



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Konstrukční návrh medometu

Constructional design of honey extractor

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Jan DUŠEK

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 22301T047 Dopravní letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Češpíro, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dušek** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **382458**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Konstrukční návrh medometu

Název diplomové práce anglicky:

Constructional design of a honey extractor

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte podobu a konstrukci medometu na základě rešerše možných uspořádání. Medomet bude určen pro včelaře s menším až středním počtem včelstev. Vyřešte konstrukční uspořádání a navrhněte pohon medometu. Pro důležité části zařízení proveďte kontrolní výpočty.

Seznam doporučené literatury:

Bolek, A., Kochman, J.: Části strojů. SNTL Praha, 1989
Švec, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. ČVUT Praha, 1997
Švec, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. ČVUT Praha, 1999

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Zdeněk Češpíro, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **09.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.12.2019**


Ing. Zdeněk Češpíro, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

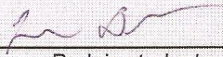

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Konstrukční návrh medometu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Češpíra, Ph.D., s použitím literatury, která je uvedená na konci diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne: 12.7.2019

Bc. Jan Dušek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Zdeňkovi Češpírovi, Ph.D., za vstřícnost a ochotu při konzultacích a vypracování diplomové práce. Dále mé poděkování patří Ing. Miroslavě Sykové za podporu a korekturu práce, doc. Ing. Martinovi Novákovi, Ph.D., Ing. Pavlovi Syrovátkovi a Ing. Janu Andrušovi za poskytnuté konzultace a v neposlední řadě celé mé rodině za podporu a pomoc při celém studiu.

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Jan Dušek
Název DP:	Konstrukční návrh medometu
Anglický název:	Constructional design of honey extractor
Rok:	2019
Studijní program:	N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Obor studia:	22301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí DP:	Ing. Zdeněk Češpíro, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 63 počet obrázků 62 počet tabulek 14 počet příloh 8
Klíčová slova:	medomet, vytáčení medu, návrh medometu, konstrukce, výpočty
Keywords:	honey extractor, honey harvest, design of honey extractor, construction, calculation
Anotace:	Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem medometu dle zadaných parametrů. Dle rešerše byl navržen celý medomet včetně konstrukčního uspořádání a volby pohonu. U nově vzniklé konstrukce byly provedeny výpočty týkající se kinematiky stroje, pohonu a pevnostních výpočtů u vybraných částí medometu. Byl vytvořen 3D model a vybrané části byly kontrolovány pomocí MKP.
Abstract:	This diploma thesis deal with the constructional design of the honey extractor by according to the given parameters. According to the research was putted forward a new honey extractor with constructional configuration and suggested drive. It was made calculation about new design, which was about machine kinematic, drive and strength calculation for selected parts of honey extractor. It was created 3D model and selected parts were checked by FEM.

Obsah

1. Úvod	1
1.1. Cíl práce	3
2. Rešerše	4
2.1. Včelí úl a způsoby získávání medu	4
2.1.1. Seznámení s včelím úlem a metodikou chovu včel.....	4
2.1.2. Způsoby získávání medu.....	5
2.2. Přehled medometů na trhu	8
2.2.1. Historie medometů	8
2.2.2. Konstrukce medometů.....	9
2.2.3. Typy medometů	10
3. Návrh medometu	14
3.1. Komplexní volba jednotlivých parametrů medometu	14
3.1.1. Počet rámků	14
3.1.2. Typ medometu	15
3.1.3. Výška kuželového dna	15
3.1.4. Poloha motoru s převodovkou.....	15
3.1.5. Typ motoru a způsob řízení.....	16
3.1.6. Další elektronické prvky	18
3.1.7. Způsob napájení motoru	19
3.1.8. Vybraná varianta parametrů medometů	19
3.2. Experimentální měření maximální váhy rámků	20
3.3. Postup při vytáčení medu v medometu	21
3.4. Určení zatížení medometu	23
3.4.1. Reakce na hřídeli koše.....	26

3.5. Volba ložisek	27
3.6. Návrh převodu	30
3.7. Materiál konstrukce	32
3.8. 3D model.....	33
3.9. Výkres sestavy	34
3.9.1. Koš medometu	34
4. Kontrolní výpočty	36
4.1. Hřídél koše	36
4.2. Horní nosník	39
4.2.1. Analytický výpočet.....	39
4.2.2. Numerický výpočet.....	40
4.3. Matice uchycující nosník k plášti	42
4.4. Kuželové dno	43
4.5. Kolík mezi hřídelemi	46
4.6. Dynamická analýza	47
5. Závěr	50
Seznam zkratk a symbolů	52
Seznam použité literatury	54
Seznam použitého softwaru.....	58
Seznam obrázků.....	59
Seznam tabulek	62
Seznam příloh.....	63

1. Úvod

Včely žijí v úlech či v přírodních dutinách stromů, skal apod. V nich si staví voskové dílo díky svým voskovým žlázám, kam si ukládají zásoby medu, pylu a kde vychovávají mladou generaci včel. Na obr. 1 můžete vedle sebe vidět uložený med, pyl i včelí plod ve voskovém díle.



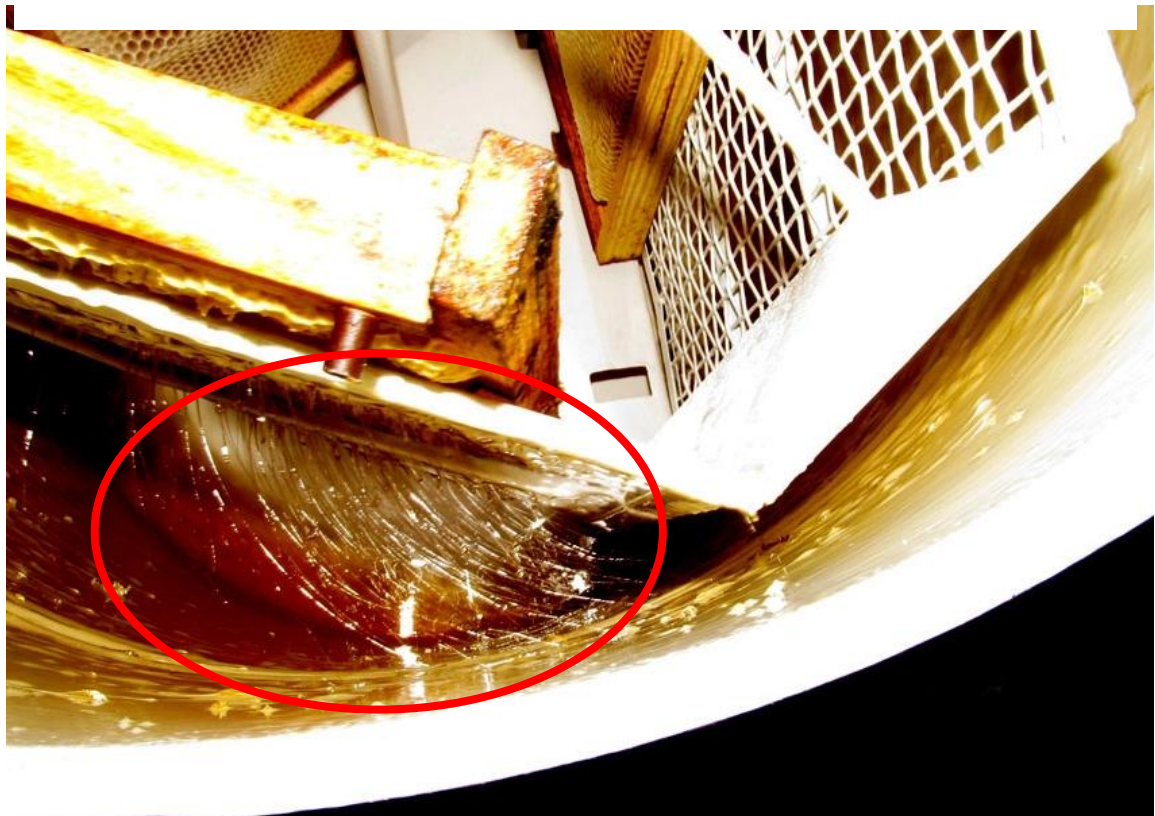
obr. 1.: Rámek z včelího úlu s včelnicí v pozadí

Úl je rozebíratelný na jednotlivé nástavky a rámkové díly, které v nich visí. Hlavním důvodem rozebíratelnosti úlu je možnost opětovného použití díla po vytáčení medu z voskových plástů. Neméně důležité jsou ale i důvody kontroly včelstev během roku kvůli případným nemocem. Třetím důvodem je samotná metodika chovu včel a množení včelstev. Včelařství je velmi pestrý obor. Existuje několik způsobů chovu včel v mnoha různých typech úlů a rámkových mírách. Nejvíce rozšířené rámkové míry v České republice jsou: 39 x 24 cm, 44,8 x 15,8 cm (Langstroth 2/3), 39 x 30 cm a mnoho jiných.

Nejčastěji se v dnešní době včelaři v úlech, které se dají rozebírat na jednotlivé rámkové díly, uvnitř kterých jsou voskové plástve. Med se dnes nejčastěji získává pomocí vytáčení medných rámků (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) v medometu (obr. 3).



obr. 2.: Rámek plný zavíčkovaného medu [20]



obr. 3.: Med stříkající z rámku při vytáčení v medometu [21]

1.1. Cíl práce

Cílem práce je v první řadě seznámení se všemi typy medometů, které se v dnešní době vyrábějí. Po důkladné rešerši má vzniknout návrh nového medometu, který bude splňovat kritéria zadání práce. Návrh se má týkat medometu jako celku, tedy jak koncepce, tak i konstrukce a pohonu. Důležité části konstrukce mají projít kontrolními výpočty.

Medomet má splňovat tyto kritéria:

- medomet určený pro včelaře s menším či středním počtem včelstev (6 - 20)
- pro rámkový typ Langstroth 2/3, které se v ČR začínají progresivně rozšiřovat
- jednoduchost použití při medobraní
- jednoduchý na výrobu
- obsahující nové inovační řešení, které se na trhu zatím nevyskytuje

2. Rešerše

V této kapitole je stručně shrnuta problematika včelařství a jednotlivé způsoby získávání medu od včel. Druhá část rešerše se týká nyní dostupných a vyráběných medometů na našem trhu.

2.1. Včelí úl a způsoby získávání medu

2.1.1. Seznámení s včelím úlem a metodikou chovu včel

„Za téměř dvě století trvajícího vývoje úlových sestav bylo zkušenostmi potvrzeno, že se včelstva nejnáze ošetřují v nástavkových úlech. Zootechnické zásahy jsou založeny na přemísťování jednotlivých rámků, případně i celých nástavků.“ [1]

Dnes se ke včelaření nejčastěji používá nástavkový úl s rozebíratelným dílem (obr. 5, vpravo). Tím jsou myšleny na sobě ležící nástavky, ve kterých jsou vloženy jednotlivé rámkové díly, ve kterých včely vystaví voskové dílo. Toto notoricky známé šestihorné dílo používají včely jak pro odchování svého potomstva, tak i pro uchovávání zásob medu a pylu. Před vynálezem rozebíratelných úlů lidé včelařili v klátech vydlabaných z kmene stromu (obr. 4) či košnicích upletených ze slámy (obr. 5, vlevo). Ty ovšem neumožňovaly dílo zachovat při medobraní a kusy pláství s medem se musely odřezávat a med z nich extrahovat.



obr. 4.: Klátový úl [22]



obr. 5.: Košnice a nástavkový úl [1]

2.1.2. Způsoby získávání medu

Med se získává z pláství několika způsoby. Hlavní rozdělení je dvojitý, jestli jde o destrukční metodu pláství či nikoliv. Při lisování či tepelné extrakci se plástve nezachovávají. Naopak při vytáčení rámků v medometu jsou plástve zcela zachovány a včelí dílo lze používat i nadále. Nejprve však musíme plástve z úlů vyjmout. Odebírání medných rámků z nástavkového úlu je vidět na obr. 6 a z úlů pro volnou stavbu zase na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** a 8.



obr. 6.: Odebírání medných rámků z nástavkového úlu Langstroth 2/3 [23]



obr. 8.: Odebírání medných rámků z úlu typu Top bar hive [24]



obr. 7.: Odebírání medných rámků z úlu pro volnou stavbu bez rámků [25]

- **Lisování (samovolné vykapávání)**

Od pradávna se med z pláství divokých včel získával buď žvýkáním kusu plástvu či jeho rozmačkáním a následným vytečením (nejspíše do keramické nádoby). Někteří alternativní včelaři, kteří včelaří na „volné stavbě“ bez rámků, ještě dnes využívají této technologie. Odebrané medné plástve z úlu se buď rozřezou či rozmačkají na malé kousky a med se nechá přecedit přes síto (obr. 9). Případně se při větším množství pláství používá lis, aby se urychlila doba extrakce, či kvůli dosažení vyšší výtěžnosti medu z pláství.



obr. 9.: Rozřezání pláství a vykapání medu přes cedník [26]

- **Teplo**

Druhým způsobem destruktivního získávání medu z pláství je tepelná extrakce. Pro tuto metodu se používají plástve s velmi hustými a lepkavými medy či zbytky medu a vosku ze síta, které zbyly z předchozí technologie [2]. Plástve s medem se vloží do nádoby, která se zvnějšku ohřívá. Při zahřívání začne mít med nižší viskozitu a vosk se začne při překročení teploty 62 až 65 °C [3] tavit. Včelí vosk má hustotu 0,958 až 0,966 kg/dm³ a med má vyšší hustotu 1,4 až 1,45 kg/dm³ [4]. Vosk tedy začne plavat na hladině tekoucího medu a při chladnutí směsi pod uvedenou teplotu zůstane ztuhlý vosk plavat

na hladině medu. Ovšem med, který získáme tímto způsobem, má podstatně nižší kvalitu. Zaprvé přicházíme o biologicky aktivní účinné látky (enzymy), které se ničí při teplotě nad 40 (42) °C a kvůli kterým lidé med vyhledávají pro jeho léčivé účinky. A zadruhé se při vyšší teplotě ničí i další látky v medu obsažené [4]. Takovýto med se jen velmi těžko prodává koncovým spotřebitelům, je ale vhodný například do vařených jídel či na pečení.

- **Odstředivá síla („vytáčení“)**

Přes 150 let se už používá na extrakci medu medomet. Jde o zařízení fungující na principu odstředivé síly, které vytočí z odvíčkových rámků med. Odvíčkové rámkové se vloží do koše medometu a ručním nebo elektrickým pohonem se začne koš otáčet kolem své osy. Vyletující med dopadá na plášť medometu, stéká po stěnách dolů a vytéká otvorem u dna pláště.



obr. 10.: Odvíčkování a vkládání rámků do medometu [1]



obr. 11.: Odvíčkování rámků plného medu [5]

2.2. Přehled medometů na trhu

Tato kapitola shrnuje většinu dnes používaných a vyráběných medometů na trhu.

2.2.1. Historie medometů

Rozběrné dílo vynalezl Huber v roce 1789. S využitím rozebíratelného díla zaznamenalo včelařství rychlý posun. Za jednotku času se dalo obsloužit několikanásobně více včelstev, než tomu bylo do té doby u nerozebíratelných klátů či košnic [1]. Plástve se také nemusely ničit a tím se dalo získávat od včel více medu. Včelstvo totiž dokáže za rok vystavět půl až dva nástavky pláství velikosti Langstroth 2/3 a stojí ho to několik kg medu.

Neustále dochází k různým úpravám rámkové míry, nástavků a celého systému včelaření, ale jako jeden z nejdéle fungujících se osvědčil nástavkový úl typu Langstroth. Tento úl vynalezl a nechal si jej patentovat Američan Lorenzo Langstroth už v roce 1852 [1]. Druhým velkým milníkem v konstrukci bylo, že se nástavky daly na sebe libovolně skládat. Úlová sestava tvořila odnímatelné nástavky, oddělené spodní dno a oddělené horní víko. To umožnilo plně přizpůsobovat velikosti úlů podle sil a potřeb každého včelstva individuálně.

Medomet vynalezl Franz von Hruschka v roce 1865 [1]. Konstrukce a princip medometů se v podstatě od 19. století do dnešní doby nezměnila. Od 20. století se přidal k medometu elektrický pohon a řídicí elektronika, aby pro obsluhu nebylo vytáčení medu tak fyzicky náročné.



obr. 12.: Dřevěný medomet [31]

Materiál vnitřku medometu také prošel proměnou od dřeva (obr. 12) přes ocel, ocel s ochranným nátěrem, pozinkovanou ocel až k nerezové oceli. V posledních zhruba 2 desetiletích se už na výrobu medometů většinou nepoužívá jiný materiál než nerezová ocel. Je to dáno bezkonkurenčními vlastnostmi, jako jsou: dlouhá životnost zařízení bez koroze, možnost chemického čištění a dezinfekce a atest materiálu pro styk s potravinami.

Dále se s příchodem levných mikroprocesorů začalo využívat slibné spojení stejnosměrných motorů s pulzně spínanými výkonovými tranzistory. To umožnilo vznik plně automatických zvratných medometů. Obsluha už jen vloží rámký do kazet medometu a medomet sám vytočí rámký nejprve „nahrubo“ a pak i „načisto“ z obou stran.

2.2.2. Konstrukce medometů

Všechny typy medometů mají plášť medometu (obr. 14) stojící na 3 či 4 nohách, ve kterém je uložen otáčející se koš (obr. 13). V koši, který je propustný (děrovaný plech či síto svařené z tyček), jsou umístěny rámký. Koš musí být zkonstruován tak, aby se rámký během vytáčení neposouvaly a nevypadly z koše.



obr. 13.: Koš medometu Kovář [27]

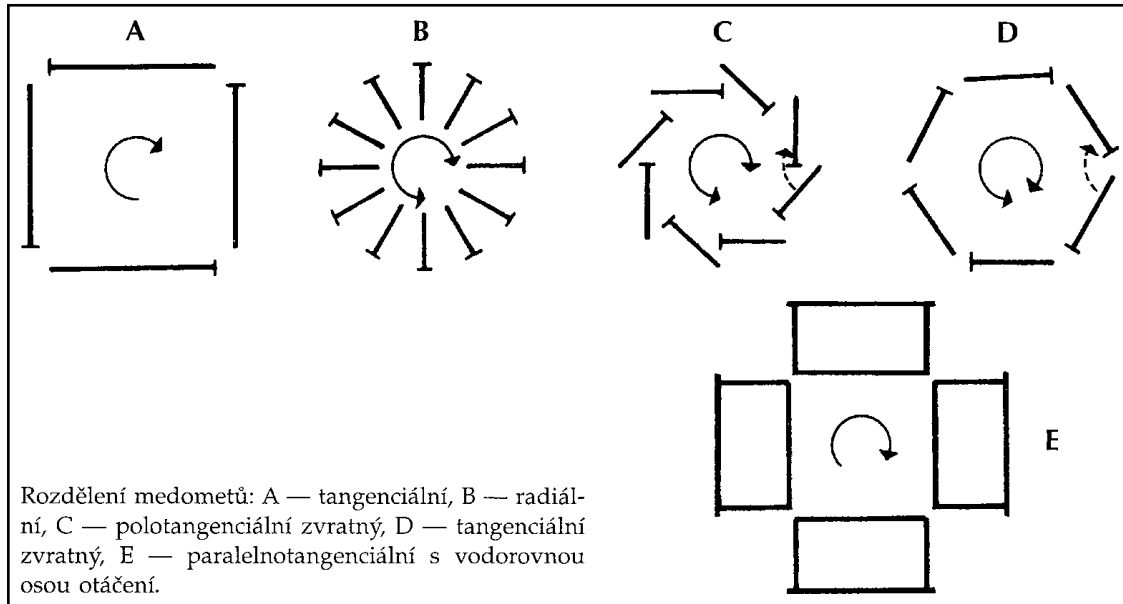


obr. 14.: Plášť medometu Kovář [28]

Pláště medometů jsou v podstatě u všech typů medometů stejné. Plášť má válcové boky a rovinné či kuželové spodní dno. Horní část bývá otevírací pro vkládání rámků. Uvnitř pláště je skrze ložiska uchycen koš medometu, který se otáčí kolem své osy. Na obr. 15 vidíme koncepci 5 typů košů, které jsou již dlouhou dobu známé a využívané. Pohon bývá ruční na kliku nebo elektrický s ruční či automatickou regulací otáček.

2.2.3. Typy medometů

Tato kapitola pojednává o dnes dostupných a vyráběných medometech na trhu. Seznamuje s jejich klady a zápory, oblastí použití jednotlivých typů medometů (obr. 15) či jednotlivých konstrukčních variantách.



obr. 15.: Schémata typů medometů [4]

- **Tangenciální medomety** (viz. obr. 15 typ A, obr. 16)

Nejčastěji je využívají včelaři s malým počtem 1 až 30 včelstev. Je to první typ medometů, který existoval. Mezi včelaři se jedná o nejrozšířenější typ medometů díky své jednoduchosti, účinnosti a nízké ceně.

- **Radiální medomety** (viz. obr. 15 typ B, obr. 18)

Využívají je spíše jen velkovčelaři, kteří mají 50 až 1000 včelstev. Tyto medomety mají značnou nevýhodu, že v případě zakřiveného plástu, hustšího či vychladlého medu nemusí zvládnout vytočit veškerý med z plástů. Účinnost vytáčení je zde nižší a vytáčí se při nižších otáčkách delší dobu. Med, který je blíže středové hřídeli, musí během vytáčení „projít“ přes celý plást a proto trvá vytáčení déle.

- **Zvratné medomety** (viz. obr. 15 typ C a D, obr. 17)

Používají je včelaři s malým či středním počtem včelstev okolo 10 až 80 včelstev díky jeho automatizaci a úspoře času. Polotangenciální zvratný medomet má vyšší kapacitu oproti tangenciálnímu zvratnému medometu při stejném průměru pláště.

- **Paralelnotangenciální medomety** (viz. obr. 15 typ E, obr. 19, obr. 20)

Patří spolu s radiálními medomety mezi největší medomety a používají se na včelařských farmách se zhruba 150 - 1000 včelstev. Používá se dnes spíše jako součást plně automatizované vytáčecí linky, kde se vytáčí rovnou z vložených celých nástavků obsahujících rámky nebo po vjezdu samotných rámků z linky. Má jako jediný osu otáčení položenou horizontálně. Ostatní 4 typy medometů mají osu otáčení vertikálně. I tento typ medometů má stejně jako radiální medomet nižší účinnost vytáčení a vytáčí se také při nižších otáčkách delší dobu.

Tangenciální a zvrtné medomety mají tu výhodu, že vzdálenost mezi osou otáčení a vytáčeným místem na rámků má malé rozdíly. Buňky pláství tedy svírají úhel 0° až 45° se spojnicí středu. Proto jsou velmi vhodné pro vytáčení hustších či zchlazených medů s velkou účinností.

Dnes jsou nejvíce vyráběné medomety typu A, B a D. Vlastnosti a oblast použití nejčastěji používaných medometů shrnuje tab. 1.

tab. 1.: Porovnání vlastností nejpoužívanějších medometů

Typ medometu	Výhody	Nevýhody	Oblast použití
Tangenciální	+ jednoduchý + levný	- vyšší pracnost při vytáčení	1 až 30 včelstev
Zvrtný	+ malá pracnost při vytáčení	- složitější konstrukce - složitější elektronika - dražší	10 až 80 včelstev
Radiální	+ jednoduchý + levný + malá pracnost při vytáčení + velká kapacita	- nižší účinnost při vytáčení (obzvláště u hustších či zchlazených medů)	50 až 1000 včelstev
Paralelnotangenciální	+ jednoduchý + malá pracnost při vytáčení + velká kapacita	- nižší účinnost při vytáčení (obzvláště u hustších či zchlazených medů)	100 až 1000 včelstev

Nejčastěji se používají tangenciální (A) a tangenciální zvrtné (D) medometry. Dále se hojně využívají radiální (B) medometry ve většChyba! Nenalezen zdroj odkazů.ích včelařských provozech pro jejich větší kapacitu a efektivitu vytáčení. Ostatní 2 typy medometů (C a D) nejsou moc často k vidění.



obr. 16.: Koš tangenciálního medometu firmy
Sláma zámečnictví [29]



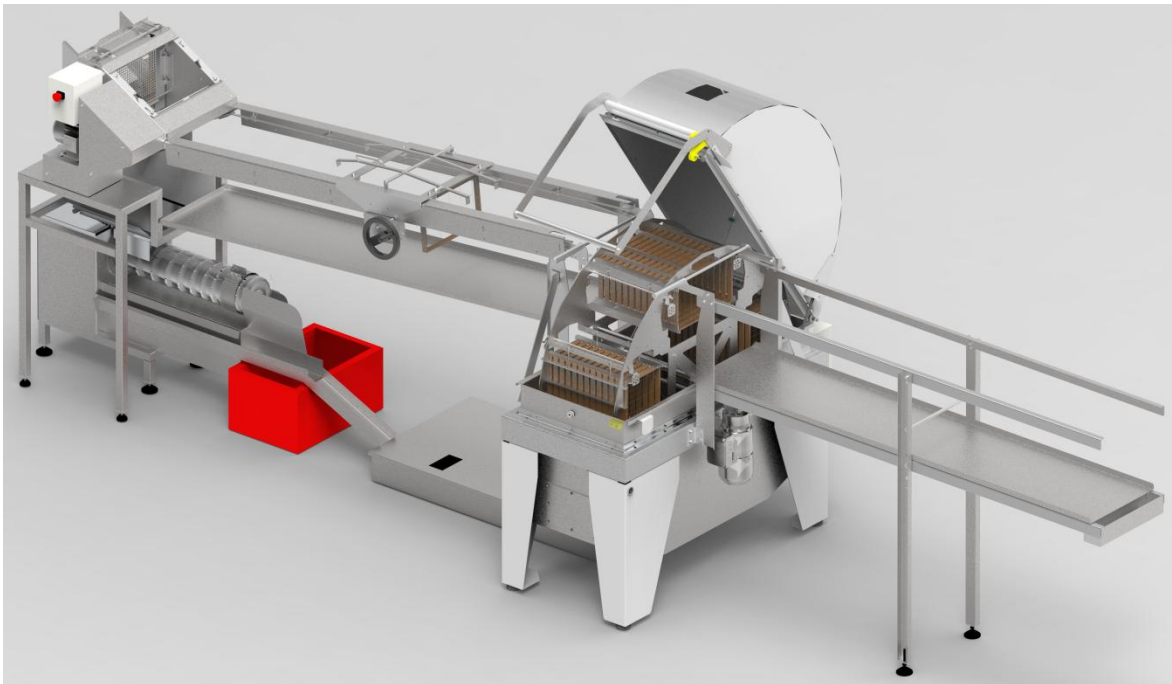
obr. 17.: Koš zvrtného medometu firmy Kovář [30]



obr. 18.: Koš radiálního medometu od firmy Sláma
zámečnictví [29]



obr. 19.: Paralelotangenciální
medomet od firmy Lysoň [32]



obr. 20.: Vytáčekcí linka s paralelotangenciálním medometem od firmy Apinovo [33]

3. Návrh medometu

Po detailním rozboru jednotlivých typů medometů a jejich vlastností byly dle zadání práce vybrány hlavní vlastnosti, které by měl navrhovaný medomet splňovat. Vybral jsem všechny parametry medometu a díky tomu byla z velké části dána základní podoba konstrukce medometu. Dále jsou v této kapitole návrhové a kontrolní výpočty, které se týkají konstrukce medometu.

3.1. Komplexní volba jednotlivých parametrů medometu

3.1.1. Počet rámků

Velikost koše medometu a počet rámků, které se do něj vejdou, je velmi rozličný. Záleží hlavně na typu medometu, který určuje počet rámků.

Do tangenciálních medometů se vkládá od 3 do 10 rámků. U zvratných medometů se obvykle vejde do koše počet 4 až 8 rámků. Radiální medometry se vyrábí s kapacitou 9 až 120 [4] rámků. Jde o medometry s největší kapacitou. Paralelnotangenciální medometry jsou určeny zhruba pro 40 až 80 rámků, ale díky jednoduchému zasunutí rámků z linky jde o řešení používané v největších včelařstvích. Do radiálních medometů se musí rámků pracně vkládat po jednom.

Pro naše zadání konstrukce je počet 3 až 5 rámků nedostatečný. Díky malé kapacitě medometu není vytáčení produktivní, moc často by se vytáčelo. A počty okolo 10 a více rámků již jsou zbytečně veliké. Koš by byl složitější a velký. Velký plášť má také nevýhodu, že se s medometem špatně manipuluje do dveří budov. Pro náš případ přichází v úvahu počet 6 až 10 rámků v koši medometu.

Medomet pro 6 rámků nabízí největší variabilitu při vytáčení. Ne vždy nám totiž zbývá na vytáčení potřebný počet rámků. Zároveň ale musíme při vytáčení splnit podmínku, že přibližně těžké rámků jsou v koši rozmístěny osově souměrně, aby byl koš vyvážený. V šestirámkovém medometu můžeme vytáčet 2, 3, 4 a 6 rámků. A tangenciální či zvratné medometry pro 8 či 10 rámků ve tvaru osmistěnu či desetistěnu jsou pracné na výrobu.

3.1.2. Typ medometu

Z rešerše vyplývá, že pro náš případ zařízení pro malovčelaře připadají v úvahu pouze typy medometů: tangenciální, radiální a zvrtné.

Po dlouhém uvážení a rozboru jednotlivých variant počtu rámků a typu medometu byla vybrána varianta **tangenciálního medometu pro 8 rámků**. Koš byl zvolen čtvercový s většími rozměry, aby šlo vytáčet najednou větší počet rámků a vytáčení bylo produktivnější. Zároveň je čtvercová konstrukce jednodušší na výrobu. Díky čtvercovému tvaru stačí nadělit, ohýbat, zabrousit a svařit poloviční počet dílů oproti osmistěnnému tvaru.

3.1.3. Výška kuželového dna

Čím má kuželové dno vyšší spád, tím se do něj vejde více medu. Může to být přínosné v případě, pokud chceme vytáčet další várku rámků, ale nemáme připravenou nádobu dole pod kohoutem medometu. Tak jednoduše uzavřeme kohout a můžeme vytočit další várku rámků.

tab. 2.: Rezerva pro med při dané výšce dna pláště medometu

Výška dna [cm]	Kapacita pro med [kg]
5	14,4
8	23
10	28,7
12	34,5

Byla vybrána varianta 8 cm vysokého kuželového dna, aby se do něj mohlo vejít maximální možné množství vytočeného medu 17,6 kg s dostatečnou rezervou navíc. Při obvyklé průměrně váze plných rámků 1,7 kg je potřeba mít rezervu na 13,6 kg vytočeného medu. Med se tedy vejde s rezervou 2,2 cm při vytáčení obvyklých rámků a 1,2 cm při vytáčení extrémně plných rámků s medem.

3.1.4. Poloha motoru s převodovkou

- **Nahoře**

Horní poloha motoru s převodem umožňuje mít jednodušší spodní uložení hřídele koše. Často výrobci díky jednoduchosti a snížení nákladů využívají místo klasického ložiska

primitivní variantu, kdy spodní uložení hřídele zajišťuje pouze styk kuželové díry v hřídeli a mazané ocelové kuličky uložené v trubce na vrcholu kuželového dna. Ze strojařského hlediska jde o nepřípustný způsob uložení, avšak v praxi se velmi často využívá a funguje dostatečně.

Horní část hřídele bývá také jednoduše vyřešena kombinací elektrického motoru se šnekovou převodovkou. Motor s převodovkou je přímo přišroubován k hornímu nasazovacímu nosníku. Při montáži a rozebírání se ovšem musí zvedat celý nosník s víky, motorem a převodovkou a to vyžaduje značnou sílu. Byť jde o malé motory s výkony kolem 100 až 400 W.

- **Dole**

Umístění motoru dole přináší složitější způsob uložení spodní hřídele. Hřídel musí být průchozí přes kuželové dno a celá konstrukce rámu medometu musí být složitější. Velikou výhodou ovšem je, že horní nosník pláště medometu má přimontované pouze 2 půlkruhová víka. Rozebírání medometu je velmi snadné díky malé váze nosníku a vík. Další výhodou je podstatné snížení těžiště medometu, když je motor umístěn pod pláštěm místo polohy nad pláštěm medometu.

Byla vybrána varianta, kdy je motor s převodem umístěn dole pod pláštěm medometu. Rám medometu musí mít sice o 2 profily více, ale zato nemusí být horní profil tak masivní a zakrývat celý řemenový převod. Kvůli velkému převodovému číslu by se ani velká řemenice nahoru nevešla. Dole je celý převod v zákrytu pláště medometu a řemen nemusí být samostatně zakrytován. Zároveň se dá jednoduše vyřešit napínání řemenu díky motoru upevněnému na napínáku. Jde o jednoduchý a elegantní způsob napínání řemenu, který je při těchto malých výkonech dostačující.

3.1.5. Typ motoru a způsob řízení

Seznam možných typů elektrických motorů a jejich řízení

- Stejnoseměrný motor + jednoduchý regulátor otáček
- **Stejnoseměrný motor + PWM (mikroprocesor, výkonové tranzistory)**
- 1F asynchronní motor + Trijak
- 3F asynchronní motor + Frekvenční měnič
- Krokový motor + Ovládací elektronika
- Synchronní motor + Ovládací elektronika

Byla vybrána 2. varianta. Kombinace použití stejnosměrného motoru permanentními magnety a jeho řízením pomocí PWM (pulzní regulace) je jednoduchá, levná a dostačující. U této aplikace nepotřebujeme zpětnovazebně řídit otáčky na naprosto přesnou hodnotu. Stačí nám, pokud budou otáčky odpovídat zhruba s přesností na 10 až 20 %. Při vytáčení je ve hře mnoho faktorů, které zásadně ovlivňují dosažené otáčky. A tím je především váha vytáčených rámků, která se s každou várkou podstatně mění.

Byl vybrán motor K9D 150N2 (obr. 21) od korejského výrobce GGM. Katalogový list motoru je v příloze č. 5. Motor má tyto hlavní parametry:

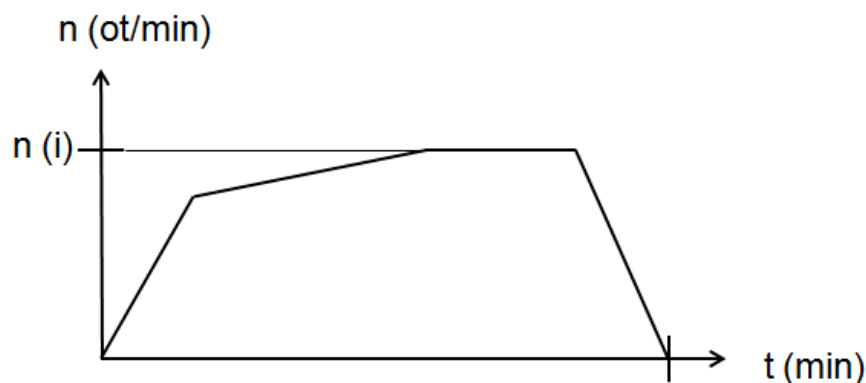
tab. 3.: Parametry motoru K9D 150N2

Otáčky	3000 ot/min
Výkon	150 W
Moment	0,49 Nm
Stejnoseměrné napětí	24 V
Proud	9 A



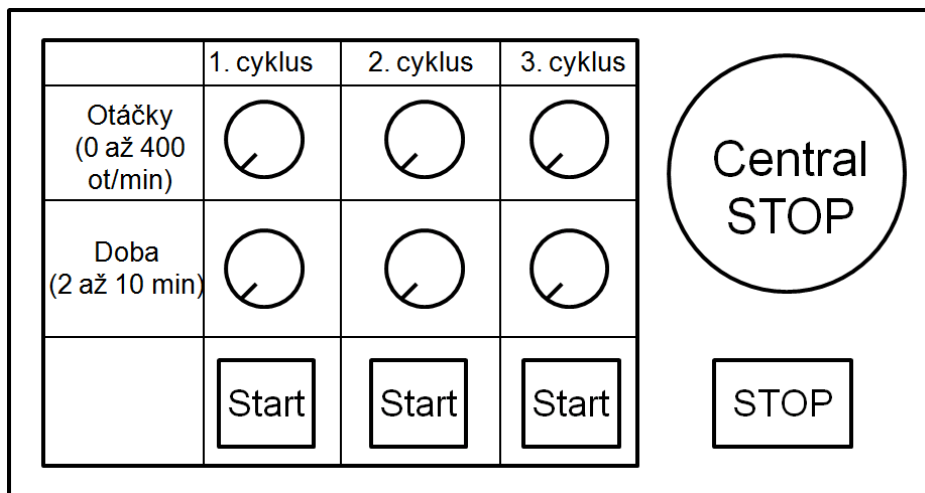
obr. 21.: Motor K9D 150N2 od firmy GGM [34]

Pro vytáčení byl navržen tento průběh otáček (obr. 22). Cyklus má 4 fáze: rozběh, pomalé zrychlení, výdrž a brzdění. Nejprve se motor roztočí za 80% požadovaných otáček, aby hned nedošlo ke zborcení rámků, které mají na začátku vytáčení vyšší váhu než na konci. Poté bude koš postupně zrychlovat. Dále bude výdrž na dotočení zbytků medu a následuje brzdění motoru. Každý z 3 cyklů má individuálně nastavené otáčky $n(i)$ a dobu vytáčení $t(i)$.



obr. 22.: Graf průběhu otáček

Díky možnosti mikroprocesorů na platformách Arduina je možné přijímat a vysílat analogové a digitální signály do procesoru. Díky tomu bylo navrženo schéma ovládacího panelu medometu (obr. 23), které by bylo umístěno na horní části elektronické krabičky. Panel obsahuje tlačítko nouzového zastavení, 6 potenciometrů pro odečítání nastavených otáček a doby vytáčení, 3 tlačítka pro spuštění daného cyklu a 1 tlačítko na zastavení medometu.



obr. 23.: Schéma ovládacího panelu medometu

3.1.6. Další elektronické prvky

- Stejnoseměrný usměrněný zdroj

K získání stejnosměrného napětí 24V pro náš motor je třeba použít usměrněný zdroj pro vstupní střídavé napětí 230V. Zdroj musí mít stejné nebo vyšší parametry proudu a výkonu než vybraný motor, jinak by mohlo dojít ke spálení zdroje. Byl vybrán zdroj od firmy Smun (obr. 24) obvykle používaný pro LED osvětlení s těmito parametry:

tab. 4.: Parametry stejnosměrného zdroje fi Smun

vstupní napětí	střídavé 110 až 230 V
výstupní napětí	stejnoseměrné 24 V
výstupní proud	10 A
výkon	240 W
rozměry	20 x 11 x 5 cm
hmotnost	720g



obr. 24.: Usměrněný zdroj na 240W [35]

- **Mikroprocesor**

Jako mikroprocesor pro ovládací elektroniku postačí Arduino Nano V3.0 (obr. 25). Jeho počet analogových a digitálních vstupů a výstupů je dostačující. Z ovládacího panelu potřebujeme do Arduina odesílat hodnoty z 6 potenciometrů (analogový port) a 4 tlačítek (digitální port).



obr. 25.: Arduino Nano v3.0 [36]

3.1.7. Způsob napájení motoru

Motory lze napájet dvěma způsoby a to:

- **12 či 24 V stejnosměrného napětí z trafo či autobaterie**
- 230 či 380 V střídavého napětí přímo ze sítě

V tomto návrhu bylo vybráno velmi variabilní řešení. Stejnoseměrný motor s permanentními magnety vyžaduje 24 V stejnosměrného napětí, které může být dodáváno ze zdroje připojeného na síť či 2 autobaterií zapojených do série.

3.1.8. Vybraná varianta parametrů medometů

V tab. 5 jsou uvedeny vybrané parametry dílčích částí medometu a jejich krátký popis vlastností.

tab. 5.: Výsledné řešení vícekriteriálního rozhodnutí volby parametrů medometu

Parametr	Zvolená varianta	Popis
Typ medometu	Tangenciální	+ jednoduchý, levný + vysoká výtěžnost u viskózních medů
Počet rámků	8	+ střední velikost medometu, ale dostatečná kapacita koše
Otáčky koše	0 až 400 ot/min	+ dostatečné otáčky pro vytáčení hustých medů
Poloha pohonu	Dole	+ lepší stabilita, těžiště je níže + menší znečištění medu od pohonu
Typ motoru	Stejnoseměrný s perm. magnety	+ levnější oproti 3F motoru s FM + jednodušší na řízení než 3F, synchronní či krokový
Způsob napájení motoru	DC 24 V	+ bezpečně nízké napětí pro člověka + možnost použití v terénu na autobaterie
Jeho řízení	Mikroprocesor	+ levné + libovolně programovatelné - nutnost použít další součástky na plošném spoji
Kuželovitost dna	8 cm	+ dostatečná rezerva + výšková úspora koše

3.2. Experimentální měření maximální váhy rámků

Aby bylo možné provést návrhové a kontrolní výpočty ohledně dimenzování medometu, bylo třeba zjistit hmotnost nejtěžších rámků, které se do medometu vkládají.

V červnu roku 2014 jsem provedl experimentální měření během letního vytáčení medu. Měření probíhalo na včelnici se 13 včelstvy a úly s rámkovou mírou 2/3 Langstroth. Langstroth 2/3 je označení pro rámkovou míru, která má vnější rozměry dřevěných latěk 448 x 159 mm.

Med byl vytáčen ze 16 nástavků po 10 rámcích, tedy ze 160 rámků. Ze všech 160 rámků jsem vybral 5 nejtěžších rámků, které byly nejvíce naplněné medem. Váhu těchto rámků jsem zapsal s přesností na desítky gramů. Průměrná váha těchto 5 rámků byla 2,16 kg. Pro větší bezpečnost při výpočtech jsem hodnotu zaokrouhlil směrem nahoru na

2,2 kg a z této hodnoty vycházel při většině výpočtů pro největší možné zatížení při provozu medometu.

3.3. Postup při vytáčení medu v medometu

Vhodné rámy plné medu se odeberou z úlů a odvezou do medárny. Odvíčkovací vidličkou se odvíčkují (viz obr. 11) a jsou připravené na vytáčení.

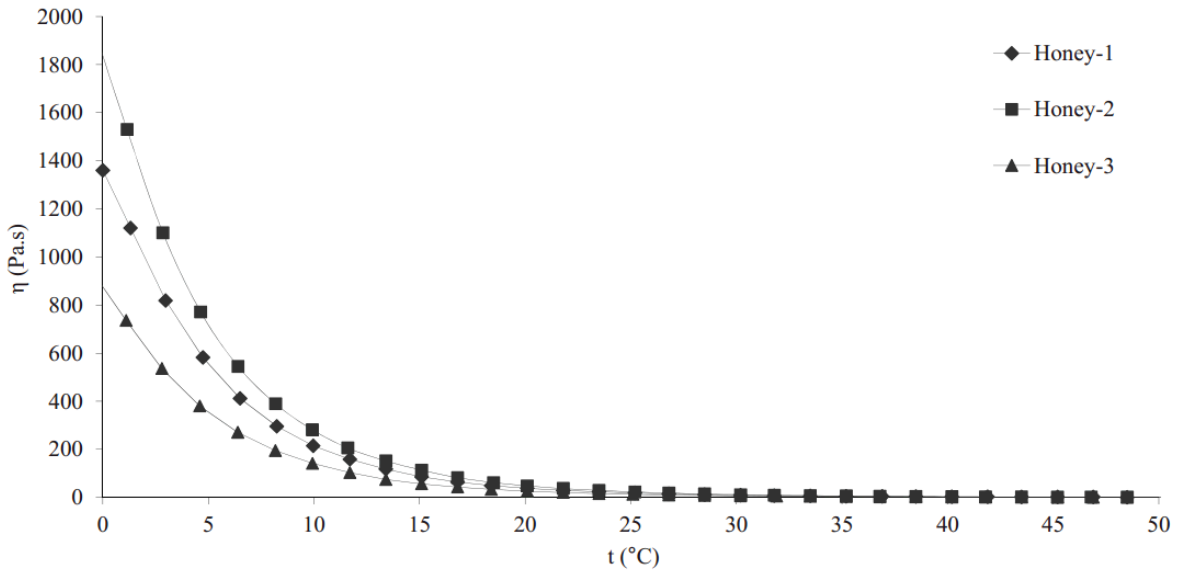
Rámy se vloží do medometu jednou stranou směrem k plášti medometu a „nahrubo“ se vytočí ze zhruba 2/3 medu na dané straně při nižších otáčkách. Poté se medomet nechá zastavit a ručně se rámy otočí v koši druhou stranou k plášti medometu. V této poloze se nejprve také vytáčí nižšími otáčkami také „nahrubo“. Poté se můžou otáčky medometu zvýšit, aby se z druhé strany vytočila „načisto“ většina původního obsahu medu (zhruba 90 až 98 %). Nakonec se rámy podruhé otočí první stranou k plášti medometu a dotočí se „načisto“ rovnou při vysokých otáčkách.

(Výše uvedený postup platí pro nejčastěji používané tangenciální medometry, u ostatních typů je postup odlišný kvůli nutnosti otáčet rámy, různé velikosti otáček a doby vytáčení u ostatních typů medometů.)

Pokud bychom začali u jedné či druhé strany plné medu vytáčet již od začátku vyšší rychlostí, došlo by odstředivou silou k roztrhání voskového díla a plástve by se polámaly a prolétly skrze koš na plášť medometu. Tím bychom poškodili plástve a znemožnili jejich další použití ve včelstvu v následujících letech.

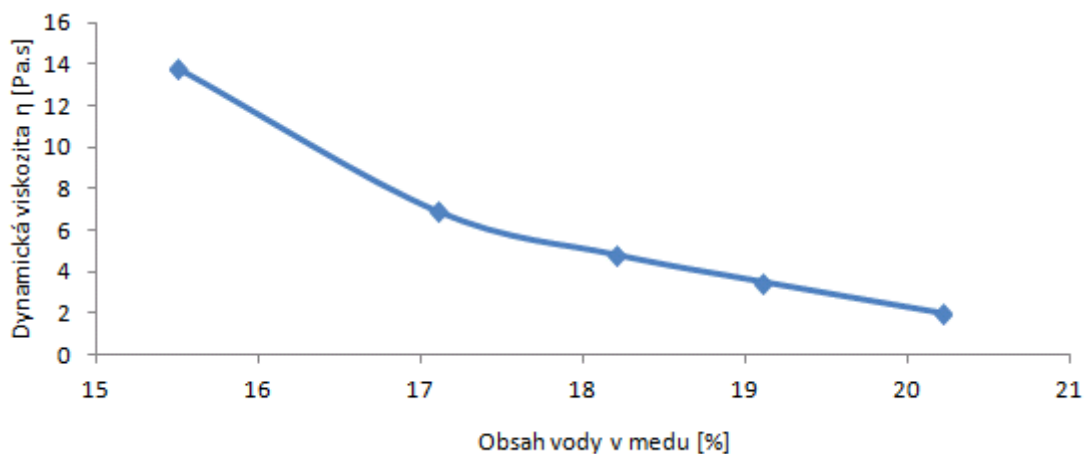
Malé procento medu v plástvích zůstane na stěnách a na dně buňky (zhruba 2 až 10 %) a závisí to hlavně na teplotě a viskozitě medu. Různé medy mají různou viskozitu podle toho, odkud včely nektar přinesly. Med může být květový, smíšený či medovicový podle toho, jestli je nektar z rostlin či od producentů medovice. Obzvláště některé druhy medovicového medu (hovorově tzv. lesní med) mají velmi vysokou viskozitu, které navíc do 1-2 týdnů od donesení včelami může ztuhnout v buňkách. Tyto viskózní medy se dají jen velmi těžko vytočit v radiálních či paralelotangenciálních typech medometů.

Viskozita medu závisí nejen na druhu medu, ale i na jeho teplotě. obr. 26 ukazuje, jak významně může teplota ovlivnit účinnost vytáčení medu. Křivka Honey – 1 představuje luční květový med, který má nižší viskozitu. Křivky Honey – 2 a Honey - 3 zastupují 2 druhy medovicového medu, který má zase vyšší viskozitu než med květový.



obr. 26.: Graf závislosti dynamické viskozity na teplotě medu [6]

Třetí parametr, který ovlivňuje hustotu medu, je jeho procentuální obsah vody (obr. 27) **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Včely sbírají nektar z rostlin a producentů medovice, který má obsah vody kolem 30 až 50 % a ukládají ho do buněk úlu. Poté do týdne odpaří přebytečnou vodu a zralý med zavíčkují, pokud obsah vody je na 20 % či méně. Pokud má med pod 20 % obsahu vody, neměl by už samovolně kvasit a v uzavřeném prostoru bez přístupu vzdušné vlhkosti je schopný zůstat desítky let nezměněný ve stejné kvalitě.

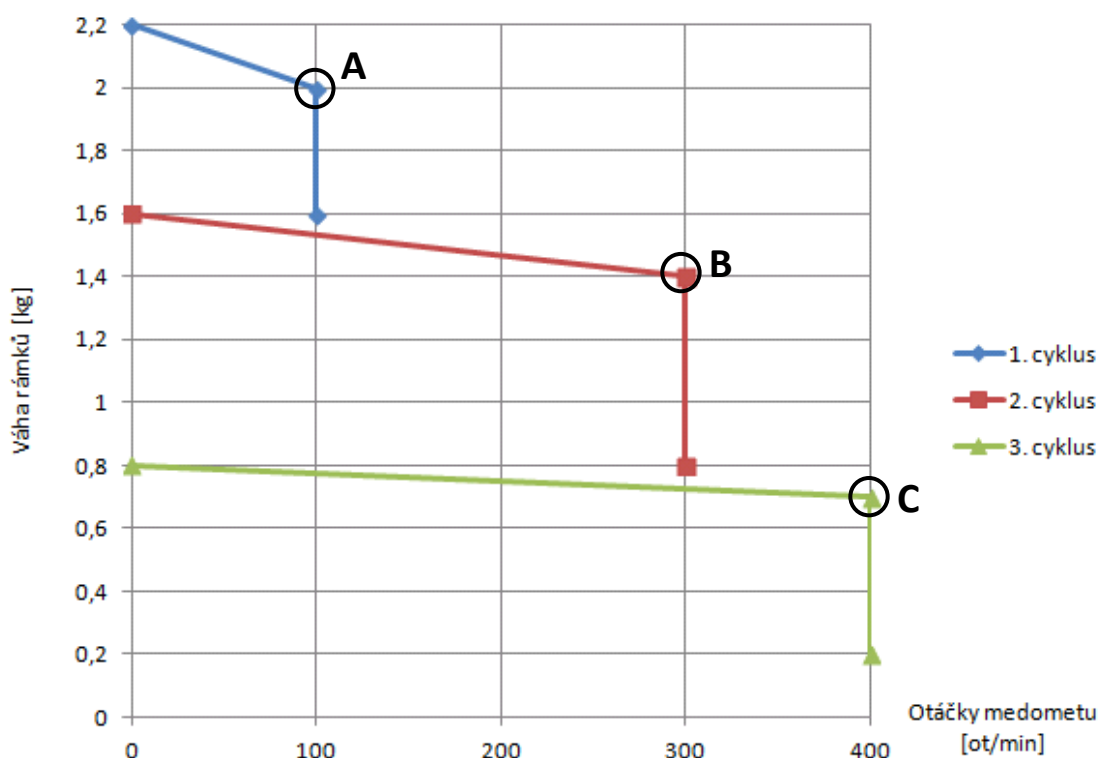


obr. 27.: Graf Dynamické viskozity medu v závislosti na obsahu vody [2]

Viskozita medu se snižuje s rostoucí teplotou a s rostoucím obsahem vody. Dynamická viskozita vody je 0,001 Pa.s při teplotě 20 °C. Med má tedy při teplotě 20 °C dynamickou viskozitu zhruba 10 000 krát větší než voda [4], jde tedy o velmi viskózní kapalinu.

3.4. Určení zatížení medometu

Pro určení kritických stavů při vytáčení, kdy je medomet nejvíce zatěžován, je zobrazen přibližný průběh vytáčení na obr. 28. Křivky 1., 2. a 3. cyklu ukazují průběh vytáčení při výše zmíněném postupu. Pro výpočty největšího možného zatížení připadají body A, B a C. Ve všech 3 bodech mají rámký jinou hmotnost a jiné otáčky koše medometu. Pro zjištění zatížení je třeba vypočítat, jakou odstředivou sílu rámký vyvozují do koše medometu, která se přes ložiska přenáší do pláště medometu (horního plechového nosníku a spodního kuželového dna).

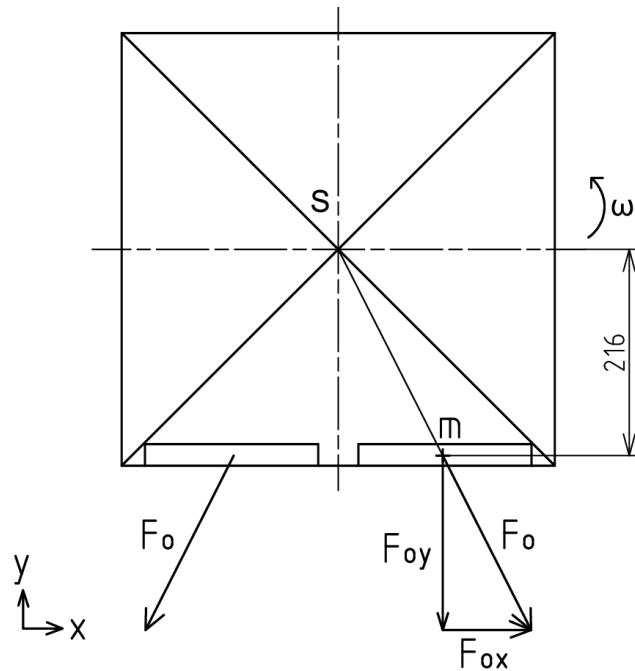


obr. 28.: Graf průběhu otáček při 3 cyklech vytáčení

Největší axiální zatížení uvažujeme takové, kdy je v medometu 8 rámků naší referenční hodnoty 2,2 kg.

$$F_a = 9,81 \cdot (8 \cdot 2,2 + 6,4) = 9,81 \cdot 24 \doteq 235N \quad (1)$$

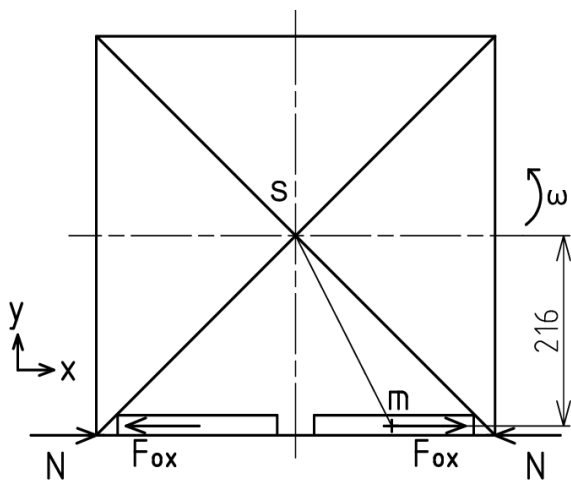
Pro největší radiální zatížení medometu uvažujeme, že obsluha dala do medometu rámký nejhorším možným způsobem, což by se při provozu nikdy nemělo stát poučené obsluze medometu. Dva nejtěžší možné rámký vložené na jednu stranu koše způsobí největší nevyváženost koše a tedy největší možné radiální zatížení (obr. 29).



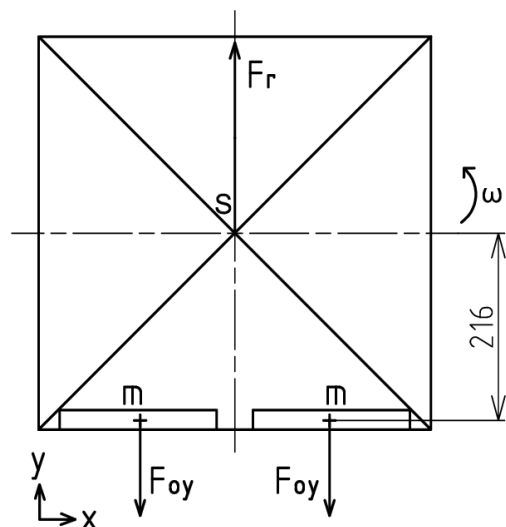
obr. 29.: Zobrazení odstředivé síly působící na rámeček při ustáleném rotačním pohybu koše

$$F_o = m \cdot a_d = m \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot r = \frac{\pi^2}{900} m \cdot r \cdot n^2 [\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \text{N} \quad (2)$$

Pokud rozložíme vektor odstředivé síly F_o (2) do směru x a y, tak můžeme složku F_{ox} vyloučit při počítání odstředivé síly působící na koš medometu. Tečná složka F_{oy} totiž nemá vliv na radiální složku sil v ložiskách, ale projeví se tahovou silou ve stěně koše. Statické uvolnění koše do směřů x a y je na obr. 30 a 31.



obr. 30.: Uvolnění ve směru x při ustáleném rotačním pohybu koše



obr. 31.: Uvolnění ve směru y při ustáleném rotačním pohybu koše

Rovnice uvolnění ve směru y je:

$$F_r = 2 \cdot F_{oy} \quad (3)$$

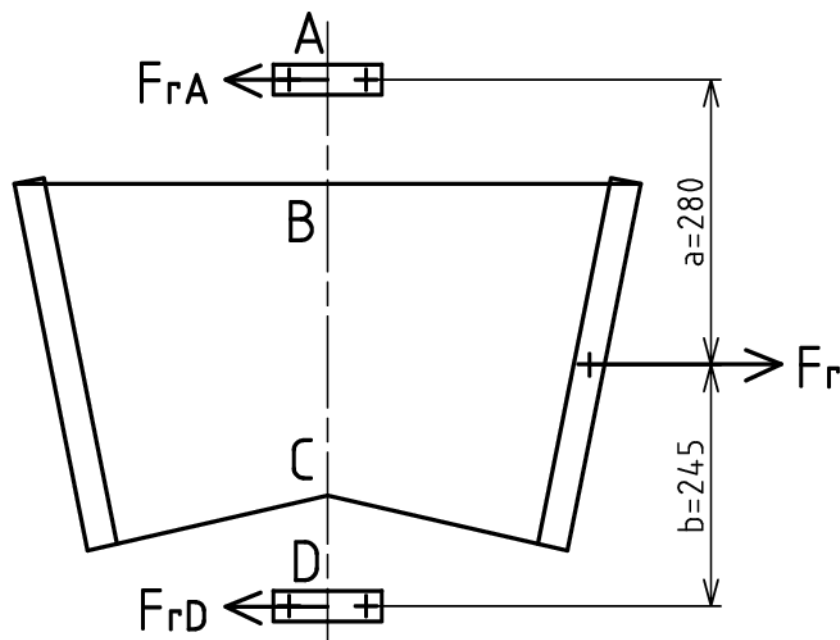
Velikost odstředivé síly od rámků, respektive radiální síly od rámků do hřídele (4 až 6), počítáme pro nejnamáhanější bod z každého ze 3 cyklů. Pro výpočet odstředivé síly odečítáme z obr. 28 otáčky a hmotnost u 3 bodů A, B a C:

$$F_r(A) = 2 \cdot \frac{\pi^2}{900} \cdot 2 \cdot 0,216 \cdot 100^2 = 94,7N \quad (4)$$

$$F_r(B) = 2 \cdot \frac{\pi^2}{900} \cdot 1,4 \cdot 0,216 \cdot 300^2 = 596,9N \quad (5)$$

$$F_r(C) = 2 \cdot \frac{\pi^2}{900} \cdot 0,7 \cdot 0,216 \cdot 400^2 = 530,6N \quad (6)$$

Jak vyplývá z výše uvedených rovnic (4 až 6), tak největší radiální zatížení je při 2. cyklu vytáčení v bodě B, kde je odstředivá síla rovna $F_r = 596,9N$ (5). – AŽ SEM HOTOVO obr. 32 ukazuje, jaké je uložení koše vůči ložiskům a rámkům.



obr. 32.: Schéma polohy odstředivé síly 2 rámků vůči ložiskům

Z momentové rovnice k bodu A a D při uvolnění koše dostaneme rovnice (7 a 8), ze kterých vyjádříme reakce do horního ložiska F_{rA} (7). Poté sepíšeme rovnici uvolnění ve směru x a dostaneme velikost reakce do spodního ložiska F_{rD} (9):

$$F_{rA} = \frac{b}{a+b} F_r = \frac{245}{245+280} 597 = 281 \text{ N} \quad (7)$$

$$F_{rD} = \frac{a}{a+b} F_r = \frac{280}{245+280} 597 = 316 \text{ N} \quad (8)$$

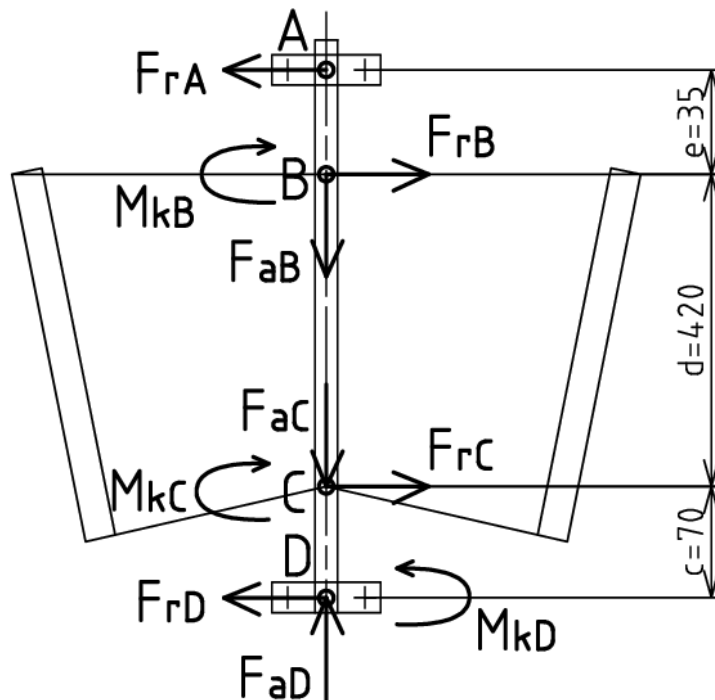
Pro předpětí od řemene ale přičteme 25 N:

$$F_{rA} = F_{rA} + 25 = 316 + 25 = 340 \text{ N} \quad (9)$$

3.4.1. Reakce na hřídeli koše

Nejprve si koš staticky uvolníme a napíšeme rovnovážné reakce do směrů x, y a momentové rovnice k bodu B.

Již známe tyto reakce a síly



obr. 33.: Schéma všech silových účinků působících na hřídel koše [AutoCAD]

Výsledkem rovnic je:

$$F_{rB} = 239 \text{ N} \quad (10)$$

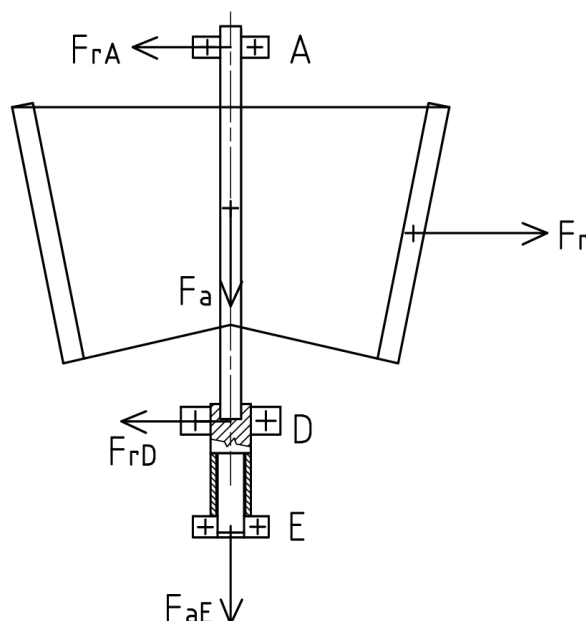
$$F_{rC} = 358 \text{ N} \quad (11)$$

3.5. Volba ložisek

Horní 2 ložiska byla zvolena jako kloubová kluzná značky IguS od firmy Hennlich pro jejich vlastnosti. Tyto ložiska se díky svým vlastnostem, používají i oblasti potravinářského průmyslu ([7], str. 739), protože jsou samomazná a není je potřeba mazat olejem. V tomto případě také máme požadavky, aby nedocházelo ke znečištění medu olejem. A to hlavně v případě horního ložiska, které je sice kryté horním nosníkem, ale je nad pláštěm medometu.

Kluzná kloubová ložiska fungují tak, že ke tření dochází právě mezi vnitřní kuličkou ložiska (kalota) a samotnou hřídelí. Tento typ ložisek vyžaduje volnost kuličky na hřídeli a zakazuje se její stažení např. maticí. Proto je v pořádku, když nejsou u této aplikace vnitřní elementy ložisek pevně uchyceny k hřídelím, naopak to výrobce ložisek vyžaduje. Stažení kuliček by prý mohlo poškodit kuličky, které by se mohly v tělese ložiska zaseknout či jinak zhoršit funkci ložiska. Uložení mezi hřídelí a kuličkou se doporučuje vždy s vůlí a to E10/h. Volím uložení E10/h9. Tyče válcované zastudena tzv. „hlazenky“ se dodávají v přesnosti h9, které jsou použity pro obě hřídele.

Konstrukce medometu je taková (obr. 34), že horní ložisko přenáší horní reakci od koše - radiální sílu $F_{rA} = 281 \text{ N}$. Prostřední ložisko přenáší spodní reakci od koše - radiální sílu $F_{rD} = 340 \text{ N}$. A spodní ložisko nese axiální sílu $F_{aD} = 235 \text{ N}$ od hmotnosti celého koše včetně rámků přes spodní hřídel, kterou nese. Spodní hřídel je pojištěna Seegrovým kroužkem proti vytažení hřídele ze spodního ložiska.



obr. 34.: Schéma hřídelí a ložisek s jejich reakcemi

- **Horní ložisko**

Jako horní ložisko bylo zvoleno přírubové kluzné ložisko Igubal typ EFOM – 12 a je uchyceno na horním nosníku 2 šrouby. Výpočet životnosti u těchto kluzných ložisek se provádí pomocí internetové aplikace na stránkách výrobce www.igus.cz. tab. 6 shrnuje zadání i výsledek výpočtu životnosti ložiska.



obr. 35.: Přírubové ložisko Igubal typ EFOM – 12 [37]

tab. 6.: Provozní parametry horního ložiska EFOM – 12

Radiální zatížení ložiska	$F_{rA} = 281 \text{ N}$
Maximální statické radiální zatížení (krátkodobě)	2200 N
Maximální statické radiální zatížení (dlouhodobě)	1100 N
Maximální utahovací moment pro šrouby	2,5 Nm
Vypočítaná provozní životnost ložiska	362 186 662 h

Životnost ložiska je 362 186 662 h což je zhruba 1 810 933 let pro malovčelaře.

- **Prostřední ložisko**

Jako prostřední ložisko bylo zvoleno přírubové kluzné ložisko Igubal typ EFSM – 20 a je uchyceno zespodu ke kuželovému dnu 4 nerezovými šrouby přes zkosené nerezové podložky. tab. 7 shrnuje zadání i výsledek výpočtu životnosti ložiska.



obr. 36.: Přírubové ložisko Igubal typ EFSM – 15 [37]

tab. 7.: Provozní parametry horního ložiska EFSM – 15

Radiální zatížení ložiska	$F_{rD} = 340 \text{ N}$
Maximální statické radiální zatížení (krátkodobě)	3000 N
Maximální statické radiální zatížení (dlouhodobě)	1500 N
Maximální utahovací moment pro šrouby	4,5 Nm
Vypočítaná provozní životnost ložiska	470 354 938 h

Životnost ložiska je 470 354 938 h, což je zhruba 2 351 775 let pro malovčelaře.

- **Spodní ložisko**

Jako spodní ložisko bylo zvoleno přírubové valivé ložisko Y - FYTB 15 FM (obr. 37) od firmy SKF. Ložisko je zatěžováno pouze axiální silou $F_{aD} = 235 \text{ N}$ (1).

tab. 8.: Vlastnosti ložiska SKF - FYTB 15 FM [38]

d [mm]	C [kN]	C_0 [kN]
15	9,56	4,75


obr. 37.: Ložisko FYTB 15 FM [38]

$$\frac{F_a}{C_{0r}} = \frac{235}{4750} = 0,049 \quad \gg \quad X = 0,56, Y = 1,8 - \text{volba dle [9]} \quad (12)$$

Výpočet dynamického ekvivalentního zatížení:

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,56 \cdot 0 + 1,8 \cdot 235 = 426 \text{ N} \quad (13)$$

Výpočet životnosti ložisek:

$$L_h = \left(\frac{C}{F}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{9560}{426}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 200} \doteq 41\,968 \text{ h} \quad (14)$$

Základní trvanlivost ložiska je $L_{10h} = 41\,968 \text{ h}$, což je zhruba 210 let pro malovčelaře.

Všechna tři uvedená ložiska vyhovují kontrole maximálního zatížení a dostatečné životnosti. Jsou řádově předimenzovaná a z pohledu životnosti by stačila podstatně menší ložiska, ale z důvodu konstrukce je třeba mít ložiska s těmito většími průměry.

3.6. Návrh převodu

U této aplikace potřebujeme navrhnout takový převod, který umožní velký převodový poměr a přenáší poměrně malý výkon $P = 150 \text{ W}$. Potřebujeme veliký převodový poměr, aby se koš otáčel pomalu a otáčky byly ve spodním rozsahu dobře říditelné. Požadované otáčky koše jsou 400 ot/min . Náš zvolený motor má nominální otáčky motoru 3000 ot/min . Převodový poměr pohonu je:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{3000}{400} = 7,5 \quad (15)$$

U této aplikace máme zátěž 2 druhů. Jedna zátěž je dána urychlováním setrvačných hmot a druhá pasivními odpory při otáčení. Pokud motor roztočí koš na požadované otáčky a už je jen udržuje, je zátěží pro motor pouze tření v 3 ložiscích a odpor vzduchu otáčejícího se koše.

Při takto malém přenášeném výkonu a velkém převodovém poměru připadá v úvahu použití ozubeného řemenu. Klasický klínový řemen zde nelze použít, protože jsme limitováni minimálním průměrem malé řemenice. Velká řemenice by musela být příliš velká a nevešla by se vůbec pod medomet. Byl zvolen převod ozubeným řemenem od firmy SKF, podle jejíž katalogové dokumentace se převod navrhoval.

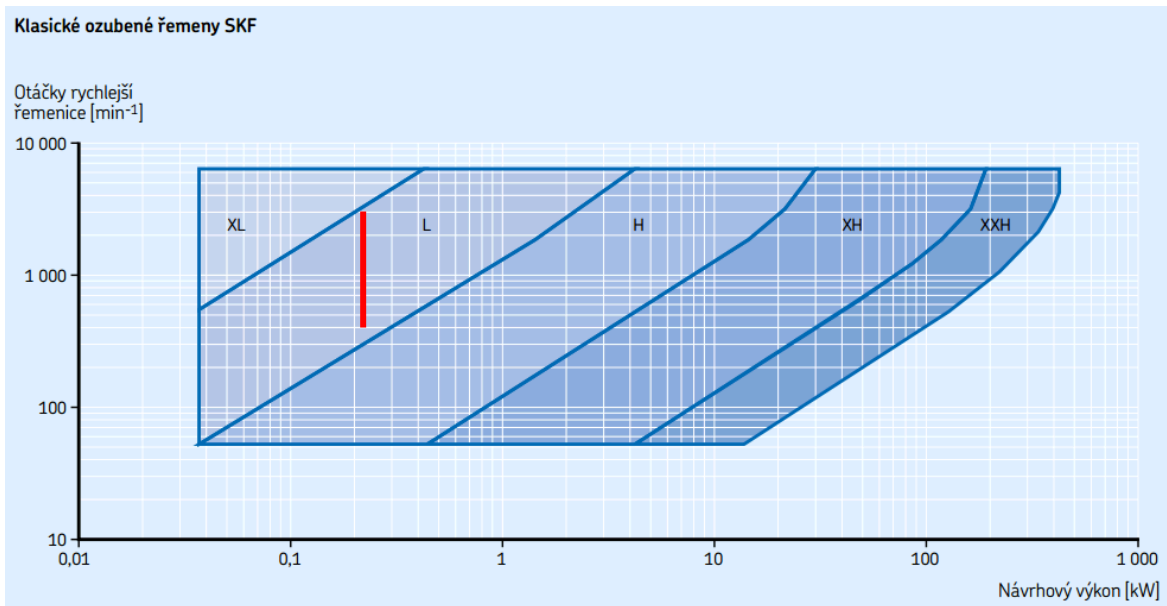


obr. 38.: Ilustrativní obrázek ozubených řemenic a řemenu [39]

Volím součinitel provozního faktoru $C_2 = 1,4$ pro středně těžký provoz s měkkým rozběhem. Návrhový výkon převodu je:

$$P_d = P \cdot C_2 = 150 \cdot 1,4 = 210 \text{ W} \quad (16)$$

Dále je třeba určit typ řemenu a k tomu slouží výkonové diagramy. Na obr. 39 je červeně vyznačená oblast použití pro naše otáčky motoru. V našem případě připadá v úvahu klasický ozubený řemen s profilem L.



obr. 39.: Graf volby typu řemenu [8]

Aby se nám vešel převod pod plášť medometu, volíme co nejmenší průměry řemenic. Převod typu L má nejmenší řemenici s 12 zuby. Velký řemenice má zubů:

$$z_2 = 12 \cdot 7,5 = 90 \text{ zubů} \quad (17)$$

Výpočtové průměry řemenic jsou:

$$d_w = \frac{z_1 \cdot p}{\pi} = \frac{12 \cdot 9,53}{\pi} = 36,38 \text{ mm} \quad (18)$$

$$D_w = \frac{z_2 \cdot p}{\pi} = \frac{90 \cdot 9,53}{\pi} = 272,85 \text{ mm} \quad (19)$$

Z průměrů řemenic a konstrukčního uspořádání vyplývá předběžná osová vzdálenost řemenic $a = 160 \text{ mm}$. Teoretická délka řemenu je:

$$\begin{aligned} L_T &= 2 \cdot a + 1,57 \cdot (D_w + d_w) + \frac{(D_w + d_w)^2}{4 \cdot a} = \\ &= 2 \cdot 160 + 1,57 \cdot (272,85 + 36,38) + \frac{(272,85 + 36,38)^2}{4 \cdot 160} = 892,9 \text{ mm} \end{aligned} \quad (20)$$

Pro určení šířky řemene je třeba určit opravený jmenovitý výkon o další faktory. Další korigující součinitelé jsou $C_1 = 1$, $C_4 = 0,4$. Minimální potřebný základní jmenovitý výkon je:

$$P_b = \frac{P_d}{C_1 + C_4} = \frac{210}{1,0,4} = 525 \text{ W} \quad (21)$$

Nakonec je třeba určit šířku řemenu, který přenesese tento základní výkon. Z katalogu řemenů typu L vybíráme pro náš převod s počty zubů 12 x 90 řemen šířky 12,7 mm, který je schopný pro naše parametry $n_1 = 3000$ ot/min přenést výkon $P = 570$ W. Námi vybraný převod tedy splňuje veškeré kritéria navrhování převodu.

Tento řemen nám sice splňuje nutnou podmínku $P > P_b$, ale kvůli výpočtům dynamické analýzy medometu potřebujeme zvolit širší řemen se šířkou 25,4 mm. Řemen široký 12,7 mm byl málo tuhý a tím by výrazně klesla vlastní frekvence soustavy. Námi vybrané součásti od firmy SKF jsou:

ŘEMENICE PHP 90 L 100 RSB

ŘEMENICE PHP 12 L 100 RSB

ŘEMEN PHG 352 L 100

3.7. Materiál konstrukce

Plášť a koš medometu jsou vyrobeny z tyčového a plechového sortimentu z nerezové oceli X5CrNi18-10 (neboli 1.4301 či AISI 304), která se v potravinářském průmyslu používá nejčastěji. Plechy jsou 1 a 3 mm tlusté. Jde o nerezový plech válcovaný za studena dle EN ISO 9445 z materiálu 1.4301 + 2B dle EN 10088-2 (válcovaný za studena, žíhaný, mořený, hladký a matný povrch) a děrovaný plech se čtvercovými otvory velikosti 10 mm a roztečí děr 14 mm. Tyče jsou tažené za studena dle EN 10088-3 z materiálu 1.4301 dle DIN 671.

Ostatní části medometu jsou vyrobeny z nejčastěji používané konstrukční oceli S235JR. Rám je svařen z profilů čtvercového jácklu (svařovaný dutý profil z nelegované oceli válcovaný za studena) dle EN 10219 z materiálu S235JRH (1.0039) dle EN 10219-1. Napínák je svařen z plechů válcovaných za tepla dle EN 10051 z materiálu S235JR+N (1.0038) dle EN 10025-2. Spodní hřídel je vyrobena z kruhové tyče tažené za studena dle EN 10278 z materiálu S235JRC+C (1.0122) dle EN 10277-2.

3.8. 3D model

Model obsahuje všechny části medometu včetně pohonu a převodů. Jen v modelu není vymodelován ovládací panel s krabičkou elektronických součástek. Krabička obsahuje plošný spoj s potřebnými součástkami vč. mikroprocesoru Arduino Nano v3.0, výkonový tranzistor s chladičem, napájecí trafo a malý ventilátor pro lepší chlazení tranzistoru a trafo. Celá tato krabička má mít přívodní 2 m kabel do zásuvky pro střídavé napětí na 230 V a 2 m kabely vedoucí k motoru medometu. Z bezpečnostních důvodů je lepší mít tuto krabičku s ovládacím panelem zvlášť mimo medomet, aby se dala tato elektronika odpojit v zásuvce hned u motoru a nemohlo dojít k potřísnění elektroniky vodou při mytí medometu.

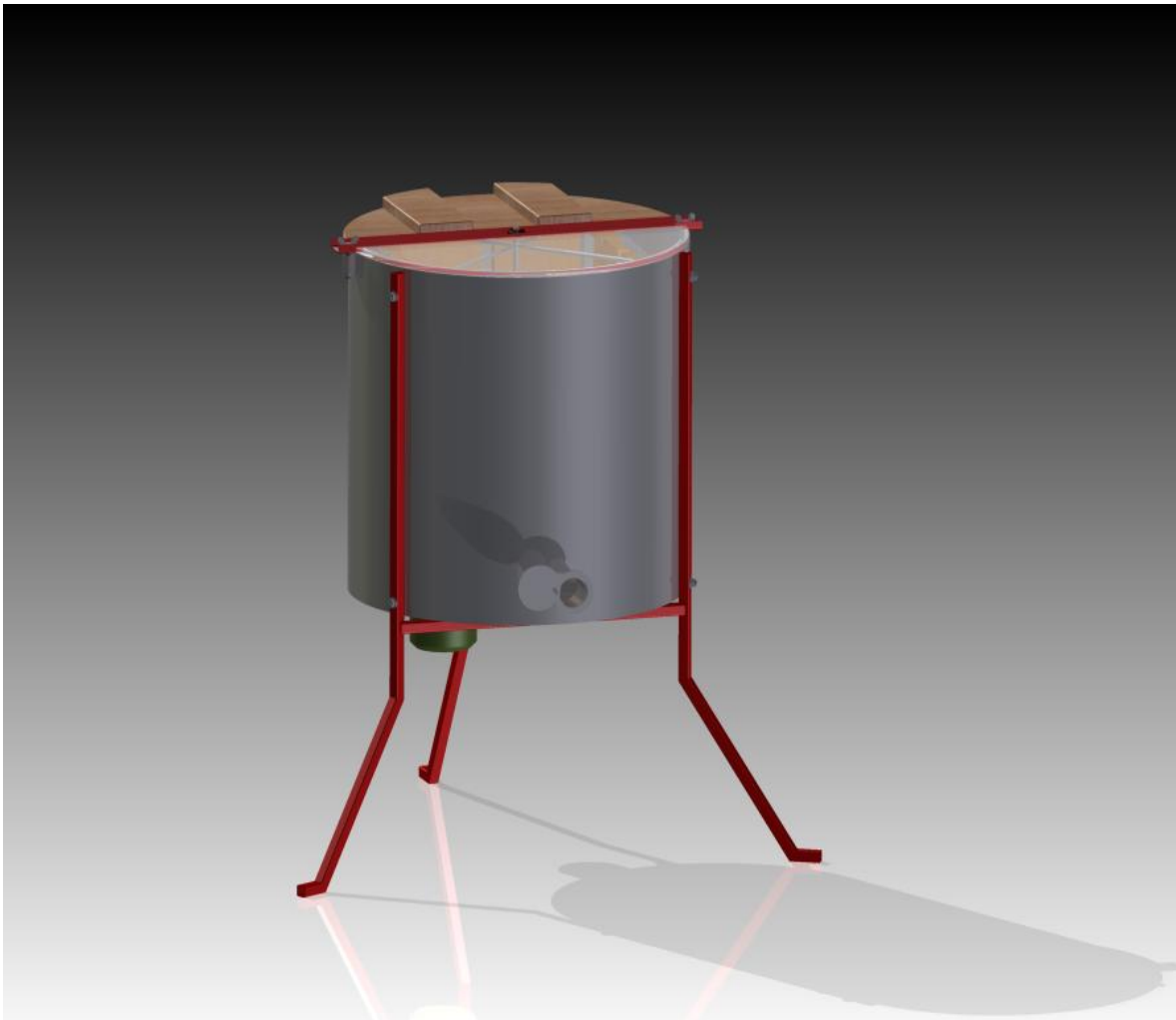
3D model medometu je v příloze č. 1 v přiloženém CD



obr. 40.: Řez celým medometem [Inventor]



obr. 41.: Pohled shora na medomet [Inventor]



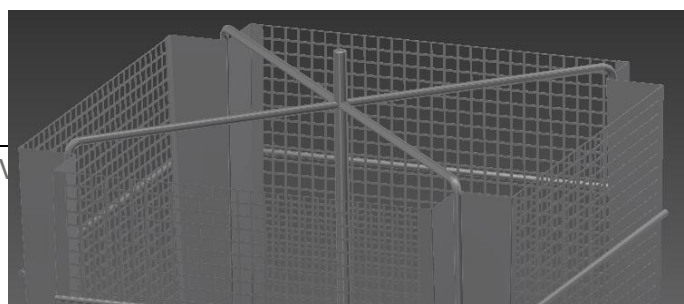
obr. 42.: Rendra celého medometu [Inventor]

3.9. Výkres sestavy

Pro detailní seznámení je přiložen výkres sestavy celého medometu v příloze č. 2. Kusovník k sestavě je přiložen v příloze č. 3.

3.9.1. Koš medometu

Výkres koše medometu je přiložen v příloze č. 4





4. Kontrolní výpočty

V této kapitole jsou uvedeny hlavní kontrolní výpočty medometu. Většina výpočtů této kapitoly se týká pevnosti dílů. Pro výpočty byly potřebné materiálové hodnoty použitých materiálů shrnuty do tab. 1.

tab. 9.: Materiálové konstanty použitých materiálů

Materiál	Mez pevnosti $R_m \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Mez kluzu R_e , $R_{p0,2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Mez únavy pro ohyb $\sigma_{CO} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Mez únavy pro smyk τ_c $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Dovolené napětí v krutu τ_D $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Dovolený tlak – staticky, nepohyblivě $p_D \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
X5CrNi18-10 -plech	500 až 700 [40]	210 [40]	215 až 300*	125 až 175*	-	130 [12]
X5CrNi18-10 - tyče	500 až 700 [40]	190 [40]	215 až 300*	125 až 175*	75 [12]	130 [12]
A2 – 70 ¹	700 [42]	450 [42]	300*	175*	110 [12]	200 [12]
A1 – 50 ¹	500 [42]	210 [42]	215 až 300*	125 až 175*	75 [12]	130 [12]
8.8 ²⁾	800	640	345*	200*	-	200 [12]
S235JR	360 až 510 [41]	235 [41]	130 až 155 [10]	95 až 110 [10]	50 [12]	80 [11]

1) jde o materiál pevnostních nerezových šroubů a matic dané třídy

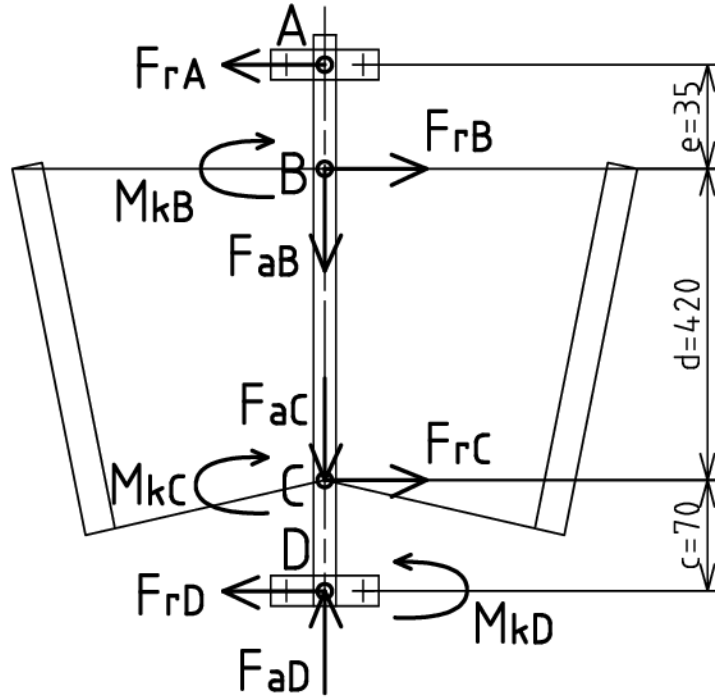
2) jde o materiál pevnostních šroubů a matic dané třídy

* - hodnoty spočítány z empirických vzorců pro ohyb a krut (18) uvedených ve skriptech [17]

$$\sigma_{CO} = 0,43 \cdot R_m, \quad \tau_C = 0,25 \cdot R_m \quad (22)$$

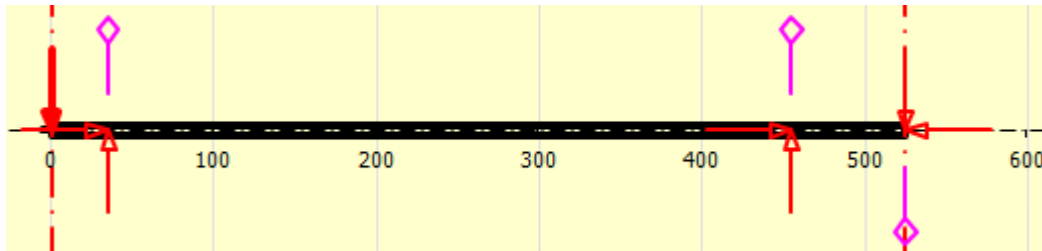
4.1. Hřídel koše

Hřídel ložiska je z nerezové oceli X5CrNi18-10. Jde o za studena taženou tyč průměru 12 mm. Zatížení od vnějších silových účinků je znázorněno na obr. 44.



obr. 44.: Schéma sil a momentů působících na hřídel koše

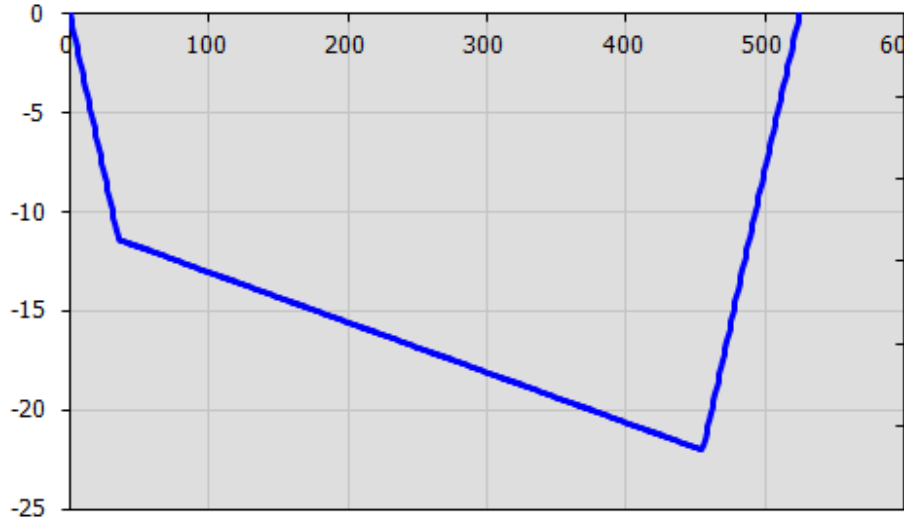
Hřídel je v místech B a C zatěžována konstantními radiálními a axiálními silami od tyčí nosící rámký. Dále na hřídel působí kroutící moment od spodní hřídele. Uvažujeme, že hřídel je otočená horní částí doleva. Nalevo je posuvné uložení a napravo pevné uložení. Pro znázornění byl použit program MITCalc.



obr. 45.: Uložení a zatížení hřídele



obr. 46.: Radiální síla



obr. 47.: Ohybový moment

Největší namáhání je v místech B a C. Redukované napětí v místě B je:

$$\sigma_{redB} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{64,5^2 + 4 \cdot 5,3^2} \doteq 66,1 \frac{N}{mm^2} \quad (23)$$

Redukované napětí v místě C:

$$\sigma_{oC} = \frac{M_o}{W_z} = \frac{F_{rD} \cdot c}{W_z} = \frac{316 \cdot 70}{170} \doteq 115,7 \frac{N}{mm^2} \quad (24)$$

$$\tau_c = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_{rD} \cdot c}{W_z} = \frac{3580}{339} \doteq 10,6 \frac{N}{mm^2} \quad (25)$$

$$\sigma_{redC} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{115,7^2 + 4 \cdot 10,6^2} \doteq 119,1 \frac{N}{mm^2} \quad (26)$$

Pro větší bezpečnost porovnáváme redukované napětí s mezí únavy materiálu. Z teoretického zjištění meze únavy materiálu nám u nerezových tyčí vychází hodnota vyšší než je mez kluzu a proto odhadujeme mez únavy lehce pod mez kluzu na $\sigma_c = 170 \text{ N/mm}^2$. Výsledná bezpečnost vůči mezi únavy v místě C je:

$$k = \frac{\sigma_c}{\sigma_{redC}} = \frac{170}{119,1} \doteq 1,4 \quad (27)$$

Hřídel prošla kontrolou pevnosti a s bezpečností 1,4 vůči odhadnuté mezi únavy považujeme hřídel za navrženou na trvalou životnost.

4.2. Horní nosník

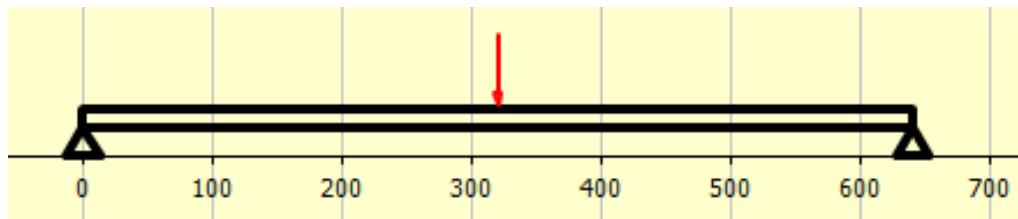
Horní nosník je stažen 2 křídlovými maticemi na horní lem pláště medometu. Uprostřed nosníku je shora upevněno kluzné ložisko, které přenáší případné radiální síly od nevyváženého otáčejícího se koše. Pro výpočty uvažujeme, že nosník je dlouhý prut, který je na koncích pevně uchycen maticemi a uprostřed je na něj přenášeno zatížení přes 2 šrouby upevňující přírubu ložiska. Zadání hodnotami zatížení je (12):

$$F_r = 281N, l = 630 \text{ mm (rozteč vnějších děr pro upevnění k plášti)},$$

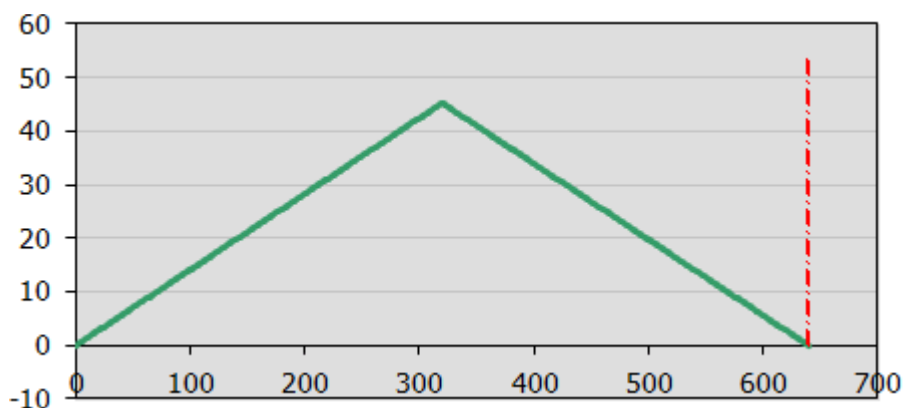
$$l = 41 \text{ mm (rozteč vnitřních děr pro těleso ložiska)}, e = 10 \text{ mm} \quad (28)$$

4.2.1. Analytický výpočet

Uvažujeme, že nosník je tak pevně přitažen krajními křídlovými maticemi k lemu medometu, že nedochází k prokluzu pod maticí při průhybech nosníku vlivem odstředivé síly nevycentrovaného koše. Ale přesto pro analytický výpočet nosníku uvažujeme, že je uložen staticky určitě, tedy na jedné straně pevnou a na druhé posuvnou vazbou. Plášť medometu je totiž v horní části docela pružný a nedá se v protilehlých místech považovat za pevnou podporu vůči sobě.



obr. 48.: Schéma uvolnění nosníku



obr. 49.: Schéma ohybového momentu

Největší zatížení je uprostřed nosníku na jeho nejširších místech.

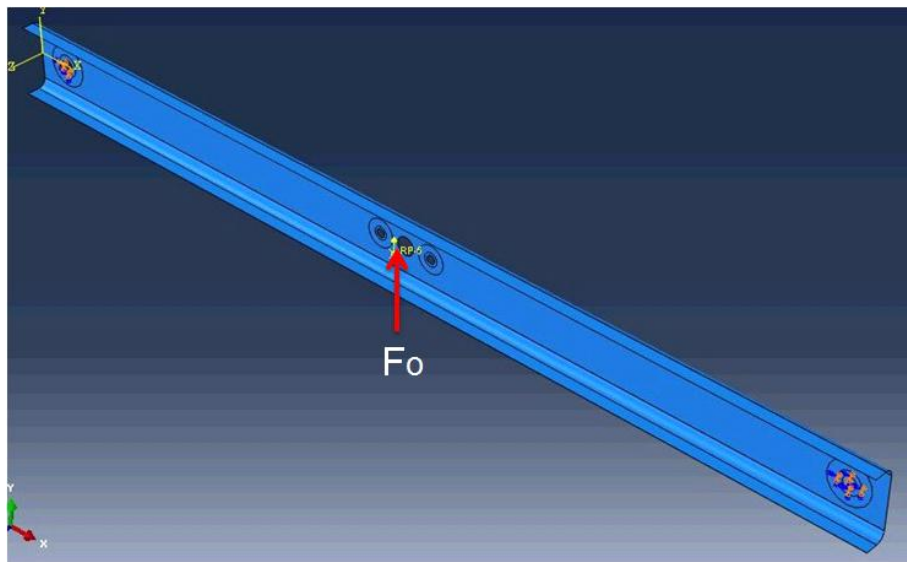
$$\sigma_o = e \frac{M_o}{J_z} = e \frac{F_{rA} \cdot \bar{0}}{J_z} = 25 \frac{140,5 \cdot 315}{71\,066} \doteq 28,7 \frac{N}{mm^2} \quad (29)$$

$$k = \frac{\sigma_c}{\sigma_o} = \frac{170}{28,7} \doteq 5,9 \quad (30)$$

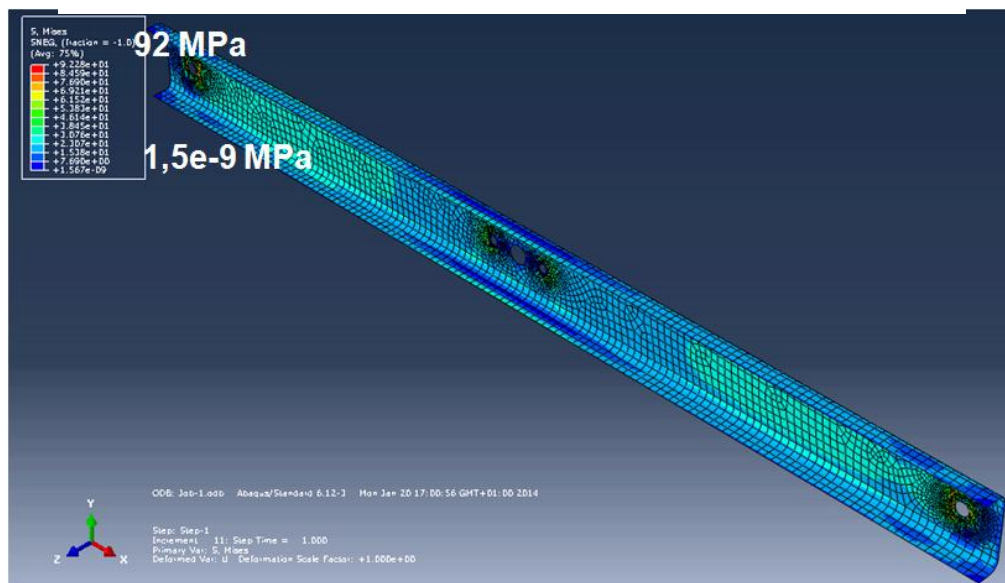
Výsledná bezpečnost 5,9 je plně vyhovující pro trvalou životnost nosníku.

4.2.2. Numerický výpočet

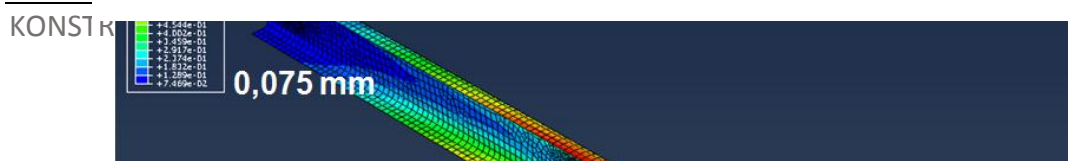
MKP analýza byla také provedena pro zjištění stavu napětí na nosníku s nesymetrickým profilem ve tvaru U.



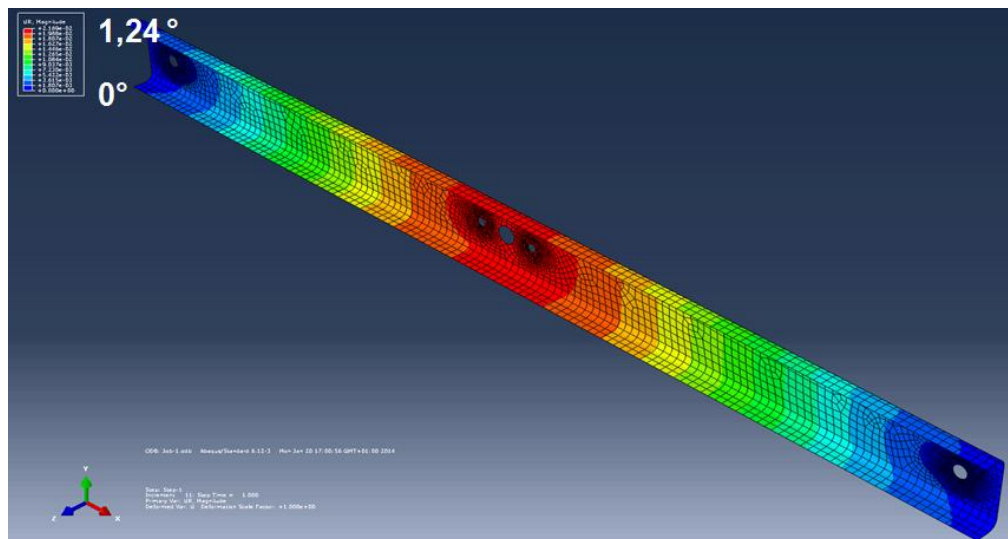
obr. 50.: Zobrazené uložení a zatížení nosníku [Abaqus]



obr. 51.: Zobrazení redukovaného napětí dle HMM u varianty 2mm nosníku



obr. 52.: Zobrazení průhybu nosníku u varianty z 2 mm plechu



obr. 53.: Zobrazení natočení nosníku u varianty z 2 mm plechu

Výpočty byly provedeny pro několik variant tloušťek plechů (tab. 10). První hodnoty ve sloupcích napětí a bezpečnosti jsou z míst s maximálními hodnotami napětí na součásti, což je u vnějších děr. Díry bývají v konstrukcích koncentrátory napětí, a proto jsou hodnoty tak vysoké, ale tyto extrémy nemají opodstatnění. Je třeba hodnotit místo, kde dochází reálně k největšímu namáhání, což je místo uprostřed nosníku na jeho obou stranách. Toto místo je vyznačeno zadání analytického výpočtu (obr xx) a jeho hodnoty jsou ty druhé ve sloupcích napětí a bezpečnosti.

tab. 10.: Výsledky MKP analýzy horního nosníku pro různé tloušťky plechů

Tloušťka [mm]	Napětí σ_{red} [$\frac{N}{mm^2}$]	Posuv u [mm]	Natočení φ [°]	Bezpečnost k [-]
1	319/115	2,6	4,9	0,66/1,8

1,5	143/57	1,28	2,3	1,5/3,7
2	90/31,3	0,73	1,24	2,3/6,8
3	50/11,6	0,30	0,48	4,2/18

Zpočátku byl navržen pro nosník plech tloušťky 2 mm, ale díky možnému natočení o 1,24 stupňů bylo rozhodnuto nakonec použít tlustší 3mm plech. U tenčích plechů je posuv a natočení příliš velké, byť by z hlediska bezpečnosti mohly vyhovovat.

Bezpečnost na vybraném místě v polovině nosníku je rovna 5,9 u analytického výpočtu a 4,2 u MKP analýzy. Součást můžeme proto považovat za bezpečnou.

4.3. Matice uchycující nosník k plášti

V této kapitole je spočítán moment, který je potřeba k utažení horního nosníku k plášti medometu, aby nedocházelo k posuvu nosníku pod křídlovou maticí. Šroubové spojení má šroub s těmito parametry [42]:

ŠROUB M6 x 55 ISO 4016 - A2 – 70

Nejprve si určíme potřebnou normálovou sílu (14), která je potřebná pro udržení tečné síly, která se v tomto případě rovná polovině naší radiální reakce od ložiska do horního profilu (12).

$$T = \frac{F_r}{2} = \frac{281}{2} = 140,5 \text{ N} \quad (31)$$

Koeficient tření za sucha při styku ocel – ocel je $\mu = 0,2$ [10].

$$T = N \cdot \mu \quad (32)$$

$$N = \frac{T}{2 \cdot \mu} = \frac{140,5}{2 \cdot 0,2} = 702,5 \text{ N} \quad (33)$$

Při použití normálního metrického šroubu je třeba spočítat utahovací moment na matici. Pro výpočet byl použit program MITCalc a výsledný utahovací moment je:

$$M = 2,02 \text{ Nm} \quad (34)$$

Šroub je ještě kontrolován díky kombinovanému namáhání na tah (16) a stříh (17).

$$\sigma = \frac{N}{S} = \frac{N}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{702,5}{\pi \cdot \frac{4,773^2}{4}} \doteq 39,3 \frac{N}{mm^2} \quad (35)$$

$$\tau = \frac{T}{S} = \frac{T}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} = \frac{140,5}{\pi \cdot \frac{4,773^2}{4}} \doteq 7,85 \frac{N}{mm^2} \quad (36)$$

Výsledné redukované napětí a koeficient bezpečnosti je pro hypotézu τ_{max} :

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 2^2 \tau^2} = \sqrt{39,3^2 + 2^2 7,85^2} \doteq 42,3 \frac{N}{mm^2} \quad (37)$$

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red}} = \frac{450}{42,3} \doteq 10,6 \quad (38)$$

Tlak v dosedací ploše hlavy (matice) šroubu a bezpečnost vůči dovolenému tlaku je:

$$p = \frac{N}{S} = 37,9 \frac{N}{mm^2} \quad (39)$$

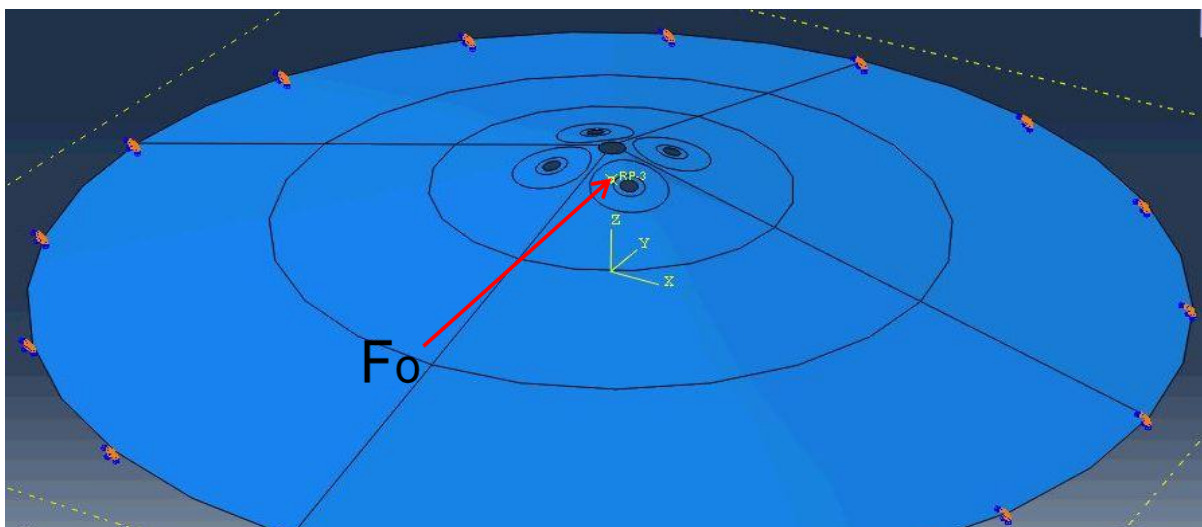
$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{75}{37,9} \doteq 2 \quad (40)$$

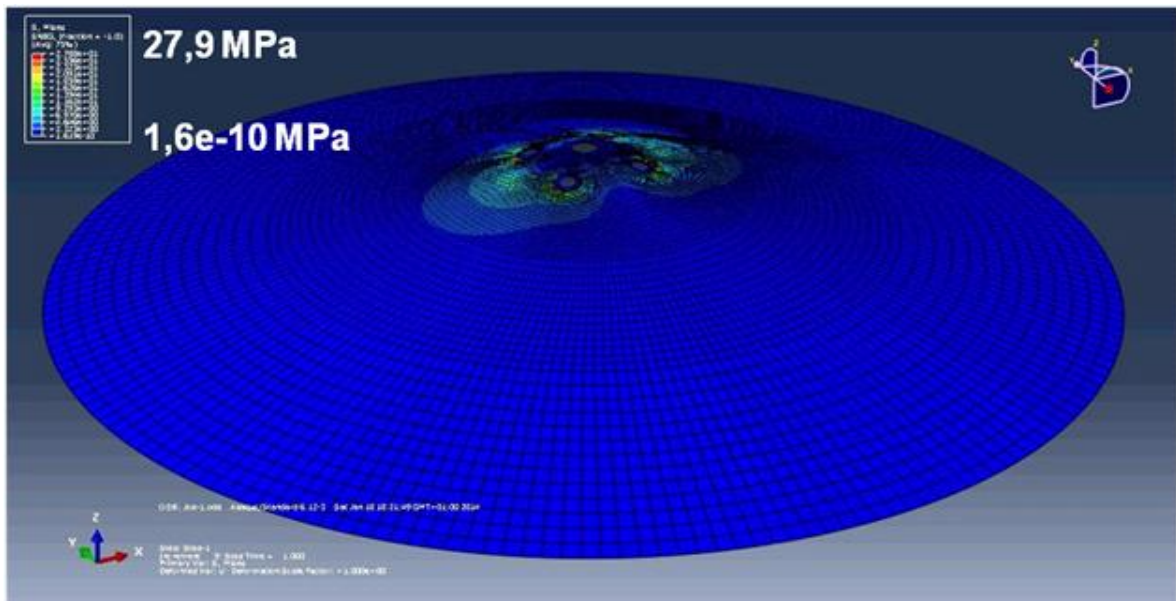
Oba koeficienty bezpečnosti jsou rovny či vyšší než 2, proto tedy považujeme části za vyhovující.

4.4. Kuželové dno

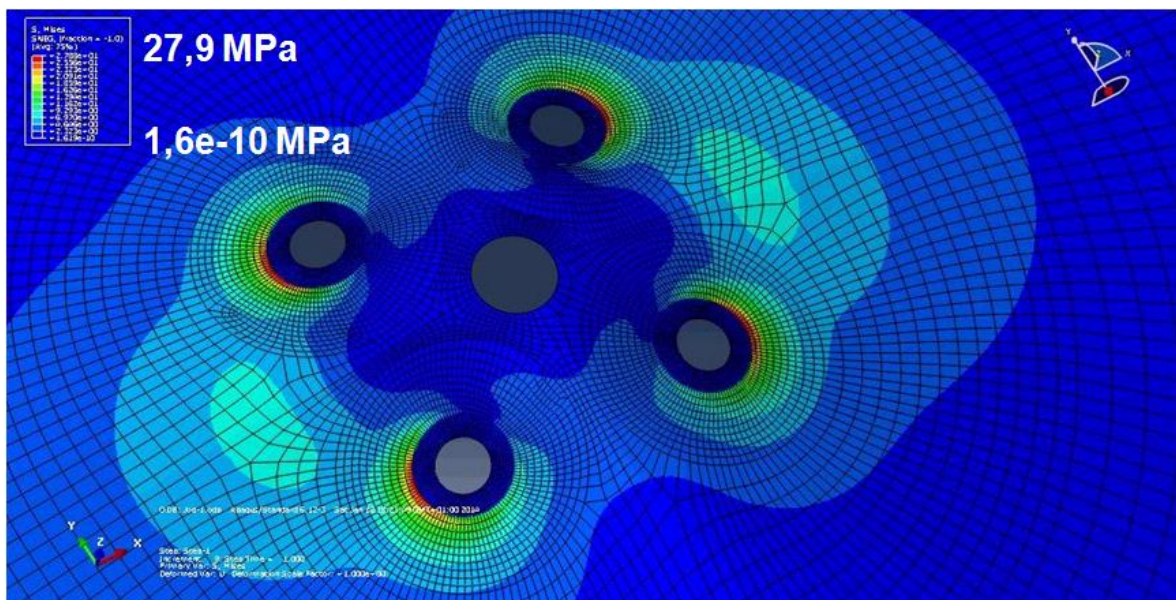
Zespodu kuželového dna je uchyceno přírubové kluzné ložisko Igubal typ EFSM – 20. Je připevněno pomocí šikmých podložek a nerezových šroubů. Přes ložisko se do kuželového dna přenáší pouze radiální síla ze zatížení koše medometu. Výpočet byl proveden numericky pomocí MKP v programu Abaqus. Na obr. 54 můžeme vidět pevné uložení dna po jeho obvodu a zatěžující radiální sílu (7) od prostředního ložiska.

$$F_o = 340 N, \quad e = 18mm \quad (41)$$

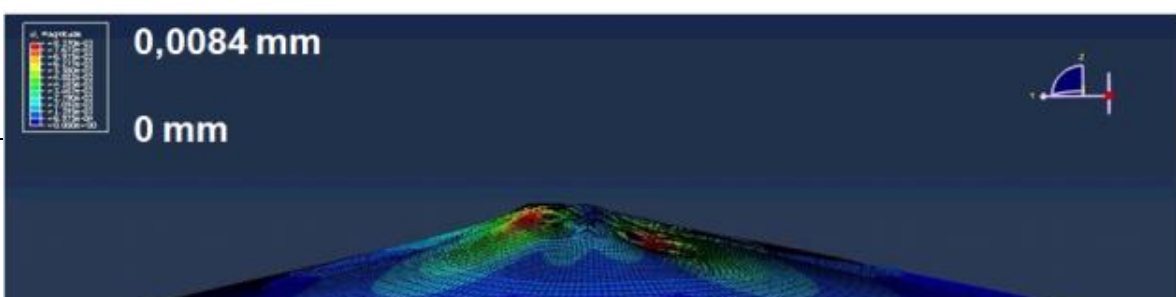




obr. 55.: Zobrazení redukovaného napětí dle HMH na dně u varianty z plechu 0,8 mm



obr. 56.: Zobrazení detailu redukovaného napětí dle HMH na dně u varianty z plechu 0,8 mm



Pro lepší výběr tloušťky plechu byl udělán výpočet pro 3 uvažované možné tloušťky plechu 0,6, 0,8 a 1 mm. Výsledky MKP analýzy lze vidět v tab. 11.

tab. 11.: Výsledky MKP analýzy kuželového dna pro různé tloušťky plechů

Tloušťka [mm]	Napětí σ_{red} [$\frac{N}{mm^2}$]	Posuv u [mm]	Natočení φ [°]	Bezpečnost k [-]
0,6	42,3	0,012	0,06	5
0,8	27,9	0,0084	0,032	7,5
1	20,4	0,0065	0,019	10,3

Téměř všichni výrobci používají při výrobě plášťů medometu plech tloušťky 1mm. Pevnostně by sice v provozu stačily i plechy o tloušťce 0,6 či 0,8 mm jak staticky tak i dynamicky, při výpočtu vyšla vysoká bezpečnost u všech 3 variant. Ale z důvodů zamezení poškození zařízení při případném nárazu či pádu při převozu medometu mezi včelnicemi je vhodné zachovat tlustší 1mm plech.

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red}} = \frac{210}{20,4} \doteq 10,3 \quad (42)$$

Proto jsem zvolil na základě této MKP analýzy tloušťku plechu 1 mm na celý plášť medometu. Výsledná bezpečnost redukovaného napětí dle HMM vůči mezi kluzu je 10,3. Je to u nejnamáhanějších míst koncentrace napětí, u uložení dna k 4 stykovým plochám zkosených podložek na tělese prostředního ložiska.

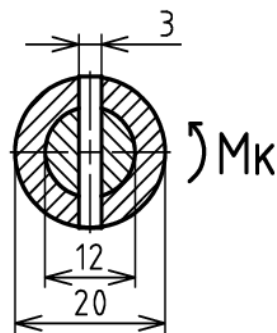
4.5. Kolík mezi hřídelemi

Kolík spojující hřídel koše a spodní hřídel (obr. 59) je kontrolován na stříh a na otláčení kontaktními tlaky (obr. 58). Při montáži je rýhovaný nerezový válcový kolík zaražen do díry ve spodní hřídeli a z obou stran roznýtován údery důlčiku.

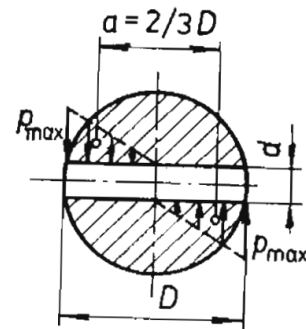
KOLÍK $\varnothing 3 \times 24$ – DIN 1473 - A1 (1.4305)

Hřídel koše (vnitřní) - X5CrNi18-10

Spodní hřídel (vnější) - S235JRG1



obr. 59.: Schéma uložení kolíku a hřídelí [AutoCAD]



obr. 58.: Průběh měrného tlaku na vnitřní hřídeli [11]

Síla působící na kolík je:

$M_K = 0,49 \text{ Nm}$ viz katalog motoru (Příloha 7)

Měrný tlak na kolík je větší v místě styku kolíku se spodní hřídelí:

$$F = \frac{i \cdot M_K}{2 \cdot r} = \frac{7,5 \cdot 0,49}{2 \cdot 0,006} \doteq 306,3 \text{ N} \quad (43)$$

- **Kontrola na stříh**

volím $c = 1,1$ vrubový součinitel [11]

$$\tau = \frac{F \cdot c}{S} = \frac{F \cdot c}{\pi \cdot r^2} = \frac{306,3 \cdot 1,1}{\pi \cdot 1,5^2} \doteq 47,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (44)$$

$$k = \frac{\tau_D}{\tau} = \frac{75}{47,6} \doteq 1,6 \quad (45)$$

Bezpečnost vůči dovolenému napětí ve smyku je 1,6. Kolík tedy vyhovuje kontrole na stříh.

- **Kontrola na otláčení**

$$D_1 = 20 \text{ mm} > 1,3 \cdot D = 1,3 \cdot 12 = 15,6 \text{ mm} \gg p_1 > p_2 \quad (46)$$

Měrný tlak na kolíku je větší u vnitřní hřídele (koše), což jsme zjistili z rovnice xx.

Maximální tlak na hřídeli je:

$$p_{1max} \approx \frac{6 \cdot i \cdot M_K \cdot c}{d \cdot D^2} = \frac{6 \cdot 7,6 \cdot 490 \cdot 1,1}{3 \cdot 12^2} \doteq 56,1 \text{ MPa} < p_D = 130 \text{ MPa} \quad (47)$$

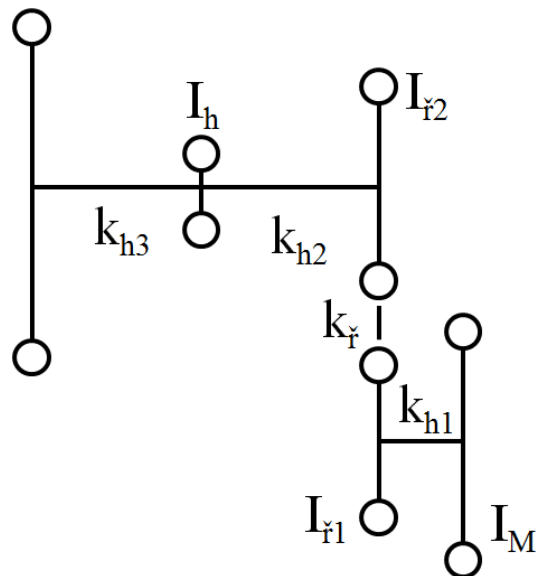
Kontaktní tlak v daném místě je menší než dovolený tlak materiálu kolíku, kolík tedy vyhovuje kontrole na otláčení.

4.6. Dynamická analýza

Celá soustava je kontrolována pro zjištění vlastních frekvencí medometu. Byl sestaven model soustavy rotujících hmot otáčejících se okolo dvou os (obr xx). V tabulce níže jsou hodnoty tuhostí a momentů setrvačností jednotlivých částí.

tab. 12.: Dynamická základní soustava

Prvek	I [kg.m ²]	Prvek	K [N.m/rad]
I _m	0,000 478		
		k _{h1}	3 845
I _{ř1}	6,595E-06		
		k _ř	44
I _{ř2}	0,000 348		
		k _{h2}	29 671
I _h	0,000 014		
		k _{h3}	2 163
I _k	1,275 4		



obr. 60.: Schéma Soustavy se dvěma hřídelemi

Celou soustavu redukuje na jeden hřídel skrze převodový poměr.

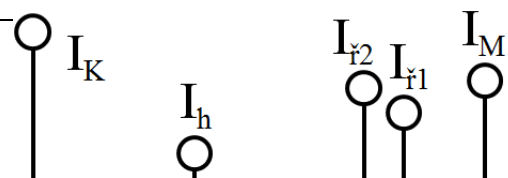
$$I_{red} = \frac{I}{i^2} \quad (48)$$

$$K_{red} = \frac{K}{i^2}$$

tab. 13.: Dynamická redukováná soustava

Prvek	I [kg.m ²]	Prvek	K [N.m/rad]
I _m	0,000 478		

KONSTRUKČNÍ NÁVRH MEDOMETU



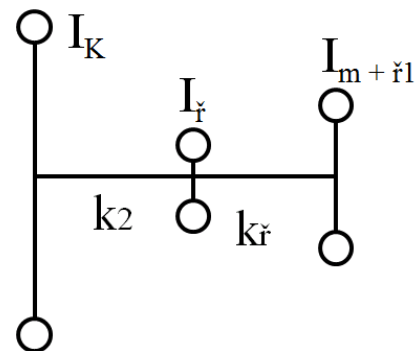
		k_{h1}	3 845
$I_{ř1}$	6,595E-06		
		$k_{ř}$	44
$I_{ř2}$	6,197E-06		
		k_{h2}	527
I_h	2,488E-07		
		k_{h3}	38
I_K	0,022 673		

obr. 61.: Schéma redukované soustavy
na jeden hřídel

Soustava byla převedena na přesnější tříhmotovou soustavu, ze které se následně určují první dvě vlastní frekvence soustavy.

tab. 14.: Dynamická tříhmotová soustava

Prvek	I [kg.m ²]	Prvek	K [N.m/rad]
$I_1 = I_m + I_{ř1}$	0,000 485		
		$k_{ř}$	43,517
$I_{ř2}$	0,000 006		
		K_2	35,840
I_K	0,0226 74		



obr. 62.: Schéma tříhmotové soustavy

Hodnota vlastních frekvencí soustavy byla vypočítána v programu EXCEL a je rovna $f_1 = 32,3$ Hz a $f_2 = 570,6$ Hz. První vlastní frekvenci odpovídají otáčky motoru $n = 1939$ ot/min.

Stojí za uvážení, jestli by nebylo lepší zvolit ještě větší profil ozubeného řemene a větší průměr hřídele koše (na 15 až 18 mm). To jsou dvě nejméně tuhé části sestavy, které výrazně snižují vlastní frekvenci celé soustavy. Tím by se vlastní frekvence medometu dostala nad budící frekvenci motoru $f = 50$ Hz a tím by nebylo možné při provozu dosáhnout či překročit vlastní frekvence soustavy. Už tak je ale zvolený ozubený řemen více než dvojnásobně předdimenzován a větší profil řemenu zase nedovoluje řemenice s tak malými počty zubů. Nejen profil ale i počty zubů by se musely úměrně zvětšit a to je zbytečné při takto malém výkonu stroje ještě více předdimenzovávat pohon. A díky tomu, že se nejčastěji vytáčí v dolní třetině až polovině otáček motoru, tak se vlastně motor



může dostat do problematických otáček 1940 ot/min jen výjimečně, kdy by mohlo dojít k rozkmitání soustavy. V horní třetině otáček se medomet využívá jen zcela výjimečně, pokud vytáčíme velmi tuhé medovicové medy.

5. Závěr

V úvodu práce je uvedeno krátké seznámení s tím, kam včely ukládají med a jaké úly se dnes nejvíce používají.

V rešerši je rozebrána problematika medometů a jejich možné technické řešení. Práce se zabývá pouze technologií vytáčení medu pomocí medometů, které se dnes nejčastěji používají k extrakci medu ze včelích plástů.

Dle provedené rešerše na trhu a v literatuře byla vybrána taková varianta medometu, která odpovídá požadavkům zadání této práce. Na základě výběru vhodné varianty došlo ke kompletnímu návrhu nového zařízení jak z pohledu konstrukce, tak i z pohledu elektroniky. Vznikl 3D model zařízení, výkres sestavy a bylo provedeno několik nezbytných výpočtů. Výpočty se týkaly především kinematiky stroje, pohonu ale hlavně pevnostních výpočtů nově navržené konstrukce. Byla provedena i MKP analýza na nejnamáhanějších místech konstrukce a hodnoty byly porovnány s analytickými výpočty. MKP analýza se provedla pro několik variant tloušťek plechů daných dílů, aby bylo možné objektivně říci, jestli nejsou ostatní výrobky na trhu příliš předimenzované.

Reálně však budou všechny vypočítané hodnoty životností a koeficientů bezpečnosti vyšší, protože v normálním provozu je hmotnost vytáčených rámků o 20 až 50 % nižší, než u rámků uvažovaných pro všechny výpočty v této práci. Ovšem pro bezpečí medometu by bylo vhodné, aby se v programu mikroprocesoru zařadila podmínka omezení otáček. Z dynamické analýzy vyplývá, že vlastní frekvence soustavy je 1939 ot/min. A proto by bylo vhodné jednoduše softwarově ošetřit, aby se motor vůbec neotáčel v rozsahu 1850 až 2040 ot/min. Pokud by byla taková hodnota nastavena na potenciometru ovládacího panelu, mikroprocesor by jednoduše řídil motor na vyšší či nižší hodnotu zmíněného rozsahu, aby se medomet nedostával do blízkosti první vlastní frekvence.

Navržený medomet by měl být uživatelsky velmi přívětivý jak z pohledu jednoduchosti použití, tak i díky preciznímu dotažení konstrukčních detailů. Tyto vlastnosti řadí navržený medomet mezi ty kvalitnější a odladěnější na našem trhu.

Medomet je jednoduchý svou konstrukcí i používáním a zároveň využívá snadnějšího ovládní díky použití mikroprocesoru a ovládacích prvků na řídicím panelu. Včelaři si už nemusí při každém otáčení rámků ručně nastavovat zvolený směr a otáčky medometu, ale jen spustí medomet správným tlačítkem. Mají už přednastavené hodnoty

otáček pomocí potenciometrů na ovládacím panelu a jen si tlačítkem zapnou právě tak rychlý cyklus, v jaké fázi vytáčení medných plástů zrovna jsou.

Zadané cíle práce lze považovat za splněné, protože byl navržen takový medomet, který se na našem trhu ještě nevyskytuje a disponuje výše zmíněnými výhodami. Jeho nevýhodou ale je, že bude řádově o 20% dražší oproti obdobným osmirámkovým tangenciálním medometům. Pohodlné ovládání pomocí ovládacího panelu a elektronika řízená mikroprocesorem s výkonovými tranzistory cenu navyšují. Konkurence většinou disponuje pouze stejnosměrným motorem s řídící jednotkou ovládající pouze směr a rychlost otáčení.

Seznam zkratk a symbolů

Značka	Název	Jednotka
a	osová vzdálenost	[mm]
a_d	dostředivé zrychlení	[m/s ²]
C	základní dynamická únosnost	[kN]
C_0	základní statická únosnost	[kN]
d	průměr	[mm]
d_w	roztečný průměr malé řemenice	[mm]
D	vnější průměr	[mm]
D_w	roztečný průměr velké řemenice	[mm]
e	excentricita	[mm]
E	modul pružnosti	[10 ⁵ N/mm ²]
f	frekvence	[Hz = s ⁻¹]
F	zatěžující síla	[N]
F_a	axiální síla	[N]
F_r	radiální síla	[N]
g	tíhové zrychlení	[kg/s ²]
i	převodový poměr	[-]
I	moment setrvačnosti	[kg.m ²]
J	kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
k	koeficient bezpečnosti	[-]
K	torzní tuhost	[N.m/rad]
l	délka prvku	[mm]
m	hmotnost	[kg]
M_k	krouťící moment	[Nm]
M_o	ohybový moment	[Nmm]
μ	součinitel smykového tření	[-]
n_i	otáčky tělesa i	[ot/min]
N	normálová síla	[N]
ω	úhlová rychlost	[rad/s]
π	Ludolfovo číslo	[-]



p	tlak	$[\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2]$
p_D	dovolený měrný tlak	$[\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2]$
P	výkon	$[\text{W}]$
P_b	minimální základní jmenovitý výkon	$[\text{W}]$
P_d	návrhový výkon	$[\text{W}]$
r	poloměr	$[\text{mm}]$
R_{ai}	axiální reakce v místě i	$[\text{N}]$
R_{ri}	radiální reakce v místě i	$[\text{N}]$
R_e	mez kluzu	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
S	plocha průřezu	$[\text{mm}^2]$
σ_o	ohybové napětí	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
σ_{red}	redukované napětí	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
T	tečná síla	$[\text{N}]$
τ	smykové napětí	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
W_o	modul průřezu v ohybu	$[\text{mm}^3]$
W_k	modul průřezu v krutu	$[\text{mm}^3]$

Seznam použité literatury

- [1] *Včelařství*. Vyd. 1. České Budějovice: PSNV, 2016. ISBN 978-80-260-9090-8.
- [2] WARRÉ, Abbé Émile. *Včelaření pro každého*. Vyd. 1. Netoliko, 2018, 215 s. ISBN 978-80-907142-0-5.
- [3] TITĚRA, Dalibor. *Včelí produkty mýtů zbavené: med, vosk, pyl, mateří kašička, propolis, včelí jed*. Vyd. 2. Praha: Brázda, 2013. ISBN 978-80-209-0398-3.
- [4] VESELÝ, Vladimír. *Včelařství*. Vyd. 3. Praha: Brázda, 2013. 270 s. ISBN 978-80-209-0399-0.
- [5] GRITSCH, Heinrich. *Silná včelstva po celý rok*. Vyd. 1. Přeložil Ing. Dalibor Titěra. Praha: Ve spolupráci s Českým svazem včelařů vydalo nakl. Brázda, 2010, 176 s. ISBN 978-80-209-0381-5.
- [6] TRÁVNÍČEK, Petr, VÍTĚZ, T. – PŘIDAL, A. *Reologické vlastnosti medu*. Scientia agriculturae bohemica. 2012 (4). s. 160 – 165.
- [7] Katalog IGUS. *Pouzdra, flexibilní kabely, energetické řetězy*. Litoměřice: Hennlich Industrietechnik, spol. s.r.o., 2007
- [8] SKF. *Řemeny SKF pro přenos výkonu*. Katalog výrobků. 2014. 170s.
- [9] DRASTÍK, František. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999, 722 s. ISBN 80-85780-95-X.
- [10] LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006, XIV, 914 s. ISBN 80-736-1033-7.
- [11] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Technický průvodce. ISBN 80-03-00046-7.
- [12] Katalog materiálů v programu MITCalc 1.5. 2003 - 2009
- [13] POSPÍCHAL, Jaroslav. *Technické kreslení*. 3., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 1996, 88 s. ISBN 978-80-01-05595-3.
- [14] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: Spoje a části spojovací*. Vyd. 3. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 169 s. ISBN 978-80-01-04138-3.

- [15] JANČÍK, Luděk a Jiří ZÝMA. Části a mechanismy strojů. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02891-7.
- [16] ŠVEC, Vladimír. Části a mechanismy strojů: Příklady. Vyd. 3. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, 121 s. ISBN 80-010-2157-2.
- [17] MICHALEC, Jiří. Pružnost a pevnost II. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 215 s. ISBN 80-010-2375-3.
- [18] ŠVEC, Vladimír. Části a mechanismy strojů: Mechanické převody. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 174 s. ISBN 80-010-1934-9. asi smazat včetně tohoto díla
- [19] ŘEZNÍČEK, Jan a ŘEZNÍČKOVÁ, Jitka. Pružnost a pevnost v technické praxi: Příklady II. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 62 s. ISBN 80-01-03584-0. asi pryč

Internetové zdroje:

- [20] *Possum Park Honey* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.possumparkhoney.com.au/>
- [21] *Včelařem.cz* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://vcelarem.cz/me-prvni-vytaceni-medu/>
- [22] ČERŇANSKÝ, Martin. *Včelařství - špalkové a prkenné úly: Klátové, rozběrné a nástavkové včelí úly*. In: Památky a lidová architektura ČR [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.lidova-architektura.cz/architektura-historie/stavby-typy/uly-spalkove-prkenne.htm>
- [23] *When to harvest honey - Tips & tricks*. [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.mybeeline.co/en/p/when-to-harvest-honey>
- [24] BELL, Corwin. *Harvesting Honey from a Top Bar Hive*. [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://backyardhive.com/blogs/beginning-beekeeping/harvesting-honey-from-a-top-bar-hive>
- [25] The war restore. *Harvesting from top bar hive bodls*. [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.thewarrestore.com/harvesting-from-top-bar-hive-bodies>
- [26] Václav Smolík. *Bez mezistěn, bez rámků, bez medometu*. [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://mamevcely.wordpress.com/2013/02/11/uvod-do-tematu/>

- [27] VČELAŘSKÉ POTŘEBY. *Vřeteno nerezové – 3 rámek*. [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.vceliveci.cz/klasicke-tangencialni/vreteno-nerezove---3-ramek/>
- [28] KOVÁŘ Martin, *Medomety z Valašska*. [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.medomety-kovar.cz/foto/slides/MZ800.jpg>
- [29] Sláma zámečnictví. *Vřetena k medometům*. [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://slamazamecnictvi.webnode.cz/vretena/>
- [30] Včelí věci. *Zvratný 6ti rámkový medomet*. [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.vceliveci.cz/zvratne/mz660v-6a-zvratny-medomet-6-ramkovy-automat/>
- [31] JIRUŠ, Karel. *Včelaři sobě. Medomet: jedna z často řešených a ani po sto letech nevyřešených otázek*. [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://www.vcelarisobe.cz/2019/02/medomet-jedna-z-casto-resenych-a-ani-po-stu-letech-nevyresenych-otazek/>
- [32] Včelařské potřeby online. *Automatická linka na vytáčení medu*. [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://vcelarske-potreby.on-line-obchod.cz/automaticka-linka-lyson>.
- [33] Apinovo. *Linka na vytáčení medu*. [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.apinovo-vcely.cz/produkt/vcelarske-stroje/>
- [34] OPIS Engineering k.s. *DC motory. Komutátorové motory*. [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://opis.cz/ggm/DC_StandardBrush_k9d60.html
- [35] *Strip Light Switch Power Supply Safty Transformer*. [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://www.ebay.com/itm/110-220V-To-DC-12V-24V-LED-Strip-Light-Switch-Power-Supply-Safty-Transformer-/281428816447?pt=LH_DefaultDomain_15&var=&hash=item418676f23f#shpCntrl
- [36] Core Electronics. *Arduino Nano v3.0*. [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://core-electronics.com.au/nano-v3-0-board.html>
- [37] Hennlich, spol. s.r.o. *Kluzná pouzdra a vedení. Kloubová ložiska – Přírubová ložiska*. [online]. [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/kluzna-pouzdra-a-vedeni-kloubova-loziska-prirubova-loziska-669.html>



- [38] SKF. *Ložiska*. katalog produktů. [online]. [cit. 2019-06-28]. Dostupné z: <https://www.skf.com/>
- [39] ebay.com. *Timing Pulley Belt set*. [online]. [cit. 2019-06-30]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/HTD-5M-84-12-Tooth-Width-21mm-Timing-Pulley-Belt-set-kit-Reduction-Ratio-7-1-CNC/263105799220?hash=item3d4253e434:m:mDSdZF1elqbsdif3j0kjChg>
- [40] Bohdan Bolzano, s.r.o.: *ocel v pohybu. Materiálový list oceli x6crni18-10*. [online]. Kladno: Bolzano, 2017. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke#>
- [41] Bohdan Bolzano, s.r.o.: *ocel v pohybu. Materiálový list konstrukčních nelegovaných ocelí*. [online]. Kladno: Bolzano, 2017. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-mechanickych-vlastnosti-oceli-podle-en-10025-nove>
- [42] BOSSARD. *Technické informace Spojovací technika*. [online]. [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/data/editor/file/BOSSARD%20Techinfo.pdf>



Seznam použitého softwaru

- Microsoft Office 2007 (Word, Excel, PowerPoint, OneNote)
- Mozilla Firefox
- Foxit Reader
- XnView
- Autodesk Inventor Professional 2014 a 2020
- Autodesk AutoCAD 2018
- Abaqus CAE
- MITCalc 1.5
- ProfiCAD

Seznam obrázků

obr. 1.: Rámek z včelího úlu s včelnicí v pozadí	1
obr. 2.: Rámek plný zavíčkovaného medu [19].....	2
obr. 3.: Med stříkající z rámků při vytáčení v medometu [20].....	2
obr. 4.: Klátový úl [21].....	4
obr. 5.: Košnice a nástavkový úl [1]	4
obr. 6.: Odebírání medných rámků z nástavkového úlu Langstroth 2/3 [22]	5
obr. 7.: Odebírání medných rámků z úlu pro volnou stavbu bez rámků [24].....	5
obr. 8.: Odebírání medných rámků z úlu typu Top bar hive [23]	5
obr. 9.: Rozřezání pláství a vykapání medu přes cedník [25]	6
obr. 10.: Odvíčkování a vkládání rámků do medometu [1]	7
obr. 11.: Odvíčkování rámků plného medu [5]	7
obr. 12.: Dřevěný medomet [26]	8
obr. 13.: Koš medometu Kovář [26].....	9
obr. 14.: Plášť medometu Kovář [27].....	9
obr. 15.: Schémata typů medometů [4]	10
obr. 16.: Koš tangenciálního medometu firmy Sláma zámečnictví [28].....	12
obr. 17.: Koš zvratného medometu firmy Kovář [29]	12
obr. 18.: Koš radiálního medometu od firmy Sláma zámečnictví [28]	12
obr. 19.: Paralelnotangenciální medomet od firmy Lysoň [30]	12
obr. 20.: Vytáčecí linka s paralelnotangenciálním medometem od firmy Apinovo [31]	13
obr. 21.: Motor K9D 150N2 od firmy GGM [34]	17
obr. 22.: Graf průběhu otáček	17
obr. 23.: Schéma ovládacího panelu medometu	18

obr. 24.: Usměrněný zdroj na 240W [33]	18
obr. 25.: Arduino Nano v3.0 [21]	19
obr. 26.: Graf závislosti dynamické viskozity na teplotě medu [6]	22
obr. 27.: Graf Dynamické viskozity medu v závislosti na obsahu vody [2]	22
obr. 28.: Graf průběhu otáček při 3 cyklech vytáčení	23
obr. 29.: Zobrazení odstředivé síly působící na rámeček při ustáleném rotačním pohybu koše	24
obr. 30.: Uvolnění ve směru x při ustáleném rotačním pohybu koše	24
obr. 31.: Uvolnění ve směru y při ustáleném rotačním pohybu koše	24
obr. 32.: Schéma polohy odstředivé síly 2 rámečků vůči ložiskům	25
obr. 33.: Schéma všech silových účinků působících na hřídel koše [AutoCAD]	26
obr. 34.: Schéma hřídelí a ložisek s jejich reakcemi	27
obr. 35.: Přírubové ložisko Igubal typ EFOM – 12 [37]	28
obr. 36.: Přírubové ložisko Igubal typ EFSM – 15 [37]	28
obr. 37.: Ložisko FYTB 15 FM [35]	29
obr. 38.: Ilustrativní obrázek ozubených řemenic a řemenu [37]	30
obr. 39.: Graf volby typu řemenu [8, str. 108]	31
obr. 40.: Řez celým medometem [Inventor]	33
obr. 41.: Pohled shora na medomet [Inventor]	34
obr. 42.: Rendr celého medometu [Inventor]	34
obr. 43.: Navržený koš medometu [Inventor]	34
obr. 44.: Schéma sil a momentů působících na hřídel koše	37
obr. 45.: Uložení a zatížení hřídele	37
obr. 46.: Radiální síla	38
obr. 47.: Ohybový moment	38
obr. 48.: Schéma uvolnění nosníku	39

obr. 49.: Schéma ohybového momentu	39
obr. 50.: Zobrazené uložení a zatížení nosníku [Abaqus]	40
obr. 51.: Zobrazení redukovaného napětí dle HMM u varianty 2mm nosníku	40
obr. 52.: Zobrazení průhybu nosníku u varianty z 2 mm plechu	41
obr. 53.: Zobrazení natočení nosníku u varianty z 2 mm plechu	41
obr. 54.: Zobrazené uložení a zatížení dna [Abaqus]	43
obr. 55.: Zobrazení redukovaného napětí dle HMM na dně u varianty z plechu 0,8 mm	44
obr. 56.: Zobrazení detailu redukovaného napětí dle HMM na dně u varianty z plechu 0,8 mm	44
obr. 57.: Zobrazení 1000x zvětšeného průhybu dna u varianty z plechu 0,8 mm	44
obr. 58.: Průběh měrného tlaku na vnitřní hřídeli [10]	46
obr. 59.: Schéma uložení kolíku a hřídelí [AutoCAD]	46
obr. 60.: Schéma Soustavy se dvěma hřídelemi	47
obr. 61.: Schéma redukované soustavy na jeden hřídel.....	48
obr. 62.: Schéma tříhmotové soustavy	48

Seznam tabulek

tab. 1.: Porovnání vlastností nepoužívanějších medometů.....	11
tab. 2.: Rezerva pro med při dané výšce dna pláště medometu	15
tab. 3.: Parametry motoru K9D 150N2	17
tab. 4.: Parametry stejnosměrného zdroje fi Smun.....	18
tab. 5.: Výsledné řešení vícekriteriálního rozhodnutí volby parametrů medometu	20
tab. 6.: Provozní parametry horního ložiska EFOM – 12	28
tab. 7.: Provozní parametry horního ložiska EFSM – 15	29
tab. 8.: Vlastnosti ložiska SKF - FYTB 15 FM [35]	29
tab. 9.: Materiálové konstanty použitých materiálů	36
tab. 10.: Výsledky MKP analýzy horního nosníku pro různé tloušťky plechů.....	41
tab. 11.: Výsledky MKP analýzy kuželového dna pro různé tloušťky plechů.....	45
tab. 12.: Dynamická základní soustava	47
tab. 13.: Dynamická redukovaná soustava	47
tab. 14.: Dynamická tříhmotová soustava	48



Seznam příloh

- 1) 3D model medometu v programu Autodesk Inventor
- 2) Výkres sestavy medometu - 1 Medomet
- 3) Kusovník sestavy medometu – 1K Medomet
- 4) Výkres koše medometu - 2 Koš
- 5) Schéma elektroniky medometu
- 6) Kód řídicího programu pro Arduino
- 7) Katalogový list motoru K9D_150N2 od firmy GGM
- 8) Materiálový list nerezové oceli X5CrNi18-10 (AISI 304)

Příloha 6 - Kód řídicího programu pro Arduino

```
/*
program řízení medometu
*/

//nastavení Digitálních pinů
const int pinT1 = 2;      // nastavení T1
const int pinT2 = 4;      // nastavení T2
const int pinT3 = 8;      // nastavení T3
const int pinrele1 = 10;   // nastavení výstupu na relé
const int pinrele2 = 12;   // nastavení výstupu na relé
const int pinTranzistor = 6; // nastavení výstupu na optočlen
const int pinTstop = 13;  // nastavení Tlačítka stop

//nastavení Analogových pinů
int pinn1 = A0;           // nastavení n1
int pinn2 = A2;           // nastavení n2
int pinn3 = A4;           // nastavení n3
int pint1 = A1;           // nastavení t1
int pint2 = A3;           // nastavení t1
int pint3 = A5;           // nastavení t1

void setup()
{
  pinMode(pinT1, INPUT);
  pinMode(pinT2, INPUT);
  pinMode(pinT3, INPUT);
  pinMode(pinrele1, OUTPUT); // ovládání relé 1. směr
  pinMode(pinrele2, OUTPUT); // ovládání relé 2. směr
  pinMode(pinTstop, INPUT); //tlačítko stop
  pinMode(pinTranzistor, OUTPUT); // PWM regulace tranzistoru
}

void loop()           //hlavni smycka
{
  int t1;
  int t2;
  int t3;
  int hodnota = 0;    // Stav ve switchcasu = nic či některý běh cyklus

  if (pinT1 == HIGH) {hodnota=1;}
  if (pinT2 == HIGH) {hodnota=2;}
  if (pinT3 == HIGH) {hodnota=3;}

  switch(hodnota) {
  case 0:
  break;

  case 1:
  t1=analogRead(pint1); // načíst nastavenou dobu cyklu 1
  cyklus(t1, hodnota);
  break;

  case 2:
  t2=analogRead(pint2); //načíst nastavenou dobu cyklu 2
  cyklus(t2, hodnota);
  break;
```

```

case 3:
  t3=analogRead(pint3); //načíst nastavenou dobu cyklu 3
  cyklus(t3, hodnota);
break;
}
}

void cyklus(t, hodnota)          //hlavni smycka
{
  int t;
  int hodnota;
  int ta;
  int tb;
  int tc;
  int td;
  int rele;
  int faze;
  int otacky;
  int a;
  long pocatek;
  char pinn;
  pocatek = millis()/100; // doba od začátku aplikace v s/10
  t = map(t,0,1023,1200,6000); //prevod hodnot z potenciometru na 2-10 min v jednotkách s/10
  digitalWrite(pinrele1, HIGH); // nastavení 1. směru otáček
  delay(500);
  digitalWrite(pinrele2, LOW); // nastavení 1. směru otáček
  while(a = (digitalRead(pinTstop))!=HIGH)
  {
    if (hodnota=1) {pinn="pinn1";}
    if (hodnota=2) {pinn="pinn2";}
    if (hodnota=3) {pinn="pinn3";}
    n = analogRead(pinn); //načíst nastavené otáčky na daném potenciometru
    n = map(n,0,1023,0,255); //prevod hodnot z potenciometru na PWM rozsah
    ta = t/8;
    tb = ta+t/4;
    tc = tb+t/8;
    td = tc+t/8;
    ubehnuto = millis()/100-pocatek;

    if (ubehnuto<ta) {
      faze = 1;
    }
    else if (ubehnuto<tb) {
      faze = 2;
    }
    else if (ubehnuto<tc) {
      faze = 3;
    }
    else if (ubehnuto<td) {
      faze = 4;
    }

    if (ubehnuto = tc) {
      digitalWrite(pinrele1, LOW); // nastavení 2. směru otáček
      delay(500);
      digitalWrite(pinrele2, HIGH); // nastavení 2. směru otáček
    }
  }
}

```

```

    switch(faze) {
case 1:          // rozběh
    otacky = ubehnuto*n/ta;
break;

case 2:          // výdrž
    otacky = n;
break;

case 3:          // doběh
    otacky = n-(ubehnuto-tb)*n/(tc-tb);
break;

case 4:          // brždění
    otacky = ubehnuto*n/td;
break;

    analogWrite(pinTranzistor,otacky);    //vystup na PWM = samotné otáčení motoru

    if (ubehnuto = td) {a == HIGH} // ukončení běhu motoru
    }
    }
}
// attachInterrupt(3, 0, mode) // Tstop - vypnutí cyklu

```

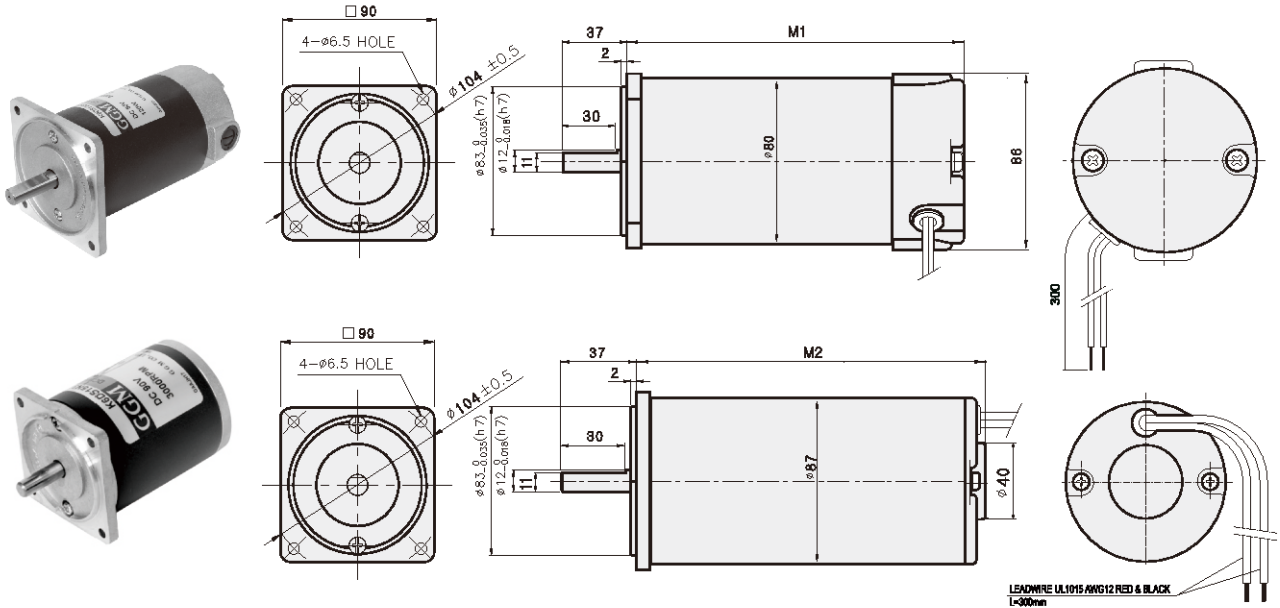
Příloha č. 7 - Katalogový list motoru K9D_150N2 od firmy GGM [34]

DC MOTOR

60W
~200W

□90mm

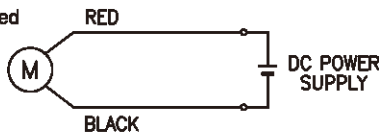
DIMENSIONS



CONNECTION DIAGRAMS

RED → ⊕ CW
BLACK → ⊖ CCW

* The direction of motor rotation is as viewed from the front shaft end of the motor



DIMENSION TABLE

M1	∅	MOTOR	M2	∅	MOTOR
143	80	K9D□60N□ K9D□90N□	170	87	K9D□150N1 K9D□200N1 K9D□200N2
168		K9D□120N□ K9D□150N2 K9D□150N3 K9D□200N3			

SPECIFICATIONS

Model	Output (W)	Voltage (V)	RATED			Start T. (N·m/kgf·cm)	Starting Current (A)
			Speed (rpm)	Torque (N·m/kgf·cm)	Current (A)		
K9D□60N1	60	12	3000	0.19/1.9	12	1.46/14.6	80
K9D□60N2		24			4.6		60
K9D□60N3		90			1.4		13
K9D□90N1	90	12		0.3/3	13.4	1.63/16.3	76
K9D□90N2		24			5.9		67
K9D□90N3		90			1.6		14
K9D□120N1	120	12		0.39/3.9	17.9	1.75/17.5	90
K9D□120N2		24			7.7		85
K9D□120N3		90			1.9		25
K9D□150N1	150	12		0.49/4.9	21.1	2.22/22.2	111
K9D□150N2		24			9		94
K9D□150N3		90			2.5		30
K9D□200N1	200	12	0.65/6.5	28	1.8/18	89	
K9D□200N2		24		12		124	
K9D□200N3		90		3.3		32	

* □ : SHAFT SHAPE (S : STRAIGHT, P : PINION)

Příloha č. 6 - Materiálový list nerezové oceli X5CrNi18-10 [40]

Materiálový list oceli ČSN 240, EN:X5CrNi18-10

Druh oceli

Austenitická korozivzdorná ocel.

TDP

EN 10088-3 (polotovary, tyče, válcovaný drát, profily), EN 10088-2 (plechy a pásy), DIN 17455 (trubky kruhové svařované), DIN 17456 (trubky kruhové bezešvé) – pro všeobecné použití. DIN 17 440 (tažený drát).

Označení

EN 10088, DIN 17455, 17456, 17440	AISI (USA)	JIS (Japan)	ČSN
X5CrNi18-10 (1. 4301)	304	SUS 304	17 240

Korozní odolnost

Ocel velmi dobře odolává : atmosférické korozi v ne příliš znečištěném venkovním prostředí, pitné vodě, zředěné kyselině dusičné a některým organickým kyselinám. Ocel dobře odolává produktům potravinářského průmyslu, jako jsou např. ovocné šťávy, mléčné výrobky, pivo a další. Sniženou odolnost vykazuje vůči vínu, resp. vinnému moštu. V prostředí hahogenidů může dojít k napadení bodovou korozi. Ve stavu po rozpouštěcím žhání bez následného zcitlivění odolává též mezikrytalové korozi. Ke zcitlivění a vzniku náchylnosti k mezikrytalové korozi může dojít, je-li ocel vystavena po určité době teplotám v rozmezí 500 až 900°C.

Chemické složení tavby v % hmot. podle EN 10088, DIN 17455, 17456 a DIN 17 440.

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
<= 0.07	<= 1.00	<= 2.00	max. 0.045	max. 0.030	<= 0.11	17,00-19,50	8,00 – 10,50

1) Pro EN 10088-2, DIN 17455 a DIN 17456 je S <= 0.015 % . Pro výrobky určené k obrábění je dovolen obsah S 0,015 – 0,030% .

Dovolené úchytky chem. složení v hotovém výrobku v % hmot.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	
C<= 0.03 C> 0.03	+0.005 +0.01	+ 0,05	<= 1.0 +- 0,03 > 1.0 +- 0.04	+ 0,005	S <= 0.015 + 0.03 S > 0.015 + 0.05	+ 0,20	<= 10.0 +- 0.10 > 10.0 +-0.15	+ - 0.01

Mechanické vlastnosti pro polotovary, tyče, válcovaný drát a profily při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žhání podle EN 10088-3

Tloušťka (d) mm	Tvrdost HB max. inf. 1)	Rp0,2 min. MPa	Rp 1,0 min. MPa	Rm MPa	A % min. 1)		Vrubová houž. (ISO-V) KV J min.	
					L	Q	L	Q
d <= 160	215	190	225	500 až 700	45	-	100	-
160 < d <= 250	215	190	225	500 až 700	-	35	-	60

L – podélný směr zkoušení, Q – příčný směr zkoušení.

1) pro za studena tažené profily a tyče tloušťky <= 35 mm se může maximální hodnota tvrdosti zvýšit o 100 jednotek a pevnost o 200 MPa. Minimální hodnota prodloužení (A) se v tomto případě sníží na 20%. Pro válcovaný drát platí pouze hodnoty pevnosti.

Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stavu po rozpouštěcím žhání podle EN 10088-3.

Rp0,2 v MPa při teplotách ve °C										Rp1,0 v MPa při teplotách ve °C									
100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
155	140	127	118	110	104	98	95	92	90	190	170	155	145	135	129	125	122	120	120

Mechanické vlastnosti při 20°C po zpevnění za studena (např. po tažení) podle EN 10088-3.

Označení třídy pevnosti	Rp0,2 min. MPa	Rm MPa	Prodloužení A % min.
C700 (do průměru 25 mm)	350	700 až 850	20
C800 (do průměru 35 mm)	500	800 až 1000	12

Mechanické vlastnosti pro plechy a pásy při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žhání podle EN 10088-2.

Výrobek 1)	Tloušťka d min. mm	Rp0,2 min. MPa Q 2)	Rp1,0 min. MPa Q 2)	Rm MPa	A _{80mm} % tl. < 3 mm min. Q 3)	A % tl. ≥ 3 mm min. Q 4)	Vrubová houževnatost (ISO-V) KV J min. tl. > 10 mm	
							L	Q
C	6	230	260	540 až 750	45 5)	45 5)	-	-
H	12	210	250	520 až 720	45 5)	45 5)	90	60
P	75	210	250	500 až 700	45	45	90	60

1) C – za studena válcovaný pás, H – za tepla válcovaný pás, P – za tepla válcovaný plech.

2) Q – příčný směr zkoušení. Jsou-li u pásu šířky < 300 mm odebírány zkušební vzorky v podélném směru, snižují se hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 o 15 MPa a prodloužení pro konstantní měřenou délku o 5% a pro proporcionální měřenou délku o 2%. Pro výrobky kontinuálně válcované lze v objednávce dohodnout min. hodnotu Rp0,2 o 20 MPa vyšší a pro Rp1,0 o 10 MPa vyšší.

3) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a vzorky měřené délky 80 mm a šířky 20 mm. Vzorky o měřené délce 50 mm a šířce 12,5 mm mohou být též použity.

4) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a vzorky o měřené délce 5,65 \cdot Š₀. 5) Pro výrobky rovnané napínáním je hodnota o 5% nižší.

Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stav po rozpouštěcím žhání podle EN 10088-2.

Rp0,2 v MPa při teplotách ve °C										Rp1,0 v MPa při teplotách ve °C									
100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120

Mechanické vlastnosti při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žhání pro svařované trubky podle DIN 17 455 a bezešvé trubky podle DIN 17 456.

Uvedené hodnoty platí pro tloušťku stěny do 50 mm.

Rp 0,2 min. MPa	Rp 1,0 min. MPa	Pevnost v tahu MPa 1)	Prodloužení A (L ₀ = 5,65 \cdot Š ₀) % min 1)	
			V podélném směru	V příčném směru
195	230	500 až 720	40	35

1) Pokud nejsou výrobky podle DIN 17455 dodávány ve stavu po rozpouštěcím žhání, může být horní hranice pevnosti překročena o 70 MPa a prodloužení o 5 jednotek podkročeno. Poznámka neplatí pro výrobky podle DIN 17456