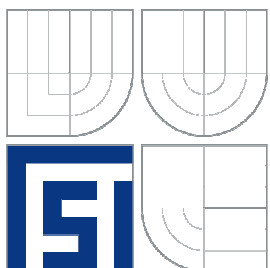


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ STŘEDICÍCH NÁKRUŽKŮ A PATEK ELEKTROMOTORU V SYSTÉMU ŘÍZENÍ VÝROBY

MACHINING TECHNOLOGY OF ELECTROMOTOR SPIGOTS AND
BASE IN THE PRODUCTION CONTROL SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ZDENĚK TOLLRIAN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Zdeněk Tollrian

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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

Technologie opracování středících nákrůžků a patek elektromotoru v systému řízení výroby

v anglickém jazyce:

Machining technology of electromotor spigots and base in the production control system

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Analýza stávající technologie výroby
3. Návrh a rozbor inovativního řešení opracování statoru elektromotoru
4. Výpočet řezných sil, řezných podmínek, zhodnocení přesnosti a struktury povrchu po obrábění
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je stanovení co nejefektivnějšího návrhu technologie opracování středících nákrůžků a patek elektromotoru. Součástí práce bude rovněž rozbor výroby dle priorit, která vyžaduje vysoké nároky na přeseřazení pro daný způsob automatizace a vyhodnocení přesnosti obrábění s důrazem na koaxialitu obráběných nákrůžků, velikost osové výšky elektromotoru a strukturu povrchu. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením a porovnáním stávající technologie výroby vůči nově navržené variantě řešení.

Seznam odborné literatury:

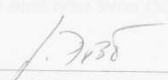
1. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.
3. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
4. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
5. JANÁČ, A., LIPA, Z., PETERKA, J. Teória obrábania. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2006. 199 s.
6. HRUBEC, J. ŠPECIÁLNA TECHNOLOGIA II. Bratislava: Slovenská vysoká škola technická v Bratislavě: [s.n.], 1990. 96 s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Stávající opracování středících nákrůžků a patek elektromotoru se soustřeďuje na dvě hlavní výrobní varianty. Pro převod výroby z Německa byla realizována nová inovační technologie. Výpočtem byla zjištěna hodnota řezných podmínek, trvanlivost břitu pro kritéria maximální výrobnosti a minimálních nákladů, a působící síly v řezném procesu. Zpětnou vazbou výroby bylo kontrolní měření požadované koaxiality nákrůžku a statorového svazku.

Klíčová slova

řezné podmínky, soustružení, frézování, technologie, elektromotor

ABSTRACT

The current processing of electric motor feet and centering collars has been focusing on two main production methods. The production transfer from Germany allowed the introduction of a new enhanced technology. Cutting conditions values, cutting process operating forces, tool life criteria for a maximum productivity and a minimum costs were calculated. Control measurements of the required collar and stator pack concentricity provided the necessary feedback.

Key words

Cutting conditions, Turning, Milling, Technology, Electric motor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOLLRIAN, Z. *Technologie opracování středících nákrůžků a patek elektromotoru v systému řízení výroby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 66 s., 8 s. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Technologie opracování středících nákrůžků a patek elektromotoru v systému řízení výroby** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Zdeněk Tollrian

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Kunstfeldovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce, Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za konzultační hodiny, které byly velice přínosné pro celou diplomovou práci a panu Josefu Sedlákovi za pomoc při praktickém měření.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Siemens s.r.o. za poskytnutí velice zajímavého tématu diplomové práce a získání nových zkušeností z praxe.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ANALÝZA STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY	10
1.1 Technologie Tailor.....	10
1.1.1 Řezné podmínky	13
1.2 Technologie R5+FGH 32.....	14
1.2.1 Řezné podmínky	15
1.3 Obrobitelnost	16
1.3.1 Nejdůležitější faktory ovlivňující obrobitelnost	17
1.3.2 Obrobitelnost litiny a hliníku	18
2 NÁVRH A ROZBOR INOVATIVNÍHO ŘEŠENÍ OPRACOVÁNÍ STATORU ELEKTROMOTORU	21
2.1 Soustruh SP430MC/2	21
2.2 Popis stroje a pracovního prostoru	23
2.3 Technologická úprava stroje pro aplikaci do výroby.....	25
2.3.1 Rozpínací trn se dvěma řadami plošně středěných klínů.....	26
2.3.2 Převodová skříň	28
2.3.3 Doraz na patky	30
2.3.4 Drobné úpravy stroje	31
2.4 Identifikace dané výrobní linky	32
2.5 VBD pro soustružení a frézování	36
3 VÝPOČET ŘEZNÝCH SIL, ŘEZNÝCH PODMÍNEK, ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI A STRUKTURY POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ.....	38
3.1 Výpočet limitních posuvů.....	38
3.2 Výpočet trvanlivosti břitu	39
3.3 Výpočet řezné rychlosti a strojního posuvu.....	42
3.4 Řezná síla při soustružení	46
3.4.1 Výpočet řezných sil	46
3.4.2 Experimentální vyhodnocení řezné síly.....	47
3.5 Vyhodnocení geometrické přesnosti.....	50
4 TECHNOCKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	60
ZÁVĚR	62

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
SEZNAM PŘÍLOH.....	66

ÚVOD

Ve světě všeobecně platí, že každý, kdo přijde na to, po čem lidé touží, má nakročeno k úspěšnému podnikání. Dosáhnutí tohoto cíle, ale není možné bez jistého zázemí, kapitálu, schopných lidí a v neposlední řadě i technologií. Technologie je široký pojem, ale v podstatě se snaží přijít na to jak vyřešit daný problém. Ano, takto odpovídám svým přátelům a kamarádům na otázku, co ten technolog v podstatě dělá. Dříve jsem se snažil odborně naznačit problematiku strojírenské technologie, ale místo toho jsem se dočkal nervózního přešlapování a cukání koutků. Přitom je tato profese jedna z nejvíce rozšířených činností člověka. Každý si píše svůj vlastní technologický postup, ať už je to doktor, právník, dělník nebo učitel.

V této práci se budu zabývat technologií opracování středních nákrůžků a patek elektromotoru ve společnosti Siemens elektromotory Mohelnice. Společnost Siemens elektromotory je odštěpným závodem koncernu Siemens s.r.o., zabývající se výrobou nízkonapěťových asynchroních elektromotorů. Pro zákazníky z celého světa, jako jsou třeba výrobci klimatizací, kompresorů, ventilátorů, pohonů a čerpadel.

Asynchroní elektromotor se skládá ze dvou hlavních částí. Statoru uloženého s přesahem v odlité kostře a rotoru spojeného s výstupní hřídelí, uloženou ve štítech elektromotoru. Vzájemná poloha statoru a rotoru je dána uložením štítů. Štíty jsou naraženy a přišroubovány na středící nákrůžky. Správné obrobení nákrůžků je důležité pro životnost, klidný a plynulý chod elektromotoru.

Elektromotory se rozlišují na patkové a přírubové. Důležitým parametrem patkového elektromotoru je osová výška. Jedná se o montážní rozměr, který se promítá i do označení motoru (AH100). Osová výška určuje vzdálenost od osy výstupního hřídele po hranu patky. Obrobení odlitých patek musí být provedeno na správnou osovou výšku.

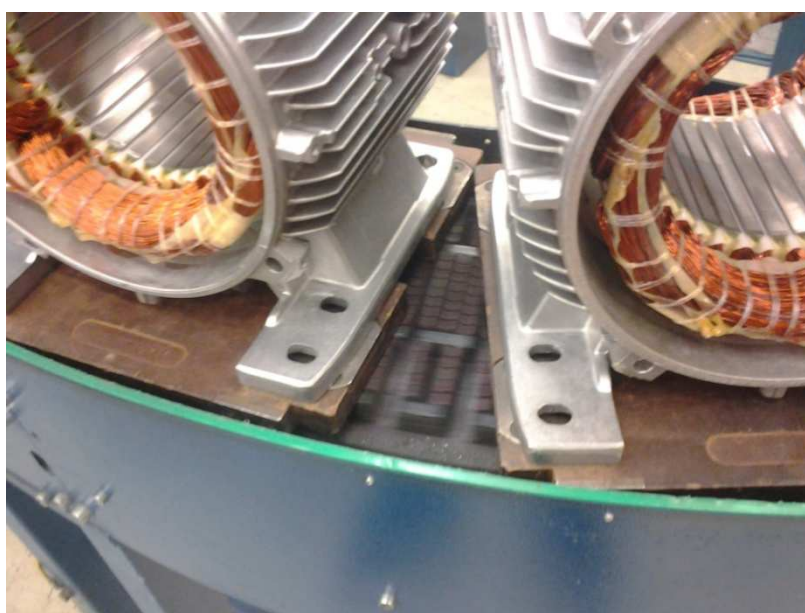
1 ANALÝZA STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

Stávající technologie opracování středících nákrůžků a patek elektromotoru se soustřeďuje na dva hlavní postupy obrobění a to pomocí technologie Tailor a R5+FGX. Na těchto linkách se vyrábí motory ve velkých sériích, nejrozšířenější typů, které jsou nejvíce požadované zákazníkem. Řady elektromotorů dodávané v menších sériích se vyrábí na specializovaných pracovištích a to nejčastěji s číslicově řízeným soustruhem a frézkou.

Pracoviště jsou rozdělena do dvou hlavních sektorů na předmontáž a montáž. Na předmontáži se nahřívá kostra a následně nasouvá na statorový svazek. Ohřátá kostra se chladí vzduchem. Po ochlazení se válečkuje vnitřní průměr statoru. Obrábí se nákrůžky, patky, popřípadě se vrtá díra pro kolík. Montáž pracuje s již upravenými díly, narazí štíty a přišroubuje, ustaví svorkovnici, přidělá ventilátor. Vyvede kabely a zapojí je do svorkovnice. Zakryje svorkovnici štítkem a zašroubuje. Zkompletovaný motor se zavěší na háky manipulačního jeřábu. Jeřáb dopraví motor do lakovny. Nalakovaný motor je podroben zkoušce elektrické způsobilosti. Takto vyrobený a odzkoušený elektromotor je připraven k vyexpedování.

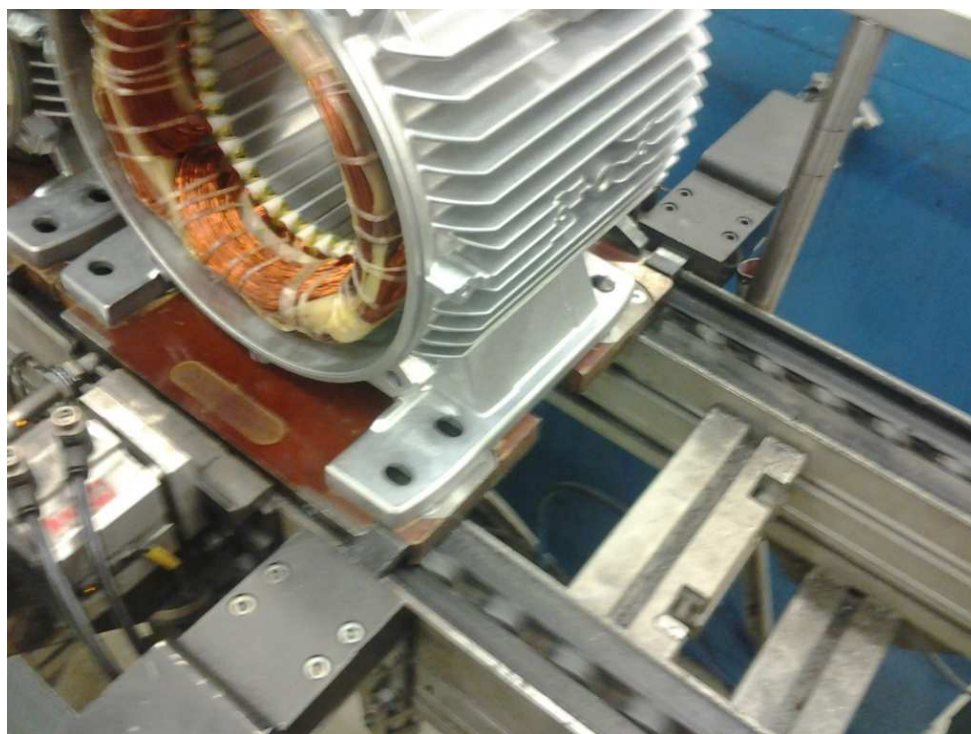
1.1 Technologie Tailor

Vstupním materiálem je statorový svazek a kostra elektromotoru. Navinutý svazek, pokud je dvakrát impregnovaný je potřeba očistit. Hliníková kostra se před nalisováním nahřívá na teplotu 260 °C. Vlivem teplotní roztažnosti se otvor uvnitř kostry zvětší natolik, že je možné svazek do kostry lehce nasunout. Litinová kostra, až na jednu výjimku, se nenahřívá. Svazek je do kostry zalisován silou 50 – 150 KN na hydraulickém lisu. Potřebná síla je dána vzájemným přesahem dílců a také impregnační vrstvou statorových svazků. Takto zalisovanému svazku v kostře se říká stator. Pro stator je po lisoání nachystána manipulační paletka (obr. 1.1).



Obr. 1.1 Manipulační paletka se statory.

Statory s hliníkovou kostrou jsou po nasunutí horké a je nutné je ochladit na teplotu 20 °C, proto je za lisem zařazen dopravník s řízeným chlazením. Litinové statory se nechladí. Za chladicím tunelem s dopravníkem s prokluzovým řetězem, který má akumulaci schopnost, je kontrolní bod pro případné dotažení přišroubovaných patek (obr. 1.2). U hliníkových statorů, totiž dochází vlivem tepelné dilatace k uvolnění šroubového spoje připevňujícího patky ke kostře. Dotažení se provádí roboticky, robot je aktivován kódovou značkou na příslušné paletce statoru.



Obr. 1.2 Kontrolní bod.

Další operací při výrobě statorů je válečkování vnitřního průměru statoru. Operace se provádí na jednoúčelovém automatickém stroji speciálními válečkovacími hlavami. Pomocí kódové značky na manipulační paletce se při změně válečkování průměru zablokuje chod zařízení a zároveň je přivolána obsluha obráběcího stroje, která provede výměnu válečkovací hlavy.

Předposlední operací při výrobě statoru je obrábění středících nákrůžků kostry a roviny patek. Pro obrábění statorů elektromotorů AH80 - AH132 se používá jednoúčelového obráběcího stroje Tailor. Ten obrábí středící nákrůžky statorů okružním frézováním, rovina patek se frézuje dvěma protiběžnými frézami.

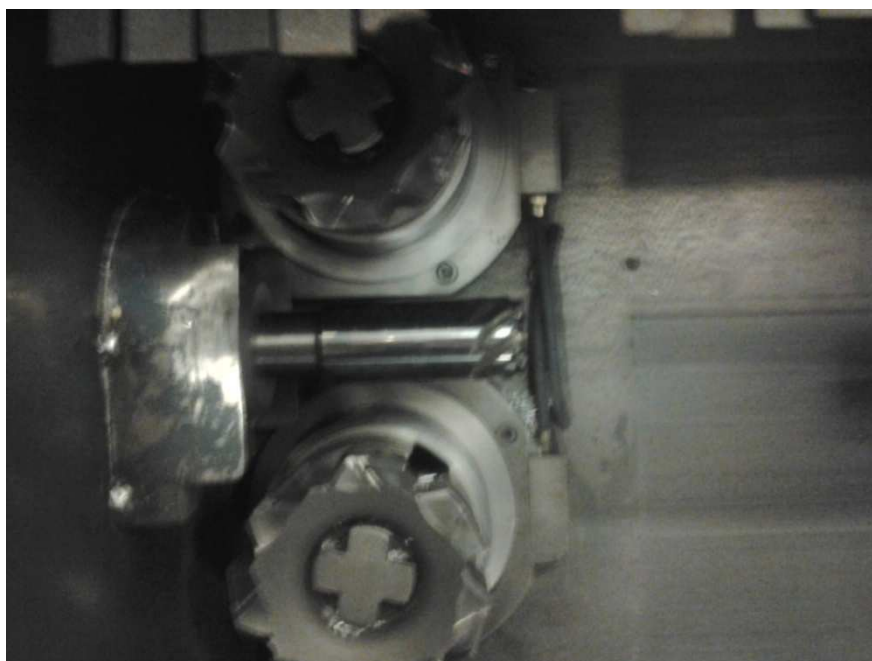
Vyválečkováný stator se upne na otočný trn (obr. 1.3). Po nasunutí se motor natočí tak, aby dosednul na doraz patek. Zapne se výrobní program stroje a stator upnutý na trnu najde do pracovního prostoru (obr. 1.4), kde se

následně frézují nákrůžky. Poté se trn natočí do požadované polohy pro frézování patek a patky se obrobí na danou osovou výšku.

Závěrečnou operací na předmontážní lince je čištění statorů od třísek, vzniklých při obrábění, tlakovým vzduchem. Třísky při obrábění vnikají otvory v upínacích prvcích do vnitřního prostoru statorů a musí se odstranit. Výskyt třísek ve statoru je pro chod elektromotoru nepřijatelný.



Obr. 1.3 Upínací trn jednoúčelového stroje Taylor.



Obr. 1.4 Pracovní prostor.

1.1.1 Řezné podmínky

Pro tyto řezné nástroje jsou ve výrobě použity tyto řezné podmínky (tab. 1.1 až 1.3):

Tab. 1.1 Používané řezné podmínky.

Parametry, řezné podmínky	
Otáčky pracovních vřeten okružní frézování	6 000 [min ⁻¹]
Otáčky vřeten pro frézování patek	3 500 [min ⁻¹]
Otáčky kleštinového upínače (posuv)	370[°/ min] hrubování
	730[°/ min] hotově

Tab. 1.2 Frézy a jejich parametry.

Parametry fréz	
Počet zubů (patky)	10
Počet zubů (nákrůžky)	7
Průměr stopky	32 mm
Průměr řezné části (nákrůžky)	30 až 26 mm (dle přeastření)
Průměr řezné části (patky)	100 mm

Tab. 1.3 VBD s držáky.

Označení fréz a VBD s držáky	
Držáky fréz	KM 63 HPH C32 100 (hydropínač Kennametal)
Frézy okružní	zakázkové nástroje zhotovené firmou Anaj nebo Lerch
Frézy na patky	typ 4.01 007 R 313, výrobce Kennametal
VBD	BGHX 15LSPCFXRGG K10 MX, Kennametal

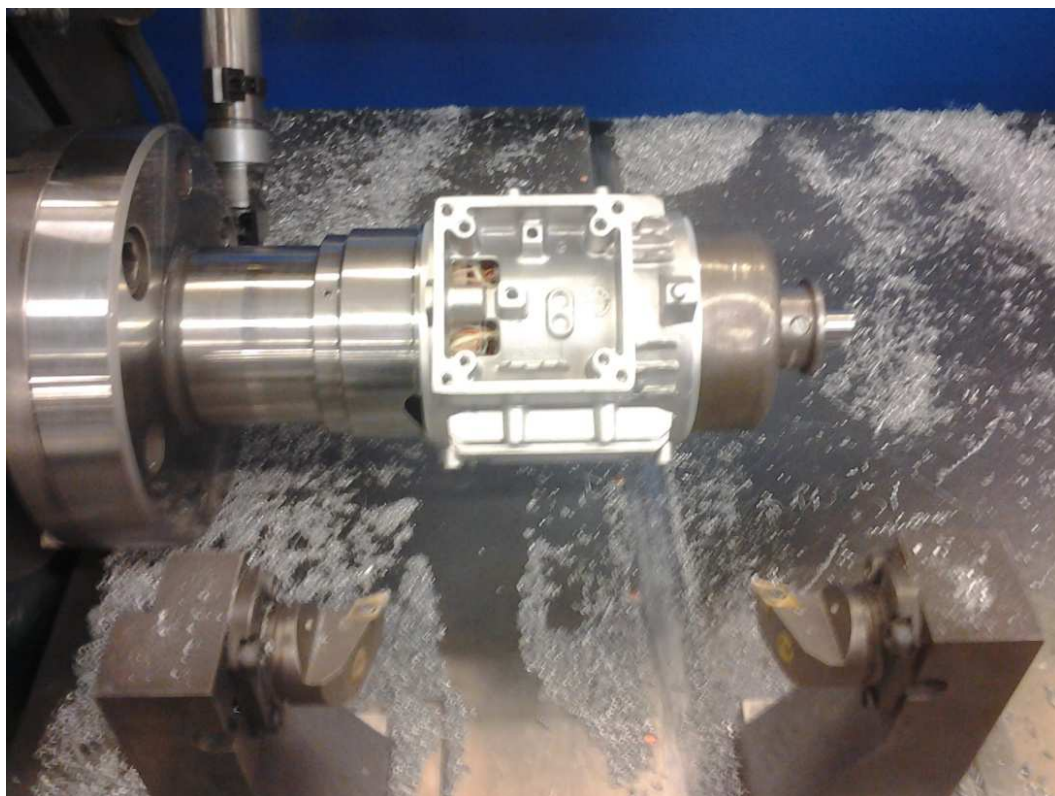
Frézy, pro okružní frézování nákrůžku, ze slinutého karbidu se přeastřují. Po přeastření nástroje je nutné vždy provést změnu průměru řezného nástroje v seřizovacím listu u obsluhy a nastavit novou korekci v programu stroje.

1.2 Technologie R5+FGH 32

V podstatě se jedná o předmontážní linku spojenou se soustruhem (R5) pro obrobení středících nákrůžků a frézou (FGH 32) pro ofrézování roviny patek. Začátek linky je stejný jako u technologie Tailor, nahřívací zařízení, zalisovací přípravky a chladicí dopravník.

Chladicí řetězový dopravník s upínacími segmenty pevně připevněnými k řetězu nemá schopnost akumulace obrobků. Co se na začátku do dopravníku vloží, to se musí na jeho konci odebrat ve stejném čase. Válečkovací zařízení je vertikální koncepce, válečkovací hlavy jsou do vřetene stroje upnuty pomocí kuželu Morse 3. Při dosažení osově síly $F = 500$ N dojde k automatickému přerušení pracovního cyklu a přivolání obsluhy.

Soustružení nákrůžku probíhá na už zmíněném soustruhu R5, který je vybaven dvěma nezávislými CNC řízenými suporty (obr. 1.5), kde je použit modulární nástrojový systém HSK 32.



Obr. 1.5 Soustruh R5.

Rovina patek statorů se obrábí na horizontální frézce pomocí speciálního duplexního upínače (obr. 1.6). Pro úsporu času je zkrácena dráha pracovního posuvu. Vnější patky upnutých statorů se obrábí jen vnější hranou nožové frézovací hlavy. Nutnou podmínkou je, aby úhel sklonu břitu VBD λ byl roven 0° .



Obr. 1.6 Frézka s upínačem.

1.2.1 Řezné podmínky

Pro soustružení a frézování technologii R5 + FGH 32, jsou ve výrobě používány tyto řezné podmínky (tab. 1.4).

Po obrobení je každý pátý stator podroben sérii kontrolních měření (obr. 1.7), kde se zjišťuje průměr nákrůžku v ose X a Y. Dále je měřena vzdálenost obrobené přední a zadní strany nákrůžku.



Obr. 1.7 Kontrolní měření.

Tab. 1.4 Řezné podmínky s VBD.

Obrábění R5 + FGH 32		
Soustružení		
Otáčky	1200 ot/min	
Posuv	0,2 mm	
Držáky	KM 32 SDQCR 11	
VBD	DCGT 11 T3 04 HP KC 5410	
Frézování		
otáčky		
1000 ot/min		
921 mm/min		
fréza	počet zubů	10
	typ	160C 10 R W45 SE 12F
VBD		SEKN 12 04 AFF NLN KC 730

1.3 Obrobitelnost [2]

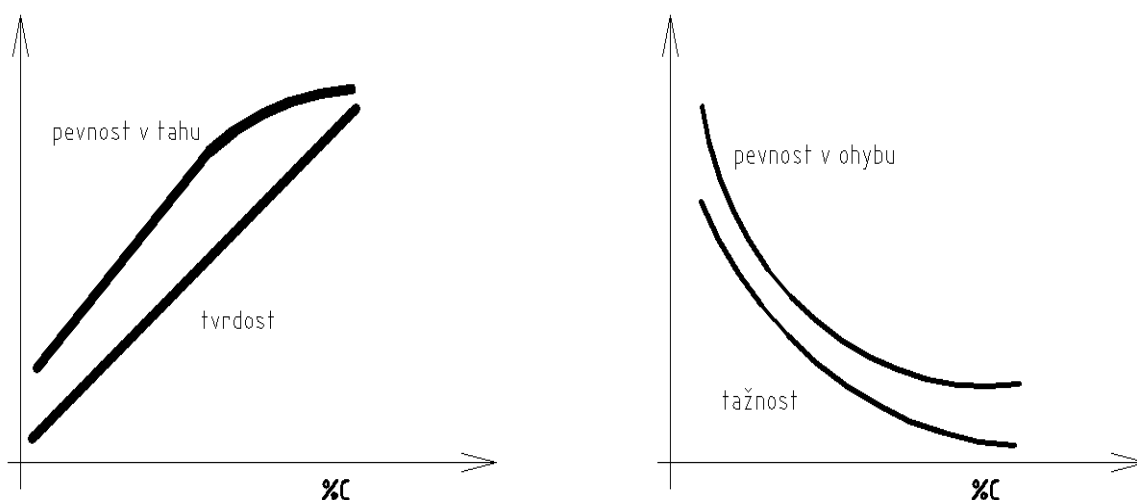
Není přesně standardizovaná vlastnost obráběného materiálu. Pod pojmem obrobitelnost se rozumí souhrn vlastností daného materiálu z hlediska jeho vhodnosti pro realizaci součásti určitým způsobem obrábění. Tento parametr rozlišuje jednoduchost, případně obtížnost opracování obrobku řezným nástrojem. Obrobitelnost není jednoznačně definovatelná, z důvodů rozličných operací obrábění a vývoje řezných nástrojů.

Metalurgie, chemické složení a mechanika určují obrobitelnost materiálu, stejně jako tepelné zpracování (kalení podstatně zhoršuje obrobitelnost), druh legujících přísad, vměstky a charakter povrchu materiálu obrobku. Rovněž důležitými faktory jsou: kvalita břitu, držák nástroje, obráběcí stroj a podmínky obrábění.

V širším smyslu je obrobitelnost funkční veličinou vztahu nástroj / obrobek, pro kterou jsou důležitá tato kritéria:

- trvanlivost břitu,
- utváření třísky,
- stav povrchové vrstvy,
- výkon obrábění,
- řezná síla / příkon,
- sklon k vytváření nárůstku.

Při posuzování obrobiteľnosti je nutné se soustředit na mechanické vlastnosti, které se mění v závislosti na procentu obsahu uhlíku. S rostoucím procentem uhlíku roste pevnost v tahu a tvrdost. Naopak s klesajícím procentem uhlíku se snižuje tažnost a pevnost v ohybu (obr. 1.8).



Obr. 1.8 Vliv obsahu uhlíku na mechanické vlastnosti [2].

1.3.1 Nejdůležitější faktory ovlivňující obrobiteľnost

Tvrdość a pevnost – všeobecně platí, že nízké hodnoty tvrdosti a pevnosti mají kladný vliv na obrobiteľnost. Výjimkou jsou pouze materiály tvořící dlouhou třísku, u nichž se vlivem vytváření nárůstku projevují problémy s kvalitou povrchu po obrábění, tvorba otřepů a krátká trvanlivost břítu. Vyšší tvrdost, jako důsledek tváření za studena má pozitivní účinek.

Tvářnost – nízké hodnoty tažnosti mají z pravidla pozitivní vliv, tříska se utváří příznivě a umožňuje lepší využití výkonu motoru obráběcího stroje. Při malé tažnosti je tvrdost vyšší a naopak. Dobrá obrobiteľnost je velmi často výsledkem kompromisu mezi tažností a tvrdostí.

Tepelná vodivost – vysoká tepelná vodivost má příznivý vliv na rychlost odvodu tepla z roviny řezu. Takto vysoká tepelná vodivost je všeobecně výhodná. Tepelná vodivost může hrát důležitou roli ve vztahu k obrobiteľnosti, ale není tomu tak ve všech případech (viz. obr. 1.9).



Obr. 1.9 Vliv tepelné vodivosti na obrobiteľnosť u rôznych materiálov [2].

1.3.2 Obrobiteľnosť litiny a hliníku [2]

Pri stanovovaní obrobiteľnosti litiny je nutná znalosť štruktúry materiálu obrobku. Se zmenšeným obsahom uhlíku klesá obrobiteľnosť litiny, z dôvodu menšieho obsahu grafitu spôsobujúceho lom třísky. Feritická litina s vyšším obsahom kremíku vykazuje menší sklon k tvorbe nárútku na břítu. S vyšším podílem perlitu v základní hmotě se zvyšuje pevnost a tvrdost, ale naopak se zhoršuje obrobiteľnosť. Perlitická štruktúra s jemnými lamelami a zrnem má podstatně nižší obrobiteľnosť. Vliv volných karbidů na obrobiteľnosť u litiny s perlitickou štruktúrou je podstatně větší, protože perlit váže částice karbidů v základní fázi. Bříť se musí propracovat přes nejtvrdší částice, zatím co u feritické štruktúry proniká do měkkého feritu. Povrch odlitku se obrábí podstatně hůře, protože v povrchové vrstvě se usazují nečistoty jako struska, která se vyplaví nahoru a koncentruje se v horní vrstvě.

Všeobecně platí, čím vyšší tvrdost a pevnost litiny, tím je obrobiteľnosť litiny horší a súčasne kratší celková životnosť břítu, než která se od VBD očekává. Litina s lupínkovým grafitem, která se vyznačuje krátkou třískou, dle normy ČSN 42 2415 (tab. 1.5), se řadí do označení šedých litin. Tato litina je štruktúry feriticko-perlitické a je nelegovaná. Vhodná na odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 30mm. Pro teploty od 60 do 500°C.

Tab. 1.5 Vlastnosti šedé litiny používané pro výrobu koster elektromotoru.

Vlastnosti litiny s lupínkovým grafitem ČSN42 2415	
Chemické označení	Množství (%)
C	2,5-3,5
Si	0,4-0,8
Mn	0,2-1,2
P	0,08
S	0,12
Mechanické a fyzikální vlastnosti	Množství
Pevnost v tahu (R_m)	150-250 (N/mm ²)
Mez kluzu (R_p)	98-165 (N/mm ²)
Tažnost (A)	0,8-0,3 (%)
Pevnost v tlaku (σ_{db})	600 (N/mm ²)
Pevnost v ohybu (σ_{bB})	250 (N/mm ²)
Pevnost ve střihu (σ_{aB})	170 (N/mm ²)
Pevnost v krutu (τ_{tB})	170 (N/mm ²)
Max. tvrdost (HB)	200
Modul pružnosti (E)	78-103 (kN/mm ²)

Hlavními typy opotřebení při obrábění šedé litiny jsou abrazivní, adhezivní a difúzní opotřebení. Abrazivní je způsobeno vměstky (karbidy) v licí kůře, která je tvrdší. K adhezi dochází při nižších teplotách a řezných rychlostech, kdy se na břitu vytváří návar. Při zvýšení řezné rychlosti roste teplota a ta podmiňuje výskyt difúzního opotřebení, zvláště u litin s vyšší pevností.

Dobré výsledky při obrábění litiny závisí na tom, jak se vyvíjí opotřebení břitu. Rychlé opotřebení předčasně znehodnocuje břit tvorbou tepelných prasklin a vydrolováním břitu. Nestabilní průběh plastické deformace je následkem opotřebení břitu, které se projevuje zhoršenou jakostí povrchu po obrábění, vylamováním částic materiálu obrobku nebo nadměrnou vlnitostí.

Hliník aplikovaný v technické praxi se používá zejména ve formě slitin. Čistý hliník nemá potřebné mechanické vlastnosti, a proto se používá velice omezeně, je poměrně nestabilní a velice snadno tvářitelný. Vlastnosti hliníku a jeho slitin určuje hlavně způsob jeho předpracování. Slitiny hliníku se dělí na slitiny tvářené a slévárenské. Dále se ještě rozlišují na tepelně zpracovatelné, nezpracovatelné za tepla a zastudena vytvrditelné.

Hliník ČSN EN 1676. Tato slitina hliníku se vyznačuje dobrými vlastnostmi při odlévání. Je vhodná pro tlakové lití. Slitiny hliníku jsou nejčastěji používány při

v tlakovém lití částí motorů, hlav válců, dílů pro elektrické motory, ložiska a mnoha dalších odvětví.

Tab. 1.6 Vlastnosti slitiny hliníku pro výrobu koster elektromotoru.

Chemické složení slitiny hliníku $AlSi_9Cu_3(Fe)$ ČSN EN 1676	
Chemické označení	Množství [%]
Cu	2,0-4,0
Fe	0,6-1,1
Zn	< 1,2
Al	zbytek
Ni	< 0,55
Sn	< 0,25
Pb	< 0,35
Cr	< 0,15
Si	8,0-11,0
Mn	< 0,55
Mg	0,15-0,55
Ti	< 0,2
Chemické složení ostatních prvků	< 0,25

V tab. 1.6 je uveden seznam použitých legujících prvků a jejich obsah ve slitině. Legující prvky jednotlivě ovlivňují, dle svého obsahu, mechanické vlastnosti.

Měď zvyšuje pevnost a zlepšuje obrobitelnost, mangan zlepšuje tvárnost a slévatelnost. S vyšším obsahem křemíku se zlepšuje slévatelnost a korozivzdornost. Hořčík zlepšuje pevnost a korozivzdornost. Zinek zvyšuje pevnost a zlepšuje slévatelnost, zatím co železo zajišťuje pevnost a tvrdost.

Slitiny hliníku se vyznačují dobrou obrobitelností, pracovní teploty jsou nízké a z tohoto důvodu můžeme použít vyšších řezných rychlostí. K obrábění těchto slitin je potřeba ostrý pozitivní břit a speciálně dimenzované nástroje. Obecně vyžaduje velký úhel čela, který zaručí plynulý odvod třísky a dle možností zamezí vytváření nárůstku.

2 NÁVRH A ROZBOR INOVATIVNÍHO ŘEŠENÍ OPRACOVÁNÍ STATORU ELEKTROMOTORU

Stávající technologie opracování byly zastaralé a poměrně náročné na přeseřizení, jako v případě technologie R5+FGH 32, kdy se v první operaci soustruží a následně frézuje. Pro nový systém opracování patek a středících nákrůžků by bylo nepřijatelné tyto dvě operace provádět na dvou strojích. Sjednocení těchto operací, integrací na jeden obráběcí stroj přinese významnou úsporu vedlejších časů a vyšší produktivitu.

V předchozích letech byl vedením firmy Siemens v Německu vypracován návrh na převod výroby do Siemens elektromotory Mohelnice. Vybudovaly se nové výrobní prostory pro výrobu elektromotorů. Obsahující dvě výrobní linky na motory o osově výšce AH63 až AH90 a AH100 až AH132.

Vysoké nároky na výrobnost, až 200 motorů za směnu se individuálně konzultovali s dodavatelem obráběcích strojů (DMG a MAS). Provedla se analýza problémů, testování zařízení, zda je výrobní stroj schopen splnit všechny požadavky i těch nejnáročnějších zákazníků.

Ve výběrovém řízení byla nakonec úspěšnější firma MAS Kovosvit a.s. Sezimovo Ústí. Se svým číslicově řízeným univerzálním soustruhem SP430MC/2 (Příloha 1). V provedení s jedním nebo dvěma suporty. Vedení se rozhodlo pro provedení se dvěma suporty, což zvýšilo výslednou cenu obráběcího stroje o 30%. Tyto suporty pracují nezávisle na sobě. K řízení každého zvlášť slouží v řídicím systému právě jeden kanál.

2.1 Soustruh SP430MC/2 [8]

Modulární provedení stroje s maximálním obrobitelným průměrem 430 mm umožňuje sestavit celou řadu technologických variant od soustruhu se dvěma řízenými osami až po soustružnické centrum s osou Y, protivřeteníkem a spodní nástrojovou hlavou s poháněnými nástroji. Tyto stroje jsou nabízeny pro maximální délku obrobku 1100 a 2500mm.

Mezi základní vlastnosti SP430 patří vysoká tuhost a krouticí moment na vřetenu, zaručující výkonné soustružení na maximálním průměru. Dynamika a vysoké rychlosti v jednotlivých osách zkracují vedlejší časy a zajišťují tak efektivnější využití stroje. Použitím valivého vedení je dlouhodobě zajištěno obrábění s vysokou přesností. Zvolená hodnota předepnutí valivého vedení také přispívá k vysoké tuhosti celého stroje. Na stroji jsou použity kvalitní komponenty od renomovaných výrobců.

Konstrukce stroje umožňuje rychlý odvod třísek z pracovního prostoru. Příčný pohyb, horní dvanácti polohové nástrojové hlavy pod úhlem 70°, zaručuje snadný přístup obsluhy do pracovního prostoru. Horní nástrojová hlava slouží pro upnutí pevných nebo poháněných nástrojů, což bylo při volbě stroje důležité, na obr. 2.1 jde vidět v horní nástrojové hlavě přidělaná převodová skříň pro uložení frézovacích jednotek. Zakončení hlavního vřetena A8 nebo A11 dle provedení stroje umožňuje průchod tyče o průměru 80 mm u vřetena A8 a 90 mm u vřetena A11. V pinole koníku je dutina pro pevný hrot Morse 6. Spodní nástrojová hlava je dle provedení stroje, osmi polohová pro upnutí

pouze pevných nástrojů, nebo dvanácti polohová pro upnutí pevných i poháněných nástrojů. Spodní hlava se pohybuje pod úhlem 45°.



Obr. 2.1 SP430 náhled do stroje.

SP430 je vybaven s řídicím systémem SIEMENS – SINUMERIK 840Dsl (SOLUTION LINE) s pohony řady SINAMICS, Heidenhain CNC PILOT 4290 a na přání zákazníka FANUC Series 30i/31i/32i.

Stroj je vybaven integrovanou bezpečností v řídicím systému – SAFETY INTEGRATED firmy Siemens, DUAL CHECK SAFETY firmy FANUC nebo pomocnými bezpečnostními moduly při použití řídicí techniky HEIDENHAIN.

Multioperační soustružnický poloautomat SP 430 (obr. 2.3) je vhodný pro komplexní výrobu jednoduchých i tvarově složitějších součástí o vysoké přesnosti. Je určen pro práce v kusové i sériové výrobě. Umožňuje všechny běžné způsoby obrábění, včetně obrábění nerotačních a složitých tvarů – profilů, jak na součástech z tyčového materiálu, tak i z polotovarů přírubových, z ocelí, litin, barevných kovů a plastů. Vyznačuje se především zvýšenou dynamikou a stabilitou řezného procesu, vysokými otáčkami vřeten, dokonalým odvodem třísek z pracovního prostoru, vysokou spolehlivostí a produktivitou. Technologické parametry stroje umožňují progresivní obrábění součástí moderními, vysoce výkonnými nástroji.

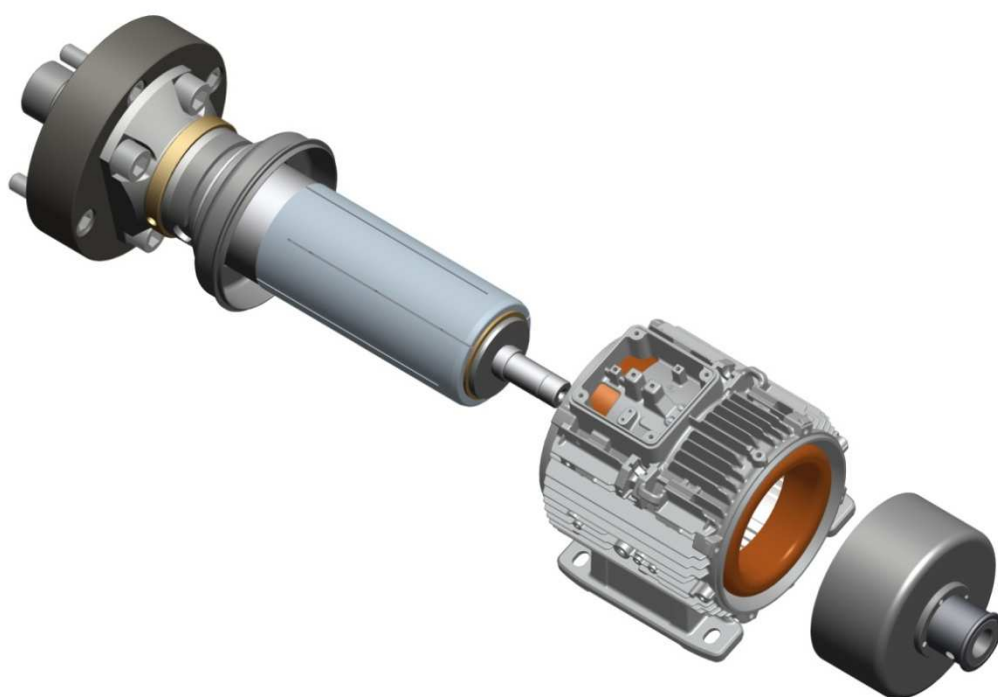
2.2 Popis stroje a pracovního prostoru [8]

Lože **5** jsou připevněny na základnu stroje. Po valivém vedení **7** přejíždí saně v ose Z1, po kterých se pohybuje suport v ose X1 po vedení **6** a u varianty s osou Y také saně po vedení **8**.

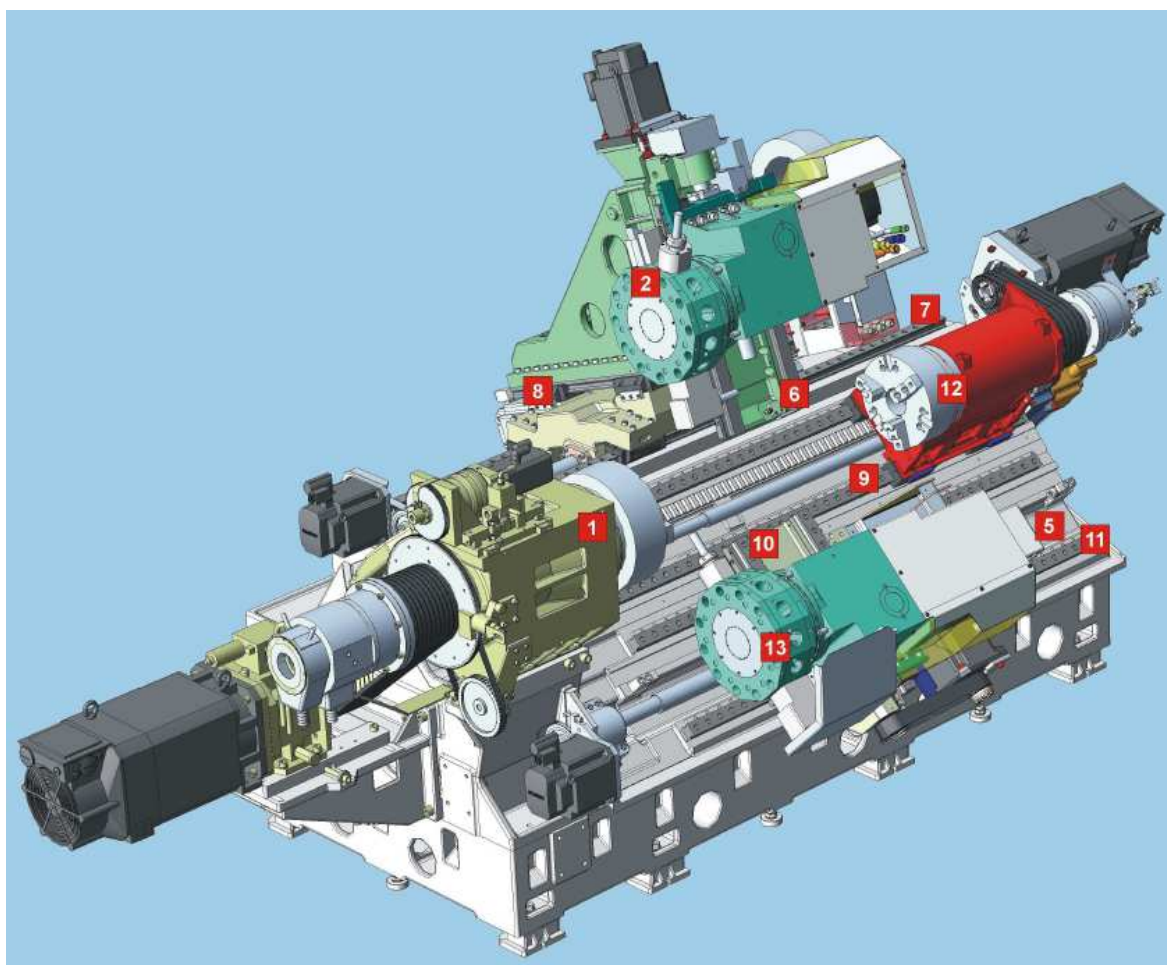
U varianty se spodní hlavou se po vedení **11** pohybují saně ve směru Z2, po kterých se pohybuje suport v ose X2 po vedení **10**.

Na suportu X1 je připevněna dvanácti polohová nástrojová hlava **2** s poháněnými nebo pevnými nástroji. Na suportu X2 je připevněna dvanácti polohová hlava **13** s naháněnými nástroji. Na levé straně lože je umístěn vřeteník s vřetenem A8 nebo A11 a upínacím zařízením pro upnutí obrobku. Na pravé straně je koník s hydraulickým výsuvem pinoly. Koník se pomocí zpevňovacího zařízení (čepu) spojí k horním saním a tím je posouván po vedení **9**.

Některé varianty strojů mohou být vybaveny horní lunetou **16**, která je nabízena jako zvláštní příslušenství. Tato luneta se stejně jako koník pomocí zpevňovacího zařízení (čepu) spojí k horním saním a tím je posouvána po vedení **9**.



Obr. 2.2 Postup upnutí obrobku.



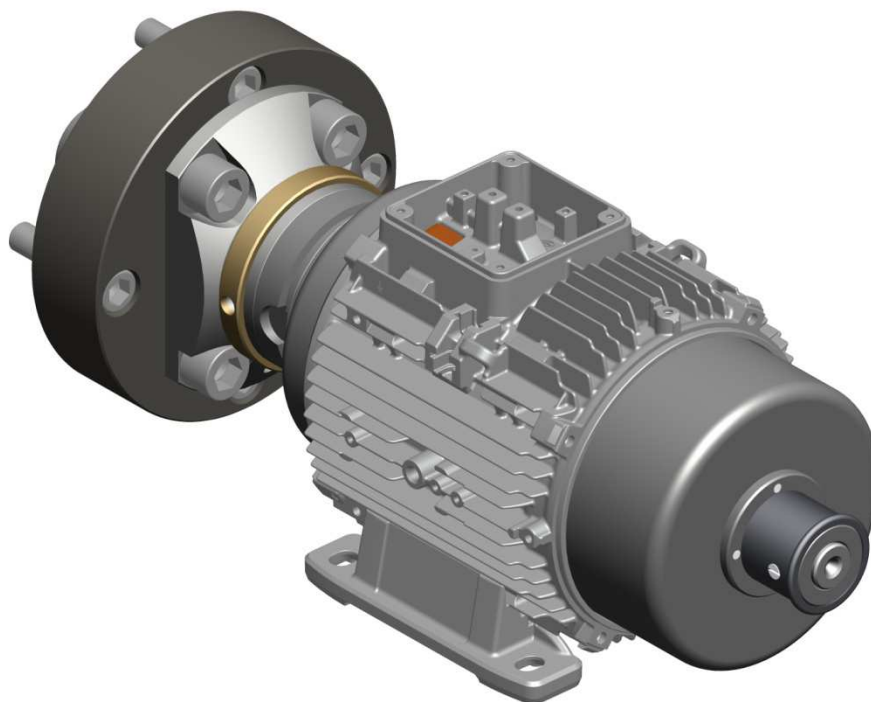
Obr. 2.3 SPN 430 MC/2 s horní a dolní nástrojovou hlavou.

- 1) Hlavní vřeteno.
- 2) Horní nástrojová hlava.
- 4) Koník.
- 5) Lože.
- 6) Valivé vedení X1.
- 7) Valivé vedení Z1.
- 8) Valivé vedení Y.
- 9) Kluzné vedení ZS.
- 10) Kluzné vedení X2.
- 11) Kluzné vedení Z2.
- 12) Protivřeteník.
- 13) Spodní nástrojová hlava osmi polohová.

Pohony posuvu jsou ve všech osách realizovány digitálními regulačními servopohony. Pohon vřetena je řešen asynchronním motorem, dvou rychlostní převodovkou a řemeny. Kryty pracovního prostoru zabraňují vylétnutí třísek a rozstříku chladicí kapaliny mimo stroj. Vstup do pracovního prostoru je umožněn pomocí posuvného krytu. V zadní části stroje za hlavním vřetenem je skříň rozvaděče a řídicího systému. K ovládání stroje slouží ovládací panel, který je umístěn na levé straně stroje. V automatickém cyklu se činnost obsluhy soustředí na upínání (obr. 2.2) a vyjímání obrobku z pracovního prostoru.

2.3 Technologická úprava stroje pro aplikaci do výroby

Provedení stroje od výrobce není dostačující pro vyšší produktivitu a snížení vedlejších časů. Kostra elektromotoru s již nalisovaným statorovým vinutím musí být upnuta za vnitřní průměr na rozpínací trn (obr. 2.4). Ten není podepřen koníkem, hodnoty házivosti jsou pro běžnou řadu motorů LA přijatelné. Tato řada je vyráběna po celém světě rozměrově stejně.

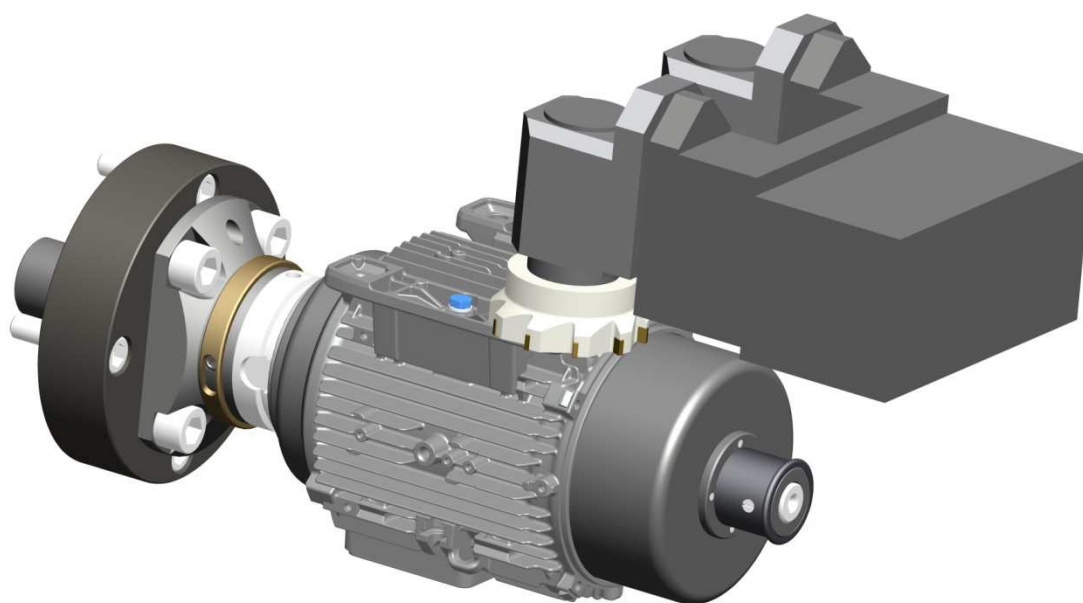


Obr. 2.4 Elektromotor upnutý na rozpínacím trnu.

Po obrobení nákuřků se musí motor zapolohovat, vřeteno se nesmí nacházet v obecné poloze, protože v další operaci, kdy se frézují patky, musí mít stroj informaci o aktuální poloze vřetene. K tomuto polohování slouží doraz patek připevněný k dolní nástrojové hlavě.

V horní nástrojové hlavě je pro obrábění středících nákuřků upnuta dvojice soustružnických nožů. Horní nástrojová hlava umožňuje použití poháněných

nástrojů. Navržená technologie počítá s poháněným nástrojem. Jedná se o dvojici synchronizovaných frézovacích hlav uložených v převodové skříni přišroubované k horní nástrojové hlavě (obr. 2.5).

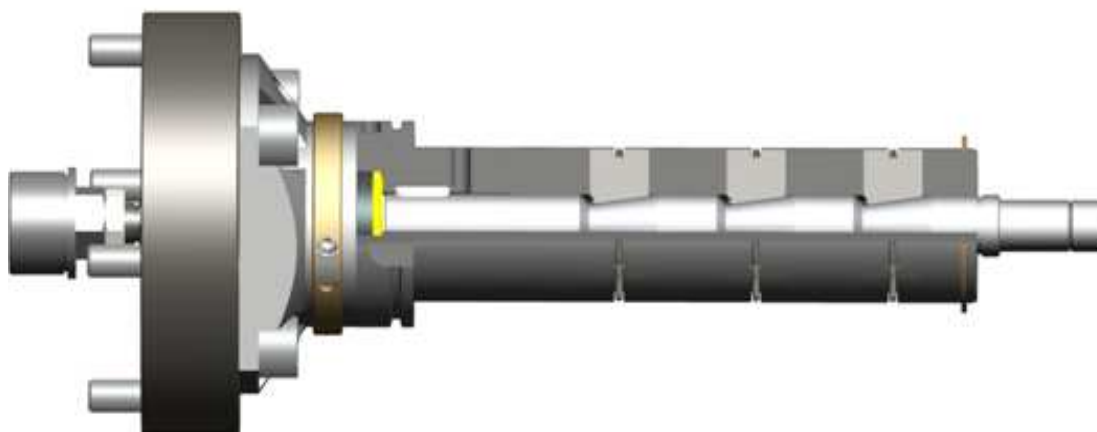


Obr. 2.5 Frézování patek.

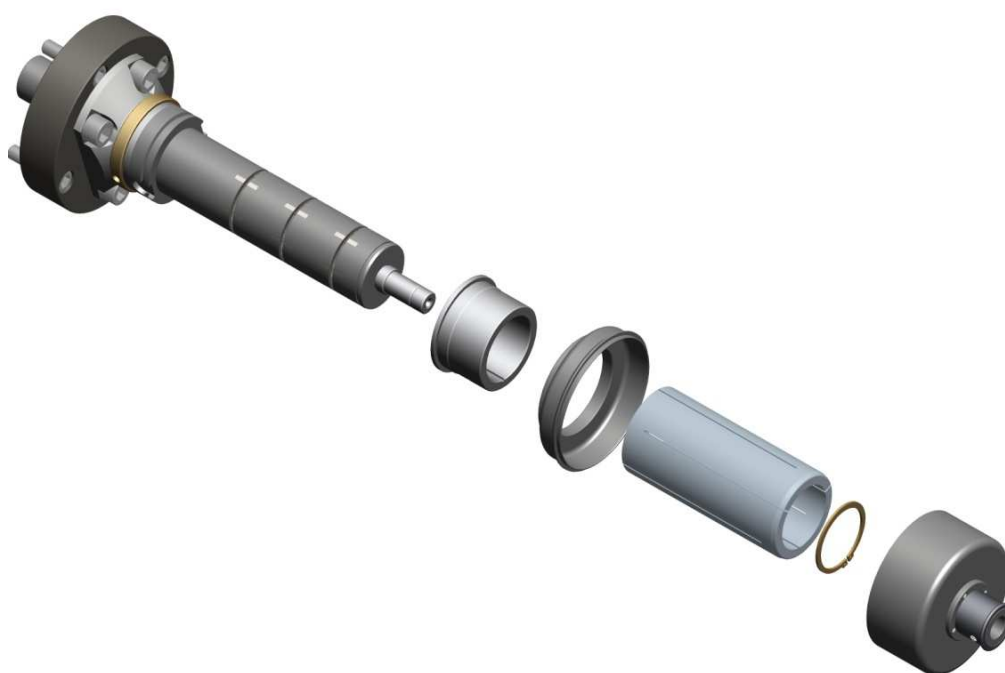
2.3.1 Rozpínací trn se dvěma řadami plošně středěných klínů

Rozpínací trn je nejvíce namáhanou součástí při obrábění (obr. 2.6). Pro soustružení a frézování elektromotorů AH 100 – AH132 je využíván pouze jeden trn, což je výhoda oproti obrábění osových výšek AH63 – AH90, kde je zapotřebí dvou trnů. Přeseřžení na jiný trn je velice náchylné na nepřesné upnutí. Lidský faktor vstupující do výrobního procesu vždy nese riziko výroby neshodných dílů.

Velice důležitá je upínací síla trnu. Kdyby byla její velikost moc vysoká, byl by deformován statorový svazek. Na řezný proces by to nemělo žádný přímý vliv, ale po montáži štítů a úplné kompletaci na zkušebně zjistí nepříjemnou hlučnost elektromotoru, která je způsobena nesouosostí středícího nákrážku a rotorového hřídele. Na druhou stranu, když bude upínací síla moc malá a stator nebude dostatečně upnutý. Dojde k jeho protočení na trnu ve statorovém svazku.



Obr. 2.6 Rozpínací trn pro výrobu osových výšek AH100 – AH132.



Obr. 2.7 Konstrukce rozpínacího trnu.

Vlivem vlastní váhy obrobku, řezných sil a upínací síly je trn ohýbán, proto nemohou být použity vyšší řezné rychlosti. Tento průvodní jev se dá odstranit podepřením hrotu koníku. Pro výrobu standardní řady elektromotorů LA je hodnota házivosti nízká a zvýšení přesnosti by mělo za následek razantní růst nákladů na jeden kus, což ovlivní nejvíce konečnou cenu pro zákazníka.

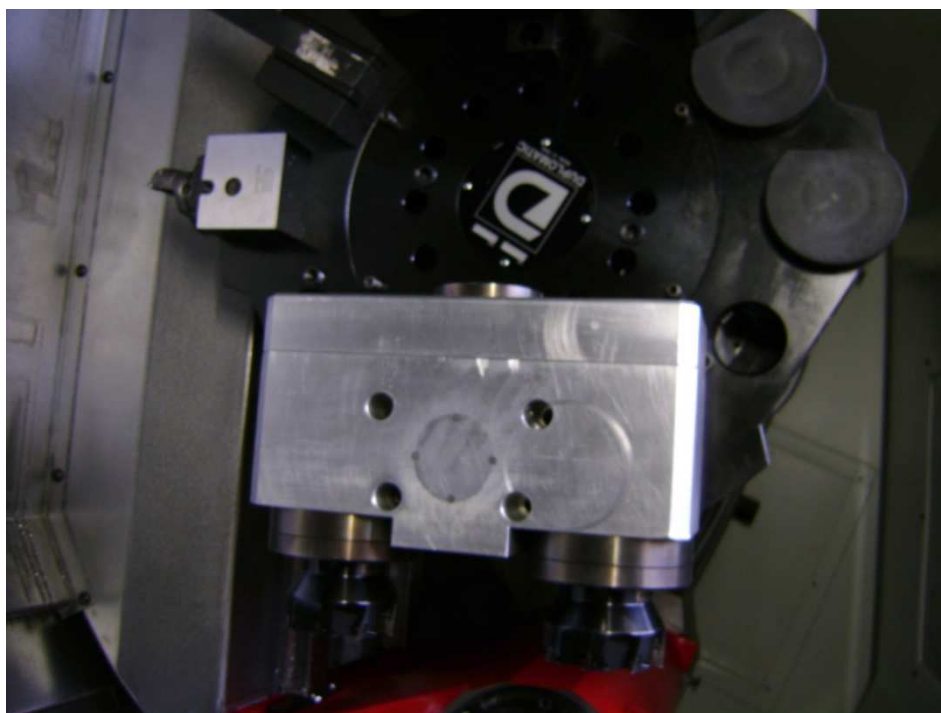
Podobně jako u kol automobilu, je trn vyvažován štítem, který je vidět na obr. 2.7. Dokonalé vyvážení snižuje hodnotu házivosti na minimum.

Pro výrobu elektromotoru s vyššími nároky na přesnost se použije speciální kooperačně vyrobený rozpínací trn podepřený koníkem. Při tomto výrobním procesu se dosáhne nejvyšší možné přesnosti. Zvýšení vedlejších časů a cena speciálního trnu (pohybuje kolem milionu korun) razantně zvýší cenu produktu.

Trn pro výrobu standardní řady LA byl zadán do výroby a zhotoven v nástrojárně společnosti Siemens s.r.o. na rozdíl od trnu pro náročnější zákazníky.

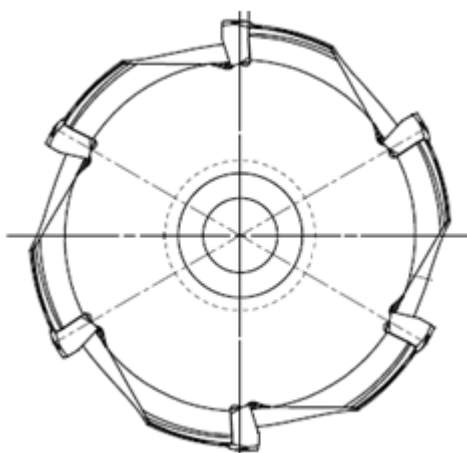
2.3.2 Převodová skříň

Vstupní hřídel v převodové skříni (obr. 2.8) je spojen přes unašeč s pohonem horní nástrojové hlavy. Řídicí ozubené kolo převádí dorychla v převodovém poměru $p_1 = 1,66$ krouticí moment na obě ramena převodové skříně. V rameni se nachází kuželové paloidní soukolí s převodem $p_2 = 0,5$ dopomala, které pohání frézovací jednotky DUPLOMATIC PRR-B 40/40 (obr. 2.9 a obr. 2.10).

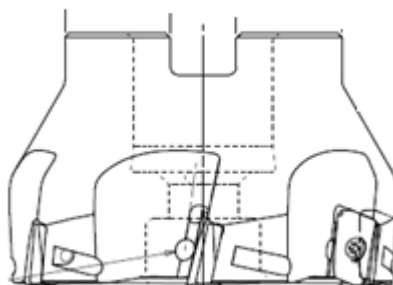


Obr. 2.8 Frézovací jednotky s převodovou skříní.

Celkový převodový poměr omezuje nastavení otáček. Unašeč vstupního hřídele je ovládán servopohonem, kterým lze nastavit otáčky nástroje v rozsahu $n = 0$ až $3\,000\text{ min}^{-1}$. Na výstupu se řezná rychlost stanovila dle omezujících otáček a podle série měření, při kterých bylo dosaženo požadované struktury povrchu. Velikost strojního posuvu je také omezena. Frézování patek nemůže probíhat při razantně vyšších posuvech. Patky elektromotoru jsou odlehčené, jejich tuhost není optimální a hrozí riziko šikmého řezu s výsledkem špatného ofrézování na osovou výšku.



Obr. 2.9 Půdorys frézy [7].

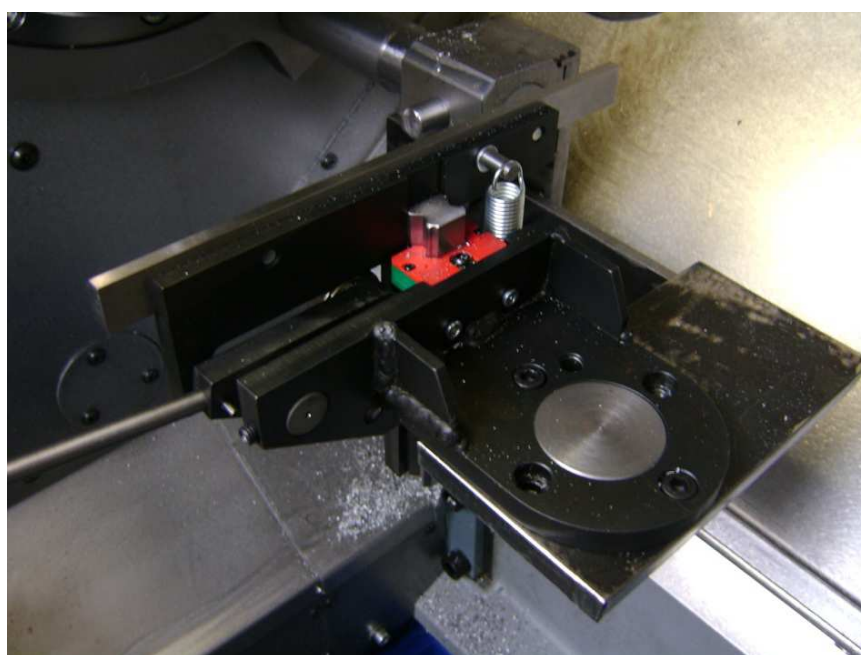


Obr. 2.10 Frézovací jednotka Kennametal pro frézování patek [7].

Převodová skříň obsahuje převážně přímé ozubení. Kola nejsou broušena, ale splňují podmínku hlučnosti. Samotný chod stroje je daleko hlučnější než převodová skříň. Pro převod momentu na frézovací hlavu z ramena převodovky slouží dvojice kuželových kol. Převodová skříň byla sestavena a vyráběna dodavatelem. Prostory ozubených kol a ložisek jsou vyplněny mazacím tukem Mobil Grease, který se také používá k mazání ložisek elektromotoru.

2.3.3 Doraz na patky

V dolní nástrojové hlavě je upnut speciální přípravek pro polohování kostry elektromotoru (obr. 2.11).



Obr. 2.11 Polohovací přípravek na patky elektromotoru.

Pomocí páky, jejíž maximální natočení je 90° , je ovládán translační pohyb po kolejnici. Kolejnice se pohybuje ve valivém hnízdě vlivem natočením páky přes čep, na kterém je nalisované ložisko. Ložisko se při stlačení páky otáčí a posouvá po pravítku. Mezi pravítky je přišroubovaná kalená lišta, na kterou se patky dorazí. Tento přípravek jsem sám kreslil a osobně namontoval a seřídil.

Dolní nástrojová hlava se s upnutým přípravkem (obr. 2.12) natočí tak, aby lišta přípravku byla kolmá na osu vřetene. Obsluha stroje kostru dorazí k přípravku. Po doražení uvolní páku a tažná pružina vrátí přípravek do výchozí polohy. Kostra s patkami se nenachází v obecné poloze na trnu, ale přesně definované. Obsluha zapne program stroje a vřeteno se natočí o 90° ve směru hodinových ručiček. Elektromotor je připraven k obrobení patek na osovou výšku.



Obr. 2.12 Pohled na trn s kalibrem a doraz patek.

2.3.4 Drobné úpravy stroje

Univerzální soustružnický automat SP430MC/2 je nabízen v provedení s dopravníkem třísek. Před nákupem a výběrem strojů byl již vypracován projekt výrobní haly. Dopravník pro odvod třísek ze stroje je vyveden na pravé straně stroje, ale v tomto místě byl naprojektován hlavní rozvaděč. Z tohoto důvodu musel být dopravník třísek demontován a odstraněn ze stroje. Proto je pod strojem umístěn velký gravitační zásobník na třísky. Pro vyprázdnění zásobníku a manipulaci s ním je určen vysokozdvizný vozík, který na konci směny najede vidlicí pod stroj a zásobník vymění.

S třískami souvisí i uložení horního a dolního suportu. Horní suport je uložen pomocí valivého vedení pohybující se po saních na šesti valivých hnízdech. Valivé uložení suportu je oproti kluznému uložení přesnější, ale vyžaduje vyšší nároky na údržbu. Valivé uložení horního suportu je voleno z důvodu dostatečné vzdálenosti od místa tvorby třísky a gravitačního působení.

Naopak u dolního suportu, který je poměrně blízko řezného procesu a hrozí zde zanesení třískami, je uložení suportu kluzné, které je méně náročné na údržbu.

2.4 Identifikace dané výrobní linky

Nové výrobní prostory obsahují dvě hlavní výrobní linky na výrobu osových výšek motoru AH63 až AH132. Výrobní postup je poměrně podobný jako u technologie Tailor a R5+FGX. S využitím nových jednoúčelových strojů je však výroba daleko efektivnější, rychlejší a méně nákladná.

Na začátku výrobního procesu je kostra elektromotoru dopravena pomocí vysokozdvizného vozíku na vstup linky spolu se satorovým svazkem. Satorový svazek musí být nalisován s přesahem do kostry elektromotoru. Před nalisováním satoru do kostry je nutné kostru nahřát na 260 °C. Pomocí indukčního ohřevu se kostra nahřeje na tuto teplotu během 60 sekund. Dle osově výšky je průměr kostry rozdílný, čas 60 sekund je pro elektromotor s osovou výškou AH132. Samotný ohřev probíhá pomocí nahřívacího transformátoru NT7 (obr. 2.13). Při ohřevu největší kostry elektromotoru AH132 prochází cívkou transformátoru proudy až 260 A. Obsluha stlačí ovládací tlačítka, přední kryt se vysune, kostra se vloží do přípravku konstruovaného na danou osovou výšku. Jakmile se kostra ustaví do přípravku, obsluha stlačí tlačítka, kryt se uzavře a kostra sjede do středu cívky, kde se nahřívá na požadovanou teplotu.



Obr. 2.13 Nahřívací transformátor NT7.

Po ohřevu se kostra elektromotoru ustaví do přípravku na lisovací zařízení, vše probíhá v předem daném časovém sledu, z důvodu ochlazení kostry vlivem teploty prostředí. Statorový svazek se zapoložuje do otočné hlavy (obr. 2.14), nastaví se doraz na hloubku nalisování a kostra se nalisuje na svazek. Takový sled operací se využívá pouze u litinových koster. U hliníkových koster je nalisování prováděno ručně, popřípadě při špatném ustavení se dolisuje na stroji.

Kostra s nalisovaným svazkem, nebo-li stator se umístí do texgumoidové manipulační paletky a posune se po valivých hnízdech k řetězovému dopravníku, kde prochází chladicí komorou, která zchladí stator na teplotu okolí. Vzduchové chlazení srazí teplotu statoru na teplotu okolí během dvou minut. Tato teplota je na výstupu dopravníku kontrolována.



Obr. 2.14 Statorový svazek v otočné hlavě lisu.

V další operaci se provádí válečkování statorových plechů (obr. 2.15) s vertikálním nebo horizontálním uložením válečkovací hlavy. Každá manipulační paletka je označena kódovým znakem pro osovou výšku. Při změně osové výšky provede stroj výměnu válečkovací hlavy ze zásobníku (obr. 2.16). U elektromotorů s osovými výškami AH63 až AH90 je zavedeno vertikální uložení a naopak u osových výšek AH90 až AH132 se používá horizontální. Statorový svazek se impregnuje za účelem zvýšení životnosti a spolehlivosti elektrického zařízení. Část impregnačního laku ulpívá na hranách plechů. Z tohoto důvodu se před třískovým obráběním zařazuje operace válečkování. Válečkovací hlava porovná plechy staru na požadovaný průměr. Někdy se stává, že několik plechů není soustředěno ve správné poloze.

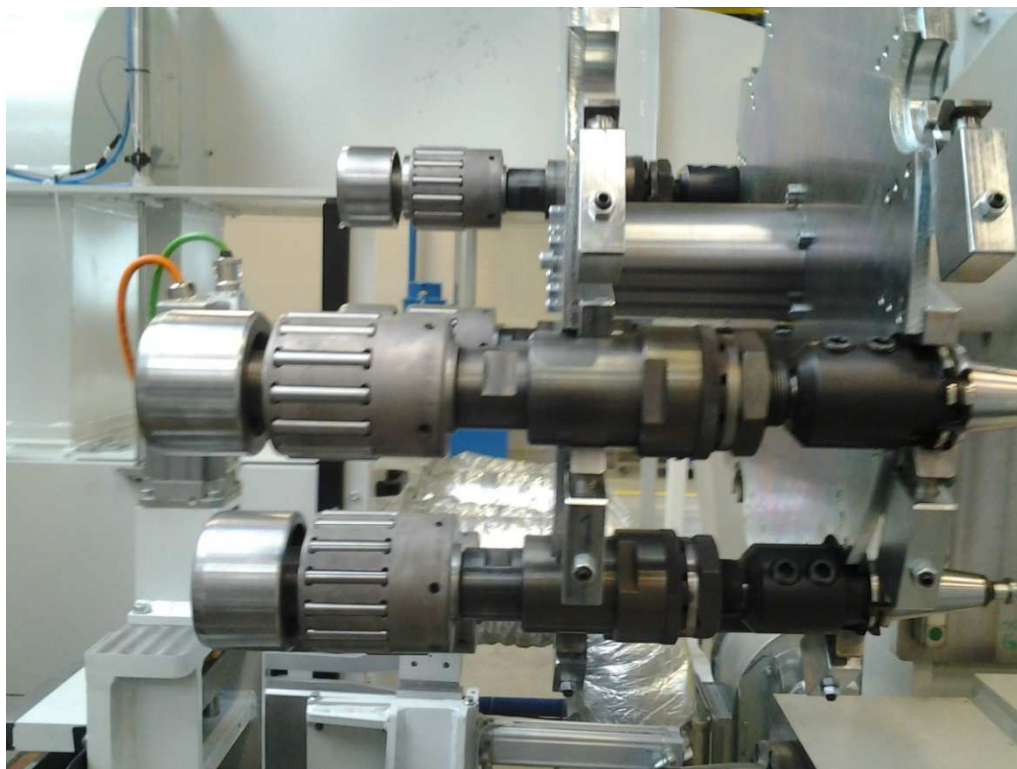


Obr. 2.15 Válečkování statorů.

Vyválečkový stator se dostává ve výrobním cyklu k SP430/MC2, kde se stator upne na trn a zapolohuje. Následuje soustružení nákrůžků, čela pro štít, vrtání díry pro kolík a frézování patek na požadovanou osovou výšku. Vše podle daného typu a provedení motoru. V řídicím systému stroje je vedený pro každý typ elektromotoru výrobní program.

Celý proces obrábění probíhá s řízenou osou C (obr. 2.17) z důvodu frézování patek. Před začátkem každé směny, vypnutím stroje nebo změny vyráběného elektromotoru se spustí program naprázdno bez obrobku. Řízená osa C po dokončení programu vyhodnotí celkový úhel natočení vřetene a data se při vypnutí stroje z řídicího systému smažou. Jakmile má osa C informaci o úhlu natočení vřetene, je schopná natočit upnutý stator do polohy pro frézování.

Natočení vřetene realizované pomocí řízené C osy není jediné možné řešení polohování statoru. Nastavení statoru do polohy pro frézování patek lze zajistit sondou pro ustavování obrobků. Upnutím měřicí sondy do horní nástrojové hlavy by se zajistilo detekování polohy obrobku. Oproti řízené ose C má však toto návrhové řešení značné nedostatky z hlediska produktivity a náročnosti na čas. Měřicí sonda (obr. 2.18) se pohybuje maximální rychlostí 0,5 m/min. Údržba tohoto zařízení, pořizovací cena a riziko poškození měřicí sondy v pracovním prostoru, jsou značné nevýhodné oproti řízené ose C.



Obr. 2.16 Zásobník válečkových hlav.



Obr. 2.17 Řízení osy C u SP430MC/2.

Po provedení všech operací stator opouští předmontážní stanoviště a přesouvá se po dopravníku k montážní lince, kde se dále montují svorkovnice, ventilátory, štíty apod.

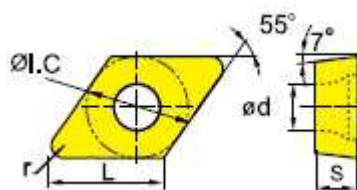


Obr. 2.18 Měřicí sonda Renishaw [6].

2.5 VBD pro soustružení a frézování [1] [3] [7]

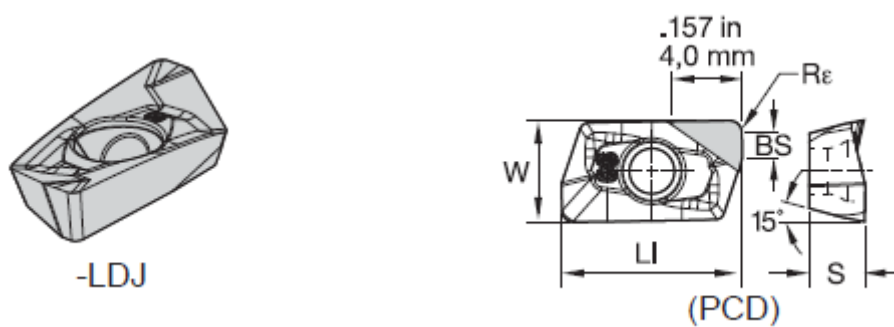
Vyměnitelná břitová destička (VBD) firmy ZCC-CT pro soustružení (obr. 2.19), typu DCGX3(2,5)1-LH, je ze sliutého karbidu. VBD je povlakovaná technologií PVD. Povlak je označován YBG 102, což značí jemnozrnou strukturu destičky povlakovanou karbidem titanu. Vyznačuje se vysokou odolností proti tepelné deformaci a opotřebení břitu. VBD je vhodná k obrábění barevných kovů a slitin hliníku. Speciální struktura na povrchu VBD zabraňuje přilepování odebíraného materiálu na břit.

$L = 11,61 \text{ mm}$
 $I.C = 9,53 \text{ mm}$
 $S = 3,97 \text{ mm}$
 $d = 4,4 \text{ mm}$
 $r = 0,4 \text{ mm}$



Obr. 2.19 Geometrie VBD pro soustružení [3].

Pro frézování patek byla použita destička Kennametal ze slinutého karbidu typu N, který je určen pro obrábění neželezných kovů. Parametry a geometrie destičky jsou zobrazeny na obr. 2.20, použité míry jsou v milimetrech.



catalogue number	LI	W	S	BS	Rε	hm	cutting edges
EDCT10T304PDERLDJ	12,05	6,75	3,75	1,98	0,4	0,03	2

Obr. 2.20 Geometrie VBD pro frézování [7].

3 VÝPOČET ŘEZNÝCH SIL, ŘEZNÝCH PODMÍNEK, ZHODNOCENÍ PŘESNOSTI A STRUKTURY POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ

Pro zadané parametry a požadavky na strukturu povrchu po obrábění, vybraných břitových destiček, budou stanoveny řezné podmínky. Snahou je, zvolit co nejefektivnější řezné podmínky a porovnat je s daty od výrobců VBD, které udávají pouze intervaly posuvu a řezné rychlosti. Tím bude zajištěna produktivita obrábění u konkrétního případu.

U soustružení se použije VBD firmy ZCC-CT pro obrábění litiny i hliníkové slitiny z důvodu značného množství výroby těchto elektromotorů. K soustružení budou použity pouze tyto destičky. Výroba se zatím nachází ve zkušebním provozu, pokud bude trvanlivost VBD nepřijatelná, zvolí se VBD i pro litinu na úkor zvýšení technologického času. Pro frézování patek kostry elektromotoru se použijí VBD firmy KENNAMETAL. Tito dodavatelé již dlouhodobě spolupracují s firmou Siemens s.r.o., jejich řezné nástroje se používaly v předešlých technologiích.

3.1 Výpočet limitních posuvů [4]

Strojní posuv se vyjádří pomocí tří limitních vztahů: vyplývající z empirického vzorce, z maximální přípustné drsnosti povrchu a velikostí limitní síly.

Tyto tři dílčí výsledky je nutno porovnat a vybrat ten nejmenší limitní posuv. Hodnoty konstant a koeficientů byly dodány výrobcem VBD.

- limitní posuv daný empirickým vztahem:

$$f_{1lim} = C_f \cdot r_\varepsilon^{x_\varepsilon} \cdot a_p^{x_a} \quad (3.11)$$

$$f_{1lim} = 0,2268 \cdot 0,4^{0,7737} \cdot 1,5^{0,4076}$$

$$f_{1lim} = 0,132 \text{ mm}$$

kde: C_f konstanta z empirického vztahu pro posuv [-],
 r_ε rádius špičky nástroje [mm],
 x_ε exponent z empirického vztahu pro posuv [-],
 x_a exponent z empirického vztahu pro posuv [-],
 a_p šířka záběru [mm].

-limitní posuv daný maximální přípustnou strukturou povrchu R_a :

$$R_z = \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \Rightarrow f_{lim2} = \sqrt{\frac{R_a}{0,26} \cdot 8 \cdot r_\varepsilon} \quad (3.12)$$

$$f_{2lim} = \sqrt{\frac{R_a}{0,26} \cdot 8 \cdot 0,4}$$

$$f_{2lim} = 0,226 \text{ mm}$$

-pro další limitní posuv je nutné stanovit limitní sílu F_{clim} , která vyplývá z maximálního výkonu stroje a otáček:

$$P_m = \frac{F_{clim} \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} \Rightarrow F_{clim} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot P_m}{\pi \cdot D \cdot n} \quad (3.13)$$

$$F_{clim} = \frac{6 \cdot 10^7 \cdot 28}{\pi \cdot 221 \cdot 6500}$$

$$F_{clim} = 373 \text{ N}$$

kde: P_m výkon [W],
 n maximální otáčky stroje [min^{-1}],
 D obráběný průměr [mm].

-pak pro limitní posuv daný velikostí limitní síly:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad (3.14)$$

$$f_{3lim} = \sqrt[y_{Fc}]{\frac{F_{clim}}{C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}}}} = \sqrt[0,72]{\frac{373}{1050 \cdot 1,5^1}}$$

$$f_{3lim} = 0,1352 \text{ mm}$$

-kde: C_{Fc} konstanta pro výpočet řezné síly při soustružení [-],
 x_{Fc} exponent z empirického vztahu pro řeznou sílu [-],
 y_{Fc} exponent z empirického vztahu pro řeznou sílu [-],
 a_p šířka záběru [mm].

Nejmenší limitní posuv f_{lim1} bude dále používán k porovnání s f_{opt} k vyhodnocení řezných podmínek.

3.2 Výpočet trvanlivosti břitu [4]

Trvanlivost břitu se definuje nejčastěji časem, ale může být vztažena na počet výrobků nebo na délkový rozměr (vystružování). Součet jednotlivých trvanlivostí udává celkovou životnost nástroje. Po dosažení určitého

opotřebení na břitu se nástroj přeastří, přeastření je možné až do kritického otupení břitu.

Trvanlivost břitu se může hodnotit ze dvou hlavních hledisek, z technologického hlediska, kdy se břit považuje za otupený, není-li už déle schopen obrábět danou plochu v požadované jakosti.

Z ekonomického hlediska se otupení břitu hodnotí podle maximální výrobnosti nebo se vztáhne na podíl nákladů potřebných na nástroj, připadající na obrobení jednoho kusu.

Kritérium minimálních nákladů

Kritérium minimálních nákladů vychází z přímých nákladů na obrobení jednoho dílce:

$$A = t_{AS} \cdot \frac{E}{60} + \frac{B}{Q} \quad (3.21)$$

kde: A přímé náklady na obrobení jednoho kusu [Kč/ks],
 t_{AS} strojní čas [min],
 E náklady na hodinu práce stroje [Kč/hod],
 B náklady na použití jednoho břitu [Kč/břit],
 Q počet dílců obrobených mezi výměnami nástroje [ks].

V rovnici (3.21):

$$t_{AS} = \frac{L \cdot p}{n \cdot f \cdot a_p} = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot p}{10^3 \cdot v_c \cdot a_p \cdot f} = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot p}{10^3 \cdot c_v \cdot a_p \cdot f} \cdot T^{\frac{1}{m}} \quad (3.22)$$

$$t_{AS} = c_o \cdot T^{\frac{1}{m}}$$

$$Q = \frac{T}{\lambda \cdot t_{AS}} = \frac{1}{c_o \cdot \lambda \cdot T^{\frac{1}{m-1}}} \quad (3.23)$$

$$\lambda = \frac{l}{L}$$

kde: L celková délka kdy je zapnut strojní posuv [mm],
 p počet záběrů [-],
 D obráběný průměr [mm],
 c_v konstanta z Tailorova vztahu [-],
 l délka obráběné plochy [-],
 T trvanlivost [min],
 m exponent z Tailorova vztahu [-],
 c_o konstanta [-],
 λ exponent zohledňující příjezdy a odjezdy nástroje [-].

Po dosazení do rovnice (3.21):

$$A = c_o \cdot \frac{E}{60} \cdot T^{\frac{1}{m}} + B \cdot \lambda \cdot c_o \cdot T^{\frac{1}{m-1}} \quad (3.24)$$

-pro minimum nákladové funkce platí:

$$\frac{dA}{dT} = 0 \quad (3.25)$$

- po úpravě je trvanlivost pro minimální náklady rovna:

$$T_{opt_1} = (m - 1) \frac{60 \cdot B}{E} \cdot \lambda = (3,1 - 1) \frac{60 \cdot 115}{350} \cdot 0,95$$

$$T_{opt_1} = 39,33 \text{ min}$$

Kritérium maximální výrobnosti

Trvanlivost se dá také určit z hlediska maximálního úběru materiálu se zanedbáním hospodárnosti. Při tomto výpočtu se vychází z celkového času na obrobení jednoho kusu t_c :

$$t_c = t_{AS} + t_{A11} + \frac{t_{AX}}{Q} \quad (3.26)$$

kde: t_{A11} vedlejší časy [min],
 t_{AX} čas na výměnu a seřízení nástroje [min].

-po dosazení za t_{AS} (3.22) a Q (3.23):

$$t_c = c_o \cdot T^{\frac{1}{m}} + t_{A11} + t_{AX} \cdot c_o \cdot T^{\left(\frac{1}{m-1}\right)} \quad (3.27)$$

- pro maximum funkce platí:

$$\frac{\partial t_c}{\partial T} = 0 \quad (3.28)$$

-po úpravě je výsledný vztah pro maximální výrobnost:

$$T_{opt_2} = (m - 1) \cdot t_{AX} \cdot \lambda \quad (3.29)$$

$$T_{opt_2} = (3,1 - 1) \cdot 10 \cdot 0,95$$

$$T_{opt_2} = 19,95 \text{ min}$$

Jako hlavní kritérium pro vyhodnocení řezných podmínek bude použita trvanlivost T_{opt1} , vyplývající z minimálních nákladů.

3.3 Výpočet řezné rychlosti a strojního posuvu [4]

V předchozích výpočtech byl zjištěn nejmenší limitní posuv, v postatě se jedná o maximální přípustný posuv pro dané podmínky obrábění. Díky této hodnotě je možné vypočítat optimální posuv a řeznou rychlost.

- odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem ze vztahu pro řezivost:

$$v_T = \frac{C_v}{T_{opt}^{\frac{1}{m}} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} = \frac{C_1}{f^{y_v}} \quad (3.31)$$

$$C_1 = \frac{C_v}{T_{opt}^{\frac{1}{m}} \cdot a_p^{x_v}} \quad (3.32)$$

$$C_1 = \frac{400}{39,33^{\frac{1}{3,1}} \cdot 1,5^{0,2}} = 112,74$$

-odvození vztahu mezi řeznou rychlostí a posuvem z výkonu na vřetenu:

$$P_{ef} = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f_{lim}^{y_{Fc}} \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} \quad (3.33)$$

$$C_2 = \frac{P_{ef} \cdot 6 \cdot 10^4}{C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}}} \quad (3.34)$$

$$C_2 = \frac{2,24 \cdot 6 \cdot 10^4}{1050 \cdot 1,5^1} = 85,33$$

- dosazením (3.34) do (3.33):

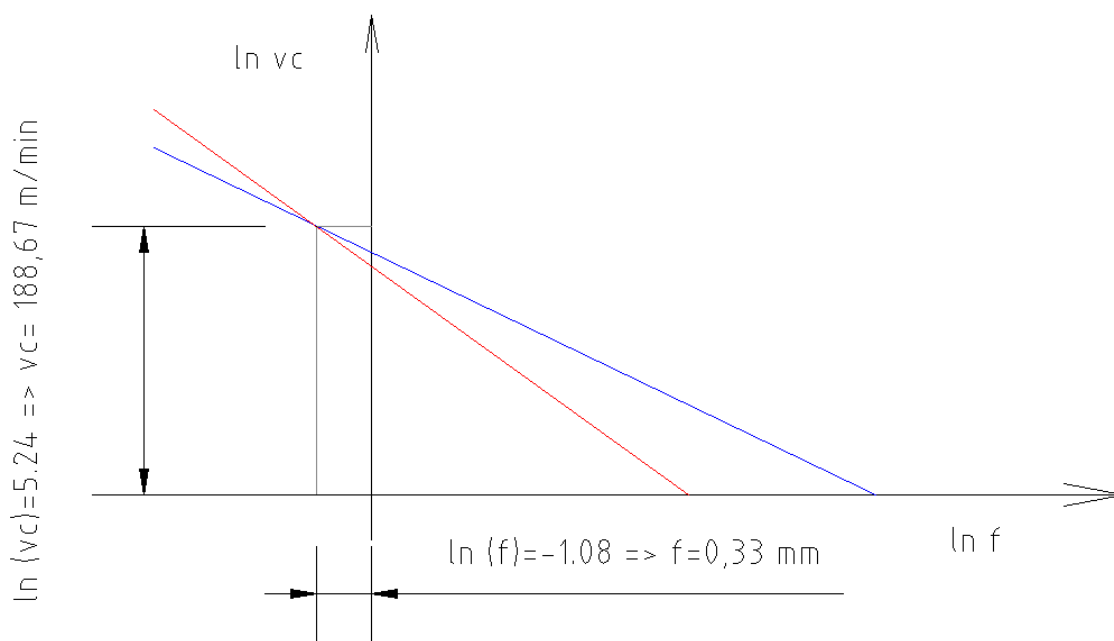
$$v_c = \frac{C_2}{f^{y_{Fc}}} \quad (3.35)$$

-úprava (3.31) a (3.35) na lineární tvar:

$$\ln v_T = \ln C_1 - y_v \cdot \ln f \quad (3.37)$$

$$\ln v_c = \ln C_2 - y_{Fc} \cdot \ln f \quad (3.38)$$

- pomocí rovnic (3.37) a (3.38) je možné vynést do logaritmických souřadnic průsečíky s osami a tím vyhodnotit graficky řezné podmínky (obr. 3.1):



Obr. 3.1 Grafické řešení řezných podmínek z rovnic (3.37) a (3.38).

-z rovnic (3.37) a (3.38) se vyjádří v_{opt} a f_{opt} :

$$v_{opt} = \exp \frac{y_{Fc} \cdot \ln C_1 - y_v \cdot \ln C_2}{y_{Fc} - y_v}$$

$$v_{ot} = \exp \frac{0,72 \cdot \ln 112,74 - 0,48 \cdot \ln 85,33}{0,72 - 0,48}$$

$$v_{opt} = 197 \text{ m/min}$$

$$f_{opt} = \exp \frac{\ln C_2 - \ln C_1}{y_{Fc} - y_v}$$

$$f_{opt} = \exp \frac{\ln 85,33 - \ln 112,74}{0,72 - 0,48}$$

$$f_{opt} = 0,3132 \text{ mm}$$

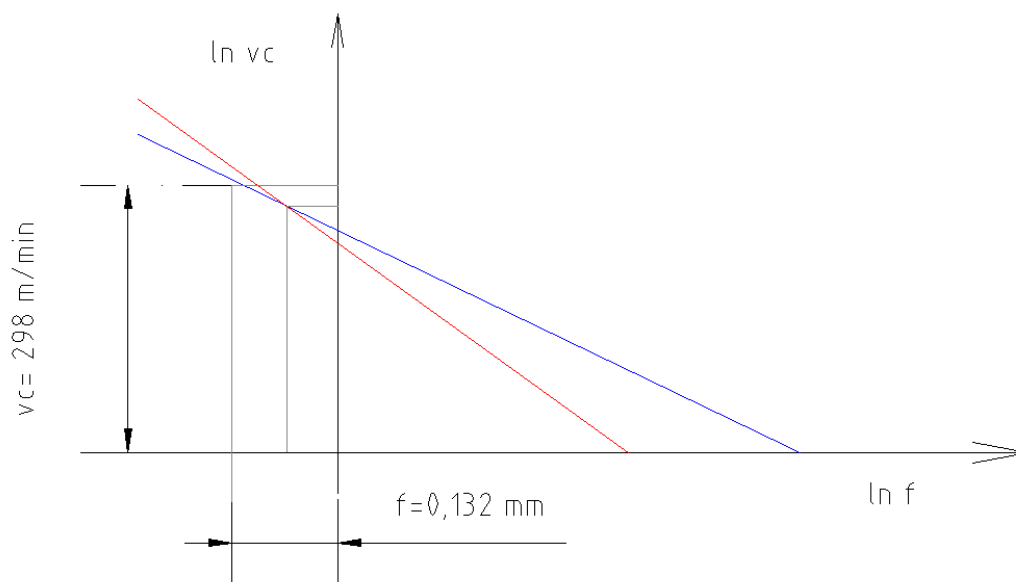
-pokud $f_{opt} \geq f_{lim1}$ je nutné vycházet pro určení v_{copt} ze závislosti s menší hodnotou posuvu. Obvykle platí, že $y_{Fc} > y_v$ a proto se v tomto případě řezná rychlost vypočítá ze závislosti pro řezivost nástroje (3.31). Hodnoty řezných parametrů jsou pak v_{copt} a f_{lim1} .

$$v_{copt} = \frac{C_1}{f^{y_v}} = \frac{112,74}{0,132^{0,48}} \cong 298 \text{ m/min}$$

-vychází-li hodnota $f_{opt} \leq f_{lim2}$, pak platí pro praktické použití optimální řezná rychlost v_{opt} a optimální posuv f_{opt} . Tento přístup ale není možný.

- pro zefektivnění obráběcího procesu při soustružení středících nákrůžků budou použity hodnoty posuvu f_{lim1} a v_{copt} (obr. 3.2), tedy:

$$f = 0,132 \text{ mm} \quad a \quad v_c = 298 \text{ m/min}$$



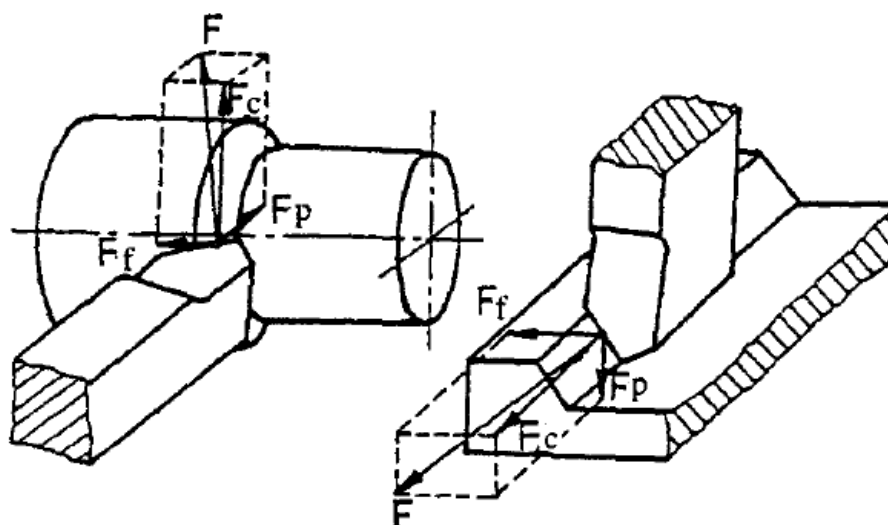
Obr. 3.2 Použité řezné podmínky.

Program se zefektivněnými hodnotami posuvu a řezné rychlosti

```
N10 NAVRAT:
N20 G71 G54
N30 LIMS=900
N40 G96 S452 M4 M42
N50 T2 D1
N60 G0 Z216.4 X178.2
N70 G1 Z211.5 F0.13
N80 G0 X180 Z216.4
N90 X217
N100 Z211
N110 G1 X178 F0.18
N120 Z215 F0.15
N130 Z216.2 X175.5
N140 G0 X455 Z300
N150 T1 D1
N160 Z-0.4
N170 X178.2
N180 G1 Z4.5 F0.13
N190 G0 X180 Z-0.4
N200 X217
N210 Z5
N220 G1 X178 F0.13
N230 Z1 F0.15
N240 Z-0.4 X175.5
N250 G0 X385
N260 Z450 CA1=0 M5
N270 AXISC1_ON
N280 KOLIK_112_PATKA
N290 FREZA_112
N300 G0 CA1=140
N310 M0
N320 AXISC1_OFF
N330 GOTOB NAVRAT
N340 M30
```

3.4 Řezná síla při soustružení [5]

Silové působení v oblasti tvorby třísky se stanovuje na základě empiricky odvozených vzorců, tyto parametry byly zjištěny přímo od výrobců. Identifikací této silové soustavy, budou zjištěny potřebné parametry ovlivňující řezné podmínky a vliv na plynulost obráběcího procesu s ohledem na stabilitu břitu. Působící síly jsou vidět na obr. 3.3. Působící síla F má tři složky, z nichž nejvyšší význam má řezná síla F_c , působící ve směru vektoru rychlosti v_c . Dalšími silovými složkami jsou pasivní síla F_p a posuvová síla F_f .



Obr. 3.3 Znárodnění řezných sil při soustružení [5].

3.4.1 Výpočet řezných sil [4]

Řezné síly budou stanoveny pro obrábění litiny s lupínkovým grafitem, kde bude průběh sil podstatně vyšší než u hliníkové slitiny.

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{X_{Fc}} \cdot f^{Y_{Fc}} \quad (3.4)$$

$$F_c = 1050 \cdot 1,5^1 \cdot 0,132^{0,72} = 367 \text{ N}$$

- posuvová síla F_f , pasivní síla F_p spolu s F_c dají vektorovým součtem celkovou řeznou sílu F_e :

$$F_e = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad (3.41)$$

kde:

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{X_{Fp}} \cdot f^{Y_{Fp}} \quad (3.42)$$

$$F_p = 850 \cdot 1,5^{0,9} \cdot 0,132^{0,75}$$

$$F_p = 268 \text{ N}$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{X_{Ff}} \cdot f^{Y_{Ff}} \quad (3.43)$$

$$F_f = 450 \cdot 1,5^{1,1} \cdot 0,132^{0,65}$$

$$F_f = 189 \text{ N}$$

- dosazením výsledků ze vztahů (3.4), (3.42), (3.43) do (3.41):

$$F_e = \sqrt{367^2 + 268^2 + 189^2}$$

$$F_e = 492 \text{ N}$$

3.4.2 Experimentální vyhodnocení řezné síly

Řezná síla nejde určit pouze z empirického vztahu, lze ji zjistit měřením. Pro srovnání výsledku s teoretickými hodnotami z výpočtu byly použity dva přístupy. Pro zjištění řezné síly je zapotřebí naměřených hodnot výkonu a otáček z výrobního programu stroje, které se přepočítají na řeznou rychlost.

Byl měřen výkon na motoru vřetene a na zdroji. Tyto přístupy se liší při odečítání hodnot. Při měření na pohonu vřetene se přímo odečítá hodnota výkonu na vřetenu. Odečítání nastalo v době, kdy je nástroj v záběru a odebírá třísku. U měření na vstupu byl zkoumán celkový odebíraný výkon v reálném čase. Díky tomu je možné si vytvořit představu, jak se mění odebíraný výkon při různých operacích stroje. Měření bylo provedeno za pomocné signalizace obsluhy, z informativního důvodu, kvůli poloze nástroje. K měření byl využit klešťový wattmetr PK400 Metra Blansko.

Postup měření

Po bližším ohledání stroje a nalezení krytu hlavního rozvaděče, byl připojen wattmetr na vstupní napájení stroje (obr 3.4). Po provedení pracovního cyklu stroje byly naměřeny tyto odebírané hodnoty výkonu (tab. 3.1).

Při spuštění stroje byly zjištěny hodnoty $P_1 - P_5$. Přičemž SP430MC/2 odebírání při spuštění ze sítě P_1 . Po startu otáček se zvýšil výkon na hodnotu P_2 . Při rozjezdu posuvů opět vzrostl na P_3 . Soustružení nákrážku odebírání výkon P_4 . Rozdíl mezi hodnotami $P_4 - P_3$ určuje výkon potřebný k obrobení středícího nákrážku (P_5). Řezná síla podle naměřeného výkonu a otáček vřetene:

Tab. 3.1 Odebíraný třífázový výkon.

Měření výkonu na zdroji				
P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
[KW]	[KW]	[KW]	[KW]	[KW]
2,1	3,75	10,5	14,1	3,8

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 210 \cdot 452}{1000} = 298 \text{ m/min} \quad (3.5)$$

$$P_5 = F_c \cdot v_c \rightarrow F_c = \frac{P_5}{v_c} \quad (3.51)$$

- dosazením (3.5) do (3.51):

$$F_c = \frac{3,8 \cdot 10^3}{\frac{298}{60}} = 765 \text{ N}$$

kde: v_c řezná rychlost [m/min],
 F_c řezná síla [N],
 D obráběný průměr [mm],
 P_5 výkon [W],
 n otáčky [min^{-1}].

Měření výkonu na motoru udává přímý výkon na vřetenu (obr. 3.5). Byla provedena série měření, vždy při odebírání třísky (tab. 3.2). Pro výpočet použijí aritmetický průměr naměřených hodnot $P_v = 2,24 \text{ KW}$.

Tab. 3.2 Výkon na motoru.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.
P_v [KW]	2,2	2,8	1,8	2,3	2,1



Obr. 3.4 Měření výkonu na zdroji.

$$P_5 = F_c \cdot v_c \rightarrow F_c = \frac{P_{vřet}}{v_c} \quad (3.52)$$

$$F_c = \frac{2,24 \cdot 10^3}{\frac{298}{60}} = 451 \text{ N}$$



Obr. 3.5 Měření výkonu na vřetenu.

Hodnoty řezné síly při tomto způsobu měření se značně liší od teoretického výpočtu, nejsou zcela průkazné, z důvodu rychlosti průběhu soustružení. Obrobení nákržku probíhá během několika vteřin. Reakční doba přístroje na prudkou změnu měřeného výkonu, kdy se výkon nestihl ustálit, snižuje přesnost měření.

3.5 Vyhodnocení geometrické přesnosti

Byla provedena série měření na 30 zhotovených statorech řady 1LA o osově výšce AH132. Pomocí speciálního 3D měřicího centra, kde se vyhodnocuje geometrie výrobku, byla změřena přední a zadní strana statoru (PS a ZS), na průměru $\varnothing 210j7$.

Průměr se měří v ose X a Y, tyto rozměry mají své horní a dolní tolerance (tab. 3.4), které nesmí překročit. Hodnota X a Y se zprůměruje a i tento průměr podléhá toleranci. Dále se měří výška patek (PS a ZS). Důležité jsou ukazatele způsobilosti stroje koeficienty C_m a C_{mk} , které zkoumají jak se soustruh SP430MC/2 chová při zadaných parametrech ve výrobním procesu.

Výsledky měření (tab. 3.3), s ohledem na ukazatele způsobilosti, nejsou nijak příznivé. Podstatná část rozměrů nespĺňuje podmínky velikosti ukazatele. Výrobky ale nejsou neshodné díly a většina je provedena v požadované toleranci (tab. 3.5). Jednalo se o měření řady 1LA a toto provedení se obrábí na nepodepřeném trnu. Bez podepření koníkem je hodnota házivosti vyšší a rozměrová přesnost nižší. Celý provoz se nachází v testovacím režimu.

Tab. 3.3 Výkon na motoru.

PROTOKOL O MĚŘENÍ AH132									
Poř. čís.	$\varnothing 210 j7 -$ ZS			$\varnothing 210 j7 -$ PS			212 h10	Výška patek	
	Tolerance		25 -21	Tolerance		25 -21	-185 Tol. 0	-0,15 Tol. -0,35	
	X	Y	\varnothing	X	Y	\varnothing	X	ZS	PS
1.	10	7	8,5	22	25	23,5	211,95	-19	-24
2.	4	8	6,0	40	40	40,0	211,96	-24	-25
3.	10	18	14,0	26	-30	-2,0	211,97	-22	-24
4.	21	-12	4,5	10	-27	-8,5	211,96	-11	-24
5.	13	9	11,0	25	28	26,5	211,96	-24	-23
6.	-4	12	4,0	26	-10	8,0	211,97	-19	-21
7.	10	16	13,0	36	2	19,0	211,96	-24	-25
8.	28	-4	12,0	-6	-45	-25,5	211,96	-21	-27
9.	17	11	14,0	20	22	21,0	211,96	-21	-23
10.	-15	28	6,5	13	-19	-3,0	211,98	-26	-26
11.	0	17	8,5	9	6	7,5	211,98	-27	-22

12.	43	-19	12,0	4	20	12,0	211,98	-19	-27
13.	12	11	11,5	31	16	23,5	211,97	-22	-25
14.	19	12	15,5	-3	-25	-14,0	211,96	-21	-26
15.	-15	36	10,5	20	30	25,0	211,97	-22	-30
16.	17	6	11,5	-1	20	9,5	211,97	-22	-26
17.	19	18	18,5	31	50	40,5	211,96	-20	-23
18.	8	24	16,0	3	-2	0,5	211,97	-22	-26
19.	10	22	16,0	20	0	10,0	211,96	-22	-24
20.	5	25	15,0	33	-17	8,0	211,97	-22	-25
21.	18	22	20,0	8	-18	-5,0	211,98	-23	-23
22.	21	12	16,5	36	19	27,5	211,97	-24	-22
23.	12	24	18,0	22	38	30,0	211,96	-20	-22
24.	23	14	18,5	14	20	17,0	211,97	-21	-22
25.	17	18	17,5	52	52	52,0	211,98	-20	-26
26.	12	34	23,0	12	-5	3,5	211,98	-24	-25
27.	21	0	10,5	44	32	38,0	211,97	-20	-20
28.	38	18	28,0	30	-11	9,5	211,98	-17	-24
29.	25	22	23,5	43	35	39,0	211,98	-21	-25
30.	40	8	24,0	21	12	16,5	211,98	-17	-23

Tab. 3.4 Tolerance jednotlivých rozměrů.

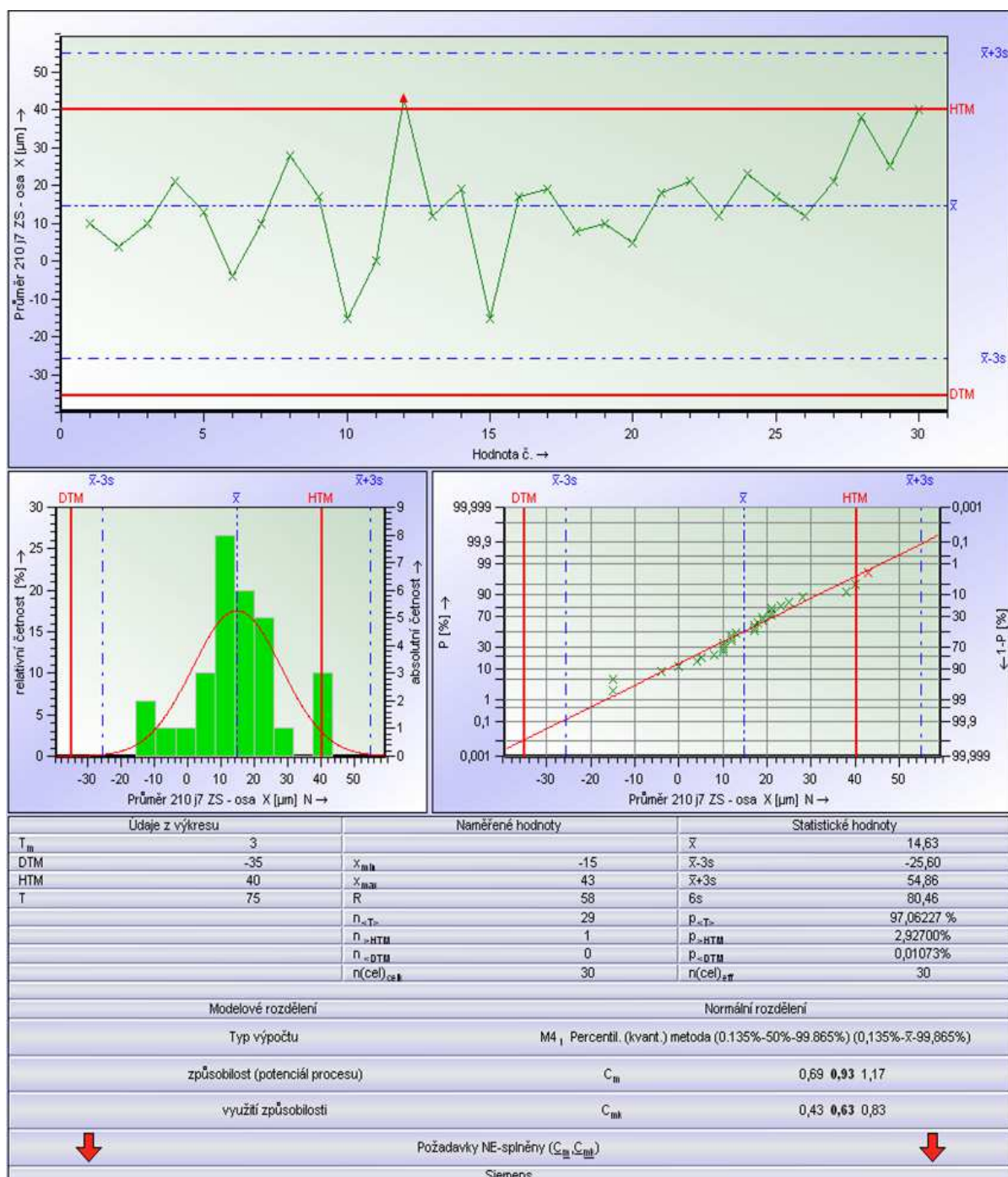
	Ø210 j7 - ZS			Ø210 j7 - PS			212h10	Výška patek	
	X	Y	Ø	X	Y	Ø	X	ZS	PS
Horní tolerance:	40	40	25	40	40	25	212	-15	-15
Dolní tolerance:	-35	-35	-21	-35	-35	-21	211,815	-35	-35
Šířka tolerance:	75	75	46	75	75	46	0,185	20	20
Střed tolerance:	2,5	2,5	2	2,5	2,5	2	211,908	-25	-25

Tab. 3.5 Počty neshodných dílů.

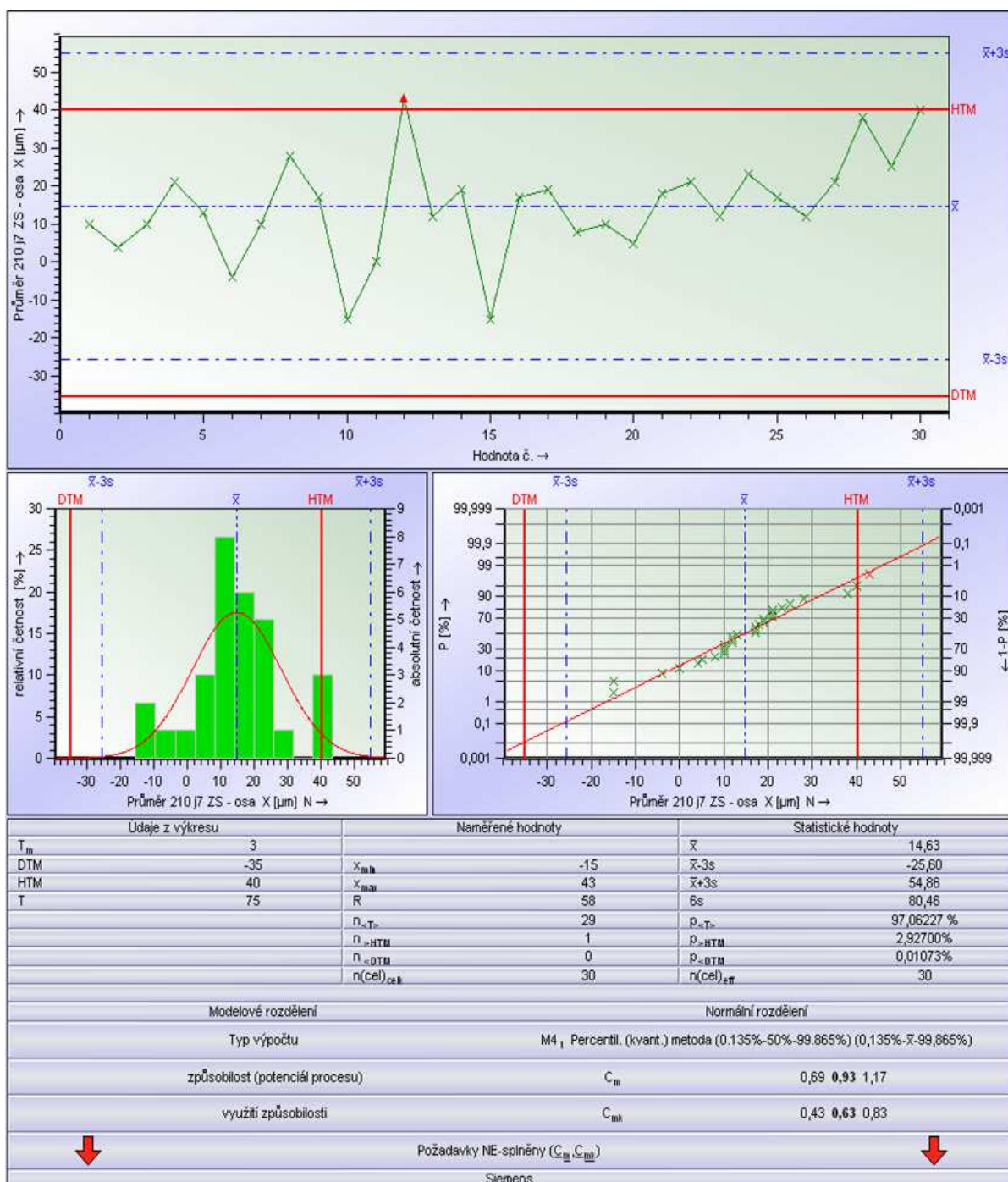
	Ø210 j7 - ZS			Ø210 j7 - PS			212h10	Výška patek	
	X	Y	Ø	X	Y	Ø	X	ZS	PS
Kusy mimo horní toler.:	1	0	1	3	2	8	0	1	0
Kusy mimo dolní toler.:	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Počet vadných kusů:	1	0	1	3	3	9	0	1	0
Procento vadných kusů:	3,3%	0,0%	3,3%	10,0%	10,0%	30,0%	0%	3,3%	0%
Předpokládané % vadných	2,94	1,5	3,47	10,33	14,98	30,87	0,01	1,89	0

Výstupní kontrolou výroby v testovacím režimu je protokol vyhodnocující průměry v jednotlivých osách. V tabulkách (tab. 3.6 až 3.13) jsou naměřené hodnoty zobrazené v grafických závislostech a k nim příslušné hodnoty koeficientů C_m a C_{mk} .

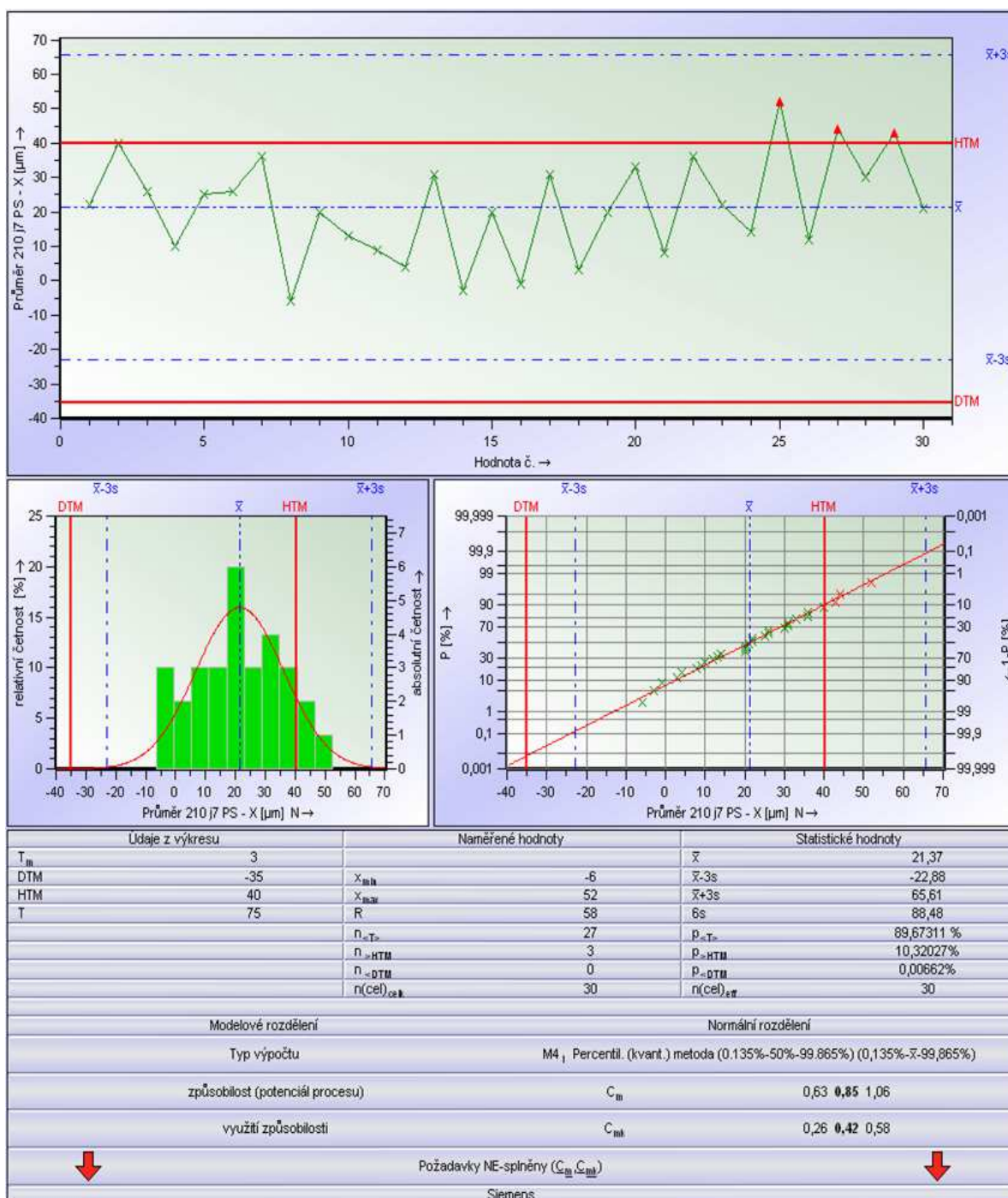
Tab. 3.6 Statistické vyhodnocení Ø 210j7 – ZS osa X.



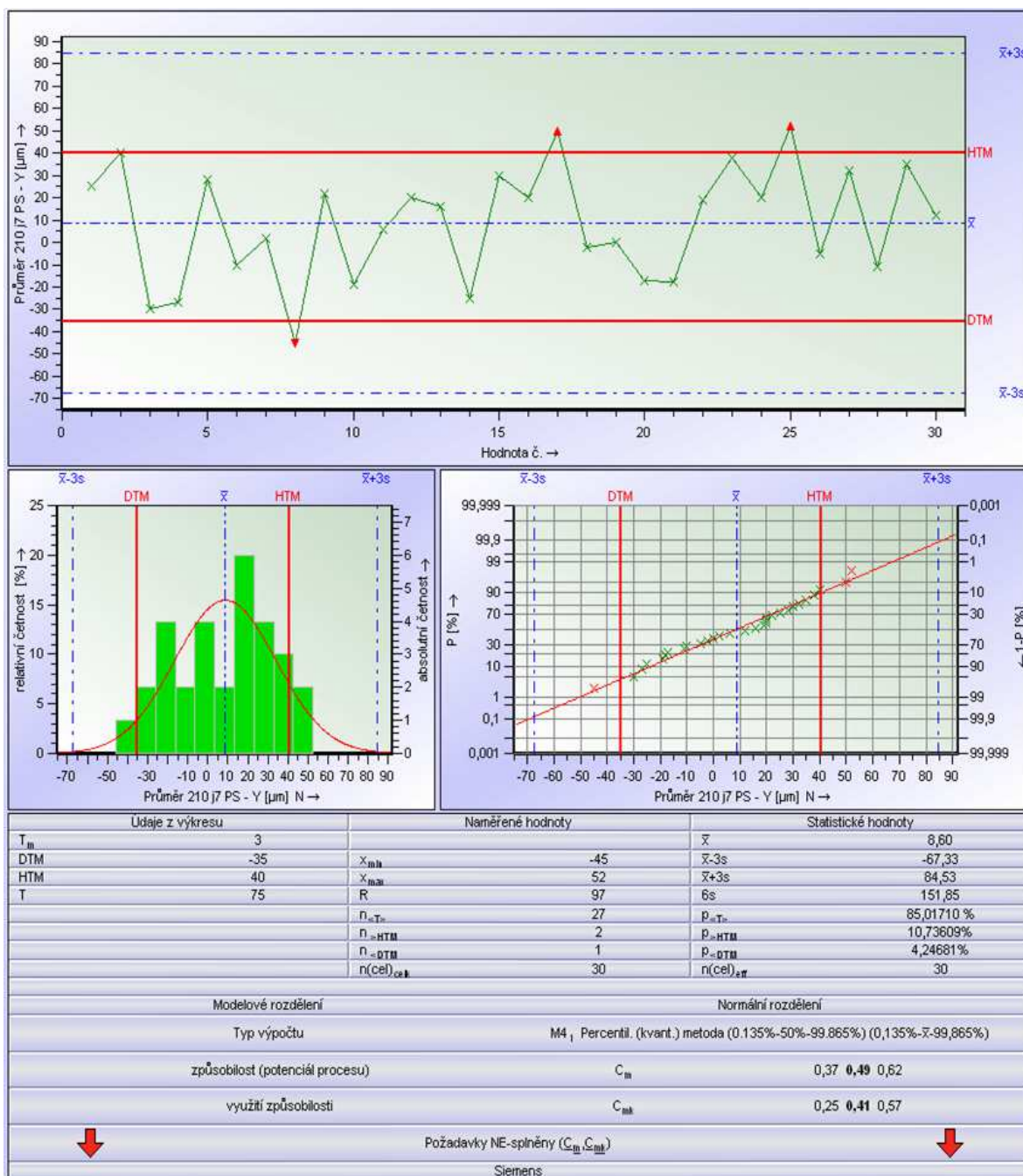
Tab. 3.7 Statistické vyhodnocení Ø 210j7 – ZS osa Y.



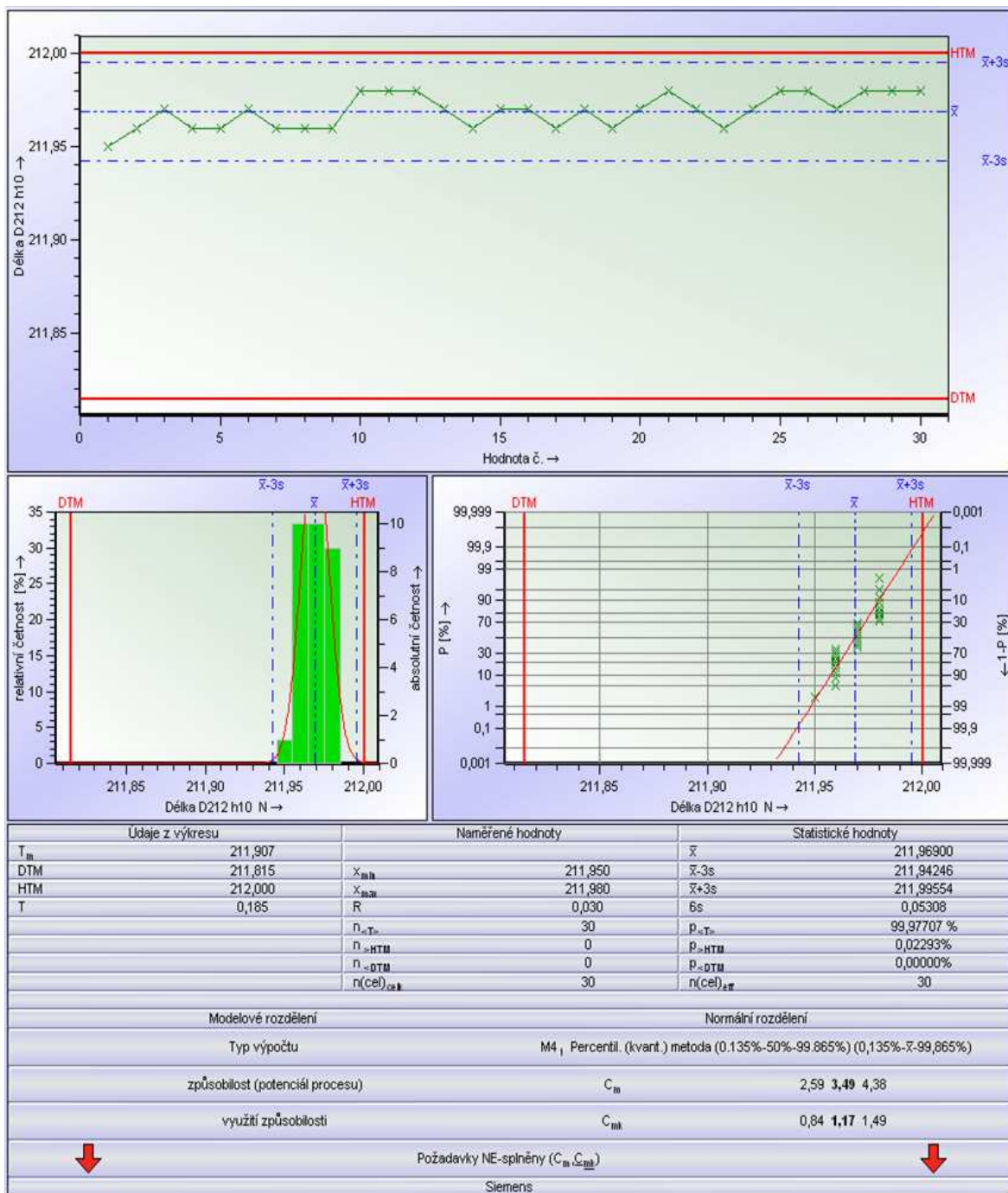
Tab. 3.8 Statistické vyhodnocení Ø 210j7 – PS osa X.



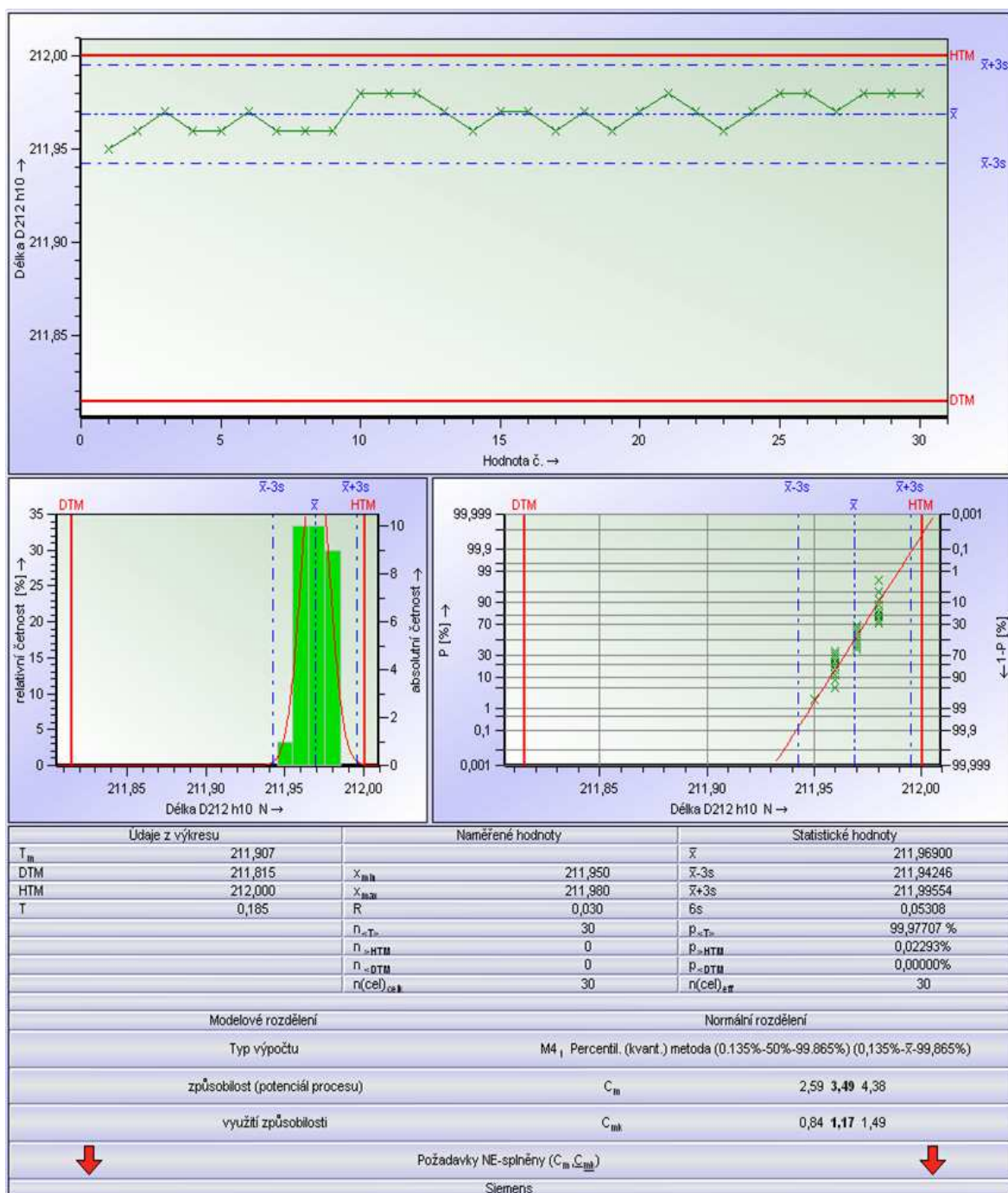
Tab. 3.9 Statistické vyhodnocení Ø 210j7 – PS osa Y.



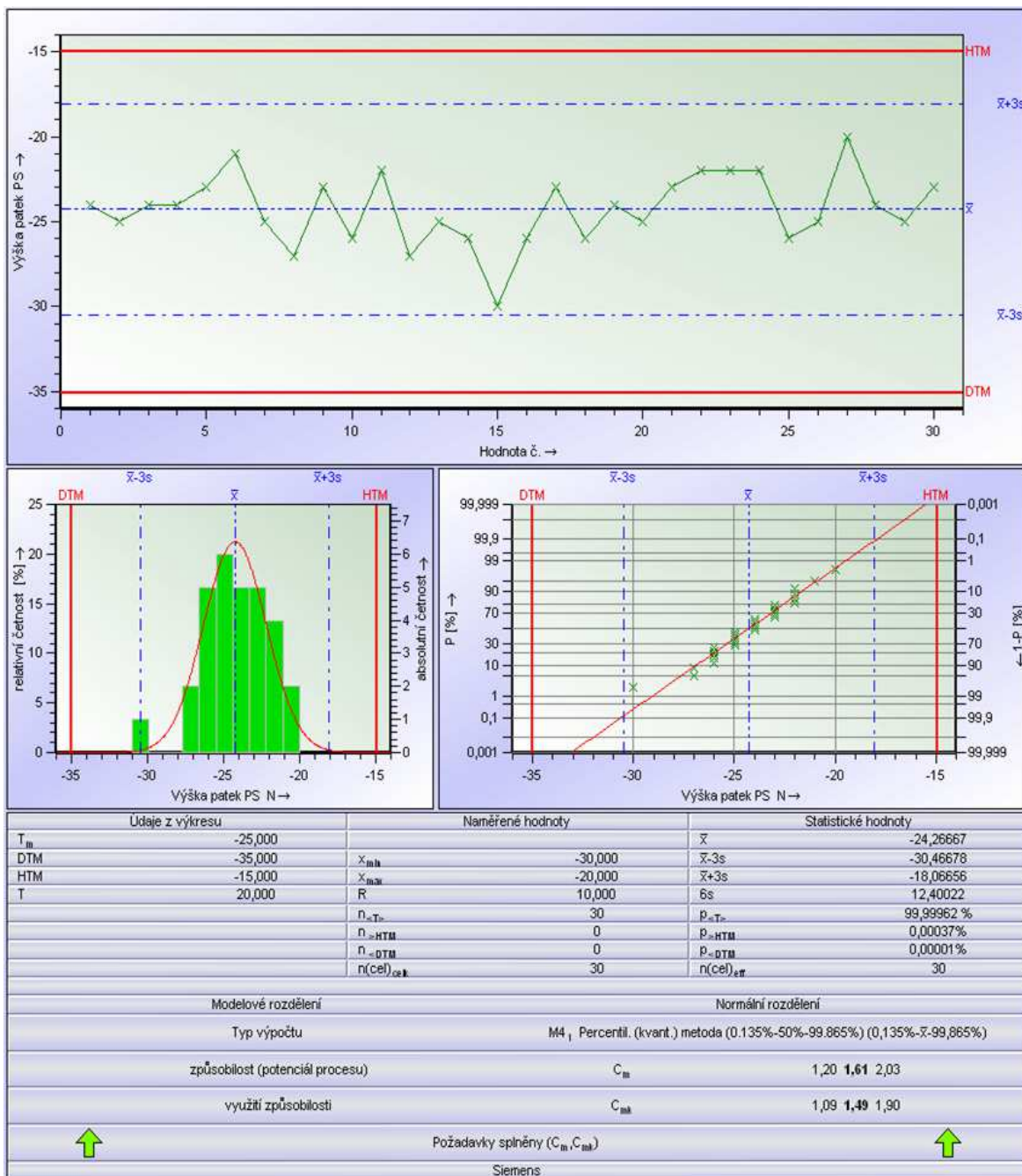
Tab. 3.10 Statistické vyhodnocení vzdálenosti nákrůžků 212h10.



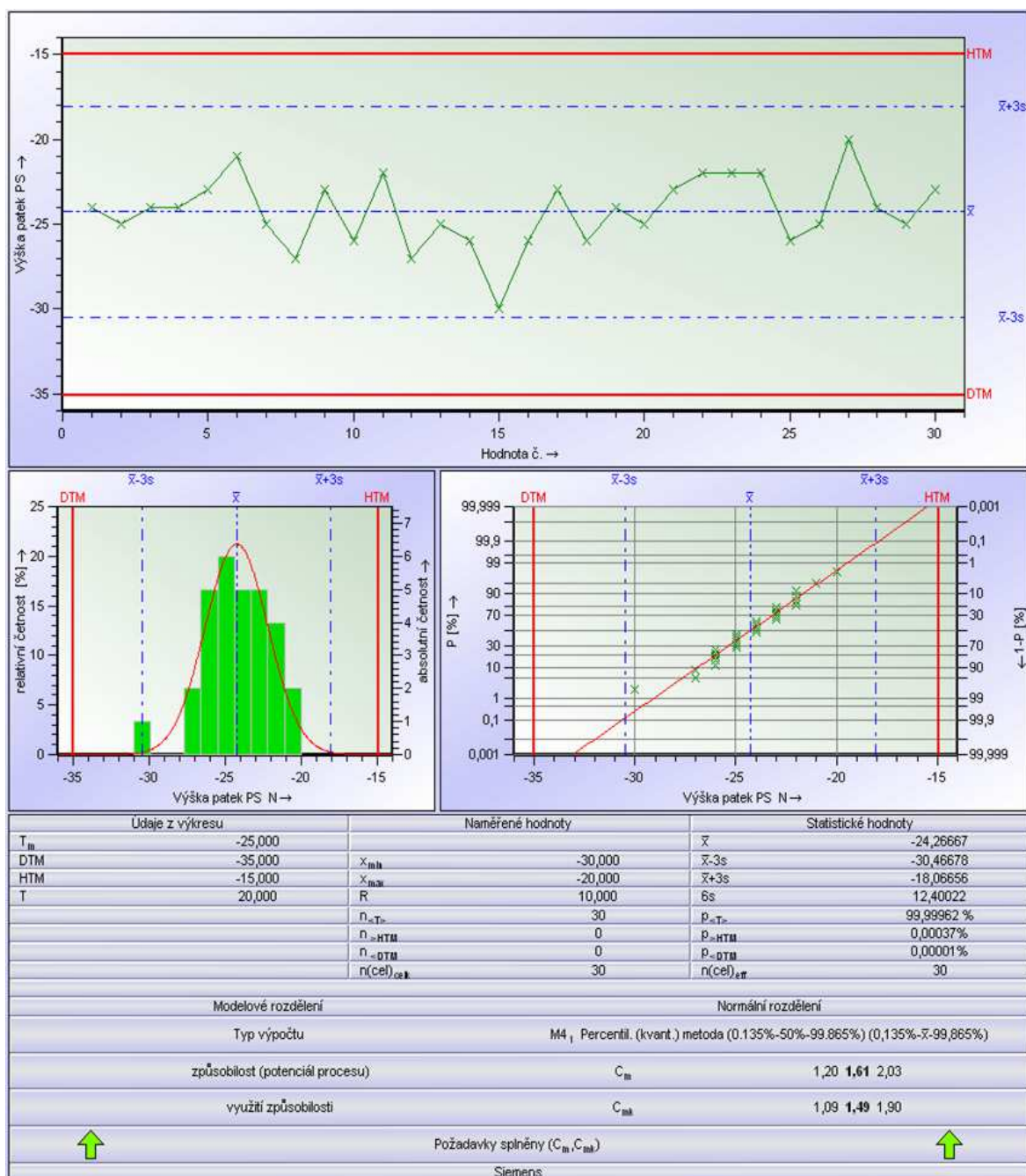
Tab. 3.11 Statistické vyhodnocení výšky patek ZS.



Tab. 3.12 Statistické vyhodnocení výšky patek PS.



Tab. 3.13 Statistické vyhodnocení osy ohybu.



4 TECHNOCKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při zpracování projektu nové výrobní haly a převedení výroby z Německa do Siemens Mohelnice se nepočítalo s přímou návratností jednotlivých strojů nebo zařízení. Celý projekt nové haly byl předem odhadnut na 150 mil. Kč. Tato částka se musí společnosti Siemens vrátit do 3 let od uvedení do provozu. Je to základní podmínka finanční politiky firmy.

V tabulce (tab. 4.1) lze vidět, o kolik se snížil výrobní čas na jeden kus výrobku na předmontáži. Celkové náklady na obrobění jednoho kuse se sníží.

Tab. 4.1 Srovnání výrobního času.

Časová náročnost operací na jednotlivých linkách			
Předmontážní operace	SP430MC/2	R5+FGH 32	Tailor
Ohřev [min]	1	1	1
Lisování [min]	0,33	0,33	0,33
Chladnutí [min]	2	2	2
Válečkování [min]	0,66	0,66	0,66
Obrobění nákrůžků [min]	0,7	0,42	0,25
Vrtání díry pro kolík [min]		0,42	0,42
Frézování patek [min]		0,75	0,25
Ofuk statoru [min]		0,25	0,25
$\Sigma t_{\text{výr}}$	4,69	5,83	5,16

Nejdůležitějším faktorem k vyhodnocení nákladů je počet pracovníků. U jednotlivých technologií byly zjištěny výrobní časy, ale ne počet výrobních dělníků. Na soustruhu SP430MC/2 se na jedno upnutí obrobí statorový svazek a to jedním výrobním dělníkem. Na jednoúčelovém stroji Tailor probíhá obrábění na jedno upnutí (obrobí se nákrůžek a patky), ale pro jeho realizaci je zapotřebí zaměstnat dva dělníky. Kombinace soustružení a frézování, probíhá na dvojí upnutí, což zvyšuje výrobní čas. Pro celkovou obsluhu této technologie je zapotřebí práce tří dělníků.

Přitom jednotlivé technologie produkují stejný počet výrobků za směnu tj. 200 kusů elektromotorů. Rozdílné jsou v investičních nákladech (tab. 4.2).

Tab. 4.2 Investiční náklady strojů bez DPH.

Investiční náklady	Tailor	R5+FGH 32	SP430MC/2
[mil. Kč]	12	2	6,8

Celkové roční náklady na mzdu dělníka u SP430MC/2:

$$N_{roč} = E_F \cdot s \cdot T_{tř}$$

$$N_{roč} = 252 \cdot 7,5 \cdot 350$$

$$N_{roč} = 661\,500 \text{ Kč/rok}$$

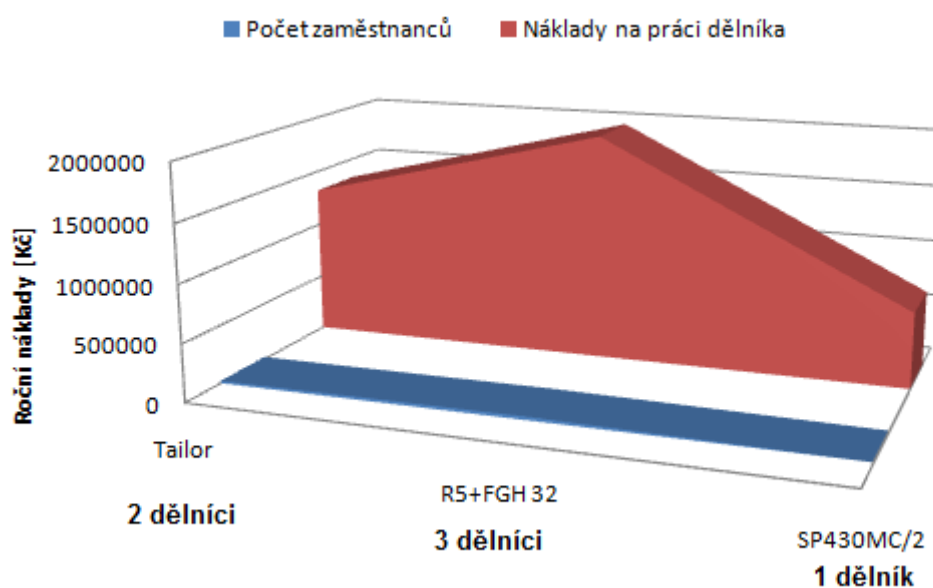
kde: $N_{roč}$ roční náklady na práci dělníka [Kč],
 E_F časový fond [den],
 $T_{tř}$ tarifní třída [Kč/],
 s směnový čas [hod].

Nově navržená technologie snižuje náklady (tab. 4.4), na práci dělníka. V tabulce Tab. 4.3 je uveden rozdíl ročních nákladů u uvedených technologií, přičemž nejvíce úspornou je SP430MC/2.

Tab. 4.3 Roční náklady na práci dělníka.

	Tailor	R5+FGH 32	SP430MC/2
Počet dělníků [-]	2	3	1
Roční náklady [Kč]	1323000	1984500	661500

Tab. 4.4 Přehled nákladů.



ZÁVĚR

Navržená technologie je v od května 2012 v testovacím provozu. Pro efektivnější chod obráběcího procesu soustružení středících nákrůžků byly stanoveny řezné podmínky. Velikost řezné rychlosti $v_c = 298$ m/min a strojní posuv $f = 0,132$ mm, jsou výpočtem ověřené hodnoty pro správnou integritu povrchu po třískovém obrábění. Trvanlivost břitu byla vypočtena při požadavku dodržení minimálních nákladů.

Experimentálním stanovením řezné síly při měření výkonu na zdroji a na motoru vřetene byly zjištěny rozdílné hodnoty řezné síly. Hodnoty řezných sil při těchto způsobech měření nejsou zcela průkazné, z důvodu rychlosti průběhu soustružení. Obrobení nákrůžku probíhá během několika vteřin. Reakční doba přístroje na prudkou změnu měřeného výkonu, kdy se výkon nestihl ustálit, snižuje přesnost měření.

Výstupní kontrolou vyhodnocované geometrické přesnosti obrobeného statoru jsou protokoly v Tab. 3.6 až 3.13. Na zadní straně obrobeného nákrůžku statoru byly zjištěny dva rozměry neslučující se s požadovanou tolerancí. Na přední straně se v ose X vyskytlo 10% neshodných rozměrů. V ose Y rovněž 10% a v celkovém průměru tolerancí 30%. Při měření nákrůžku ve dvou osách a zjištění překročení tolerance v jedné ose není zcela průkazné vyrobení neshodného dílu. Důležitá je informace o rozměru druhé osy, která může již překročenou toleranci vyrovnat. Vzdálenost nákrůžků se pohybuje u všech kusů v požadované toleranci. Pro frézování patek na osovou výšku se až na jeden rozměr pohybuje v požadované toleranci. Osa ohybu od dané působící silové soustavy při obrábění je rovněž v toleranci.

Nepříznivé hodnoty změřených rozměrů na přední a zadní straně nákrůžku jsou způsobeny nenastavenou korekcí nástroje a nestálého provozu na výrobní lince.

Z ekonomického hlediska firma ušetřila oproti starším technologiím jednoho až dva zaměstnance. V tomto případě vzniká ve výrobě tzv. výrobní paradox. Dělník vyrábí stále stejný počet kusů a díky SP430MC/2 má méně práce a o to je spokojenější. Na druhou stranu firma vyrábí požadovaný počet elektromotorů s menšími náklady na mzdy zaměstnanců.

Všechny cíle diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Povlak VBD. *Carbidemart* [online]. 2012-05-21 [vid. 21. května 2012]. Dostupné z: <http://www.carbidemart.com/ybg202cvd.html>.
2. SANDVIK COROMANT; [PŘELOŽIL MIROSLAV KUDELA]. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Praha: Scientia, c1997, 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
3. Soustružení hliníku. *Carbidemart* [online]. 2012-05-21 [vid. 21. května 2012]. Dostupné z: <http://www.carbidemart.com/dcyd10pi3.html>.
4. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
5. JANÁČ, Alexander, Bohumil BÁTORA a Ivan BARÁNEK. *Technológia obrábania*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2004. ISBN 80-227-2031-3.
6. Měřicí sonda. *Renishaw* [online]. 2012-05-12 [vid. 12. května 2012]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/media/img/gen/b09b85b83cdc4cd2ba41f27b1e8d996c.jpg>.
7. Katalog. *Kennametal* [online]. 2012-03-12 [vid. 21. května 2012]. Dostupné z: http://www.kennametal.com/images/repositories/PDFs/A-10-02469_B1-B89_indexmill_Innovations2012_metric.pdf.
8. KOVOSVIT MAS A.S. *Návod k používání číslicově řízeného soustruhu SP430*. Sezimovo Ústí, 2010.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
AH	[-]	Osová výška
LA	[-]	Starý typ řady elektromotorů
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
PS	[-]	Přední strana (elektromotoru)
ZS	[-]	Zadní strana (elektromotoru)

Veličina	Jednotka	Popis
C_f	[-]	Konstanta z empirického vztahu pro posuv
r_ϵ	[mm]	Rádus špičky nástroje
x_ϵ	[-]	Exponent z empirického vztahu pro posuv
x_a	[-]	Exponent z empirického vztahu pro posuv
a_p	[mm]	Šířka záběru
R_A	[μ m]	Střední aritmetická úchylka profilu
R_Z	[μ m]	Výška nerovnosti profilu
P_m	[W]	Výkon
n	[min ⁻¹]	Maximální otáčky stroje
D	[mm]	Obráběný průměr
v_c	[m/min]	Řezná rychlost
f	[mm]	Strojní posuv
F_C	[N]	Řezná síla
F_f	[N]	Síla od posuvu
F_P	[N]	Pasivní síla
F_E	[N]	Celková řezná síla
C_{Ff}	[-]	Konstanta pro výpočet řezné síly při soustružení
C_{Fp}	[-]	Konstanta pro výpočet pasivní síly při soustružení
C_{FC}	[-]	Konstanta pro výpočet řezné síly při soustružení
x_{Fc}	[-]	Exponent z empirického vztahu pro řeznou sílu
y_{Fc}	[-]	Exponent z empirického vztahu pro řeznou sílu

Veličina	Jednotka	Popis
x_{Fp}	[-]	Exponent z empirického vztahu pro pasivní sílu
y_{Fp}	[-]	Exponent z empirického vztahu pro pasivní sílu
x_{Ff}	[-]	Exponent z empirického vztahu pro sílu posuvu
y_{Ff}	[-]	Exponent z empirického vztahu pro sílu posuvu
t_c	[min]	Celkový čas na obrobení jednoho dílu
A	[Kč/ks]	Přímé náklady na obrobení jednoho kusu
t_{AS}	[min]	Strojní čas
E	[min]	Náklady na hodinu práce stroje
B	[Kč/břit]	Náklady na použití jednoho břitu
Q	[ks]	Počet dílců obroběných mezi výměnami nástroje
L	[mm]	Celková délka kdy je zapnut strojní posuv
p	[-]	Počet záběrů
D	[mm]	Obráběný průměr
C_v	[-]	Konstanta z Taylorova vztahu
l	[mm]	Délka obráběné plochy
T	[min]	Trvanlivost
m	[-]	Exponent z Taylorova vztahu
C_o	[-]	Konstanta
λ	[-]	Exponent zohledňující příjezdy a odjezdy nástroje
t_{A11}	[min]	Vedlejší časy
t_{AX}	[min]	Čas na výměnu a seřízení nástroje
C_1	[-]	Konstanta pro výpočet řezných podmínek
C_2	[-]	Konstanta pro výpočet řezných podmínek
$N_{roč}$	[Kč]	Roční náklady na práci dělníka
E_F	[den]	Časový fond
$T_{tř}$	[Kč/hod]	Tarifní třída
s	[hod]	Směnový čas

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha1 Standardní nabídka Kovosvit MAS a.s.

