



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ HŘÍDELE MOTORU PRO ELEKTROMOBIL

MACHINING OF ENGINE SHAFT FOR AN ELECTRIC CAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Janáč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Gregor

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jakub Janáč
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Lukáš Gregor
Akademický rok:	2020/21

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:

Obrábění hřídele motoru pro elektromobil

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma řeší výrobní postup pro součást z elektromobilu, kterou autor ve své soukromé praxi řešil v konstrukčně–technologické kanceláři firmy.

Cíle bakalářské práce:

- Postavení elektromobilů v současné dopravní situaci
- Charakteristika pohonu vozidla
- Rozbor vytipované součásti "hřídel"
- Přehled problematiky obrábění
- Návrh výrobního procesu
- Zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

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

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

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

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

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

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výrobou rotační součásti – hřídele rotoru elektromobilu. Na základě rešerše o současných elektromobilech a studie technologie obrábění je posouzena funkce a technologičnost součásti. Dále je předložen návrh výrobního postupu pro sériovou výrobu hřídele, který je v závěru práce ekonomicky zhodnocen.

Klíčová slova

elektromobil, elektromotor, hřídel, obrábění, výrobní postup

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with production of a rotational component – rotor shaft for an electric car. Based on a research of present electric cars and a study of a machining technology, the function and technological structure of the component is assessed. The proposal for manufacturing process for serial production is submitted next. The process is economically evaluated at the end of the thesis.

Key words

electric car, electric motor, shaft, machining, manufacturing process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANÁČ, Jakub. *Obrábění hřídele motoru pro elektromobil*. Brno 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 46 s. 6 příloh. Vedoucí práce Lukáš Gregor.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění hřídele motoru pro elektromobil** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 20.5.2021

Jakub Janáč

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Lukáši Gregorovi za cenné rady a připomínky při vypracování mé bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Milanu Kalivodovi za jeho konzultace k tématu mé práce. Velké díky patří celé mé rodině, přátelům a přítelkyni za trpělivost a podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 ELEKTROMOBILY V SOUČASNÉ DOPRAVĚ.....	9
1.1 Vývoj prodeje elektromobilů	9
1.2 Elektromobily v České republice	9
1.3 Klady a zápory	9
1.4 Ekologie a emise	11
1.5 Srovnání cen.....	11
1.6 Charakteristika pohonu elektromobilu.....	12
1.7 Baterie	13
1.8 Elektromotory	14
2 PŘEHLED TECHNOLOGIÍ OBRÁBĚNÍ.....	16
2.1 Soustružení.....	16
2.2 Frézování.....	18
2.3 Vrtání.....	19
2.4 Broušení	20
2.5 Další technologie.....	22
3 ROZBOR SOUČÁSTI.....	23
3.1 Funkce součásti	23
3.2 Technologičnost součásti	23
3.3 Materiál součásti	24
4 SPOTŘEBA MATERIÁLU	25
4.1 Volba polotovaru.....	25
4.2 Výpočet spotřeby materiálu	26
5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP	28
5.1 Seznam strojů	28
5.2 Seznam nástrojů	28
5.3 Seznam měřidel.....	30
5.4 Výrobní postup.....	30
5.5 Výrobní návodky.....	33
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	36

6.1	Výrobní časy	36
6.2	Spotřeba elektrické energie	36
6.3	Spotřeba nástrojů.....	37
6.4	Počet pracovníků.....	38
6.5	Náklady na výrobu série.....	39
	ZÁVĚR	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	44
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	46
	SEZNAM TABULEK	46
	SEZNAM PŘÍLOH.....	46

ÚVOD

V současné době nabývají elektromobily v dopravní situaci stále významnějšího postavení. Mnozí lidé vidí v elektrickém či hybridním pohonu ekologičtější variantu osobní dopravy, jiní ocení odlišné jízdní vlastnosti elektromobilů. Dále pak může zaujmout například takřka nulová hlučnost či nové neotřelé designy vozidel.

Trend vzrůstající popularity elektricky poháněných automobilů je zapříčiněn nejen podporou ze strany států či Evropské unie, ale i jejich výhodami oproti klasickým vozidlům se spalovacími motory. Na rostoucí poptávku musí firmy v automobilovém průmyslu reagovat, aby je konkurence nepředstihla. Pokud chtějí být firmy na poli elektromobility úspěšné, musí všechny komponenty jejich elektromobilu perfektně fungovat. K tomu je nutné pro každou součást vytvořit ideální konstrukci a navrhnout vhodný technologický postup.

V této práci se zabývám právě technologickou stránkou přípravy výroby pro součást hřídel rotoru z motoru elektromobilu. Tato hřídel má za úkol přenášet otáčky a točivý moment z elektromotoru dále do pohybového ústrojí vozidla. Součást je tedy při svém provozu neustále velmi namáhána a výrobní proces musí zajistit takové vlastnosti, aby hřídel bez problémů svou funkci plnila.

V první části práce se zaměřuje na současné elektromobily – jejich postavení v dopravě, konstrukci a pohon. Dále je představena obráběná součást. V další části je uveden přehled metod obrábění, které budou při výrobě použity. Následně jsou provedeny výpočty spotřeby materiálu. Na základě znalostí obrábění je stanoven technologický postup včetně volby strojů a nástrojů a uvedení výrobních návodů. Poslední část se zabývá ekonomickým zhodnocením výroby.

1 ELEKTROMOBILY V SOUČASNÉ DOPRAVĚ

Vozidla s elektricky poháněným motorem, dnes nazývané elektromobily, spatřila světlo světa již v 19. století. Na počátku 20. století pak byla v USA dokonce populárnější než automobily se spalovacími motory. Postupné snižování cen ropy a zlepšování konstrukce i výroby benzínových automobilů však způsobily úpadek elektromobility [1].

Nové vlně zájmu se začal elektrický pohon automobilů těšit až v tomto tisíciletí. Elektromobilovou revolucí, jak bývá rozmach elektromobilů nazýván, započala americká automobilka Tesla. Tu vzápětí začali následovat mnozí lídři automobilového průmyslu, jako například Volkswagen, BMW, Nissan, Toyota nebo Hyundai. Přestože zpočátku měly elektromobily mnohé nedostatky, v současnosti jsou problémy postupně řešeny. Dojezd 250 km na jedno nabití či zrychlení z 0 na 100 km·h⁻¹ během několika sekund jsou tak běžné i u levnějších vozů.

1.1 Vývoj prodeje elektromobilů

Výraznější množství moderních elektromobilů, mimo prototypy a zkušební vozy, se na silnicích objevilo až v roce 2010. Celosvětově se tehdy jednalo o 20 000 vozů [2]. V následujících letech však začal objem prodaných vozidel exponenciálně růst. Kromě bateriově elektrických vozů (BEV) začaly být dostupné i plug-in hybridy (PHEV). Srovnání prodaných vozů ve světě ukazuje tabulka 1.

Tab. 1 Prodej elektromobilů v milionech ks – podle [2].

	Celosvětově	Čína	Evropa	USA	Ostatní
2015	1,24	0,3	0,38	0,4	0,16
2019	7,17	3,35	1,75	1,45	0,62

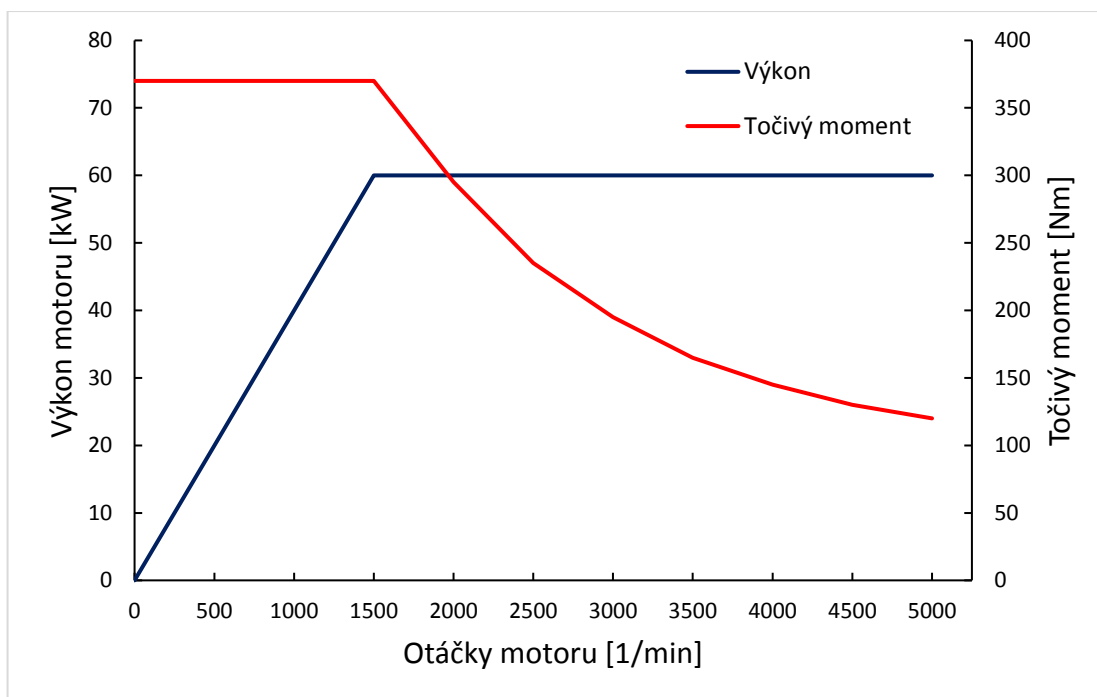
1.2 Elektromobily v České republice

V České republice byl v roce 2015 schválen *Národní akční plán čisté mobility*, který má za cíl podpořit rozvoj alternativních paliv v dopravě [3]. Ten sice pomáhá ke zvýšení počtu vozidel s alternativním pohonem, ale přesto bylo k 30. 6. 2020 v ČR registrováno pouze asi 7 500 elektromobilů. Nicméně podle *Centra dopravního výzkumu* bylo za celý rok 2020 registrováno 5 604 BEV a PHEV osobních automobilů, což je oproti předchozímu roku s 1 226 vozy nárůst o více než 300 %. I přesto se elektromobily na počtu nově registrovaných vozů podílí jen 2,2 % [4]. Ve srovnání s průměrem Evropské unie (7 %) tak patří Česká republika k nejhorším.

1.3 Klady a zápory

Pokud hovoříme o vlastnostech elektromobilů, jen těžko se dá vyhnout jejich srovnání s vozidly se spalovacími motory. Oproti nim skýtají elektromobily několik výhod:

Elektromotor má pro provoz velmi výhodnou trakční charakteristiku; při zrychlování poskytuje maximální točivý moment již od nulové rychlosti a maximálního výkonu nabývá při nízkých otáčkách. Výkon následně klesá jen pozvolna (viz obr. 1) [5]. Díky tomu odpadá nutnost použití vícešupňové převodovky. Dále elektromotor disponuje účinností přes 90 % (oproti spalovacím motorům s 15 až 20 %) [6]. Zajímavou vlastností elektrického pohonu u automobilů je pak rekuperace, tedy možnost dobíjení baterií během brzdění. Vzhledem k jednodušší konstrukci a menšímu počtu mechanických součástí bývá údržba elektromobilu zpravidla levnější a není tak náročná [5]. V neposlední řadě je provoz elektricky poháněného vozidla velmi tichý.



Obr. 1 Trakční charakteristika elektromotoru – podle [7].

Problém nastává v případě servisu. Ten musí být prováděn mechaniky s dostatečnou kvalifikací a v servisech, které disponují vhodným vybavením. Další komplikací jsou požáry vozidel. I po uhašení totiž probíhají v bateriích chemické procesy, které mohou způsobit další vzplanutí elektromobilu.

Největším nedostatkem bateriově elektrických vozů je zdroj energie. V současnosti používané lithium-iontové akumulátory jako zdroj energie stále zaostávají za benzínem či naftou. Pro srovnání benzín poskytuje 9000 Wh/kg, zatímco baterie používané v elektromobilech Tesla dosahují jen 254 Wh/kg [6].

S tím souvisí nutnost baterie nabíjet. V případě připojení elektromobilu do sítě běžnou zásuvkou může dobíjení trvat i několik hodin, při použití rychlonabíjecí stanice se doba zkrátí zhruba na 30 minut. To je ovšem stále několikanásobně víc, než kolik času zabere tankování na čerpací stanici. V České republice zatím také neexistuje dostatečná síť nabíjecích stanic (v současnosti provozované dobíjecí a rychlodobíjecí stanice jsou znázorněny na obr. 2); dá se ovšem předpokládat, že se vzrůstající poptávkou bude stanic přibývat. Existují také obavy, zda je přenosová síť na zátěž v podobě elektromobilů připravena. Hrozí totiž, že při připojení většího množství elektromobilů z jednoho místa (např. na sídlištích), dojde ke kolapsu sítě. Zajímavou variantu však nabízejí sami

poskytovatelé elektřiny: podle některých by dobíjení vozů naopak mohlo pomoci stabilizovat síť v noci, kdy je energie přebytek [5].



Obr. 2 Dobíjecí stanice v ČR [9].

1.4 Ekologie a emise

Prvním problémem elektromobilů, co se týká ekologie, je, že k výrobě akumulátorů se používají drahé kovy, jejichž těžbou trpí životní prostředí. Řešením je recyklace těchto materiálů, která se už začíná v elektromobilovém průmyslu uplatňovat [9].

Další otázka zní, zda na elektrický pohon připadá méně emisí CO_2 než na ten spalovací. Dle závěrů *Evropské federace pro dopravu a životní prostředí* z roku 2020 vyprodukuje elektromobil v Evropské unii za svůj život (tj. nejen během provozu, ale i při výrobě a následné likvidaci) méně emisí CO_2 než benzínový automobil. A to o 22 % méně při užívání v Polsku, které má největší podíl fosilních paliv při výrobě elektřiny v EU. V případě dobíjení vozidla ve Švédsku, kde je naopak produkce elektrické energie založena na obnovitelných zdrojích, jsou pak emise nižší až o 80 % [10]. Faktem také zůstává, že v uhelných elektrárnách lze škodlivé látky filtrovat lépe, než to dokážou filtry ve výfucích automobilů. Elektrárny navíc koncentrují emise do jednoho místa, tudíž elektromobily nenapomáhají tvoření smogu ve městech [6].

1.5 Srovnání cen

Finance jsou pro většinu lidí jedním z klíčových faktorů při koupi nového vozu. V současné době cena elektromobilů výrazně převyšuje cenu běžných automobilů. Právě z tohoto důvodu mnoho lidí o koupi elektricky poháněného vozu ani neuvažuje [5]. Při srovnání spotřeby a ceny fosilních paliv s cenou elektřiny (viz tab. 2), je vidět, že je

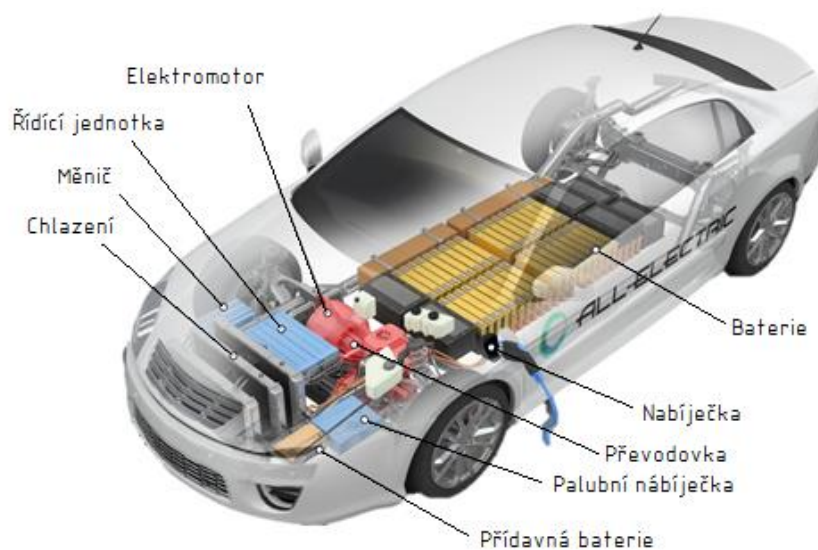
potřeba najet více než 300 000 km, aby byla koupě elektromobilu finančně rentabilní (do výpočtu však nejsou zahrnuty úspory vzniklé levnější údržbou vozu) [11].

Tab. 2 Srovnání spotřeby a cen elektromobilu a běžného automobilu [11].

	Elektromobil	Běžný automobil
Spotřeba na 100 km	15 kWh	7 l
Cena/jednotka	4,54 Kč/kWh	30 Kč/l
Cena/100 km	68 Kč	210 Kč
Průměrná cena vozu	800 000 Kč	300 000 Kč

1.6 Charakteristika pohonu elektromobilu

Jak již bylo zmíněno výše, elektromobily disponují oproti vozům se spalovacím motorem značně jednodušší konstrukcí. Hnací ústrojí vozidla se dělí na pohon a zdroj energie, tedy baterie. Pohon zahrnuje kromě elektromotoru ještě řídicí jednotku, měnič a převodovku (viz obr. 3) [7].



Obr. 3 Hnací ústrojí elektromobilu – podle [12].

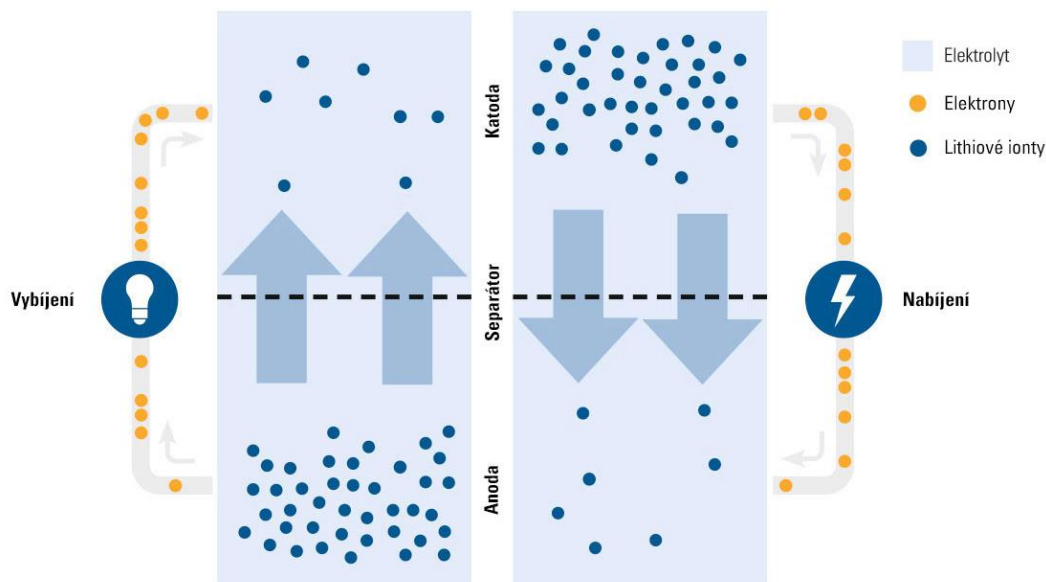
Řidič ovládá výkon vozidla pomocí pedálů. V závislosti na sešlápnutí plynového pedálu posílá řídicí jednotka signál do měniče. Zde je stejnosměrný proud, který poskytují baterie, měněn na střídavý a je upravována jeho frekvence. Při brzdění či jízdě z kopce se uplatní druhá funkce měniče: kinetická energie, která se v motoru mění na energii elektrickou, se měničem dostává do baterií, které se tak dobíjí. Dále pak elektromotor na principu elektromagnetické indukce vytváří mechanický pohyb, který je hřídelí veden dál do převodovky. Díky trakční charakteristice elektromotoru může být vícestupňová převodovka nahrazena jednostupňovou. Přítomností pevné převodovky odpadá nutnost použití spojky, čímž se konstrukce vozu zjednodušuje [7].

Uspořádání hnacího ústrojí u elektromobilů je poměrně flexibilní. Kromě klasického uspořádání, kdy se motor nachází v přední části vozu a pohání přední kola, může být motor i vzadu s pohonem zadních kol. Existuje i kombinace obou výše uvedených uspořádání. Hlavní motor je potom vzadu a druhý, pomocný, se zhruba polovičním výkonem, pohání přední kola [7]. Objevuje se i poněkud netypické umístění motorů přímo do nábojů jednotlivých kol, čímž se zvětšuje prostor uvnitř vozu. Tyto elektromotory mají inverzní konstrukci; stator je upevněn na hřídeli a rotor je umístěn z vnější strany, je tedy přímo součástí kola. Na druhou stranu, nehledě na složitější konstrukci motoru, se vlivem zvýšené neodpružené hmotnosti zhoršuje ovladatelnost vozidla [6].

1.7 Baterie

Baterie, sloužící jako zdroj energie, jsou nejdražší a taky nejhmotnější částí elektromobilu. Skládají se z několika článků, které nejčastěji bývají uloženy v podvozku vozidla. Toto umístění umožňuje snadný přístup k bateriím v případě jejich demontáže a snižuje těžiště vozu, čímž zlepšuje jízdní vlastnosti [6].

Nejpoužívanějším typem baterií jsou lithium-iontové baterie (zkráceně Li-ion baterie). Ty pracují na principu přesunu iontů lithia z anody na katodu, v případě nabíjení potom opačným směrem (viz obr. 4). Ve prospěch tohoto typu baterií hovoří především vysoká hustota energie (až 160 Wh/kg), vysoké napětí, nízká ekologická stopa, malé samovybíjení a dobrá účinnost dobíjení [5]. Baterie vydrží 1000–3000 nabíjecích cyklů (v závislosti na předchozím vybíjení); životnost se však může snížit při nízkých (pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) a vysokých teplotách (nad $40\text{ }^{\circ}\text{C}$) či při zatížení příliš vysokými proudy [13].



Obr. 4 Schéma li-ion baterie [14].

Z tohoto důvodu jsou baterie vybaveny systémem BMS (*Battery management system*), který má za úkol kontrolovat napětí, proud a teplotu, čímž chrání baterie před přetížením. Vzhledem k mírně se odlišujícím vlastnostem jednotlivých článků baterie dojde časem ke značně nerovnoměrnému nabití článků. BMS pak vyvažuje toto rozdílné napětí

v člancích [6]. V případě absence tohoto systému by došlo k trvalému poškození baterií nebo dokonce k jejich zničení.

1.8 Elektromotory

Pohon elektromobilu vychází z principu přeměny elektrické energie na energii kinetickou. Ta se uskutečňuje v elektromotorech pomocí silových účinků magnetického pole. Elektromotory jsou složeny ze dvou částí:

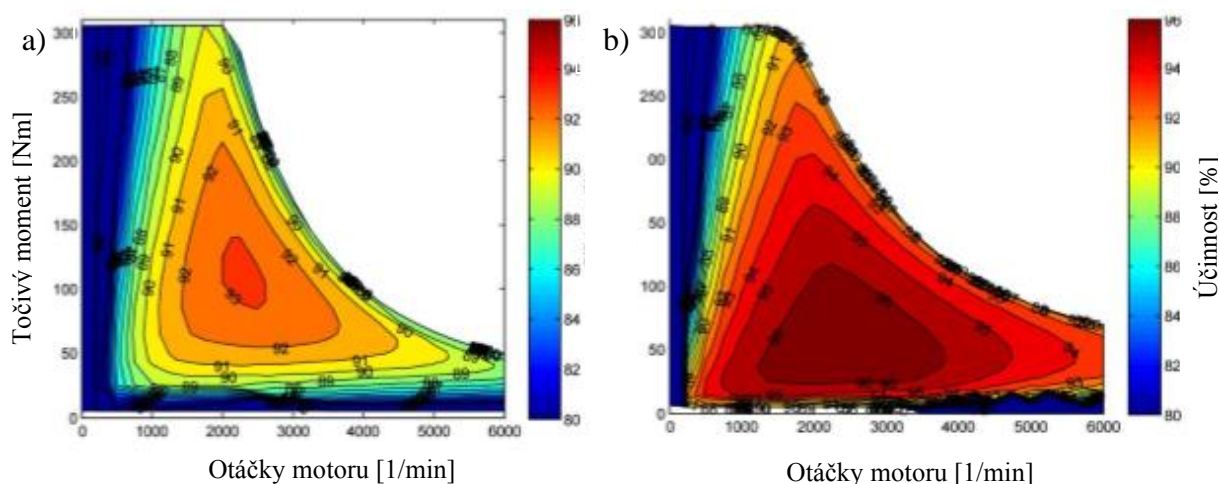
- stator, což je pevná, obvykle vnější část, na kterou je upevněno vinutí,
- rotor, který je otočnou částí nasazenou na hřídeli, s permanentními magnety nebo nalisovaným vinutím.

Synchronní motor

V rotoru tohoto typu motoru se nejčastěji využívají permanentní magnety (odtud z anglického *Permanent Magnet Synchronous Motor* pochází zkratka PMSM). Tyto magnety bývají obvykle vyrobeny ze slitiny neodymu, železa a bóru, přičemž mohou být na povrchu nebo uvnitř rotoru.

U PMSM se do statoru přivádí střídavý třífázový proud, čímž se utvoří otáčivé magnetické pole. Permanentní magnety kolem rotoru naopak vyvolávají magnetické pole konstantní. Obě pole spolu interagují, čímž roztáčí rotor. Frekvence obou polí je stejná, proto se motor nazývá *synchronní* [15].

PMSM pracuje oproti asynchronnímu motoru s vyšší účinností (viz obr. 5), avšak při vyšších teplotách dochází k demagnetizaci permanentních magnetů. Podstatnou nevýhodou pak je vysoká cena vzácných kovů, ze kterých jsou magnety vyrobeny [6].



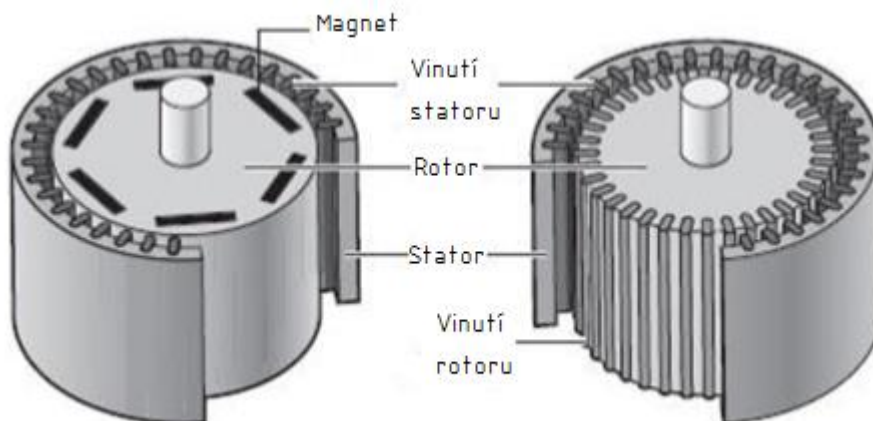
Obr. 5 Mapa účinnosti elektromotoru [6]: a) IM, b) PMSM.

Asynchronní motor

Asynchronní motor (v anglické literatuře často *Induction Motor*, zkratka IM) má klecovou kotvu vyrobenou nejčastěji z mědi. Konstrukce obou typů elektromotorů je srovnána na obrázku 6.

I funkce IM vychází z principu magnetické indukce: Střídavý třífázový proud přiváděný do statoru vyvolává otáčivé magnetické pole, které indukuje v kotvě napětí. Kotvou tedy protéká proud, který vytváří vlastní magnetické pole [15].

Vzájemným působením obou polí se rotor roztáčí. Aby se v rotoru mohlo indukovat napětí, je nutná rozdílná frekvence (tím pádem i nenulový skluz) statorového (f_s) a rotorového (f_r) magnetického pole – odtud název *asynchronní motor*. Pokud se IM nachází v režimu motoru musí platit $f_s > f_r$. Při rekuperaci pracuje IM v režimu generátoru a platí $f_s < f_r$ [6].



Obr. 6 Srovnání konstrukce PMSM a IM – podle [6].

2 PŘEHLED TECHNOLOGIÍ OBRÁBĚNÍ

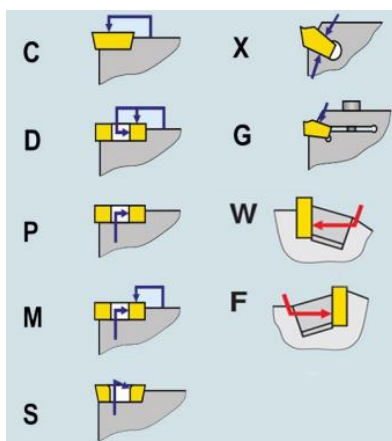
Pro stanovení vhodného technologického postupu výroby je nutná důkladná znalost využitelných výrobních technologií. Z tohoto důvodu je provedena studie problematiky obrábění. Výsledkem této studie je stručná charakteristika jednotlivých metod obrábění. Z rozboru součásti v přechozí kapitole vyplývá, že k výrobě budou potřeba technologie soustružení, frézování, vrtání a broušení. V popisu těchto technologií, je kladen důraz především na problematiku přímo související s výrobou zadané součásti. Dále jsou zde uvedeny vztahy, pomocí kterých budou provedeny výpočty v dalších částech práce. Technologie, které nebude při výrobě potřeba, jsou jen naznačeny.

2.1 Soustružení

Nejpoužívanější obráběcí metodou je soustružení, která se používá pro zhotovení rotačních součástí. Hlavní pohyb je zde rotační, vykonávaný obrobkem, vedlejší pohyb je přímočarý a je vykonáván nástrojem [16].

K oddělování třísek se používají soustružnické nože, které mohou být:

- celistvé – těleso nože i jeho řezná část jsou ze stejného materiálu,
- s pájenými břitovými destičkami (dále BD) – na těleso nože je BD připájena tvrdou pájkou,
- s vyměnitelnými břitovými destičkami (dále VBD) – na těleso nože je upnuta VBD z řezného materiálu.



Obr. 7 Systémy upínání ISO [18].



Obr. 8 Revolverová nožová hlava [19].

VBD mohou být vyrobeny z různých materiálů – slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky a dalších [18]. Na těleso nože vyrobeného z konstrukční oceli jsou VBD upnuty některým z upínacích systémů; systémy upínání ISO jsou znázorněny na obrázku 9. Většina v současnosti užívaných VBD má více břitů, a proto po otupení jednoho z břitů stačí destičku upnout do nové polohy, čímž se k řezu bude dále používat další břit.

Existuje velké množství typů soustružnických strojů, které se liší z konstrukčně technologického hlediska či dle stupně automatizace. Díky vysoké automatizaci a univerzálnosti, co se týká obráběcích metod, jsou v současnosti ve většině strojírenských podniků využívány CNC stroje. I přesto však ručně ovládané soustruhy stále nachází své uplatnění. Nástroje se do strojů upínají do upínek nebo do otočných nožových hlav, kde je

možné upnout více nožů současně. V případě poloautomatických a automatických strojů probíhá upínání mimo stroj. Nástroje se vkládají do zásobníku, odkud jsou na základě programu použity pro právě probíhající operaci.

V případě výroby zadané součásti bude soustružení uplatněno při obrábění vnějších válcových ploch, čelních ploch a vnější kuželové plochy. Kužely mohou být soustruženy několika způsoby. Zapichovací způsob je vhodný pro krátké kužely, vyosení koníku pak pro štíhlé kužely. Další možnost je pak natočit nožový suport nebo využít vodící pravítka. V případě soustružení v počítačově řízeném stroji je možné kužel obrábět na základě využití funkcí CAD/CAM technologií. Firma, kde bude výroba součásti probíhat, je vybavena moderním strojovým vybavením. Součást bude obráběna na CNC stroji, tudíž soustružení kuželové plochy proběhne na základě NC programu.

Při stanovování výrobního postupu je potřeba brát v potaz jednotkový strojní čas obrábění. Ten se pro podélné soustružení válcové plochy vypočte ze vztahu (2.1):

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \quad (2.1)$$

kde: t_{AS} [min] jednotkový strojní čas
 L [mm] dráha nástroje
 n [min^{-1}] otáčky obrobku
 f [mm] posuv na otáčku

Příčemž otáčky obrobku se stanoví na základě vztahu (2.2):

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (2.2)$$

kde: n [min^{-1}] otáčky obrobku
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] řezná rychlost
 D [mm] průměr obrobku

Pro jednotkový strojní čas pro soustružení kuželové plochy platí vztah (2.3):

$$t_{AS} = \frac{\sqrt{L^2 + \left(\frac{D_{max} - D_{min}}{2}\right)^2}}{n \cdot f} \quad (2.3)$$

kde: t_{AS} [min] jednotkový strojní čas
 L [mm] dráha nástroje
 D_{max} [mm] maximální průměr obráběné kuželové plochy
 D_{min} [mm] minimální průměr obráběné kuželové plochy
 n [min^{-1}] otáčky obrobku
 f [mm] posuv na otáčku

Dráha nástroje je pak součtem délky soustružené plochy, délky náběhu a délky přeběhu. V případě soustružení čelní plochy se jednotkový strojní čas stanoví dle vztahu (2.1), je ovšem nutné pro výpočet dráhy nástroje použít vztah (2.4):

$$L = \frac{(D_{max} + 2 \cdot l_n) - (D_{min} - 2 \cdot l_p)}{2} \quad (2.4)$$

kde:	L	[mm]	dráha nástroje
	D_{max}	[mm]	maximální průměr obráběné plochy
	D_{min}	[mm]	minimální průměr obráběné plochy
	l_n	[mm]	délka náběhu
	l_p	[mm]	délka přeběhu

2.2 Frézování

Další metoda, pomocí které bude součást vyráběna, je frézování. Při frézování je hlavní pohyb rotační a koná ho nástroj. Na ručně ovládaných frézkách je posuv nejčastěji vykonáván obrobkem. U moderních obráběcích center a CNC frézek lze posuvové pohyby plynule měnit a tím výrobu zefektivnit.

Dle použitého nástroje je možné frézování rozdělit na válcové, čelní, okružní a planetové. Válcové frézování se pak liší podle směru rotace nástroje. Při sousledném frézování nástroj rotuje ve směru posuvu obrobku. Tato metoda se vyznačuje vyšší trvanlivostí břitů, menším potřebným řezným výkonem, použitím jednodušších upínacích přípravků či menší drsností obrobeného povrchu. V případě nesousledného frézování jde rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Výhodou při použití této metody pak je, že trvanlivost nástroje není ovlivněna povrchem obrobku.

Vzhledem k rozsahu technologie frézování je k dispozici široký výběr typů fréz. Podle umístění zubů na tělese nástroje se rozlišují válcové, čelní a válcové čelní frézy. Zuby frézy bývají zhotoveny z různých materiálů, např. z rychlořezné oceli, slinutých karbidů, cermetů či řezné keramiky.



Obr. 9 Univerzální dělicí přístroj [20].



Obr. 10 Odvalovací frézka OFA 32 CNC 6 [21].

U konzolových frézek je k dispozici různé příslušenství. Otočný stůl, který se připevňuje na pracovní stůl, umožňuje frézovat rotační tvary, vačky, drážky apod. Používají se také pro dělicí operace, pokud nelze obrobek vzhledem k velikosti jeho

rozměrů upnout do dělicího přístroje. Dělicí přístroje se užívají, pokud je potřeba natočit obrobek o určitý úhel, například při frézování vícehranů, vícedrážkových hřídelí či ozubených kol [19].

Při obrábění zadané součásti bude potřeba frézovat drážku pro pero o délce 131 mm, šířce 14 mm a maximální hloubce 5,5 mm. Dále bude frézováno evolventní drážkování 35x2x9g ČSN 01 4953 a to odvalovacím metodou. Při použití konzolové frézky by k obrobení tohoto drážkování bylo zapotřebí dělicího přístroje. V případě frézování na CNC stroji tato nutnost odpadá.

Jednotkový strojní čas se u technologie frézování vypočte ze vztahu (2.5):

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (2.5)$$

kde: t_{AS} [min] jednotkový strojní čas
 L [mm] dráha nástroje ve směru posuvu
 v_f [mm·min⁻¹] rychlost posuvu

Pro frézování drážkového profilu odvalovací metodou se jednotkový strojní čas stanoví dle vztahu (2.6):

$$t_{AS} = \frac{L \cdot z}{f \cdot n_f \cdot g} \quad (2.6)$$

kde: t_{AS} [min] jednotkový strojní čas
 L [mm] dráha frézování
 z [-] počet drážek obrobku
 f [mm] posuv frézy
 n_f [min⁻¹] otáčky frézy
 g [-] počet chodů frézy

2.3 Vrtání

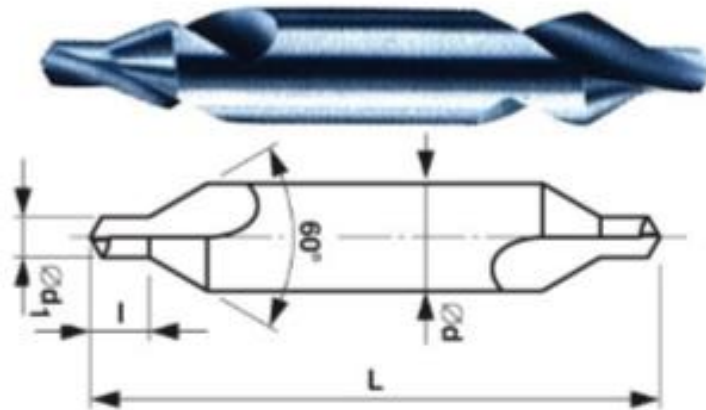
Technologie vrtání se používá při zhotovování děr či jejich zvětšování. Na základě druhu a konstrukce vrtáku lze vrtat díry krátké ($D/L=0,2-0,1$, kde D je průměr díry a L je délka díry), hluboké ($D/L>0,1$), průchozí či středící díry.

Základní dělení vrtáků rozlišuje nástroje na [20]:

- šroubovité, nejčastěji užívané pro vrtání krátkých děr,
- kopinaté, u kterých vysoká tuhost umožňuje vrtat díry o průměru až 128 mm,
- dělové a hlavňové, jejichž konstrukce umožňuje vrtat hluboké díry,
- ejektorové, skládající se z vrtací hlavice našroubované do vrtací trubky.
- BTA, STS vrtáky, které mohou vrtat díry až o průměru 300 mm.

Vrtáky mohou být celistvé, vyrobené z rychlořezné oceli, složitější vrtáky však bývají vybaveny VBD. Do řady vrtáků bývá přiváděna řezná kapalina poskytující lepší řezné podmínky a odvádějící třísky pryč z obráběné plochy.

Při obrábění hřídele bude technologie vrtání potřebná pouze k navrtání středících důlků, které poslouží k upnutí obrobku mezi hroty. Středící vrtáky bývají charakterizovány krátkým tělem se šroubovitými drážkami a vyznačují se velkou tuhostí.



Obr. 11 Středící vrták typ A [20].

Pro vrtání průchozí díry lze jednotkový strojní čas vypočítat ze vztahu (2.7):

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l_d + l_p}{n \cdot f} \quad (2.7)$$

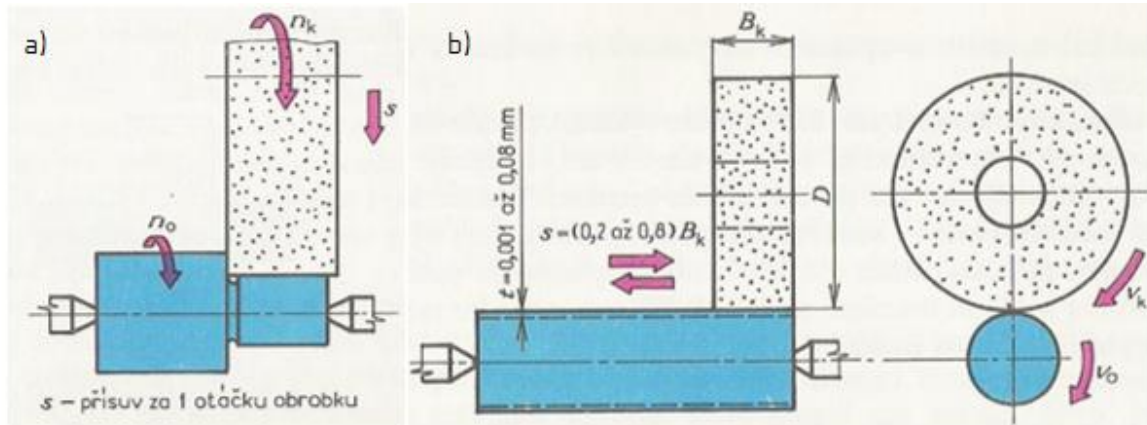
kde:	t_{AS} [min]	jednotkový strojní čas
	L [mm]	dráha nástroje ve směru posuvu
	v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	rychlost posuvu
	l_n [mm]	délka náběhu
	l_d [mm]	délka vrtané díry
	l_p [mm]	délka přeběhu
	n [min^{-1}]	otáčky vrtáku
	f [mm]	posuv vrtáku

Jelikož při vrtání středících důlků nemůže být uvažován žádný přeběh, bude při výpočtu jednotkového strojního času pro tuto operaci dosazeno $l_p = 0 \text{ mm}$.

2.4 Broušení

Při výrobě součásti bude broušení jedinou metodou obrábění, při které jsou použity nástroje s nedefinovanou geometrií břitu. Během broušení dochází vysokou řeznou rychlostí (30 až $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) k nepravidelnému úběru třísek zrní brusiva, která se samovolně uvolňují z broušícího kotouče [21]. Vzniká velké množství tepla, které je potřeba odvádět chlazením obrobku. Pomocí různých metod broušení lze zlepšit kvalitu povrchu u rovinných i rotačních ploch, stejně jako u závitů či ozubení.

Brusivo je tvořeno zrna velmi tvrdých materiálů, např. Al_2O_3 , SiC, diamantu či kubického nitridu bóru. Tato zrna jsou vázána v brousicích kotoučích, tělících, pilnicích nebo brusných papírech.



Obr. 12 Kinematika broušení válcových ploch – podle [21]: a) zapichovací, b) podélné.

Na výkrese součásti jsou předepsány 3 plochy, které mají drsnost R_a 0,8. Této hodnoty nelze dosáhnout použitými soustružnickými technologiemi, proto budou plochy broušeny. Dokončení těchto ploch se provede axiálním obvodovým broušením vnějších ploch do kulata. Osazení $\varnothing 35$ mm se bude brousit zapichovací metodou (obr. 12a), válcová plocha $\varnothing 50$ pak podélně (obr. 12b). Při této metodě v případě broušení ocelí na čisto nabývá:

- obvodová rychlost kotouče v_k hodnot 25–35 $m \cdot s^{-1}$,
- obvodová rychlost obrobku v_o hodnot 8–15 $m \cdot min^{-1}$ [19],
- axiální posuv kotouče s [mm] na jednu otáčku obrobku $(0,2–0,8) \cdot B_k$, kde B_k [mm] je šířka brousicího kotouče,
- tloušťka odebrané vrstvy t hodnot 0,001–0,08 mm [21].

Výpočet jednotkového strojního času bude v technologickém postupu stanoven ze vztahu (2.8):

$$t_{AS} = \frac{l_a}{f_a \cdot n_w} \quad (2.8)$$

kde:	t_{AS} [min]	jednotkový strojní čas
	l_a [mm]	dráha pohybu v axiálním směru
	f_a [mm]	axiální posuv brusky
	n_w [min^{-1}]	otáčky obrobku

2.5 Další technologie

Technologie obrábění zahrnuje řadu dalších metod, které však nebudou pro zhotovení součásti potřeba. Z tohoto důvodu jsou zde uvedeny jen jejich stručné charakteristiky.

Metody hoblování a obrážení se používají pro obrábění rovinných ploch jednobřítým nástrojem. Hlavní pohyb je u obou metod přímočarý vratný, u hoblování ho vykonává obrobek, u obrážení nástroj. Protahování a protlačování jsou značně produktivní technologie k dokončování tvarových děr a vnějších tvarových ploch.

Mezi abrazivní metody obrábění se kromě broušení řadí i honování, lapování a superfinišování. Těmito metodami se dokončují plochy, u kterých se požaduje vysoká přesnost rozměrů a kvalita povrchu. Jsou charakterizovány nástroji s nedefinovanou geometrií břítu.

Otryskávání, kuličkování, balotínování a válečkování jsou beztrískové metody dokončování založené na principy plastické deformaci povrchové vrstvy obrobku. Použitím těchto technologií se zlepšuje struktura, pevnost a tvrdost povrchu.

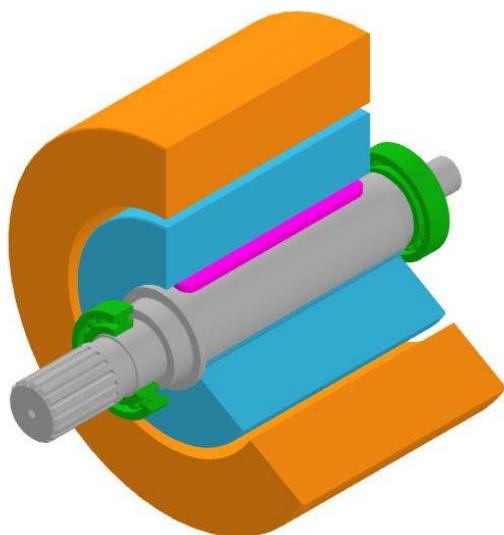
Dále existuje celá řada nekonvenčních metod obrábění, u kterých není obrobek opracováván standartním řezným nástrojem. Nejsou zde definovány pracovní části nástroje ani jeho úhly, netvoří se ani „klasická“ tříska. K úběru materiálu z polotovaru se využívají tepelné či chemické účinky. Mezi tyto technologie patří například obrábění paprskem plazmy, elektronů nebo laseru, dále také obrábění vodním paprskem. Další metody zahrnují elektroerozivní, elektrochemické či chemické obrábění a obrábění ultrazvukem.

3 ROZBOR SOUČÁSTI

Cílem této práce je na základě výkresové dokumentace součásti *hřídel rotoru elektromobilu* vypracovat zprávu o technologickém postupu výroby této součásti. Výkres součásti je obsažen v příloze 1. Výrobní série je stanovena na 9 000 ks za rok.

3.1 Funkce součásti

Zpracovávaná hřídel rotoru tvoří součást asynchronního motoru v osobním elektromobilu. Umístění hřídele v elektromotoru je znázorněno na obr. 7. Hřídel (šedá barva) je uložena v motoru dvěma ložisky (zelená). Na ní je nasunut rotor (modrá), se kterým je spojena pomocí pera (růžová). Zvnějšku rotoru je pak umístěn stator (oranžová).



Obr. 13 Schématický řez elektromotorem.



Obr. 14 Hřídel rotoru elektromobilu.

Jak již bylo popsáno v první kapitole, stator roztáčí rotor působením elektromagnetických sil. Tyto otáčky jsou díky pera přenášeny na hřídel. Ta se otáčí v ložiscích a drážkovým profilem převádí otáčky a točivý moment na další součásti hnacího ústrojí vozidla.

3.2 Technologičnost součásti

Vyráběná součást – hřídel rotoru – o délce $L = 300$ mm má největší průměr $D = 58$ mm. Skládá se z pěti různých obrobených průměrů, dvou středících důlků, drážky pro pero a drážkového profilu.

U ploch, které budou osazeny ložisky a rotorem, se požaduje broušení na drsnost $R_a 0,8$. Drážka pro pero má drsnost $R_a = 6,3 \mu\text{m}$, ostatní plochy pak $R_a = 3,2 \mu\text{m}$.

U ploch pro ložiska je předepsána tolerance válcovitosti $0,003$ mm.

Z technologického hlediska lze považovat náročnost součásti za střední.

3.3 Materiál součásti

Předepsaným materiálem na výkrese součásti je ocel 42CrMo4 (ČSN EN 10083-1, ČSN 15 142). Jedná se o chrommolybdenovou, nízkolegovanou ocel k zušlechtění. Používá se pro velmi namáhané strojní součásti. Materiál je obrobitelný ve stavu žíhaném na měkko [23]. Vybrané mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce 3, materiálový list je v příloze 2.

Tab. 3 Vlastnosti oceli 42CrMo4 + Qt [24].

Materiál	42CrMo4 + Qt	Tvrдость	241 HB
Mez pevnosti v tahu R_m	900–1100 MPa	Tvrдость po zakalení	50–60 HRC
Mez kluzu R_e	650 MPa	Hmotnost	22,2 kg·m ⁻¹

4 SPOTŘEBA MATERIÁLU

Před samotným zpracováním výrobního postupu budou nejprve provedeny výpočty hodnotící množství spotřebovaného materiálu. Díky nim bude zjištěno, jaké množství materiálu se spotřebuje na výrobu jedné série o 9 000 kusech a s jakým objemem materiálu a odpadu bude potřeba při výrobě manipulovat.

4.1 Volba polotovaru

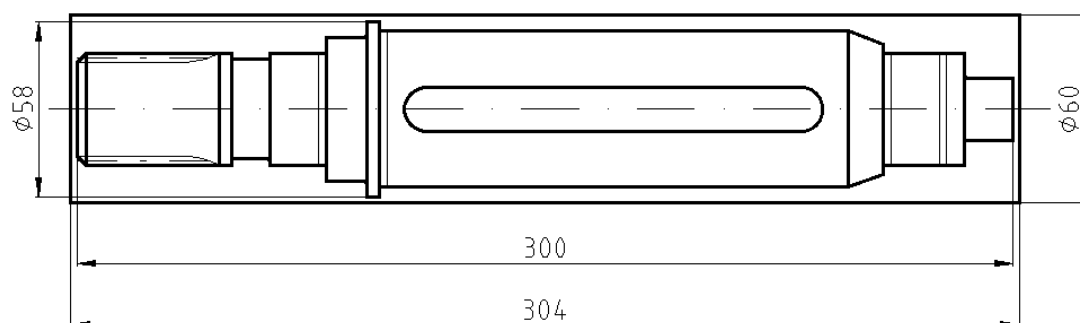
Pro výběr vhodného polotovaru je nejprve nutné určit přídavky na obrábění. Příklad na délku se stanoví 2–4 mm [25]. Příklad na průměr se vypočte ze vztahu (3.1):

$$p_p = 0,05 \cdot D + 2 = 0,05 \cdot 58 + 2 = 4,9 \text{ mm} \quad (3.1)$$

kde: p_p [mm] přírvek na obrábění průměru

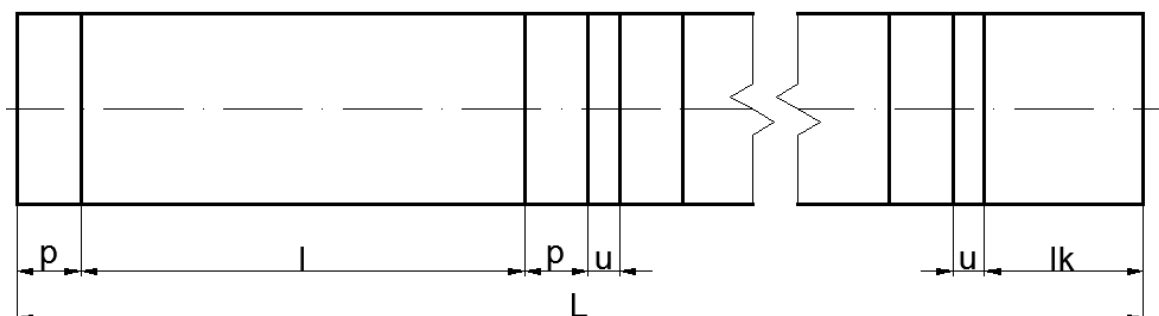
D [mm] největší průměr obrobku

Sečtením největšího průměru hřídele a přírveku na obrábění je zjištěno, že by byl zapotřebí polotovar o průměru 62,9 mm. Vzhledem k vyráběným rozměrům válcovaných tyčí a úspoře materiálu je však zvolen průměr polotovaru $D = 60$ mm. Jelikož největší průměr obráběné součásti není funkční, bude přírvek 2 mm dostačovat.



Obr. 15 Srovnání rozměrů polotovaru a obrobku.

Pro výrobu součásti je jako polotovar zvolena tyč válcovaná za tepla o stanoveném průměru $D = 60$ mm s hmotností $22,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ od dodavatele KÖNIGFRANKSTAHL, s.r.o. [26]. Tyče budou již od dodavatele zušlechtěny. Polotovary se budou na požadovanou délku dělit na pásové pile ze základní délky $L = 6 000$ mm.



Obr. 16 Schéma dělení tyče na přířezy.

4.2 Výpočet spotřeby materiálu

Počet přířezů vzniklých dělením jedné tyče se vypočte dle vztahu (3.2) [25]:

$$n_p = \frac{L_t}{l + p + u} = \frac{6\,000}{300 + 4 + 0,9} = 19,68 \rightarrow 19 \text{ ks} \quad (3.2)$$

kde:	n_p	[-]	počet přířezů z jedné tyče
	L_t	[mm]	celková délka součásti
	l	[mm]	délka součásti
	p	[mm]	přídavek na obrábění
	u	[mm]	délka průřezu materiálu při dělení polotovaru

Hmotnost polotovaru se vypočte dle vztahu (3.3):

$$Q_p = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot (l + p) \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \cdot (0,3 + 0,004) \cdot 7\,850 = 6,75 \text{ kg} \quad (3.3)$$

kde:	Q_p	[kg]	hmotnost polotovaru
	D_p	[m]	průměr polotovaru
	ρ	[kg·m ⁻³]	hustota materiálu

Délka nevyužitého konce se vypočte dle vztahu (3.4):

$$l_k = L_t - n_p \cdot (l + p + u) = 6\,000 - 19 \cdot (300 + 4 + 0,9) = 206,9 \text{ mm} \quad (3.4)$$

kde:	l_k	[mm]	délka nevyužitého konce
------	-------	------	-------------------------

Ztráta materiálu z nevyužitého konce se stanoví dle vztahu (3.5):

$$q_k = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot l_k \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \cdot 0,2069 \cdot 7\,850 = 4,59 \text{ kg} \quad (3.5)$$

kde:	q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce
------	-------	------	--------------------------------------

Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče na polotovary se vypočte ze vztahu (3.6):

$$q_{\check{r}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot u \cdot \rho \cdot n_p = \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \cdot 0,0009 \cdot 7\,850 \cdot 19 = 0,38 \text{ kg} \quad (3.6)$$

kde:	$q_{\check{r}}$	[kg]	ztráta materiálu vzniklá dělením tyče na polotovary
------	-----------------	------	---

Hmotnost obrobené součásti se stanoví dle vztahu (3.7).

$$Q_s = \rho \cdot V = 7\,850 \cdot 4,3 \cdot 10^{-4} = 3,4 \text{ kg} \quad (3.7)$$

kde:	Q_s	[kg]	hmotnost obrobené součásti
------	-------	------	----------------------------

Objem součásti byl spočten softwarem Autodesk Inventor Professional 2020. Ztráta materiálu vzniklá při obrábění se určí dle vztahu (3.8):

$$q_d = Q_p - Q_s = 6,75 - 3,4 = 3,35 \text{ kg} \quad (3.8)$$

kde: q_d [kg] ztráta materiálu vzniklá při obrábění

Celkové ztráty materiálu z jedné tyče se stanoví dle vztahu (3.9):

$$Z_m = n_p \cdot (q_d + q_{\check{r}}) + q_k = 19 \cdot (3,35 + 0,38) + 4,59 = 75,46 \text{ kg} \quad (3.9)$$

kde: Z_m [kg] celková ztráta materiálu z jedné tyče

Norma spotřeby materiálu se na jedné tyči se vypočte dle vztahu (3.10):

$$N_m = n_p \cdot Q_s + Z_m = 19 \cdot 3,4 + 75,46 = 140,06 \text{ kg} \quad (3.10)$$

kde: N_m [kg] norma spotřeby materiálu na jedné tyči

Využití materiálu se vypočte dle vztahu (3.11):

$$\eta_m = \frac{n_p \cdot Q_s}{n_p \cdot Q_s + Z_m} \cdot 100 = \frac{19 \cdot 3,4}{19 \cdot 3,4 + 75,46} \cdot 100 = 46,12 \% \quad (3.11)$$

kde: η_m [%] využití materiálu

Potřebný počet tyčí se vypočte dle vztahu (3.12):

$$n_T = \frac{n_s}{n_p} = \frac{9\,000}{19} = 473,7 \rightarrow 474 \text{ ks} \quad (3.12)$$

kde: n_T [-] potřebný počet tyčí

n_s [-] velikost série

Tab. 4 Tabulka spotřeby materiálu.

Počet polotovarů z jedné tyče	n_p	19 ks
Délka nevyužitého konce	l_k	206,9 mm
Hmotnost polotovaru	Q_p	6,75 kg
Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče	q_k	4,59 kg
Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče na polotovary	$q_{\check{r}}$	0,38 kg
Ztráta vzniklá obráběním polotovaru	q_d	3,35 kg
Celkové ztráty materiálu z jedné tyče	Z_m	75,46 kg
Hmotnost hotové součásti	Q_s	3,4 kg
Norma spotřeby materiálu na jedné tyči	N_m	140,06 kg
Využití materiálu	η_m	46,12 %
Potřebný počet tyčí	n_T	474 ks

5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Na základě znalostí z technologie obrábění a výkresové dokumentace je sestaven technologický postup výroby. Je zvoleno, na kterých strojích bude výroba probíhat. Dále jsou vypracovány seznamy nástrojů, kterými bude součást obráběna, a měřidel vhodných ke kontrole součásti. Poté je zpracován rámcový technologický postup a pro soustružnické operace výrobní návodky.

5.1 Seznam strojů

Výroba bude realizována ve firmě již disponující strojovým vybavením. Na obrábění součásti se vyčlení tyto stroje:


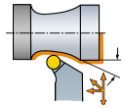

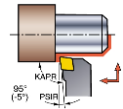
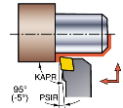
- Pásová pila na kov PROMA PPS-250HPA od Proma, SA Trade s.r.o. [27],
- Obráběcí CNC centrum CTX beta 800 TC od DMG MORI Czech s.r.o. [28],
- Svislá odvalovací frézka OFA 32 CNC 6 od TOS Čelákovice a.s. [21],
- Univerzální hrotová CNC bruska UB 25 CNC od TOS Hostivař s.r.o [29].

Technické specifikace všech strojů jsou uvedeny v přílohách 3–6.

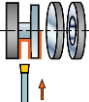
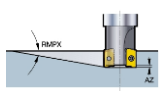



5.2 Seznam nástrojů

Pro obrábění součásti budou použity nástroje uvedené v tabulce 5.

Tab. 5 Seznam nástrojů (1/2) [27, 30, 31, 32, 33].

Seznam nástrojů					
Číslo nástroje	Vyobrazení	Název	Označení	držáku	Materiál
		Výrobce		destičky	
T1		Pilový pás	27x2680/6-10z bimetal		HSS
		Proma			
T2		Soustružnický nůž	PRGCR 2525M 16		HSS
		Sandvik Coromant	RCMT 16 06 MP-M3 4425		SK
T3		Středící vrták	111050 2,5 mm		HSS/E
		GARANT			
T4		Hrubovací nůž	DCLNR 1616H 12		HSS
		Sandvik Coromant	CNMG 12 04 08-PR 4425		SK
T5		Dokončovací nůž	DCLNR 1616H 09		HSS
		Sandvik Coromant	CNMG 09 03 08-PM 4425		SK

Tab. 5 Seznam nástrojů (2/2) [27, 30, 31, 32, 33].

Číslo nástroje	Vyobrazení	Název	Označení	držáku	Materiál
		Výrobce		destičky	
T6		Zapichovací nůž	RF123E067-12D		HSS SK
		Sandvik Coromant	N123E2-0215-0001-GF 1125		
T7		Čelní fréza	R390-014EH12-07M		HSS
		Sandvik Coromant	390R-070204M-PM 4330		SK
T8		Odvalovací fréza	241431, 30x27x200		Cr-Mn ocel
		Pramet	222551, M2 IIbA		HSS
T9		Brousicí kotouč plochý	400x20x127		Korund, keramika
		TYROLIT	97A80(2)J5AV50 664564		
T10		Brousicí kotouč plochý	400x50x127		Korund, keramika
		TYROLIT	97A80(2)J5AV50 664578		

Uvedené názvy výrobců nástrojů značí tyto firmy:



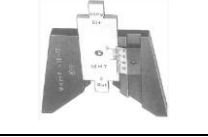



- Proma...Proma, SA Trade s.r.o. [27],
- Sandvik Coromant...SANDVIK CZ s.r.o. [30],
- GARANT...Hoffmann Qualitätswerkzeuge CZ s.r.o. [31],
- Pramet...Dormer Pramet s.r.o. [32],
- TYROLIT...Tyrolit CEE K.s. [33].

5.3 Seznam měřidel

Kontrola obrobené součásti bude provedena měřidly, jejichž seznam je v tabulce 6. Měřidla budou objednána od těchto firem:

- Mitutoyo Česko s.r.o. [34],
- UNIMETRA, spol. s r.o. [35].

Tab. 6 Seznam měřidel (1/2) [34, 35].

Seznam měřidel			
Číslo měřidla	Vyobrazení	Název	Označení
M1		Posuvné měřítko Mitutoyo 0–450 mm	500-500-10
M2		Posuvné měřítko Mitutoyo 0–150 mm	500-181-30
M3		Drážkový kalibr UNIMETRA	1430
M4		Třmenový mikrometr s talířkovými doteky Mitutoyo 0–25 mm	323-250-30
M5		Drsnoměr Formtracer Avant FTA - S8 S3000-D	178-156-11
M6		Kruhoměr Roundtest RA-120	211-542D

5.4 Výrobní postup

Pro celou technologii výroby hřídele je sestaven výrobní postup. Pro každou operaci obsahuje popis práce, použitý stroj a nástroj či měřidlo. Tento postup je uveden v tabulce 7.

Tab. 7 Výrobní postup (1/2).

Výrobní postup				
Název součásti: HRÍDEL ROTORU ELEKTROMOBILU			Číslo výkresu: 01-2020	
Polotovary: Ø60×304		Materiál: ČSN EN 15 142	Hmotnost	
			Čistá: 3,4 kg	Hrubá: 6,75 kg
Číslo operace	Stroj	Operace	Popis práce v operaci	Nástroje, měřidla
	Třídící číslo			
0/0	PPS-250HPA 05967	Dělení materiálu	Dělit na délku 304±0,5.	T1
			Měřit délku polotovaru – 100 %.	M1
1/1	CTX beta 800 TC 34575	Soustružení	Upnout do sklíčidla.	
			Zarovnat čelo na 302±0,5.	T2
			Navrtat středící důlek.	T3
2/2	CTX beta 800 TC 34575	Soustružení	Otočit a upnout do sklíčidla.	
			Zarovnat čelo na 300±0,5.	T2
			Navrtat středící důlek.	T3
3/3	09863	Kontrola	Kontrolovat délku – 100 %.	M1
4/4	CTX beta 800 TC 34575	Soustružení	Upnout do sklíčidla za Ø60, opřít hrotem.	
			Hrubovat Ø58 v délce 207 na Ø58.	T2
			Hrubovat Ø50js6 v délce 203 na Ø51.	T4
			Hrubovat Ø35k6 v délce 45,5 na Ø36.	T4
			Hrubovat Ø20 v délce 18,5 na Ø21.	T4
			Hrubovat kuželovou plochu na Ø51 pod úhlem 20°.	T4
			Dokončovat Ø20 v délce 18,5±0,2 na Ø20±0,2.	T5
			Dokončovat Ø35k6 v délce 27±0,2 na Ø35,3 ₀ ^{+0,2} .	T5
			Dokončovat kuželovou plochu na Ø51±0,3 pod úhlem 20°±0°30'.	T5
			Dokončovat Ø50js6 v délce 147±0,5 na Ø50,3 ₀ ^{+0,2} .	T5
			Srazit hrany.	T5
			Soustružit zápich 2× F2,5x0,3.	T6
Soustružit zápich D2,2x0,3.	T6			

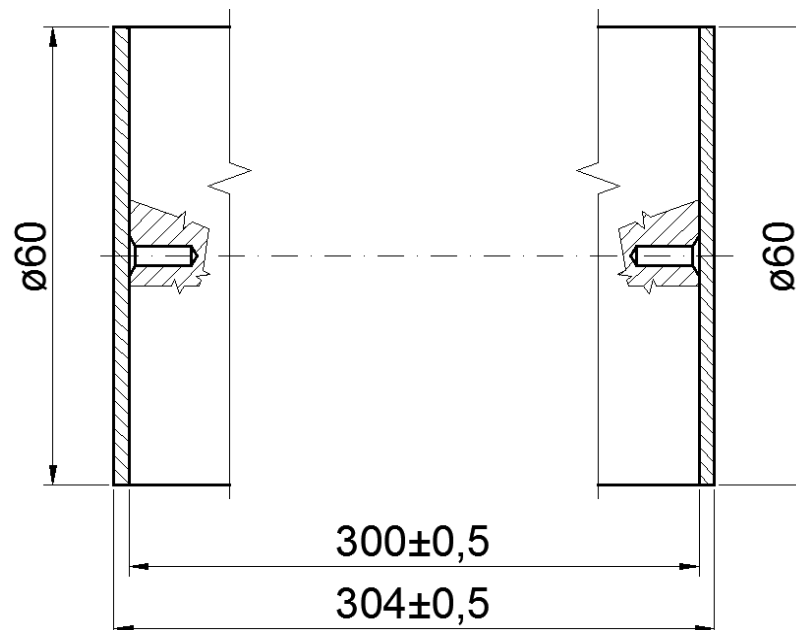
Tab. 7 Výrobní postup (2/2).

Číslo operace	Stroj	Operace	Popis práce v operaci	Nástroje, měřidla
	Třídící číslo			
5/5	CTX beta 800 TC 34575	Soustružení	Upnout do sklíčidla za Ø20, opřít hrotem.	
			Hrubovat Ø46 v délce 93 na Ø47.	T4
			Hrubovat Ø35k6 v délce 80 na Ø36.	T4
			Dokončovat Ø35 v délce $80 \pm 0,3$ na $\text{Ø}35,3_0^{+0,2}$.	T5
			Dokončovat Ø46 v délce $13 \pm 0,2$ na $\text{Ø}46 \pm 0,3$.	T5
			Srazit hrany.	T5
			Soustružit zápich F2,5x0,3.	T6
		Soustružit drážku do hloubky $1,5 \pm 0,1$ v délce $9,5 \pm 0,2$.	T6	
		Frézování	Frézovat drážku pro pero 14P9 v délce $131_0^{+0,3}$.	T7
6/6	OFA 32 CNC6 45231	Frézování	Frézovat drážkový profil 35x2x9g odvalováním.	T8
7/7	09863	Kontrola	Kontrolovat průměry osazení – 10 %.	M2
			Kontrolovat rozměry drážky – 10 %.	M3
			Kontrolovat drážkový profil – 10 %.	M4
8/8	UB 25 CNC 35521	Broušení	Upnout mezi hroty.	
			Brousit Ø35k6 v délce $20 \pm 0,2$ na $\text{Ø}35_{+0,002}^{+0,018}$ 2×.	T9
			Brousit Ø50js6 v délce $147 \pm 0,5$ na $\text{Ø}50_{-0,008}^{+0,008}$.	T10
9/9	09863	Kontrola	Kontrolovat drsnost broušených povrch – 10 %.	M5
			Kontrolovat válcovitost – 10 %.	M6
10/10	09913	Balení	Konzervovat.	
			Balit.	
11/11	09942	Sklad	Expedovat.	

5.5 Výrobní návodky

Pro operace, které jsou prováděny na stroji CTX beta 800 TC, jsou zpracovány výrobní návodky. Ty obsahují grafické návodky a řezné parametry. Otáčky obrobku u operací soustružení se stanoví dle vztahu (2.2). Jednotkové strojní časy u těchto operací jsou vypočteny pomocí vztahu (2.1), respektive (2.3) u soustružení kuželové plochy. V případě frézování drážky pro pero je tento čas určen vztahem (2.5) a u vrtání středících důlků pak vztahem (2.7). Tyto návodky jsou uvedeny v tabulkách 8 – 10.

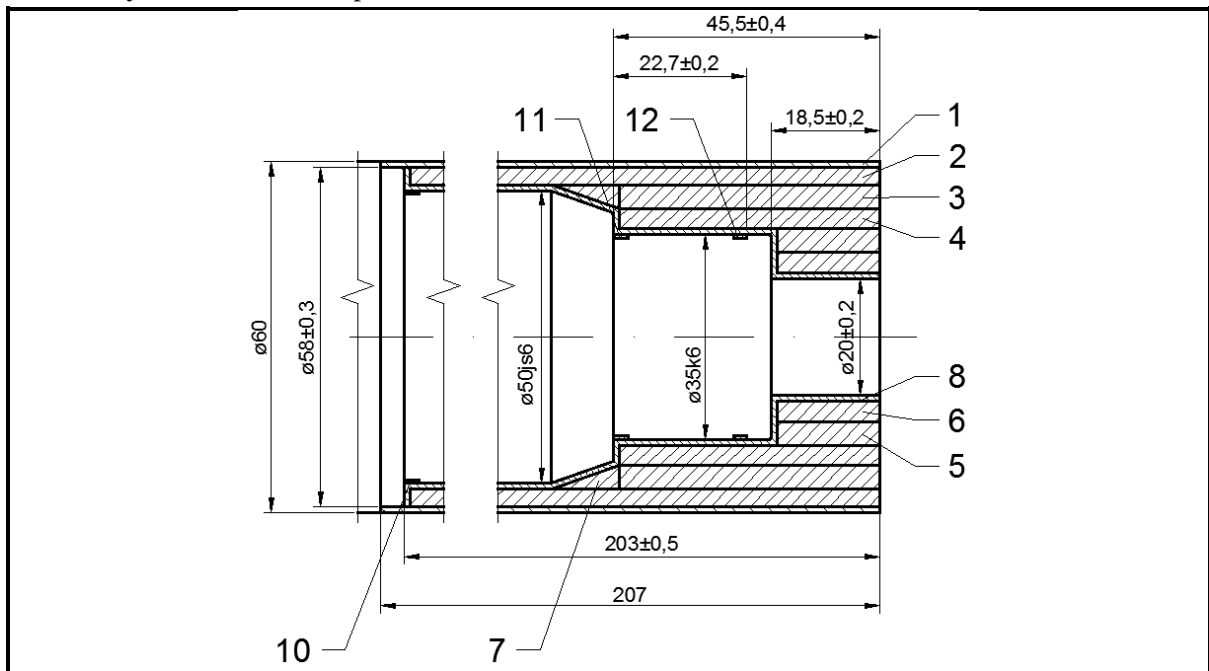
Tab. 8 Výrobní návodka – operace 1/1; 2/2.



Výrobní návodka

VUT FSI ÚST	Součást:				Stroj:			Op.: 1/1; 2/2
	HŘÍDEL ROTORU ELEKTROMOBILU				CTX BETA 800 TC			
Úsek	i	v_c	n	f	a_p	L	t_{AS}	Nástr.
		[m·min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	
Hrubování	1	245	1 300	0,661	2	30,5	0,0355	T2
Vrtání	2	15	367	0,1	-	8	0,2452	T3
Hrubování	3	245	1 300	0,661	2	30,5	0,0355	T2
Vrtání	4	15	367	0,1	-	8	0,2452	T3
Celkový strojní čas:							0,5614	

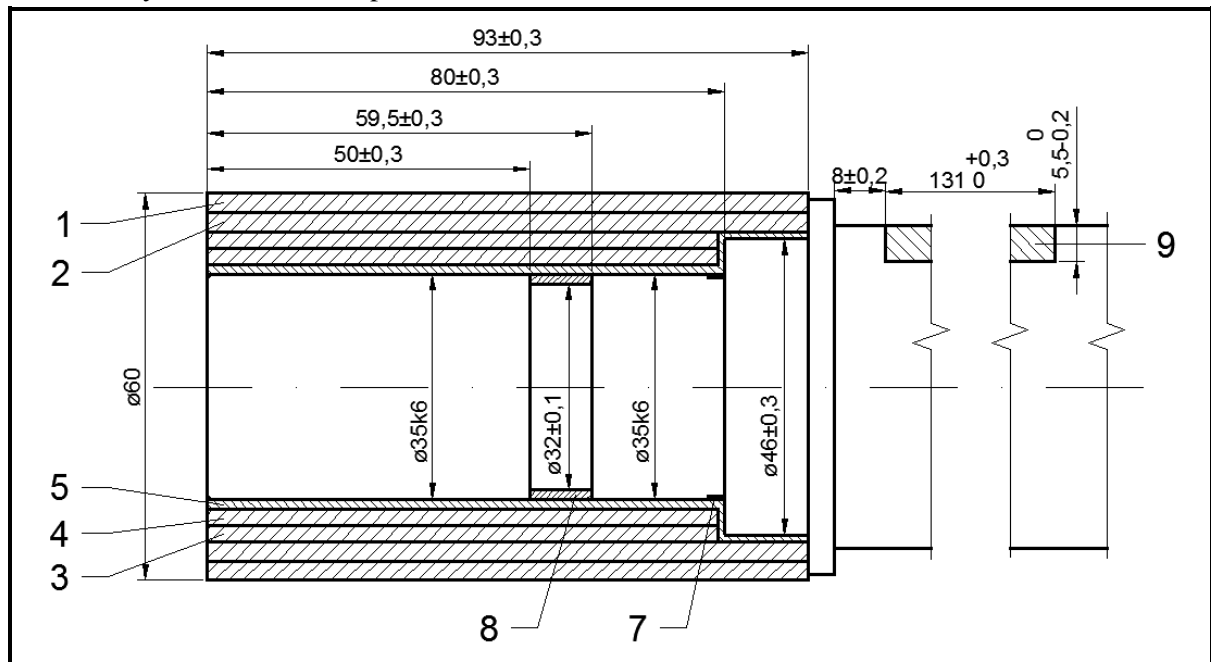
Tab. 9 Výrobní návodka – operace 4/4.



Výrobní návodka

VUT FSI ÚST	Součást: HŘÍDEL ROTORU ELEKTROMOBILU				Stroj: CTX beta 800 TC			Op.:
					Číslo pracoviště: 34575			4/4
Úsek	i	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástr.
Hrubování	1	245	1 300	0,66	1	207	0,2413	T2
Hrubování	2	238	1 306	0,35	3,5	203	0,4441	T4
Hrubování	3	238	1 485	0,35	3,75	45,5	0,0875	T4
Hrubování	4	238	1 742	0,35	3,75	45,5	0,0746	T4
Hrubování	5	238	2 104	0,35	3,75	18,5	0,0251	T4
Hrubování	6	238	2 658	0,35	3,75	18,5	0,0199	T4
Hrubování	7	238	3 607	0,35	3,1	8,4	0,0067	T4
Dokončování	8	251	1 567	0,32	0,5	200,9	0,4006	T5
Srážení hran	9	251	1 000	0,52	0,3	-	-	T5
Zapichování	10	195	1 773	0,08	0,3	2,5	0,0176	T6
Zapichování	11	195	1 773	0,08	0,3	2,5	0,0176	T6
Zapichování	12	195	1 773	0,08	0,3	2,2	0,0155	T6
Celkový strojní čas:							1,3506	

Tab. 10 Výrobní návodka – operace 5/5.



Výrobní návodka

VUT FSI ÚST	Součást: HŘÍDEL ROTORU ELEKTROMOBILU				Stroj: CTX beta 800 TC			Op.: 5/5
					Číslo pracoviště: 34575			
Úsek	i	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{AS} [min]	Nástr.
Hrubování	1	238	1 263	0,35	3,25	93	0,2104	T4
Hrubování	2	238	1 416	0,35	3,25	93	0,1877	T4
Hrubování	3	238	1 612	0,35	2,75	80	0,1418	T4
Hrubování	4	238	1 825	0,35	2,75	80	0,1252	T4
Dokončování	5	251	2 104	0,32	0,5	93	0,1381	T5
Srážení hran	6	251	1 000	0,32	0,3	-	-	T5
Zapichování	7	195	1 773	0,08	0,3	2,5	0,0176	T6
Zapichování	8	195	1 773	0,08	1,5	9,5	0,0670	T6
Frézování	9	230	6 270	0,02	5,5	131	1,0447	T7
Celkový strojní čas:							1,9325	

6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při plánování výrobního procesu je pro zadanou součást provedeno ekonomické zhodnocení. Tyto výpočty vychází z řezných parametrů uvedených ve výrobních návodkách.

6.1 Výrobní časy

Ve výrobních návodkách jsou určeny jednotkové strojní časy pro některé obráběcí operace. Pro operaci 6/6 – frézování drážkového profilu odvalováním – se tento čas stanoví dle vztahu (2.6) a pro operaci 8/8 – broušení – pak dle vztahu (2.8). Všechny výrobní časy jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab. 11 Jednotkové strojní časy.

Číslo op.	Operace	t_{AS} [min]
1/1	Soustružení čela; vrtání středících důlků	0,2807
2/2	Soustružení čela; vrtání středících důlků	0,2807
4/4	Soustružení osazení; soustružení zápichů	1,3506
5/5	Soustružení osazení; soustružení zápichů	1,9325
6/6	Frézování drážkového profilu odvalováním	13,5178
8/8	Broušení válcových ploch	0,6653
Celkem:		18,0276

Vypočtený čas 18,0276 min nezahrnuje upínání, výměnu nástrojů, měření a kontrolu výrobku. Celkový čas výroby jedné součásti je proto přibližně 22 min. Výroba série o velikosti 9 000 ks dle vztahu (5.1) zabere 3 300 hod.

$$t_{serie} = \frac{n_s \cdot t_{celk}}{60} = \frac{9\,000 \cdot 22}{60} = 3\,300 \text{ hod} \quad (5.1)$$

kde: t_{serie} [hod] celkový čas výroby série

n_s [-] velikost série

t_{celk} [min] celkový čas výroby součásti

Délka jedné směny je 7,5 hod. Vzhledem k nutnosti úklidu pracoviště, zapnutí a vypnutí strojů a jejich občasné kontrole je fond jedné pracovní směny zhruba 6,5 hod. Při dvousměnném provozu trvá výroba série asi 254 dnů, což přibližně odpovídá počtu pracovních dnů v roce. Pokud by došlo navýšení velikosti série, bylo by potřeba vyčlenit pro obrábění další stroje.

6.2 Spotřeba elektrické energie

Na základě technických parametrů strojů dodaných od výrobce je stanovena spotřeba elektrická energie pro každý stroj při obrábění jedné součásti. Z ní je následně spočteno množství energie potřebné pro výrobu celé série a náklady na energii při ceně 4,6 Kč/kWh.

Výsledné hodnoty jsou shrnuty v tabulce 12. Pro výpočet spotřeby elektrické energie je použit vztah (5.2) a pro určení nákladů na energii pak (5.3).

$$E_C = P_C \cdot t_{výr} \quad (5.2)$$

kde: E_C [kWh] spotřeba elektrické energie na 1 ks

P_C [kW] příkon stroje

$t_{výr}$ [hod] čas obrábění

$$N_E = P_C \cdot \eta \cdot t_{výr} \cdot C_E \cdot n_s \quad (5.3)$$

kde: N_E [Kč] náklady na energii

P_C [kW] příkon stroje

η [-] účinnost stroje

$t_{výr}$ [hod] čas obrábění

C_E [Kč·kWh⁻¹] cena energie

n_s [-] velikost série

Hodnoty jsou vypočteny při účinnosti strojů 85 %.

Tab. 12 Spotřeba elektrické energie [27, 28, 29].

Stroj		CTX beta 800 TC	OFA 32 CNC 6	UB 25 CNC	Σ
Příkon stroje	[kW]	33	45	4	-
Čas obrábění	[hod]	0,0641	0,2253	0,0111	0,3005
Spotřeba energie na 1 ks	[kWh]	2,1153	10,1385	0,0444	12,2982
Spotřeba energie na sérii	[kWh]	19 037,7	91 246,5	399,6	110 683,8
Náklady na energii na 1 ks	[Kč]	8,27	39,64	0,17	48,08
Náklady na energii na sérii	[Kč]	74 437	356 774	1 562	432 773

6.3 Spotřeba nástrojů

Pro většinu operací jsou použity nástroje s VBD, které mají více břitů. Díky tomu se prodlužuje doba, po kterou mohou tyto nástroje obrábět. Počet potřebných VBD se určí ze vztahu (5.4). Počet VBD, kterými se bude součást obrábět, a cena těchto nástrojů je shrnuta v tabulce 13. Zároveň je zde uvedena i spotřeba středících vrtáků. V tabulce jsou uvedeny pouze nástroje z operací 1/1, 2/2, 4/4 a 5/5. Odvalovací fréza použitá v operaci 6/6 se bude po opotřebení brousit a povlakovat.

$$D_b = \frac{n_s \cdot t}{n_b \cdot \dot{Z}_b} \quad (5.4)$$

kde: D_b [-] počet břitových destiček na celou sérii

n_s [-] velikost série

t [min] čas v záběru

n_b [-] počet břitů na VBD

\dot{Z}_b [min] životnost břitu

Tab. 13 Spotřeba nástrojů [30, 31].

Nástroj	Počet břitů	Životnost	Čas v záběru na 1 ks	Potřebný počet kusů	Cena za 1 ks	Cena
	[-]	[min]	[min]	[-]	[Kč]	[Kč]
RCMT 16 06 MP-M3 4425	6	15	0,3123	32	640	20 480
Středící vrták 111050	4	30	0,4904	37	160	5 920
CNMG 12 04 08-PR 4425	4	15	1,3230	199	327	65 073
CNMG 09 03 08-PM 4425	4	15	0,5387	81	214	17 334
N123E2-0215-0001-GF 1125	2	15	0,1353	41	779	31 939
390R-070204M-PM 4330	2	30	1,0447	157	345	54 165
Celková cena:						194 911

6.4 Počet pracovníků

Součást je obráběna na třech strojích. Každý stroj je obsluhován jedním zaměstnancem. Dále je potřeba pracovníka ke kontrole vyrobených součástí a dalšího pracovníka pro manipulaci s materiálem a balení. Na provoz jedné směny tedy je potřeba 5 zaměstnanců.

Výroba součásti bude trvat 254 dnů. Každý den se bude pracovat ve dvousměnném provozu. Průměrná hodinová mzda jednoho zaměstnance je 130 Kč. Na zaplacení zaměstnanců při výrobě jedné série je tedy potřeba 330 200 Kč.

6.5 Náklady na výrobu série

Celkové náklady na výrobu série 9 000 ks součásti *hřídel rotoru elektromobilu* jsou vypočteny v tabulce 14. Jedná se o součet výdajů na mzdy zaměstnanců, nákladů na materiál vypočtených v kapitole 3.3.1, na elektrickou energii, na VBD a dalších nákladů. Ty jsou stanoveny jako 60 % z nákladů na VBD a elektrickou energii. Zahrnují nákup dalších nástrojů, řezných kapalin, náklady na ostatní energie atd. Od této sumy je odečten zisk z prodeje ocelových třísek jako druhotného materiálu za cenu 2,5 Kč·kg⁻¹.

Tab. 14 Celkové náklady.

Náklady na materiál	12 050 597 Kč
Náklady na elektrickou energii	432 773 Kč
Náklady na VBD	194 911 Kč
Výdaje na zaměstnance	330 200 Kč
Další náklady	363 172 Kč
Zhodnocení druhotných surovin	-75 375 Kč
Celkové náklady	13 296 278 Kč
Náklady na 1 ks	1 477 Kč

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat vhodný výrobní postup pro sériovou výrobu zadané součásti – hřídele rotoru elektromobilu. Tato hřídel je součástí asynchronního motoru v novém osobním vozidle. Na základě rešerše o elektromobilech, informací o tomto typu pohonu a důkladných znalostí technologie obrábění byl zvolen takový postup výroby, který zajistí požadovanou jakost výrobku.

Firma, ve které bude výroba součásti realizována, je orientována na produkci podobných dílů. Díky tomu již je vybavena stroji vhodnými pro obrábění zadané součásti. Technologický postup tak byl připravován pro tyto stroje. Obrábění se bude provádět na obráběcím CNC centru CTX beta TC 800, univerzální hrotové brusce UB 25 CNC a odvalovací frézce OFA 32 CNC 6. Následně byly zvoleny nástroje, kterými bude součást obráběna. Většina nástrojů bude objednána od firmy Sandvik Coromant, ostatní potřebné nástroje doplní další dodavatelé. Taktéž byla zvolena vhodná měřidla ke kontrole obrobenej součásti.

V rámcovém technologickém postupu byly přehledně popsány všechny nutné úkony pro výrobu součásti a přiřazeny nástroje. Bylo stanoveno, že součást bude vyráběna na 12 operací, a to včetně dělení materiálu, kontrol, uskladnění a expedice. Pro soustružnické operace byly zhotoveny výrobní návodky obsahující grafické návodky a předepsané řezné parametry.

Bylo také určeno množství materiálu nutného pro výrobu série a jeho dodavatel. Doba výroby jednoho kusu byla spočtena na 22 min. Výroba celé série tak při dvousměnném provozu bude trvat 254 dnů, což o 2 dny přesahuje počet pracovních dnů v roce 2021. Tento problém bude řešen buď rychlejší manipulací, optimalizací výrobního procesu nebo přesčasovými hodinami. Pokud by pak měla být velikost série navýšena, bude potřeba vyčlenit na obrábění další stroje. Díky závěrečným výpočtům byly určeny náklady na výrobu, a to 13 296 278 Kč na celou sérii, což odpovídá 1 477 Kč za jeden kus.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. WAGENKNECHT, Martin. Historie elektromobilů. In: fDrive.cz [online]. 20.9.2016 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/1-era-elektromobilu-185>
2. IEA. Global EVE outlook 2020 [online]. 6.2020 [cit. 2020-12-19]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
3. KADULA, Lukáš. Analýza složení vozidlového parku: Česká republika. 30.6.2020. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Dokumenty/Strategie/Mobilita>
4. CDV. V roce 2020 bylo v ČR registrováno přes 5 tisíc nových osobních elektrických vozidel. 6.1.2021. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/tisk/v-roce-2020-bylo-v-cr-registrovano-pres-5-tisic-novych-osobnich-elektrickych-vozidel/>
5. CELJAK, Ivo. Konstrukce, technické systémy a provoz elektricky poháněných automobilů. České Budějovice, 2018.
6. KOŠÍK Michal a Pavel SKAROLEK. Trakční vlastnosti elektromobilu – výkony a účinnosti. Praha, 2017.
7. EHSANI, Mehrdad, Yimin GAO, Stefano LONGO a Kambiz EBRAHIMI. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. Third edition. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4987-6177-2
8. SVATOŠ, Patrik. V naší mapě nabíjecích stanic lze nově zobrazit fotografie přes celou obrazovku. In: fDrive.cz [online]. 19.2.2019 [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/v-nasi-mape-nabijecich-stanic-lze-nove-zobrazit-galerii-3406>
9. HAVLÍN, Roman. Volkswagen spustil program na recyklaci použitých baterií z elektromobilů. In: fDrive.cz [online]. 2.2.2021 [cit. 2021-01-11]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/volkswagen-spustil-program-na-recyklaci-pouzitych-baterii-z-elektromobilu-6486>
10. BANNON, Eoin. Does an electric vehicle emit less than a petrol or diesel? In: Transport & Environment [online]. 21.4.2020 [cit. 2021-01-14]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/news/does-electric-vehicle-emit-less-petrol-or-diesel>
11. Náklady na provoz a údržbu elektromobilu. In: EVEXPERT [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/rady-a-tipy-zajimavosti-novinky-informace-evexpert/elektromobilita/naklady-na-provoz-a-udrzbu-elektromobilu>

12. How Do All-Electric Cars Work? In: Alternative Fuels Data Center [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
13. NIKOWITZ, Michael. Advanced Hybrid and Electric Vehicles: System Optimization and Vehicle Integration. Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-1-4471-6781-5.
14. Průvodce bezpečným skladováním Li-Ion akumulátorů. In: Denios [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: <https://www.denios.cz/nase-know-how/nejcastejsi-dotazy/pruvodce-bezpecnym-skladovanim-li-ion-baterii/>
15. EMADI, Ali. Advanced electric drive vehicles. Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 978113-8072-855.
16. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
17. SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.
18. Příručka obrábění Pramet [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cs-cz/pages/default.aspx>
19. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
20. ANTON, Humár. Technologie I.: Technologie obrábění. Brno, 2003.
21. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. Brno: CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
22. Frézky OFA 32 CNC 6. In: Slovácké strojírny, a.s. [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/tos-celakovice/frezky/ofa-32-cnc-6.aspx>
23. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7
24. Přehled vlastností oceli 42CrMo4 [online]. In: Bolzano.cz. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-zuslechtovani-podle-en-10083-1/prehled-vlastnosti-oceli-42crmo4>
25. KOČMAN, Karel a Jiří PERNIKÁŘ. Ročníkový projekt II – obrábění. Brno, 2002.
26. Prodej zušlechťovací oceli. In: TheSteel.com [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.thesteel.com/cz/jakostni-uslechtila-ocel/zuslechtovaci-ocel/42crmo4-1-7225-1-7227>

27. PPS-250HPA – Pásová pila na kov. In: PromaCZ [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.promacz.cz/pps-250hpa-pasova-pila-na-kov.html>
28. CTX beta 800 TC. In: DMG MORI [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/soustruzeni/soustruzeni-frezovani/ctx-tc/ctx-beta-800-tc>
29. Univerzální hrotová bruska UB 25 CNC. In: TOS Hostivař [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: http://www.toshostivar.cz/ub_25_cnc
30. Nástroje pro obrábění kovů [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/tools.aspx>
31. Vrtáky HSS. In: Hoffmann Group [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Mono-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/Vrt%C3%A1ky-HSS/St%C5%99edic%C3%AD-vrt%C3%A1k-HSS-E-A-bez-povlaku/p/111050-2?Id=934>
32. Speciální frézy. In: M&V [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=10287>
33. Brusné kotouče ploché. In: TECHcentrum [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: [https://www.prodejbrusiva.cz/brusne-kotouce-ploche-tyrolit-a-norton?f\[11\]\[0\]=134&f\[4\]\[0\]=39&page=9](https://www.prodejbrusiva.cz/brusne-kotouce-ploche-tyrolit-a-norton?f[11][0]=134&f[4][0]=39&page=9)
34. Produkty. In: Mitutoyo [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://www.mitutoyo.cz/cs_cz
35. Kalibry na drážky na hřídeli. In: UNIMETRA [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.unimetra.cz/cz/katalog/kalibry-merky-a-sablony/kalibry-drazkove/158-kalibry-na-drazky-na-hrideli.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
BD	břitová destička
BEV	Battery Electric Vehicle
BMS	Battery Managment System
BTA	Boring Trepanning Association
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
ČR	Česká republika
ČSN	česká technická norma
EU	Evropská unie
HB	tvrdost dle Brinella
HRC	tvrdost dle Rockwella
HSS	rychlořezná ocel
IM	asynchronní motor
ISO	mezinárodní norma ISO
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PMSM	synchronní motor
SK	slinutý karbid
STS	Single Tube System
USA	Spojené státy americké
VBD	vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
B_k	[mm]	šířka broušícího kotouče
D	[mm]	průměr obrobku
D_b	[-]	počet břitových destiček na celou sérii
D_{max}	[mm]	maximální průměr obráběné plochy
D_{min}	[mm]	minimální průměr obráběné plochy
D_p	[m]	průměr polotovaru
E_C	[kWh]	spotřeba elektrické energie na 1 ks
L	[mm]	dráha nástroje
L_t	[mm]	celková délka součásti
N_E	[Kč]	náklady na energii
N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu na jedné tyči
P_C	[kW]	příkon stroje

Symbol	Jednotka	Popis
Q_p	[kg]	hmotnost polotovaru
Q_s	[kg]	hmotnost obrobené součásti
R_a	[μm]	aritmetická hodnota drsnosti
Z_m	[kg]	celková ztráta materiálu z jedné tyče
\dot{Z}_b	[min]	životnost bříty
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
f_a	[mm]	axiální posuv brusky
g	[-]	počet chodů frézy
l	[mm]	délka součásti
l_a	[mm]	dráha pohybu v axiálním směru
l_d	[mm]	délka vrtané díry
l_k	[mm]	délka nevyužitého konce
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
n	[min^{-1}]	otáčky
n_b	[-]	počet břitů na VBD
n_f	[min^{-1}]	otáčky frézy
n_p	[-]	počet přířezů z jedné tyče
n_s	[-]	velikost série
n_T	[-]	potřebný počet tyčí
n_w	[min^{-1}]	otáčky obrobku
p_p	[mm]	přídavek na obrábění průměru
q_d	[kg]	ztráta materiálu vzniklá při obrábění
q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce
q_f	[kg]	ztráta materiálu vzniklá dělením tyče na polotovary
t	[min]	čas v záběru
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
t_{celk}	[min]	celkový čas výroby součásti
t_{serie}	[hod]	celkový čas výroby série
$t_{výr}$	[hod]	čas obrábění
u	[mm]	délka průřezu materiálu při dělení polotovaru
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
v_f	[$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	rychlost posuvu
z	[-]	počet drážek obrobku
η	[-]	účinnost stroje
η_m	[%]	využití materiálu
ρ	[$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	hustota materiálu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Trakční charakteristika elektromotoru – podle [7].	10
Obr. 2 Dobíjecí stanice v ČR [9].	11
Obr. 3 Hnací ústrojí elektromobilu – podle [12].	12
Obr. 4 Schéma li-ion baterie [14].	13
Obr. 5 Mapa účinnosti elektromotoru [6]: a) IM, b) PMSM.	14
Obr. 6 Srovnání konstrukce PMSM a IM – podle [6].	15
Obr. 7 Systémy upínání ISO [18].	16
Obr. 8 Revolverová nožová hlava [19].	16
Obr. 9 Univerzální dělicí přístroj [20].	18
Obr. 10 Odvalovací frézka OFA 32 CNC 6 [21].	18
Obr. 11 Středící vrták typ A [20].	20
Obr. 12 Kinematika broušení válcových ploch – podle [21]: a) zapichovací, b) podélné.	21
Obr. 13 Schématický řez elektromotorem.	23
Obr. 14 Hřídel rotoru elektromobilu.	23
Obr. 15 Srovnání rozměrů polotovaru a obrobenej součásti.	25
Obr. 16 Schéma dělení materiálu na přířezy.	25

SEZNAM TABULEK

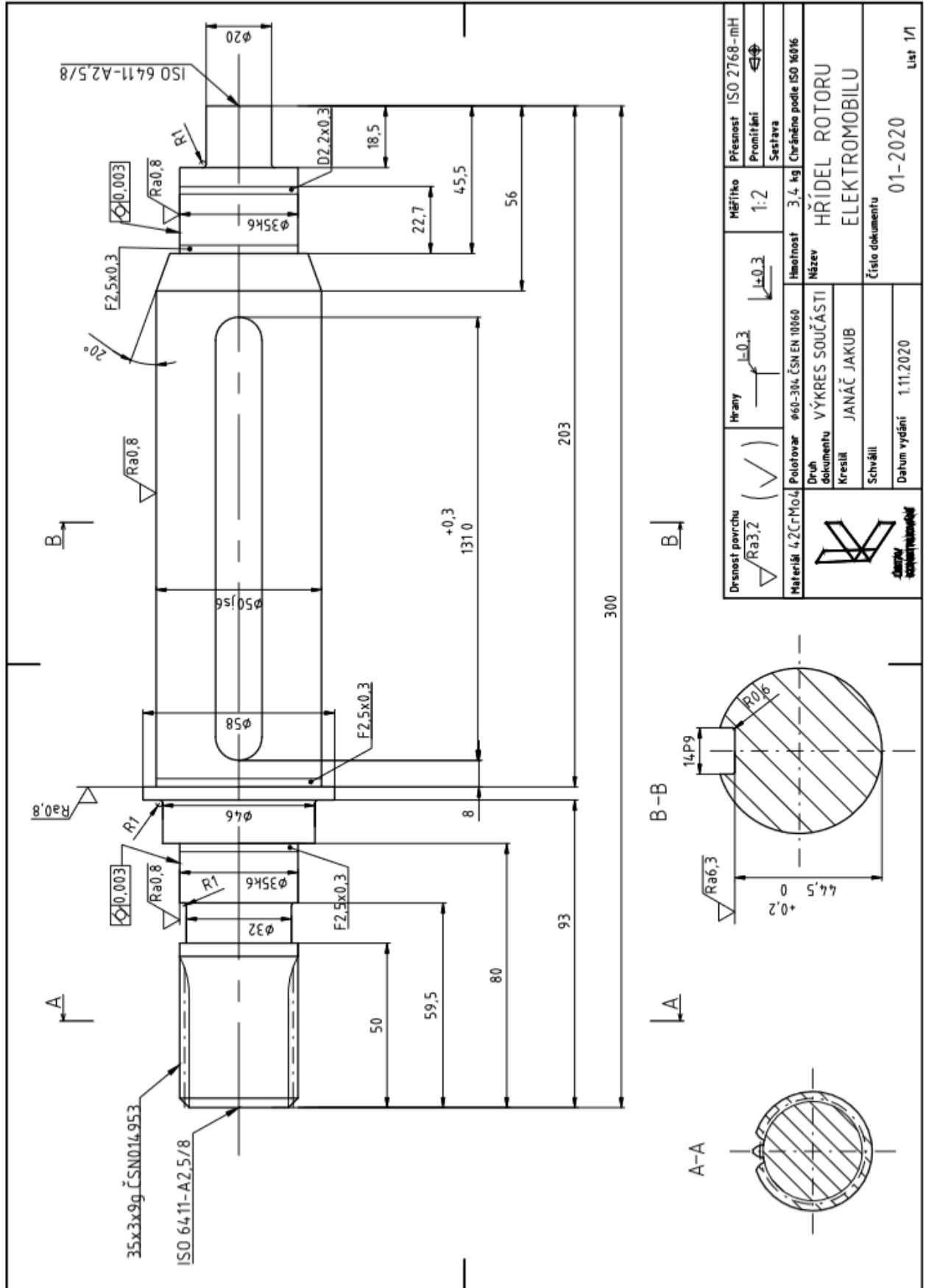
Tab. 1 Prodej elektromobilů v milionech ks – podle [2].	9
Tab. 2 Srovnání spotřeby a cen elektromobilu a běžného automobilu [11].	12
Tab. 3 Vlastnosti oceli 42CrMo4 + Qt [24].	24
Tab. 4 Tabulka spotřeby materiálu.	27
Tab. 5 Seznam nástrojů [27, 30, 31, 32, 33].	28, 29
Tab. 6 Seznam měřidel [34, 35].	30
Tab. 7 Výrobní postup.	31, 32
Tab. 8 Výrobní návodka – operace 1/1; 2/2.	33
Tab. 9 Výrobní návodka – operace 4/4.	34
Tab. 10 Výrobní návodka – operace 5/5.	35
Tab. 11 Jednotkové strojní časy.	36
Tab. 12 Spotřeba elektrické energie [27, 28, 29].	37
Tab. 13 Spotřeba nástrojů [30, 31].	38
Tab. 14 Celkové náklady.	39

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti – hřídel rotoru elektromobilu
Příloha 2	Přehled vlastností oceli 42CrMo4
Příloha 3	Parametry stroje PROMA PPS-250HPA
Příloha 4	Parametry stroje CTX beta 800 TC
Příloha 5	Parametry stroje OFA 32 CNC 6
Příloha 6	Parametry stroje UB 25 CNC

PŘÍLOHA 1

Výkres součásti – hřídel rotoru elektromobilu



PŘÍLOHA 2

Přehled vlastností oceli 42CrMo4

Přehled vlastností oceli 42CrMo4 (42CrMoS4)										1.7225 (1.7227)							
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování																
TDP	ČSN EN 10083-3: 2007																
Dřívější označení	42CrMo4 (42CrMoS4) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 42CrMo4 (42CrMoS4) podle DIN 17200, 15 142 podle ČSN																
Použití	Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Do průměru 100 mm lze po zušlechťení docílit pevnosti nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Není náchylná k popouštění křehkosti. Kalí se do méně razantního kalicího prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalicích trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používaným oceli k zušlechťování.																
Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr	Mo	Ni	V								
	0,38 – 0,45	max. 0,40	0,60 – 0,90	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-								
Složení hotového výrobku ²⁾	0,36 – 0,47	max. 0,43	0,56 – 0,94	max. 0,030	max. 0,040	0,85 – 1,25	0,12 – 0,33	-	-								
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. ³⁾	Průměr mm		R _m min. MPa	R _m MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J							
	d ≤ 16		900	1100 - 1300		10		40		-							
	16 < d ≤ 40		750	1000 - 1200		11		45		35							
	40 < d ≤ 100		650	900 - 1100		12		50		35							
	100 < d ≤ 160		550	800 - 950		13		50		35							
160 < d ≤ 250		500	750 - 900		14		55		35								
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost			Žháno na měkko				Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)									
	HB max. 255			HB max. 241				HRC min. 53									
Prokalitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm																
	Tvrdost v HRC																
	Mez		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
	+H	max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
		min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29
	+HH	max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
min.		56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34	
+HL	max.	58	58	58	57	56	54	53	51	49	46	44	42	41	40	40	
	min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29	

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)

Křivky prokalitelnosti

Technologické vlastnosti							
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C						
Teplné zpracování	Normalizační žhání °C	Žhání na měkko °C	Isotermické žhání °C	Teplota kalení °C	Kalicí prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C
	850 až 880	680 až 720	800 až 900 670 - 3 hod.	820 až 860	olej nebo voda	540 až 680	850 ± 5
Obrobitelnost	Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.) Jako kalicí prostředí se s ohledem na náchylnost ke kalicím trhlinám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovových) přispívá normalizační žhání před zušlechťením. Body přeměny : Ac ₁ = 745°C, Ac ₂ = 790°C, Ms = 300°C						
Stříhatelnost	Obrábí se ve stavu žháném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazují ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žháném a dokončí po zušlechťení. Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žhává nebo řízeně vychlazuje.						

¹⁾ obsah síry u oceli 42CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žháném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.

R_m – mez kluzu, R_m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L₂ = 5,65·S₂), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

⁵⁾ +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH - zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

PŘÍLOHA 3:

Parametry stroje PROMA PPS-250HPA



Technická data:

Příkon	1100 W
Příkon 2	1500 W
Napětí	400 V
Řezná rychlost	35/70 m/min.
Max.řezaný průměr	245 (90°), 190 (45°), 130 (60°), 190 (45°L) mm
Max.řezaný materiál (š x v) při 90°	320 x 195 mm
Max.řezaný materiál (š x v) při 60°	130 x 125 mm
Max.řezaný materiál (š x v) při 45°	180 x 140 mm
Max.řezaný materiál (š x v) při 45°L	200 x 140 mm
Rozměr pásu	2 680 x 0,9 x 27 mm
Řezání pod úhlem	90°, 60°, +/- 45°
Chlazení	Ano

Váhy a míry:

Celková váha včetně obalu	394.0 kg
Čistá váha	331.0 kg
Šířka/Výška/Hloubka	177 / 163 / 76 cm

PŘÍLOHA 4:

Parametry stroje CTX beta 800 TC



Pracovní prostor

Max. průměr soustružení	500 mm
Max. délka soustružení	800 mm
Max. vzdálenost mezi středy	1 020 mm

Hlavní vřeteno

Integrovaný motor vřetena s osou C (0,0001°)	5 000 ot/min
Výkon pohonu (100 % DC)	33 kW (AC)
Krouticí moment (100 % ED)	580 Nm
Max. pracovní průměr použité tyčoviny	102 mm

Frézovací vřeteno soustruhu

Max. otáčky frézovacího vřetena soustruhu	20 000 ot/min
Krouticí moment (100 % ED)	87 Nm

Osa B

Rozsah naklápění osy B	220.0 °
------------------------	---------

Zásobník nástrojů

Max. počet nástrojových pozic	80 Kapsy
Max. průměr nástroje	120 mm

Smykadla protivřetena

Pohyb X / Y / Z	480 [+470, -10] / ±100 / 845 mm
Vysoká rychlost pohybu X/Y/Z	36 / 40 / 40 m/min

Rozměr stroje

Podlahová plocha včetně dopravníku třísek, bez jednotky vnitřního chlazení	10,2 m ²
--	---------------------

PŘÍLOHA 5:

Parametry stroje OFA 32 CNC 6

Frézky OFA 32 CNC 6



Užití stroje

Svislá odvalovací frézka na ozubení OFA 32 CNC 6 je určena pro frézování ozubených kol čelních s přímými i šikmými zuby, řetězových kol, šnekových kol frézovaných radiálním i tangenciálním způsobem, ozubených kol s podélnou modifikací, drážkových hřídelí a jiných druhů ozubení frézovaných odvalovacím způsobem.

Moderní konstrukce s vymezením vůlí frézovacího suportu a stolu umožňuje frézování kalených kol a rychlostní frézování nekalených kol tvrdokovovými nástroji. Stroj je vhodný pro sériovou i kusovou výrobu. Obsluha, seřizování a údržba stroje jsou řešeny tak, aby byly jednoduché, rychlé a bezsilově ovládané. Automatický pracovní cyklus stroje a případně vybavení stroje zásobníkem obrobků umožňuje vícestrojovou obsluhu. V základním provedení je stroj vybaven řídicím systémem Sinumerik 840 D sl a pohony od firmy Siemens. Má šest řízených os.

Technické parametry

Max. modul frézovaného ozubení 7 mm

Max. Ø frézovaného ozubení 320 mm

Min. počet zubů frézovaného kola 3

Max. úhel natočení suportu $\pm 45^\circ$

Max./min. vzdálenost osy nástroje:

od osy stolu 300/40 mm

od plochy stolu 505/205 mm

Max. Ø nástroje 160 mm

Max. délka nástroje 220 mm

Rozsah otáček nástroje 71-700 min⁻¹

Výkon hlavního motoru 12 kW

Pracovní posuv - axiální 1-1 000 mm.min⁻¹

Pracovní posuv - radiální 0,5 -1 000 mm.min⁻¹

Pracovní posuv - tangenciální 0,25 -1 000 mm.min⁻¹

Rychloposuv - axiální 2 000 mm.min⁻¹

Rychloposuv - radiální 3 000 mm.min⁻¹

Rychloposuv - tangenciální 2 000 mm.min⁻¹

Celkový příkon 45 kVA

Rozměry - délka 4 213 mm

Rozměry - šířka 3 150 mm

Rozměry - výška 2 126 mm

Rozměry - výška s odlučovačem 2 800 mm

Hmotnost 8 000 kg

PŘÍLOHA 6:

Parametry stroje UB 25 CNC



Vzdálenost mezi hroty	630; 1 000 mm
Max. průměr broušeného válce	250 mm
Minimální krok osy X	0,001 mm
Minimální krok osy Z	0,005 (0,001) mm
Obvodová rychlost brousícího kotouče	25 - 45 m/s
Max. hmotnost obrobku mezi hroty	80 kg
Max hmotnost obrobku vč. upínače - letmé upnutí	25 kg
Průměr brousícího kotouče	400 mm
Pohon vřetene brousícího vřeteníku	4 kW
Řídicí systém CNC	Siemens Sinumerik 840D sL nebo Kavalir K 51-2