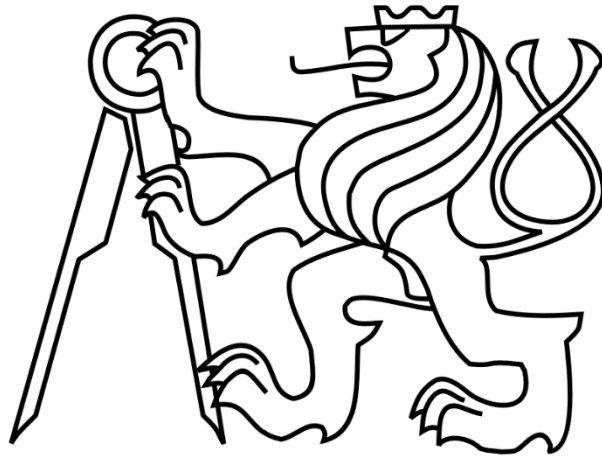


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Diplomová práce

Optimalizace lože brusky PF8



*Vysoká škola:* ČVUT v Praze  
*Fakulta:* strojní  
*Ústav:* Výrobní stroje a zařízení  
*Akademický rok:* 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

*pro* **Bc. Václav Labašta**  
*Program:* Strojní inženýrství  
*Obor:* Výrobní stroje a zařízení

*Téma práce:* **Optimalizace lože brusky PF8**  
**Optimization of PF8 Grinding Machine Frame**

### **S t r u č n á   o s n o v a   z a d á n í :**

1. Navrhněte vhodná kritéria pro porovnávání vlastností (tuhosti) lože brusky PF8.
2. Navrhněte minimálně dvě topologické koncepce nového lože brusky. Nové návrhy budou předpokládat způsob výroby svařováním, materiál ocel.
3. Nové varianty optimalizujte s ohledem na minimalizaci hmotnosti při minimálně stejné tuhosti, jakou měla původní varianta. Parametry pro optimalizaci budou tloušťky stěn a vhodné geometrické rozměry, které neovlivní konstrukci ostatních dílců stroje.
4. Optimalizované varianty porovnejte s původní variantou a vyberte nejlepší z nich s ohledem na tuhost, hmotnost a technologičnost. Zpracujte 3D model výsledné varianty.

**Rozsah grafické části práce:** 3D model výsledné varianty

**Rozsah textové části práce:** 60 – 80 stran

**Doporučená literatura:**

HOUŠA, Jaromír a Bedřich RUDOLF. Výrobní stroje. 3. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00993-9.

NOCEDAL, Jorge a Stephen J WRIGHT. Numerical optimization. 2nd ed. New York: Springer, c2006. ISBN 0-387-30303-0.

ARORA, Jasbir S. Introduction to optimum design. 3rd ed. Boston: MA : Academic Press, 2011. ISBN 9780123813756.

MOAVENI, Saeed. Finite element analysis: theory and application with ANSYS. 3rd ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, c2008. ISBN 978-0-13-189080-0.

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Jindřich Sušeň, MSc.

**Konzultant:** Ing. Aleš Přiklopil – ERWIN JUNKER

**Datum zadání diplomové práce:** 25. 4. 2016

**Termín odevzdání diplomové práce:** 15. 7. 2016

Neodevzdá-li student diplomovou práci v určeném termínu, musí tuto skutečnost předem písemně zdůvodnit a omluva být děkanem uznána. Děkan studentovi stanoví náhradní termín odevzdání diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, musí si student zapsat diplomovou práci podruhé.

*Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.*

Zadání diplomové práce převzal dne: 20. 4. 2016

.....  
student



  
Ing. Petr Kolář, Ph.D.

vedoucí ústavu

  
Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

děkan fakulty

V Praze dne 20. 4. 2016

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci: „Optimalizace lože brusky PF8“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jindřicha Sušně, MSc a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze 15.7.2016

Bc.Václav Labašta

Touto cestou bych rád poděkoval za vedení, cenné rady a trpělivost panu Ing. Jindřichu Sušňovi, MSc, za konzultaci panu Ing. Aleši Příkladovi.

Chtěl bych poděkovat i své rodině za podporu při studiu.

## Anotace

<i>Jméno autora:</i>	Václav Labašta
<i>Název DP:</i>	<b>Optimalizace lože brusky řady PF8</b>
<i>Rozsah práce:</i>	84 str., 56 obr., 13 tab.
<i>Akad. rok vyhotovení:</i>	2015/2016
<i>Ústav:</i>	ČVUT FS - Ústav výrobních strojů a zařízení
<i>Vedoucí DP:</i>	Ing. Jindřich Sušeň, MSc
<i>Konzultant:</i>	Ing. Aleš Přiklopil
<i>Zadavatel tématu:</i>	Erwin Junker
<i>Klíčová slova:</i>	Polymerbeton, ocel, optimalizace, tuhost
<i>Anotace:</i>	Cílem této práce je návrh optimalizovaného svařence lože brusky PF8. Optimalizace byla vytvořena v programu Ansys 17, kdy se řešila pouze statická část úlohy. Z optimalizovaných topologických variant byla vybrána optimální varianta na základě tuhosti a hmotnosti. V této práci je zpracování rešerše na téma materiálů používaných v obráběcích strojích a rešerše původní varianty.

## Annotation

- Author:* Václav Labašta
- Title of diploma thesis:* **Optimization of PF8 Grinding Machine Frame**
- Extent:* 84 p., 56 fig., 13 tab.
- Academic year:* 2015/2016
- Department:* CTU – Department of Production Machines
- Supervisor:* Ing. Jindřich Sušeň, MSc
- Consultant:* Ing. Aleš Přiklopil
- Submitter of the Theme:* Erwin Junker
- 
- Key words:* Polymer concrete, steel, optimization, rigidity
- Annotation:* The aim of this thesis is to optimize a welded bed of a grinder PF8. The statics optimization was performed by using of ANSYS 17. Three designs were topologically optimised and the optimal design was chosen accordingly to two parameters, stiffness and mass. A research addressing materials that are used in machine tool was made and original bed design was inspected.

## Obsah

1. Úvod.....	11
2. Seznámení se strojem a původním ložem .....	12
2.1 Základní rozdělení brusek .....	12
2.2 Řešený stroj - Jucrank.....	13
2.3 Rešerše na téma aktuální stav lože.....	17
3 Rešerše na téma materiály používané na nosné dílce.....	21
3.1 Kovové materiály .....	21
3.2 Polymerbeton .....	26
3.3 Vysokopevnostní beton HPC.....	29
3.4 Granit.....	31
3.5 Keramika .....	32
3.6 Hybridní materiály.....	34
3.7 Srovnání vlastností jednotlivých materiálů.....	35
4. Optimalizace lože.....	37
4.1 Návrh kritérií pro porovnávání vlastností lože.....	37
4.1.1 Optimalizační algoritmy.....	37
4.1.2 Volba kritérií k porovnání variant.....	40
4.2 Návrh topologických variant.....	41
4.2.1 Zhodnocení původní varianty lože .....	41
4.2.2 Topologická varianta č.1 (v1).....	50
4.2.3 Topologická varianta č.2 (v2).....	52
4.2.4 Topologická varianta č.3 (v3).....	55
4.3 Návrh optimalizačního algoritmu .....	58
4.3.1 Jak pracují genetické algoritmy (GA) .....	58
4.3.2 Nastavení genetického algoritmu MOGA v Ansysu 17.....	60
4.4 Porovnání optimalizovaných variant .....	61





4.4.1 Výsledky topologické varianty č.1 .....	62
4.4.2 Výsledky topologické varianty č.2 .....	64
4.4.3 Výsledky topologické varianty č.3 .....	67
4.4.4 Porovnání topologických variant .....	70
4.4.5 Úprava bodu řešení V3_01 .....	73
Závěr.....	76
Seznam tabulek .....	78
Seznam obrázků .....	79
Seznam příloh .....	81
Seznam použité literatury.....	82



## Seznam veličin

Veličina	Název	Jednotka
$\rho$	Hustota	$\text{kg/m}^3$
$c$	vektor omezení, kladených na proměnné	1
$E$	Youngův modul pružnosti	$\text{N/mm}^2$
$F_{1x}$	Vodorovná zatěžující složka síly	N
$G$	Modul pružnosti ve smyku	$\text{N/mm}^2$
$k_{1x}$	Tuhost	$\text{N/mm}$
$m$	Hmotnost	kg
$p$	Tlak	$\text{N/mm}^2$
$R_{EH}$	Mez kluzu	$\text{N/mm}^2$
$R_m$	Mez pevnosti	$\text{N/mm}^2$
$u_{1x}$	Deformace od zatěžující síly	mm
$u_{Nix}$	Deformace od brousicího vřeteníku	mm
$u_{Njx}$	Deformace od pracovního vřeteníku	mm
$x$	Vektor neznámých	
$\alpha$	Teplotní součinitel délkové roztažnosti	$1/\text{K}$
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$\text{W/mK}$
$\nu$	Poissonovo číslo	1

# 1. Úvod

Jedním z důvodů zpracování této úlohy je zvýšení tuhosti a snížení hmotnosti. Další důvod je odstranění rozdílného součinitele teplotní délkové roztažnosti, kdy polymerbetonové lože má jinou teplotní rozměrovou stabilitu než ocelové vedení vřeteníků. Polymerbetonové lože je dodávané externí firmou, kdežto svařenec lze svařit i v interních prostorech firmy.

Standartní názvosloví řešeného nosného dílce je lože, firma Junker dle svých interních standardů používá stojan.

Tato diplomová práce řeší pouze statickou část úlohy, tato práce bude sloužit jako podklad pro další zpracování. Tuhost se řeší ve dvou zátěžných bodech, kdy zadanými parametry jsou nový materiál, maximální hmotnost a minimální tuhost.

Tato práce má několik částí. Jednou z částí je rešerše, kde je přiblíženo základní rozdělení brusek, seznámení s aktuálním stavem lože a rešerše základních materiálů při výrobě nosných dílců strojů.

Další částí je optimalizace, která se dělí do několika samostatných celků. Jednotlivé celky se můžou rozdělit do úvodu do optimalizace, návrh kritérií pro porovnání vzhledem k původnímu řešení. Další částí je návrh topologických variant, výběr vhodného optimalizačního algoritmu a zhodnocení získaných výsledků. Poslední částí je vytvoření 3D modelu zvolené varianty.

Při řešení této práce byl použit program Ansys 17 a Inventor 16.

## 2. Seznámení se strojem a původním ložem

Na úvod této kapitoly je uvedeno základní rozdělení brusek. Dále je v této kapitole popsán stroj Juncrank, pro který se nové lože řeší. Závěrem této kapitoly je uvedeno seznámení s původní variantou lože.

### 2.1 Základní rozdělení brusek

Než se začne tvořit samotná práce, bylo by vhodné blíže se seznámit se stavbou brusek, a jak vypadají.

V této kapitole budou uvedeny jednotlivé brusky.

Brusky dělíme na ruční a strojní, dále bude psáno pouze o strojních.

Brusky se dělí:

- Dílenská stolní bruska
- Hrotová bruska
- Bezhrotá bruska
- Na díry
- Rovinná bruska
- Nástrojová bruska

Princip brusky spočívá v odebrání jednotlivých vrstev materiálu pomocí broušícího kotouče, kdy broušící kotouč je v několika stupních tvrdosti. Místo kotouče lze také používat brusné plátno.

Broušící kotouč se například může vyrábět z karbidu křemíku nebo korundu.

Samotné broušení broušícím kotoučem probíhá tak, že k roztočenému broušícímu kotouči je přiložena nebo přisunuta součást, kterou je potřeba brousit. Další možností je, že obrobek je pevně upnut a broušící kotouč se k němu přibližuje.

Broušení může být čelní nebo po obvodě.



Operaci broušení se zařazuje mezi dokončovací operace. Pomocí dokončovacích operací u obrobku dosahujeme požadovaných tolerancí a drsností, které z technologického hlediska nemůžeme dosáhnout při jiných způsobů obrábění.

## 2.2 Řešený stroj - Jucrank

Předmětem této práce je optimalizace lože stroje Jucrank, který patří mezi hrotové brusky.

Tento stroj se skládá z nezávisle řízených brousicích vřeteníků, pracovních vřeteníků, lunet, lože, krytování a olejové vany.



Obr. 1: Pohled na krytování stroje Jucrank, [1]

Tento stroj, je vidět na Obr. 1, je navržen pro oscilační broušení libovolných hřídel splňující rozměry daného pracovního prostoru. Klikové hřídele broušené na tomto stroji se používají například pro osobní a nákladní automobily. Stroj může brousit široké spektrum klikových hřídel od jednoválcových až po dvanáctiválcové.

Brousicí vřeteníky jsou instalovány individuálně v závislosti na požadavku výroby zákazníka.

Výhodou tohoto stroje je, že vyřeší prakticky všechny brousicí požadavky v oblasti obrábění klikových hřídel. Broušení na jedno upnutí může být použito



u hlavních ložisek a ojnicích čepů. Tento stroj zvládá i broušení obrobků, které jsou z kalených materiálů.

Firma Junker má již dlouho trvající zkušenosti v oblasti broušení, proto v jejím programu lze nalézt jakoukoli kombinaci různých typů broušení. Výrobky, které mohou být broušeny díky kombinaci, jsou upevňovací pásy, příruby, čepy. [1]

#### Přednosti stroje Jucrank

- použitelný pro různý počet válců
- flexibilní při broušení ložisek
- vysoká využitelnost
- orovňovací zařízení dle požadavku zákazníka
- rozměrová stálost
- měření rozměrů během broušení
- jednorázové upnutí -> přesnost
- korekce kruhovitosti a rozměrů při broušení
- dlouhodobá přesnost (hydrostatická vedení)
- CNC řízený přívod chladicí kapaliny
- samostředicí tříbodové lunety

Firma Junker uvádí na svých internetových stránkách popis jednotlivých důležitých částí stroje. Následující odstavce se budou zabývat popisy některých těchto částí stroje. [1]

Každý stroj je upravován na základě požadavků zákazníka, při stálém zvyšování kvality procesu a snižování strojního času.

#### Lunety

Vlastní centrovaná tříbodová stabilní opěrka zajišťuje orientovanou podporu i při různých průměrech obrobků. Hydraulické čelisti zajišťují rovnováhu sil mezi všemi třemi kontaktními místy. Jako možnost jsou k dispozici CNC řízené stabilní opěrky, které podporují klikový hřídel se dvěma nosnými hranoly. Každá z těchto lunet má svoji vlastní CNC osu. Tudíž, mohou být ovládány jednotlivě a dosahovat stejné výchylky.

## Upínání

Stroj používá pro upínání patentovaný 3 bodový montážní systém. Upnutí nástroje je velmi rychlé. Úprava upnutí koníku a vřeteníku se provádí hydraulickým válcem nebo pomocí s osy (vlastní CNC osa).

## Lože

Lože stroje je z minerální litiny. Polymerbetonové lože může kompenzovat teplotu okolního prostředí, to zaručuje rozměrovou stálost po celou dobu užívání. U polymerbetonového lože se předpokládají dobré tlumící vlastnosti a torzní tuhost.

## Abrazivo

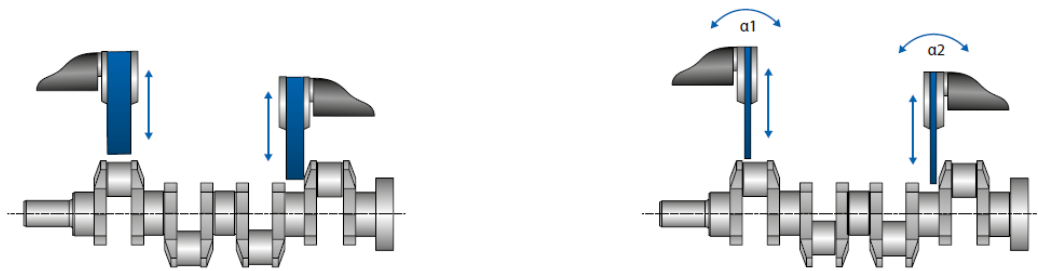
V závislosti na aplikaci se používají CBN nebo diamantové brousící kotouče. Základní těleso brusných kotoučů je vyrobeno z oceli nebo uhlíku. Spojení uhlíkového tělesa s CBN přináší dobré užité vlastnosti. Vlastnosti jsou například nízká hmotnost, tvarová stabilita při vysokých otáčkách.

## Protipožární ochrana a vzduchový filtr LTA

Při vznícení uvnitř ve stroji se stroj automaticky neprodyšně utěsní. Utěsněním se požár uhasí, protože je zamezeno přístupu kyslíku. Tím se zabrání zničení celého stroje. Na žádost zákazníka jsou do stroje montovány také přídatné hasicí systémy (CO<sub>2</sub> nebo systém vodního mlžení) a systémy na čištění vzduchu.

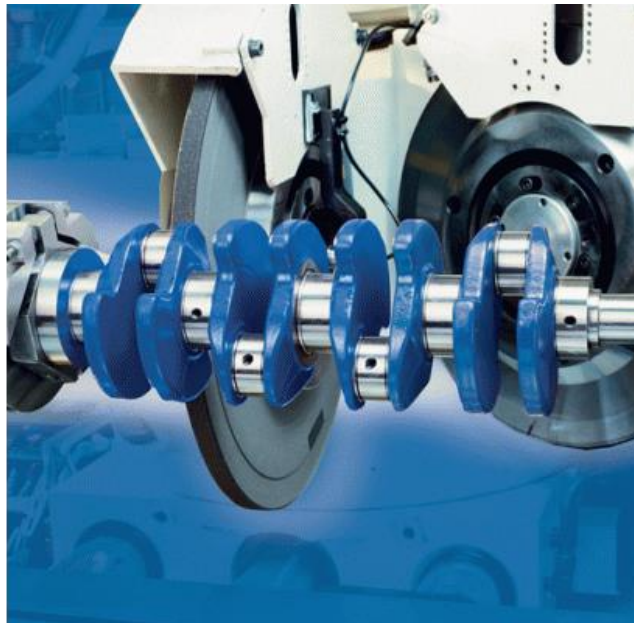


Obr. 2: Řezný proces stroje Jucrank, [1]



Obr. 3: Princip broušení dvěma typy brusných kotoučů, [1]

Na Obr. 3 lze vidět dva způsoby broušení, které lze aplikovat na stroji. Prvním způsobem může být broušení celé drážky na jeden záběr, kdy kotouč může vykonávat pouze přísun. Druhým způsobem je broušení tenkým kotoučem, kdy se brousí na několik záběrů. Tento typ kotouče se může kromě přísuvu také natáčet, což je vidět na Obr. 4.

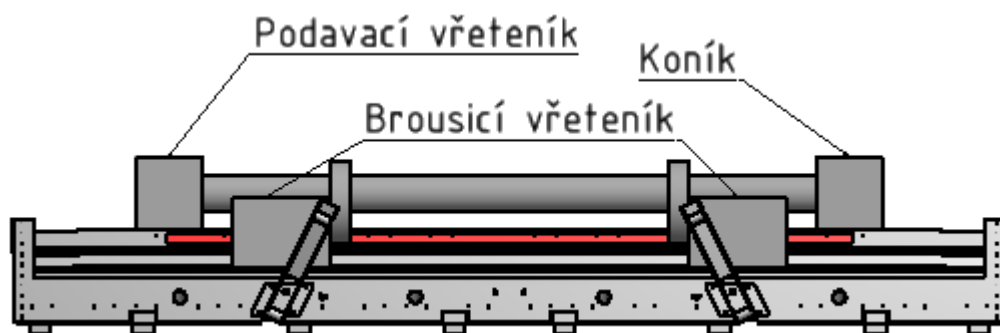


Obr. 4: Možnost otáčení kotouče, [1]

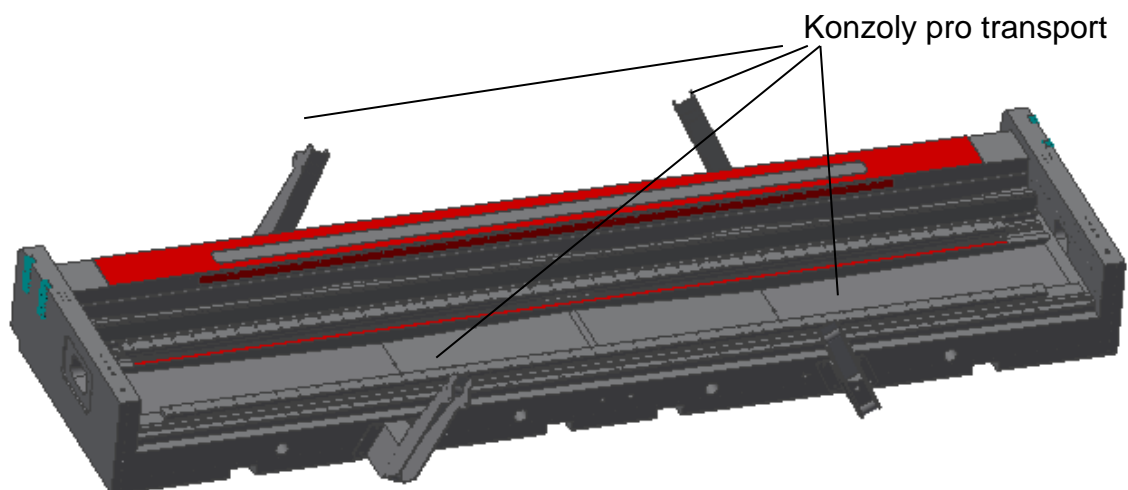


## 2.3 Rešerše na téma aktuální stav lože

V dnešní době je lože brusky PF8 z minerální litiny (polymerbeton). Standardní názvosloví řešeného nosného dílce je lože, nicméně forma Junker dle svých interních standardů nazývá řešený nosný díl stojanem. Na loži jsou dva nezávisle řízené broušící vřeteníky, které lze vidět na Obr. 5. Další části, které jsou na loži, jsou dva podávací vřeteníky, dle názvosloví firmy Junker pracovní vřeteníky. Rozestavení jednotlivých částí jde vidět na Obr. 5. Mezi ložem a broušícími vřeteníky se nachází hydrostatické lineární vedení, která firma Junker primárně používá u svých strojů.



Obr. 5: Aktuální provedení lože



Obr. 6: Polymerbetonové lože s konzoly pro transport

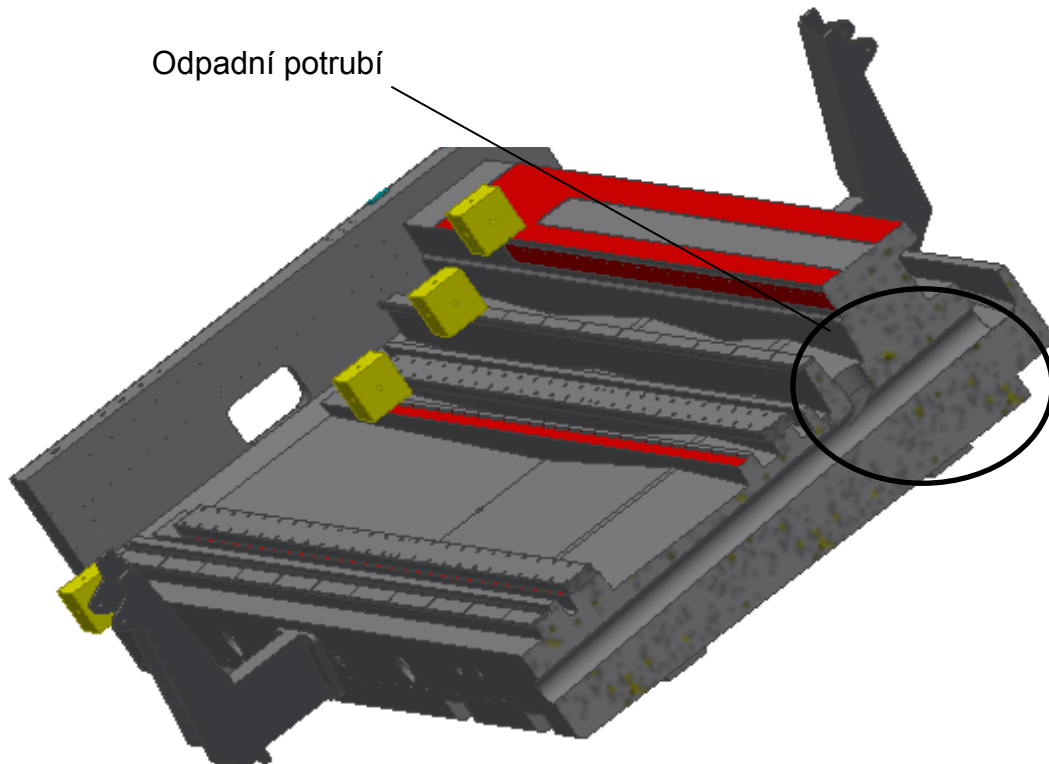
Dle Obr. 6 jsou vidět na modelu čtyři konzoly pro transport lože. V místech těchto ramen musí být lože zesílené pro větší pevnost, aby lože nebylo poškozeno při transportu.



Polymerbeton je podrobně popsán v kapitole 3.2. Jedním z důvodů proč je lože bez vnitřních dutin, je ten, že polymerbeton má nízký modul pružnosti. Plností se kompenzuje statická tuhost. Hustota materiálu je také nízká v porovnání s ocelí. Vlivem této vlastnosti se nemusí odlehčovat pro snížení váhy na úkor tuhosti. Pro technologii výroby lože z tohoto materiálu je výhodnější plnost. Dílec je formován na vibračním stole. Je nutné rovnoměrné rozložení směsi po celé ploše. Vlivem složitosti (dutiny) struktury by se směs nemusela dostat všude, různé dutiny by také prodražily výslednou cenu formy.

Na dolní části Obr. 7 jsou vidět čtyři větší otvory. Tyto otvory slouží jako odvody chladicí kapaliny. Otvory jsou po celé šířce nosného dílce a jsou pod určitým úhlem, ten zaručuje snadnější odtok chladicí kapaliny, která také nese třísky (v případě broušení prach). Otvory jsou vloženy do lože před samotným vytvrzením směsi. V tomto případě jsou otvory z plastu.

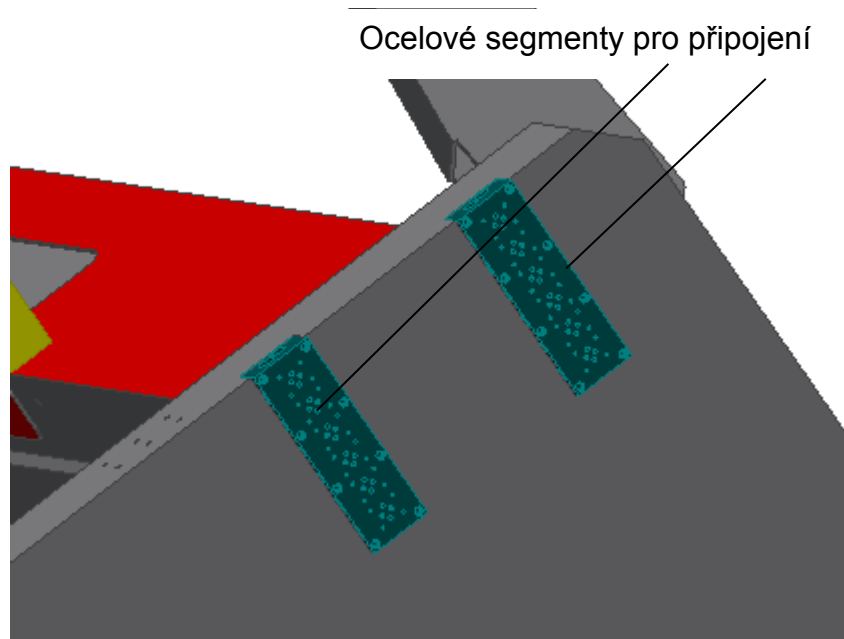
Odpadní potrubí kapalin je dvou systémové. Firma Junker používá při broušicím procesu dvě různé kapaliny. Jedna kapalina je odváděna mezi vedením broušicích vřeteníků. Tato kapalina je olej, který je odváděn z prostoru hydrostatických ložisek. Druhá kapalina je pro pracovní vřeteník a její odvod je naznačen na Obr. 7 v místě řezu. Tato kapalina je emulze, slouží k odvodu třísek z místa řezu a chlazení řezného procesu. Kapalina vtéká do potrubí v prostoru mezi vřeteníky a za pracovními vřeteníky. Obě tyto kapaliny jsou na rozdílné bázi, proto jsou nutná dvě odpadní vedení pro jejich nesmíchání.



Obr. 7: Otvory pro chladicí kapalinu

Lože je podepřeno šestnácti patkami, které slouží k ustavení stroje. Patky nejsou spojeny pevně se základem. Nehybnost stroje zajišťuje jeho vlastní tíha a posunu do stran zabraňuje vzniklá třecí síla mezi plochami patek.

Na celé konstrukci lože jsou vidět díry pro připojování dalších částí (krytování, olejové vany) a obrobené plochy vložených ocelových segmentů pro přesné připojení například hadic. Na Obr. 8 jsou vidět dva vložené segmenty, tyto segmenty jsou na obou stranách. Jakýkoliv zásah do polymerbetonového lože, v tomto případě obrobené plochy a díry, je velmi problematický. Proto se výrobci loží snaží veškeré dodatečné operace minimalizovat a nahrazovat vloženými přídatnými segmenty, které je snadné obrábět.



Obr. 8: Vložené segmenty

## 3 Rešerše na téma materiály používané na nosné dílce

Tato rešerše má za úkol přiblížení jednotlivých materiálů, které se používají v nosných strukturách obráběcích strojů. Budou zde uvedeny jednotlivé materiály, které se používají pro nosný díl lože a také způsob jejich výroby. Popis každého uvedeného materiálu obsahuje kladné, ale i záporné vlastnosti.

Tato rešerše se bude zabývat materiály kovovými, nekovovými, kompozitními a hybridními.

### 3.1 Kovové materiály

Mezi kovové materiály patří litina a ocel. Tyto dva materiály byly na počátku vzniku strojů, tzv. průmyslové revoluce. Tyto dva materiály jsou stále dominantní ve stavbě strojů, nicméně se použití nekonvenčních materiálů prosazuje v technické praxi více. Jednou dokonce může nastat doba, kdy tyto dva konvenční materiály nebudou ve stroji zastoupeny.

#### Ocel

Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o materiál s dlouhotrvající historií používání. Vlivem dlouhotrvajícího používání je dostatečně zvládnuta její výroba.

Nosné části stroje z oceli mohou být svařované nebo v podobě odlitku za použití oceli na odlévání.

Svařování nosných dílců je v současnosti používanější oproti odlitkům z oceli. Pro svařování se používají základní nebo upravené (vyříznuté) profily. Profily mohou být například T, L, U, C, uzavřené (obdélníkové, čtvercové, kruhové) nebo plechy různých tloušťek a velikostí. [12], [13], [7]

Pro vytvoření svařence je důležité znát konkrétní vlastnosti oceli, ne každá ocel je vhodná ke svařování.

Základní vlastnosti oceli jsou v tab. 1.

V příloze A budou uvedeny některé oceli a jejich mechanické vlastnosti.

tab. 1: Vlastnosti oceli

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	G [GPa]	$\nu$ [1]	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>eH</sub> [MPa]
Ocel	7850	210	82	0,3	50	11,5 - 16e-6	370 - 530	275

## Výhody:

- Kusová nebo malosériová výroba
- Rozměrové složité nosné struktury (mnoho změn v povrchu)
- Různé tloušťky plechů (profilů) ve výrobku
- Konstrukce žebrování
- Možnost obrobení funkčních ploch
- Možnost dodatečných technologických operací (vyvrtání děr, závitování...)
- Snadná a levná změna konstrukce dalšího výrobku
- Vysoká hodnota Youngova modulu pružnosti
- Snížení hmotnosti celého stroje
- Úspora materiálu oproti odlitku

## Nevýhody:

- Komplikovanější zaškrabávání
- Větší vnitřní pnutí než u litiny a nákladnější odstranění
- Změna materiálových vlastností v okolí svaru
- Nevhodné pro sériovou výrobu, drahé, výroba trvá déle než například u odlitku
- Malé materiálové tlumení

Pro návrh počtu žeber a jejich umístění je důležité znát zatížení a také místo jeho působení. Svařenec se volí s co nejmenší hmotností, ale při zachování dostatečné pevnosti při zatížení. Dále je potřeba znát počet kusů daného dílce za rok pro efektivnost.

Dalším způsobem může být vytvoření odlitku do předem definované formy. Tvar nosného dílce musí být znám od počátku, důvodem je cena formy. Veškeré dodatečné opravy formy jsou obtížné nebo zcela vyloučené. Toto řešení lze uvažovat až od určitého množství výrobků za rok. Cena formy a s ní spojené náklady, jakou je výroba jader, výměna písku, nejsou malé.

Pro výrobu odlitků nosných struktur se používají především litiny než oceli k odlévání, pro jejich lepší odlévací vlastnosti.

Na Obr. 9 je uveden příklad stroje, který má nosné konstrukci svařenec.



Obr. 9: Svařovaná nosná struktura portálu firmy Benazzato, [2]

### **Litiny**

Nosný díl vytvořený z litiny je ve většině případů těžší, udává se, že je těžší o 30%. Při požadavku zachování stejné tuhosti jako v případě oceli, je nutné volit silnější stěny odlitku. Modul pružnosti oceli je 210 000MPa, ale pro tvárnou litinu je 160 000MPa a pro šedou 110 000MPa. Pro zvýšení tuhosti je nutné volit hustší síť žebrování.

Pro technologii výroby součásti z litiny je nutné znát předem design výrobku, zde není prostor pro razantní změny výrobku. Pro odlitek je potřeba vyrobit formu. Pokud se jedná o netrvalou formu, čili formu tvořenou pískem, je změna snazší. Forma se pokaždé musí znova vytvořit pomocí modelu, který je negativem výsledného výrobku, do kterého jsou přidány přídatná jádra, zámkové prvky, vtokové kanálky, náličky atd. Dalším typem formy může být tzv. trvalá forma. Tato forma je z odolné oceli, která vydrží teploty roztavené kapaliny (litiny).



Forma není trvalá, ale počet cyklů do jejího znehodnocení je méně nákladný než náklady na netrvalou formu.

Při tvorbě součásti je nutné dodržet zaoblení a zešíkmení rovných ploch. Toto je nutné pro snazší vyjmutí odlitku z formy. Funkční části se budou posléze obrábět.

Pro litinové nosné dílce se používají dva druhy litiny. Oba typy jsou grafitické. Jednou z nich je litina s lupínkovým grafitem (šedá litina) a druhou je litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina). V dnešní době je částečný přesun od šedé litiny ke tvárné litině.

Při tvorbě odlitku se používají tzv. segmenty. Při změně délky odlitků se vkládají další segmenty a tím se docílí delšího odlitku. Tímto způsobem odpadá nutnost mít na vzhledově stejné, avšak rozměrově odlišné, na každý odlitek jinou formu.

V tab. 2 jsou uvedeny základní vlastnosti dvou vybraných litin.

Na Obr. 10 je uveden typický příklad odlitku lože. [12], [13], [7]

tab. 2: Vlastnosti litiny

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	G [GPa]	$\nu$ [1]	$\Lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>eH</sub> [MPa]
šedá	7200	88	36	0,26	50	10	320	170
		-	-		-	-		
		140	55		62	13e-6		
Tvárná	7100	170	66	0,28	60	12,5e-6	400	240

Výhody:

- Sériová výroba až velkosériová výroba
- Lepší tlumení kmitání než u oceli
- Lépe se upravují po odlití
- Starší než ocel -> lépe zvládnutý proces
- Snadné zaškrabávání
- Menší vnitřní pnutí
- Bez oblasti ovlivněné tepelným zpracováním



#### Nevýhody:

- Malý modul pružnosti
- Velké množství žeber
- Potřeba více materiálu cca o 30% oproti svařenci
- Nutné skladování forem a modelů
- Nevhodné pro malé série
- Nevhodné pro složité tvary a velké množství změn povrchu



Obr. 10: Lože stojanu WRD 170 Q, [3]

#### Srovnání využití oceli a litiny:

Každý materiál má své pro a své proti. Ocel se používá především pro svařence, kdy je kusová výroba. Dále se ocel spíše používá v případě, kdy je nosný díl rozličných tvarů a kdy je potřeba co nejvíce snížit hmotnost.

Litina se používá tam, kde se nebere ohled na množství materiálu. Při velkých sériích se vyplatí použití litiny, kdy lze tímto způsobem ušetřit čas. Litím získáme v celé součásti stejnou strukturu.

V dnešní době se ve velkém repasují staré stroje, vlivem času jsou litinové nosné dílce vystárlé a většinou bez vnitřních vad ohrožující dílec.

## 3.2 Polymerbeton

Polymerbeton je jedním z nekonvenčních materiálů, které se používají pro stavbu nosných struktur obráběcích strojů. Tento materiál je poměrně mladý. Začal se používat od konce 80.tých let minulého století.

Polymerbeton je složenina z organické matrice a anorganického plniva, kdy matrice je vytvrditelná. Jeho výroba se provádí odléváním do rozebíratelných forem. Pro snadné vyplnění celé formy je umístěna na vibračním stole. Vibrační stůl usnadňuje zabíhání směsi do každé mezery a také díky vibracím je materiál zhutněn (více k sobě stlačen, napěchován).

Vytvrzení odlitku polymerbetonu (organické matrice) probíhá při teplotě do 55°C. Tato teplota napovídá, že se jedná o exotermní reakci. Teplota vytvoření odlitku je pouze pokojová teplota. Mezi plnivem a matricí nesmí docházet k vzájemné chemické interakci. Před samotným vytvrzením směsi je důležité mít připravené drážky pro vedení a otvory pro připojení dalších dílů. Konečné vytvrzení dochází až týden po odlití směsi do formy.

Plnivo zabírá z celkového objemu největší podíl, přibližně kolem 80%. Může se používat jak přírodní tak materiály vytvořené strojírenskou výrobou. Mezi základní přírodní materiály, které se používají jako plnivo, patří křemenec, žula, živec a čedič. Vlivem velkého procentuálního objemu zásadně ovlivňují materiály plniva výsledné vlastnosti a charakteristiky kompozitu. Plnivo jsou v podstatě namletá zrna z výše uvedených materiálu (0-16mm), kdy není zrovna nejvhodnější mít co nejmenší zrna. Nejvhodnější je mít co možná největší zrna, samozřejmě musíme také brát v potaz velikost a tvar odlitku. Při velkých zrnech vzniká dostatek prostoru pro možnost výplně jemnějším materiálem, jako jsou přídavné látky (do 1mm) a pojivo.

Matrice je tvořena ve většině případů epoxidovou pryskyřicí a tvrdidlem. Pryskyřice není vhodná do provozu, kde je vyšší teplota než 80°C.

Pro rychlejší tuhnutí hmoty se přidává tužidlo

V tab. 3 jsou uvedeny základní vlastnosti polymerbetonu.

Na Obr. 11 je vidět polymerbetonové lože s připravenými otvory pro další části stroje. Na Obr. 12 je vidět ustavování na lože. [16], [17], [19], [20], [13], [7]



tab. 3: Vlastnosti polymerbetonu

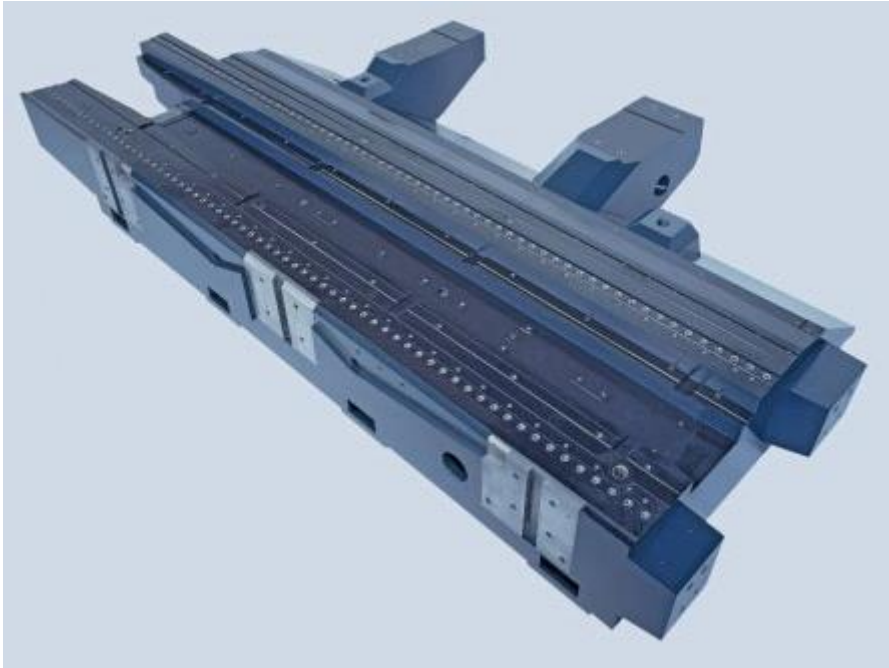
	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	G [GPa]	$\gamma$ [1]	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	R <sub>m</sub> [MPa]	$\rho$ [MPa]
Polymerbeton	2400	35	13	0,16	1,5	9	15	100
		-	-	-	-	-	-	-
		45	17	0,30	2	20e-6	20	120

Výhody:

- Dobré tlumící vlastnosti (30x vyšší než u šedé litiny a 40x vyšší než u oceli)
- Chemická odolnost – odpadá nutnost nátěrů
- Likvidace vyřazených dílů – dř jako stavební materiál
- Rozměrová stálost a minimální smrštění
- Korozivzdornost
- Teplotní stálost
- Integrace rozvodů

Nevýhody:

- Nutnost kovové formy
- Nesnadné dodatečné obrábění
- Omezenost zasažení do konečné struktury (závitování)
- Nutnost velkých sérií
- Nízká tuhost a pevnost
- Nutnost silných stěn



Obr. 11: Lože z minerálního kompozitu s broušenými vodicími plochami, [4]



Obr. 12: Lože brusky DMF 360/11, [4]

### 3.3 Vysokopevnostní beton HPC

První zmínky o použití betonu v obráběcích stroji se objevily už během první světové války, vlivem války HPC nenašel uplatnění. K návratu pokusu nahrazení ocelových nebo litinových nosných dílů se vrátilo během druhé světové války, kdy byl nedostatek železných materiálů potřebných ke stavbě stroje. Skutečný počátek využívání betonu v širším slova smyslu nastal až ve druhé polovině 20. tého století.

Důležitou vlastností pro HPC betony je, že je lze dodatečně tepelně zpracovat a může se řídit jejich chladnutí, to má za následek rozměrovou stálost. Často se používá jako přírůstek k již vytvořené konstrukci buď z oceli, nebo litiny (vylití vnitřního prostoru). Toto má za následek zvýšení tuhosti dílce a také stability. Pomocí přírůstku betonu lze dosáhnout snížení finančních prostředků a to tím, že odpadne nutnost žebrování při vylití tenkostěnných konstrukcí.

Nosné struktury se odlévají při pokojové teplotě.

Trvalé formy, které jsou z kovu, jsou odolné, jejich životnost se pohybuje okolo 1000 cyklů.

V tab. 4 jsou uvedeny základní vlastnosti betonu, konkrétně Hiperconu.

Na Obr. 13 je vidět betonové lože z Hiperconu, kde je provedeno konstrukční odlehčení a s implementovanými segmenty pro připevnění dalších částí stroje. [10], [13], [7]

tab. 4: Vlastnosti betonu

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	G [GPa]	$\gamma$ [1]	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	R <sub>m</sub> [MPa]	$\rho$ [MPa]
Hipercon	2600	50 - 60	20 - 25	0,2	1,7	11e-6	20	100

Výhody:

- Vhodnost velkých sérií
- Dobré zachycení vibrací
- Integrace rozvodů
- Nízká tepelná vodivost
- Pevnost v tlaku 100MPa
- Výroba při pokojové teplotě

Nevýhody:

- Nákladná forma
- Omezený zásah do výrobku
- Nesnadné obrábění
- Přenos malého zatížení na 1mm<sup>2</sup>
- Nutný správný tvar a velikost stykové plochy
- Nízká pevnost v tahu
- Nízká odolnost proti olejům a chemikáliím



Obr. 13: Betonové lože, [5]

### 3.4 Granit

Granit je v podstatě přírodní materiál, který známe pod názvem žula. Žula je vyvřelá magmatická hornina, jejíž hlavní složkou je křemík. Nejčastější použití je u stolů pro přesné odměřování, pravítka, speciální přesné obráběcí stroje. U obráběcích strojů se používá granit na nepohyblivé části. Důvodem jejich přesnosti je rozměrová stálost, vysoká tuhost. Opracovaný povrch musí být přesný.

Nejčastěji se těží v jižní Africe v podobě kamenných bloků. Bloky jsou děleny pomocí diamantových pil. Po broušení se díly k sobě mohou spojovat lepením nebo pomocí šroubových spojů. Dalšími zeměmi, kde se žula těží, jsou Indie, Francie. Nicméně žula z Afriky má ty nejlepší vlastnosti ze všech.

V tab. 5 jsou uvedeny základní vlastnosti granitu, vlastnosti jsou uvedeny z černého granitu, těžícího se v Africe.

Na Obr. 14 je vidět lože z černého granitu, s implementovanými prvky pro spojení s dalšími částmi stroje. [18], [10], [13], [7]

tab. 5: Vlastnosti granitu

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	G [GPa]	$\gamma$ [1]	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	R <sub>m</sub> [MPa]	$\rho$ [MPa]
Granit	2850	60 - 105	-	0,2 - 0,3	2,9 - 4,0	8,5e-6	24	244

Výhody:

- Rozměrová stálost
- Vysoká tuhost
- Malá tepelná vodivost
- Odolnost proti opotřebení
- Homogenita
- Dobré tlumení
- Bez vnitřních pnutí

Nevýhody:

- Nelze provádět dodatečné operace
- Komplikované spojení s dalšími dílci
- Nákladnost
- Nutnost broušení



Obr. 14: Lože brusky Studer S41, [6]

### 3.5 Keramika

Keramika je vzhledem ke svým vlastnostem pevný a lehký materiál. V dnešní době nemá moc velké uplatnění v nosných částích strojů, vzhledem ke své ceně by keramický dílec nebyl zrovna ekonomický. Používá se pouze pro ty nejnáročnější aplikace, kdy se nevyplatí použití jiného materiálu. Dalším omezujícím faktorem, proč není ve větší míře využívána, je malá délka dílu. Prozatím se jim stále věnují vývojová centra, vzhledem k jejich vlastnostem se dá očekávat, že v budoucnu bude jejich širší uplatnění ve stavbě strojů. Označení keramiky pro nosné dílce je SiSiC.

V tab. 6 jsou uvedeny základní vlastnosti keramiky, která se používá pro nosné dílce stroje.

Na Obr. 15 je znázorněn komponent pro laserový stroj. [7]



tab. 6: Vlastnosti keramiky

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	G [GPa]	$\gamma$ [1]	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	R <sub>m</sub> [MPa]	$\rho$ [MPa]
SiSiC	3150	320 - 400	169	0,17	115	4 - 6e-6	-	850

Výhody:

- Nízká tepelná roztažnost
- Malá měrná tepelná kapacita
- Možnost obrobení
- Rozměrová stálost
- Lehká
- Pevná
- Malá hmotnost
- Chemická odolnost
- Vysoká pevnost v tlaku

Nevýhody:

- Nákladnost
- Problematické spojování
- Omezené rozměry



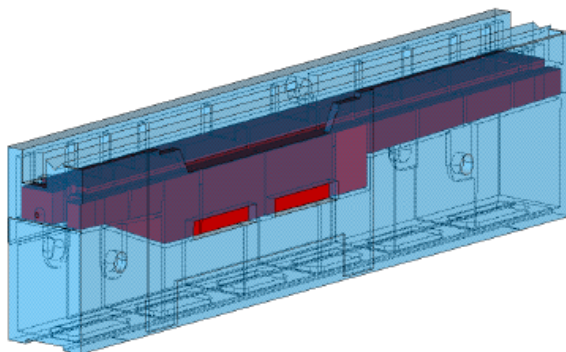
Obr. 15: Komponent k laserovému obráběcímu stroji, [7]

### 3.6 Hybridní materiály

Hybridními materiály se označují ty materiály, kdy jsou k výrobě nosného dílce použity dva různé materiály. Kombinace konvenčních materiálů s nekonvenčními snižuje cenu dílce při zachování stejných vlastností nebo zlepšení vlastností oproti použití pouze konvenčních materiálů. Mezi konvenční materiály se řadí ocel a litinu, mezi nekonvenční materiály se řadí uhlíková vlákna, beton, písek, hliníková pěna.

Kovové materiály s výplní betonu zvyšují tuhost, snižují tepelnou vodivost a roztažnost. Na Obr. 18 je zobrazena tato metoda pro výrobu nosného dílce.

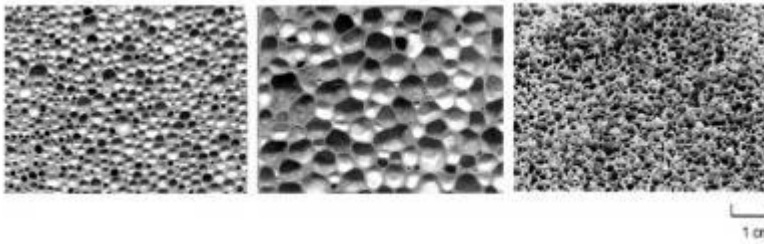
Odlitek s pískovou výplní vznikl, když se potřebovalo vytvoření odlitku s dutinou, která byla celá uzavřená. Posléze se zjistilo, že tato struktura má sice větší hmotnost, ale také dobré tlumící vlastnosti. Na Obr. 16 je typický příklad odlitku s pískovou výplní.



Obr. 16: Dutina v loži s pískovou výplní, [7]

Hliníkové pěny byly předně vyvinuty pro letecký, automobilový a námořní průmysl. Mezi jejich hlavní přednosti, proč se začaly používat pro nosné dílce, jsou nízká hmotnost, dobré tlumení vibrací i zvuku, nízká tepelná vodivost a vysoká tuhost. Hliník patří mezi neželezné kovy a je měkký, to má za následek snadné zpracování. Dále se používá díky jeho chemické odolnosti proti koroznímu prostředí. Hliník se používá jako čistý materiál nebo jako slitina s titanem, hořčíkem, mědí... Výsledná pevnost závisí na slitině.

Vytvoření nosného dílce s vyplněním pomocí hliníkové pěny se v praxi může využívat v tzv. sendvičových strukturách. Sendvičová struktura je ta struktura, kdy je mezi dva ocelové plechy nanesena hliníková pěna. Druhým způsobem je vyplnění dutiny. Výsledná kvalita závisí na hrubosti pěny. Na Obr. 17 jsou vidět tři typy hrubosti pěny, kdy nejlepší vlastnosti má pěna s jemnou strukturou. [8], [11], [7]



Obr. 17: Struktura hliníkové pěny, [8]



Obr. 18: Lože s betonovou výplní, [9]

### 3.7 Srovnání vlastností jednotlivých materiálů

Na závěr této části rešerše by bylo vhodné porovnání vlastností jednotlivých materiálů. Shrnutí všech tabulek je provedeno v tab. 7. V porovnávání jednotlivých materiálů nelze obecně říci, že nějaký materiál je či není dokonalý. Každý materiál má oproti druhému své specifické vlastnosti. Některé materiály mají vysokou schopnost tlumení vibrací z okolí, ale nemají například teplotní stálost. Volba materiálu, z jakého bude stroj nebo jeho části navrženy, se musí důsledně zvážit. Každý materiál je jiný, tudíž každý materiál má jiné uplatnění. Dalším aspektem, který hraje roli při výběru materiálu, je technologie výroby v dané firmě, využití stroje a prostředí, kde použít.



Například při využití stroje jako měřicí stroj bude potřeba rozměrová stálost. V tomto případě nelze brát v úvahu ocel, ale materiál s vysokou stálostí, například granit.

tab. 7: Porovnání jednotlivých materiálů

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	G [GPa]	$\gamma$ [1]	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>eH</sub> [MPa]
Polymerbeton	2400	35	13	0,16	1,5	9	15	100
		-	-	-	-	-	-	-
		45	17	0,30	2	20e-6	20	120
Ocel	7850	210	82	0,3	50	11,5	370	275
							-	-
						16e-6	530	
Šedá litina	7200	88	36	0,26	50	10		
		-	-	-	-	-		
		140	55		62	13e-6	320	170
Tvárná litina	7100	170	66	0,28	60	12,5e-6	400	240
Hipercon	2600	50	20					
		-	-	0,2	1,7	11e-6	20	100
		60	25					
Granit	2850	60		0,2	2,9			
		-	-	-	-			
		105		0,3	4,0	8,5e-6	24	244
SiSiC	3150	320				4		
		-	169	0,17	115	-	-	850
		400				6e-6		

Z tab. 7 jde vidět, že největší hustota se může přiřadit slitině železa a uhlíku. To má za následek při stejném objemu s ostatními materiály větší hmotnost. Hustota se pohybovala přes 7000kg/m<sup>3</sup>. U ostatních srovnávaných materiálů byla mezi 2400 až 3150kg/m<sup>3</sup>. Youngův modul pružnosti má nejvyšší keramika, za keramikou se řadí slitiny železa a uhlíku.

## 4. Optimalizace lože

### 4.1 Návrh kritérií pro porovnávání vlastností lože

#### 4.1.1 Optimalizační algoritmy

Optimalizace je důležitým nástrojem při rozhodování a analýze systému. Před použitím optimalizace je důležité zvolit si cílové funkce, které se mohou získat. Mezi cílové funkce patří například zisk, čas, potenciální energie, hmotnost, tuhost. Cílová funkce musí být reprezentována jediným číslem. Hledaná cílová funkce prioritně závisí na vlastnostech systému. Tyto vlastnosti se nazývají tzv. proměnné nebo neznámé, záleží na literatuře.

Optimalizace je v podstatě hledání hodnot neznámých, které definované cílové funkce optimalizují. Úlohu mohou řešit různé kombinace hodnot parametrů, ale ne vždy musejí být optimální. Proměnné jsou často omezeny, například tloušťky plechů jsou vyráběny v rozmezí od 1 do 26 po jednom milimetru. Plechy v rozmezí 26 až 50 jsou vyráběny po dvou milimetrech.

Tvorba vhodného 3D modelu je první krok, někdy je tím nejdůležitějším krokem v procesu optimalizace. V případě, že je model příliš zjednodušující, nebude dávat užitečné poznatky nebo výsledky řešeného problému. Pokud je model příliš složitý, může být obtížně řešitelný.

Jakmile je topologická varianta s cílovou funkcí a neznámými vytvořena, může být použit některý optimalizační algoritmus k nalezení vhodného řešení.

Pod názvem topologická varianta se myslí varianty, které jsou vzhledově stejné, ale liší se tloušťkami jednotlivých plechu a velikosti jednotlivých prvků odlehčení v případě této práce.

Obvykle je algoritmus a model natolik komplikovaný, že k získání řešení je nutné použití počítače. V dnešní době neexistuje žádný univerzální optimalizační algoritmus, za to existuje mnoho algoritmů, z nichž každý je uzpůsoben pro určitý typ optimalizačního problému. Je na zodpovědnosti uživatele, aby si vybral algoritmus, který je vhodný pro dané řešení. Tato volba je důležitá z hlediska trvání optimalizace a nalezení řešení.

Po aplikaci optimalizačního algoritmu na model, musí být rozpoznatelné, zda se podařilo nalézt řešení. V případě nesplnění omezujících podmínek,



mohou přesto získané výsledky poskytnout informace, kde a jak zlepšit matematický model. Současně mohou prozradit odhad řešení. [10]

### **Matematická formulace**

Optimalizace v matematické formulaci znamená minimalizace nebo maximalizace funkce, která podléhá omezením na svém intervalu. Pro matematický popis se používají následující symboly:

- x ... vektor proměnných (neznámých nebo parametrů)
- f ... funkce, kterou chceme maximalizovat nebo minimalizovat
- c ... vektor omezení, kladených na proměnné

$$\begin{aligned} \min_{x \in R^n} f(x) \\ c_i(x) = 0, \quad i \in \varepsilon \\ c_i(x) \geq 0, \quad i \in \zeta \end{aligned} \quad (1.1)$$

Neznámé hodnoty nebo parametry mohou být reálná nebo celá čísla.

U řešení s celými čísly například v této diplomové práci se řeší počet žeber. Půl žebra neexistuje. Nebo kdy není možné získat neceločíselné číslo.

U řešení s reálnými čísly nezáleží, zda má číslo desetinná místa. Toto řešení je výhodnější z hlediska nalezení optimálnějších variant v blízkosti celočíselného čísla. [10]

### **Podmíněná optimalizace**

Úlohy s obecnou formou, která je znázorněna vzorcem (1.1), mohou být klasifikovány v závislosti na charakteru cílové funkce a její omezení, počet proměnných, hladkost funkce atd.

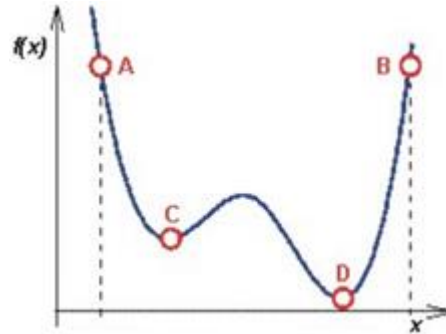
Problémy optimalizací s okrajovými podmínkami vznikají z modelů, které zahrnují omezení na proměnných. Omezením mohou být skoky ( $0 \leq x_1 \leq 100$ ), obecnější lineární vazby nebo nelineární nerovnosti, které představují složité vztahy mezi proměnnými. [10]

### **Globální a lokální optimalizace**

Nejrychlejší optimalizační algoritmy hledají pouze lokální řešení. Lokální řešení je bod, ve kterém cílová funkce je menší, než ve všech ostatních bodech

nalezených v její blízkosti. Nemají za úkol vždy najít nejmenší hodnotu, pokud by se hledalo minimum v celém rozsahu, poté by se jednalo o globální řešení.

Globální řešení jsou u některých aplikací nutností. Naproti lokálnímu řešení se globální řešení obtížně identifikuje a obtížněji hledá minimum nebo maximum, podle toho co hledáme. [10]



Obr. 19: Globální a lokální extrémy

Na Obr. 19 je vidět bod D, který představuje globální minimum. Dalšími body, které lze spatřit na Obr. 19 jsou body A a B. Tyto body jsou v daném úseku globálními maximy, nicméně v celém rozsahu jsou pouze lokální. Bod C představuje lokální minimum.

### **Optimalizační algoritmy**

Optimalizační algoritmy jsou iterativní. Začínají s počátečním odhadem optimální hodnoty proměnných. Posléze generují nové hodnoty pro zlepšení odhadů, dokud nedosáhnou optimálního řešení. Některé algoritmy hromadí informace získané z předchozích iterací, zatímco jiné používají pouze lokální informace z aktuálního bodu. Bez ohledu na tyto specifika, všechny algoritmy by měly mít následující vlastnosti: [10]

- Robustnost – nezávislost na vstupních parametrem při nalezení kvalitního řešení
- Efektivita – řešení by mělo trvat úměrně náročnosti
- Přesnost



#### 4.1.2 Volba kritérií k porovnání variant

Už samotné zadání v podstatě určuje parametry (kritéria), které se budou porovnávat v rámci jednotlivých variant s původní variantou. Rozměry ploch vedení a hlavní zástavbové rozměry se nedají použít jako parametry, jelikož jsou pro každé varianty totožné a nebylo by co porovnávat. Nové varianty lože mají být svařence z oceli.

Svařenec se skládá z různých plechů, proto parametry budou tvořit jednotlivé tloušťky plechů. Dalšími parametry, které lze volit, budou velikosti odlehčení vytvořená v žebrech. Mezi parametry bude i počet žeber.

Důležité je podotknout, že statická tuhost se bude porovnávat pouze ve dvou zátěžných bodech. První zátěžný stav je při umístění brousicích vřeteníků na okraji lože. Druhý zátěžný stav je při umístění brousicích vřeteníků blíže ke středu lože. Zátěžným bodem se myslí bod styku obrobku s nástrojem. Tyto body, do kterých bude aplikováno zatížení, budou popsány níže.

Pro ušetření času a z důvodu symetrie lože, lze řešit pouze polovinu lože. Hmotnost bude dána celým modelem, celým ložem bez vřeteníků a lunet.

Tuhost lože bude minimální tuhost ze dvou zátěžných stavů. Tuhost se získá po přepočtu z deformace. Tato deformace je součet absolutních deformací od brousicího a pracovního vřeteníku. Toto bude popsáno níže v kapitole 4.2.1 v části výsledky původního zatížení.



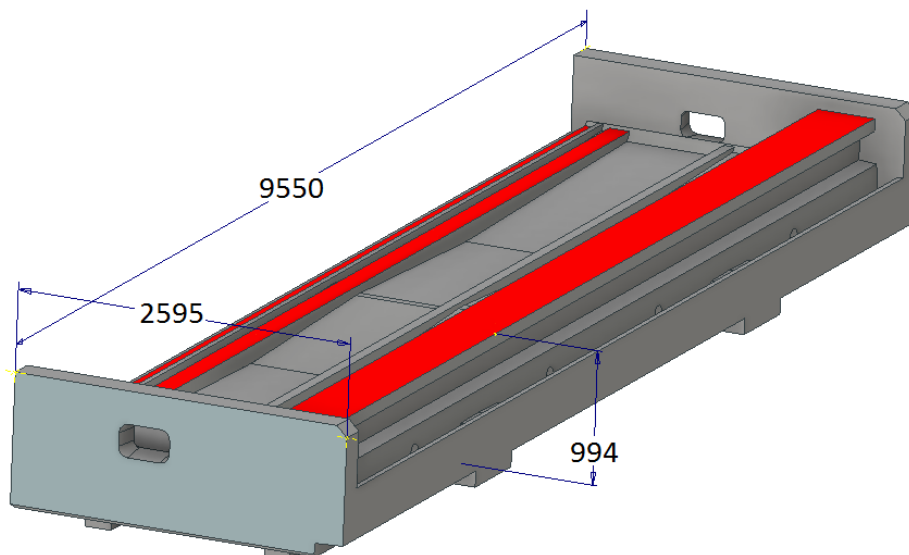
## 4.2 Návrh topologických variant

### 4.2.1 Zhodnocení původní varianty lože

Před samotným návrhem topologických variant je nutné zanalyzovat původní variantu.

#### 4.2.1.1 Geometrie

Mezi prvními informacemi získanými z modelu původního řešení lože poskytnutého firmou Junker jsou maximální vnější rozměry, které jsou vidět na Obr. 20. Délka polymerbetonového lože je 9 550mm, šíře je 2 595mm a výška od podlahy ke stolu, kde budou pracovní vřeteníky (vřeteníky pro upevnění obrobku) a lunety je 994mm.



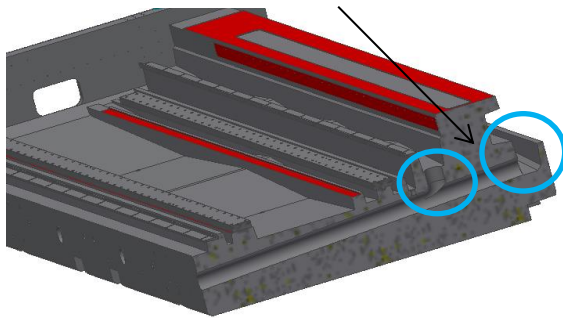
Obr. 20: Hlavní rozměry lože

Dalším omezujícím faktorem bylo odpadní vedení, které je pro dvě skupiny vřeteníků, pro pracovní (upnutí broušeného hřídele, který je znázorněn na Obr. 21 modře) a brousicí (vřeteník s brousicím kotoučem, který je na Obr. 21 znázorněn zeleně). Zeleně znázornění odpadní vedení je pro olej, který se používá pro mazání hydrostatického vedení. Modře znázorněné odpadní vedení je pro emulzi, která je odváděna z řezného procesu. Emulze odplavuje třísky.

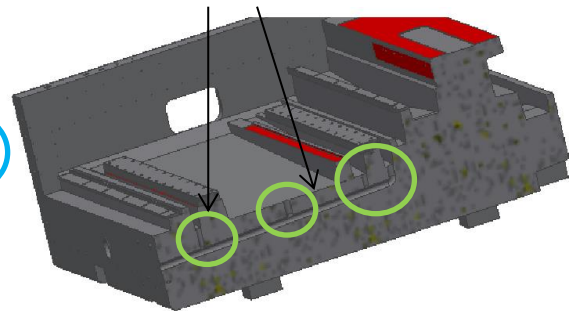
Každá skupina se používá jinou kapalinou, proto je nutné zachovat dvě odpadní vedení (zpětné použití).



Odpadní vedení pro emulzi

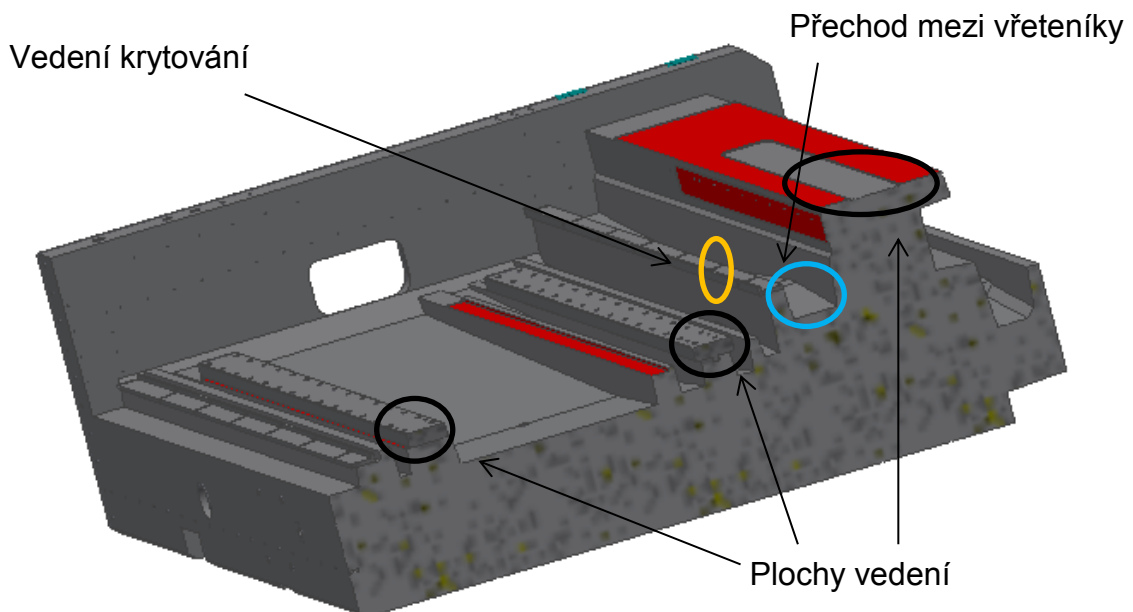


Odpadní vedení pro olej



Obr. 21: Odpadní vedení

Posledním faktorem, který omezoval nové návrhy, byla geometrie ploch pro hydrostatická vedení brousicích vřeteníků a stolu pod pracovními vřeteníky a lunetami (na Obr. 22 černě). Prostor mezi brousicím a pracovním vřeteníkem je oddělen krytováním, který lze vidět na Obr. 22. Vedení krytování je označeno na Obr. 22 tmavě žlutě. Při návrhu nových variant musí být tento přechod, který je vidět na Obr. 22 modře, mezi vedením podobný nebo stejný.



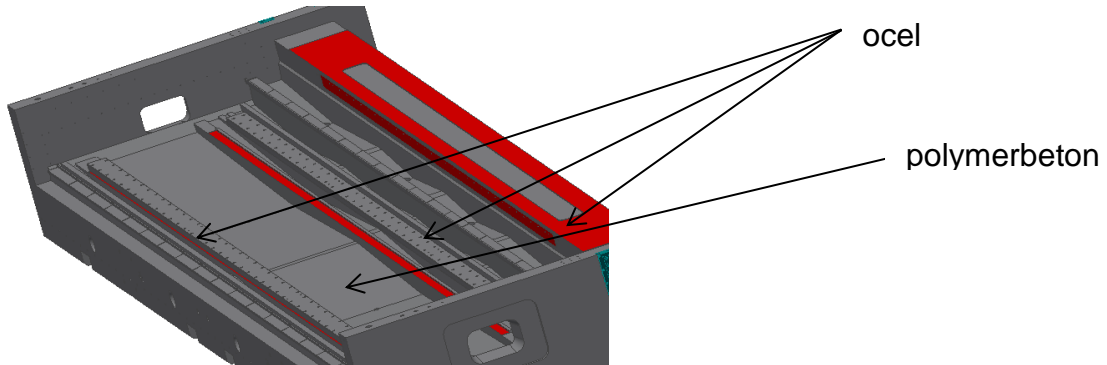
Obr. 22: Omezující geometrie

#### 4.2.1.2 Materiál

Původní lože je vyrobeno celé z polymerbetonu, nicméně vedení brousicích vřeteníků a také plocha pod pracovními vřeteníky a lunetami je



z oceli. Tato skutečnost se nezanedbatelně projeví do analýzy původního řešení vlivem rozdílných tuhostí a hustot materiálů. Materiály lze vidět na Obr. 23, jejich nejdůležitější vlastnosti jsou k nalezení v tab. 8



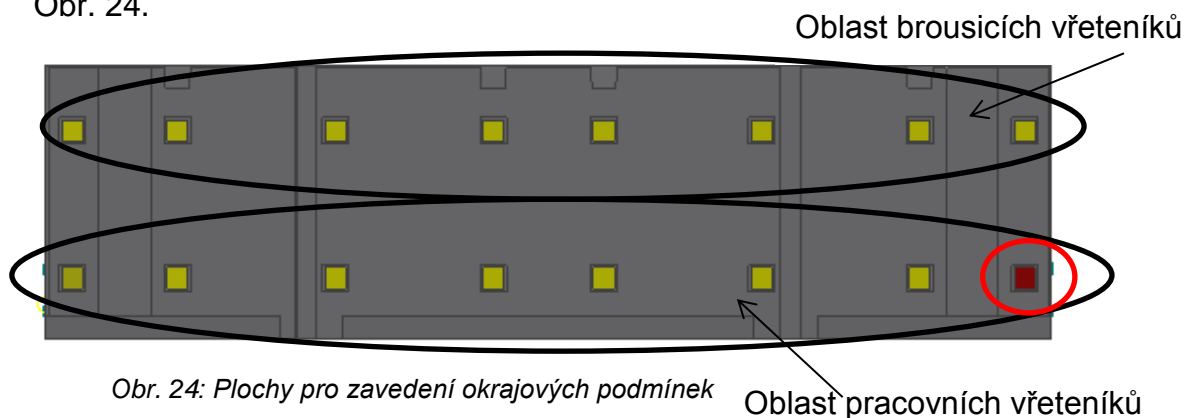
Obr. 23: Označení materiálů

tab. 8: Vlastnosti materiálů lože

	$\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]	E [GPa]	$\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
Polymerbeton	2400	30	1,8
Ocel	7850	210	50

#### 4.2.1.3 Okrajové podmínky

Po přiřazení materiálu se mohou modelu přiřadit okrajové podmínky. Okrajové podmínky se budou zavádět na plochy patek. Tyto patky jsou vidět na Obr. 24.



Obr. 24: Plochy pro zavedení okrajových podmínek



Na Obr. 24 lze vidět dvě oblasti patek, patnáct patek je podbarveno žlutě a jedna patka je podbarvena červeně. Patnácti plochám (žlutým) byl odebrán pouze jeden stupeň volnosti a to ve vertikálním směru. Tato vazba modeluje fakt, že se lože nemůže propadnout do země. Stroj není upevněn k základu (podlaze) žádným způsobem. Pouze „sedí“ na plochách patek. Samotné lože bez vřeteníků, krytování a dalších komponent váží 30t. Při uvažování vřeteníků, lunet a krytování se hmotnost zvýší o více než 15t. Vlivem velké hmotnosti stačí na zajištění stroje na místě pouze gravitační síla od vlastní tíhy. Pohyb ve dvou směrech ve vodorovném směru v reálném stavu je odstraněn vlastní tíhou, třecí silou, která vznikla na styku dvou ploch (ploch patek stroje a plochy základu), síly jsou natolik dostatečné, že odebírají zbylé stupně volnosti stroji. Stroj se jeví jako nehybný. V matematickém prostředí je tento jev problematické namodelovat. V matematickém prostředí programu Ansys se musí odebrat všechny stupně volnosti právě jedné patce. Pokud by se odebraly další stupně volnosti více patkám, byla by úloha staticky neurčitě uložena, což by bylo vzdálenější realitě. Pokud se naopak odebral pouze stupeň volnosti ve vertikálním směru, řešení by nebylo možné nalézt, lože by se chovalo jako volné. Na Obr. 24 je vidět červeně podbarvená plocha, které byly odebrány všechny stupně volnosti (3x posuv a 3x rotace). Tato patka se nachází pod oblastí pracovních vřeteníků. Je první zprava při pohledu do stroje.

Poslední zavedenou okrajovou podmínkou je gravitační síla.

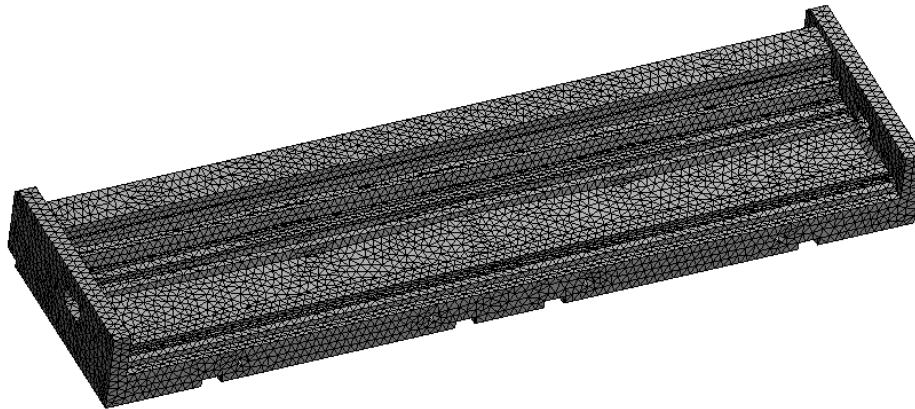
#### **4.2.1.4 Síť (síť konečných prvků)**

Při řešení metodou konečných prvků je nutné rozdělit model na konečný počet prvků (oblastí). Všechny prvky dohromady se nazývají sítí konečných prvků. V průsečích jednotlivých oblastí se nacházejí body (uzly), ve kterých hledáme neznámé parametry (posunutí, natočení). Z parametrů po přepočtu lze získat tuhost. Na výsledky má zásadní vliv velikost sítě. Čím síť bude jemnější, tím bude delší výpočet a přesnější výsledky. Je důležitý kompromis mezi náročností výpočtu a velikostí sítě. Metoda MKP (konečných prvků) je vhodná aplikovat na modely, které jsou zbaveny zaoblení, zkosení, nepotřebných přechodů. Tyto prvky modelu jsou zanedbatelné při řešení tuhosti. Zaoblení, zkosení a odstraněné přechody hrají roli při posuzování

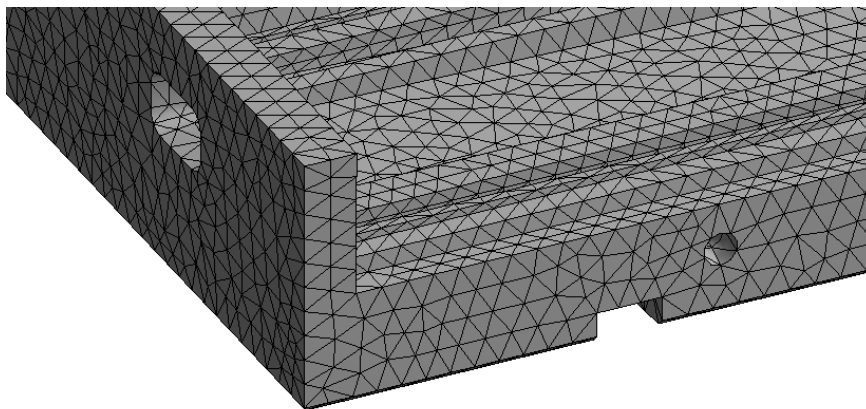


napětí. Jelikož je model poměrně velký a licence Ansysu má omezený počet uzlů, jsou tyto prvky i z tohoto důvodu odstraněny.

Optimální tvar plochy sítě je čtvercová nebo trojúhelníková, důležitá je také pravidelnost v celém modelu.



Obr. 25: Síťované lože



Obr. 26: Detail sítě

Na Obr. 25 je vidět síťovaný celý model, byla zvolena velikost sítě 100mm, proto na obrázku Obr. 25 síť splývá. Na Obr. 26 je vidět detail ve vyšším rozlišení, kde je jasně patrná síť a její tvar, kde plochy sítě jsou trojúhelníkového tvaru a jednotlivé oblasti si jsou navzájem velmi podobné.

#### **4.2.1.5 Schéma náhradního zatížení**

Cílem této diplomové práce je návrh nového řešení svařence lože z oceli při stejné nebo lepší tuhosti. Pro výpočet statické tuhosti je nutné zjistit deformace v daném místě.



Statická tuhost se zjišťuje ve dvou zátěžných stavech. První stav simuluje brousicí vřeteník na okraji vedení. Druhý zátěžný stav simuluje pozici brousicího vřeteníku posunutého blíže ke středu lože.

Při výpočtu statické tuhosti polymerbetonového lože se bude vycházet z náhradního zatížení, kdy se nahradily brousicí vřeteníky, pracovní vřeteníky, lunety a obrobek hmotnými body. Výpočet s reálnými modely vřeteníků a lunet by byl velmi komplikovaný a ve většině případů by se nedal aplikovat reálný stav, z důvodu složitosti.

Místo řešení statické tuhosti je také nahrazeno pouze bodem, který je vidět na Obr. 27 a Obr. 28, jako žlutý bod.

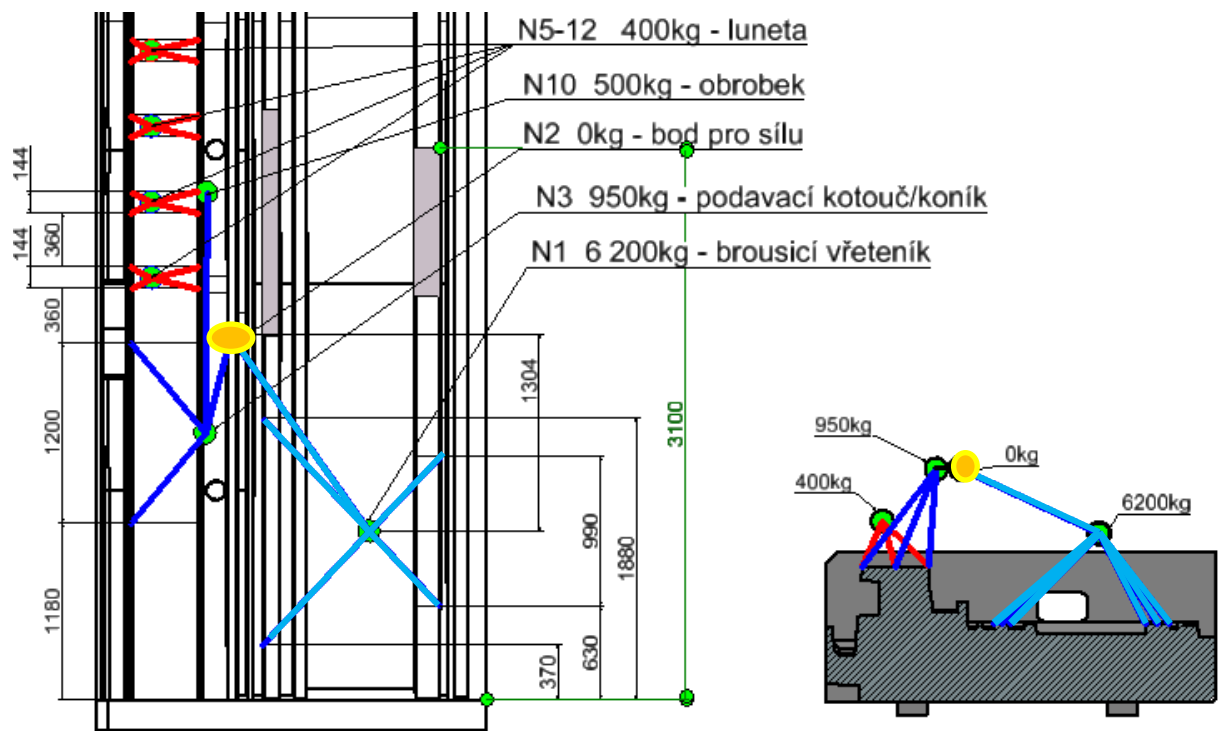
Jelikož je k dispozici model původního řešení lože, provede se výpočet limitní tuhosti, která bude sloužit pro srovnání nové a původní varianty a následně výběr vhodné varianty. Po nahrání modelu do programu Ansys, který bude použit při veškerých výpočtech a samotné optimalizaci.

Pokud je model správně síťovaný, může se přistoupit k zavedení náhradního zatížení polymerbetonového lože. Oba brousicí vřeteníky s brousicím kotoučem jsou nahrazeny hmotným bodem, s hmotností 6 200kg. Oba pracovní vřeteníky jsou nahrazeny hmotnými body s hmotností každého o 950kg. Lunety, které podpírají obrobek, jsou nahrazeny hmotnými body o hmotnosti každé o 400kg. Obrobek je nahrazen dvěma hmotnými body, každý bod o hmotnosti 500kg.

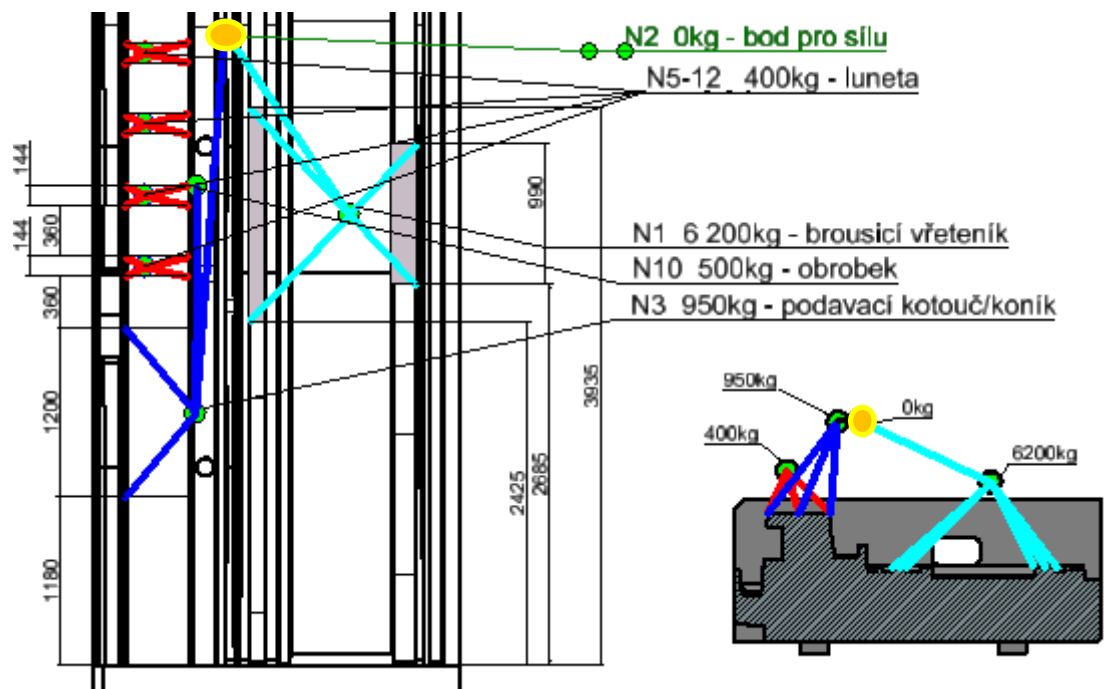
Všechny tyto hmotné body jsou v těžišti jednotlivých vřeteníků, lunet a obrobku. Všechny hmotné body jsou spojeny s uzlovými body příslušných ploch. Náhradní schéma zatížení je možné vidět na Obr. 27, kde bod styku obrobku a nástroje je znázorněn pomocí hmotného bodu, který má nulovou hmotnost.

Druhá pozice brousicího vřeteníky je znázorněna na Obr. 28. Zátěžný stav je posunut o 1480mm, směrem blíže ke středu lože.

Obr. 27 a Obr. 28 znázorňuje pouze jednu polovinu lože z důvodu viditelnosti schématu. Při znázornění celé délky lože 9550mm by nebylo dostatečně viditelné náhradní zatížení. Řezný proces v náhradním schématu je řešen pomocí nehmotných bodů, které jsou spojeny s hmotnými body brousicího a pracovního vřeteníku. Do těchto hmotných bodů je aplikováno zatížení.



Obr. 27: Náhradní zatížení 1 stavu

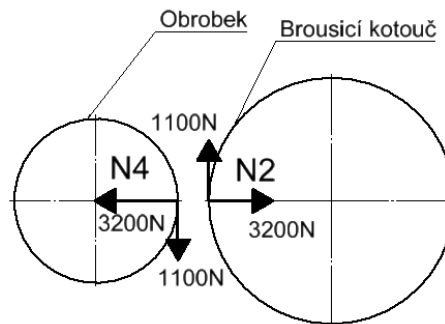


Obr. 28: Náhradní zatížení 2 stavu

Výška jednotlivých hmotných bodů je dána těžištěm lunet a jednotlivých větvení.

Na Obr. 29 je znázorněno vlastní zatížení od samotného řezného procesu, tedy styku obrobku a nástroje. Na Obr. 29 je záměrně zobrazena vůle mezi

body N4 a N2, aby bylo patrné působení síly, jak na obrobek, tak na nástroj. Působící síly jsou rozloženy na dvě složky, vertikální složka síly je 1100N a horizontální složka síly je 3200N. Tyto síly byly určeny na základy konzultace s konzultantem firmy Junker. Při výpočtu statické tuhosti bude důležitá deformace v horizontálním směru. Deformací se myslí posunutí obrobku a kotouče. Důsledkem deformace v horizontálním směru může být změna broušeného průměru hřídele nebo v krajním případě odlehnutí obrobku a brusného kotouče od sebe, tím se přeruší řezný proces.



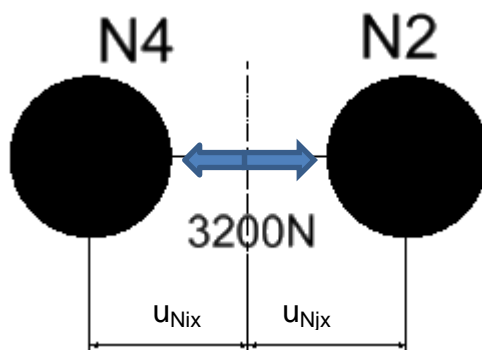
Obr. 29: Zatěžující síly

#### 4.2.1.6 Výsledky původního řešení

Tuhost počáteční hodnoty se vypočte pomocí vztahu

$$k_{1x} = \frac{F_{1x}}{u_{1x}} = \frac{F_{1x}}{|u_{Nix}| + |u_{Njx}|} \quad (1.2)$$

Do vztahu se dosazuje za sílu  $F_{1x} = 3200\text{N}$ . Za deformaci se dosazuje hodnotu  $u_{1x}$ . Hodnota deformace je součet absolutních hodnot posunutí v horizontálním směru bodu N4 a N2, tyto deformace lze vidět na Obr. 30.



Obr. 30: Deformace zátěžného stavu



tab. 9: Výsledky 1 zátěžného stavu

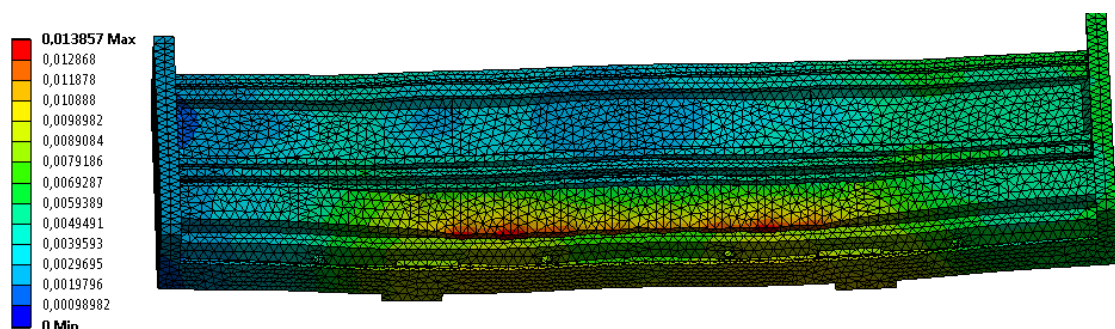
1. zátěžný stav		$ u_{ix} $	$u_{1x}$	$k_{1x}$
		$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\text{N} / \mu\text{m}$
1. strana	$u_{N2x}$	3,32	6,39	501,18
	$u_{N4x}$	3,06		
2. strana	$u_{N6x}$	0,77	6,42	498,33
	$u_{N8x}$	5,65		

tab. 10: Výsledky 2 zátěžného stavu

2. zátěžný stav		$ u_{ix} $	$u_{1x}$	$k_{1x}$
		$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\text{N} / \mu\text{m}$
1. strana	$u_{N2x}$	1,08	12,95	247,14
	$u_{N4x}$	11,87		
2. strana	$u_{N6x}$	0,09	12,99	246,30
	$u_{N8x}$	12,90		

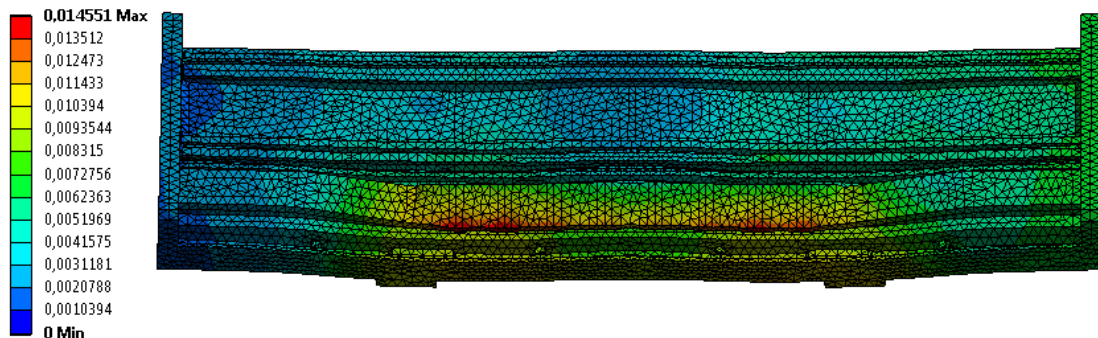
Na Obr. 31 je vidět celková deformace prvního zátěžného stavu po zavedení zatížení. Maximální deformace je označena červenou barvou a její hodnota je 0,014mm. Tato deformace se nachází v oblasti umístění první lunety a hmotného bodu, který simuluje broušící proces. Deformace je rovněž v blízkosti ploch pro upevnění lože. Barevná škála na okrajích řešeného lože je rozdílná i přes symetričnosti lože a náhradního zatížení. Tento rozdíl je způsoben odebrání všech stupňů volnosti jedné krajní ploše pro patku.

V prostoru mezi pracovními vřeteníky je model deformačně dle Obr. 31 symetrický.



Obr. 31: Deformace 1 zátěžného stavu

Na Obr. 32 je vidět celková deformace po zavedení náhradního zatížení ve druhém bodě. Maximální deformace je označena červenou barvou a její hodnota je 0,015mm. Tato deformace se nachází v oblasti umístění první lunety a hmotného bodu, který simuluje brouscí proces. Deformace je rovněž v blízkosti ploch pro upevnění lože.



Obr. 32: Deformace 2 zátěžného stavu

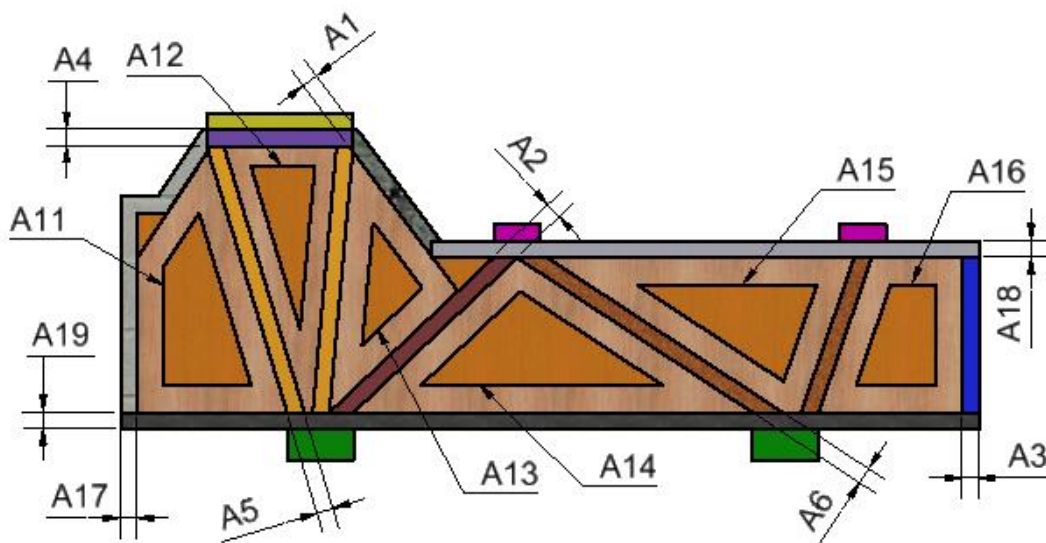
#### 4.2.2 Topologická varianta č.1 (v1)

Varianta č.1 je dle zadání svařenec. Na Obr. 33 je vidět více barev. Tyto barvy značí jednotlivé skupiny plechů, kterým byla přiřazena stejná tloušťka.

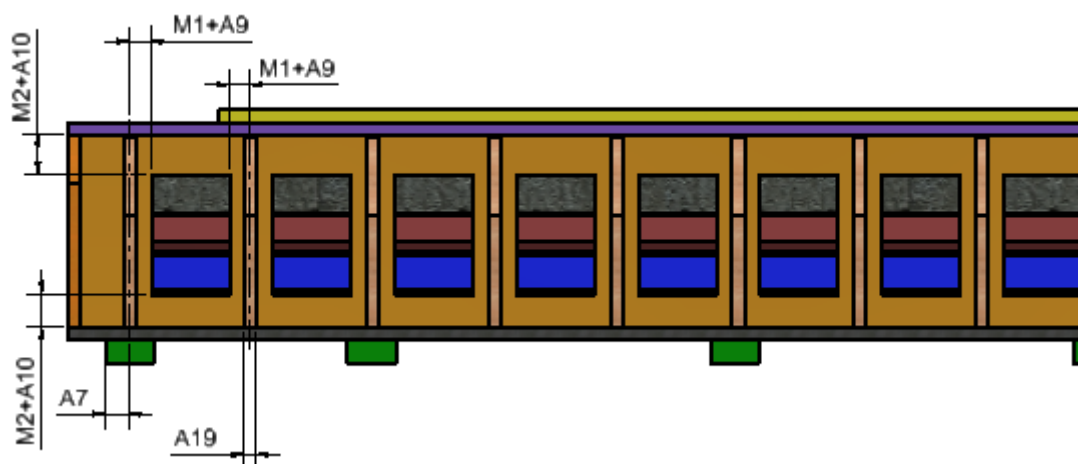
Tato varianta je řešená podélnými žebry spojující plochy pod jednotlivými vřeteníky s plochami patek po celé délce lože. Dle Obr. 33 jsou podélná žebra znázorněna třemi různými barvami. První skupina podélných žebber, která je znázorněna žlutě na Obr. 33, přenáší hmotnost pracovních vřeteníků, lunet a obrobku do patek. Třetí skupinou podélných žebber, znázorněna barvou korku, přenáší hmotnost od brouscích vřeteníků do druhé řady patek. Druhá „skupina“ podélného žebra znázorněna kaštanově hnědou spojuje jednu plochu vedení brouscího vřeteníku s první řadou patek. První a třetí skupina podélných žebber je tvořena dvěma žebry. Počet příčných žebber je zadán parametrem A8, část těchto žebber je vidět na Obr. 34. Jedna řada příčných žebber je složena z šesti částí, kde každá část se nachází buď mezi podélným žebrem a krytováním lože nebo mezi podélnými žebry. V každé části příčných žebber jsou vytvořena okna pro odlehčení celého modelu. Toto odlehčení je dáno parametry A11 až A16, která jsou vidět na Obr. 33, tyto parametry v této topologické variantě jsou měřítko celé části příčného žebra. Vzdálenosti odsazení příčného žebra od počáteční roviny patky je pod parametrem A7. Na Obr. 34 je vidět vytvořené

odlehčení v podélných žebrech. Ve všech podélných žebrech jsou vytvořena odlehčení stejné velikosti. Odlehčení je mezi jednotlivými příčnými žebry. Na Obr. 34 jsou vidět i hodnoty M1 a M2. Tyto hodnoty jsou pouze ochranné hodnoty, aby vytvořené odlehčení nezasahovalo do maximální povolené tloušťky plechu příčného žebra. M1 je 40mm a M2 je 100mm

Další parametry, které jsou vidět na Obr. 33 a Obr. 34, jsou jednotlivé tloušťky plechů.



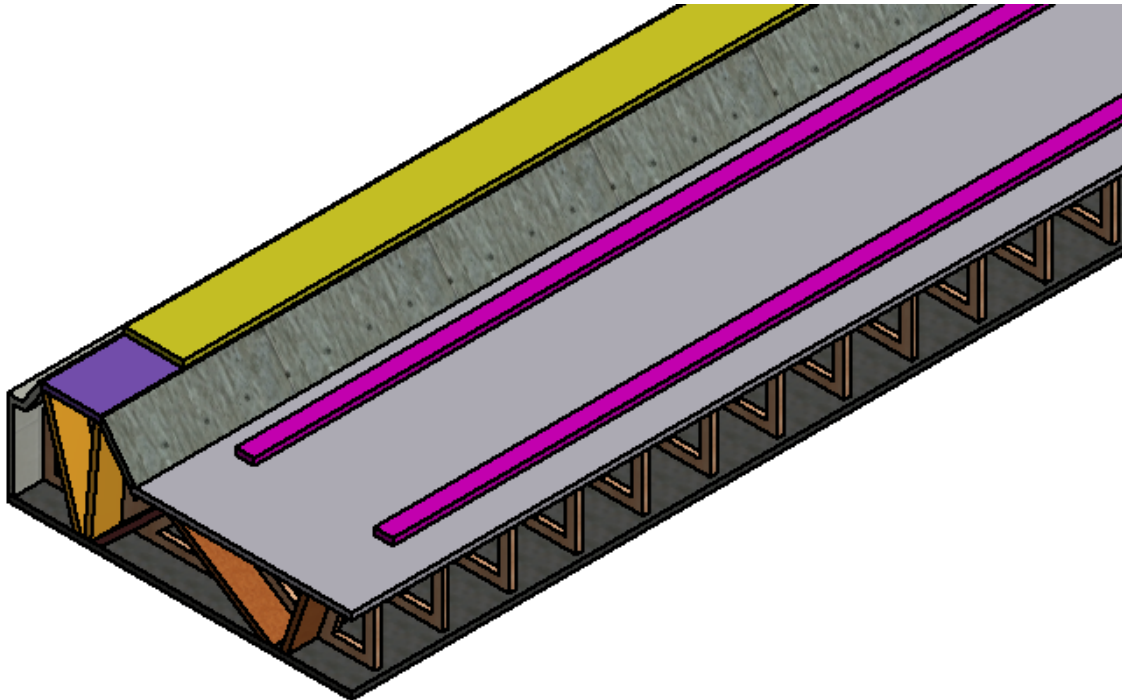
Obr. 33: Znáornění parametru z bočního pohledu v1



Obr. 34: Znáornění pohledu z čelního pohledu v1

Na závěr této topologické varianty je znázorněn na Obr. 35 iso pohled na polovinu lože, kdy je zneviditelněný jeden krycí plech a jeden koncový plech. Na

tomto obrázku je vidět pohled na příčná žebra, odsazení vedení vřeteníků a lunet od okraje lože.



Obr. 35: ISO pohled na topologickou variantu v1

#### 4.2.3 Topologická varianta č.2 (v2)

Varianta č.2 je opět svařenec dle zadání. Na Obr. 36 jsou barevně odlišeny od sebe jednotlivé skupiny plechů, každé barvě byl přiřazen parametr tloušťky plechu.

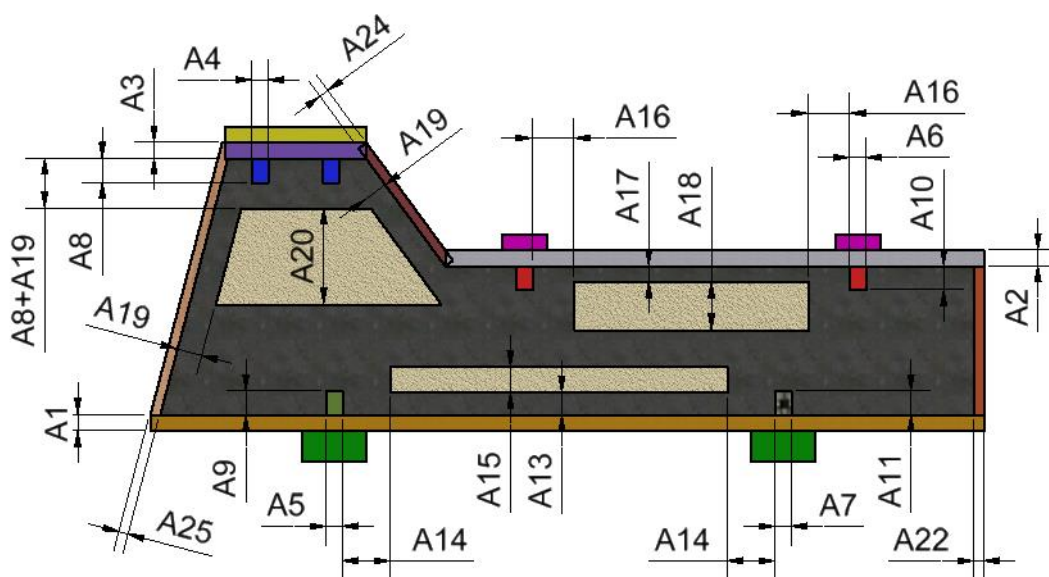
Tato varianta má zcela jiné řešení oproti předchozí variantě. Tato varianta je tvořena příčnými žebry. Každá řada příčného žebra je tvořena jedním kusem plechu. Počet příčných žebel je dán parametrem A21. Přenos zatížení od vlastní tíhy jednotlivých vřeteníků, lunet a obrobku do příčných žebel je řešen pomocí podélných žebel, která jsou po celé délce lože. Nad každou řadou patek je jedno podélné žebro. Každé toto žebro má svojí vlastní parametrickou délku i tloušťku plechu. Pod brousicím vřeteníkem jsou dvě podélná žebra, která jsou brána jako jeden prvek (obě žebra jsou stejně dlouhá a mají stejnou tloušťku plechu). Střed žebra je v 1/4 šířky plochy pro pracovní vřeteník. Pod plochami vedení brousicích vřeteníků jsou také dvě žebra, čili každá plocha vedení má své žebro. Nicméně tato žebra jsou brána jako jeden prvek. Je mu

přiřazena stejná délka i stejná tloušťka plechu. Na Obr. 36: Znárodnění parametru z bočního pohledu V2 Obr. 36 jsou vidět tři okna pro odlehčení příčných žebel. Odlehčení mezi patkami a mezi vedením pracovních vřeteníků jsou obdélíkového tvaru. Jejich velikost je dána vzdáleností od středu patek a vzdáleností od plechu nad patkami v případě odlehčení mezi patkami. V případě odlehčení mezi vedením brousicích vřeteníků je vzdálenost dána od plochy pod vedením. Odlehčení pod pracovními vřeteníky je lichoběžníkového tvaru, kdy obě boční hrany jsou rovnoběžné se šikmými plochami krytování. Vzdálenost od plechů krytování je dána parametrem A19. Výšková vzdálenost je dána také parametrem A19 a je vzdáleností je myšlena délka od podélných žebel pod pracovními vřeteníky. Každé odlehčení má svůj parametr pro výšku.

Vnější tvar krytování je od první varianty odlišný. Krytování je zcela šikmé za pracovními vřeteníky.

Na Obr. 37 je vidět rozložení jednotlivých příčných žebel. Pro lepší přehlednost v obrázku je vidět pouze část lože. Vzdálenosti odsazení prvního příčného žebra od počáteční roviny patky je pod parametrem A18.

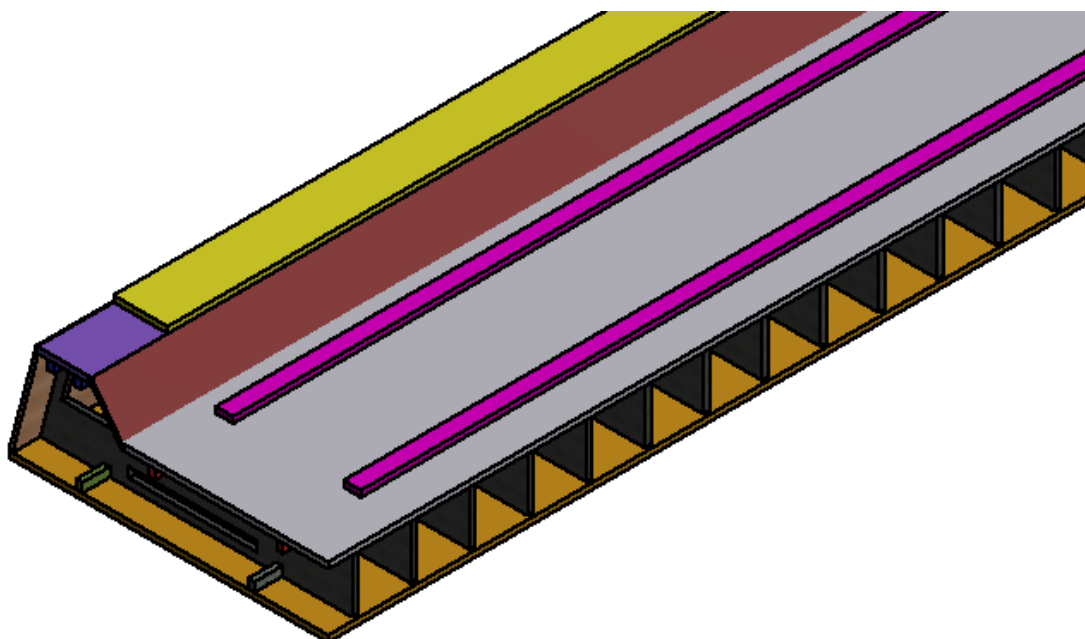
Na Obr. 36 a Obr. 37 jsou vidět všechny parametry tlouštěk a geometrie.



Obr. 36: Znárodnění parametru z bočního pohledu V2



Obr. 37: Znáornění pohledu z čelního pohledu V2



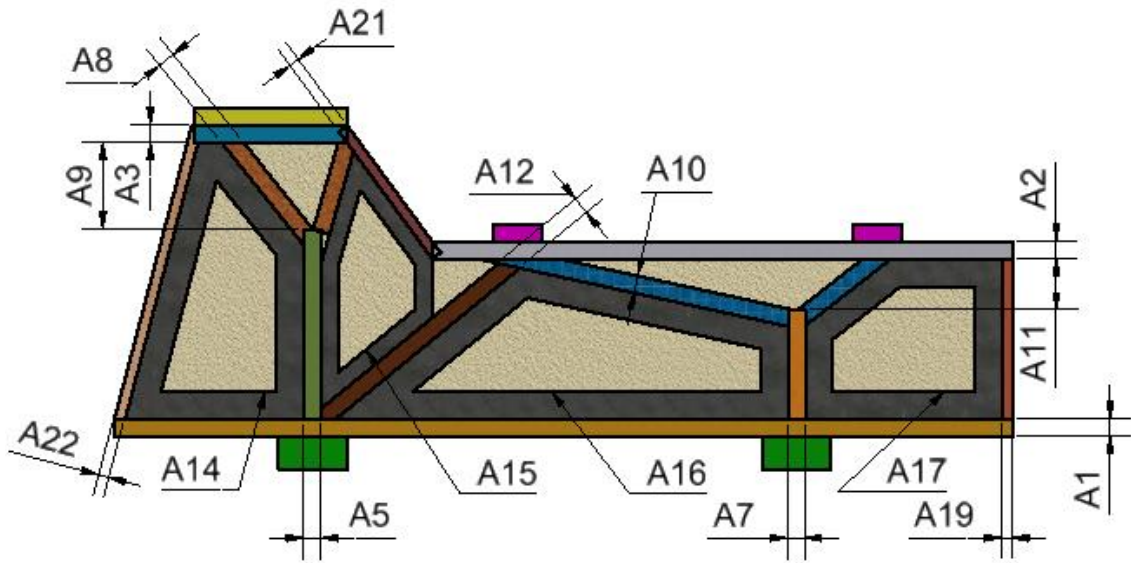
Obr. 38: ISO pohled na topologickou variantu V2

Na závěr této topologické varianty je znázorněn na Obr. 38 iso pohled na polovinu lože, kdy je zneviditelněný jeden krycí plech a jeden koncový plech. Na tomto obrázku je vidět pohled na příčná žebra, odsazení vedení vřeteníků a lunet od okraje lože.

#### 4.2.4 Topologická varianta č.3 (v3)

Varianta č.3 je dle zadání svařenec, jako předchozí dvě varianty. Topologická varianta č.3 se skládá z jednotlivých žeber, které jsou rozděleny do jednotlivých skupin. Těmto skupinám jsou přiřazeny parametrické tloušťky plechů. Toto rozdělení je patrné na Obr. 39, kde je k vidění barevné rozlišení jednotlivých skupin plechů.

Topologická varianta č.3 se vnitřní strukturou žeber zcela odlišuje od topologické varianty č.1 a topologické varianty č.1. Přenos zatížení z vedení do patek je zajištěn dvěma podélnými žebry, která jsou po celé délce lože. Každé z těchto dvou žeber má svůj parametr pro výšku a také pro tloušťku plechu. Tato podélná žebra jsou spojena přes mezičlen „plechu nad patkami“ s patkami v jejich středu. Spojení vedení vřeteníků s každým žebrem je přes dvě další podélná žebra. Tyto dvě žebra jsou spojena do V. Pro zajištění rovnoměrnějšího přenosu zatížení do patek je spojena jedna plocha pro vedení brousicího vřeteníku (plocha blíže k pracovnímu vřeteníku) s patkou pod pracovními vřeteníky. Počet řad příčných žeber je dána parametrem A23. První a v podstatě i poslední řada příčného žebra je od patky odsazena pomocí parametru A18, tyto parametry jsou vidět na Obr. 40. Na Obr. 39 lze vidět rozdělení příčného žebra na 4 segmenty. V každém z těchto segmentů je vytvořeno odlehčení pro snížení váhy celého lože. Odlehčení má tvar celého segmentu, ale je v měřítku. Parametry A14 - A17, které jsou vidět na Obr. 39, jsou zadány desetinným číslem. Prostory mezi podélnými žebry ve tvaru V, patrné z Obr. 39 jsou vhodné pro umístění jedné větve odpadního potrubí. Vnější krytování je stejné jako v předchozí variantě č.2. Na Obr. 39 a Obr. 40 jsou vidět všechny parametry použití v této topologické variantě, kromě parametru A23, což je počet příčných žeber.

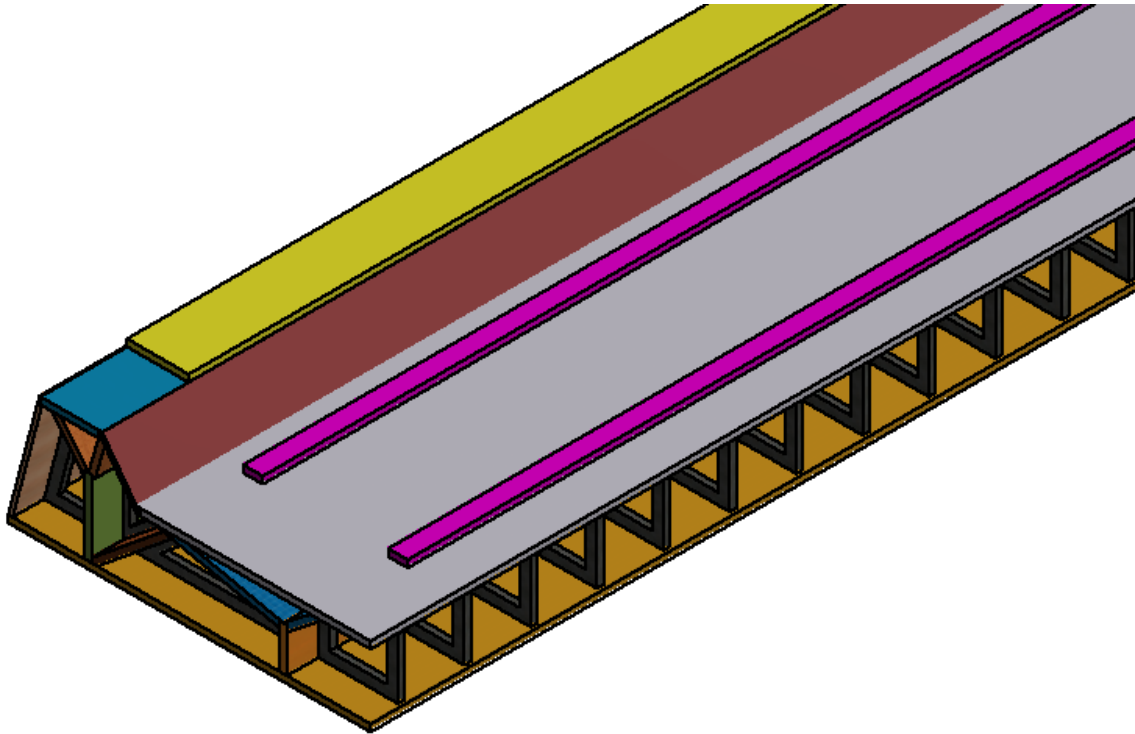


Obr. 39: Znáornění parametru z bočního pohledu v3



Obr. 40: Znáornění pohledu z čelního pohledu v3





*Obr. 41: ISO pohled na topologickou variantu v3*

Na závěr této topologické varianty je znázorněn na Obr. 41 iso pohled na polovinu lože, kdy je zneviditelněný jeden krycí plech a jeden koncový plech. Na tomto obrázku je vidět pohled na příčná žebra, odsazení vedení vřeteníků a lunet od okraje lože.

## 4.3 Návrh optimalizačního algoritmu

Cílem této práce je nalezení optimálního poměru hmotnosti a tuhosti. Pro vyhledání optimálního řešení topologické varianty bylo zvoleno kolem dvaceti parametrů (jednotlivé varianty nemají stejný počet parametrů, ale všechny se pohybují okolo dvaceti). Dle dvou cílových funkcí a dvaceti parametrů bylo rozhodnuto o použití genetického algoritmu.

Program Ansys 17 nabízí pouze genetický algoritmus typu MOGA.

### 4.3.1 Jak pracují genetické algoritmy (GA)

Prvním krokem, který musí genetický algoritmus provést, je náhodné vygenerování počáteční populace variant topologické varianty. Počet jedinců v populaci je předem dán nastavením GA. Jeden jedinec je v případě topologické varianty této práce náhodné vygenerování hodnot do všech parametrů. V podstatě získáme  $x$  řešení, která se budou nadále zpracovávat. Po vygenerování je nutné jedince ohodnotit na základě cílových funkcí. Jedinci se srovnají dle výsledků cílové funkce a ohodnotí se tak, že nejlepšímu jedinci bude přiřazeno nejvyšší ohodnocení, Ohodnocení klesá s klesáním tuhosti a stoupáním hmotnosti. Dle ohodnocení se vyberou jedinci, kteří se budou podílet na nové populaci. Výběr jedinců se nazývá selekce, v níž jsou pouze nejlepší jedinci.

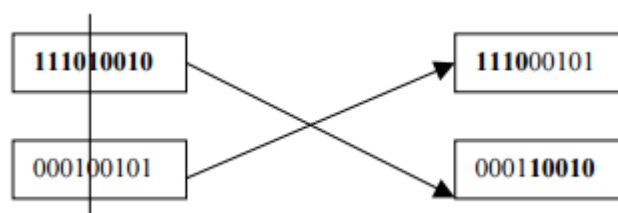
Nová populace může být vytvořena pomocí těchto základních operací:

- křížení
- mutace

#### Křížení

Tato metoda spáruje dva jedince s nejvyšší hodnotou cílové funkce. V této metodě jde o výměnu jednotlivých parametrů. Body, ve kterých se provede křížení, jsou voleny zcela náhodně. Toto křížení lze vidět na Obr. 42.

Pravděpodobnost křížení ovlivňuje četnost křížení (obvykle se volí 0,75).



Obr. 42: Jednobodové referencie

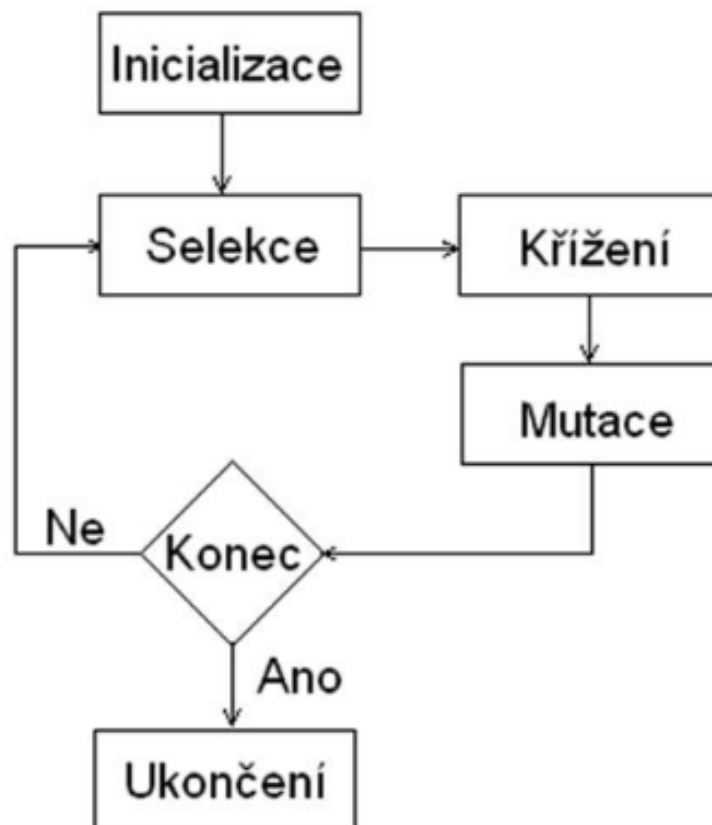
### Mutace

Mutace se provede následně ve všech jedincích. Mutace provede změnu jednoho parametru v daném jedinci. Mutace slouží k udržení variace populace, zabraňuje procesu přechodu od globálního hledání k lokálnímu. V podstatě předá jedinci zcela novou vlastnost, která se nevyskytla v celé populaci a nemohla být předána.

Proces generování nových jedinců pokračuje do té doby, než noví jedinci konvergují k optimálnímu řešení. Pokud nekonvergují, provede se opětovně selekce a následně křížení a mutace.

Konvergence znamená, že se jedinci se navzájem přibližují. V ideálním případě všichni jedinci vytvoří pareto frontu.

Proces GA je znázorněn na Obr. 43.



Obr. 43: Proces GA

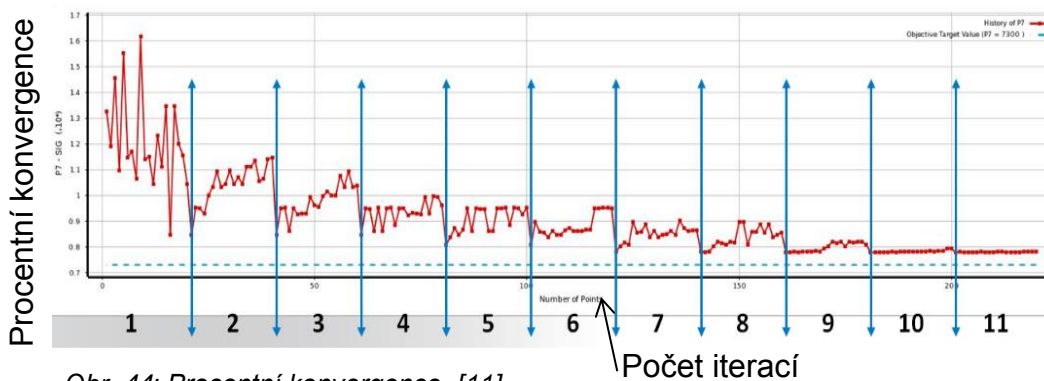


### 4.3.2 Nastavení genetického algoritmu MOGA v Ansysu 17

tab. 11: Nastavení GA

Optimization	
Method Name	MOGA
Number of Initial Samples	150
Number of Samples Per Iteration	70
Maximum Allowable Pareto Percentage	70
Convergence Stability Percentage	2
Maximum Number of Iterations	20
Maximum Number of Candidates	3
Type of Discrete Crossover	One Point

První řádek v tab. 11 představuje výběr genetického algoritmu. Druhý řádek představuje velikost generované populace. Velikost generace je závislá na počtu vstupních parametrů. Třetí řádek odpovídá velikosti nově vygenerovaných jedinců. Čtvrtý řádek představuje maximální povolenou pareto úspěšnost, tj. poměr požadovaných pareto bodů k počtu vzorků jedné iterace. Když se dosáhne tohoto poměru, algoritmus optimalizace konverguje. Pokud je vyčerpán maximální počet iterací, optimalizace se zastaví bez ohledu na splnění tohoto kritéria. Při nastavení poměru se musí dávat pozor, pokud je hodnota příliš nízká, může nastat situace, kdy optimalizace bude konvergovat předčasně. Pokud je hodnota příliš vysoká, může optimalizace zbytečně zdlouhavě konvergovat. Optimální a současně výchozí hodnota tohoto poměru je 70. Pátý řádek představuje kritérium procentní konvergence. Toto kritérium je založeno na průměrné a standardní odchylce výstupních parametrů. Pokud je předchozí a současná populace stabilní, úloha zkonverguje. Stabilní je, pokud se následující populace prakticky neliší od předchozí. Toto lze vidět na Obr. 44 (oblast 10 a 11), který je převzat z nápovědy programu Ansys.



V šestém řádku se může volit, kolik iterací maximálně proběhne, iterací se myslí, kolikrát se bude generovat populace jedinců.

Sedmý řádek určuje, kolik jedinců (variant řešení) Ansys doporučí.

V posledním řádku lze volit, zda křížení se provede jednobodově nebo dvoubodově.

#### 4.4 Porovnání optimalizovaných variant

Hmotnost modelu původního řešení byla spočtena na 32,5 tun. Tato hmotnost byla získána pomocí programu Ansys. Pro kontrolu byl model nahrát pro program Inventor 2016, kde váha vyšla 32,9 tun. Jednotlivé hodnoty váhy celkového modelu bez vřeteníků, lunet si jsou podobné. Tudiž lze váhu z programu Ansys použít, jako váhu původního modelu.

Tuhost původního lože byla také spočtena programem Ansys. Hodnota je z místa styku obrobku a nástroje, které je z druhého zátěžného stavu, stav blíže ke středu lože. Minimální tuhost původního řešení je 246 N/ $\mu\text{m}$ . Tato hodnota byla získána po zavedení náhradního zatížení a okrajových podmínek na polymerbetonové lože. Toto je popsáno v kapitole 4.2.1.5 a 4.2.1.6.

Všechny tři topologické varianty se budou porovnávat s tuhostí původního lože a s maximální dovolenou hmotností 30t.

Jednotlivé varianty se budou také porovnávat cenově, přičemž se bude uvažovat přibližná cena 70,- Kč za jeden kilogram ocelového svařence.

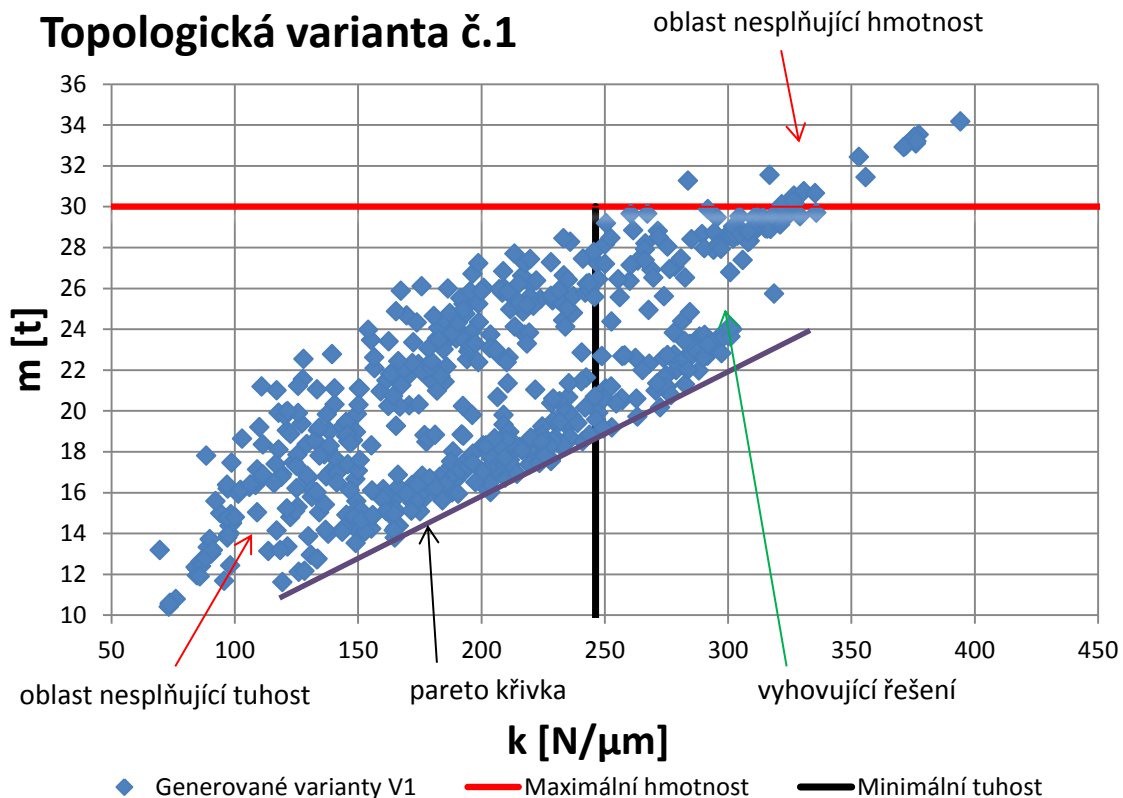


#### 4.4.1 Výsledky topologické varianty č.1

Na Obr. 45 jsou znázorněny všechny generované body řešení topologické varianty č.1. Veškeré body, které jsou nad hranicí znázorněnou červenou křivkou, jsou těžší, než je váhové omezení a tudíž jsou vyřazeny z výsledků. Další oblastí, která byla vyřazena z výsledků optimalizace, je nalevo od černé vertikální čáry. Body řešení, které jsou na levé části před touto čarou, mají menší hmotnost než je maximální dovolená, ale také mají menší statickou tuhost, než původní řešení polymerbetonového lože. Některé body řešení mají až pětinou tuhost, než je požadováno. Oblast řešení, která vyhovuje omezením, je napravo od černé vertikální čáry představující minimální tuhost. Tyto body řešení musí být také pod červenou křivkou, která představuje maximální hmotnost nového řešení. Z této oblasti lze použít pouze body, které se blíží k pareto křivce, která na Obr. 45 je znázorněna fialovou šikmou křivkou. Pro body řešení na pareto křivce nelze nalézt lepšího řešení poměru tuhosti a hmotnosti. Pro body, které jsou vzdálené od pareto křivky, lze nalézt při stejné tuhosti lehčí body řešení.

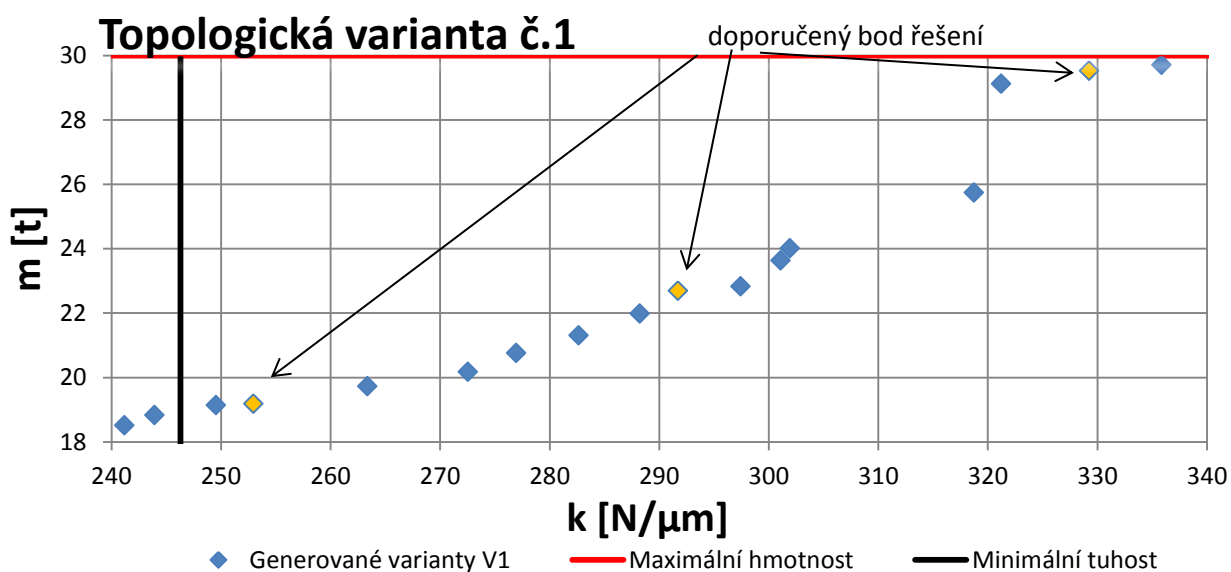
Výsledky hmotnosti jednotlivých bodů řešení byly před porovnáním upraveny. V Obr. 45 jsou již upravené body řešení. Bylo zapotřebí váhu ponížít z důvodu získání váhy pouze lože, bez promítnutí váhy jednotlivých vřeteníků nebo lunet. Po ponížení váhy bylo nutné výslednou váhu lože násobit dvěma pro získání váhy celého lože, jelikož výpočet se provedl pouze pro jednu polovinu lože z důvodu ušetření času a zjednodušení modelu kvůli omezení počtu uzlů. Nicméně lože je symetrické, tudíž i výsledky tuhosti jsou symetrické.

Optimalizace proběhla pomocí skriptu, který je přílohou této práce.



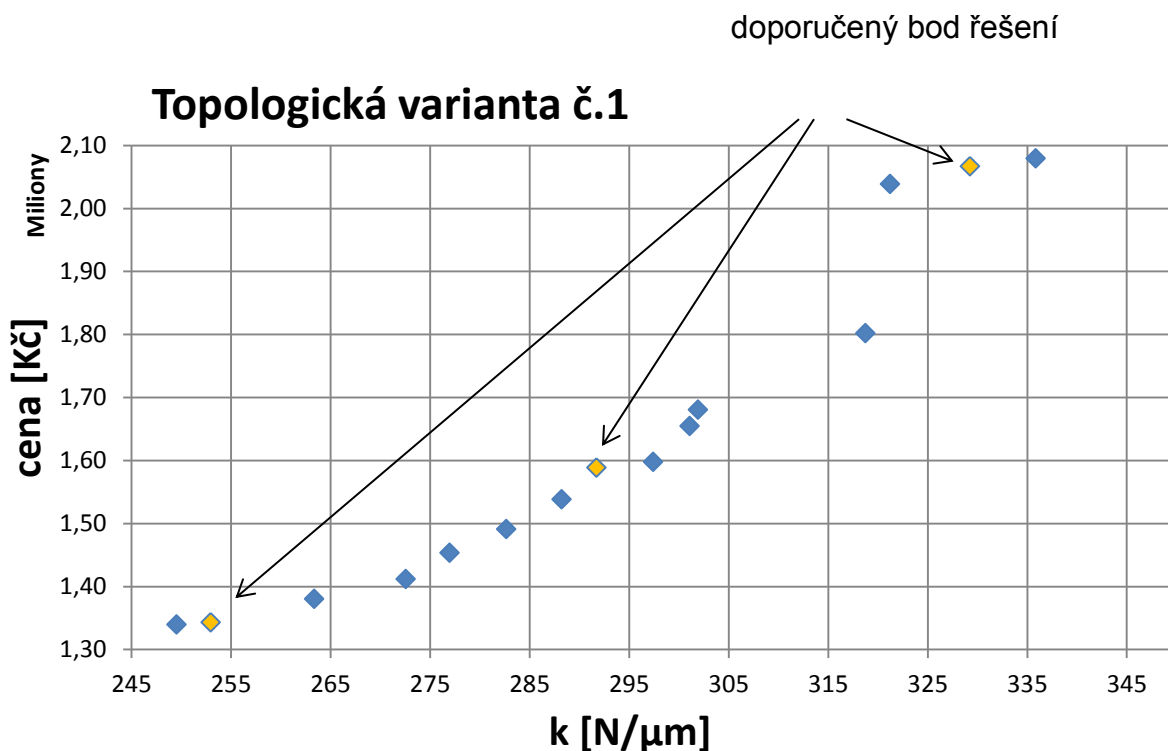
Obr. 45: Výsledky V1 při poměru tuhosti a hmotnosti

Na Obr. 46 lze pozorovat pareto frontu řešení V1 při splnění maximální hmotnosti a minimální tuhosti. Optimální varianty se pohybují od 19 do 30 tun při tuhosti od 248 N/μm do 340 N/μm. Byly vybrány tři vhodné body řešení této topologické varianty. Tyto body se budou porovnávat se všemi doporučenými body všech topologických variant. Doporučené body řešení jsou znázorněny na Obr. 46 tmavě žlutými body.



Obr. 46: Vyhovující řešení na pareto frontě V1

Na Obr. 47 je znázorněna cena v závislosti na tuhosti. Cena zobrazených bodů je pouze pro body na pareto frontě. Cena se pohybuje od 1,3 do 2,1 milionu korun českých. Doporučené body řešení jsou znázorněny na Obr. 47 žlutými body. Cena za jeden kilogram ocelového svařence je 70,- Kč. Touto cenou byla vynásobena hmotnost pro získání přibližné ceny lože.



Obr. 47: Cena optimálních variant V1

#### 4.4.2 Výsledky topologické varianty č.2

Na Obr. 48 jsou znázorněny všechny generované body řešení topologické varianty č.2. Všechny generované body V2 jsou pod hranicí 30t, lze konstatovat, že všechny body řešení splňují podmínku hmotnosti do 30 tun. Oblast, která byla vyřazena z výsledků optimalizace, je nalevo od černé vertikální čáry. Body řešení, které nesplňují podmínku minimální tuhosti získanou při výpočtu polymerbetonového lože, jsou právě na této levé části grafu. Některé body řešení mají až pětinou tuhost, než je požadováno. Vyhovující body řešení jsou napravo od černé vertikální čáry představující minimální tuhost. Tyto body řešení musí být také pod červenou křivkou, která představuje maximální hmotnost nového řešení. Z těchto bodů řešení lze použít



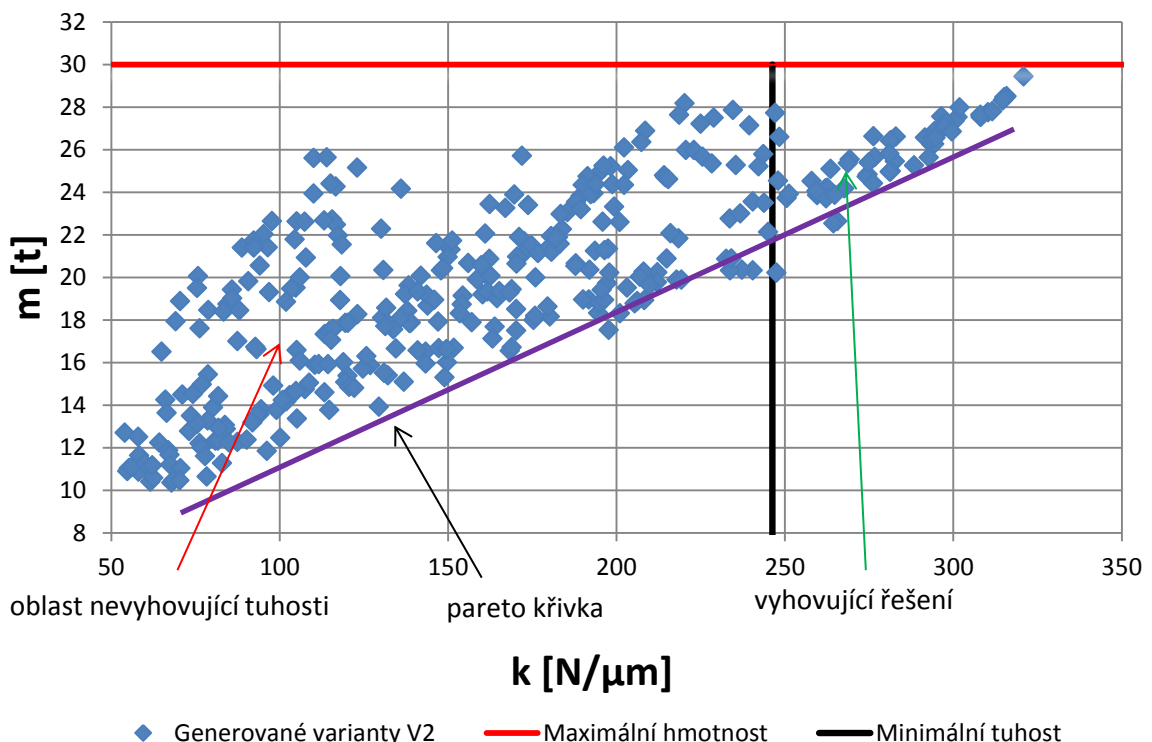
pouze ty, které se blíží k pareto frontě, která na Obr. 48 je znázorněna fialovou šikmou křivkou. Pro body řešení na pareto křivce nelze nalézt lepšího řešení poměru tuhosti a hmotnosti. Pro body, které jsou vzdálené od pareto křivky, lze nalézt při stejné tuhosti lehčí varianty řešení.

V porovnání Obr. 45 s Obr. 48 lze vidět, že topologická varianta č.2 má méně bodů řešení, které vyhovují maximální hmotnosti a minimální tuhosti. Všechny body řešení oproti bodům řešení předchozí varianty jsou blíže pareto frontě. Topologická varianta č.2 má o 234 bodů řešení méně, tato varianta rychleji konvergovala k řešení.

Hmotnost bodů řešení této varianty byla před vyhodnocením ponížena z důvodu získání hmotnosti lože bez promítnutí váhy vřeteníků a lunet. Toto bylo popsáno u topologické varianty č.1 v kapitole 4.4.1.

Optimalizace proběhla pomocí skriptu, který je přílohou této práce.

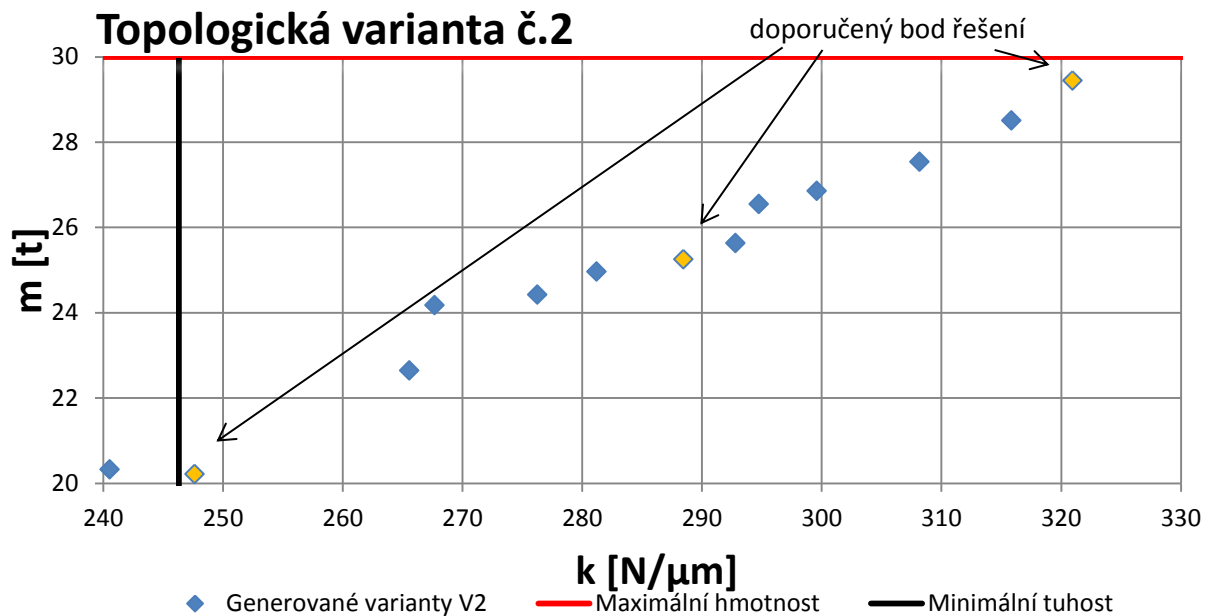
## Topologická varianta č.2



Obr. 48: Výsledky V2 při poměru tuhosti a hmotnosti

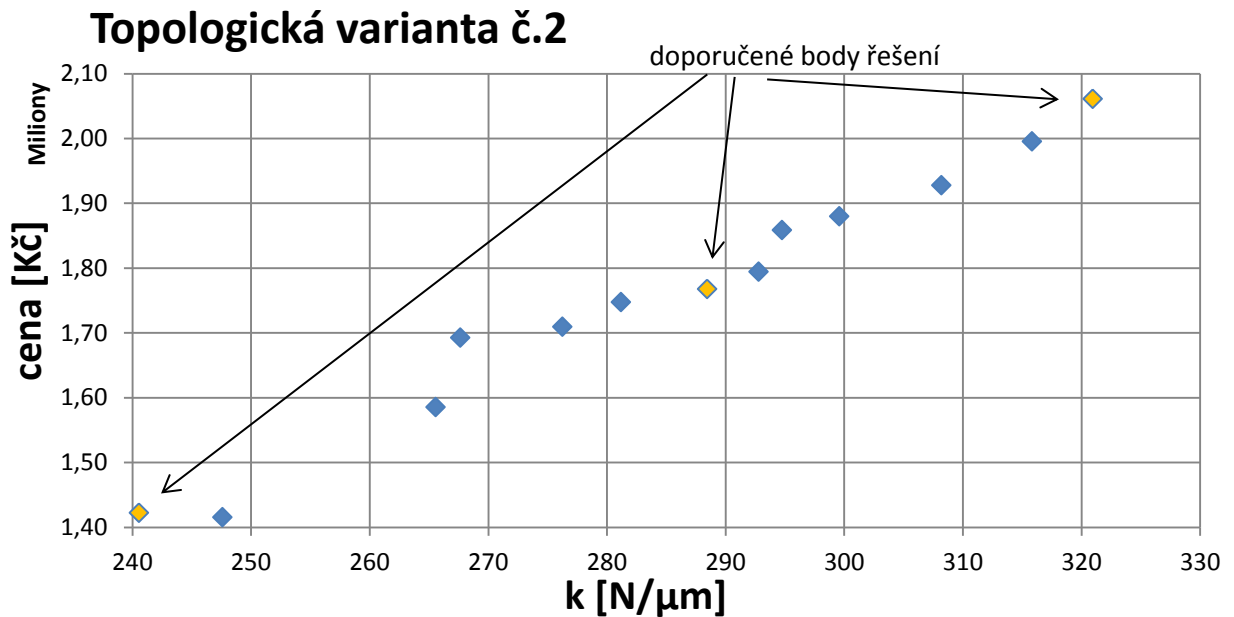
Na Obr. 49 lze pozorovat optimální řešení V2 při splnění maximální hmotnosti a minimální tuhosti. Optimální varianty se pohybují od 20 do 30 tun

při tuhosti od 248 N/ $\mu$ m do 322 N/ $\mu$ m. Doporučené body řešení jsou tři, kdy první bod představuje bod s minimální hmotností, třetí bod s maximální tuhostí a druhý bod představuje vhodný poměr tuhosti a hmotnosti. Body jsou znázorněny na Obr. 49 tmavě žlutými body. Celkové srovnání bodů bude až s doporučenými body řešení všech topologických variant.



Obr. 49: Vyhovující řešení na pareto křivce V2

Na Obr. 50 je znázorněna cena v závislosti na tuhosti. Cena zobrazených bodů řešení je pouze body řešení na pareto frontě. Cena se pohybuje od 1,4 do 2,1 milionu korun českých. Doporučené body řešení jsou znázorněny na Obr. 47 třemi žlutými body. Cena za jeden kilogram ocelového svařence je 70,- Kč. Touto cenou byla vynásobena hmotnost pro získání přibližné ceny lože.



Obr. 50: Cena bodů na pareto frontě V2

#### 4.4.3 Výsledky topologické varianty č.3

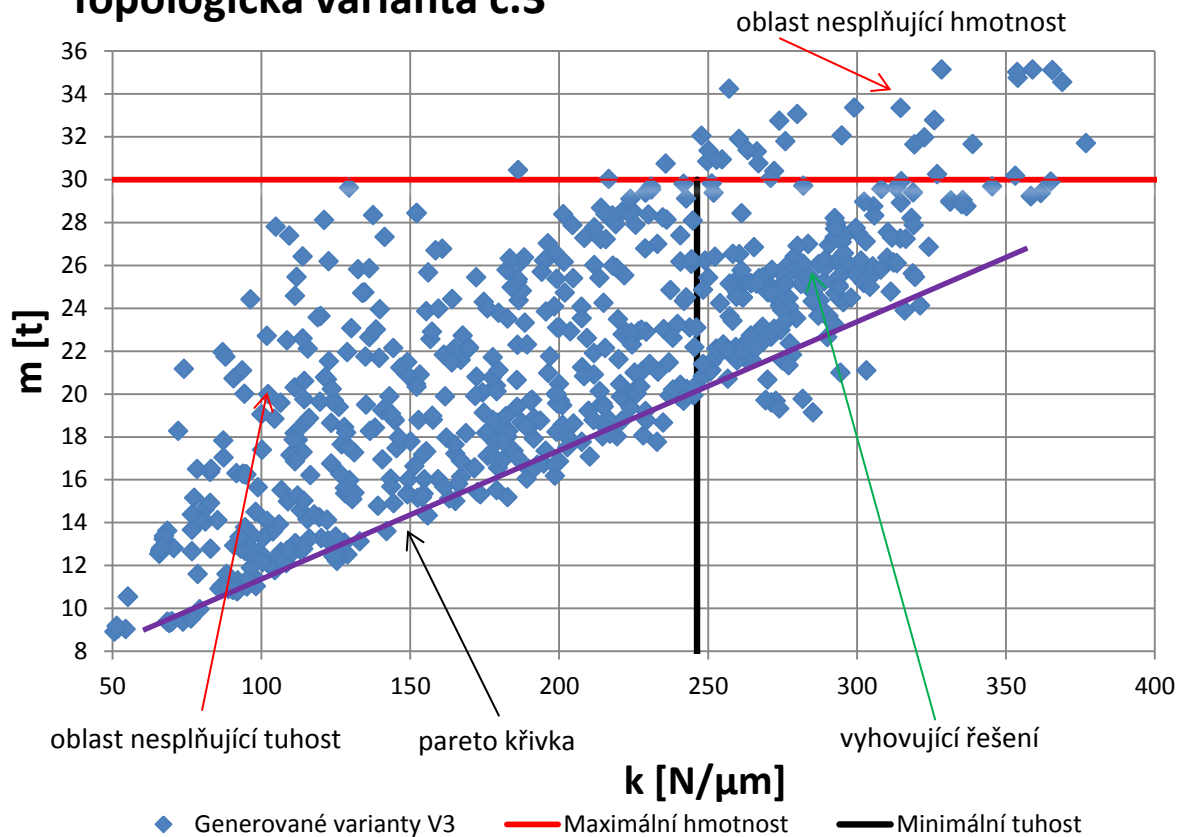
Na Obr. 51 jsou znázorněny všechny generované body řešení topologické varianty č.3. Body řešení, které se vyskytují nad červenou vodorovnou čarou, překročily maximální dovolenou hmotnost 30 tun, tudíž je nelze akceptovat při výběru vhodného řešení. Další body řešení, které nelze akceptovat, mají menší statickou tuhost, než má polymerbetonové lože. Tyto body řešení se nacházejí nalevo od černé vertikální čáry představující minimální tuhost polymerbetonového lože. Některé z těchto bodů řešení mají až pětinou tuhost, než je požadováno. Oblast řešení, která vyhovuje omezením, je napravo od černé vertikální čáry představující minimální tuhost. Tyto hodnoty řešení musí být také pod červenou křivkou, která představuje maximální hmotnost nového řešení. I tato oblast použitelných bodů řešení má své omezení. Lze použít pouze body, které se nacházejí na pareto frontě zobrazené na Obr. 51 fialovou šikmou čarou. Tyto body mají nejmenší hmotnost při stejné tuhosti.

Počet bodů řešení ze všech topologických variant nejvyšší. Oproti druhé topologické variantě má o 315 bodů řešení více. Oproti první topologické variantě má o 81 bodů řešení více. Topologická varianta č.3 měla nejvíce iterací. Body optimálních řešení se nejvíce ze všech topologických variant blíží pareto frontě.

Výsledky hmotnosti jednotlivých varianty byly před samotným zhodnocením upraveny. Úprava proběhla stejně jako u topologické varianty č.1 a č.2.

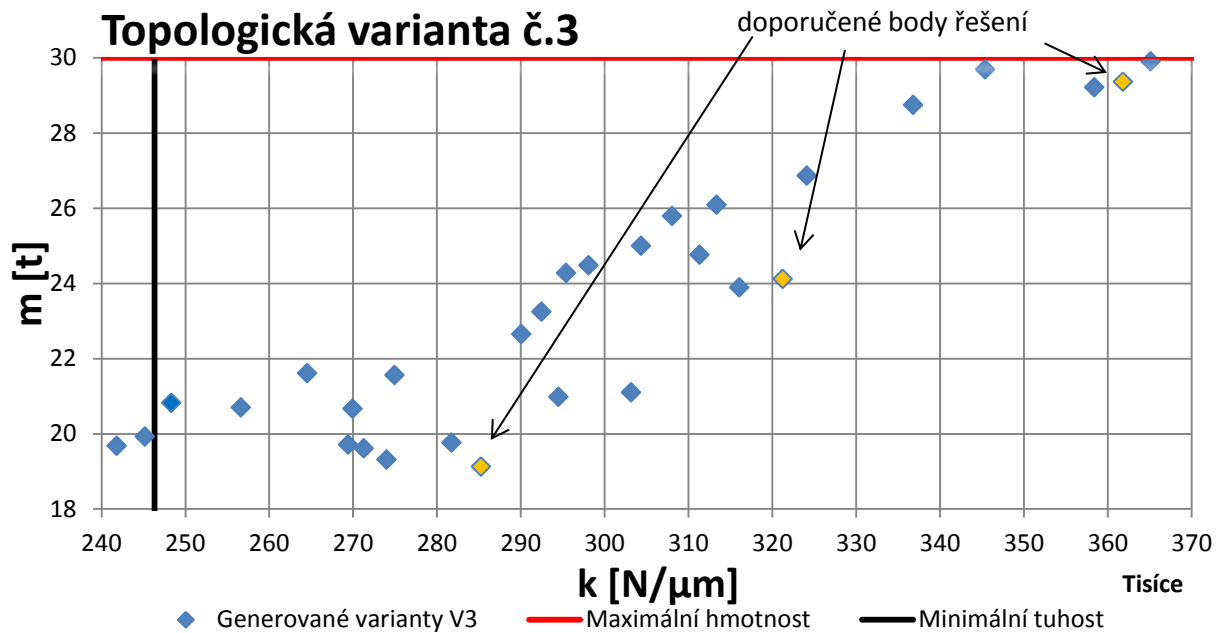
Optimalizace proběhla pomocí skriptu, který je přílohou této práce.

### Topologická varianta č.3



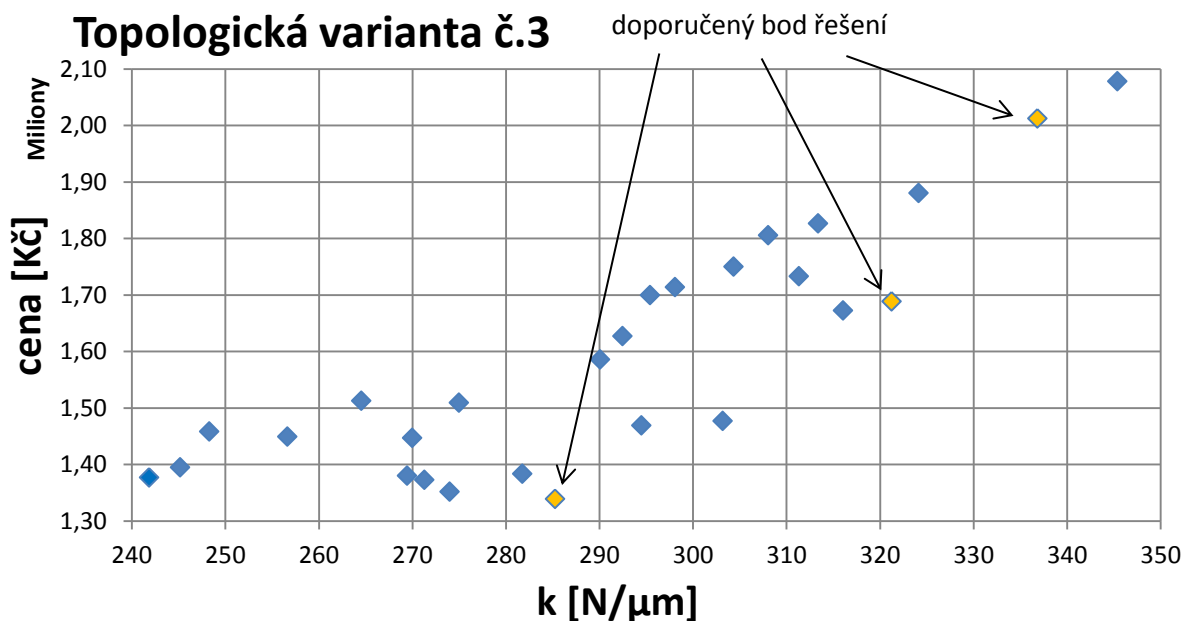
Obr. 51: Výsledky V3

Body řešení, které splňují maximální hmotnost a minimální tuhost, jsou zobrazeny na Obr. 52. Body řešení se pohybují od 19 do 30 tun při tuhosti od 248 N/ $\mu\text{m}$  do 368 N/ $\mu\text{m}$ . Doporučené body řešení jsou znázorněny na Obr. 52 tmavě žlutými body. Opětovně byly vybrány tři body pro možnost srovnání s topologickými variantami č.1 a č.2. První bod má nejmenší hmotnost, třetí bod má maximální tuhost bez ohledu na hmotnost. Druhý bod je kompromisem prvního a třetího bodu řešení.



Obr. 52: Přibližná pareto křivka V3

Na Obr. 53 je znázorněna cena v závislosti na tuhosti. Cena zobrazených bodů řešení je pouze pro body na pareto frontě. Cena se pohybuje od 1,3 do 2,1 milionu korun českých. Doporučené body se budou srovnávat v kapitole 4.4.4. Body jsou znázorněny na Obr. 53 žlutými body. Cena za jeden kilogram ocelového svařence je 70,- Kč. Touto cenou byla vynásobena hmotnost pro získání přibližné ceny lože.

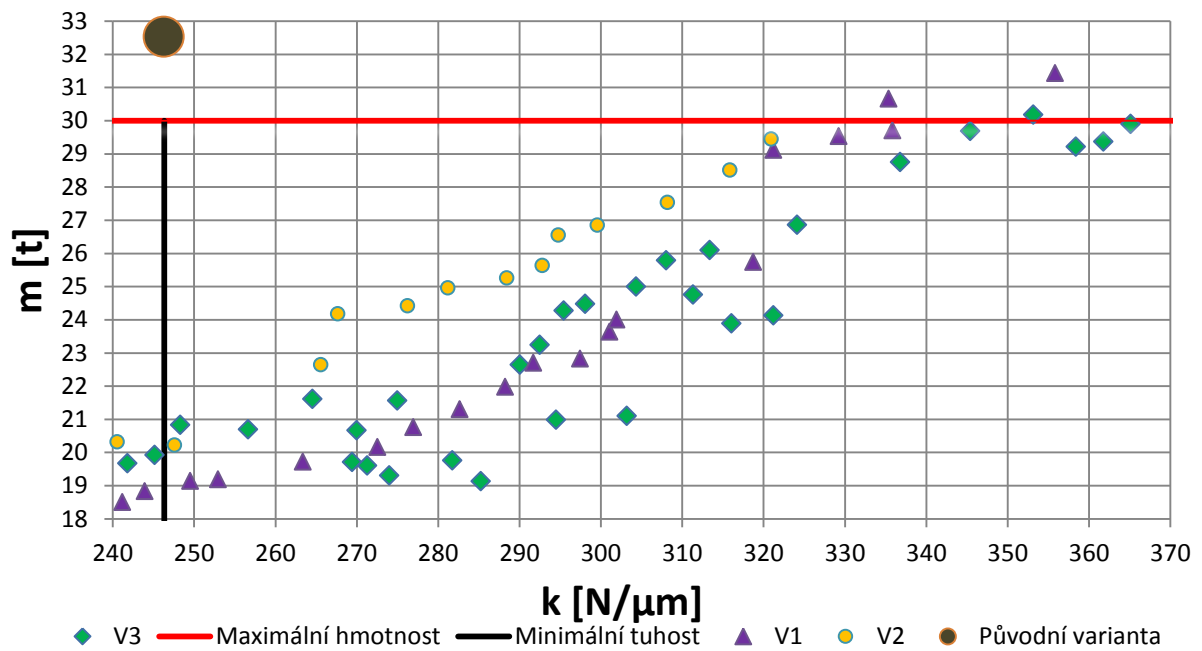


Obr. 53: Cena optimálních variant V3

#### 4.4.4 Porovnání topologických variant

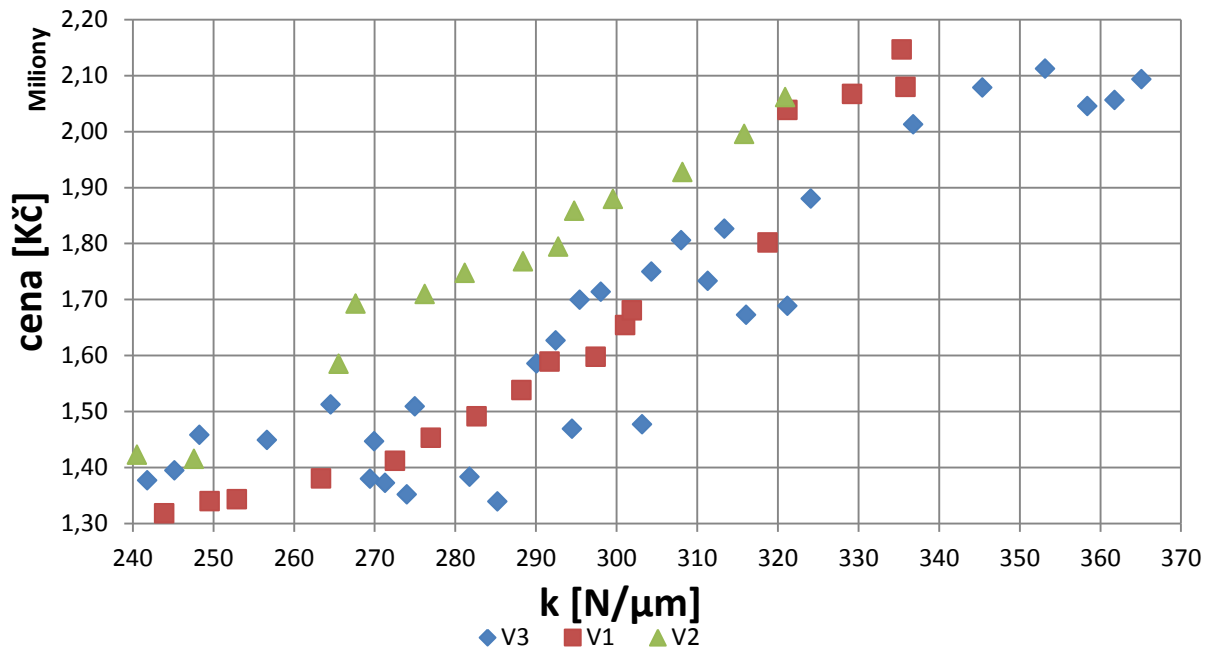
Na Obr. 54 je možné vidět porovnání jednotlivých topologických variant. Zeleně znázorněné body představují jednotlivé řešení topologické varianty č.3. Žlutě znázorněné body představují jednotlivé řešení topologické varianty č.2. Fialové trojúhelníky představují řešení topologické varianty č.1. Na Obr. 54 jsou vidět pouze optimální řešení na pareto křivkách, která odpovídají zadaným kritériím (tuhosti a hmotnosti). Dále je z Obr. 54 patrné, že jednotlivé řešení topologické varianty č.2 se pohybují skoro po přímce. Z Obr. 48 je patrné, že optimalizací nepatrně snížila hmotnost ve vyhovující oblasti. Nejvyšší koncentrace bodů řešení se pohybuje v rozmezí tuhosti od 285 N/ $\mu\text{m}$  do 300 N/ $\mu\text{m}$ . Pokud by ve výsledném bodu řešení nevalila nízká tuhost, dala by se zvolit topologická varianta č.1. Pro tyto body se tuhost pohybuje okolo 250 N/ $\mu\text{m}$ . Nejvyšší koncentrace bodů řešení se pohybuje mezi tuhostmi 280 a 300 N/ $\mu\text{m}$ . Pareto fronta této optimalizované řady by mohla mít o pár iterací více, tím by se pareto fronta lépe vykreslila. Další oblastí, kde se vyskytuje zvýšená koncentrace bodů řešení topologické varianty č.1, je v rozmezí 300 až 320 N/ $\mu\text{m}$ , je nutné zdůraznit, že tato oblast se pohybuje na hranici limitní hmotnosti lože. U topologické varianty č.3 lze nalézt body řešení, které mají nejnižší hmotnost při stejné tuhosti ze všech tří topologických variant. Nejvyšší koncentrace bodů řešení se pohybuje mezi variantami topologické varianty č.1 a topologické varianty č.2, ovšem některé body vyčnívají. Jsou pod výslednými variantami topologické varianty č.1.

Při výběru topologické varianty na základě poměru tuhosti a hmotnosti se bude vycházet z Obr. 54. V rozmezí tuhosti od 246 do 265 N/ $\mu\text{m}$  má tento poměr nejlepší varianty č.1. V rozmezí od 265 do 365 N/ $\mu\text{m}$  má poměr tuhosti a hmotnosti nejlepší varianta č.3. Výsledky varianty č.2 jsou horší než výsledky varianty č.1 a č.2. Na Obr. 54 je také vidět bod původního řešení. Toto řešení je znázorněno jedním bodem, který je znázorněn šedobéžovou barvou. Bod se nachází v horním levém rohu.



Obr. 54: Srovnání cílových funkcí všech topologických variant

Na Obr. 55 lze vidět u topologické varianty č.2, že je nejdražší od tuhosti 240 do 320 N/μm. Pareto křivky topologické varianty č.3 a č.1 si jsou v ceně velmi podobné, kdy jednotlivé body se liší od sebe maximálně 100 000 Kč. Nejdražší bod řešení má topologická varianta č.1, nicméně tato varianta je na mezi maximální hmotnosti, kdy topologickou variantou č.3 lze dosáhnout lepší tuhosti při podobné ceně. Topologická varianta č.3 má na Obr. 55 několik výraznějších bodů řešení, které jsou vzdálenější od pareto křivky. Tato řešení se pohybují od tuhosti 270 N/μm do 305 N/μm s cenou od 1,3 do 1,5 milionu korun.



Obr. 55: Srovnání ceny všech topologických variant

V tab. 12 je vidět porovnání doporučeného řešení jednotlivých topologických variant. Kritériem pro volbu prvního bodu řešení každé topologické varianty byla minimální hmotnost ze všech bodů řešení. Kritériem pro volbu třetího bodu řešení byla maximální tuhost. Výběr doporučených bodů byl doplněn výběrem druhého bodu, kdy tento bod charakterizoval vhodný poměr mezi maximální tuhostí a minimální hmotností.

Z tab. 12 lze vidět, že nejnižší hmotnost má doporučený bod V1\_01 a V3\_01. Tato hmotnost byla snížena přibližně o 41% oproti hmotnosti polymerbetonového lože. Všechny body mají vyšší tuhost, než je tuhost polymerbetonového lože. Nejvyšší tuhosti má V3\_03. Tuhost je o 32% vyšší než u polymerbetonového lože.

tab. 12: Srovnání doporučených variant

Řešení	k [N/μm]	m [t]	cena [mil Kč]	Snížení hmotnosti	Zvýšení tuhosti
Původní	246	32,5			
V1_01	253	19,2	1,3	41%	3%
V1_02	292	22,7	1,6	30%	16%
V1_03	329	29,5	2,1	9%	25%
V2_01	248	20,2	1,4	38%	1%
V2_02	288	25,3	1,8	22%	14%
V2_03	321	29,4	2,1	9%	23%
V3_01	285	19,1	1,3	41%	14%
V3_02	321	24,1	1,7	26%	23%
V3_03	362	29,4	2,0	9%	32%





Při porovnávání složitosti svařence by se měla brát v úvahu pouze vnitřní část. Krytování a nosné plochy jsou v podstatě u všech variant stejné. Nejjednodušší na svařování je u topologické varianty č.2, kdy příčná žebra jsou v jednom kuse. Jsou zasazená do podélných žebek, která přenáší zatížení od vedení přes žebra do patek. Pro tuto variantu by byla obtížná montáž odpadního potrubí v porovnání s topologickou variantou č.3. U varianty topologické varianty č.3 jsou tři vytvořené prostory pro montáž potrubí. Mezi vedením jednotlivých vřeteníků. V porovnání první a třetí varianty, které mají podobnou koncepci příčných žebek, se jeví třetí varianta lepší. Nejen z důvodu lepšího prostoru pro odpadní vedení, ale i menším počtem segmentů jedné řady příčného žebra. Další výhodou je svařování pouze dvou podélných žebek v oblasti patek a dvou vertikálních podélných žebrech.

Výběr topologické varianty č.1 by byl vhodný, pokud by se chtělo docílit nízké hmotnosti za předpokladu nízké tuhosti. Z pohledu technologičnosti je tato varianta nejsložitější, má nejvíce prvků pro svaření a může nastat kolize při svařování u patky pod pracovními vřeteníky. Topologická varianta č.2 by z pohledu technologičnosti byla nejlepší variantou, avšak poměr hmotnosti a tuhosti má ze všech variant nejhorší. Topologické varianty č.1 a č.3 by byly levnější. Topologická varianta je o něco komplikovaněji svařitelná než topologická varianta č.2, nicméně její výsledky pro tuhost od 265 N/ $\mu\text{m}$  jsou nejlepší ze všech variant. Další výhodou topologické varianty č.3 je lepší prostor pro odpadní vedení.

Na základě výsledků cílových funkcí (tuhosti a hmotnosti) a rozboru technologičnosti se jeví topologická varianta č.3 jako nejvhodnější.

#### 4.4.5 Úprava bodu řešení V3\_01

Jednotlivé plechy, které tvoří nové lože svařené, se vyrábějí s tloušťkou, která je celé číslo. Jednotlivé parametry bylo nutné zaokrouhlit a zvolit tloušťky plechů dle výrobků. Plechy se vyrábějí od 5 do 26mm odstupňované po 1mm, plechy od 26 do 50 odstupňované po 2mm. Žlutě podbarvené parametry v tab. 13 se nemusely zaokrouhlovat, nicméně pro lepší vizualizaci na výkrese se zaokrouhlily také. Po zaokrouhlení se musel znova provést výpočet výsledků

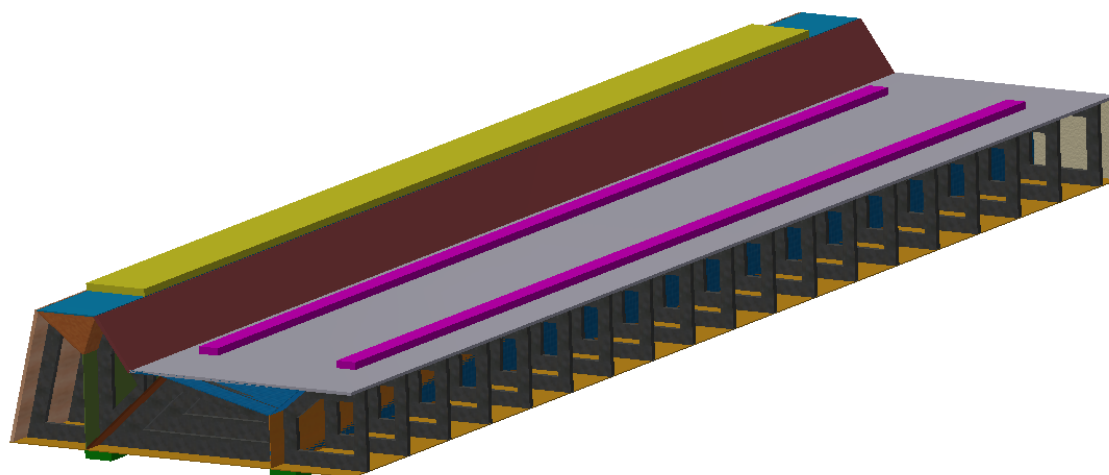


v programu Ansys 17. V zeleně podbarvených buňkách tab. 13 jsou uvedeny staré i nové výsledky.

tab. 13: Tabulka s parametry zvolené varianty

	Doporučená varianta	
	Optimalizace	Přepočet
A1 [mm]	6,32	7
A2 [mm]	20,85	21
A3 [mm]	9,24	9
A5 [mm]	6,15	6
A7 [mm]	5,33	5
A8 [mm]	5,34	6
A9 [mm]	204,88	205
A10 [mm]	5,73	6
A11 [mm]	136,30	136
A12 [mm]	12,85	13
A14 [1]	0,36	0,36
A15 [1]	0,41	0,41
A16 [1]	0,37	0,37
A17 [1]	0,31	0,31
A18 [mm]	48,55	48
A19 [mm]	5,41	5
A20 [mm]	5,57	6
A21 [mm]	28,93	28
A22 [mm]	26,34	26
A23 [1]	19	19
A24 [mm]	40,10	40
m [t]	19,1	19,2
k [N/mm]	285237	285964
cena [Kč/kg]	1 339 155	1 346 742
cena [Kč/t]	1 339	1 347

Hmotnost řešení se zaokrouhlenými parametry se zvýšila o 0,5%, což je nepatrná změna. Tuhost řešení se zaokrouhlenými parametry se zvýšila o 0,25%. Tuhost se zvýšila o 14% oproti polymerbetonovému loži. Hmotnost se snížila o 41%. Na Obr. 56 lze vidět zvolenou topologickou variantu s parametry uvedenými v tab. 13.



Obr. 56: Zvolená varianta V3\_01

## Závěr

Tato práce byla řešena pro stroj Jucrank, který patří mezi hrotové brusky pro broušení klikových hřídelí. Tento stroj má polymerbetonové lože, které bylo srovnáváno s novými variantami lože z oceli.

Cílem této práce byl návrh lože z oceli. Prvním krokem bylo seznámení s materiály, které se používají na nosné dílce strojů. Při návrhu nového lože bylo nejprve nutné seznámit se s původní variantou nejen po stránce geometrie, ale také provedení výpočtu a zjištění minimální tuhosti a hmotnosti polymerbetonového lože. Maximální hmotnost je dle zadání 30 tun bez ohledu na hmotnost původní varianty. Minimální tuhost polymerbetonového lože je 246 N/ $\mu$ m.

Po získání omezujících hodnot statické tuhosti a zadané maximální hmotnosti se provedla optimalizace jednotlivých topologických variant, na základě poskytnutých rezných sil a hmotností vřeteníků, lunet z firmy Junker. Z každé optimalizované topologické varianty byly vybrány tři zástupci řešení s minimální hmotností, maximální tuhostí a bod řešení s vhodným poměrem tuhosti a hmotnosti. Na základě srovnání jednotlivých topologických variant byla vybrána neoptimálnější topologická varianta na základě hmotnosti, tuhosti, ceny a také technologičnosti.

Při volbě doporučeného řešení jednotlivých topologických variant se volila řešení s podobnými tuhostmi.

Na základě kritérií byla vybrána topologická varianta č.3 s hmotností 19,1 tun a tuhostí 285 N/ $\mu$ m. Následně bylo nutné zaokrouhlit tloušťky (parametry topologické varianty) jednotlivých plechů dle výrobců a provedení přepočtu tuhosti, hmotnosti a ceny. Hmotnost konečné optimální varianty je 19,2 tun, tuhost je 286 N/ $\mu$ m a přibližná cena je 1 346 742 Kč ocelového svařence.

Hmotnost klesla o 41% a tuhost se zvýšila o 14% oproti řešení s polymerbetonovým ložem.

Vybraný bod řešení topologické varianty č.3 má ze všech vhodných řešení všech topologických variant nejnižší hmotnost.

Na závěr by bylo vhodné připomenutí, že výpočet byl proveden pouze na základě statické tuhosti ve dvou zátěžných místech. Dynamika rezného procesu nebyla zahrnuta do této práce.



Pro tuto práci byly vytvořeny parametrické 3D modely všech topologických variant. Pro zvolenou variantu řešení topologické varianty č.3 byl vytvořen model dle zvolených parametrů plechů, které byly zaokrouhleny a vybrány na základě katalogových listů výrobců.

Na tuto práci by měl navazovat další výpočet nebo analýza, která by prověřila vhodnost vybraného bodu řešení z hlediska dynamiky řezného procesu a interakce s dalšími částmi stroje. Vřeteníky a lunety byly modelovány zjednodušeně.

## Seznam tabulek

tab. 1: Vlastnosti oceli .....	22
tab. 2: Vlastnosti litiny .....	24
tab. 3: Vlastnosti polymerbetonu .....	27
tab. 4: Vlastnosti betonu.....	29
tab. 5: Vlastnosti granitu.....	31
tab. 6: Vlastnosti keramiky .....	33
tab. 7: Porovnání jednotlivých materiálů .....	36
tab. 8: Vlastnosti materiálů lože .....	43
tab. 9: Výsledky 1 zátěžného stavu.....	49
tab. 10: Výsledky 2 zátěžného stavu.....	49
tab. 11: Nastavení GA.....	60
tab. 12: Srovnání doporučených variant.....	72
tab. 13: Tabulka s parametry zvolené varianty.....	74



## Seznam obrázků

Obr. 1: Pohled na krytování stroje Jucrank, [1] .....	13
Obr. 2: Řezný proces stroje Jucrank, [1] .....	15
Obr. 3: Princip broušení dvěma typy brusných kotoučů, [1] .....	16
Obr. 4: Možnost otáčení kotouče, [1] .....	16
Obr. 5: Aktuální provedení lože .....	17
Obr. 6: Polymerbetonové lože s konzoly pro transport.....	17
Obr. 7: Otvory pro chladicí kapalinu .....	19
Obr. 8: Vložené segmenty.....	20
Obr. 9: Svařovaná nosná struktura portálu firmy Benazzato, [2] .....	23
Obr. 10: Lože stojanu WRD 170 Q, [3].....	25
Obr. 11: Lože z minerálního kompozitu s broušenými vodícími plochami, [4] ..	28
Obr. 12: Lože brusky DMF 360/11, [4] .....	28
Obr. 13: Betonové lože, [5] .....	30
Obr. 14: Lože brusky Studer S41, [6] .....	32
Obr. 15: Komponent k laserovému obráběcímu stroji, [7] .....	33
Obr. 16: Dutina v loži s pískovou výplní, [7] .....	34
Obr. 17: Struktura hliníkové pěny, [8].....	35
Obr. 18: Lože s betonovou výplní, [9].....	35
Obr. 19: Globální a lokální extrémny .....	39
Obr. 20: Hlavní rozměry lože.....	41
Obr. 21: Odpadní vedení.....	42
Obr. 22: Omezující geometrie .....	42
Obr. 23: Označení materiálů .....	43
Obr. 24: Plochy pro zavedení okrajových podmínek .....	43
Obr. 25: Síťované lože .....	45
Obr. 26: Detail sítě .....	45
Obr. 27: Náhradní zatížení 1 stavu .....	47
Obr. 28: Náhradní zatížení 2 stavu .....	47
Obr. 29: Zatěžující síly .....	48
Obr. 30: Deformace zátěžného stavu.....	48
Obr. 31: Deformace 1 zátěžného stavu.....	49
Obr. 32: Deformace 2 zátěžného stavu.....	50



Obr. 33: Znázornění parametru z bočního pohledu v1 .....	51
Obr. 34: Znázornění pohledu z čelního pohledu v1 .....	51
Obr. 35: ISO pohled na topologickou variantu v1 .....	52
Obr. 36: Znázornění parametru z bočního pohledu V2 .....	53
Obr. 37: Znázornění pohledu z čelního pohledu V2 .....	54
Obr. 38: ISO pohled na topologickou variantu V2 .....	54
Obr. 39: Znázornění parametru z bočního pohledu v3 .....	56
Obr. 40: Znázornění pohledu z čelního pohledu v3.....	56
Obr. 41: ISO pohled na topologickou variantu v3.....	57
Obr. 42: Jednobodové reference.....	58
Obr. 43: Proces GA.....	59
Obr. 44: Procentní konvergence, [11] .....	61
Obr. 45: Výsledky V1 při poměru tuhosti a hmotnosti .....	63
Obr. 46: Vyhovující řešení na pareto frontě V1 .....	64
Obr. 47: Cena optimálních variant V1 .....	64
Obr. 48: Výsledky V2 při poměru tuhosti a hmotnosti .....	65
Obr. 49: Vyhovující řešení na pareto křivce V2 .....	66
Obr. 50: Cena bodů na pareto frontě V2 .....	67
Obr. 51: Výsledky V3 .....	68
Obr. 52: Přibližná pareto křivka V3.....	69
Obr. 53: Cena optimálních variant V3 .....	69
Obr. 54: Srovnání cílových funkcí všech topologických variant.....	71
Obr. 55: Srovnání ceny všech topologických variant.....	72
Obr. 56: Zvolená varianta V3_01 .....	75





## Seznam příloh

Příloha A – Zadání Optimalizace lože brusky PF8 – elektronická

Příloha B – Jucrank - elektronická

Příloha C – Mechanické vlastnosti oceli – elektronická

Příloha D – Projekt topologické varianty 1 v Ansysu 17 – elektronická

Příloha E – Projekt topologické varianty 2 v Ansysu 17 – elektronická

Příloha F – Projekt topologické varianty 3 v Ansysu 17 – elektronická

Příloha G – Projekt původní varianty v Ansysu 17 – elektronická

Příloha H – 3D model topologické varianty 1 v Inventoru 2016 – elektronická

Příloha CH – 3D model topologické varianty 2 v Inventoru 2016 – elektronická

Příloha I – 3D model optimálního řešení v Inventoru 2016 – elektronická

## Seznam použité literatury

- [1] „Junker-group,“ Junker-group, [Online]. Available: <http://www.junker-group.de/cz/loesungen/schleifmaschinen/jupiter.php>. [Přístup získán 24 Listopad 2015].
- [2] Benazzato S.r.l, [Online]. Available: [http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/13\\_stavba\\_nosnych\\_soustav.pdf](http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/13_stavba_nosnych_soustav.pdf). [Přístup získán 25 Říjen 2015].
- [3] Tos Varnsdorf, [Online]. Available: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/horizontalni-vyvtavacky-deskove/wrd-170-q/#prettyPhoto>. [Přístup získán 25 Říjen 2015].
- [4] „Lože z minerálního kompozitu,“ 19 Prosinec 2011. [Online]. Available: <http://www.mmspektrum.com/clanek/loze-z-mineralniho-kompozitu.html>. [Přístup získán 25 Říjen 2015].
- [5] „Tos Hulín,“ [Online]. Available: <http://www.toshulin.cz/>. [Přístup získán 25 Říjen 2015].
- [6] P. Kolář a P. Lysák, „EMO Hannover 2011, Brousicí stroje,“ 11 Duben 2012. [Online]. Available: <http://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-2011-cast-9-brousici-stroje.html>. [Přístup získán 22 Říjen 2015].
- [7] P. Kolář, *Materiály nosných struktur obráběcích strojů*, Praha: RCMT, 2015.
- [8] J. Machuta a I. Nová, „Výrobky z hliníkové pěny,“ *MM spektrum*, 18 Prosinec 2007. [Online]. Available: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyrobky-z-hlinikove-peny.html>. [Přístup získán 26 Říjen 2015].
- [9] „Eurocomp Systems,“ [Online]. Available: <http://www.eurocomp-systems.de/>. [Přístup získán 31 Říjen 2015].
- [10] J. Nocedal a S. J. Wright, *Numerical Optimization*, New York: Springer, 1999.
- [11] „Ansys,“ [Online]. Available: <http://www.ansys.com/About-ANSYS/News-Center/01-27-16-ANSYS-Unveils-Release-17-0>. [Přístup získán 5 Červenec 2016].
- [12] „Beton a přírodní žula při výrobě loží a rámců obráběcích strojů,“ *MM Průmyslové spektrum*, p. 14, 21 Květen 2003.
- [13] I. Nová, „Výrobky z hliníkové pěny,“ *MM Průmyslové spektrum*, p. 58, 12

Prosinec 2007.

- [14] Z. Macek, *Nauka o materiálu*, Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999.
- [15] „Nové technologie při výrobě nosných dílů,“ *MM Průmyslové spektrum*, p. 16, 17 Duben 2002.
- [16] L. Krušina, „Mineralní kompozit,“ *MM Průmyslové spektrum*, p. 20, 19 Prosinec 2006.
- [17] V. Lašová, *Základy stavby obráběcích strojů*, Plzeň: Vydavatelství Západočeská univerzita v Plzni, 2012.
- [18] „Mineralguss,“ Wikipedia, 7 Srpen 2015. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mineralguss>. [Přístup získán 15 Říjen 2015].
- [19] „Polymerbeton,“ Wikipedie, 9 Duben 2015. [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polymerbeton>. [Přístup získán 15 Říjen 2015].
- [20] „Granit,“ Microplan group, [Online]. Available: <http://www.microplan-group.com/mpg/EN/granite.html>. [Přístup získán 15 Říjen 2015].
- [21] „Polymerbeton,“ Meyer polycrete, [Online]. Available: <http://www.meyer-polycrete.com/polycreter/der-werkstoff-polymerbeton/>. [Přístup získán 10 Říjen 2015].
- [22] P. M. GmbH, „Maschinengestelle für Präzisions-Werkzeugmaschinen,“ 5 Říjen 2006. [Online]. Available: <http://www.openpr.de/news/102715/Maschinengestelle-fuer-Praezisions-Werkzeugmaschinen.html>. [Přístup získán 10 Říjen 2015].
- [23] NEWTECH, [Online]. Available: <http://www.newtech.cz/toyoda-objevy-stroje/brousici-stroje/hrotove-brusky/ge6/>. [Přístup získán 23 Listopad 2015].
- [24] PrincI, [Online]. Available: <http://princl.cz/produkty/dilenske-vybaveni/brusky/stolni-brusky>. [Přístup získán 24 Listopad 2015].
- [25] Minnich, [Online]. Available: <http://www.minnich.cz/inpage/brusny-kotouc-pro-brouseni-der/>. [Přístup získán 24 Listopad 2015].
- [26] Taima, [Online]. Available: <http://www.taima.cz/rovinne-brusky/automaticke-brusky-serie-gsbh/>. [Přístup získán 24 Listopad 2015].
- [27] P. Jalůvka. [Online]. Available: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1249>. [Přístup získán 24 Listopad 2015].
- [28] J. Řasa a V. Gabriel, *Strojírenská technologie 3*, Praha: Scientia, 2005.



- [29] D. Němec, Strojírenská technologie 3, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1982.
- [30] J. Group, Junker Group, [Online]. Available: <http://www.junker-group.de/cz/index.php>. [Přístup získán 1 Prosinec 2015].