



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# VÝPOČET POLOHY SUPORTU VŮČI VŘETENU NA STROJI PRO VRTÁNÍ BRATTOVA OTVORU

CALCULATION OF THE POSITION OF THE SUPPORT RELATIVE TO THE SPINDLE ON THE  
MACHINE FOR DRILLING BRATTOVA HOLES

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Hanák

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.

BRNO 2021



## Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Jan Hanák</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.</b>
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:

### **Výpočet polohy suportu vůči vřetenu na stroji pro vrtání Brattova otvoru**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Nedílnou součástí provozu kolejových vozidel je výměna náprav, která se provádí pomocí bratovacích otvorů, kterými je následně umožněno sejmout jednotlivá kola.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Rešerše a zhodnocení současného stavu.  
Návrh polohy suportu včetně výpočtu.  
Závěr a doporučení.

#### **Seznam doporučené literatury:**

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

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 řešením o železničních kolech, nápravách, kolejových dvojkolích a injekčním otvorem, který slouží k nedestructivní demontáži kol z nápravy. Výstupem této práce je zhodnocení možností vrtání injekčního otvoru a návrh výpočtu naklopení vrtacího vřetene vůči vodorovnému supportu při jeho vrtání.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis do a research on trains wheels, axles, trains wheelsets and an injection hole which serves for nondestructive disassembly of wheels from axle. The output of this work is an evaluation of possible ways of injection hole drilling and a calculation proposal of drilling spindle tilt versus in relation to support in the course of drilling.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

injekční otvor, brattovací stroj, kolejové nápravy, výpočet polohy supportu

## **KEYWORDS**

injection hole, machine for drilling injection holes, train axle, calculating position of support



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HANÁK, Jan. *Výpočet polohy suportu vůči vřetenu na stroji pro vrtání Brattova otvoru* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133316>.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Zdeněk Tůma.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce za možnost psát o tomto tématu a důležité poznatky při tvorbě odborné práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě KMS Brno za poskytnutí dat potřebných pro zpracování této práce a panu Janu Grycmonovi z firmy Bonatrans za cenné informace a konzultace. Nemůžu též opomenout svoji přítelkyni a rodinu za psychickou podporu a korekturu.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Tůmy, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2021

.....

Jan Hanák



# OBSAH

1	ÚVOD .....	15
2	ŽELEZNIČNÍ SOUKOLÍ .....	17
2.1	Nápravy .....	17
2.2	Kola .....	18
2.3	Dvojkolí .....	19
3	INJEKČNÍ OTVOR .....	20
3.1	Brattovací stroj .....	20
3.1.1	Technické parametry stroje KMS 1926/2020 .....	21
3.2	Charakteristika injekčního otvoru .....	24
3.3	Proces vrtání injekčního otvoru .....	25
3.4	Demontáž železničního dvojkolí .....	26
4	VÝPOČTOVÁ ČÁST .....	27
4.1	Strojové konstanty .....	27
4.2	Návrh výpočtu .....	27
4.3	Ověření správnosti výpočtu na reálném kole .....	30
4.4	Maximální poloha vyústění injekčního otvoru .....	32
5	ZÁVĚR .....	37
6	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ .....	41
6.1	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	41
6.2	Seznam tabulek .....	41
6.3	Seznam obrázků .....	41



# 1 ÚVOD

S neustupující potřebou využívání kolejové dopravy je nutné udržovat železniční dvojkolí v perfektním stavu. Jednak z důvodu bezpečnosti přepravy cestujících či nákladu, efektivního využití tažných zařízení vagónů a vleček a v neposlední řadě dlouhodobého udržení kvality kolejových drah. Proto je nedílnou součástí tohoto provozu, kromě pravidelné kontroly dvojkolí, i výměna samotných kol na nápravě. Tato výměna je prováděna pomocí natlakování prostoru mezi nápravou a kolem nízkoviskózní kapalinou a následně je kolo z nápravy slisováno. Tlakování probíhá za využití Brattova otvoru, nazývaného též injekčním otvorem, který je nejčastěji vrtán na jednoúčelovém stroji nazývaném brattovačka.

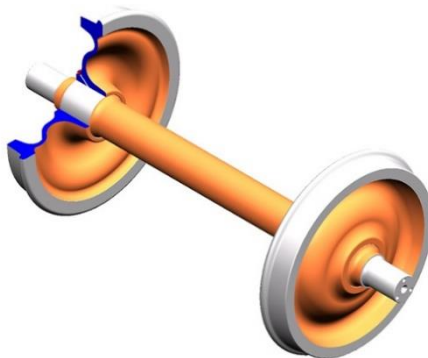
První část práce je zaměřena na zhodnocení současných druhů železničních náprav a popisu samotného Brattovacího stroje a injekčního otvoru formou rešerše. Druhá část popisuje problematiku výpočtu polohy podélného supportu vůči ose vřetena na Brattovacím stroji a výpočet maximální polohy vyústění injekčního otvoru při daném úhlu. Je zde předveden výpočet včetně schématických náčrtů.





## 2 ŽELEZNIČNÍ SOUKOLÍ

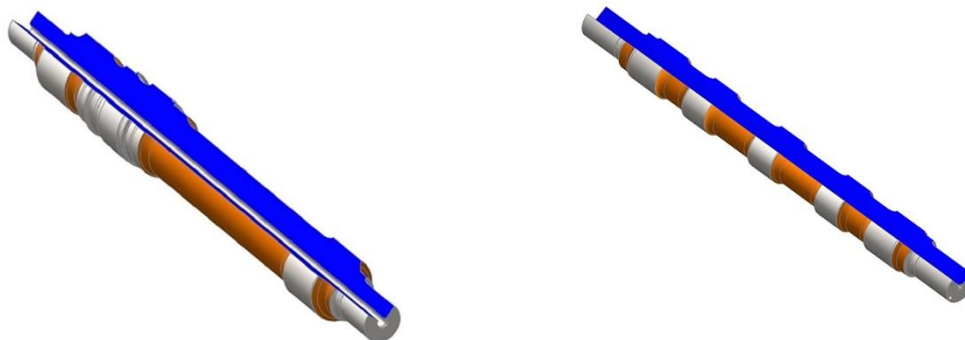
Roční nájezdy jednotlivých dvojkolí jsou jak v osobní, tak i nákladní přepravě v řádu tisíců kilometrů. Vysoký standard výroby znamená prodloužení životnosti a snížení ekonomických nákladů při provozu kolejové dopravy. Důležité je tedy dodržovat specifické výrobní postupy a docílit tak vysoké přesnosti dílčích komponent soukolí. Těmi jsou například kola a nápravy. Se zvyšující se kvalitou výroby samotných dvojkolí roste i efektivita jízdy, bezpečnost a naopak klesají zvukové emise při kolejové dopravě. Eliminace zvukové stopy při kolejové dopravě je důležitá především pro dopravní prostředky užívané v městském sektoru, jako jsou nadzemky, tramvaje či metra. Výrobou soukolí se zabývá jen několik málo firem na světě a patří mezi ně i přední český výrobce železničních soukolí Bonatrans. Tato firma se zabývá kompletním vývojem soukolí, to znamená metalurgií jednotlivých součástí, zušlechťením, obrobením a následně samotnou montáží kolejových dvojkolí.



Obr. 1) Nákladní dvojkolí vyráběné firmou Bonatrans (1)

### 2.1 Nápravy

Se zvyšující se rychlostí dopravy je kladen důraz na vyšší přesnost a nižší hmotnost náprav. Proto se výroba soustředí na přesnost veškerých rozměrových a materiálových charakteristik. Hmotnost je nejčastěji snižována podélným vývrtem v nápravě, který také umožňuje snadnou diagnostiku porušení a trhlin ve středu nápravy za provozu. Cena dutých náprav je ovšem vyšší, a proto je převážná většina kolejových vozidel, především v nákladním sektoru, osazena nápravami plnými. Duté nápravy využívají například podvozky Škoda od 2. generace a vlaky City Elephant. Nápravy jsou nejčastěji vyrobené z ingotové oceli či plynule lité oceli, které se při následném zpracování kovají. Náprava podléhá při provozu i okolním klimatickým a mechanickým vlivům, proto ji výrobci ošetřují válečkováním. Rozdíl v tvrdosti před a po válečkováním musí být minimálně 20 %, a proto se nejčastěji tato operace provádí do hloubky 6-8 mm. Poté následuje broušení a ošetření povlaky molybdenu, či jinými speciálními nátěry zamezující abrazi a korozi. (2)

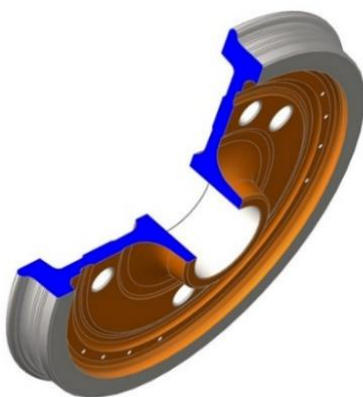


Obr. 2) Řez nápravou s podélným vývrtem a se sedly pro brzdové kotouče od firmy Bonatrans (3)

## 2.2 Kola

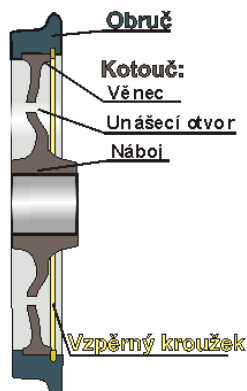
Železniční kola jsou nedílnou součástí každého kolejového vozidla. Při jejich výrobě se dbá především na vysokou životnost a mechanickou odolnost. Té je dosaženo vhodným výběrem použité oceli a jejímu tepelnému zpracování. Neméně podstatným faktorem prodlužující životnost kola je napěťová optimalizace, které je dosaženo specifickými geometrickými charakteristikami kola. Na základě konstrukčních typů můžeme kola dělit na tři základní kategorie: kola celistvá, obručová a pryžová.

Kola celistvá jsou vyrobena z jednoho kusu ušlechtilého materiálu, a tím je dosaženo nižší hmotnosti. Pro výrobu celistvých kol se využívá nejčastěji vakuově odplynovaná ocel a kolo je při výrobě buď kováno nebo válcováno. Tvrdosti věnce kola se poté dosahuje kalením (2). Tyto kola jsou z hlediska bezpečnosti na vyšší úrovni, jelikož u obručových kol může při nedbalém zajištění obruče na kotouči či špatně zavařenému spoji, dojít k jejich oddělení a následné havárii.



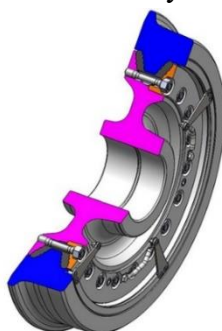
Obr. 3) Kolo celistvé – výrobce Bonatrans (4)

U kol obručových se kotouč osazuje obručí nejčastěji lisováním za tepla, kde je následného bezpečného spoje dosaženo zavařením vzpěrného kroužku mezi obruč a náboj. Při výrobě kol obručových se využívá materiálu B1 až B6 podle normy UIC 810-1 na výrobu obručí (5) a uhlíkové oceli 42 2640 k odlitkům na tvorbu kotoučů. Obruče se vyrábějí pomocí válcování nebo kováním a následným třískovým opracováním.



Obr. 4) Schéma obručového kola (6)

Kola pryžová jsou využívána především v městské dopravě, jako jsou metra či tramvaje. Důvodem jsou menší zvukové emise kvůli umístění pryže mezi kotouč a obruč kola. Díky této technologicky náročnější operaci je cena i o 50% vyšší než u klasických monobloků.

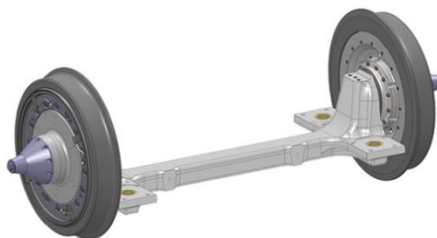


Obr. 5) Kolo pryží odpružené – výrobce Bonatrans (4)

### 2.3 Dvojkolí

Jedná se o uložení dvou kol na nápravu. Tohoto uložení bývá z pravidla dosahováno lisováním kol na nápravu a dochází tak k pevnému mechanickému spoji. Ten je velice důležitý z hlediska bezpečnosti přepravy cestujících či nákladu, jelikož právě na dvojkolí je přenesena celá váha přepravovaného břemene. Typy dvojkolí se můžou lišit v různých aspektech, ať už se jedná o šířku rozchodu či konstrukční řešení. Můžeme rozlišovat dvojkolí s pohonem, s brzdovými kotouči či speciální dvojkolí s nízkopodlažním řešením, které se nejčastěji využívá při městské dopravě u tramvajů. Při tomto řešení je možné výšku podlahy tramvaje situovat do výšky pouhých 350 mm, zatímco při užití klasického dvojkolí je minimální výška podlahy 450 mm. (7)

Pro snadnou a nedestruktivní demontáž kol z nápravy jsou kola opatřena injekčním otvorem. Jeho charakteristikou a výrobními specifiky se bude zabývat následující kapitola.



Obr. 6) Snížené tramvajové dvojkolí s nápravnicí pro samostatná kola od firmy Bonatrans (8)

## 3 INJEKČNÍ OTVOR

Jedná se o otvor umístěný na náboji kola procházející z vnější do vnitřní části. Jeho jediným využitím je přivedení tlakové kapaliny do prostoru mezi kolem a nápravou při její demontáži. Možností vrtání injekčního otvoru je více. Například pomocí vertikální vrtačky, která byla hojně využívána především dříve. Při tomto procesu se nástroje na vrtání mění ručně a využívá se úhlově nastavitelných stojanů pro upnutí kola. Nevýhodou tohoto procesu je delší výrobní čas, nebezpečí nastavení nevhodného úhlu naklápěcího stolu, špatná výměna nástroje, případně nepřesné odměření prvního kusu operátorem. Může tedy docházet k výrobě zmetků, což není u vrtání injekčních otvorů již možné opravit. Jediná možná oprava při vrtání pomocí vertikálních vrtaček je vyjiskřování zalomeného vrtáku či závítníku, kdy tímto způsobem zachráněný kus nemusí být prohlášen za zmetek. V dnešní době se vertikální vrtačky využívají pro větší kola a při málo kusových sériích. Pro výrobu injekčních otvorů kol ve velkých sériích, především pro nákladní dopravu, se zavádí do podniků plně automatické výrobní linky. Jedním ze strojů v lince je právě Brattovací stroj, na který je tato práce zaměřena. Ten, na rozdíl od vertikální vrtačky, nenaklápí při vrtání kolo, ale úhel injekčního otvoru je zajištěn pomocí naklápěcího vřetene.



Obr. 7) Vertikální vrtačka s kolem usazeným na naklápěcím stole ve firmě Bonatrans

### 3.1 Brattovací stroj

Jedná se o jednoúčelový stroj pro vrtání injekčního otvoru do železničních kol. Jeho výrobou se zabývá jen několik firem. Pro potřeby této práce jsem zvolil brněnskou firmu KMS, která je výhradním dodavatelem těchto strojů pro výrobce kolejových soukolí Bonatrans. Konkrétně budou používána data z modelu stroje s označením 1926/2020.

### 3.1.1 Technické parametry stroje KMS 1926/2020

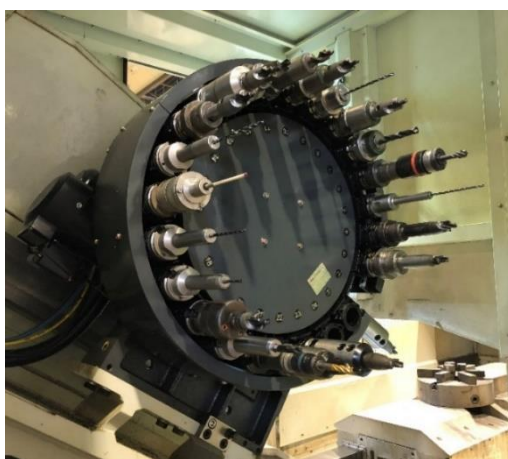
Tab 1) Hlavní charakteristiky stroje

Základna stroje	Ocelový svařenec
Vodorovné a vertikální vedení	Broušené lišty s kluzným povrchem
Naklápění vřeteníku	Šneková převodovka napojena na ozubení
Rozsah naklápění vřeten	18°-52°
Výměna nástrojů	Revolverový zásobník
Upínání kola	Tříčelist'ové sklícidlo
Upínání nástroje	Kuželové SK 40
Chlazení nástroje	Vnitřní i vnější
Pohon vřetene	Servomotor s řemenovým převodem
Odvod třísek	Třískový dopravník na dně stroje
Hmotnost	13 500 kg
Maximální rozměry stroje (d/š/v)	6,2 m/2,4 m/3,1 m
Maximální vnější rozměr upravovaného kola	1350 mm
Rozsah upínání (vnitřní díra kola)	160–260 mm

Vodorovné i vertikální vedení je usazeno na broušených lištách, kde třecí plochu tvoří kluzná hmota Garex. Pomocí ní a vhodného systému mazání je koeficient tření snížen na setiny (9), což prodlužuje životnost vedení a jeho snadnější pozicování. Polohování obou suportů je řešeno pomocí kuličkového šroubu, který je poháněn servomotorem Siemens.

Pro nastavování úhlu naklopení vřeteníku je využito servomotoru a dvou šnekových převodovek TOS Znojmo. Náhon je na vstupním hřídeli opatřen dvěma ozubenými koly, která zabírají do segmentů naklápění opatřenými ozubenými hřebeny. Rameno naklápění je tvořeno svařovanou konstrukcí a uchyceno pomocí dvou čepů do konstrukce základny.

Tvorba injekčního otvoru vyžaduje více různých nástrojů, a to z důvodu různých typů zpracovávaných kol, kdy každé kolo nese daná výrobní specifika, co se tvaru, rozměrů a umístění otvoru týče. Pro zautomatizování výrobního procesu je stroj vybaven revolverovým zásobníkem nástrojů firmy Gifu Enterprise Co. s možností uložení 24ks nástrojů s upínacím kuželem SK 40 a maximální hmotností nástroje 6,5kg.



Obr. 8) Zásobník nástrojů Gifu

Při vrtání otvoru je kolo upevněno do upínače kola, který slouží k bezpečnému a jednoznačnému upnutí. Skládá se ze sklíčidla značky TOS Svitavy, které zaručuje vycentrování kola pomocí třech upínacích čelistí vyrobených z pevné mangan chromové oceli a servomotoru s planetovou převodovkou zajišťující jejich rozpínání. Kolo je usazeno na třech dosedacích plochách, které se ve výpočtové části nazývají dosedací rovinou.



Obr. 9) Upínání kola

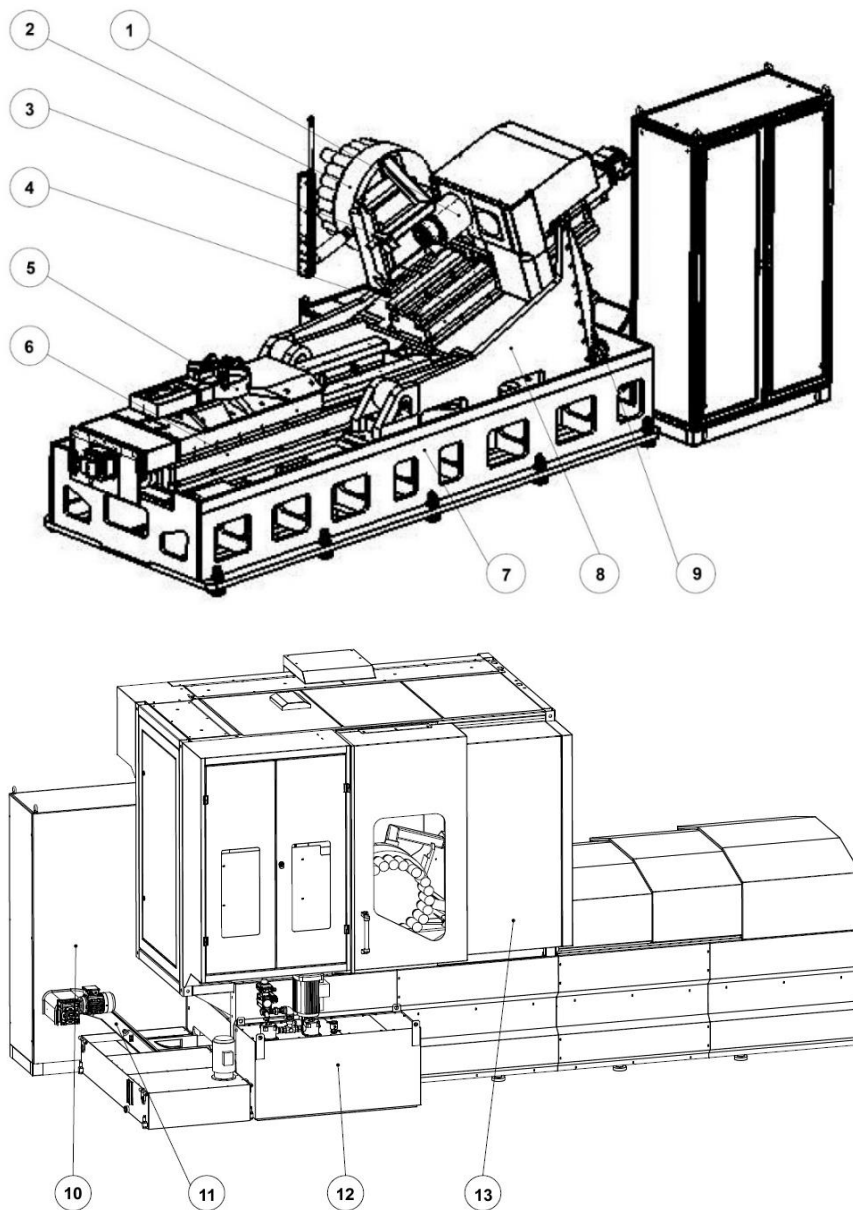
Vřeteno je uloženo ve svařované konstrukci vřeteníku a je opatřeno automatickým upínáním nástroje, kuželem SK 40 a vnitřním i vnějším oplachem nástroje. Pro plynulé nastavování provozních otáček je vřeteník poháněn servomotorem Siemens přes řemenový převod. Ten je zde užit pro bezpečnost při vrtání a eliminaci zničení motoru při naražení či zaseknutí vřetene.



Obr. 10) Pohled na vřeteno s upnutým závitníkem a výměník nástrojů

Celý stroj je zakrytován z důvodu zamezení přístupu osob do pracovní zóny stroje a rozstříku chladicí kapaliny. Krytování nad vodorovným suportem je ovládáno automaticky pomocí motoru a ostatní kryty jsou na ruční pohon. Veškeré otevíratelné části stroje jsou

zabezpečeny koncovými spínači, při jejich přerušení dojde k okamžitému zastavení pracovního procesu. Pro pohodlné kontrolování výroby jsou dveře vybaveny prosklenými okny.



Obr. 11) Schéma JÚS pro vrtání injekčního otvoru – model KMS 1926/2020

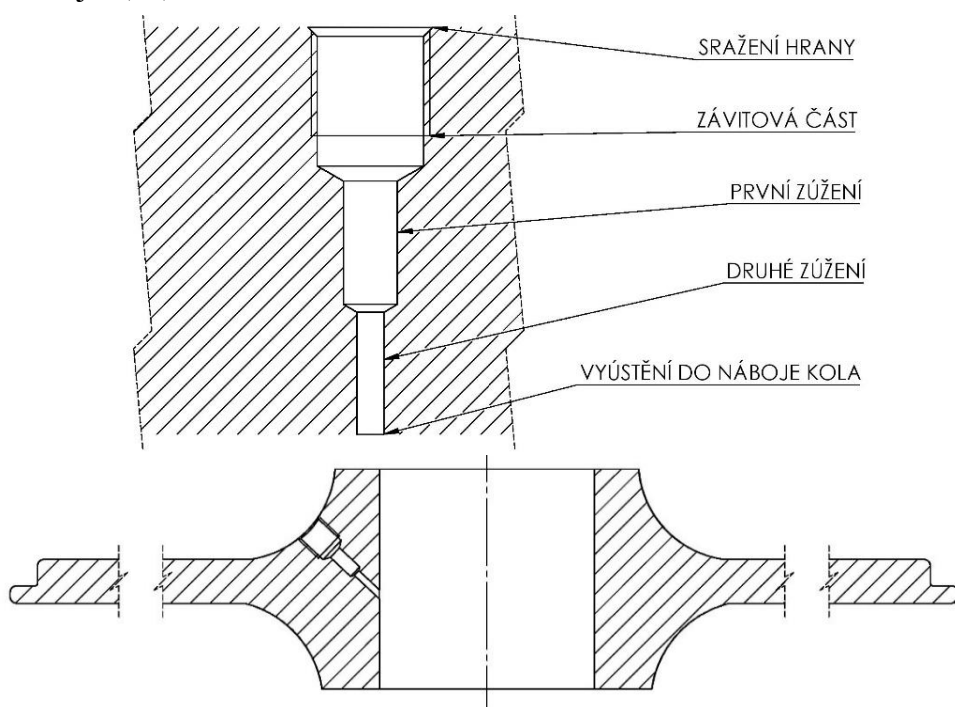
Popis Obr. 7:

- |                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1) Vřeteník                      | 8) Naklápění                       |
| 2) Revolverový zásobník nástrojů | 9) Náhon naklápění                 |
| 3) Kontrola nástroje             | 10) Rozvaděč                       |
| 4) Vertikální posuv              | 11) Dopravník třísek               |
| 5) Upínač kola                   | 12) Reservoár na chladicí kapalinu |
| 6) Vodorovný suport              | 13) Krytování                      |
| 7) Stojan                        |                                    |

### 3.2 Charakteristika injekčního otvoru

Tento otvor slouží k nedestruktivní demontáži kola od nápravy. Je umístěn zhruba v polovině výšky náboje, případně v zaoblení, kde deska kola přechází v náboj. Jeho vyústění je přibližně ve středu desky, kde při rozlisování působí největší síla. Pozice a úhel, pod kterým je vrtán, je pro každý model kola zadán výkresově zvlášť. Při výběru místa pro vrtání otvoru se dbá na pohodlnou obsluhu při demontáži, aby vysokotlaká hadice nepřekážela a šla na otvor pohodlně našroubovat. Úhel je určen tak, aby bylo možné vyrobít otvor pomocí dostupných nástrojových hlav a případně nezasahoval do ostatních komponent kola. Těmi mohou u speciálních typů kol být například tlumící desky. Zároveň také musí docházet k rovnoměrnému vtlačování nízkoviskózní kapaliny do rozváděcí drážky vysoustružené v díře náboji. Úhel je v toleranci tak, aby poloha vyústění otvoru byla v toleranci  $\pm 2$  mm a zároveň dle tabulky netolerovaných rozměrů ČSN. Při nemožnosti navrtat šikmý otvor se ve speciálních případech vrtá injekční otvor kolmo k čelu náboje, případně se vrtají injekční otvory dva, a to buď z jedné nebo z obou stran.

Otvor samotný se skládá ze zhloubení pro vytvoření rovinné dosedací plošky v zaoblení náboje kola, nebo přímo dírou se sražením a závitem. Této možnosti rozhodování, zda je dosedací ploška potřebná, je vystaven konstruktér, který dle typu kola a velikosti rádiusu mezi deskou kola a nábojem určuje její potřebu a velikost. Po dosedací plošce následuje závitová část osazena jemným trubkovým závitem G  $\frac{1}{4}$ ", nebo Rp  $\frac{1}{4}$ ". Ten má oproti závitu třídy G výhodu ve svém mírně kuželovitě tvaru, kdy se průměr závitu mění v poměru 1:16 od konce. Při užití vhodné kombinace kuželového a válcového závitu, na injekčním otvoru a tlakové maznici, tak dochází k samotěsnicímu uložení. Výjimečně se na kolech objevují i metrické závity, například M 20x1,5, nebo širší závit G  $\frac{3}{8}$ ". Na závitovou část poté navazuje podle typu injekčního otvoru díra s jedním průměrem vedoucí až do náboje kola. V některých případech dochází ještě ke druhé změně průměru díry a výsledný injekční otvor je tedy vrtán pomocí více rozdílných nástrojů. (10)



Obr. 12) Schéma a možné umístění injekčního otvoru na železničním kole



Výroba injekčních otvorů nepodléhá žádným přísným rozměrovým tolerancím, až na závit, který musí být navrtán přesně, aby při natlakování náležitě těsnil. K tomuto účelu se v poslední fázi výroby využívá závitového kalibru. Dodržují se tedy tolerance dané výkresem ke každému typu kola. Hloubka díry pro závit a závit samotný se obvykle vrtají s tolerancí +2 mm, konečný průměr injekčního otvoru 5 mm nebo 6 mm v toleranci  $\pm 0,5$  mm až +1 mm dle typu kola



Obr. 13) Závitový kalibr G 1/4" (11)

### 3.3 Proces vrtání injekčního otvoru

Při tvorbě injekčního otvoru na brattovačce zapojené ve výrobní lince se nejprve pomocí manipulátoru umístí kolo do čelistového sklíčidla, pomocí něhož je střed kola vycentrován do vodorovné osy stroje. Následuje změření vzdálenosti horní roviny kola od nulové roviny pomocí měřidla umístěného na kabině stroje. Poté je nastaven úhel naklonění vřetene dle výkresu a najeto vodorovným supportem do vrtací polohy  $z_2$  vypočtené dle další části práce. Měřicí sondou upnutou v upínači nástroje místo vrtacího nástroje je změřena poloha, kdy se sonda dotkne náboje kola a po uložení této hodnoty do řídicího systému stroje je po výměně měřicího nástroje za vrtací zahájeno samotné vrtání. To je prováděno nejprve pomocí předvrtání díry pro závit a případného vytvoření dosedací plošky. (12) Pak následuje vyvrtání závitu a vyvrtání jednoho nebo dvou zúžení k vnitřní stěně náboje. Po dokončení těchto operací je kolo opět automatickým manipulátorem přesunuto k další výrobní operaci a na konci ke zkontrolování závitu kalibrem. Pro vrtání dosedací plochy a díry pro závit se využívají vrtáky pro velké díry s VBD destičkami, kde vodící vrták je o průměru vhodném pro předvrtání závitu. Tím pádem dochází k menšímu počtu výměny nástrojů. Následuje vrtání závitu a finální díry injekčního otvoru. K tomu se využívá, v případě výrobního závodu Bonatrans, vrtáků s vnitřním chlazením značky Walter. (10)



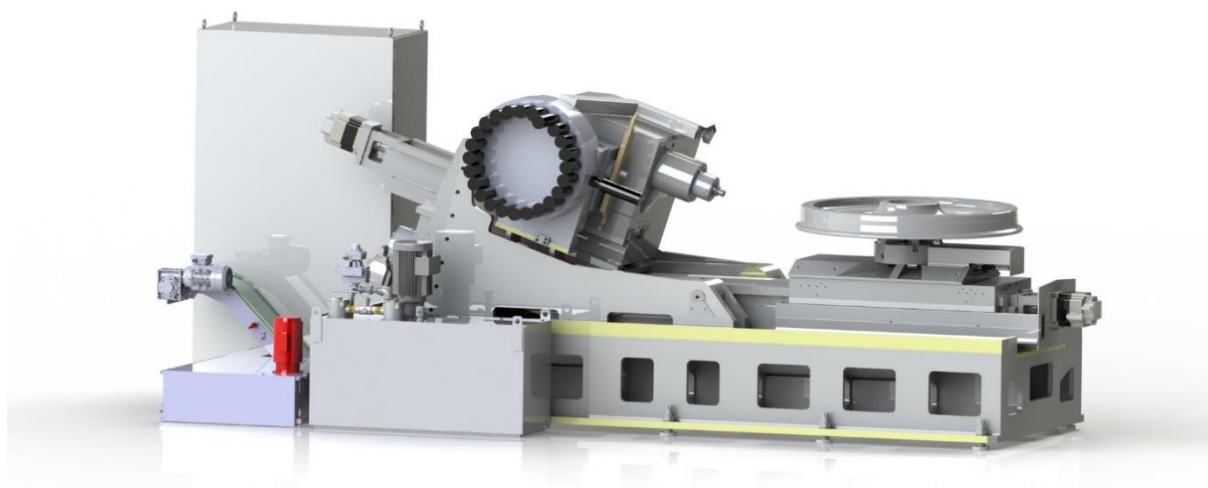
Obr. 14) Vrták Walter Evo s vnitřním chlazením (13)

### 3.4 Demontáž železničního dvojkolí

Při demontáži kola z nápravy je na injekční otvor našroubována tlaková maznice, pomocí které je do mazací drážky v náboji kola vtlačena tlaková kapalina. Ta se liší dle jednotlivých opraven kol. Je ale za potřebí, aby kapalina zachovávala své vlastnosti při vysokém tlaku a teplotě. Důležitou charakteristikou této kapaliny je její nízká viskozita a vysoký součinitel tření, aby při slisovávání docházelo k mazání co největší styčné plochy. Doporučeným tlakem 250 MPa až 400 MPa je do injekčního otvoru vtlačována kapalina do doby, než začne vytékat ze spoje mezi kolem a nápravou, přičemž tlak poklesne a spoj může být rozlisován. Příkladem kapaliny, která splňuje výše zmíněná kritéria, je například demontážní kapalina LHDF 900/5 vyráběná firmou SKF. (14)



Obr. 15) Injekční otvor na železničním kole



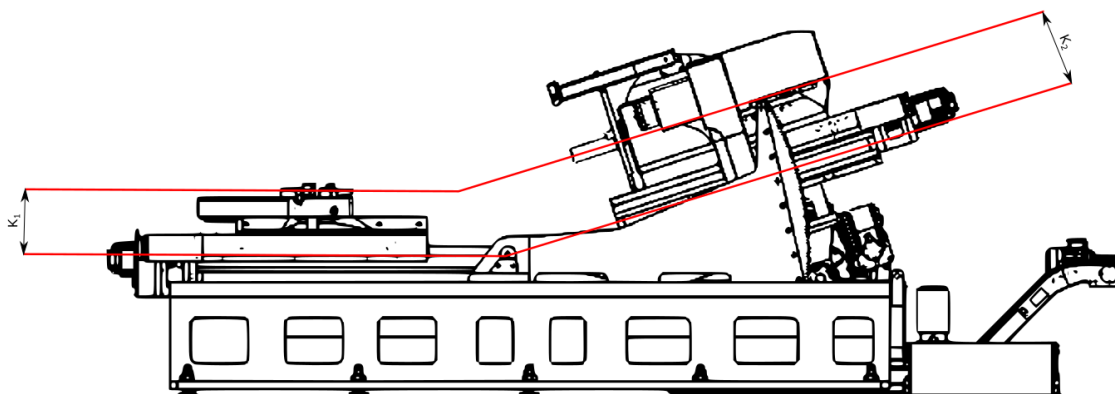
Obr. 16) Model Brattovačky KMS 1926/2020

## 4 VÝPOČTOVÁ ČÁST

Jak již bylo zmíněno výše, Brattův otvor je na každý typ kola umístěn na jiné místo a vrtán pod specifickým úhlem. Je tedy velice důležité před zahájením každého vrtání, a především při změně typu kola na výrobní lince, nastavit stroj do přesné pracovní polohy. Výpočtem úhlu naklopení vřetene a vodorovnou pozicí kola se zabývá tato část práce. Stejně tak je zde znázorněn výpočet pro určení maximální polohy vyústění injekčního otvoru v náboji kola. Opět zde budou použity data ze stroje č. 1926/2020 vyrobeného firmou KMS Brno.

### 4.1 Strojové konstanty

Při výpočtech hodnot pro nastavení stroje vycházíme z rozměrů kola, hodnot naměřených na pravítkách na stroji a takzvaných strojových konstant. To jsou rozměry funkčních částí, které mohou bezprostředně ovlivňovat přesnost nastavování stroje. Nejedná se tedy o celkové rozměry stroje a rozměry jednotlivých částí, jako jsou víka, šířky supportu, velikosti žeber atd. Strojové konstanty jsou skutečné rozměry stroje, tedy rozměry změřené až po samotném sestavení. Jejich měření je realizováno pomocí Johansonových měrek s přesností na setiny milimetru. Pro výpočet polohy vodorovného supportu a naklopení vřetene je podstatná především kolmá vzdálenost osy čepu naklápění vůči dosedací ploše upravovaného kola –  $K_1$  a kolmá vzdálenost mezi osou naklápění a osou vrtacího vřetene –  $K_2$ .

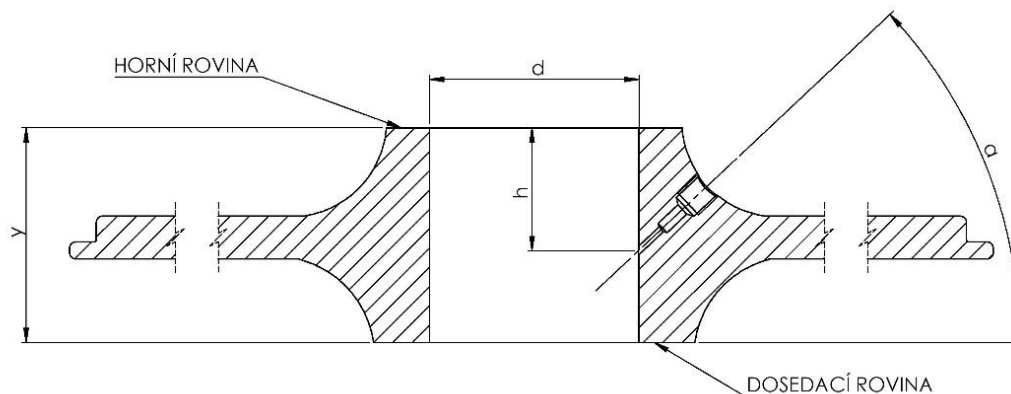


Obr. 17) Znázornění strojových konstant

### 4.2 Návrh výpočtu

U každého typu kola je zadán úhel, pod kterým má být injekční otvor vrtán, jeho rozměrová charakteristika a pozice vyústění otvoru v náboji kola. Při nastavování stroje se nejprve nastaví úhel naklopení vřetene, což je i úhel, pod kterým je otvor do kola vrtán z důvodu rovnoběžného uložení vřetene s naklápěcí částí stroje. Poté je nutné určit pozici vodorovného supportu. V této fázi je důležité znát rozměry upravovaného kola, jelikož ty jsou vstupními parametry pro výpočet. Tyto parametry jsou dány ve výkresové dokumentaci ke každému kolu a pro tento výpočet je z něj potřeba odečíst: úhel vrtání inj. otvoru, výška náboje kola, průměr díry náboje a vzdálenost středu vyústění injekčního otvoru v náboji vůči horní rovině kola. Při

sestavování výpočtu je tedy nutné vzít v potaz větší množství kol zpracovávaných na tomto stroji a vytvořit tak univerzální výpočet pro různé kombinace vstupních parametrů.



Obr. 18) Znárodnění potřebných rozměrů kola pro výpočet

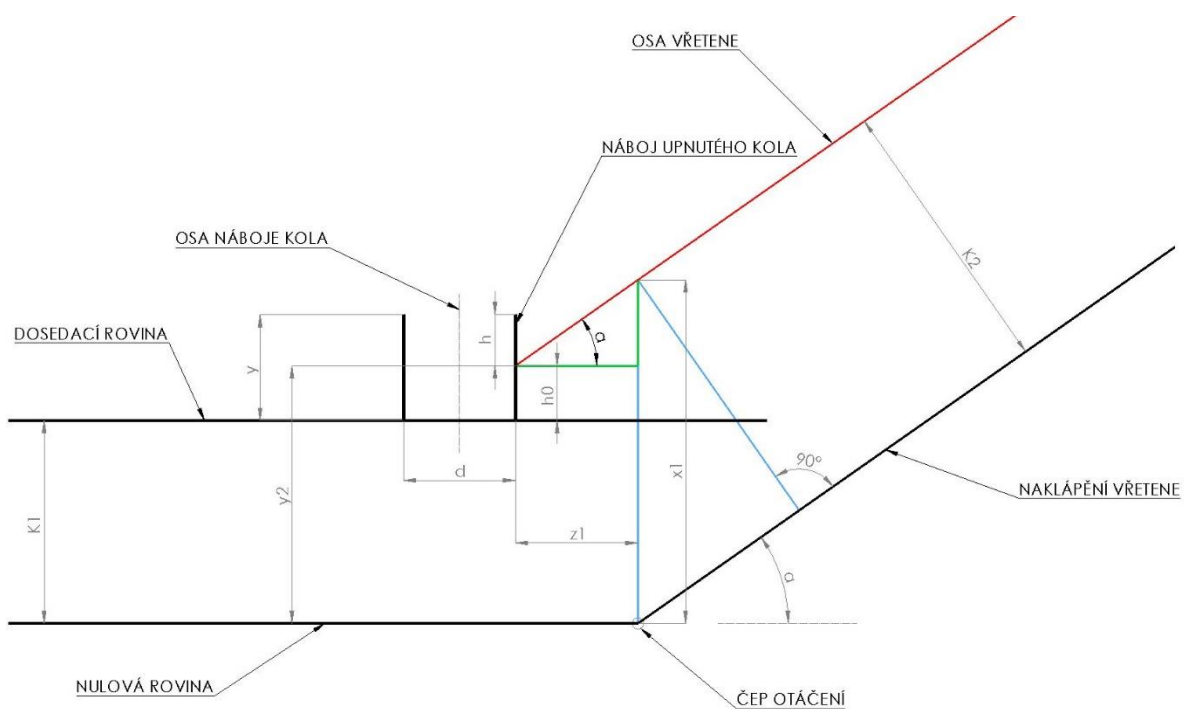
V první fázi výpočtu je potřeba určit vzdálenost středu vyústění injekčního otvoru od dosedací roviny a od nulové roviny, ve které se nachází čep otáčení:

(1)

$$h_0 = y - h$$

(2)

$$y_2 = K_1 + h_0$$



Obr. 19) Grafické znázornění výpočtu polohy vodorovného supportu

Rozměr, který je na Obr. 19 z hlediska polohování neznámý a je potřeba jej určit, je kolmá vzdálenost mezi čepem otáčení a hranou náboje, tedy rozměr  $z_1$ . Pro je určení vycházíme z podobnosti zeleného a modrého trojúhelníku. Nejprve určíme vzdálenost  $x_1$ , která je kolmicí od nulové roviny k ose vřetena a zároveň prochází čepem otáčení. V modrém trojúhelníku se nachází úhel naklonění vřetene  $\alpha$  mezi přeponu a delší odvěsnou a proto platí:

(3)

$$\cos \alpha = \frac{K_2}{x_1}$$

po úpravě

(4)

$$x_1 = \frac{K_2}{\cos \alpha}$$

Poté je možné dopočítat vzdálenost  $z_1$ , pomocí zeleného trojúhelníku, kde úhel naklonění  $\alpha$  je znázorněn na Obr. 14 a pro rozměr kratší odvěsny  $x_2$  platí:

(5)

$$x_2 = x_1 - y_2$$

(6)

$$\tan \alpha = \frac{x_2}{z_1}$$

po úpravě

$$z_1 = \frac{x_2}{\tan \alpha}$$

Z vypočtené vzdálenosti  $z_1$  je pak už možné přičtením poloviny průměru náboj kola dopočítat, vzdálenost osy kola vůči čepu otáčení pro nastavení správných parametrů vrtání

(7)

$$z_2 = z_1 + \frac{1}{2} * d$$

Z výpočtů je zřejmé, že při změně úhlu, pod kterým je inj. otvor vrtán, a zároveň požadavku zachování polohy jeho vyústění do rozměrově stejného kola, je nutné kromě úhlu naklonění vřetene měnit i vzdálenost vodorovného supportu od čepu otáčení, tedy vzdálenost  $z_2$ . V tomto případě se zachová hodnota  $y_2$  a po sloučení rovnic (3), (4), (5) a (6) dostaneme:

dosazení (3) do (4)

(8)

$$x_2 = \frac{K_2}{\cos \alpha} - y_2$$

dosazení (4) do (5)

(9)

$$z_1 = \frac{\frac{K_2}{\cos \alpha} - y_2}{\tan \alpha}$$

po úpravě

(10)

$$z_1 = \frac{K_2 - y_2 * \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

(11)

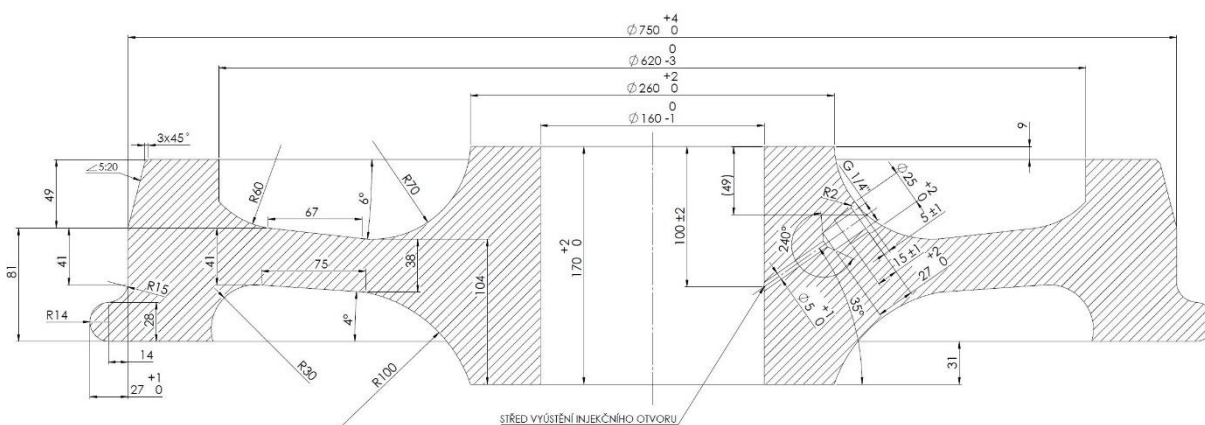
$$z_2 = \frac{K_2 - y_2 * \cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} * d$$

Tento výsledný vztah lze využít, pokud je potřeba vrtat injekční otvor s konkrétním místem vyústění, avšak geometrické charakteristiky kola neumožňují začít vrtat otvor v daném místě. To může být z důvodu překážení části kola při najíždění nástrojem k počátečnímu místu vrtání. Z tohoto důvodu je dobré znát, jaká jsou možná vyústění otvoru při extrémních úhlech naklonění stroje. Tímto výpočtem se bude zabývat další část práce.

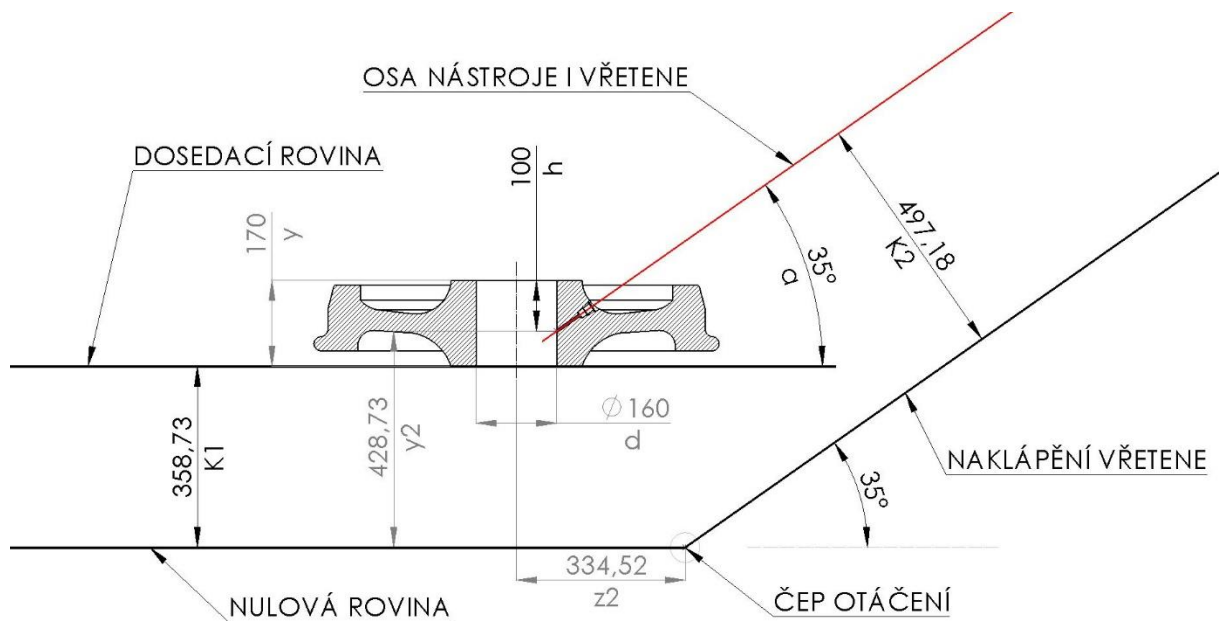
### 4.3 Ověření správnosti výpočtu na reálném kole

Po sestavení výpočtu je nutné nalézt způsob, jak je možné výpočet ověřit a zjistit, zda je pro daný účel vhodný. Nejnázornějším způsobem by bylo vložit výpočet do řídicí jednotky brattovačky a pokusit se o navrtání injekčního otvoru na reálném kole. Pro názornost bylo v této práci užito CAD programu, do kterého bylo kolo spolu s dalšími parametry stroje překresleno a potřebné hodnoty následně odečteny. Díky zachování stejného měřítka na veškerých částech nákresu můžeme při shodné výsledné hodnotě  $z_2$  z výpočtetní i z měřicí části prohlásit, že výpočet by byl pro danou aplikaci vhodný. Pro zjištění správnosti výpočtu polohy  $z_2$  bylo zvoleno kolo 455.063 s rozměry a vlastnostmi injekčního otvoru dle následujícího obrázku.

Z výkresu kola byly následně odečteny nezbytné rozměrové charakteristiky a následně vše vloženo do CAD programu, kde byla změřena velikost  $z_2$ . Rozměrové charakteristiky brattovačky, tedy strojové konstanty stroje, jsou naměřeny na stroji výrobce KMS Brno modelu 1926/2020.



Obr. 20) Kolo 455.063



Obr. 21) Schéma úpravy kola 455.063 v brattovačce KMS 1926/2020

Tab 2) Data potřebná pro výpočet

$K_1$	358,73 mm
$K_2$	497,18 mm
$d$	160 mm
$y$	170 mm
$h$	100 mm
$\alpha$	$35^\circ$

Dosazení do rovnice (1)

$$h_0 = y - h = 170 \text{ mm} - 100 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

Výpočet  $y_2$  pomocí rovnice (2)

$$y_2 = K_1 + h_0 = 358,73 \text{ mm} + 70 \text{ mm} = 428,73 \text{ mm}$$

Výsledné vyjádření  $z_2$  pomocí rovnice (11)

$$z_2 = \frac{K_2 - y_2 * \cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} * d$$

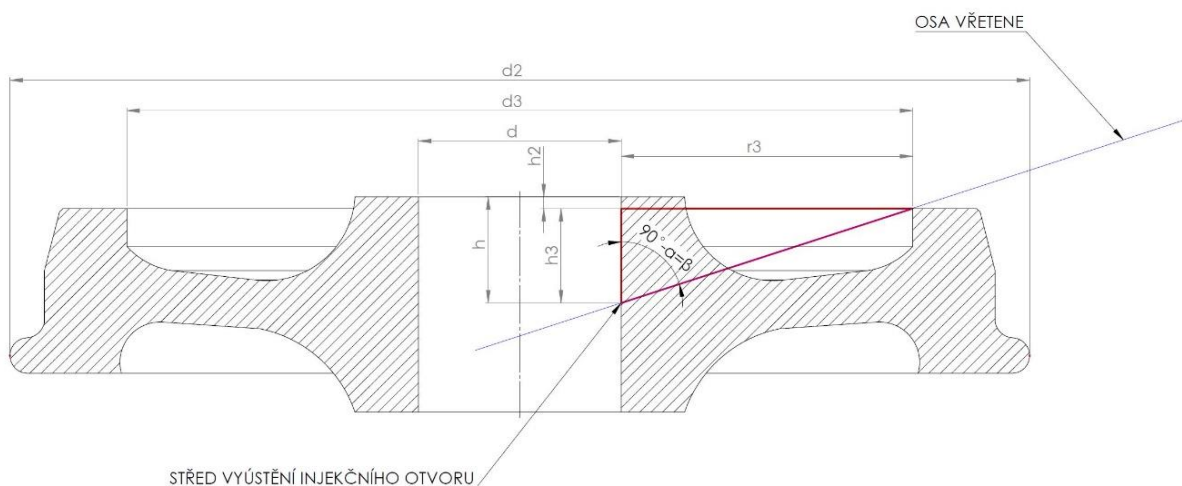
$$z_2 = \frac{497,18 \text{ mm} - 428,73 \text{ mm} * \cos(35^\circ)}{\sin(35^\circ)} + \frac{1}{2} * 160 \text{ mm} = 334,52 \text{ mm}$$

Vypočtená hodnota  $z_2$  je shodná jako odečtená hodnota  $z_2$  z Obr. 21, tedy obrázku, který simuluje nastavení polohy stroje při úpravě kola pomocí CAD programu. Výpočet lze tedy prohlásit za správný a užít při nastavování stroje do pracovní polohy. Dalším problémem, který může z hlediska vrtání injekčního otvoru nastat, je kolize mezi vrtacím nástrojem a věncem kola. Pro zabránění této kolize, je vhodné při návrhu umístění injekčního otvoru na kolo znát maximální polohy jeho vyústění pro daný úhel vrtání. Touto problematikou se bude zabývat další část.

#### 4.4 Maximální poloha vyústění injekčního otvoru

Z tabulky technických parametrů stroje (Tab. 1) je zřejmé, jaké maximální rozměry kol lze na stroji upravovat a do jakých možných úhlů je možné naklopit vřeteno. Při návrhu místa pro umístění injekčního otvoru musí konstruktér brát na zřetel konstrukční možnosti stroje i geometrii kola. To znamená, že při extrémních hodnotách naklopení vřetene není možné navrtat vyústění otvoru v libovolné vzdálenosti  $h$ . Při maximálním naklopení stroje lze dosáhnout vyšší hodnoty  $h$  a proces vrtání je tedy limitován především délkou nástroje, jelikož při maximálním úhlu naklopení a zároveň požadavku pro dosažení co nejvyšší hodnoty  $h$  bude celková délka injekčního otvoru maximální.

Při vrtání pod minimálním úhlem brání dosažení maximální hloubky  $h$  především geometrie kola, jak je patrné z obrázku (Obr. 22), kde se fialová úsečka značící osu vřetene dotýká věnce kola. Pro výpočet maximální vzdálenosti  $h$  je tedy důležité brát v úvah především geometrii kola. Pomocí vzdálenosti  $h_2$ , která je na výkresech kol vždy zakótována a stejně tak i průměry  $d_1$  a  $d_2$ , lze sestavit výpočet pro maximální možnou hodnotu  $h$ .



Obr. 22) Schéma znázorňující maximální vzdálenost  $h$  při minimálním naklopení vřetene

Při určování maximální velikosti  $h$ , vycházíme z trojúhelníku na Obr. 20 vyznačeném červeně. Zde je potřeba nejprve určit vzdálenost  $r_3$ , což je jeho delší odvěsna:

(12)

$$r_3 = \frac{d_3}{2} - \frac{d}{2}$$



Z tohoto trojúhelníku, lze pomocí goniometrické funkce tangens vyjádřit velikost  $h_3$ :

(13)

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

(14)

$$\tan \beta = \frac{r_3}{h_3}$$

po úpravě

(15)

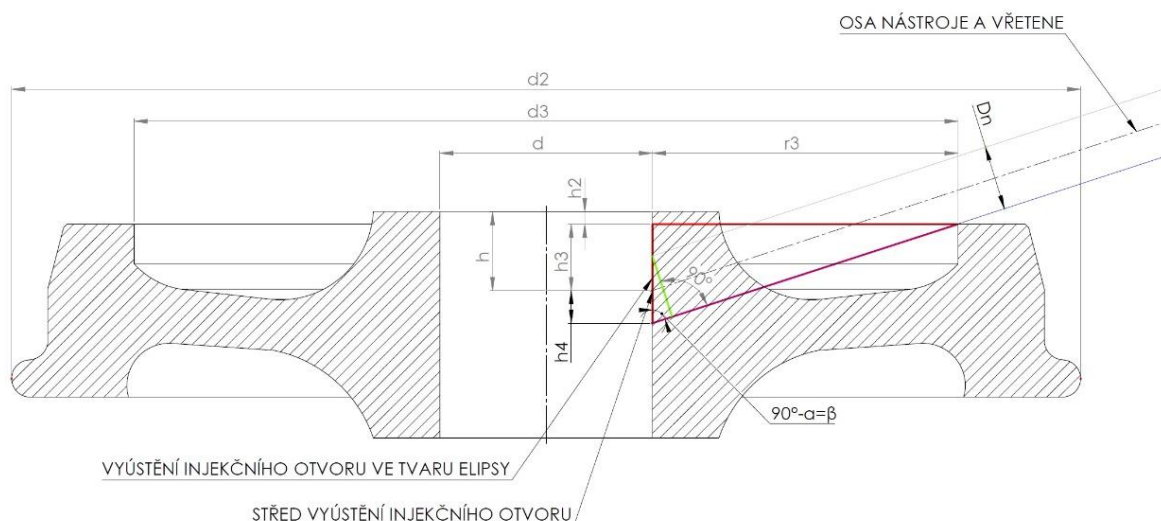
$$h_3 = \frac{r_3}{\tan \beta}$$

Z vypočtených hodnot lze nyní určit výslednou hodnotu  $h$ :

(16)

$$h = h_2 + h_3$$

U tohoto výpočtu uvažujeme nástroj jako nekonečně tenký, z toho důvodu vychází hodnota  $h$  mírně zkresleně oproti použití reálného nástroje. Pro přesné určení její hodnoty musí být brán v potaz průměr nástroje či vřetene. O polovinu tohoto průměru bude vzdálenost mezi potencialem dotykem kola a osy vřetene posunuta a tím změněna velikost  $h$ . Pokud je injekční otvor vrtán pod jiným úhlem než  $90^\circ$ , bude jeho vyústění v náboji odpovídat tvaru elipsy místo kruhu. Z následujícího obrázku je patrné, jak se při zachování stejného úhlu vrtání mění střed vyústění injekčního otvoru v závislosti na průměru nástroje  $D_n$ .



Obr. 23) Schéma znázorňující polohu vyústění injekčního otvoru s ohledem na průměr nástroje

Nejprve je nutné vypočítat velikost poloviny výšky elipsy, kterou injekční otvor ústí do náboje, tedy velikost  $h_4$ , pomocí zeleno-červeného trojúhelníku:

(17)

$$h_4 = \frac{1}{2} * \frac{D_n}{\sin \beta}$$

Poté je z náčrtu použit červený trojúhelník, jehož kratší odvěsna měří  $h_3+h_4$  a pomocí goniometrické funkce tangens lze velikost  $h_3$  dopočítat:

(18)

$$h_3 + h_4 = \frac{r_3}{\tan \beta}$$

(19)

$$h_3 = \frac{r_3}{\tan \beta} - h_4$$

Maximální vzdálenost  $h$  od horní roviny kola, lze poté dopočítat jako:

(20)

$$h = h_2 + h_3$$

Vyjádření velikosti  $h$  v závislosti na průměru nástroje a parametru  $h_2$  lze zobecnit jako:

(21)

$$h = h_2 + \frac{r_3}{\tan \beta} - \frac{1}{2} * \frac{D_n}{\sin \beta}$$

Při potřebě ověření, zda je injekční otvor možné s danými parametry vrtat, je vhodné vyjádřit z předešlé rovnice (20) parametr  $h_2$  jako  $h_2'$ . Pokud bude vycházet jeho hodnota menší jak  $h_2$ , můžeme prohlásit, že ke kolizi mezi nástrojem a věncem kola docházet nebude:

(22)

$$h_2' = h - \frac{r_3}{\tan \beta} + \frac{1}{2} * \frac{D_n}{\sin \beta}$$

Podmínka, kdy nedojde ke kolizi:

(23)

$$h_2' \leq -h_2$$

Pro zjištění kolmé vzdálenosti mezi hranou věnce kola a vrtáku, lze využít rovnici:

(24)

$$|h_{rezerva}| = h_2' - h_2$$

Výpočet (20) lze využít při návrhu polohy vyústění injekčního otvoru v náboji kola, pokud je pro demontáž důležité, aby se otvor nacházel v co největší vzdálenosti od horní roviny kola a zároveň požadavku pro minimální úhel jeho vrtání. Například z důvodu tlumících desek v kole či pohodlnosti obsluhy při našroubování tlakové maznice při demontáži dvojkolí.

Pro selekci kol vhodných k výrobě injekčního otvoru na daném stroji lze využít upravený tvar (21). Výpočet můžeme opět aplikovat na reálném kole z předešlé části práce 4.3, kde byl injekční otvor vrtán pomocí nástroje s největším průměrem  $D_n = \emptyset 25$ , pod úhlem  $\alpha = 35^\circ$ .

Vyjádření doplňkového úhlu  $\beta$  pomocí rovnice (13):

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 35^\circ = 55^\circ$$

Určení hodnoty  $h_2'$  užitím rovnice (22):

$$h_2' = h - \frac{r_3}{\tan \beta} + \frac{1}{2} * \frac{D_n}{\sin \beta}$$

$$h_2' = 100 \text{ mm} - \frac{230 \text{ mm}}{\tan 55^\circ} + \frac{1}{2} * \frac{25 \text{ mm}}{\sin 55^\circ} = -45,79 \text{ mm}$$

Hodnota  $h_2'$  je záporná, jelikož se po zavedení souřadného systému, ve kterém výpočty provádíme, tedy systém znázorněný rozměry  $r_3$  a  $h_3$  dle obrázku (23) nachází v jiném kvadrantu.

Dosazení do podmínky (23)

$$h_2' \leq -h_2$$

$$-45,79 \leq -9$$

Výsledná hodnota odpovídá podmínce (23) a je tedy možné daný průměr injekčního otvoru na stroji vrtat tak, aby nedocházelo ke kolizi nástroje s věncem kola.



## 5 ZÁVĚR

V teoretické části práce byly rozebrány základní používané druhy kol a náprav pro kolejová vozidla, se kterými jako celek tvoří kolejová dvojkolí. Dále bylo pojednáno o způsobu demontáže zmíněných dvojkolí, k čemu je využíván právě injekční otvor. Ten byl detailně rozebrán, co se jeho využití a veškerých výrobních charakteristik týče, včetně procesu vrtání na konvenčním i automatickém stroji.

Druhá část byla zaměřena na návrh výpočtu polohy vodorovného supportu na JÚS pro vrtání injekčního otvoru čili brattovače. Tento výpočet byl následně ověřen na modelu reálného kola, kde se výsledek z navrženého výpočtu s výsledkem měření v CAD programu shodoval. Tím byla správnost výpočtu prokázána a výpočet by mohl být implementován do brattovacího stroje. Dále byl určen maximální rozsah vyústění injekčního otvoru v náboji kola pro daný úhel vrtání, který lze aplikovat při konstrukčním návrhu kola, případně při posouzení vhodnosti užití daného JÚS při jeho vrtání, opět s ukázkou výpočtu na reálném kole.

Celkově je tedy v práci nastíněna problematika železničních dvojkolí a jejich demontáže, spolu s výpočty pro nastavení JÚS při vrtání injekčního otvoru. V dnešní době se k jeho vrtání využívají vertikální vrtačky i JÚS. Při rozhodování, který ze zmíněných strojů bude užit, se zohledňuje velikost zpracovávaných kol, jelikož JÚS je možné využívat jen pro menší průměry kol. Je ale naopak výhodný pro velké série z důvodu vyšší rychlosti, menší zmetkovitosti a možnosti zapojení do automatické výrobní linky, kde je celý proces kol sjednocen na jednom místě a nemusí se kola mezi jednotlivými výrobními stanovišti přepravovat. Což je při trendu nynějšího zavádění plně automatizovaných výrobních linek velkou výhodou.



- 1) *Nákladí dvojkolí [online].* In: . [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyrobky-a-sluzby/dvojkoli/>
- 2) *VACULÍK, F. Proces opravy dvojkolí.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 61 s. 13 příloh. Vedoucí práce Ing. Osička Karel, Ph.D.
- 3) *Náprava se sedly pro brzdové kotouče - Bonatrans [online].* In: . [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyrobky-a-sluzby/napravy/>
- 4) *Druhy kol – Bonatrans [online].* In: . [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyrobky-a-sluzby/kola/>
- 5) *Grupa Alchemia: Railway wheel tyres - Product catalogue [online].* [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <http://alchemiasa.pl/files/huta-bankowa-1441791713.pdf>
- 6) *Schéma obručového kola [online].* In: . [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/pojezdy/kola.html>
- 7) *Konstrukce náprav moderních kolejových vozidel [online].* [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: [https://www.ghh-bonatrans.com/files/files\\_whitepages/Konstrukce%20n%C3%A1prav%20modern%C3%ADch%20kolejov%C3%BDch%20vozel%20SPKV%202017.pdf](https://www.ghh-bonatrans.com/files/files_whitepages/Konstrukce%20n%C3%A1prav%20modern%C3%ADch%20kolejov%C3%BDch%20vozel%20SPKV%202017.pdf)
- 8) *Tramvajové dvojkolí s nápravnicí pro samostatná kola [online].* [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.ghh-bonatrans.com/cs/vyrobky-a-sluzby/dvojkoli/>
- 9) *Garex [online].* [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <http://www.dawex.cz/kluznehmoty>
- 10) *Obrobna - Železniční a tramvajová kola, výroba náprav zavádění nových nástrojů [online].* Bohumín, 2018 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.mesto-bohumin.cz/cz/zpravodajstvi/novinove-clanky/38911-obrobna-zeleznicni-a-tramvajova-kola-vyroba-naprav-zavadeni-novych-nastroju.html>
- 11) *MEZNÍ ZÁVITOVÝ KALIBR PRO ZÁVIT G 1/4" [online].* In: . [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.kalibr-shop.cz/G-1-4-kalibr-zavitovy-trn>
- 12) *JASÍČEK, R. Projekt výrobní linky.* Brno, 2016, 103 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.
- 13) *Vrták Walter Evo [online].* [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: [https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard\\_products/holemaking/overview/drilling/dc160/Pages/default.aspx](https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard_products/holemaking/overview/drilling/dc160/Pages/default.aspx)
- 14) *Demontážní kapalina LHDF 900/5 SKF [online].* [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.industrial.cz/lhdf-900-5--demontazni-kapalina-detail-VX10000101.aspx>





## 6 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ

### 6.1 Seznam použitých zkratk a symbolů

JÚS	jednoúčelový stroj	
UIC	mezinárodní železniční unie	
CNC	computer numeric control	
inj.	injekční otvor	
VBD	vyměnitelné břitové destičky	
$K_1$	strojová konstanta 1	[mm]
$K_2$	strojová konstanta 2	[mm]
$h$	vzdálenost středu díry inj. otvoru od horní roviny kola	[mm]
$h_0$	vzdálenost středu díry inj. otvoru od dosedací roviny kola	[mm]
$\alpha$	úhel naklonění vřetene	[°]
$\beta$	dopočet úhlu naklonění vřetene do 90° ( $90^\circ - \alpha$ )	[°]
$x_1$	pomocná proměnná	[mm]
$x_2$	vzdálenost mezi dosedací rovinou a vyústěním inj. otvoru	[mm]
$y_2$	vzdálenost mezi nulovou rovinou a vyústěním inj. otvoru	[mm]
$z_1$	vzdálenost mezi středem čepu otáčení a hranou náboje	[mm]
$z_2$	vzdálenost mezi středem čepu otáčení a osou náboje kola	[mm]
$h_1$	polovina výšky elipsy v náboji kola	[mm]
$D_n$	průměr nástroje	[mm]

### 6.2 Seznam tabulek

TAB 1) HLAVNÍ CHARAKTERISTIKY STROJE .....	21
TAB 2) DATA POTŘEBNÁ PRO VÝPOČET .....	31

### 6.3 Seznam obrázků

OBR. 1) NÁKLADNÍ DVOJKOLÍ VYRÁBĚNÉ FIRMOU BONATRANS (1).....	17
OBR. 2) ŘEZ NÁPRAVOU S PODÉLNÝM VÝVRTEM A SE SEDLY PRO BRZDOVÉ KOTOUČE OD FIRMY BONATRANS (3) .....	18
OBR. 3) KOLO CELISTVÉ – VÝROBCE BONATRANS (4) .....	18
OBR. 4) SCHÉMA OBRUČOVÉHO KOLA (6) .....	19
OBR. 5) KOLO PRYŽÍ ODPRUŽENÉ – VÝROBCE BONATRANS (4).....	19
OBR. 6) SNÍŽENÉ TRAMVAJOVÉ DVOJKOLÍ S NÁPRAVNÍCÍ PRO SAMOSTATNÁ KOLA OD FIRMY BONATRANS (8).....	19

OBR. 7) VERTIKÁLNÍ VRTAČKA S KOLEM USAZENÝM NA NAKLÁPĚCÍM STOLE VE FIRMĚ BONATRANS .....	20
OBR. 8) ZÁSOBNÍK NÁSTROJŮ GIFU .....	21
OBR. 9) UPÍNÁNÍ KOLA .....	22
OBR. 10) POHLED NA VŘETENO S UPNUTÝM ZÁVITNÍKEM A VÝMĚNÍK NÁSTROJŮ .....	22
OBR. 11) SCHÉMA JÚS PRO VRTÁNÍ INJEKČNÍHO OTVORU – MODEL KMS 1926/2020.....	23
OBR. 12) SCHÉMA A MOŽNÉ UMÍSTĚNÍ INJEKČNÍHO OTVORU NA ŽELEZNIČNÍM KOLE .....	24
OBR. 13) ZÁVITOVÝ KALIBR G ¼" (11) .....	25
OBR. 14) VRTÁK WALTER EVO S VNITŘNÍM CHLAZENÍM (13).....	25
OBR. 15) INJEKČNÍ OTVOR NA ŽELEZNIČNÍM KOLE.....	26
OBR. 16) MODEL BRATTOVAČKY KMS 1926/2020.....	26
OBR. 17) ZNÁZORNĚNÍ STROJOVÝCH KONSTANT.....	27
OBR. 18) ZNÁZORNĚNÍ POTŘEBNÝCH ROZMĚRŮ KOLA PRO VÝPOČET.....	28
OBR. 19) GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝPOČTU POLOHY VODOROVNÉHO SUPPORTU .....	28
OBR. 20) KOLO 455.063.....	30
OBR. 21) SCHÉMA ÚPRAVY KOLA 455.063 V BRATTOVAČCE KMS 1926/202031	
OBR. 22) SCHÉMA ZNÁZORŇUJÍCÍ MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST H PŘI MINIMÁLNÍM NAKLOPENÍ VŘETENE.....	32
OBR. 23) SCHÉMA ZNÁZORŇUJÍCÍ POLOHU VYÚSTĚNÍ INJEKČNÍHO OTVORU S OHLEDEM NA PRŮMĚR NÁSTROJE .....	33