

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

POLYMERBETONOVÝ RÁM SVISLÉHO SOUSTRUHU

POLYMERCONCRET FRAME OF VERTICAL LATHE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN BUKSA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Bronislav Foller, Ph.D.

BRNO 2008

Anotace/ abstrakt

Buksa Jan

Polymerbetonový rám svislého soustruhu

Diplomová práce, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, VUT FSI v Brně

Tato práce popisuje konstrukci a výpočet lože svislého soustruhu navrženého dle požadavků firmy TOSHULÍN, a. s. Informace v ní obsažené nepředstavují jen souhrn teoretických znalostí, ale měly by posloužit také prakticky jako vodítko pro stavbu loží svislých soustruhů z tohoto materiálu. Přístup je specifický z důvodu, že je nutné dodržet funkční rozměry v současné době vyráběné součásti, která je používána pro stavbu současných svislých soustruhů.

V práci je obsažen návrh konstrukce, který dává v určitých ohledech lepší výsledky mechanických, dynamických a teplotních vlastností tohoto dílce.

Klíčová slova: polymerbeton, lože, svislý soustruh, rám

Annotation/ abstract

Buksa Jan

Polymerconcrete frame of vertical lathe

Diploma thesis, Institute of Production Machines, Systems and Robotics, FME

This work describes construction and calculation of vertical lathe bed designed by request of company TOSHULIN. Apart from a sum of theoretical knowledge, the information contained in it should also serve in practice as a comprehensive guidance for construction vertical lathe bed from this material. The approach is specific by reason of that is necessary to observe functional proportions at contemporary producing part, which is used for construction vertical lathes.

There is a design of construction in this work, which gives better results mechanic, dynamic and thermal features of this part in some way.

Key word: mineralconcrete, vertical lathe, vertical lathe bed, polymerconcrete, frame

Bibliografická citace

Buksa, J. *Polymerbetonový rám svislého soustruhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bronislav Foller, Ph.D.

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování DP a že jsem celou DP včetně příloh vypracoval samostatně. Ustanovení předpisu pro vypracování DP jsem vzal na vědomí a jsem si vědom toho, že v případě jejich nedodržení nebude vedoucím DP moje práce přijata.“

V Brně

.....

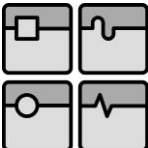
Jan Buksa

Poděkování

Rád bych poděkoval všem lidem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě mé diplomové práce. Zvláště bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Bronislavu Follerovi, Ph.D. Vedoucímu skupiny vývoje na VCSVTT panu Ing. Janu Smolíkovi za poskytnuté informace a kontakty, dále pracovníku firmy Schneeberger Ing. Janu Patočkovi za odborné a přínosné rady v průběhu práce na diplomové práci a neposlední řadě panu Ing. Petru Sedláčkovi, Ph. D. za přínosné připomínky při výpočtech.

Obsah

1. Úvod	9
1.1. Popis zadání	9
1.2. Profil společnosti.....	9
1.2.1. Historie firmy.....	9
1.2.2. Výrobní program.....	9
2. Rešerše.....	10
2.1. Literární rešerše.....	10
2.1.1. Kompozitní materiály	10
2.1.2. Částicové kompozity.....	12
2.1.3. Polymerbeton	13
2.1.4. Technologie výroby	18
2.1.5. Konstrukce a druh forem	21
2.1.6. Ekologie a zpracování po skončení užívání.....	22
2.1.7. Konstrukční zásady návrhu polymerbetonového dílu	22
2.2. Patentová rešerše a průzkum trhu	24
2.2.1. Patentová rešerše.....	24
2.2.2. Průzkum trhu.....	25
3. Návrh variant řešení	26
3.1. Původní konstrukční řešení	26
3.2. Konstrukční řešení polymerbetonového lože.....	27
3.2.1. Konstrukční uzly	28
3.2.2. Závěr konstrukční řešení polymerbeton	33
4. Analýza součásti pomocí MKP	34
4.1. Rozptyl materiálových konstant.....	34
4.2. Statická strukturální analýza	35
4.2.1. Zátěžové podmínky.....	35
4.2.2. Vyhodnocení.....	39
4.3. Analýza frekvenční (modální).....	47
4.3.1. Vyhodnocení.....	47
4.4. Analýza vlivu teplotních polí	50
4.4.1. Teplotní podmínky.....	50
4.4.2. Vyhodnocení.....	52
5. Technicko-ekonomické zhodnocení a závěr	55
6. Seznam použitých norem, obrázků a tabulek	56

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

6.1.	Seznam použitých norem	56
6.2.	Soupis obrázků a tabulek	57
7.	Seznam použité literatury	59
8.	Seznam příloh.....	60

1. Úvod

1.1. Popis zadání

Tématem zadání diplomové práce je řešení návrhu polymerbetonového lože svislého soustruhu pro firmu TOSHULIN. Zadání se skládá z rešerše zabývající se tématem použití polymerbetonu jako materiálu pro stavbu nosných prvků obráběcích strojů. Konstruktivního návrhu samotného lože za podmínky dodržení funkčních rozměrů lože. Analýza lože bude řešena tak, že budou porovnávány parametry současného řešení a nového návrhu za předpokladu totožného zatížení. Budou provedeny analýzy pružnotně-pevnostní, frekvenční analýza a analýza teplotně deformační.

1.2. Profil společnosti

1.2.1. Historie firmy



Založení firmy je datované do roku 1949, ve kterém byla zahájena výstavba strojírenského závodu. Firma se v roce 1951 zaměřila na výrobu obráběcích strojů, zejména pak svislých soustruhů. První svislý soustruh s plynulými posuvy, NC pravoúhlým řízením a kopírováním byl vyroben v roce 1959 na základě vlastní výrobní dokumentace. Tato verze strojů byla firmou dodávána jako jedna z prvních na světě. V roce 1974 již byly svislé soustruhy vybaveny automatickou výměnou nástrojů z patnácti polohového zásobníku.

Za dobu své existence dodala firma přes 13 000 obráběcích strojů do 58 zemí světa a jejím cílem je i nadále zachovat a rozvíjet spolupráci se zahraničními prodejci a zákazníky. Svislé soustruhy z TOSHULIN, a.s. jsou nasazeny v těžkých pracovních podmínkách často desítky let.

1.2.2. Výrobní program

TOSHULIN, a.s. vyrábí svislé soustruhy určené pro výkonné a přesné soustružení. Svislé soustruhy dále umožňují vrtat, řezat závit, frézovat a brousit. Stroje jsou nabízeny v osmi typových řadách: REV, SKIQ, SKA, POWERTURN, SKAT, SKL, SKG a POWERTURN Y s průměrem upínací desky 1250 až 4000 mm. Stroje mají dle velikosti příslušná číselná označení 12, 16, 20, 25 a 30.



Obrázek 1: Stroj řady SKA



Obrázek 2: Stroj řady POWERTURN Y

2. Rešerše

2.1. Literární rešerše

Cíl literární rešerše

Prozkoumání celosvětového trhu a rozšíření informací a vědomostí co se týče zadaného řešeného problému.

Prohledávaná místa

- google.com
- cnczone.com
- mmspektrum.com
- knihovna MZK
- katalogy firmy Epucet
- katalogy firmy Scheeberger
- knihy s tématy kompozitních materiálů

2.1.1. Kompozitní materiály

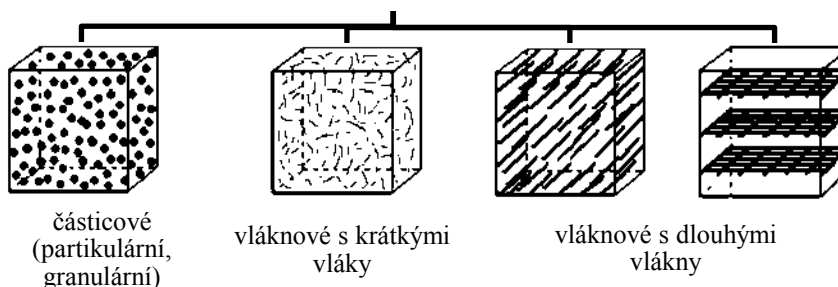
a) Vymezení pojmu kompozitní materiál

V nejobecnějším smyslu je téměř každý dnes užívaný materiál kompozitem, nalézt materiál používaný v čisté formě je velmi neobvyklé. Pod pojmem kompozitní materiál se rozumí heterogenní materiály tvořené dvěma nebo více materiálovými fázemi. Abychom však mohli mluvit o kompozitních materiálech, je třeba, aby se složky tvořící kompozitní materiál vzájemně výrazně lišily svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Většina je tvořena z jedné nebo více nespojitých „nosných“ fází nazývaných výztuž nebo plnivo, ponořených do spojitě složky nazývané matrice. V porovnání s matricí má výztuž obvykle výrazně vyšší mechanické vlastnosti tzn. je obvykle pevnější a tvrdší a tedy jejím hlavním cílem je zlepšení těchto vlastností v kompozitu.

Definice kompozitního materiálu: [1] *Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více (nejméně dvou) fází, nichž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoli složkou (fází) samostatně ani prostou sumací.*

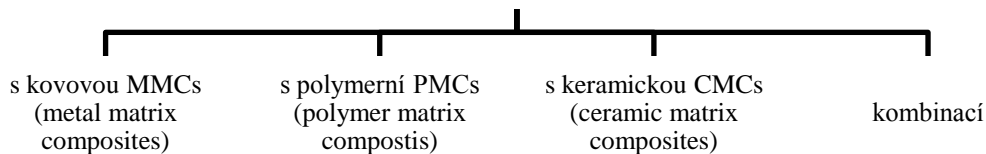
Kompozitní materiály lze dělit podle několika hledisek:

a) Podle struktury nebo geometrické charakteristiky dispergované (vložené) fáze



Obrázek 3: Rozdělení kompozitů dle struktury dispergované fáze

b) Podle druhu materiálu matrice, tedy základní spojité fáze (matrice)



Obrázek 4: Rozdělení kompozitů dle druhu matrice

Pro kompozitní materiály je dále charakteristické, že se vyrábějí mechanickým mísením jednotlivých složek. Tím se třeba liší od slitin s obsahem znečišťujících a legujících prvků, které jsou rovněž heterogenní, ale mezi kompozitní materiály je nemůžeme zahrnout, také protože jednotlivé složky mají téměř stejné fyzikální a mechanické vlastnosti. Navíc je množství znečišťujících a legujících prvků v porovnání se základním materiálem zanedbatelné. U slitin dále jednotlivé fáze vznikají fázovými přeměnami např. při tuhnutí a jsou tedy blízko termodynamické rovnováhy. Na druhou stranu lze některé typy slitin (eutektika) připravit se strukturou značně podobnou vláknovým kompozitům.

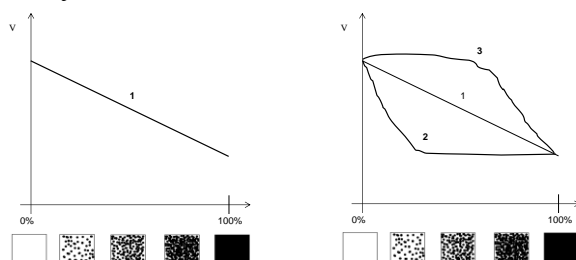
Mezi kompozitní materiály není možné zařadit plasty, které obsahují malá množství plniv, apertur, pohlcovačů ultrafialového záření a jiných materiálů usnadňujících výrobní proces. Malé množství přísad, ale nijak výrazně neovlivní mechanické vlastnosti.

b) Vlastnosti kompozitních materiálů

Rozhodující vliv na výsledné vlastnosti kompozitních materiálů má několik faktorů.

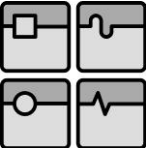
- **Vlastnosti jednotlivých fází** - tj. mechanické vlastnosti a jejich poměr (pevnost, modul pružnosti, Poissonův součinitel, pracovní diagram, mezní přetvoření)
- **Objemové zastoupení fází, jejich geometrický tvar a geometrické uspořádání** – tj. množství, orientace a průměrná vzdálenost dispergované fáze. Zde při popisu vlastností platí, že i pokud máme shodnou geometrii vyztužení, nejsou ještě zaručeny shodné vlastnosti.
- **Interakce jednotlivých fází a vlastnosti styku** – tj. schopnost přenosu zatížení z matrice do vyztužujících částic a samozřejmě naopak. Tato schopnost se dá jinými slovy nazvat soudržnost materiálů.
- **Interakce s okolním prostředím.** Tento parametr závisí do značné míry na třech předešlých parametrech.

Výsledné vlastnosti mohou být však dány nejenom prostým průměrem vlastností jednotlivých fází, ale také v případě vzájemného synergického působení složek může materiál získat vlastnosti natolik specifické, že je nelze považovat za pouhý průměr vlastností jednotlivých fází. Synergické chování složek tzv. synergismus znamená, že vlastnosti kompozitu jsou vyšší než by odpovídalo pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých fází.



Zastoupení plniva (černá barva) v %

Obrázek 5: Synergický efekt

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Nejvýznamnější charakteristikou kompozitních materiálů je možnost řídit jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti pomocí vhodné volby orientace vyztužovacích částic. S tím však velice úzce souvisí pojem anizotropie materiálu. Jsou-li tvar částic a jejich rozměry ve všech směrech přibližně stejné a jejich rozložení v matrici je homogenní, chová se pak kompozitní materiál jako izotropní, který má ve všech směrech v daném místě totožné vlastnosti. V případě, že bude převládat jistý směr v orientaci částic, můžeme dosáhnout silně anizotropních vlastností.

2.1.2. Částicové kompozity

Z důvodu toho, že polymerbeton patří mezi částicové kompozity, nebude již v dalším textu práce věnován prostor dalšímu rozsáhlému druhu kompozitů tj. – vláknovým

a) Kompozity I. typu

Hlavní charakteristikou tohoto druhu je, že dispergovaná fáze (plnivo) je segregovaná v matrici a nevytváří vlastní, svébytnou strukturu. U tohoto typu kompozitu hraje rozhodující roli interakce mezi částicemi plniva a matrice na molekulární úrovni. Obecně jsou částce mnohem menší než u dalších typů. Velikost se pohybuje v rozmezí cca 10-100nm. Mluvíme tak o disperzně zpevněných kompozitech a mechanismus zpevnění záleží především na vzájemném působení částic na pohybu dislokací uvnitř matrice. Dispergované částice mohou být kovové i nekovové. Tyto kompozity mohou mít kovovou, polymerní a minerální matrici.

b) Kompozity II. a III. typu

U těchto kompozitních materiálů je matrice většinou reaktoplastická a plnivo anorganické. Jejich plnivo je obecně tvrdší a pevnější než matrice. Materiály tohoto typu jsou tzv. polymermalty a polymerbetony.

Jedním z nejdůležitějších předpokladů dobrého výsledku je dokonalé promísení všech složek (monomeru, tvrdidla nebo iniciátoru, popř. urychlovače, plniva a ostatních přísad) a dále dokonalé zpracování zhutnění. Promísení a zpracování mimo jiné zajišťuje homogenitu směsi a minimalizaci zdrojů poruch a jejich šíření, zejména při mechanických namáháních.

Parametrem ovlivňujícím tyto systémy je geometrická formulace a uspořádání pojiva, jež ovlivňuje objemovou hustotu dispergované fáze, a tedy i její mezerovitost. Na obr. 6 je znázorněna polydisperzní soustava.

Pro zpracování je důležitá životnost směsi, tj. časový interval mezi okamžikem smísení složek a počátkem změny viskozity (tuhnutím).

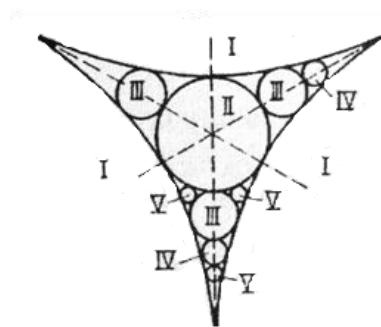
Během výroby je snaha o nejdokonalejší vytvrzení, maximální konverzi (přeměnu monomeru na polymer). Tato snaha se zakládá na tom, že každá nedokonalost vytvrzení znamená podstatné snížení odolnosti kompozitu vnějším vlivům -> ↓ trvanlivosti, pevnosti a jiných důležitých parametrů. Tvrdnutí je proces dlouhodobý a krátkodobé dotvrzení při zvýšené teplotě je vždy velmi prospěšné.

c) Minimální teoretická mezerovitost (pórovitost)

Monodisperzní systém	26%
Binární systém	14,5%
Ternární systém	6,5%
Polydisperzní systém	3.9%

Mezerovitost špatných směsí plniva je až 55%. V případě ideálně kulových částic jsou mezery mezi největšími primárními koulemi zaplněny menšími sekundárními koulemi, zbylé mezery jsou vyplněny koulemi terciálními atd. V případě použití velmi jemné výplně, se nedocílí nulové mezerovitosti (pórovitosti), protože mezerovitost klesá s vyššími řády tj. s menšími koulemi pomaleji a sebe menší koule nemohou vyplnit mezery beze zbytku.

Praktický význam polydisperzních neuspořádaných soustav (soustav s více než třemi frakcemi) je velmi malý, neboť zisk na hutnosti je s růstem počtu složek zanedbatelný nebo žádný.



Obrázek 6: Schéma polydisperzní soustavy

2.1.3. Polymerbeton

a) Základní charakteristika

Polymerbeton, jako jeden z nejčastěji používaných materiálů se řadí mezi částicové kompozity. Do této skupiny kompozitů, kromě polymerbetonu patří také cementový beton s vláknovou nebo textilní výztuží, dále částicové kompozity s kulovým plnivem.

Z polymerbetonu mohou být vyráběny odlitky v řádu několika kilogramů až několika tun, což dává široké možnosti pro jeho využití. Největší část odlitků je v současné době určena pro lože a podstavce výrobních a obráběcích strojů, které našly využití ve všech průmyslových odvětvích.

Polymerbeton (německy: Reaktionsharzbeton RHB, Polymerbeton, Mineralguß; anglicky: Polymer Concrete PC) je tvořen směsí polymerního pojiva s plnivem složeným z několika frakcí.

b) Plnivo polymerbetonů

Plniva tohoto materiálu jsou tvořena přírodními nerosty (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , Cr_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O) nebo jinými částicemi (skleněné a kovové kuličky, kovový prášek).

Převážně jsou při návrhu používána anorganická plniva přírodně nebo synteticky připravená se strukturou:

- vláknitou (mletá vlákna azbestová, skleněná, uhlíková, aramidová apod.)
- destičkovou (kaolín, slída, mastek, tuha, břidlice)
- práškovou (sklo, křemen, těživec, dolomit, vápenec, bauxit, čedič trihydrát oxidu hlinitého apod.)

Rozměry jednotlivých frakcí plniva se pohybují od 0,1mm (kamenná moučka) přes 2mm (písek) až 16mm (štěrk, kameny).

Důležité parametry při návrhu složení polymerbetonové směsi jsou tvar (granulomorfie) a velikost (granulometrie), rozdělení a hmotnostní podíl plniva.

Nejčastěji používané polymerbetony ve strojírenských aplikacích mají většinou jen tři až čtyři frakce plniva. Použijí-li se až velmi jemné frakce, i tak se nedocílí nulové mezerovitosti, protože mezerovitost klesá s vyššími řády. Tento fakt znamená, že i sebe menší částice nemohou vyplnit mezery beze zbytku.

Dále se doplňkově používají pro snížení mezerovitosti skleněné mikrokuličky z E-skla v pěti třídách zrnitosti 0-50, 0-100, 50-100, 75-150, a 120-200 μm nebo šedá litina a ocel.

Podobně jako u cementových betonů, i zde se k určení optimální směsi využívá Fullerovy a Thompsonovy křivky zrnitosti, z nichž je patrné, že minerální kompozit musí pro dosažení co možná nejlepších mechanických vlastností vykazovat kompaktní strukturu s co možná největšími zrny.



Obrázek 7: Plniva

c) Pojiva

Z hlediska klasifikace matric existují dva základní typy:

- termosety
- termoplasty

Obecně se u polymerbetonu používají, jako matrice používají termosety, jakými jsou například epoxidy, bismaleimidy, polyamidy, nenasycené polyestery, melaminy či fenol formaldehyd, jsou dodávány ve formě více či méně viskózní tekutiny s konzistencí řídkého medu tvořené relativně malými molekulami. Tyto jsou pak vytvrzovány po dodání katalyzátoru a iniciátoru. Vytvrzení probíhá buď za pokojové teploty, nebo za zvýšených teplot. Způsob vytvrzování do značné míry ovlivňuje výsledné vlastnosti. V ideálním případě po vytvrzení vzniká makroskopický výrobek, který je v podstatě makromolekulou.

Tento fakt způsobuje, že vytvrzený termoset zůstává v pevné fázi i po zahřátí, což zvyšuje jeho odolnost proti creepu a vysokým teplotám.

V současnosti se ve strojírenství používají zejména epoxidové pryskyřice, z důvodu malé objemové smržitelnosti po zatvrdnutí (1-5%). Pryskyřice, jako jsou pryskyřice polyesterové, akrylové, polyuretanové, furanové, metakrylátové mají objemové smrštění značně vyšší (až 12%).



Obrázek 8: Pojiva

d) Přísady klasických polymerbetonů

Mezi přísady patří barviva, látky snižující viskozitu, zlepšující zatékání ve formě, přilnavost a odvzdušnění. Smysluplnou kombinací všech složek systému pojivového systému lze nastavit přesně parametry pro konkrétní odlitek.

Také zde patří separační činidla přidávaná pro usnadnění vyjímání výrobků z forem.

e) Technické a mechanické vlastnosti polymerbetonů

Kvalitu polymerbetonu a zejména pak jeho pevnost je určena malou mezerovitostí (pórovitostí). Z tohoto faktu vyplývá, že čím je menší podíl pryskyřice ve směsi, tím jsou lepší pevnostní parametry.

Významné vlastnosti polymerbetonu:

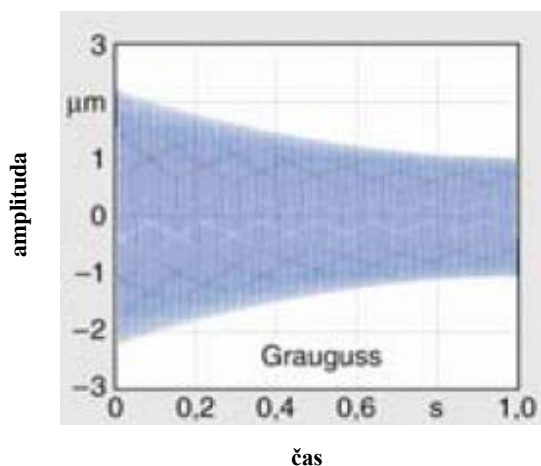
- Vysoká statická i dynamická tuhost
- Vysoká schopnost tlumení rázů
- Nízká teplotní vodivost, vysoká tepelná kapacita
- Odolnost proti abrazivním a agresivním mediím
- Odolnost proti korozi
- Vynikající teplotní bilance
- Konstrukční variabilita
- Možnost spojení dílů lepením
- Integrace funkčních částí do odlitku
- Rozměrová přesnost, minimální smrštění
- Nasákavost 0,13 % celkové hmotnosti
- Likvidace/Recyklace

Chceme-li porovnávat konstrukční materiály používané pro konstrukci nosných dílů obráběcích strojů, dobře k tomu poslouží tabulka 1.

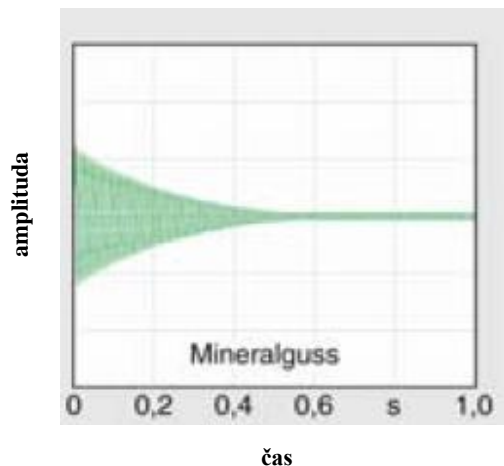
	OCEL	ŠEDÁ LITINA	GRANIT	POLYMERBETON
Hustota [kg/dm ³]	7,85	7,15	7,15	2,3
E-modul [10 ⁵ MPa]	2,1	0,8-1,4	0,47	0,3-0,6
pevnost v tahu [MPa]	350-470	200-400	22	10-40
pevnost v tlaku [MPa]	-	720	395	100-125
pevnost v ohybu [MPa]	-	290	38	25-35
tlumení - log. Dekrement [-]	0,0001	0,001	0,01	0,02-0,1
tepelná vodivost [W/mK]	47	50	-	0,8-1,3
specifická tepelná kapacita [J/kgK]	461	540	700-800	1000-1200
koeficient teplotní roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	11	11-12	8	11,5-14

Tabulka 1: Porovnání materiálových vlastností

Polymerbeton má 8 – 10x větší tlumení a pro porovnání jsou zde uvedeny příklady firemní literatury výrobců tohoto materiálu (Epucet, Schneeberger).



Obrázek 9: Šedá litina - tlumení



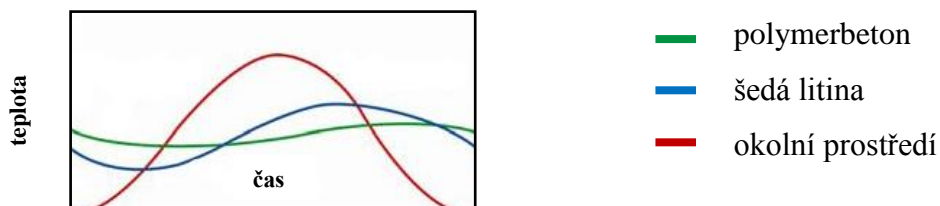
Obrázek 10: Polymerbeton – tlumení

Citováno z podkladů [2]:

Vlastní frekvence a vlastní tvary jsou u polymerbetonu posunuty mimo kritickou oblast a dále dochází ke snížení amplitudy kmitů při rezonanci a snížení hluku.

Použitím polymerbetonu pro stavbu stojanu obráběcího stroje dosáhneme lepší kvalitu obrobených ploch, vyšší životnost obráběcích nástrojů (až 30%) a snížení hladiny akustického tlaku (až 20%). Bylo to prokázáno u skříní převodovek a úchytů velkých motorů a odstředivek z polymerbetonu.

Přesnost obrábění je často ohrožena tepelnými deformacemi stojanu stroje



Obrázek 11: Odezva materiálu na změnu teploty

vnější tepelné vlivy

- proudění vzduchu ve výrobní hale
- tepelné vyzařování okolních strojů

vnitřní tepelné vlivy

- motory
- hydraulické agregáty
- vedení
- čerpadla
- vřetena

Z grafu lze určit, že díky velké měrné tepelné kapacitě v kombinaci s nízkou tepelnou vodivostí je odezva systému tvořeného z polymerbetonu na změnu teploty pomalejší než v případě šedé litiny. Na druhou stranu tento fakt nemusí být zcela jednoznačnou výhodou, protože tyto vlastnosti způsobují lokální přehřívání míst se silnými zdroji tepla a tím nerovnoměrné rozložení teplotních deformací.

Tento nedostatek lze však řešit:

- místní zlepšením vodivosti polymerbetonu
- symetrickou tepelnou konstrukcí
- oddálením zdrojů tepla od uzlů s vyššími požadavky na přesnost
- adaptronické systémy

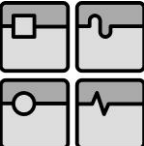
Citováno z podkladů [2]:

Polymerbeton lze považovat za izotropní homogenní materiál s lineární závislostí prodloužení na napětí v oblasti platnosti Hookova zákona.

Vzhledem k tomu, že z velké části přesnost obráběcích strojů závisí na tuhosti, odolnosti proti opotřebení vodících ploch, dynamické stabilitě a stálosti tvaru, nosných prvků je důležitým parametrem velikost E-modulu. Polymerbeton dosahuje maximální hodnoty E-modulu 60 GPa při největší zrnitosti (16mm).

Oproti oceli a šedé litině vykazuje polymerbeton o třetinu nižší tuhost a pevnost, což je kompenzováno odpovídající tloušťkou stěny a vede i přes nízkou hustotu minerálního kompozitu k vyšší hmotnosti odlitku - cca o 20 %.

Předpokladem, kterým je trojnásobná tloušťka stěny, tato však není k dosažení tohoto cíle překážkou. Je však nutné dodat, že nemá smysl přemýšlet o pouhé změně materiálu na polymerbeton a ztrojnásobení tloušťky stěny. Technologie je rozdílná a ve výsledku je obvykle dílec z co možná nejjednodušších rovinných tvarů. Při tomto postupu není ani nijak nutná změna vnějších rozměrů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Citováno z podkladů [2]:

Nosné prvky z polymerbetonu mají vlivem větších průřezů výrazně vyšší tuhost než litinové stojany. Nosník z polymerbetonu (E-modul 45 GPa) má oproti stejně těžkému nosníku z litiny až 3,5x větší specifickou tuhost (tuhost vztahenou na měrnou hmotnost), což znamená 3,5x menší průhyb při působení stejné velké síly.

Další významnou vlastností polymerbetonu je, že tento materiál nepodléhá korozi, má dobrou chemickou odolnost proti působení minerálních olejů, chladících kapalin, maziv, hydraulických olejů, čistících prostředků a dielektrik.

V porovnání polymerbetonu s klasickým cementovým betonem je vliv vlhkosti na objemové a rozměrové změny minimální. U kvalitních polymerbetonů můžeme dokonce říci, že je více hydrofobní než přírodní kámen a proto se používá pro výrobu desek měřících strojů.

Při technologickém procesu odlévání vzniká během ochlazování z teploty lití na provozní teplotu vlastní pnutí vlivem napětí při smrštění odlitku. Tyto pnutí jsou u polymerbetonu minimální, protože epoxidové pryskyřice mají nízkou smrštitivost a teploty vytvrzování nejsou vysoké. Polymerbetony mají výslednou smrštitivost 0,02-0,03% a v praxi byly naměřeny maximální hodnoty vnitřního pnutí 3 N/mm². Vnitřní pnutí vznikající vlivem obrábění jsou u polymerbetonu téměř vyloučena.

2.1.4. Technologie výroby

Jako každá jiná výrobní technologie, tak i zpracování polymerbetonu vyžaduje dodržení specifických výrobních postupů.

Fáze:

- dávkování
- smíchání plniv, pryskyřice a tvrdidla
- odlití do formy
- zhutnění
- odformování

Již od začátků používání polymerbetonu, což bylo zhruba v roce 1970, je objevily první automatické linky na přípravu směsi a odlévání. Jediným a podstatným důvodem bylo to, že ruční míchání a dávkování směsi není produktivní a není zaručena opakovatelnost kvality směsi.

Automatické výrobní zařízení pro výrobu polymerbetonů se skládá ze zásobníků pryskyřice, tvrdidla a plniv (většinou křemičitých písků a jiných drcených nerostů), pásu pro vážení složek, míchačky, střešacího stolu, licí kabiny a portálového jeřábu.

Aby bylo možno promíchat všechny složky dle receptury, jsou z oddělených zásobníků přiváděny v co nejkratším čase (u špičkových strojů přibližně 1s).

Velkou výhodou automatického dávkování je rychlá změna složení směsi.

Dávkování:

- Objemově dávkovacími šneky (sytké materiály)
- Dávkovací čerpadla (tekuté složky)
- Gravimetricky vážením na přesných vahách

Konkrétní hmotnostní podíl plniv a pojiva se odvíjí od výrobce, aplikace a receptury. Obvykle je však 90-93% podíl plniv a 7-10% pojiva. Jak bylo napsáno výše, platí, že čím je nižší podíl pryskyřice a vyšší podíl plniva, tím je vyšší kvalita směsi.

Fáze míchání:

- Promíchání odděleně plniva různých frakcí (zrnitostí) podle křivky zrnitosti a pryskyřice s tvrdidlem
- Smíchání všech složek do výsledné směsi

Principy míchání:

- Diskrétní míchání v korýtkové míchačce
- Plynulé míchání šneky

Obě metody jsou z hlediska kvality smáčení a stupně promíchání srovnatelné. Důležitým požadavkem na míchání je důkladné obalení všech zrn pryskyřičným pojivem. Přestože má výsledná směs vyšší viskozitu, dobře se odlévá.

Šnekové míchačky se, ale na rozdíl od klasických míchaček lépe vymývají, mají vyšší výkon a jsou snadno automatizovatelné. Moderní dávkovače a míchací zařízení mají výkon 6 -24 tun za hodinu.

Pro automatické vymývání šneků se používá malé množství acetonu.



Obrázek 12: Dávkovací systém



Obrázek 13: Míchací stroj

Odlévání:

- přímo z míchačky
- licími pánvemi

Protože odlévání objemných odlitků může trvat i několik hodin, lze podle potřeby nastavit dobu zpracovatelnosti směsi s epoxidovým pojivem v rozmezí 2-6 hodin. Výhodné je odlévat hned několik odlitků najednou, aby míchací zřízení bylo nepřetržitě v provozu a nemuselo být čištěno. Po odlití následuje setřásání k zhutnění a odvzdušnění. Relativním pohybem plniva se snižuje množství pórů.



Obrázek 14: Odlévání do formy

Principy setřásání a zhutnění

- setřásací stoly
- setřásáče v podobě vibračních motorů připevněných na vnější stěnu formy

Lepších výsledků se docílí na setřásacích strojích. Setřásací tyče používané v betonářství se neosvědčily.

Tvar a rozměry formy ovlivňují sílu a frekvenci setřásání. Obecně platí, že při setřásání deskových forem jsou lepší vyšší frekvence při malé síle a při setřásání velkých forem toto platí naopak.

Tato procedura nesmí trvat příliš dlouho, aby se příliš nenarušila homogenita směsi. Moderní setřásací stroje mají plynulou regulaci do 70Hz a zrychlení do 2,5g.



Obrázek 15: Vibrační stůl

Při vytvrzování dochází k uvolňování tepla, kdy se maxima pohybují v rozmezí 40-50°C. Během dalšího vytvrzování tepelný efekt zmizí a po zhruba 12-14 hodinách může být odlitek vyjmut z formy. Zpravidla pro výrobu jednoho odlitku v jedné formě stačí jeden pracovní den. Po 24 hodinách má odlitek konečné vlastnosti a lze jej dále mechanicky opracovávat. Odpadá dvoutměsíční stárnutí, jak je to běžné u litinových odlitků.

Vytvrzený polymerbeton je třeba vidět jako syntetický kámen. Metodami opracování přírodního kamene lze odlitky řezat, leštit, vrtat, brousit, pískovat apod.

V praxi se využívá obrábění (broušení) pouze u funkčních ploch k dosažení požadovaných tolerancí.

Dodatečné operace jsou ale spojeny s dalšími náklady, které jsou nesrovnatelně vyšší než náklady na vylepšení forem. Proto je nutné dodatečné opracování omezit na minimum.

Konečná montáž, lepení a odlévání přesných ploch se provádí v halách se stabilní teplotou (max. odchylka $\pm 0,5^\circ\text{C}$). Pro měření se používají elektronické vodováhy, citlivé úchylkoměry a jiné přístroje s tolerancí v μm .

Lesk je dán drsností povrchu vnitřních ploch formy a může být uzpůsoben přáním zákazníka.

2.1.5. Konstrukce a druh forem

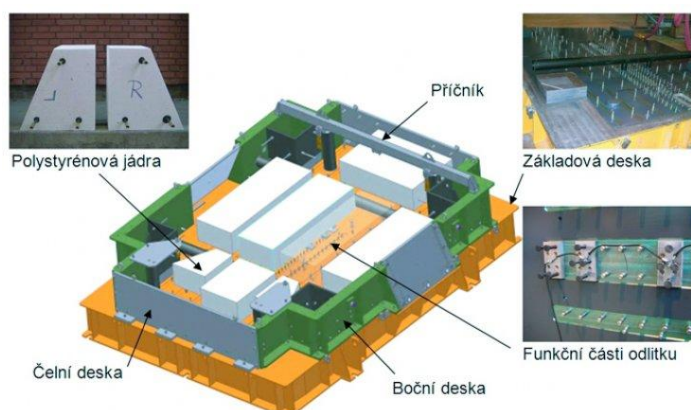
Materiály:

- Dřevo
- Pěnové plasty
- Hliník
- Dural
- Hliník
- Ocel

Materiál formy určuje počet plánovaných odlitků, požadovanou tvarovou přesnost a kvalitu jeho povrchu. Pro odlévání prototypů se používají dřevěné a plastové (sklolaminátové) formy s tvarovou přesností $\pm 0,5 \text{ mm}$. Formy pro malosériovou výrobu (30-40 odlitků) jsou ze dřeva s potahem z hliníkových plechů s dosažitelnou tvarovou přesností $\pm 0,2$ až $\pm 0,3 \text{ mm}$. Oblíbené jsou také kombinované formy se základovou deskou z oceli, stěn a můstek ze dřeva, plastu nebo hliníku. Formy určené pro sériovou výrobu (300-1000 odlitků) jsou z oceli a litiny s maximální tvarovou přesností $\pm 0,1 \text{ mm}$. Pro odlévání musí být jednoznačně určena vtoková soustava. Základní částí formy jsou pevné dno, stěny a můstky. Můstky slouží pro připevnění zálitků.

Při konstrukci formy je nutné zohlednit vlastní hmotnost formy, hmotnost polymerbetonové náplně, zatížení vibracemi při setřásání na vibračním stole a tepelné zatížení při exotermické reakci.

Formy se před odléváním separují vhodným separátorem. Tenká vrstva separátoru musí odolat otěru ostrých zrn plniva při setřásání. Tam, kde je separační vrstva porušena, dojde k přilepení k formě. Proces vyjmutí z formy je pak ztížen a na přilepených místech klesá kvalita povrchu.



Obrázek 16: Forma



Obrázek 17: Montáž formy

2.1.6. Ekologie a zpracování po skončení užívání

Polymerbeton splňuje všechny požadavky na ekologický materiál. Vytvrzený materiál je chemicky inertní a bez zdravotních rizik. Nepotřebné odlitky nebo jejich části mohou být skladovány na skládkách stavebního odpadu. Betonové bloky se mohou po oddělení ostatních částí zpracovávat drcením do směsí pro stavbu silnic a ostatní potřeby stavebnictví.

2.1.7. Konstrukční zásady návrhu polymerbetonového dílu

Stejně jako odlitky ze šedé litiny a svařované konstrukce musí být i odlitky z polymerbetonu dimenzovány dle specifických pravidel a zásad.

Funkční plochy odlitku, tedy plochy, kde je nutné dosáhnout co možná nejvyšší přesnosti, jsou umísťovány na nejužší místo formy - základovou desku. Základní tvar odlitku je navržen z jednoduchých rovinných elementů, čímž je zároveň určen tvar formy.

Jádrová technika obvyklá při výrobě litinových dílů se u odlévání polymerbetonu nedá prakticky použít. Vnitřní prostory navržené z důvodu snížení hmotnosti odlitku nebo z důvodu funkce se mohou vytvářet jen speciálně vyráběnými díly nebo ztracenými jádry. Ztracená jádra mohou být z pěnových hmot potažených odolnou fólií, z dřevěných kvádrů nebo plastových trubek.

Obecně platí pravidlo, že minimální tloušťka stěny odlévané součásti je dána 5-8x největší frakce plniva. Tenké stěny v horní oblasti odlitku (odvod chladicí kapaliny, montážní hrany pro připevnění vedení apod.) mohou být odlity dodatečně ze směsi s jemnějšími frakcemi než má polymerbeton podkladové masivní konstrukce.

Pro vyjmutí odlitku z formy je podle typu a velikosti formy nutný úkos $5^\circ \pm 2^\circ$. Na rozdíl od litiny jsou povoleny rozdílné tloušťky odlitku s prudkými přechody, protože vnitřní pnutí polymerbetonu je zanedbatelné. Úplně se upouští od bohatého žebrování tolik charakteristického pro litiny.

Nezpochybnitelnou výhodou dílů vyrobených z polymerbetonu je možnost použití integrovaných prvků s téměř neomezeným výběrem materiálu, z důvodu odlévání za studena, kdy je maximální teplota 40-50°C.

Další výhodou je možnosti zalití kromě upínacích závitů (montážních desek), tvarových můstků, také elektroinstalaci, hydraulické a pneumatické vedení nebo integrace čidel teploty a jiné elektroniky.

Z ekonomických a realizačních důvodů by měl být počet druhů upínacích zálitků co nejmenší, proto většina velkých výrobců nabízí jen tři standardní druhy: závitová pouzdra, nosné úchyty a desky pro připevnění lože nebo stojanu k podlaze.

Závitové pouzdro má na spodním konci hlavičku s šestihranem (není podmínkou) proti protočení a vytažení. Umístění pouzdra by mělo splňovat podmínku, že tloušťka stěny odlitku nebo vzdálenost pouzdra od hrany odlitku by měla být minimálně 3x vnější průměr daného pouzdra.

Do hotových odlitků lze vytvářet závity dodatečně buď zalisováním kovových „hmoždinek“ s vnitřním závitem nebo vlepením závitového pouzdra do připraveného otvoru. Tyto metody se používají ale jen okrajově ve stavbě prototypů.

Z hlediska zatížení jsou nejvíce zatíženým prvkem nosné úchyty se závěsnými šrouby pro upevnění jeřábového lana nebo řetězu. Pro zajištění dobrého spojení nosného úchyty s materiálem odlitku, je nosný úchyt tvořen v podstatě dvěma částmi a to válcovou závitovou částí a na ni navazuje zvlněný kruhový profil, tento profil může být ohnut do požadovaného tvaru dle aplikace.



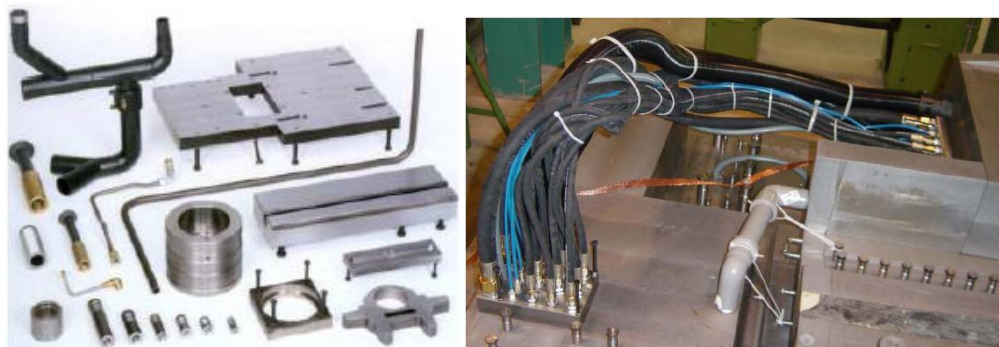
Obrázek 18: Závitové pouzdro (insert)



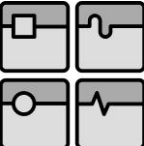
Obrázek 19: Nosné pouzdro

Speciální zálitky:

- kovové nebo plastové trubkové systémy (pneumatické a hydraulické rozvody, vedení chladicích kapalin, maziva). U těchto zálitků je třeba dbát na dostatečné množství materiálu kolem zálitku, toto však neplatí u pryžových potrubí, která lze vázat k sobě
- elektroinstalace
- okruhy topení a chlazení pro zajištění tepelné stability
- přesné plochy z kovových desek a lišt pro dodatečné opracování frézováním
- ochrana odlitku před mechanickým opotřebením z nerezových plechů
- vany a zásobníky z nerezového plechu pro řezné a chladicí kapaliny



Obrázek 20: Speciální zálitky

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Spodní část plošných zálitků by měla být zešikmená, aby se zde během odlévání nezadržovaly vzduchové bubliny a bylo tak zajištěno kvalitní odvzdušnění.

Všechny hrany odlitku by měly být zaoblené (vyloučení koncentrace napětí).

V odlitku mohou být otvory pro umístění ovládacích prvků, agregátů apod. Elektrické uzemnění stroje s elektricky nevodivým stojanem z polymerbetonu je realizovatelné např. zalitím drátů a zemnicích pásků, které propojí kovové zálitky (např. závitová pouzdra) se základovou deskou.

Polymerbetonový odlitek musí být navržen s minimálními požadavky na dodatečné mechanické opracování, které je srovnatelné s metodami opracování přírodního kamene. Lepení je ideální technologie pro spojování několika polymerbetonových částí.

Velmi důležitou součástí jsou plochy vedení (kluzná, hydrostatická, aerostatická), plochy uložení vřetene a ostatní přesné montážní plochy pro připevnění vodících lišt vedení, pravítek odměřování polohy nebo lineárních pohonů.

Dosažená geometrická přesnost závisí na volbě výrobní technologie. Technologie dodatečného obrábění zalitých kovových lišt a technologie přesného broušení podkladových ploch vedení jsou nákladné a používají se málo. Výhodnější je odlévání přesných ploch s měrkami přímo na polymerbetonový podklad s tvarovou přesností několik tisíc milimetrů, kde zároveň odpadají náklady na mechanické opracování.

Kovové vodící lišty jsou k upravenému odlitku připevněné většinou šrouby. Zalévání a lepení vodících lišt se nedoporučuje, protože vzniká tepelné pnutí způsobené rozdílnou tepelnou roztažností.

Vlivem špatného odvodu tepla např. z prostoru vřeteníku, kuličkového šroubu nebo zásobníku třísek může docházet k nerovnoměrnému přehřívání těchto skupin a k místním tvarovým deformacím stojanu. K důležitým opatřením patří využívání tepelně symetrických konstrukcí, zlepšení vodivosti kovovým plnivem nebo speciálními zálitky a zabudování okruhů ohřevu a chlazení.

V případě poškození odlitku - vrypy, rýhy, uražené rohy a dokonce v případě prasknutí celého odlitku se dají tyto nedostatky odstranit lepením nebo následným odlitím, při zachování stejných mechanických vlastností.

2.2. Patentová rešerše a průzkum trhu

2.2.1. Patentová rešerše

Cíl patentové rešerše:

Ověření, zda naše stávající konstrukční řešení není již patentováno.

Klíčová slova-anglická:

- mineral concrete
- vertical lathe
- vertical lathe bed

Klíčová slova-česká:

- polymerbeton
- minerální kompozit
- minerální litina
- mazání
- chlazení

Klíčová slova-česká:

- mineralguss
- Karusel - drehmaschine

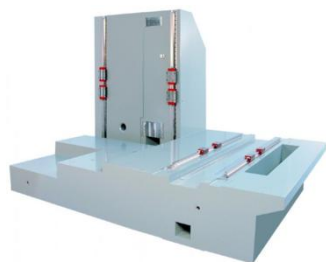
Prohledávaná místa:

- DEPATISNET.DE (Německý patentový úřad)
- UPV.CZ (Český patentový úřad)
- GOOGLE.COM/PATENTS
- USPTO.GOV (patentový úřad Spojených států amerických)

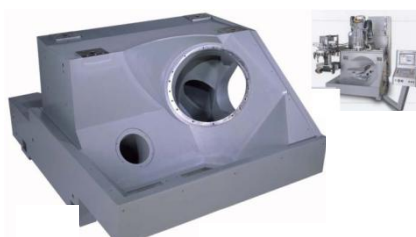
Výsledek patentové rešerše:

Na žádném prohledávaném místě nebyl nalezen patent, který by byl stejný, nebo podobný konstrukčnímu provedení tohoto lože nebo jeho uzlů.

2.2.2. Průzkum trhu



Obrázek 21: Lože laserového OS



2750kg

Obrázek 22: Lože frézovacího centra (DMG)



13500kg

Obrázek 23: Lože frézovacího centra (DMG)



4025kg

Obrázek 24: HSC centrum (CHIRON)



5500kg

Obrázek 25: HSC centrum (MIKRON)



4270kg

Obrázek 26: HPC centrum (MIKRON)



3490kg

Obrázek 27: Brousící stroj (Walter AG)



Obrázek 28: Lože brousících strojů

3. Návrh variant řešení

V této práci je po domluvě se zadavatelem a vedoucím řešen jeden díl z nosné struktury rámu svislého soustruhu. Je řešen návrh lože z polymerbetonu.

Lože obráběcího stroje má za všech řezných podmínek a po dobu alespoň několika let spolehlivě zajišťovat správnou vzájemnou polohu dílů a částí, které jsou na něm namontovány. Tento fakt platí nejen o dílech upevněných přímo na loži, ale i o dílech, které se po loži nebo po částech s ním pevně spojených pohybují. Na těchto vlastnostech lože závisí zejména přesnost obrábění.

Kromě samozřejmého požadavku tuhosti konstrukce a hospodárnosti její výroby klademe proto hlavní důraz na zachování stálé vzájemné polohy základních ploch při práci obráběcího stroje.

3.1. Původní konstrukční řešení

Odlitek z šedé litiny – ČSN 42 2425

Charakteristika materiálu:

Struktura tohoto materiálu je tvořena perlitem (s malým množstvím feritu), s lupínkovým grafitem.

Použití:

Vhodná na odlitky o tloušťce stěn od 15 do 70mm (válce motorů, ozubená kola, značně namáhané strojní součásti, stojany středně těžkých obráběcích strojů apod.)

Značení a obdobné zahraniční litiny:

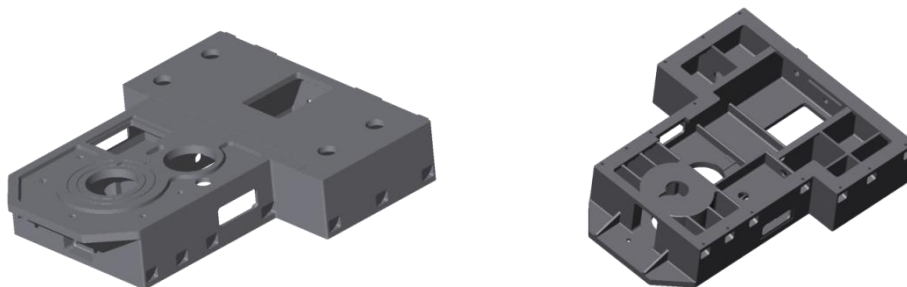
ČSN 42 2525, EN GJL-250, DIN GG25, ASTM Class 40, UNI G 25

Popis konstrukce:

Ke konstrukci litinového dílu je využito dnes nejrozšířenějšího materiálu pro konstrukci nosných prvků a to šedé litiny. Odlitek je konstruován tak, aby byla zaručena co největší tuhost a co nejmenší náklady na materiál.

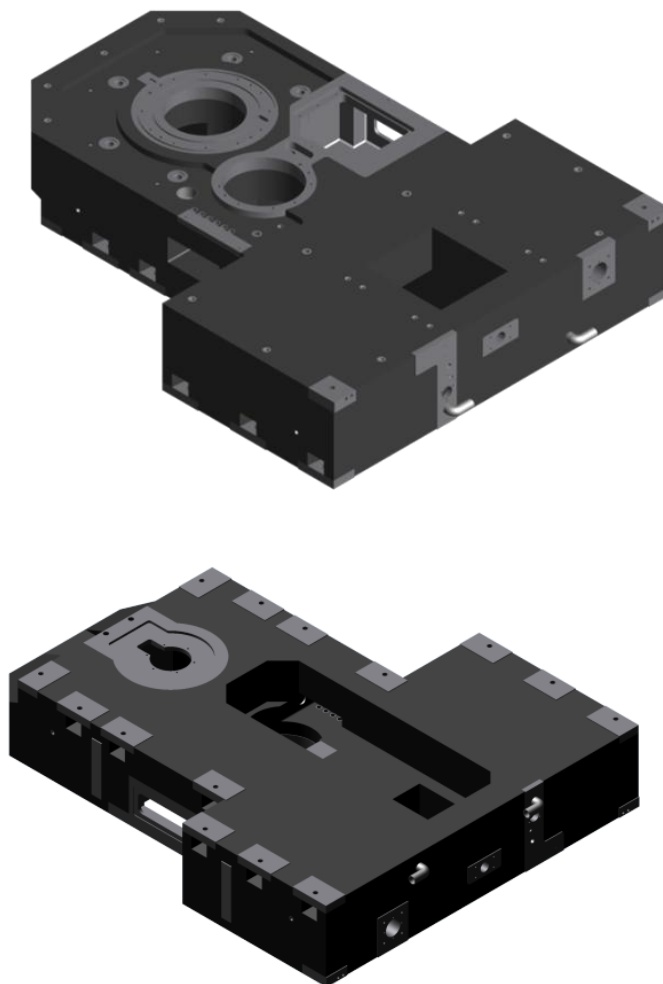
Tloušťka stěny odlitku se pohybuje v rozmezí 25 až 80mm. Odlitek je bohatě žebrován z důvodu lepšího tlumení vibrací.

Lože lze rozdělit dle funkce jednotlivých částí do celků. Tyto celky budou popsány a jejich konstrukční principy vysvětleny v části popisující konstrukci lože z polymerbetonového materiálu.



Obrázek 29: Lože z šedé litiny

3.2. Konstrukční řešení polymerbetonového lože



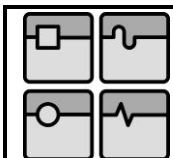
Obrázek 30: Lože z polymerbetonu

Stejně jako odlitky ze šedé litiny a svařované konstrukce musí být i odlitky z polymerbetonu dimenzovány dle specifických pravidel a zásad.

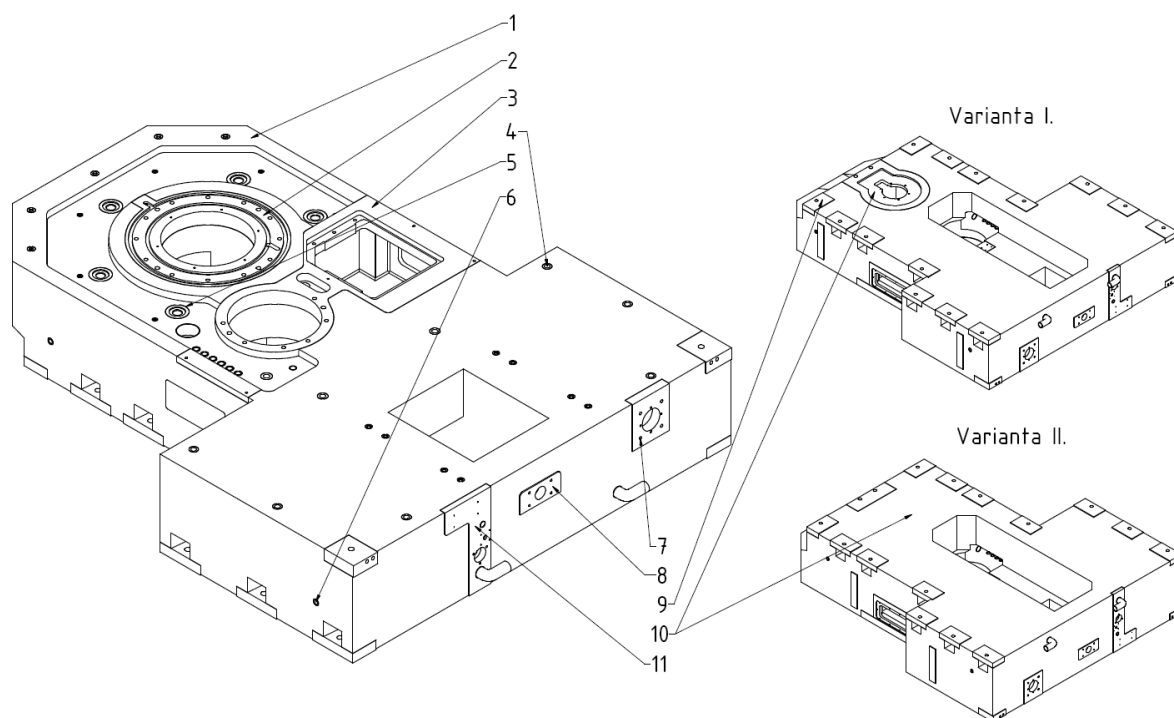
Důležité zásady byly popsány již v předchozí části práce a nebude se k nim vracet. Důležitým faktorem při konstrukci lože z polymerbetonu bylo to, že bylo nutné dle požadavků zadavatele dodržet většinu důležitých funkčních rozměrů, proto je nutné uvést, že k dodržení těchto rozměrů bylo nutné některé funkční celky navrhnout jako svarky nebo přesné desky z ocelolitiny, které budou zality do součástí. Tento fakt podstatně limitoval variantní řešení tohoto problému a v podstatě ze zadání vznikly dvě varianty řešení, které se liší ve výšce výsledného dílce. Tj. 500mm a 600mm. Konstrukce těchto dílů je v podstatě totožná vycházející ze zadání, liší se pouze ve způsobu řešení konstrukčního uzlu pro připevnění snímací jednotky pod rotační deskou.

Jak již bylo řečeno v popisu litinového dílce, lože bylo rozděleno do několika konstrukčních uzlů.

Tvarově je součást uzpůsobena tak, že všechny vnitřní plochy jsou pod uhlím 5° pro snadnější oddělení základní desky a jader.



3.2.1. Konstrukční uzly



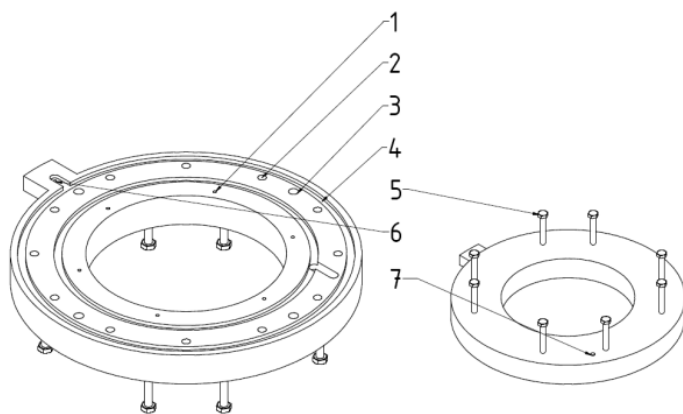
Obrázek 31: Konstrukční uzly

1. Hlavní část

Přibližně 84% v případě I. varianty a 88% v případě II. varianty celkové hmotnosti polymerbetonového lože je samozřejmě tvořena materiálem polymerbeton. Dle doporučení nejsou použita žádná ztracená jádra z polystyrénu z důvodu komplikací při sestavování vlastní formy pro lití a obtížného odlévání.

Základní tvar odlitku je navržen z jednoduchých rovinných elementů, tak aby nebyla náročná výroba formy.

2. Deska ložiska

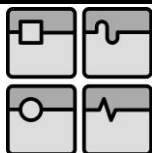


Obrázek 32: Konstrukční uzel 2

neopatrné montáži. Jako kotvy jsou použity běžné šrouby DIN 6914 M16x125 (5).

Dále jsou zde závitové otvory pro přívod oleje (6) pro mazání ložiska a závitový otvor (7) pro připevnění odvodu oleje z ložiska.

Tato část je volena v tomto provedení z důvodu požadavku na umístění insertů do polymerbetonu. Tento požadavek není splněn a problematické by bylo nejen použití insertů u vnitřní části pro těsnění (1), ale i pro inserty použité pro připevnění hlavního křížového ložiska (2) a jeho zakolíkování (3). Při zachování všech rozměrů by mohla nastat možnost porušení drážek pro mazání ložiska (4) při odformování nebo

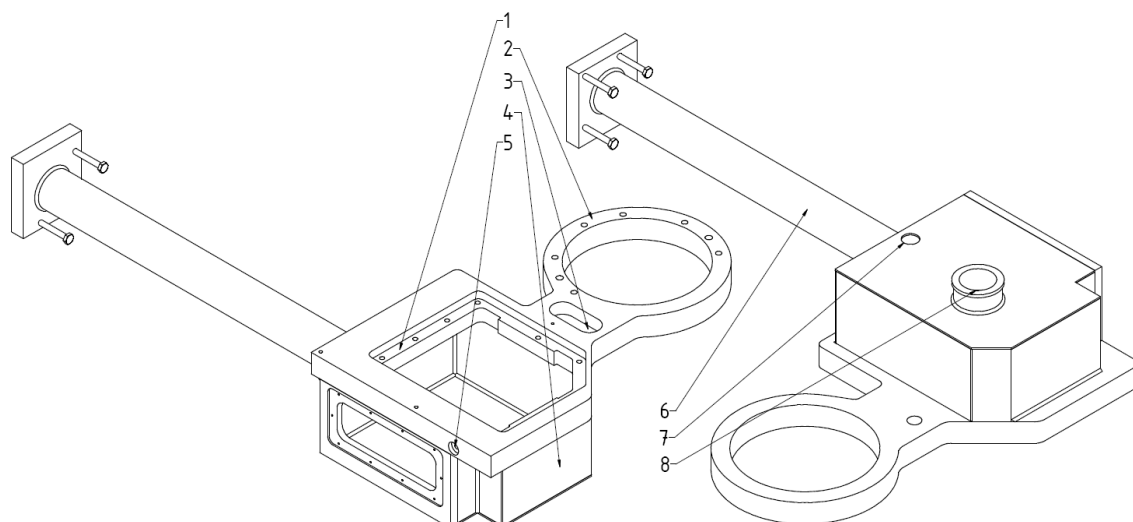


3. Deska hlavní převodovky a C-osy

Tento konstrukční uzel je společný pro umístění desky s C-osou (1), uložení motoru náhonu C-osy (pozice 7 na obr. 31) a převodovky hlavního pohonu (2), opět je voleno toto řešení z důvodu zachování rozměrů a tím nemožnosti splnit požadavek na umístění insertů.

Celek je řešen, jako svařovaná konstrukce, která je uzpůsobena tak, aby nebylo nutné použít jádrovou techniku pro vytvoření vany (4) pro olej k mazání šnekové převodovky C-osy a díry pro náhonový hřídel C-osy (6). Uložení ložiska C-osy (8) je na spodní části vany. Pozicí (3) je označeno umístění jedné z šesti hydraulických brzd pro fixaci rotační desky. Otvor (5) pro přesné ustavení desky C-osy je obroben ještě před zalitím, při jiném druhu řešení by mohla nastat v tomto místě komplikace. Odvod oleje z vany je řešen otvorem (7) ve spodní části vany, ke kterému je připojeno potrubí, které tento olej odvádí samospádem.

Z důvodu tvarové složitosti není použito kotev, pouze u části pro motor náhonu C-osy.

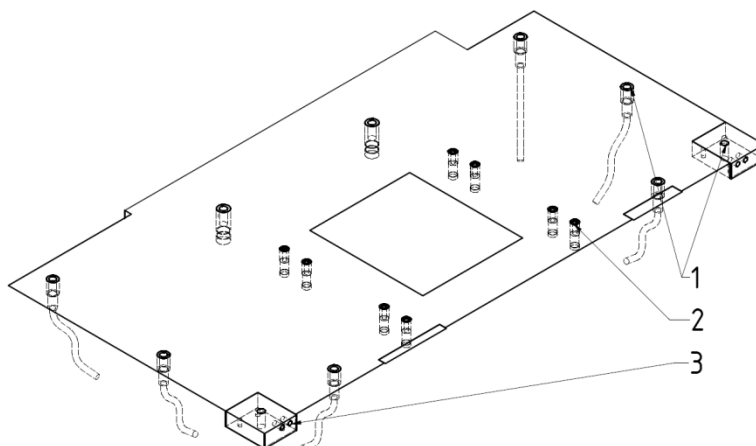


Obrázek 33: Konstrukční uzel 3

4. Upnutí stojanu a motoru hlavního pohonu

Pro připevnění stojanu a jeho přesné ustavení je použito šesti kotev se závitem M30 (1), dále je použito dvou závitových insertů se závitem M30 a dvou kostek se závitem M30 dle obr. 37, pro přesné ustavení stojanu je použito závitových děr (3) M20

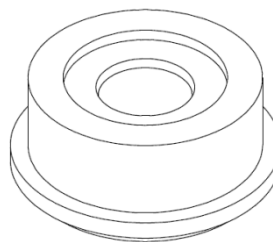
Příruba motoru hlavního náhonu je umístěna a upevněna v závitových insertech M16 (2).



Obrázek 34: Konstrukční uzel 4

5. Příprava pro fixaci rotační desky

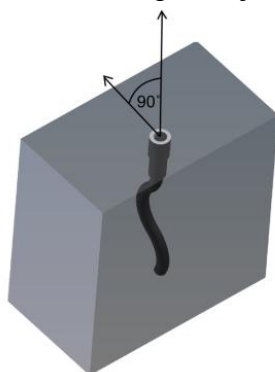
Pro tento konstrukční uzel je použito předobrobený prvek pro zalití. Těchto prvků je použito celkem 5 a jsou rozmístěny dle zadání.



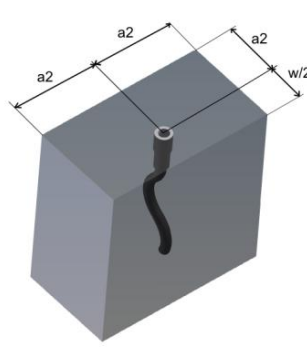
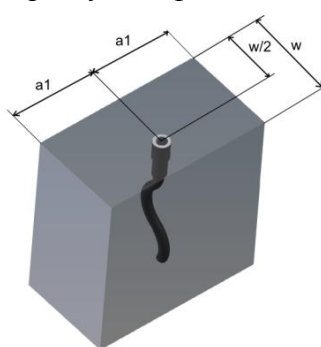
Obrázek 35: Konstrukční uzel 5

6. Příprava pro manipulaci

Pro manipulaci jsou použity 4 prvky manipulační kotvy s vlastnostmi dle tabulky 2.



Obrázek 36: Druh zatížení manipulační kotvy



Obrázek 37: Podmínky pro polohu kotvy

		Zatížení					
		Axiální		Do 45°		90°	
dxL	W[mm]	F[kN]	a1[mm]	F[kN]	a1[mm]	F[kN]	a2[mm]
M30x420	120	60	85	60	85	34	170
M36x460	150	100	100	100	100	48	200
M42x500	160	130	125	130	125	70	250

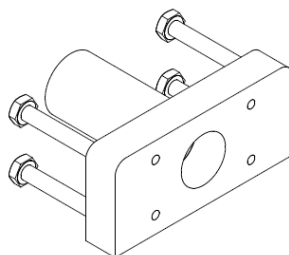
Tabulka 2: Typy manipulačních kotev

Z důvodu bezpečnosti při manipulaci je použito kotev s rozměrem M42x500, které mají nosnost na jeden prvek 70 kN. Komplet lože bez příslušenství má hmotnost 5000kg proto pro manipulaci se samostatným ložem s dostatečnou rezervou tyto prvky stačí i pro manipulaci na dvou manipulačních prvcích. V práci není řešen způsob manipulace a to jestli je do manipulačního otvoru zašroubováno manipulační oko nebo manipulační čep.

Tento způsob je dostatečný i pro manipulaci s ložem a jeho příslušenstvím (lože, rotační deska, převodovka hlavního pohonu, C- osa, motor hlavního pohonu, motor C-osy), tento celek váží přibližně 8000kg. Při použití 4 manipulačních bodů je jejich nosnost 280kN což je 28000kg, tím je dbáno na dostatečnou bezpečnost při manipulaci.

7. Příprava pro napínání klínového převodu

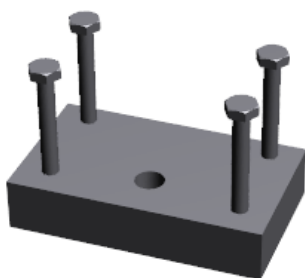
Pro tento konstrukční uzel je použit svarek, kterým se vytvoří průchozí díra pro mechanismus napínání klínového řemenu hlavního pohonu.



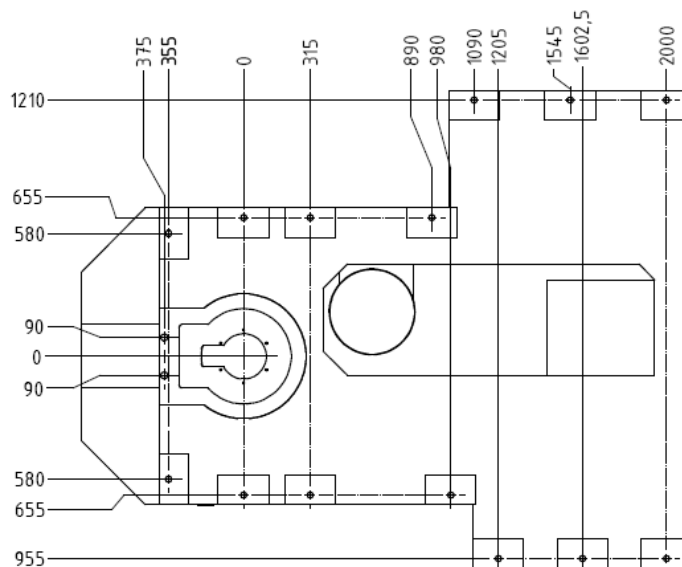
Obrázek 38: Konstrukční uzel 8

8. Příprava pro ustavení na základ

Upnutí dílu je řešeno stejným počtem upínacích bodů, je však změněna poloha těchto bodů v závislosti na konstrukčních požadavcích kladených k zalití patek dle doporučení výrobce. Jako patky jsou použity díly dle obr. 39.



Obrázek 39: Patka (epure)

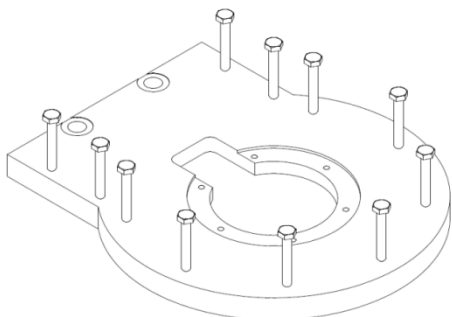
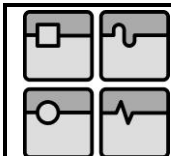


Obrázek 40: Rozmístění upínacích bodů

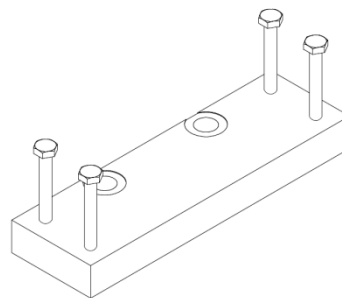
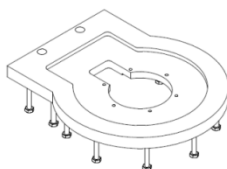
9. Deska pro snímač

Tento konstrukční uzel je rozdílný pro řešení I a II. V prvním případě je řešen deskou dle obr. 41.

V druhém řešení vznikla rozšířením výšky lože dostatečná tloušťka stěny pro zalití závitových insertů příslušného rozměru M12 a dva ustavovací závitové otvory byly vytvořeny zalitím desky ukotvené čtyřmi šrouby DIN 6914 M16x125, které byli použity i pro ukotvení desky prvního řešení.

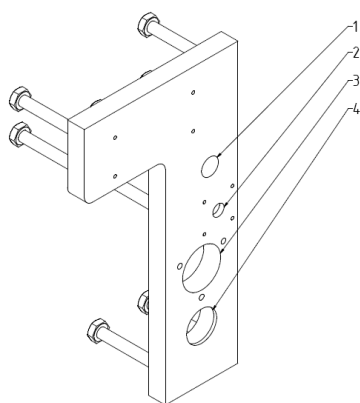


Obrázek 41: Konstrukční uzel 10 varianta I



Obrázek 42: Konstrukční uzel 10 varianta II

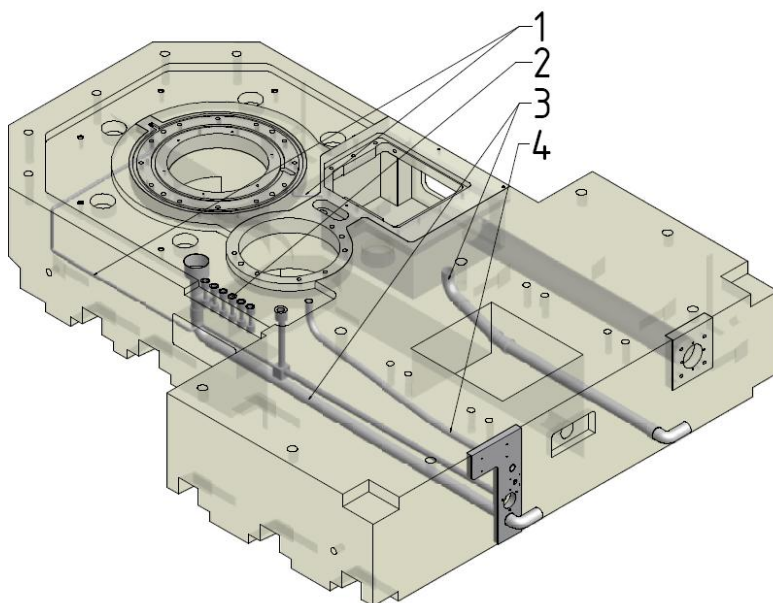
10. Deska pro snímač tlaku, přívod a odvod oleje a elektroinstalace



Na tomto konstrukčním prvku bylo nutné zachovat, jak otvor pro vstup elektroinstalace (1), tak otvor pro čidlo tlaku oleje (2), pro vstup pro vedení oleje (3) i pro potrubí pro odvod oleje (4). Umístění těchto prvků je upraveno v závislosti na umístění potrubí v loži tak, aby byla zachována potřebná tloušťka materiálu.

Obrázek 43: Konstrukční uzel 11

11. Fluidní a jiná vedení



Obrázek 44: Fluidní a jiná vedení

Výhodou konstrukce dílů z polymerbetonu je, jak je uvedeno v předchozí části práce možnost zalití veškerého fluidního a jiného vedení do dílce. V konstrukčním návrhu lože bylo této možnosti využito a vedení oleje (1), potrubí pro odvod oleje (3), vedení hydrauliky (2) a přípravu pro elektroinstalaci (4) bylo zalito do materiálu.

3.2.2. Závěr konstrukční řešení polymerbeton

Z návrhu řešení vyplývá, že konstrukční uzly jsou z velké části ovlivněny podmínkou dodržení funkčních rozměrů a v podstatě možnosti zaměnění dílce z šedé litiny a polymerbetonu. Velká rozměrová podobnost těchto dílů je v podstatě limitující a také ve velké části omezující možnost využít jedné z velkých vlastností odlévání dílů z polymerbetonu a tou je možnost odlití dílce „nahotovo“ bez nutnosti jeho pozdějšího obrábění. Z řešení jasně vyplývá, že po odlití bude nutné obrobít některé funkční plochy a rozměry. Není však nutné obrábět všechny rozměry, nutné to bude u konstrukčních uzlů 2,3,7, 8, 11 dle obr. 31.

Řešením tohoto problému by byla možnost změny rozměrů tak, aby dílec splňoval všechny požadavky na konstrukci dílů z polymerbetonu. Pro tento požadavek by bylo vhodnější II. konstrukční řešení z polymerbetonu s tloušťkou 600mm.

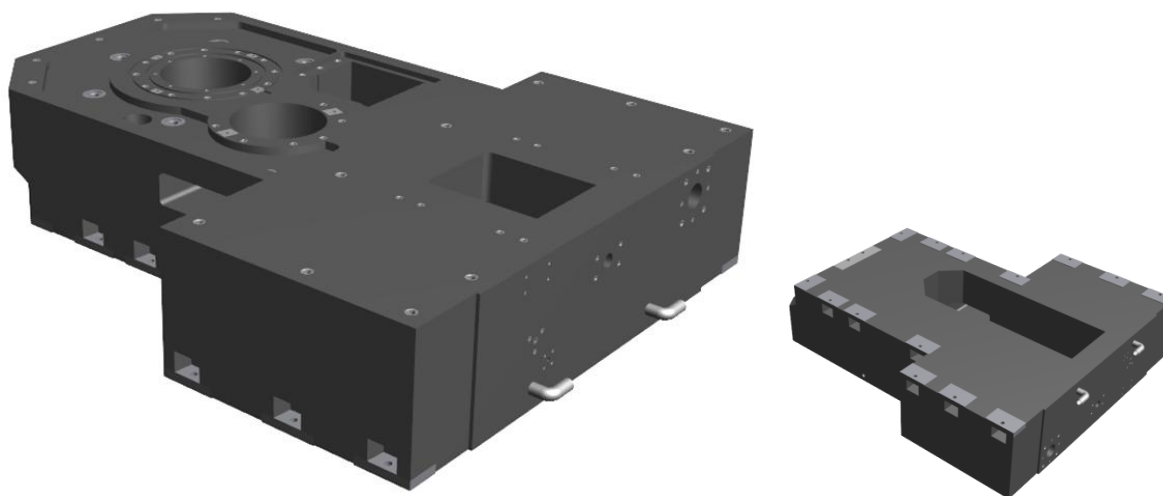
Bylo by vhodné zmínit i hmotnost všech variant ty jsou shrnuty v tabulce.

	Hmotnost [kg]
Šedá litina	3600
Polymerbeton varianta I	4950
Polymerbeton varianta II	5750

Tabulka 3: Hmotnost variant

Hmotnost dílů by mohla být snížena topologicko-tvarovou optimalizací a použitím ztracených jader. Tyto jádra by bylo možno použít za podmínky možnosti změny rozměrů konstrukčních uzlů, tím by se snížily náklady na složitost formy a ztracená jádra by zbytečně její složitost nezvyšovaly.

Návrh řešení se změnou rozměrů



Obrázek 45: Řešení se změnou rozměrů

Změna rozměrů hlavně proběhla u konstrukčních uzlů 2, 3, 7, 8, 11 dle obr. 31.

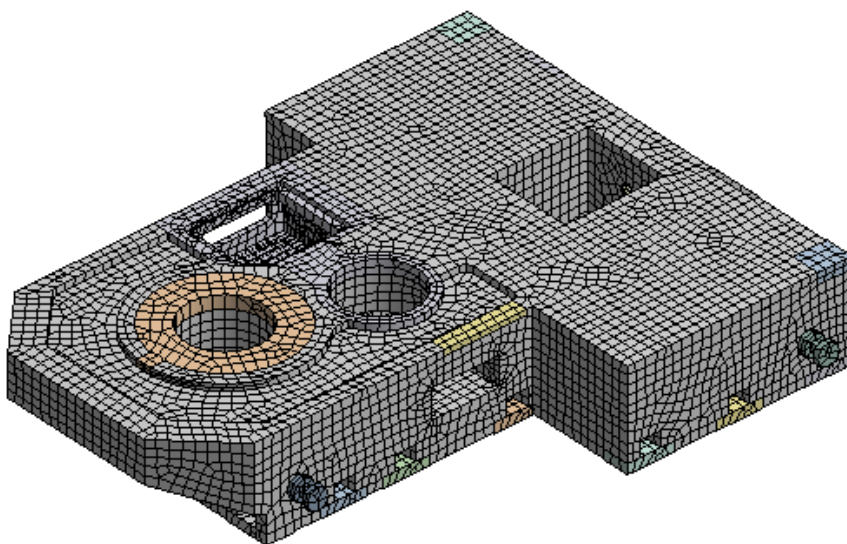
4. Analýza součásti pomocí MKP

Cílem této části práce je porovnat vybrané parametry lože vyrobeného z šedé litiny a lože vyrobeného z polymerbetonu. Z tohoto faktu je vycházeno při všech výpočtech. Pro dosažení srovnatelných výsledků je použito pro oba komponenty stejných zátěžových podmínek, propojení jednotlivých pomocných komponent (stojan, příčník, příčníkový suport) je neměnné, tak jako propojení s jednotlivými porovnávanými komponenty.

Výpočet provádíme pomocí softwaru ANSYS Workbench v11, který funguje na principu metody konečných prvků. Tento program nám umožní stanovit deformace, napětí a frekvence a teploty a na jejich základě učinit příslušné závěry.

Přesnost výpočtu je výrazně závislá na množství elementů, na které byl výpočtový model rozdělen. Vzhledem k omezenému výkonu výpočetní stanice, která byla k samotnému výpočtu použita, nutné volit velikost a druh prvků s ohledem na toto omezení. Z těchto důvodů byl 3D-model navržených variant dostatečně zjednodušen, tak aby nebyly ovlivněny výsledky, ale výsledky byly dostatečně relevantní. V příslušných zátěžových podmínkách byl rotační stůl a obrobek nahrazen hmotným bodem, který svými hmotnostními parametry odpovídal skutečnému stolu a obrobku s maximální hmotností dle katalogu výrobce. Modely pomocných komponentů, jako stojan, příčník a smykadlový suport byly modelovány dle dostupných parametrů, jako jsou hmotnost a průřez (nebyly dostupné výkresy nebo modely).

Prvková síť byla vzhledem k množství výpočtů volena pro lože 20mm a pro ostatní díly 50mm s prvkem solid187. V místech, kde navazují součásti, jsou kontaktní plochy děleny na takovou velikost elementů, která odpovídá velikosti jemněji dělené součásti nacházející se v daném kontaktu. Všechny komponenty včetně zalitých dílů jsou spojeny funkcí bonded. Pro všechny pomocné prvky bylo použito materiálu stejné definice, jako je šedá litina.



Obrázek 46: MKP síť

4.1. Rozptyl materiálových konstant

Vzhledem k zadání byly všechny výpočty provedeny na dílu z šedé litiny a variantních dílech z polymerbetonu. Z důvodu množství výpočtů a velkých nároků na výpočetní čas a kapacitu paměti příslušného počítače byly vytvořeny materiálové knihovny dle tabulky 4.

Pro šedou litinu jsou vytvořeny materiálové knihovny pod názvem ŠL a pro polymerbeton je stejným způsobem určen rozptyl materiálových konstant (PB I, PB II, PB III). Hodnoty parametru jsou voleny dle příslušných dokumentací výrobců a dostupných podkladů. Šedá litina byla vložena přímo z materiálové knihovny Ansys WB a data pro PB I – PB III byli získány kombinací parametrů od firem Trickes, schneeberger, Epucet,.... Tak, aby byly měly materiálové charakteristiky vzrůstající tendenci přičemž materiál PB III je charakteristický extrémní hodnotou E-modulu a PB II je nejreálnější materiál, který je schopna běžně dodat každá z těchto firem.

Parametr	ŠL	PB I	PB II	PB III
Hustota [kg/dm ³]	7,2	2,3	2,3	2,3
E-modul [kN/mm ³]	110	30	40	60
Pevnost v tahu [MPa]	240	10	15	40
Pevnost v tlaku [MPa]	820	100	110	125
Pevnost v ohybu [MPa]	290	25	30	35
Poissonova konst.	0,28	0,28	0,28	0,28
Teplotní roztažnost [1/°C]	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Tepelná vodivost [W/m.°C]	52	1,5	1,5	1,5

Tabulka 4: Materiálové konstanty

Dalším předpokladem splnění zadání bylo nutné získat podklady spojené s programem ANSYS Workbench a nastudování prostředí, funkcí a všech možností výpočtů v tomto programu. V první řadě je nutné uvést, program Ansys workbench multiphysics není shodný s programem Ansys multiphysics. Nejdůležitějším rozdílem je nemožnost řešit úlohy jako je například přechodová charakteristika tím není možné poukázat, jak by se lože chovalo po skončení působení, ať už periodicky nebo jinak působící síly.

4.2. Statická strukturální analýza

4.2.1. Zátěžové podmínky

Tato kapitola bude věnována rozboru zátěžových stavů během strukturální analýzy. Jak již bylo řečeno, bylo nutné pro výpočet zjednodušit modely pro MKP analýzu. Modely byly vytvořeny pro všechny výpočty v programu inventor a exportovány do programu ansys WB.

Pro srovnání parametrů lože z šedé litiny a lože z polymerbetonu je určeno několik zátěžových stavů. V dalším textu budou stavy ukázány jen na loži polymerbetonovém.

Podmínka I – Manipulace s ložem

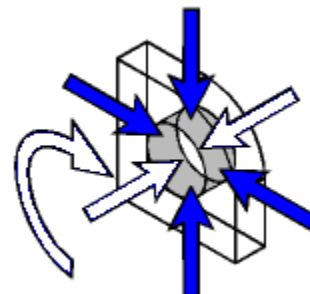
Popis:

Modelem zatížení konstrukce je standardní gravitační zrychlení. Podmínka byla řešena na všech variantách loží a zatížení bylo stejné u všech variant.

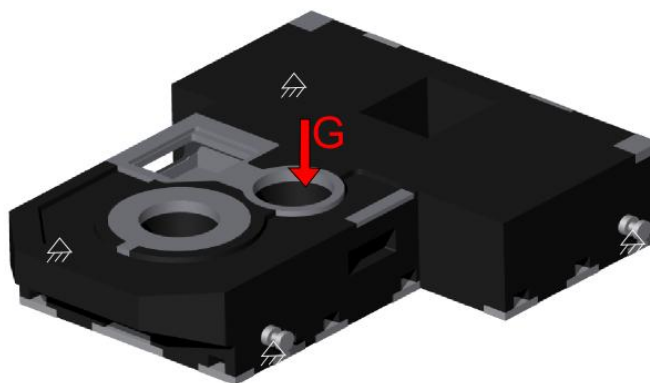
Upnutí by mělo simulovat namáhání dílu při manipulaci s osazenou deskou a ložiskem. Jako vazba byla použita podmínka v programu nazývaná cylindrical support s definicí dle tab. 6 a místech dle obr. 42.

Definition	
Type	Cylindrical Support
Radial	Fixed
Axial	Free
Tangential	Free
Suppressed	No

Tabulka 5: Definice vazby



Obrázek 47: Vazba



Obrázek 48: Zátěžová podmínka I

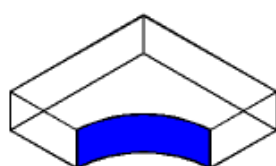
Podmínka II – deformace vlastní tíhou stroje


Popis:

Modelem zatížení konstrukce je standardní gravitační zrychlení. Podmínka byla řešena na všech variantách loží a zatížení bylo stejné u všech variant.

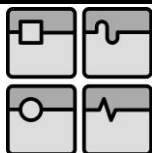
V tomto případě nebylo sledováno to, jak se deformují pomocné součásti jako stojan, příčník atd., ale to jak působí na lože. Dále nejsou nijak speciálně řešeny vazby mezi pomocnými komponentami. Všechny komponenty jsou spojeny vazbou bonded to obecně platí pro všechny podmínky, ve kterých jsou tyto komponenty použity. Druhy vazeb mezi komponenty nebylo nutné řešit, protože v tomto případě šlo pouze o výsledky, které srovnávají jednotlivé typy řešení.

Lože je vetknuto v 14 místech nahrazujících patky.

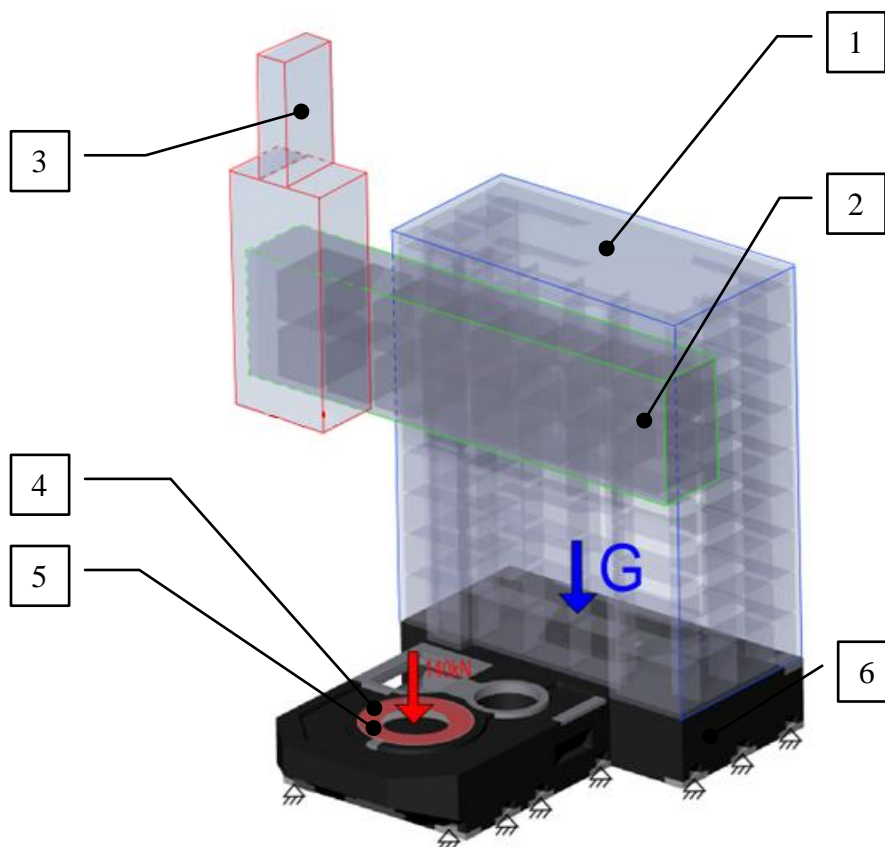


 Nepohyblivá plocha

Obrázek 49: Vazba

**Hmotnosti součástí rámu pro stoj SKIQ 16**

1. Stojan – 7750kg
2. Příčnick – 5250kg
3. Suport příčnickový – 4300kg
4. Stůl – 2000kg
5. Max. hmotnost obrobku – 12000kg
6. Lože



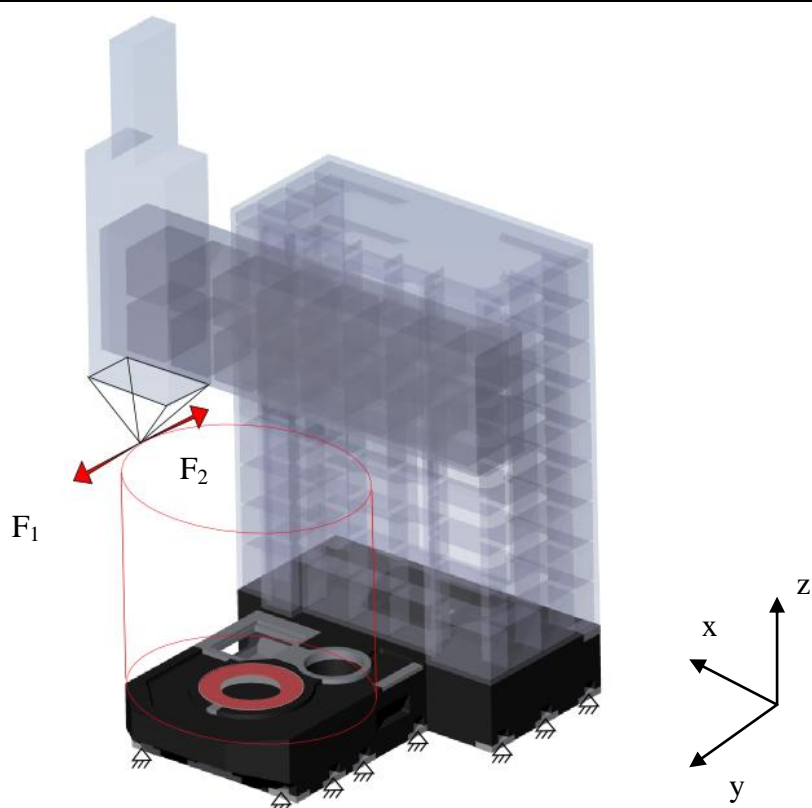
Obrázek 50: Zátěžová podmínka II

Podmínka III – zatížení danými silami**Popis:**

Modelem zatížení konstrukce jsou zvolené složky sil dle poskytnutých údajů, které jsem obdržel ve firmě TOSHULIN, tyto síly slouží zejména pro porovnání variant. Jejich velikost byla konzultována s TOSHULIN a pro získání absolutní velikosti velikosti deformace porovnatelnou i s měřením by mělo dojít k jejich zpřesnění.

Všechny síly působí dle obrázku v jednom bodě, jako akce a reakce. Jedna působí na místo upnutí stolu a působí v bodě, který charakterizuje největší rozměr obrobku. Druhá nahrazuje působení v nástroji (od obou vzniká i příslušný moment). Podmínka byla řešena na všech variantách loží a zatížení bylo stejné u všech variant.

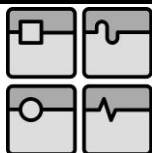
Lože je stejně, jako v předchozím případě vetknuto v 14 místech nahrazujících patky.



Obrázek 51: Zátěžová podmínka III

F_1 :
 $F_x = -10\text{kN}$
 $F_y = 30\text{kN}$
 $F_z = -3\text{kN}$

F_2 :
 $F_x = 10\text{kN}$
 $F_y = -30\text{kN}$
 $F_z = 3\text{kN}$



4.2.2. Vyhodnocení

Podmínka I – manipulace s ložem

Šedá litina

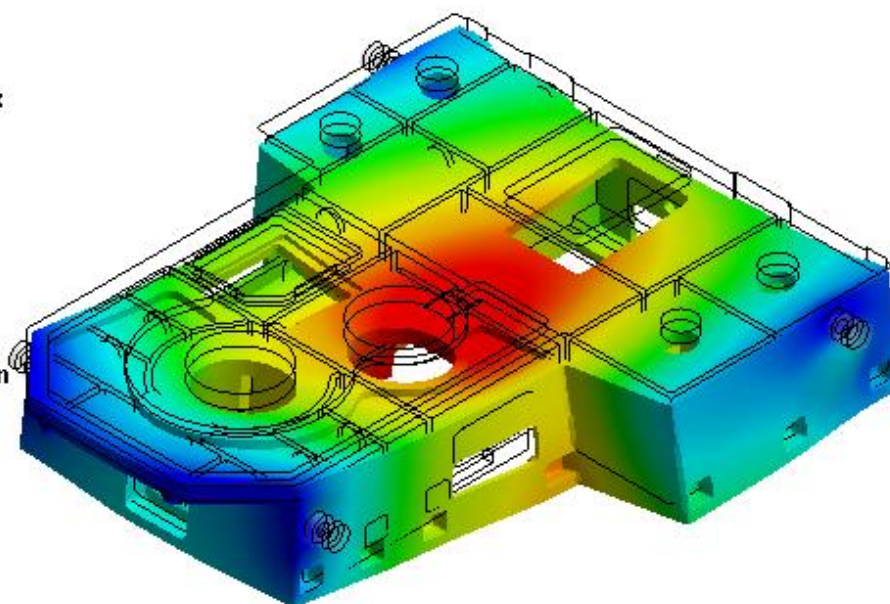
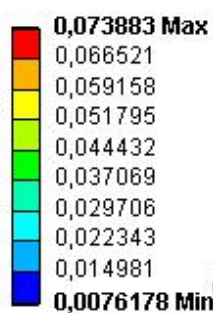
Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

8.5.2008 15:42



Obrázek 52: Celková deformace šedá litina podm. I

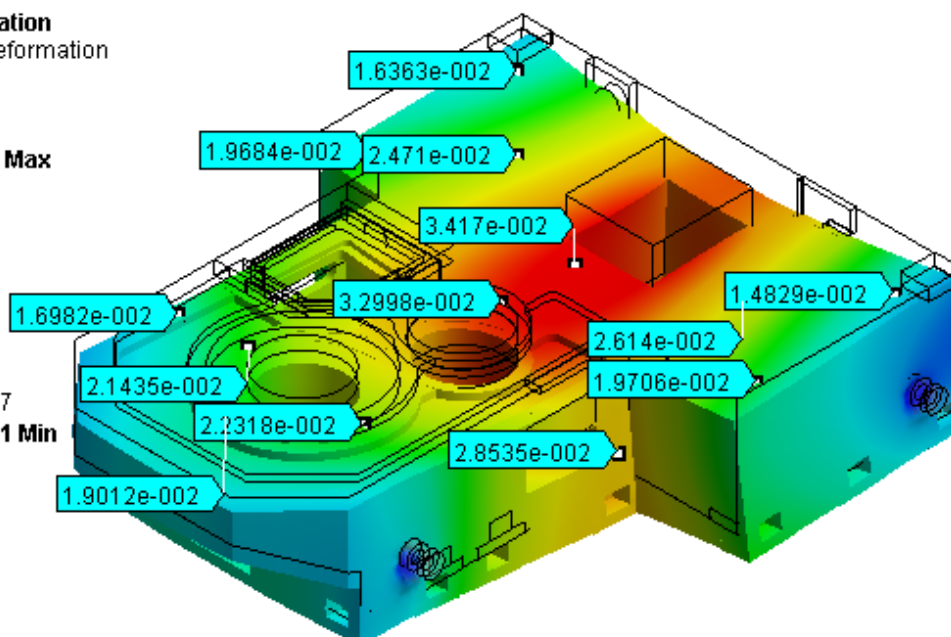
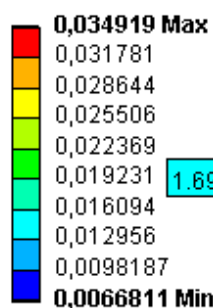
Polymerbeton I

Total Deformation

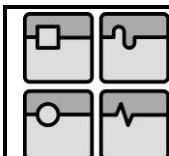
Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1



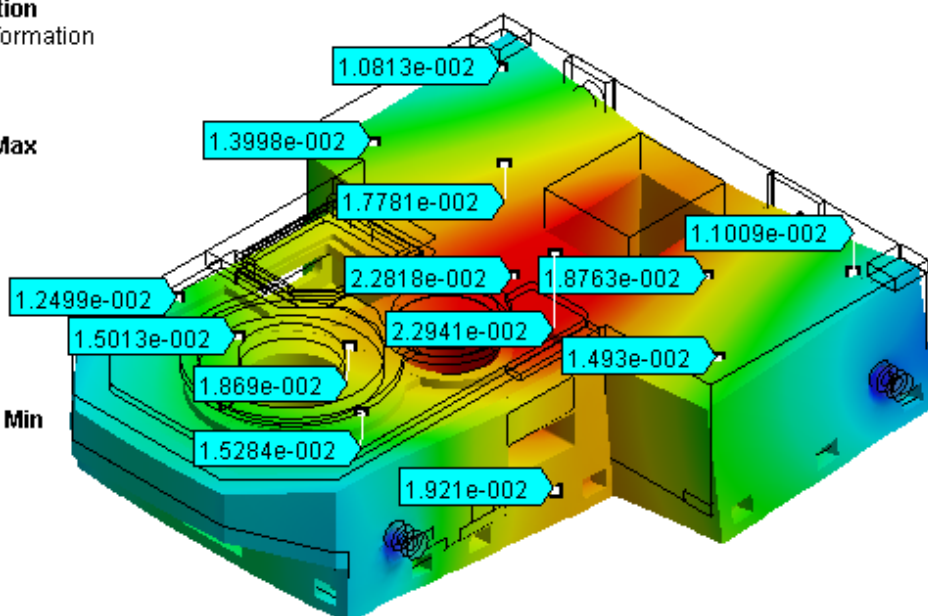
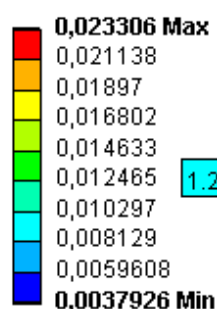
Obrázek 53: Celková deformace polymerbeton I podm. I

**Polymerbeton II****Total Deformation**

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1



Obrázek 54: Celková deformace polymerbeton II podm. I

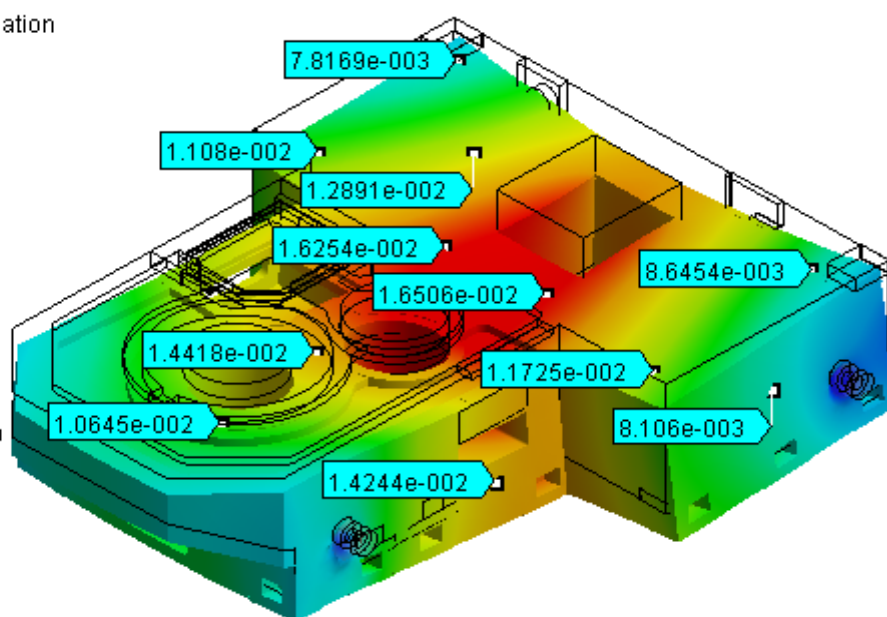
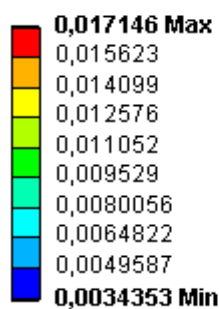
Polymerbeton III**Total Deformation**

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

9.5.2008 20:27

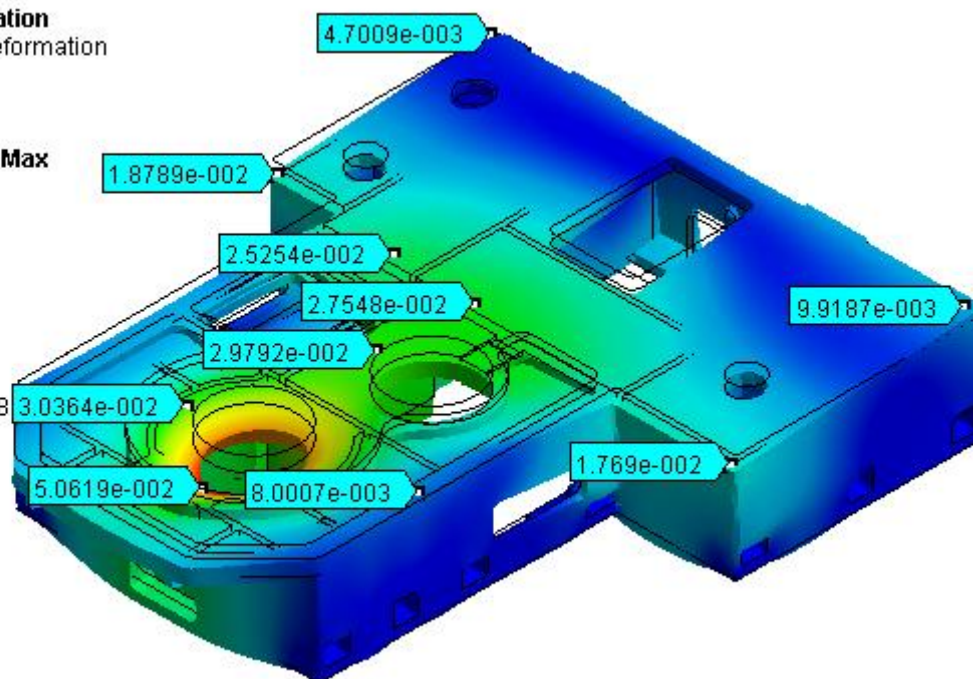
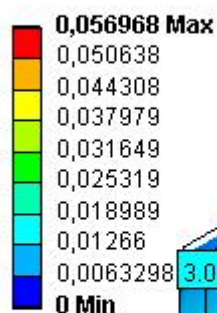


Obrázek 55: Celková deformace polymerbeton II podm. I

Podmínka II – deformace vlastní tíhou stroje

Šedá litina

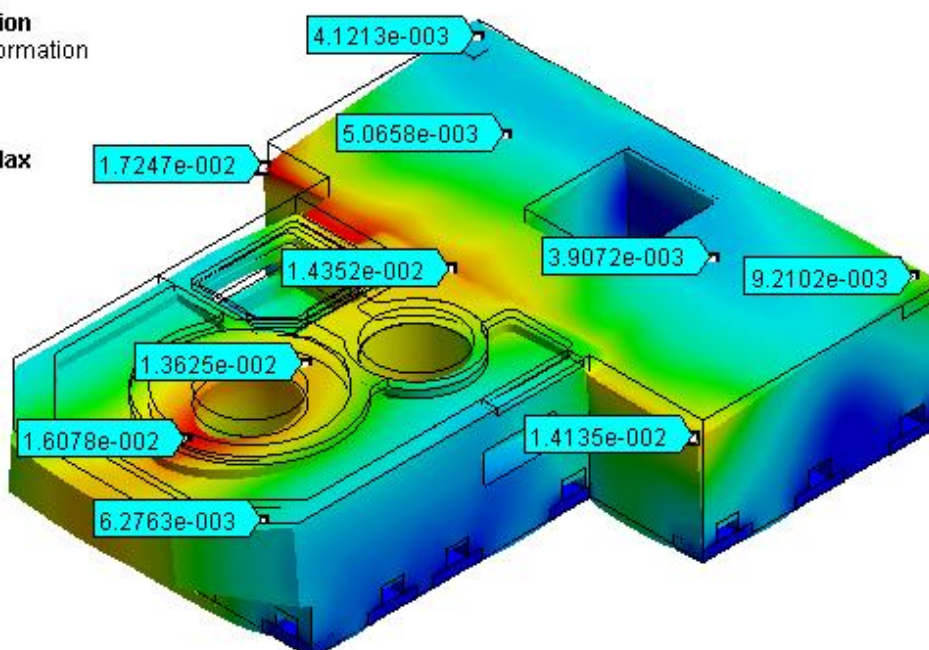
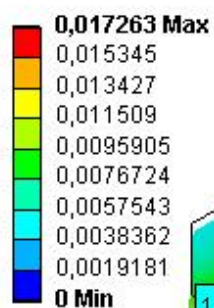
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



Obrázek 56: Celková deformace šedá litina podm. II

Polymerbeton I

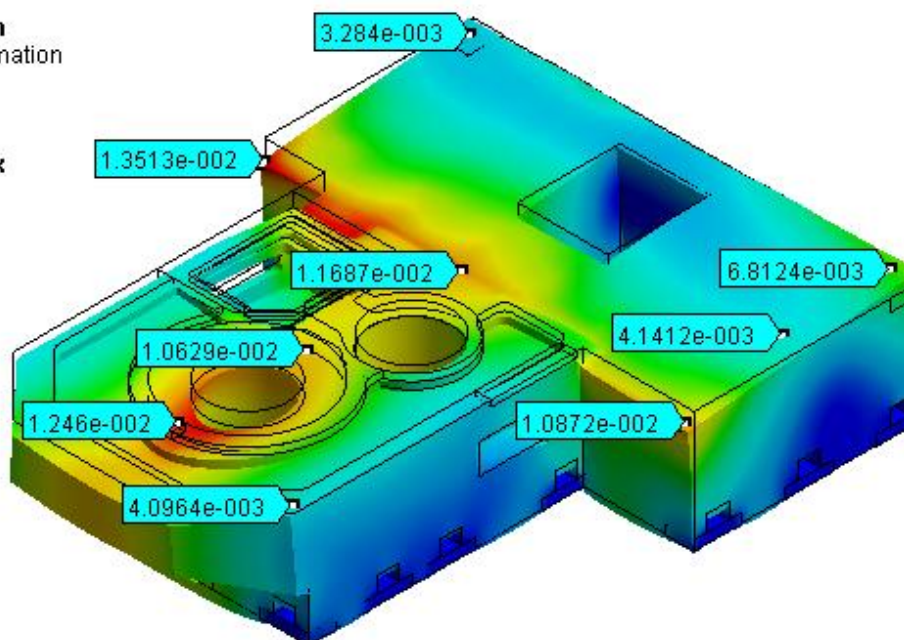
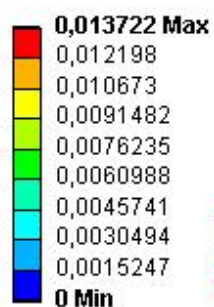
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



Obrázek 57: Celková deformace polymerbeton I podm. II

Polymerbeton II

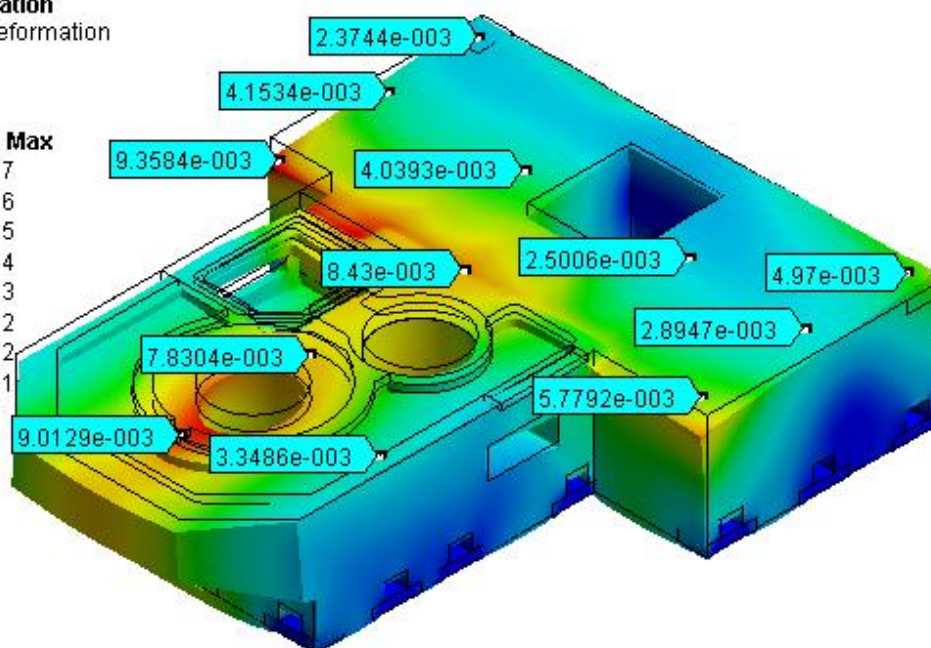
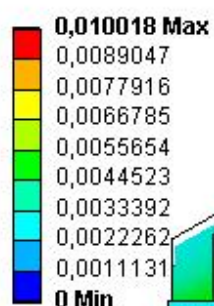
Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



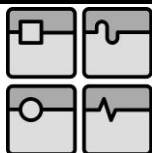
Obrázek 58: Celková deformace polymerbeton II podm. II

Polymerbeton III

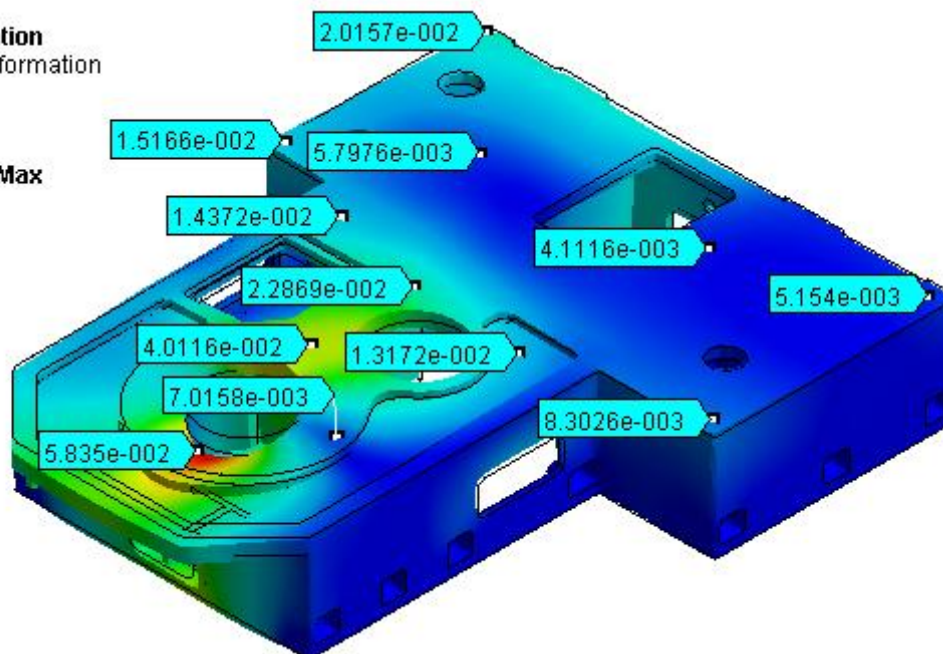
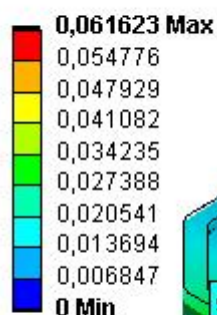
Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1



Obrázek 59: Celková deformace polymerbeton III podm. II

**Podmínka III – zatížení danými silami****Šedá litina**

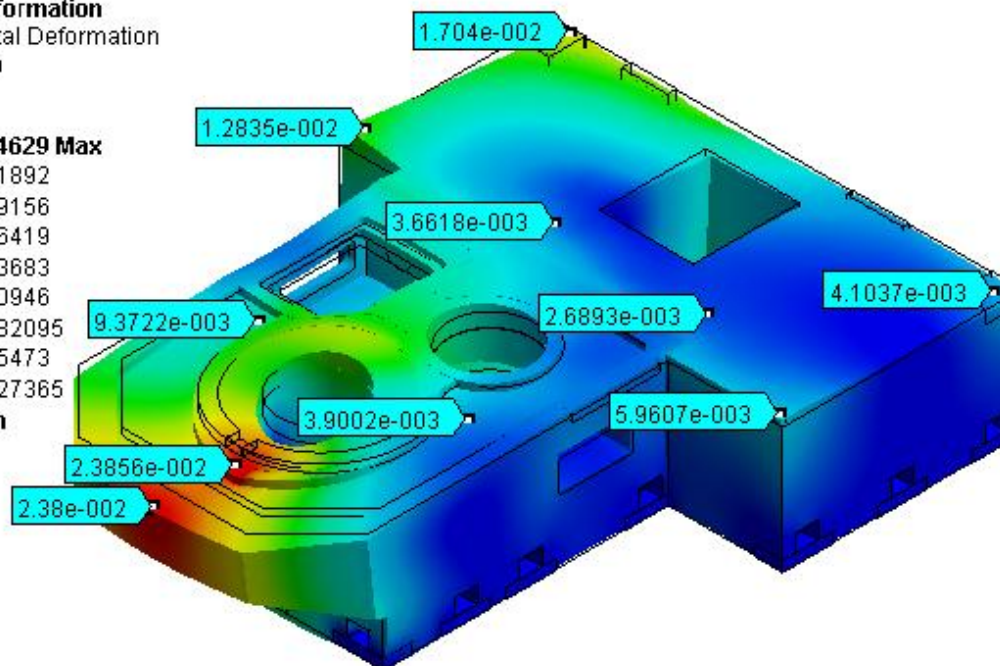
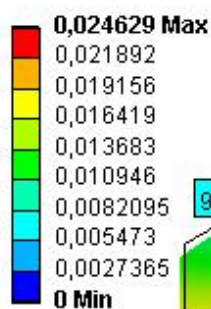
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



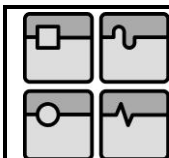
Obrázek 60: Celková deformace šedá litina podm. III

Polymerbeton I

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1



Obrázek 61: Celková deformace polymerbeton I podm. III

**Polymerbeton II****Total Deformation**

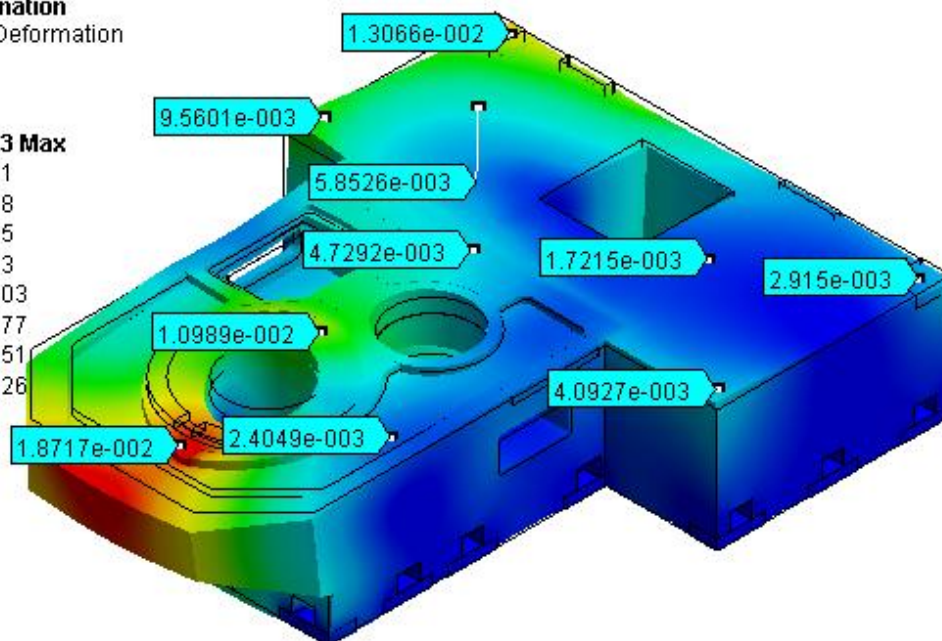
Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

0,019373 Max

0,017221
0,015068
0,012915
0,010763
0,0086103
0,0064577
0,0043051
0,0021526
0 Min



Obrázek 62: Celková deformace polymerbeton II podm. III

Polymerbeton III**Total Deformation**

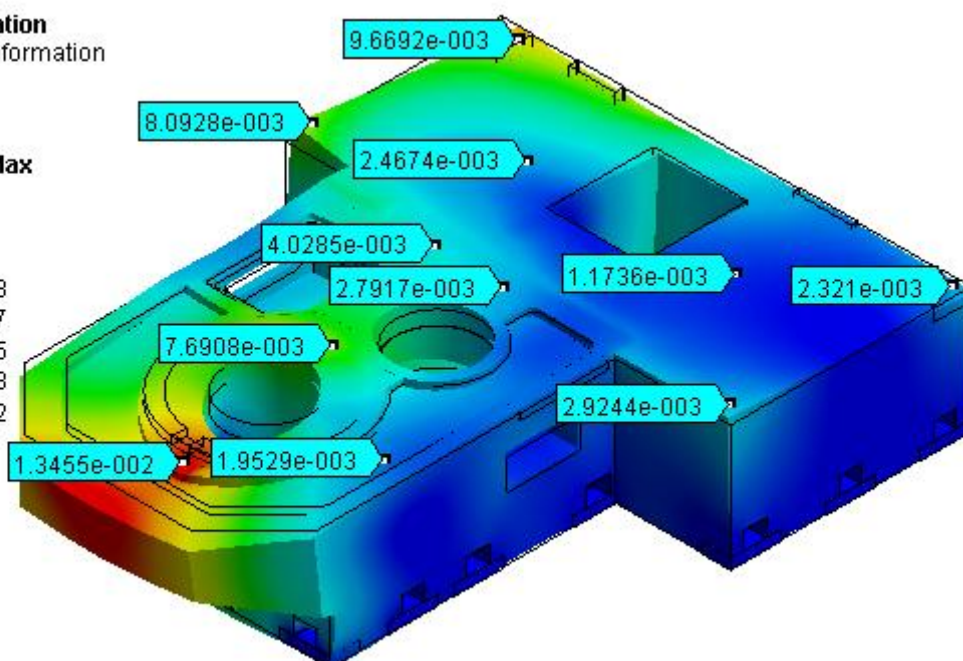
Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

0,01397 Max

0,012417
0,010865
0,009313
0,0077608
0,0062087
0,0046565
0,0031043
0,0015522
0 Min



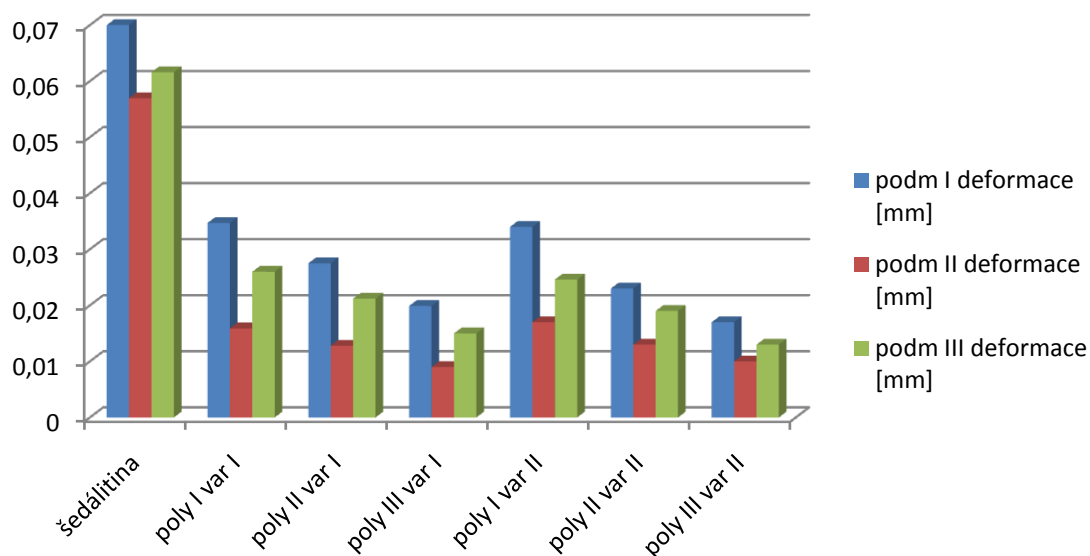
Obrázek 63: Celková deformace polymerbeton III podm. III

		Šedá litina	Poly. I var. I	Poly. II var. I	Poly. III var. I
podm I	deformace [mm]	0,07388	0,0347	0,0275	0,0199
podm II	deformace [mm]	0,05696	0,0159	0,0128	0,009
podm III	deformace [mm]	0,0616	0,026	0,0212	0,015
		Šedá litina	Poly. I var. II	Poly. II var. II	Poly. III var. II
podm I	deformace [mm]	0,07388	0,034	0,023	0,017
podm II	deformace [mm]	0,05696	0,017	0,013	0,01
podm III	deformace [mm]	0,0616	0,0246	0,019	0,013

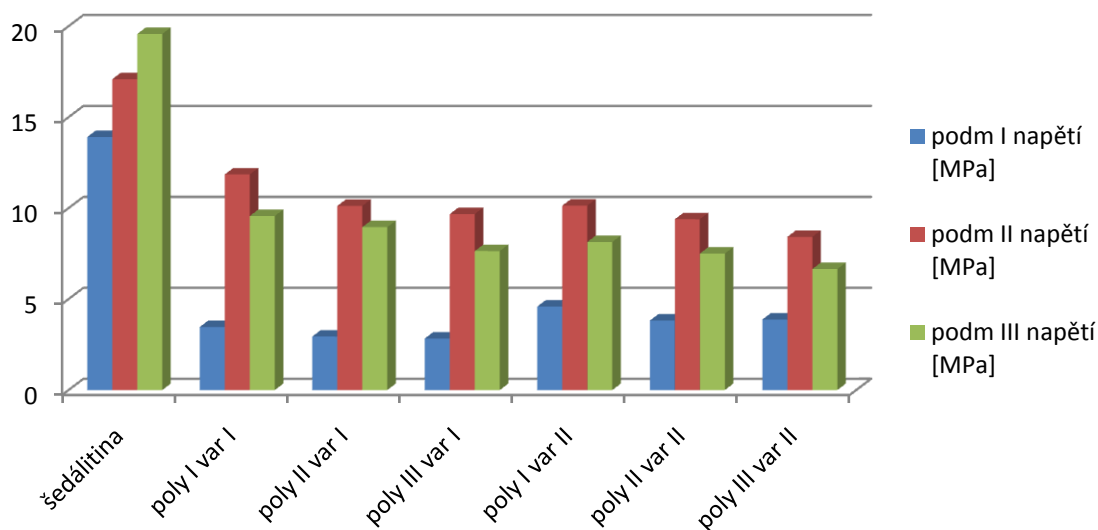
Tabulka 6: Celková deformace

		Šedá litina	Poly. I var. I	Poly. II var. I	Poly. III var. I
podm I	napětí [MPa]	13,913	3,468	2,943	2,835
podm II	napětí [MPa]	17,091	11,854	10,123	9,678
podm III	napětí [MPa]	19,579	9,567	8,956	7,642
		Šedá litina	Poly. I var. II	Poly. II var. II	Poly. III var. II
podm I	napětí [MPa]	13,913	4,595	3,82	3,878
podm II	napětí [MPa]	17,091	10,14	9,39	8,421
podm III	napětí [MPa]	19,579	8,142	7,504	6,653

Tabulka 7: Napětí



Obrázek 64: Graf celkových deformací



Obrázek 65: Graf napětí

Jak je vidět z grafu, byly řešeny všechny typy variant při všech podmínkách zatížení. Z důvodu velkého objemu dat nebyly uvedeny výsledky výpočtu modelu vycházejícího z varianty I., ale graf jasně ukazuje srovnatelné chování obou variant řešení.

Výsledky ukázaly, že se zvyšujícími se pevnostními parametry materiálu polymerbeton se zlepšuje jeho pružnostně - pevnostní bilance. Už před provedením výpočtu se dalo předpokládat, že tomu tak bude, výsledky tyto předpoklady jen potvrdily.

Výsledky dále ukázaly, že v porovnání materiálu polymerbeton s šedou litinou jsou hodnoty deformací při daných zátěžových podmínkách o 70-80% nižší. Je nutno však podotknout, že hmotnost je vyšší než u litinového dílu. Tento nedostatek by se mohl odstranit optimalizací.

4.3. Analýza frekvenční (modální)

Pro účel tohoto výpočtu byl použit model sestavy rámu stroje. Výpočet byl proveden opět u všech variant, byl ovšem proveden i u varianty se stojanem polymerbetonovým, aby se ukázala charakteristika tohoto materiálu.

Tato kapitola měla být původně spojena dle zadání s kapitolou, ve které mělo být popsáno chování dílů za zvýšených vibrací. Dle domluvy s vedoucím bude uvedena pouze modální analýza, která dává nejzákladnější představu o frekvenčních vlastnostech rámu. Soubor těchto frekvencí stroje se nazývá jeho spektrum, které je velmi důležitou charakteristikou vyjadřující jeho kvalitu (rozložení vlastních frekvencí).

Při modální analýze v programu WB i obecně, nejsou uvažovány předpětí a ostatní silová a teplotní zatížení. Tyto výpočty jsou dány pouze hmotnostními a tuhostními parametry. Tato charakteristika se odvozuje ze soustavy netlumené. K výpočtu této analýzy, bylo použito několika zjednodušení a to že nebyli řešeny tuhosti vedení a spojovacích prvků jednotlivých součástí, tohoto zjednodušení bylo použito z důvodu snížení náročnosti na čas a výkon počítače.

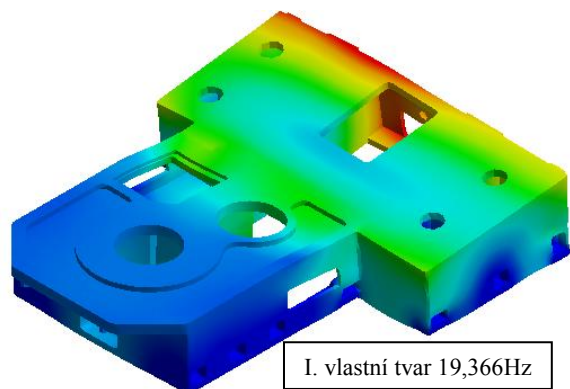
Model stroje byl vetknut v 14 místech nahrazujících patky lože.

4.3.1. Vyhodnocení

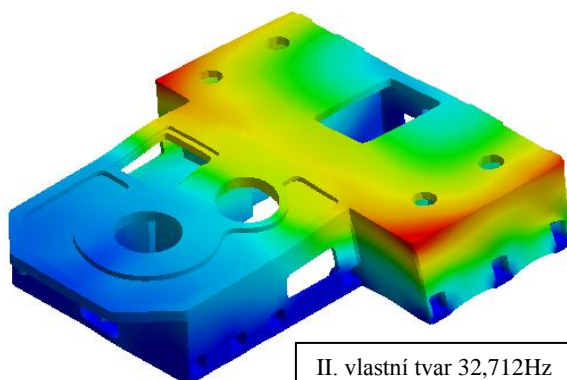
Harmonická [Hz]	ŠL	PB I	PB II	PB III	PB *
I.	19,366	20,757	21,869	23,252	23,197
II.	32,712	34,63	35,913	37,421	38,326
III.	40,531	54,309	56,144	58,147	51,83
IV.	50,655	58,317	60,755	62,874	73
V.	54,864	59,953	66,291	78,115	97,326
VI.	56,865	82,327	93,044	93,897	127,2
VII.	84,763	92,768	93,508	110,60	167,87
VIII.	90,894	122,49	124,45	126,46	180,96
IX.	115,84	137,59	137,7	137,82	198,35
X.	132,52	146,98	161,11	163,43	245,43

Tabulka 8: Hodnoty vlastních frekvencí

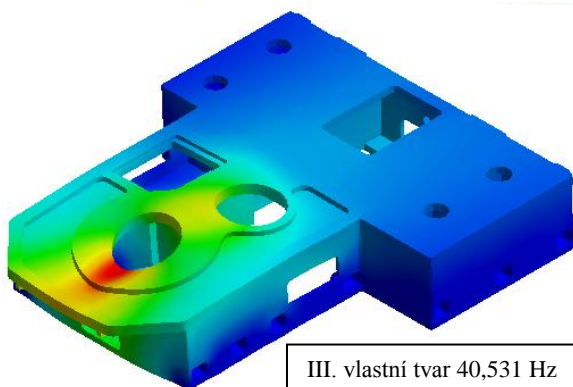
Výsledky jsou uvedeny pro variantu II. Jak je vidět z výsledků v tabulce jsou frekvence posunuty k vyšším hodnotám, což opět dokazuje předpoklad uvedený v literatuře a kladně to přispívá k vlastnostem daného celku.



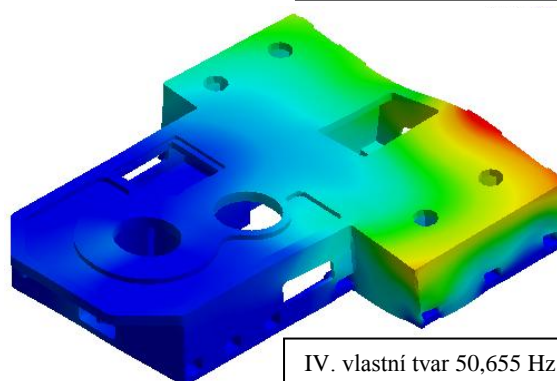
I. vlastní tvar 19,366Hz



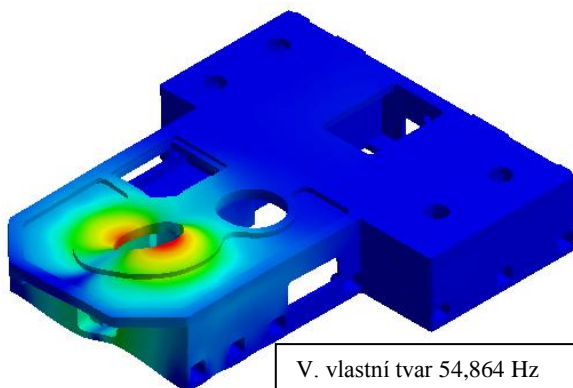
II. vlastní tvar 32,712Hz



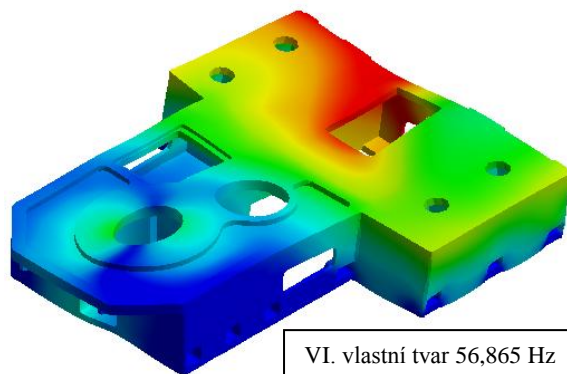
III. vlastní tvar 40,531 Hz



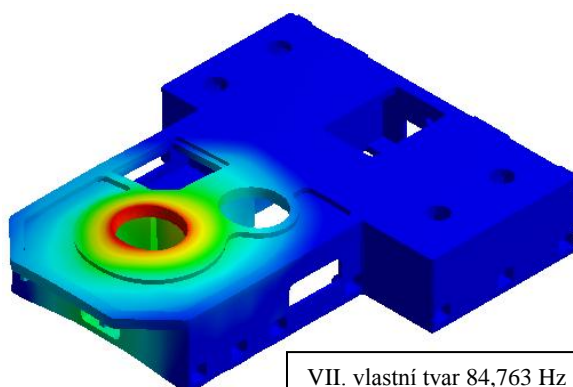
IV. vlastní tvar 50,655 Hz



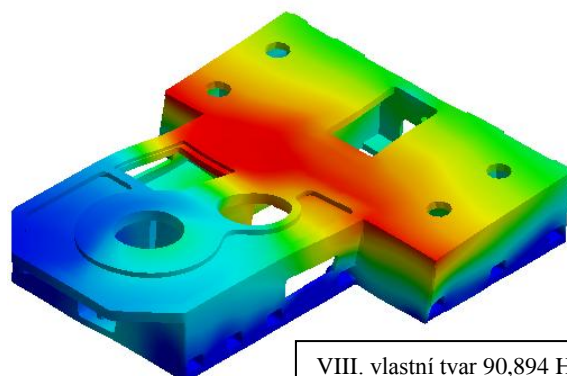
V. vlastní tvar 54,864 Hz



VI. vlastní tvar 56,865 Hz

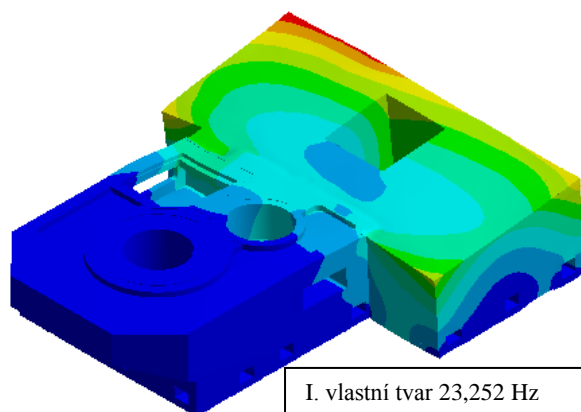
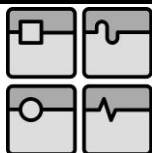


VII. vlastní tvar 84,763 Hz

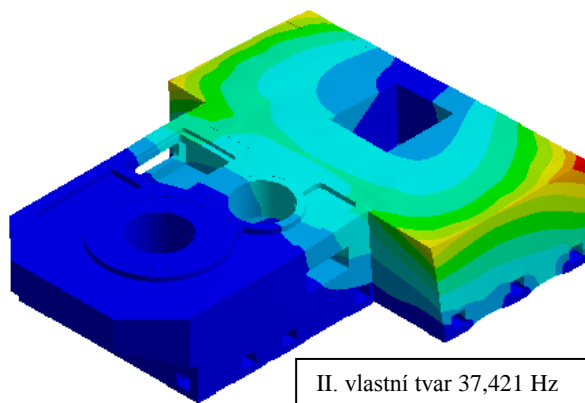


VIII. vlastní tvar 90,894 Hz

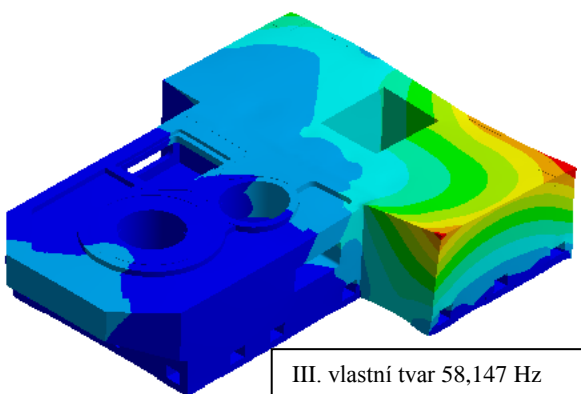
Obrázek 66: Tvary vlastních kmitů šedá litina



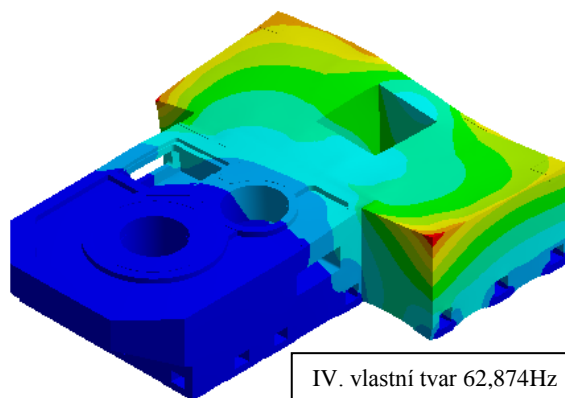
I. vlastní tvar 23,252 Hz



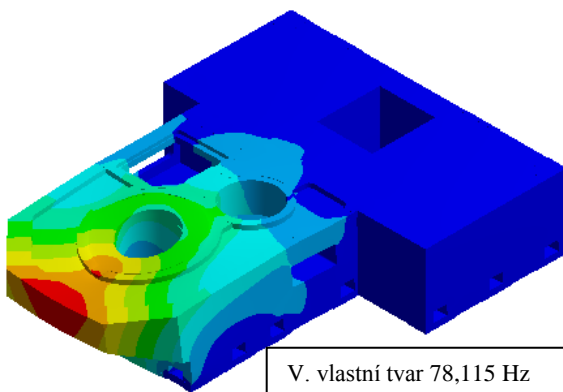
II. vlastní tvar 37,421 Hz



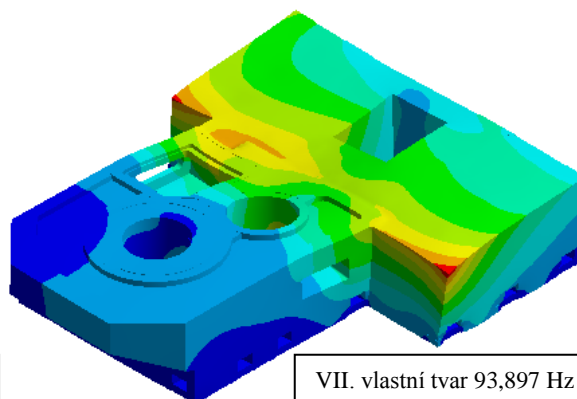
III. vlastní tvar 58,147 Hz



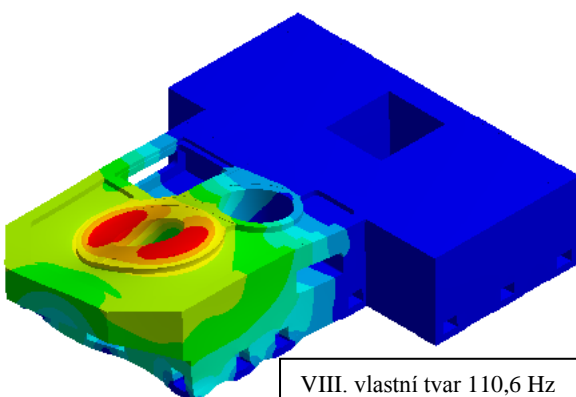
IV. vlastní tvar 62,874 Hz



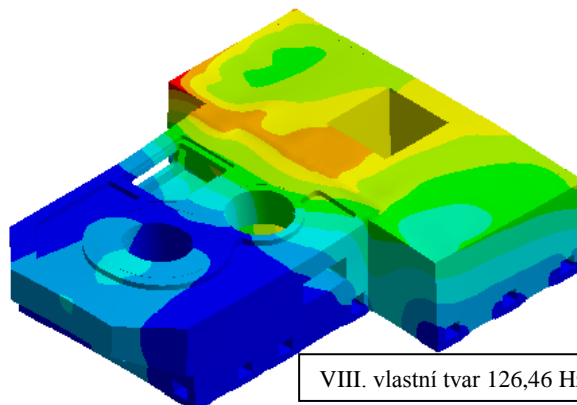
V. vlastní tvar 78,115 Hz



VII. vlastní tvar 93,897 Hz



VIII. vlastní tvar 110,6 Hz



VIII. vlastní tvar 126,46 Hz

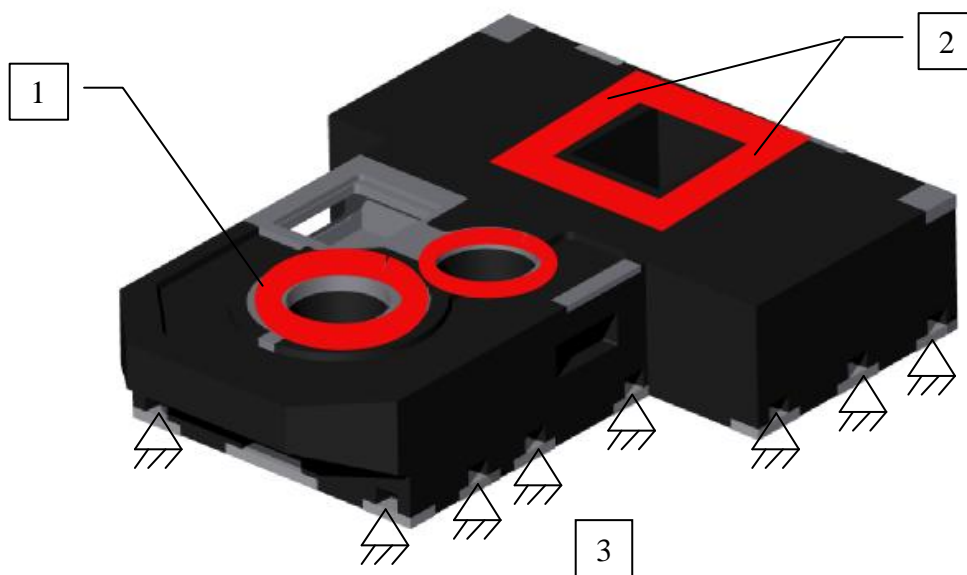
Obrázek 67: Tvary vlastních kmitů polymerbeton III

4.4. Analýza vlivu teplotních polí

4.4.1. Teplotní podmínky

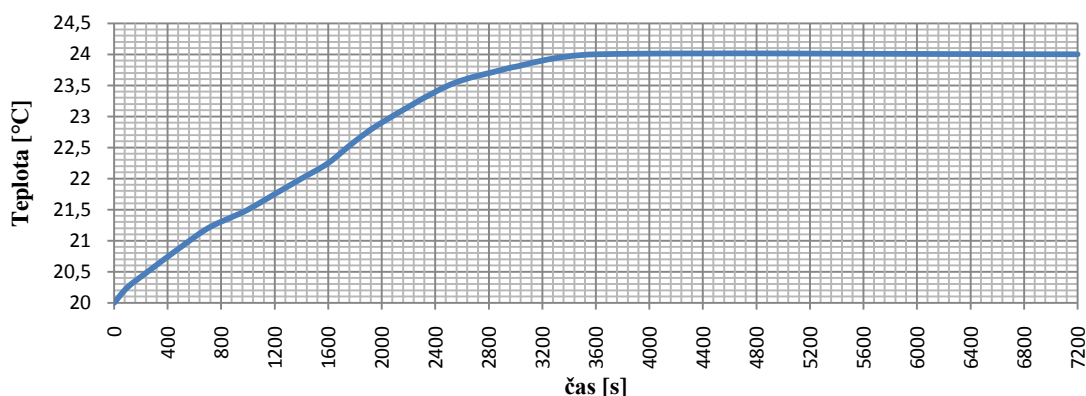
Pro základní teplotně mechanickou analýzu byly vybrány nejjednodušší získatelné okrajové podmínky. Jejich velikost byla opět konzultována ve fy TOSHULIN a pro získání absolutní velikosti vypočtených hodnot porovnatelných s měřeními by mělo dojít k jejich upřesnění. Proto lze o výsledcích, které byly získány z těchto výpočtů, prohlásit, že jsou orientační a nejde o absolutní přesnost, avšak tyto výsledky zcela postačují pro získání základního závěru o chování porovnávaných dílů při daných podmínkách.

Teplotní zatížení bylo zvoleno dle obrázku a mělo by simulovat teploty vznikající při chodu hlavního křížového ložiska, při chodu hlavního motoru a převodovky, byla také použita teplota okolního vzduchu. Teplotní zatížení se s časem mění dle zvoleného grafu. Opět jsou zatížení pro litinový díl a díl z polymerbetonu totožná. Pro okolní vzduch je použit součinitel přestupu tepla $= 2 \cdot 10^{-5} \text{ W/mm}^2\text{K}$.

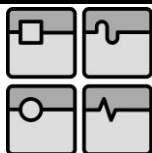


Obrázek 68: Podmínka teplotního zatížení

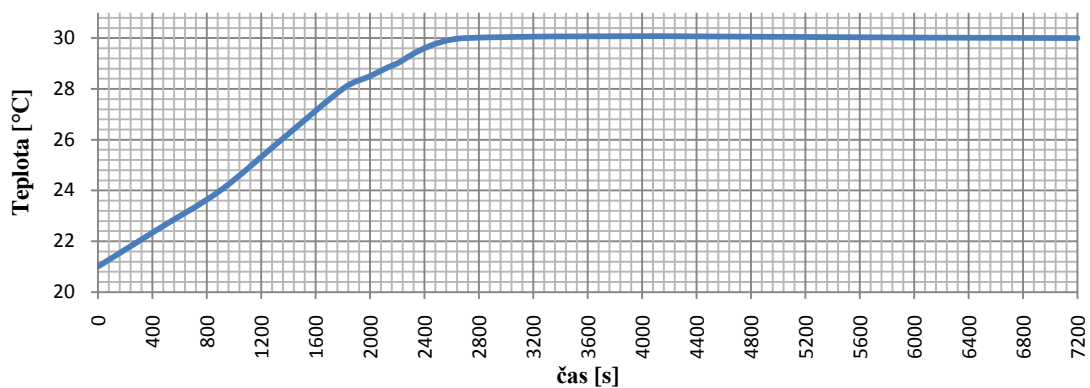
1. Teplota okolí



Obrázek 69: Graf vývoje teploty okolí

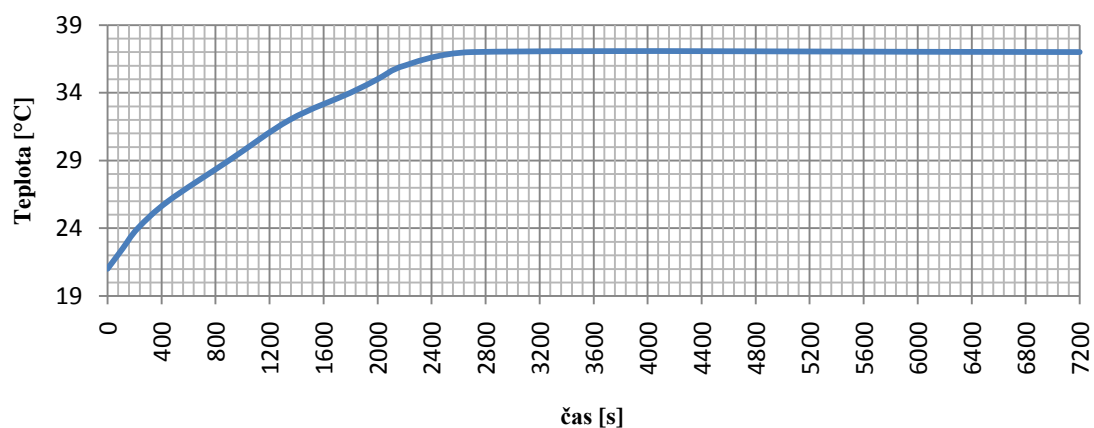


2. Teplota pod křížovým ložiskem



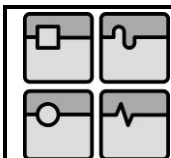
Obrázek 70: Graf vývoje teploty pod ložiskem

3. Teplota generovaná motorem hlavního náhonu



Obrázek 71: Graf vývoje teploty hlavního motoru

Pro výpočet byla použita funkce výpočtu nestaciárního teplotního pole a následné statická deformace vzniklá jeho působením. Pro tento účel bylo lože vetknuto v plochách simulujících 14 patek.



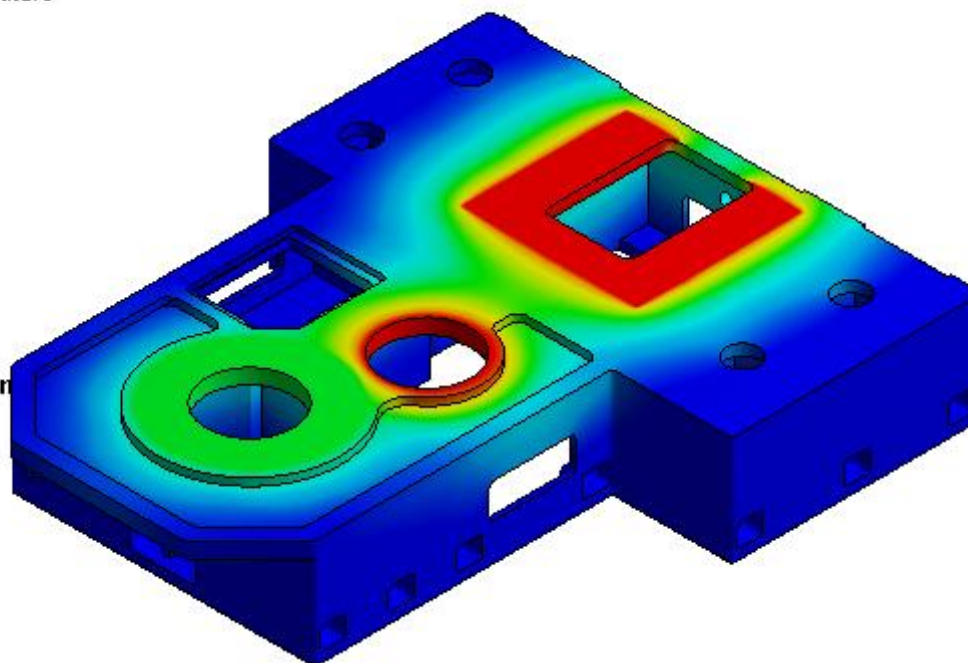
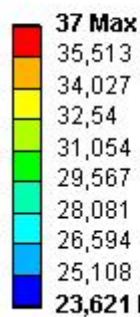
4.4.2. Vyhodnocení

Temperature

Type: Temperature

Unit: °C

Time: 7200

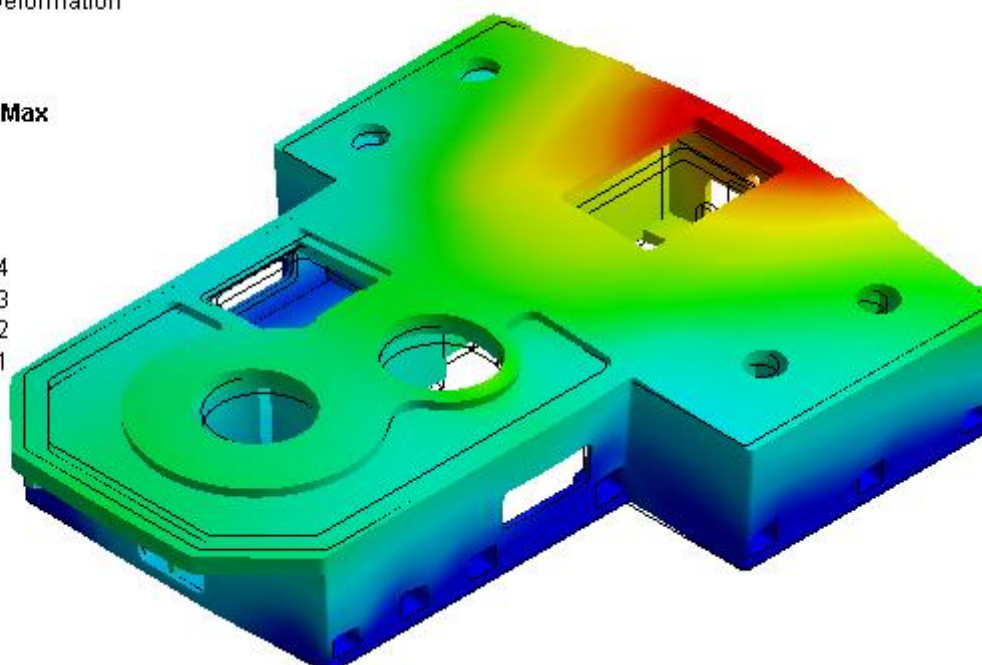
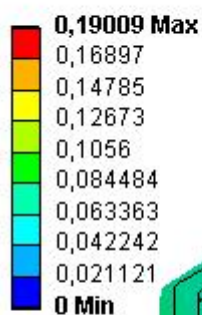


Total Deformation

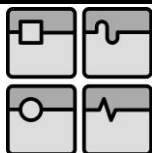
Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 7200



Obrázek 72 a 73: Teplotní pole a celková deformace šedá litina

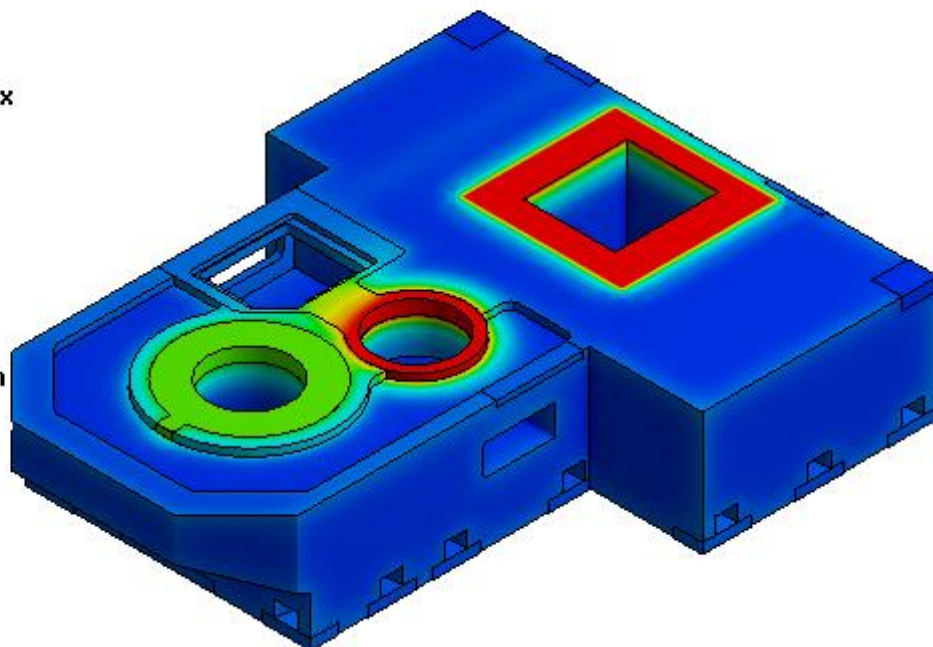
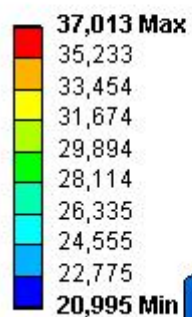


Temperature

Type: Temperature

Unit: °C

Time: 7200

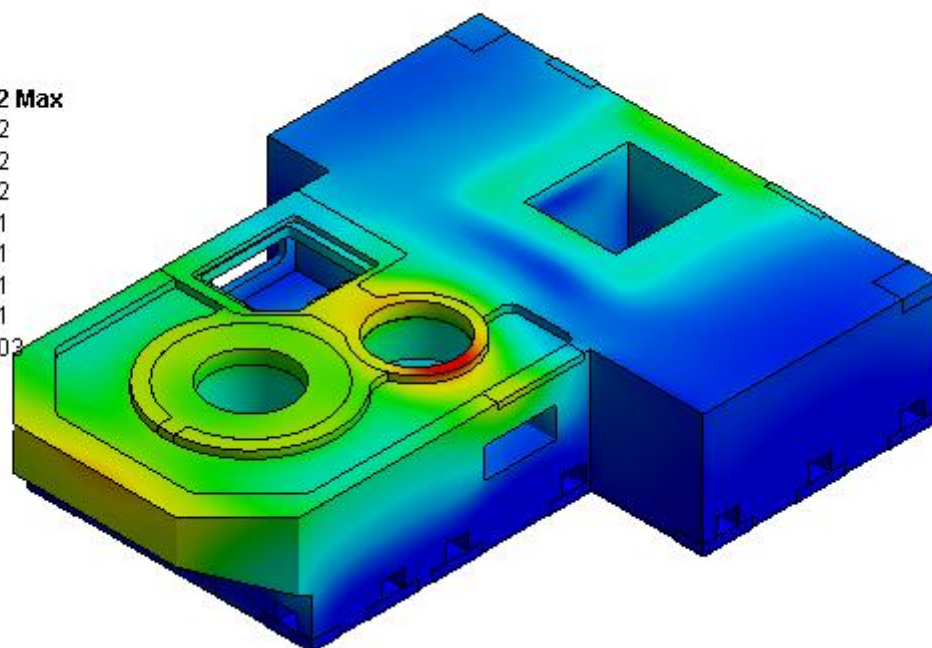
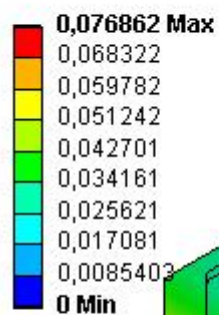


Total Deformation

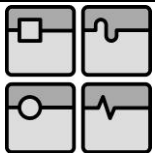
Type: Total Deformation

Unit: mm

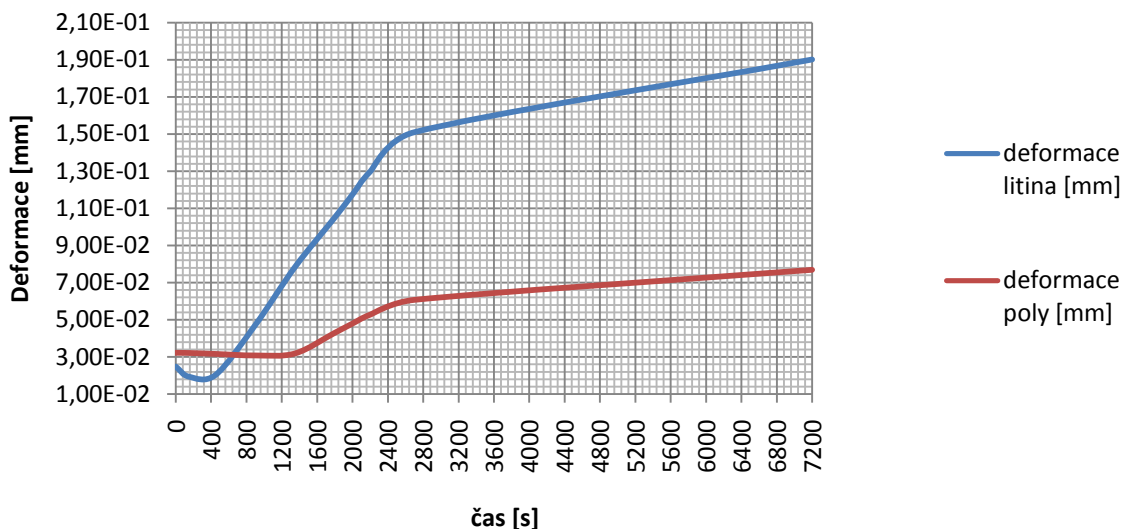
Time: 7200



Obrázek 74 a 75: Teplotní pole a celková deformace polymerbeton II



DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obrázek 76: Vývoj deformací v čase

Výsledky odpovídají parametrům a předpokladům dostupných v literatuře, která popisuje vlastnosti polymerbetonu. Jak bylo řečeno v úvodu, výsledky porovnávají oba díly, nejde o absolutní přesnost výpočtu.

K přesnějším výpočtům by vedlo zpřesnění okrajových podmínek, které by bylo možné získat mnohými měřeními:

- teploty chladicích kapalin
- teplotu řezné kapaliny (na jakou teplotu se kapalina chladí, za předpokladu, že se chladí)
- průzkum, které části jsou v kontaktu s chladicí a řeznou kapalinou
- teploty přivedené z okolí, jako jsou přestupy tepla z vedení na stojanu, z krunýře pod deskou stolu a jiných částí
- teploty vznikající v motoru náhonu C-osy a v prostoru C-osy
- teploty v potrubí odvádějícím olej z lože
- možnosti odstínění emitování tepla z komponent, jako motory a převodovka

Celkové chování systému samozřejmě ovlivňuje řezný proces a teploty při něm vznikající, také podmínky provozu zda je proces obrábění uzavřen.

5. Technicko-ekonomické zhodnocení a závěr

V této části práce by se měli zhodnotit technicko-ekonomické aspekty návrhu lože z polymerbetonu. Co se týká technických aspektů obou návrhů, je jednoznačně jasné, že při daném zadání a jeho požadavcích na zachování funkčních rozměrů a tím zaměnitelnost obou dílů není možné zcela využít kladné vlastnosti požadovaného materiálu. Tento fakt značně znevýhodňuje polymerbetonový návrh, jak však bylo uvedeno v kapitole návrhu řešení je možné při změně rozměrů funkčních částí získat co do vnějších rozměrů stejné lože, které již využívá ve větší míře vlastnosti polymerbetonu a tou je minimální mechanické opracovávání po odlití. Toto však není cílem této práce pouze návrh možnosti zlepšení řešení, které se odrazí v ceně výsledného dílu.

Z obou návrhových variant bych volil variantu II, která má lepší vlastnosti než varianta I a požadavky na opracování se odstraněním desky snímače, tvořené zalitým komponentem, snižují. Tato varianta je sice v hmotnostních parametrech nejtěžší, ale v porovnání třeba s jinými materiály a jejich konstrukčními řešeními je její hmotnost cca o 35% nižší.

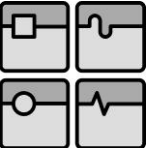
Jak již bylo řečeno, cenu výsledného dílu ovlivňuje řada faktorů, které působí společně. V první řadě je to rozměrová podobnost litinového popř. svařeného dílu s navrhovaným polymerbetonovým. Ta ovlivňuje hlavně nároky na formu. Cenu formy ovlivňuje počet požadovaných dílů, jejich přesnost. Počet dílu také ovlivňuje materiál, který tvoří formu a ten opět promlouvá do ceny. Obecně se dá říct, že formy mohou stát od stovek tisíc do několika milionu. Při větších objemech se snižuje výsledná cena dílu až o desítky procent. Dále cenu ovlivňuje cena osazovaných komponent a to zda si je schopný zadavatel komponenty vyrobit sám nebo kooperací. Dále je nutno do ceny započítat nároky na projektování a dokumentaci, cenu materiálu a lidskou práci což je know-how dané firmy, která tento problém pro zadavatele řeší. V neposlední řadě je to doprava.

Jen zcela pochopitelné, že pokud v této úvaze účinkuje tolik neznámých, pouštěl by se autor jen do spekulací, které by nebyli obhajitelné. Určitou cenu není autor schopen udat, je však dle zadání a zkušeností osob pohybujících se v tomto oboru možno říci, že polymerbetonový díl za požadovaných podmínek neměnných funkčních rozměru v ceně neobstojí v porovnání s dílem z šedé litiny.

Pokud by bylo nutné přesto uvést cenu, dá se stejně jako litina při určitých podmínkách paušalizovat cena/kg a ta se pohybuje od 25-200 Kč/kg. Cena litiny je pro příklad např. 45Kč/kg. Je však nutné uvést, že tyto ceny nemusí být konečné a zcela přesné a že v těchto cenách nejsou uvedeny náklady na opracování a v předešlém textu uvedené faktory.

materiály	Cena [Kč]
Šedá litina	162000
Polymerbeton	123750 - 1150000

Tabulka 9: Přibližné ceny materiálu

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

6. Seznam použitých norem, obrázků a tabulek

6.1. Seznam použitých norem

1. DIN 51 290. *Testování polymerbetonů pro strojírenské použití, názvosloví*
2. ČSN 13 7720. *Strojírenská šroubení nepájená. Trubkové přípojky přímé s připojovacím závitem metrickým*
3. ČSN 13 7739. *Strojírenská šroubení nepájená. Závity a rozměry připojovacích dutin pro mazací trubky*
4. ČSN ISO 5170. *Obráběcí stroje. Mazací systémy*
5. ČSN EN 12417. *Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů - Obráběcí centra*
6. ČSN EN 12786. *Bezpečnost strojních zařízení - Návod pro tvorbu ustanovení o vibracích v bezpečnostních normách*
7. ČSN ISO 230-3. *Zkušební předpisy pro obráběcí stroje - Část 3: Určení tepelných vlivů*
8. ČSN 20 0065. *Obráběcí stroje na kovy. Metody měření a hodnocení mechanického kmitání. Mezní hodnoty kmitání*
9. ČSN EN 10305-4. *Ocelové trubky pro přesné použití - Technické dodací podmínky - Část 4: Bezešvé trubky tažené za studena pro hydraulické a pneumatické systémy*
10. ČSN EN 1053. *Plastové potrubní systémy - Termoplastové potrubní systémy pro beztlakové použití - Zkouška vodotěsnosti*

6.2. Soupis obrázků a tabulek

Obrázek 1: Stroj řady SKA	9
Obrázek 2: Stroj řady POWERTURN Y	9
Obrázek 3: Rozdělení kompozitů dle struktury dispergované fáze	10
Obrázek 4: Rozdělení kompozitů dle druhu matrice	11
Obrázek 5: Synergický efekt.....	11
Obrázek 6: Schéma polydisperzní	13
Obrázek 7: Plniva.....	14
Obrázek 8: Pojiva.....	15
Obrázek 9: Šedá litina - tlumení	16
Obrázek 10: Polymerbeton – tlumení	16
Obrázek 11: Odezva materiálu na změnu teploty	17
Obrázek 12: Dávkovací systém	19
Obrázek 13: Míchací stroj.....	19
Obrázek 14: Odlévání do formy	20
Obrázek 15: Vibrační stůl	20
Obrázek 16: Forma	21
Obrázek 17: Montáž formy.....	22
Obrázek 18: Závitové pouzdro (insert).....	23
Obrázek 19: Nosné pouzdro	23
Obrázek 20: Speciální zálitky	23
Obrázek 21: Lože laserového OS	25
Obrázek 22: Lože frézovacího centra (DMG)	25
Obrázek 23: Lože frézovacího centra (DMG)	25
Obrázek 24: HSC centrum (CHIRON).....	25
Obrázek 25: HSC centrum (MIKRON).....	25
Obrázek 26: HPC centrum (MIKRON).....	25
Obrázek 27: Broušící stroj (Walter AG).....	25
Obrázek 28: Lože broušících strojů	25
Obrázek 29: Lože z šedé litiny	26
Obrázek 30: Lože z polymerbetonu.....	27
Obrázek 31: Konstrukční uzly	28
Obrázek 32: Konstrukční uzel 2	28
Obrázek 33: Konstrukční uzel 3	29
Obrázek 34: Konstrukční uzel 4	29
Obrázek 35: Konstrukční uzel 5	30
Obrázek 36: Druh zatížení manipulační kotvy	30
Obrázek 37: Podmínky pro polohu kotvy.....	30
Obrázek 38: Konstrukční uzel 8	31
Obrázek 39: Patka (epucet)	31
Obrázek 40: Rozmístění upínacích bodů	31
Obrázek 41: Konstrukční uzel 10 varianta I	32
Obrázek 42: Konstrukční uzel 10 varianta II.....	32
Obrázek 43: Konstrukční uzel 11	32
Obrázek 44: Fluidní a jiná vedení.....	32
Obrázek 45: Řešení se změnou rozměrů.....	33
Obrázek 46: MKP síť.....	34
Obrázek 47: Vazba.....	36

Obrázek 48: Zátěžová podmínka I.....	36
Obrázek 49: Vazba	36
Obrázek 50: Zátěžová podmínka II	37
Obrázek 51: Zátěžová podmínka III	38
Obrázek 52: Celková deformace šedá litina podm. I.....	39
Obrázek 53: Celková deformace polymerbeton I podm. I	39
Obrázek 54: Celková deformace polymerbeton II podm. I	40
Obrázek 55: Celková deformace polymerbeton II podm. I	40
Obrázek 56: Celková deformace šedá litina podm. II	41
Obrázek 57: Celková deformace polymerbeton I podm. II	41
Obrázek 58: Celková deformace polymerbeton II podm. II	42
Obrázek 59: Celková deformace polymerbeton III podm. II	42
Obrázek 60: Celková deformace šedá litina podm. III	43
Obrázek 61: Celková deformace polymerbeton I podm. III.....	43
Obrázek 62: Celková deformace polymerbeton II podm. III	44
Obrázek 63: Celková deformace polymerbeton III podm. III	44
Obrázek 64: Graf celkových deformací.....	45
Obrázek 65: Graf napětí.....	46
Obrázek 66: Tvary vlastních kmitů šedá litina	48
Obrázek 67: Tvary vlastních kmitů polymerbeton III	49
Obrázek 68: Podmínka teplotního zatížení.....	50
Obrázek 69: Graf vývoje teploty okolí	50
Obrázek 70: Graf vývoje teploty pod ložiskem	51
Obrázek 71: Graf vývoje teploty hlavního motoru	51
Obrázek 72 a 73: Teplotní pole a celková deformace šedá litina	52
Obrázek 74 a 75: Teplotní pole a celková deformace polymerbeton II	53
Obrázek 76: Vývoj deformací v čase.....	54
Tabulka 1: Porovnání materiálových vlastností	16
Tabulka 2: Typy manipulačních kotev	30
Tabulka 3: Hmotnost variant	33
Tabulka 4: Materiálové konstanty	35
Tabulka 5: Definice vazby.....	36
Tabulka 6: Celková deformace	45
Tabulka 7: Napětí	45
Tabulka 8: Hodnoty vlastních frekvencí.....	47
Tabulka 9: Přibližné ceny materiálu	55

7. Seznam použité literatury

Knihy

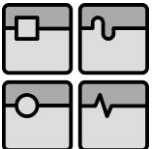
- [1] BAREŠ, R. Kompozitní materiály. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988. 325 s.
- [2] MRÁZ, P.; TALÁCKO, J. Konstrukce strojů s kompozitními materiály. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2006. 226 s.
- [3] KOŘÍNEK, Z.: Kompozitní materiály. 1. vyd. Praha: ČVUT FS, 1995
- [4] Jackich, U.-V.: Mineralguss für den Maschinenbau. 2. vyd. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie, 2002. 150 s.

Elektronické zdroje informací

- [5] MM Průmyslové spektrum - strojírenský měsíčník. [online] [cit 15. 2. 2008]
Dostupné z: <www.mmspektrum.com>
- [6] TOSHULIN – výroba svislých soustruhů. [online] [cit 12. 10. 2007] Dostupné z:
<www.toshulin.cz>
- [7] EPUCRET – výroba dílů z polymerbetonu. [online] [cit 18. 4. 2008] Dostupné z:
< <http://www.epucret.de/en/>>
- [8] TRICKES – výroba dílů z polymerbetonu. [online] [cit 18. 4. 2008] Dostupné z:
< <http://www.trickes-mineralguss.com>>
- [9] CNC ZONE – internetový server. [online] [cit 18. 4. 2008] Dostupné z:
< <http://www.cnczone.com>>
- [10] InfoZdroje – internetový server. [online] [cit 10. 12. 2008] Dostupné z:
< <http://www.infozdroje.cz>>

Firemní literatura (katalogy apod.)

- [11] Integrované prvky. Cheb: Schneeberger
- [12] Mineralguss kompakt – Anwenderinformationen, Werkstoffe, Standardeingießteile. Epucret 2007

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 60
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8. Seznam příloh

Přílohy jsou spustitelné jako 3D modely ve verzi acrobat reader 8 a vyšší

[1] Model lože z polymerbetonu varianta I : název souboru Varianta I.pdf

[2] Model lože z polymerbetonu varianta II : název souboru Varianta II.pdf

[3] Instalační soubor acrobat reader