



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS**

NÁVRH OBRÁBĚCÍHO STROJE TYPU DESKOVÁ HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA

THE DESIGN OF PLATE HORIZONTAL BORING MILL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. PAVEL VONDRÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. JAN PAVLÍK

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Vondrák

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

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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

Návrh obráběcího stroje typu desková horizontální vyvrtávačka

v anglickém jazyce:

The design of plate horizontal boring mill

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vřeten o průměru 200mm.

- Průzkum a zhodnocení trhu.
- Návrh základních parametrů celého stroje.
- Návrh kompletní osy X (lože + saně stojanu)
- Osu X vyhotovit jako univerzální provedení pro použití lineárního valivého vedení a hydrostatického vedení. (Jeden odlitek, dva způsoby obrobění)

Cíle diplomové práce:

- Důkladná analýza problematiky
- Návrh variant řešení
- Výpočtová dokumentace
- Konstrukční návrh - 3D model
- Výkresová dokumentace vybraných částí

Seznam odborné literatury:

MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů, 2006. ISBN 1212-2572
zdroje dostupné na webu výrobců strojů

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

autor: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

titul: Diplomová práce v oboru strojírenství

obor: Strojní inženýrství (1301T01)

tematická oblast: Vytvoření návrhu a konstrukce strojů
téma: Návrh a konstrukce CNC obráběcího stroje

podtéma: Návrh a konstrukce CNC obráběcího stroje

v odborném jazyce: češtině

abstrakt: The design of high horizontal boring mill

základní obsah: návrh a konstrukce strojů

výsledky: 200 stran

průběh a zhotovení: 18.11.2010

základní údaje: návrh a konstrukce strojů


základní údaje: návrh a konstrukce strojů

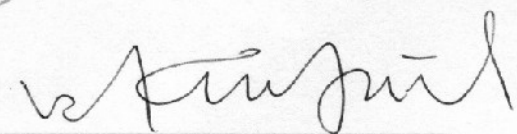
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Pavlík

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 18.11.2010




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


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

**ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá popisem a konstrukcí horizontálních vyvrtávaček. Úvodní část je věnována popisu jednotlivých typů těchto strojů a jejich příslušenství. Dále jsou popsána vedení a pohony lineárních posuvových soustav. Provedena je také rešerše vyvrtávaček českých a zahraničních výrobců. Konstrukční část této práce se zabývá návrhem kompletní osy X deskové horizontální vyvrtávačky. Odlitek lože a saně jsou uzpůsobeny jako univerzální pro použití hydrostatického nebo valivého vedení. Dále je navrhnout pohon této osy a to v provedení systému master/slave. Výstupem této práce je 3D model stroje ve dvou variantách, s hydrostatickým vedením a s valivým vedením. Součástí práce jsou výkresy obrobení odlitku lože pro obě tyto varianty.

KLÍČOVÁ SLOVA

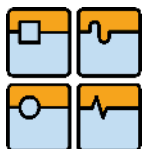
Horizontální vyvrtávačka, horizontka, hydrostatické vedení, valivé vedení, master slave, pastorek, hřeben, vyvrtávání, frézování.

ABSTRACT

This master's thesis describes a design of horizontal boring mills. The first part is dedicated to description of the various types of these machines and their accessories. There are also described drives and linear guideways. There is a list of plate horizontal boring mills of Czech and foreign producers. The second part of this thesis deals with designing of complete machine's bed and its slides (X-axis). Casting of the bed and its slides are designed for universal machining to the use of rolling or hydrostatic guideways. The drive of X-axis is also designed and it works in master/slave mode. The final result of this master's thesis is a 3D model of the machine in two variants, with hydrostatic and rolling guideways. Machining drawings of the bed for both variants are attached to this thesis.

KEYWORDS

horizontal boring mill, hydrostatic guideways, rolling guideways, master slave, pinion, rack, boring, milling



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

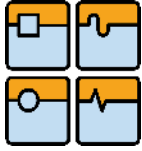
VONDRÁK, P. *Návrh obráběcího stroje typu desková horizontální vyvrtávačka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Návrh obráběcího stroje typu desková horizontální vyvrtávačka* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 25. května 2011

Bc. Pavel Vondrák
autor práce

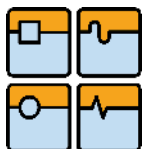


PODĚKOVÁNÍ

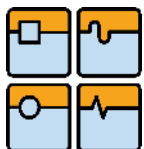
Tímto bych velmi rád poděkoval panu Ing. Janu Pavlíkovi, vedoucímu diplomové práce, za jeho cenné připomínky a rady týkající se zpracování této práce. Rovněž mé velké díky patří konstruktérům firmy Fermat CZ, jmenovitě Ing. Martinu Hulánkovi, Ing. Marku Horkému a Ing. Adamu Obdržádkovi, za poskytnutí nezbytných podkladů k vypracování této práce, za jejich rady, nápady a připomínky. Závěrem chci poděkovat mým rodičům za podporu po celou dobu studia a všem přátelům za jejich přátelství.

**OBSAH**

1	ÚVOD	12
2	TECHNOLOGIE VYVRTÁVÁNÍ	13
3	VYVRTÁVACÍ STROJE	14
3.1	STOLOVÉ VYVRTÁVAČKY.....	15
3.2	KŘÍŽOVÉ VYVRTÁVAČKY.....	15
3.3	DESKOVÉ VYVRTÁVAČKY.....	16
3.4	SOUŘADNICOVÉ VYVRTÁVAČKY.....	16
3.5	PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	17
3.5.1	AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ.....	17
3.5.2	AUTOMATICKÁ VÝMĚNA OBROBKU (PALET).....	17
3.5.3	FRÉZOVACÍ HLAVY.....	18
3.5.4	LÍCNÍ DESKY.....	18
3.5.5	UPÍNACÍ ÚHELNÍK A KOSTKA.....	18
3.5.6	ZPEVŇOVACÍ PŘÍRUBA.....	19
3.5.7	DOPRAVNÍK TRÍSEK.....	19
4	REŠERŠE DESKOVÝCH VYVRTÁVAČEK	20
	ČESKÁ PRODUKCE.....	20
4.1	TOS VARNSDORF – WRD 170.....	20
4.2	FERMAT CZ – WRF 160 CNC.....	22
4.3	ŠKODA MACHINE TOOL – HCW 2.....	24
4.4	TOS KUŘIM – FU 150B.....	26
	ZAHRANIČNÍ PRODUKCE.....	28
4.5	PAMA (ITÁLIE) – SPEEDRAM 3000.....	28
4.6	FPT INDUSTRIE (ITÁLIE) – SPIRIT 300.....	30
4.7	UNION (NĚMECKO) – PCR 200.....	32
4.8	JUARISTI (ŠPANĚLSKO) - MP9RAM.....	34
5	SROVNÁNÍ PARAMETRŮ PŘEDSTAVENÝCH STROJŮ	36
6	POSUVOVÉ SOUSTAVY LINEÁRNÍ	37
6.1	POHONY.....	37
6.1.1	PASTOREK A HŘEBEN.....	37
6.1.2	KULIČKOVÝ ŠROUB.....	37
6.1.3	ŠNEK A HŘEBEN.....	38
6.1.4	LINEÁRNÍ MOTOR.....	38
6.2	VEDENÍ.....	38
6.2.1	VALIVÉ.....	38
6.2.2	KLUZNÉ (HYDRODYNAMICKÉ).....	39
6.2.3	HYDROSTATICKÉ.....	39



7	VŘETENO A VŘETENÍK.....	40
7.1	OBRÁBĚCÍ SÍLY.....	40
7.2	PARAMETRY VŘETENÍKU.....	45
8	STOJAN.....	46
8.1	PROVEDENÍ STOJANU, KRYTOVÁNÍ.....	46
8.2	POHON A VEDENÍ OSY Y.....	47
9	VEDENÍ OSY X.....	48
9.1	KONCEPCE VEDENÍ.....	48
9.2	ZATÍŽENÍ VEDENÍ.....	50
9.3	NÁVRH HYDROSTATICKEHO VEDENÍ.....	52
9.3.1	PROVEDENÍ HYDROSTATICKECH BUNĚK.....	52
9.3.2	VÝPOČET JEDNOTLIVÝCH BUNĚK.....	52
9.3.3	VOLBA HYDROAGREGÁTU.....	54
9.4	NÁVRH VALIVÉHO VEDENÍ.....	55
10	SANĚ OSY X.....	57
10.1	POHON OSY X.....	57
10.1.1	STATICKÉ ZATÍŽENÍ.....	58
10.1.2	DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ.....	58
10.1.3	SYSTÉM MASTER-SLAVE.....	58
10.1.4	VOLBA PŘEVODOVKY A MOTORU.....	59
10.2	PROVEDENÍ SANÍ.....	61
10.3	PŘEDEPNUTÍ HYDROSTATICKECH BUNĚK.....	62
11	LOŽE OSY X.....	64
11.1	ODLITEK SANÍ.....	64
11.2	OBROBENÍ SANÍ.....	64
11.2.1	HYDROSTATICKE VEDENÍ.....	65
11.2.2	VALIVÉ VEDENÍ.....	65
11.3	SPOJENÍ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ LOŽE.....	65
11.4	KRYTOVÁNÍ LOŽE.....	66
11.5	KOTVENÍ DO ZÁKLADU.....	67
12	HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA WRF 200 (FERMAT CZ).....	68
12.1	ZÁKLADNÍ PARAMETRY.....	68
13	ZÁVĚR.....	70
14	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
15	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	73
16	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	75
17	SEZNAM PŘÍLOH.....	77



1 ÚVOD

Zpracovatelský průmysl patří v současné době mezi nejvýznamnější odvětví světového hospodářství. Všechny výrobky vyprodukované zpracováním surovin využívá člověk pro svou potřebu k práci i zábavě. Tyto výrobky slouží i k tvorbě dalších výrobků a tento koloběh se neustále opakuje. K velkým hráčům ve zpracovatelském průmyslu patří strojírenství a především jeho hlavní podskupina obrábění kovů. Téměř všechny výrobky, které máme ve svém okolí jsou produktem obrábění nebo vznikly za pomoci stroje či zařízení, které bylo obráběno. Proto patří obrábění kovů, a nejen kovů, k významným činnostem, bez kterých by nebyla možná produkce nových výrobků a tím i vývoj a rozvoj dnešní společnosti.

A právě pro obrobení kovu je potřeba obráběcí stroj. Obrábět lze několika způsoby – konvenčně (třískové obrábění) a nekonvenčně (elektroerozivní, ultrazvukové, chemické, laserové nebo obrábění vodním paprskem). Z toho třískové obrábění tvoří většinu obráběcích operací. Existuje mnoho různých způsobů odebírání třísky. Mezi základní patří frézování, soustružení, vrtání, vyvrtávání, řezání, hoblování, obrážení, broušení a mnoho dalších.

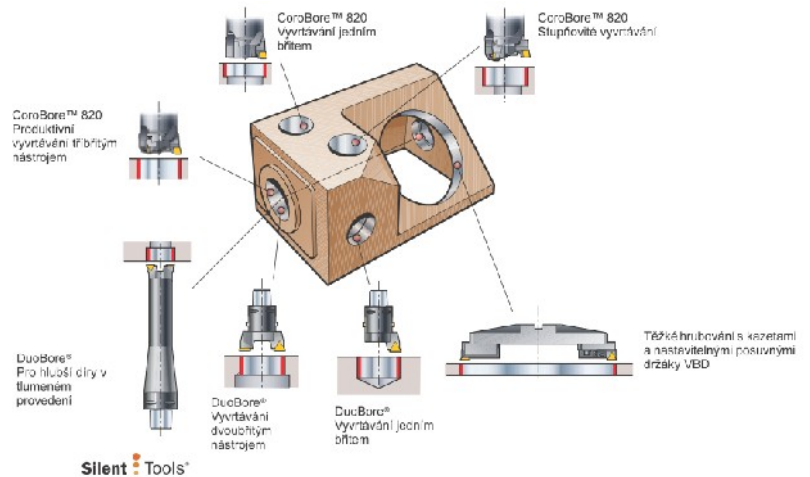
Ke každému způsobu třískového obrábění slouží jiný obráběcí stroj (ale existují i možnosti využití jednoho stroje k více způsobům obrábění). Tato diplomová práce se věnuje strojům určeným k vyvrtávání, a to konkrétně horizontálním deskovým vyvrtávacím strojům, běžně též nazývány jako vyvrtávačka nebo horizontka. Dále bude popsáno základní rozdělení těchto strojů, jejich příslušenství, bude uveden přehled českých a zahraničních výrobců včetně základního popisu konkrétních strojů a jejich porovnání.

Praktická část této práce se bude zabývat konstrukcí horizontální vyvrtávačky dle zadání a požadavků firmy FERMAT CZ, která tyto stroje navrhuje a vyrábí. Navrhovaná vyvrtávačka (WRF 200) bude dalším strojem v řadě již vyráběných (WRF 130, WRF 150, WRF 160). Hlavní náplní konstrukční části práce je návrh hydrostatického vedení osy X, saní a lože. Lože je odlitek a musí být provedeno jako univerzální pro použití hydrostatického vedení nebo valivého lineárního vedení. Dále bude uveden návrh pohonů této osy, použit bude systém pastorku a hřebenu. Vyhotoven bude kompletní model osy X v obou kombinacích vedení včetně všech přilehlých částí a také ostatní osy ve zjednodušené podobě, tak aby vznikl model celého stroje.



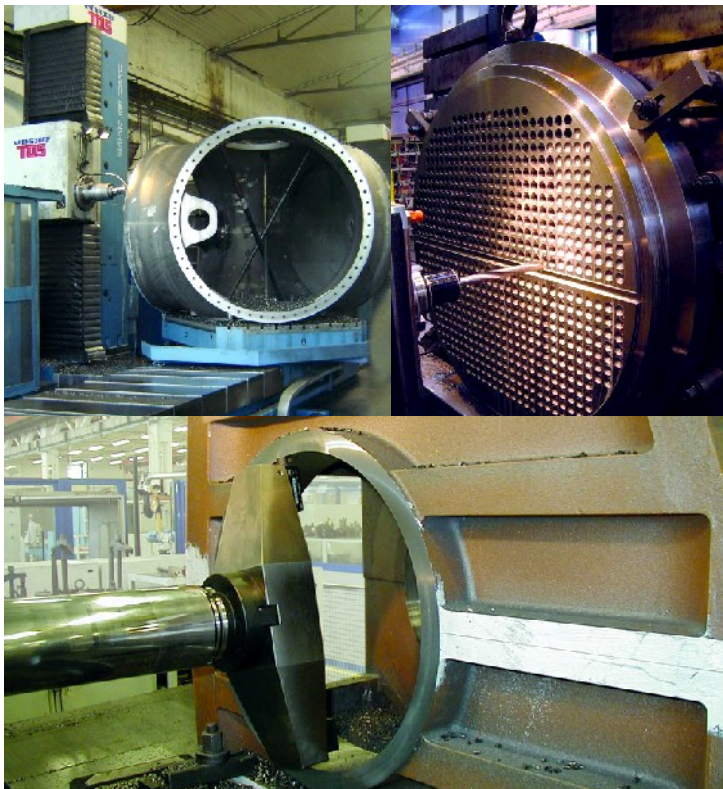
2 TECHNOLOGIE VYVRTÁVÁNÍ

Vyvtávání je metoda obrábění, při níž se rozšiřují předlité, překované, předlisované, předvrtané nebo jinými způsoby předpracované díry na požadovaný rozměr nebo tvar. Tato metoda se používá jak pro hrubování, tak pro práci na čisto. Při vyvtávání se obrábí vyvtávacími noži upevněnými ve vyvtávacích tyčích nebo hlavách (Obr. 1). Obráběné rotační plochy mají geometrický tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy. Vyvtáváním lze též obrábět vnitřní zápichy a řezat vnitřní závity (Obr. 3). U složitějších obrobků mohou být všechny uvedené tvarové prvky kombinovány v různém uspořádání na jedné nebo více osách rozložených v rovině nebo prostoru. Vyvtávací stroje navíc v případě potřeby umožňují obrábět jmenované povrchy a plochy i ve vnějším provedení [2].

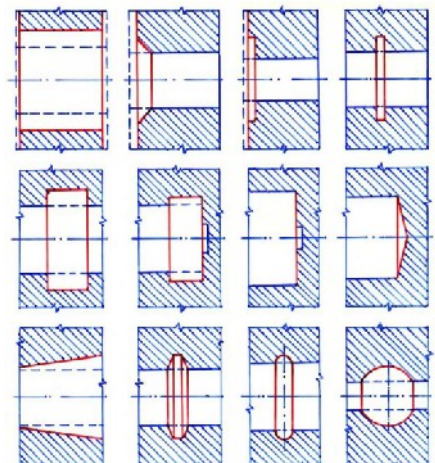


Obr. 1: Vyvtávací nástroje pro hrubování (fa Sandvik Coromant) [1]

Technologie vyvtávání se používá především pro obrábění otvorů u skříňových součástí. Její výhodou je dosažení vysoké přesnosti polohy vyvtaných děr. Další velice využívanou operací je vyvtávání kruhových děr pomocí vyvtávacích tyčí. U této operace je dosaženo velmi vysoké přesnosti geometrického tvaru díry, protože je použit princip obrábění rotací jediného břitu nástroje.



Obr. 2: Ukázky technologie vyvtávání



Obr. 3: Příklady ploch obráběných vyvtáváním [2]

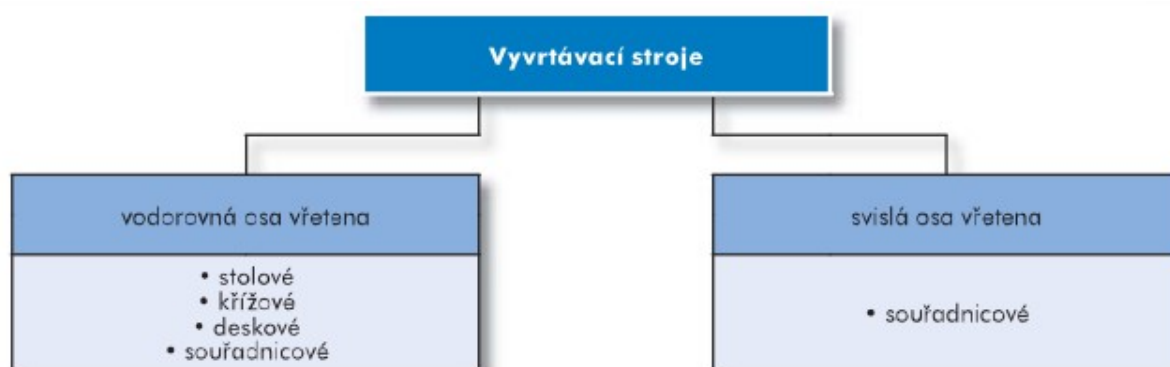


3 VYVRTÁVACÍ STROJE

Vyvrátání lze provádět na různých obráběcích strojích jako jsou soustruhy, vrtačky, různé jednoúčelové stroje nebo frézovacích obráběcích centrech. Nejčastější a současně nejvhodnější pro vyvrátací operace je použití stroje zkonstruovaného přímo pro tyto účely, především vodorovné vyvrátavačky (stolové nebo deskové), jemné vyvrátavačky a souřadnicové vyvrátavačky.

Tyto stroje mají koncepci vyvrátacích obráběcích center, někdy jsou konstruovány jako jednoúčelová zařízení. Velikost vodorovných vyvrátavek se posuzuje podle průměru vřetena, vyrábějí se ve velikostech v rozmezí od 63 do 300 mm [2].

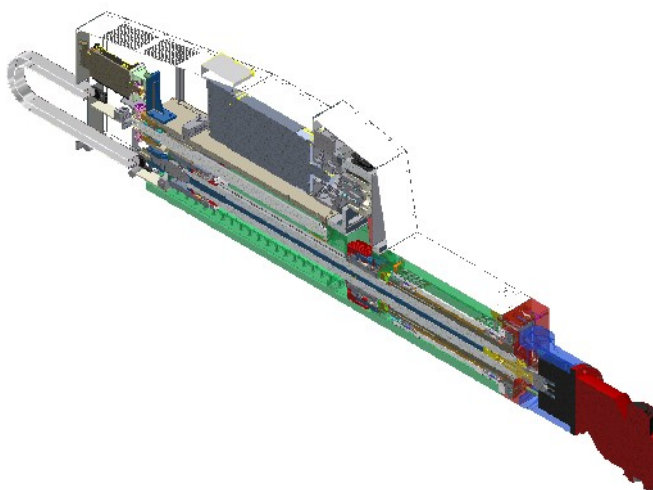
Existuje několik typů vyvrátacích strojů, které se od sebe odlišují svou základní konstrukční koncepcí (Obr. 4).



Obr. 4: Základní rozdělení vyvrátacích strojů [3]

Vodorovné vyvrátavačky jsou univerzální stroje vhodné k obrábění složitých součástí v kusové a malosériové výrobě. Umožňují při jednom upnutí provést současně nebo postupně různé operace až z pěti stran obrobku. Je na nich možno vrtat, vystružovat, zahlubovat, vyvrátat, soustružit čelní i vnější a vnitřní plochy, frézovat, někdy i protahovat a obrážet, případně brousit. Pro tyto obráběcí stroje je typické použití bohatého, běžného i zvláštního příslušenství a přídatných zařízení [3].

Vyvrátací vřeteno (Obr. 5) je uloženo v přesných ložiskách, a je buď nevýsuvné, uložené přímo ve vřeteníku, a nebo je častěji uloženo v pinole a může se vysouvat. Vřeteník je na všech vodorovných vyvrátavačkách uložen na stojanu a může se svisle pohybovat a zároveň může být proveden i jako výsuvný ve směru osy vřetena. Toto řešení umožňuje spolu s výsuvnou pinolou velké celkové vysunutí vřetena (až 4000 mm). Vřeteno musí být chlazeno kvůli teplotním dilatacím a je rovněž vyvažováno protizávažím nebo hydraulicky. Změnu polohy těžiště vyrovnává buď mechanický



Obr. 5: Vřeteník GB 3000 (fa FERMAT CZ) [5]



kompenzátor nebo řídicí systém stroje (při použití dvou nezávislých KŠ a dvou pravítek), popř. jiné systémy, které si jednotlivé firmy patentují.

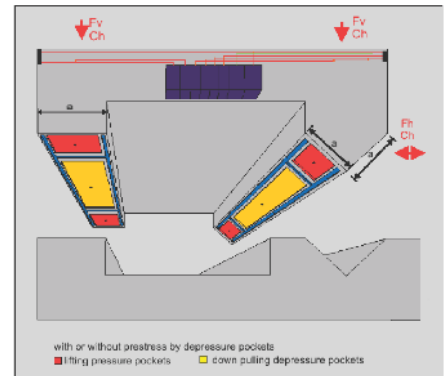
Vodící plochy mohou být provedeny z klasické dvojice kalená ocel a obložená protiplocha plastem, nebo je použito profilové valivé vedení, nebo jsou provedeny jako hydrostatické vedení (Obr. 6).

3.1 STOLOVÉ VYVRTÁVAČKY

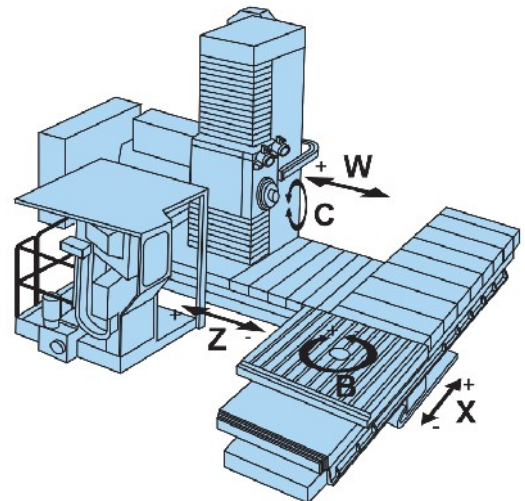
Stolové vyvrtávačky (Obr. 7) jsou charakterizovány pracovním stolem, který se pohybuje na příčných saních kolmo k ose vřetená. Pracovní stůl se dá otáčet o 360°. Stojan se pohybuje na podélném loži v ose vřetená směrem k obrobku. Na opačné straně příčných saní může být umístěn opěrný stojan se svisle přestavitelným ložiskem k podepření vyvrtávací tyče [2]. Stolové vyvrtávačky jsou většinou vyráběny s průměrem vřetená do 160 mm a používají se k obrábění rovinných ploch dlouhých obrobků.

3.2 KŘÍŽOVÉ VYVRTÁVAČKY

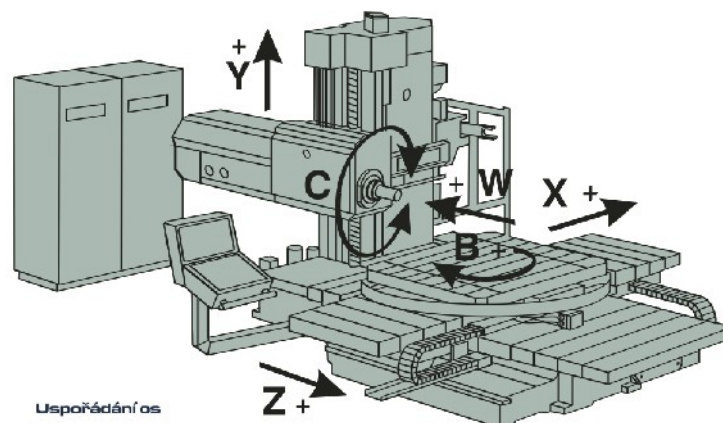
Křížové vyvrtávačky (Obr. 8) jsou vybaveny křížovým stolem, který umožňuje posuv ve dvou na sebe kolmých směrech. Křížový stůl může být někdy proveden jako otočný o 360°, umožňující obrábět součást ze čtyř stran na jedno upnutí obrobku. V tomto provedení se vyrábějí vyvrtávačky menších velikostí do průměru vřetená 110 mm. U křížových vyvrtáček se pohybuje spodek stolu po vedení na loži ve směru osy vřetená upevněného ve vřeteníku a stůl po spodku kolmo na osu vřetená. Otočný díl stolu umožňuje natáčení kolem svislé osy [6].



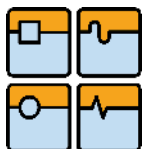
Obr. 6: Hydrostatické vedení [4]



Obr. 7: Stolová vyvrtávačka

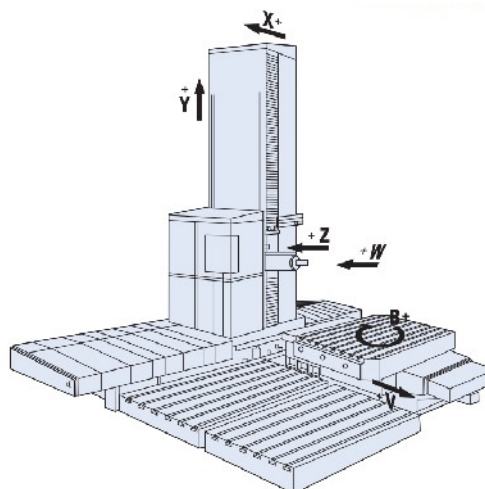


Obr. 8: Křížová vyvrtávačka



3.3 DESKOVÉ VYVRTÁVAČKY

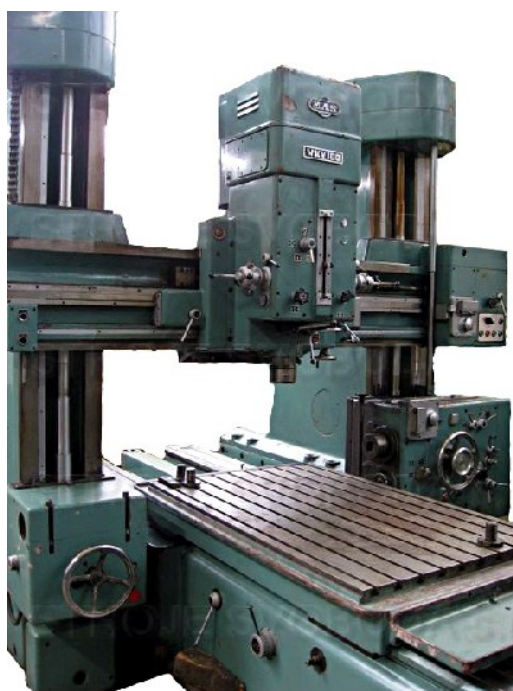
Deskové vyvrtávačky (*Obr. 9*) mají obrobek nepohyblivý, vřeteník se posouvá po svislém vedení stojanu a stojan se pohybuje po loži kolmo k ose vřetená. Tyto stroje jsou určeny pro největší obrobky a vyrábějí se s průměry vřeten až 315 mm. Velmi často se ke stroji dodává samostatný otočný stůl umístěný vedle nebo na upínací desce [3].



Obr. 9: Desková vyvrtávačka

3.4 SOUŘADICOVÉ VYVRTÁVAČKY

Souřadnicové vyvrtávačky (*Obr. 10*) se vyrábějí s vodorovnou nebo svislou osou vřetená. Jsou určeny pro obrábění velmi přesných děr (IT 6 až IT 4) v přesných osových vzdálenostech (tolerance $\pm 0,01$ až $\pm 0,002$ mm). Mohou být též využity pro kontrolu rozměrů obrobku. Používají se jedno stojanové typy se svislou nebo vodorovnou osou vřetená s křížovým stolem pro menší obrobky (cca 500 mm) nebo dvou stojanové se svislou osou vřetená na příčnicku (může být i více vřeteníků) s podélným stolem mezi stojany.



Obr. 10: Souřadnicová vyvrtávačka WKV 100 (fa Kovosvit Sezimovo Ústí)



3.5 PŘÍSLUŠENSTVÍ

3.5.1 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ

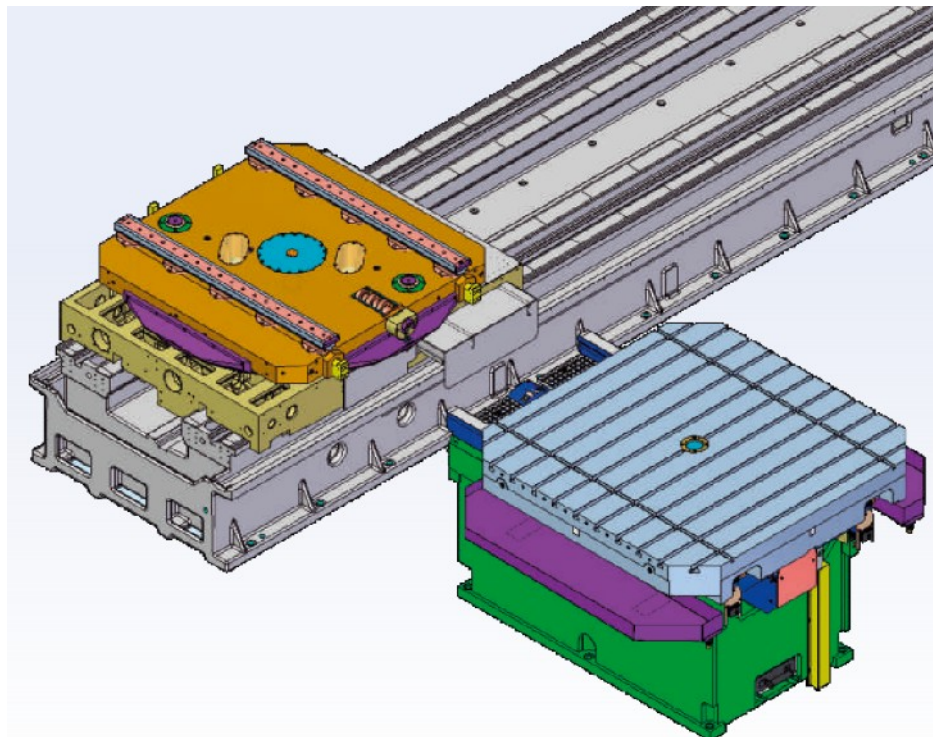
Použitím systému automatické výměny nástrojů (Obr. 11) lze plně automatizovat celý obráběcí cyklus. Do procesu obrábění již nemusí zasahovat lidská obsluha a vše je plně pod kontrolou řídicího systému stroje. Zařízení se skládá ze zásobníku nástrojů a jejich výměníku (manipulátor), obě tyto základní části tvoří jeden celek. U vyvrtávaček se nejčastěji používá řetězový zásobník s kapacitou pro 20 až 100 nástrojů, ojediněle se využívají jiné druhy zásobníků (diskový, hvězdicový, talířový). Samotnou výměnu provádí manipulátor, který odebere ze zásobníku nástroj, po kolejnici odjede k vřetenu stroje, kde vyjme původní nástroj, otočí ramenem o 180° a vloží nový nástroj do vřetena, původní nástroj vrátí do zásobníku.



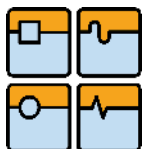
Obr. 11: Automatický výměník nástrojů CT50-60CH (fa GIFU) s řetězovým zásobníkem

3.5.2 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA OBROBKU (PALET)

Zařízení (Obr. 12) je koncepčně založeno na automatické výměně technologických palet mezi stacionárními odkládacími stanicemi vybavenými manipulátory a upínacím otočným stolem na stroji. Palety jsou vybaveny upínacími T-drážkami dle norem ISO. Jedna paleta je vždy na stroji a druhá na jedné z odkládacích stanic. Tento princip výměny palet lze pouze u vyvrtávaček s posuvem obrobku v ose X (stolové a křížové).



Obr. 12: Automatická výměna palet (fa TOS Varnsdorf)



3.5.3 FRÉZOVACÍ HLAVY

Frézovací hlavy (*Obr. 13*) výrazně rozšiřují technologické možnosti vodorovných vyvrtávaček a tím jejich univerzálnost. Použití natáčecí frézovací hlavy umožňuje obrábění i velmi složitých tvarových součástí jako např. formy pro vstřikování. Hlava je připojena na čelo smykadla pomocí mnoha rozhraní (elektro, hydraulika, pneumatika a chladicí kapalina). Hlavu lze připojovat buď manuálně nebo zcela automaticky. Kvůli velké hmotnosti hlav je nutné průhyb smykadla kompenzovat.



Obr. 13: Univerzální frézovací hlava VGCI (fa EMENA)

3.5.4 LÍCNÍ DESKY

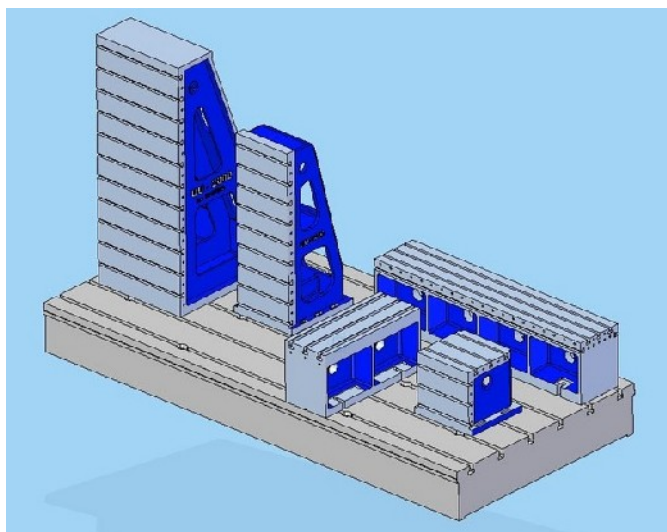
Jsou to hlavy střední a velké velikosti pro vnitřní a vnější čelní obrábění, vyvrtávání a řezání cylindrických a kónických závitů, konkávní a konvexní sražení hran prostřednictvím interpolace řízených os obráběcího stroje (*Obr. 14*).



Obr. 14: Lícni deska U-Tronic (fa D'ANDREA)

3.5.5 UPÍNACÍ ÚHELNÍK A KOSTKA

Slouží jako pomocné prvky k upnutí obrobku na upínacích deskách a stolech. Většinou se využívají ke změně orientace upnutí obrobku (*Obr. 15*).



Obr. 15: Upínací kostky a úhelníky (fa TOS Varnsdorf)



3.5.6 ZPEVŇOVACÍ PŘÍRUBA

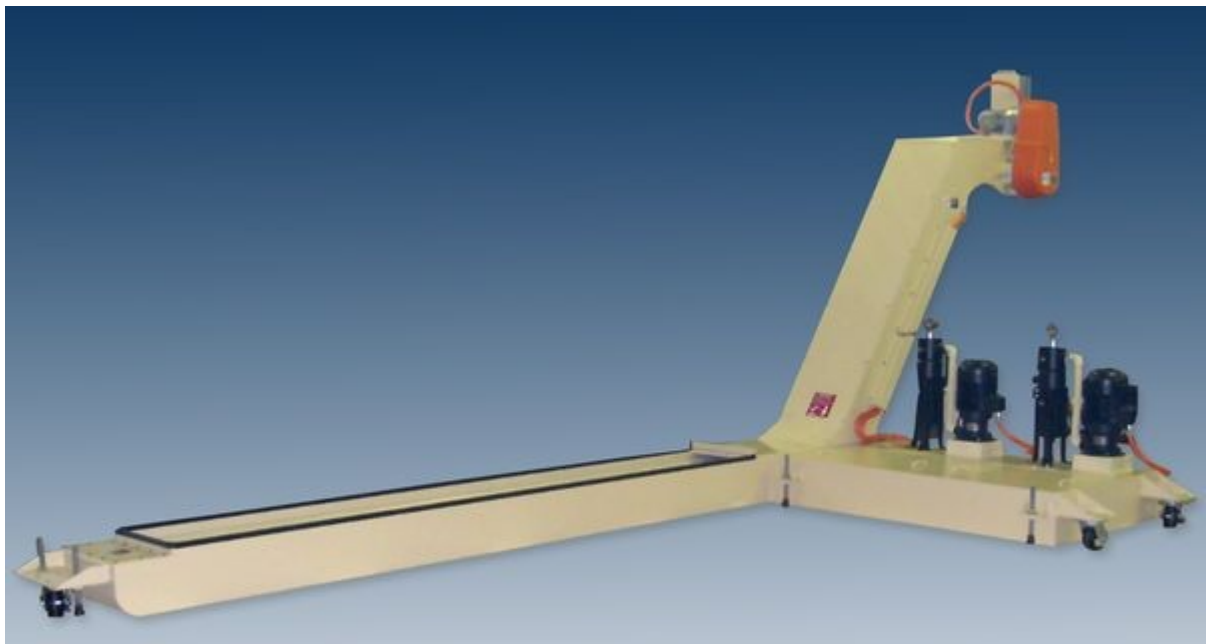
Slouží ke zpevnění vysunutého vřetena, čímž je dosažena vyšší tuhost a pevnost při obrábění. Při frézování dále dochází ke snížení kmitání a vibrací. Zpevňovací příruba (Obr. 16) je přichycena šrouby k dutému vřeteníku. Vykonává rotační pohyb současně s vřeteníkem. K pracovnímu vřeteníku je přichycena děleným pouzdem. Používá se při vysunutí pracovního vřetena. Po zpevnění pracovního vřetena nelze měnit výsuv v ose W [7].



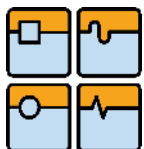
Obr. 16:
Zpevňovací
příruba
(fa FERMAT CZ)

3.5.7 DOPRAVNÍK TŘÍSEK

Rychlý a účinný odvod třísek od stroje je nutno řešit nejen z hlediska zamezení deformací částí stroje, vystavených přímému styku s horkými třískami nebo sálavému teplu, ale i z provozně-bezpečnostních důvodů při hromadění velkých množství od nástroje odvedených třísek, zejména v okolí pracoviště. Stroje pracující v automatickém režimu musí mít řešen plynulý, automatický odvod třísek z pracovního prostoru a mimo vlastní stroj. K tomuto účelu se využívají různé typy dopravníků třísek (Obr. 17), nejčastěji však mechanické článkové (řetězové), které jsou vhodné pro všechny druhy třísek.



Obr. 17: Článkový dopravník třísek s filtrací MBC (fa BroxTec)



4 REŠERŠE DESKOVÝCH VYVRTÁVAČEK

ČESKÁ PRODUKCE

4.1 TOS VARNSDORF – WRD 170

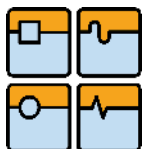
Vodorovná vyvrtávačka desková s výsuvným smykadlem a výsuvným pracovním vřetenem WRD 170 (Q) je nejnovějším představitelem řady deskových vyvrtávaček z produkce TOS Varnsdorf a.s. Stroje jsou určeny pro přesné a vysoce produktivní souřadnicové vrtání, vyvrtávání, frézování a řezání závitů. Jsou vhodné zejména pro opracování skříňových, deskových a prostorově členitých obrobků z litiny, ocelolitiny, oceli a dalších třískově obrobitelných materiálů, zvláště pak pro obrobky velkých i největších rozměrů a hmotností. Stroje lze podle potřeb technologie doplnit upínacím polem sestaveným z upínacích desek nebo jedním i více přídatnými stoly. Stroje je možno doplnit řadou přídatných technologických zařízení, která značně rozšiřují technologické možnosti stroje (Obr. 18) [8].

Základní technické parametry - WRD 170		
Průměr pracovního vřetena	mm	170
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	50
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	10 – 2 200
Výkon hlavního motoru (S1/S6)	kW	71/88
Kroutící moment na vřetenu (S1/S6)	Nm	3 870/4 800
Průřez smykadla	mm	550 x 550
Příčné přestavení stojanu X	mm	5 000 – 29 000 (po 2 000)
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	4 000 – 6 000 (po 500)
Výsuv smykadla Z	mm	1 500
Výsuv pracovního vřetena W	mm	1 000
Rozsah pracovních posuvů X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	1 – 8 000
Rychloposuv X	mm.min ⁻¹	16 000
Rychloposuv Y, Z, W	mm.min ⁻¹	12 000
Maximální posuvové síly v osách X, Y, Z, W	kN	40

Tab. 1: Parametry WRD 170



Obr. 18: Desková vyvrtávačka WRD 170 (Q) (fa TOS Varnsdorf)

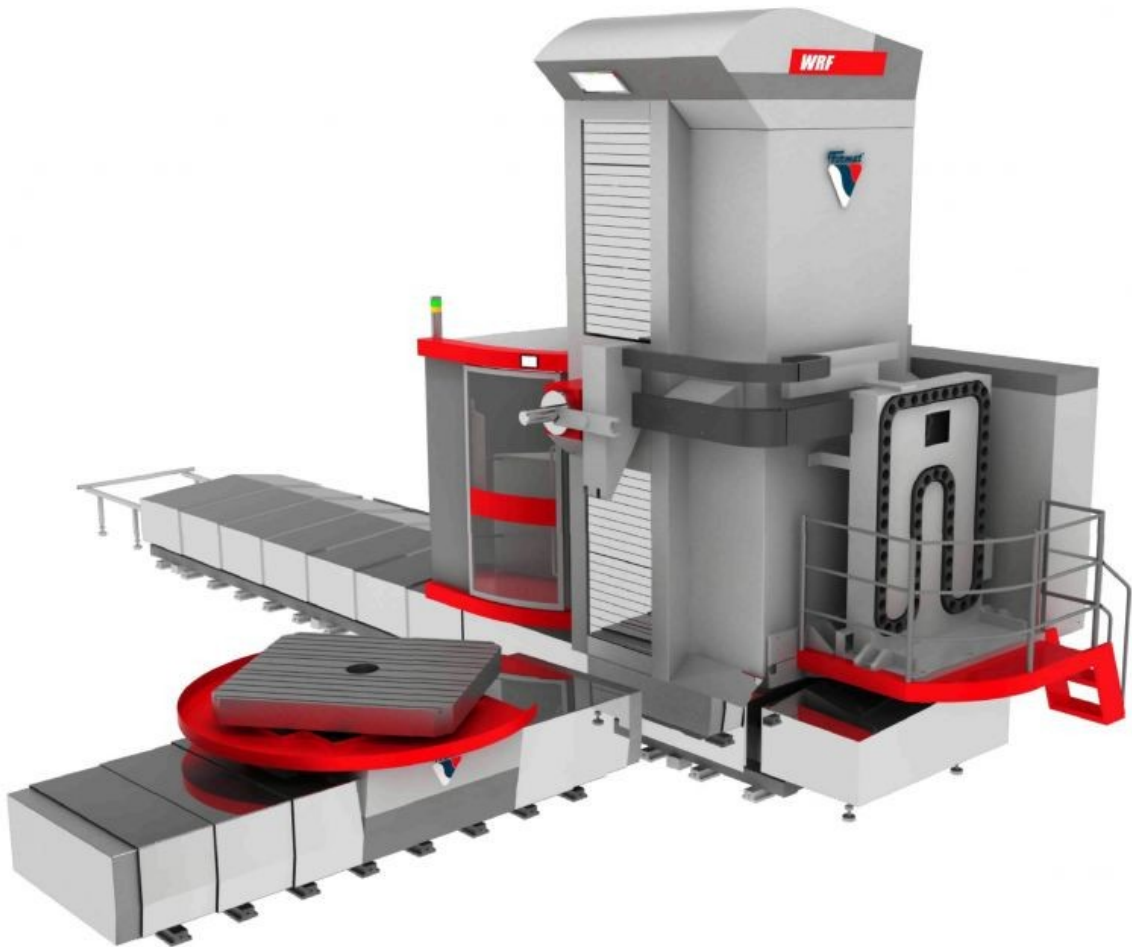
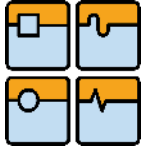


4.2 FERMAT CZ – WRF 160 CNC

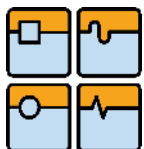
Vodorovné frézovací a vyvrtávací stroje deskového typu WRF 160 CNC s výsuvným smykadlem a výsuvným pracovním vřetenem se vyznačují vysokou úrovní výkonnostních parametrů a uživatelského komfortu, který je založený na technicky odpovídající koncepci a široké nabídce parametrických variant a uživatelských funkcí. Základním znakem je stavební-cová koncepce, která umožňuje značnou variabilitu sestavení při použití periferních zařízení a příslušenství. Stroje jsou řízeny souvisle ve 4 osách (X,Y,Z,W). Stroje mohou být vybaveny otočným stolem s vodorovným přestavením, (nebo i bez přestavení), díky tomu vzniknou další řízené osy - osa B popřípadě V. Upínací pole je složeno z upínacích desek nebo kombinací upínacích desek a otočného stolu. Obrobky lze upínat podle potřeb buď na přídavný otočný stůl s vodorovným přestavením, na upínací pole sestavené z upínacích desek nebo lze obě tyto varianty libovolně kombinovat, a to i ve vícenásobném uspořádání. Stroje jsou určeny k efektivnímu třískovému obrábění zejména rozměrných a těžkých obrobků především z litiny, ocelolitiny a oceli. Mají širokou možnost technologického využití v operacích frézovacích, vrtacích, vystružovacích a závitovacích (Obr. 19) [7].

Základní technické parametry – WRF 160 CNC		
Průměr pracovního vřetena	mm	160
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	50
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	10 – 2 500
Výkon hlavního motoru (S1/S6)	kW	51/77 (60/88)
Krouticí moment na vřetenu (S1/S6)	Nm	2 500/3 331 (2 655/4 008)
Průřez smykadla	mm	460 x 500
Příčné přestavení stojanu X	mm	2 400 – 28 100
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	2 000 – 5 000 (po 500)
Výsuv smykadla Z	mm	1 000
Výsuv pracovního vřetena W	mm	1 000
Rozsah pracovních posuvů X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	1 – 8 000
Rychloposuv X	mm.min ⁻¹	20 000
Rychloposuv Y	mm.min ⁻¹	18 000
Rychloposuv Z, W	mm.min ⁻¹	10 000
Přesnost polohování X, Y, Z	mm	0,01
Opakovatelnost polohování X, Y, Z	mm	0,005

Tab. 2: Parametry WRF 160 CNC



Obr. 19: Desková vyvrtávačka WRF 160 CNC (fa FERMAT CZ)



4.3 ŠKODA MACHINE TOOL – HCW 2

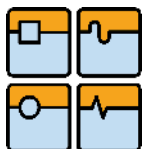
Stroje řady ŠKODA HCW představují nejdokonalejší a technicky nejvyspělejší vyvrtávačky dosavadní produkce ŠKODA. Tyto stroje jsou k plné spokojenosti zákazníků nasazovány do provozů, kde využívají špičkovou technologii a vysokou produktivitu. Svým pracovním rozsahem, vysokým instalovaným výkonem a přesností jsou určeny pro výkonné a přesné obrábění těžkých a rozměrných obrobků frézováním, vrtáním a vyvrtáváním. Tyto stroje umožňují výstavbu speciálních pracovišť pro opracování rotorů turbogenerátorů, těžkých klikových hřídelů a dalších těžkých a tvarově náročných obrobků (Obr. 20) [9].

Základní technické parametry – HCW 2		
Průměr pracovního vřetena	mm	160 180 200
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	50 60
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	1 600 2 000 2 500
Výkon hlavního motoru (S1/S2)	kW	100/140
Kroutící moment na vřetenu (S1/S2)	Nm	17 000/20 000 14 000/19 000 11 000/15 000
Průřez smykadla	mm	450 x 450
Příčné přestavení stojanu X	mm	2 500 – neomezeně (po 500)
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	2 500 – 5 500
Výsuv smykadla Z	mm	1 300
Výsuv pracovního vřetena W	mm	1 200
Rozsah pracovních posuvů X, Y	mm.min ⁻¹	0,5 – 15 000
Rozsah pracovních posuvů Z, W	mm.min ⁻¹	0,5 – 10 000
Maximální posuvové síly v osách X, Y, Z	kN	60
Maximální posuvové síly v ose W	kN	50

Tab. 3: Parametry HCW 2



Obr. 20: Desková vyvrtávačka HCW 2 (fa ŠKODA Machine Tool)



4.4 TOS KUŘIM – FU 150B

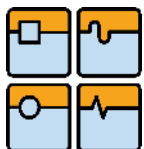
Stroj na vynikající technické úrovni umožňující využití nových moderních technologií obrábění. Vřeteník stroje je osazen vřetenovými hlavami pro pěti- a víceosé obrábění nebo výsuvnou pinolou, které umožňují obrábění i tvarově velmi složitých obrobků. Optimální spojení vysokého užitečného výkonu a konstrukční jednoduchosti zaujme jak běžné, tak i velmi náročné zákazníky (*Obr. 21*) [10].

Základní technické parametry – FU 150B		
Průměr pracovního vřetena	mm	130 170
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	50
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	20 – 4 000
Výkon hlavního motoru (S1)	kW	67
Kroutící moment na vřetenu (S1)	Nm	2 000
Průřez smykadla	mm	?
Příčné přestavení stojanu X	mm	5 000 – 24 000 (po 1 000)
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	1 900/2 400/3 000 – 6 000 (po 500)
Výsuv smykadla Z	mm	1 500
Výsuv pracovního vřetena W	mm	700
Rozsah pracovních posuvů X	mm.min ⁻¹	1 - 20 000
Rozsah pracovních posuvů Y, Z	mm.min ⁻¹	1 – 15 000

Tab. 4: Parametry FU 150B



Obr. 21: Desková vuvrtávačka FU 150B (fa TOS Kuřim)

**ZAHRANIČNÍ PRODUKCE****4.5 PAMA (ITÁLIE) – SPEEDRAM 3000**

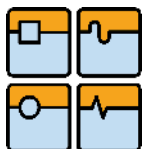
Deskové vyvrtávačky s hydrostatickým vedením a průměrem vřetena 130 až 260 mm jsou milníkem v produkci firmy PAMA. Nová řada deskových vyvrtávaček SPEEDRAM je charakterizována technologickými inovacemi s prověřenou a přísně testovanou konstrukcí. Toto garantuje vysokou přesnost a rychlost obrábění, vysoký krouticí moment a výkon pro velký úběr třísky. Stroje řady SPEEDRAM jsou dostupné v širokém spektru konfigurací pro obrábění v obecném strojírenství, energetice, těžebních strojích, dieselových agregátech, letectví, stavitelství, apod. (Obr. 22) [11].

Základní technické parametry – SPEEDRAM 3000		
Průměr pracovního vřetena	mm	180 200 225
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	50 60
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	max 2 600 max 1 600
Výkon hlavního motoru (S1/S2)	kW	100/140
Krouticí moment na vřetenu (S1/S2)	Nm	13 500/16 400 18 800/23 000
Průřez smykadla	mm	460x520
Příčné přestavení stojanu X	mm	6 000 – neomezeně (po 1 000)
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	4 000 – 6 500
Výsuv smykadla Z	mm	1 400
Výsuv pracovního vřetena W	mm	1 200
Rozsah pracovních posuvů X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	max. 15 000
Převodové stupně vřetena		3

Tab. 5: Parametry SPEEDRAM 3000



Obr. 22: Desková vyvrtávačka SPEEDRAM 3000 (fa PAMA)



4.6 FPT INDUSTRIE (ITÁLIE) – SPIRIT 300

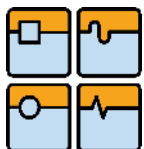
Ve vyvrtávače SPIRIT jsou uloženy zkušenosti z velkých strojů s hydrostatickým uložením vyvinutých firmou FPT a instalovaných po celém světě. FPT opět uspěla v hledání nových řešení při konstrukci vyvrtávacích strojů. Vřeteník je uchycen ze všech čtyř stran, toto uspořádání je unikátní z hlediska tuhosti, umožňující použití vysokého výkonu při velké přesnosti obrábění (Obr. 23) [12].

Základní technické parametry – SPIRIT 300		
Průměr pracovního vřetena	mm	160 180 200
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	50 60
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	max 3 500
Výkon hlavního motoru (S1)	kW	95
Krouticí moment na vřetenu (S1)	Nm	3 520 – 15 200
Průřez smykadla	mm	?
Příčné přestavení stojanu X	mm	6 000 – neomezeně
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	6 000/7 000/8 000
Výsuv smykadla Z	mm	1 500 – 1 750
Výsuv pracovního vřetena W	mm	1 000
Rozsah pracovních posuvů X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	max. 25 000
Max. posuvové síly v osách X, Y, Z, W	kN	38,5

Tab. 6: Parametry SPIRIT 300



Obr. 23: Desková vyvrtávačka SPIRIT 300 (fa FPT Industrie)



4.7 UNION (NĚMECKO) – PCR 200

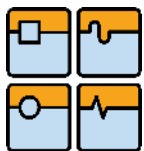
Tato vyvrtávačka umožňuje hrubování, dokončování a 5-ti stranné obrábění velkých a těžkých obrobků připevněných na upínacích deskách, otočných, posuvných a sklopných stolech. Frézovací hlavy a těžké nástroje jsou automaticky měněny pomocí pick-up stanice. Pracovní prostor může mít konfiguraci max. X 30 metrů a max. Y 8 metrů s otočným stolem pro 125 tunový obrobek (*Obr. 24*) [13].

Základní technické parametry – PCR 200		
Průměr pracovního vřetena	mm	200
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	60
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	5 - 2 400
Výkon hlavního motoru (S1)	kW	95
Krouticí moment na vřetenu (S1)	Nm	12 000
Průřez smykadla	mm	?
Příčné přestavení stojanu X	mm	4 000 – 30 000 (po 1 000)
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	3 000 – 8 000 (po 500)
Výsuv smykadla Z	mm	1 600
Výsuv pracovního vřetena W	mm	1 000
Rozsah pracovních posuvů X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	1 - 6 000
Rychloposuv X	mm.min ⁻¹	25 000
Rychloposuv Y, Z, W	mm.min ⁻¹	18 000

Tab. 7: Parametry PCR 200



Obr. 24: Desková vyvrtávačka PCR 200 (fa UNION)

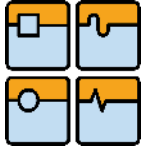


4.8 JUARISTI (ŠPANĚLSKO) - MP9RAM

Všechny základní prvky jsou vyrobeny z litiny a všechny osy mají hydrostatické vedení s kalenými a broušenými plochami. Stroj je vybaven třemi automatickými systémy pro kompenzaci – vertikální polohy vřeteníku, těžiště vřeteníku s nasazenou frézovací hlavou a průhybu vřetená. Pohon osy X je zajištěn hřebenem s dvěma pastorky se samostatnými motory (master-slave) pro odstranění vůle, osa Y je poháněna kuličkovým šroubem s rotující maticí, která eliminuje vibrace při vysokých rychlostech posuvu. Díky velkým pojezdům v ose X až 40 m, Y 6,5 m a Z+W 2,6 m a výkonu vřetená 100kW v kombinaci s otočným stolem s tonáží 125 t mohou být obráběny velké a složité obrobky na jedno upnutí. Stroje mohou být vybaveny frézovacími hlavami, měřicími sondami, automatickou výměnou nástroje a obrobku, otočnými stoly apod. (Obr. 25) [14].

Základní technické parametry – MP9RAM		
Průměr pracovního vřetená	mm	180 205
Kuželová dutina pracovního vřetená	ISO	50 60
Rozsah otáček pracovního vřetená	min ⁻¹	2 500 2 000 1 400
Výkon hlavního motoru (S1/S6)	kW	71/105 100/136
Kroutící moment na vřetená (S1/S6)	Nm	14 000/21 000 20 000/27 000
Průřez smykadla	mm	460 x 520
Příčné přestavení stojanu X	mm	4 000 – 40 000 (po 2 000)
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	3 000 – 6 500 (po 500)
Výsuv smykadla Z	mm	1 200 – 1 400
Výsuv pracovního vřetená W	mm	1 000 – 1 200
Rozsah posuvů X, Y	mm.min ⁻¹	max 20 000
Rozsah posuvů Z, W	mm.min ⁻¹	max 15 000
Převodové stupně vřetená		3

Tab. 8: Parametry MP9RAM



Obr. 25: Desková vyvrtávačka MP9RAM (fa JUARISTI)


5 SROVNÁNÍ PARAMETRŮ PŘEDSTAVENÝCH STROJŮ

	TOS Varnsdorf WRD 170	FERMAT CZ WRF 160 CNC	ŠKODA HCAW 2	TOS Kutim FU 150B	PAMA SPEEDRAM 3000	FPI Industrie SPIRIT 300	UNION PCR 200	JUARISTI MP9RAM
Průměr pracovního vřetena	170	160	200	170	225	200	200	205
Kruželová dutina pracovního vřetena	50	50	60	50	60	60	60	60
Max. otáčky pracovního vřetena	2200	2500	2500	4000	2600	3500	2400	2500
Výkon hlavního motoru (S1)	71	60	100	67	100	95	95	100
Krouticí moment na vřetenu (S1)	3870	2655	11000	2000	13500	15200	12000	20000
Průřez smykadla	550x550	460x500	450x450	?	460x520	?	?	460 x 520
Příčné přestavení stojanu X	5000 - 29000	2400-28100	2500 - neomezeně	5000 - 24000	6000 - neomezeně	6000 - neomezeně	4000 - 30000	4 000 - 40 000
Svislé přestavení vřeteníku Y	4000 - 6000	2000-5000	2500 - 5500	1900 - 6000	4000 - 6500	6000 - 8000	3000 - 8000	3 000 - 6 500
Výsuv smykadla Z	1500	1000	1300	1500	1400	1750	1600	1400
Výsuv pracovního vřetena W	1000	1000	1200	700	1200	1000	1000	1200
X	8 000 (16 000)	8 000 (20 000)	? (15 000)	? (20000)	? (15000)	? (25000)	6000 (25000)	? (20000)
Y	8 000 (12 000)	8 000 (18 000)	? (15 000)	? (15000)	? (15000)	? (25000)	6000 (18000)	? (20000)
Z	8 000 (12 000)	8 000 (10 000)	? (10 000)	? (15000)	? (15000)	? (25000)	6000 (18000)	? (15000)
W	8 000 (12 000)	8 000 (10 000)	? (10 000)	? (?)	? (15000)	? (25000)	6000 (18000)	? (15000)

Tab. 9: Porovnání parametrů všech strojů



6 POSUVOVÉ SOUSTAVY LINEÁRNÍ

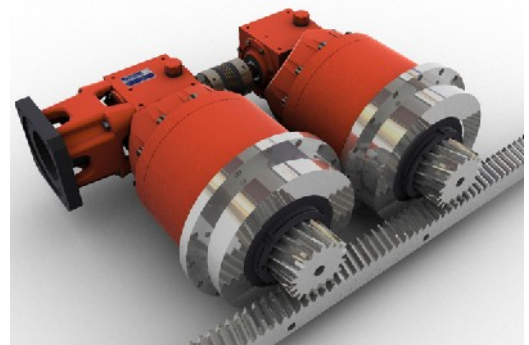
U CNC obráběcích strojů je přímočarý posuv tvořen buď pracovním posuvem (nástroje nebo obrobku) při obrábění nebo pomocným pohybem. Tuto soustavu vždy tvoří kombinace pohonu (motor + převod) a vedení [3].

6.1 POHONY

Úlohou pohonů obráběcích strojů je přeměnit a přenést ze sítě odebranou elektrickou energii tak, aby mohl probíhat vlastní řezný proces. K tomu je potřebná celá řada konstrukčních prvků jako např. motorů, převodových prvků, spojek atd. [15]. V současné době se nejčastěji používají servomotory, méně často hydromotory a ojediněle i lineární motory. Pro převod rotačního pohybu motoru na přímočarý se využívá různých koncepcí, které jsou uvedeny dále.

6.1.1 PASTOREK A HŘEBEN

Pro pohony CNC pracovních stolů s dlouhými zdvihy (obvykle přes 5 m) je použití posuvových šroubů již nevhodné (malá tuhost, nízká vlastní frekvence). Zde nachází uplatnění princip pohonu ozubeným hřebenem a pastorkem. Má oproti šroubu a matici menší převod, lepší účinnost a menší tuhost. Díky vůli mezi pastorkem a hřebenem je nutné provést její vymezení. To je možné mechanicky (*Obr. 26*), hydraulicky, duplexním pastorkem (náhon jedním motorem) nebo elektricky (náhon dvěma motory) [3]. Elektrické vymezení vůle využívá schopností moderních řídicích systémů, kde jsou pastorky vůči sobě předepnuty o určitý moment (systém Master-Slave).



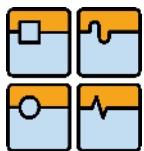
Obr. 26: Mechanicky předepnuté pastorky KRP+ (fa Redex Andantex)

6.1.2 KULIČKOVÝ ŠROUB

Kuličkový šroub a matice (*Obr. 27*) se používá tehdy, je-li rychlost přímočarého pohybu poměrně malá a s výhodou se použije jeho velkého převodu. Existují dva základní způsoby uspořádání šroubu a matice a to otáčející se šroub a pevná matice, nebo pevný šroub a rotující matice. U rotujícího šroubu je omezením jeho délka, při použití dlouhého šroubu s malým průměrem a otáčením vyššími otáčkami se šroub rozkmitá a je nutné řešit jeho podepření, což zvyšuje náročnost konstrukce. Princip KŠ je založen na odvalování kuliček v závitě šroubu a matice, při vyjetí kuličky ze záběru je tato navracena zpět do oblasti zatížení a vykonává tak nekonečný cirkulační pohyb. Šroub a matice jsou ocelové, povrch závitů kalený a broušený. S nástupem kvalitní výkonné regulace už nemusejí být šrouby broušeny, jejich nepřesnost kompenzuje řídicí systém. Šrouby



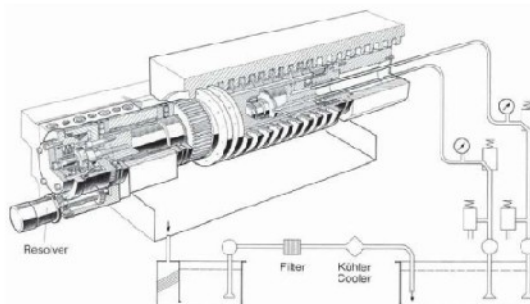
Obr. 27: Řez kuličkovým šroubem a maticí (fa SKF)



jsou vyráběny s vysokou přesností, mají vysokou účinnost, minimální oteplení, nízké opotřebení, možnost vymezení vůle a předepnutí. Nesamosvornost šroubu a matice vyžaduje použití brzdy.

6.1.3 ŠNEK A HŘEBEN

Pro posuvové soustavy s vysokým převodovým poměrem lze často využít výhodně i princip hydrostatického šnekového hřebenu (Obr. 28). Vhodná oblast využití je zejména u velkých obráběcích strojů pro pohon posuvů pracovních stolů, např. u portálových frézek. Výhody spočívají zejména v minimálním tření a vysoké tuhosti [3].



Obr. 28: Schéma hydrostatického šneku a šnekového hřebenu (fa Waldrich Coburg)

6.1.4 LINEÁRNÍ MOTOR

Lineární motory (Obr. 29) se využívají pro náhon lineárních souřadnic u vysokorychlostního obrábění. Jedná se o elektromotory konstrukčně uzpůsobené tak, že nemají žádný vložený převod. Posuvovou sílu vyvozují přímo působením elektromagnetických sil na suport stroje. Elektromagnetická síla vzniká mezi pohyblivým primárním dílem (příšroubován ke stolu) a pevným sekundárním dílem (příšroubován k loži) [3].



Obr. 29: Lineární motor 1FN6 (fa Siemens)

6.2 VEDENÍ

Pod pojmem vedení se rozumí soustava ploch, na nichž se stýká pohyblivá část (suport, saně) s nepohyblivou (lože), tato soustava musí zaručovat pohyb po geometricky přesné dráze. Jednotlivé plochy se nazývají plochy vodicí [15].

6.2.1 VALIVÉ

Valivé vedení (Obr. 30) je založeno na stejném principu jako valivá ložiska. Valivé elementy (válečky, jehly, kuličky) se odvalují po vodicích plochách pevné a pohyblivé části vedení. V současné době se nejvíce používají profilová valivá vedení s neomezenou délkou zdvihu. Tento typ vedení je vyráběn v podobě kalených profilovaných lišt a vozíků, ve kterých obíhají valivé elementy. Vozíky jsou příšroubovány k pohyblivé části stroje, lišta k loži. Nutná je vysoká přesnost obrobení připojovacích ploch a kvalitní montáž.



Obr. 30: Valivé vedení válečkové Hybrid Roller Guide System (fa Mazak)



6.2.2 KLUZNÉ (HYDRODYNAMICKÉ)

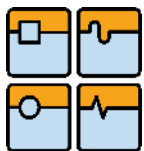
Hydrodynamické vedení má svůj název od toho, že přiváděný mazací olej mezi pohyblivé části vedení vytvoří mazací film až za pohybu, kdy vzniknou podmínky tzv. hydrodynamického mazání. Vodicí plochy mají být orientovány pokud možno kolmo k výsledné zatěžovací síle. Důležitá je správná volba profilu vedení (ploché, prizmatické, rybinové, válcové) s vhodnými rozměry podle charakteru vnějšího zatížení [3]. Zásadní vliv na správnou funkci má volba materiálu obou částí vedení, doporučuje se použití tvrdšího materiálu na delší plochu vedení a měkčího na plochu kratší (nižší opotřebení, odolnější proti zadírání). Často se též využívá obložení kratší části plastickými hmotami (Turcit, Gamapest).

6.2.3 HYDROSTATICKÉ

Princip hydrostatického vedení je založen na dodávce tlakového oleje mezi vodicí plochy, čímž je docíleno kapalinného tření. Hydrostatické vedení (*Obr. 6*) a (*Obr. 31*) se skládá z několika ložiskových kapes, které jsou upevněny na jedné z vodicích ploch, a druhá plocha je zcela hladká, tak jako u normálního kluzného vedení. Kapsy mohou být zásobovány olejem odměrným čerpadlem nebo každá kapsa svým čerpadlem či skupina kapes svým čerpadlem či jedno čerpadlo pro všechny kapsy. Princip plnicího čerpadla je založen na dodávce tlakového oleje do odměrných čerpadel, která dodávají stejná množství do jednotlivých kapes. Při zanedbání stlačitelnosti oleje je zachována konstantní velikost vrstvy i při různých zatíženích. Poněkud kvalitnější tuhosti se dosáhne užitím soustavy se stavitelným škrcením pomocí membrány. Velikost olejové vrstvy je přibližně konstantní i při změně zatížení. Nejméně tuhé je škrcení pomocí konstantního odporu (kapiláry). Rovněž dobré parametry vykazuje systém s odměrnými čerpadly pro každou kapsu. Je proto využíván pro případy, kdy lze předpokládat silné kolísání zatížení. Nejčastěji je v praxi využíván nákladově nejpříjemnější princip s jedním čerpadlem a konstantním škrcením na vtoku do každé kapsy. Má sice nejnižší tuhost, ale při správném dimenzování celého obvodu pro většinu aplikací vyhovuje [3]. Výhodami tohoto vedení jsou velmi malý součinitel tření ($5 \cdot 10^{-6}$), téměř žádné opotřebení, vysoká tuhost, vysoká tlumicí schopnost, velká stabilita pohybu při nízkých rychlostech, nemá vůle. Nevýhodou je nutnost velmi tuhých částí vedení, komplikovaná konstrukce, náročné seřízení a údržba, nákladný provoz.



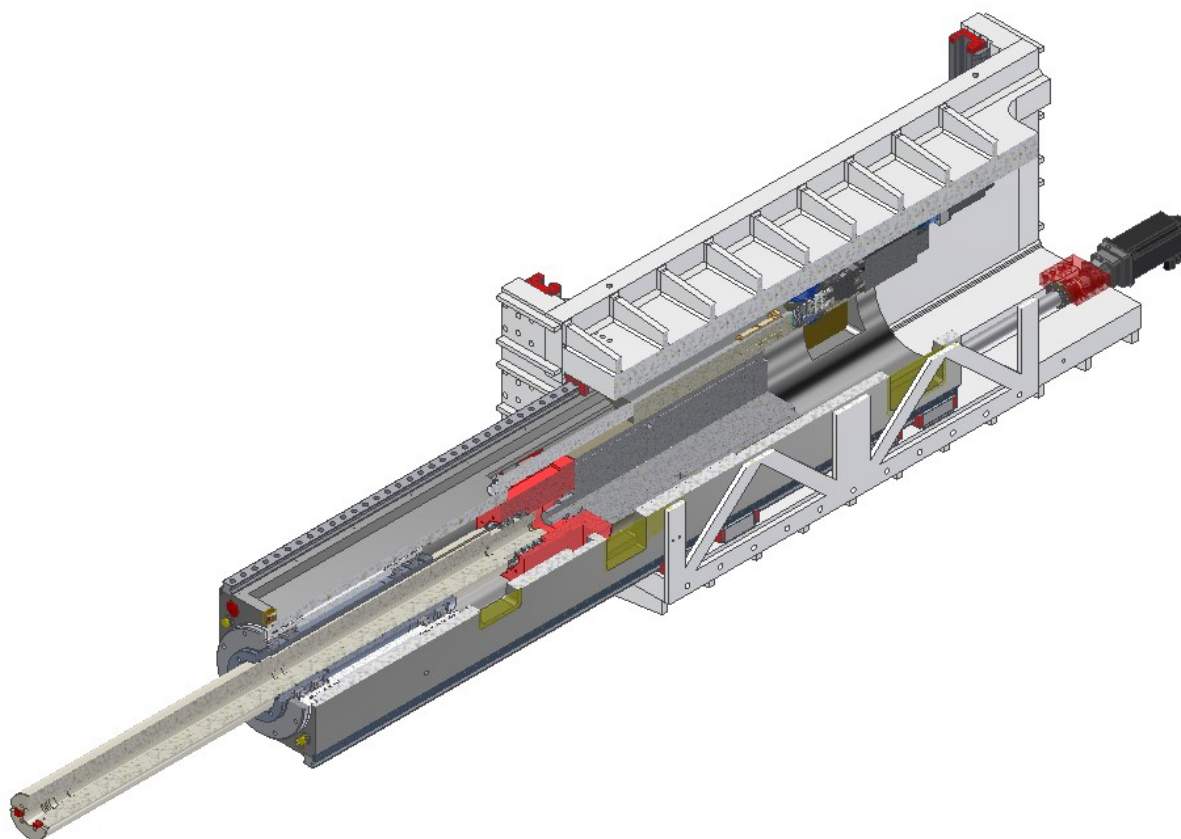
Obr. 31: Hydrostatické vedení (fa ZOLLERN)



7 VŘETENO A VŘETENÍK

Soustava vřeteno, převodovka a motor jsou uloženy v jedné ose. Tato koncepce umožňuje použití uzavřeného rámu a tím uložení smykadla ze dvou protilehlých stran (spodní a horní) v jeho rozích, což zvyšuje celkovou tuhost uložení a přesnost obrábění. Je využito profilové valivé vedení. Smykadlo je vyrobeno z tvárné litiny GGG60 a je hranolového typu s průřezem 560x520 mm. V něm je uloženo vřeteno o průměru 200 mm s upínacím kuželem ISO 50, ložiska hlavního uložení vřetena jsou kuličková jednořadá a dvouřadá a jsou mazána trvalou tukovou náplní, výsuv vřetena je realizován kluzným ložiskem. Pro pohon vřetena je zvolen převodový motor s automatickou dvoustupňovou převodovkou o výkonu 100kW. Výkon motoru byl volen na základě výkonu motorů obdobných strojů světových výrobců. Saně jsou svařencem ve tvaru C, doplněné výztuhou pro uzavření rámu. Vřeteník je vybaven kompenzační prohnutí vřetena při vysunutí.

Celá sestava vřeteníku (*Obr. 32*) je zatím pouze ve stádiu vývoje, kdy se teprve připravuje první prototyp. Jedná se o vlastní konstrukci firmy FERMAT CZ a je pro potřeby této práce převzata.



Obr. 32: Vřeteník V 200 i (fa FERMAT CZ)

7.1 OBRÁBĚCÍ SÍLY

Důležitým parametrem obráběcího stroje je výkon hlavního motoru vřetena, a z toho vyplývající maximální řezné a posuvové síly. Výkon motoru je 100kW. Na základě tohoto bude dále uveden výpočet řezných a posuvových sil, a to pro operaci frézování (při použití



frézovací hlavy a vhodného nástroje) a pro operaci vrtání. Řezné podmínky těchto operací byly voleny co nejnepříznivější, tak aby bylo dosaženo řezného výkonu blížícího se ke jmenovitému výkonu elektromotoru. Výpočet řezných sil byl proveden podle katalogu výrobce nástrojů Garant [16] a Sandvik [1] a dle knihy Teorie obrábění, tváření a nástroje [17].

Výpočet řezné a posuvové síly - frézování:

Vstupní parametry:

Obráběný materiál:	legovaná ocel 42CrMo4 (1.7225)	skupina materiálu dle GARANT - 15.1
specifická řezná síla		$k_{c1_1} := 2500 \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
mez pevnosti		$R_m := 1300 \text{MPa}$
růst tangenty		$m_{\tan} := 0.26$

Nástroj:

rovinná frézovací hlava s VBD SECO Octomill 220.43-07C	
průměr frézy	$D_{\text{fréz}} := 315 \text{mm}$
řezný materiál	OFMR 070405TR-M15 MP2500
řezná rychlost doporučená	$v_{c_dop} := 230 \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
posuv na zub doporučený	$f_{z_dop} := 0.25 \text{mm}$
hloubka řezu	$a_p := 4 \text{mm}$
počet zubů	$z := 20$
úhel nastavení hlavního ostří	$\kappa := 43 \text{deg}$
úhel čela	$\gamma := 15 \text{deg}$
úhel čela - korekce (litina)	$\gamma_k := 6 \text{deg}$
korekce řezné rychlosti	$K_v := 1.00$
korekce opotřebení	$K_{Ver} := 1.1$
Účinnost vřeteníku	$\eta_{\text{vřet}} := 0.9$

Otáčky vřetená:

$$n_{\text{vřet_před}} := \frac{v_{c_dop}}{D_{\text{fréz}} \cdot \pi} \quad n_{\text{vřet_před}} = 232.417 \cdot \text{min}^{-1}$$
$$n_{\text{vřet}} := \frac{\text{round}(n_{\text{vřet_před}} \cdot \text{min}, -1)}{\text{min}} \quad n_{\text{vřet}} = 230 \cdot \text{min}^{-1}$$

**Řezná rychlost:**

$$v_c := D_{\text{frez}} \cdot \pi \cdot n_{\text{vřet}} \quad v_c = 227.608 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Posuvová rychlost:

$$v_f := f_{z_dop} \cdot z \cdot n_{\text{vřet}} \quad v_f = 1.15 \times 10^3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Úhel řezného oblouku:

šířka záběru

$$a_e := 280 \text{ mm}$$

parametry U_1 a U_2

$$U_1 := 15 \text{ mm} \quad U_2 := U_1 + a_e \quad U_2 = 295 \text{ mm}$$

$$\phi_1 := \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot U_1}{D_{\text{frez}}} \right)$$

$$\phi_2 := \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot U_2}{D_{\text{frez}}} \right)$$

$$\phi_1 = 25.209 \text{ deg}$$

$$\phi_2 = 150.811 \text{ deg}$$

$$\phi_s := \phi_2 - \phi_1$$

$$\phi_s = 125.602 \text{ deg}$$

Průměrná tloušťka třísky:

$$h_m := \frac{2 \cdot \text{rad}}{\phi_s} \cdot f_{z_dop} \cdot \sin(\kappa) \cdot \frac{a_e}{D_{\text{frez}}} \quad h_m = 0.138 \text{ mm}$$

Šířka třísky:

$$b := \frac{a_p}{\sin(\kappa)} \quad b = 5.865 \text{ mm}$$

Průřez třísky:

$$A_{\text{třís}} := b \cdot h_m \quad A_{\text{třís}} = 0.811 \text{ mm}^2$$

Specifická řezná síla:

$$k_c := \frac{k_{c1_1}}{\left(\frac{h_m}{\text{mm}} \right)^{m_{\text{tan}}}} \quad k_c = 4.182 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Korekce úhlu čela:

$$K_{\gamma} := 1 - \frac{\gamma - \gamma_k}{66.7 \text{ deg}} \quad K_{\gamma} = 0.865$$

Průměrná řezná síla:

$$F_{\text{cmz}} := A_{\text{třís}} \cdot k_c \cdot K_{\gamma} \cdot K_V \cdot K_{\text{Ver}} \quad F_{\text{cmz}} = 3.227 \text{ kN}$$

Počet zubů v záběru:

$$z_{iE} := \frac{\phi_s \cdot z}{360 \text{ deg}} \quad z_{iE} = 6.978$$

Celková řezná síla:

$$F_c := z_{iE} \cdot F_{\text{cmz}} \quad F_c = 22.518 \text{ kN}$$

**Řezný výkon:**

$$P_c := F_{cmz} \cdot v_c \cdot Z_i E \quad P_c = 85.42 \text{ kW}$$

Hnací výkon:

$$P_a := \frac{P_c}{\eta_{vřet}} \quad P_a = 94.911 \text{ kW}$$

Posuvová síla:

$$F_{p_frez} := F_c \cdot 0.7 \quad F_{p_frez} = 15.762 \text{ kN}$$

Výpočet řezné a posuvové síly - vrtání do plného materiálu:**Vstupní parametry:**

Obráběný materiál:

vysokolegovaná ocel žíhaná třída 03.11 dle Sandvik

specifická řezná síla: $k_{c1_2} := 2360 \text{ MPa}$ růst tangenty: $m_{\tan_2} := 0.25$

Nástroj:

vrták s VBD CoroDrill 880

průměr vrtáku: $D_{vrt} := 63.5 \text{ mm}$ řezná rychlost: $v_{c_vrt_dop} := 170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ posuv na otáčku: $f_{vrt} := 0.32 \text{ mm}$ koeficient metody vrtání: $f_B := 1$ úhel nastavení hlavního ostří: $\kappa_{vrt} := 88 \text{ deg}$ počet zubů: $z_{vrt} := 1$ **Otáčky vřetena:**

$$n_{vrt_před} := \frac{v_{c_vrt_dop}}{\pi \cdot D_{vrt}} \quad n_{vrt_před} = 852.168 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{vrt} := \frac{\text{round}(n_{vrt_před} \text{ min}, -1)}{\text{min}} \quad n_{vrt} = 850 \text{ min}^{-1}$$

Řezná rychlost:

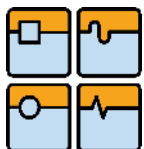
$$v_{c_vrt} := \pi \cdot D_{vrt} \cdot n_{vrt} \quad v_{c_vrt} = 169.567 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Posuvová rychlost:

$$v_{f_vrt} := f_{vrt} \cdot n_{vrt} \quad v_{f_vrt} = 272 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Posuv na zub:

$$f_{z_vrt} := \frac{f_{vrt}}{z_{vrt}} \quad f_{z_vrt} = 0.32 \text{ mm}$$

**Tloušťka třísky:**

$$h_{m2} := f_{z_vrt} \cdot \sin(\kappa_{vrt}) \quad h_{m2} = 0.32 \cdot \text{mm}$$

Specifická řezná síla:

$$k_{c_2} := \frac{k_{c1_2}}{\left(\frac{h_{m2}}{\text{mm}}\right)^{m_{\tan_2}}} \quad k_{c_2} = 3.138 \times 10^3 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Řezná síla:

$$F_{c_vrt} := \frac{D_{vrt}}{2} \cdot z_{vrt} \cdot f_{z_vrt} \cdot k_{c_2} \cdot f_B \quad F_{c_vrt} = 31.885 \cdot \text{kN}$$

Posuvová síla:

$$F_{f_vrt} := 0.6 \cdot F_{c_vrt} \quad F_{f_vrt} = 19.131 \cdot \text{kN}$$

Celkový řezný výkon:

$$P_{c_vrt} := F_{c_vrt} \cdot v_{c_vrt} \quad P_{c_vrt} = 90.111 \cdot \text{kW}$$

Hnací výkon:

$$P_{a_vrt} := \frac{P_{c_vrt}}{\eta_{vřet}} \quad P_{a_vrt} = 100.123 \cdot \text{kW}$$

Při frézování i vrtání bylo dosaženo celkového řezného výkonu přibližně 90kW, při započtení účinnosti převodu z motoru na vřeteno 100kW. Tento výkon odpovídá jmenovitému výkonu zvoleného motoru v režimu S1. Při výpočtu řezných sil byl uvažován ostrý nástroj, ideální homogenita obráběného materiálu a obrábění plného materiálu, kde nedochází k rázům. Pro další výpočty budou proto tyto síly upraveny koeficientem otupení nástroje, koeficientem vlivu jakosti materiálu a koeficientem rázů.

koeficient otupení nástroje: $k_{on} := 1.5$

koeficient jakosti materiálu: $k_{jm} := 1.3$

koeficient rázů: $k_{raz} := 1.6$

Frézování: řezná síla

$$F_{c_k} := F_{c_vrt} \cdot k_{on} \cdot k_{jm} \cdot k_{raz} \quad F_{c_k} = 70.255 \cdot \text{kN}$$

posuvová síla

$$F_{f_fr_k} := F_{f_vrt} \cdot k_{on} \cdot k_{jm} \cdot k_{raz} \quad F_{f_fr_k} = 49.178 \cdot \text{kN}$$

Vrtání:

řezná síla

$$F_{c_vrt_k} := F_{c_vrt} \cdot k_{on} \cdot k_{jm} \cdot k_{raz} \quad F_{c_vrt_k} = 99.481 \cdot \text{kN}$$

posuvová síla

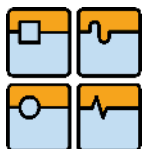
$$F_{f_vrt_k} := F_{f_vrt} \cdot k_{on} \cdot k_{jm} \cdot k_{raz} \quad F_{f_vrt_k} = 59.688 \cdot \text{kN}$$

**7.2****PARAMETRY VŘETENÍKU**

Průměr vřetena	mm	200
Výkon motoru (S1)	kW	100
Průřez smykadla	mm	560x520
Max. otáčky vřetena	n ⁻¹	3000
Max. osová zatížitelnost	kN	60
Hmotnost vřeteníku (bez hlavy)	kg	12300
Výsuv vřetena W	mm	1200
Výsuv smykadla Z	mm	1800

Tab. 10: Základní parametry vřeteníku V 200 i

Uvedené parametry (Tab. 10) jsou pouze orientační, jelikož tento vřeteník není ještě kompletně navrhnout.

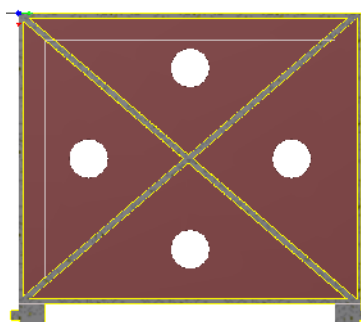


8 STOJAN

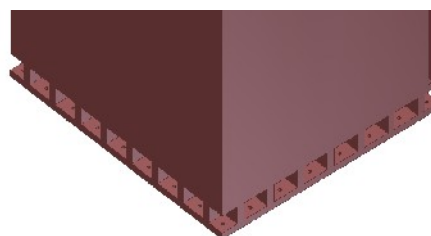
8.1 PROVEDENÍ STOJANU, KRYTOVÁNÍ

Konstrukce stojanu pro stroj WRF 200 vychází ze současné konstrukce všech stojanů strojů nižších řad produkováných firmou FERMAT CZ (WRF 130, WRF 150, WRF 160). Je vyroben z ocelového žebrovaného svařence, který je tepelně stabilizován. Průřez stojanu (*Obr. 33*) o rozměru 2200x1860 mm je tvořen diagonálními žebry. Tloušťka pláště stojanu je 30 mm, tloušťka diagonálních žebër 40 mm. Stojan je dále vyztužen horizontálními trojúhelníkovými žebry v rozestupu 590 mm. Takto žebrovaný stojan má dostatečnou tuhost a pevnost, tím je zajištěna vynikající přesnost obrábění. Stojan je navrhnut pro zdvih osy Y 6000 mm. Je to nejvyšší možný zdvih, se kterým je v současnosti počítáno. Řada těchto stojanů bude začínat se zdvihem 3000 mm a odstupňována po 500 mm až do výše uvedených 6000 mm. Hmotnost samotného stojanu činí cca 40 tun.

Tento stojan je na rozdíl od stojanů nižších řad samostatný, k saním je připojen pevnostními šrouby po obvodu pláště (*Obr. 34*). Další variantou by bylo šroubování ze spodní části saní, které by vykazovalo vyšší tuhost, ale zřejmou nevýhodou je nemožný přístup ke šroubům. Toto by se muselo řešit smontováním stojanu se saněmi mimo lože, což přináší problémy s hmotností tohoto celku (přesáhne 60 tun) a dále s ustavováním na lože a následným seřizením.

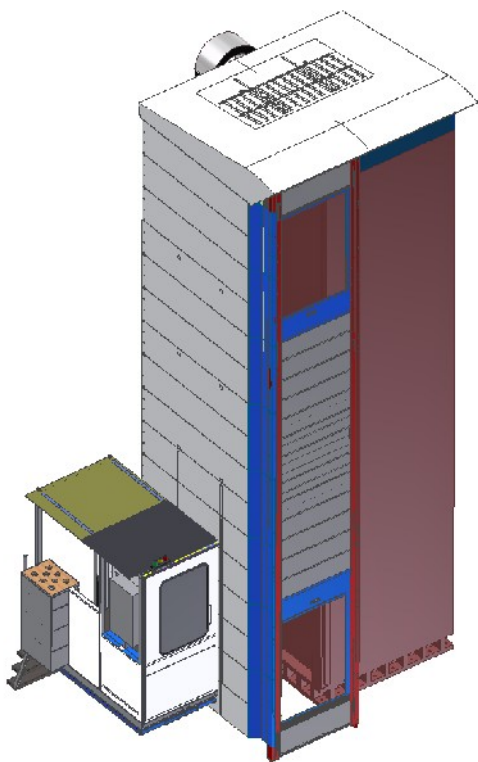


Obr. 33: Řez stojanem



Obr. 34: Připojení stojanu k saním

Krytování stojanu (*Obr. 35*) opět vychází z už vyráběných strojů a využívá co nejvíce společných komponent. Hlavní část krytování tvoří teleskopický kryt vřeteníku, boční kryt vřeteníku s vedením kabiny pro operátora a zastřešení. Na stojanu je dále připevněn automatický systém výměny nástrojů včetně řetězového zásobníku, elektrorozvodná skříň a již zmíněná kabina, která je horizontálně i vertikálně přesuvná.

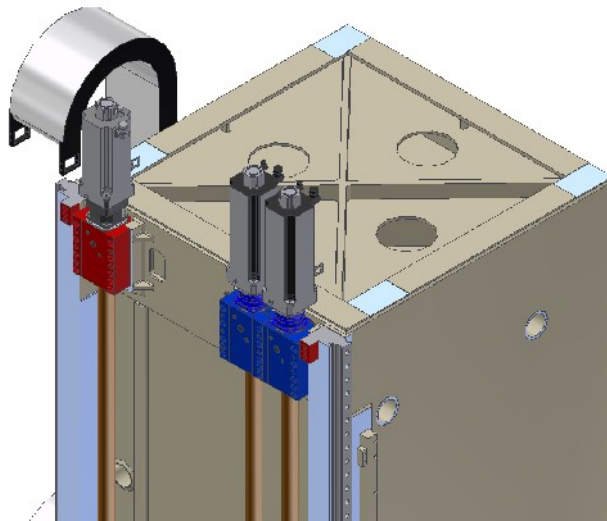


Obr. 35: Krytování stojanu



8.2 POHON A VEDENÍ OSY Y

Hmotnost vřeteníku a saní vřeteníku pohybujících se ve svislém směru je vyvažována pomocí tří kuličkových šroubů a tří optoelektronických snímačů. Díky tomu je zajištěna maximální bezpečnost, kdy při destrukci jakéhokoliv šroubu ostatní dva udrží vřeteník v aktuální pozici a nedojde tak k dalším škodám na stroji, či zranění obsluhy. Toto vyvažování též zajišťuje vysokou přesnost a kvalitu obrobeného povrchu. Vedení saní vřeteníku je realizováno opět profilovým valivým vedením (*Obr. 36*).



Obr. 36: Vedení a pohony osy Y



9 VEDENÍ OSY X

9.1 KONCEPCE VEDENÍ

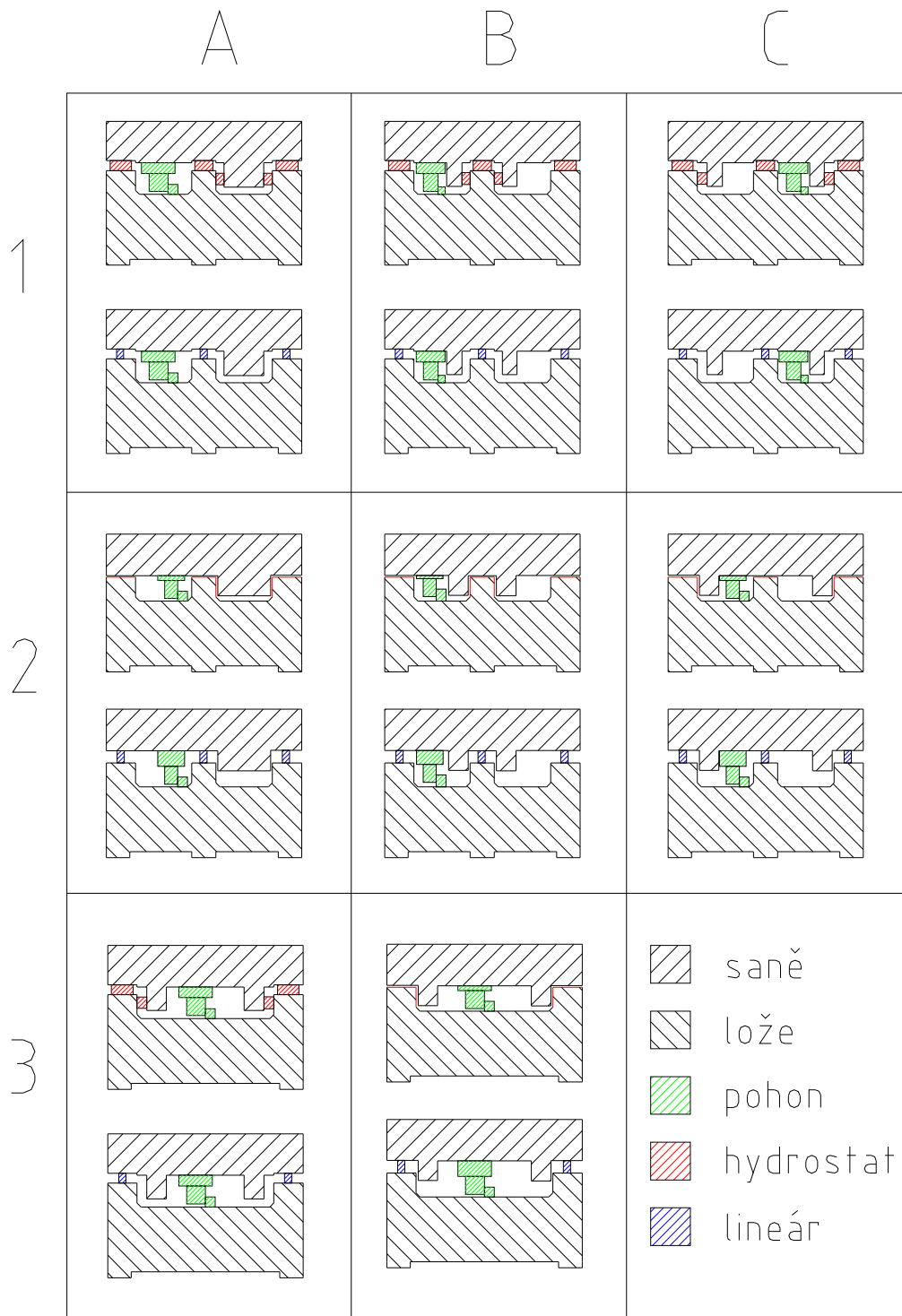
Jednou ze stěžejních částí této diplomové práce je návrh vedení osy X. Dle zadání má být návrh proveden ve dvou variantách, pro profilové valivé vedení a pro hydrostatické vedení. Obě tato vedení musí být konstruována tak, aby bylo možné využít pouze jednoho odlitku lože a jednoho svařence (případně odlitku).

Nejprve je nutné navrhnout několik možných uspořádání těchto vedení, poté posoudit výhody a nevýhody těchto návrhů a nakonec jeden z nich vybrat a tento realizovat dále v práci. Základní požadavky na provedení vyplývají z dříve uvedených vlastností těchto vedení, dalšími požadavky jsou možnost dvou různých obrobků lože i saní, vhodná kombinace připojovacích ploch, dostatečná tuhost pro obě varianty a v neposlední řadě provedení a umístění pohonu této osy. Všechny návrhy jsou zobrazeny jako jednoduchý profil lože a saní, na kterých jsou vyznačeny styčné plochy vedení a poloha pohonu, ten byl zvolen jako systém pastorek a hřeben s dvěma servomotory a elektronickým předepnutím pastorků. Tato volba vychází z požadavků zadávající firmy.

Bylo navrženo celkem osm variant (*Obr. 37*). Jedná se o různé kombinace základních možných uspořádání vedení. U každé varianty je vyobrazeno provedení pro hydrostatické vedení (horní schéma) a pro profilové valivé vedení (dolní schéma). Jelikož profilové valivé vedení je schopno zachytávat zatížení ve všech směrech (samozřejmě vyjma směru pohybu), tak se nemusí používat zvlášť pro zachycení horizontálních sil. Naproti tomu hydrostatické vedení musí být navrženo i pro zachycení těchto sil. Dále je možno síly zachytávat prostřednictvím dvou nebo tří vodících ploch. Hydrostatické buňky mohou být vyfrézovány přímo do základního materiálu saní, nebo mohou být vytvořeny bloky těchto buněk, které se poté přišroubují k saním.

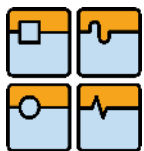
Vlastnosti dané varianty	A1	B1	C1	A2	B2	C2	A3	B3
Snadná záměna hydrobloků za valivé vedení	+	+	+	-	-	-	+	-
Vyšší tuhost a lepší zachycení sil	+	+	+	+	+	+	-	-
Umístění pohonu ke středu lože	+	-	+	+	-	+	+	+
Větší prostor pro zástavbu pohonu	+	-	-	+	-	-	+	+
Stejná výška pohonu při použití valivého vedení	+	+	+	-	-	-	+	-
Hodnocení	5	3	4	3	1	2	4	2

Tab. 11: Vyhodnocení jednotlivých variant vedení



Obr. 37: Varianty řešení vedení

Zvolena byla **varianta A1**. Avšak s ohledem na výrobní náklady nebudou saně univerzální pro oba typy vedení. Jelikož se bude jednat o svařenec, tak není potřeba při použití valivého vedení přivařovat část, která drží bloky hydrostatických buněk pro zachycení bočních sil.



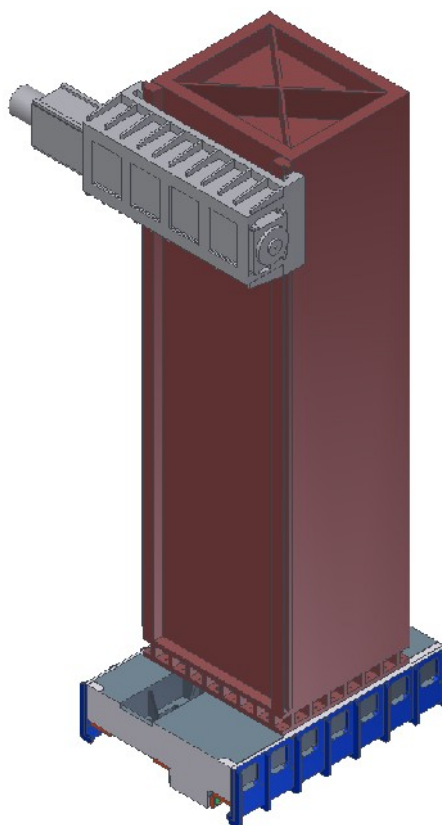
9.2 ZATÍŽENÍ VEDENÍ

Pro zjištění sil působících na vedení bylo využito výpočtu pomocí metodou konečných prvků. Jelikož nejsou kladeny nijak zvláštní požadavky na kvalitu výpočtu, byl jako výpočtový program zvolen integrovaný systém MKP analýzy v softwaru Autodesk Inventor. Tento systém je založen na algoritmech profesionálního softwaru ANSYS.

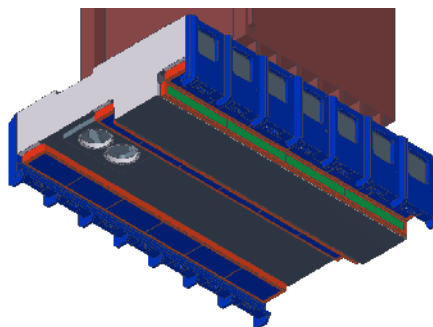
Nejprve bylo nutné vytvořit vhodný 3D model analyzovaného problému. Tento model se skládá ze zjednodušeného modelu vřeteníku, stojanu a saně (Obr. 38). Saně byly vytvořeny dle varianty určené v předchozí kapitole. Jedná se o žebrovaný svařenec. Na saně byly namodelovány hydrostatické buňky, jejich velikost a přesné umístění bylo zjišťováno metodou pokusu, výpočtu zatížení a korekce jejich velikosti a polohy (Obr. 39). Všechny modely pro MKP analýzu byly vytvořeny tak, aby co nejvíce odpovídaly skutečným modelům, které budou popsány dále.

Zatěžující síla je uvedena ve výpočtu řezných a posuvových sil. Byla vzata hodnota posuvové síly při vrtání a ta činí 60kN (směr -Z) a pro frézování 50kN (všechny ostatní směry). Těmito silami byl zatížen konec vřetená v poloze $Y=6000\text{mm}$, $Z=0\text{mm}$, $W=0\text{mm}$. Tato poloha odpovídá vrtání (frézování) v nejvyšší poloze vřeteníku, při zcela zasunutém vřetenu. Orientace zatěžující síly byla postupně měněna do všech směrů souřadného systému a pro každou tuto polohu byl proveden jeden výpočet zatížení vedení, byl také proveden výpočet bez zatěžující síly. Samozřejmostí je zahrnutí vlivu gravitace. Vazby byly umístěny na plochy hydrostatických buněk, tyto vazby zachycovali vždy jen normálovou sílu, tečné síly zachycovány nebyly (z principu hydrostatického ložiska, které dokáže zachytit pouze normálovou sílu).

Postupným výpočtem jednotlivých konfigurací modelu (Obr. 40) bylo zjištěno odlehnutí některých hydrostatických buněk. Tento stav však nesmí ve skutečnosti nikdy nastat, protože by došlo k porušení rovnováhy tlaků a sil v buňce, úniku velkého množství oleje a následnému havarijnímu stavu celého hydrostatického systému. Bylo proto nutné udělat konstrukční úpravy v podobě použití systému mechanického předepínání horizontální části vedení (Obr. 39). Toto předepínání je realizováno systémem kladek, kdy každá kladka je umístěna u jednotlivých krajních buněk vedení. Výpočet byl opakován a jeho výsledky byly nyní přijatelné.



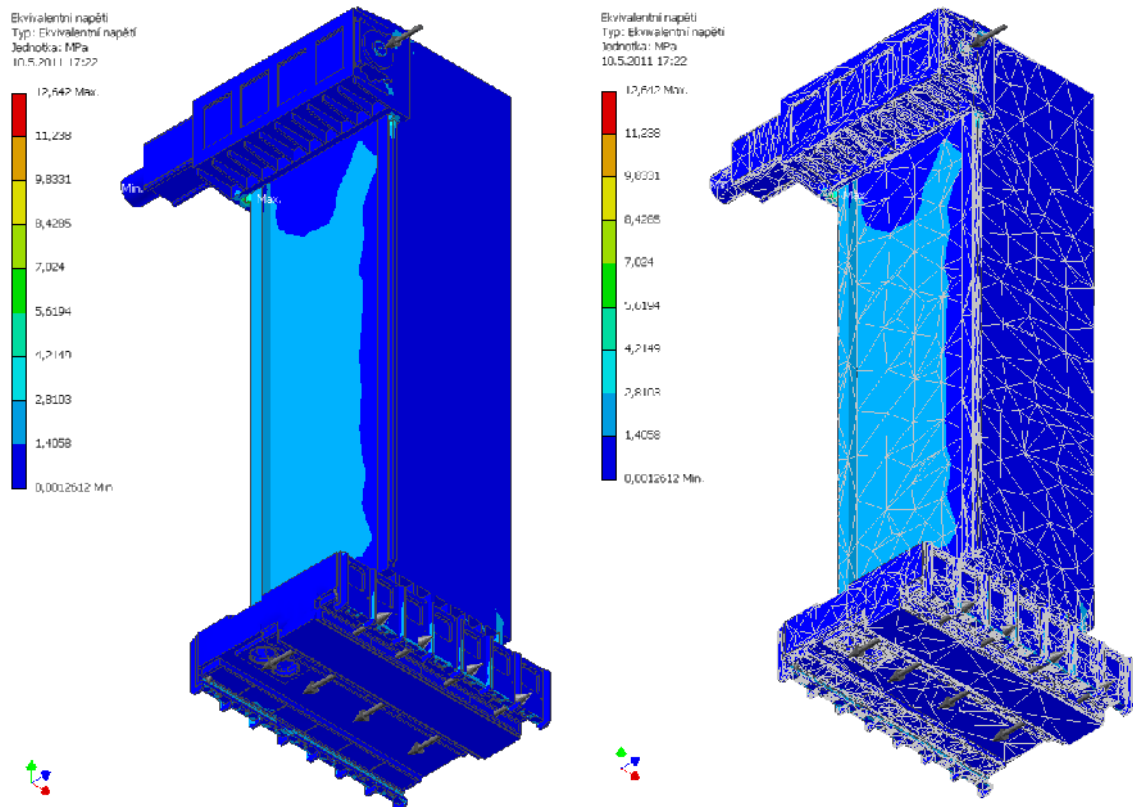
Obr. 38: Model pro MKP analýzu zatížení vedení



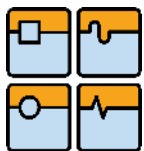
Obr. 39: Rozmístění hydrostatických buněk a pohled na konstrukci předepínání



Zvolenou metodou výpočtu byly získány hodnoty zatížení jednotlivých buněk pro různé případy působení zatěžující síly. Tyto hodnoty byly zapsány do přehledné tabulky (viz příloha P1). Následně byly tyto hodnoty zpracovány a bylo určeno minimální, maximální a průměrné zatížení každé buňky. Dále bylo vypočteno celkové zatížení jednotlivých skupin buněk, tyto hodnoty jsou určeny pro výpočet valivého vedení.



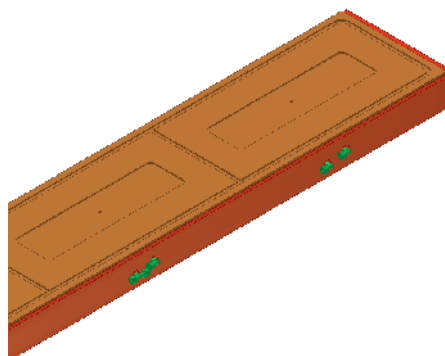
Obr. 40: Průběh napětí a znázornění sítě prvků



9.3 NÁVRH HYDROSTATICKEHO VEDENÍ

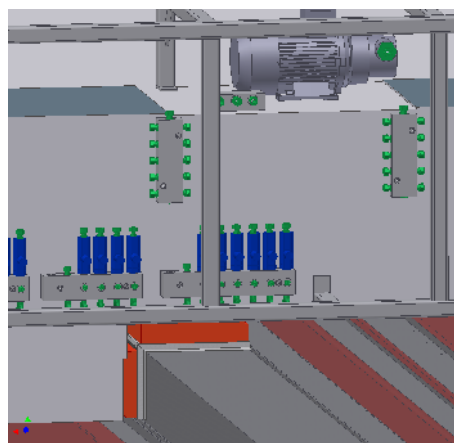
9.3.1 PROVEDENÍ HYDROSTATICKECH BUNĚK

Dle koncepční varianty A1 budou hydrostatické buňky umístěny v blocích. Tyto bloky jsou tvořeny konstrukční ocelí s nalepeným bronzovým pásem. Buňky budou vyfrézovány do tohoto bronzu. Ten je zde použit z bezpečnostních důvodů. V případě havárie hydraulického obvodu (prasklá hadice, porucha čerpadla, apod.) dojde k okamžité ztrátě tlaku v některých nebo všech buňkách. Pokud by se saně pohybovali v tuto chvíli rychloposuvem, tak může bronzová plocha snadněji klouzat po ocelové protiploše. Nepoužití kluzného materiálu na tuto stykovou plochu by mohlo znamenat značné poškození jak hydrostatických bloků, tak samotného lože.



Obr. 41: Blok hydrostatického vedení, kapsy a sběrné drážky

V bronzovém pásu jsou vyfrézovány jednotlivé kapsy, po obvodě těchto kapes jsou sběrné drážky pro zpětné odčerpání oleje (Obr. 41). Vtoky a odtoky jsou vyvrtány přímo do bloku a jsou napojeny pomocí normálního hydraulického šroubení a trubek. Hydraulická část hydrostatického vedení se nachází přímo na saních. Zde jsou umístěny rozvodné kostky, škrťací ventily i čerpadlo na odčerpávání oleje (Obr. 42). Hydroagregát je umístěn na konzole pod elektrorozvodnou skříní, jako je to u strojů nižších řad. Bloky jsou dále utěsněny pryžovým lamelovým těsněním. Toto těsnění zabráňuje dalšímu průniku oleje od vodících ploch lože opatřeny sběrnými drážkami, ze kterých jsou vyvedeny svody do sběrné nádoby, olej z této nádoby se nesmí znova použít do hydroagregátu, protože obsahuje velké množství nečistot.



Obr. 42: Prvky hydraulického obvodu hydrostatického vedení.

Každá kapsa je škrćena škrťacím ventilem na konstantní průtok. Použity jsou dvoucestné škrťací ventily se stabilizací tlakového spádu VRFU90C firmy HYDROCOM, které jsou nezávislé na tlaku, teplotě a viskozitě oleje. Hydroagregát je společný pro všechny kapsy a je použit typ HA6/20, který je zakázkově dodáván firmou HYTEK (Obr. 43).

9.3.2 VÝPOČET JEDNOTLIVÝCH BUNĚK

Pro správnou funkci hydrostatického vedení je potřeba znát velikost průtoku oleje každou buňkou. Výpočet byl sestaven na základě teoretických poznatků dle [18], [19], [20]. Nejprve je určena šířka a délka mezery jednotlivých buněk, poté je vypočítán minimální a



Obr. 43: Hydroagregát HA6/20 (fa HYTEK)



maximální tlak v těchto buňkách podle jejich zatížení. Dále je určen minimální a maximální průtok v každé buňce a z tohoto je zjištěn střední průtok, který bude nastaven pomocí škrtících ventilů. Pro tento konstantní průtok je vypočtena minimální a maximální tloušťka olejového filmu a následně i tuhost každého ložiska.

Výpočet hydrostatických axiálních ložisek - obdélníkových

Zatížení buňky:

$$F_{z_TAB} :=$$

	0	1
0	53.28	30.88
1	135	48.04
2	145.8	...

$$F_z := F_{z_TAB} \cdot \text{kN}$$

Rozměry buňky:

$$\text{Dim}_{TAB} :=$$

	0	1	2	3
0	520	240	380	100
1	520	240	380	100
2	520	240	380	...

$$\text{Dim} := \text{Dim}_{TAB} \cdot \text{mm}$$

Olej pro kluzná vedení Mogul HM 46 S

Kinematická viskozita oleje při 40°C:

$$\nu_{olej} := 46 \text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Hustota oleje:

$$\rho_{olej} := 895 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Dynamická viskozita oleje:

$$\eta_0 := \rho_{olej} \cdot \nu_{olej} \quad \eta_0 = 0.041 \text{Pa} \cdot \text{s}$$

Výchozí tloušťka olejové vrstvy:

$$h_0 := 20 \mu\text{m}$$

$$i_i := 0..25$$

$$i_j := 0..1$$

$$q_i := 0..25$$

$$q_j := 0..1$$

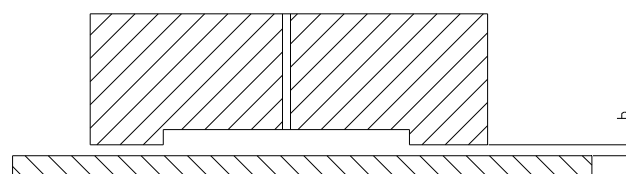
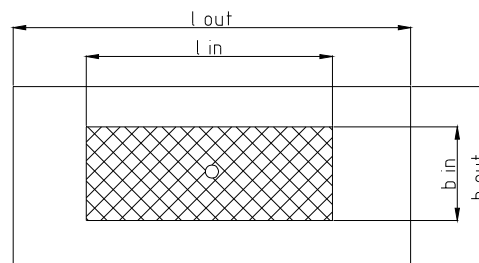
$$q_s := 0..17$$

$$l_{out_{ii}} := \text{Dim}_{ii,0}$$

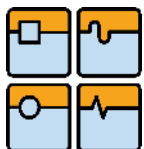
$$l_{in_{ii}} := \text{Dim}_{ii,2}$$

$$b_{out_{ii}} := \text{Dim}_{ii,1}$$

$$b_{in_{ii}} := \text{Dim}_{ii,3}$$



Obr. 44: Rozměry hydrostatické buňky



Šířka a délka mezery:

$$B_{mez_{ii}} := l_{in_{ii}} + l_{out_{ii}} + b_{in_{ii}} + b_{out_{ii}}$$

$$L_{mez_{ii}} := \left(\frac{l_{out_{ii}} - l_{in_{ii}}}{2} \cdot b_{in_{ii}} + \frac{b_{out_{ii}} - b_{in_{ii}}}{2} \cdot l_{in_{ii}} \right) \cdot \frac{1}{b_{in_{ii}} + l_{in_{ii}}}$$

Tlak v buňce:

$$p_{buň_{ii, ij}} := \frac{F_{Z_{ii, ij}}}{\left[l_{in_{ii}} \cdot b_{in_{ii}} + \frac{1}{2} (b_{out_{ii}} \cdot l_{out_{ii}} - l_{in_{ii}} \cdot b_{in_{ii}}) \right]}$$

$$p_{buň} =$$

	0	1
0	0.655	0.379
1	1.658	0.59
2	1.791	...

· MPa

Průtočné množství:

$$Q_{buň_{ii, ij}} := \frac{p_{buň_{ii, ij}} \cdot h_0^3 \cdot B_{mez_{ii}}}{12 \cdot \eta_0 \cdot L_{mez_{ii}}}$$

$$Q_{buň} =$$

	0	1
0	11.265	6.529
1	28.544	10.157
2	30.827	...

· mL · min⁻¹

Střední průtočné množství:

$$Q_{buň_střed_{qi}} := \left(Q_{buň_{qi, 0}} + Q_{buň_{qi, 1}} \right) \cdot \frac{1}{2}$$

$$Q_{buň_střed} =$$

	0
0	8.897
1	19.351
2	...

· $\frac{mL}{min}$

Tloušťka olejové vrstvy pro konstantní průtok oleje:

$$h_{Qkonst_{qi, qj}} := \sqrt[3]{\frac{12 \cdot Q_{buň_střed_{qi}} \cdot \eta_0 \cdot L_{mez_{qi}}}{p_{buň_{qi, qj}} \cdot B_{mez_{qi}}}}$$

$$h_{Qkonst} =$$

	0	1
0	18.487	22.173
1	17.569	24.793
2	17.422	...

· μm

Tuhost ložiska:

$$C_{ložisko_{qi}} := \frac{F_{Z_{qi, 0}} - F_{Z_{qi, 1}}}{h_{Qkonst_{qi, 1}} - h_{Qkonst_{qi, 0}}}$$

$$C_{ložisko} =$$

	0
0	6.077
1	12.038
2	...

· kN · μm⁻¹

V uvedeném výpočtu jsou ukázány pouze výsledky několika prvních buněk. Kompletní výsledky, včetně nákresu umístění jednotlivých buněk jsou v příloze P2.

9.3.3 VOLBA HYDROAGREGÁTU

Základními požadavky na hydroagregát jsou dodávané množství oleje o daném tlaku. Výpočet těchto dvou hodnot bezprostředně navazuje na předchozí výpočet hydrostatických buněk. Požadované dodávané průtočné množství bylo zjištěno součtem všech maximálních průtoků jednotlivými buňkami. Tento celkový průtok je pouze teoretický a je potřeba, aby byl agregát schopen dodávat množství 2x až 3x větší. Maximální tlak hydroagregátu odpovídá maximálnímu tlaku ze všech buněk, ale opět je potřeba tuto hodnotu zvětšit, v tomto případě přibližně 1,5x až 2x.

**Maximální průtočné množství hydroagregátu:**

$$Q_{agr_max} := \sum_{qi} Q_{buň_{qi, 0}} \quad Q_{agr_max} = 614.357 \cdot \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$$

Maximální provozní tlak:

$$p_{max} := \max(p_{buň}) \quad p_{max} = 1.791 \cdot \text{MPa}$$

Hydroagregát musí být schopen dodávat olej o tlaku **2,5 MPa** v množství **1,8 l/min**.

Pokud není stroj v provozu, tak saně dosedají hydrostatickými buňkami na vodící plochu lože. V tomto případě je aktivní plocha buněk menší, a tvoří jí pouze vyfrézovaná kapsa. Je proto potřeba dosáhnout vyššího tlaku, aby došlo k odlehčení, nadzvednutí a následné plavání saní. Hodnotu tohoto tlaku ukazuje následující výpočet. Výpočet je proveden pro předepnuté vedení.

Minimální tlak pro nadzvednutí stroje:

$$P_{start_min} := \frac{\sum_{qs} \left[\left(F_{z_{qs, 0}} + F_{z_{qs, 1}} \right) \cdot \frac{1}{2} \right]}{\sum_{qs} \left(b_{in_{qs}} \cdot l_{in_{qs}} \right)} \quad P_{start_min} = 1.407 \cdot \text{MPa}$$

Hodnota minimálního počátečního tlaku je **1,4 MPa**.

9.4 NÁVRH VALIVÉHO VEDENÍ

Profilové valivé vedení bude použito stejné jako na strojích WRF 150/160. Jedná se o vedení Monorail MR 65 firmy Schneeberger s příslušnými vozíky MR W 65-B. Bude pouze navýšen počet lineárních vozíků na 10 v jedné liště. Jelikož jsou tyto lišty tři, tak bude celkový počet 30. Jejich rovnoměrné rozložení by mělo zajistit dobré zachycení a přenos sil ze saní na lože. Vedení bude zkontrolováno na statickou únosnost a na kilometrovou a hodinovou životnost.

Z výpočtu (na následující straně) vyplývá vyhovující kilometrová životnost 5304 km. Hodinová životnost 10400 hod se může zdát malá, ale je potřeba si uvědomit skutečné cykly pojezdu. Ve výpočtu bylo uvažováno s přejetím celého zdvihu za 2 min, což odpovídá hrubovacím frézování. Ale nelze předpokládat, že by se na tomto stroji celou jeho životnost prováděl tento druh obrábění. Např. při vyvrtávání osa X stojí.

**Výpočet lineárního valivého vedení:****Typ vedení - vozíku:** Monorail MR 65 - MR W 65-B Schneeberger**Statická únosnost:** $C_0 := 530\text{kN}$ **Dynamická únosnost:** $C_{100} := 295\text{kN}$ **Celkový počet vozíků:** $n_V := 30$ **Počet vodících lišt:** $n_L := 3$ **Radiální zatížení:** $P_R := \begin{pmatrix} 380\text{kN} \\ 259\text{kN} \\ 346\text{kN} \end{pmatrix}$ **Boční zatížení:** $P_T := 70\text{kN}$ **Koeficient tvrdosti vedení:** $f_H := 0.9$ **Koeficient teploty:** $f_T := 1.0$ **Koeficient kontaktu vozíků:** $f_C := 1.0$ **Koeficient zatížení:** $f_W := 2.0$ **Koeficient statické bezpečnosti:** $f_S := 4$ **Délka zdvihu:** $l_S := 8500\text{mm}$ **Počet zdvihů:** $n_S := 0.5 \cdot \text{min}^{-1}$ **Ekvivalentní zatížení vozíku:** $P_E := \frac{n_L \cdot P_R}{n_V} + \frac{P_T}{n_V}$ $P_E = \begin{pmatrix} 40.333 \\ 28.233 \\ 36.933 \end{pmatrix} \text{kN}$ **Kontrola statické únosnosti:** $F_S := \frac{f_H f_T f_C C_0}{P_E}$ $F_S = \begin{pmatrix} 11.826 \\ 16.895 \\ 12.915 \end{pmatrix}$

$$F_S > f_S$$

VYHOVUJE**Životnost vozíku v km:** $L_R := \left(\frac{f_H f_T f_C C_{100}}{f_W P_E} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot 100\text{km}$ $L_R = \begin{pmatrix} 5.304 \times 10^3 \\ 1.741 \times 10^4 \\ 7.113 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{km}$ **Životnost vozíku v hod:** $L_H := \frac{L_R}{2 \cdot l_S \cdot n_S}$ $L_H = \begin{pmatrix} 1.04 \times 10^4 \\ 3.415 \times 10^4 \\ 1.395 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{hr}$



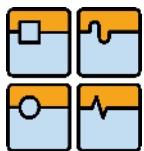
10 SANĚ OSY X

10.1 POHON OSY X

Pohon osy X je koncipován jako systém pastorku s ozubeným hřebenem. Tento způsob je volen především z důvodu potřeby velmi dlouhého zdvihu (až 28000 mm), na který již nelze použít kuličkový šroub. Motory s převodovkou jsou upevněny přírubami v prohlubni saní, jejich osazení má vůli z důvodu možnosti vymezení vůle mezi pastorkem a hřebenem. To je řešeno stavěcím šroubem, který dotlačí pastorek do správně polohy. Výpočet potřebných parametrů motorů a převodovek je proveden dle [3]. Použity budou dva servomotory s planetovými převodovkami.

Vstupní parametry:

Řezná síla:	$F_c := 50\text{kN}$
Roztečný průměr pastorku:	$D_{\text{past}} := 127.3\text{mm}$
Převodový poměr převodovky:	$i_{\text{pl}} := 48$
Účinnost hřebenového převodu:	$\eta_{\text{hřeb}} := 0.98$
Účinnost převodovky:	$\eta_{\text{pl}} := 0.98$
Hmotnost přesouvaných hmot:	$m_G := 95000\text{kg}$
Součinitel tření hydrostat. vedení:	$f_{\text{hdr}} := 0.00005$
Předepnutí bočního vedení:	$F_{\text{p}_Z} := 120\text{kN}$
Předepnutí hlavního vedení:	$F_{\text{p}_Y} := 220\text{kN}$
Rameno valivého odporu kladek:	$\xi_{\text{kld}} := 0.005\text{mm}$
Průměr kladek	$d_{\text{kld}} := 42\text{mm}$
Koeficient předepnutí M-S	$K_{\text{před}} := 0.3$
Moment setrvačnosti motoru:	$J_{\text{mot}} := 290\text{kg}\cdot\text{cm}^2$
Moment setrvačnosti převodovky:	$J_{\text{pl}} := 25\text{kg}\cdot\text{cm}^2$
Moment setrvačnosti pastorku:	$J_{\text{past}} := 50\text{kg}\cdot\text{cm}^2$
Zrychlení osy X:	$a_X := 1\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Rychlost pracovního posuvu:	$v_{\text{pp}} := 8\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
Rychlost rychloposuvu:	$v_{\text{rp}} := 20\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$



10.1.1 STATICKÉ ZATÍŽENÍ

Statické zatížení:

$$\text{Síla pasivních odporů na hřebenu: } F_{\text{pash}} := m_G \cdot g \cdot f_{\text{hdr}} + F_{\text{p_Z}} \cdot f_{\text{hdr}} + F_{\text{p_Y}} \cdot \frac{2 \cdot \xi_{\text{kld}}}{d_{\text{kld}}} \quad F_{\text{pash}} = 0.105 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Celková statická síla na hřebenu: } F_{\text{hřeb}} := F_c + F_{\text{pash}} \quad F_{\text{hřeb}} = 50.105 \cdot \text{kN}$$

$$\text{Statický moment zátěže (rhm): } M_{\text{zsrhm}} := F_{\text{pash}} \cdot \frac{D_{\text{past}}}{2 \cdot i_{\text{pl}}} \cdot \frac{1}{(\eta_{\text{pl}} \eta_{\text{hřeb}})^2} \quad M_{\text{zsrhm}} = 0.151 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Celkový kroutící moment motorů: } M_{\text{motC}} := \frac{F_c \cdot \frac{D_{\text{past}}}{2}}{i_{\text{pl}} (\eta_{\text{pl}} \eta_{\text{hřeb}})^2} + M_{\text{zsrhm}} \quad M_{\text{motC}} = 72.033 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Celkový kroutící moment motorů udává hodnotu pro oba motory, tato hodnota bude dále zpracována v kapitole 10.1.3 Systém Master-Slave. Jedná se o moment celkové síly působící na hřeben při obrábění redukováný na hřídel motoru.

10.1.2 DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ

Dynamické zatížení:

$$\text{Úhlové zrychlení motoru: } \epsilon_{\text{mot}} := \frac{a_X}{\frac{D_{\text{past}}}{2}} \cdot i_{\text{pl}} \quad \epsilon_{\text{mot}} = 754.124 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\text{Dynamický moment zátěže (rhm): } M_{\text{zdrhm}} := M_{\text{zsrhm}} \quad M_{\text{zdrhm}} = 0.151 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Moment setrvačnosti (rhm): } J_{\text{rhm}} := 2 \cdot \left(J_{\text{mot}} + J_{\text{pl}} + \frac{J_{\text{past}}}{i_{\text{pl}}^2} \right) + \frac{m_G \cdot \left(\frac{D_{\text{past}}}{2} \right)^2}{i_{\text{pl}}^2}$$
$$J_{\text{rhm}} = 2.301 \times 10^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{Celkový moment motorů pro zrychlení: } M_{\text{motZ}} := J_{\text{rhm}} \cdot \epsilon_{\text{mot}} + M_{\text{zdrhm}} \quad M_{\text{motZ}} = 173.638 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Výsledná hodnota udává moment celkové síly působící na hřeben při zrychlování osy X redukováný na hřídel motoru. Jsou zde i započteny setrvačné síly motoru a převodovky.

10.1.3 SYSTÉM MASTER-SLAVE

Pro vymezení vůle pastorků a hřebenu je využit systém předepínání Master-Slave. Při nulové zátěži působí oba motory stejně velkým momentem, ale opačného směru. Tento moment je dán koeficientem předepnutí (cca 30%). Při obrábění se jeden motor stává řídicím (master) a druhý závislým (slave). Moment závislého motoru je menší o hodnotu předepnutí. Při rychloposuvu není potřeba vyvíjet předepnutí pastorků a lze s výhodou využít působení stejně velkého momentu i směru obou motorů. Tím je dosaženo větší hodnoty zrychlení, než kdyby bylo předpětí vyvozováno i během zrychlování.



Systém Master-Slave:

Moment předeptnutí: $M_{před} := K_{před} \cdot M_{motC}$ $M_{před} = 21.61 \cdot N \cdot m$

Moment motoru Master: $M_{motM} := \frac{M_{motC} + M_{před}}{2}$ $M_{motM} = 46.822 \cdot N \cdot m$

Moment motoru Slave: $M_{motS} := M_{motM} - M_{před}$ $M_{motS} = 25.212 \cdot N \cdot m$

Moment jednoho motoru při dynamickém zatížení: $M_{mot1} := \frac{M_{motZ}}{2}$ $M_{mot1} = 86.819 \cdot N \cdot m$

10.1.4 VOLBA PŘEVODOVKY A MOTORU

Výchozím požadavkem bylo použití hřebenu s šikmým ozubením a planetové převodovky. Volba padla na převodovku s podepřeným pastorkem ZTRS-PH firmy Stöber (Atlanta). Výhodou podepřeného pastorku je vyšší přenášený výkon a vyšší tuhost při zachování stejných rozměrů. Výpočet a výběr převodovky byl proveden podle firemního katalogu [21]. Volba se provádí na základě sil působících na pastorek při pracovním posuvu a rychloposuvu.

Zatížení pastorku:

Síla na hřebenu Master: $F_{hřebM} := \frac{(1 + K_{před})}{2} \cdot F_{hřeb}$ $F_{hřebM} = 32.568 \cdot kN$

Síla na hřebenu Slave: $F_{hřebS} := F_{hřebM} - K_{před} \cdot F_{hřeb}$ $F_{hřebS} = 17.537 \cdot kN$

Dynamická síla na obou pastorkách: $F_{d2past} := F_{pash} + m_G \cdot a_X$ $F_{d2past} = 95.105 \cdot kN$

Dynamická síla na jednom pastorku: $F_{dpast} := \frac{F_{d2past}}{2}$ $F_{dpast} = 47.552 \cdot kN$

Převodový poměr byl vypočten z rychloposuvu tak, aby se otáčky motoru pohybovaly v pásmu 2000 až 3000 min⁻¹.

Otáčky motoru:

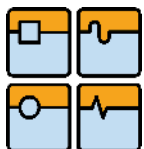
Otáčky motoru při pracovním posuvu: $n_{1pp} := \frac{v_{pp}}{\pi \cdot D_{past}} \cdot i_{pl}$ $n_{1pp} = 960.181 \text{ min}^{-1}$

Otáčky motoru při rychloposuvu: $n_{1rp} := \frac{v_{rp}}{\pi \cdot D_{past}} \cdot i_{pl}$ $n_{1rp} = 2.4 \times 10^3 \text{ min}^{-1}$

Na základě uvedených výpočtů byla zvolena převodovka ZTRS620SPH932F0480 ME.

Stöber ZTRS620SPH932F0480 ME		
Modul ozubení	mm	6
Počet zubů pastorku	-	20
Převodový poměr	-	48
Max. posuvová síla/rychloposuv	kN	38,2/70,7

Tab. 12: Základní parametry převodovky ZTRS-PH



Jelikož firma FERMAT CZ používá motory Heidenhein, bylo vhodné volit motor pro tuto aplikaci stejné značky. Bylo vypočteno ekvivalentní zatížení motoru a ekvivalentní otáčky podle předpokládaného využití stroje. Průsečík těchto ekvivalentních parametrů by měl ležet pod grafem průběhem momentu při zatěžování motoru v režimu S1 momentové charakteristiky motoru.

Ekvivalentní zatížení motoru:

Koeficient časového využití momentu a otáček: $q_M := \begin{pmatrix} 0.25 \\ 0.25 \\ 0.25 \\ 0.25 \end{pmatrix}$ $q_n := \begin{pmatrix} 0.4 \\ 0.2 \\ 0.15 \\ 0.25 \end{pmatrix}$ $q_i := 0..3$

Spektrum zatěžujících momentů a otáček: $M_{spek} := \begin{pmatrix} 0.3 \cdot M_{motM} \\ 0.6 \cdot M_{motM} \\ 1.0 \cdot M_{motM} \\ M_{motl} \end{pmatrix}$ $n_{spek} := \begin{pmatrix} 0.3 \cdot n_{1pp} \\ 0.6 \cdot n_{1pp} \\ 1.0 \cdot n_{1pp} \\ n_{1rp} \end{pmatrix}$

Ekvivalentní moment motoru: $M_{ekv} := \sqrt{\sum_{q_i} \left[\left(M_{spek_{q_i}} \right)^2 \cdot q_{M_{q_i}} \right]}$ $M_{ekv} = 51.76 \text{ N}\cdot\text{m}$

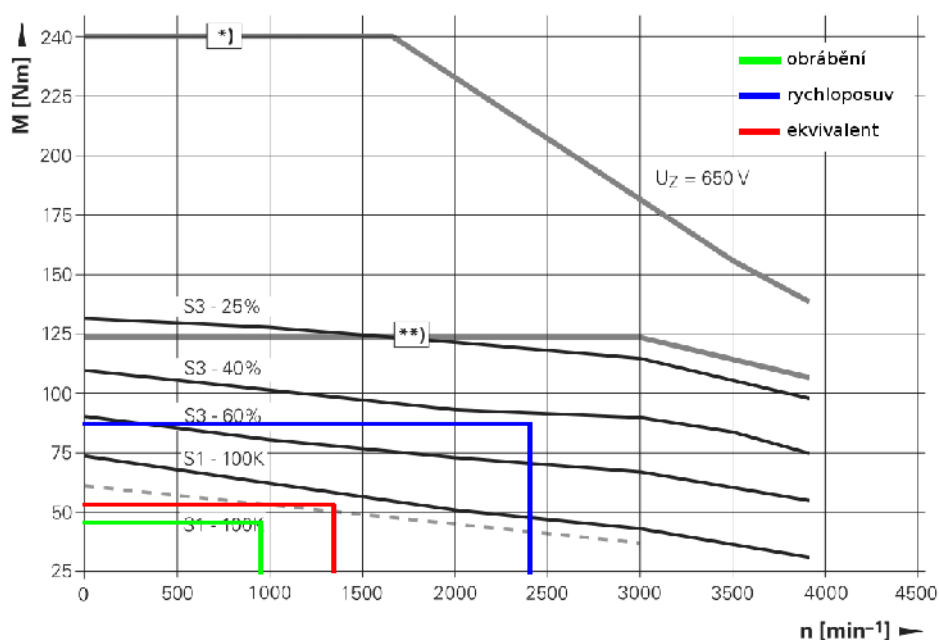
Ekvivalentní otáčky motoru: $n_{ekv} := \sqrt{\sum_{q_i} \left[\left(n_{spek_{q_i}} \right)^2 \cdot q_{n_{q_i}} \right]}$ $n_{ekv} = 1.296 \times 10^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Na základě těchto hodnot byl vybrán motor Heidenhein QSY 190 K EcoDyn. Jedná se o nejvýkonnější motor typu QSY. Hodnoty ekvivalentního momentu a otáček, a maximální hodnoty momentu a otáček jsou vyneseny do momentové charakteristiky tohoto motoru (Obr. 45).

QSY 190K EcoDyn

*) $M_{max} = 240 \text{ Nm}$ at $I_{max} = 134.3 A_{eff}$

***) $M_{max} = 123 \text{ Nm}$ at $I_{max} = 64 A_{eff}$



Obr. 45: Momentová charakteristika motoru Heidenhein QSY 190 K EcoDyn

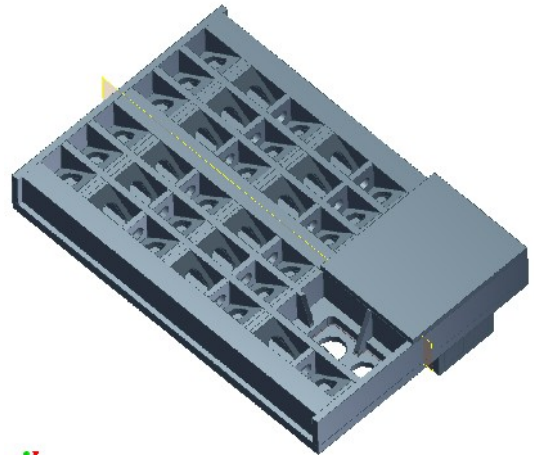


10.2 PROVEDENÍ SANÍ

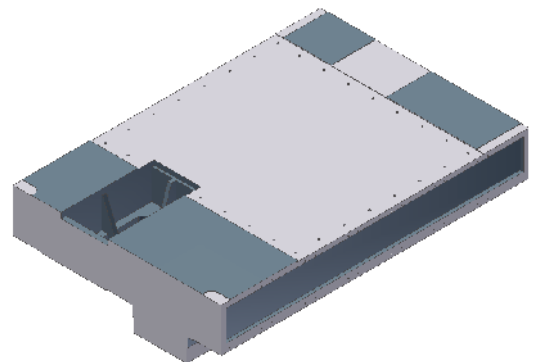
Základ saní tvoří svařenec konstrukční oceli 11523. Hlavní částí tohoto svařence jsou tři ocelové bloky, které tvoří nosnou část saní a slouží k uchycení jak bloků hydrostatického vedení tak i vozíků vedení valivého. Dno a víko saní jsou zakryty ocelovými plechy tloušťky 100 mm a 60 mm. Vnitřek je vyžebrovaný podélnými a příčnými žebry, které jsou dále vyztuženy odlehčenými diagonálními žebry. Svary musejí být na všech styčných plochách těchto plechů. Přivaření vrchních záklopů jen po obvodu by nebylo dostatečné, proto je využita technologie drážkových svarů. V místě potřebného svaru se vytvoří průchozí drážka, a poté je možno tento svar provést i z opačné strany provařením a vyvařením celé drážky. Ve spodní části saní je ve verzi s hydrostatickým vedením přivařena část pro zachytávání bočních sil, ta ve verzi s valivým vedením není potřebná, proto nebude ani provedena. V saních je vytvořena prohlubeň pro umístění pohonu osy X. Celý žebrovaný svařenec (Obr. 46) tvoří dostatečně tuhý základ pro saně tohoto stroje.

Obrobení saní (Obr. 47) je pro obě verze v podstatě shodné. Jediným rozdílem je absence spodní části saní u verze s valivým vedením a rozdílné vrtání pro přišroubování vozíků. Dosedací plocha pro stojan musí být obrobena s vysokou přesností pro zajištění správné polohy stojanu. Vozíky respektive bloky hydrostatů lze montovat a demontovat s odděleným stojanem, ten totiž zakrývá montážní otvory. Zde je ještě možnost konstrukce jiného systému upevnění stojanu, ale to není cílem této práce. Dále jsou na saních obrobena připojovací plochy pro předepínání hydrostatického vedení, pro umístění hydraulických prvků a pro další části nesené saněmi.

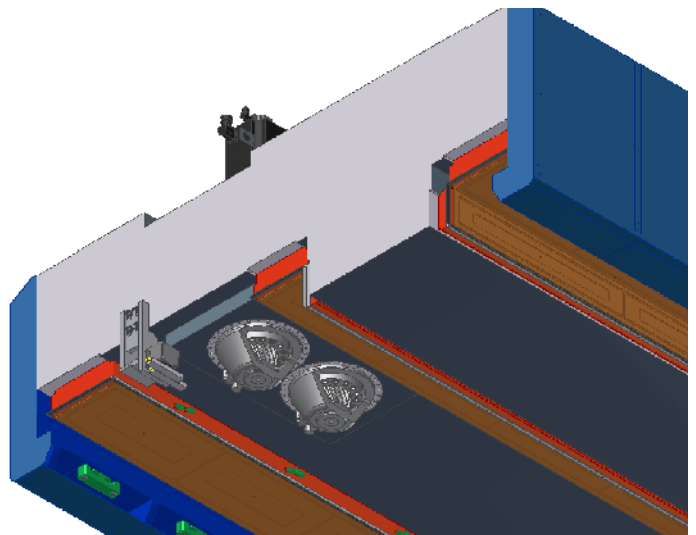
Na saních je přichycena konzola se systémem odměřování a čidlem SW dorazu. Odměřování je použito opět stejně jako na strojích WRF 150/160, jedná se o systém Heidenhein LB 302 C. Tato konzola je výškově i stranově nastavitelná pro přesné ustavení vůči pravítku. Mazání



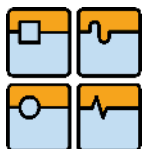
Obr. 46: Svařenec saní (bez horních záklopů)



Obr. 47: Obrobení saní (verze s hydrostatickým vedením)



Obr. 48: Sestava saní s bloky hydrostatů

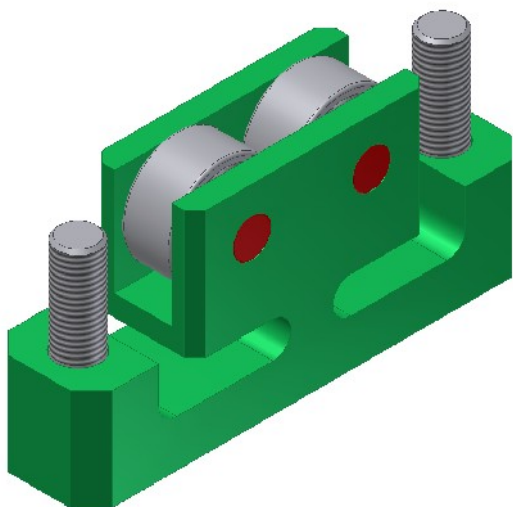


hřebenu a pastorku je realizováno integrovaným mazacím systémem použité převodovky. Ve verzi s hydrostatickým vedením jako pevný doraz slouží spodní část bočního vedení saní, ve verzi s valivým vedením musí být tento doraz přišroubován.

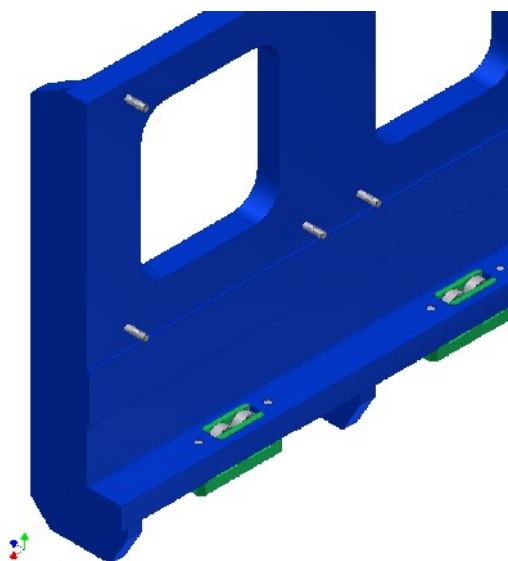
10.3 PŘEDEPNUTÍ HYDROSTATICKÝCH BUNĚK

Předeprnutí hydrostatického vedení eliminuje účinek klopných momentů vzniklých působením obráběcího procesu na vřeteno stroje. Celková velikost předeprnutí hlavního hydrostatického vedení je 220 kN. Tato zátěž je rozdělena na celkem 14 předeprnicích mechanismů rovnoměrně rozmístěných po okrajích vedení. Předeprnicí mechanismus se skládá ze dvou válečkových ložisek paralelně umístěných v odpruženém pouzdru. Toto kyvné odpružení zajišťuje dokonalý kontakt s plochou vedení. Pouzdro je uchyceno do rámu pomocí dvou šroubů. Nastavení správného předpětí se provede po uvedení hydrostatických ložisek do provozu správným utahením šroubů momentovým klíčem momentem uvedeným ve výpočtu. Tento moment by měl vyvodit dané předpětí.

Provedení upínacího mechanismu včetně jejich rozmístění je zobrazeno na následujícím obrázku (*Obr. 50*), (*Obr. 49*).



Obr. 50: Mechanismus předeprnutí hydrostatického vedení



Obr. 49: Sestava předeprnutí

**Výpočet předepínacího mechanismu:**

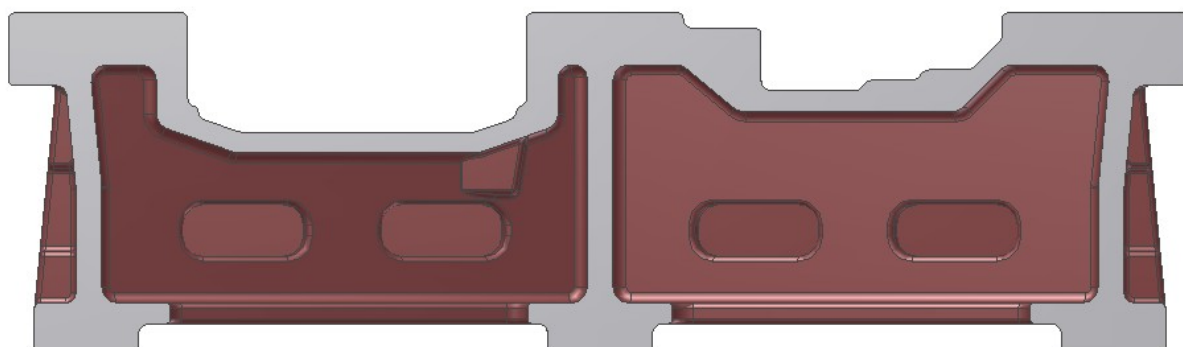
Celková předepínací síla:	$F_{\text{cpřed}} := 220 \text{ kN}$	
Počet předepínacích prvků:	$z_{\text{před}} := 14$	
Počet šroubů každého prvku:	$z_{\text{šroub}} := 2$	
Typ šroubu:	M16x60 ČSN 421143 A - mat. 5.8	
Velký průměr šroubu:	$d := 16 \text{ mm}$	
Střední průměr závitu:	$d_2 := 14.701 \text{ mm}$	
Malý průměr závitu:	$d_3 := 13.546 \text{ mm}$	
Plocha průřezu šroubu:	$A_s := 157 \text{ mm}^2$	
Roztečný průměr třecí plochy hlavy šroubu:	$D := 20 \text{ mm}$	
Stoupání závitu:	$p := 2 \text{ mm}$	
Vrcholový úhel závitu:	$\alpha := 60 \text{ deg}$	
Koeficient tření v závitu:	$f_2 := 0.15$	
Koeficient tření mezi hlavou šroubu:	$f_3 := 0.14$	
Dolní mez kluzu:	$R_{eL} := 520 \text{ MPa}$	
Úhel stoupání závitu:	$\beta := \text{atan}\left(\frac{p}{\pi \cdot d}\right)$	$\beta = 2.279 \text{ deg}$
Třecí úhel:	$\nu := \text{atan}\left(\frac{f_2}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right)$	$\nu = 9.826 \text{ deg}$
Axiální síla působící na jeden šroub:	$F_{1\text{š}} := \frac{F_{\text{cpřed}}}{z_{\text{před}} \cdot z_{\text{šroub}}}$	$F_{1\text{š}} = 7.857 \text{ kN}$
Utahovací moment jednoho šroubu:	$M_u := F_{1\text{š}} \cdot \left(f_3 \cdot \frac{D}{2} + \tan(\nu + \beta) \cdot \frac{d_2}{2} \right)$	$M_u = 23.387 \text{ N}\cdot\text{m}$
Napětí v šroubu:	$\sigma_{\text{š}} := \frac{F_{1\text{š}}}{A_s}$	$\sigma_{\text{š}} = 50.045 \text{ MPa}$
Součinitel bezpečnosti:	$k := \frac{R_{eL}}{\sigma_{\text{š}}}$	$k = 10.391$



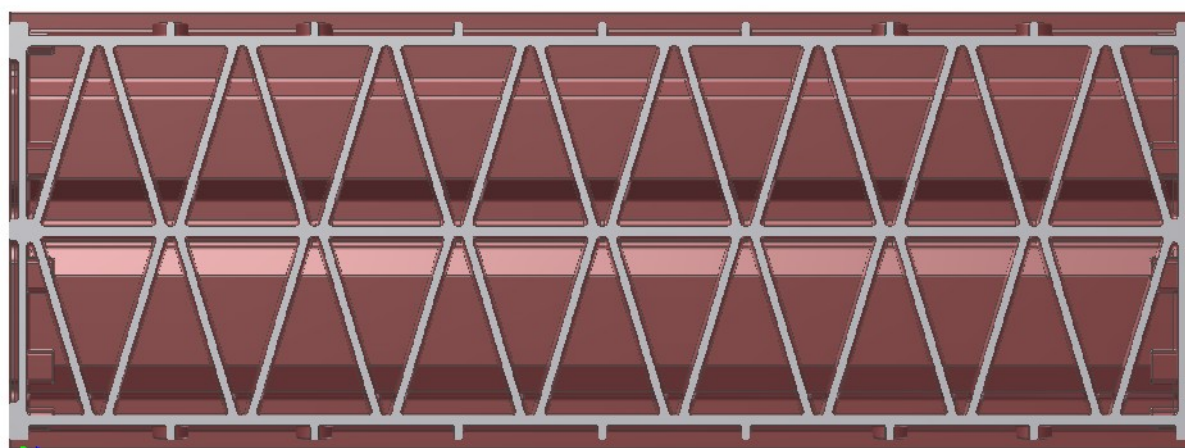
11 LOŽE OSY X

11.1 ODLITEK SANÍ

Dle zadání je lože navrženo jako odlitek z šedé litiny GG30. Odlitek musí splňovat základní podmínku zadání a to aby jej bylo možno obrobit dvěma různými způsoby, pro valivé nebo hydrostatické vedení. Odlitek byl primárně navrhován pro hydrostatické vedení, protože přechod na valivé vedení už není nikterak složitý. Uložení vodících lišt vyžaduje pouze rovné plochy s otvory pro přišroubování a u jedné z lišt vytvoření klínové drážky pro přitlačovací lištu. Nejprve byl vytvořen základní profil lože (*Obr. 51*), poté vnitřní a vnější žebrování. Dále technologické nálitky pro hřeben a pravítko a nakonec kapsy pro spojovací otvory. Vnitřní žebrování je provedeno jako trojúhelníkové (*Obr. 52*), které vykazuje lepší torzní tuhost než žebrování rovnoběžné. Odlitek byl navržen dle zásad tvorby odlitků pro pískové formy. Byly voleny vhodné tloušťky stěn a poloměry zaoblení.



Obr. 51: Základní profil odlitku lože



Obr. 52: Vnitřní trojúhelníkové žebrování lože

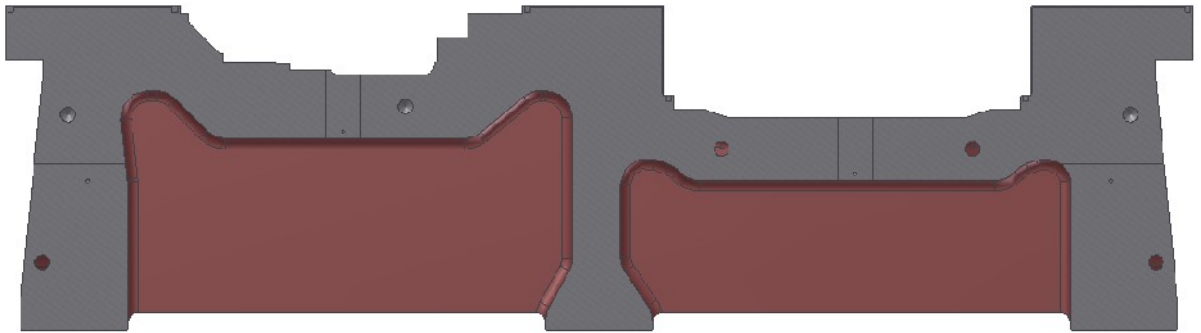
11.2 OBROBENÍ SANÍ

Odlitky mohou být obrobena jako levý, střední nebo pravý díl. Tyto díly se poté vzájemně propojí a vytvoří tak celou délku lože. Obrobení pro hydrostatické nebo valivé vedení se odlišuje pouze v provedení vodících ploch, jinak jsou naprosto totožné. V této práci je ukázáno obrobení jak pro hydrostatické tak pro vedení valivé, a to dílů levého a pravého. Střední díl zde není vytvořen, protože má obě spojovací plochy stejné jako levý a pravý díl.



11.2.1 HYDROSTATICKÉ VEDENÍ

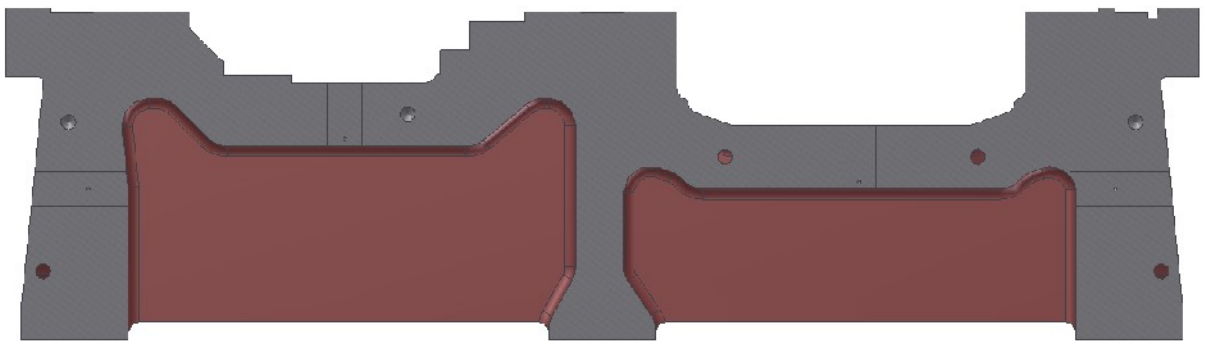
Obrobení lože pro hydrostatické vedení (*Obr. 53*) je provedeno dle výkresu, který je součástí této práce (výkres č. 1 50 72 30001).



Obr. 53: Obrobení lože pro hydrostatické vedení

11.2.2 VALIVÉ VEDENÍ

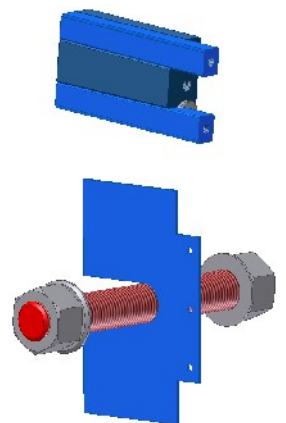
Obrobení lože pro valivé vedení (*Obr. 54*) je provedeno dle výkresu, který je součástí této práce (výkres č. 1 50 72 30002).



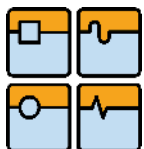
Obr. 54: Obrobení lože pro valivé vedení

11.3 SPOJENÍ JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ LOŽE

Na čelních plochách jednotlivých dílů lože jsou vyfrézovány čtyři drážky pro stavěcí klíny (*Obr. 55*). Tyto klíny slouží pro zajištění přesné polohy obou spojovaných částí. Dále je zde vyvrtáno sedm otvorů v přípojovacích kapsách pro spojení pomocí svorníků. Mezi jednotlivé díly lože se vkládají ocelové plechy tloušťky 2 mm, které se lícují broušením při montáži a to z důvodu dosažení rovnoběžnosti všech dílů lože (*Obr. 55*). Ve verzi stroje s valivým vedením není potřeba dalších prvků pro spojování. Naopak pro hydrostatické vedení je nutné dokonalé utěsnění mezer vzniklých použitím lícovačích plechů. V první variantě bylo vytvořeno toto těsnění pomocí ocelových kvádrů, které by se museli též přesně dolícovat a poté by se utěsnili tmelem a přišroubovali do vedení. Tato varianta byla však



Obr. 55: Stavěcí klín, distanční plech a svorník

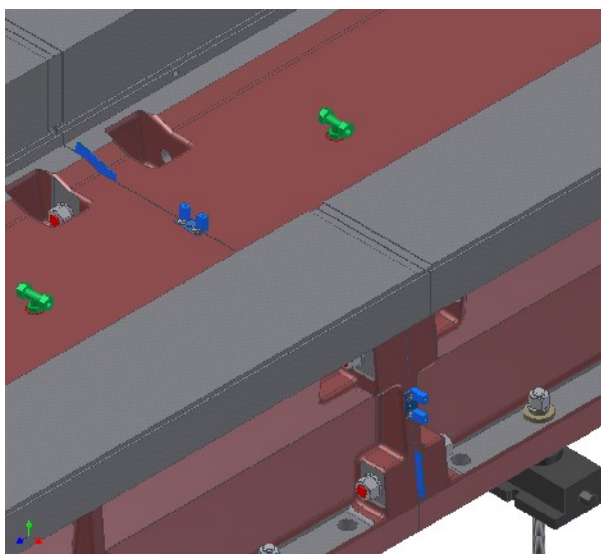


zamítnuta z důvodu velké pracnosti. Proto vznikla druhá varianta, která toto utěsnění řeší použitím podlévací kluzné hmoty, používané na kluzná vedení. Konkrétně se jedná o dvou-složkový rychletvrdnoucí polymer GS Super (Gamapest), který se nanáší v pastovitěm stavu. Po vytvrzení (cca 24 hod) se přebytečná hmota odřízne a dokonale zabrousí do roviny vedení, tak aby zde nebyl žádný přechod. Pro použití této hmoty jsou na spojovaných okrajích kluzné plochy vytvořeny mělké drážky, do kterých je hmota vtlačena (Obr. 56). Aby nedocházelo k úniku podlévací hmoty mezerou mezi spojovanými díly, je vhodné do tohoto místa umístit těsnící provázek, např. roztržený gumový O-kroužek s vhodným průměrem.

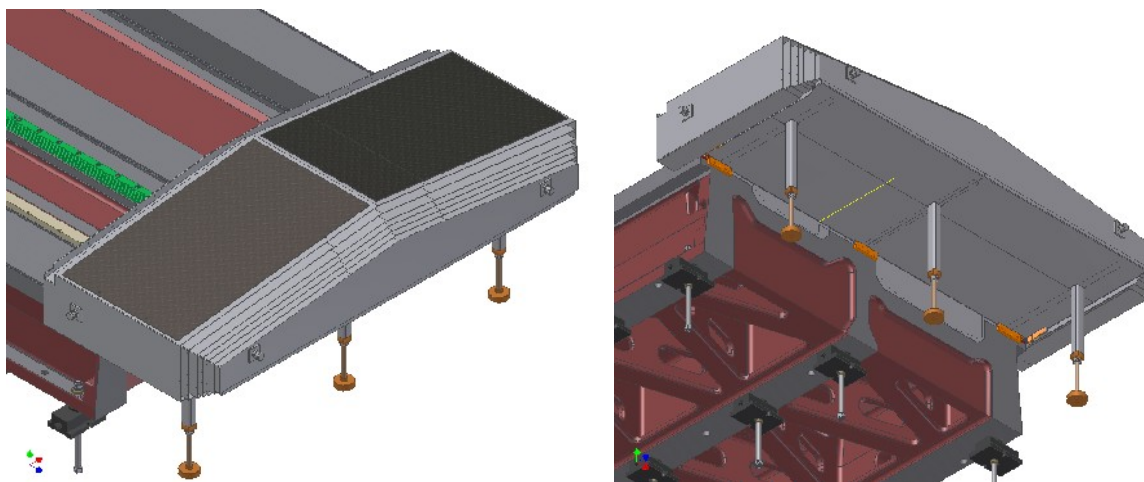
Díly lože lze vyrábět v různých délkách a kombinovat je mezi sebou. V tabulce (příloha P3) jsou uvedeny možné kombinace pro dosažení různých délek posuvu osy X.

11.4 KRYTOVÁNÍ LOŽE

Všechny vodící plochy je nutné chránit před vnikem třísek, chladicí kapaliny a prachu. Každá nečistota, která ulpí na vodící ploše snižuje jeho životnost a přesnost. Toto se obzvláště projevuje u vodících ploch kluzných hydrostatických i hydrodynamických. Proto je nutné tyto plochy dostatečně chránit. Na zakrytování celé horní části lože jsou použity dva teleskopické kryty. Tyto kryty jsou opět zakázkově vyráběné firmou Tecnimetal (Obr. 57). Kryty jsou posazeny mimo lože na přídatné konzoly z důvodu využití celé délky lože pro vedení. Jelikož jsou kryty navrženy tak, aby lože zakrývaly pouze z horní části, bylo nutné doplnit je o spodní víka, která zabraňují vnikání prachu do prostoru mezi ložem a saněmi. Kryty jsou symetricky zešíkmené pro dobrý odvod odstříkující chladicí kapaliny a snadnější spád třísek do dopravníku a jejich odvod mimo prostor stroje.



Obr. 56: Spojení dílů lože (hydrostatické vedení)

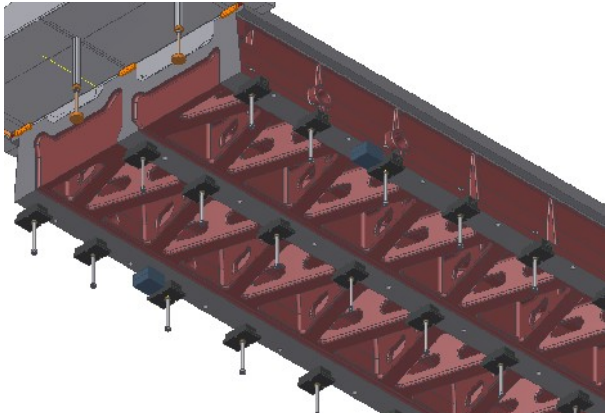


Obr. 57: Teleskopický kryt pro osu X



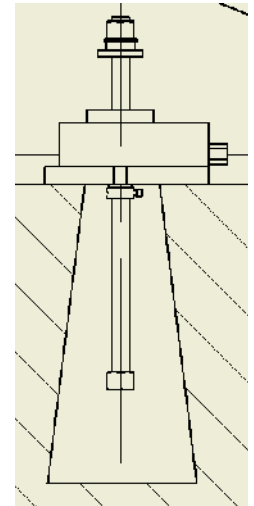
11.5 KOTVENÍ DO ZÁKLADU

Lože je do základu kotveno pomocí klínových kotev WSP III firmy Spinelli. Tyto kotvy umožňují přesné vertikální seřízení a také eliminují vibrace přenášené ze základu na stroj a opačně. Otvorem v kotvě prochází závitová tyč opatřená na jednom konci přivařenou maticí. Takto složená sestava kotvy je vložena do předem vytvořeného negativního klínového otvoru v betonovém základu. Po nasunutí na kotvy je lože přesně ustaveno a poté jsou závitové tyče zality chemickým lepidlem. Obě krajní řady kotev umožňují pevné připojení lože k základu. Prostřední řada kotev pouze podpírá střed lože, z konstrukčních důvodů jej nelze přišroubovat (Obr. 59).

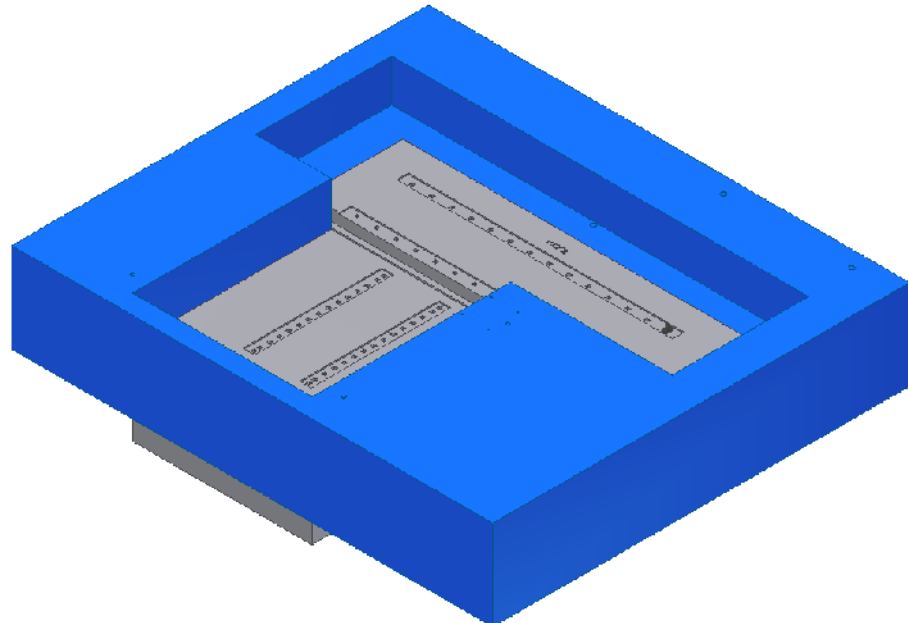


Obr. 59: Rozmístění kotev

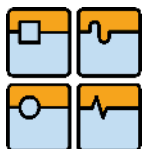
Základ stroje (Obr. 60) je vytvořen ze dvou betonových částí. Na středním betonovém bloku je uložen samotný stroj, včetně případného otočného stolu. Na vnějším betonovém základu jsou pak uloženy další prvky jako upínací desky, nádrž chlazení atd.



Obr. 58: Sestava kotvy a provedení kotvícího otvoru



Obr. 60: Základ stroje



12 HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA WRF 200 (FERMAT CZ)

Vodorovný frézovací a vyvrtávací stroj deskového typu WRF 200 s výsuvným smykadlem a výsuvným pracovním vřetenem se vyznačuje vysokou úrovní výkonnostních parametrů a uživatelského komfortu, který je založen na technicky odpovídající koncepci a široké nabídce parametrických variant a uživatelských funkcí. Základním znakem je stavebnicová koncepce, která umožňuje značnou variabilitu sestavení při použití periferních zařízení a příslušenství.

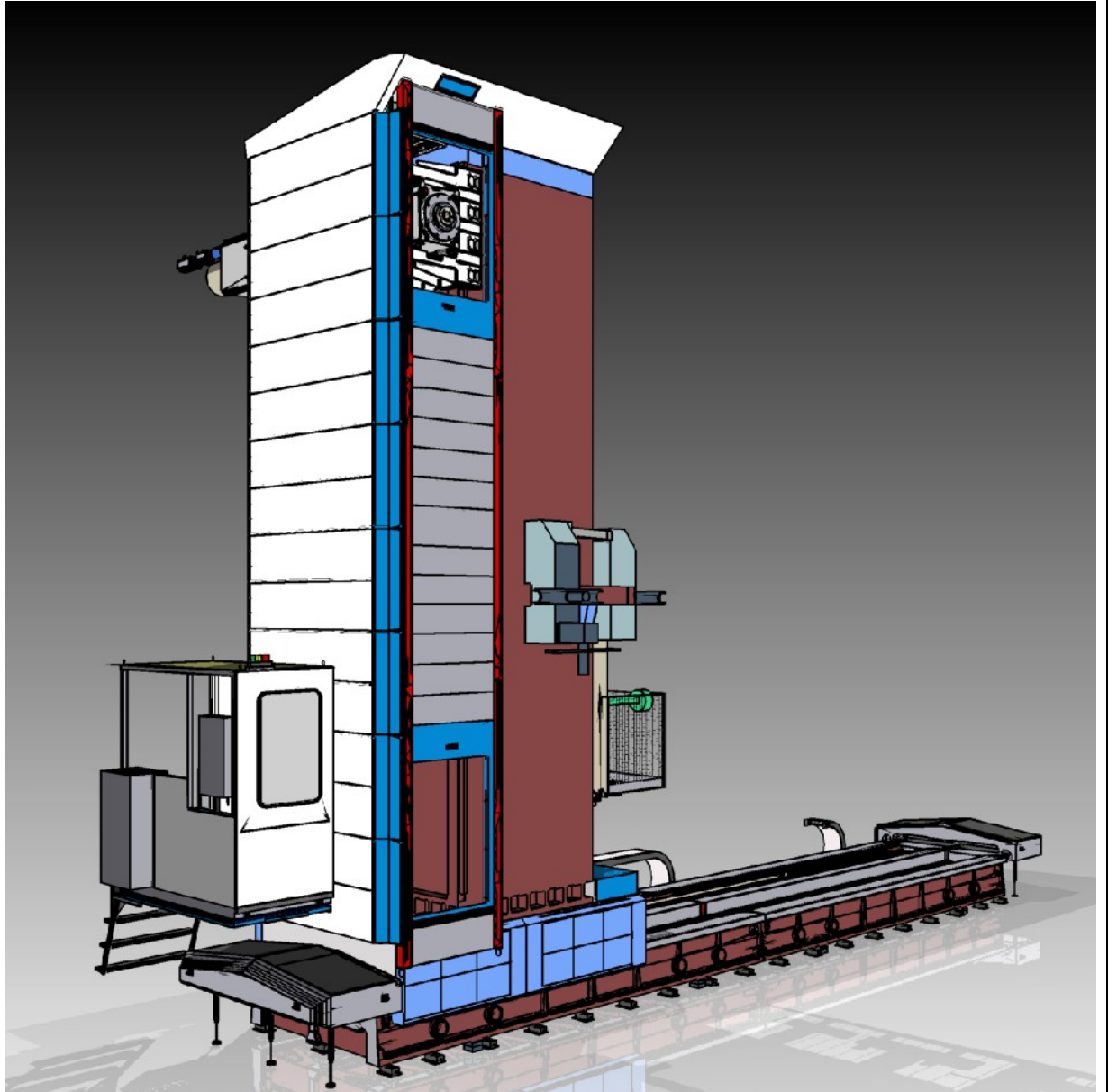
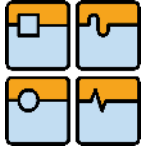
Tento stroj je možné dodat s hydrostatickým vedením, které vykazuje velmi vysokou tuhost a přesnost vedení a s tím související přesnost a kvalitu obráběných částí. Ve druhé variantě je stroj vybaven profilovým valivým vedením, které je finančně dostupnější se zachováním vysokého standardu kvality obrobků.

Stroj je řízen souvisle ve 4 osách (X,Y,Z,W). Můžou být vybaveny otočným stolem s vodorovným přestavením (osa B a V). Upínací pole je složeno z upínacích desek nebo kombinací upínacích desek a otočného stolu. Samozřejmostí je možnost dodání dalšího volitelného příslušenství, jako je systém automatické výměny nástrojů, automatická výměna technologických hlav, upínací kostky a trojúhelníky nebo kompletní krytování stroje. Stroj je dodáván s řídicím systémem HEIDENHAIN iTNC 530, Siemens Sinumeric 840D nebo Fanuc 31i a odměřováním HEIDENHAIN a digitálními pohony HEIDENHAIN a SIEMENS.

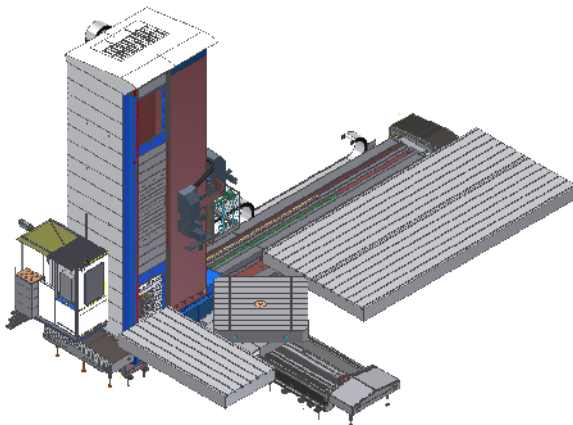
Horizontální vyvrtávačka WRF 200 je určena k efektivnímu třískovému obrábění zejména rozměrných a těžkých obrobků především z litiny, ocelolitiny a oceli. Mají širokou možnost technologického využití v operacích frézovacích, vrtacích, vystružovacích a závitovacích.

12.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY

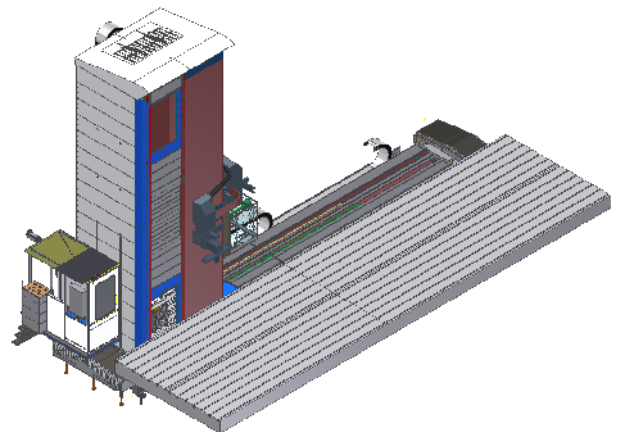
Základní technické parametry – WRF 200 CNC		
Průměr pracovního vřetena	mm	200
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO	50/60
Rozsah otáček pracovního vřetena	min ⁻¹	10 – 3 000
Výkon hlavního motoru (S1)	kW	100
Průřez smykadla	mm	560 x 520
Příčné přestavení stojanu X	mm	550 – 33 100
Svislé přestavení vřeteníku Y	mm	3 000 – 6 000 (po 500)
Výsuv smykadla Z	mm	1 800
Výsuv pracovního vřetena W	mm	1 200
Rozsah pracovních posuvů X, Y, Z, W	mm.min ⁻¹	1 – 8 000
Rychloposuv X	mm.min ⁻¹	20 000
Rychloposuv Y	mm.min ⁻¹	15 000
Rychloposuv Z, W	mm.min ⁻¹	10 000
Přesnost polohování X, Y, Z	mm	0,01
Opakovatelnost polohování X, Y, Z	mm	0,005



Obr. 61: WRF 200 (fa FERMAT CZ)



Obr. 62: WRF 200 - s otočným stolem



Obr. 63: WRF 200 - s upínacími deskami



13 ZÁVĚR

Vyvrtávací stroje patří v současnosti mezi velice hojně využívané obráběcí stroje. Jejich velkou předností je vysoká univerzálnost a velká rozmanitost konfigurací při zachování stavebnicové koncepce. Použitím množství různého příslušenství, ať už se jedná o frézovací hlavy, automatické výměníky nástrojů a obrobků, různých upínacích prvků a dalších, lze jedním vyvrtávacím strojem nahradit několik specializovaných strojů. Vyvrtávací stroje se vyrábějí v mnoha velikostech, určenými především průměrem vřeten a (a tím i jeho výkonem), a lze jimi obrábět celou škálu velikostí obrobků – od malých, vážících několik kilogramů (i méně) až po velké, vážící stovky tun.

V konstrukční části této diplomové práce byly postupně navrhovány základní parametry části vyvrtávačky WRF 200. Jedná se o nástupce strojů řady WRF 130/150/160 vyráběných firmou FERMAT CZ. Tento stroj kombinuje dva způsoby vedení osy X, a to buď hydrostatické nebo valivé vedení.

Vřeteno, vřeteník a jeho saně včetně všech souvisejících komponent jsou v současné době již ve fázi vývoje. Parametry uvedené v této práci jsou pouze orientační a mohou se ještě v průběhu vývoje měnit. Stojan stroje byl navržen podle již používaných stojanů strojů nižší řady WRF 150/160, byly pouze upraveny vnější rozměry a způsob připojení k saním. Tento stojan je však nutné detailně řešit a zvážit použití jiné koncepce stojanu, např. s protizávažím ve středu nebo hydraulickým vyvažováním. Dalším prvkem, který není dosud vyřešen je pohon osy Y, vzhledem k velké hmotnosti vřeteníku by mohlo být vhodnější použití pohonu pomocí pastorku a ozubeného hřebenu. Je také nutné věnovat velkou pozornost způsobu připojení stojanu k saním, v této práci byla navržena pouze jedna varianta připojení. Krytování stojanu lze provést dle stávající varianty u nižších strojů, samozřejmě se musí přizpůsobit veškeré rozměry.

Jednou z hlavních částí řešení této diplomové práce bylo navrhnutí hydrostatického vedení pro osu X. Bohužel problematika hydrostatického vedení u obráběcích strojů není příliš dobře zdokumentována. Většinou lze v naší i zahraniční literatuře nalézt teoretické řešení a poznatky, avšak praktickou aplikaci na konkrétním stroji nalézt nelze. Důvod je zřejmý, jedná se totiž o velice složitou problematiku a náročnou konstrukci, proto si firmy jakékoliv své dlouholeté poznatky pečlivě uchovávají a nejsou tudíž běžně dostupné. Řešení uvedené v této práci je pouze jedním z mnoha způsobů možných provedení hydrostatického vedení. Při realizaci uvedené konstrukce bude nutné velmi pečlivě testovat chování vedení a pravděpodobně bude vyžadovat spoustu času pro nalezení optimálního nastavení jednotlivých prvků celého systému hydrostatického vedení. Oproti tomu navržené profilové valivé vedení lze snadno na tomto stroji využít. Jedná se totiž o prvek převzatý ze strojů WRF 150/160. Byl pouze zvýšen počet jednotlivých vozíků tohoto vedení a rozšířen počet profilových lišt ze dvou na tři. Únosnost a životnost tohoto vedení byla ověřena výpočtem a neměl by nastat žádný problém při uvedení této varianty do praxe.

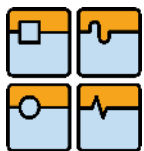
Na vyvrtávačkách WRF 150/160 se pro pohon osy X v současné době používá kuličkový šroub (pro malé posuvy) nebo pastorek a hřeben s rovnými zuby. Jelikož se bude postupně přecházet na systém pastorku a hřebenu se šikmými zuby, byl tento pohon zvolen i pro navrhovaný stroj WRF 200. Jelikož se jedná o stroj velkého výkonu, nepředpokládá se jeho konstrukce s menšími posuvy osy X, proto není ani navržena varianta s kuličkovým šroubem. Navržená varianta využívá dvou servopohonů s planetovými převodovkami s podepřeným pastorkem. Toto řešení umožňuje větší zatížení převodovky při zachování stejných rozměrů oproti provedení bez podepřeného pastorku. Řízení pohonů je realizováno systémem



master/slave, které pastorky předepíná elektronicky. Saně jsou vyrobeny svařováním. Toto řešení umožňuje snadné dodatečné úpravy pouhým přivařením, uříznutím některého prvku saní. Svařenec byl volen obzvlášť proto, že ho lze bez dalších nákladů vyrobit pro obě varianty vedení, jak hydrostatického tak valivého. Další možností by bylo vyrobení saní odléváním, ale v tomto případě by bylo nutné mít dva různé odlitky, i když by se lišili pouze v nálitku části, která drží boční hydrostatické vedení. Odlitek by též nemusel vykazovat stejnou tuhost jako svařenec, toto ovšem závisí na jeho konstrukci a lze tedy všechny tyto problémy v případě dalšího vývoje řešit.

Odlitek lože je navržen tak, aby ho šlo obrábět dvěma způsoby, pro valivé nebo hydrostatické vedení. V této práci jsou vyhotoveny obě varianty obrobění. Tento odlitek je navržen s vnitřními diagonálními žebry pro zvýšení tuhosti a do základu je kotven ve třech řadách stavitelnými kotvami. Odlitky budou vytvořeny ve třech různých délkách (6,1m, 5,5m, 4,3m) a lze je mezi sebou vzájemně kombinovat pro dosažení různých délek celkového zdvihu osy X.

Kompletní osa X deskové horizontální vyvrtávačky WRF 200 navržená v této diplomové práci je pouze jedním z mnoha možných řešení tohoto problému. Určitě lze zde nalézt spoustu míst, které nejsou ideálně navrženy a je zde mnoho možností dalšího vývoje. Není ovšem v silách jediného člověka úplný a funkční návrh kompletního uzlu takto složitého stroje a je zapotřebí týmu zkušených konstruktérů pro dovedení tohoto návrhu do zdárného konce.



14 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Hlavní katalog 2009* [online]. SANDVIK COROMANT. 2009. Dostupné z: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_F.pdf>.
- [2] HUMÁR, A.. *Technologie I - Technologie obrábění 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. FSI VUT Brno, 2002. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/TI_TO-2.cast.pdf>.
- [3] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2006. 284 s. ISSN 1212-2572.
- [4] *Hydrostatic guides - Technical Information* [online]. HYPROSTATIK SCHONFELD. 2007. Dostupný z: <http://24005-hyprostatik.imosnet.de/fileadmin/inhalte/pdfs/hydrostatic_guides.pdf>.
- [5] BAMBUCH JOSEF. Nový vřeteník srdce strojů pro těžké obrábění. *Technický týdeník*. 2007, , č. 20, s. 31.
- [6] BORSKÝ, V. *Obráběcí stroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992. 216 s. ISBN 80-214-0470-1.
- [7] FERMAT CZ. *Vodorovné vyvrtávačky WRF* [online]. Dostupný z: <<http://www.fermatmachinery.com/cs/767-deskove-provedeni--wrf/>>
- [8] TOS VARNSDORF. *Horizontální vyvrtávačky deskové - WRD 170 (Q)* [online]. Dostupný z: <<http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/horizontalni-vyvrtavacky-deskove/wrd-170-q/>>
- [9] ŠKODA MACHINE TOOL. *Horizontální frézovací a vyvrtávací stroje Škoda HCW* [online]. Dostupný z: <<http://www.cz-smt.cz/hcw.html>>
- [10] TOS KUŘIM. *Obráběcí centrum s posuvným stojanem FU Efektiv* [online]. Dostupný z: <<http://www.toskurim.cz/vyrobní-program/univerzalni-stroje/obrabeci-centra-s-posuvnym-stojanem/fu-efektiv/>>
- [11] PAMA. *Floor type boring and milling machines - SPEEDRAM* [online]. Dostupný z: <<http://www.pama.it/uk/speedram.asp>>
- [12] FPT INDUSTRIE. *Travelling column machines - SPIRIT* [online]. Dostupný z: <<http://www.fptindustrie.com/en/macchine-a-montante-mobile/spirit.htm>>
- [13] *Floor type boring mill with RAM - UNION PR 200/250* [online]. UNION. 2009. Dostupný z: <<http://www.union-machines.com/fileadmin/union/redaktion/produkte/p-serie/union-pr-200-en.pdf>>.
- [14] JUARISTI. *Heavy duty hydrostatic horizontal floor borers MP-RAM* [online]. Dostupný z: <http://www.juaristi.com/en/catalogo-productos/category,heavy-duty-hydrostatic-horizontal-floor-borers-mp-ram_1/>
- [15] BORSKÝ, V. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1991. 214 s. ISBN 80-214-0361-6.
- [16] GARANT *Příručka pro třískové obrábění*. Hoffmann Group, 2006. 642 s.
- [17] FOREJT, M.; PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [18] PÍČ, J.; BRENÍK, P. *Obráběcí stroje*. 1. vyd. Praha: SNTL/ALPHA, 1970. 508 s.
- [19] BRENÍK P.; PÍČ J. *Obráběcí stroje. Konstrukce a výpočty*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1986. 573 s. .
- [20] BHUSHAN, B. *Introduction to tribology*. New York: Wiley, 2002. 732 s. ISBN 04-711-5893-3.
- [21] *HighForce ZTRS-PH + ZTRS-PHA Rack and pinion drive* [online]. STÖBER ANTRIEBSTECHNIK. 2010. Dostupné z: <<http://www.stoerber.de/PRODUCTS/ZTRS/442225-01.pdf>>.

**15 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK**

Obr. 1: Vyrvtávací nástroje pro hrubování (fa Sandvik Coromant) [1].....	13
Obr. 2: Ukázky technologie vyrvtávání.....	13
Obr. 3: Příklady ploch obráběných vyrvtáváním [2].....	13
Obr. 4: Základní rozdělení vyrvtávacích strojů [3].....	14
Obr. 5: Vřeteník GB 3000 (fa FERMAT CZ) [5].....	14
Obr. 6: Hydrostatické vedení [4].....	15
Obr. 7: Stolová vyrvtávačka.....	15
Obr. 8: Křížová vyrvtávačka.....	15
Obr. 9: Desková vyrvtávačka.....	16
Obr. 10: Souřadnicová vyrvtávačka WKV 100 (fa Kovosvit Sezimovo Ústí).....	16
Obr. 11: Automatický výměník nástrojů CT50-60CH (fa GIFU) s řetězovým zásobníkem.....	17
Obr. 12: Automatická výměna palet (fa TOS Varnsdorf).....	17
Obr. 13: Univerzální frézovací hlava VGCI (fa EMENA).....	18
Obr. 14: Lící deska U-Tronic (fa D'ANDREA).....	18
Obr. 15: Upínací kostky a úhelníky (fa TOS Varnsdorf).....	18
Obr. 16: Zpevňovací příruba (fa FERMAT CZ).....	19
Obr. 17: Článekový dopravník třísek s filtrací MBC (fa BroxTec).....	19
Obr. 18: Desková vyrvtávačka WRD 170 (Q) (fa TOS Varnsdorf).....	21
Obr. 19: Desková vyrvtávačka WRF 160 CNC (fa FERMAT CZ).....	23
Obr. 20: Desková vyrvtávačka HCW 2 (fa ŠKODA Machine Tool).....	25
Obr. 21: Desková vyrvtávačka FU 150B (fa TOS Kuřim).....	27
Obr. 22: Desková vyrvtávačka SPEEDRAM 3000 (fa PAMA).....	29
Obr. 23: Desková vyrvtávačka SPIRIT 300 (fa FPT Industrie).....	31
Obr. 24: Desková vyrvtávačka PCR 200 (fa UNION).....	33
Obr. 25: Desková vyrvtávačka MP9RAM (fa JUARISTI).....	35
Obr. 26: Mechanicky předepruté pastorky KRP+ (fa Redex Andantex).....	37
Obr. 27: Řez kuličkovým šroubem a maticí (fa SKF).....	37
Obr. 28: Schéma hydrostatického šneku a šnekového hřebenu (fa Waldrich Coburg).....	38
Obr. 29: Lineární motor 1FN6 (fa Siemens).....	38
Obr. 30: Valivé vedení válečkové Hybrid Roller Guide System (fa Mazak).....	38
Obr. 31: Hydrostatické vedení (fa ZOLLERN).....	39
Obr. 32: Vřeteník V 200 i (fa FERMAT CZ).....	40
Obr. 33: Řez stojanem.....	46
Obr. 34: Připojení stojanu k saním.....	46
Obr. 35: Krytování stojanu.....	46
Obr. 36: Vedení a pohony osy Y.....	47
Obr. 37: Varianty řešení vedení.....	49
Obr. 38: Model pro MKP analýzu zatížení vedení.....	50
Obr. 39: Rozmístění hydrostatických buněk a pohled na konstrukci předeprínání.....	50
Obr. 40: Průběh napětí a znázornění sítě prvků.....	51
Obr. 41: Blok hydrostatického vedení, kapsa a sběrné drážky.....	52
Obr. 42: Prvky hydraulického obvodu hydrostatického vedení.....	52
Obr. 43: Hydroagregát HA6/20 (fa HYTEK).....	52



Obr. 44: Rozměry hydrostatické buňky.....	53
Obr. 45: Momentová charakteristika motoru Heidenhein QSY 190 K EcoDyn.....	60
Obr. 46: Svařenec saní (bez horních záklopů).....	61
Obr. 47: Obrobení saní (verze s hydrostatickým vedením).....	61
Obr. 48: Sestava saní s bloky hydrostatů.....	61
Obr. 49: Sestava předepínání.....	62
Obr. 50: Mechanismus předepínání hydrostatického vedení.....	62
Obr. 51: Základní profil odlitku lože.....	64
Obr. 52: Vnitřní trojúhelníkové žebrování lože.....	64
Obr. 53: Obrobení lože pro hydrostatické vedení.....	65
Obr. 54: Obrobení lože pro valivé vedení.....	65
Obr. 55: Stavěcí klín, distanční plech a svorník.....	65
Obr. 56: Spojení dílů lože (hydrostatické vedení).....	66
Obr. 57: Teleskopický kryt pro osu X.....	66
Obr. 58: Sestava kotvy a provedení kotvícího otvoru.....	67
Obr. 59: Rozmístění kotev.....	67
Obr. 60: Základ stroje.....	67
Obr. 61: WRF 200 (fa FERMAT CZ).....	69
Obr. 62: WRF 200 - s otočným stolem.....	69
Obr. 63: WRF 200 - s upínacími deskami.....	69
Tab. 1: Parametry WRD 170.....	20
Tab. 2: Parametry WRF 160 CNC.....	22
Tab. 3: Parametry HCW 2.....	24
Tab. 4: Parametry FU 150B.....	26
Tab. 5: Parametry SPEEDRAM 3000.....	28
Tab. 6: Parametry SPIRIT 300.....	30
Tab. 7: Parametry PCR 200.....	32
Tab. 8: Parametry MP9RAM.....	34
Tab. 9: Porovnání parametrů všech strojů.....	36
Tab. 10: Základní parametry vřeteníku V 200 i.....	45
Tab. 11: Vyhodnocení jednotlivých variant vedení.....	48
Tab. 12: Základní parametry převodovky ZTRS-PH.....	59



16 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Název	Symbol	Jednotka	Název
a_e	[mm]	šířka záběru	$F_{p,Z}$	[kN]	předepnutí bočního vedení
a_p	[mm]	hloubka řezu	F_{pash}	[kN]	síla pasivních odporů na hřebenu
A_s	[mm ²]	plocha průřezu šroubu	f_s	[-]	koeficient statické bezpečnosti
$A_{třis}$	[mm ²]	průřez třísky	F_s	[-]	kontrola statické únosnosti
a_x	[m.s ⁻²]	zrychlení osy x	f_T	[-]	koeficient teploty
b	[mm]	šířka třísky	f_{vrt}	[mm]	posuv na otáčku
b_{in}	[mm]	vnitřní šířka kapsy	f_w	[-]	koeficient zatížení
B_{mez}	[mm]	šířka a délka mezery	F_z	[kN]	zatížení buňky
b_{out}	[mm]	vnější šířka kapsy	$f_{z,dop}$	[mm]	posuv na zub doporučený
C_0	[kN]	statická únosnost	$f_{z,vrt}$	[mm]	posuv na zub
C_{100}	[kN]	dynamická únosnost	h_0	[μm]	výchozí tloušťka olejové vrstvy
$C_{ložisko}$	[kN.μm ⁻¹]	tuhost ložiska	h_m	[mm]	průměrná tloušťka třísky
d	[mm]	velký průměr šroubu	h_{m2}	[mm]	tloušťka třísky
D	[mm]	rozt. průměr třecí plochy hlavy šroubu	h_{Okonst}	[μm]	tl. olej. vrstvy pro konst průtok oleje
d_2	[mm]	střední průměr závitů	i_{pl}	[-]	převodový poměr převodovky
d_3	[mm]	malý průměr závitů	J_{mot}	[kg.cm ²]	moment setrvačnosti motoru
$D_{fréz}$	[mm]	průměr frézy	J_{past}	[kg.cm ²]	moment setrvačnosti pastorku
Dim	[mm]	rozměry buňky	J_{pl}	[kg.cm ²]	moment setrvačnosti převodovky
d_{kld}	[mm]	průměr kladek	J_{rhm}	[kg.cm ²]	moment setrvačnosti (rhm)
D_{past}	[mm]	roztečný průměr pastorku	k	[-]	součinitel bezpečnosti
D_{vrt}	[mm]	průměr vrtáku	k_c	[N.mm ⁻²]	specifická řezná síla
F_{ls}	[kN]	axiální síla působící na jeden šroub	$k_{c,2}$	[N.mm ⁻²]	specifická řezná síla
f_2	[-]	koeficient tření v závitě	$k_{c1,1}$	[N.mm ⁻²]	specifická řezná síla
f_3	[-]	koeficient tření mezi hlavou šroubu	$k_{c1,2}$	[MPa]	specifická řezná síla
f_B	[-]	koeficient metody vrtání	k_{jm}	[-]	koeficient jakosti materiálu
f_C	[-]	koeficient kontaktu vozíků	k_{on}	[-]	koeficient otupení nástroje
F_c	[kN]	řezná síla	$K_{před}$	[-]	koeficient předepnutí m-s
$F_{c,k}$	[kN]	řezná síla	k_{raz}	[-]	koeficient rázů
$F_{c,vrt}$	[kN]	řezná síla	K_v	[-]	korekce řezné rychlosti
$F_{c,vrt,k}$	[kN]	řezná síla	K_{ver}	[-]	korekce opotřebení
F_{cmz}	[kN]	průměrná řezná síla	K_γ	[-]	korekce úhlu čela
F_{cmz}	[kN]	celková řezná síla	L_H	[hod]	životnost vozíku v hod
$F_{cpřed}$	[kN]	celková předepínací síla	l_{in}	[mm]	vnitřní délka kapsy
F_{d2past}	[kN]	dynamická síla na obou pastorkách	L_{mez}	[mm]	šířka a délka mezery
F_{dpast}	[kN]	dynamická síla na jednom pastorku	l_{out}	[mm]	vnější délka kapsy
$F_{f,fr}$	[kN]	posuvová síla	L_R	[km]	životnost vozíku v km
$F_{f,fr,k}$	[kN]	posuvová síla	l_s	[mm]	délka zdvihu
$F_{f,vrt}$	[kN]	posuvová síla	M_{ekv}	[N.m]	ekvivalentní moment motoru
$F_{f,vrt,k}$	[kN]	posuvová síla	m_G	[kg]	hmotnost přesouvaných hmot
f_H	[-]	koeficient tvrdosti vedení	M_{mot1}	[N.m]	moment jednoho mot. při dyn. zatížení
f_{hdr}	[-]	součinitel tření hydrostat. vedení	M_{motC}	[N.m]	celkový kroutící moment motorů
$F_{hřeb}$	[kN]	celková statická síla na hřebenu	M_{motM}	[N.m]	moment motoru master
$F_{hřebM}$	[kN]	síla na hřebenu master	M_{motS}	[N.m]	moment motoru slave
$F_{hřebS}$	[kN]	síla na hřebenu slave	M_{motZ}	[N.m]	celkový moment motorů pro zrychlení
$F_{p,Y}$	[kN]	předepnutí hlavního vedení	$M_{před}$	[N.m]	moment předepnutí



Symbol	Jednotka	Název	Symbol	Jednotka	Název
M_{spek}	[N.m]	spektrum zatěžujících momentů	Z_{vrt}	[-]	počet zubů
m_{tan}	[-]	růst tangenty	α	[°]	vrcholový úhel závitů
m_{tan_2}	[-]	růst tangenty	β	[°]	úhel stoupání závitů
M_u	[N.m]	utahovací moment jednoho šroubu	γ	[°]	úhel čela
M_{zdrhm}	[N.m]	dynamický moment zátěže (rhm)	γ_k	[°]	úhel čela - korekce (litina)
M_{zshhm}	[N.m]	statický moment zátěže (rhm)	ϵ_{mot}	[s ⁻²]	úhlové zrychlení motoru
n_{1pp}	[min ⁻¹]	otáčky motoru při pracovním posuvu	η_0	[Pa.s]	dynamická viskozita oleje
n_{1rp}	[min ⁻¹]	otáčky motoru při rychloposuvu	$\eta_{\text{hřeb}}$	[-]	účinnost hřebenového převodu
n_{ekv}	[min ⁻¹]	ekvivalentní otáčky motoru	η_{pl}	[-]	účinnost převodovky
n_L	[-]	počet vodičích lišt	$\eta_{\text{vřet}}$	[-]	účinnost vřeteníku
n_s	[min ⁻¹]	počet zdvihů	κ	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
n_{spek}	[min ⁻¹]	spektrum zatěžujících otáček	κ_{vrt}	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
n_v	[-]	celkový počet vozíků	v_{olej}	[mm ² .s ⁻¹]	kinematická viskozita oleje při 40°C
n_{vrt}	[min ⁻¹]	otáčky vřetená	ξ_{kld}	[mm]	rameno valivého odporu kladek
$n_{\text{vřet}}$	[min ⁻¹]	otáčky vřetená	ρ_{olej}	[kg.m ⁻³]	hustota oleje
p	[mm]	stoupání závitů	σ_s	[MPa]	napětí v šroubu
P_a	[kW]	hnací výkon	υ	[°]	třecí úhel
$P_{a_{\text{vrt}}}$	[kW]	hnací výkon	ϕ_s	[°]	úhel řezného oblouku
$P_{\text{buň}}$	[MPa]	tlak v buňce			
P_c	[kW]	řezný výkon			
$P_{c_{\text{vrt}}}$	[kW]	celkový řezný výkon			
P_E	[kN]	ekvivalentní zatížení vozíku			
P_{max}	[MPa]	maximální provozní tlak			
P_R	[kN]	radiální zatížení			
$P_{\text{start}_{\text{min}}}$	[MPa]	minimální tlak pro nadzvednutí stroje			
P_T	[kN]	boční zatížení			
$Q_{\text{agr}_{\text{max}}}$	[ml.min ⁻¹]	max. průtočné množství hydroagregátu			
$Q_{\text{buň}}$	[ml.min ⁻¹]	průtočné množství			
$Q_{\text{buň}_{\text{střed}}}$	[ml.min ⁻¹]	střední průtočné množství			
q_M	[-]	koeficient časového využití momentu			
q_n	[-]	koeficient časového využití otáček			
R_{eL}	[MPa]	dolní mez kluzu			
R_m	[MPa]	mez pevnosti			
U_1	[mm]	parametry ul a u2			
U_2	[mm]	parametry ul a u2			
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost			
$v_{c_{\text{dop}}}$	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost doporučená			
$v_{c_{\text{vrt}}}$	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost			
$v_{c_{\text{vrt}_{\text{dop}}}}$	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost			
v_f	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost			
$v_{f_{\text{vrt}}}$	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost			
v_{pp}	[m.min ⁻¹]	rychlost pracovního posuvu			
v_{rp}	[m.min ⁻¹]	rychlost rychloposuvu			
Z	[-]	počet zubů			
Z_{iE}	[-]	počet zubů v záběru			
$Z_{\text{před}}$	[-]	počet předepínacích prvků			
$Z_{\text{šroub}}$	[-]	počet šroubů každého prvku			



17 SEZNAM PŘÍLOH

P1 – Zatížení jednotlivých hydrostatických buněk a jejich rozměry

P2 – Výsledky výpočtu hydrostatických buněk a jejich rozmístění

P3 – Kombinace loží

O1 – Náhled sestavy osy X (hydrostatické vedení)

O2 – Náhled sestavy osy X (valivé vedení)

1-50-72-30001 – Výkres obrobení lože (hydrostatické vedení)

1-50-72-30001 – Výkres obrobení lože (valivé vedení)

CD-ROM - Model (Inventor 2009)

Katalogy (PDF)

Výpočty (Mathcad 14)

Výkresy (PDF)

Tato práce (PDF)

PŘÍLOHA P1

ZATÍŽENÍ JEDNOTLIVÝCH HYDROSTATICKÝCH BUNĚK

Typ	Vazba	Zatížení										Maximum	Minimum	Rozdíl	Průměr	Suma		
		0kN	X50kN	X-50kN	Y50kN	Y-50kN	Z50kN	Z-60kN										
Y 1-6	Ideální vazba 1	42,08	30,88	53,28	41,27	42,89	37,51	47,56	53,28	30,88	22,40	42,21	53,28	30,88	22,40	42,21	53,28	30,88
	Ideální vazba 2	88,07	48,04	128,10	84,00	92,15	49,00	135,00	135,00	48,04	86,96	89,19	135,00	48,04	86,96	89,19	135,00	48,04
	Ideální vazba 3	91,98	58,97	124,80	89,93	93,84	46,95	145,80	145,80	58,97	98,85	93,18	145,80	46,95	98,85	93,18	145,80	46,95
	Ideální vazba 4	59,18	64,47	53,89	63,54	54,82	27,40	97,31	97,31	64,47	69,91	60,09	97,31	27,40	69,91	60,09	97,31	27,40
	Ideální vazba 5	51,23	91,65	10,81	63,34	39,11	10,53	100,10	100,10	91,65	89,57	52,40	100,10	10,53	89,57	52,40	100,10	10,53
	Ideální vazba 6	42,49	76,09	8,88	51,50	33,47	15,81	74,50	76,09	76,09	67,21	43,25	76,09	8,88	67,21	43,25	76,09	8,88
Y 7-12	Ideální vazba 7	19,53	2,83	39,34	17,78	21,28	12,42	28,06	39,34	2,83	36,51	20,18	39,34	2,83	36,51	20,18	39,34	2,83
	Ideální vazba 8	51,17	25,28	77,05	43,57	58,77	47,36	55,74	77,05	25,28	51,77	51,28	77,05	25,28	51,77	51,28	77,05	25,28
	Ideální vazba 9	65,87	46,13	85,61	58,18	73,56	61,45	71,17	85,61	46,13	39,48	66,00	85,61	46,13	39,48	66,00	85,61	46,13
	Ideální vazba 10	57,50	64,19	50,82	54,51	60,49	55,07	60,42	64,19	64,19	13,37	57,57	64,19	50,82	13,37	57,57	64,19	50,82
	Ideální vazba 11	37,96	70,23	5,69	40,65	35,28	37,15	38,94	70,23	70,23	64,54	37,99	70,23	5,69	64,54	37,99	70,23	5,69
	Ideální vazba 12	22,56	58,31	13,19	26,50	18,62	24,74	19,94	58,31	58,31	45,12	26,27	58,31	13,19	45,12	26,27	58,31	13,19
Y 13-18	Ideální vazba 13	46,53	41,37	51,69	42,77	50,28	59,49	30,97	59,49	30,97	28,52	46,16	59,49	30,97	28,52	46,16	59,49	30,97
	Ideální vazba 14	80,56	42,24	118,90	61,34	99,79	122,60	30,09	122,60	30,09	92,51	79,36	122,60	30,09	92,51	79,36	122,60	30,09
	Ideální vazba 15	82,21	52,78	111,70	62,94	101,50	130,20	24,67	130,20	24,67	105,53	80,86	130,20	24,67	105,53	80,86	130,20	24,67
	Ideální vazba 16	56,30	60,65	51,96	47,63	64,98	91,57	13,99	91,57	13,99	77,58	55,30	91,57	13,99	77,58	55,30	91,57	13,99
	Ideální vazba 17	45,71	81,07	10,35	41,93	49,50	86,56	3,30	86,56	3,30	83,26	45,49	86,56	3,30	83,26	45,49	86,56	3,30
	Ideální vazba 18	40,34	69,15	11,54	39,81	40,88	65,38	10,29	69,15	10,29	58,86	39,63	69,15	10,29	58,86	39,63	69,15	10,29
Z 19-22	Ideální vazba 19	17,43	1,91	32,95	16,88	17,99	3,30	34,38	32,95	1,91	32,47	17,83	34,38	1,91	32,47	17,83	34,38	1,91
	Ideální vazba 20	17,92	10,50	25,34	17,51	18,32	5,27	33,10	25,34	10,50	27,83	18,28	33,10	10,50	27,83	18,28	33,10	10,50
	Ideální vazba 21	16,98	20,55	13,41	16,92	17,04	12,08	22,85	16,92	20,55	10,77	17,12	22,85	12,08	10,77	17,12	22,85	12,08
	Ideální vazba 22	16,67	35,19	1,85	16,40	16,93	25,49	6,07	35,19	1,85	33,34	16,94	35,19	1,85	33,34	16,94	35,19	1,85
	Ideální vazba 23	17,26	29,06	5,46	17,11	17,41	30,22	1,71	30,22	1,71	28,51	16,89	30,22	1,71	28,51	16,89	30,22	1,71
	Ideální vazba 24	18,22	20,88	15,57	17,26	19,19	31,70	2,05	31,70	2,05	29,65	17,84	31,70	2,05	29,65	17,84	31,70	2,05
Z 23-26	Ideální vazba 25	16,91	14,30	19,52	16,55	17,26	23,04	9,54	19,52	16,55	13,50	16,73	23,04	9,54	13,50	16,73	23,04	9,54
	Ideální vazba 26	16,60	3,92	29,28	16,78	16,42	11,20	23,09	29,28	3,92	25,36	16,76	29,28	3,92	25,36	16,76	29,28	3,92
X 27	Ideální vazba 27	0,01	50,00	50,00	0,01	0,01	0,01	0,01	50,00	50,00	49,99	14,29	50,00	0,01	49,99	14,29	50,00	0,01

ROZMĚRY JEDNOTLIVÝCH BUNĚK

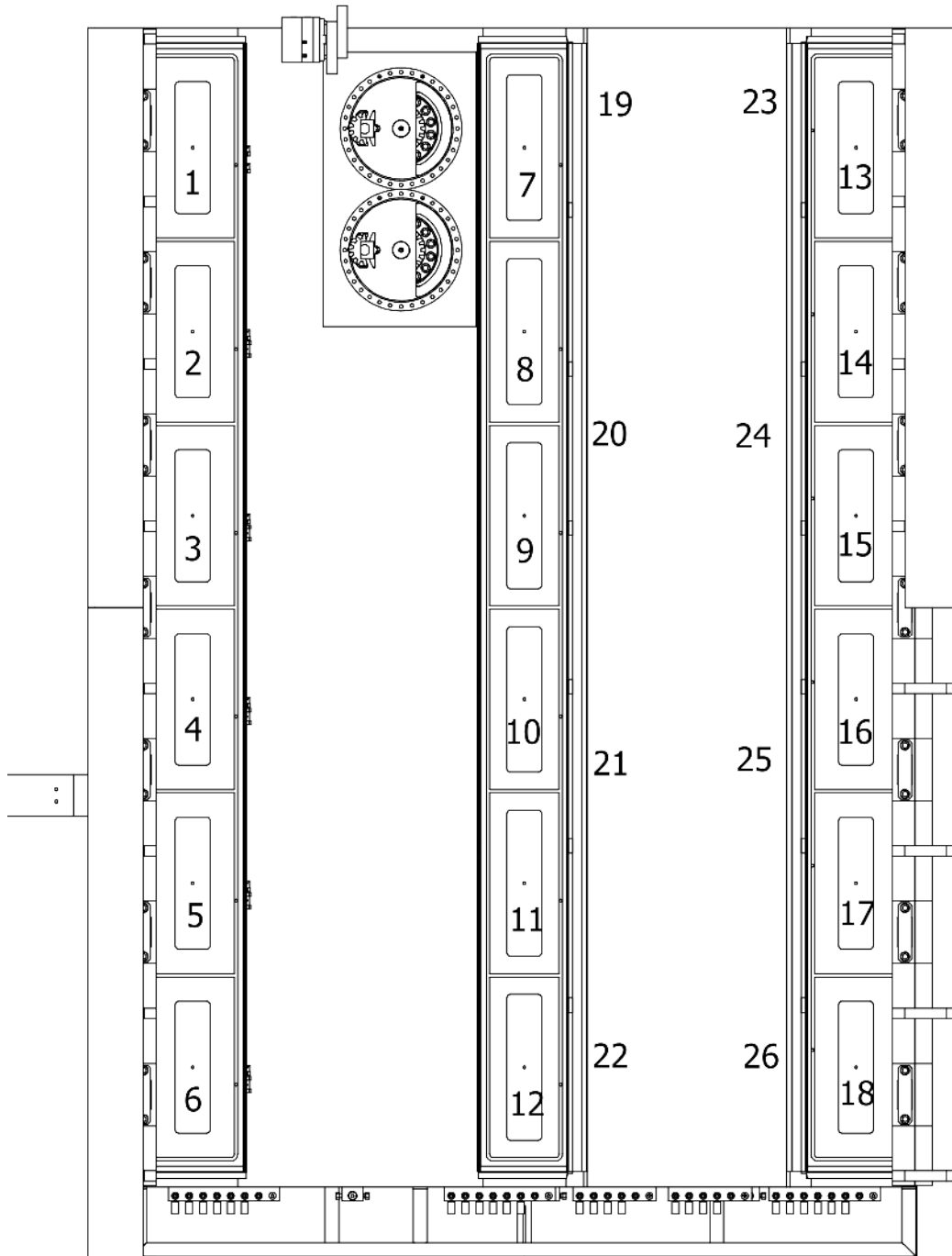
	Rozměry buněk			
	l_out	b_out	l_in	b_in
1	520	240	380	100
2	520	240	380	100
3	520	240	380	100
4	520	240	380	100
5	520	240	380	100
6	520	240	380	100
7	520	200	420	100
8	520	200	420	100
9	520	200	420	100
10	520	200	420	100
11	520	200	420	100
12	520	200	420	100
13	520	240	380	100
14	520	240	380	100
15	520	240	380	100
16	520	240	380	100
17	520	240	380	100
18	520	240	380	100
19	785	100	650	50
20	785	100	650	50
21	785	100	650	50
22	785	100	650	50
23	785	100	650	50
24	785	100	650	50
25	785	100	650	50
26	785	100	650	50

PŘÍLOHA P2

KOMPLETNÍ VÝSLEDKY VÝPOČTU HYDROSTATICKÉHO VEDENÍ

	Rozměry buněk				Síla	Tlak max	Průtok $Q_{\text{buň}}$ ml/min	Síla F_z kN	Tlak min	Průtok $Q_{\text{buň}}$ ml/min	Průtok střední $Q_{\text{buň, střed}}$ ml/min	Tloušťka oleje		Tuhost $C_{\text{ložisko}}$ kN/ μm							
	l_{out} mm	b_{out} mm	l_{in} mm	b_{in} mm								F_z kN	$P_{\text{buň}}$ MPa		$Q_{\text{buň}}$ ml/min	$P_{\text{buň}}$ MPa	$Q_{\text{buň}}$ ml/min	$Q_{\text{buň, střed}}$ ml/min	h_{Okonst} μm	min	max
1	520	240	380	100	53,28	0,65	11,27	30,88	0,38	6,53	8,9	18,49	22,17	6,08							
2	520	240	380	100	135	1,66	28,54	48,04	0,59	10,16	19,35	17,57	24,79	12,04							
3	520	240	380	100	145,8	1,79	30,83	46,95	0,58	9,93	20,38	17,42	25,42	12,36							
4	520	240	380	100	97,31	1,2	20,57	27,4	0,34	5,79	13,18	17,24	26,31	7,71							
5	520	240	380	100	100,1	1,23	21,16	10,53	0,13	2,23	11,7	16,41	34,77	4,88							
6	520	240	380	100	76,09	0,93	16,09	8,88	0,11	1,88	8,98	16,47	33,7	3,9							
7	520	200	420	100	39,34	0,54	12,99	2,83	0,04	0,93	6,96	16,25	39,06	1,6							
8	520	200	420	100	77,05	1,06	25,43	25,28	0,35	8,34	16,89	17,45	25,3	6,6							
9	520	200	420	100	85,61	1,17	28,26	46,13	0,63	15,23	21,74	18,33	22,52	9,41							
10	520	200	420	100	64,19	0,88	21,19	50,82	0,7	16,77	18,98	19,28	20,84	8,57							
11	520	200	420	100	70,23	0,96	23,18	5,69	0,08	1,88	12,53	16,29	37,65	3,02							
12	520	200	420	100	58,31	0,8	19,25	13,19	0,18	4,35	11,8	16,99	27,89	4,14							
13	520	240	380	100	59,49	0,73	12,58	30,97	0,38	6,55	9,56	18,25	22,69	6,43							
14	520	240	380	100	122,6	1,51	25,92	30,09	0,37	6,36	16,14	17,08	27,28	9,07							
15	520	240	380	100	130,2	1,6	27,53	24,67	0,3	5,22	16,37	16,82	29,28	8,47							
16	520	240	380	100	91,57	1,12	19,36	13,99	0,17	2,96	11,16	16,64	31,13	5,35							
17	520	240	380	100	86,56	1,06	18,3	3,3	0,04	0,7	9,5	16,07	47,76	2,63							
18	520	240	380	100	69,15	0,85	14,62	10,29	0,13	2,18	8,4	16,63	31,37	3,99							
19	785	100	650	50	34,38	0,62	34,03	1,91	0,03	1,89	17,96	16,16	42,36	1,24							
20	785	100	650	50	33,1	0,6	32,76	5,27	0,09	5,22	18,99	16,68	30,77	1,97							
21	785	100	650	50	22,85	0,41	22,61	12,08	0,22	11,96	17,29	18,29	22,62	2,49							
22	785	100	650	50	35,19	0,63	34,83	1,85	0,03	1,83	18,33	16,15	43,1	1,24							
23	785	100	650	50	30,22	0,54	29,91	1,71	0,03	1,69	15,8	16,17	42,11	1,1							
24	785	100	650	50	31,7	0,57	31,37	2,05	0,04	2,03	16,7	16,21	40,38	1,23							
25	785	100	650	50	23,04	0,42	22,8	9,54	0,17	9,44	16,12	17,82	23,9	2,22							
26	785	100	650	50	29,28	0,53	28,98	3,92	0,07	3,88	16,43	16,55	32,36	1,6							

NÁKRES ROZMÍSTĚNÍ JEDNOTLIVÝCH BUNĚK (POHLED ZESPODU SANÍ)



PŘÍLOHA P3

KOMBINACE LOŽÍ

Kombinace odlítků						Délka lože	Posuv X
4350						4350	550
5550						5550	1750
6150						6150	2350
4350	4350					8700	4900
5550	4350					9900	6100
6150	4350					10500	6700
5550	5550					11100	7300
6150	5550					11700	7900
6150	6150					12300	8500
4350	4350	4350				13050	9250
4350	5550	4350				14250	10450
4350	6150	4350				14850	11050
5550	4350	5550				15450	11650
5550	5550	5550				16650	12850
5550	6150	5550				17250	13450
6150	5550	6150				17850	14050
6150	6150	6150				18450	14650
5550	4350	4350	5550			19800	16000
6150	4350	4350	6150			21000	17200
5550	5550	5550	5550			22200	18400
6150	5550	5550	6150			23400	19600
6150	6150	6150	6150			24600	20800
5550	4350	5550	4350	5550		25350	21550
5550	5550	5550	5550	5550		27750	23950
6150	6150	4350	6150	6150		28950	25150
6150	6150	6150	6150	6150		30750	26950
6150	5550	4350	4350	5550	6150	32100	28300
5550	5550	5550	5550	5550	5550	33300	29500
6150	5550	5550	5550	5550	6150	34500	30700
6150	5550	6150	6150	5550	6150	35700	31900
6150	6150	6150	6150	6150	6150	36900	33100