



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NOSNÉ SOUSTAVY (RÁMY, STOJANY ATD.) V KONSTRUKCI MODERNÍCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

SUPPORT SYSTEMS (FRAMES, STANDS) IN MODERN MACHINE TOOL DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Radek Knoflíček

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Jiří Horák
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček
Akademický rok:	2020/2021

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

Nosné soustavy (rámy, stojany atd.) v konstrukci moderních obráběcích strojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Každý moderní obráběcí stroj, se jako mechatronická soustava skládá z několika základních konstrukčních částí. Jednou z nich jsou pohybové osy pro nesení a pohyb jak nástroje, tak i obrobku, kdy jejich provedení závisí na typu obráběcího stroje. Prakticky se jedná o nosnou soustavu (rám), na které jsou uzpůsobeny plochy pro upevnění vedení, náhonového mechanismu, včetně jeho uložení (například kuličkového šroubu nebo pastorku a hřebene) a servomotoru. Poloha všech pohyblivých částí os obráběcího stroje (též saní, smykadel) je stanovena snímači polohy. Mechanické části pohybových os, výkonové členy (servomotory) a snímače polohy tvoří tzv. mechatronickou podsoustavu obráběcího stroje jako celku. Tuto soustavu řídí CNC řídicí systém, který se využívá k řízení obráběcího stroje, poněvadž je určen pro obrábění obrobků (součástí, dílců) pomocí technologie třískového obrábění, což prakticky znamená nastavení vzájemné polohy nástroje vůči obroku a obrábění za předepsaných řezných podmínek. Z řídicího systému jsou na jednotlivé akční členy pohybových os předávány řídicí veličiny. Nosné soustavy jsou tedy velmi důležité v konstrukci obráběcích strojů a pro zajištění základních technických parametrů a technologických možností jakéhokoliv obráběcího stroje.

Cíle bakalářské práce:

Popis současného stavu obráběcí techniky se zaměřením na řešenou problematiku konstrukčních komponent.

Systémový rozbor řešené problematiky.

Rešerše známých řešení (tj. stávajících, dlouhodobě používaných) a nalezení nových, pokrokových způsobů zajištění konstrukce, výroby a aplikace nosných soustav obráběcích strojů podle jejich typu.

Vlastní závěry a/nebo doporučení pro další rozvoj řešené problematiky.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je rešeršního charakteru a je zaměřena na popis současného stavu a konstrukce nosných soustav a rámců moderních obráběcích strojů. Práce se zabývá především konstrukcí obráběcích center. Dále pak analyzuje nepříznivé vlivy vznikající při obrábění, kterým musí rám stroje odolávat, aby si zachoval dostatečnou přesnost. V bakalářské práci jsou také uvedeny některé základní zásady konstrukce nosných soustav.

Součástí práce je také rešerše popisující nejčastější konstrukční uspořádání při tvorbě obráběcích strojů, stejně jako autorovy postřehy k případnému rozvoji řešené problematiky.

ABSTRACT

This bachelor's thesis has a character of recherche, and it is focused on a description of an actual state and construction of supporting systems and frames of machine tools. This thesis deals with the construction of machine centers. It also analysis adverse effects arising from the machining, that the machine frame must withstand to maintain sufficient precision. In the thesis, there are also some basic principles for the construction of support systems.

The thesis also includes a recherche describing the most common design arrangements in the creation of machine tools, as well as the author's observations on the possible development of the problem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Konstrukce, obráběcí stroj, obrábění, stabilita, tuhost, nosná struktura, rám

KEYWORDS

Construction, Machine tool, machining, stability, rigidity, supporting system, frame.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁK, Jiří. Nosné soustavy (rámy, stojany atd.) v konstrukci moderních obráběcích strojů [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132045>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Radku Knoflíčkovi za cenné rady, připomínky a vstřícný přístup při vedení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat p. Lukáši Drexlerovi za možnost nahlédnout do průběhu výroby firmy CS Steel a za poskytnutí dokumentů týkajících se konstrukce strojů. V neposlední řadě bych tímto chtěl poděkovat své rodině a svým nejbližším za jejich vytrvalou podporu ve studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a za použití uvedené literatury.

V Brně dne 10. května 2021

.....

Jiří Horák

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	POPIS SOUČASNÉHO STAVU OBRÁBĚCÍ TECHNIKY SE ZAMĚŘENÍM NA PROBLEMATIKU KONSTRUKČNÍCH KOMPONENT	17
2.1	Rozdělení moderních obráběcích strojů.....	17
2.1.1	CNC soustružnické stroje a obráběcí centra na rotační součásti	17
2.1.2	CNC obráběcí centra na nerotační součásti	19
2.1.3	CNC multifunkční obráběcí centra	21
2.2	Nosné soustavy a jejich komponenty	23
2.2.1	Nosná soustava.....	23
2.2.2	Části nosných soustav obráběcích strojů	24
2.3	Nároky na nosnou soustavu	28
2.4	Současný trend konstrukce.....	28
3	SYSTÉMOVÝ ROZBOR OBRÁBĚCÍHO STROJE.....	29
3.1	Základní uzly obráběcího CNC stroje.....	29
3.2	Mechanické uzly obráběcího stroje.....	30
3.3	Systémový rozbor.....	30
3.4	Požadavky na rám obráběcího stroje.....	33
3.4.1	Materiály na výrobu rámu stroj.....	33
3.4.2	Statická tuhost rámu.....	41
3.4.3	Uložení na základ.....	43
3.4.4	Dynamická stabilita rámu	46
3.4.5	Topologie prvků nosných soustav	52
3.4.6	Tepelná stabilita	54
4	REŠERŠE KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	57
4.1	5-ti osá univerzální frézka DMG ecoMill 50/ DMU 50.....	57
4.1.1	Rám stroje	58
4.1.2	Technické specifikace	59
4.2	Automatická pásová pila Herkules X-CNC 300x300	61
	Obr. č. 46 Automatická pásová pila Herkules X-CNC (Pegas Gonda) [34].....	61
4.2.1	Rám stroje	62
4.2.2	Technické specifikace a vybavení stroje.....	63
4.3	Soustružnické obráběcí centrum CTX gamma 1250 TC DMG MORI.....	64
4.3.1	Rám stroje	65
4.3.2	Technické specifikace	66
5	ZÁVĚR	68
5.1	Shrnutí	68
5.2	Vlastní postřehy	68
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	70
7	SEZNAM PŘÍLOH	73

1 ÚVOD

Cílem této práce je rešerše a popis aktuálního stavu obráběcí techniky, konkrétně zaměřeni se na nosné soustavy moderních obráběcích strojů.

Obráběcí stroje, tvořící neodmyslitelný základ technologie obrábění, provází člověka v jeho poznání již dlouhou řadu let. Není tedy divu, že i tyto stroje se postupem času musely podrobit inovacím a zlepšením, které měly za výsledek zvýšení produktivity a kvality obrobků, ale také snížení výrobních nákladů. Na základě těchto tří hlavních požadavků se obráběcí technika zdokonalovala a bylo potřeba nacházet nová řešení konstrukce těchto strojů. Mimo jiné také nosných soustav a rámců, které by splňovaly náročnější podmínky provozu.

Trendy ve vývoji obráběcí techniky, ve spojitosti s konstrukcí obráběcích strojů, znamenají především materiály, ze kterých se mohou v dnešní době vyrábět rámy strojů a které na základě svých vlastností mohou lépe ovlivnit výslednou přesnost stroje či finálního obrobku, oproti konvenčním materiálům.

První část této bakalářské práce je zaměřena na problematiku nosných soustav obráběcích strojů a popis aktuálního stavu. Rovněž jsou zde rozebrány jednotlivé vlivy, rozhodující o volbě materiálů, tvaru a přizpůsobení konstrukce těchto soustav.

Druhá část této práce se věnuje rešerši známých a osvědčených konstrukcí nosných soustav dnešních výrobců obráběcí techniky. V závěru práce, pak kromě shrnutí uvádí autor některé návrhy, které by se mohly v budoucnu začlenit do konstrukce nosných soustav.

2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU OBRÁBĚCÍ TECHNIKY SE ZAMĚŘENÍM NA PROBLEMATIKU KONSTRUKČNÍCH KOMPONENT

2.1 Rozdělení moderních obráběcích strojů

Obráběcí stroje, tvořící základní a neodmyslitelnou část technologie obrábění, jsou nejen v dnešní době hojně využívaným prvkem průmyslu. Postupem času a zvyšujících se nároků na přesnost a rychlost výroby současně se snižováním výrobních nákladů, však tyto stroje prodělaly značnou modernizaci a modifikaci. Dnes považujeme za moderní obráběcí stroje především počítačem číslicově řízené stroje (CNC).

Tímto způsobem řízené stroje jsou charakterizovány zejména pružnou automatizací, která je umožněna výrazným rozvojem a využitím CNC systémů pro řízení strojů, manipulačních prostředků s nástroji a obrobky a řídicí techniky pro řízení celých výrobních soustav. Tyto okolnosti pak dávají za vznik bezobslužným technologickým pracovištím. [1]

Pro bližší specifikaci CNC obráběcích strojů je nutné jejich rozdělení. Hlavními kritérii jsou vlastnosti strojů a způsob obrábění jednotlivých výrobků či součástí. Vzhledem k multifunkčnosti těchto moderních CNC obráběcích strojů je můžeme také nazývat obráběcí centra, protože jsou schopna provádět více různých výrobních operací [2]

2.1.1 CNC soustružnické stroje a obráběcí centra na rotační součásti

Tyto stroje se pyšní titulem nejrozšířenějších obráběcích strojů s geometricky definovaným břitem a zároveň jsou nejpoužívanějším typem strojů pro operace s rotačními součástmi. Jsou uzpůsobeny tak, aby umožňovaly širokou škálu výrobních operací od obrábění vnějších a vnitřních ploch, přes řezání závitů, vrtání a vyvrtávání, až po podélné a příčné kopírování nebo frézování. [1]



Obrázek č. 1: Rozdělení CNC obráběcích strojů a center na rotační součásti [1]

Pro tento typ stroje je hlavním znakem především variabilita technologických operací, která je realizována pomocí systému automatické výměny nástroje a také obrobku. Tyto prvky umožňují práci v automatických cyklech a v bezobslužných provozech a rovněž disponují prvky diagnostiky, měření a inteligence. [1]

V návaznosti na tematiku této práce jsou významným prvkem v konstrukci především šikmá nebo svislá lože.

Obrázky soustružnických CNC center jsou k dispozici v příloze č. 1



Obr. č. 2 Soustružnické obráběcí centrum CTX 510 Ecoline (DMG Mori) [23]



Obr. č. 3 Detail vnitřní části obráběcího CNC centra CTX 510 Ecoline

2.1.2 CNC obráběcí centra na nerotační součásti

Základem pro vznik obráběcích center pro nerotační součásti bylo odvozování koncepcí NC strojů různých typů (vrtaček, frézek, vyvrtávaček) a jejich následné doplňování o systém automatické výměny nástroje. Důsledkem zvyšujících se nároků na rychlost, kvalitu a finanční náročnost výroby se však upřednostňují stavebnicové systémy skladby obráběcích center. Tyto systémy primárně umožňují splnit základní požadavek obrobení výrobku na jedno či více upnutí. [3]

Tato vývojová tendence má jako důvody například růst sortimentu různých výrobků napříč celým průmyslem, snižování sériovosti a výrobních dávek či stoupající požadavky na přesnost a kvalitu výrobků. [1]

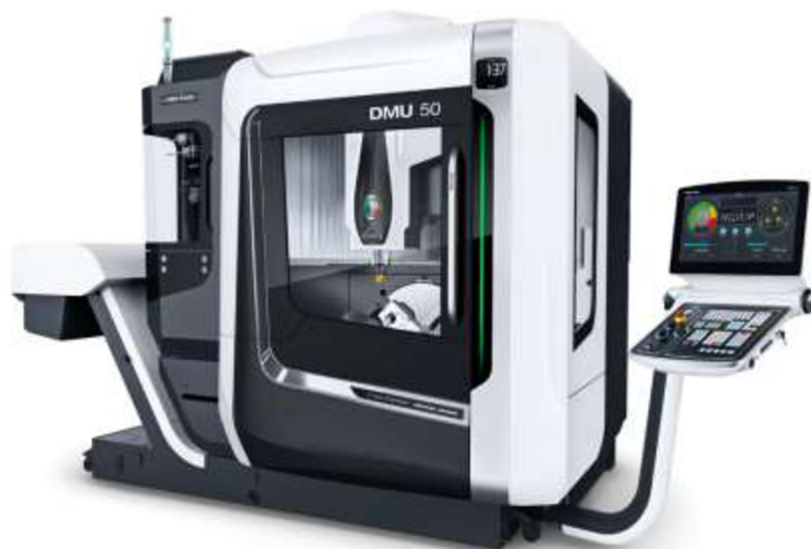
Pro splnění těchto technologických požadavků musí být soudobá CNC obráběcí centra vybavena minimálně třemi translačními souřadnicemi, které mohou, podle podmínek, být doplněny dalšími translačními nebo rotačními pohyby. Tyto tři osy poté vymezují pracovní prostor mezi základní dvojicí: obrobek – nástroj. Znázornění klasifikací koncepčních variant obráběcích center s vodorovnou/svislou osou, včetně vyobrazení strojů, je uvedeno v příloze č.2. Speciální skupinou strojů jsou pak tzv. „tříosé jednotky“, které se vyznačují především pohybem nástroje ve třech CNC řízených osách. Dalšími prvky jsou pak systémy AVN z malokapacitního zásobníku nebo vodorovná osa. [1]



Obrázek č. 4: Rozdělení CNC obráběcích center na nerotační součásti [1]

Nespornou výhodou těchto center je především schopnost kombinace a slučování jednotlivých variant, což vede k víceosému obrábění (4D a 5D). Pro realizaci víceosého obrábění jsou pak důležitými prvky také pevné a pohyblivé stojany, výsuvné vřeteníky, smýkadla, případně příčnický, portály či stoly.[1]

Na následujícím obrázku je znázorněno rozdělení CNC obráběcích center pro nerotační součásti.



Obr. č. 5 Frézovací CNC pětiosé obráběcí centrum (DMU 50 DMG Mori) [24]

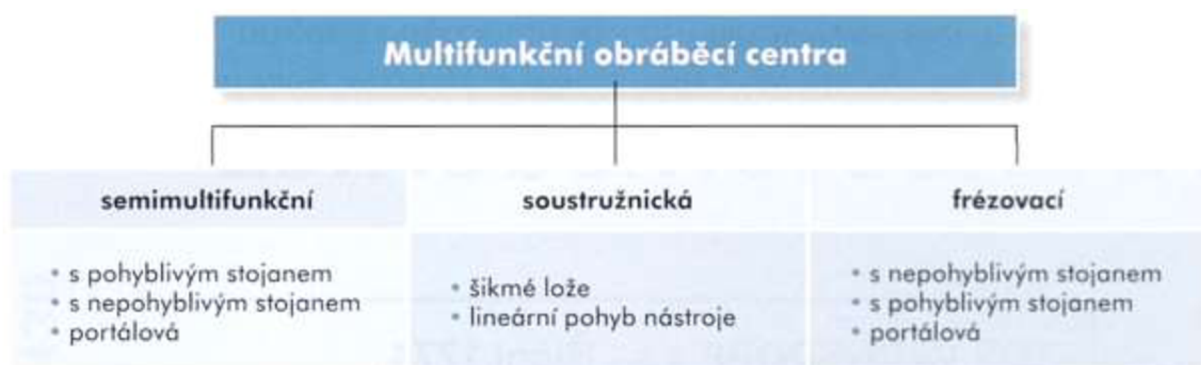
Tento stroj je vybaven dopravníkem třísek. Pětiosé obrábění je zaručeno díky sklopně otočnému stolu a variabilita obrábění je podpořena především díky automatické výměně nástrojů, přičemž zásobník pojme až 30 nástrojů.

2.1.3 CNC multifunkční obráběcí centra

Multifunkční stroje se s postupem rozvoje obráběcích strojů dostávají do popředí především díky faktu, že ani jedna z obráběcích operací není dominantní, jak tomu bylo u předchozích dvou variant CNC strojů. Tedy rovnocennost obráběcích operací je charakteristickým prvkem multifunkčních CNC obráběcích center. To umožnilo zrychlení, zkvalitnění i zlevnění výroby. [1]

Obecně vzato jsou tato multifunkční centra velkým přínosem. Ve stylu zrychlování výroby s kombinací automatické výměny nástroje a obrobku lze v těchto strojích obrábět různé tvary obrobků, a to mnohdy i na jediné upnutí. Jak je u těchto moderních strojů zvykem, mohou i tato multifunkční centra pracovat v automatických cyklech a bezobslužných provozech, což podstatně redukuje problémy s nedostatkem kvalifikovaných pracovníků. [1]

Obrázek číslo tři popisuje rozdělení multifunkčních obráběcích center. Obrázek multifunkčního obráběcího centra je k dispozici v příloze č. 3



Obrázek č. 6: Rozdělení multifunkčních CNC obráběcích center [1]

Z hlediska morfologie jsou multifunkční obráběcí centra svou stavbou velmi podobné CNC obráběcím centrům soustružnickým a frézovacím. Typickým příkladem může být například smýkadlo a dva stojany, mezi které je umístěna upínací deska nebo jiné varianty upínacích stolů. V jistých případech se jedná, stejně jako u soustružnických obráběcích center, o charakteristické vodorovné lože se skloněnými vodicími plochami. [1]

Z hlediska stavby nosných soustav budou v dalších kapitolách rozebrány součásti především těchto CNC obráběcích strojů.



Obr. č. 7 Multifunkční CNC obráběcí centrum MCV 2318 (TAJMAC-ZPS) [25]

Toto multifunkční obráběcí centrum nabízí technologii frézování i soustružení v rozsahu 3–6 os. Lze ji dodávat ve variantách s pevným nebo otočným stolem a rovněž disponuje dopravníkem pro odvod třísek. [25]

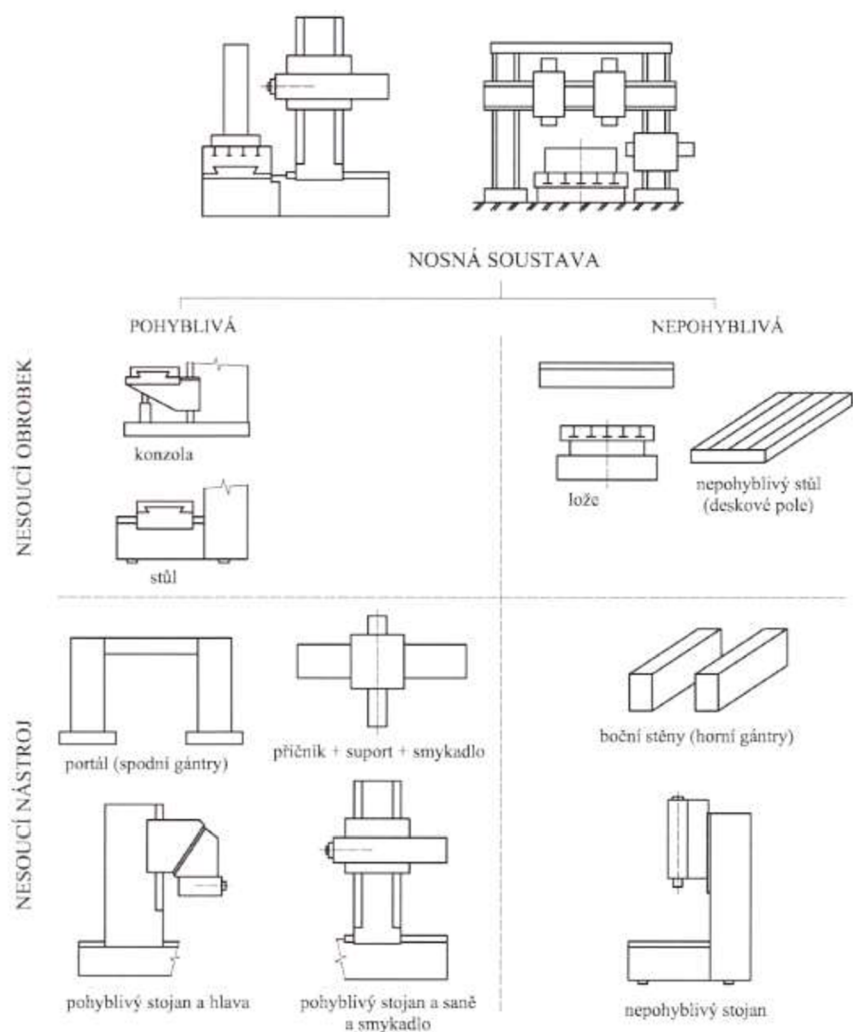
2.2 Nosné soustavy a jejich komponenty

Při konstrukci obráběcích strojů hrají roli jednotlivé uzly. Ať už se jedná o uzly související s pohonnými a převodovými jednotkami, vřeteny či využití lineárních posuvových soustav. V našem případě je nejpodstatnější částí celého stroje nosná soustava.

2.2.1 Nosná soustava

Nosná soustava tvoří základ obráběcího stroje, k níž jsou připojeny zbývající uzly, kterými jsou: stoly, saně, vřeteny, pohony apod. Základním úkolem nosné soustavy je spojení všech těchto uzlů do celistvé struktury, čímž zajistíme v průběhu obráběcího procesu přenášení statických i dynamických sil a energií, vznikajících v důsledku obrábění. [1] [4] [5]

Na základě kinematiky rozlišujeme dva základní typy nosných soustav – otevřené a uzavřené (viz obrázek č. 4). Tyto dvě skupiny však lze rozdělit ještě dále na podskupiny, jejichž rozlišovacím znakem je nesení obrobku nebo nástroje (viz obrázek č. 4). Jak je z obrázku patrné, obě podskupiny lze ještě dále členit na pohyblivé a nepohyblivé nosné soustavy. V závislosti na posledním rozdělení tak vyplývají konkrétní součásti, tvořící výslednou soustavu. [1] [4] [5]



Obrázek č. 8: Rozdělení nosných soustav [1]

2.2.2 Části nosných soustav obráběcích strojů

Lože

„Část skříňovitého tvaru, zpravidla s délkou nebo šířkou převládající nad výškou. U většiny strojů spojuje základní části stroje v celek. Na loži jsou vodící plochy (pro stůl, suport, nebo další základní části), případně dosedací plochy pro uložení (připojení) dalších základních částí.“ ([1], s. 128)

Podstavec

„Má stejnou charakteristiku jako lože, je však bez vodících ploch a slouží pouze pro uložení dalších základních částí.“ ([1], s. 128)



Obr. č. 9 Litím zhotovené lože strojů řady TREX (Maxmill machinery) [17]

Základová deska

„Spodní část stroje plochého tvaru. Jsou na ni došedací plochy k uložení dalších základních částí, případně upínací plochy s drážkami pro upnutí stolu nebo obrobku“ ([1], s. 128)

Sloup

„Stojatá část stroje válcovitého tvaru s výškou značně převládající nad průměrem. Slouží k ustavení dalších částí stroje (vřeteníku, stolu, ramena)“ ([1], s. 128)

Rameno

„Část stroje s délkou značně převládající na výškovou nebo šířkovou. Jedním koncem je pohyblivě uloženo na sloupu nebo stojanu, druhý konec je volný. Na jeho přední svislé straně jsou vodící plochy pro uložení vřeteníku.“ ([1], s. 128)



Obr. č. 10 Sloupová radiální vrtačka KNUTH R100 [20]
(K základové desce je připevněn sloup, po sloupu se ve svislém směru pohybuje rameno s vřeteníkem.)

Stojan

„Část stroje skříňovitého tvaru s výškou převládající nad délkou nebo šířkou. Jsou na něm vodící nebo dosedací (příp. upínací) plochy pro uložení dalších základních částí stroje. Podle jejich polohy je stojan svislý nebo šikmý.“ ([1], s. 128)

Příčník

„Vodorovně uložená část stroje skříňovitého tvaru s délkou značně převládající na výškou a šířkou. Je uložen zpravidla pohyblivě na jednom nebo dvou stojanech a jsou na něm vodící plochy pro vřeteník nebo suport.“ ([1], s. 128)



Obr. č. 11 Příčník (oranžový) uložený na dvou vodících svislých stojanech (Pila KASTOtec AC5)



Obr. č. 12 Uložení příčníku na vedení jednoho ze dvou stojanů (Pila KASTOtec AC5)

Konzola

„Část stroje ustavená zpravidla na základní svislé rovině. Podle polohy roviny dosedacích ploch k ustavení dalších částí je konzola vodorovná, šikmá nebo svislá.“ ([1], s. 128)

Příčka (most)

„Část skříňovitého tvaru s délkou značně převládající nad výškou a šířkou. Spojuje horní konec stojanů“ ([1], s. 128)

Saně

„Součást pohybující se přímočaře po vodicích plochách základní části. Jsou kratší než vodicí plochy základní části.“ ([1], s. 128)

Smykadlo

„Součást pohybující se přímočaře po vodicích plochách základní části nebo saní. Je delší než vodicí plochy základní části. ([1], s. 128)



Obr. č. 13 Základní skelet strojů řady TREX [17]
(Příčka uložena na dvou sloupech, vřeteno uloženo na smýkadle)

2.3 Nároky na nosnou soustavu

Z obecného hlediska lze na nároky pohlížet dvěma způsoby. Jedním z těchto pohledů je dozajista pohled výrobce, kterého zajímá především ekonomický průběh výroby strojů. Druhým, pro tuto práci podstatnějším pohledem na věc, je pohled zákazníka, případně konstruktéra. Jejich hlavními zájmy jsou především užité vlastnosti, bezproblémový a efektivní provoz a konstrukční provedení stroje samotného. [1]

Potřeba kvalitního a efektivního obrábění je v dnešní době téměř nediskutovatelná. Aby stroje byly schopny těchto výsledků dosahovat, je zapotřebí zkombinovat několik zásadních vlastností tak, aby bylo možné vytvořit kvalitní obráběcí stroj.

Důležitými vlastnostmi při konstrukci jsou především statická tuhost, dynamická a teplotní stabilita související s odvodem třísek z místa řezu. Tyto 4 základní podmínky vytváří vhodný základ pro přesné a kvalitní obrábění.[1]

Dalšími, neméně důležitými požadavky, jsou efektivita a jednoduchost výroby obráběcích strojů, s čím úzce souvisí i vhodná volba materiálu na tvorbu rámu. Zároveň je také na místě relativně malá hmotnost strojů spojená s dobrou a snadnou manipulovatelností stroje. Poslední z řady obecně platných požadavků je rovněž volba vhodného uložení na základ, aby byl minimalizován přenos vibrací ze stroje do základu.[1]

2.4 Současný trend konstrukce

Výše zmíněné nároky pro konstrukci znamenají okruhy, kterým se konstruktéři musí věnovat a mohou je do určité míry také ovlivnit. Nicméně jsou ve své práci mnohdy omezováni, a to především ekonomickými faktory. Není totiž vždy možné zvolit nejvhodnější technologickou variantu, pokud by znamenala velké finanční výdaje. Z tohoto důvodu se konstruktéři musí často spokojit s kompromisy mezi ideálními technologickými a ekonomickými faktory. Podstatnou překážkou ve vývoji či konstrukci jsou také složité optimalizační postupy, které mají za úkol zvyšovat a zlepšovat parametry stroje. Pro tyto postupy je samozřejmě potřeba využití výpočtových systémů, jejichž licence nejsou zrovna nejlevnější záležitostí. Rovněž je na místě zmínit, že v současné době je problémem neznalost vazeb a výpočtových modelů, které by dokázaly dostatečně přesně popisovat chování reálné nosné soustavy. Především proto, aby konstruktéři zabránili nepředpokládaným a neočekávaným komplikacím, se volí poněkud konzervativní přístup. Ten však není vždy řešením optimálním či snad blízkým optimálnímu. [1]

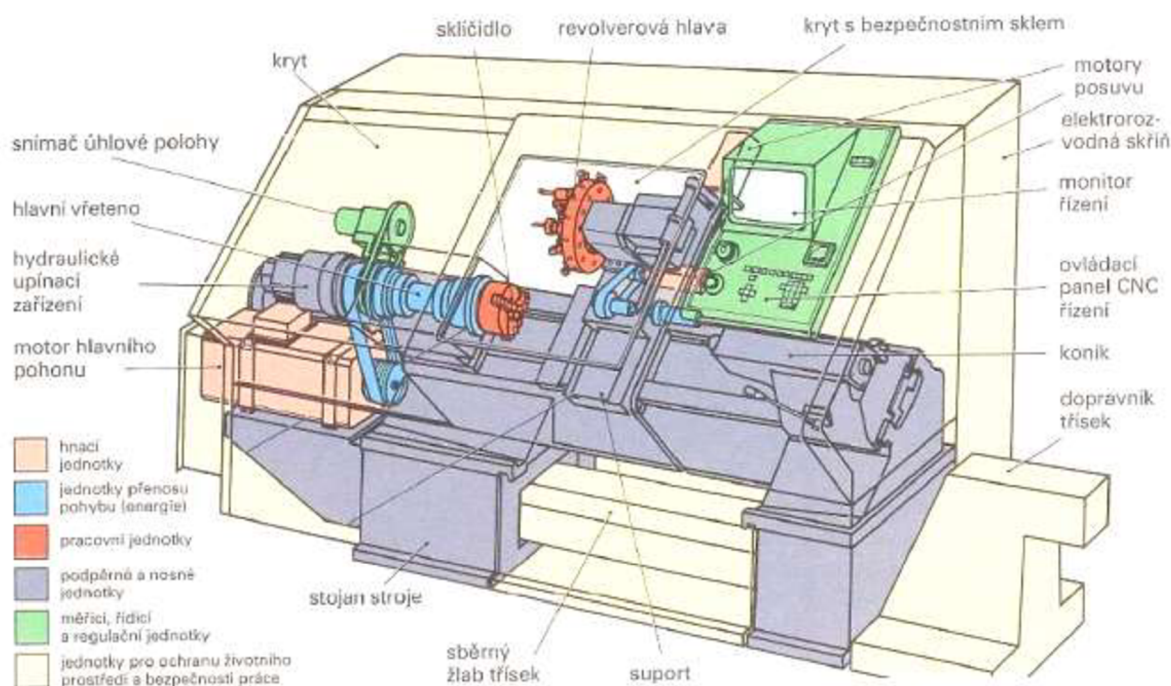
Současný trend konstrukce nosných soustav obráběcích strojů, především CNC obráběcích center, které se díky svým vlastnostem z hlediska manipulace obrobku/nástroje a jednoduchosti dostávají do popředí, je tedy poměrně konzervativní. Ani to však nebrání opakované tvorbě kvalitních a přesných výrobků. [1]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR OBRÁBĚCÍHO STROJE

3.1 Základní uzly obráběcího CNC stroje

CNC obráběcí stroj, resp. centrum disponuje 4 základními částmi, které jsou zobrazeny na obr. č. 14. První z nich je tzv. mechanická část, jejímž úkolem je realizace pohybu v soustavě nástroj – obrobek, a tedy zapříčiní i odřezávání třísky z obrobku. Dalším uzlem je část elektrická (elektro skříň a CNC řídicí systém), která má za úkol vyvolat přesně dané pohyby v mechanické části, přívod procesních kapalin do místa řezu či zajistit výměnu nástrojů. Třetí část obráběcího stroje zprostředkovává komunikaci mezi mechanickou a elektrickou částí stroje, tj. PLC (programovatelný logický automat). Posledním, čtvrtým uzlem jsou procesní média, která jsou nezbytná pro správný provoz stroje (hydraulika, mazání, chlazení, elektřina apod.) [12] [13]

V našem případě je hlavním předmětem zájmu především první, mechanický, uzel. Prvky této části obráběcího stroje tvoří především nosná soustava, pohybové osy stroje (různé dle typu stroje a provedení), vřeten a vřeteník, výměna nástroje a obrobku (vč. jejich zásobníků) a mechanické kryty, které zvyšují bezpečnost stroje, především ve vztahu k obsluze.[12] [13]



Obr. č. 14 CNC soustruh a jeho funkční jednotky [14]

3.2 Mechanické uzly obráběcího stroje

Při procesu obrábění je nutno, jak již bylo výše zmíněno, sledovat především přesnost a kvalitu obrobku. Obrábění je doprovázeno vznikem silového působení, které může mít nežádoucí účinky na povrch výrobku. Abychom dokázali tyto nežádoucí vlivy odstranit, nebo alespoň co nejvíce redukovat, musíme v konstrukci obráběcích strojů uvažovat různé varianty jednotlivých konstrukčních uzlů. Základním kamenem je dostatečně staticky a dynamicky tuhý rám z vhodného materiálu, který dokáže do značné míry pohlcovat vznikající vibrace a vznikající řezné síly. Dalším prvkem z konstrukce stroje, který má vliv především na vymezení pohybů mezi soustavou nástroj – obrobek, je vedení, které umožňuje vzájemný pohyb. Třetí podstatnou částí je vřeten, u kterého vyžadujeme dostatečnou tuhost, abychom opakovaně dosahovali dobrých výsledků při obrábění. [1] [4]

Nesmíme také zapomínat na vliv zvýšené teploty, která je průvodním znakem obráběcího procesu. Vyšší teploty mohou způsobit teplotní deformace na rámu stroje, stejně jako na obrobku. Zprostředkovatelem nežádoucích teplotních nuancí bývá nejčastěji samotný řezný proces. Nicméně existují i další činitele, jako jsou vnější zdroje tepla či zdroje tepla v pohonech a mechanismech stroje. Nežádoucí vliv teploty můžeme eliminovat pomocí procesních kapalin, ale také vhodnou konstrukcí lože, které je vhodně uzpůsobeno k odvodu třísek z místa řezu. [1] [4]

V neposlední řadě také ke zvýšení tuhosti stroje přispívá správné uložení na základ. Správnou volbou uložení můžeme získat až několikanásobně vyšší hodnotu tuhosti. [1]

3.3 Systémový rozbor

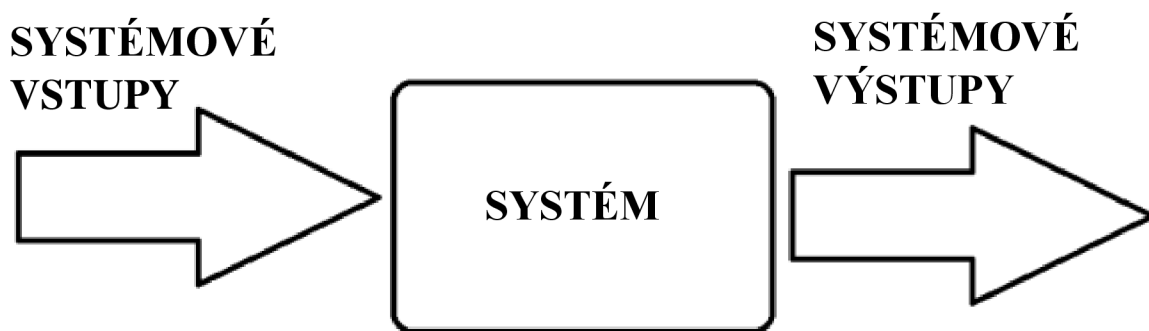
Systémový přístup zjednodušeně chápeme jako komplexní přístup k řešení problematice. Je to tedy myšlenkový postup, při kterém řešíme všechny jevy dané problematiky souhrnně tak, abychom nedosáhli jednoho konkrétního výsledku, ale abychom problém vyřešili z hlediska vnějších i vnitřních souvislostí. [13] [15]

V situaci, kdy řešíme komplexní problém zasahující do více rozdílných oborů, uplatňujeme tzv. systémový přístup. Zjednodušeně si tento fakt lze vysvětlit tak, že je v případě řešení komplexních problémů potřeba uvažovat všechny jednotlivé části s problémem související, nikoliv však pouze jednu z nich. Pokud by k tomuto přístupu došlo, nastala by situace, kdy by nově nalezené řešení splňovalo podmínky například statické tuhosti, nicméně z hlediska dynamiky zatížení by nově navržené řešení bylo prakticky nepoužitelné. [13] [15]

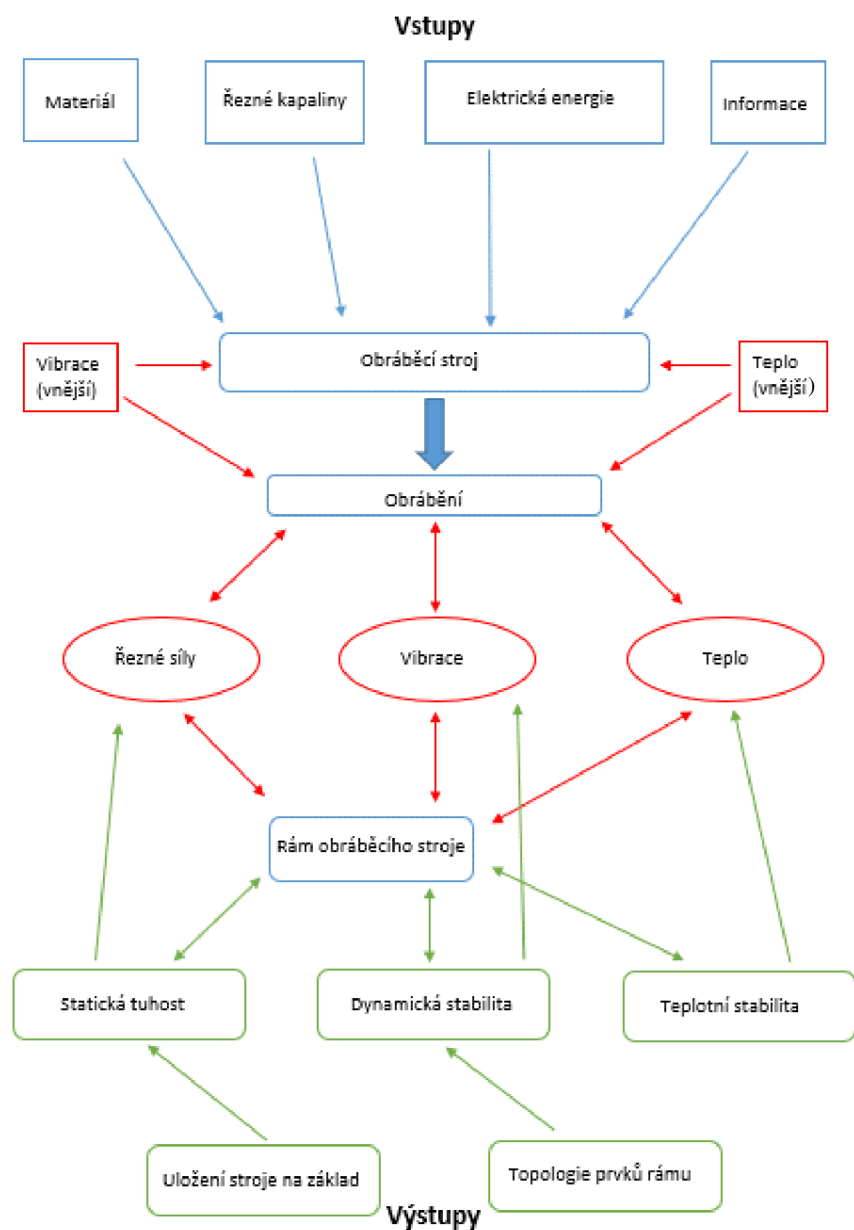
Pro využití systémového přístupu je potřeba si nejprve vymežit systém, který je předmětem našeho zájmu. Tento systém můžeme vnímat jako množinu prvků, které mají jasně definovaný účel a jako množinu vazeb mezi jednotlivými prvky, které ve výsledku determinují konečné vlastnosti celku. Nedílnou součástí systémového rozboru je také potřeba zvolit vhodnou rozlišovací úroveň, na které budeme systém rozebírat. Směrem z nejvyšší rozlišovací úrovně „dolů“, se pomocí dekompozice můžeme postupně propracovat až na ty nejnižší patra a díly konkrétního systému, směrem „vzhůru“ zase můžeme zjednodušovat systém na úroveň, která je pro řešení přijatelně jednoduchá (agregace). [13] [15]

Pro správné řešení systémového rozboru je též nutné si uvědomit, že zkoumané systémy jsou tzv. relativně uzavřené. To znamená, že uvažujeme styk systémů s okolím. Z tohoto důvodu je nutné definovat vstupní a výstupní prvky a vazby systému, které zajišťují styk s okolním prostředím.[13] [15]

K systémovému rozboru můžeme přistupovat dvěma různými způsoby. Za prvé to může být přístup analytický, na základě, kterého daný problém rozebíráme a tím se snažíme poznat podstatu zkoumaného objektu a principy jeho chování. Druhým způsobem je návrh, kdy na základě analýzy přistupujeme k návrhu nového, požadovaného systému (návrh řešení, zlepšení průběhu procesu apod.) [13] [15]



Obr. č. 15 Jednoduché schéma pro systémový rozbor na nejvyšší rozlišovací úrovni

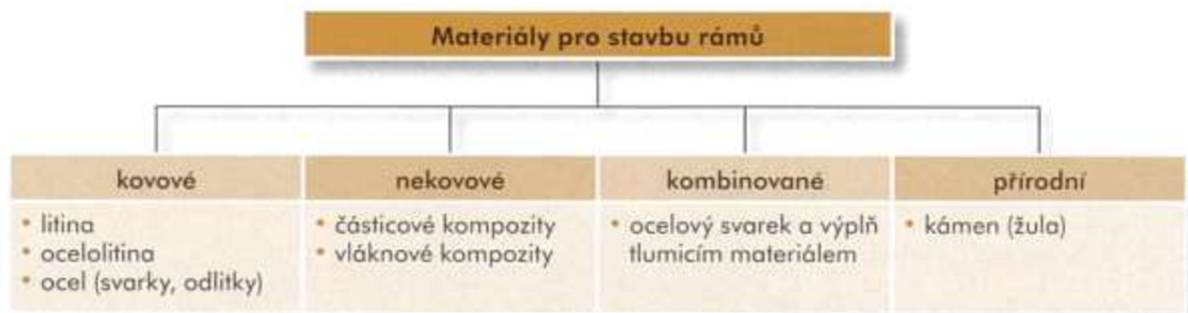


Obr. č. 16 Systémový rozbor determinující konstrukci a návrh rámu

3.4 Požadavky na rám obráběcího stroje

3.4.1 Materiály na výrobu rámu stroje

Základním prvkem rámu je materiál, ze kterého je rám vyroben. Při volbě materiálu můžeme vybírat z několika druhů jednotlivých materiálů, které v sobě snoubí základní a nutné vlastnosti pro tvorbu těchto komponentů.



Obr. č. 17 Rozdělení materiálů pro stavby rámu [1]

V současné době jsou stále nejčastěji používanými materiály šedá litina, ocel a ocelolitina. Současně ale s rozvojem a modernizací přichází i nové, netradiční materiály, jejichž využití začíná jistě stoupat. Mezi takové materiály řadíme například beton nebo polymer-beton. [1] [4]

Když vybíráme druh materiálu, jenž má být použitý pro konstrukci stroje, musíme uvažovat základní charakteristiky materiálu (fyzikální vlastnosti), které přímo ovlivňují provozní a technické vlastnosti stroje. Těmito vlastnostmi rozumíme:

- vysokou tuhost a pevnost – Bezpečnost vůči trvalé deformaci a zlomení;
- nízkou hmotnost – statické a dynamické vlastnosti;
- vysoký útlum chvění – dynamické vlastnosti;
- nízké vnitřní pnutí – dlouhodobá přesnost;
- nízká tepelná roztažnost, vodivost – tepelná stabilita;
- nízké energetické náklady na pořízení materiálu;
- nízké náklady na vlastní materiál.

Výše zmíněné vlastnosti a požadavky na vhodné konstrukční materiály se však vlivem modernizace stále zvyšují [4]

	Kovové materiály		Částicové kompozity		Vláknové kompozity s epoxidovou pryskyřicí					
	ocel	litina	polymerbeton	HPC beton	uhlíkové vlákno HM vyztužení	uhlíkové vlákno HM vyztužení #	uhlíkové vlákno HT vyztužení	uhlíkové vlákno HT vyztužení #	keramidové vlákno vyztužení	vlákno z E-alka vyztužení
Měrná hmotnost [kg.m ⁻³]	7 850	7 200	2 300-2 500	2 200-2 500	1 600	1 600	1 600	1 600	1 400	2 000
Poissonova konstanta [-]	0,3	0,2 - 0,3	0,25-0,3	0,2-0,3	-	-	-	-	-	-
E-modul [GPa]	210	70-10	30-44	50-60	360	120	144	48	50	40
Pevnost v tahu [MPa]	400-1 600	150-400	10-40	8-10	1 200	400	2 400	800	200	1 100
Pevnost v tlaku [MPa]	250-1 200	700-1 200	140-160	100-200	-	-	-	-	-	-
Pevnost v ohybu [MPa]	150-600	100-300	15-50	3-8	-	-	-	-	-	-
Dekrement útlumu [-]	0,002	0,003	0,02-0,03	0,02-0,03	-	-	-	-	-	-
Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ /K]	11-18	10	9-18	10,6	-0,5	-1	0	0,5	-3,5	5
Tepečná vodivost [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	47-	50	1-3	1,7	50	3	10	1	0,1	0,6
Měrná tepelná kapacita [KJkg ⁻¹ K ⁻¹]	0,49	0,45	0,7-1,3	0,9	1	1	1	1	1,5	1,1

Obr. č. 18. Tabulka fyzikálních vlastností materiálů pro tvorbu nosných soustav [1]

Vybrané druhy konstrukčních materiálů

Litina, ocel

Jedná se o nejčastěji používaný materiál pro konstrukci obráběcích strojů. Z hlediska vlastností se často využívají litiny s kuličkovým grafitem (tvárná), litiny s lupínkovým grafitem (šedá) nebo litina s vločkovitým grafitem (temperovaná). Tvar grafitu v jednotlivých litinách je pak určující pro vlastnosti konkrétních litin. Tvárná litina má vlastnosti srovnatelné s ocelí, šedá litina dokáže výborně tlumit rázy a chvění díky tvaru grafitu a litina temperovaná disponuje podobnými vlastnostmi jako šedá litina, rozdílem je však její vyšší tvrdost.

Zatímco v případě litin se jedná o rámy odlévané, v případě ocelových ráků mluvíme o rámech svařovaných. Základem jsou ocelové profily a plechy, které se spojují svařováním. [1] [5]

V případě obou výše zmíněných materiálů však existuje také několik negativ, které vyplývají z výroby. Ve vzájemném porovnání je dokázáno, že litinové lože či stojany bývají zpravidla těžší než svařované. Nevýhodou odlévání ráků je rovněž riziko vzniku povrchových a vnitřních vad. Naopak nevýhodou svařování je dozajista vznik zbytkových napětí v místech svaru, které mohou zapříčinit zhoršení profilu svaru (volba malých velikostí svarů). Rovněž je třeba podotknout, že svařování je vzhledem ke způsobu výroby dražší variantou oproti odlévání. [1] [16] [5]



Obr. č. 19 Lože zhotovené litím (Slévárna Stolle) [18]

Kompozitní materiály

Jako kompozit označujeme obecně materiál složený ze dvou a více rozdílných fází, přičemž můžeme tyto fáze dělit interně na matrice (fáze, která drží materiál pohromadě) a na tzv. plnivo, což je fáze, která vyplňuje materiál. Podobně jako při rozlišování druhů litin můžeme i kompozitní materiály podle tvaru plniva rozdělit na kompozity vláknové, částicové, vločkové či hybridní. [5]

K výrobním strojům se váží především kompozity vláknové. Ty jsou nejčastěji na bázi uhlíkových vláken (karbon), méně pak aramidová vlákna (kevlar). Těmito vlákny je pak vyztužena matrice materiálu. Výraznou předností jsou vysoké hodnoty tuhosti a pevnosti při nízké váze. Ovšem specifickou nevýhodou jsou náklady na výrobu, z hlediska nosných soustav jsou však tyto materiály přímo nepoužitelné, protože disponují téměř nulovou schopností tlumení chvění a vibrací. [5] [1]

Z hlediska konstrukce nosných soustav je vhodnější zvolit tzv. částicové kompozity. Tento druh kompozitu je specifický tím, že fáze, tvořící plnivo, mají poměrně souměrný tvar (rozměry částic se v různých směrech nemění). Typickými plnivy jsou pak kameniva, kovy či konstrukční keramika. Pojiva těchto kompozitních materiálů jsou pak nejčastěji na bázi kovové, keramické nebo polymerní. [5] [1]

Materiály na bázi betonu dnes stále ještě čekají na svou pravou chvíli v oboru strojírenství. Nicméně i přesto jde o jeden z používaných materiálů. Mezi uplatňované materiály řadíme klasický cementový beton, HCP (vysokohodnotný beton) a polymer beton. Jak bylo zmíněno, betony jsou tzv. částicové kompozity a pro takové materiály využíváme i mnoho přísad, které ovlivní užitné, mechanické a technologické vlastnosti samotného betonu. Pro zmínku například regulátory tuhnutí, látky zvyšující odolnost vůči zmrazování, či korozi. Klasický **cementový beton (hydrobeton)** tvoří v podstatě dvě složky, a to sice pojivo a plnivo. V rámci plniva hovoříme o směsi písku a šterku. V případě pojiv pak o směsi vody a cementu, kdy společně tyto složky tvoří výslednou hmotu označovanou jako hydrobeton. Výsledný beton pak disponuje poměrně dobrou pevností tlaku (10-60 MPa), nicméně je nutno podotknout, že pevnosti ve smyku a tahu jsou už velmi nízké. Tento nedostatek se nicméně dá kompenzovat pomocí tzv. železobetonu, kdy jsou do betonu vloženy ocelové výztuže (ocelové pruty, sítě), které základnímu betonu napomáhají s přenosem tahových a ohybových zatížení. [5] [1]

Další typem částicového kompozitu je tzv. **polymerbeton**. Rovněž rozdělujeme základní fáze na pojiva a plniva, přičemž jako pojiva využíváme především polymerní pryskyřice různých bází (polyuretanové, epoxidové, polyakrylové apod.). Funkci plniva zastupují kameniva. Jako významné vlastnosti polymerbetonu lze uvést, stejně jako u cementového betonu, výborné tlumení dynamických kmitů a díky nízké měrné hmotnosti můžeme vytvářet také silnější průřezy součástí, které tak zajišťují vyšší tuhost oproti litinovým odlitkům či ocelovým svařencům. Nepřítelem samotného polymerbetonu jsou především vysoké náklady na výrobu forem, nebo neschopnost přenášet síly koncentrované do malých ploch, kterými jsou například závit. [5] [1]



Obr. č. 20 Lože obráběcích strojů z polymerbetonu [21]

Vysokohodnotný beton (HCP) je materiál, který v porovnání s klasickým betonem obsahuje taková pojiva a plniva, že v praxi dovolí dosažení několikanásobně vyšších hodnot pevnosti v tlaku (až 150 MPa). Mimo jiné jsou tyto materiály charakteristické také vysokou houževnatostí a výrazně vyšší odolností vůči trhlinám. Těchto vlastností dosahujeme přidáním například speciálního kameniva na bázi čediče či žuly, které samo o sobě vyniká vysokou pevností. Jak již bylo zmíněno, zásadní výhodou HCP betonů je vysoká hodnota pevnosti v tlaku a houževnatost, mezi dalšími můžeme zmínit také nižší cenu oproti výrobě polymerbetonových konstrukcí či dobré tlumící schopnosti. Ovšem nevýhodou je především křehkost materiálu, která je oproti předchozím betonům vyšší a zároveň nejsme schopni vyrábět odlitky vyšších stupňů přesnosti. [5] [1]

Žula (Granit)

Jedná se o přírodní materiál, který se ve formě monolitických bloků využívá pro stavbu základů a rámců strojů. Vzhledem k vlastnostem, jakými jsou vysoká tvarová stabilita a tuhost, nebo naopak nízká teplotní vodivost a roztažnost, jsou tyto bloky žuly využívány především při stavbě velmi přesných obráběcích strojů nebo přesných souřadnicových měřících strojů. Nicméně tyto vlastnosti jsou kompenzovány cenou samotného materiálu. [5], [1]



Obr. č. 21 Žulové lože (firma Oelze) [19]

Hybridní materiály

V případě, že dojde ke smíšenému využití konvenčních materiálů (ocel, litina) s materiály nekonvenčními (beton, pěny) označujeme tuto skupinu materiálů jako hybridní materiály. V konstrukci obráběcích strojů se objevují především tyto kombinace:

- ocelové svařence s betonovou/pískovou výplní;
- litinové odlitky s betonovou/ pískovou výplní;
- sendvičové struktury s hliníkovou pěnou;



Obr. č. 22 Stojanové těleso obráběcího stroje s vlepěným blokem hliníkové pěny [26]

Ocelové svařence/litinové odlitky s betonovou výplní

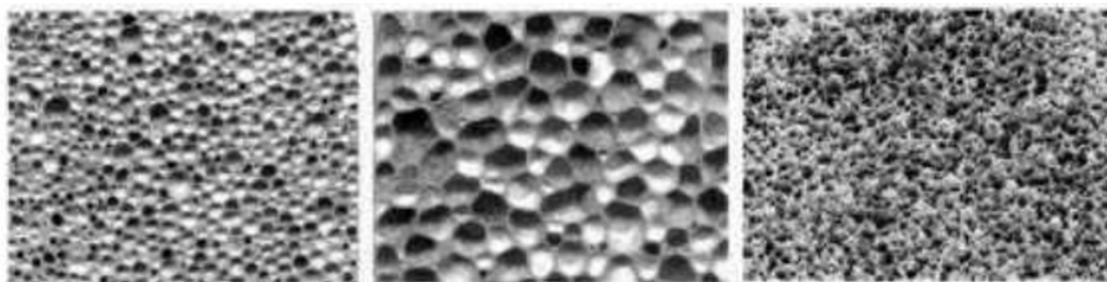
Toto konstrukční provedení si získává stále více pozornosti v oblasti výroby, především díky nízké výrobní ceně, vysoké výsledné tuhosti a výborných tepelných a dynamických vlastností. V případě betonové výplně není potřeba vytvářet drahou formu na odlévání, protože jako forma slouží svařenec/odlitek. Vznikají však problémy odvozené ze soudržnosti materiálů. Při tuhnutí dochází k objemovým změnám betonu v ocelové/litinové konstrukci, a tím může dojít k odlepení betonu od vnitřní strany „formy“. To má za následek výrazné snížení pevnosti a schopnosti tlumit vibrace. Těmto nedokonalostem však můžeme předcházet vhodnou úpravou směsi betonu (zvýšení zatékavosti) či použitím kotevnic prvků, které zvýší provázání mezi ocelovou/litinovou konstrukcí a betonem. [5]

Ocelové svařence/litinové odlitky s pískovou výplní

Základním principem tohoto konstrukčního postupu je využití pískových jader, které po odlití součásti zůstávají trvalou součástí konstrukce. Vlivem smršťování odlitku je písek uvnitř součásti stlačen a napomáhá tak tlumení nežádoucích vibrací. Zcela výjimečně dochází k plnění konstrukce pískem až po samotném odlití, potom nastává problém se zajištěním dostatečného přetlaku písku v dutině rámu. [5]

Sendvičové struktury s hliníkovou pěnou

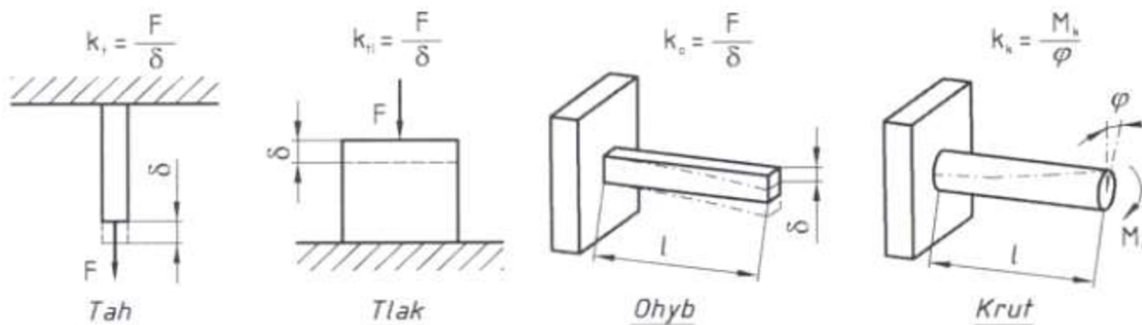
V tomto případě se využívá stejného principu, jako v předchozích několika případech. Ocelový odlitek tvoří formu, která je tentokrát, na místo písku či betonu, vyplněna hliníkovou pěnou. Hliníková pěna je odlehčený materiál, který, jak název napovídá, je pěnivého typu. Pěna samotná je silně porézní, nicméně je díky své struktuře poměrně tuhá. U tohoto typu materiálu však může být obtížné, vzhledem k nahodilému rozložení pórů v objemu, určení jeho chování a vlastností při různém namáhání. [5]



Obr. č. 23 Struktura a pórovitost hliníkové pěny [5][22]

3.4.2 Statická tuhost rámu

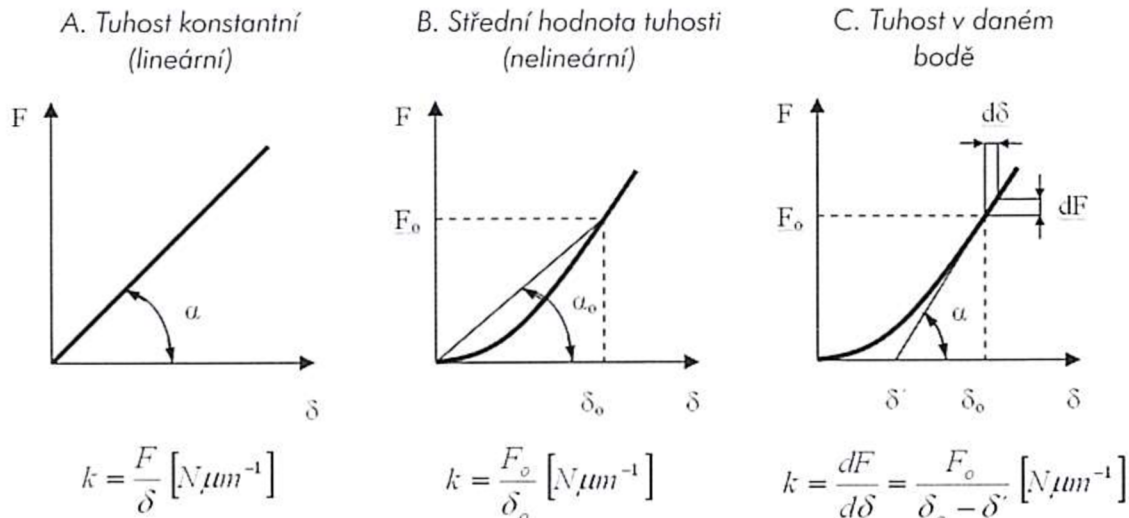
U převládající části nosných soustav obráběcích strojů je při návrhu a konstrukci rozhodujícím faktorem velikost deformací, pevnost a tuhost. Celkem rozlišujeme 4 druhy statické tuhosti, které vychází ze 4 rozdílných druhů zatížení při technologickém procesu. Všechny druhy jsou zachyceny na obr. č. 8.



Obr. č. 24 Druhy statické tuhosti [1] [4]

Statickou tuhost můžeme, vzhledem k požadavkům, určovat jako dílčí (tuhost samostatné komponenty stroje) nebo celkovou (pro celistvou soustavu jednotlivých součástí stroje, která zahrnuje i tuhost spojů jednotlivých součástí).

Určování hodnot statické tuhosti probíhá dle definic stanovených konkrétními podmínkami dle obr. č. 9.



Obr. č. 25 Definice statické tuhosti [1]

Podle obr. č. 25 můžeme rozdělovat tuhosti na:

- Konstantní v celém rozsahu zatěžování (první část obrázku) – tento typ tuhosti není příliš častý, souvisí především se samostatnými dílci bez spojovacích ploch, které jsou zatěžovány v mezích Hookova zákona. [1]
- Střední hodnota nekonstantní tuhosti (střední část obrázku) – k určení střední hodnoty tuhosti v rozsahu zatížení využíváme vztah uvedený pod obrázkem. [1]
- Tuhost v daném bodě (poslední část obrázku) – tuhost v bodě je určena tangentou tečny, podle vztahu pod obrázkem. [1]

Tvary jednotlivých charakteristik tuhosti se mohou lišit v závislosti na podmínkách vyšetřovaného uzlu. [1]

Velmi podobné definice lze použít pro tuhost v krutu. [1]

Vzhledem k faktu, že je obráběcí stroj tvořen vzájemně propojenou soustavou prvků a uzlů, můžeme analýzou rozdělení a přenosu sil a vznikajících deformací určit vliv jednotlivých částí na výslednou tuhost stroje. Měření na obráběcích strojích vedlo k závěru, že velkou část výsledných deformací tvoří stykové deformace. Tento typ deformace vychází z deformací výstupků povrchových mikronerovností (vznikají při obrábění) a z deformací makronerovností styčných ploch (jsou dány tvarovými geometrickými nepřesnostmi). [4]

Stykovou tuhostí rozumíme poměr mezi jmenovitým měrným tlakem p mezi styčnými plochami a deformací δ povrchových vrstev v místě styku dvou těles se směru normály. [1]

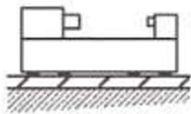
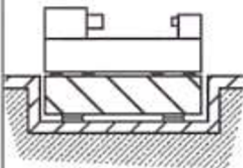
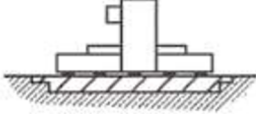
$$k_{Styk} = \frac{p}{\delta}$$

Abychom dosáhli těch nejpříznivějších hodnot stykové tuhosti, je vhodné zvolit, pokud možno, tu nejvyšší jakost povrchu styčných ploch a pro styčné plochy zvolit nejvyšší možné předepnutí spoje. [1] [4]

3.4.3 Uložení na základ

Příspěvkem ve smyslu zvýšení statické tuhosti je také správně dimenzovaný základ a uložení obráběcího stroje. Správným uložením můžeme získat několikanásobně vyšší celkovou tuhost stroje. Jedná se o velmi přesnou činnost, neboť hodnota přesnosti při usazování běžných strojů je přibližně dvě setiny milimetru na jeden metr. Usazování stroje na základ je velmi složitá disciplína, protože v sobě snoubí potřeby zvýšení tuhosti, aktivní i pasivní izolace proti rušivým vlivům (dynamickým), či zajištění stroje v potřebné poloze. [1] [4]

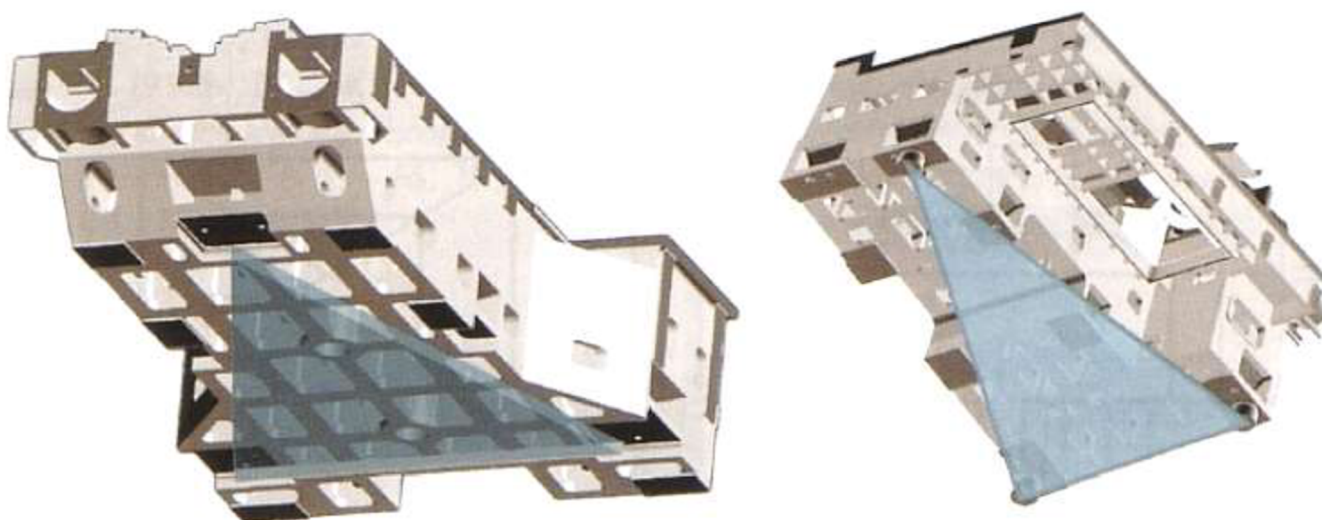
V závislosti na typu stroje a jeho požadavků na přesnost a tuhost rozlišujeme několik druhů uložení, viz obr. č. 26.

Druh uložení stroje na základ			
Použití – vlastnosti	volné ustavení na základové desce – podlaze	uložení na samostatném izolovaném základě	uložení na samostatném základě
oblast využití	malé (lehké) stroje	přesné obráběcí stroje	střední a velké obráběcí stroje
tuhost obráběcího stroje	vlastní tuhost dobrá (samonosný rám)	celková tuhost rámu nízká (nesamonosný rám)	celková tuhost rámu nízká (nesamonosný rám)
účel ukládacích prvků	tlumení + ustavení stroje	tlumení – ustavení stroje – tuhé spojení se základem	ustavení stroje + tuhé spojení se základem

Obr. č. 26 Členění uložení obráběcích strojů na základ [1] [4]

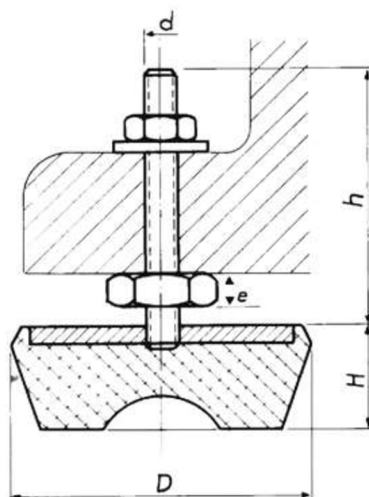
V případě samonosných rámu se nejčastěji ustavuje přímo na podlahu výrobní haly. Využívá se tzv. třibodový způsob ustavení, přičemž ustavovací prvky slouží také jako tlumící prvky. V případě přesnějších strojů je nutno použít kvalitnější základ. Rám stroje je tuhými prvky spojen se základovým blokem a následně je tento nově vzniklý systém ustaven samostatně na prvcích, které navíc zajišťují aktivní i pasivní tlumení. Velké a rozměrné stroje jsou, na rozdíl od předchozích variant, ustaveny na samostatných základech. Tyto základy jsou dimenzovány specificky podle požadavků stroje a jako izolace od vnějších rušivých vlivů jsou využity spáry, které oddělují základ od zbytku podlahy. [1] [4]

Pro uložení strojů se používají tuhé, tzv. klínové, nebo pružné podkládací prvky. Vzhledem k malému počtu stykových ploch klínových podložek dosahujeme jejich využitím vysoké tuhosti uložení. Mezi podložkou a strojem však následkem svislého ustavování stroje vznikají třecí síly, což obecně považujeme za nevýhodu klínových podložek. Třecí síly vznikající při ustavování však lze redukovat vhodným mazáním funkčních ploch, případně výběrem složitějších klínových podložek, ovšem to za cenu snížení výsledné tuhosti. Tuhost těchto podložek se pohybuje v rozmezí 600-2000 N/ μm , přičemž je podmínkou vysoká přesnost opracování styčných ploch. [1] [4]



Obr. č. 27 Znárodnění třibodového uložení samonosného rámu [1]

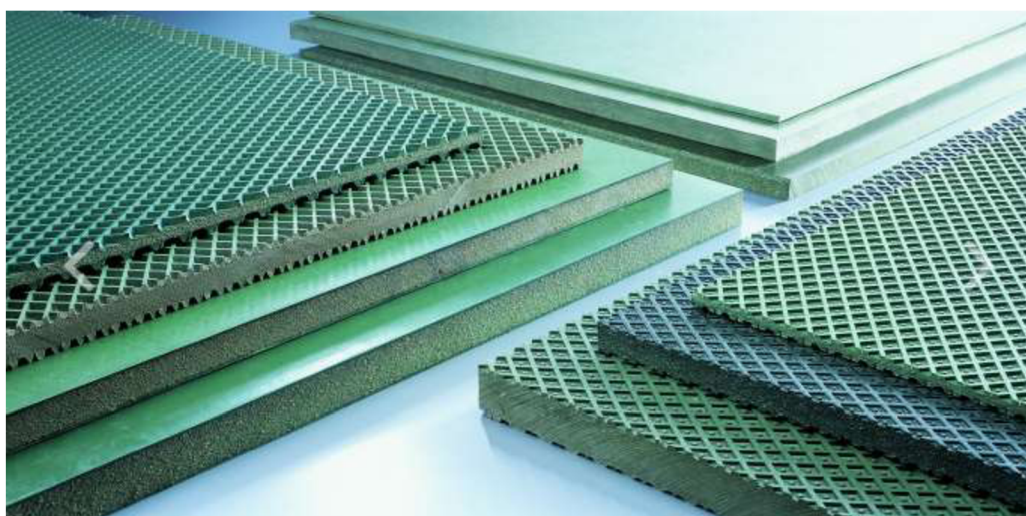
V případě, že ukládáme stroje menších rozměrů rovnou na podlahu, setkáme se s využitím pružných, anebo pevných stavitelných podložek. Tyto podložky mají zajistit požadovanou přesnost uložení stroje stejně tak, jako vnitřní tlumení mezi strojem a podlahou (strojem a základovým blokem). Pryž, ze které se tyto podložky vyrábí, by měla mít dobrou odolnost vůči působení chladících kapalin a olejů. Současně však musí disponovat dostatečnými tlumícími vlastnostmi. Tento způsob uložení lze využít pouze u strojů, se samonosným rámem. [1] [4]



Obr. č. 28 Pružná stavitelná podložka [27]

Uvažujeme-li pružné uložení stroje, je základový blok usazen na pružné podložce (pryžový koberec, ocelové pružiny). Podložka tak zajišťuje požadovanou hodnotu frekvence vlastních kmitů. V případě použití pružných podložek je nezbytné, aby byly tyto prvky ve styku pouze se základovým blokem. Proto se přistupuje k řešení, kdy je tento blok umístěn do betonové schránky, tzv. vany. [1] [4]

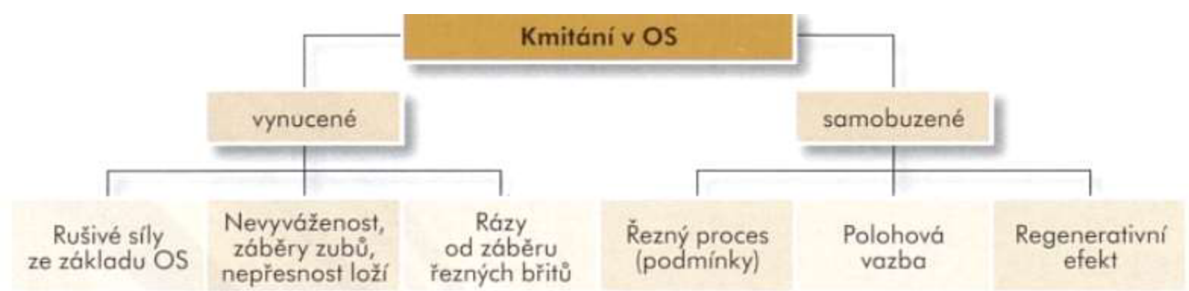
Způsob pružného uložení stroje umožňuje aktivní i pasivní ochranu vůči chvění. Za pasivní způsob izolace považujeme ochranu před vlivem vynucených kmitů, které se přenáší z okolí na stroje, aktivní izolaci pak rozumíme ochranu okolí, před kmitáním vznikajícím přímo na stroji. [1] [4]



Obr. č. 29 Tlumící a antivibrační podložky (Bilz) [28]

3.4.4 Dynamická stabilita rámu

Další základní vlastností rámu a požadavkem je dynamická stabilita rámu. Pod tímto pojmem se skrývá odolnost vůči vibracím. Slovem vibrace rozumíme u obráběcích strojů mechanické kmitání nebo chvění. Zatímco chvění způsobuje vznik hluku při provozu obráběcího stroje, kmitání strojů je z hlediska kvality obrábění podstatně více problematické. Při nedostatečném ošetření je kmitání zdrojem otřesů, hluku. Výrazným způsobem se také kmitání projevuje zvýšením namáhání součástí, a to mnohdy až na mez pevnosti materiálu. V neposlední řadě se rovněž kmitání promítá do kvality pracovního procesu, protože zhoršuje kvalitu obráběné plochy, snižuje trvanlivost nástrojů a v krajních případech může vést k znemožnění práce stroje. [1] [4]



Obr. č. 30 Příčiny kmitání v obráběcích strojích [1]

Kmitání je ve své podstatě velmi složitý jev, který se v obráběcích strojích vyskytuje. Celý stroj si lze představit jakou soustavu hmotných a pružných těles, která jsou vzájemně propojena, a tudíž se vzájemně ovlivňují. Rovnice, sestavené na základě struktury obráběcího stroje, jsou velmi těžko řešitelné, z toho důvodu se zavádí zjednodušující předpoklady a k výpočtům se dnes přistupuje již výhradně za pomoci výpočetní techniky a software, který pracuje na principu metody konečných prvků.

3.4.4.1 Základní druhy kmitání

U obráběcích strojů se projevují čtyři základní druhy kmitání:

- *kmitání vlastní (volné);*
 - *kmitání buzené (vynucené);*
 - *kmitání samobuzené;*
 - *trhavé pohyby (Slip Stick).*
- ([4] s. 56)

Vlastní kmitání (volné)

Při rozboru vlastního kmitání rozlišujeme dvě formy. První je kmitání vlastní tlumené, další pak netlumené. Tyto dva druhy kmitání vznikají v důsledku jevů a činností souvisejících s chodem stroje (záběr nástroje, zapnutí spojky, tvrdé místo v materiálu apod.). Čím účinnější je tlumení stroje a čím je vyšší jeho statická tuhost, tím rychleji se kmitající soustava uklidní. Obvykle se hodnoty vlastního kmitání zanedbávají. [4]

Buzené kmitání (vynucené)

Buzené, nebo také vynucené kmitání vzniká v důsledku působení periodicky se měnící rušivé síly na soustavu pružně uložených a vzájemně propojených hmot (soustava obráběcího stroje). Pro tento druh kmitání je charakteristické, že frekvence budící síly a vynuceného kmitání jsou totožné. Vznik příkládáme vlastnostem stroje či případně řeznému procesu. [4]

Mezi vlastnosti stroje, které způsobují vynucené kmitání můžeme zařadit:

- *nevyváženost rotujících součástí (nástroje, vřetena, obrobku, hřídelů, ozubených kol apod.);*
- *setrvačné síly prvků, které konají přímočarý nebo kruhový vratný pohyb (saně, smykadla, kulisy, vačky);*
- *nepřesnosti převodových mechanismů (házení ozubených kol, házení ložisek aj.);*
- *periodické síly dané principem pohonů (zubová nebo pístová čerpadla apod.);*
- *nesymetričnost rotačních součástí (hřídele s drážkou)*
- *periodické síly vnější přenášené z okolí přes základ na stroj.*

Příčiny vzniku nuceného kmitání v závislosti na řezném procesu způsobují:

- *změna průřezu třísky (soustružení polotovaru šestihramu);*
- *proměnlivý řezný odpor (při frézování, kdy vzniká periodická rušivá síla o frekvenci úměrné součinu otáček nástroje a počtu zubů);*
- *periodické házení obrobku či brusného kotouče.*
([4] s. 58)

Abychom docílili dostatečně dobré dynamické stability, je nutno zajistit, aby mezní hodnoty budící frekvence byly dle potřeby větší nebo menší vzhledem k hodnotě vlastní kruhové frekvence. Úpravy parametru budící frekvence dosahujeme například zvýšením statické tuhosti, nebo, pro stroje pracující ve vyšších rychlostech, zvýšením hmoty stroje. Obecné zásady, které přispívají k eliminaci samotného vzniku vynuceného kmitání, jsou:

- Dokonalé vyvážení rotujících součástí na vyvažujících strojích.
- Zvýšení jakosti výroby ozubených kol a ložisek, vč. jejich kvalitní montáže.
- Preference snížené hloubky třísky, což přímo ovlivní amplitudu kmitání (za cenu nižšího výkonu).
- Úprava otáček pro práci v oblasti, kde je účinek kmitání méně výrazný.
- Zvýšením tuhosti důležitých součástí obráběcího stroje výrazně ovlivníme zvýšení frekvence vlastních kmitů. Tím dojde k potlačení budící síly, pakliže není možné tyto kmity odstranit.
- Obráběcí stroj je uložen na zvláštní základ, aby bylo zamezeno přenosu chvění z okolí.
- Použití tlumičů.

Samobuzené kmitání

Samobuzené kmitání se projevuje v soustavě obrobek – nástroj bez vnějšího periodického budícího účinku. Základním projevem tohoto druhu kmitání je hluk (drnčení) a stopy chvění na obrobeném povrchu. [4] [1]

„Technologická soustava je uvedena do samobuzeného kmitání prvním impulzem, který vyvolá výchylku z rovnovážné polohy nástroje a obrobku, a vyvolané samobuzené kmitání bude probíhat bez přívodu energie zvnějšku a jeho periodická proměnlivost bude závislá pouze na vlastním kmitavém procesu.“ ([4] s. 62/63).

Samobuzené kmitání je častý případ kmitání, kdy je jeho budící síla vyvolána vlastním řezným procesem. Nicméně se však toto kmitání vyskytuje pouze v určitém rozsahu řezných podmínek, a tedy jejich následnou změnou můžeme řezný proces stabilizovat. Zároveň ale frekvence kmitání není závislá na otáčkách obráběcího stroje. Navzdory přetrvávajícímu výzkumu v oblasti samobuzeného kmitání, se zatím nepodařilo plně objasnit podstatu problému.[4] [1]

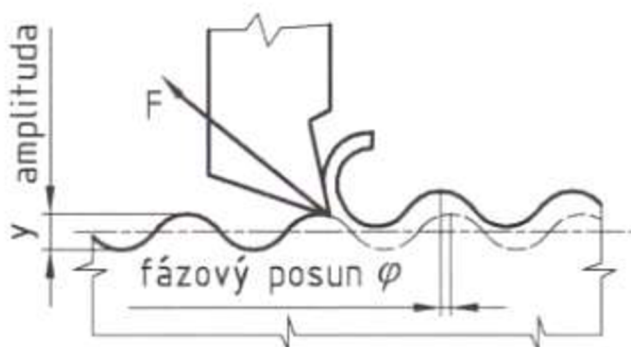


Obr. č. 31 Zvlněný povrch vzniklý v důsledku působení samobuzeného kmitání [29]

V současné době známe několik teorií, které podstatu vzniku samobuzeného kmitání vidí v odlišných jevech. Dvě nejpropracovanější z nich jsou teorie reprodukčního principu a princip polohové vazby. [4] [1]

Reprodukční princip

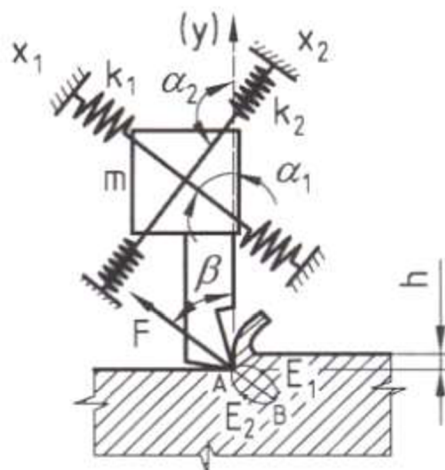
Základem této teorie jsou dva předpoklady. Prvním je fakt, že obráběná plocha je již zvlněná a jedná se tedy o sekundární buzení. Druhým předpokladem je, že uvažujeme obrobek a nástroj jako dokonale tuhé. Na základě těchto předpokladů vycházíme z toho, že při obrábění dochází vlivem zvlněné plochy obrobku k periodické změně průřezu třísky, a tudíž ke změně řezné síly, která svou periodičností vyvolává samobuzené kmitání. Při následném přejezdu, je pak amplituda třísky posunuta o fázový úhel φ . Aby byl řezný proces stabilní, musí být splněna ta podmínka, že výška vlny každé následné třísky, byla menší než výška vlny předchozí. [4]



Obr. č. 32 Znázornění reprodukčního principu samobuzeného kmitání [1] [4]

Princip polohové vazby

Princip polohové vazby, zobrazený na obrázku č. 33, vnímáme tak, že se nástroj pohybuje v nárysné rovině ve dvou směrech. Jak je na obrázku naznačeno, špička nástroje opisuje eliptickou dráhu. Mezi body A a B působí řezný odpor směrem proti pohybu nástroje, což má za následek pokles energie kmitavého pohybu. Naopak v druhé části elipsy, z bodu B do A, působí řezný odpor právě naopak oproti prvnímu případu, tedy ve směru pohybu nástroje. To má za následek růst hodnoty energie kmitání o hodnotu E_2 . V případě, že energie E_2 (přivedená) je vyšší než hodnota energie E_1 (odvedená), tak vlivem rozdílu energií $\Delta E = E_2 - E_1$ dojde k překonání tlumení. V tomto stavu je pak systém udržován ve stálém kmitání.



Obr. č. 33 Znázornění principu polohové vazby samobuzeného kmitání [1] [4]

Kromě tohoto předpokladu však musíme uvažovat i řadu dalších předpokladů, na kterých tato teorie stojí: [4]

- *řezný odpor je závislý na okamžitém průřezu třísky;*
- *systém má dva stupně volnosti a je bez tlumení;*
- *obrobek i nástroj jsou dokonale tuhé;*
- *nástrojový držák o hmotnosti m je uložen na dvou pružinách S_1 a S_2 , které umožňují kmitání ve dvou vzájemně kolmých směrech (X_1 , X_2);*
- *úhel α_1 je dán normálou k obráběnému povrchu a směrem pružiny o menší tuhosti.* ([4], s. 64)

Samobuzené kmitání může vznikat za dopomoci celé řady činitelů, které však ze znalostí jejich působení v dynamickém systému můžeme výrazně eliminovat, a dosáhnout tak stability obráběcího procesu. [4] [1]

Jedním z důležitých parametrů, kterým můžeme samobuzené kmitání ovlivnit je tuhost technologické soustavy. Zjednodušeně lze říct, že čím vyšší je tuhost soustavy, tím více klesá šance vzniku kmitání. Dalším parametrem ovlivňujícím vznik kmitání je bezesporu řezná rychlost. Při zvýšení řezné rychlosti (karbidového nástroje) totiž můžeme snižovat celkové radiální kmitání. Nicméně se zvýšení řezné rychlosti může projevit přechodem radiálního kmitání na tangenciální. Snížením řezné rychlosti (rychlořezného nástroje) dosáhneme naopak stabilizaci řezného procesu. [4] [1]

Kladně se na kmitání projeví také zmenšení hloubky řezu, které ovšem přichází za cenu snížení výkonu. S tímto faktem souvisí i to, že v případě snížení počtu současně řezajících břitů účinně snížíme riziko kmitání. [4] [1]

Mezi dalšími faktory ovlivňujícími kmitání jsou i úpravy nástrojů (zvětšení úhlu nastavení hlavního břitu, zmenšení poloměru zaoblení špičky nože, zvětšení úhlu čela). Pomocí může také snižování tření na řezné části nástroje (využití řezných kapalin, úprava drsnosti řezných ploch). Vhodným postupem se jeví také volba tužšího uložení nástroje nebo změna orientace řezné síly vůči obrobku. [4] [1]

Trhavé pohyby

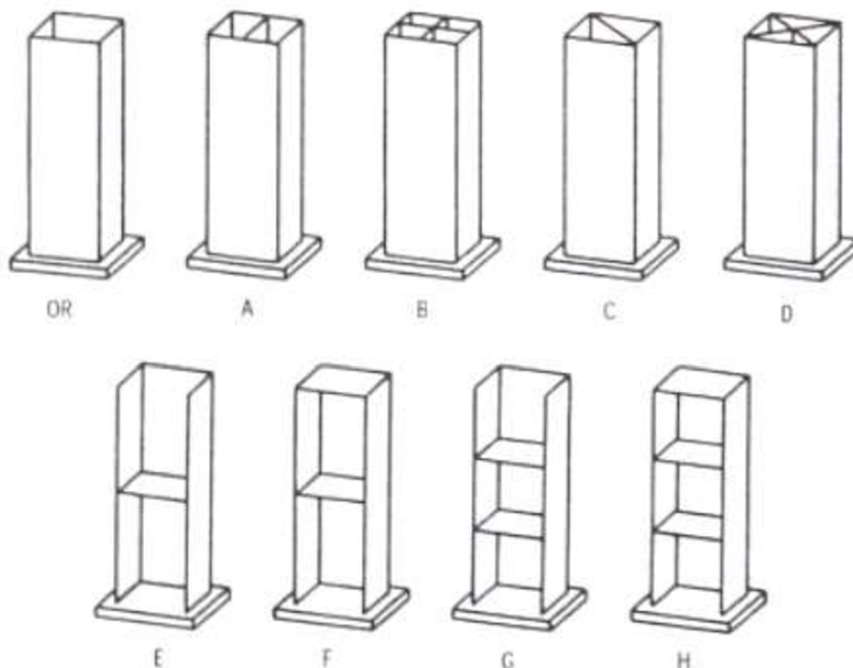
Jedná se o specifický druh kmitání, který je způsoben užitím velmi malých rychlostí posuvů (desetiny milimetru). V podstatě se jedná o jev, který způsobuje, že pohyby stolů, suportů a stojanů nejsou plynulé, ale jsou trhané. To se projevuje negativně v kvalitě obráběného povrchu. V případě soustružení jsou charakteristickým rysem lesklé proužky, které vznikly v místech zastavení nebo zpomalení posuvového pohybu. Výraznější dopad má však tento druh kmitání především na souřadnicové a vodorovné vyvrtávačky, kdy trhavé pohyby znemožňují přesné nastavení stojanu, stolu či vřeteníku podle požadovaných souřadnic. Trhavé pohyby jsou způsobeny důsledkem nelineárního průběhu závislosti rychlosti posuvu po vedení a v něm vzniklou třecí silou. [4] [1]

V případě rozboru trhavých pohybů vycházíme z předpokladu, že mazací olejový film se mezi třecími povrchy vedení vytvoří teprve vzájemným pohybem nepohyblivé a pohyblivé částí vedení. Z toho lze vyvodit, že tečná reakce za klidu, krátce před vznikem pohybu, bude větší než třecí síla působící za pohybu vedení. Tím je způsoben trhavý či přerušovaný pohyb pohyblivé části vedení. [4] [1]

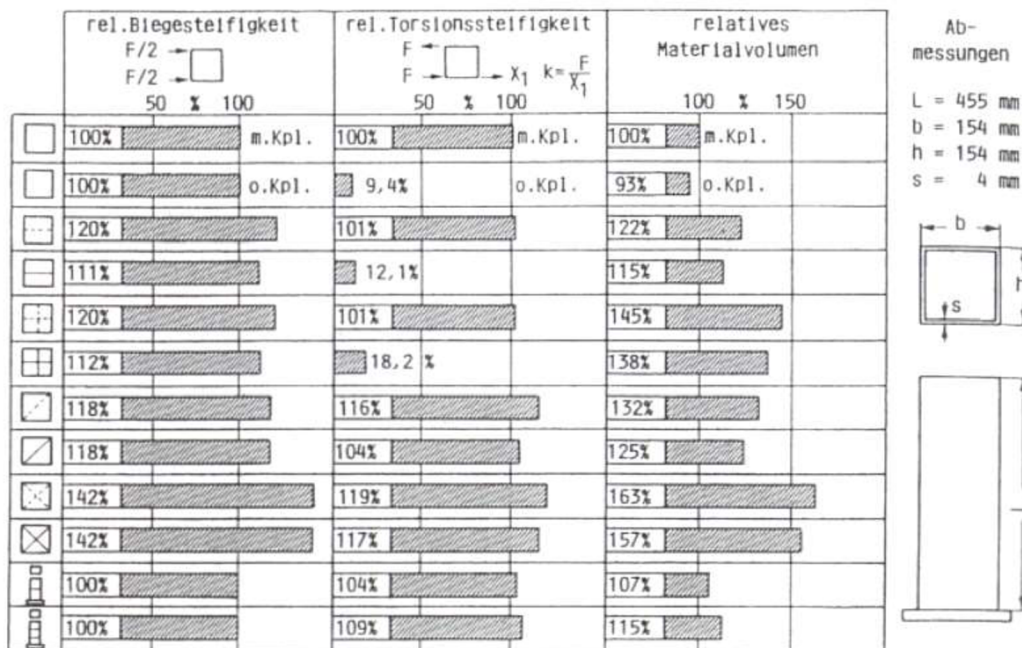
Na základě tvorby olejového filmu mezi oběma částmi vedení můžeme ovlivnit velikosti třecích sil natolik, abychom dokázali trhavé pohyby redukovat. Rovněž byly vyvinuty aditivované mazné oleje, které zajistí menší rozdíl mezi statickým a dynamickým součinitelem tření pohyblivé části vedení. Mezi další prvky redukce trhavých pohybů se řadí také použití valivého vedení, díky kterému se výrazně zlepší závislost součinitele tření na rychlosti. V neposlední řadě lze, při malých posuvových rychlostech, snížit součinitel tření a zároveň i zajistit tření kapalinné pomocí principu hydrostatického mazání. Při tomto způsobu dochází ke vhnání mazacího oleje pod tlakem mezi třecí plochy vedení. Díky zvýšenému tlaku se pak vytvoří mazací vrstva i za klidu a dojde k výraznému poklesu odporu proti posuvu. [4] [1]

3.4.5 Topologie prvků nosných soustav

Namáhání rámu stroje, vycházející převážně z řezného procesu, je především charakteru krutového a ohybového. Za předpokladů, že není geometrie zvlášť složitá, a pokud je zkoumané zatížení krutové nebo ohybové, můžeme vlastnosti prvků rámu stroje vyhodnocovat staticky. Tento postup však uplatňujeme pouze u prvků, které mají jediný hlavní směr deformace a můžeme je tedy považovat za nosníky, např. stojany. [1]



Obr. č. 34 Příklady žebrování uzavřených a otevřených stojanů [1]

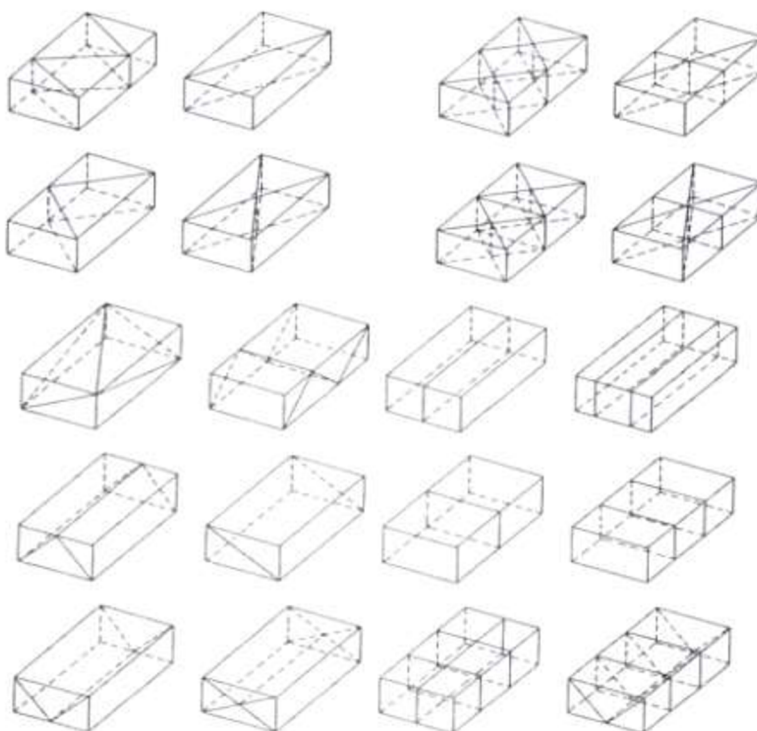


Obr. č. 35 Porovnání odolnosti stojanů s různými typy žebrování [1]

Zvýšení odolnosti prvků rámu stroje pak dosahujeme žebrováním. Do základního tvaru prvku jsou přidávány žebra (litá, svařovaná) tak, aby bylo dosaženo vyšší tuhosti daného prvku.[1]

Při konstrukci například loží obráběcích strojů však musíme uvažovat, že nejsou profily uzavřené (technologické, výrobní důvody). Tím ztrácí část své torzní tuhosti. [1]

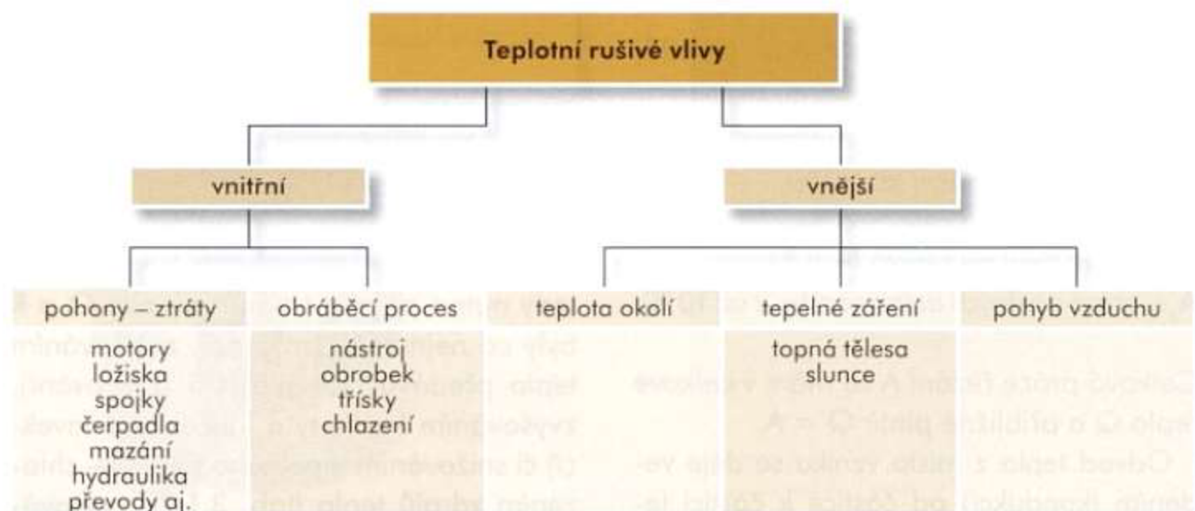
Uvedené obrázky a tabulky mají ovšem převážně orientační charakter. Měly by posloužit jako prvotní úvaha, která se bude dále rozvíjet a přibližovat žádanému či očekávanému výsledku. Posléze je nutné podrobit konkrétní výsledky analýzám, které konstrukční provedení zhodnotí a na základě výsledků se rozhodne, zda je provedení vhodné nebo ne. [1]



Obr. č. 36 Teoretické varianty žebrování loží [1]

3.4.6 Tepelná stabilita

Mezi vlivy ovlivňující přesnost, kvalitu a výrobnost obráběcích strojů patří neodmyslitelně také teplo. Není však jednoduché se těchto negativních vlivů zbavit, nakolik jsou části stroje samotnými zdroji tepla. Ovšem u tzv. vnitřních zdrojů posuzujeme i vliv zdrojů vnějších, mezi které řadíme například samotné slunce. Na obrázku č. 7 je znázorněn přehled rušivých teplotních vlivů. [4] [1]



Obr. č. 37 – rozdělení teplotních rušivých vlivů [1]

Tou méně závažnou a zároveň lépe řešitelnou skupinou rušivých vlivů jsou tzv. vlivy vnější. Těmi jsou myšleny vnější zdroje tepla v okolí obráběcího stroje, jako jsou topná tělesa, sluneční záření, teplota okolního prostředí aj. Přenos tepla je v tomto případě realizován převážně zářením, či prouděním. [4] [1]

Druhou, podstatně zásadnější, skupinou vlivů jsou tzv. vnitřní rušivé vlivy. Tyto vlivy vznikají, jak název napovídá, „uvnitř“ stroje, a tedy při jeho provozu. Přenos tepla uvnitř stroje probíhá za pomoci kondukce, tedy vedení. Významným zdrojem tepla ze skupiny vnitřních zdrojů je samotný obráběcí proces. [4] [1]

Při obráběcím procesu se vstupní mechanická práce při odebrání třísky z obráběného materiálu mění na tepelnou energii. Toto teplo dává za vznik vysoké teplotě v místě řezu, která může dosahovat hodnot až 1200°C. Tyto vysoké teploty pak mohou nepříznivě ovlivňovat opotřebení nástroje, stejně tak jako výslednou kvalitu a jakost obrobené plochy. Odvod toho tepla z míst vzniku je pak realizován všemi způsoby přenosu tepla, tedy vedením (přímý styk – v oblasti tvoření třísky), prouděním (styk mezi tělesem a okolním prostředím), zářením (elektromagnetické vlnění v prostředí). Z místa samotného řezu pak nejvíce tepla odchází samotnými třískami (40-95 %), dále pak obrobkem (5-45 %), následně nástrojem (1,5 – 5 %) a naposled se teplo odvádí do prostředí (1-8 %). Výjimkou je vrtání děr, kdy se největší část tepla (50-70 %) předává obrobku. [4] [1]

Výše uvedené teplotní vlivy se v průběhu stroje všechny projevují ve zvyšování teploty obráběcího stroje do chvíle, kdy je dosaženo tzv. ustálené teploty t_s . Ta je dána vztahem:

$$t_s = Q \cdot R + t_0$$

Přičemž:

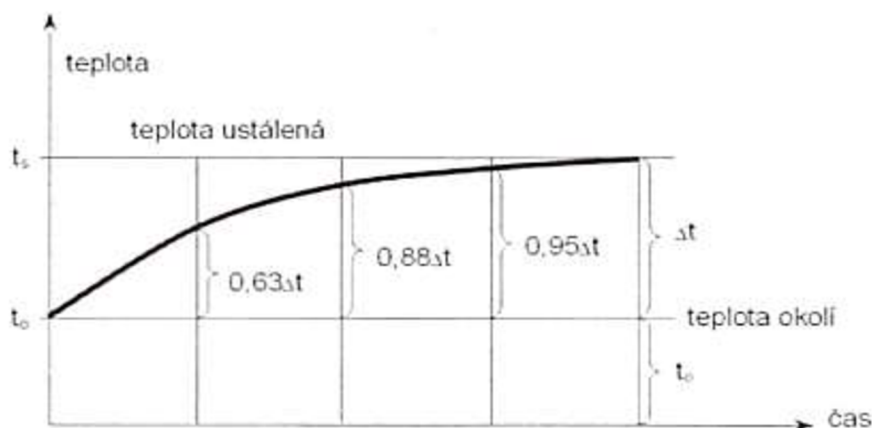
$$R = \frac{1}{\alpha \cdot S}$$

Kde:

R – teplotní přechodový odpor

α – součinitel přechodu tepla

S – velikost plochy předávající teplo



Obr. č. 38 Průběh zvyšování teploty stroje [1]

Abychom pak získali co nejnižší hodnoty ustálené teploty, přistupujeme k opatřením, která hodnoty snižují hodnoty R a Q. Těmito opatřeními rozumíme například snižování tepelného toku Q za pomoci chlazení zdrojů tepla nebo zvětšením velikosti plochy, která předává teplo. Můžeme též zvýšit koeficient α . [4] [1]

Nicméně průběh, dle obrázku č. 38, nastane jen za podmínky, plynulého a stejnoměrného provozu i zatížení bez přerušení provozu. Průběh teploty a deformací v čase není určité konstantní a rovněž není plynulý. Důvodem bývá například pomalý ohřev stroje po uvedení do provozu, přerušení provozu kvůli technické závadě či vnější rušivé vlivy jako náhlé ochlazení vzduchu v okolí stroje. [4] [1]

Základním parametrem pro konstrukci nosné soustavy je teplotní tuhost. Tu si lze představit jako odpor části stroje či uzlu vůči deformaci, která je způsobena teplotní změnou.

Teplotní tuhost nosné soustavy lze vůči vnějším i vnitřním vlivům upravovat a zlepšovat, a to těmito čtyřmi základními opatřeními: [4] [1]

1) Konstrukčními opatřeními

- Zvyšování účinnosti všech uzlů a prvků.
- Umístění zdrojů tepla mimo vnitřní prostor stroje (je-li to možné).
- Dodržovat zásady symetričnosti uzlů, podléhajících vlivu oteplování.
- Volit dělicí roviny uzlů tak, abych deformace byly v kritickém směru minimální.

2) Odvodem tepla

- Odvod vznikajícího tepla z mechanických částí stroje (ložiska, převody, vedení).
- Chlazení během řezného procesu nebo chlazení důležitého uzlu (vřeteník).
- Zajištění plynulého odvodu třísek z pracovního prostoru (lože).
- Dimenzování ploch pro odvod tepla (žebrování).

3) Kompenzací

- Využívání materiálů s různými součiniteli roztažnosti.
- Nahřívání určitých součástí stroje.
- Využívání teplotně-stabilizačních zařízení.

4) Klimatizací

- Udržování konstantní teploty v prostorách umístění obráběcího stroje.
- Kontrola proudění vzduchu.
- Clonění vůči záření..

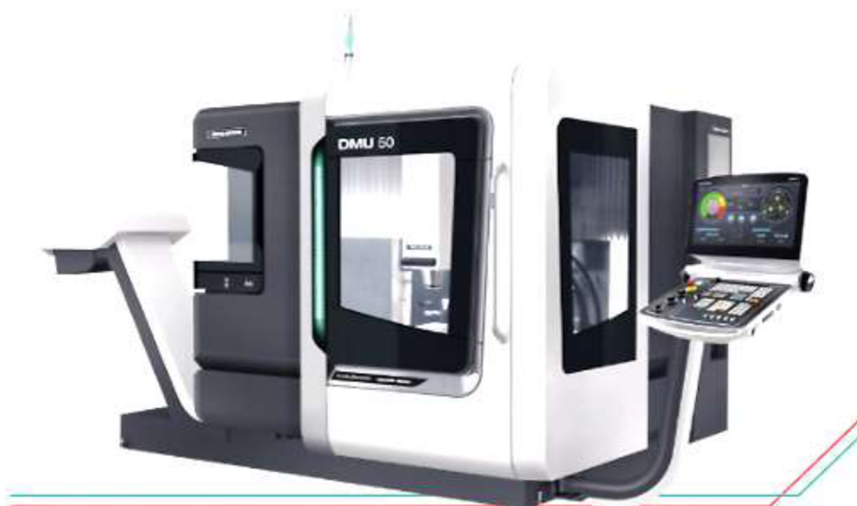


Obr. č. 39 Detail vnitřní části obráběcího stroje [30]
(šikmé lože pro dostatečný odvod třísek z místa řezu)

4 REŠERŠE KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

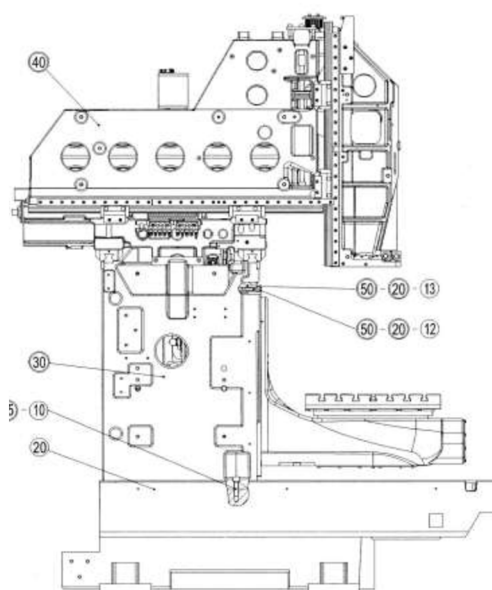
4.1 5-ti osá univerzální frézka DMG ecoMill 50/ DMU 50

První z uvedených příkladů je typický zástupce malých frézovacích strojů firmy DMG ecoMill50/DMU 50. Tyto stroje jsou si stavbou a provedením velice podobné. Obě varianty strojů disponují dopravníkem pro plynulý odvod třísek z místa řezu stroje.



Obr. č. 40 5-ti osá univerzální frézka DMU 50 (DMG Mori) [31]

Z hlediska konstrukce stroje mluvíme o tzv. tvaru rámu do písmene „C“. Spodní část písmene tvoří lože, které je uloženo na podlaze výrobní haly. K loži je připevněn nepohyblivý stojan, který ve spod nese vodorovnou konzolu s upínacím stolem. Na horním konci stojanu je na vodičích plochách vodorovně uložen příčník. Výslednou podobu tvaru písmene C rámu dodává uložení svislého vřeteníku.

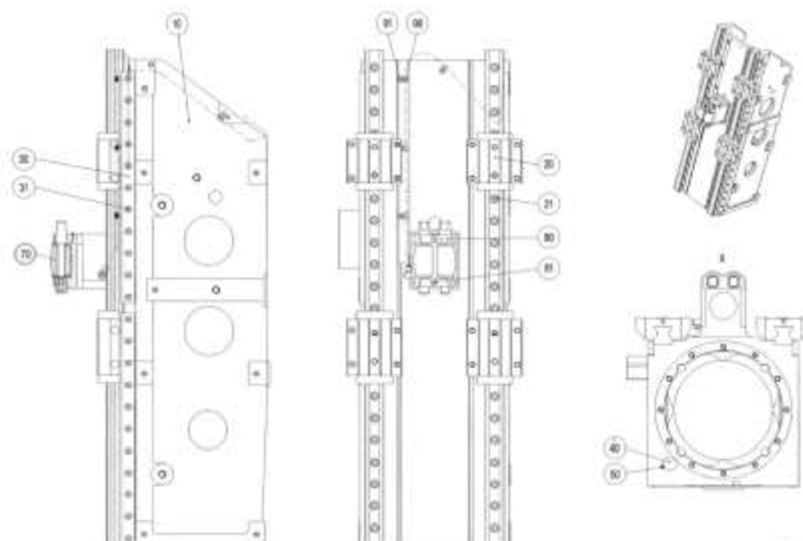


Obr. č. 41 Konstrukční provedení rámu frézky ecoMill50/DMU 50 [32]

4.1.1 Rám stroje

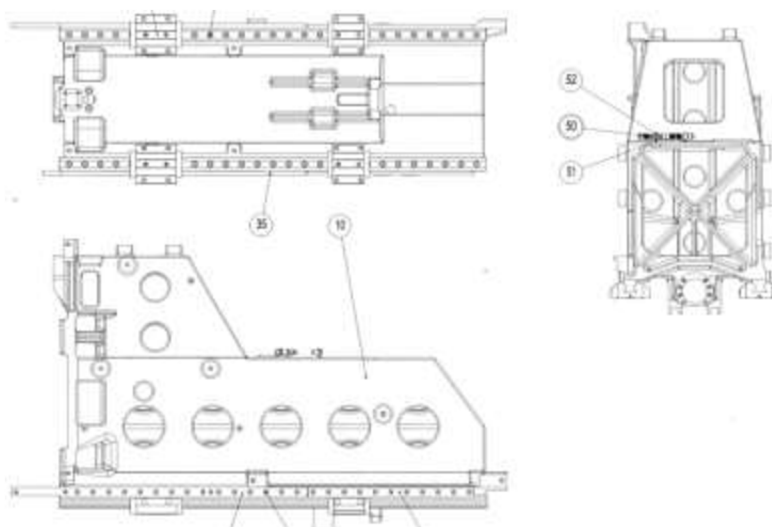
Jednotlivé části stroje jsou zhotoveny jako odlitky z tradičního materiálu (litinová ocel). Lože je ustaveno na 4 stavitelných podložkách, které jsou v přímém kontaktu s podlahou výrobní haly.

Stojan obráběcího stroje, který nese příčník, není žebrován. Vzhledem k velikosti stroje je zřejmé, že robustnost stojanu zajišťuje dostatečnou tuhost dílce.



Obr. č. 42 Stojan 5-osé frézky [32]

Oproti provedení stojanu jsou u příčníku patrné změny, a to především právě v žebrování dílce. V případě příčníku jsou stěny odlitku tenčí, což má za následek pokles statické tuhosti a dynamické únosnosti. Žebrování příčníku je v tomto případě prvkem, který naopak pomáhá zvýšit požadovanou tuhost a stabilitu dílce.



Obr. č. 43 Příčník 5-osé frézky [32]

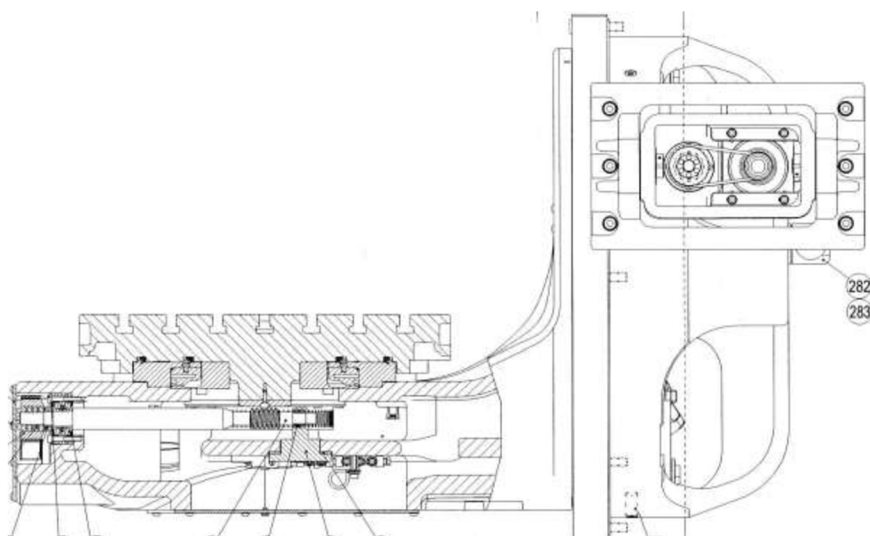
4.1.2 Technické specifikace

Maximální rozsahy pojezdu jednotlivých os vřetene

Vřeteno stroje pracuje ve 3 osách. Maximální pojezd v osách X, Y a Z jsou 500, 450 a 400 mm v tomto pořadí. Maximální rychlosti rychloposuvů v osách jsou shodně 30m/min. [31]

Upínací stůl

Pro umožnění 5-ti osého obrábění disponuje frézka rotačním upínacím stolem, který rovněž umožňuje naklápění podle osy B v rozsahu $-5/+110^\circ$. Průměr upínacího stolu je 630 mm a únosnost je stanovena na 300 kg. Z hlediska uspořádání stroje lze pak opracovávat obrobky maximální výšky 300 mm. [31]



Obr. č. 44 Detail provedení upínacího stolu stroje ecoMill 50/DMU 50 [32]

Vřeteno

Svisle umístěné vřeteno stroje disponuje výkonem 14 kW a točivým momentem 84 Nm. Maximální otáčky uváděné výrobcem jsou 18 000 ot/min. [31]

Zásobník nástrojů

Pro zkrácení neproduktivního času je frézka ecoMill50/ DMU 50 vybavena zásobníkem pro automatickou výměnu nástrojů. Podle konstrukčních variant disponuje zásobník 16, 30 nebo dokonce až 60 nástrojovými pozicemi. Pozice zásobníku může být obsazena, za podmínky volných sousedních polí, nástrojem o celkové délce 300 mm do maximálního průměru 130 mm. [31]

Přesnost a řízení

Frézka ecoMill50/ DMU 50 může být vybavena třemi různými řídicími systémy. Patří mezi ně kombinace Celos + Siemens (Sinumerik 840D), Celos + Mapps V nebo Heidenhain TNC 640. Všechny stroje jsou dále vybaveny ovládacími panely s dotykovým displejem. Řídicí systém obsahuje rovněž prvky přímého měření dráhy ve všech lineárních osách. [31]



Obr. č. 45 Základní konstrukce stroje DMU 50 (DMG Mori) [33]

4.2 Automatická pásová pila Herkules X-CNC 300x300

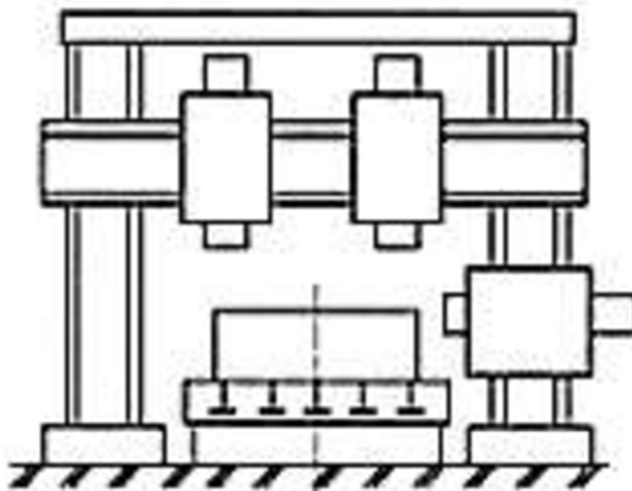
Tento typ pily je zřejmě největší stroj z produkce firmy Pegas Gonda. Jedná se o automatickou, hydraulicky ovládanou pilou, jejíž základní struktura je tzv. „Typ O“. Pila umožňuje řezání plných i dutých materiálů v kolmém řezu. [34]



Obr. č. 46 Automatická pásová pila Herkules X-CNC (Pegas Gonda) [34]

4.2.1 Rám stroje

Rám pily je podobný tomu, jaký je patrný na obrázku č. 47. Základem celého stroje je samozřejmě lože, na kterém jsou pohyblivě uloženy dva sloupce. Na těchto sloupech je pomocí čtyřřadého lineárního vedení uložen příčník, který nese vodící a napínací kladky společně s pilovým pásem. [34]



Obr. č. 47 Nosná soustava seskupena do písmene O [1]

Robustní konstrukce pily je navržena tak, aby stroj dokázal odolat extrémní námaze ve výrobních podmínkách a zároveň je umožněno využití karbidových pilových pásů. Těsné uložení ramene a sloupů, vzhledem k upínacímu svěráku pily, zaručuje minimalizaci vibrací. Z hlediska výroby komponent jednotlivých dílců soustavy se jedná výhradně o svařence, které zajišťují dostatečnou tuhost stroje a přesnost řezání. Přesnost řezání dodává také hlavní svěrák, jenž má dělenou čelist a je tak schopen fixovat materiál i před i za místem řezu. Zatím co jedna čelist svěráku je posuvná, druhá část čelisti (doraz) je pevně fixována. Pevnost sevření svěráku lze korigovat pomocí připojeného manometru a regulačního ventilu. Celým strojem prochází válečkový dopravník, který podpírá materiál po celé délce řezu. [34]

4.2.2 Technické specifikace a vybavení stroje

Maximální a minimální rozměry zpracovatelných polotovarů

Pila Herkules 300x300 umožňuje řezání kruhových i obdélníkových (čtvercových profilů), stejně tak řezání svazků. [34]

 mm	 mm	 a b a x b	 a b a x b
300	250*	300x300	300x220

Obr. č. 48 Přehled maximálních rozměrů základních profilů polotovaru [35]

Z hlediska minimálních rozměrů tak výrobce stanovuje nejmenší dělitelný průměr na 30 mm a nejmenší délku odřezku 10 mm. [34]

Hodnoty posuvů materiálu

Podavač pily je schopen jednorázově posouvat materiál v rozmezí 3-500 mm. V případě vícenásobného posuvu roste hodnota až na 10 000 mm. [34]

Výkonnostní parametry

Celkový příkon stroje je téměř 6 kW, přičemž polovina je využita na pohon pilového pásu. Zbývající část příkonu spotřebují vedlejší mechanismy stroje. Stroj vyžaduje elektrické zapojení 3x 400V při frekvenci 50 Hz. [34]

Řezné specifikace

Řezné rychlosti pily Herkules se pohybují v rozmezí od 20 až do 100 m/min, přičemž je možné tyto rychlosti plynule nastavovat. Pilový pás, který pila využívá má rozměry 4520x34x1,1 mm. [34]

Řídicí systém

Pila Herkules je vybavena jednotkami PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200. Rovněž je celý stroj řízen právě systémy značky Siemens. Součástí stroje je také dotykový displej, který kromě komunikace obsluhy se strojem znázorňuje pracovní stavy související s řezným procesem. Pila může pracovat ve dvou režimech. Poloautomatickém, kdy obsluha používá podavač k manipulaci s polotovarem, anebo automatickém, kde podavač pracuje automaticky na základě zadaného programu. [34]

Výbava stroje

K základní výbavě stroje patří především skluz pro odříznutý materiál a dopravník zajišťující dostatečný odvod třísek vč. zásobníku. Dále je stroj v základu vybaven LED osvětlením v pracovním prostoru. Dále ke standardní výbavě stroje patří například automatický systém dopínání pilového pásu, kryt pilového pásu, kartáč pro čištění pásu, nebo chladicí systém na řeznou emulzi. [34]

4.3 Soustružnické obráběcí centrum CTX gamma 1250 TC DMG MORI

Jedná se o zástupce firmy DMG Mori v oblasti obráběcích center na rotační součásti. Díky vybavení protivřetenem nabízí tento stroj šestistranné obrábění, vysokou flexibilitu obrábění a snížení výrobních časů.



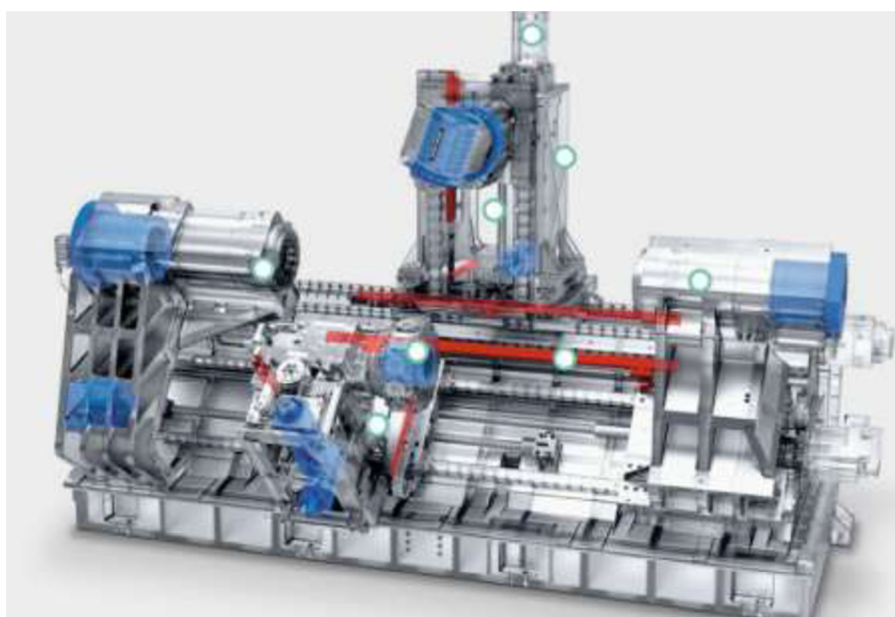
Obr. č. 49 Soustružnické obráběcí centrum CTX gamma 1250 TC (DMG Mori) [35]

4.3.1 Rám stroje

Rám tohoto stroje odpovídá dnes již klasickým standardům. Z klasického materiálu (litá ocel) odlité šikmé lože, aby byl zajištěn dobrý odvod třísek. K vedení uloženému na loži jsou připevněny obě vřetena stejně. Rovněž je na loži uložena také nástrojová hlava pro soustružnické nástroje. Na loži samotném je připevněn sloup, který nese frézovací vřeteno. [36]



Obr. č. 50 Nosná soustava stroje CTX gamma 1250 TC (DMG Mori) [37]



Obr. č. 51 Detail rámu stroje CTX gamma 1250 TC (DMG Mori) [37]

Z obrázku č. 51 je patrné, že jsou prvky rámu stroje jednoduše žebrované za účelem zvýšení tuhosti a stability stroje. V případě sloupu nesoucího frézovací vřeteno je použito žebrování diagonální do kříže. V případě lože je voleno klasické „krabicové“ žebrování. Zbývající barevné prvky značí teplotní senzory (zelená kolečka), chlazené elementy stroje (modré prvky) a systémy lineárního měření (červené prvky). [36]

4.3.2 Technické specifikace

Pracovní prostor

Pracovní prostor obráběcího centra je limitován především průměrem a délkou obráběné části. Maximální průměr pro soustružení je 700 mm, zatím co maximální délka soustružení je 1300 mm. Maximální průměry, které lze upínat do sklíčidel, lze upravovat právě na provedení sklíčidel. [36]

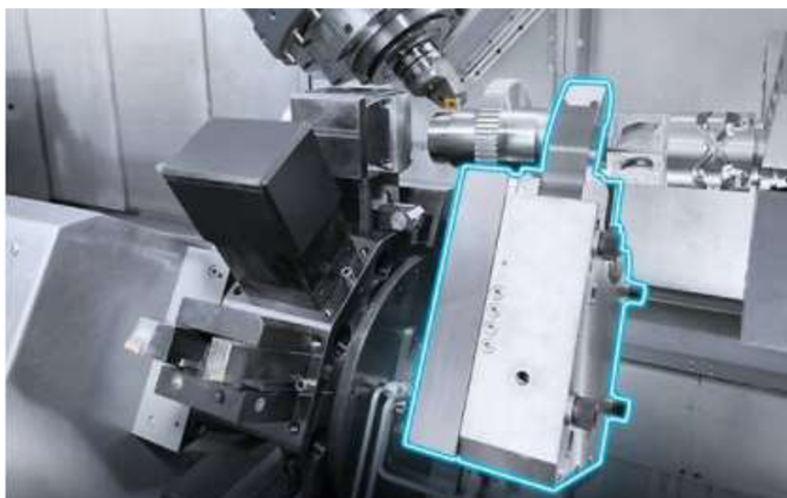
Vřeten a protivřeten

Výhodou strojů z řady CTX je vybavení protivřetenem, které zjednodušuje proces obrábění. Stroj je schopen samostatně změnit uchopení obrobku z jednoho konce na konci druhém. Nicméně z hlediska posuvů je pohyb protivřetene omezen. Smykadla protivřetene umožňují maximální posuvy v osách X, Y, Z o těchto hodnotách 800/210/1300 mm. [36]

Z hlediska výkonů jednotlivých vřeten je nejvýkonnějším samozřejmě hlavní soustružnické vřeten o výkonu 50 kW při kroutícím momentu 3400 Nm. Sklíčidla vřetene umožňují upnutí obrobku o maximálním průměru 127 mm. [36]

V pořadí výkonu se jako druhé umístilo pomocné protivřeten, s celkovým výkonem 40 kW při kroutícím momentu 1700 Nm. Posledním zůstává frézovací vřeten s kroutícím momentem přibližně 160 Nm. Toto frézovací vřeten umožňuje natočení v ose B v rozsahu $-120/+120^\circ$. [36]

Rovněž lze stroj vybavit i hydraulickou, samostředící lunetou pro přidržení delších hřídelí. Tato luneta je připevněna na nástrojovou hlavu. [36]



Obr. č. 52 Uložení lunety na nástrojové hlavě [35]

Zásobník nástrojů

V klasickém provedení strojů lze využít diskové zásobníky nástrojů pro 24 nebo 36 kusů. Rovněž lze tyto stroje vybavit pásovým zásobníkem nástrojů, které dokážou pojmut až 180 kusů nástrojů do celkové hmotnosti 750 kg. [36]

Stroj lze také dovybavit přídatným zásobníkem dlouhých a těžkých nástrojů (nad 700 mm a 15 kg), které se využívají při obrábění hlubokých děr v tyčích. [36]



Obr. č. 53 Pásový zásobník pro 180 kusů nástrojů [35]

Přesnost a řízení

Řízení celého stroje probíhá v software značky Siemens (Sinumerik 840D). Stroj je samozřejmě vybaven operačním panelem s dotykovým displejem a tlačítky se systémem CELOS. [36]

Přesnost výroby a stroje je kontrolována systémem přímého měření ve všech osách pomocí technologie Magnescale. K přesnosti rovněž přispívá i zvyšování teplotní stability. Té je dosahované kapalinovým chlazením motorů vřeten v osách X/Y/Z a rovněž také chlazením všech pohonů revolverových hlav. [36]

5 ZÁVĚR

5.1 Shrnutí

V průběhu celé práce jsme se sekávali s názorem, že konstrukce obráběcích strojů se ubírá směrem dopředu, vzhledem k rychlosti a přesnosti výroby, stejně jako rostoucí tendence o snižování výrobních nákladů.

Tato idea je tím základním kamenem ve výrobě obráběcích strojů. Nutno je však podotknout, že se z hlediska vývoje nových řešení jedná stále o poněkud konzervativní přístup. Současné způsoby výroby ráků, stejně tak jako volba materiálů, ze kterých jsou rámy vytvořeny, se z časového hlediska vyvíjejí jen málo. Jako důvod tohoto přístupu můžeme uvést především ekonomické hledisko, neboť volba netradičních materiálů a netradičních konstrukčních procesů si samozřejmě žádá zvýšení výrobních nákladů. Na druhé straně ovšem stojí skutečnost, že pro většinu průmyslové výroby, jsou v dnešní době využívané postupy konstrukce vhodné a do jisté míry také vyhovující. Skutečnou otázkou tedy zůstává, jestli si vývoj nových technologií vyžádá změnu konzervativních řešení konstrukce nosných soustav.

Současná řešení konstrukce jsou obecně považována za vhodná v podstatě ze všech svých hledisek. Volba především tradičních materiálů, jako jsou ocel nebo litina, společně s postupy výroby zaručují dostatečně kvalitní výsledky obráběcích procesů. Vzniklé rámy disponují výbornou tuhostí, dynamickou i teplotní stabilitou a umožňují tak vznik požadovaných výrobků v požadované přesnosti, kvalitě a rovněž také v relativně nízkém čase. Dnes běžně používaná řešení a provedení strojů jsou v rámci ekonomického hlediska rovněž poměrně přijatelné, především v porovnání se stroji, které jsou vyrobeny například z netradičních materiálů jako jsou polymerbetony, nebo kompozity.

5.2 Vlastní postřehy

Během psaní bakalářské práce jsem se potkával především s postojem vůči vývoji nových konstrukčních řešení ráků a nosných soustav obráběcích strojů. V oblasti vývoje a testování soustav, vzhledem k namáhání jednotlivých částí rámu a připojených součástí vlivem obráběcího procesu, bych navrhoval využití 3D tisku. V současné době se metody 3D tisku dostávají do popředí a zaznamenávají velkou oblibu a rozmach mimo jiné i v oblasti strojírenství. Vzhledem k běžnému konstrukčnímu procesu se jedná o metodu, která je minimálně rychlejší. V případě vývoje nových konstrukčních řešení by bylo možné tuto metodu využít k tvorbě například žebrování konstrukčních prvků jako jsou stojany, příčníky nebo ramena. V případě jednodušších, méně namáhaných částech ráků, by bylo možné využití metod 3D tisku k výrobě celé této součásti.

Využití metody 3D tisku by mohlo především výrobcí ušetřit čas, námahu spojenou s výrobou přípravků využívaných ve výrobě dílu, případně rámu. V případě využití vhodného materiálu by výsledná konstrukce mohla být lehčí a zároveň by si zachovala dostatečnou pevnost, stabilitu a tuhost.

Z hlediska teplotní stability rámu a obráběcího procesu samozřejmě existují varianty chlazení důležitých uzlů, případně využití procesních kapalin, které jsou vedeny přímo do místa řezu. Nicméně bych jako jeden z možných způsobů viděl kapalinové chlazení zahříváných částí stroje. Inspiraci pro tento způsob jsem získal ve vodním chlazení počítačových skříní. Čerpadlo, které by bylo umístěno vně stroje by bylo napojeno na chladicí okruh, který by obíhal kolem nejvíce tepelně zatížených částí stroje a jím by proudila voda o nižší teplotě. Tok vody by takto proudil, ochlazoval by zahřáté komponenty a tím by snižoval riziko vzniku teplotních dilatací a zvyšoval teplotní stabilitu během obráběcího procesu. Chladícím médiem by mohla být obyčejná voda, případně tekutý dusík či jiné varianty.

Každopádně by tento chladicí systém vyžadoval speciální přístup při samotné konstrukci rámu a stroje což by s největší pravděpodobností znamenalo i zvýšení výrobní ceny.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1
- [2] VAŠÍKOVÁ, Simona. *Moderní CNC obráběcí stroje a jejich vývoj*. Brno, 2019. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=193681. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
- [3] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0470-1.
- [4] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2. vyd. Brno: VUT, 1991. ISBN 80-214-0361-6.
- [5] TOBOLKA, Ondřej. *Využití netradičních materiálů ve stavbě horizontálních vyvrtávacích strojů*. Brno, 2018. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=174282. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Prof. Ing. Jiří Marek, Dr.
- [6] *CNC soustružnické centrum s protivřetenem L300MSC* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/cnc-stroje/cnc-soustruznicke-centrum-s-protivretenem-l300msc>
- [7] Soustružnická centra I SP Line. *Kovosvit* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-430-p13.html>
- [8] Vertikální obráběcí CNC centrum HEDELIUS ACURA 65. *Mrm-machinery.cz* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://mrm-machinery.cz/stroje/vertikalni-obrabecci-cnc-centrum-hedelius-acura-65/>
- [9] Horizontální ložová frézka MTE řada KT. *Mrm-machinery.cz* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://mrm-machinery.cz/stroje/vodorovna-lozova-frezka-mte-kt/>
- [10] Soustružnicko-obráběcí centrum MCU 1100 V[T] - 5X. *Kovosvit MAS* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcu-1100vt-5x-p40.html>,
- [11] *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. [online]. 3. Praha: MM publishing, 2014 [cit. 2021-02-09]. ISBN 978-80-260-6780-1. Dostupné z: <https://ndk.cz/view/uuid:3af97840-7e1c-11e5-ac67-005056827e51?page=uuid:cdc8d6d0-a418-11e5-b404-005056825209>
- [12] MAREK, Jiří a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV*. Brno: MM publishing, 2018. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [13] MAREK, Tomáš. Predikování vybraných vlastností rotačních kinematických dvojic obráběcích strojů. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/122509>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [14] *Střední odborná škola technická, Uherské Hradiště* [online]. Uherské Hradiště, 2012 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/mod-konstr-cnc.pdf>
- [15] HABR, Jaroslav a Jaromír VEPŘEK. *Systémová analýza a syntéza*. 2. přepr. vyd. Praha: SNTL, 1986, 316 s.

- [16] HANZAL, Jiří. *Metody kompenzace teplotní chyby obráběcího stroje*. Brno, 2017. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=157089. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Minář
- [17] Portálové frézovací stroje – řada TREX. *Machtrade* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.machtrade.cz/frezovani/maxmill/portalove-frezovaci-stroje-rada-trex/>
- [18] Lože stroje od firmy Stolle. *Slévárna Stolle* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.slevarna-stolle.cz/obory-pusobnosti/upinaci-technika/loze-stroje/>
- [19] Special Constructions. *Oelze.de* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://oelze.de/en/special-constructions/>
- [20] Radiální vrtačka KNUTH R100. *Pilart.cz* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.pilart.cz/produkt/radialni-vrtacka-KNUTH-R100-330/>
- [21] Open House DMG/MORI SEIKI Bielefeld 2013. *Technika a trh* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.technikatrh.cz/obrabeni/dmgmori-seiki-v-bielefeldu>
- [22] MACHUTA, Jiří. Výrobky z hliníkové pěny. *MM publishing* [online]. 2007, [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyrobky-z-hlinikovepeny.html>
- [23] Obráběcí centrum pro rotační součásti – DMG. *Industry Arena* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://en.industryarena.com/dmgmori/gallery/ctx-510-ecoline-1740.html>
- [24] Obráběcí centrum pro nerotační součásti – DMG. *Malerenew* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://malerenew.weebly.com/dmg-ecomill-50-price.html>
- [25] Mutifunkční obráběcí centrum MCV 2318. *Tajmac-ZPS* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/multifunkcni-obrabeci-centrum-mcv-2318>
- [26] VRBA, Pavel. *Využití sendvičové struktury pro stojanové těleso obráběcího stroje*. Praha. Dostupné také z: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf/VrbaPavel-328059.pdf>, Seminární práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce prof. Ing. Jaromír Houša, DrSc.
- [27] Gumové ustavovací prvky – Série ALTA. *TST servis a.s.* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.tstservis.cz/obrabeci-stroje/prislusenstvi-ke-strojum/gumove-ustavovaci-prvky/gumove-ustavovaci-prvky-alta/>
- [28] Tlumící a antivibrační desky a podložky Bilz. *Servistek.cz* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.servistek.cz/bilz-desky-podlozky?itemsPerPage=11>
- [29] Frézování forem bez vibrací? *Infocube.cz* [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://infocube.cz/cs/frezovani-forem-bez-vibraci/>
- [30] CNC soustruh s šikmým ložem DL 20M. In: *Strojzeman.com* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.strojzeman.com/produkt/388-cnc-soustruh-s-sikmym-lozem-dl-20m>
- [31] Univerzální frézka DMU 50. *DMG MORI* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu/dmu-50-2nd-generation>
- [32] *Technická dokumentace stroje ecoMill50 DMG Mori*.
- [33] Specifikace – E-paper DMU50. *DMG MORI* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://media.dmgmori.com/media/epaper/DMU_50_2G_uk/index.html#6

- [34] Pásová pila 300x300 Herkules X-CNC. *Pily Gonda* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.pilygonda.cz/pasova-pila-300x300-herkules-x-cnc>
- [35] 300x300 Herkules X-CNC - Katalog. *Pily Gonda* [online]. [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.pilygonda.cz/files/300x300-herkules-x-cnc-katalog-2018.pdf>
- [36] CTX gamma 1250 TC. *DMG MORI* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/soustruzeni/soustruzeni-frezovani/ctx-tc/ctx-gamma-1250-tc>
- [37] E-Paper CTX TC. <https://media.dmgmori.com> [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: https://media.dmgmori.com/media/epaper/CTX_TC_ENUK_01-19/index.html#32
- [38] Steady rest for turret. *DMG MORI* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/digitization/integrated-digitization/production/technology-cycles/steady-rest-for-turret>
- [39] Cyklus třídění nástrojů. *DMG MORI* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/digitization/integrated-digitization/production/technology-cycles/cyklus-trideni-nastroju>

7 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	CNC obráběcí centra pro rotační součásti
Příloha 2	Schéma variant obráběcích CNC strojů pro nerotační součásti podle vodorovné/svislé osy Rozdělení víceosých obráběcích CNC strojů CNC obráběcí centra pro nerotační součásti
Příloha 3	Multifunkční CNC obráběcí centra

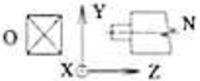


CNC soustružnické centrum s protivětenem L300MSC [6]



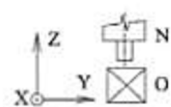
CNC soustružnické centrum SP 430 [7]

OBRÁBĚCÍ CENTRA NA NEROTAČNÍ SOUČÁSTI S VODOROVNOU OSOU VŘETENA



3 souřadné osy v nástroji		2 souřadné osy v nástroji		1 souřadná osa v nástroji		žádná souřadná osa v nástroji	
Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj
0	XYZ 	X	YZ 	YZ	X	XYZ	0
	XZY 		ZY 	ZY		XZY 	
	YXZ	Y	XZ 	XZ	Y	YXZ	
	YZX		ZX 	ZX		YZX	
	ZXY 	Z	XY 	XY	Z	ZXY 	
	ZYX		YX 	YX		ZYX	

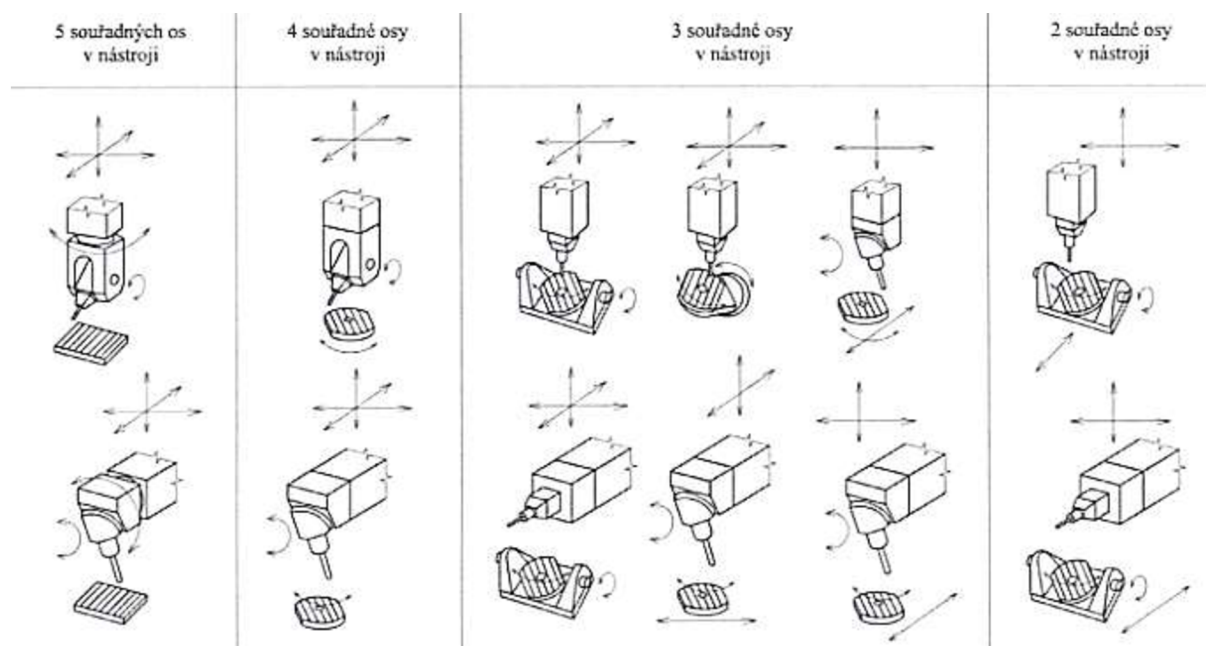
Obráběcí centra na nerotační součásti s vodorovnou osou vřetena [1]



OBRÁBĚCÍ CENTRA NA NEROTAČNÍ SOUČÁSTI SE SVISLOU OSOU VŘETENA

3 souřadné osy v nástroji		2 souřadné osy v nástroji		1 souřadná osa v nástroji		Žádná souřadná osa v nástroji	
Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj
0	XYZ 	X 	YZ 	YZ —	X —	XYZ —	0
—	XZY —		ZY 	ZY —	—	XZY —	—
	YXZ 	Y 	XZ 	XZ —	Y —	YXZ —	—
—	YZX —		ZX 	ZX —	—	YZX —	—
—	ZXY —	Z —	XY —	XY 	Z 	ZXY —	—
—	ZYX —	—	YX —	YX 	—	ZYX —	—

Obráběcí centra na nerotační součásti se svislou osou vřetena [1]



Rozdělení víceosých CNC obráběcích center pro nerotační součásti [1]



Vertikální CNC obráběcí centrum pro nerotační součásti Hedelius Acura 65 [8]



Horizontální CNC obráběcí centrum pro nerotační součásti MTE, KT-3200 [9]



Soustružnicko-frézovací CNC obráběcí centrum MCU 1100 V[T] – 5X [10]