VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VRTACÍHO RAMENA PRO OBRÁBĚCÍ STROJ
DESIGN OF DRILLING ARM FOR MACHINE-TOOL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Dominik Štancl**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Milan Kalivoda**
SUPERVISOR

BRNO 2020

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Dominik Štancl**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok:	2019/20

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:

Návrh vrtacího ramena pro obráběcí stroj

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vrtací rameno je doplněk obráběcího stroje, což umožňuje při jeho vhodné konstrukci dostupnost do obtížněji přístupných míst kontury obráběného dílce.

Cíle bakalářské práce:

– Přehled technologie vrtání
– Rozšíření možností obráběcího stroje
– Konstrukční návrh vrtacího ramena
– Rozbor vlivu změny rozměrů na výslednou tuhost
– Zhodnocení funkčnosti pro vytipovaný stroj

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.

FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.

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

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

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.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva Šmehlíková. Speciální technologie tváření, 2. část. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2011. 163 s. ISBN 987-80-214-4406-5.

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

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

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 konstrukčním návrhem a deformační analýzou reálné konstrukce, která je doplňkem obráběcího stroje. Úvodní část se věnuje teorii technologie vrtání a rozšíření možností obráběcího stroje pro tuto metodu obrábění. Další část obsahuje konstrukční návrh vrtacího ramena a následnou analýzu v programu ANSYS pro ověření, zda konstrukce splňuje dané požadavky. V závěru je posouzen vliv změny rozměrů ramena na výslednou tuhost a jeho funkčnost.

Klíčová slova

vrtání, vrtací rameno, obráběcí stroj, vrták, obrábění

ABSTRACT

The thesis deals with the design and deformation analysis of the real construction, which is a complement to the machine tool. The introductory part is devoted to the theory of drilling technology and extension of machine tool possibilities for this method of machining. The next section contains the design of the drill arm and the subsequent analysis in ANSYS to verify that the structure fulfill the requirements. At the end, the effect of changing the dimensions of the arm on the resulting rigidity and its functionality is assessed.

Keywords

drilling, drilling arm, machine tool, drill, machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠTANCL, Dominik. *Návrh vrtacího ramena pro obráběcí stroj.* Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 35 s. 6 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

ŠTANCL, Dominik. *Návrh vrtacího ramena pro obráběcí stroj* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-práce/detail/124368. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 35 s. 6 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh vrtacího ramena pro obráběcí stroj vypracoval samostatně s pomocí vedoucího práce a použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25. 6. 2020

Datum

Dominik Štancl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za ochotu, cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě SKM Litomyšl, konkrétně Ing. Rostislavu Dlouhému za důležité podklady k vypracování konstrukčního návrhu vrtacího ramena.

Na závěr bych poděkoval rodičům za podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT 3
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 9
1 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ 10
1.1 Vrtání 10
1.1.1 Průřez třísky 11
1.1.2 Řezné síly 11
1.1.3 Jednotkový strojní čas 12
1.2 Vrtací nástroje 13
1.2.1 Šroubovité vrtáky 13
1.2.2 Kopinaté vrtáky 14
1.2.3 Vrtáky s vyměnitelnou špičkou 14
1.2.4 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami 15
1.2.5 Dělové a hlavňové vrtáky 15
1.2.6 Ejektorové vrtáky 16
1.2.7 BTA a STS vrtáky 16
1.3 Vyhrubování, vystružování, zahlubování 17
1.3.1 Vyhrubování 17
1.3.2 Vystružování 17
1.3.3 Zahlubování 18
1.4 Vrtačky 19
1.4.1 Stolní vrtačky 19
1.4.2 Sloupové vrtačky 19
1.4.3 Stojanové vrtačky 20
1.4.4 Otočné vrtačky 20
2 ROZŠÍŘENÍ MOŽNOSTÍ OBRÁBĚCÍHO STROJE 21
2.1 Rozšíření obráběcích strojů pro třískové obrábění 21
2.1.1 Vodorovné vyvrtávací stroje 21
2.1.2 Obráběcí centra 22
2.2 Příslušenství obráběcích strojů pro třískové obrábění 22
2.2.1 Frézovací hlavy 22
2.2.2 Vrtací ramena 23

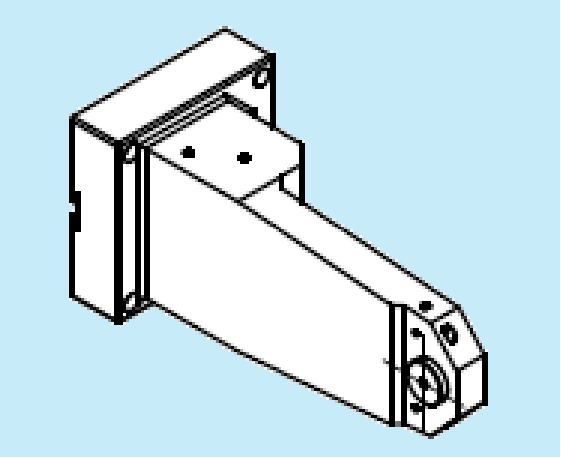
3 NÁVRH VRTACÍHO RAMENA 24
3.1 Konstrukce vrtacího ramena 24
3.1.1 Těleso ramena 24
3.1.2 Vnitřní komponenty 25
3.2 Návrh ramena o požadované délce 26
3.2.1 Deformační analýza 26
3.3 Návrh ramena o kratší délce 27
3.3.1 Výsledná deformace 28
3.4 Výsledné konstrukční řešení 28
ZÁVĚR 30
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 31
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 33
SEZNAM PŘÍLOH 35

ÚVOD

Speciální vrtací rameno je doplněk obráběcího stroje, který při vhodné konstrukci umožňuje obrábění děr v místech s omezenou dostupností. Vrtací rameno může být navrženo tak, aby jej bylo možné nasadit na horizontální vyvrtávací centra, nebo může být dodáno spolu s pohonným vřeteníkem. Hlavní problém u vrtacích ramen nastává, pokud není dostatečně zohledněna tuhost s ohledem na rozměry ramena, což způsobí nežádoucí průhyb ramena a s tím související výrobní nepřesnosti při vrtání. Při návrhu je nutné počítat i s případným rozkmitáním částí vrtacího ramena, které má také vliv na přesnost vrtání.

Vrtací rameno, kterým se téma zabývá, je doplňkem horizontálního vyvrtávacího stroje. Konstrukční návrh tohoto ramena vychází ze zadané výkresové dokumentace (příloha 1) a je vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional. Spolu s návrhem je řešena jeho tuhost v místě vrtání vzhledem k rozměrům ramena. K deformační analýze, tedy rozboru vlivu změny rozměrů nebo druhu materiálu na výslednou tuhost vrtacího ramena a ověření, zda konstrukce splňuje dané požadavky ze zadání, použijeme simulační program ANSYS.

Dle zadání by navržené rameno (obr. 1) mělo být schopné dosáhnout ideálně do délky 430 mm. S požadavkem na zaručenou přesnost a produktivitu obrábění souvisí také tuhost ramena. Při maximálním zatížení silou o hodnotě 1000 N v místě vrtání se rameno nesmí prohnout o více než 0,025 mm. Další parametry, které by mělo rameno splňovat jsou v příloze 2. Výsledkem je poté funkční doplněk stroje pro třískové obrábění.



Obr. 1 Řešená součást.

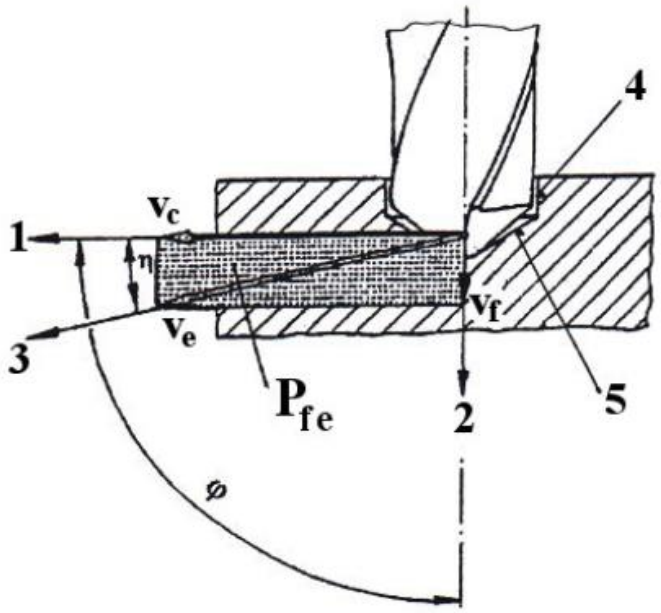
1 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ

Technologie vrtání je pojem, který zahrnuje téměř všechny způsoby obrábění, které se používají pro zhotovování válcových děr. Tento pojem zahrnuje obráběcí metody, mezi které patří vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování. Tyto metody využívají při obrábění zpravidla vícebřité nástroje, které ovlivňují obrobený povrch [1, 2].

1.1 Vrtání

Vrtání je výrobní metoda, při které se zhotovují díry do plného materiálu, nebo se zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, předkované atd.). Obrábění vnitřních rotačních ploch je zpravidla prováděno dvoubřitým nástrojem [1, 2, 3].

Z hlediska kinematiky je hlavní pohyb rotační a obvykle ho vykonává nástroj, v tomto případě vrták. Posuvový (vedlejší) pohyb koná rovněž nástroj a je přímočarý, ve směru osy nástroje. Řezný pohyb je realizován po šroubovici. Osa vrtáku je kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Kinematika vrtacího procesu je znázorněna na obr. 2 [1, 2, 3].

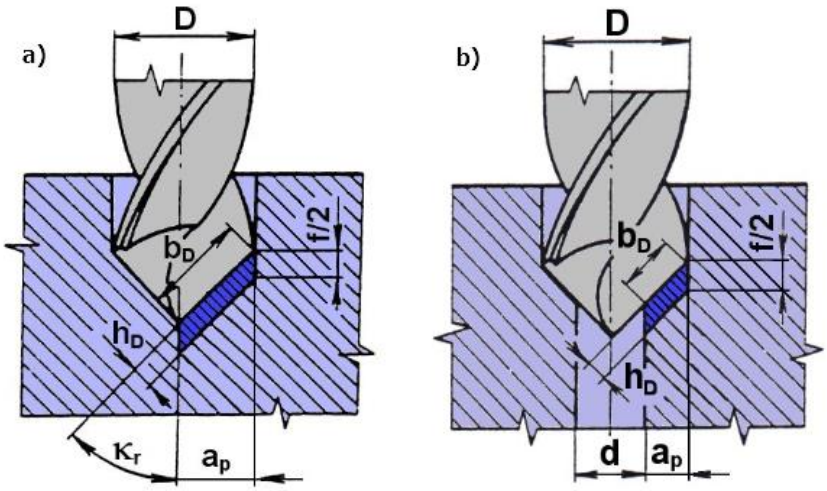


Obr. 2 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovitým vrtákem,
1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr posuvového pohybu, 3 – směr řezného pohybu, 4 – obrobená plocha, 5 – přechodová plocha, v_c – řezná rychlost, v_f – posuvová rychlost, v_e – rychlost řezného pohybu, P_{fe} – pracovní boční rovina, φ – úhel posuvového pohybu, η – úhel řezného pohybu [2].

Charakteristickou vlastností pro všechny nástroje na zhotovení děr je, že se řezná rychlost podél hlavního ostří, ve směru od obvodu ke středu nástroje, zmenšuje, jinými slovy má v ose nástroje nulovou hodnotu. Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na jmenovitém (největším) průměru nástroje. Při vrtání šroubovitým vrtákem je obvykle řezná rychlost výrazně vyšší než rychlost posuvová. Řezná rychlost při vrtání je závislá na průměru a otáčkách vrtáku. Vztahy pro výpočty rychlostí jsou uvedeny v příloze 3 [1, 2, 3].

1.1.1 Průřez třísky

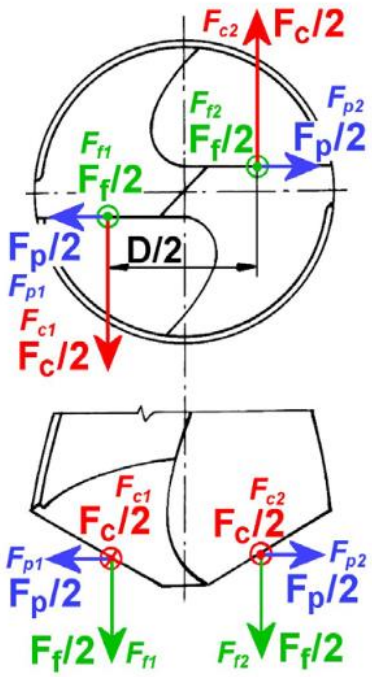
Kromě rychlostí se u vrtání také určují parametry průřezu třísky, a to jak při vrtání do plného materiálu nebo předvrtané díry, tak pro obrábění jednobřitým nebo vícebřitým vrtákem. Parametry průřezu třísky pro základní případy vrtání jsou zobrazeny na obr. 3. Vztahy pro výpočet jednotlivých parametrů jsou v příloze 4 [3].



Obr. 3 Průřez třísky při vrtání dvoubřitým šroubovitým vrtákem [3]:
a) do plného materiálu, b) do předvrtané díry

1.1.2 Řezné síly

Při vrtání standardním vrtákem se materiál od sebe odděluje současně dvěma břity nástroje, které jsou symetricky postaveny vůči jeho ose. Součtem nebo rozdílem hodnot se získají výsledné síly na obou břitech nástroje. Rozložení řezných sil na nástroji je znázorněno na obr. 4 [3].



Obr. 4 Řezné síly při vrtání [3].

Pokud je vrták správně a přesně naostřen, jsou síly na obou břitech shodné, tudíž síla na jednom břitu je rovna polovině výsledné síly a pro výslednou pasivní sílu platí, že je nulová. Lze tak stanovit jednotlivé síly (odpory) pro celý nástroj a také krouticí moment k ose vrtáku. Vztahy pro výpočet řezných sil a krouticího momentu jsou v příloze 5 [3].

1.1.3 Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas při vrtání se na základě obr. 5 vyjádří vztahem (1.22) [5]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \,.\, f} \tag{1.22}$$

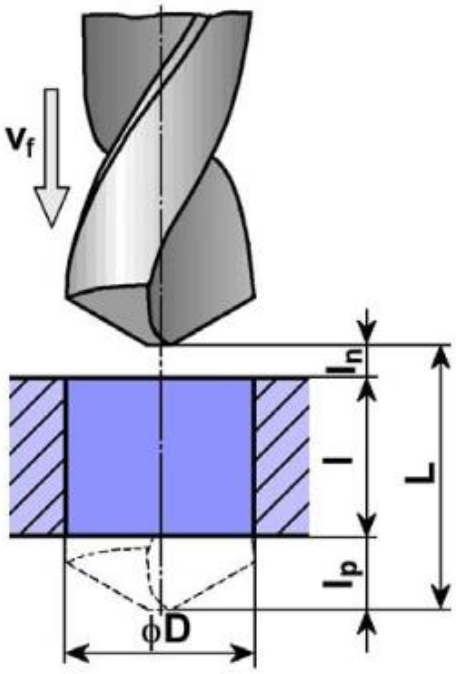
kde: t_{AS} [min] – jednotkový strojní čas,

L [mm] – dráha vrtáku ve směru posuvu,

l_n [mm] – délka náběhu,

l [mm] – délka vrtané díry,

l_p [mm] – délka přeběhu.



Obr. 5 Dráha nástroje [3].

Hodnoty délky náběhu a délky přeběhu se volí co nejmenší, aby strojní čas byl co nejkratší a tím se vyrobilo co nejvíce kusů za jednotku času. Pro standardní vrtáky, které mají úhel špičky $2\kappa_r = 118°$, je délka přeběhu $l_p = 0{,}3D + (0{,}5 \div 1{,}0)$ mm a délka náběhu $l_n = (0{,}5 \div 1{,}0)$ mm [3, 5].

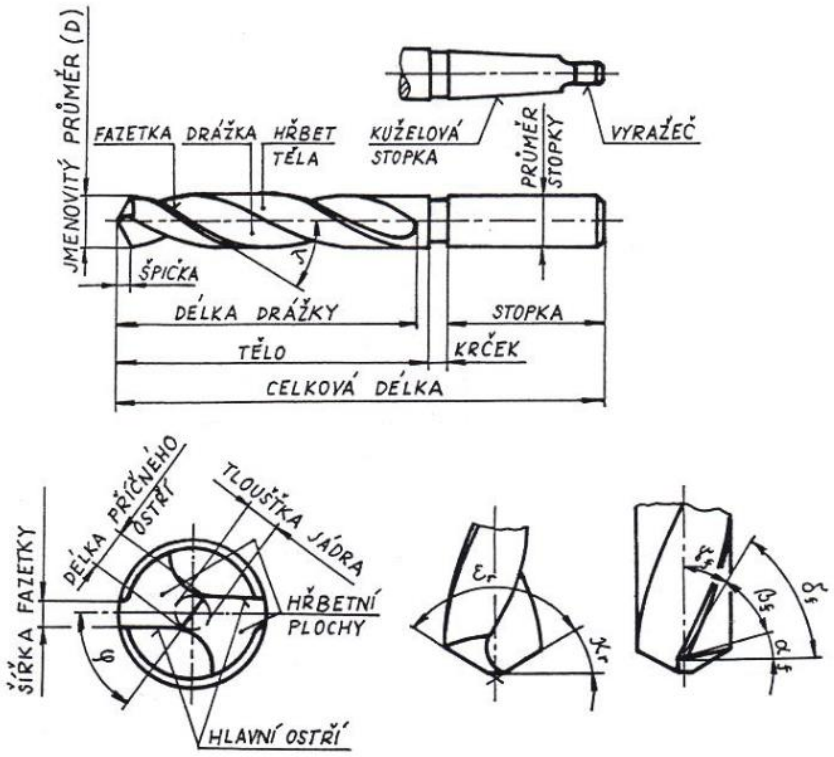
Při výpočtu jednotkového strojního času pro vyhrubování, vystružování a zahlubování se postupuje analogicky [5].

1.2 Vrtací nástroje

Nástroj, který umožňuje vrtání, se nazývá vrták a používá se k vrtání průchozích, neprůchozích, válcových a kuželových děr, a to jak do plného materiálu, tak i do předpracovaných. Vrtáky lze dělit do několika různých skupin, a to podle technologie a druhu vrtání, konstrukce a geometrie nástroje [1, 3, 6].

1.2.1 Šroubovité vrtáky

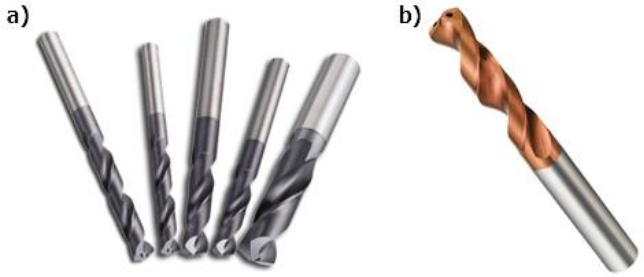
Šroubovité vrtáky jsou v současnosti nejrozšířenějším a nejčastěji používaným nástrojem na vrtání krátkých děr. Jedná se o dvoubřité rozměrové nástroje, které se používají k vrtání děr do plného materiálu nebo k předvrtání děr pro další operace jako vyhrubování, vystružování a zahlubování. Na válcovitém těle vrtáku jsou vytvořeny dvě protilehlé šroubovité drážky, které slouží pro odvod třísky a přívod chladicí kapaliny. Válcové tělo tvoří také dvě šroubovitá žebra, která jsou na vnější části odlehčena tak, že vytváří malou vodicí fazetku a jsou spojena jádrem. Tloušťka jádra se mírně zvětšuje směrem ke stopce. Za účelem snížení tření mezi vrtákem a vrtanou dírou se jeho tělo mírně kuželovitě zužuje směrem ke stopce. Přes kuželovou stopku, která je samosvorná, se přenáší řezný moment. Stopka je na konci zploštělá, což usnadňuje vyražení vrtáku z vřetene. Základní části šroubovitého vrtáku jsou zobrazeny na obr. 6 [2, 3, 6].



Obr. 6 Šroubovitý vrták [2].

Vrtáky pro běžné použití, tedy vrtáky pro vrtání ocelí a litin běžných pevností a tvrdosti, mají úhel stoupání šroubovice 27°±5°. Vrtáky pro vrtání materiálů s vysokou houževnatostí (např. měkké cementační oceli nebo slitiny hliníku bez přísady křemíku) mají úhel stoupání šroubovice větší, a to 42°±5°. Pokud se vrtají tvrdší materiály (např. bronz, mosaz, slitiny hořčíku), používá se vrták s úhlem stoupání 12°±5°. Úhel špičky u běžného šroubovitého vrtáku má hodnotu $\varepsilon_r=2\kappa_r=118°$, pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů 140° a pro vrtání plastů 90° [3, 6].

Nejčastěji se šroubovité vrtáky vyrábí z rychlořezných ocelí (RO). Pro těžší obráběcí podmínky se používají vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů (dále jen SK), vrtáky z monolitních SK bez povlaků nebo také vrtáky na bázi nitrid titanu (TiN) s otěruvzdornými povlaky (obr. 7). Tyto vrtáky se vyrábí i v provedení se třemi břity [2, 3, 6].



Obr. 7 Šroubovité vrtáky ze SK od firmy Sandvik [7]: a) bez povlaku, b) s povlakem.

1.2.2 Kopinaté vrtáky

Kopinaté vrtáky jsou velmi tuhé a umožňují do poměru délky k průměru L/D=3/1 vrtat díry O/10 až O/128 mm bez předvrtání. Nástrojový úhel hlavního ostří je obvykle 66° a na obou hlavních hřbetech jsou vybroušeny dělicí drážky pro dělení odebírané třísky. Většina vrtáků má vnitřní přívod procesní kapaliny. Vyměnitelné břitové destičky kopinatých vrtáků mají speciální tvar, jsou vyrobeny z nástrojové uhlíkové oceli, RO nebo SK a na jejich hlavních hřbetech jsou fazetky pro snížení tření v díře. Nevýhodou kopinatých vrtáků je, že parametry drsnosti povrchu vrtané díry jsou horší než po vrtání šroubovitým vrtákem [3, 6].

1.2.3 Vrtáky s vyměnitelnou špičkou

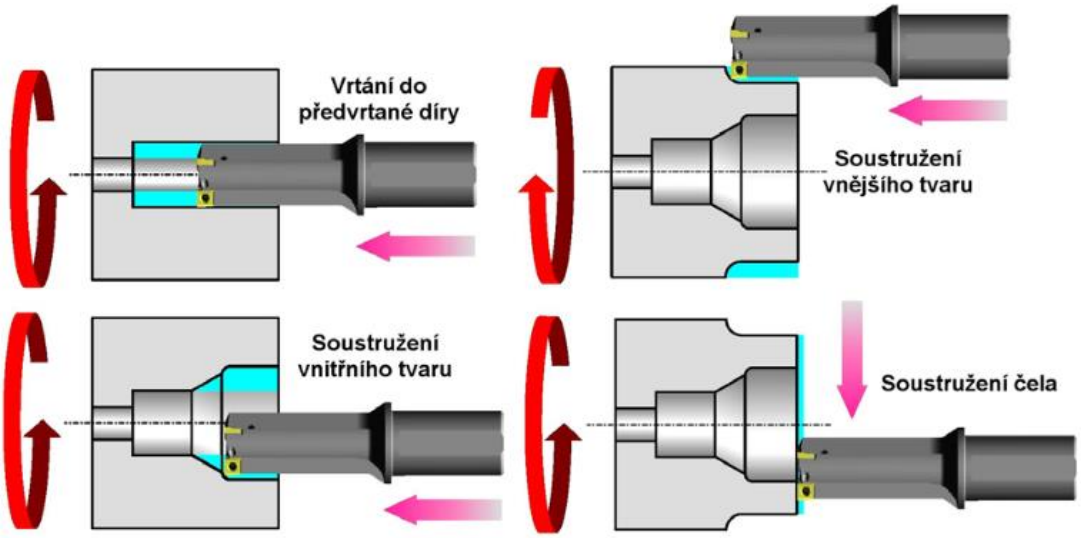
Tyto vrtáky se vyrábějí ve dvou konstrukčních provedeních, a to ve formě břitové destičky nebo hlavice (obr. 8). Přívod procesní kapaliny je v některých případech umožněn přímo do místa řezu. Špičky, tedy břitové destičky a hlavice, se zpravidla vyrábějí ze SK. Podle obráběného materiálu a požadavků technologické operace mají hlavice různou geometrii [3].

Obr. 8 Vrták s vyměnitelnou hlavicí od firmy Sandvik [7].

1.2.4 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

Vyměnitelné břitové destičky ze SK jsou v tělese vrtáku upnuty pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou (obr. 9). Obvodové destičky jsou někdy vyrobeny z materiálu s vyšší odolností proti opotřebení, protože řezná rychlost podél hlavního ostří vrtáku není konstantní. Trvanlivost středových i obvodových destiček je pak stejná a díky tomu jsou všechny destičky vyměňovány současně. Břitové destičky mají velmi rozmanité tvary a velikosti z důvodu zlepšení nepříznivých pracovních podmínek při vrtání. Prakticky všechny vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou vybaveny centrálním přívodem procesní kapaliny a většina z nich může být použita také pro soustružení válcových a čelních rovinných ploch (obr. 10) [1, 3].

Obr. 9 Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami od firmy Sandvik [7].



Obr. 10 Pracovní možnosti vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami [3].

1.2.5 Dělové a hlavňové vrtáky

Pro vrtání hlubokých děr se používají dělové a hlavňové vrtáky. Řezná část je z RO, SK, nebo jsou na vrtáku připájeny nebo upnuty břitové destičky. Dírami v tělese vrtáku je přiváděna procesní kapalina. Pokud se vrtá dělovými nebo hlavňovými vrtáky, obrábí se na speciálně upravených soustruzích [3, 6].

Dělové vrtáky se používají pro menší hloubky, protože třísky se obtížně odstraňují a vrták se musí vždy po vyvrtání určité hloubky vytáhnout. Dělový vrták vyžaduje dokonalé vedení nebo předvrtání šroubovitým vrtákem, protože často při vrtání rozšiřuje díru, protože jeho řezné úhly nejsou optimální. U jednobřitých vrtáků je hlavní břit kolmý na osu vrtáku (obr. 11) [3, 6].

Obr. 11 Jednobřitý dělový vrták firmy Winter servis [9].

Hlavňové vrtáky se používají pro vrtání děr menších průměrů. Třísky se vyplavují vnější drážkou v prostoru mezi stěnou drážky a povrchem vrtané díry (příloha 6). Charakteristické pro hlavňové vrtáky jsou vodítka, která umožňují dobré vedení nástroje a tím lze dosáhnout do poměrně velké vrtané délky [3, 6, 8].

1.2.6 Ejektorové vrtáky

Ejektorový vrták se skládá z vrtací hlavice (obr. 12), která je našroubovaná do vnější vrtací trubky a používá se při vrtání hlubokých děr do plna. Pomocí ejektorových vrtáků lze vrtat díry O/20 až O/60 mm. Procesní kapalina je přiváděna vnitřkem trubky, stejným způsobem jsou odváděny třísky, které jsou podtlakem odsávány z přední části vnitřní trubky i se zbytkem kapaliny (příloha 6). Ejektorové vrtání se provádí na soustruzích a horizontálních nebo vertikálních vyvrtávačkách [1, 3, 6, 8].

Obr. 12 Vrtací hlavice ejektorového vrtáku firmy Winter servis [9].

1.2.7 BTA a STS vrtáky

Pro vrtání hlubokých děr větších průměrů slouží BTA a STS vrtáky (obr. 13). Lze s nimi vyvrtat větší díry než ejektorovými nebo hlavňovými vrtáky. Při vrtání do plného materiálu lze vyvrtat díru až do O/180 mm. Díky své tuhosti je pro vrtání velmi hlubokých děr nejlepší STS vrták. V příloze 6 lze vidět charakteristický znak BTA a STS vrtáků, vnější přívod kapaliny a vnitřní odvod třísek. Kapalina se přivádí mezi trubkou a vnitřní stěnou díry a třísky se vyplavují středem vnitřkem trubky. Z tohoto důvodu musí být tlaková hlava pro přívod procesní kapaliny utěsněna z obou stran. Mezi velké výhody této metody vrtání patří lepší kvalita opracování díry, vyšší posuvové rychlosti, minimální chvění a vibrace nebo delší dosažitelné délky vrtání [1, 3, 6, 8].

Obr. 13 BTA vrták od firmy Winter servis [9].

1.3 Vyhrubování, vystružování, zahlubování

Po vrtání se používají další obráběcí operace za účelem zvýšení výsledné kvality vyrobené díry při vyšších požadavcích, protože vyvrtaná díra má většinou špatné geometrické parametry. Mezi tyto operace patří vyhrubování, vystružování a zahlubování. Pro dosažení vyšší kvality parametrů obráběných děr se využívají analogické pohyby nástroje jako u vrtání [2, 3].

1.3.1 Vyhrubování

Vyhrubování se používá u děr s průměrem vyšším než 10 mm. Po vyhrubování musí vždy následovat vystružování, takže vyhrubování není konečnou obráběcí operací. Vyhrubováním se zpřesňují geometrické parametry obráběné díry nebo se vytváří rovnoměrný přídavek pro vystružování. Dle druhu obráběného materiálu, konstrukce nástroje a požadované kvalitě díry se volí příslušné přídavky pro vyhrubování. Kinematika řezného procesu je analogická jako při vrtání [2, 3, 6].

Nástroje pro vyhrubování se nazývají výhrubníky (obr. 14) a obvykle mají tři až čtyři břity, což umožňuje obrábění několika břity současně. Výhrubníky zlepšují přesnost vyvrtaných děr a jejich tvar. Výhrubníky se vyrábí s kuželovou stopkou (do O/32 mm), pro větší rozměry výhrubníků (od O/24 mm) to jsou výhrubníky nástrčné. Zuby jsou obvykle frézované, s pravou šroubovicí s úhlem sklonu 10°. Pro lepší odvod třísek je výhodnější menší počet zubů, naopak větší počet zubů umožňuje lepší vedení výhrubníku v díře. Řezná část je vyrobena z RO a břity ze SK [2, 3, 6].

Obr. 14 Výhrubník od firmy Sandvik [7].

1.3.2 Vystružování

Vystružování je dokončovací operace, která následuje po vyhrubování nebo po vrtání děr do O/10 mm, které se již nevyhrubují. Slouží pro výrobu přesných děr s předepsanými geometrickými parametry a drsností povrchu. U vystružování se musí dbát na to, aby přídavek nebyl příliš malý, jinak by nástroj obráběný materiál neodřezával, ale pouze vytlačoval. To by vedlo k tomu, že vytvořená díra by neměla požadovaný tvar a drsnost povrchu [2, 3, 6].

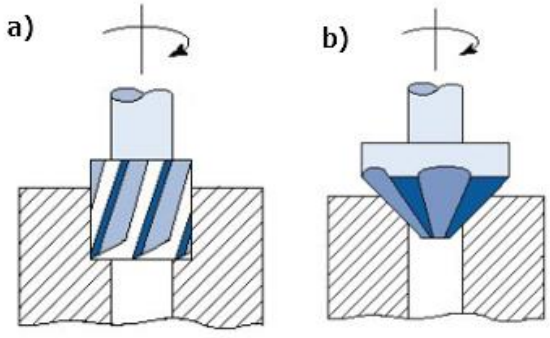
Pro vystružování se používají nástroje zvané výstružníky, jejichž počet zubů je vyšší než u výhrubníků, jak lze vidět na obr. 15, a odvíjí se od průměru nástroje (4 až 18 zubů). Zuby jsou přímé nebo ve šroubovici, s úhlem stoupání 5° až 20°. Výstružníky s přímými zuby mají obvykle nerovnoměrnou rozteč, to zajišťuje dobrou kruhovitost díry a kvalitu jejího povrchu. Výstružníky se dělí podle způsobu práce na ruční a strojní a podle způsobu upínání na stopkové a nástrčné. Hlavní rozdíl mezi strojními a ručními výstružníky je v délce břitu a velikosti řezné části [2, 3, 6].

Obr. 15 Výstružník od firmy Sandvik [7].

1.3.3 Zahlubování

Zahlubování je dokončovací operace, která se uplatňuje při obrábění souosého válcového nebo kuželového zahloubení děr pro válcové nebo kuželové hlavy zapuštěných šroubů, nebo ke sražení hrany vrtané díry. Způsoby zahlubování jsou znázorněny na obr. 16 [2, 3, 6].

Nástroje pro zahlubování, které se nazývají záhlubníky, lze rozdělit na válcové, ploché a kuželové. Válcové a ploché záhlubníky mají vodicí čep, který vede záhlubník v předvrtané díře. Kuželové záhlubníky vodicí čep nemají, protože jsou samostředné (obr. 17). Jsou to vícebřité nástroje (obvykle mají 4 břity), zuby se vyrábí frézováním a mohou být přímé nebo v pravé šroubovici. Řezná část je vyrobena z RO, případně SK, nebo je tvořena vyměnitelnými břitovými destičkami rovněž z SK [2, 3, 6].



Obr. 16 Způsoby zahlubování [2]: a) válcové, b) kuželové.

Obr. 17 Základní druhy záhlubníků [3]: a) válcový, b) kuželový.

1.4 Vrtačky

Vrtací stroje, které jsou určeny pro obrábění děr zplna nebo již předvrtaných děr, se nazývají vrtačky. Kromě vrtání se na nich provádí také operace jako vyhrubování, vystružování, zahlubování a řezání závitů. Velikost vrtaček je charakterizována maximálním průměrem díry, kterou lze na vrtačce vrtat zplna do oceli o pevnosti 600 až 700 MPa. Vrtačky se dle konstrukce dělí na stolní, sloupové, stojanové, otočné (radiální) a speciální [2, 3, 10, 11].

1.4.1 Stolní vrtačky

Stolní vrtačky (obr. 18) se vyrábějí pro vrtání děr od O/6 až O/20 mm a mají jednoduchou konstrukci. Vřeteník s uloženým elektromotorem se posouvá po krátkém sloupu, takže lze snadno nastavovat jeho polohu vzhledem k pracovnímu stolu. Vřeteno je poháněno přes několikastupňové řemenice klínovým řemenem a otáčky se mění ručně přehazováním řemene. Posuvný pohyb vrtačky je také ruční. [3, 10, 11].

Obr. 18 Stolní vrtačka [3].

1.4.2 Sloupové vrtačky

Sloupové vrtačky (obr. 19) jsou odvozeny od větších typů stolních vrtaček. Vyrábí se pro vrtání děr až do O/40 mm. Vřeteník je svisle přestavitelný po sloupu, stejně tak pracovní stůl, který lze ještě vytočit stranou mimo pracovní prostor, což umožňuje upnout obrobek větších rozměrů přímo na základovou desku. Otáčivý pohyb je přenášen klínovým řemenem od elektromotoru, otáčky vřetena se regulují pomocí vestavěné převodovky. Posuv je ruční i strojní [3, 10, 11].

Obr. 19 Sloupová vrtačka [3].

1.4.3 Stojanové vrtačky

Na stojanových vrtačkách se vrtají díry o O/25 až O/80 mm. V porovnání se sloupovými vrtačkami jsou tužší a výkonnější a používají se pro obrábění větších a těžších obrobků. Vřeteno je uloženo ve svisle přestavitelné skříni, oddělené od převodovky, která je poháněna elektromotorem přes klínové řemeny [3, 10, 11].

1.4.4 Otočné vrtačky

Otočné vrtačky se používají pro vrtání děr do těžších a rozměrnějších obrobků, které se podle velikosti upínají na upínací kostku nebo přímo na základovou desku. Charakteristickým znakem je svisle přestavitelné otočné rameno, po němž se pohybuje ve vodorovném směru pracovní vřeteník. Ve vřeteníku jsou uloženy převody z ozubených kol, které jsou poháněny elektromotorem. Posuvy jsou ruční, u novějších strojů mohou být zařízeny programem. Otočnou vrtačku lze vidět na obr. 20 [3, 10, 11].

Obr. 20 Otočná vrtačka [3].

2 ROZŠÍŘENÍ MOŽNOSTÍ OBRÁBĚCÍHO STROJE

V současné době mají moderní stroje celou řadu příslušenství, ať už to jsou doplňky k udržování čistoty, jako například vynašeče třísek nebo filtrace vzduchu, nebo strojní součásti pro třískové obrábění, mezi něž patří frézovací hlavy či vrtací ramena. Díky těmto příslušenstvím, která zpravidla jsou na stroj nasazena a lze je tak kdykoliv odebrat a nahradit jiným doplňkem, se stroj stává strojem univerzálním, což mu umožňuje vykonávat více operací a dosáhnout větší účinnosti a produktivity [12, 13].

2.1 Rozšíření obráběcích strojů pro třískové obrábění

Příslušenství strojů pro třískové obrábění, tedy frézovací hlavy a vrtací ramena, se navrhují zejména pro vodorovné vyvrtávačky, tzv. horizontky, nebo pro obráběcí centra. Jedním předním světovým výrobcem obráběcích strojů se specializací na výrobu horizontálních vyvrtávacích strojů a obráběcích center je česká strojírenská firma TOS VARNSDORF, a.s.

2.1.1 Vodorovné vyvrtávací stroje

Vodorovné vyvrtávačky jsou univerzální stroje vhodné k obrábění složitých součástí v kusové i malosériové výrobě. Dělí se na stolové a deskové vyvrtávačky. Hlavní řezný pohyb při obrábění vykonává vřeteno s nástrojem. Frézovací hlavy a vrtací ramena se upínají na čelo vřetena. Vřeteník je výškově přestavitelný po stojanu a koná svislý posuv. Díky možnosti použití různých příslušenství a přídavných zařízení umožňují vodorovné vyvrtávačky provést současně nebo postupně několik pracovních operací a lze na nich obrábět obrobky velkých rozměrů a hmotností. Dále nabízejí možnost efektivního obrábění s velkým řezným výkonem a vysokou přesností. Na obr. 21 lze vidět stolovou vyvrtávačku firmy TOS VARNSDORF, která se zabývá výrobou a servisem obráběcích strojů [3, 10, 13, 14].

Obr. 21 Stolová vyvrtávačka firmy TOS VARNSDORF [13].

2.1.2 Obráběcí centra

Obráběcí centrum je obráběcí stroj, na kterém lze z velké části nebo úplně obrobit různé součásti při jednom upnutí. Obráběcí centra patří mezi moderní CNC stroje („Computer Numerical Control“), tedy v českém překladu stroje číslicově řízené počítačem. Takový stroj umožňuje různé třískové operace (např. vrtání, soustružení, frézování), automatickou výměnu nástrojů a obrobků, případné provádění diagnostiky a měření, a to vše bez potřeby obsluhy. Mezi další znaky všech obráběcích center patří vysoký rozsah řezných a posuvových rychlostí, zakrytované vedení všech pohybů, které zabraňuje rozletu třísek a rozstřiku procesní kapaliny a zásobník nástrojů, které mají svoji polohu označenou identifikačním kódem a jejich výměna probíhá podle řídícího programu obráběcího centra. Podle technologie se obráběcí centra dělí na soustružnická (výroba rotačních součástí) a frézovací (výroba nerotačních součástí), ty se podle polohy vřetena dělí na horizontální a vertikální. Mezi výhody obrábění v obráběcích centrech patří větší přesnost obrábění díky velkému množství operací na jedno upnutí, zkrácení času obrábění a zvýšení jakosti opracování. Na obr. 22 je zobrazeno obráběcí centrum německé firmy GEORG s připnutým vrtacím ramenem [10, 13, 15, 16].

Obr. 22 Obráběcí centrum firmy GEORG [17].

2.2 Příslušenství obráběcích strojů pro třískové obrábění

Mezi hlavní přídavné strojní součásti obráběcích strojů pro třískové obrábění, které umožňují obrábění v obtížně přístupných místech, patří frézovací hlavy a vrtací ramena.

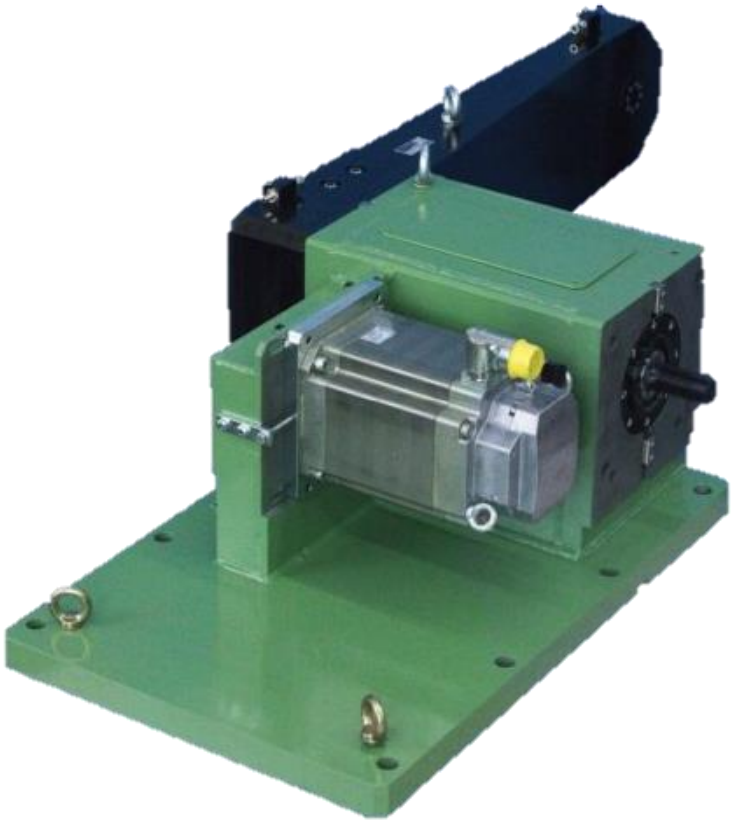
2.2.1 Frézovací hlavy

Jednou z možností, jak obrábět v obtížně přístupných místech, je použití frézovací hlavy, kterou lze upnout k vyvrtávacímu stroji nebo k obráběcímu centru. Dle konstrukce nemusí frézovací hlava sloužit pouze k frézování povrchů, ale může být zajištěna i výměna nástrojů, ať už ruční nebo automatická, a tím umožnit obráběcí operace jako vrtání nebo závitování děr. Podle požadavků na obrábění se vyrábějí frézovací hlavy (obr. 23) různých velikostí. Menší jsou zpravidla ručně stavitelné, těžší mohou dosahovat hmotnosti kolem jedné tuny a také s dosahem různých maximálních hodnot otáček vřetena a přenášeného momentu. Frézovací hlavy přispívají k rozšíření technologických možností jako např. frézování nakloněných ploch, obrábění lehko-obrobitelných materiálů nebo dokončování tvarově složitých obrobků [13, 18, 19].

Obr. 23 Frézovací hlavy od firmy TOS VARNSDORF [18].

2.2.2 Vrtací ramena

Použití vrtacího ramena na obráběcí stroj je další možností, jak umožnit obrábění v místech s omezenou dostupností. Rameno lze navrhnout tak, aby ho bylo možné nasadit na horizontální vyvrtávačku či obráběcí centrum, nebo sestrojit i s vřeteníkem (obr. 24), čímž by byl zajištěn vlastní pohon vrtacího ramena. Výměna nástrojů je automatická. Při konstrukci je důležité mít na vědomí, aby navrhovaná délka ramena vzhledem k jeho šířce a zatížení v místě obrábění nebyla příliš velká, protože to by mohlo vést k výraznému vychýlení ramena od své osy a tím i k nežádoucím nepřesnostem obráběcích operací [20].



Obr. 24 Vrtací rameno s pohonným vřeteníkem firmy SKM [20].

3 NÁVRH VRTACÍHO RAMENA

Bude proveden návrh vrtacího ramena, které je určeno jako doplněk pro horizontální vyvrtávačku. Konstrukční návrh tohoto ramena vychází ze zadání (příloha 1) a je vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2020. Kromě samotné konstrukce bude provedena deformační analýza k určení tuhosti v místě vrtání a ověření, zda konstrukce splňuje dané požadavky ze zadání. Deformační a napěťová analýza bude provedena v simulačním programu ANSYS.

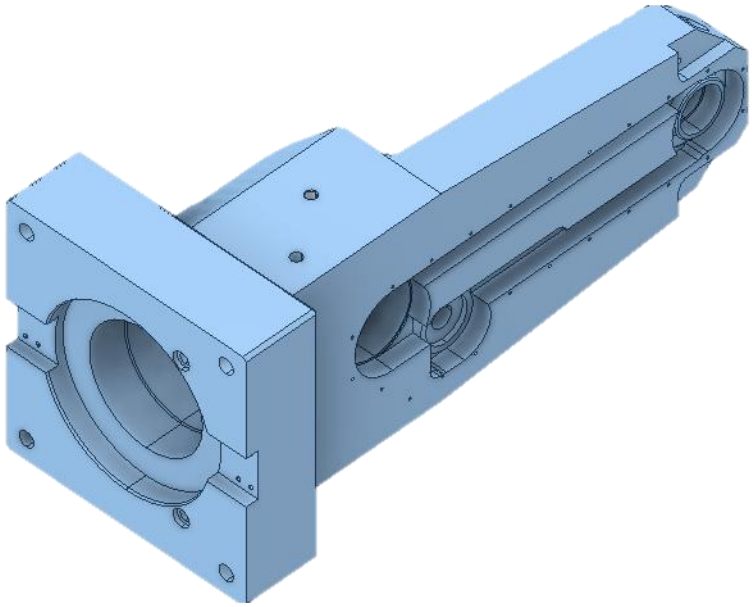
Cílem řešení je, aby samotné rameno bylo schopné dosáhnout ideálně do délky 430 mm, a přitom byla zajištěna dostatečná tuhost v místě vrtání, protože tím je ovlivněna přesnost i produktivita obrábění. Aby toto bylo zajištěno a rameno správně plnilo svoji funkci, musí rameno vydržet maximální zatížení 1000 N v místě vrtání a zároveň se nesmí prohnout o více než 0,025 mm.

3.1 Konstrukce vrtacího ramena

Vrtací rameno se prakticky skládá ze dvou částí: tělesa a vnitřních komponent. Vnitřní komponenty umožňují přenos krouticího momentu, upnutí nástroje a tím i samotnou funkčnost ramena při obrábění. Jejich zakrytování zajišťuje těleso, které také slouží k upnutí celého ramena k vodorovné vyvrtávačce.

3.1.1 Těleso ramena

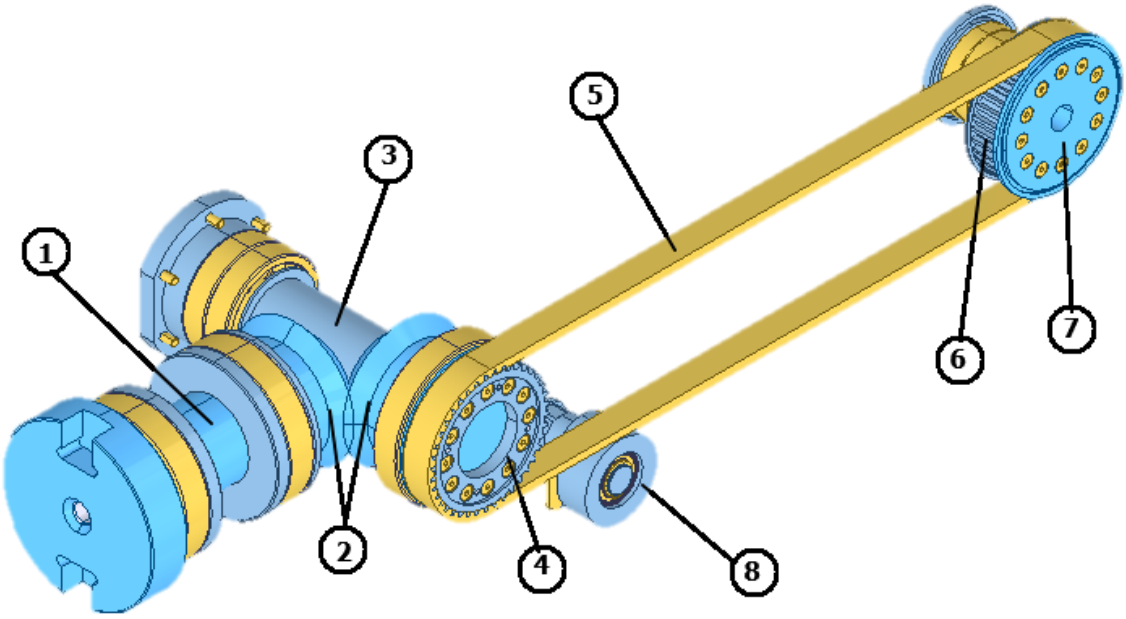
Základem vrtacího ramena je těleso, které udává jeho tvar a velikost. Těleso, které lze vidět na obr. 25, je vyrobeno z čtvercové tyče o rozměrech 365x365x765 a konstrukční oceli 11 373. V tělese jsou vyvrtány díry pro hřídele, ozubené řemenice a ozubená kola, které přenáší krouticí moment a pro Morse kužel, který slouží k upínání nástroje. Další vyvrtané díry v tělese jsou z důvodu upnutí tělesa k obráběcímu stroji, přívodu procesní kapaliny a montáži krycího plechu. Dále jsou v tělese vyfrézované drážky pro uložení ozubeného řemene, které musí být dostatečně široké z důvodu možného rozkmitání řemene. Na dosedací ploše jsou drážky pro vycentrování tělesa během nasazování na horizontální vyvrtávací stroj.



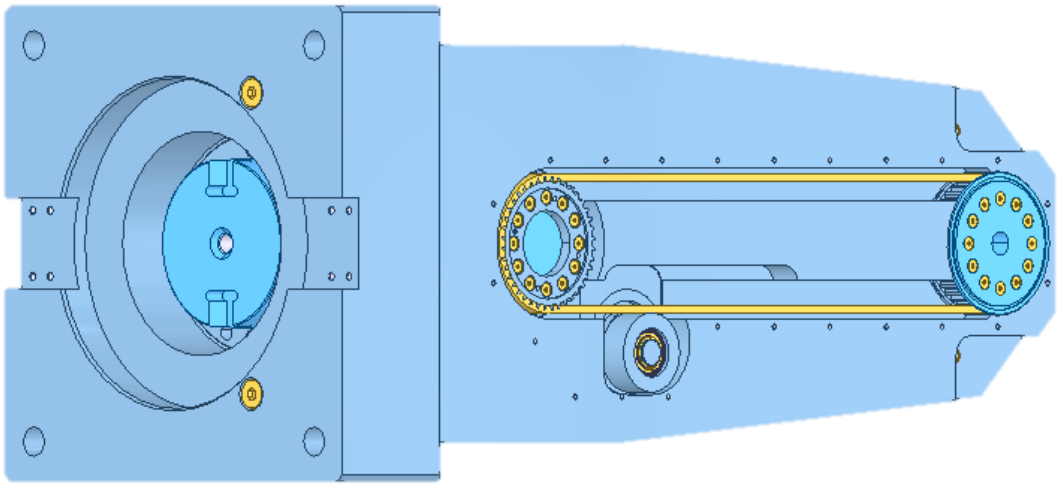
Obr. 25 Těleso vrtacího ramena.

3.1.2 Vnitřní komponenty

Uvnitř tělesa vrtacího ramena jsou uloženy součásti, které zajišťují správnou funkčnost celé konstrukce. Na obr. 26 je vidět uspořádání vnitřních komponent v tělese bez jejich zakrytování. Požadovaný moment je do ramena přenášen přes hnací hřídel (1), která je na vstupu propojena s obráběcím strojem pomocí drážek. V hřídeli je uloženo těsné pero, které zajišťuje spojení hřídele s ozubeným kolem (2). Přes ozubená kola se krouticí moment přenáší do hnané hřídele (3), na jejímž konci je namontována hnací řemenice (4). Ta uvádí do pohybu ozubený řemen (5), který roztáčí řemenici hnanou (6), na které je připevněno šrouby vřeteno Morse (7) a tím začne nástroj konat svoji práci. Omezení kmitání ozubeného řemene je řešeno napínací kladkou (8) uloženou ve spodní části ramena. Uložení již zakrytovaných vnitřních komponent v tělese je znázorněno na obr. 27. Technické parametry, které by měly jednotlivé součásti splňovat, jsou uvedeny v příloze 2.



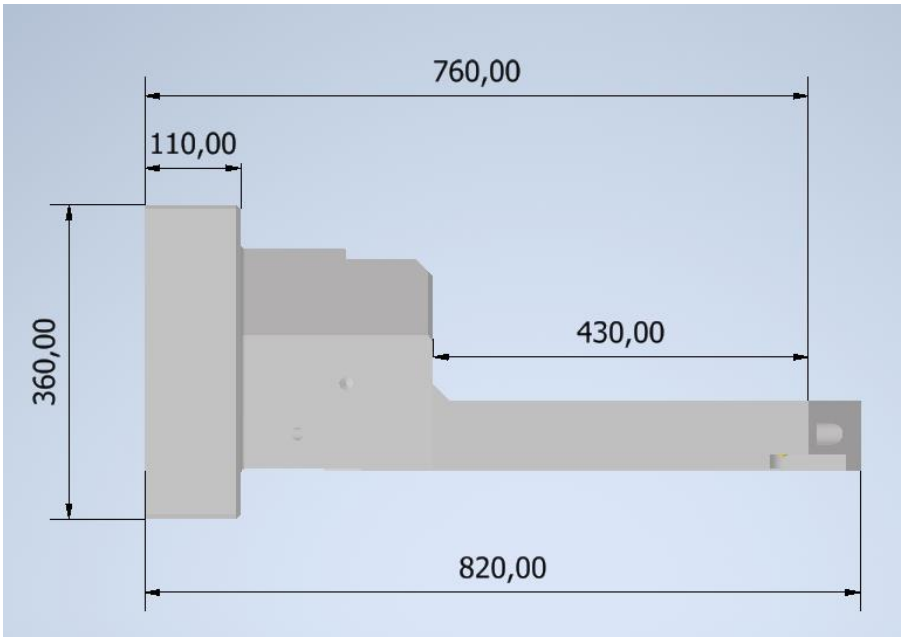
Obr. 26 Uspořádání vnitřních komponent v tělese ramena.



Obr. 27 Uložení vnitřních komponent v tělese ramena.

3.2 Návrh ramena o požadované délce

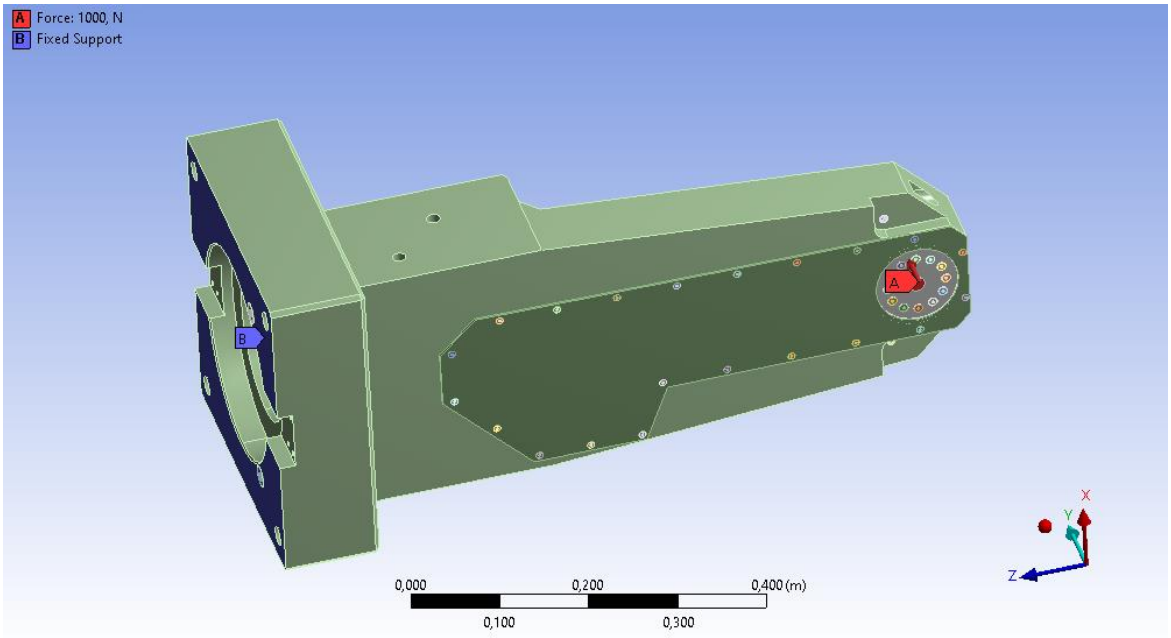
V první iteraci bylo v programu Autodesk Inventor vytvořen model vrtacího ramena o délce 430 mm, tedy dle zadání v příloze 1. Rozměry ramena jsou zakótovány a zobrazeny na obr. 28.



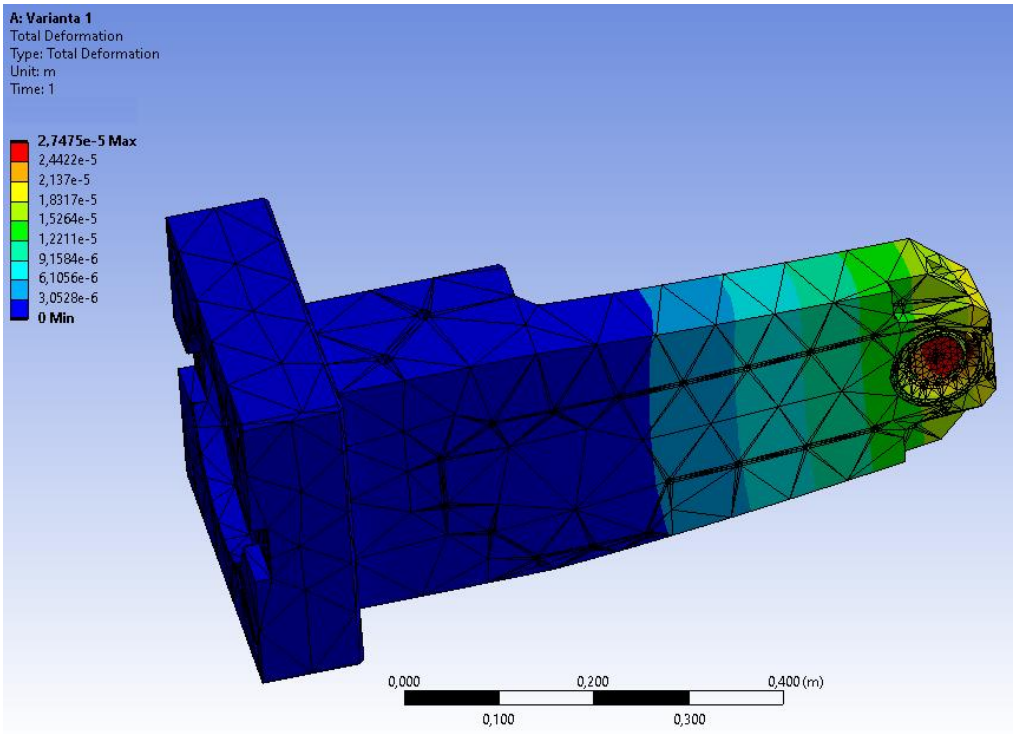
Obr. 28 Rozměry vrtacího ramena (1. varianta).

3.2.1 Deformační analýza

Po vytvoření modelu ramena byla provedena deformační analýza v programu ANSYS. Na obr. 29 lze vidět vstupní parametry pro vyhodnocení funkčnosti ramena. Jsou to velikost, směr a místo působení síly a označení ploch, které tvoří pevnou podporu. Po zadání vstupních parametrů se může program spustit pro vyhodnocení zadaného problému.



Obr. 29 Vstupní parametry pro deformační analýzu.

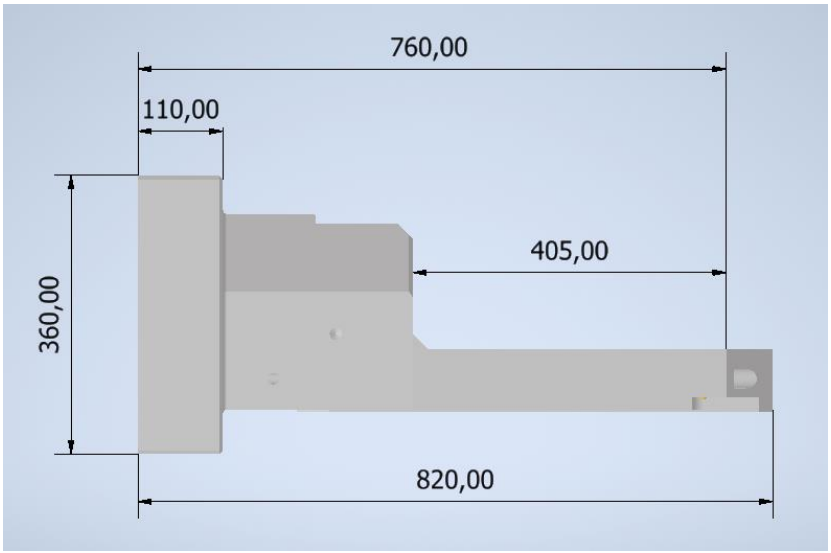


Obr. 30 Deformační analýza (1. varianta).

Po provedení testu se ukázalo, že při návrhu ramena o délce 430 mm nejsou splněny zadané požadavky. Z obr. 30 je patrné, že pokud zatížíme toto rameno v místě vrtání silou 1000 N, dojde k průhybu ramena o 0,0274 mm, což je více, než dovoluje maximální přípustná deformace a při ní již nelze obrábění označit za přesné. K dosažení požadovaného výsledku je zapotřebí navrhnout rameno kratší délky, aby byl průhyb menší.

3.3 Návrh ramena o kratší délce

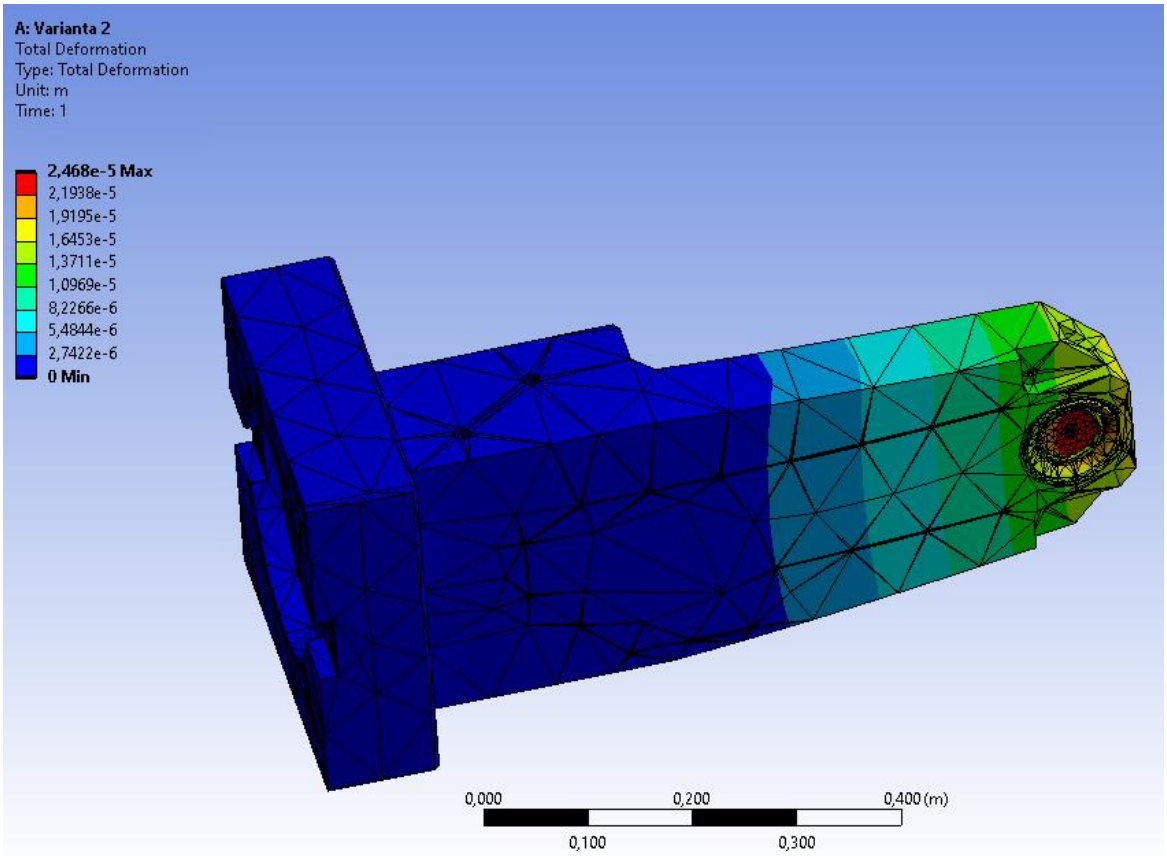
Pro splnění podmínek a dosažení cíle bakalářské práce byl vytvořen nový model vrtacího ramena. Změnila se délka ramena, která je nyní 405 mm. Při zachování celkové délky tohoto doplňku se tak zvětšil prostor pro uložení vnitřních komponent jako hřídele a ozubená kola. Rameno o nových rozměrech je zobrazeno na obr. 31.



Obr. 31 Rozměry vrtacího ramena (výsledné řešení).

3.3.1 Výsledná deformace

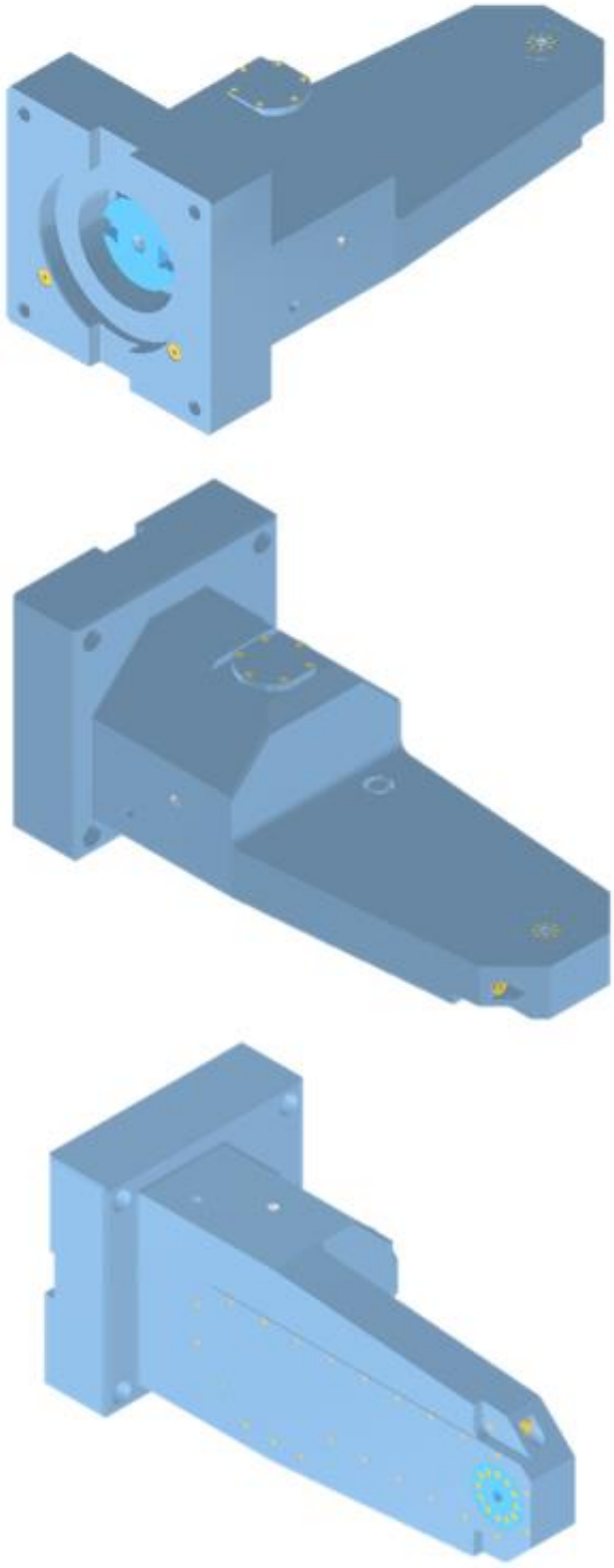
Vstupní parametry pro deformační analýzu jsou v tomto případě stejné jako u prvního návrhu (obr. 29). Další test ukázal, že zkrácením délky ramena bylo dosaženo větší tuhosti. Z obr. 32 vyplývá, že maximální průhyb ramena je nyní 0,0246 mm. Tím bylo dosaženo cíle, aby deformace v místě vrtání nebyla větší jak 0,025 mm.



Obr. 32 Deformační analýza (výsledné řešení).

3.4 Výsledné konstrukční řešení

Jako výsledné konstrukční řešení volím návrh z podkapitoly 3.3, neboť splňuje požadavek, že maximální průhyb ramena v místě vrtání nesmí být větší jak 0,025 mm, protože tím by vznikaly při obrábění nežádoucí nepřesnosti. Na úkor dosažení požadované tuhosti musela být zmenšena délka ramena na 405 mm, tím se zmenšil dosah ramena o 25 mm. Na obr. 33 je vidět výsledné řešení celé konstrukce vrtacího ramena z různých pohledů a s kompletním zakrytováním.



Obr. 33 Výsledná konstrukce vrtacího ramena z různých pohledů.

ZÁVĚR

Hlavní náplní bakalářské práce je návrh konstrukce vrtacího ramena pro obráběcí stroj. Rešeršní část obsahuje stručný přehled o technologii vrtání, rozšíření možností obráběcích strojů a jejich doplňcích. Praktická část se zabývá konstrukčním řešením vrtacího ramena. Vrtací rameno je navrženo tak, aby se dalo nasadit na horizontální vyvrtávací stroj a umožnilo tak obrábění v obtížněji přístupných místech kontury obráběného dílce. Jako materiál pro těleso ramena byla zvolena konstrukční ocel 11 373.

Návrh vrtacího ramena vychází ze 3D modelu za použití programu Autodesk Inventor Professional. Rozměry ramena a parametry vnitřních součástí byly zvoleny na základě zadaných požadavků. Po vytvoření modelu bylo zapotřebí provést deformační analýzu v programovém systému ANSYS ke zjištění maximální přípustné deformace a tím i funkčnosti navrhované sestavy. Po prvním neúspěšném testu, z důvodu nadměrného průhybu v místě vrtání, bylo potřeba provést změnu v konstrukčním návrhu, aby se tak dosáhlo požadované výsledné tuhosti. Nejjednodušší variantou bylo změnit délku vrtacího ramena. Jako další možnost byla uvažována změna materiálu tělesa, ta by však vzhledem k rozměrům ramena nebyla ekonomicky výhodná. Jako nejvýhodnější řešení byla tedy zvolena možnost zkrácení délky ramena.

Po upravení délky ramena a provedení dalšího testu na deformaci bylo dosaženo požadovaného výsledku na maximální dovolený průhyb v místě vrtání. To sice vedlo ke snížení délky ramena o 25 mm, čímž se nedosáhlo ideální požadovaného rozměru, avšak to se dá vyřešit například posunutím obrobku. Proto byla tato konstrukce vrtacího ramena zvolena jako nejvhodnější, neboť splňuje požadavek o výsledné tuhosti sestavy a tím i svoji funkci jako doplněk stroje pro třískové obrábění, který se dá použít jak pro kusovou, tak sériovou výrobu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KUDELA, Miroslav. SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
2. HUMÁR, Anton. *Výrobní technologie: Výrobní technologie II.* [online]. VUT-FSI v Brně: Ústav strojírenské technologie, s. 72-83. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobniTechnologie_II.pdf
3. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia [online]. VUT-FSI v Brně: Ústav strojírenské technologie, 2004, s. 3-27. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
5. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie výroby II*. Studijní opory v kombinované formě bakalářského studia [online]. VUT-FSI v Brně: Ústav strojírenské technologie, 2002, s. 62. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnVyroby_II.pdf
6. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
7. SANDVIK COROMANT. *Nástroje pro obrábění kovů*. [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/tools.aspx
8. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
9. WINTER SERVIS. *Hluboké vrtání Botek*. [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/index
10. BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje.* 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT, 1992. 216 s. ISBN 80-214-0470-1.
11. KRATOCHVÍL, Jaroslav. *Obráběcí stroje.* Praha: Ediční středisko ČVUT, 1984. 231 s.
12. FOKUS INDUSTRY. *Příslušenství obráběcích strojů*. [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://fokusindustry.cz/i?/CNC+obr%C3%A1b%C4%9Bc%C3%AD+stroje/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD+obr%C3%A1b%C4%9Bc%C3%ADch+stroj%C5%AF
13. TOS VARNSDORF. *Výrobní program* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://www.tosvarnsdorf.cz/files/machines/tos-varnsdorf-vyrobni-program-cz.pdf

14. MMSPEKTRUM. *Horizontální frézovací a vyvrtávací stroj pro HSC*. [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/horizontalni-frezovaci-a-vyvrtavaci-stroj-pro-hsc.html

15. MMSPEKTRUM. *Multifunkční obráběcí centra*. [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/multifunkcni-obrabeci-centra-14043.html

16. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia [online]. VUT-FSI v Brně: Ústav strojírenské technologie, 2004, s. 3-27. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf

17. GEORG. *Drilling and milling machines*. [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: https://www.georg.com/en/products/machine-tools/drilling-and-milling-machines/

18. TOS VARNSDORF. *Frézovací hlavy* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://www.tosvarnsdorf.cz/files/machines/archiv/frezovaci_hlavy_2012_08.pdf

19. SKM. *Frézovací hlavy* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: http://www.skm-lit.cz/produkty-a-sluzby/stroje-pro-triskove-obrabeni/frezovaci-hlavy

20. SKM. *Vrtací ramena* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: http://www.skm-lit.cz/produkty-a-sluzby/stroje-pro-triskove-obrabeni/vrtaci-ramena

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	**Popis**
SK	slinutý karbid
RO	rychlořezná ocel

Symbol	**Jednotka**	**Popis**
$\mathbf{A_D}$	[mm^2]	jmenovitý průřez třísky
$\mathbf{a_p}$	[mm]	šířka záběru ostří
$\mathbf{b_D}$	[mm]	jmenovitá šířka třísky
$\mathbf{C_{Fc}}$	[-]	konstanta vlivu obráběného materiálu
$\mathbf{C_{Ff}}$	[-]	konstanta vlivu obráběného materiálu
$\mathbf{C_M}$	[-]	substituční konstanta
d	[mm^2]	průměr předvrtané díry
D	[mm]	průměr obráběné díry
f	[mm]	posuv na otáčku
$\mathbf{F_c}$	[N]	řezná síla
$\mathbf{F_f}$	[N]	posuvová síla
$\mathbf{F_p}$	[N]	pasivní síla
$\mathbf{f_z}$	[mm]	posuv na zub (břit)
$\mathbf{h_D}$	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
l	[mm]	délka vrtané díry
L	[mm]	dráha vrtáku ve směru posuvu
$\mathbf{l_n}$	[mm]	délka náběhu
$\mathbf{l_p}$	[mm]	délka přeběhu
$\mathbf{M_k}$	[N.mm]	kroutící moment
n	[min^{-1}]	otáčky nástroje
$\mathbf{P_c}$	[kW]	řezný výkon
$\mathbf{t_{AS}}$	[min]	jednotkový strojní čas
$\mathbf{v_c}$	[$m.min^{-1}$]	řezná rychlost
$\mathbf{v_e}$	[$m.min^{-1}$]	rychlost řezného pohybu

v_f	[m.min^{-1}]	posuvová rychlost
x_{Fc}	[-]	exponent vlivu průměru vrtáku
x_{Ff}	[-]	exponent vlivu průměru vrtáku
x_M	[-]	substituční exponent
y_{Fc}	[-]	exponent vlivu posuvu na otáčku
y_{Ff}	[-]	exponent vlivu posuvu na otáčku
z	[-]	počet zubů (břitů) nástroje
κ_r	[°]	pracovní úhel nastavení hlavního ostří

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Zadaná výkresová dokumentace

Příloha 2 Technické parametry vrtacího ramena

Příloha 3 Základní výpočetní vztahy pro vrtání

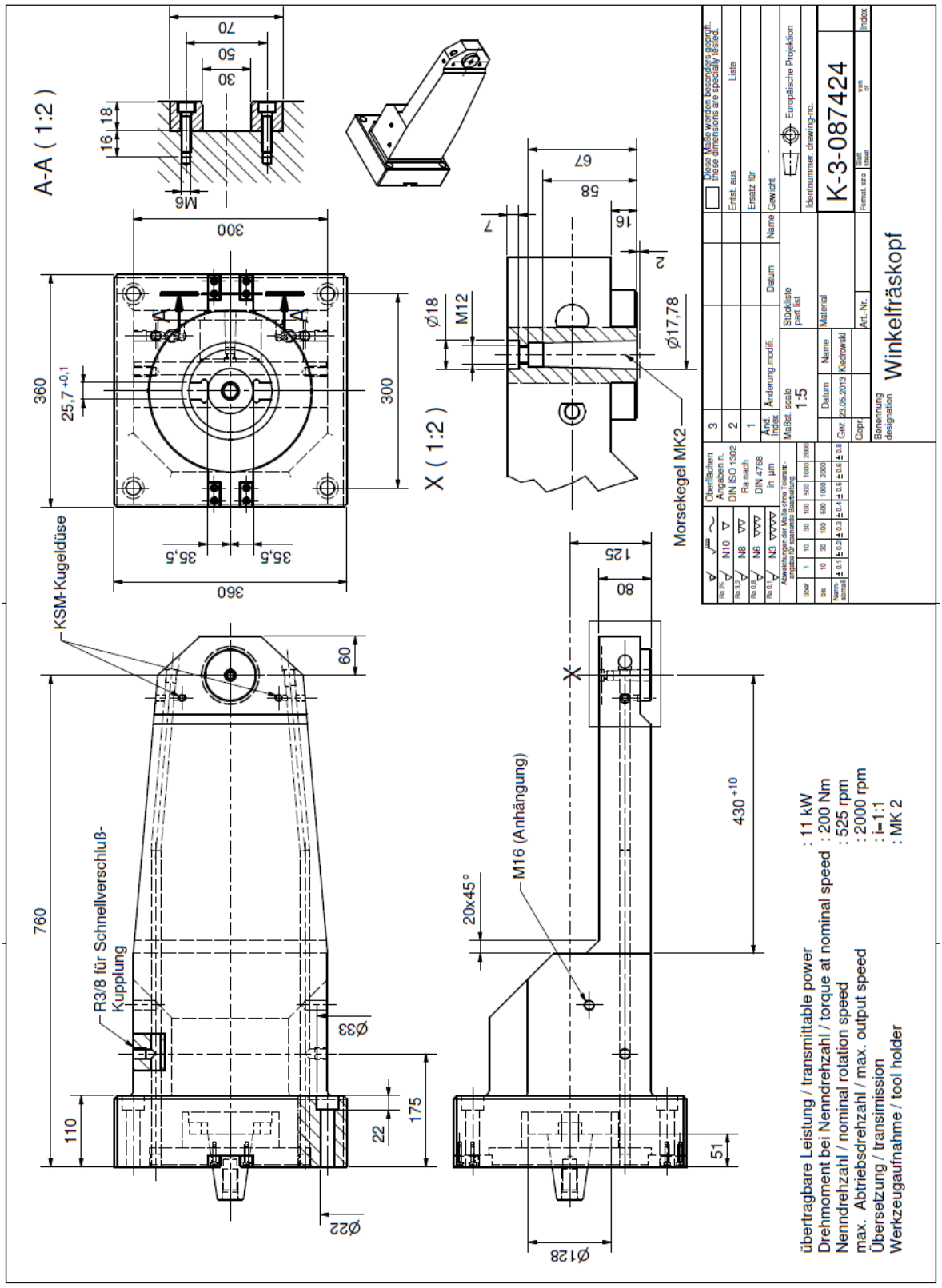
Příloha 4 Parametry průřezu třísky

Příloha 5 Řezné síly

Příloha 6 Odvod třísek

PŘÍLOHA 1

Zadaná výkresová dokumentace.



PŘÍLOHA 2

Technické parametry vrtacího ramena.

Pevnost a tuhost by měla být stejná nebo lepší podle připojené analýzy:

Přípustné vychýlení ve směru Y (osa vřetena) 0,025 mm se silou 1000 N.

Technické specifikace:

Techn. data a rozměry podle: K-3-087424

Montážní plocha: K-3-087424

Příkon: P = 11 kW

Převodový poměr: i = 1:1

Max. točivý moment: Md = 200 Nm (S1)

Jmenovitá rychlost: nk = 525 1/min

Max. rychlost: n_max = 2000 1/min

Součásti převodovky: kuželová převodovka a řemenový pohon

Upínání nástrojů: ruční

Přizpůsobení nástroje: Morse kužel MK 2

Házení vrtacího vřetene: 0,008 mm

Axiální házení vrtacího vřetene: 0,008 mm

Vnější přívod chladicího média: ano

2x závit R3/8" pro spojku chladicí kapaliny.

PŘÍLOHA 3

Základní výpočetní vztahy pro vrtání [2, 3].

Řezná rychlost:

$$v_c = \pi . D . n . 10^{-3} \quad (1.1)$$

kde: v_c [m.min^{-1}] – řezná rychlost,
D [mm] – průměr obráběné díry,
n [min^{-1}] – otáčky nástroje.

Posuvové rychlosti:

$$v_f = f . n \quad (1.2)$$

kde: v_f [m.min^{-1}] – posuvová rychlost,
f [mm] – posuv na otáčku.

Rychlost řezného pohybu:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} . n . \sqrt{(\pi . D)^2 + f^2} \quad (1.3)$$

kde: v_e [m.min^{-1}] – rychlost řezného pohybu.

Posuv na zub (břit):

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (1.4)$$

kde: f_z [mm] – posuv na zub (břit),
z [-] – počet zubů (břitů) nástroje.

PŘÍLOHA 4

Parametry průřezu třísky [2, 3].

Jmenovitý průřez třísky odebíraný jedním břitem šroubovitého vrtáku:

$$A_D = h_D . b_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \tag{1.5}$$

kde: A_D [mm^2] – jmenovitý průřez třísky,
h_D [mm] – jmenovitá tloušťka třísky,
b_D [mm] – jmenovitá šířka třísky,
a_p [mm] – šířka záběru ostří,
f [mm] – posuv na otáčku.

Šířka záběru ostří pro vrtání do plného materiálu:

$$a_p = \frac{D}{2} \tag{1.6}$$

Šířku záběru ostří pro vrtání do předvrtané díry:

$$a_p = \frac{D - d}{2} \tag{1.7}$$

kde: d [mm] – průměr předvrtané díry.

Po úpravě se získá vztah pro výpočet průřezu třísky při vrtání do plného materiálu a do předpracované díry, odebírané jedním břitem nástroje:

$$A_D = \frac{D . f}{4} \tag{1.8}$$

$$A_D = \frac{(D - d) . f}{4} \tag{1.9}$$

Při použití dvoubřitého nástroje je celkový průřez třísky:

$$A_D = \frac{D . f}{2} \tag{1.10}$$

$$A_D = \frac{(D - d) . f}{2} \tag{1.11}$$

Jmenovitá tloušťka třísky:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \tag{1.12}$$

kde: κ_r [°] – pracovní úhel nastavení hlavního ostří.

Jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu a do předvrtané díry:

$$b_D = \frac{D}{2 . \sin \kappa_r} \tag{1.13}$$

$$b_D = \frac{D - d}{2 . \sin \kappa_r} \tag{1.14}$$

PŘÍLOHA 5

Řezné síly [3, 4].

Posuvová síla:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \tag{1.15}$$

kde: F_f [N] – posuvová síla.

Pasivní síla:

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} \tag{1.16}$$

kde: F_p [N] – pasivní síla.

Řezná síla:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \tag{1.17}$$

kde: F_c [N] – řezná síla.

Jednotlivé síly (odpory) pro celý nástroj:

$$F_f = C_{F_f} . D^{x_{F_f}} . f^{y_{F_f}} \tag{1.18}$$

$$F_c = C_{F_c} . D^{x_{F_c}} . f^{y_{F_c}} \tag{1.19}$$

kde: C_{Ff}, C_{FC} [-] – konstanty vlivu obráběného materiálu,
x_{Ff}, x_{FC} [-] – exponenty vlivu průměru vrtáku,
y_{Ff}, y_{FC} [-] – exponenty vlivu posuvu na otáčku,
D [mm] – průměr vrtáku,
f [mm] – posuv na otáčku.

Krouticí moment k ose vrtáku:

$$M_k = 2 . \frac{F_c}{2} . \frac{D}{4} = \frac{1}{4} \cdot F_C \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{F_C} \cdot D^{x_{F_C}} \cdot f^{y_{F_C}} \cdot D = C_M . D^{x_M} . f^{y_{F_c}} \tag{1.20}$$

Pro zjednodušení: $C_M = \frac{1}{4} . C_{F_c}$, $x_M = x_{F_c} + 1$

kde: M_k [N.mm] – krouticí moment,
C_M [-] – substituční konstanta,
x_M [-] – substituční exponent.

Řezný výkon:

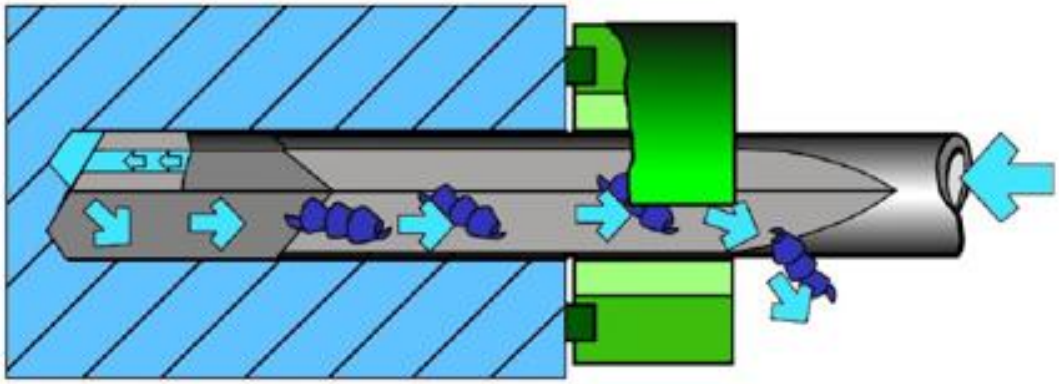
$$P_c = \frac{F_c . v_c}{2 . 60 . 10^3} = \frac{F_c . v_c}{1,2 . 10^5} \tag{1.21}$$

kde: P_c [kW] – řezný výkon.

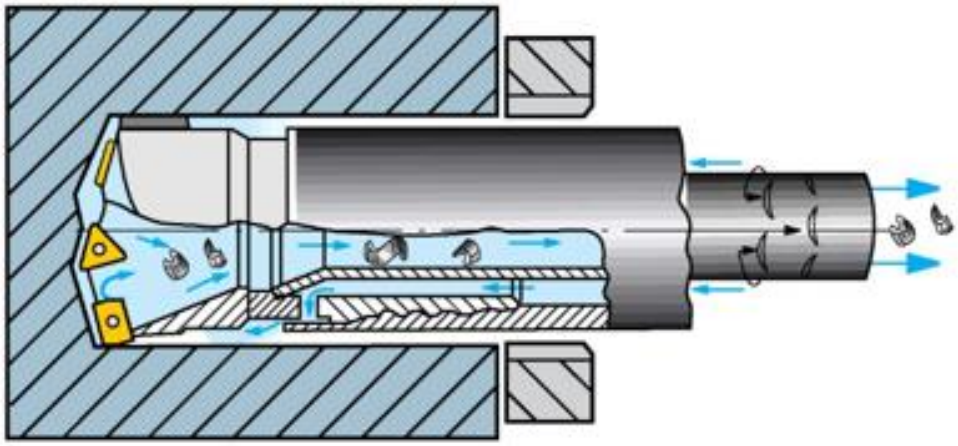
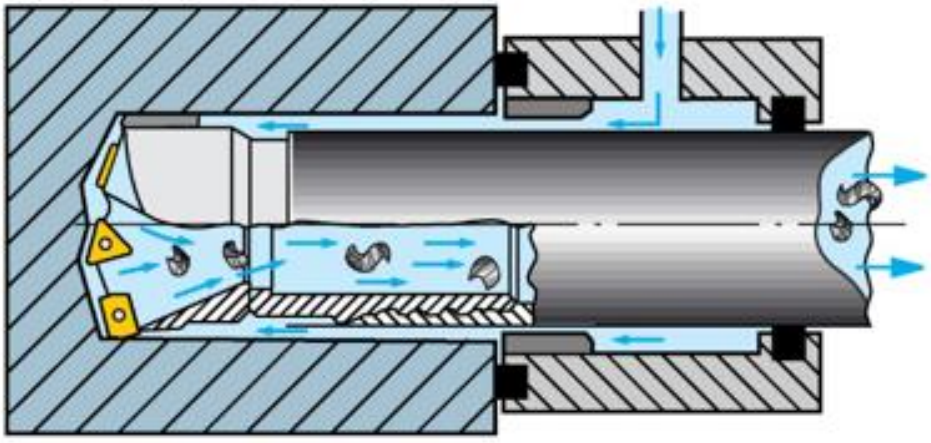
PŘÍLOHA 6

Odvod třísek [3].

a) Odvod třísky při vrtání hlavňovým vrtákem



b) Odvod třísky při vrtání ejektorovým vrtákem



c) Odvod třísky při vrtání BTA a STS vrtákem