



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**STAVEBNICOVÝ SYSTÉM STAVBY HLAVNÍCH DÍLŮ CNC
OBRÁBĚCÍHO STROJE**

MODULAR BUILDING SYSTEM FOR MAIN PARTS OF CNC MACHINE TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Jiří Dvořák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA**
Akademický rok: 2018/19

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

Stavebnicový systém stavby hlavních dílů CNC obráběcího stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

CNC obráběcí stroje jsou nezastupitelným prvkem výroby obrobků technologií třískového obrábění. Jejich hlavní díly, jako je například vřeteník, stojan, saně jsou vyráběny z jednoho kusu tradičními technologiemi pro zpracování kovů (svařování, odlévání apod.). To vyžaduje přípravky, anebo modely, což prodlužuje čas dodávky odlitku, anebo svařence. Pokud by existoval universální stavebnicový systém pro jednotlivé typy CNC obráběcích strojů, tak by došlo k výraznému zkrácení dob dodávek těchto hlavních dílů.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh variant stavebnicového systému, zdůvodnění výběru optimální varianty řešení.

Výběr vhodného typu CNC obráběcího stroje pro vybraný stavebnicový systém.

Návrh variant konstrukce vybraného hlavního dílu, zdůvodnění výběru optimální varianty řešení a stanovení technických parametrů.

Potřebné technické výpočty.

Výkres sestavy, kusovník a min. 5 výkresů vyráběných dílů.

Komentář k přiložené výkresové dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.

BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Brno: Vysoké učení technické, 1986.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá navrhnutím nové koncepce konstrukce hlavních dílů obráběcích strojů. Zakládá se na podstatě stavebnicové soustavy a řešením je použití malých prvků, které následně tvoří celek. Obsah práce je zaměřen na vytvoření postupu pro první prototyp stavebnice. Z konkrétního řešení je následně namodelován konkrétní stroj.

ABSTRACT

This work deals with the design of a new concept of construction of main parts of machine tools. It is based on the essence of the modular building system and the solution is to use of small elements that will make a whole group. The content of the thesis is focused on the creation of the procedure for the first prototype of the kit. Specific machine is then modeled from a solution.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stavebnicový systém, návrh CNC, návrh nosných soustav obráběcích strojů, alternativní řešení nosných soustav.

KEYWORDS

Modular building system, design of CNC, design of supporting systems of machine tools, alternative solutions of support systems.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, J. *Stavebnicový systém stavby hlavních dílů CNC obráběcích strojů*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 87 s., Vedoucí diplomové/bakalářské práce prof. Dr. Ing. Jiří Marek, Ph.D., DBA

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu studia. Dále všem lidem, kteří mi poskytli cenné rady při psaní této práce a svému vedoucímu práce Jiřímu Markovi.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Jiřího Marka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.05.2019

.....

Jiří Dvořák

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	MOTIVACE	13
3	REŠERŠE	15
3.1	Systémový rozbor práce	15
3.1.1	Shrnutí aktuálně používané technologie	15
3.1.2	Přepokládané vlastnosti alternativní stavebnicové koncepce	15
3.1.3	Stanovení průběhu řešení	15
3.1.4	Stanovení cíle řešení	15
3.2	Výroba nosných struktur obráběcích strojů	16
3.2.1	Odlévané rámy	16
3.2.2	Svařované rámy	17
3.2.3	Vrstvené rámy	17
3.2.4	Opracované rámy	17
3.2.5	Sendvičové rámy	17
3.3	Koncepce na bázi her a jiných	18
3.3.1	Dětská stavebnice	18
3.3.2	Puzzle	18
3.3.3	Stavební cihla	19
3.3.4	Hliníkové profily	19
4	KONCEPCE STAVEBNICOVÉ STRUKTURY	21
4.1	Kritéria hodnocení	21
4.2	Koncepty řešení	22
4.2.1	Koncept I	22
4.2.2	Koncept II	23
4.2.3	Koncept III	24
4.2.4	Koncept IV	25
4.2.5	Koncept V	26
4.2.6	Koncept VI	27
4.2.7	Koncept VII - POLLI Brick	28
4.2.8	Koncept VIII	29
4.2.9	Koncept IX	30
4.2.10	Koncept X	31
4.2.11	Koncept XI	32
4.2.12	Koncept XII	33
4.3	Výběr koncepce	33
5	ÚPRAVA VYBRANÉ KONCEPCE	35
5.1	Upravený princip zvolené koncepce	35
5.2	Úprava geometrie	35
5.2.1	Úprava čepu	35
5.2.2	Úprava krychle	36
5.3	Volba materiálů	36
5.4	Volba rozměrů	36
5.4.1	Manuální montáž	37
5.4.2	Automatická montáž	37
5.5	Rozšiřující prvky	37

5.5.1	Spojovací prvky pro rozdílnou řadu velikostí	37
5.5.2	Rozměrová vložka	38
5.5.3	Podložka pod svorníky	38
5.5.4	Tvarové prvky	39
5.5.5	Ostatní prvky	40
5.6	Uchycení periferií	41
5.6.1	Závitová vložka A	41
5.6.2	Závitová vložka B	42
5.6.3	Závitová vložka C	42
5.6.4	Závitová vložka D	42
5.6.5	Závitová vložka E	43
5.6.6	Závitová díra s hmoždinkou	43
5.6.7	Závitový čep	43
5.7	Svorníky	43
5.7.1	Křížový spoj – koule	44
5.7.2	Křížový spoj – čtvrt kruh	44
5.7.3	Křížový spoj – závitový	45
5.7.4	Křížový spoj – vrtaný	45
5.8	Osazení perifériemi	45
6	VOLBA MATERIÁLU KRYCHLE	47
6.1	Kritéria hodnocení	47
6.2	Materiály krychle	48
6.2.1	Beton	48
6.2.2	Litina	48
6.2.3	Vláknový kompozit	48
6.2.4	Ocel	49
6.2.5	Granit	49
6.2.6	Ostatní	49
6.3	Výběr materiálu krychle	50
6.4	Materiál čepu	51
6.5	Materiál svorníku	51
6.6	Výkresová dokumentace	51
6.6.1	Výkresy	51
6.6.2	Technologie výroby a měření	52
7	POŽADAVKY NA KONCEPCI	53
7.1	Shrnutí požadavků	53
7.1.1	Požadavky pro krychli	53
7.1.2	Požadavky pro čep	53
7.1.3	Požadavky pro krychli osazenou čepy	53
7.1.4	Požadavky pro výpočet celého stroje	53
7.1.5	Požadavky pro svorník	53
8	VÝPOČET ZATÍŽENÍ KRYCHLE	54
8.1	Zkušební výpočet	54
8.1.1	První iterace výpočtu	54
8.1.2	Druhá iterace výpočtu	55
8.1.3	Třetí iterace výpočtu	55
8.1.4	Čtvrtá iterace výpočtu	55
8.2	Závěrečný výpočet	56

9	PŘÍKLADY STROJŮ Z MODULÁRNÍ STRUKTURY.....	57
9.1	Stroj 1.....	57
9.2	Stroj 2.....	57
9.3	Stroj 3.....	57
10	PŘEDMĚT DALŠÍHO BĚDÁNÍ	65
10.1	Materiály	65
10.2	Technické výpočty.....	65
10.3	Vibrace	65
10.4	Testování	65
10.4.1	Prvky	65
10.4.2	Stroj.....	65
10.5	Postup návrhu	66
10.5.1	Konstrukční CAD program	66
10.6	Připravky	66
10.7	Alternativní využití	66
10.8	Další koncepty	66
11	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	67
11.1	Výpočet	67
11.2	Litina	67
11.3	Beton	68
11.4	Ocel.....	69
11.4.1	Odlitek.....	69
11.4.2	Obrobek.....	69
11.5	Ostatní náklady	69
11.6	Časová flexibilita	70
11.7	Shrnutí.....	70
12	ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....	71
13	ZÁVĚR	73
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	74
15	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	77
15.1	Seznam zkratek.....	77
15.2	Seznam symbolů.....	77
15.3	Seznam obrázků.....	77
15.4	Seznam tabulek.....	79
16	SEZNAM PŘÍLOH	80
16.1	Součást práce.....	80
16.2	Externí přílohy	80

1 ÚVOD

Obráběcí stroj by měl splňovat celou řadu požadavků. Tyto požadavky jsou ze své podstaty mnohdy protikladné. Konstruktorova činnost se tedy zakládá na celé řadě kompromisů pro nalezení vhodného, mnohdy ovšem nikoliv ideálního, řešení. Dalším aspektem je ekonomická část věci, která je ve většině případů nadřazená technické části. Tato diplomová práce se soustředí zejména na technickou část řešení daného problému. Ekonomické zohlednění je zmíněno spíše okrajově. Důvodem je nerealizování jakéhokoliv funkčního prototypu v důsledku nedostatku financí i nedořešení všech problémů a úloh.

Nosné struktury obráběcích strojů se skládají z několika částí. Tato práce se zaměřuje na možnosti modifikace struktury pro rám, lože a stojan. Všeobecně nejvíce využívané nosné struktury obráběcích strojů jsou vytvořeny z jednoho kusu. Pomineme-li portálové stroje či speciály. Základní aspekty požadavků na nosné struktury obráběcích strojů lze shrnout do třech bodů: vhodně zvolený materiál, přesnost výroby, geometrie rámu. Všechny tyto tři body jsou podstatou alternativního řešení této problematiky.

Snahou výrobců je udělat rám stroje z co možná nejmenšího počtu dílů, tedy monoblok. Ideální je dosáhnout takových parametrů, aby mohla být realizována hromadná výroba. Bez ohledu na to, o jaký typ výroby se jedná. Cílem této práce je nastínit možnost výroby rámu zcela jiným způsobem. Nikoliv celistvý monoblok, ale pomocí použití velkého počtu identických či drobně upravených dílů.

2 MOTIVACE

Pro zvolení tohoto tématu jsem se rozhodl po složení zkoušky z předmětu GIS s profesorem Jiřím Markem. Část zkoušky se zakládala na podstatě vymyslet něco nového, či se pokusit o jiný přístup k tématu dle zvolené otázky (inspirace z knihy Poselství Garciovy). Část mé otázky byla zaměřena na návrh stavebnicové soustavy kinematických struktur pro obráběcí centra. Inspirací pro mé řešení byla úvaha o stavebnicích, s kterými jsem si hrál jako dítě. Jednalo se o Chevu, Merkur a Lego. Na základě velmi malé variability použitých dílů stavebnice jsem byl schopen stvořit velmi různorodé celky. Po rozpracování této myšlenky a jejím obhájení u zkoušky jsem se na popud pana profesora rozhodl pokusit se své myšlenky a dohady přetvořit do diplomové práce.

Největším problémem mé diplomové práce je ten, že není v mých finančních možnostech realizovat alespoň zmenšený model výsledků mého snažení a má práce je tedy pouze teoretická. Jedná se o přesnou výrobu kovových dílů, která by i bez marže stála několik desítek tisíc korun. Na základě tohoto problému jsem nucen se uchýlit pouze k virtuálnímu modelu pro výpočty bez podložení výsledků reálnými hodnotami ze skutečně provedeného měření a testů. Doufám tedy, že se mi v životě naskytne možnost svou myšlenku realizovat a stát před ní.

Od své práce si slibuji, že se mi díky ní podaří získat dobré zaměstnání po úspěšném složení státní zkoušky. Mimo jiné i to, že nápady, které mám, jsou smysluplné a je možné je realizovat a využít v praxi.

3 REŠERŠE

3.1 Systémový rozbor práce

3.1.1 Shrnutí aktuálně používané technologie

Na základě známých technologií, výroby a vlastností nosných struktur lze jejich výhody a nevýhody ucelit.

Výhodami jsou všeobecně zvládnuté procesy návrhu, výroby, opravy a servisu. Nezanedbatelným bodem je i důvěra zákazníků v osvědčený a zaběhnutý typ stroje.

Mezi nevýhodami patří jednoznačně dlouhý a nákladný proces výroby a samotná technologická omezení daná procesem výroby.

3.1.2 Přepokládané vlastnosti alternativní stavebnicové koncepce

Použitím stavebnicové koncepce by se měla výrazně zvýšit rychlost výroby rámců strojů, protože stavební prvky by byly naskladněny a bylo by možné je využít okamžitě. Bez větších obtíží by mělo jít již hotový rám stroje po dokončení nebo v průběhu jeho výroby modifikovat. V ideálním případě plně zvládnutého procesu výroby a montáže by se mohla výroba z velké části nebo dokonce plně automatizovat. Další potencionální výhodou je unifikovatelnost. Pokud budeme pracovat pouze s předdefinovanými tvary, urychlí se i celý proces návrhu. Jedná se o přepokládané kladné aspekty vyplývající z podstaty této koncepce.

Mezi negativa tohoto řešení by mohly být: nedostatečná tuhost, obtížná a nákladná výroba a nedostatečná životnost.

3.1.3 Stanovení průběhu řešení

Na základě níže zmíněných kroků by mělo probíhat řešení této práce.

Shrnutí poznatků o aktuálně používaných technologiích výroby rámců obráběcích strojů a inspirativní stavebnicové struktury kolem nás.

Nastínění několika možných způsobů řešení a stanovení kritérií pro zvolení jednoho ze způsobů, a to následně modifikovat do finální podoby.

Podle vybraného typu řešení zpracovat výkresovou dokumentaci a aplikovat řešení na konkrétní rám.

Provést vyhodnocení a zhodnotit výsledky.

3.1.4 Stanovení cíle řešení

Cílem práce je stanovení nové koncepce, která bude umožňovat vytvoření nosných struktur obráběcích strojů. Dále tuto koncepci rozšířit do takové podoby, aby na jejím základě mohl být vytvořen první prototyp a stanovit body, které musí být dále prozkoumány pro průmyslové využití této myšlenky.

3.2 Výroba nosných struktur obráběcích strojů

Na základě dosavadních poznatků lze výrobu nosných struktur obráběcích strojů rozdělit do několika kategorií.

Nelze vyloučit, že se podobná problematika zadání této diplomové práce neřeší v rámci nějakého patentu či patentové přihlášky. Z časových důvodů nebyla vykonána patentová rešerše.

3.2.1 Odlévané rámy

Rámy obráběcích strojů se odlévají z kovu jako je ocel, ocelolitina nebo litina. Tyto rámy jsou historicky nejužívanější a celkově také nejrozšířenější. Výhodou těchto rámců je, že jejich způsob výroby je perfektně zvládnutý a se samotným rámem mají konstruktéři bohaté zkušenosti. Vědí, co si mohou dovolit při jejich návrhu i způsobu užívání. Další výhodou je, že odlévané rámy, díky použitému materiálu, dobře tlumí vibrace. Jejich nevýhodou je nutnost podřídit geometrii rámu požadavkům pro odlití a požadavkům na technologické možnosti slévárny. Pokud je ovšem vyráběn dostatečný počet kusů, tak cena za jeden kus bude klesat v závislosti na použité technologii odlévání. Klíčovým aspektem je tedy hospodárnost. Výsledný tvar rámu tudíž může být dost vzdálený původnímu ideálnímu návrhu a jeho nedostatky se pak musí kompenzovat jiným způsobem. Další nevýhodou je obecně vyšší hmotnost (Obr. 1). [1]

Další možností je odlít rám stroje z betonu. Jedná se o použití polymerbetonu nebo HPC betonu (vysokopevnostní cementový beton). Možnosti těchto strojů stále ještě nebyly plně prozkoumány a jsou předmětem zkoumání a vývoje. Rozdíl mezi polymerbetonem a HPC betonem je chemické složení, plnivo, pojiva a následné zpracování při a po výrobě. Rozdílné jsou i možnosti formy, jako je například minimální tloušťka stěny. Princip lití je ovšem stejný.

Jedno z možností užití je víceméně identický jako u klasického lití kovu – připravení formy, vylití betonem, zhutnění, ztuhnutí a následné vyjmutí, případně ještě další opracování. Do formy je možné umístit různé kovové prvky, které dále zvyšují celkovou pevnost rámu nebo poskytují možnost uchycení dalších periférií pomocí šroubů, jako jsou například vodící prvky. Další možností je vylít betonem ocelovou konstrukci, která nahrazuje formu (Obr. 2). [1]



Obr. 1) Odlévaný stroj – litina [2]

3.2.2 Svařované rámy

Rámy vyráběné tímto způsobem patří obecně mezi nejrychleji vyráběné rámy v závislosti na velikosti. Polotovary pro svařence jsou válcované plechy a profily se zaručenou svařitelností, které jsou pouze zakráčeny na požadovaný rozměr a následně jsou k sobě svařeny. Největší výhodou těchto rámu je možnost téměř libovolné geometrie jejich tvaru na základě použitých polotovarů. Mezi negativa patří nutnost použití dalších materiálů pro vodící lišty nebo riziko zkroucení rámu po a během svaření. Svařování probíhá z části ručně svářeči a kvalita výsledku je silně ovlivněna jejich umem a zkušeností. [1]

3.2.3 Vrstvené rámy

Vláknové kompozitní rámy z různých materiálů s epoxidovou pryskyřicí jako matricí. Samotný komponent vzniká díky velkému množství různých výrobních technologií. Jedná se o lisování, navíjení, tažení, stříkání atd. Mezi hlavní nevýhody patří nasákavost, nízká provozní teplota a vysoké náklady při realizaci a likvidaci. Největší nevýhodou je, že naprostá většina konstruktérů neumí s tímto způsobem navrhování pracovat. Mezi výhody patří nízká hmotnost a dobré tlumení. Tento způsob výroby nejen obráběcích strojů je aktuálně předmět vývoje. [1]

3.2.4 Opracované rámy

Tento typ rámu patří mezi jedny z nejdražších a nejkvalitnějších, které můžeme na trhu najít. Jedná se o kamenný blok, který je opracován do podoby rámu. Materiálem pro tyto rámy jsou granity. Využívá se jejich rozměrové stálosti a tlumení, která jsou v porovnání s ostatními aktuálně používanými materiály jedny z nejlepších. Největší nevýhodou těchto rámu je nalezení vhodného bloku surového materiálu, který by neměl vady a byl vhodný pro opracování. Dalším nezanedbatelným aspektem je vysoká cena těchto rámu. [1]

3.2.5 Sendvičové rámy

Jedná se o použití materiálů ve skladbě ocel – hliníková pěna – ocel. Tato skladba materiálů vzniká ve formě desek, které se kombinují a skládají do složitějších struktur. [1]



Obr. 2) Betonové lože [3]

3.3 Koncepce na bázi her a jiných

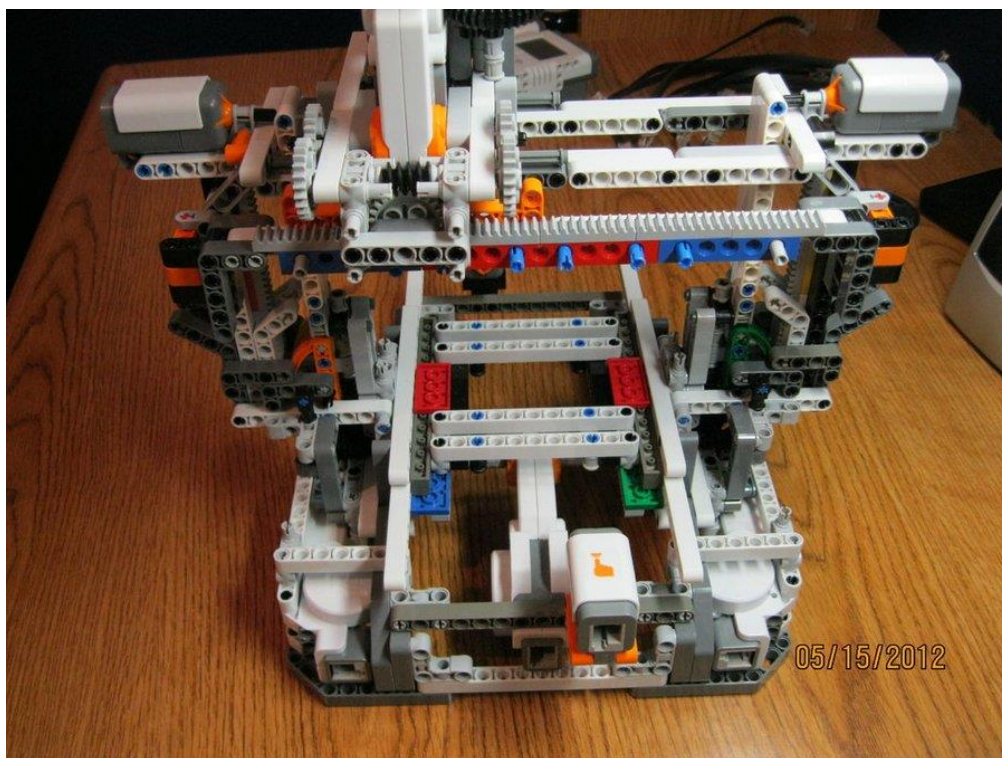
Tato část rešerše se zabývá možnostmi rozšířených modulárních systémů, na které můžeme bez větších obtíží narazit kolem nás.

3.3.1 Dětská stavebnice

Pokud si vezmeme jedinou kostičku, například z Lega o jejím neomezeném počtu, jsme schopni pouze díky ní stvořit téměř jakoukoliv strukturu v závislosti na velikosti díla a použitém typu kostičky. Čím větší dílo nebo menší typ kostičky, tím spíše se ztratí nedetailnost na celkovém výsledku.

Lego má další výhodu, nejedná se pouze o výhodu Lega, ale stavebnic obecně, že není problém výsledné dílo rozebrat a přestavět do jiné podoby. Díky systému zámků, které mají velmi dlouhou životnost při šetrném zacházení (Obr. 3).

Stavebnice jsou tedy zcela jistě modulární s univerzální geometrií, která je zcela podřízena tomu, že se stále jedná o hračku. Jejich širšího využití v technice je dále omezeno hlavně materiálem, ze kterého jsou vyrobeny, tedy plastem a typem zámků mezi kostkami.



Obr. 3) Stroj ze stavebnice [4]

3.3.2 Puzzle

Puzzle, kde je jeden dílek skládačky v rámci celku díky svému potisku unikátní. Pokud se nejedná o skládačku, kde by byl každý dílek tvarově jedinečný, lze říci, že existuje možnost, že jeden dílek bude pasovat do více pozic v rámci celku.

Pokud bychom využili tvaru jednotlivých dílů jako stavebního celku, bylo by vhodné je naopak co nejvíce zpodobnit, abychom nemuseli řešit jejich přesnou polohu jako například u zámkové dlažby.

Po určitých geometrických úpravách tvaru by šlo použít kombinaci puzzle nebo dlažby jakožto tvar nosného prvku.

3.3.3 Stavební cihla

Jedinečnou modulárnost má stavební cihla. Nepočítáme-li překlady se zvýšenou pevností, příklad její variabilnosti je přítomen všude kolem nás. Pokud bychom chtěli, tak každý dům či stavba, která je z ní postavena, by mohla být jedinečná. S cihlou se pracuje poměrně dobře a je využívána již opravdu hodně dlouhou dobu. Dalším příkladem jsou betonové prefabrikáty, které se dnes ve stavebnictví hojně využívají.

Nevýhodou cihly je nutnost je mezi sebou spojovat maltou či pěnou.

Pokud bychom vyrobili cihlu z kovu, tak aby měla vhodné vlastnosti, je potřeba vyřešit problém s jejich vzájemným spojením pro její další využití. Dalším problémem by byla vysoká hmotnost.

3.3.4 Hliníkové profily

Systém hliníkových profilů ALUTEC KK, Bosch, Item a další funguje na principu tvarových profilů, které jsou mezi sebou různými způsoby propojeny. Z těchto profilů se skládají rámy linek, hrazení, regály atd. Mají tedy širokou škálu využití a jsou hojně využívány v širokém technickém odvětví. Výhodou je, že jeden spoj lze realizovat obvykle minimálně čtyřmi způsoby bez ohledu na to, že spojované profily nejsou identické, ale jsou stejné značky. Množství druhů profilů se pohybuje v několika desítkách. Lze tedy dosáhnout vysoké variability, která zajistí možnost zvolit optimální řešení problému. Z těchto hliníkových profilů jsou domácími kutyly vytvořeny 3D tiskány či domácí CNC frézky s většími či menšími úspěchy (Obr. 4).

Nevýhodou těchto systémů je šíření vibrací, respektive nedostatečné tlumení. Dále nedostatečná tuhost od určité délky a obtížné zajištění spojení mezi profily zajišťující dostatečnou přesnost.



Obr. 4) Hliníkový systém [5]

4 KONCEPCE STAVEBNICOVÉ STRUKTURY

Tato kapitola se zabývá možnými způsoby provedení stavebnicové struktury a jedná se zejména o jejich prezentaci. Proporce všech návrhů tedy nemusí nutně odpovídat opravdové funkčnosti a popisu funkce. Všechna řešení jsou popsána, ale nelze je považovat za hotová. Z důvodu maximální efektivity návrhu bude zvoleno pouze jedno řešení.

Během tvoření těchto návrhů byl kladen důraz pouze na stavebnicovou podstatu. Možnosti výroby, technologická omezení, zákonitosti pro správné navrhování součástí (odlehčení, rádiusy, síla stěn atd.) a aplikovatelnost na danou problematiku byly druhořadé. Dále nebyly řešeny zakončení a základy, použité materiály, ekonomičnost a další tvarové prvky, které by lépe kopírovaly a rozšiřovaly požadovanou geometrii rámu. Mezi největšími problémy bylo a stále je stanovit rozměry jednotlivých elementů. Tento problém je rozveden v další části práce.

4.1 Kritéria hodnocení

Zde si rozvedeme několik kritérií, na jejichž základě se zvolí koncepce, která se bude dále rozvíjet. Vyhodnocení je následně v kapitole 4.3 Volba koncepce. Bodové hodnocení je stanoveno tak, aby 1 byla nejlepší a 0 nejhorší možnost.

1. Modifikace prvků – Jak moc je možné koncepci modifikovat, aby nebyla ohrožena její funkce. Myšleno úprava rozměrů.

Hodnocení: 1 – hodně, 0,5 – částečně, 0 – minimálně nebo vůbec.

2. Možnosti stavby – Všechny koncepce mohou být použity pro stavbu v rovině, ale jen některé pro stavbu v prostoru.

Hodnocení: 1 – stavba v prostoru, 0 – stavba v rovině.

3. Základ – Zdali je pro správnou funkčnost výsledné struktury potřeba mít základ.

Hodnocení: 1 – není potřeba, 0 – je potřeba.

4. Periférie – Jak lze na koncepci navázat periférie.

Hodnocení: 1 – libovolně, 0,5 – na vybraná místa, 0 – minimálně nebo vůbec.

5. Montáž – Jak moc je náročná montáž. Na základě popsaného principu funkčnosti.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – nenáročná, 0 – velmi náročná.

6. Předepnutí – Je možné bloky mezi sebou předepnout.

Hodnocení: 1 – ano, 0 – ne.

7. Volnost stavby – Jak lze mezi sebou bloky jednotlivých koncepcí napojovat.

Hodnocení: 1 – v libovolném místě, 0,5 – částečně, 0 – nelze.

8. Napojení velikostí – V případě několika řad velikostí lze jednotlivé bloky mezi sebou napojit se zachováním stávajících vlastností jako u jedné velikostní řady.

Hodnocení: 1 – ano, 0,5 – částečně, 0 – minimálně nebo vůbec.

9. Alternativa – Využít koncepce pro stavbu libovolných struktur.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – libovolná struktura, 0 – nelze.

4.2 Koncepty řešení

4.2.1 Koncept I

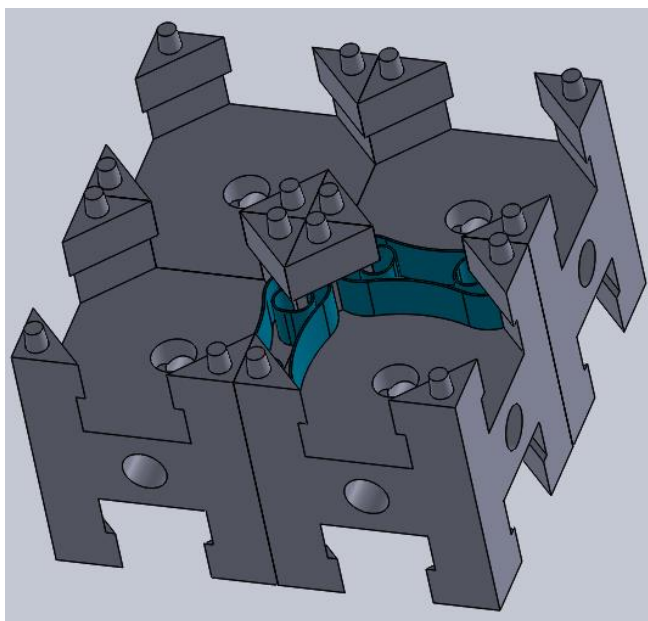
Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá z jednoho monolitu a jedné tvarové pružiny. Bez úprav jí lze použít pro stavbu v rovině. Nevýhody tohoto návrhu jsou: málo pevné spojky, náročná výroba a nutnost základu (Obr. 5).

Prvek č. 1 má tvar čtyř písmen „H“, které jsou mezi sebou spojeny a pootočený o devadesát stupňů. (Prvek je vytvořený z kvádrů, jehož jedna stěna je čtvercová o tloušťce menší než délka strany čtverce a osmi pravoúhlých trojúhelníkových sloupků. Ve středu kvádrů je průchozí díra. Ve středech bočních stran jsou také průchozí díry o stejném průměru jako středová díra. Sloupky jsou umístěny na čtvercových plochách kvádrů tak, aby pravoúhlé vrcholy trojúhelníku byly umístěny do vrcholů čtverců. V polovině sloupku se nachází mírné zúžení. Toto zúžení se nachází blíže kvádrů. Ve čtyřech trojúhelníkových plochách sloupků orientovaných na stejné podstavě kvádrů jsou kuželové díry a v protilehlých sloupcích jsou kuželové čepy.)

Prvek č. 2 je svorka či tvarová pružina. Má obrys písmena „H“ nebo utahovacího klíče pro šestiboké matice.

Princip: Pro zajištění správné funkčnosti je potřeba mít základ, ze kterého se bude vycházet. Po navrstvení prvků č. 1 se mezi dva prvky č. 1 umístí prvek č. 2. Prvek č. 2 se stiskne a dojde k jeho roztažení. Poté se vsune mezi sloupky a dojde k uvolnění pružiny. Tím vznikne spojení dvou prvků a vytvoří tak první úroveň. Na prvky č. 1 poté začneme umisťovat druhou úroveň.

Možné zlepšení: Prvek č. 2 by se mohlo přetvarovat tak, aby spojila čtyři prvky č. 1. Změnou designu prvku č. 1, posunutí polohy děr a čepů, by mělo být dosaženo možnosti překrývání se jednotlivých prvků, nikoliv pouze sloupového stavění.



Obr. 5) Koncept I [6]

4.2.2 Koncept II

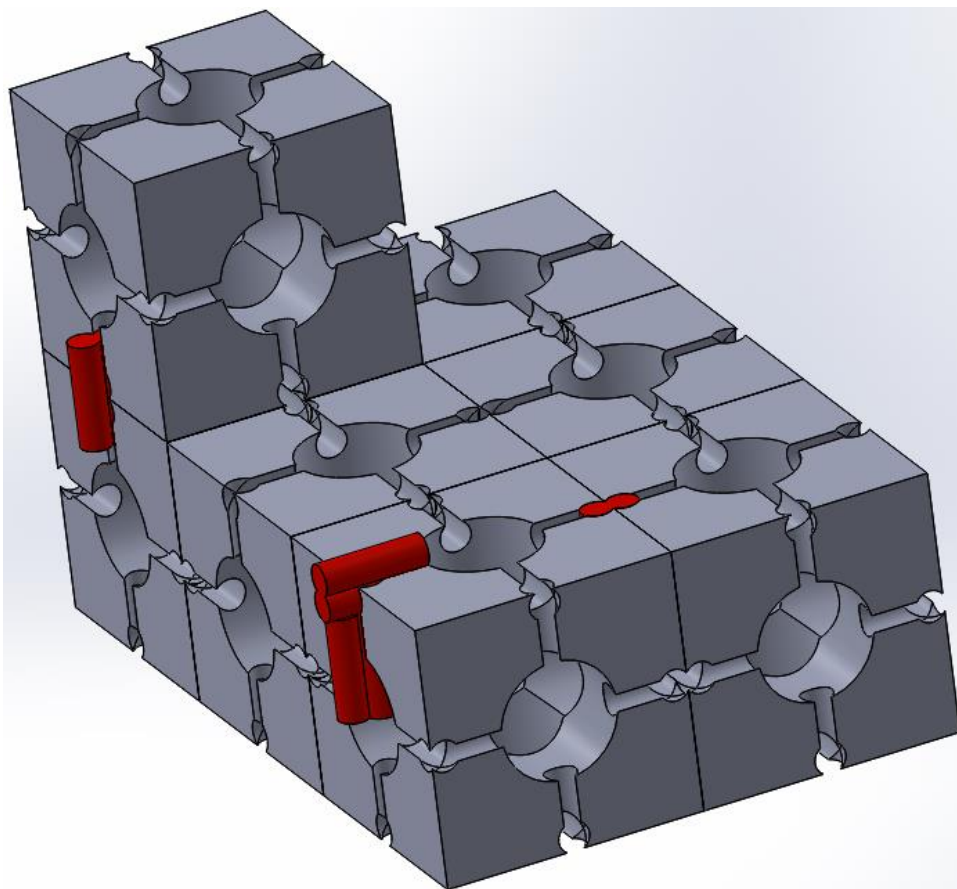
Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze dvou monolitických prvků. Lze ji použít pro stavbu v prostoru. Nevýhodou tohoto návrhu je možná nedostatečná nosnost a tuhost spoje (Obr. 6). Tato koncepce byla následně zvolena jako ideální.

Prvek č. 1 je základním tvarem krychle. Uprostřed všech čtverců jsou průchozí díry o průměru menším, než je polovina hrany krychle. V prostředku hrany krychle jsou excentricky umístěné otvory kruhového průřezu o velikosti menší než středová díra, jejichž středy se nachází v ploše čtverce, které procházejí až k velké středové díře. Tento excentrický otvor se nachází na všech hranách krychle.

Prvek č. 2 je tyč, jejíž průřez je tvořen dvěma částečně se překrývajícími se kruhy.

Princip: přiložíme k sobě dva prvky č. 1. Prvky č. 2 nasadíme na excentrické díry do jednoho z prvků č. 2, kterými je možné spojit oba prvky č. 1 k sobě. Následně na ně zatlačíme tak, aby došlo k zalisování obou prvků č. 1 pomocí prvků č. 2. Otvor v prvku č. 1 má průměr větší, než je délka prvku č. 2. Lze jím tedy prvek č. 2 napříč protáhnout.

Možné zlepšení: Mohlo by dojít ke zlepšení, pokud by spojovací prvek č. 2 měl jiný průřez, například rybinový nebo zachovat kruhový, ale s jiným umístěním. Volba tvaru ovšem závisí na použitém materiálu. Dále modifikovat tvar pro lepší možnosti upevnění svorníků a prozkoumat možnost jiných možností svorníků.



Obr. 6) Koncept II [6]

4.2.3 Koncept III

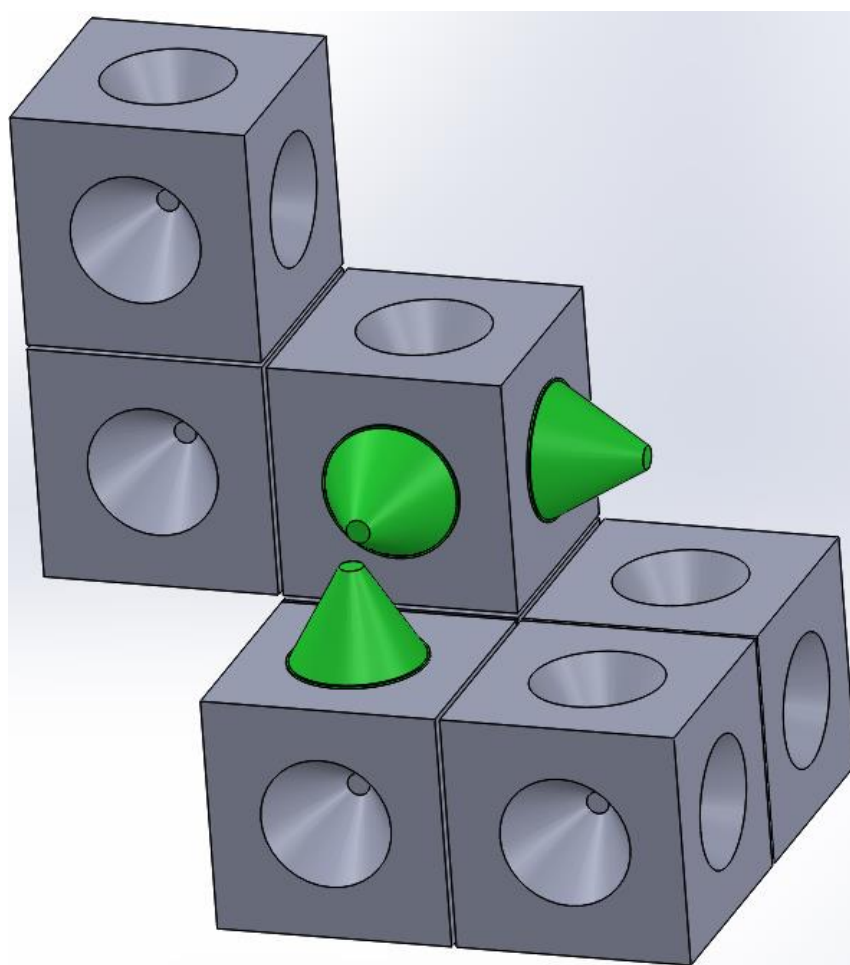
Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze dvou rozdílných monolitů. Lze jí použít pro stavbu v prostoru. Nevýhody tohoto návrhu jsou náročná montáž a lepení těchto spojů. Celý postup montáže je potřeba otestovat (Obr. 7).

Prvek č. 1 má tvar krychle, která má ze všech stran ve středu čtverců komolou kuželovou díru, jehož vrchol směřuje do středu krychle. Výška kužele je menší než polovina hrany krychle.

Prvek č. 2 je vytvořený ze dvou komolých kuželů spojených základnami. V místě jejich spojení je osazení.

Princip: Do kuželové díry prvku č. 1 nalisujeme po osazení prvek č. 2. Na něj nalisujeme další prvek č. 1. Takto postupujeme, dokud nevytvoříme první úroveň. Musíme si dát pozor, abychom všechny prvky v úrovni propojili. Dalším bodem je lepení, které je potřeba otestovat. Je otázkou, zdali lepit jednotlivé prvky ihned k sobě, případně celé úrovně, nebo až více úrovní k sobě.

Možné zlepšení: Místo prvku č. 2 můžeme použít jiný geometrický tvar a dosáhnout možnosti nestavět je po jednotlivých vrstvách, ale v prostoru a navázat v jakémkoliv místě. Možnost zaklínování by měla být zachována.



Obr. 7) Koncept III [6]

4.2.4 Koncept IV

Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze třech monolitů. Lze ji použít pro stavbu v rovině. Nevýhody tohoto návrhu jsou nutný základ, obtížná výroba a montáž a testování pro ověření předpokladů funkčnosti (Obr. 8).

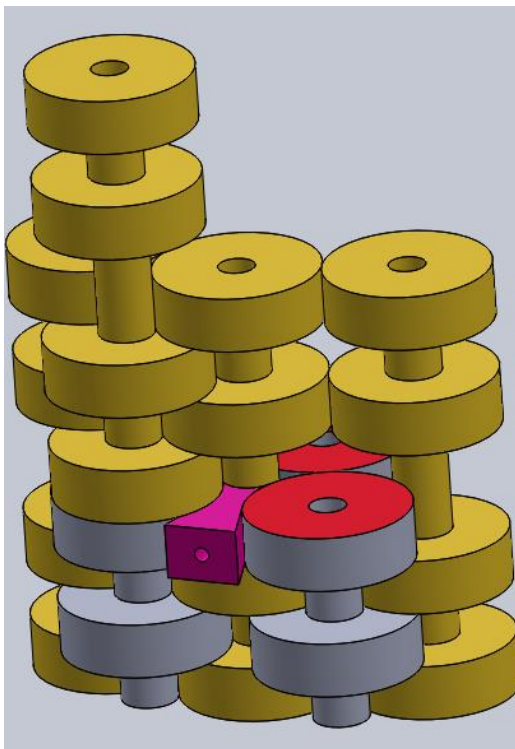
Prvek č. 1 má podobný tvar jako činka. Velký průměr X, komolý kužel, menší průměr Y, komolý kužel, průměr X, komolý kužel a naposled znovu průměr Y. Všechny průměry X a Y mají stejnou tloušťku. Komolé kužely mají velmi malou výšku z důvodu využití pro zaklínování větších průměrů do sebe. Skrz střed celého prvku vede díra.

Prvek č. 2 je tvořen z prvku č. 1. Na konci menšího průměru se opakuje stejné pořadí průměrů jako na druhé straně. Dojde k zrcadlení. Tedy Y, X, Y a X. Prvek má celkovou délku rovnou dvěma prvkům č. 1. Skrz střed celého prvku také vede díra.

Prvek č. 3 vychází z tvaru kvádrů, jehož rozměry jsou takové, aby šel vsunout mezi průměry X a X prvku č. 1 a jeho délka odpovídala průměru X. V jednom z čela kvádrů je kruhové vybrání, které má průměr Y. Boky mají kruhové vybrání o průměru X. V nedotknutém čele je závitová díra.

Princip: Pro zajištění správné funkčnosti je potřeba mít základ, ze kterého se bude vycházet. Na základ se umístí prvky č. 2, které se budou dotýkat svými většími průměry. Mezi menší průměry se vloží prvek č. 1 a dojde k jeho zaklínování. Tímto způsobem by měla probíhat stavba. V případě potřeby připevnění periferií se mezi dva velké průměry prvku č. 1 vloží prvek č. 3, který se kruhovým vybráním o průměru Y dorazí na prvek č. 2.

Možné zlepšení: Design této koncepce je nutné otestovat a přesně stanovit velikosti průměrů a rozměrů klínů. Možné zlepšení by bylo v jiném způsobu zaklínění prvků č. 1 a č. 2.



Obr. 8) Koncepce IV [6]

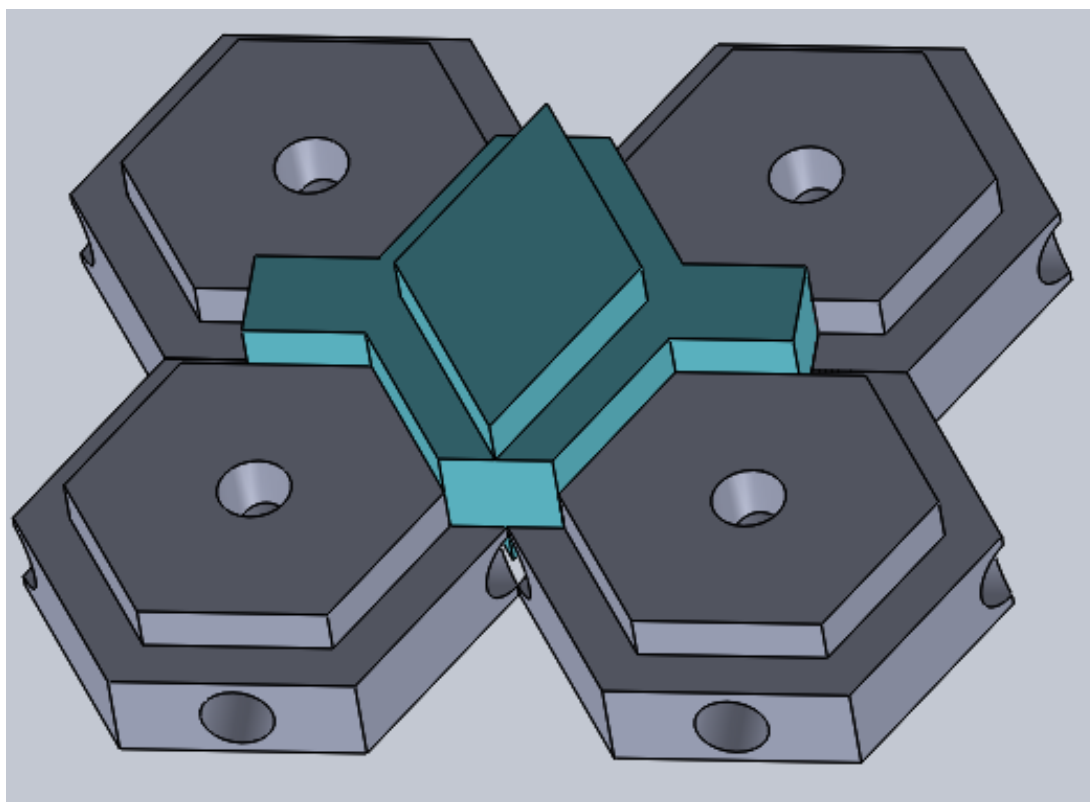
4.2.5 Koncept V

Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze dvou monolitů. Lze jí použít pro stavbu v prostoru. Nevýhody tohoto návrhu jsou nutný základ a obtížná stavba do prostoru bez podpory pod sebou (Obr. 9).

Prvek č. 1 je pravidelný šestiúhelník, který má na přední a zadní straně základěn menší odsazené šestiúhelníky o poloviční tloušťce základního šestiúhelníku. Skrz střed celého prvku vede díra. Další díra skrz celý prvek vede v prostředku plochy boku základního šestiúhelníku. Další průchozí díra je kolmá na přechází díru a je ve stejné rovině. Vede tedy skrze hranu.

Prvek č. 2 vychází z nepravidelného šestiúhelníků, který má poloviční tloušťku jako prvek č. 1. Ze bodu spojující nejdelší dvojice stran šestiúhelníku symetricky vychází v rovině plochy kvádru, aby jeho základna byla kolmá na rovinu kolmou na nejmenší plochu z šestiúhelníkového tělesa o stejné tloušťce jako nepravidelný šestiúhelník a délce rovné polovině hrany menšího pravidelného šestiúhelníku prvku č. 1. Kvádr je celistvě spojen s původním šestiúhelníkem. Z obou stran vystupují z ploch šestiúhelníků pravidelný kosočtverce o poloviční tloušťce původního nepravidelného šestiúhelníku prvku č. 2 tak, aby se do šestiúhelníku vešel co největší. Jeho hrany jsou rovnoběžné s hranami původního nepravidelného šestiúhelníku a mezera mezi těmito hranami je u všech hran stejná.

Princip: Pro zajištění správné funkčnosti je potřeba mít základ, ze kterého se bude vycházet. Po rozmístění prvků č. 1 na základ tak, aby se dva vedle sebe dotýkaly stěnou a dvojice vedle se dotýkali v hraně. Vznikne mezi nimi kosočtverečný nevyplněný prostor. Poté jsou mezi ně vsazeny prvky č. 2. Tím vznikne první vrstva. Celý postup se poté opakuje.



Obr. 9) Koncepce V [6]

4.2.6 Koncept VI

Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze třech podobných monolitů. Lze ji použít pro stavbu v prostoru, ovšem musí na to být předem připravena. Nevýhody tohoto návrhu jsou obtížná montáž a možné opotřebení spojů (Obr. 10).

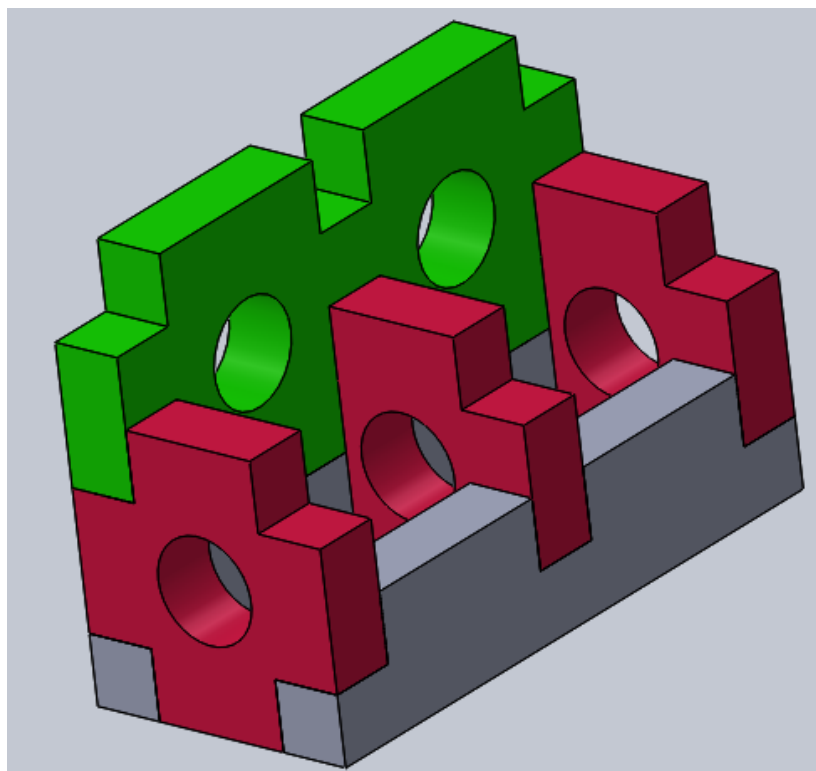
Prvek č. 1 má základní tvar kvádrů. Na jedné z nejdelších hran jsou tři výřezy skrz celou tloušťku kvádrů. Dva na krajích a jeden v prostředku. Výřezy mají tvar čtverce o délce hrany tloušťky základního kvádrů.

Prvek č. 2 plně vychází z prvku č. 1. Celá součást je zrcadlena na ploše protilehlé výřezům. Dále se v něm nachází symetricky umístěné dvě průchozí díry. Jedna díra se nachází v poloze mezi krajním a středovým výřezem a v polovině druhého nejdelšího rozměru myšleného základního kvádrů.

Prvek č. 3 má tvar kříže. (Kvádr, jehož stěna je čtvercová a tloušťka je stejná jako tloušťka prvku č. 1 a 2. Na čtvercové stěně jsou čtyři čtvercové výseky vycházející z vrcholů čtverce o délce hrany tloušťky základního kvádrů. Ve středu kříže je průchozí díra.)

Princip: Na dva prvky č. 1, které jsou vedle sebe, nasadíme prvek č.3. Postupujeme, dokud nejsou všechny výřezy v prvcích č. 1 obsazeny. Tím vznikne pevný základ. Potom na prvky č.3 nasadíme dva prvky č. 2. a opakujeme postup.

Možné zlepšení: Není problém vytvořit další obdobně tvarované díly, které budou lépe vyhovovat požadavkům a zlepší možnosti stavby. V případě vhodně zvoleného materiálu by se mohl změnit typ zámku z pravoúhlého na rybinový, který by byl lisován.



Obr. 10) Koncepce VI [6]

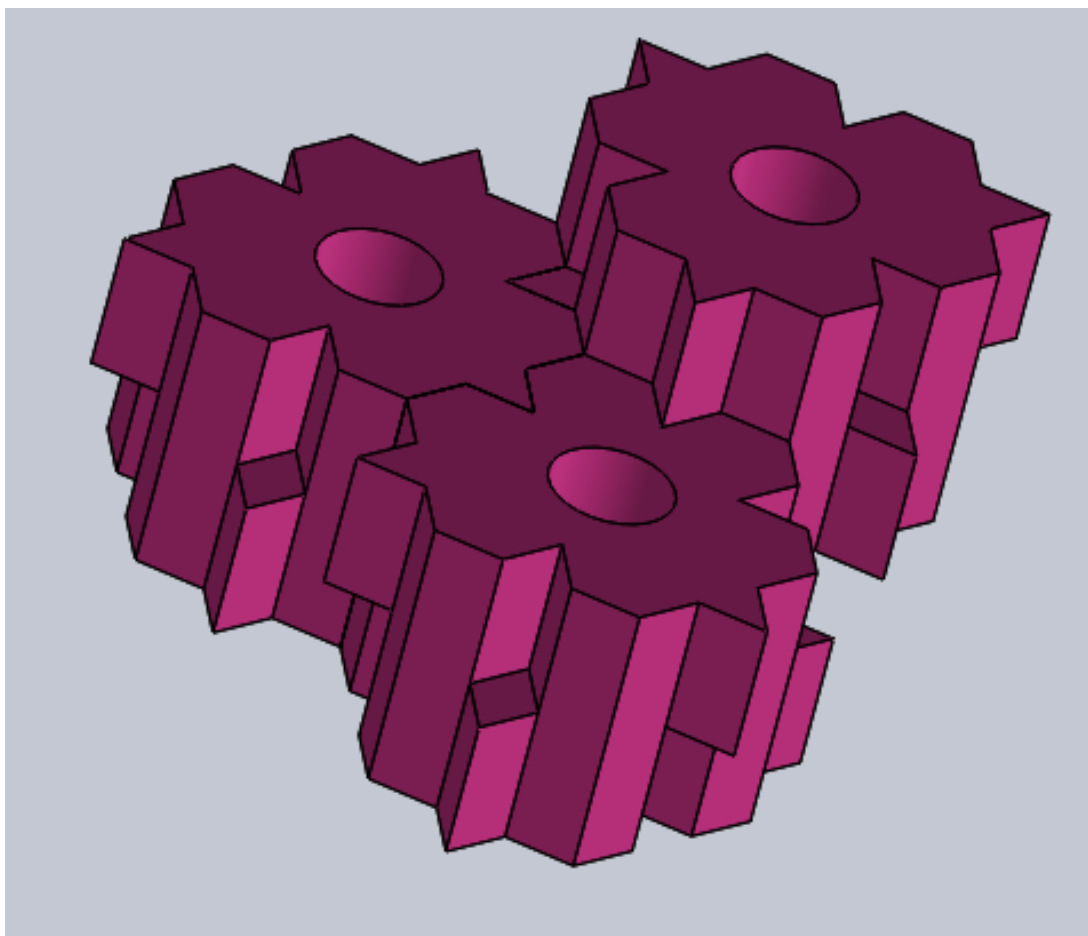
4.2.7 Koncept VII - POLLI Brick

Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá z jednoho monolitu. Lze jí použít pro stavbu v rovině. Nevýhody tohoto návrhu jsou nutný základ a obtížná výroba (Obr. 11).

Prvek č. 1: tento prvek vychází z existujícího a používaného systému. Autory původní myšlenky se nepodařilo kontaktovat. [7] Tvar vychází z pravidelného šestiúhelníku. Ze třech vedle sebe nesousedících stranách šestiúhelníku vystupují rovnostranné trojúhelníkové výstupky, jejichž délka strany je menší než strana šestiúhelníku. Na zbylých třech nedotčených stranách jsou trojúhelníkové drážky skrz celý šestiúhelník o stejné velikosti jako výstupky. Tím vznikne jedna polovina tvaru. Postavíme-li základnami na sebe dva tyto útvary a jeden z nich pootočíme o šedesát stupňů vzhledem k původní ose roviny šestiúhelníku, vznikne prvek č. 1, dále je touto osou vedena průchozí díra.

Princip: Pro zajištění správné funkčnosti je potřeba mít základ, ze kterého se bude vycházet. Na připravený základ se vloží prvky č. 1. Následně se na ně začne pokládat další vrstva tak, aby do sebe tvarově zapadly. Díky tvarovému zámku dojde ke spojení všech dotýkajících se prvků ve spodní úrovni.

Možné zlepšení: Byla vytvořena alternativa k původní geometrii. Jeden z tvarových šestiúhelníků byl zmenšen a následně byl celý díl zrcadlen na základně zmenšeného šestiúhelníku. Výsledný díl má tedy dvojnásobnou tloušťku.



Obr. 11) Koncept VII [6]

4.2.8 Koncept VIII

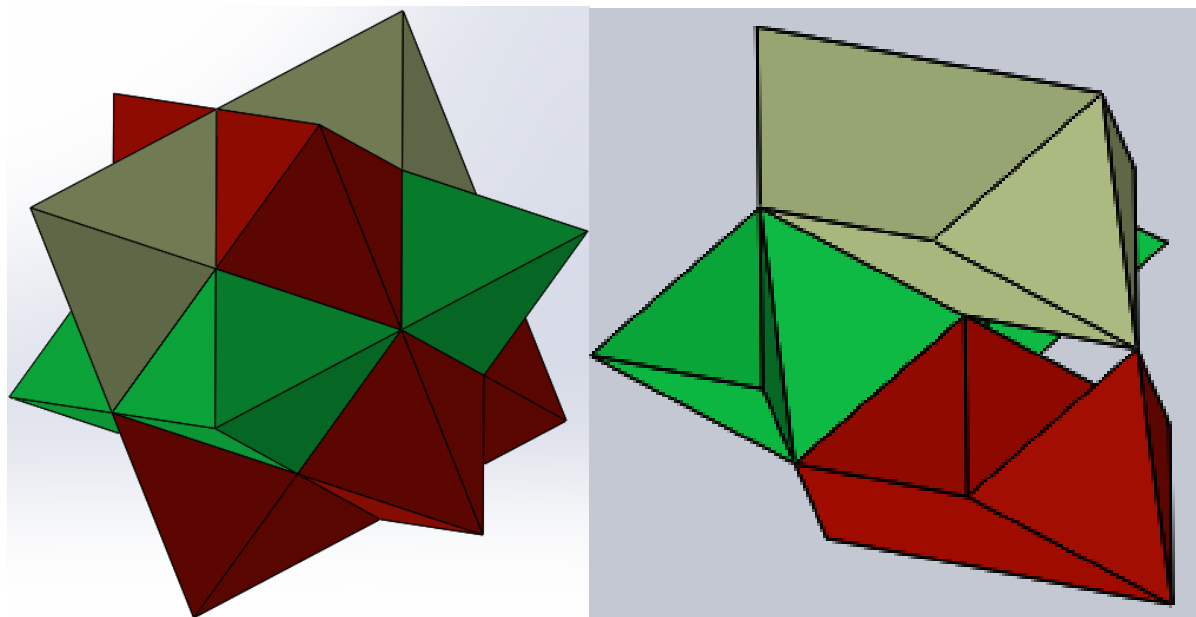
Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze tří druhů podobných monolitu a pro funkční sestavení je potřeba dohromady šest prvků. Lze ji použít pro stavbu v rovině. Nevýhody tohoto návrhu jsou velmi obtížná montáž, nutný základ a obtížné upevnění dalších periferií (Obr. 12).

Prvek č. 1 je tvořen ze dvou stejných útvarů. Útvar je podobný valbové střeše. Tyto dva útvary jsou spojeny největší plochou. (Základní tělesem je kvádr, ten má své čtyři nejdelší hrany sražené pod úhlem čtyřiceti pěti stupňů a o takové délce, aby se sražení navzájem dotýkali. Řez kolmý na nejdelší hrany má tvar čtverce. Obě čela mají následně čtyři symetrická zkosení. Toto zkosení má tvar rovnostranného trojúhelníku. Jedna strana kopíruje úhlopříčku čtverce a následně je naklopen směrem do celého útvaru.)

Prvek č. 2 plně vychází z prvku č. 1. Tento prvek má v sobě navíc dva výřezy tvaru pravoúhlého trojúhelníku. V pohledu na největší průmět plochy se přepony těchto trojúhelníků nachází na nejdelší hraně. Výška těchto trojúhelníků je rovna polovině kratší hrany obdélníku promítané plochy.

Prvek č. 3 plně vychází z prvku č. 2. Tento prvek má v sobě navíc výřezy tvaru pravoúhlého trojúhelníku stejný jako v prvku č. 2. Podíváme se na díl tak, abychom viděli pravidelný jehlan, který vznikl u prvku č. 2. Trojúhelníkový výřez kopíruje plochu trojúhelníku tvořící stěnu jehlanu, která směřuje ven a je promítnuta na rovinu, ze které se díváme.

Princip: Pro zajištění správné funkčnosti je potřeba mít základ, ze kterého se bude vycházet. V závislosti na rozměrech v případě výroby by byl nejspíše potřeba přípravek pro montáž. Pro první krok stavby potřebujeme tři prvky č. 2. Ty k sobě poskládáme tak, aby se vrcholy jehlanů dotýkaly a byly všechny v jednom bodě. Následně do vzniklých žlábků vložíme dva prvky č. 3. Poté do posledního místa vložíme prvek č. 1. Všechny díly nyní drží pospolu díky tvarovým zámčkům.



Obr. 12) Koncepte VIII – plně sestavený a částečně rozložený [6]

4.2.9 Koncept IX

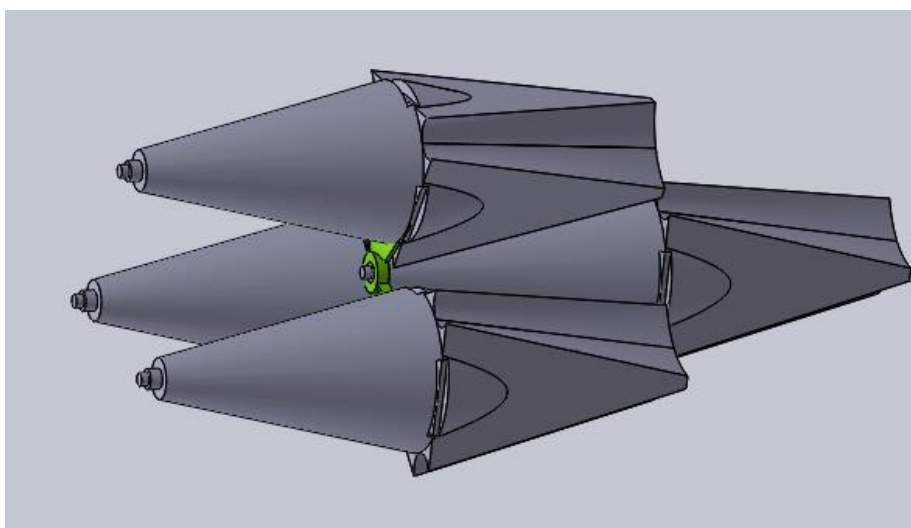
Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze dvou monolitických prvků. Lze jí použít pro stavbu v rovině. Nevýhody tohoto návrhu jsou nevhodné tvarování pro možné uchycení dalších periférií, náročná montáž a výroba a testování pro ověření předpokladů funkčnosti (Obr. 13).

Prvek č. 1 vychází z tvaru tří lopatkové vrtule větráku. Základní tvar je kružnice, která je ze středu symetricky rozdělená na šest dílů. Každý druhý segment je odstraněn. Zbylé tři výseče jsou spojeny ve středu kruhovým segmentem, jehož poloměr je mnohem menší než poloměr výsečí, s otvorem vprostřed. Tloušťka kruhového segmentu je stejná, ale tloušťka výsečí není. Profil výsečí má tvar klínu.

Prvek č. 2 má tvar dvou komolých kuželů spojený většími základnami. V jedné z menších základen je díra a na protilehlé je čep se dvěma osazeními. Ve spojení v rovině základen jsou symetricky rozmístěné tři vybrání ve tvaru kruhové úseče. Hloubka tohoto vybrání je stejná jako délka „lopatky“ prvku č. 1. Profil vybrání je klínový. Z kužele, který má v základně díru od horní základny po místo spojení, vystupují po hraně kužele symetricky tři výstupky. V těchto výstupcích je kuželová díra, jejíž osa vede po hraně výstupku. Rozměry této díry odpovídají rozměrům kuželů.

Princip: Pro zajištění správné funkčnosti je potřeba mít základ, ze kterého se bude vycházet. Pomocí čepů budou prvky č. 1 rozmístěny do přesných pozic. Mezi trojici prvků č. 2 je vložen prvek č. 1 do výšky vybrání v prvku č. 2. Poté se prvek č. 1 pootočí a dojde k zaklínění a spojení třech prvků č. 2 prostřednictvím prvku č. 1. Takto vznikne první úroveň. Druhá úroveň se začne stavět tak, že do otvorů prvků č. 1 se vloží čepy prvků č. 2. Prvek č. 2 je opřený o prvek č. 1 a zároveň o žlábků dalších třech prvků č. 2. Poté se znovu opakuje proces se vkládáním a natáčením prvku č. 1. Kromě zaklínování mezi prvkem č. 1 a prvky č. 2 dojde také ke vzniku dalšího třetího spoje mezi ostatními kužely, tedy jedním prvkem č. 2 a dalšími třemi prvky č. 2.

Možného zlepšení by se mohlo dosáhnout, pokud by první kužely byly k základu přišroubovány. Dále je potřeba vytvořit spojovací mezikus mezi základnou a prvky č. 2.



Obr. 13) Koncepce IX [6]

4.2.10 Koncept X

Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze tří rozdílných prvků, z nichž dva jsou monolitické a třetí je složený. Lze jí použít pro stavbu v prostoru. Nevýhody tohoto návrhu jsou náročná výroba prvků, zvláště prvek, který není monolitický, nevhodné tvarování pro možné uchycení dalších periférií a obtížné zajištění polohy jednotlivých elementů (Obr. 14).

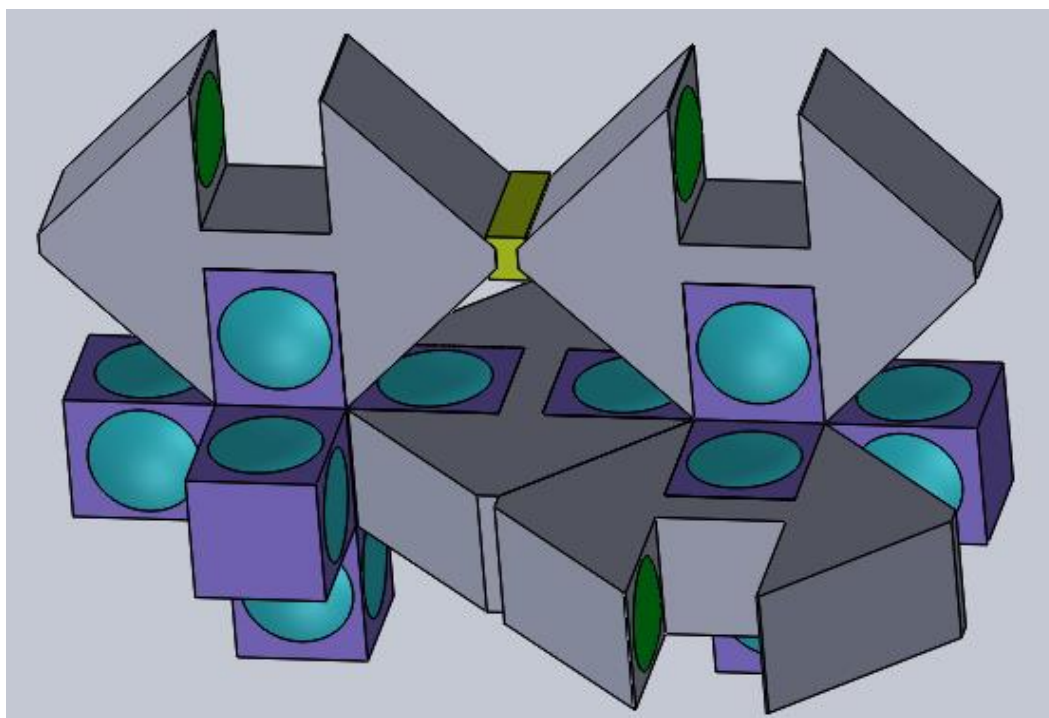
Prvek č. 1 má tvar prostorového kříže, je podobný „rozsocháči“ nebo „českému ježku“ s pravými úhly. Na konci ramene je vždy ze všech bočních stran sférický důlek o hloubce menší, než je poloměr sféry.

Prvek č. 2 má tvar obousměrné plné šipky. Vychází z tvaru čtverce, který má ovšem proti sobě na jedné z úhlopříček obdélníkové průřezy, které nedosahuje na střed. Hrany na protější úhlopříčce jsou mírně sražené. Na vnitřních stěnách v průřezu jsou naproti sobě sférické výstupky. Tyto výstupky by musely být vytvořeny z jiného materiálu než zbytek součásti, který je dostatečně pružný, nebo by musely být uloženy pomocí pružného elementu.

Prvek č. 3 je tyč a má tvar kolejnice či písmena „I“.

Princip: Na prvek č. 1 nasuneme prvek č. 2. Výstupky se zdeformují či stlačí a následně zapadnou do důlků. Když v rovině uložíme vedle sebe dva prvky č. 2 kolem prvku č. 1, tak už je zajištěna jejich vzájemná poloha. Při napojování dalších prvků nám vznikne mezera mezi dvěma prvky č. 2. Do této mezery vsuneme prvek č. 3. Tím zajistíme vzájemnou polohu.

Možné zlepšení: Úpravou geometrie prvku č. 2 by bylo možné zcela eliminovat nutnost prvku č. 3. Neúměrně by se ovšem zvýšila složitost tohoto dílu. Uchycení dalších periférií, například pomocí závitové díry, by bylo možné po zvětšení dílů. Tím by byla zajištěna dostatečná pevnost dílů. Je ovšem potřeba zvážit, zdali je takové zvětšení efektivní vzhledem k celku a neneguje výhody stavebnicové struktury.



Obr. 14) Koncept X [6]

4.2.11 Koncept XI

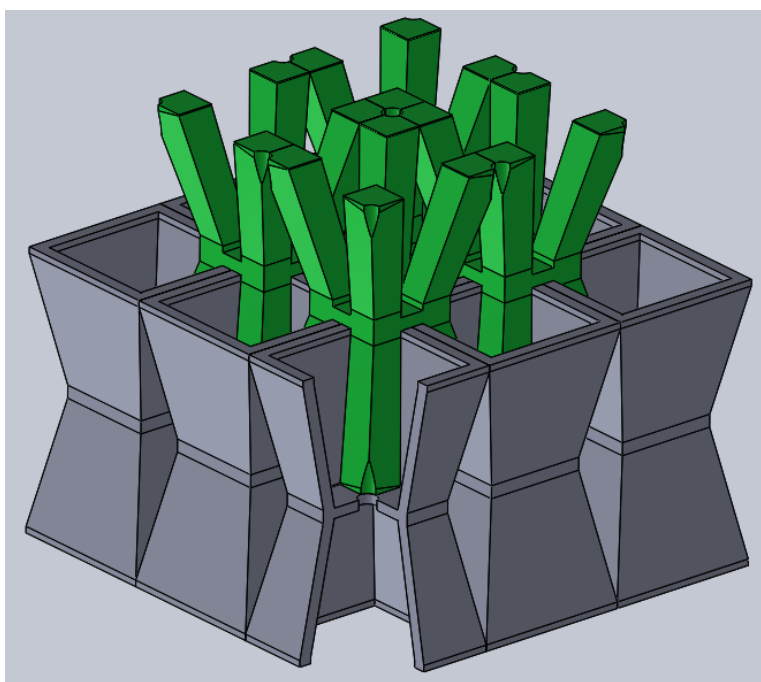
Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá ze dvou rozdílných prvků, které jsou monolitické. Bez dalších úprav jí lze použít pouze pro stavění v rovině. Nevýhody tohoto návrhu jsou náročná výroba obou prvků a nevhodné tvarování pro možné uchycení dalších periférií (Obr. 15).

Prvek č. 1. má tvar dvou komolých jehlanů spojených v místě jejich nejmenší plochy základny. Tyto jehlany jsou duté (skořepiny) a o stejné tloušťce. V místě spojení jehlanů je dno. Ve středu dna je průchozí díra.

Prvek č. 2. vychází z tvaru dvou stoliček („štokrle“) na sobě položených sedátky. Tento prvek vychází z kvádrů, jehož základna je čtvercová o tloušťce menší, než je délka strany čtverce. Z rohu základny vždy vystupuje čtvercový sloup pod úhlem směrem od středu základny. Tyto sloupky jsou vyvedeny z každého rohu základny. Rohy všech sloupů jsou z jedné strany sražené tak, aby jimi mohl projít svorník.

Princip: Přesto, že tato koncepce nevyžaduje základnu, je vhodné ji do návrhu umístit. Prvky č. 1. jsou rozmístěny vedle sebe. Doprostřed čtveřice je vložen prvek č. 2, který musí plně dosednout na prvky č. 1. Vzhledem k tvaru stěn na koncích prvku č. 2 je potřeba vyvinout sílu, aby mohl být nalisován. Čtveřice prvků č. 1 a jeden prvek č. 2 tímto tvoří celek. V dalších částech stavby musíme počítat s tím, že se dotýkají i prvky č. 2. Síla potřebná pro montáž se tedy zvyšuje. Poté začneme na prvky č. 2 nalisovávat prvky č. 1 a začneme tvořit další úroveň.

Možné zlepšení: Problém s výrobou by mohl být pravděpodobně zjednodušen převedením hlavních tvarů na rotační. Nevýhodou by byla malá kontaktní plocha mezi sousedními stejnými díly. Uchycení by mělo být řešitelné pomocí adekvátní tloušťky stěn vzhledem k požadovaným perifériím a tvarových podložek. Případné vrtání závitů do šikmých stěn by byl ovšem stále problém.



Obr. 15) Koncept XI [6]

4.2.12 Koncept XII

Popis: Tato stavebnicová konstrukce se skládá z jednoho monolitického prvku, kterým je krychle. Lze ji použít pro stavbu v prostoru. Nevýhodou tohoto návrhu je obtížné dodržení přesnosti výroby z těchto prvků. Vycentrování dílů k sobě a zachování stejné tloušťky lepidla vzhledem k rychlosti stavby z těchto prvků.

Prvek: krychle.

Princip: Jedná se o vzájemné lepení ploch jednotlivých krychlí k sobě.

Možné zlepšení: Toto řešení bylo přetvořeno v řešení 4.2.2 Konceptu IV.

Na myšlenku tohoto řešení vznikla celá tato práce.

4.3 Výběr konceptu

Pro ideální vyhodnocení konceptu byla nejdříve, subjektivně dle autora práce, stanovena váha jednotlivých kritérií. Tím se i stanovilo pořadí jednotlivých parametrů (Tab 1).

Tab 1) Váha parametrů volby konceptu

Č.	Název	Pořadí	Důležitost	Váha
1	Modifikace prvků	8	2	0,04
2	Možnosti stavby	1	9	0,20
3	Základ	2-3	7,5	0,17
4	Periférie	4	6	0,13
5	Montáž	7	3	0,07
6	Předepnutí	2-3	7,5	0,17
7	Volnost stavby	5	5	0,11
8	Napojení velikostí	6	4	0,09
9	Alternativa	9	1	0,02
	suma		45	1,00

Po vytvoření tabulky váhy parametrů jsou bodově ohodnoceny jednotlivá kritéria konceptu (Tab 2).

Tab 2) Hodnocení konceptu

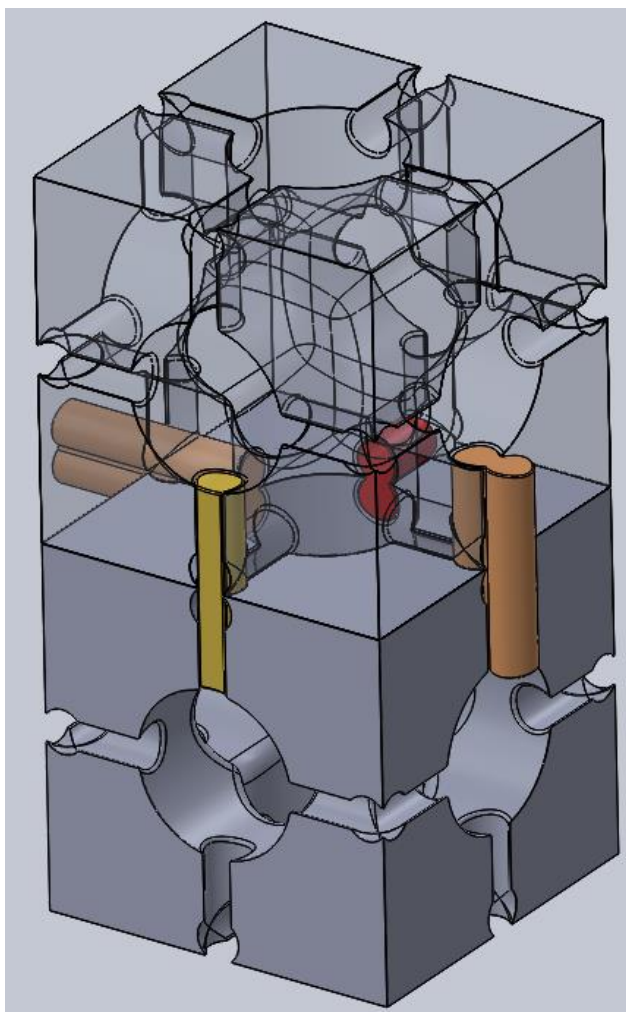
Č.	Název	Koncept											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Modifikace prvků	1,0	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	0,50	0,00	0,50	0,50	0,00	1,00
2	Možnosti stavby	0,0	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
3	Základ	0,0	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
4	Periférie	0,5	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50	1,00
5	Montáž	0,7	0,40	0,00	0,00	1,00	0,30	0,80	0,00	0,50	1,00	0,50	0,00
6	Předepnutí	1,0	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
7	Volnost stavby	0,5	1,00	0,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,50	0,00	1,00
8	Napojení velikostí	1,0	1,00	0,50	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00
9	Alternativa	0,7	1,00	0,20	0,00	0,30	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Jednotlivé body jsou následně vynásobeny svou váhou a sečteny. Výsledná suma nám dává ideální volbu koncepce. Jako ideální koncepce byla zvolena Koncepce II (Tab 3, Obr. 16). Tedy krychle s otvory pro čep.

Celý tento systém vyhodnocení byl následně použit i pro volbu materiálu.

Tab 3) Vyhodnocení parametrů koncepce.

Č.	Název	Koncepce											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Modifikace prvků	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,04
2	Možnosti stavby	0,00	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,00	0,20
3	Základ	0,00	0,17	0,17	0,00	0,00	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
4	Periférie	0,07	0,13	0,07	0,07	0,13	0,13	0,07	0,00	0,07	0,07	0,07	0,13
5	Montáž	0,05	0,03	0,00	0,00	0,07	0,02	0,05	0,00	0,03	0,07	0,03	0,00
6	Předepnutí	0,17	0,17	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
7	Volnost stavby	0,06	0,11	0,00	0,06	0,11	0,06	0,11	0,00	0,00	0,06	0,00	0,11
8	Napojení velikostí	0,09	0,09	0,04	0,00	0,04	0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,09
9	Alternativa	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	Suma	0,48	0,96	0,53	0,31	0,77	0,90	0,80	0,20	0,12	0,50	0,27	0,77



Obr. 16) Vybraná koncepce [6]

5 ÚPRAVA VYBRANÉ KONCEPCE

Byla zvolena Koncepce II na základě hodnocení. Toto řešení se skládá ze dvou dílů. Ze základní krychle a spojovacího čepu. Pro zajištění správné funkčnosti bude potřeba učinit řadu změn na základě testování, protože se nepředpokládá, že vzniklý návrh bude optimální. Informace v této kapitole se tedy vztahují pro první prototyp.

Pro dostatečnou variabilitu stavebních prvků, vzhledem k rozdílným velikostem stavěných útvarů, je vhodné vytvořit několik řad velikostí, které lze mezi sebou kombinovat.

Vzhledem k neurčitému časovému horizontu, ve kterém by mohl vzniknout první prototyp, se v rámci požadavků a jejich plnění zaměříme na aktuálně všeobecně dostupné možnosti, metody, technologie a materiály.

5.1 Upravený princip zvolené koncepce

Stávající koncepce funguje na principu spojování krychlí pomocí lisování čepu. Čep v tomto případě tedy figuruje jako klíčový spojovací člen. Tento způsob by měl vyhovovat u struktur, u kterých není potřeba dosahovat takové tuhosti a přesnosti jako u obráběcích strojů. Pro použití u obráběcích strojů bude klíčový nosný spojovací člen – svorník. Čepy ve struktuře budou sloužit tedy zejména pro montáž. Jako nosný prvek by tedy mohly sloužit u struktur s potřebou menší přesnosti.

Jaký vliv budou mít čepy v celé nosné struktuře obráběcího stroje aktuálně nelze bez výpočtu rozhodnout. Lze sice říci, že každý spoj je potencionálním ohniskem problému a skryté závady, ale bez provedení testování se bude jednat o domněnku, a hlavně o nedůvěru v celý nový koncept.

Původní koncepce počítala s možností, že čep bude mít takovou velikost, že podélně projde středovou dírou. Tuto možnost geometrie nelze nadále plně dodržet vzhledem k několika řadám velikostí a pro možnost použití svorníku.

5.2 Úprava geometrie

Všechny stanovené geometrické tvary a následně rozměry a tolerance krychlí a čepů v této kapitole nejsou přizpůsobeny pro žádný konkrétní materiál a způsob výroby. V případě výkresů budou požadavky dále okomentovány.

5.2.1 Úprava čepu

Od původního návrhu se geometrie liší jen minimálně. V místě průniku válců je nyní rádius a obě čela mají sražení. Rozdílná je celková délka čepu. Ten má nyní několik délek pro každou velikostní řadu krychle. Také je i jeden samostatný čep, který je po délce sražen. Tento čep se využije pro spojení prvků, které budou samostatně, tedy na pohledové straně.

V závislosti na výsledcích testování je možné čep ještě dále upravit. Čela by nebyla rovná, ale měla by kruhová vybrání o průměru čepu, kterého by se dotýkala. Dále by se mohl upravovat jeho tvar tak, aby kopírovala tvarové prvky, například sražení, zaoblení atd. (Obr. 17).

5.2.2 Úprava krychle

Úpravou původní geometrie by měl být zmenšen počet koncentrátorů napětí na kritických místech.

Průchozí excentrické díry ve středech hran krychle kopírují tvar se zaoblením čepu, který již prošel úpravou. Středové díry mají sraženou hranu.

Aktuální design by se mohl dále měnit na základě testování. Například by mohl obsahovat více či méně odlehčení, osazení a další prvky.

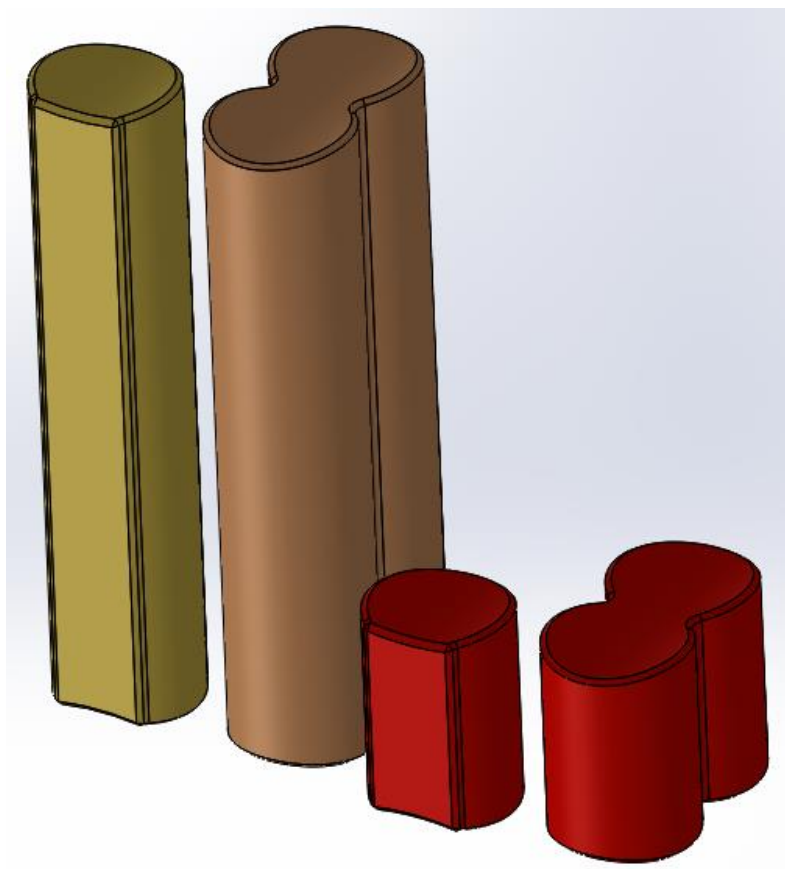
5.3 Volba materiálů

Volbou vhodného materiálu se zabývá samostatná kapitola 6. Volba materiálu krychle. Během návrhu koncepce byl prvotní tvar, následně byl pak hledán materiál, který by splňoval nastíněné požadavky v téže kapitole.

5.4 Volba rozměrů

V průběhu celé práce byl jedním z největších problémů stanovit optimální rozměry. Bez praktického testování se ovšem bude jedna spíše o odhady. Rozměry byly určeny na základě předešlých zkušeností autora, konzultací a možnosti použití na různé velikosti strojů (Tab 4).

Z podstaty stavebnicové koncepce vyplívá, že čím menší rozměry, tím větší stavební volnost vzhledem k ideálním tvarům stavěného útvaru. Musíme ale dbát na omezení, která před námi stojí. Jedná se o omezení dostupnými technologiemi, omezení člověka a limitní možnosti materiálů vzhledem k tvaru. Proto rozdělíme možnost montáže do dvou bloků.



Obr. 17) Čepy

5.4.1 Manuální montáž

Pokud se zaměříme na manuální montáž, musíme dbát na to, aby manipulace s krychlí byla stále ještě dostatečně pohodlná, praktická a nevyžadovala přílišnou zručnost.

Tab 4) Rozměry prvků

Rozměry [mm] Vlastnosti	α	β	γ	δ
Délka hrany krychle	50	100	200	400
Průměr středových děr	20	45	80	80
Excentricita bočních děr	2	5	8	10
Průměr bočních děr	6	12	20	25
Délka kratšího čepu	9	16	41	126
Délka delšího čepu	25	54	120	301
Objem krychle [cm ³] Hmotnost [kg]	80,83	590,23	5 330,72	54 416,46
Ocel	0,64	4,64	41,85	427,17
Litina	0,58	4,25	38,38	391,80
Beton	0,20	1,48	13,33	136,04
Kompozit	0,13	0,95	8,53	87,07

5.4.2 Automatická montáž

V případě automatické montáže uvažujeme o maximální možné eliminaci lidského faktoru. Minimální rozměr prvků pro tento typ montáže je přímo úměrně ovlivněn použitými prvky automatizace. Tedy přesností polohování, opakování a samotné kvalitě výroby všech používaných prvků. Tento typ montáže je až příslovečným vrcholem snažení, které má základy v této diplomové práci a jsou v jejím rámci mimo možnosti řešení. Z těchto důvodů se tímto způsobem montáže a přizpůsobení koncepce nebudeme dále zabývat.

5.5 Rozšiřující prvky

Pro lepší vystihnoutí používaných geometrických prvků užívaných při návrhu strojů a požadavků na funkčnost a montáž je potřeba rozšířit základní dvojici o další konstrukční prvky. Prvky, které jsou zde znázorněny, jsou pouze některé z mnoha. Velká spousta jich bude jistě vytvořena až v průběhu stavby konkrétních strojů dle potřeby a dále rozšíří možnosti struktury.

5.5.1 Spojovací prvky pro rozdílnou řadu velikostí

V případě použití několika řad velikostí v rámci jednoho projektu je potřeba docílit vhodného napojení. Z toho důvodu vznikly tyto napojovací díly. Lze díky nim dosáhnout napojení mezi jednotlivými samostatnými prvky z rozměrové řady, které na sebe navazují. Toto spojení lze samozřejmě vyrobit i excentricky (Obr. 18). Dále napojení mezi řadou menších dílů a jedním větším dílem. Tyto prvky jsou také přizpůsobeny tomu, aby k nim mohl být připevněn svorník. Průchozí díry z krychle prochází i spojovacím prvkem a v něm je následně osazení (Obr. 18).

5.5.2 Rozměrová vložka

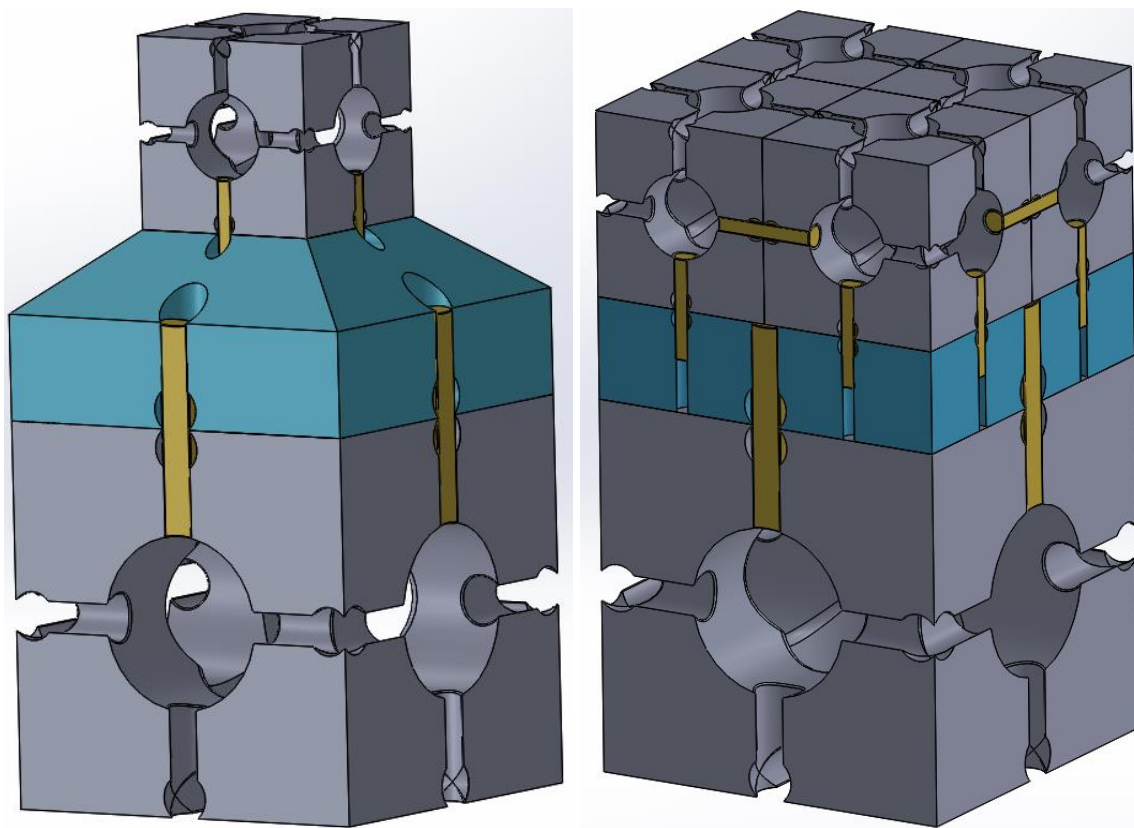
Pro případ potřeby nějakým způsobem dorovnat délkový rozdíl je vhodné použít vložku, která se vloží mezi dvě krychle. Kvádr s dírou uprostřed, který bude mít rozměry základů totožné s rozměry hraničních prvků. V závislosti na síle vložky by také mohla být osazena otvory pro čepy. Pokud by byl daný rozměr moc tenký, musí být vložka zajištěna jiným způsobem. Je možné, aby vložka měla rozměry, které budou přesahovat samotný prvek. Například pro ohraničení celého čela ze stavebnicových prvků pro uchycení svorníků. Tato vložka by vypadala velmi podobně jako je spojovací prvek b (Obr. 18).

5.5.3 Podložka pod svorníky

Aby mohl být svorník řádně napojen/uchycen na stěnu krychle, je potřeba mu poskytnout dostatečně velkou plochu, po které se tlak na stěně roznese. Opěrná podložka má tvar komolého kužele s velmi malou výškou (Obr. 19). V případě provedení testů by mohl být tvar pozměněn za jiný, například silnostěnný tvarový plech s žebry, který bude působit na plochu v místě nosného průřezu krychle (Obr. 19).

V případě potřeby spojit větší množství krychlí sousedící vedle sebe svorníky je tato podložka zvětšena a upravena tak, aby zaplnila celý opěrný prostor (Obr. 20).

Pokud by bylo potřeba spojit větší množství svorníků, a tyto svorníky by byly vůči sobě pootočené, jednalo by se o stažení rohu v jednom i ve druhém kolmém směru. Je možné použít podložku, která ohraničí všechny krychle se svorníky (Obr. 20).



Obr. 18) Spojovací prvky vlevo a) a vpravo b) [6]

5.5.4 Tvarové prvky

Rohové prvky – tento prvek se umístí do rohu ohraničeného ze tří stran. Je zkosený nebo má jiné tvarové vybrání (Obr. 21).

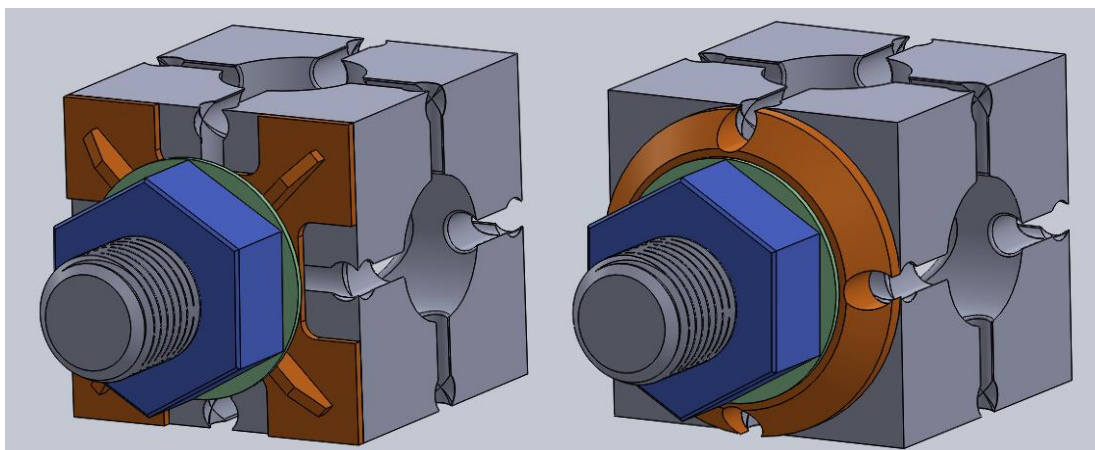
Úkosy – prvky vycházejí z krychlí, které mají sražení jedné hrany pod úhly 30° , 45° a 60° v symetrické i asymetrické délce čtvrtiny a poloviny délky hrany krychle (Obr. 21).

Rádusy vnější – prvky vycházejí z krychlí, které mají zaoblení jedné hrany o poloměru délky čtvrtiny, poloviny a plné délky hrany krychle (Obr. 22).

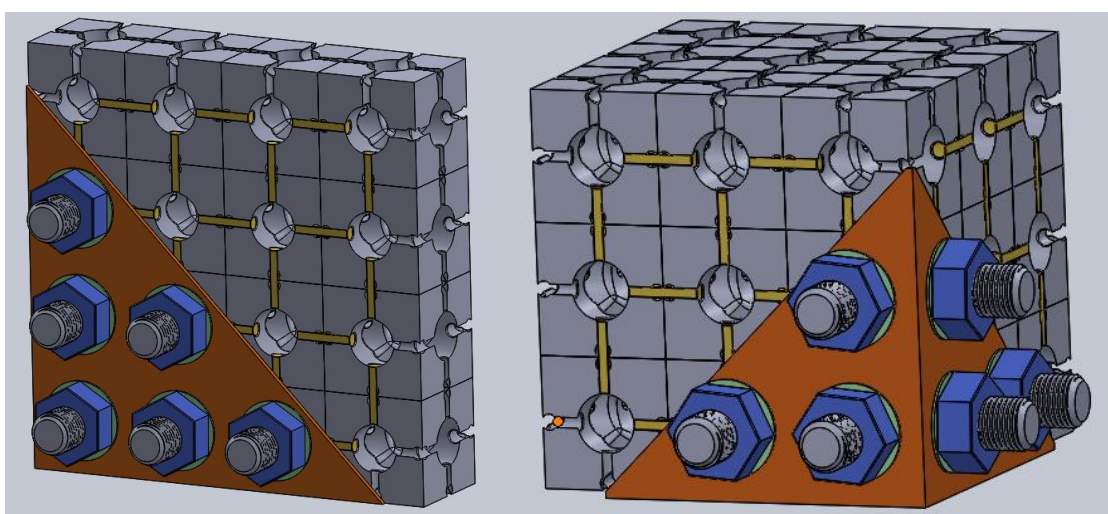
Rádusy vnitřní – prvky vycházejí z krychlí, které mají kruhové vybrání ve středu jedné hrany o poloměru délky čtvrtiny, poloviny a plné délky hrany krychle (Obr. 22).

Po dalším testování je potřeba zvážit, zdali by osazení (vnitřní nebo vnější) nemělo být součástí základní krychle, nikoliv však pouze speciálně pro závitové vložky.

Některé návrhy nemusejí být funkční či mít velkou hodnotu pro možnosti stavby. Můžeme je použít i z designových důvodů.



Obr. 19) Alternativy jedné podložky pod svorníky [6]

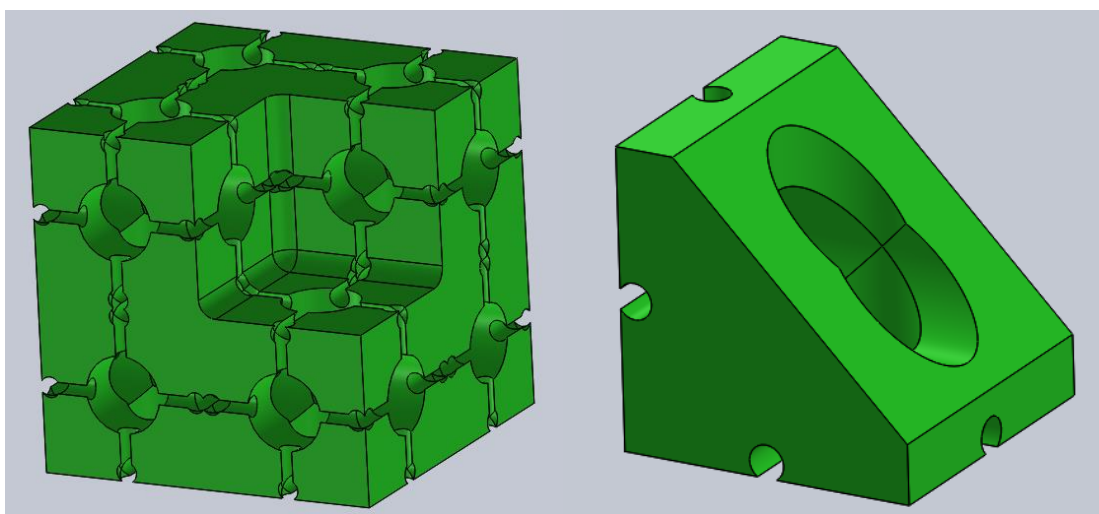


Obr. 20) Vlevo podložka pod svorníky plošná, vpravo podložka pod svorníky rohová [6]

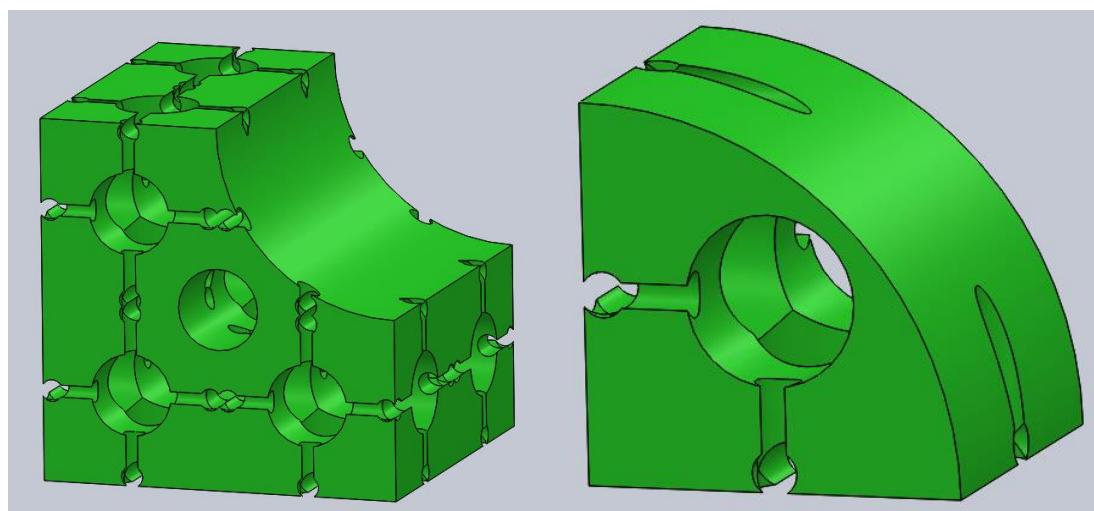
5.5.5 Ostatní prvky

Další prvek je pro případ, kdy je potřeba umístění základní krychle nějakým způsobem excentricky mimo vodící díry nebo pod úhlem. U tohoto prvku se ovšem nepředpokládá častá využitelnost a v případě potřeby bude speciálně navrhnout na míru dle požadavků. Na obrázku je vidět tvarový prvek pro úhel čtyřicet pět stupňů. Jednou pro možnost využití svorníku a na druhém obrázku bez ní (Obr. 23).

V tomto seznamu lze jen velmi obtížně vypsát všechny možné kombinace tvarů. Všechny zmíněné v této kapitole jsou hlavně pro představu, jaké máme možnosti z tohoto systému tvořit.



Obr. 21) Vlevo vnitřní roh, vpravo zkosení [6]



Obr. 22) Vlevo vnitřní rádius, vpravo vnější rádius [6]

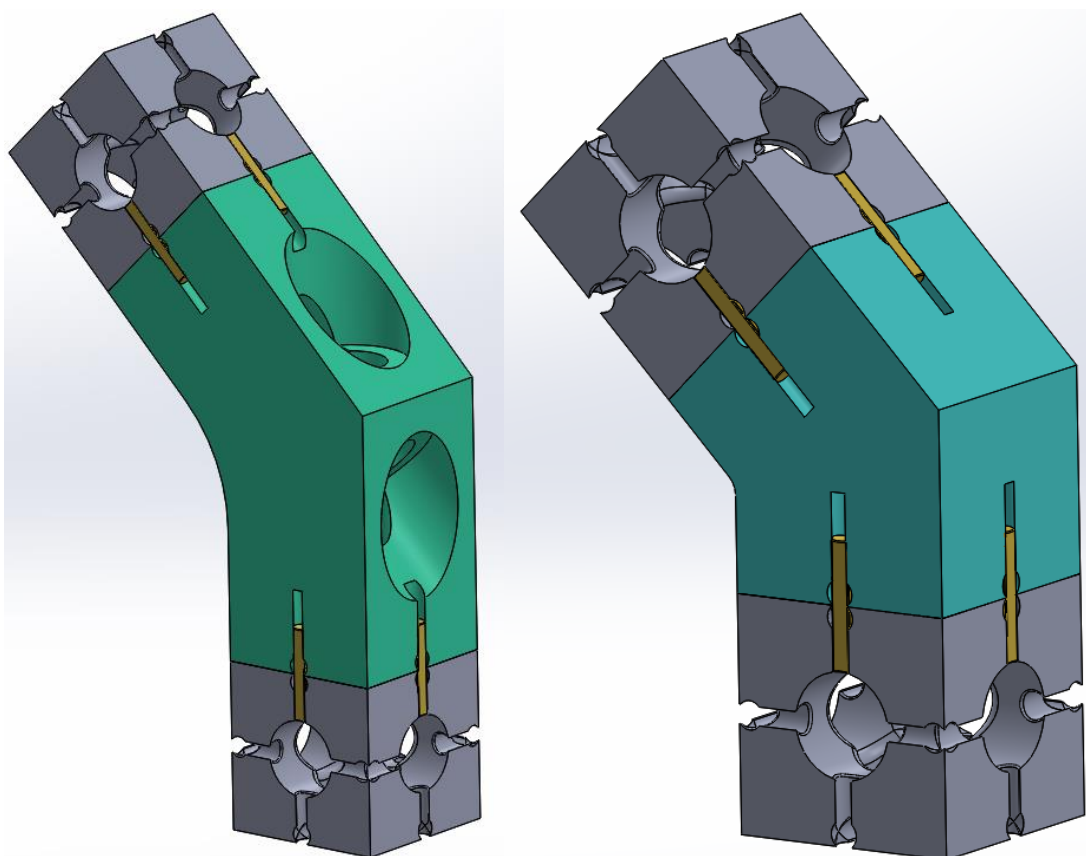
5.6 Uchycení periferií

Pro vhodné uchycení periferií bylo vytvořeno několik řešení. Nejvhodnější řešení pro spojování součástí nelze momentálně rozhodnout.

Nejrozšířenější používaný spojovací materiál je šroub a matice s pravotočivým závitem, případně pravotočivý vrut. Pro tento typ spojení jsou navrženy tyto vložky. U všech vložek se uvažuje, že závitová díra bude umístěna ve středu. Pokud by takovéto polohy nevyhovovaly, je možné díry ve vložce umístit excentricky.

5.6.1 Závitová vložka A

V případě využití materiálu typu beton: do formy pro krychli, která bude jiná než pro původní krychli, bude vložen kovový prstenec. V hotové krychli bude tento prstenec kopírovat jeden z otvorů krychle. V tomto prstenci bude umístěn závit. Samotný závit bude mít stejný rozměr jako je požadovaný rozměr pro spojovací díl nebo bude mít vždy stejný maximální rozměr závitu a bude do něj znovu vložena závitová vložka se závitem odpovídající našemu požadavku. Takovouto dvojitou vložkou bychom měli docílit lepší modifikovatelnosti, která ovšem nemusí být vždy žádána. Aby bylo možné vložku našroubovat, jsou umístěny do krajů vložky neprůchozí díry. Což znamená, že k utažení bude potřeba speciální klíč či přípravek (Obr. 24).



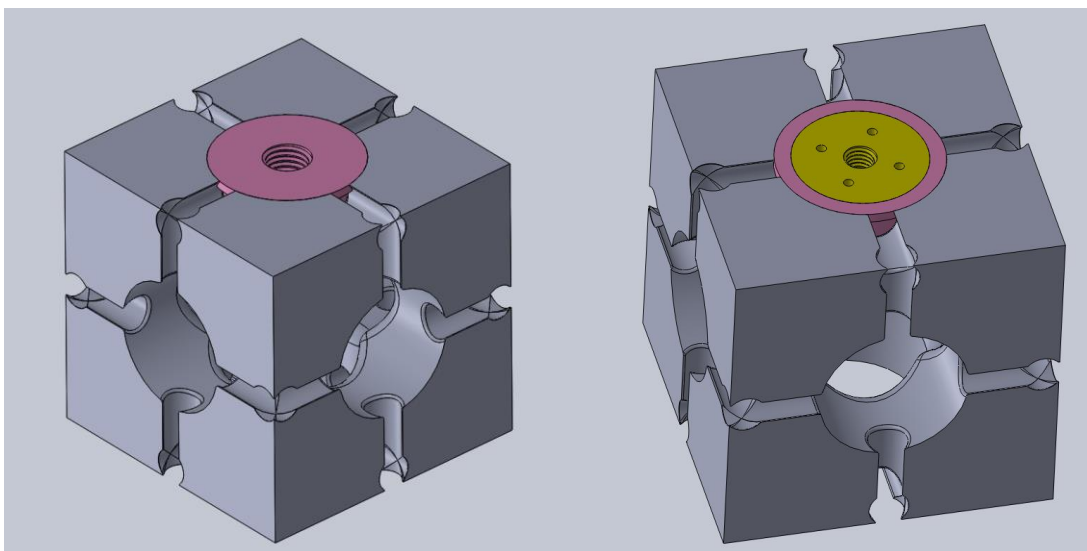
Obr. 23) Vlevo napojení pod úhlem se svorníky, vpravo napojení pod úhlem bez svorníku [6]

5.6.2 Závitová vložka B

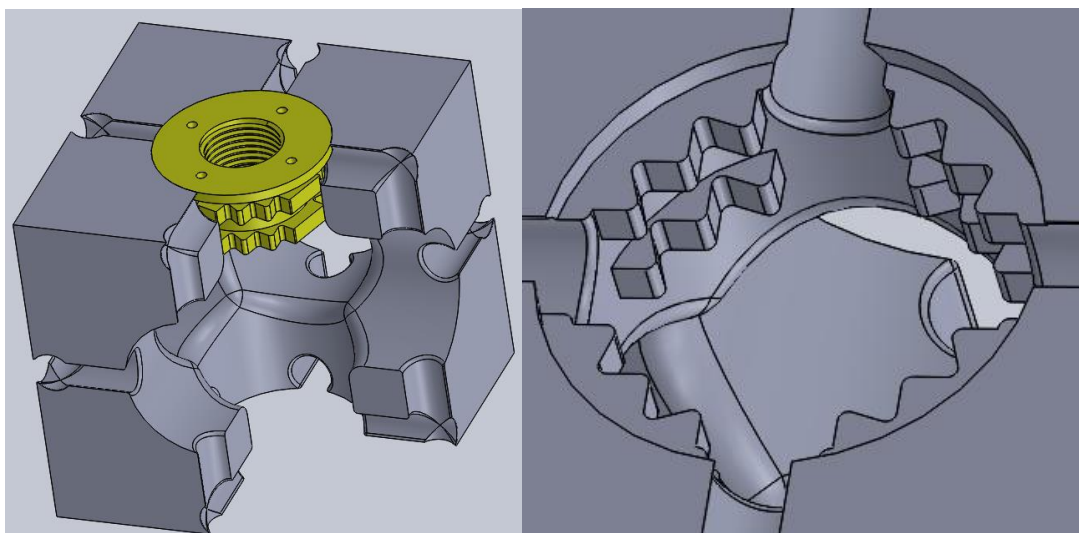
Středová díra v základní krychli má kuželový tvar. Samotná vložka má také kuželový tvar. Vložka je zalisována do krychle a také zalepena. Dále následují stejné možnosti jako u vložky A (Obr. 24).

5.6.3 Závitová vložka C

Jedná se o bajonetové spojení. Po krajích středové díry je několik nekruhových průchozích drážek. Profil osazení po obvodu velké díry je mezi všemi drážkami klínový. Tvarová vložka se vloží do drážek, až pronikne skrz celou tloušťku stěny, ve které jsou drážky a následně se otočením doprava utáhne díky dvěma dírami jako v předchozím případě. Ve vložce je umístěn pravotočivý závit dle požadavků (Obr. 25).



Obr. 24) Vlevo jedna vložka – A, vpravo dvojitá vložka – B [6]



Obr. 25) Vlevo závitová vložka C v řezu, vpravo detail spojení [6]

5.6.4 Závitová vložka D

Další typ spojení pomocí šroubů. Ve středové díře krychle bude přímo umístěn pravotočivý závit a bude mít osazení. Do této díry se našroubuje vložka též s osazením. Ve středu této vložky je závitová díra, která má velikost dle požadavků. Aby bylo možné vložku našroubovat, jsou

umístěny do krajů vložky neprůchozí díry. Což znamená, že k utažení bude potřeba speciální klíč či přípravek.

5.6.5 Závítová vložka E

Jedná se o využití svěrného mechanismu v samotné vložce. Výhodou je, že by se nemusela nijak upravovat krychle. Nevýhodou je složitost této vložky na výrobu a možnost jejího selhání.

Vložka by na sobě měla osazení a byla by vsazena do středového otvoru krychle. Ve středu by byl umístěn závit. Po vložení by se použil mechanismus a došlo by k zaaretování uvnitř krychle pomocí výstupků, které by kopírovaly vnitřní vybrání uvnitř krychle.

5.6.6 Závítová díra s hmoždinkou

Další možností je, že pohledová strana krychle, na kterou bude umístěna periferie, nebude mít středovou díru a závítová díra se následně umístí do libovolného místa.

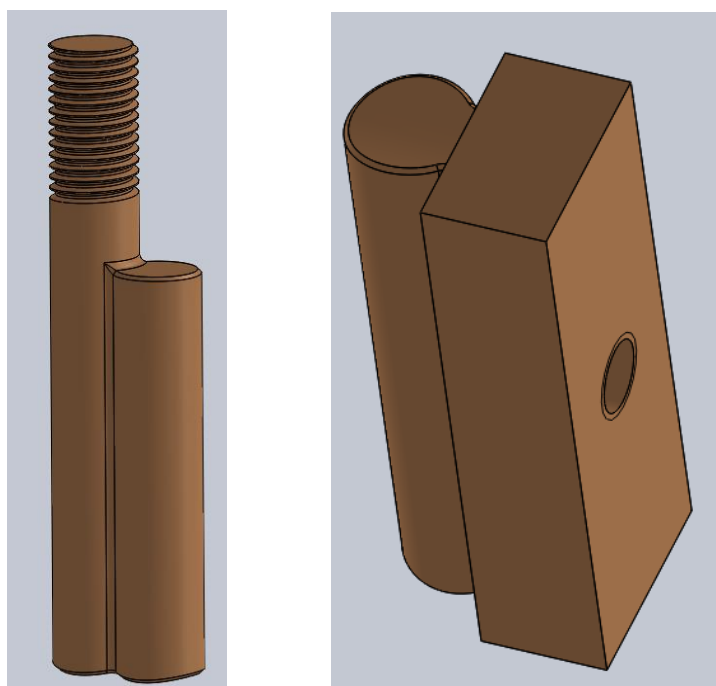
Tento postup by šlo aplikovat pro libovolný prvek. Je ovšem nutné zvážit, zdali se nesníží některé z klíčových parametrů jako jsou nosnost, tuhost, životnost atd. Bez testování by byl takový postup potencionálně rizikový.

5.6.7 Závítový čep

Další možností je využít pro spojení samotný čep, který bude opatřen závitem. Čep bude na kolmo vyčnívat ven z krychle a bude osazen závitem – závítový čep a. Další možností je více upravit tvar čepu a udělat do něj závítovou díru z boku – závítový čep b (Obr. 26).

5.7 Svorníky

Aby bylo možné docílit dostatečné tuhosti stroje a také tomu, že se v místě spojení čepu a krychle nedojde k vylomení, je potřeba zajistit, aby k sobě krychle doléhaly dostatečně velkou silou. Proto se do otvoru krychle umístí svorníky, které po stažení zajistí dostatečně velkou sílu, tím vznikne předepnutý spoj.



Obr. 26) Vlevo závítový čep a, vpravo závítový čep b [6]

Je nutné zvážit způsob montáže. V případě velké velikosti krychle, a tedy i velikosti potencionálního zatížení, bude narůstat požadavek na velikost průměru svorníku. Tyto svorníky dlouhé i několik metrů budou muset být do struktury krychlí instalovány tak, aby nedošlo k poškození žádného z dílů. Bude tedy potřeba využít přípravků či specifického způsobu montáže. Pro správné fungování svorníků ve složité struktuře je nutné vyřešit problém s jejich křížením. Vzhledem k tomu, že nelze udělat svorníky v místě křížení pevně spojené, a ještě je předepnout, je nutné se uchýlit ke kompromisu. Ať už snížením pevnosti krychle nebo snížením pevnosti svorníku.

Všechna řešení níže počítají s použitím průměru svorníku, který bude téměř roven průměru středové díry. Je jasné že v případě velikosti hrany 400 mm a průměru svorníku téměř 80 mm (tedy při zachování stejné geometrie), je takto velký svorník nesmyslný.

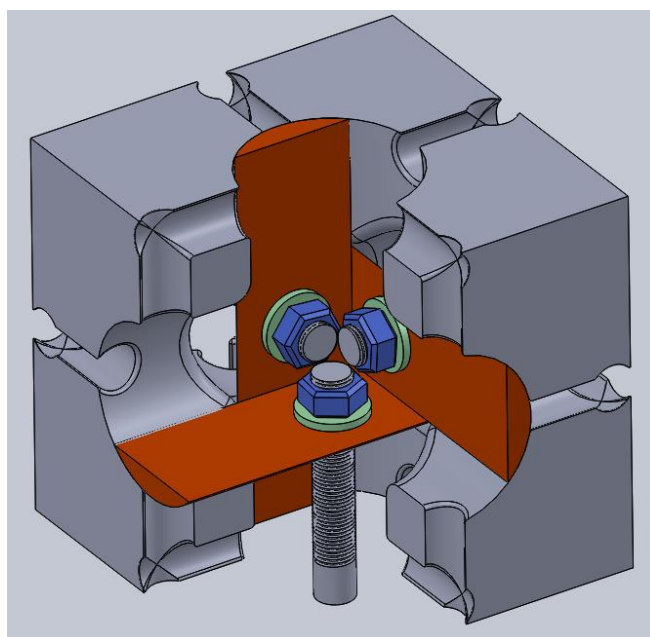
5.7.1 Křížový spoj – koule

Do otvoru krychle se vloží koule, která bude ze tří kolmých stran osazena závitovými dírami. Do těchto děr se následně našroubuje svorník. Maximální velikost koule je dána maximální velikostí středové díry. Pro lepší vyrobitelnost není potřeba nutně dodržet tvar koule, ale je nutné využít maximum možného materiálu pro závit.

Při montáži je nutné do krychle umístit opěrnou podložku. Samotné utahování svorníku by se dělalo přes šesti hran na svorníku, který by byl umístěn na dostupném místě skrze středový otvor krychle. Spojovací koule by tedy musely být vyrobeny ve dvou verzích. Pravotočivý a levotočivý závit. Toto spojení je ideální pro minimálně tři krychle. V případě dvou by nastal problém při utahování a bylo by potřeba vytvořit speciální přípravek.

5.7.2 Křížový spoj – čtvrt kruh

Svorníky by bylo možné uchytit také přes vložky. Tyto vložky by měly profil čtvrtkruhové úseče o průměru středové díry krychle. Ve středu plochy této vložky by byla umístěna díra s osazením pro matici. Problémem tohoto řešení je velikost matice, která je omezena sousední. Pro lepší pevnost vložky a možnost použít větší průměr svorníku by bylo potřeba upravit její tvar, aby lépe kopíroval dutinu v krychli a byla zachována možnost montáže (Obr. 27).



Obr. 27) Křížový spoj – čtvrt kruh v řezu [6]

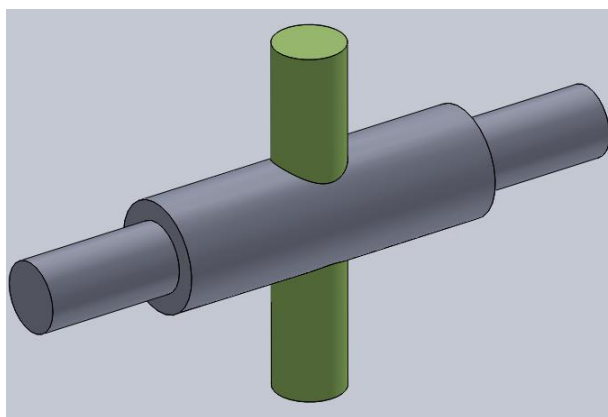
5.7.3 Křížový spoj – závitový

Další možností je použití speciální kostky se třemi závity. Každý závit pro jednu osu spoje. Tato kostka by byla použitelná pro každý roh. Do této krychle by byly napojeny svorníky. Některé závitové díry by byly použity a ty, které ne, tak by byly použity pro opěrnou vložku a svorník by byl přichycen pomocí matice. Závity by v krychli byly umístěny podle způsobů, které byly zmíněny výše.

5.7.4 Křížový spoj – vrtaný

Nejprostší způsob, jak vyřešit křížení spojů, je do jednoho z nich vyvrtat otvor, kterým bude druhý svorník volně procházet. Nevýhodou je možnost použití tohoto způsobu pouze pro dva svorníky. V případě užití pro tři osy by musel být rozdíl ve velikostech velmi velký.

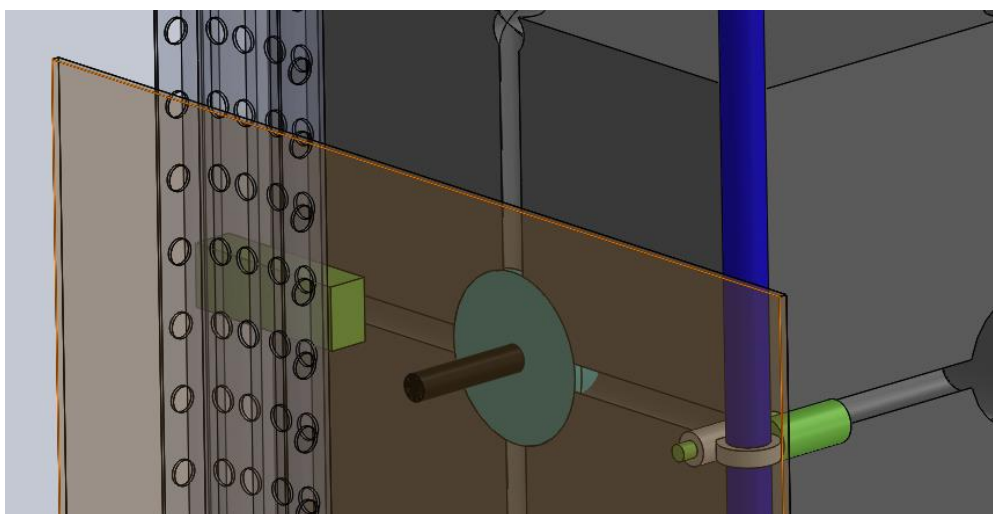
Tento způsob řešení je limitován velikostí středového otvoru, tedy maximální velikostí průměru svorníku. Snížení pevnosti vrtaného svorníku je očividné a toto použití je tedy silně ovlivněno velikostí krychle (Obr. 28).



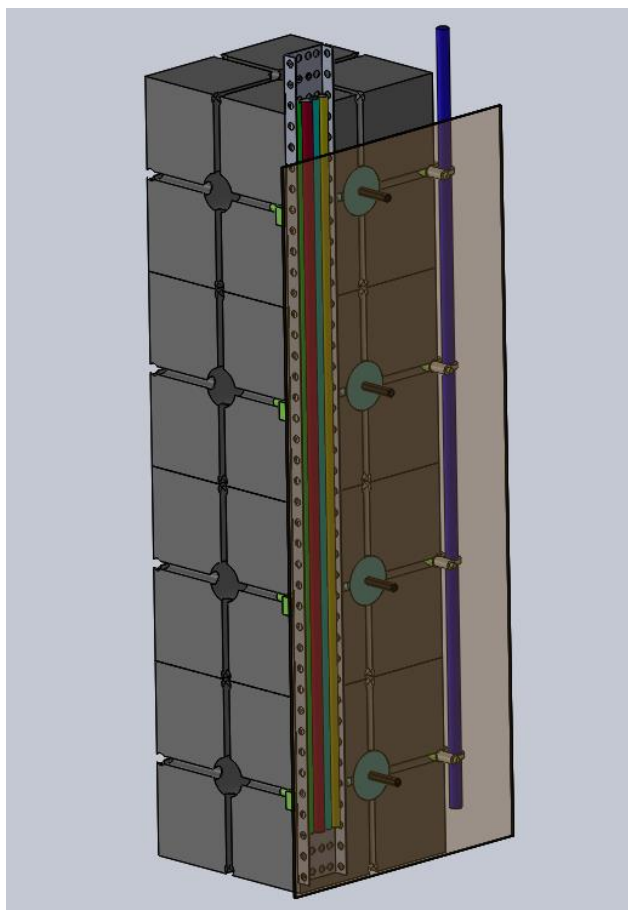
Obr. 28) Křížový spoj – vrtaný [6]

5.8 Osazení periferiemi

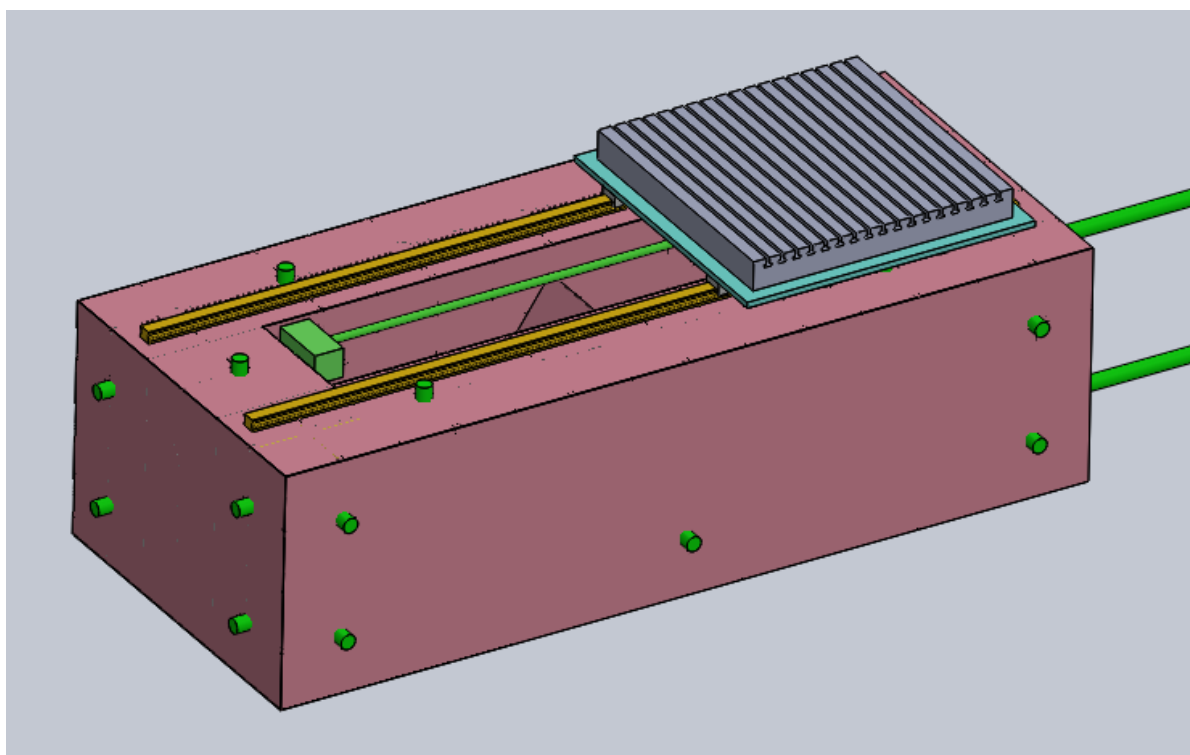
Zde můžeme vidět konkrétní příklad uchycení nejrůznějších periferií na krychle. Krychle zde má délku hrany 400 mm. Jedná se o upevnění žlabu s vedením, samostatné vedení a připevnění krytování pomocí středové vložky (Obr. 29 – Obr. 31).



Obr. 29) Detail osazení krychle [6]



Obr. 30) Osazení periférií [6]



Obr. 31) Zakrytované lože [6]

6 VOLBA MATERIÁLU KRYCHLE

6.1 Kritéria hodnocení

V této části se budeme zabývat primárně na požadavky pro krychli. Odpovídající fyzikální a mechanické vlastnosti byly čerpány z tabulek. Tyto tabulky jsou v příloze. [8, 9]

Bodové hodnocení je stanoveno identicky jako v předchozí volbě, tedy tak, aby 1 byla nejlepší a 0 nejhorší možnost.

Ekonomické náklady, které jsou zde zmíněny, jsou dále podrobněji rozvedeny v samostatné kapitole 12 – Ekonomické zhodnocení.

1. Technologie tvaru – Jak moc je materiál schopen na základě technologie výroby tvořit výsledný tvar krychle.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – ideálně, 0 – obtížně.

2. Cena materiálu – Náklady na materiál.

Hodnocení: 1 – nízké < 10 Kč/kg, 0,5 – střední < 80 Kč/kg, 0 – vysoké > 80 Kč/kg.

3. Možnosti materiálu – Jak moc vyhovují mechanické vlastnosti materiálu koncepci.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – vyhovují, 0 – nevyhovují.

4. Měrná hmotnost – Jak vysoká je měrná hmotnost materiálu.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – nízký, 0 – vysoký.

5. Časová náročnost – Časová náročnost na vytvoření krychle před opracování.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – krátká, 0 – dlouhá.

6. Opracování – Nutnost následného opracování dílu. Kolik procent objemu bude potřeba obrobit.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – >1%, 0,5 – >5%, 0 – <5%.

7. Opracování cena – Cena za následné opracování dílu.

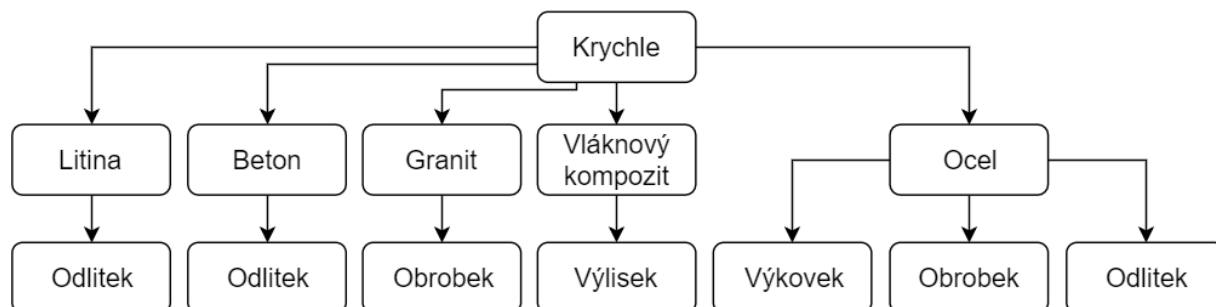
Hodnocení: od 1 do 0; 1 – nízká, 0 – vysoká.

8. Montáž – Obtížnost montáže vzhledem ke zvolenému materiálu.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – nízká, 0 – vysoká.

9. Úprava materiálu – Jak moc lze vlastnosti materiálu dále upravovat. Složením nebo zpracováním.

Hodnocení: od 1 do 0; 1 – hodně, 0 – minimálně.



Obr. 32) Diagram materiálů a technologie výroby [6]

6.2 Materiály krychle

Zde jsou zmíněny všechny materiály a následně i způsob výroby, které by mohly být využity pro vytvoření krychle (Obr. 32). Jedná se o všechny, které byly zmíněny v rešerši s výjimkou sendvičového způsobu, který využít nelze. Z těchto materiálů bude následně provedeno vyhodnocení, který z nich by nejlépe vyhovoval požadavkům.

Bez ohledu na zvolený materiál by po všech způsobech výroby muselo dojít k následnému opracování. Tento fakt tedy není nadále zmiňován.

Přesné stanovení požadavků na mechanické a fyzikální vlastnosti se rozvádí v kapitole 8. Výpočet zatížení krychle.

6.2.1 Beton

Technologie výroby: odlévání

Pro možnost využití betonu jasně hovoří jeho cena, která je obecně poměrně nízká. Vhodné je i jeho zpracování, díky kterému nemusíme dodávat do procesu žádné teplo jako u ostatních možností. Lze ho odlévat do připravených forem. Uvnitř formy mohou být připraveny různé přídatné výztuhy, armatury a spojovací prvky. Přestože existují receptury, jejichž výsledkem jsou vlastnosti betonu vhodné pro tuto aplikaci, jejich znění je neverejné. Mezi neznámou při zvolení betonu jakožto materiálu krychle je nutnost následného opracování a samotné přesnosti výroby/odlévání. Všechny tyto parametry se odvíjí od receptury, která by pro tuto aplikaci musela být vytvořena na míru a podepřena výpočtem. Pokud by samotný beton nevyhovoval, je možné jeho vlastnosti dále zlepšit pomocí vnitřní ocelové výztuže, která by se zalila betonem. Dále je nutné zohlednit, aby betonová směs nijak nedegradovala či jinak reagovala vlivem provozních kapalin, kterým by mohla být při obrábění nebo ve standartním průmyslovém provozu vystavena. Z hlediska fyzikálních a mechanických vlastností není beton zcela ideální. Největší nevýhodou je jeho minimální odolnost při namáhání tahem a fakt, že se jedná o křehký materiál. [10,11]

6.2.2 Litina

Technologie výroby: odlévání

Přestože jsme schopni dosáhnout velmi přesného odlévání, následnému obrábění se vyhnout nelze. Technologie odlévání do forem je velmi dobře zvládnutá a není problém s přesným vyčíslením nákladů. Mezi výhody patří nízká cena materiálu. Nevýhodou je nižší modul pružnosti a měrná hmotnost. Další nevýhodou je nutnost přizpůsobovat tvar formy limitům technologie odlévání jako je například tloušťka stěny nebo přechody mezi rozdílnými průřezy materiálu. V závislosti na volbě konkrétního složení litiny nelze vyloučit potřebu následného tepelného zpracování. [12,13,14]

6.2.3 Vláknový kompozit

Technologie výroby: lisování

Z hlediska výrobních nákladů silně záleží na použité matici a typu vláken. Nevýhodou tohoto materiálu je rozdílná odolnost vůči namáhání v jednotlivých osách. Tento problém je zapříčiněn jednotlivým vrstvením pouze v jedné ose. Jak velký vliv by tento rozdíl měl na velikost únosného namáhání na krychli lze zodpovědět až v případě provedení pokusu. Lze ovšem předpokládat, že nebude zanedbatelný. Mezi výhody patří relativně nízká cena, rychlá výroba a malá hmotnost. [12,13,14]

6.2.4 Ocel

Pro zvolení oceli jako hlavního materiálu jasně hovoří jeho mechanické vlastnosti a možnost pomocí legur upravit vlastnosti přesně dle požadavků. Mezi velkou nevýhodu patří jeho cena a vysoká měrná hmotnost. Výsledné vlastnosti krychle vytvořené z oceli se dále odvíjí od způsobu její výroby a zpracování. [12,13,14]

Technologie výroby: odlévání

U odlévání oceli se jedná o stejná negativa jako u odlévání litiny. V případě oceli musíme počítat s horší zabiřavostí než u litiny. Tím vznikají větší nároky na formu a navyšují se omezení. V případě kování nebo obrábění bude odlévání nejméně nákladné.

Technologie výroby: kování

Pro technologii kování jasně hovoří výsledné mechanické vlastnosti. Kritická místa jsou posílena díky orientaci vláken materiálu. Mezi nevýhody patří vysoké náklady na výrobu a dlouhý výrobní čas.

Technologie výroby: obrábění

V tomto případě by se jednalo čistě o obrábění krychle jakožto polotovaru do finální podoby. Tento způsob je ze všech možností nejnákladnější a vyplatil by se patrně pouze v případě masové produkce, pokud by byl realizován na jednoúčelovém stroji.

6.2.5 Granit

Technologie výroby: obrábění

Vytvoření krychle z granitu by bylo obtížné a patrně i „krok vedle“. Tento materiál by mohl splňovat požadavky pro jeden prvek, ale nesplňoval by požadavky pro celek. Tedy nároky na výslednou strukturu z nich vytvořenou. Dalším a hlavním důvodem, proč tento materiál nepoužít, je jeho vysoká cena. Struktura vytvořena touto metodou by měla příliš vysokou cenu. Z těchto důvodů nebude tento materiál zařazen do výběru a je zde zmíněn zejména pro úplnost.

6.2.6 Ostatní

Tyto materiály nevyhovují z hlediska jejich fyzikálních a mechanických vlastností. Pokud by se ovšem tento stavebnicový systém používal pro aplikace, které nemají tak vysoké požadavky jako obráběcí stroje, lze o těchto materiálech potencionálně uvažovat.

Hliník – Technologie výroby: tlakové lití

Tento způsob výroby by byl ideální z hlediska vysoké přesnosti výroby a možnosti vyrábět velký počet kusů. Výhodou je i minimální obrábění. Mezi nevýhody patří nutnost upravit geometrii krychle. [12,13,14]

Plast – Technologie výroby: vstřikování

Patrně nejméně nákladná možnost výroby a použitého materiálu. Lze poměrně snadno dosáhnout masové produkce. V případě potřeby lze použít jednoduchý kovový zálisek, který následně zlepší mechanické vlastnosti krychle vyrobené z plastu. Díky široké škále druhů plastu a možnosti modifikovat jeho složení, lze docílit výsledných mechanických vlastností, které budou přesně vyhovovat požadavkům konkrétního případu. Další výhodou je možnost použití stejné formy pro rozdílný plast. [12,13,14]

6.3 Výběr materiálu krychle

Nejprve byla stanovena váha jednotlivých parametrů (Tab 5).

Tab 5) Váha parametrů materiálu

Č.	Název	Pořadí	Důležitost	Váha
1	Technologie tvaru	1	9	0,20
2	Cena materiálu	8	2	0,04
3	Možnosti materiálu	2-3	7,5	0,17
4	Měrná hmotnost	4	6	0,13
5	Časová náročnost	5-6	4,5	0,10
6	Opracování	5-6	4,5	0,10
7	Opracování cena	7	3	0,07
8	Montáž	9	1	0,02
9	Úprava materiálu	2-3	7,5	0,17
suma		45	45	1,00

Po vytvoření tabulky váhy parametrů jsou bodově ohodnoceny jednotlivá kritéria materiálů (Tab 6).

Tab 6) Hodnocení materiálu

Č.	Název	Beton	Litina	Vláknový kompozit	Ocel		
					lití	kování	obrábění
1	Technologie tvaru	1,0	0,7	0,5	0,4	0,2	1,0
2	Cena materiálu	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
3	Možnosti materiálu	0,8	0,7	0,4	1,0	1,0	1,0
4	Měrná hmotnost	0,8	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0
5	Časová náročnost	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,0
6	Opracování	1,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0
7	Opracování cena	0,7	0,6	1,0	0,5	0,4	0,0
8	Montáž	0,0	0,8	1,0	0,5	0,5	0,5
9	Úprava materiálu	1,0	0,8	0,5	1,0	1,0	1,0

Jednotlivé body jsou následně vynásobeny svou váhou a sečteny. Výsledná suma nám dává ideální materiál. V tomto případě byl jako materiál zvolen beton (Tab 7).

Tab 7) Vyhodnocení volby materiálu

Č.	Název	Beton	Litina	Vláknový kompozit	Ocel		
					lití	kování	obrábění
1	Technologie tvaru	0,200	0,140	0,100	0,080	0,040	0,200
2	Cena materiálu	0,044	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
3	Možnosti materiálu	0,133	0,117	0,067	0,167	0,167	0,167
4	Měrná hmotnost	0,107	0,053	0,133	0,000	0,000	0,000
5	Časová náročnost	0,000	0,050	0,100	0,050	0,050	0,000
6	Opracování	0,100	0,050	0,000	0,050	0,050	0,000
7	Opracování cena	0,047	0,040	0,067	0,033	0,027	0,000
8	Montáž	0,000	0,018	0,022	0,011	0,011	0,011
9	Úprava materiálu	0,167	0,133	0,083	0,167	0,167	0,167
	Suma	0,798	0,623	0,572	0,558	0,461	0,544

6.4 Materiál čepu

Vzhledem k nepružnosti betonu je vhodné zvolit pro čep materiál s opačnými vlastnostmi. Jako ideální se zdá být plastový výlisek vytvořený pomocí technologie vstřikování. V čepu by byl umístěn kovový zálisek, který by zajišťoval dostatečnou pevnost.

Dále je nutné lehce upravit geometrii čepu. Ve středu dlouhého čepu, tedy v místě styku plochy dvou krychlí, bude zúžení. Tento krček by měl zabránit možnému vylomení hrany krychle způsobeném například neopatrnou montáží. Je ovšem neznámé, jak velké přesnosti jsme schopni dosáhnout (Obr. 33).

6.5 Materiál svorníku

Požadavky kladené na svorník, tedy velikost předpětí, se bude odvíjet od konkrétního případu a také od toho, zdali se budou svorníky mezi sebou křížit. V případě prostého svorníku by se mohl nakupovat. Pokud by byl složitější, musel by se vyrábět dle požadavků. Svorník by byl z oceli.

6.6 Výkresová dokumentace

6.6.1 Výkresy

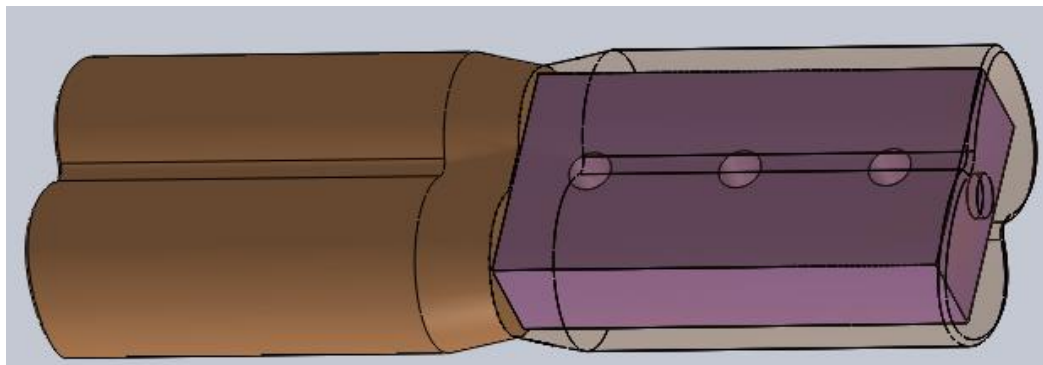
Veškerá výkresová dokumentace v této práci byla vytvořena pro účely stanovení cenových nabídek.

Přesnost výroby byla rozdělena do třech tříd. Protože patrně neexistuje žádný předpis, který by zohledňoval návaznost takovýchto po sobě jdoucích dílů jako je tento systém. Předepsaná přesnost je přímo úměrná maximálnímu možnému množství krychlí, které jsme schopni postavit vedle sebe a spojit.

První verze je odvozena z všeobecných nepředepsaných geometrických tolerancí a tolerovaných poloh. Krychle vyrobené na základě této dokumentace mají úzké možnosti využití.

Druhá verze má již tolerované otvory, strukturu povrchu i tolerované geometrické tolerance tvaru. Tyto krychle by již mohly být využity pro stavbu nosných prvků strojů. Nelze ovšem předpokládat, že tyto krychle lze napojovat bez omezení. Limit maximálního počtu je dán výrobou.

Třetí verze je stanovena na maximální možnou výrobní přesnost. Tyto krychle by patrně mohli tvořit celek bez omezení. Problémem je velmi vysoká cena za požadovanou přesnost obrábění.



Obr. 33) Plastový čep se záliskem [6]

Práce obsahuje i výkres polotovaru z odlitku.

Pro beton se velmi obtížně stanovuje jakékoliv přesnosti. Veřejně dostupné informace o obrábění betonu jsou zcela nedostačující. Výše popsaná výkresová dokumentace je tedy pravděpodobně moc přísná.

Součástí této práce je také výkres čepu. Dále výkres vývojových stádií krychle a výkres sestavy Stroje 1.

6.6.2 Technologie výroby a měření

Pro předepsané tolerance by se měl zohlednit i způsob, jak budou díly obráběny a následně měřeny. V případě reálného vyrábění krychle jsou tyto postupy bezpodmínečně nutné. Tato práce ovšem nyní nebude realizována a ani tak v dohledné době. Proto se těmito požadavky nebudeme dále zabývat.

7 POŽADAVKY NA KONCEPCI

7.1 Shrnutí požadavků

Jedná se o výčet všech možných požadavků, které bude potřeba spočítat či otestovat, aby se ověřila funkčnost a proveditelnost celé koncepce. Výčet patrně neobsahuje všechny požadavky. Na některé další se narazí až v průběhu případné realizace.

7.1.1 Požadavky pro krychli

Požadavky na krychli jsou: zjištění, jakému maximálnímu měrnému tlaku a tahu můžeme krychli vystavit, tedy kolik vrstev jsme schopni vytvořit, než se krychle začne deformovat za určitou mez, dále jak velkému tlaku při stažení přes vložku může být vystavena a jakou maximální hodnotu krutu je kostka schopna vydržet v případě upevnění za základny.

7.1.2 Požadavky pro čep

Je nutné spočítat, jakému maximálnímu zatížení může být čep vystaven při namáhání na smyk. Dále jak velkou sílu budeme potřebovat, aby byla jedna část čepu odtržena od druhé.

7.1.3 Požadavky pro krychli osazenou čepem

Jak se bude krychle chovat v případě, že bude osazena čepem. Tedy konkrétně samotné rozevření čepové drážky na krychli. V případě betonu jako materiálu krychle je tento výpočet nezanedbatelný. Dále musíme tento výpočet rozšířit ještě o roztažnost obou materiálů vlivem teploty.

Musíme zjistit chování kostky v případě, že kostka bude osazena čepem a budeme ji vystavovat různým typům zatížení o různých velikostech. Kombinací vzhledem k počtu typu čepů je velké množství a pro výpočet by bylo vhodné vybrat pouze ty, které jsou kritické a jsou schopné zastoupit ostatní možnosti.

7.1.4 Požadavky pro výpočet celého stroje

V případě výpočtu pro celý stroj je důležité zohlednit všechny výše zmíněné požadavky pro výpočty o fakt, že nyní mezi sebou kostky sousedí. V případě výpočtu monolitického stroje se výpočet zjednodušuje a stále je relevantní. To v tomto případě nelze. Je nutné i spočítat, jak velké předepínací síle můžeme okrajové krychle vystavit a jak velkou sílu budeme potřebovat, abychom udrželi celou strukturu po hromadě a funkční.

Dále musíme zohlednit vibrace, kterým bude celá struktura vystavena v případě pohybových struktur dynamického namáhání na čepové spoje a kritická místa krychlí. V závislosti na frekvenci pohybu jistých dílů můžeme dojít k závěru, že někde dochází k cyklickému namáhání, které na první pohled není vidět. V poslední řadě i vlastní frekvence stroje.

7.1.5 Požadavky pro svorník

Pokud již známe potřebnou předepínací sílu tak, jak velký průměr svorníku budeme potřebovat a jaký závit. Pokud se nebude jednat o prostý svorník, musíme zohlednit omezení křížových spojů.

8 VÝPOČET ZATÍŽENÍ KRYCHLE

V případě provedení výpočtů na základě požadavků se velká většina výsledků bude opírat o výpočet takzvaných kontaktních úloh. Tyto úlohy jsou velmi komplexní a vydaly by na samotnou diplomovou práci. Jsou také mimo možnosti autora práce. Dále lze simulovat výpočet pouze jednoho elementu – jedné krychle, ovšem musíme znát okrajové podmínky, aby bylo dosaženo správného výpočtu. Tyto podmínky, bez předchozích zkušeností s obdobným výpočtem, lze odhadnout velmi obtížně. Samotný výpočet byl realizován v programu ANSYS 19.2. Jedná se o maximální možné tlakové zatížení krychle.

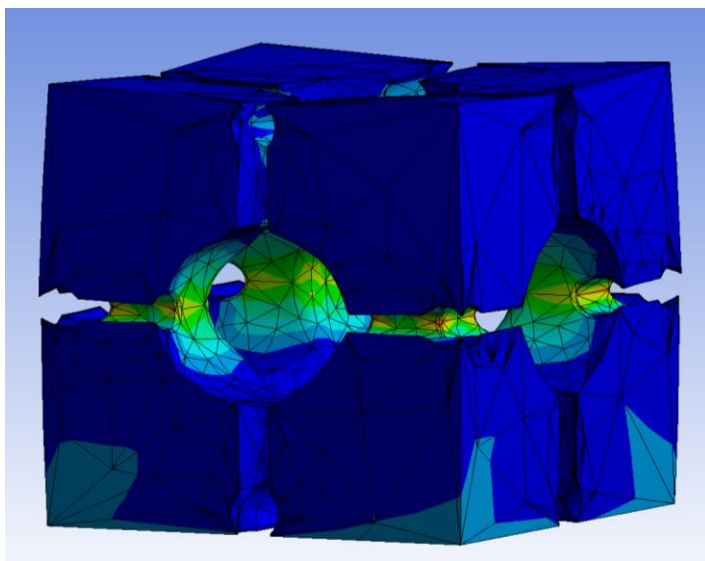
Přesto, že byl materiál krychle zvolen beton, lze tento výpočet provést, nedá se očekávat, že bude správný. Veškeré výsledky, které bychom zjistili na základě předem nadefinovaných hodnot a okrajových podmínek v ANSYSu, by neodpovídaly realitě. Okrajové podmínky výpočtu se u nelineárních materiálů jako je beton vždy korigují na základě testů a iterací výpočtu. Z tohoto důvodu bude zvolen materiál „Structural Steel“ s odpovídajícími vlastnostmi. [15] Vzhledem k tomu, že ocel byla jednou z možností výběru materiálu, má tento výpočet své opodstatnění. Model byl upraven pro potřeby výpočtu. Akademická licence tohoto softwaru ovšem nebyla schopná naplnit potřeby pro výpočet. Během výpočtu síťování nemohlo být dostatečně detailní. Toto omezení nastalo i v případě využití symetrie.

8.1 Zkušební výpočet

Nejprve bylo provedeno několik zkušebních výpočtů, kterými jsme měli zjistit, jak se bude prvek během výpočtu chovat a následně pozměnit či upravit podmínky výpočtu. Tyto předběžné výpočty byly realizovány pro velikost namáhání na krychli o hraně 100 mm.

8.1.1 První iterace výpočtu

V případě, že zavazbíme základnu a vrchní plochu vystavíme zatížení, můžeme vidět deformaci kostky (Obr. 34). Tato situace by mohla nastat pouze v případě samostatné krychle a zatížení, které by kopírovalo následnou deformaci – zkroucení povrchu. Takové situace lze dosáhnout jen velmi obtížně a v rámci aplikace na modulární strukturu je nereálná. Přesto, že reálná deformace nebude takto výrazná.



Obr. 34) První iterace výpočtu krychle [6]

8.1.2 Druhá iterace výpočtu

U druhého výpočtu došlo k povolení pohybu namáhaných horních ploch pouze v ose zatížení. Zatížení je stejné jako v předchozím případě, tedy kolmé na plochu. Všechny ostatní plochy byly zavazbeny stejně. Tedy mohlo docházet pouze k jejich deformaci v ose kolmé na plochu (Obr. 35).

Jak můžeme vidět, došlo znovu k poměrně nereálné situaci. Vnější okraje jsou naprosto netknuté a celá horní plocha je stlačena dovnitř. Tento problém lze vyřešit tím, že upravíme možnosti vazby bočních stěn. Tyto parametry ovšem přímo souvisí s kontaktními úlohami, a tak zde řešeny nebudou.

Pokud zcela vypustíme vazby bočních stěn, dojdeme k velmi podobnému, a tedy špatnému výsledku jako u prvního výpočtu.

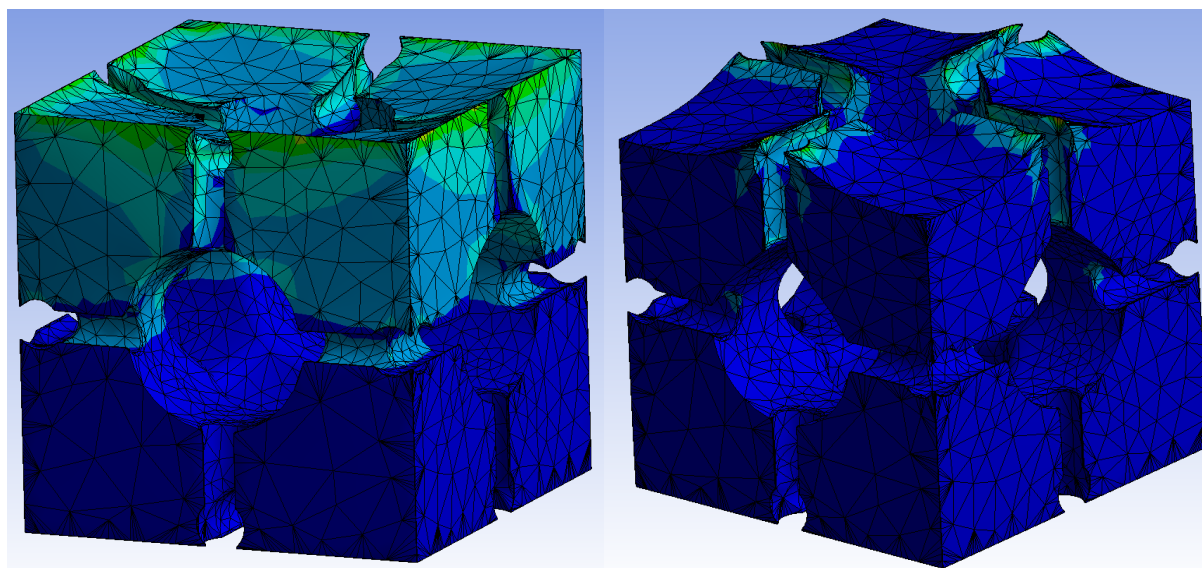
8.1.3 Třetí iterace výpočtu

V případě třetí iterace výpočtu byly zavazbeny jiné plochy než u předchozích výpočtů. Zde došlo k pokusu o napodobení umístění čepů. Všechny čepové otvory byly zavazbeny fixní vazbou. Výsledkem je tedy omezení deformace v místě, kde by měl být umístěn čep (Obr. 35). Bohužel tento způsob také zcela nereflexuje realitu. Nejen že by mělo docházet k deformaci samotného čepu, ale deformovat by se měl samotný otvor i hmota pod ním a kolem něj. Bez úpravy podmínek na základě kontaktních úloh je tento výpočet také nevyhovující.

8.1.4 Čtvrtá iterace výpočtu

Vzhledem k tomu, že nebyl nalezen způsob, jak provést výpočet na základě vstupních parametrů a podmínek v programu bez zohlednění podmínek kontaktních úloh, je nutné upravit geometrii krychle. Protože chceme znát pouze maximálnímu možné zatížení krychle, tedy simulace, kdy bude vystavena pouze měrnému tlaku, lze odhadnout, že kritické místo bude v místě nejmenšího průřezu materiálu. Takže na povrchu krychle vytvoříme výstupky, které budou kopírovat rozměry nejmenšího průřezu. Tyto výstupky následně zatížíme silou (Obr. 36).

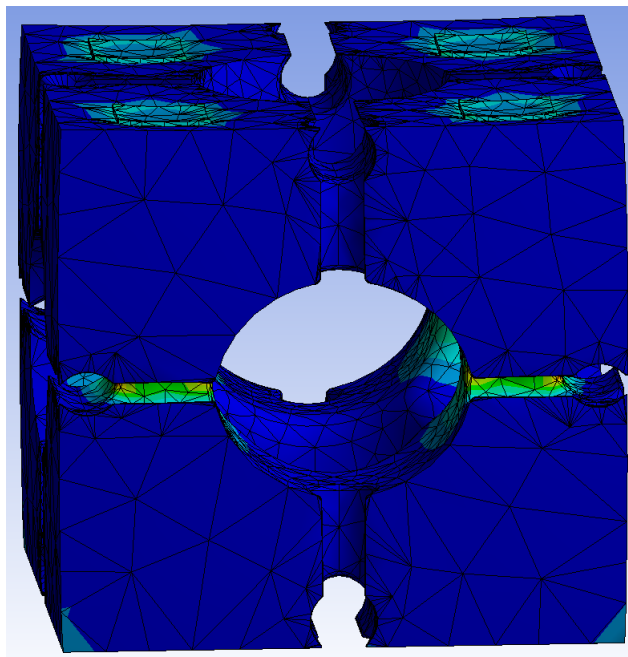
Toto řešení se patrně nejvíce blíží realitě. Žádná z vnějších ploch není vystaveny velké deformaci a lze říci, že kopíruje reálnou možnost, kdy bude tato krychle obklopena ze všech stran sousedními krychlemi a bude plně osazena čepy.



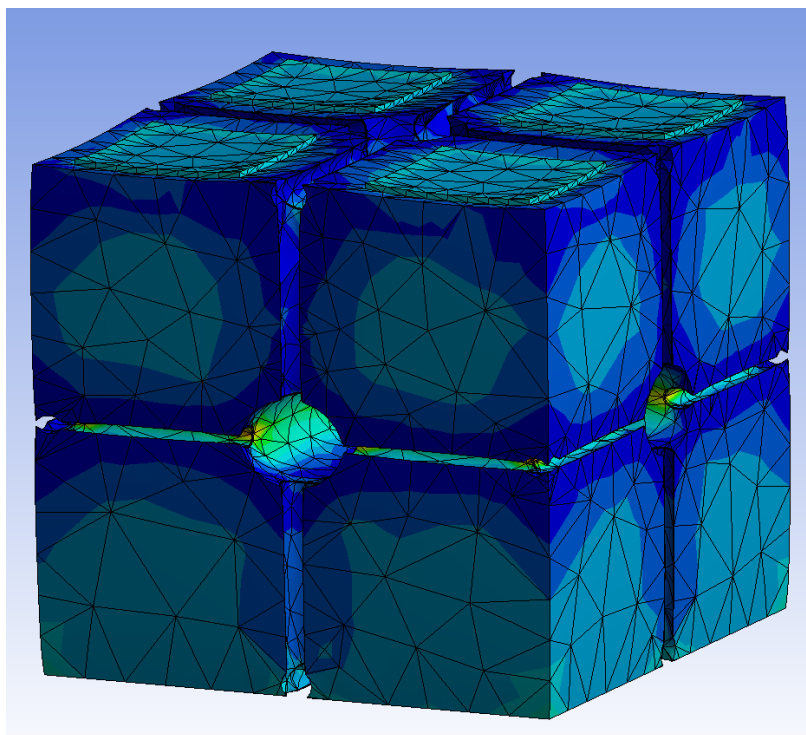
Obr. 35) Vlevo druhá iterace, vpravo třetí iterace výpočtu krychle [6]

8.2 Závěrečný výpočet

Závěrečný výpočet je realizován na krychli o hraně 400 mm (Obr. 37). Podmínky výpočtu jsou stejné jako u čtvrté iterace výpočtu. Maximální možné zatížení se hodnotí na základě výsledného koeficientu bezpečnosti, který by měl mít hodnotu 1,2. Tento koeficient se odvíjí od meze kluzu materiálu. Aby bylo dosaženo zjištění výsledné hodnoty maximálního zatížení, byl výpočet několikrát opakován. Byla zde použita metoda půlení intervalů. Maximální možné zatížení je 3 740 kN.



Obr. 36) Čtvrtá iterace výpočtu krychle [6]



Obr. 37) Závěrečná iterace výpočtu krychle [6]

9 PŘÍKLADY STROJŮ Z MODULÁRNÍ STRUKTURY

Stavebnicová koncepce bude prezentována na modelech třech strojů. Typ těchto strojů byl zvolen na základě konzultace a dle subjektivní volby autora. Stroje, které jsou níže namodelovány, jsou pro účely prezentace a jsou zjednodušeny. Z technických důvodů nebyly do modelů umístěny spojovací čepy. Předpokládá se ovšem, že jsou jimi osazeny všechny krychle. Nejedná se o finální podobu. Veškeré podklady pro rozměry a proporce těchto strojů byly čerpány pouze na základě obrázků a byly odhadnuty. Tabulky v této kapitole jsou kusovníkem sestav.

9.1 Stroj 1

Jedná se o horizontální obráběcí centrum na nerotační součásti s „O“ rámem. Z modulárního systému byly namodelovány tři nosné prvky (Tab 8, Obr. 38 – Obr. 43). Jedná se o lože, rám a vnitřní pohyblivý stojan pro vřeteno.

Rozměry lože jsou: 300 x 1200 x 400 mm.

Rozměry rámu jsou: 3200 x 3200 x 800 mm.

Rozměry pohyblivého stojanu jsou: 1200 x 2200 x 800 mm.

Tab 8) Parametry Stroje 1

	Lože	Rám	Pohyblivý stojan	Suma
Počet krychlí	35	60	28	123
Hmotnost krychlí – [kg]	4668	8003	3735	16406
Počet spojů	384	742	328	1454
Počet svorníků	15	16	8	39

9.2 Stroj 2

Druhý stroj je soustružnické centrum. Z modulárního systému bylo vytvořeno lože stroje (Tab 9, Obr. 44 – Obr. 47).

Rozměry stroje jsou: 2600 x 1850 x 1600 mm.

Tab 9) Parametry Stroje 2

	Krychle - 400	Vložky - 400	Úhelníky - 400	Krychle - 100	Svorníky	Spoje
Lože	22	15	10	124	37	1796
Hmotnost – [kg]	2934	563	667	171	Suma	4336

9.3 Stroj 3

Poslední typ stroje je jednostojanový svislý karusel. Modulárním systémem byly namodelovány čtyři nosné prvky (Tab 10, Obr. 48 – Obr. 51). Jedná se o lože, stojan, příčník a suport.

Rozměry lože jsou: 2000 x 2000 x 4800 mm.

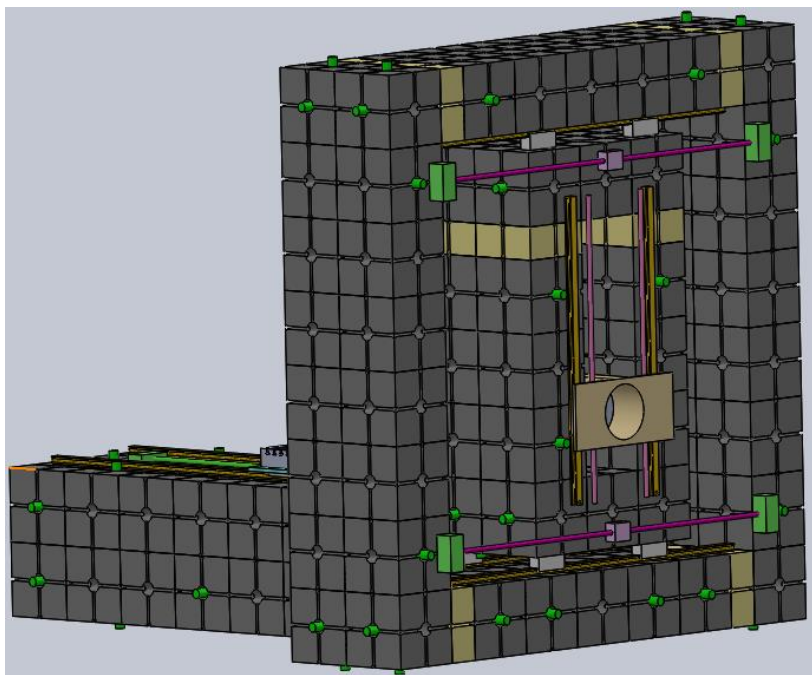
Rozměry stojanu jsou: 3780 x 3200 x 3200 mm.

Rozměry příčníku jsou: 800 x 800 x 4400 mm.

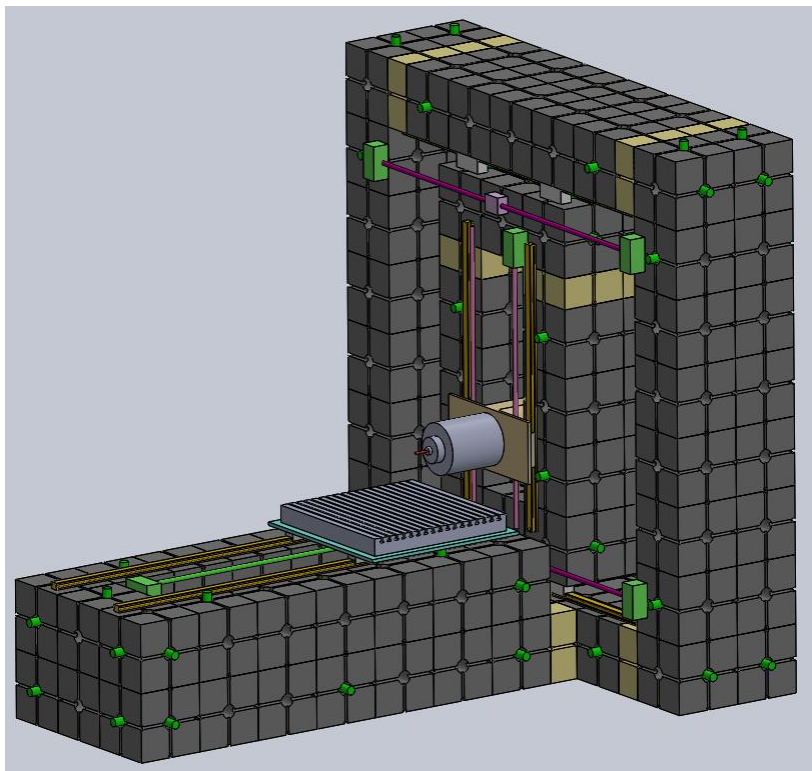
Rozměry suportu jsou: 600 x 600 x 5000 mm.

Tab 10) Parametry Stroje 3

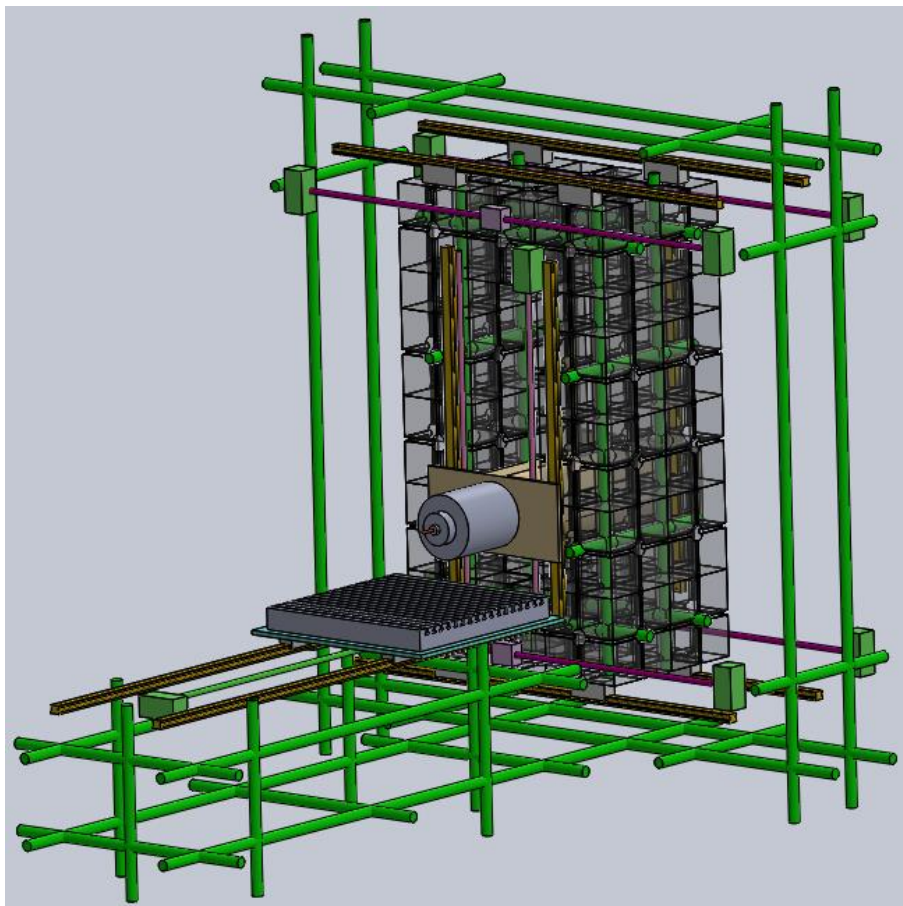
	Lože	Stojan	Příčník	Suport	Suma
Počet krychlí	60	156	44	1000	1260
Hmotnost krychlí – [kg]	8003	20807	5869	1381	36059
Počet spojů	792	2432	640	16000	19864
Počet svorníků	9	61	28	57	155



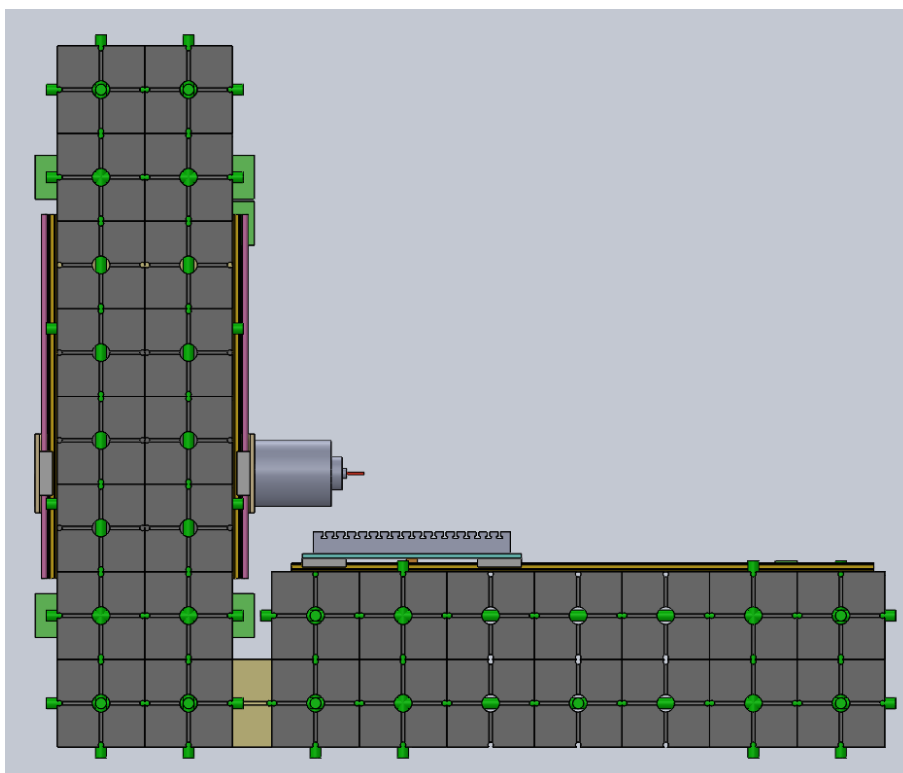
Obr. 38) Stroj 1 [6]



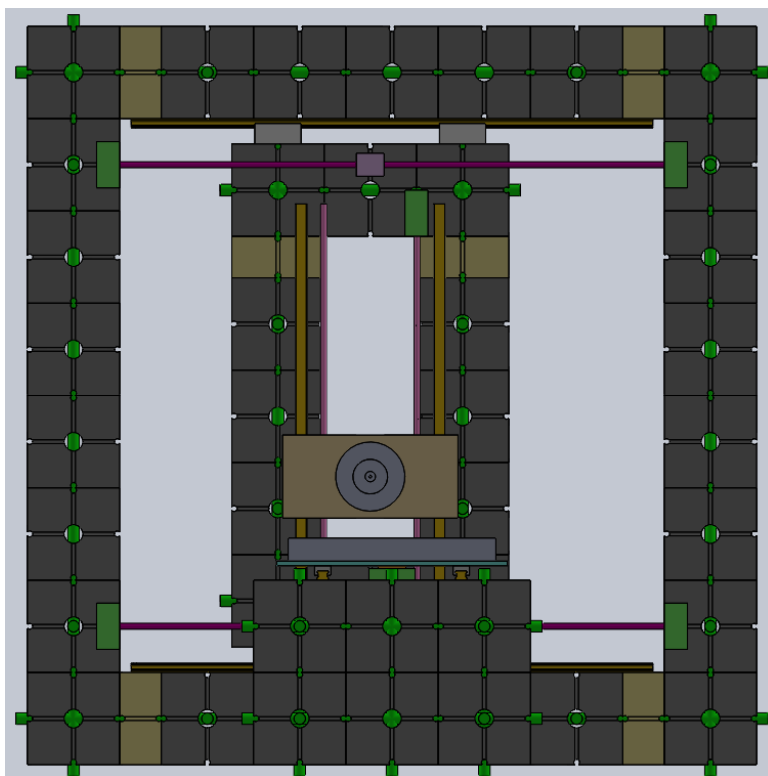
Obr. 39) Stroj 1 [6]



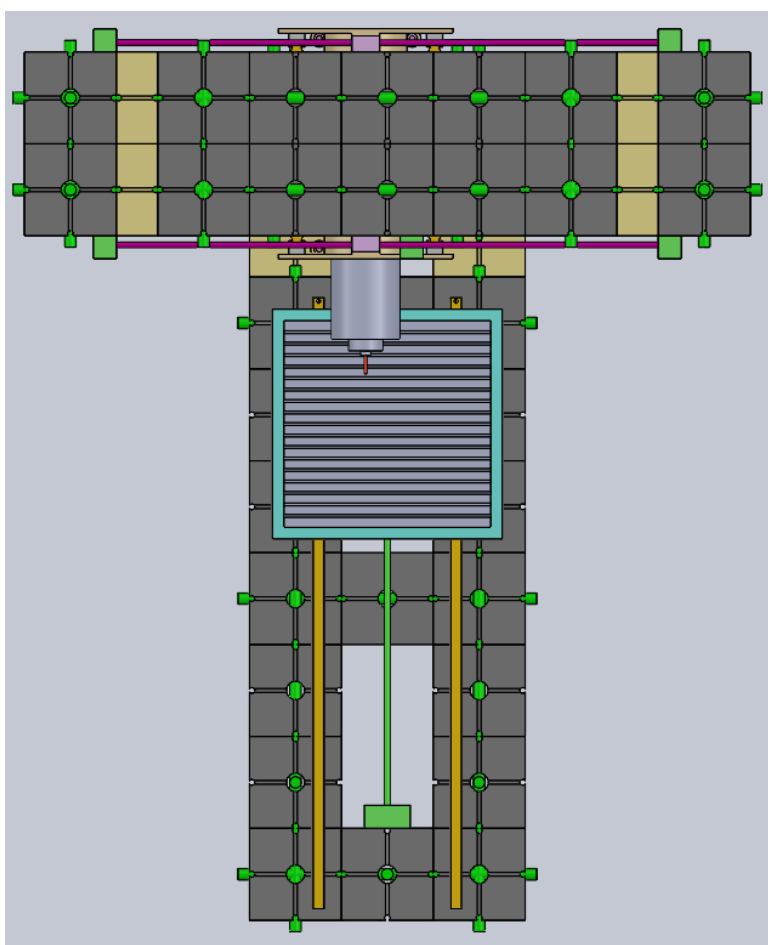
Obr. 40) Stroj 1 – pohled na svorníky [6]



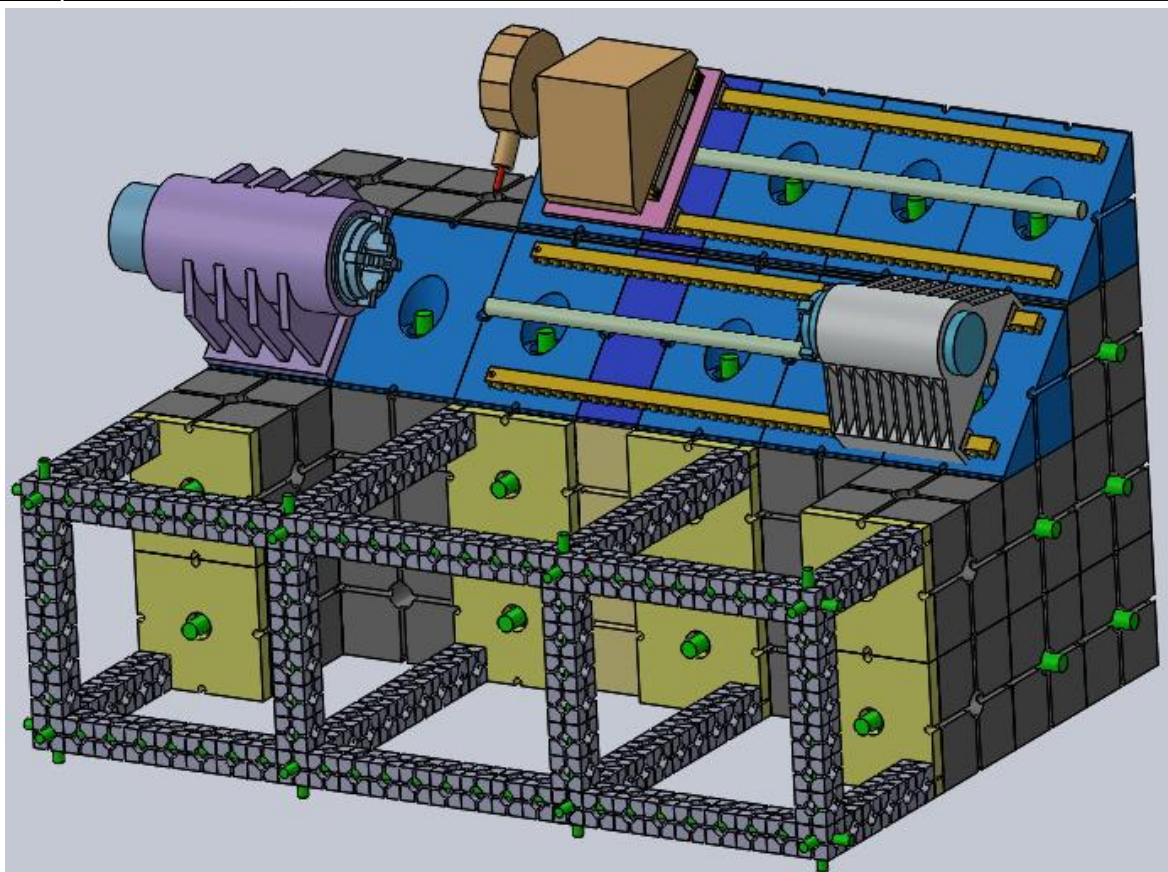
Obr. 41) Stroj 1 - bokorys [6]



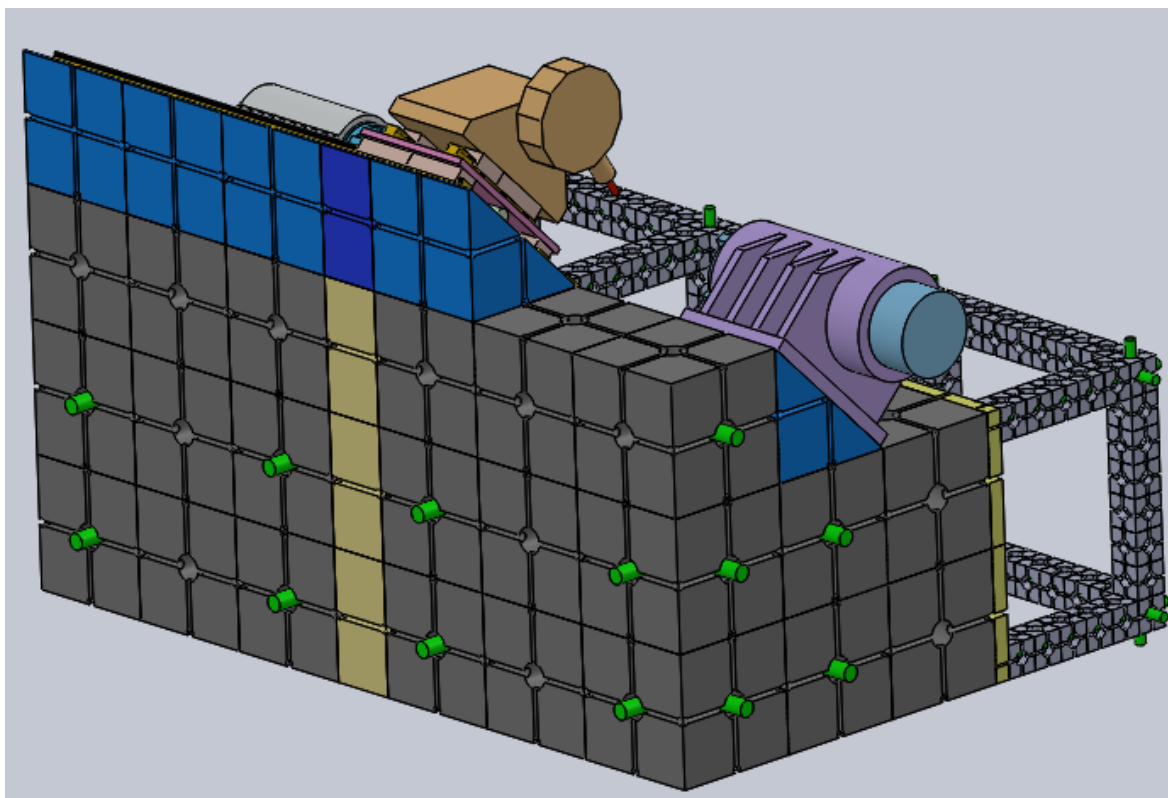
Obr. 42) Stroj 1 - nárys [6]



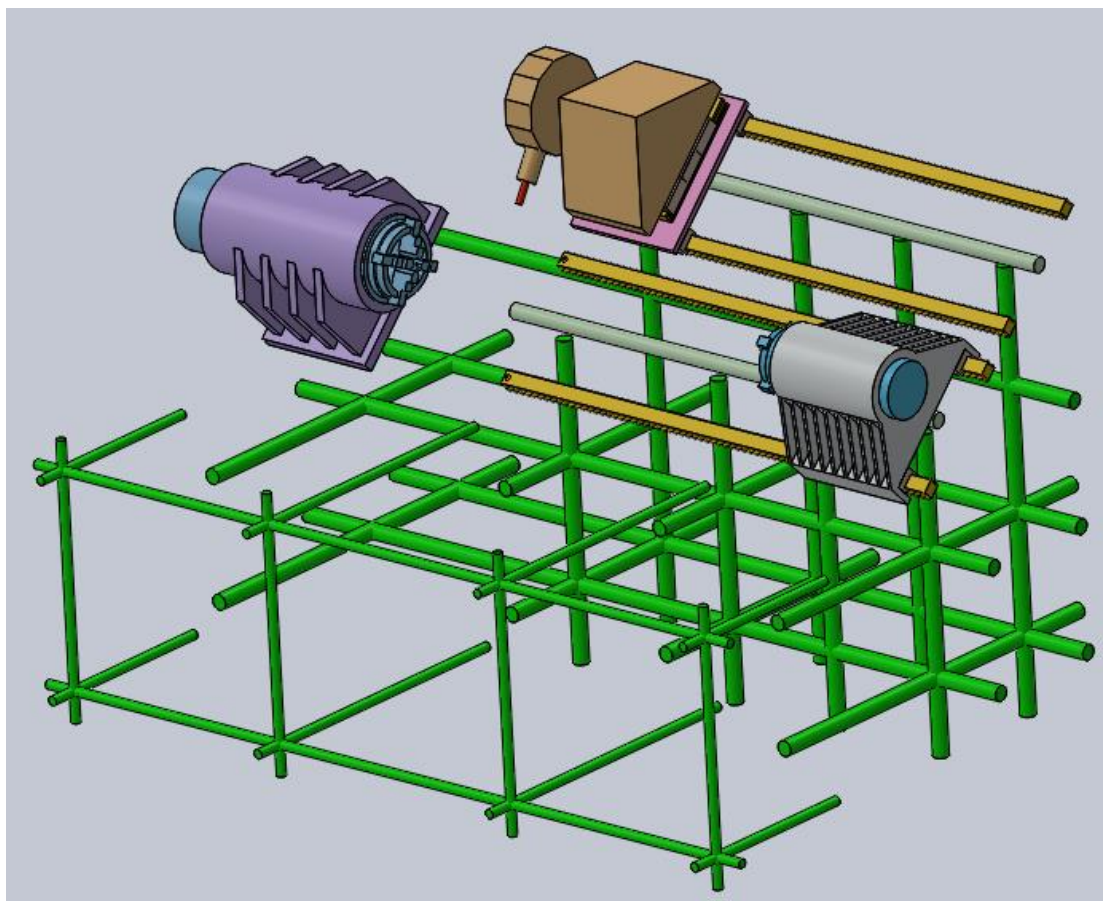
Obr. 43) Stroj 1 - půdorys [6]



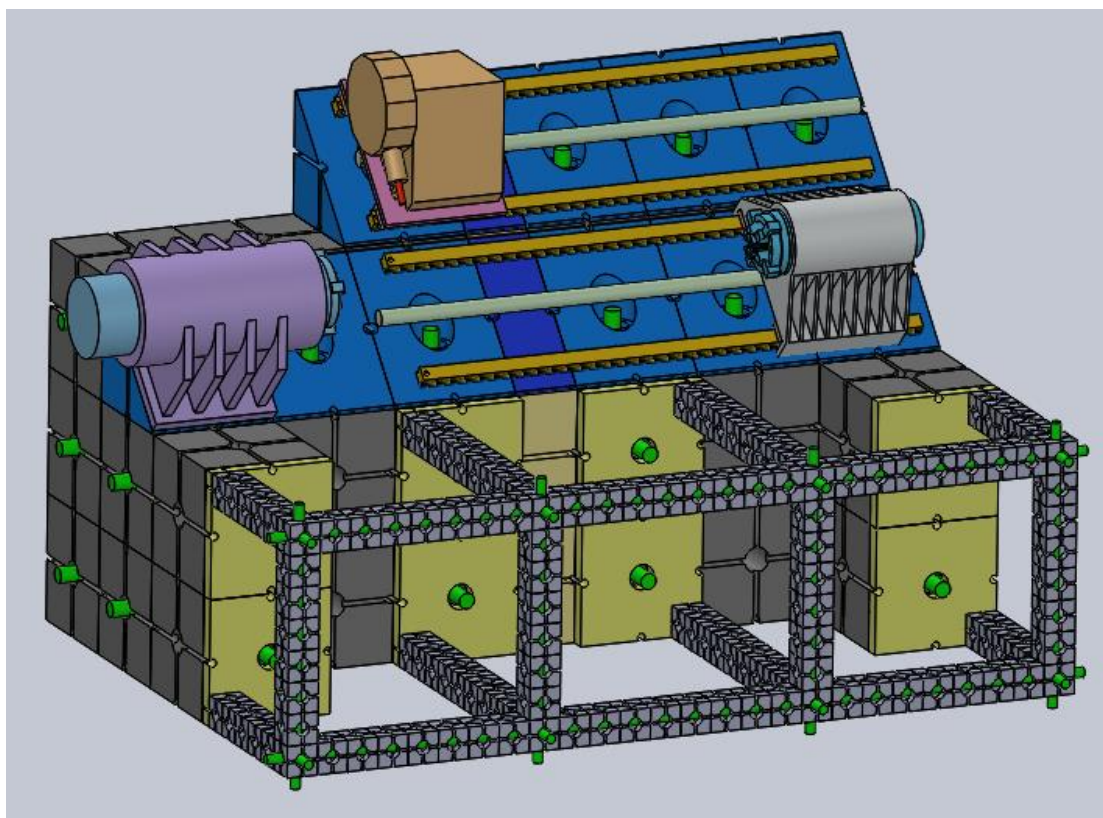
Obr. 44) Stroj 2 [6]



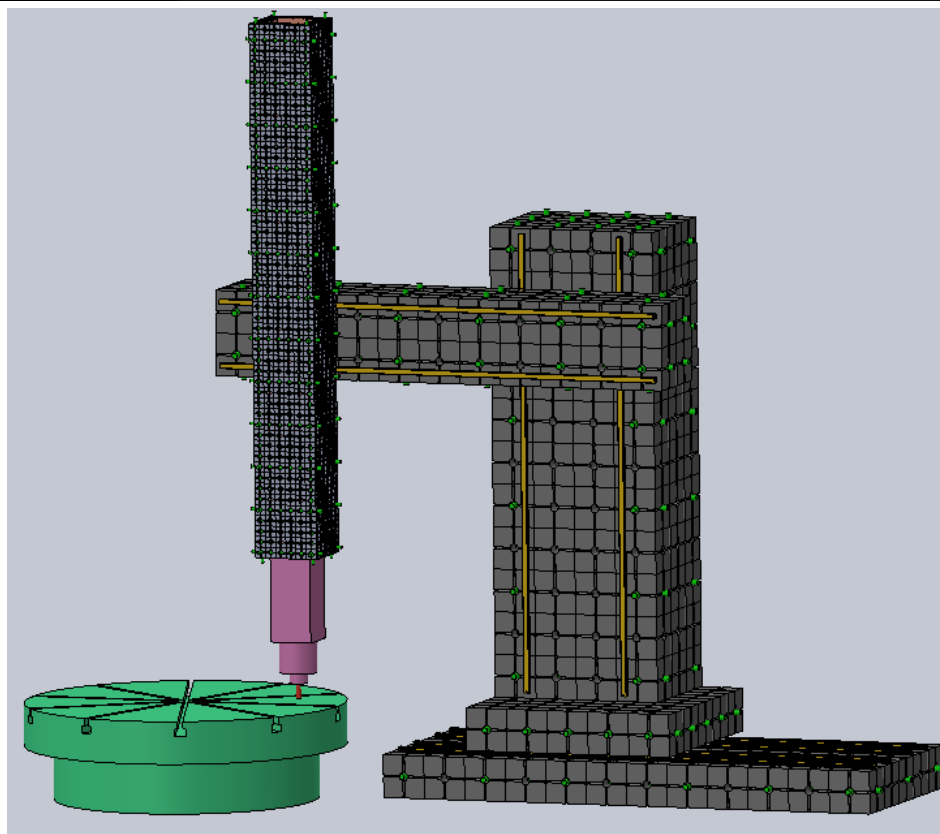
Obr. 45) Stroj 2 [6]



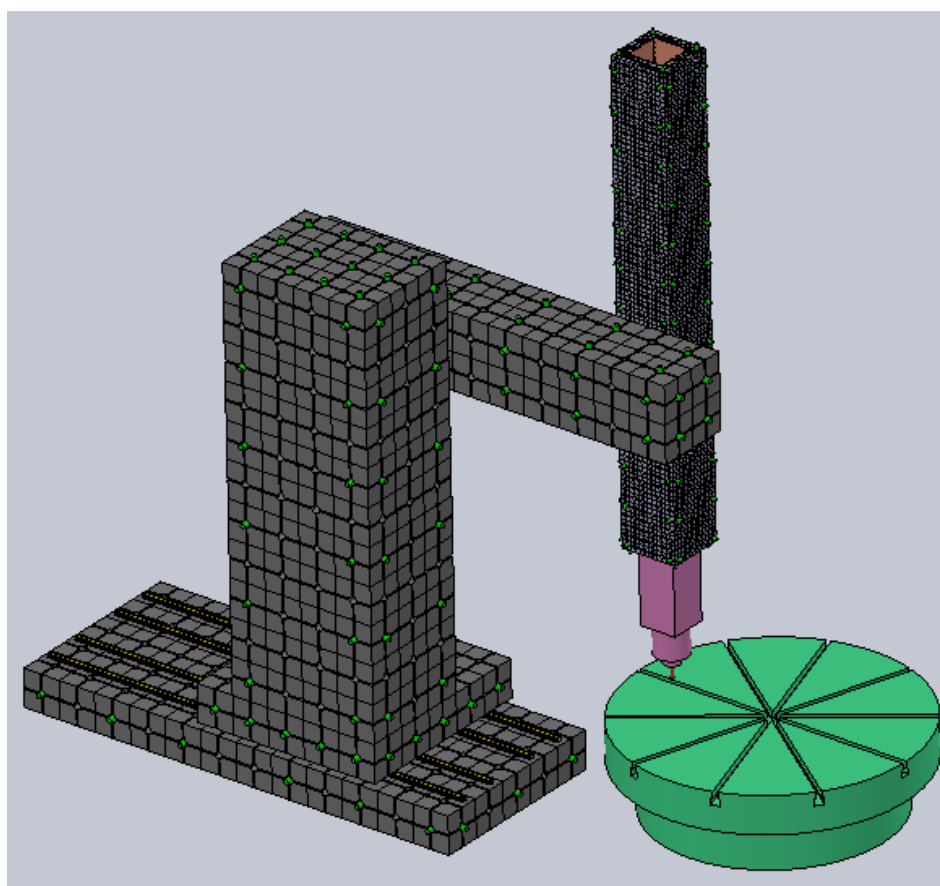
Obr. 46) Stroj 2 – pohled na svorníky [6]



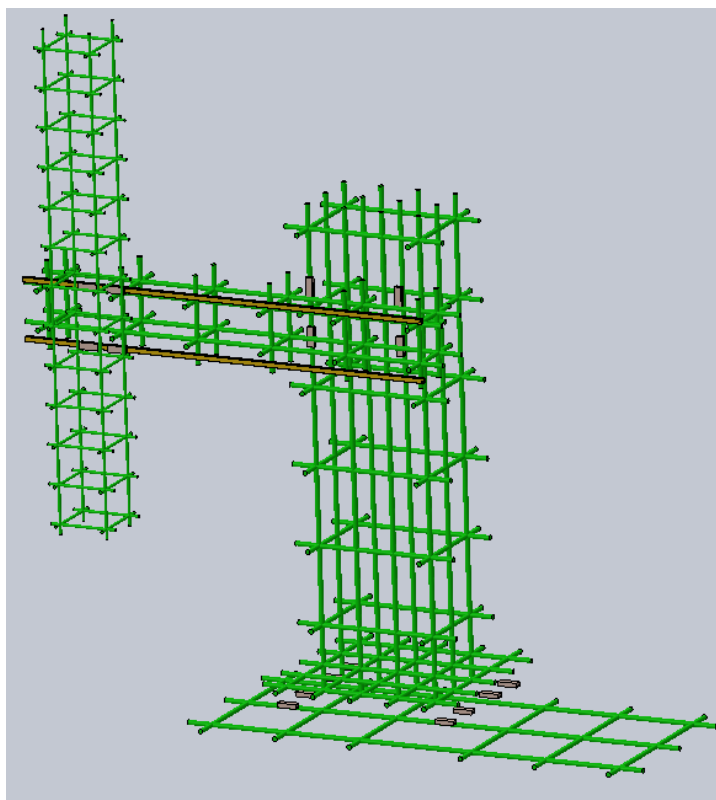
Obr. 47) Stroj 2 [6]



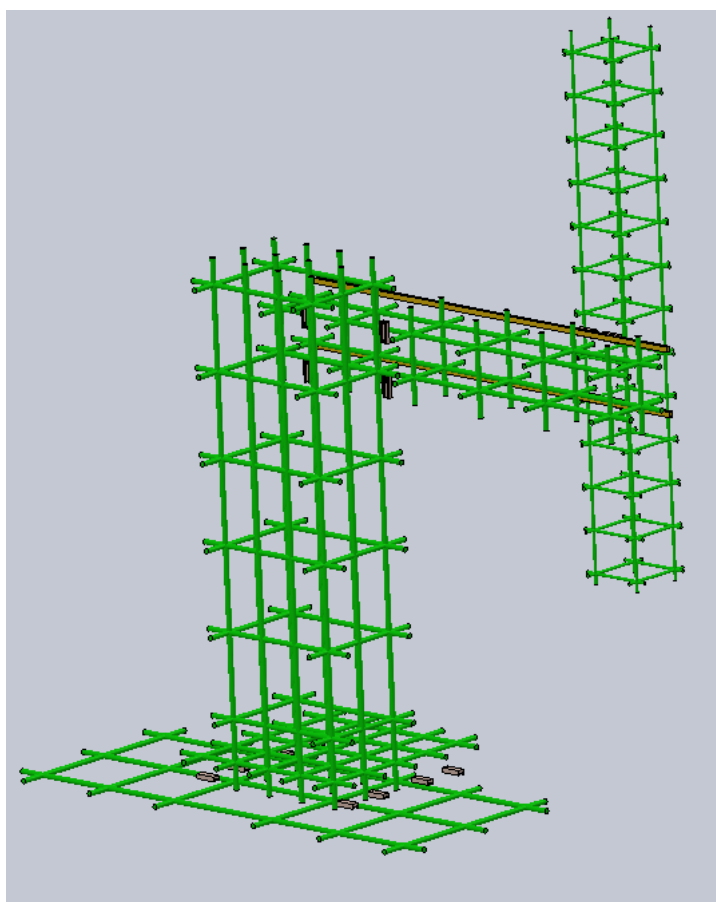
Obr. 48) Stroj 3 [6]



Obr. 49) Stroj 3 [6]



Obr. 50) Stroj 3 – pohled na svorníky [6]



Obr. 51) Stroj 3 – pohled na svorníky [6]

10 PŘEDMĚT DALŠÍHO BÁDÁNÍ

Předchozí kapitoly by měly sloužit jako souhrn informací a počátečních dat pro začátek zkoumání a prototypování nové technologie stavění nosných struktur obráběcích strojů.

Tato kapitola se věnuje rozvedení několika bodů, které bude potřeba dále prozkoumat a rozvést. Případně zohlednit jejich budoucí potenciál.

10.1 Materiály

Přesto, že jako ideální materiál byl stanoven beton, je nutné zohlednit progresivnost dnešní doby z hlediska vývoje a dostupnosti nových materiálů. Je vysoce pravděpodobné, že nový typ kompozitních materiálů by mohl být náhradou za navrhovaný HPC či alternativu UHPC. Další možnosti, které by mohly být využity jsou titanové a hořčíkové slitiny, nové typy keramik a další.

10.2 Technické výpočty

Celá problematika stavebnicové koncepce by se měla opírat o výpočty kontaktních úloh. Jedná se tedy o výsledky, které zjistí chování nejen jednoho elementu, ale také celé konstrukce. Je potřeba zjistit, jakým způsobem se budou chovat všechny druhy použitých prvků. Dále jak se bude prvek chovat v případě narušení struktury k upevnění hmoždinky pro uchycení periférií. Tedy celkově výpočty zaměřené na působení vnějších vlivů a maximální možnosti této koncepce.

10.3 Vibrace

Na celou konstrukci budou z různých zdrojů působit vibrace. Bohužel tento problém lze virtuálně simulovat velmi obtížně. Lepší řešení je tato data naměřit. Z tohoto důvodu bude potřeba udělat několik reálných modelů a ty vystavit patřičným vibracím. Lze předpokládat, že na jejich základě bude nutné strukturu či koncepci nějakým způsobem upravit. Ať už z nedostatečné pevnosti či životnosti jednotlivých dílů.

Velmi problematické je i odhadnutí chování jednotlivých krychlí vedle sebe, když budou vystaveny vibracím. Řešení tohoto problému lze nastínit, ale jednalo by se o čiré spekulace. Jako například vložení antivibrační vložky mezi každé sousedící krychle.

10.4 Testování

Aby bylo možné ověřit údaje z předešlých kapitol, je nutné provést testování a ověření výpočtů. Nejprve otestovat samostatně jednotlivé prvky a poté složitější struktury.

10.4.1 Prvky

Na základě spočítaných hodnot můžeme bezproblémově vystavit základní prvky, tedy krychli a čep, spočítanému zatížení a ověřit, zdali jsou spočítané výsledky správné. Dále budeme postupovat ke složitějšímu způsobu zatěžování. Jednalo by se již o osazenou krychli čepy.

10.4.2 Stroj

V poslední řadě je nutné postavit celý stroj. Tento stroj by měl stoprocentně potvrdit nebo vyvrátit možnosti této nové technologie výroby. Ověřovali by se na něm nejen předpokládané

výsledky výpočtů, ale také schopnosti tohoto stroje v praxi obrábět. Dále by tento stroj představoval nezanedbatelnou součást při prezentaci potencionálnímu zákazníkovi.

10.5 Postup návrhu

Je nutné přesně stanovit pravidla a doporučení, na jejichž základě se bude navrhovat a stavět stavebnicová konstrukce. Tento postup sice lze teoreticky sepsat a lze i upozornit na předpokládané problémy. Nelze ovšem s jistotou tvrdit, že se bude shodovat s praxí bez existujícího modelu.

10.5.1 Konstrukční CAD program

Pro maximální možnou efektivitu by bylo ideální vytvořit program (podobný CADu) či modul do stávajícího programu, který dovolí snadný návrh ze všech prvků. V závislosti na komplexnosti programu by se mohl pouze nakreslit celý stroj ve formě několika kvádrů. Program sám by určil a vložil ideální prvek, doplnil spoje, navrhl kotvy a na základě zvolených parametrů stroje vypočítal možnosti konkrétního návrhu.

10.6 Přípravky

V rámci celého návrhu byla během popisu několikrát zmíněna potřeba nutnosti použití přípravku. Jedná se hlavně o přípravek pro lisování čepů. Tento přípravek je potřeba navrhnout. Nejprve se musí ovšem přesně určit požadavky.

Dále je potřeba navrhnout přípravky pro správnou montáž svorníků a jejich utahování.

10.7 Alternativní využití

Pro případné zlevnění výroby na základě vyprodukovaného množství je potřeba zohlednit možnosti, jak zvýšit využitelnost zvolené koncepce. Je potřeba nalézt a vyzkoušet další průmyslová řešení, například použití pro stavbu jednoúčelových strojů, kde by se tato koncepce mohla vyplatit.

Koncepce krychle a čepu by mohla po zapracování buď rozšířit stávající sortiment široce používaných hliníkových systémů, nebo se stát částečně její konkurencí v případě, že by krychle byly vyráběny z hliníku či plastu.

Bez ohledu na použitý materiál se tento koncept ideálně hodí pro prototypové struktury.

10.8 Další koncepty

Přestože byla zvolena nejlépe vyhovující Koncepce II, nelze vyloučit, že po úpravě některé z koncepcí shledané jako nevyhovující by se výsledné hodnocení mohlo změnit. Bylo by tedy vhodné věnovat více času rozvedení a zdokonalení základní koncepce a zaměřit se na takovou koncepci, která by byla co možná nejvíce multifunkční. Dále je žádoucí se před vyhodnocením pokusit o realizaci prototypů o ověřit domněnky.

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nejprve je důležité upozornit, že v rámci ekonomického zhodnocení je zde několik slepých míst, které nelze žádným způsobem překlenout a které vylučují možnost přímého porovnání s konkurenčním strojem. Jedná se zejména o marže, které nelze určit. Dále se není možné dostat k částce za část stroje (rám, lože apod.), kterou firma zaplatí zprostředkovateli, jako je například odlitek, slévárně. Pokud bychom znali cenu materiálu, nelze přesně určit cenu stroje, protože výkresy strojů jsou neveřejné. Z těchto důvodů nebude provedeno žádné porovnání s konkurencí.

Cenovou nabídku na materiál, výrobu a opracování vláknového kompozitu se nepodařilo zajistit. Cenové kritérium bylo odvozeno na základě ceny 1 m² tkaniny. [16] Konkrétní materiály byly zvoleny dle všeobecného popisu jejich použití.

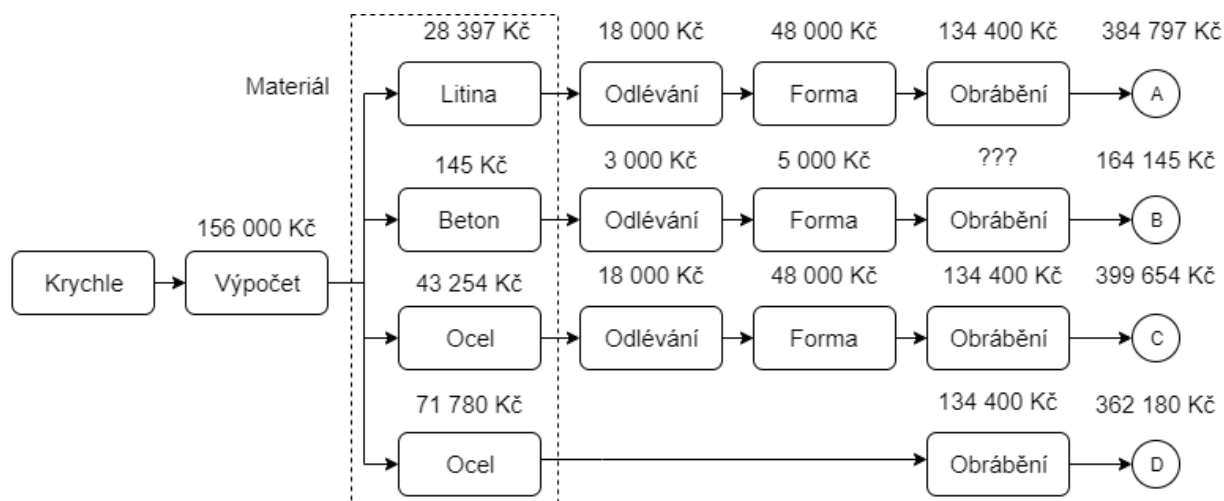
Na základě získaných dat a cenových nabídek proběhne zhodnocení dle materiálů pro výrobu krychlí pro Stroj 1 z předchozí kapitoly 9. Příklady strojů z modulární struktury. Pro hodnotu v tabulce je brána prostřední cena obrábění (Obr. 52).

11.1 Výpočet

První cenová nabídka je na výpočet. Jedná se o výpočet celé struktury obráběcího stroje dle modelu. Tento výpočet ovšem nelze považovat za finální. Protože model není kompletní, nelze ve výpočtu přesně zohlednit dynamické namáhání stroje od posuvných hmot a vlivu během samotného obrábění. Dále tedy nelze odhadnout vlastní frekvence stroje. U betonu musíme ještě započítat cenu nutných testů. Cena za výpočet je 156 000 Kč.[17]

11.2 Litina

U litiny byl zvolen konkrétní materiál 42 2304 (DIN GGG 40, EN-GJS-400-15). Cena tohoto materiálu byla stanovena na 68 Kč/kg. [18] Cena materiálu na jednu krychli je tedy 28 396,8 Kč. Cena za vytvoření formy a náklady na odlití byly stanovena na 48 000 Kč. Cena za opracování byla stanovena dle polotovaru a stoupají kvality na 41 000 Kč, 134 400 Kč. [24]



Obr. 52) Ekonomické schéma výroby krychlí Stroje 1 [6]

11.3 Beton

V případě betonu se na základě fyzikálních vlastností jedná o C80-95. Je ovšem téměř jisté, že se jedná o omyl, protože receptura betonu z tabulky je utajená. Společnost Fermat na žádost o sdílení informací o použitém materiálu či složení nijak nereagovala.

Musíme uvažovat dílčí cenu materiálu. Jedná se o cement, kamenivo a ostatní frakce. Ceny jsou uvedeny s DPH a z veřejně dostupných ceníků.

Dle konzultace s panem profesorem Terzijským z fakulty stavební by se mělo jednat o recepturu o konkrétním složení (Obr. 53). [19]

Cement – CEM I. 42,5 R – se prodává za 3436 Kč/t. [20]

Kamenivo – 0/4 mm Hulín – 321 Kč/t. [21]

Ostatní frakce – 4/8 a 8/16 Olbramovice – 460 Kč/t a 387 Kč/t. [21]

Plastifikátor – 30 Kč/kg. [22]

Zpomalovač – 40 Kč/kg. [22]

Voda průmyslová – 22,9 Kč/m³. [23]

	dávka kg/m ³
CEM I. 42,5	500
plastifikátor	7,5
zpomalovač	1
voda	150
kamenivo	
0/4 mm	880
4/8 mm	280
8/16 mm	645

Obr. 53) Tabulka receptury betonu [22]

Pokud vyčíslíme všechny náklady, dojdeme k částce za materiál na výrobu jedné krychle, která je rovna 144,07 Kč. Jeden kilogram směsi má cenu 1,0746 Kč. Cena jednoho 1m³ o hmotnosti 2 458,5 kg je 2 647,33 Kč. V případě jiného složení jsou ovšem tyto hodnoty nepřesné.

Tato cena odpovídá přesně tvaru krychle. Není zde brán žádný ohled na případné obrábění. Reálná cena, kdy budeme uvažovat přídatky na obrábění, bude tedy mírně vyšší. Cena za zpracování je stanovena na 3 000 Kč. Cena za formu byla stanovena na částku 5 000 Kč. V případě, že by byl beton armovaný, byla by cena ještě vyšší. [26]

Bohužel se nepovedlo nalézt firmu, která by se veřejně zabývala přesným obráběním betonu. Cena za opracování je tedy neznámá. Přesto, že Fermat se zabýval obráběním betonu a fotografie přímo z procesu jsou veřejné, tak se jednalo o interní záležitost. Tuto službu neposkytuje.

11.4 Ocel

Vzhledem k rozdílným možnostem vytvoření krychle z oceli je vhodné jí rozdělit do podkapitol. Nepodařilo se nalézt firmu, která by byla ochotná udělat cenovou nabídku na práci za výkovek, a tudíž ani cenu materiálu výkovku. Cenu za vytvoření zápustky by bylo možné zjistit, ovšem nelze s jistotou říci, že by zápustka plně vyhovovala potřebám kování, protože autor práce nemá s návrhem zápustky žádné zkušenosti. Cena za obrábění by byla patrně velmi podobná jako u ostatních materiálů. Vzhledem k absenci navazujících dat je ovšem tato cena přinejmenším zavádějící, a proto zde není uvedena.

11.4.1 Odlitek

V případě odlévání oceli se jedná o materiál 42 2650. Cena tohoto materiálu byla stanovena na 95 Kč/kg. [20] Cena materiálu na jednu krychli je tedy 43 253,5 Kč. Cena za vytvoření formy a náklady na odlití byla stanovena, stejně jako u litiny, na 48 000 Kč. Cena za opracování byla stanovena dle polotovaru a stoupají kvality na 41 000 Kč, 134 400 Kč. [24]

11.4.2 Obrobek

V případě zakoupení polotovaru, jehož nejbližší rozměry jsou 600 x 450 mm, můžeme volit ze dvou dostupných materiálů 1.2080 (X210Cr12) a 1.2379 (X153CrMoV12). Cena těchto materiálů byla stanovena na 82,6 Kč/kg a 99,4 Kč/kg. [25] Cena materiálu na jednu krychli je tedy 71 779,4 Kč a 86 378,6 Kč. Vzhledem k tomu, že nabízené rozměry silně nevyhovují potřebám polotovaru pro obrobek krychle, lze předpokládat, že při velké poptávce by mohl být dodán požadovaný rozměr polotovaru. Tím by se snížila cena materiálu. Cena za opracování byla stanovena dle stoupají kvality na 41 000 Kč, 134 400 Kč. [24]

11.5 Ostatní náklady

Všechny výše uvedené ceny a cenové nabídky se odvíjely od požadavku na výrobu jednoho kusu (Tab 11). V případě většího počtu kusů je jisté, že by cena na jednu krychli klesla než v případě prostého vynásobení ceny potřebným počtem. S jak velkou hodnotou snížení lze počítat ovšem nelze odhadnout. Výslednou cenu ovlivňuje mnoho faktorů. Například vytíženost firmy a její finanční situace, všeobecné ceny práce na trhu, ceny materiálu a energií a další.

V rámci odhadu ceny stroje není a ani nelze započítat práce při montáži, přestože postup montáže je rámcově znám. Jedná se tedy o náklady, které cenu výrazně zvýší. Dále je potřeba počítat s místem, kde by k montáži docházelo a s náklady s tím spjatými.

Dále nebyla zjištěna cena na výrobu čepů a svorníků. Cena čepu bude silně ovlivněna požadovaným počtem kusů. Cena za obě položky bude ovšem v porovnání za cenu krychli značně menší.

Při vyhodnocení ceny jiných komponent než krychle o hraně 400 mm byl použitý přepočet přes poměr objemů.

Tab 11) Cena jedné krychle

	Litina	Beton	Ocel – odlitek	Ocel – obrobek
Cena [Kč]	228 979	8 145	243 654	206 180

11.6 Časová flexibilita

Základní myšlenka modulární struktury se opírá o možnost dodání stroje v mnohem kratším čase než v případě výroby konvenční metodou. Bohužel se termín dodání velmi špatně naceňuje. Jeho váha se silně liší v závislosti na zákazníkovi. Pokud budeme uvažovat dva stroje, jeden z modulární struktury a druhý konvenční výroby, o stejné ceně a stejných parametrech s rozdílným termínem dodání, domnívám se, že volba jasně hovoří ve prospěch modulární struktury. Do rozhodování ovšem vstupuje další řada faktorů jako jsou servis, renomé značky, nevýhoda novátorského přístupu a další.

Z těchto důvodů nelze tento benefit dostatečně ocenit. Patrně jedinou možností je postavit funkční prototyp stroje a oslovit potencionální zákazníky až s ním.

11.7 Shrnutí

Náklady na výrobu stroje jsou nepřesné. Pokud by došlo k realizaci, částky by se jistě lišily. Rozdíl v závislosti na použitých materiálech a technologiích by měl ovšem zůstat víceméně podobný.

Celková cena za stroj je aktuálně neznámá a dokud nebude vyhotoven přesný návrh stroje se všemi náležitostmi, bude jakýkoliv odhad silně nepodložený.

Cenové nabídky se bohužel plně neshodují s požadavky této práce. Cena za opracování odlitku o požadovaných přesnostech je tudíž neznámá. Hlavní příčinou je snaha porovnat stejně velké krychle. V případě maximální požadované přesnosti firma ani nebyla schopna požadovanou cenovou nabídku vytvořit s odůvodněním, že se jedná o téměř nesplnitelný požadavek. Lepší shrnutí finančních nároků se nepodařilo zajistit, z důvodu problematické komunikace s oslovenými společnostmi.

Všechny cenové nabídky jsou vyhotoveny pro jeden kus. V případě velkého množství vyráběných kusů by se snížila cena na výrobu jedné krychle, ale v případě odlitků by se zvýšila cena za formu.

Přestože se beton jeví jako ideální řešení, není tomu tak. Receptura, která je zde naceněna se od reálně používané bude výrazně lišit. Z dostupných zdrojů ovšem nebylo možné najít bližší informace o recepturách, která se používá v této problematice obráběcích strojů.

V případě voleného polotovaru z Ferony, materiál plně nevyhovuje požadavkům. Lze předpokládat, že v případě zájmu by bylo možné s firmou domluvit konkrétní rozměry polotovaru i jeho materiál. Oslovená firma na opracování sama navrhla jiný materiál – 1.2312. [24]

12 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Všechny aktuálně rozšířené a používané způsoby výroby nosných struktur obráběcích strojů se vytvářejí z co možná největších možných dílů. Tato práce se snaží o prozkoumání vývoje v opačném směru.

Byl vytvořen návrh několika možných variant, z kterých by mohla vzniknout výsledná struktura stroje. Dle bodového hodnocení byla zvolena varianta, která nejlépe vyhovovala stanoveným požadavkům. Zvolená varianta, tedy „krychle s čepy“, byla následně rozpracována tak, aby bylo možné tyto prvky nějakým způsobem vyrobit. Do základní dvojice přibyla celá řada dalších rozšiřujících prvků, díky kterým je možné celou strukturu lépe upravovat a rozšiřuje možnosti stavby.

Byl stanoven konkrétní typ materiálu, z kterého by se všechny vytvořené prvky měly vytvořit. Teoreticky bylo možné použít litinu, ocel, beton a vláknové kompozity. Z hlediska výroby by se jednalo o možnosti odlévání, kování, obrábění a lisování. Materiál byl stanoven na beton, který bude odlit do formy. Nelze ovšem vyloučit, že by se na základě výpočtů zvolený materiál změnil.

Z důvodu vybrání betonu jakožto materiálu krychle je obtížné stanovit řádné rozměry krychle tak, aby vzhledem k tvaru byla všude směs co možná nejvíce homogenní. Z tohoto důvodu byla zvolena krychle o hraně 400 mm. Abychom mohli mít adekvátní porovnání, byla tato krychle porovnána s jinými krychlemi z jiných materiálů. Z hlediska praktičnosti je tato volba ovšem spíše nesmyslná. Její vysoká hmotnost by poměrně výrazně znesnadnila samotnou montáž stroje. Nejedná se ovšem o tak zásadní problém. Zvýšilo by se potencionální riziko úrazu a narostly by další náklady z důvodu potřebných ručních manipulátorů použitých během montáže. V podstatě neřešitelným problémem je ovšem fakt, že takovéto krychle o požadovaných přesnostech nelze vyrobit.

Pro přesné stanovení působení sil na samostatný element použité krychle je nutné znát jaké síly a vlivy působí na celou strukturu. Z hlediska stanovení modelu pro výpočet se jedná o velmi komplexní úlohu, která by sama mohla být náplní diplomové práce a daná problematika přesahuje schopnosti a možnosti autora práce. Z tohoto důvodů jsou v práci uvedeny pouze výpočty, které by byly potřeba udělat, aby bylo splněno zadání práce.

Celá koncepce je prezentována na třech typech strojů. Vzhledem k typu použité koncepce by bylo vytváření různých alternativ řešení zbytečné. Jednalo by se o použití jiného typu kostky a rozdílný počet řad. Základní myšlenka by ovšem zůstala stejná. Z tohoto důvodu je prezentováno pouze jedno řešení.

Z hlediska časové náročnosti na výrobu jednoho stroje pomocí konvenčních technologií a pomocí modulárních konstrukce je na tom jednoznačně lépe modulární stroj. Je nutné ovšem zdůraznit, že finanční nároky, které jsou mnohdy důležitější než termín dodání, budou u modulárního stroje vyšší do doby, než bude plně zvládnutý proces výroby a montáže. Je sice možné prodávat stroje se ztrátou, ovšem vzhledem k omezenému trhu je takováto možnost silně riziková. Záleží ovšem na úhlu pohledu.

V rámci zhodnocení lze jednoznačně určit, že byla zvolena geometrie, která by měla vyhovovat pro potřeby vytvoření obráběcího stroje. Nebylo ovšem dosaženo přesného nadefinování parametrů konkrétních dílů na základě výpočtů či pokusů. Aby bylo možné celou

tuto práci, a hlavně její myšlenku využít v praxi, je nutné jí věnovat ještě mnoho hodin práce a studia navazující problematiky.

13 ZÁVĚR

Z hlediska zadání tato práce splnila své cíle, ačkoliv ne v plném rozsahu. V práci byly porovnány konvenční způsoby výroby pro pochopení řešené problematiky. Autor této práce navrhl dvanáct možných geometrických struktur stavebnicových systémů s použitím pro strojírenský průmysl, přednostně nosné konstrukce obráběcích strojů jako jsou například horizontální obráběcí centra na nerotační součásti s „O“ rámem, soustružnická centra a jednotožanové svislé karusely. Tato centra byla vybrána jako konkrétní reprezentativní příklady na základě doporučení vedoucího práce a osobního zhodnocení a uvážení autora. Hlavní díly strojů, které byly vytvořeny na základě stavebnicové koncepce, byly určeny na základě vlastního výběru jako nejvhodnější varianta.

Dle výsledků hodnotících kritérií jednotlivých koncepcí byla zvolena jako nejvhodnější Koncepce II na základě prvků krychle a čepu. Dle kritérií by se mohlo uvažovat ještě nad dvěma dalšími koncepty (Koncept VI a VII) s hodnocením blížícím se vybranému systému, ale v této práci se rozvíjí pouze jeden příklad.

Na základě vybrané koncepce byly navrženy rozšiřující prvky daného stavebnicového systému. Díky těmto rozšiřujícím prvkům jsme schopni dosáhnout větší variability možných sestav konstrukcí strojů při jejich navrhování.

Nebyl stanoven přesný výpočet, který by nějakým hlubším způsobem podpořil myšlenku a domněnky v této práci. Jedná se o rychlost montáže a s tím spojený termín dodání. Celá podstata této práce je v základu dosti kontroverzní myšlenka vzhledem ke strojařské konzervativnosti. Bez ohledu na to, zdali by existující modulární stroj byl funkční a konkurenceschopný, je nutné zvážit, jak složitou situaci by na trhu měl. Počáteční nedůvěra zákazníků by mohla být jedním z hlavních důvodů, proč by si tento typ strojů jen obtížně hledal své místo na trhu. Možné řešení tohoto problému je oslovení potencionálního investora, který by podstoupil riziko a učinil investici do tohoto projektu. Alternativa z hlediska grantů z akademické obce či jiných nezávislých finančních zdrojů by pravděpodobně nedokázala pokrýt všechny potřebné náklady na vývoj stroje.

Dalším velkým problémem této myšlenky je její komplexnost. Přesto, že výsledkem neměl být funkční prototyp, je zřejmé, že matematický model je klíčový pro další postup. Jedná se tedy o využití schopností člověka s odborností výpočtáře s praktickými zkušenostmi. V případě použití nekovového materiálu jako je beton bude pravděpodobně potřeba využití odbornosti dalšího specialisty s praxí pro přesné namíchání receptury. Pokud bychom pro volbu materiálu zvolily litinu bez ohledu na vědomosti, které autor práce nabyl v rámci studia, je vysoce pravděpodobné, že by jeho návrh odlitku, a hlavně samotné formy, uspěl až po několikátém pokusu.

V odstavci výše byla snaha zmínit fakt, že stejně jako konvenční obráběcí stroj nezvládne udělat jeden člověk, tak ani zdárné dokončení tohoto projektu, jehož základem je tato práce, není pouze v rukou jednotlivce. Pro vytvoření reálného prototypu by byl potřeba celý tým lidí a nezanedbatelný finanční základ.

Z důvodu zveřejnění této práce neobsahuje text veškeré know-how ohledně dané problematiky, které by mohlo vést k potencionálnímu finančnímu zisku druhé osoby. Dané oblasti bude věnována pozornost v následujícím doktorském studiu.

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Konstrukce CNC obráběcích strojů III. 3rd edition. Praha: MM publishing, 2014, s. 162-167. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] Odlévaný stroj. In: Stránský a Petržík [online]. Bílá Třemešná, 13.05.2019 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/stroje/feeler/hmc/fmh/fmh-400/fmh-400-konstrukce/>
- [3] Betonové lože. In: Technický portál [online]. 2013, 13.05.2019. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/konstrukce-obrabecich-stroju/konstrukce-cnc-obrabecich-stroju-6_20674.html
- [4] Stroj ze stavebnice. In: Instructables living [online]. 2012 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/Lego-CNC3D-printerplotter/>
- [5] Hliníkový systém. In: Instructables living [online]. 2012 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.aluteckk.sk/>
- [6] Práce autora
- [7] Polli-brick. Archello [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://archello.com/product/polli-brick>
- [8] Konstrukce CNC obráběcích strojů III. 3rd edition. Praha: MM publishing, 2014, s. 163. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [9] MAREK, Jiří. Beton [elektronická pošta]. Message to: 170657@vutbr.cz. 23. březen 2019 10:56 [cit. 2019-05-13]. Osobní komunikace
- [10] Vysokohodnotný beton. 2nd edition. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005, 163, 173. Betonové stavitelství. ISBN 80-86769-39-9.
- [11] Technologie betonu. 2. vyd. Brno: VUTIU, 2000, 186-187, 329-333. Učebnice (VUTIU). ISBN 80-214-1647-5.
- [12] Konstruování strojních součástí. 3rd edition. V Brně: VUTIU, 2010, s. 99-113. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [13] Konstruování strojních součástí. 5rd edition. V Brně: VUTIU, 2010, s. 213-215. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 918-80-7204-838-0.
- [14] VÁVRA, Pavel Ing. Strojnické tabulky: pro SPŠ strojnické s. 384-454. Vydání první. Praha: Státní nakladatelství technické literatury n.p., 1983. 672 s. L13-C2-V-84/25705
- [15] Materiálová charakteristika z knihovny ANSYSu verze 19.2 [13.05.2019] - Structural Steel
- [16] Vláknový kompozit. Alibaba [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/3mm-Temperature-Insulation-Pebble-Glass-Fiber_60574934638.html?spm=a2700.7724857.normalList.78.7ed855a43Z4seV
- [17] HERMANSKÝ, Dominik. Nacenění výpočtu [elektronická pošta]. Message to: 170657@vutbr.cz. 15. květen 2019 11:48 [cit. 2019-05-22]. Osobní komunikace
- [18] OMES, Jiří. Cenová nabídka na výrobu krychle z litiny a oceli [elektronická pošta]. Message to: 170657@vutbr.cz. 14. květen 2019 5:04 [cit. 2019-05-22]. Osobní komunikace
- [19] TERZIJSKI, Ivailo. Nacenění ceny betonu [elektronická pošta]. Message to: 170657@vutbr.cz. 5. květen 2019 17:50 [cit. 2019-05-22]. Osobní komunikace

- [20] Cement a kamenivo. Heidelberg cement [online]. 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/tisk-a-media/dokumenty-ke-stazeni>
- [21] Cement a kamenivo. Heidelberg cement [online]. 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/tisk-a-media/dokumenty-ke-stazeni>
- [22] TERZIJSKI, Ivailo. Receptura betonu [elektronická pošta]. Message to: 170657@vutbr.cz. 5. květen 2019 17:55 [cit. 2019-05-22]. Osobní komunikace
- [23] Cena vody. Pražské vodovody a kanalizace [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/cena-vodneho-a-stocneho/>
- [24] STANGLER, Jiří. Nacenění obrábění kostky z oceli a litiny [elektronická pošta]. Message to: 170657@vutbr.cz. 29. květen 2019 13:36 [cit. 2019-05-13]. Osobní komunikace
- [25] Cena polotovaru oceli. Feron online [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/25373/blok-obdelnikovy-din-7527-6-rozmer-600x450>
- [26] PEKÁREK, Jaroslav. Zpracování betonu a zpracování formy na beton [elektronická pošta]. Message to: 170657@vutbr.cz. 16. květen 2019 22:11 [cit. 2019-05-22]. Osobní komunikace

15 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

15.1 Seznam zkratk

CAD	–	Computer aided design
HPC	–	High performance concrete
UHPC	–	Ultra high performance concrete

15.2 Seznam symbolů

mm	–	milimetr
m	–	metr
m ²	–	metr čtvereční
cm ³	–	centimetr krychlový
m ³	–	metr krychlový
kg	–	kilogram
t	–	tuna
%	–	procento
Pa	–	Pascal
MPa	–	Megapascal
N	–	Newton
Kč	–	Korun českých

15.3 Seznam obrázků

- | | | |
|-----|---|-------------------------|
| 1. | – | Odlévání stroj – litina |
| 2. | – | Betonové lože |
| 3. | – | Stroj ze stavebnice |
| 4. | – | Hliníkový systém |
| 5. | – | Koncepce I |
| 6. | – | Koncepce II |
| 7. | – | Koncepce III |
| 8. | – | Koncepce IV |
| 9. | – | Koncepce V |
| 10. | – | Koncepce VI |
| 11. | – | Koncepce VII |
| 12. | – | Koncepce VIII |

13. – Koncepce IX
14. – Koncepce X
15. – Koncepce XI
16. – Vybraná koncepce
17. – Čepy
18. – Spojovací prvky vlevo a) a vpravo b)
19. – Alternativy jedné podložky pod svorníky
20. – Vlevo podložka pod svorníky plošná, vpravo podložka pod svorníky
rohová
21. – Vlevo vnitřní roh, vpravo zkosení
22. – Vlevo vnitřní rádius, vpravo vnější rádius
23. – Vlevo napojení pod úhlem se svorníkem, vpravo napojení pod úhlem bez
svorníku
24. – Vlevo jedna vložka – A, vpravo dvojitá vložka – B
25. – Vlevo závitová vložka C v řezu, vpravo detail spojení
26. – Vlevo závitový čep a, vpravo závitový čep b
27. – Křížový spoj – čtvrt kruh v řezu
28. – Křížový spoj – vrtaný
29. – Detail osazení krychle
30. – Osazení periferií
31. – Osazené lože
32. – Diagram materiálů a technologie výroby
33. – Plastový čep se záliskem
34. – První iterace výpočtu krychle
35. – Vlevo druhá iterace, vpravo třetí iterace výpočtu krychle
36. – Čtvrtá iterace výpočtu krychle
37. – Závěrečná iterace výpočtu krychle
38. – Stroj 1
39. – Stroj 1
40. – Stroj 1 – pohled na svorníky
41. – Stroj 1 – bokorys
42. – Stroj 1 – nárys
43. – Stroj 1 – půdorys
44. – Stroj 2

- 45. – Stroj 2
- 46. – Stroj 2 – pohled na svorníky
- 47. – Stroj 2
- 48. – Stroj 3
- 49. – Stroj 3
- 50. – Stroj 3 – pohled na svorníky
- 51. – Stroj 3 – pohled na svorníky
- 52. – Ekonomické schéma výroby krychlí Stroje 1
- 53. – Tabulka receptury betonu

15.4 Seznam tabulek

- 1. – Váha parametrů volby koncepce
- 2. – Hodnocení koncepce
- 3. – Vyhodnocení parametrů koncepce
- 4. – Rozměry prvků
- 5. – Váha parametrů materiálu
- 6. – Hodnocení materiálů
- 7. – Vyhodnocení volby materiálu
- 8. – Parametry Stroje 1
- 9. – Parametry Stroje 2
- 10. – Parametry Stroje 2
- 11. – Cena jedné krychle

16 SEZNAM PŘÍLOH

16.1 Součást práce

- [8] – Tabulka materiálů
- [9] – Tabulka materiálů
- [15] – ANSYS tabulka materiálů
- [17] – Cenová nabídka výpočtu
- [18] – Cenová nabídka na výrobu kostky z litiny a z oceli
- [19] – Nacenění ceny betonu
- [24] – Cena obrábění
- [26] – Zpracování betonu a zpracování formy na beton

16.2 Externí přílohy

- Výkres kostky – hrubý
- Výkres kostky – upravený
- Výkres kostky – malá přesnost
- Výkres kostky – střední přesnost
- Výkres kostky – vysoká přesnost
- Výkres kostky – polotovár odlitku
- Výkres kostky – beton
- Výkres čepu
- Výkres sestavy Stroje 1

PŘÍLOHY

Tabulka materiálů

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

Tab. 3.1.1: Fyzikální vlastnosti materiálů nosných soustav [Mráz, Talácko 2006]

Tabulka materiálů

Ukázky činnosti – betonové konstrukce

	Beton *	Ocel 11 523 (1.0570) **
Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	2340	7850
Pevnost v tlaku [MPa]	95,7	-
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	7,8	-
Pevnost v prostém tahu [MPa]	-	490-630
Mez kluzu [MPa]	-	355
Modul pružnosti [GPa]	50	206
Součinitel teplotní délkové roztažnosti [K ⁻¹]	10.10 ⁻⁶ ***	12.10 ⁻⁶

*parametry dosažené po 28 dnech stárnutí (měření ADMAS)

Zdroj: TOS Kuřim

**parametry oceli jsou uváděny z materiálového listu pro danou ocel

*** součinitel teplotní délkové roztažnosti nebyl exaktně stanoven, hodnota je obecní

(součinitel teplotní délkové roztažnosti oceli a betonu je téměř identický, z toho důvodu při teplotním zatěžování nedochází k vzájemnému oddělení obou složek)

ANSYS tabulka materiálů

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's ...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Cenová nabídka výpočtu

hermanský@hdconstruction.sk

st 15. 5. 11:48 (před 5 dny)

komu: já ▾

Dobrý deň pán Dvořák,

orientačná odhadovaná cena za výpočet je max. 6000 eur.

Odhadovaný čas 120 hodín – hodinová sadzba 50,- EUR/hod.

S pozdravom

Ing. Dominik Hermanský

Mobil: +421 910 275 219

Email: hermanský@hdconstruction.sk

hermanský@kovymont.sk



H&D
construction

H&D CONSTRUCTION, S.R.O., 919 23 VLČKOVCE NO. 372

Cenová nabídka na výrobu kostky z litiny a z oceli

Jiří OMES

pá 10. 5. 5:29 (před 10 dny)



komu: já ▾

Dobrý den pane Dvořáku,

mám první ceny pro výrobu kostky. Materiál 42 2304 je temperovaná litina, oproti šedé má lepší mechanické vlastnosti ekvivalent podle nového značení je dle DIN GGG 40 nebo dle EN je to EN-GJS-400-15.

Druhý materiál je ocel na odlitky uhlíková, to jsem nějak opomněl, že se z toho taky odlévají stojany, vzhledem k vyššímu obsahu uhlíku mají při odlévání také lepší zabíhavost a tento materiál 42 2650 má pevnost okolo 500 MPa.

Modelové zařízení: 48 000,-Kč

Litina 42 23 04: 68,-Kč/kg

Ocel 42 26 50: 95,-Kč/kg

Opracování: 18 000,-Kč

ještě jsem poptávku poslal na jednu adresu, zatím bez odpovědi.

S pozdravem

Jiří OMES

út 14. 5. 5:04 (před 6 dny)



komu: já ▾

Dobrý den pane Dvořáku,

ještě Vám zasílám jednu kalkulaci, kde je stejný mat. GJS - 400 a velmi dobrý materiál o ocel na odlitky 42 2709.

Vnější polochy budou opracovány 6,3. Otvory 12,5.

V polotovaru odlitku bude otvor D 70.

jakost: GJL-400

Materiál: 35 320,-Kč

Náklady výroby: 108 462,-Kč

jakost: 422709

Materiál: 53 270,-Kč

Náklady výroby: 127 041,-Kč

Příjemný den

Jiří Omes

----- Původní zpráva -----

Od: "Jiří Dvořák" <170657@vutbr.cz>

Komu: "Jiří OMES" <omes@fme.vutbr.cz>

Odesláno: pátek, 10. květen 2019 21:52:00

Předmět: Re: Prosba - orientační cenová nabídka

Nacenění ceny betonu

Ivailo Terzijski

ne 5. 5. 17:50 ☆ ↶ ⋮

komu: já ▾

ne 05.05.2019 v 12:28 Jiří Dvořák napsal(a):

Dobrý den,

tak jsem z těch Vašich podkladů vydedukoval (podle pevnosti v tlaku) odpovídající složení betonu a k tomu posílám veřejné ceníky cementu (uvažujte CEM I 42,5 R a kameniva (uvažujte 0/4mm Hulín, ostatní frakce Olbramovice). Spočítat dohromady si to musíte sám.

Zdraví

I. T.

prof. Ing. Ivailo Terzijski, CSc.

Ústav betonových a zděných konstrukcí

Fakulta stavební

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Veveří 331/95, Brno, 602 00

T: 5 4114 7850

terzijski.i@fce.vutbr.cz

www.bzk.fce.vutbr.cz



Ivailo Terzijski

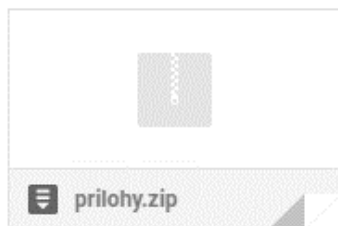
📎 ne 5. 5. 17:52

komu: já ▾

Ještě ty přílohy

Dne 05.05.2019 v 12:28 Jiří Dvořák napsal(a):

--



Odpovědět



Přeposlat

Cena obrábění

JS

Jiri Stangler jiri.stangler@optimogroup.cz ▾

Komu: dvor.jirka@seznam.cz

✉ Nabídka prototypu "Krychle"

Dobrý den,

děkuji Vám za důvěru, že jste se na nás obrátil s poptávkou na výrobu prototypů segmentu "Krychle".

Bohužel, jak jsem předeslal při našich rozhovorech, jsme schopni nabídnout pouze variantu v nejnižší a střední třídě přesnosti. Obávám se, že pro nejvyšší třídu přesnosti nejsme schopni odpovídající dodavatele v rámci EU ani kooperačně zajistit. Jednalo by se systém výroby 1 ze 100, kdy by musely být polotovary po všech dílčích operacích kontrolovány, měřeny a vybírány pouze ty nejlepší kusy. Jistě pochopíte, že by práce na 1 finálním kusu "spolkla" kapacitu nástrojárny možná na několik měsíců a domnívám se, že by se cena pohybovala v řádech milionů.

Variantu výroby těchto dílců z litiny vidím z našeho pohledu bez přípravy nereálně i v nejméně přesné variantě.

Z hlediska výrobních aspektů bych doporučil použít spíše ocel 1.2312

Nabídku naleznete v příloze. Pokud by došlo k výrobě segmentu, dodatečně bychom doladili termín, materiál a v rámci smlouvy i ostatní aspekty.

Přeji Vám mnoho úspěchů.

S pozdravem,

Ing. Jiří Štangler
Jednatel společnosti



+420 776 610 784

www.optimogroup.cz



Husova 74
Horní Jelení
53374
www.optimogroup.cz

Bc. Jiří Dvořák

Nabídka č. 19077

Dobrý den,

na základě vzájemné komunikace si Vám dovoluujeme nabídnout

Výrobu prototypu segmentu podle výkresu Krychle 400x400x400 mm

I. nízká přesnost – cena za výrobu 41.000 Kč bez DPH

polotovár „Feron“ - zajistí zákazník. Pokud nebude jakost polotovaru odpovídat požadavkům pro výrobu, materiál zajistíme vlastní 1.2312 v ceně **75.280 Kč bez DPH za kus.**

II. střední přesnost – cena za výrobu 134.400 Kč bez DPH

materiál zajistíme vlastní 1.2312 v ceně **75.280 Kč bez DPH za kus.**

III. vysoká přesnost – nenabízíme

IV. výroba z polotovaru odlitku - nenabízíme

Pltnost nabídky je 60 dní.

Pro Bc. Jiřího Dvořáka připravil dne 9.5.2019

Ing. Jiří Štangler
Jednatel společnosti


+420 776 610 784
www.optimogroup.cz


Optimo Group s.r.o.
Husova 74, 533 74 Horní Jelení
IČ: 03313301 DIČ: CZ03313301
zapsána v OR KS v HK, odd.C, vložka 34015

Zpracování betonu a zpracování formy na beton



PJbeton

komu: já ▾

čt 16. 5. 11:48 (před 4 dny)



Cenu formy ze železa bych odhadoval na cca 4000-5000kč bez DPH.

Cena betonové krychle cca 3000kč bez DPH.

Ceny jsou pouze orientační .Snad Vám to pomůže:)

--

S pozdravem,

Pekárek Jaroslav

PJbeton

+420 731 768 088

----- Původní e-mail -----

Od: Jiří Dvořák <170657@vutbr.cz>

Komu: PJbeton <pjbeton@seznam.cz>

Datum: 16. 5. 2019 11:39:19
