOUSTRUH DOOSAN PUMA 4100LM.	18
OBR. 16 OVLÁDACÍ PANEL SOUSTRUHU.	18
OBR. 17 SOUSTRUŽENÍ PRVNÍ OPERACE.	19
OBR. 18 DRŽENÍ ZÁVITU MĚKKÝMI ČELISTMI.	19
OBR. 19 DOKONČOVACÍ NŮŽ.	21
OBR. 20 ZÁVITOVÝ NŮŽ.	21
OBR. 21 PŘÍPRAVA POUŽITÍ LUNETY.	21
OBR. 22 FRÉZOVÁNÍ DÍRY.	21
OBR. 23 ŘEZÁNÍ ZÁVITU.	21
OBR. 24 NŮŽ VYROBENÝ NA ZAKÁZKU NA ŠROUBOVICI.	21
OBR. 25 SCHÉMA TRHLINY [7].	22
OBR. 26 ZVIDITELNĚNÍ TRHLINY [7].	22
OBR. 27 KONTROLA POMOCÍ UV LAMPY.	22
OBR. 28 PŘÍPRAVA ZKOUŠKY.	22
OBR. 29 SONDA ULTRAZVUKU.	23
OBR. 30 ULTRAZVUKOVÝ PŘÍSTROJ.	24
OBR. 31 POUŽITÍ SPEKTROMETRU.	24
OBR. 32 SCHÉMA SESTAVENÍ SINUSOVÉHO PRAVÍTKA [9].	25
OBR. 33 JOHANSONOVY MĚRKY.	25
OBR. 34 PRŮBĚH MĚŘENÍ KUŽELOVITOSTI.	26
OBR. 35 PRŮBĚH MĚŘENÍ KUŽELOVITOSTI SHORA.	26
OBR. 36 PROSTŘEDÍ PROGRAMU MAXMARKING.	26
OBR. 37 PRŮBĚH POPISOVÁNÍ LASEREM.	26
OBR. 38 HOTOVÝ SVORNÍK Z DURALU.	28

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres součásti Svorník M68 x 6

