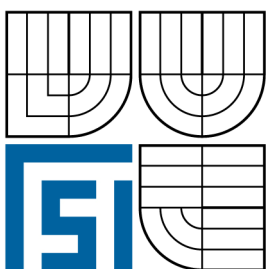


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

MÍCHACÍ A HNĚTACÍ ZAŘÍZENÍ

MIXING AND KNEADING MACHINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR KOPÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK PROKEŠ

Brno 2011

ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh dvoustupňového míchacího zařízení, které bude součástí linky na výrobu plastové střešní krytiny. Parametry linky: kapacita linky 400 ks/hod, hmotnost jedné tašky 2,5 kg, plynový ohřev náplně na 130 °C.

Diplomová práce obsahuje:

1. úvod
2. přehled současného stavu poznání
3. formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. vymezení cílů práce
5. návrh metodického přístupu k řešení
6. návrh variant řešení a vybrání optimální varianty
7. konstrukční řešení
8. závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení).

Forma diplomové práce: průvodní zpráva, technická dokumentace.

Účel zadání: pro potřeby průmyslu.

Typ diplomové práce: konstrukční.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem míchacího a hnětacího zařízení s ohřevem míchané hmoty. Ta je složena z PET, HDPE, křemičitého písku a přísad. Na počátku práce jsou uvedeny znalosti získané z dostupných zdrojů, které se týkají tématu. Následuje návrh variant a výběr vhodného řešení. Za pomoci získaných znalostí a vybrané varianty je proveden konstrukční proces, v jehož průběhu je vytvořena návrhová sestava zařízení. Konstrukční proces obsahuje návrh jednotlivých součástí, pevnostní kontrolu zásadních konstrukčních uzlů a návrh ohřevu hmoty.

Klíčová slova: míchání, hnětení, míchací stupeň, konstrukce, ohřev

ANNOTATION

This diploma work deals with design of the mixing and kneading machine which works with heated mixed components. The components consist of PET, HDPE, silica sand and additives. First, there is introduced knowledge from accessible sources, which are concerned with the theme. Then follows projection of variants and selection of suitable solution. With the help of obtained knowledge and the chosen variant is performed design proces. In the end is created a concept assemble of the machine. The design proces includes projecting of the individual parts, strength verification of the basic elements and design of heating device.

Key words: mixing, kneading, mixing stage, design, heating

Bibliografická citace: KOPÁČEK, P. *Míchací a hnětací zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 93 s. Vedoucí diplomové práce Ing. František Prokeš.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval zcela samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Františka Prokeše. Současně prohlašuji, že jsem v příloženém seznamu uvedl všechny použité zdroje.

Bc. Petr Kopáček

V Brně dne 15. května 2011

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu své práce Ing. F. Prokešovi za rady poskytnuté při konzultacích. Také chci poděkovat všem lidem, kteří mě podpořili při mé práci.

OBSAH

ÚVOD	12
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	13
1.1 Míchací proces	13
1.2 Typy míchacích zařízení	15
1.3 Důležité konstrukční prvky míchacích zařízení.....	20
1.4 Ohřev míchané hmoty	23
2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA.....	26
2.1 Technická analýza.....	26
2.2 Vývojová analýza	28
3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE	27
4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ.....	28
5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	29
5.1 Varianta 1	29
5.2 Varianta 2.....	30
5.3 Varianta 3.....	30
5.4 Varianty ohřevu hmoty	31
5.5 Výběr vhodné varianty.....	32
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	33
6.1 Rozdělení stroje na podestavy	35
6.2 Konstrukce míchacích nádob.....	35
6.3 Konstrukce rámu a připojení nádob.....	42
6.3.1 Pevnostní kontrola rámu	42
6.4 Návrh pohonů míchadel.....	49
6.5 Návrh míchadel a šneku.....	49
6.5.1 Pevnostní kontrola míchadel	50
6.5.2 Návrh šneku a jeho pevnostní kontrola	54
6.6 Návrh uložení míchadel a šneku	58
6.7 Uchycení elektropřevodovek a určení vhodné spojky	63
6.7.1 Pevnostní kontrola konzole	62
6.7.2 Uchycení pohonu šneku a určení pružných spojek	65
6.8 Dveře horní nádoby a klapka v násypce	66
6.8.1 Návrh osy a pevnostní kontrola dveří.....	68
6.8.2 Klapka v násypce.....	70
6.9 Ohřev hmoty	73
6.10 Technická izolace a kontrola tepelných ztrát	72
6.11 Plošina pro čištění a konečný vzhled stroje	80
6.12 Volba vhodného povlaku proti abrazi	81
6.13 Přehled cen kupovaných komponent.....	82
7 ZÁVĚR.....	84
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	85
9 SEZNAM SYMBOLŮ.....	88
10 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	90
11 SEZNAM TABULEK	92
12 SEZNAM PŘÍLOH	93

ÚVOD

V dnešní době plasty představují nedílnou součást využívaných materiálů. Jejich jedinečných vlastností lze využít v mnoha lidských činnostech. Tvorba plastových výrobků je zcela běžná jak v technicky vyspělých státech, tak ve státech méně rozvinutých. Toto je samozřejmě z mnoha hledisek výhodné. Vytváří se užitečné věci, jejichž výroba má díky masové produkci velmi nízké náklady. Výrobek vytvořený z plastu si může dopřát téměř každý. Masové nasazení plastů ve výrobě má ovšem také negativní dopad na životní prostředí. Například PET láhve lze vidět v obchodech, domácnostech ale i v přírodě, jako nežádoucí odpad. Proto je zde snaha o recyklaci tohoto odpadu. Z PET láhví lze vyrobit mnoho nových výrobků, například plastovou střešní krytinu.

Dvoustupňové míchací zařízení navrhnuté v této práci je součástí výrobní linky již výše zmíněné střešní krytiny. Drcené PET láhve se smíchají s křemičitým pískem, barvivem a jinými aditivami v míchacím zařízení. Během míchání je směs intenzivně zahřívána horkým vzduchem o teplotě 130 °C. Směs je nakonec podávána dále ke zpracování v přesných dávkách pomocí výtlačného šneku. Míchací proces je velmi složitý, jelikož dochází k přeměně zprvu sypkého materiálu na vysoce viskózní, kašovitou hmotu. Vysoký obsah křemičitého písku způsobuje dosti agresivní chování materiálu z hlediska abraze. Z popsaného procesu je patrné, že konstrukce tohoto zařízení není jednoduchá. Jde o unikátní stroj, který se v běžných nabídkách výrobců míchaček neobjevuje. Nejedná se o sériovou výrobu, stroj by měl být vyroben pouze jako jeden kus. Od tohoto faktu se potom odvíjejí také uvažované výrobní metody. Odlévání, lisování a jiné metody používané v masové výrobě nahrazuje svařování a využití normalizovaných polotovarů. Součásti, stýkající se s míchanou hmotou, musí být navíc odolné proti abrazi. Složitější celky, jako jsou například pohony, těsnění, atd., jsou koupeny podle požadovaných parametrů. Konstrukce je tvořena s ohledem na snadnou a levnou výrobu.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1

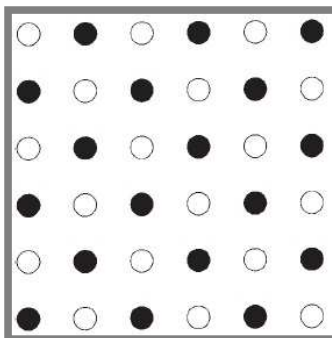
Míchaná hmota je směsí písku a drcených PET lahví. Ohřev hmoty je prováděn spalováním plynu, nejedná se tedy o ohřev elektrickou energií. Při míchání dochází k přeměně původně sypké hmoty na pastu. Míchaný materiál je vysoce abrazivní. Tyto informace nám určují, jakým směrem se máme při hledání relevantních informací zaměřit.

1.1 Míchací proces

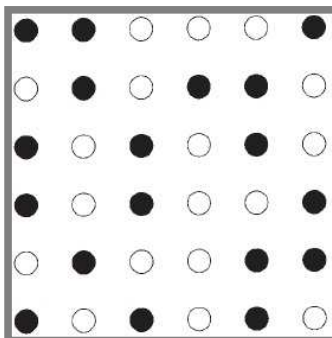
1.1

Míchání sypkých hmot je velmi složitý proces. Cílem míchání sypkých směsí je získat homogenní hmotu, ve které jsou částice jednotlivých složek rozloženy pravidelně. Teoreticky se předpokládá stálá koncentrace částic v každém objemu míchané hmoty. Tomuto tvrzení často v praxi napomáhá příliš malý rozměr částic, takže rozeznat opticky hůře promíchanou směs je velmi obtížné. Je známo několik teoretických stavů promíchaných směsí. Perfektně promíchaná, náhodně promíchaná a uspořádaná směs. Reálný stav vykazuje nežádoucí prvky, jako je aglomerace a segregace.

Perfektně promíchaná směs je tvořena částicemi, které jsou řazeny do pravidelně uspořádané mřížky. Můžeme ji vidět na obr. 1-1. Jde o nejjednodušší případ, kdy uspořádání připomíná atomy uvnitř dokonalého krystalu. Tohoto stavu reálně nelze nikdy dosáhnout, jelikož každá částice by musela být pečlivě umístěna na své místo. Další případ je náhodně promíchaná směs. K tomuto stavu dochází při zcela volném pohybu částic, které se vůči sobě liší pouze vlastnostmi neovlivňujícími jejich pohyb (například jejich barvou). Tvorba náhodného promíchaní přísně závisí na binominální nebo polynominální distribuci a nezávislosti částic na částicích sousedních. Toto uspořádání můžeme vidět na obr. 1-2.

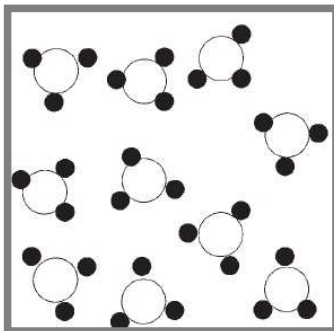


Obr. 1-1 Perfektně promíchaná směs [1]

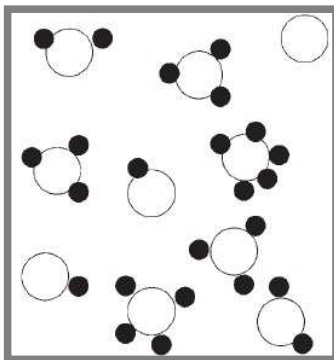


Obr. 1-2 Náhodně promíchaná směs [1]

Pokud existuje koheze mezi částicemi, jsou vytvořeny přilnavé povrchové síly. Tyto přilnavé síly umožňují formování aglomerátů, kdy buď jedna, nebo více menších částic přilnou k povrchu částice o větším rozměru. V teoretickém případě vždy stejný počet menších částic přilne k větší částici, jak můžeme pozorovat na obr. 1-3. Tento stav je samozřejmě nereálný. Při skutečném míchání dochází k nerovnoměrné distribuci, díky které je výsledná směs méně homogenní.

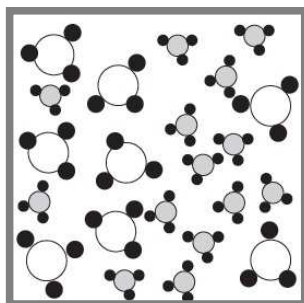


Obr. 1-3 Ideálně pravidelná směs [1]



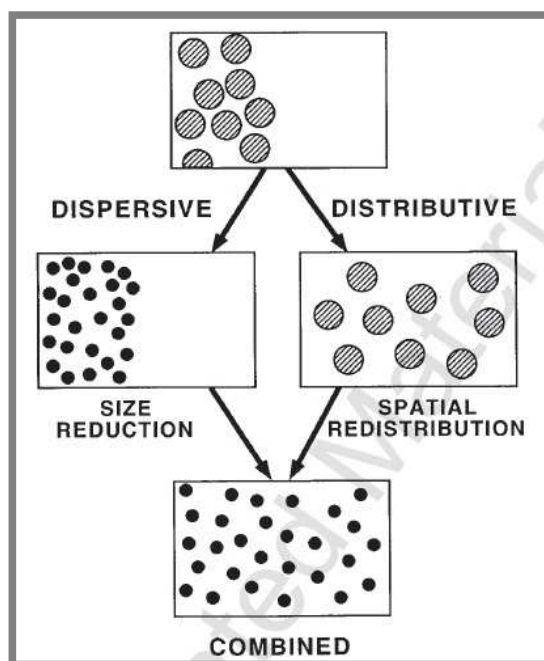
Obr. 1-4 Náhodná pravidelná směs [1]

K nejhorším výsledkům při míchání sypkých hmot dochází v důsledku enormní segregace a aglomerace. K segregaci dochází díky špatné volbě míchadla. Také mrtvá místa (mrtvým místem je myšleno místo, ve kterém není podpořen pohyb míchané hmoty) značně ovlivňují kvalitu promíchání. Při volném pohybu podobných částic bez koheze lze pozorovat dokonalé promíchání. Jiný stav může ale nastat, pokud částice mají jiný tvar, hmotnost, atd. V tomto případě může docházet k výrazným segregacím. Pokud jsou míchány částice s výraznou kohezí, menší částice mohou být propojeny s nejbližšími částicemi a tímto je znemožněn jejich individuální pohyb. V reálné směsi se tedy potom můžeme setkat s různými stavy, které byly popsány [1].



Obr. 1-5 Reálná směs za působení koheze [1]

Míchání vysoce viskózních kapalin a past provází mnoho dílčích procesů. Patří sem zejména natahování, stlačování, stříhání a hnětení [1]. Jsou známé dva základní druhy míchacích procesů vysoce viskózních kapalin. Intenzivní míchání je proces, při kterém se míchaná hmota nachází ve změkklém stavu a výsledná homogenita materiálu závisí na smykovém namáhání. Extenzivní míchání je proces, při kterém homogenita závisí na tvorbě nových povrchů. Intenzivní míchání je také označováno jako plastikace nebo již výše zmíněné hnětení. Tyto dva procesy se mohou při míchání vyskytnout buď současně, nebo lze zaznamenat pouze extenzivní proces. Intenzivní míchání je spojováno s disperzí a extenzivní míchání s distribucí [2]. Spojení těchto procesů v jeden úspěšný míchací proces můžeme vidět na obr. 1-6.



Obr. 1-6 Disperzní a distributivní míchání [1]

1.2 Typy míchacích zařízení

1.2

Existují dva základní typy strojů. Stroje, u nichž dochází k intenzivnímu míchání, se nazývají hnětače. Míchačkami potom nazýváme stroje, u nichž převládá extenzivní proces míchání. Hnětače se používají zejména pro míchání past a vysoce viskózních kapalin, míchačky slouží k míchání například práškových směsí. Přejít mezi uvedenými typy není skokový. Stroje se vyskytují v plynulém přechodu od lehkých konstrukcí míchaček až po velmi těžké konstrukce hnětačů [3].

Podle konstrukce rozeznáváme velmi mnoho druhů míchacích zařízení. Nejzákladnějším předpokladem pro rozdělení je samotný způsob rozpohybování míchané hmoty. Pokud je hmota uvedena do pohybu pomocí otáčení míchací nádoby, jde o bubnovou míchačku. Takovýto typ se obvykle používá při stavbě budov k míchání betonu nebo malty. V plastikářských oborech je používána pro míchání sypkých směsí nebo granulí. Základními částmi stroje jsou rám, otáčecí buben a pohon bubnu. Buben může mít mnoho tvarů.

U strojů se můžeme setkat s dvěma tvary bubnů. Nejčastěji je vyráběna míchačka s válcovým bubnem zakončeným kužely. Tento tvar umožňuje dobré promíchání a vypouštění směsi ven. Také lze nalézt nabídku míchaček s bubnem ve tvaru písmene V. Tento tvar umožňuje velmi krátké míchací časy, spolu s dobrým promícháním. Míchačky jsou konstruovány pro množství hmoty v rozsahu desítek až tisíců litrů. Snadno se čistí. Míchanou směs lze ohřívat nebo ochlazovat. Míchačka zabírá málo prostoru ve výrobní hale. Protože skrz míchací nádobu neprochází žádná hřídel, odpadá riziko kontaminace či průsaků [3] [4] [5] [6].



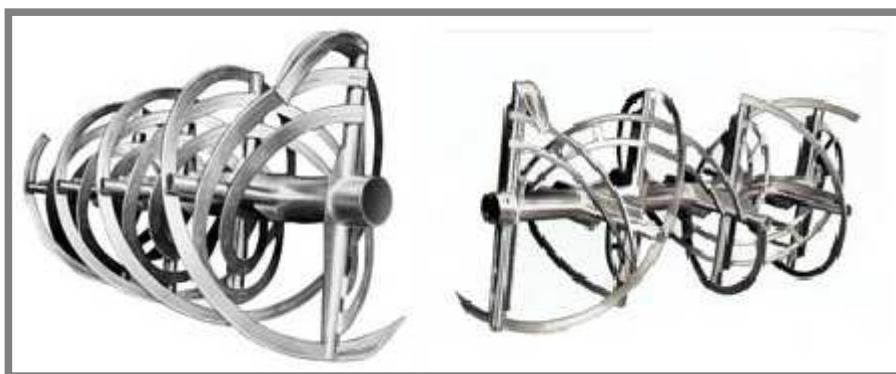
Obr. 1-7 Bubnová míchačka [4]



Obr. 1-8 Míchací nádoba tvaru V [6]

Dalším typem jsou míchací zařízení, u nichž je pohyb hmoty dosažen pomocí určitého míchadla neboli agitátoru. Nádoba, v níž dochází k míchání, je tedy uložena staticky. Tento typ míchacího zařízení se dělí na mnoho podskupin. Každá podskupina je definována tvarem agitátoru a jeho polohou.

První takovouto podskupinou je míchačka pásová. Slouží k míchání granulí a prášků. Z názvu můžeme poznat, jaký typ agitátoru lépe řečeno míchadla, je ve stroji použit. Jde o pásy ve tvaru šroubovice. Agitátor může být uložen ve svislé poloze, avšak častěji se u výrobců můžeme setkat s polohou vodorovnou. Pásové míchadlo lze samo o sobě modifikovat do různých tvarů. Tvar míchadla závisí na míchané hmotě a umístění výpusti z nádoby. Dva příklady tvarů můžeme vidět na obr. 1-9, pásovou míchačku dodávanou firmou HAS CZ na obr. 1-10.



Obr. 1-9 Tvary pásových míchadel [6]



Obr. 1-10 Pásová míchačka [7]

Pásové míchačky se vyrábějí pro objemy míchaných hmot od desítek po tisíce litrů. Již bylo uvedeno, že tento typ se používá pro míchání sypkých hmot. Velkou výhodou je univerzálnost, můžeme tedy míchat i jiné druhy materiálů, jako například asfalt se šterkem, keramiku, mléčné produkty, atd. Další výhodou je snadné vyprazdňování, jelikož pás ve tvaru šroubovice posunuje míchané médium směrem k výpusti. Míchací proces je velmi rychlý, směs je zpravidla promíchána do pěti minut. Nádoba může být uzpůsobena k ohřevu nebo ochlazování míchaného média. Nevýhodou je poměrně špatné čištění [4] [6] [7] [8].

Pokud je míchaná hmota ve formě pasty nebo vysoce viskózní kapaliny, lze pásovou míchačku přizpůsobit konstrukcí agitátoru.

Pásy jsou nahrazeny lopatkami nebo radlicemi. Lze se také setkat s různými kombinacemi pásů a lopatek na jednom míchadle. Objevují se i stroje, které mají míchadla dvě. Toto uspořádání zajišťuje rychlejší promíchání. Výhoda použití lopatek proti pásům spočívá ve snadnějším čištění [6] [9].

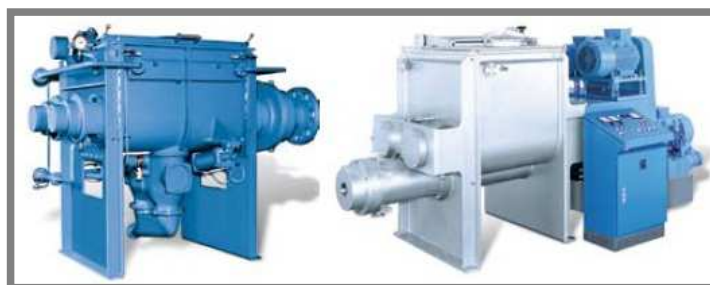


Obr. 1-11 Míchadla s lopatkami a radlicemi [6]

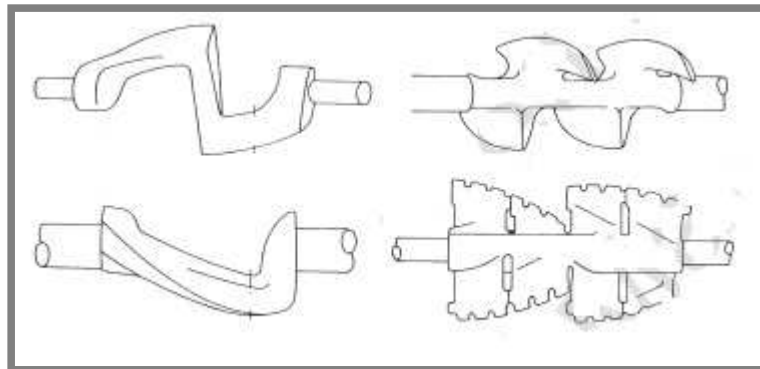


Obr. 1-12 Míchačka se dvěma hřídelemi [9]

Pro míchání vysoce viskózních materiálů je uzpůsobena také dvouramenná míchačka. Míchací člen zde představují dvě ramena, která mohou být opět vyrobena v mnoha provedeních. Princip míchání spočívá v protiběžném otáčení dvou ramen. Ramena mají nestejně otáčky, jedno z nich se pohybuje o třetinu pomaleji. Mezi rameny a stěnou nádoby je velmi malá mezera, takže při míchání dochází k velmi intenzivnímu hnětení směsi. Pokud je zařízení vybaveno výtlačným šnekem, k hnětení dochází současně v místě šneku. Objem míchané hmoty může být opět v rozsahu desítek až tisíců litrů. Konstrukce umožňuje ohřev i ochlazování hmoty [10].



Obr. 1-13 Dvouramenné míchačky s dolní výpustí a výtlačným šnekem [10]



Obr. 1-14 Typy míchadel dvouramenné míchačky [1]

Další skupinou míchaček pro viskózní hmoty jsou planetové míchačky. Tento stroj má míchadlo se svislou osou. Z názvu lze poznat, jaký pohyb míchadlo vykonává. Jedno nebo dvě míchadla rotují podle svých vlastních os a zároveň rotují kolem osy společné. Uchycení míchadel je nad nádobou. Nádoba je ve většině případů vyměnitelná. Toto umožňuje rychlou změnu míchaného média a usnadňuje čištění. Existuje mnoho tvarů míchadel. Jednotlivé tvary jsou uzpůsobeny podle míchaného média. Míchanou hmotou mohou být řídké pasty i vysoce viskózní kapaliny. Planetové míchačky s dvojitými míchadly jsou použitelné pro velmi rychlé míchání. Po řádově desítkách otáček je hmota dokonale promíchána. Kapacita těchto strojů se pohybuje od desítek do stovek litrů. Konstrukce může být uzpůsobena k ohřevu nebo ochlazování. Dobře se čistí a proto jsou vhodné pro míchání lepidel a lepivých materiálů [3] [5] [11] [12].



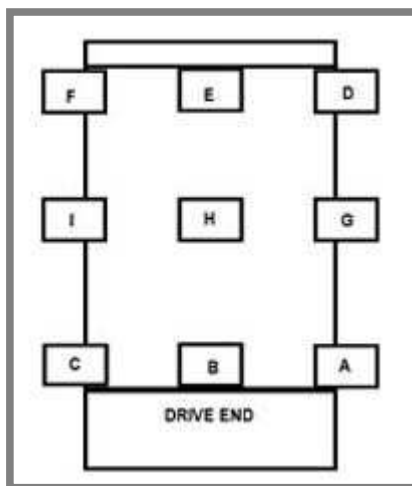
Obr. 1-15 Planetový mixer [5]

1.3 Důležité konstrukční prvky míchacích zařízení

Z výše uvedeného lze usuzovat, že typy míchacích zařízení se od sebe liší. Nicméně jednotlivé základní konstrukční prvky jsou v podstatě stejné. Každý stroj je složen z rámu, nádoby pro míchanou hmotu, agitátoru, těsnění hřídele, převodovky a motoru. Tyto jednotlivé konstrukční celky se mohou na jednotlivých strojích lišit. Záleží na míchané hmotě, typu míchacího zařízení a samozřejmě výrobci, jak nakonec bude dané zařízení vypadat. Někteří zákazníci, kteří mají netradiční požadavky, požadují použití nestandardních součástí. V takovém případě výrobci přistupují k dílčím úpravám sériově vyráběných strojů nebo konstruují stroje na zakázku.

Základní součástí stroje je rám. Rám slouží k umístění zbývajících součástí. Také má jistou pevnostní funkci, kdy chceme, aby stroj vydržel statické ale i dynamické namáhání. Nejzákladnějším zatěžujícím prvkem je hmotnost stroje. Díky pohonům vznikají ohybové a kroutící momenty. Tyto zatěžující prvky rám zachycuje, a tudíž je nutné s nimi počítat. Rámy se vytvářejí z normalizovaných polotovarů, které se k sobě buď svařují, nebo šroubují. Nádoba pro míchanou hmotu se v některých případech stává součástí rámu. Při návrhu míchaček s velkými otáčkami je třeba počítat s vibracemi přenášenými na rám [1].

Nádoba pro míchané médium je v drtivé většině případů tvořena jako svařovaná konstrukce. Pokud je stroj používán v potravinářském průmyslu, nebo je míchaná hmota agresivní z hlediska koroze, je nádoba vyrobena z nerezové oceli. Jestli je míchané médium abrazivní, je nutné navrhnout odolný materiál vůči abrazi. Svary uvnitř nádob by měly být vybroušeny do hladka. Při použití nádoby s vypouštěním míchané hmoty existuje několik způsobů umístění vypouštěcích otvorů. Z hlediska čištění je nejvhodnější otvor na spodní straně nádoby. Na obr. 1-16 jde tedy o otvory značené písmeny E, H a B [1] [6]. Při ohřevu nebo ochlazování směsi je možno

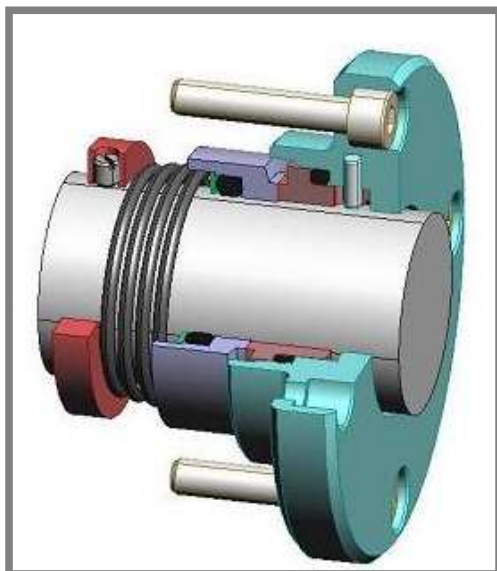


Obr. 1-16 Umístění vypouštěcích otvorů [6]

nádobu konstruovat jako dvouplášťovou, kdy mezi vnitřním a vnějším povrchem proudí médium pro předání nebo odebrání tepelné energie. Médium lze přivést také pomocí spirály, tvořené půlkruhovým průřezem, navařené na vnějším povrchu nádoby. Při vysoušení míchané směsi se záměrně vytváří částečný vakuem, který pomáhá odstranit vlhkost. V takovéto situaci musí být nádoba na tyto tlakové podmínky konstruována, včetně uzávěrů a poklopů [7].

Velmi důležitou a zásadní součástí je míchadlo. Míchadlem rozumíme součást, která uvádí míchanou hmotu v pohyb. V předchozím textu je uvedeno mnoho typů strojů. Typů míchadel je potom ještě větší množství, jelikož každý typ stroje může být vybaven míchadly s různými úpravami. Lopatky míchadla jsou namáhány ohybovými momenty, způsobenými odporem míchaného média. Při návrhu je tedy třeba navrhnout dostatečné rozměry. Pokud je míchadlo z jakéhokoli důvodu předimenzováno, zvyšuje se hmotnost a tím i moment setrvačnosti. Míchadla jsou tvořena svařováním, některá pomocí šroubových nebo nýtových spojů. Součástí míchadel je hřídel. Zatížení hřídele představuje především krouticí moment, u delších konstrukcí také momenty ohybové. Při vysokých otáčkách je nutné počítat s vibracemi a intenzivním dynamickým namáháním.

U bubnových míchaček je těsnění nádob jednoduché, jde pouze o utěsnění poklopů či ventilů. Míchačky, které jsou vybaveny hřídelmi jdoucími skrz stěnu nádoby, musí být náležitě utěsněny. Podobně jako čerpadla, mohou být utěsněny za použití šňůrových nebo mechanických ucpávek. Na návrh těsnění má vliv mnoho faktorů, jako třeba otáčky, teplota, tlak, atd. [1]. Jednoduchou mechanickou ucpávkou od firmy Flowserve vidíme na obr. 1-17.



Obr. 1-17 Mechanická ucpávka HTZ [13]

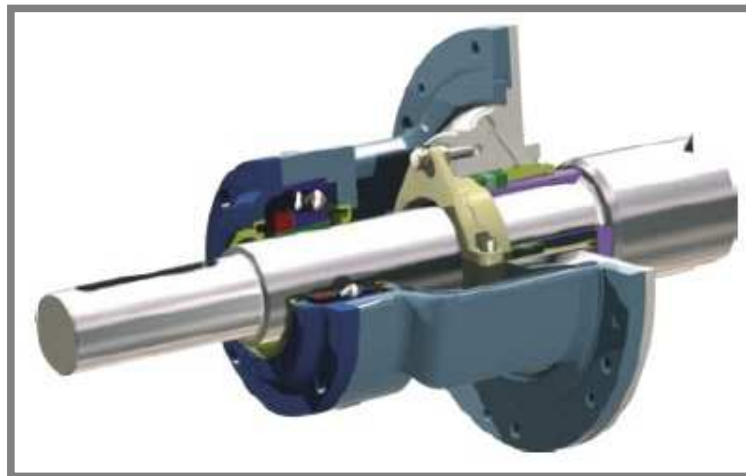
Použití, instalace a údržba mechanických ucpávek je velmi jednoduchá. Také lze využít speciálních ucpávek pro mixery [13] [14]. Použití šňůrových ucpávek je složitější. Několik kroužků vyrobených ze speciálního materiálu je umístěno na hřídel a přitlačeno víkem. Montáž není příznivá z důvodu nutnosti seřízení za provozu. Šňůrové ucpávky je nutno, na rozdíl od mechanických, mazat vhodným mazivem [15].

Uložení hřídelí představuje další důležitý konstrukční prvek. Hřídel je volně otočná, uložená do vhodných ložisek. Konstrukce míchadel by měla co nejvíce zamezovat axiálním silám. Pokud se tyto síly vyskytují, je potřeba s nimi počítat při volbě ložisek. Mnoho výrobců přistupuje k sériově vyráběným ložiskovým domkům. V tomto případě lze koupit domky pro ložiska spolu s ložisky [16]. Domek pro ložiska od subdodavatele lze vidět na obr. 1-18.



Obr. 1-18 Zakoupené uložení hřídele [16]

Pokud kupované uložení hřídelí nevyhovuje daným potřebám, přistupují výrobci k vlastním řešením. Na obr. 1-19 lze vidět uložení hřídele míchadla v naklápěcích ložiscích. Ložiska jsou umístěna do domku vyrobeného odléváním [7].



Obr. 1-19 Uložení hřídele navrhnuté výrobcem [7]

Pohony míchaček mohou být elektrické, pneumatické a hydraulické. Zvolený druh pohonu záleží na možnostech provozovatele. Nejvíce je uplatňován pohon elektromotorem. Tam, kde není přístupná elektrická energie, je používán pohon diesellový [1]. Pohony dalších prvků, jako jsou třeba ventily, poklopy a jiné příslušenství, jsou poháněny podobným způsobem. Často se lze setkat s pneumatickými nebo elektromechanickými aktuátory. Není výjimkou použití ručního pohonu. Tyto různé pohony jsou k dostání od výrobců míchaček zcela volitelně, podle potřeby [17]. Často je nutné otáčky motoru míchadla převodovat do nižších hodnot. To lze zajistit použitím nejrůznějších převodovek.

Lze využít různých typů převodů, jako například ozubenými koly, pásové nebo řetězové. Velikost převodu závisí na procesu míchání a otáčkách motoru [1]. Nejvhodnější řešení tvoří kompaktní elektropřevodovky, což jsou elektromotory s již připojenou převodovkou. Motory se spolu s převodovkami umísťují na samostatné podstavce, nebo se uchycují přímo na nádoby míchaček [18] [19].



Obr. 1-20 Elektromotor bez podpůrné konstrukce [18]



Obr. 1-21 Elektromotor s podpůrnou konstrukcí [19]

1.4 Ohřev míchané hmoty

Podle zadání bude třeba míchanou hmotu ohřát na 130 °C. Způsob ohřevu závisí na konstrukci celého zařízení. Existuje několik způsobů, jak ohřev provést. Prvním řešením je vytvoření dvouplášťové míchací nádoby, uvnitř které proudí ohřáté médium. Volba média závisí na dosahované teplotě, ale ve většině případů se jedná o olej, určený pro přenos tepla. Tímto se velmi komplikuje výroba míchací nádoby. Také lze vytvořit spirálu pomocí trubek půlkruhového průřezu.

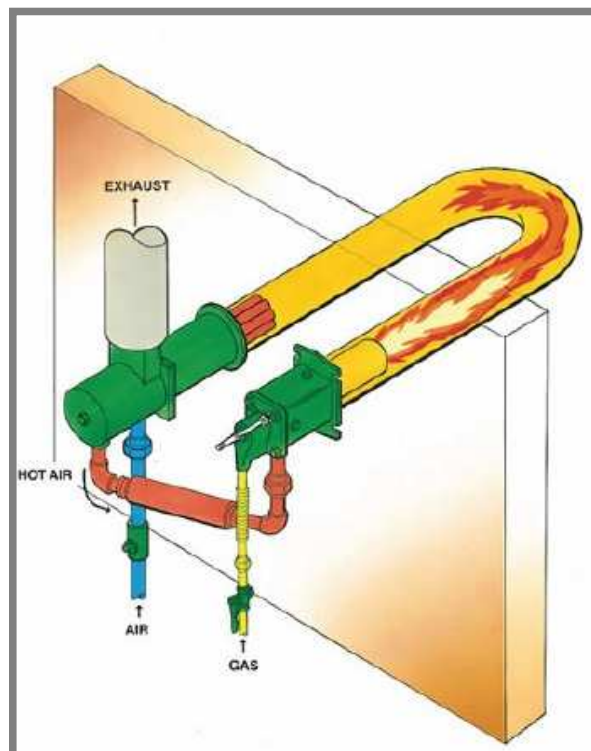
1.4

Tato spirála je navařena na vnějším povrchu míchací nádoby. Z hlediska přenosu tepla by bylo samozřejmě výhodné umístit spirálu na vnitřní stranu. Takovéto řešení je bohužel reálné pouze pro míchání kapalin a suspenzí. U sypkých materiálů nebo vysoce viskózních hmot by mohlo docházet k jejich zachytávání na spirále [7] [20].



Obr. 1-22 Nádoba s topnou spirálou [20]

Plynový ohřev oleje může zajistit hořák uzpůsobený k ohřevu kapalin. Spaliny proudí do trubky, která je umístěna v nádrži s médiem pro přenos tepla. Spaliny po předání tepelné energie proudí ven ze stroje nebo se využívá jejich rekuperace [21].



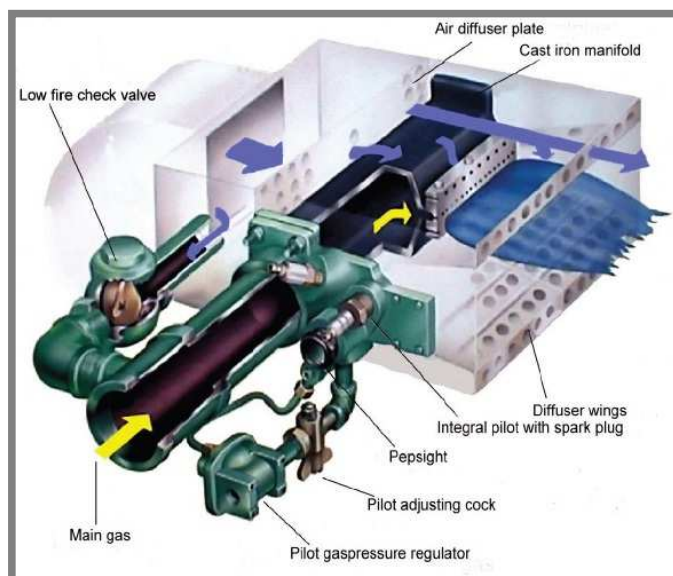
Obr. 1-23 Hořák pro ohřev kapalin [21]

Pokud je požadováno prosušení míchané směsi, přistupuje se na vytvoření částečného vakua. Při sníženém tlaku je velmi snadné odstranit přebytečnou vlhkost materiálu. Bohužel toto řešení komplikuje konstrukci nádob a klade nároky na složitost celého systému [6].

Dalším způsob ohřevu je možný za použití přímého kontaktu míchané hmoty s ohřátým vzduchem. Základem tohoto systému je hořák, primárně určený pro ohřev vzduchu, který je umístěn do spalovací komory. Vzduch je do této komory vháněn pomocí ventilátoru. Při proudění se vzduch hořákem ohřeje a poté je veden dále k míchané hmotě. Po předání tepelné energie je vyveden pryč nebo je opět využíván k ohřevu [6]. Existuje mnoho hořáků pro toto použití. V základní rovině je můžeme rozdělit na hořáky bez ventilátorů a s ventilátory. Hořáky bez ventilátorů lze začlenit do systémů bez cirkulace ohřátého vzduchu. Hořáky s integrovanými ventilátory se používají v systémech s cirkulací, jelikož mají svůj zdroj kyslíku [21].



Obr. 1-24 Bubnová suška od firmy Bohemia Machine [22]



Obr. 1-25 Hořák pro ohřev vzduchu [21]

2 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

Recyklace plastů je z ekologického hlediska důležitá. Aby se usnadnil a uplatnil tento proces, je nutné neustále vymýšlet nové výrobky, které lze z recyklovaných plastů vytvořit. Například PET lahve lze využít k vytvoření plastové střešní krytiny. Součástí linky na tuto krytinu musí být míchací a hnětací zařízení, které je nutno zkonstruovat. Jedná se o unikátní dvoustupňové míchací zařízení, jelikož míchaná hmota je směsí drceného plastu a písku. Tato směs je zcela netypická a nelze použít běžně nabízená zařízení jiných výrobců. Návrh stroje navíc komplikuje změna sypké hmoty na vysoce viskózní pastu. Materiál je z důvodu použití křemičitého písku velmi abrazivní. Míchací zařízení musí také zajistit ohřev hmoty na 130 °C. Hmotu je potřeba na výstupu ze stroje přesně dávkovat.

2.1 Technická analýza

Je nutné vytvořit zařízení, které bude splňovat všechny body zadání. Jedná se o prototyp, který není možné vyrábět metodami typickými pro sériovou výrobu. Je výhodné použít v konstrukci co nejvíce kupovaných součástí a omezit tak náklady na samotnou výrobu a sestavení stroje. Řízení stroje bude vytvořeno v rámci výrobní linky jako celku. Jednotlivé součásti ve styku s míchanou hmotou musí být vytvořeny tak, aby odolaly abrazi. Z tohoto důvodu bude nutné využít tepelně zušlechťené materiály nebo vhodné povrchové povlaky. Součásti, které budou ve styku s míchanou hmotou, musí být snadno vyměnitelné. Tvary míchadel by měly být pokud možno jednoduché. Míchadla musí být masivní, odolná vůči namáhání a snadno vyrobitelná. Použité materiály a polotovary musí být běžně k dostání. Celá konstrukce by měla být spolehlivá, jelikož bude pracovat jako součást výrobní linky. Ohřev hmoty bude nutné zajistit v co nejkratším čase. Je žádoucí, aby teplota směsi byla pokud možno co nejpřesnější, jelikož se bude ohřívat plast. U těchto zařízení je důležitá údržba, tudíž je vhodné zajistit dobrou přístupnost a čistitelnost vnitřních prostor.

2.2 Vývojová analýza

V první fázi je nutné zjistit co nejvíce informací o míchání sypkých materiálů a viskózních past. Po prostudování literatury a prozkoumání výrobků vybraných výrobců, bude vytvořeno několik základních variant, které se budou lišit buď v uspořádání důležitých prvků, nebo ve zvolených typech míchadel. Za pomoci zhodnocení co nejvíce relevantních vlastností bude vybrána nejlépe vyhovující varianta. Dále je nutné detailně navrhnout a rozpracovat jednotlivé součásti stroje. Následuje pevnostní kontrola součástí a jejich případných spojů spolu s úpravou jejich geometrie nebo materiálu. Poté je dokončena návrhová sestava v programu Inventor spolu s výkresovou dokumentací. V poslední fázi je vytvořena textová část diplomové práce.

3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

- vytvoření návrhové sestavy dvoustupňového míchacího a hnětacího zařízení.
- zařízení musí vyprodukovat jednu tunu míchaného materiálu za hodinu.
- na výstupu ze stroje zajištěno přesné dávkování směsi po 2,5 kg.
- zařízení musí být co nejjednodušší a nejlevnější.
- snadná dostupnost kupovaných součástí.
- snadná vyměnitelnost součástí ve styku s míchanou hmotou.
- součásti ve styku s hmotou odolné vůči abrazi, zvolení vhodné povrchové úpravy.
- pevnostní kontrola důležitých konstrukčních uzlů.
- zajištění ohřevu míchané směsi na 130°C.
- navrhnutí vhodné tepelné izolace.
- provedení kontroly tepelných ztrát stroje.
- uvedení přehledu cen kupovaných součástí.
- vytvoření zprávy a výkresové dokumentace.

4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

- studium literatury zaměřené na danou problematiku
- prostudování výrobků vybraných výrobců
- vytvoření několika vhodných variant na základě získaných informací
- konzultace s vedoucím práce o navržených variantách
- vybrání nejvhodnější varianty
- určení zásadních konstrukčních uzlů
- navrhnutí jednotlivých součástí
- konzultace s vedoucím práce o navržených součástech a jejich kompletaci
- kontrola vybraných součástí z pevnostního nebo deformačního hlediska
- upřesnění návrhu ohřevu míchané hmoty
- návrh jednotlivých součástí týkající se ohřevu
- konzultace s vedoucím práce ohledně ohřevu hmoty
- kontrola tepelných ztrát
- dokončení parametrického modelu návrhové sestavy
- vytvoření výkresové dokumentace
- vytvoření zprávy
- odevzdání diplomové práce

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5

Existuje několik kritérií, podle kterých můžeme tvořit rozdílné varianty. Základním předpokladem pro rozdělení variant je dělení podle typu míchadla. Zadání nám přímo ukládá, aby bylo zkonstruováno dvoustupňové míchací zařízení. Proto je vhodné rozdělit míchací proces na míchání sypké hmoty v prvním stupni a viskózní pasty ve stupni druhém. Vyhneme se tak nutnosti konstrukce speciálních míchacích nástrojů. Dalším předpokladem pro tvorbu variant je uspořádání dvou míchacích nádob. Nádoby mohou být polohovány nad sebou nebo vedle sebe. Jak bylo uvedeno v přehledu současného stavu poznání, existuje více možností, jak takovéto zařízení pohánět. Zaměříme se pouze na pohony elektrické nebo elektromechanické. Samostatný problém pak představuje ohřev míchané hmoty, kdy můžeme využít přímého nebo nepřímého ohřevu.

5.1 Varianta 1

5.1

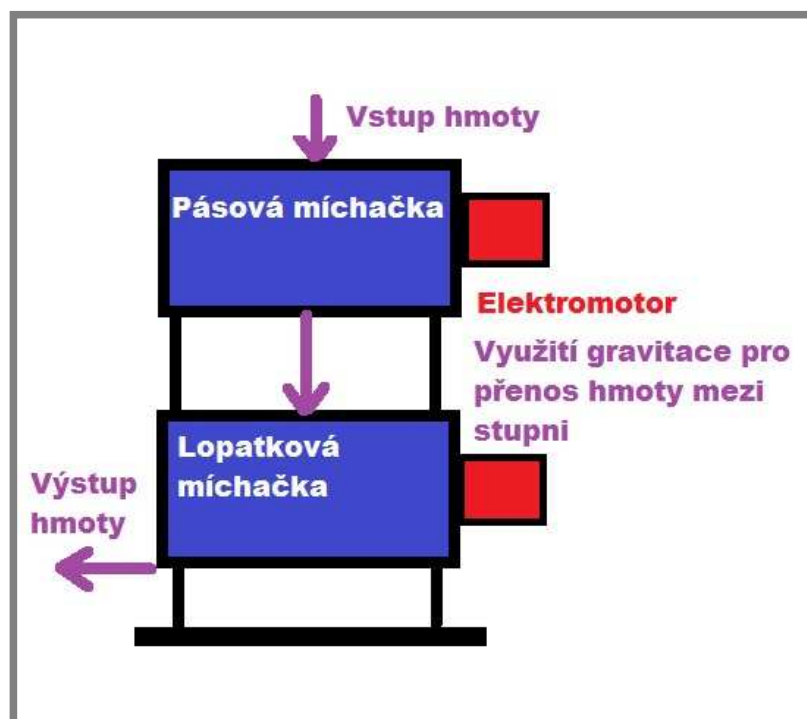
Tato varianta je tvořena dvěma oddělenými stupni. Každý stupeň je reprezentován jiným typem míchačky. První stupeň představuje míchačka pásová, jelikož se v tomto stupni bude míchat zpočátku sypká hmota. Druhý stupeň je tvořen dvouramennou míchačkou, z důvodu míchání pasty. Můžeme si všimnout polohy jednotlivých stupňů. Jsou polohovány vedle sebe, což snižuje nároky na rám stroje. Jak bylo naznačeno výše, pohon všech variant je tvořen elektromotory. Míchaná hmota vstupuje do zařízení shora. Po promíchání je dopravena pomocí šnekového dopravníku do dalšího stupně, ve kterém je dále promíchána. Ve druhém stupni také dochází k přesnému dávkování ze stroje, pomocí šnekového podavače. Výhody této varianty spočívají v jednodušší konstrukci rámu, snadném sestavení stroje a ve velmi jednoduché údržbě. Celé zařízení by zřejmě šlo sestavit z již existujících míchaček, koupených od jiných výrobců. Nevýhodou tohoto řešení je komplikovaný přenos hmoty mezi jednotlivými stupni. Nutnost použití šnekového dopravníku představuje nebezpečí z hlediska opotřebení. Nesmíme zapomenout na abrazi, která by byla příčinou časté výměny šnekového dopravníku. Komplikace mohou nastat v případě uchycení pohonů. Lze zde samozřejmě využít podpůrných konstrukcí. Problém může nastat v prostoru mezi nádobami, kde nemusí být dostatek místa pro šnekový dopravník.



Obr. 5-1 Varianta 1

5.2 Varianta 2

Druhá varianta se od první liší v několika věcech. První rozdílnost můžeme vidět v samotném uspořádání stupňů, kdy jsou míchačí nádoby umístěny nad sebou. Další změnou je použití jiného typu míchačky pro druhý stupeň. Dvouramenná míchačka byla z důvodu konstrukční náročnosti nahrazena jednodušší míchačkou lopatkou s jednou hřídelí. Hmoty vstupuje do stroje stejně jako v předchozí variantě. Po promíchání v prvním stupni je využito gravitace pro přemístění hmoty do stupně druhého. Odpadá tak nevýhodné použití šnekového dopravníku. Během promíchávání lopatkovým míchadlem je směs dávkována opět pomocí šnekového dávkovače. Nevýhodou této varianty je složitější konstrukce rámu. Problematické zřejmě bude i čištění, z důvodu špatné přístupnosti do spodní nádoby. Velmi velkou výhodou jsou malé půdorysné rozměry celého zařízení.

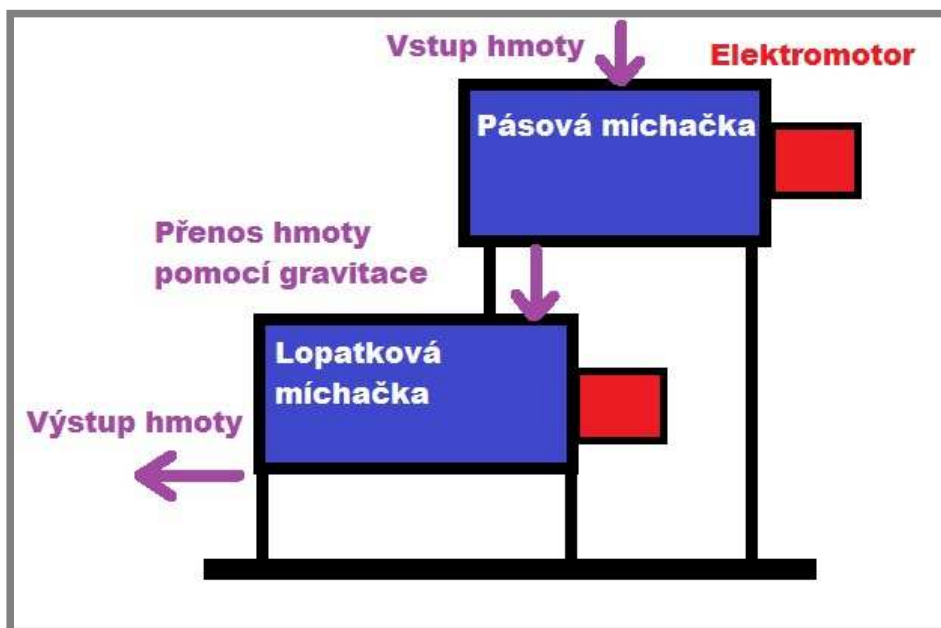


Obr. 5-2 Varianta 2

5.3 Varianta 3

Poslední varianta je vytvořena kombinací variant předchozích. Nádoby jsou uspořádány kaskádovitě nad sebou. První stupeň je tvořen pásovou míchačkou, druhý míchačkou s lopatkami. Stejně jako u druhé varianty je pro přenos hmoty mezi nádobami využita gravitace. Nádoby jsou ovšem vzájemně posunuty. Toto posunutí umožňuje dobrý přístup do spodní nádoby. Při použití pásového míchadla odpadá problém s vypouštěním prvního stupně, neboť tento typ míchadla posouvá hmotu směrem k vypouštěcímu otvoru. Dávkování hmoty na výstupu ze zařízení opět zajišťuje šnekový dávkovač. Takto řešené dávkování samozřejmě není příznivé z hlediska abrazie, musí být ovšem zajištěna dostatečná přesnost dávkování. Konstrukce rámu je u tohoto uspořádání mnohem složitější, než u předchozích

variant. Značnou výhodou je snadnější čištění a větší odolnost vůči abrazi. Uchycení motorů je přímo na nádobách. Pohon je proveden použitím kompaktních elektropřevodovek.



Obr. 5-3 Varianta 3

5.4 Varianty ohřevu hmoty

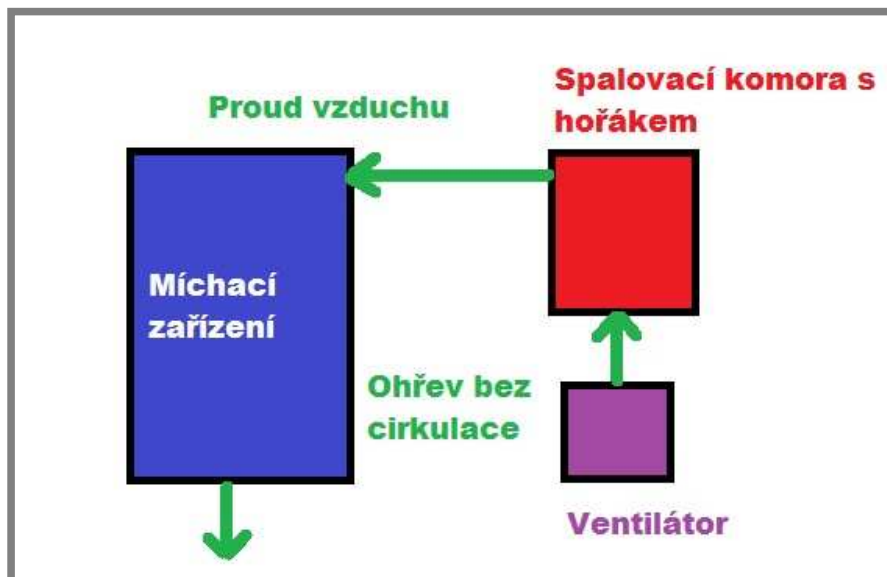
5.4

Existuje několik možností, jak ohřát míchanou hmotu plynovým hořákem. V našem případě od počátku zanedbáme možnost ohřevu pomocí dvouplášťové nádoby. Takovýto způsob ohřevu je sice příznivý z hlediska řízení teploty. Příčina zanedbání tohoto způsobu spočívá v přenosu tepla na kapalinu, což může způsobit zdržení ohřevu hmoty. Také účinnost ohřevu je nižší, než u přímého ohřevu.

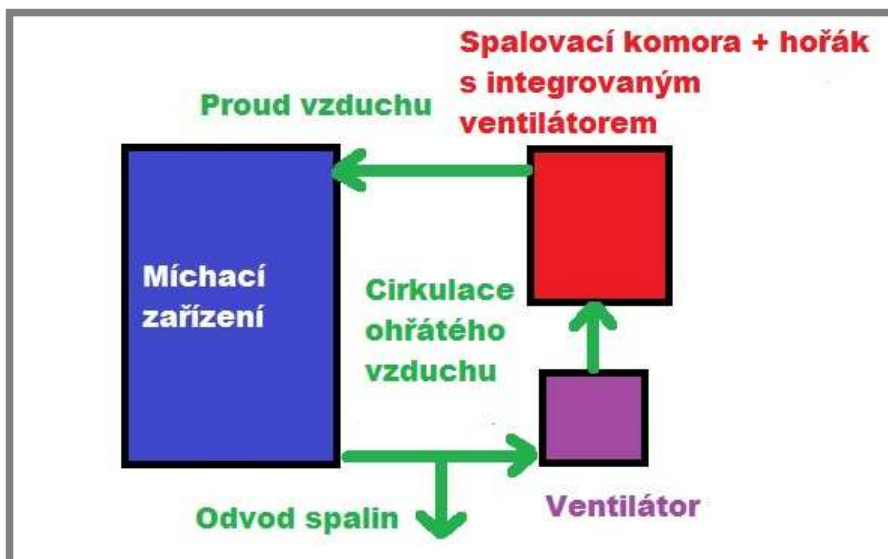
Prvním uvažovaným způsobem přímého ohřevu je ohřev bez cirkulace. Zařízení, které toto zajišťuje, se skládá z ventilátoru, spalovací komory a plynového hořáku. Ventilátor přivádí vzduch do spalovací komory. Do této komory je umístěn plynový hořák, který proudící vzduch ohřeje. Ohřátý vzduch proudí do prostoru s míchanou hmotou, jíž předá tepelnou energii. Vzduch má možnost zcela volně proudit mezi jednotlivými stupni. V konečné fázi proudí ven ze stroje. Zařízení nemusí být konstruováno na výrazný přetlak. Je nutné velmi pečlivě řídit teplotu vzduchu před jeho vstupem k míchané hmotě, neboť je míchána směs plastu. Proto navrhuji umístit tepelnou sondu ne do nádoby, ale před nádobu do vstupního potrubí. Teplota by poté měla být řízena pomocí regulátoru dodaného s hořákem.

Druhá varianta přímého ohřevu je pomocí systému s cirkulací ohřátého média. V tomto systému je obyčejný plynový hořák nahrazen hořákem s integrovaným ventilátorem. Vše funguje stejně jako u předchozí varianty. Rozdíl je v tom, že hořák nepotřebuje přísun čerstvého vzduchu od vstupního ventilátoru. Zcela mu postačuje přísun vzduchu od ventilátoru integrovaného. Vzduch má možnost zcela volně proudit ven ze stroje, nebo se vrátit do sání ventilátoru. Výhoda tohoto řešení spočívá ve využití zbytkové tepelné energie. Musí se ovšem počítat se složitější

konstrukcí a zabudováním filtru na sání ventilátoru. Filtr je třeba umístit z důvodu víření prachových částic, které se mohou dostat do rozváděcího potrubí a snížit tak životnost celého systému.



Obr. 5-4 Ohřev bez cirkulace vzduchu



Obr. 5-5 Ohřev s cirkulací vzduchu

5.5 Výběr vhodné varianty

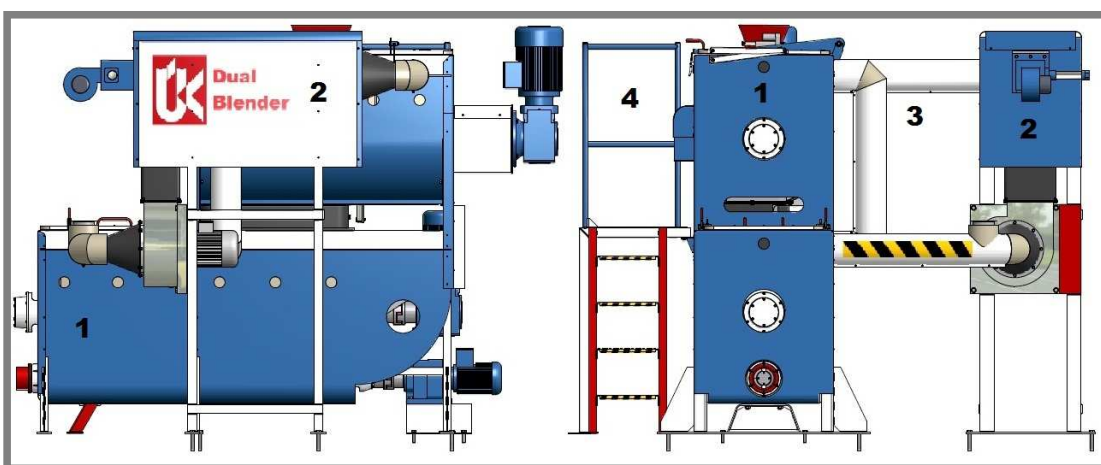
Vybírám třetí variantu spolu s ohřevem s cirkulací vzduchu. Tato varianta je velmi výhodná z hlediska uspořádání nádob. Umožňuje dobré čištění a přístupnost k jednotlivým součástem. Jediná nevýhoda je samozřejmě ve větší složitosti rámu. Využití ohřevu s cirkulací je zásadní z hlediska energetické náročnosti celého zařízení. Takovýto systém je sice konstrukčně náročnější, ale provoz bude finančně výhodnější než při použití jiných variant.

6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V první fázi této části diplomové práce je třeba rozdělit dvoustupňovou míchačku na několik jednodušších podsestav. Tyto podsestavy budou potom do detailu rozpracovány a vymodelovány v 3D modeláři Inventor. Ihned po návrhu bude také provedena pevnostní kontrola nejdůležitějších součástí v kritických místech.

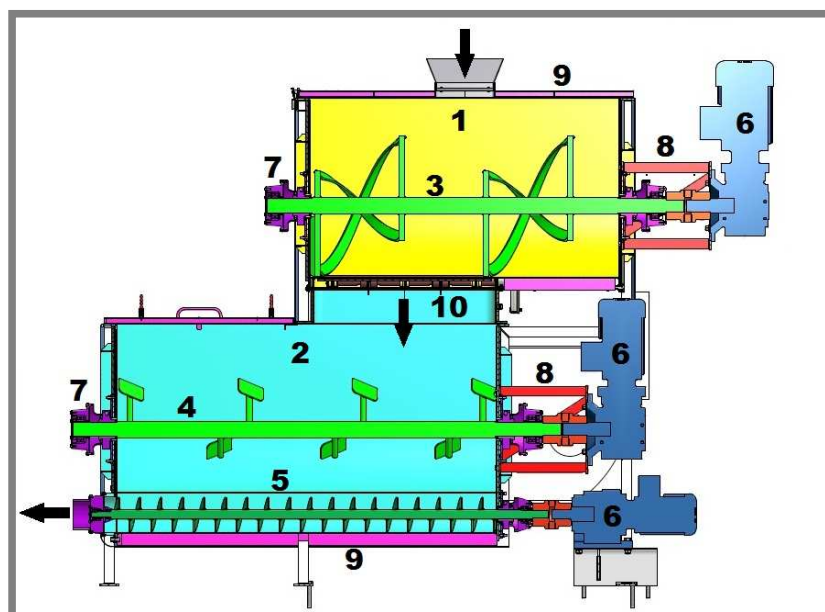
6.1 Rozdělení stroje na podsestavy

Na obr. 6-1 vidíme vytvořený stroj, jako celek. Skládá se z hlavního tělesa (1), části sloužící k ohřevu (2), potrubí pro rozvod vzduchu (3) a plošiny usnadňující čištění (4). Klíčovým a nejsložitějším prvkem stroje je hlavní těleso. Je tvořeno míchacími stupni, proto se zde nachází většina navržených součástí.



Obr. 6-1 Celková sestava

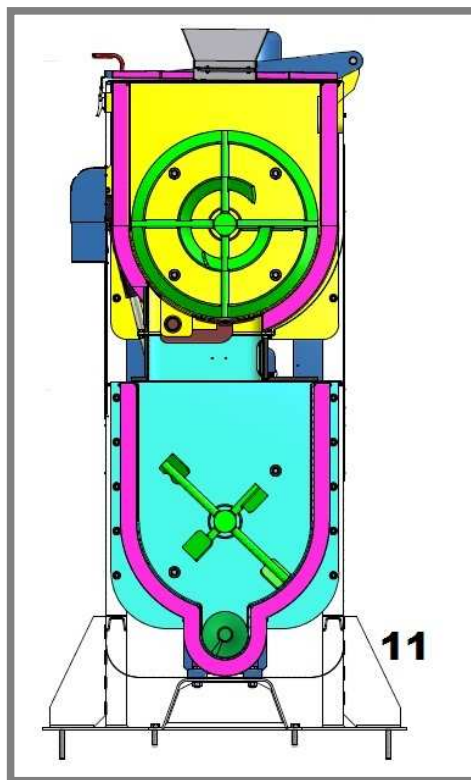
Z důvodu složitosti je nutné rozdělit hlavní těleso na další podsestavy. Na obr. 6-2 je ukázán podélný řez hlavním tělesem. Pro názornost jsou jednotlivé konstrukční části barevně i číselně odlišeny.



Obr. 6-2 Podélný řez strojem

Základem zařízení jsou dva míchací stupně, uspořádané kaskádovitě nad sebou. První stupeň tvoří pásová míchačka. Tato míchačka je tvořena horní nádobou, zobrazenou žlutou barvou (1). V této nádobě se otáčí pásové míchadlo, zobrazené světle zelenou barvou (3). Druhý stupeň je tvořen lopatkovou míchačkou. Lopatková míchačka je tvořena dolní nádobou, zobrazenou světle modrou barvou (2). V dolní nádobě se otáčí lopatkové míchadlo (4) zobrazené stejnou barvou jako míchadlo pásové. Dno spodní nádoby je tvarováno pro šnek (5), zobrazený tmavě zelenou barvou. Hřídele šneku i míchadel jsou otočně uloženy. Tyto uložení (7) jsou zobrazeny fialovou barvou. Dalšími důležitými prvky jsou pohony míchadel a šneku (6), zobrazené tmavě modrou barvou. Pohony míchadel je třeba uchytit ke konstrukci pomocí motorových loží (8), zobrazených červeně.

Nyní si vysvětlíme funkci míchání. Pro usnadnění jsou na obr. 6-2 zobrazeny černé šipky, zobrazující pohyb hmoty. Míchaná hmota nejdříve vstupuje násypkou na horní straně do prvního stupně. Zde je v sypkém stavu promíchána pásovým míchadlem. Během promíchávání je intenzivně zahřívána proudem ohřátého vzduchu. Plast ve směsi se nataví a vzniká vysoce viskózní hmota. Po otevření dveří na dnu horní nádoby (10), hmota propadne do spodní nádoby. Otáčení pásového míchadla napomáhá tomuto vyprázdnění. V dolní nádobě je hmota déle promíchávána lopatkovým míchadlem a podávána šnekem v přesných dávkách ven ze stroje. Při ohřevu je důležité udržet co nejmenší tepelné ztráty. Z tohoto důvodu jsou obě nádoby opatřeny technickou izolací (9), zobrazenou purpurově.



Obr. 6-3 Příčný řez strojem

Velmi důležitou součástí, na kterou nemůžeme zapomenout, je rám stroje (11). Na obrázku s příčným řezem je zobrazen pomocí obrysových čar. Rám slouží k udržení polohy nádob a nese hmotnost celého zařízení.

6.2 Konstrukce míchacích nádob

Míchací nádoby jsou nejčastěji konstruovány jako svarky. Tvar nádob je určen typem míchacího zařízení, míchanou hmotou a jejím objemem. V našem případě upustíme od dvouplášťové konstrukce. Dále je nutné uvažovat odolnost vůči abrazi, proto bude z hlediska tohoto problému zvolen vhodný materiál, jenž je ve styku s míchanou hmotou.

Nejdříve je třeba určit tvar a rozměry nádob. Hmotnost míchané hmoty je jedna tuna za hodinu. Z hlediska časové náročnosti ohřevu, je vhodné rozdělit míchací proces na 500 kg za půl hodiny. Takto se vyhneme případným časovým problémům při ohřevu. Míchací proces poté vypadá tak, že půl tuny materiálu se promíchá za půl hodiny v prvním stupni a poté je během další půl hodiny dávkována z druhého stupně.

V první fázi výpočtů je třeba získat objem míchané hmoty. Z internetových stránek firmy Tři pyramidy určíme hustotu míchaného materiálu $\rho_h = 1840 \text{ kg/m}^3$ [23]. Nyní můžeme vypočítat objem pro $m_h = 1000 \text{ kg}$ míchané hmoty podle vztahu

$$\frac{\rho_h}{m_h} = \frac{1}{V_h} \quad (6.1)$$

kde

ρ_h	[kgm^{-3}]	-měrná hmotnost míchané hmoty
m_h	[kg]	-požadovaná hmotnost míchané hmoty
V_h	[m^3]	-objem míchané hmoty

Potom

$$V_h = \frac{m_h}{\rho_h} = \frac{1000 \text{ kg}}{1840 \text{ kgm}^{-3}} = 0,543 \text{ m}^3$$

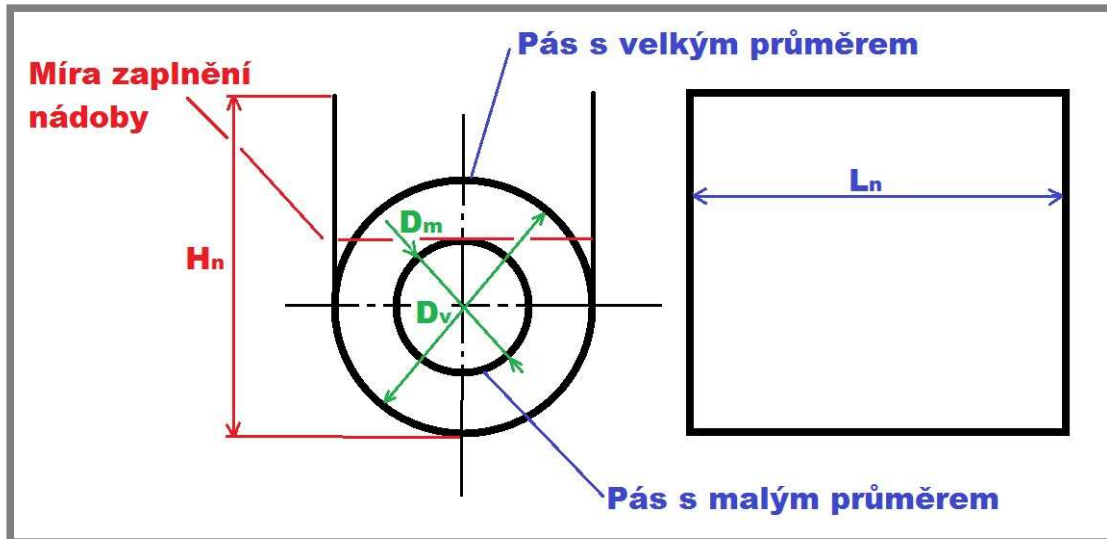
Nesmíme ale zapomínat na rozpínavost plastu při ohřevu a objem míchadel. Z tohoto důvodu budeme počítat s objemem zvětšeným o 10%. Pokud budou míchadla zabírat větší objem než je deset procent z celkového objemu, bude třeba nádoby konstruovat se zvětšením větším. Konečný objem míchané hmoty je

$$V_{hk} = V_h + \frac{V_h}{100} \cdot 10 = 0,543 \text{ m}^3 + \frac{0,543 \text{ m}^3}{100} \cdot 10 = 0,6 \text{ m}^3$$

Známe objem jedné tuny míchaného materiálu. Pro výpočet rozměrů jedné nádoby potřebujeme ale objem poloviční, tedy pro půl tuny. Objem pro jednu nádobu je

$$V_n = \frac{V_{hk}}{2} = \frac{0,6 \text{ m}^3}{2} = 0,3 \text{ m}^3$$

Nyní můžeme určit rozměry nádoby prvního stupně. Jde o nádobu, ve které je umístěno pásové míchadlo. S tímto přichází požadavek na její tvar. Jak můžeme vidět na obr. 6-4, jedná se o tvar připomínající písmeno U. Při použití pásového míchadla o dvou protiběžných šroubovicích, lze určit rozměry nádoby podle míry zaplnění. Objem míchané hmoty se může nacházet v několika úrovních. První úroveň je naplnění do výše hřídele míchadla. Další je po horní okraj pásu menšího průměru. Poslední možností je naplnit nádobu až po horní okraj pásu velkého průměru. Nejlepších výsledků při míchání se dosahuje naplněním hmoty k hornímu okraji pásu malého průměru [24].



Obr. 6-4 Schéma horní nádoby

Byla zvolena délka horní nádoby $L_n=1,3$ m. Uvažuji dvojnásobný rozměr pásu o větším průměru, než je rozměr pásu menšího. Potom platí

$$D_v = 2 \cdot D_m \quad (6.2)$$

kde

D_v [m] -průměr většího pásu
 D_m [m] -průměr menšího pásu

Podle následující rovnice lze vypočítat průměr menšího pásu

$$V_n = L_n \cdot \frac{\pi \cdot D_m^2}{2} + L_n \cdot D_m^2 \quad (6.3)$$

kde

D_m [m] -průměr menšího pásu
 L_n [m] -délka nádoby
 V_n [m³] -objem jedné nádoby

Po vyjádření průměru menšího pásu dostáváme

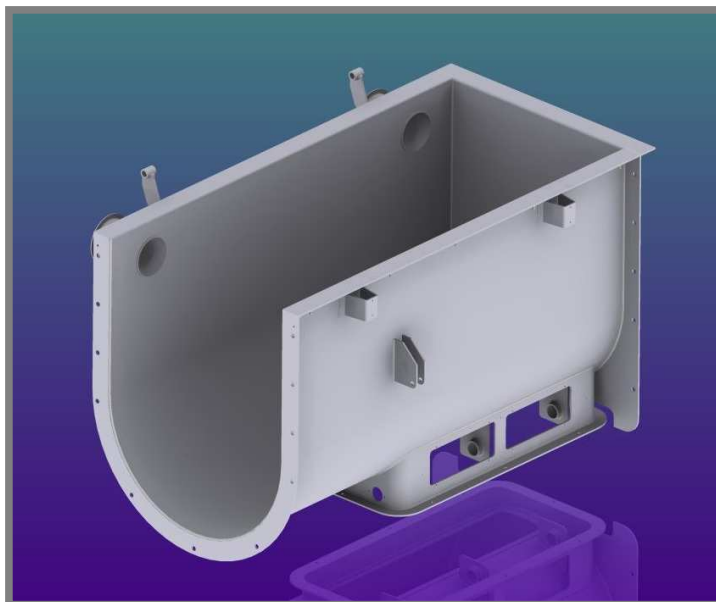
$$D_m = \sqrt{\frac{V_n}{L_n \cdot \frac{\pi}{2} + L_n}} = \sqrt{\frac{0,3m^3}{1,3m \cdot \frac{\pi}{2} + 1,3m}} = 0,299m$$

Po vyřešení dostáváme $D_m=0,299$ m. Z hlediska výroby je žádoucí zaokrouhlit vypočtený rozměr na celé číslo, proto volím průměr malého pásu $D_m=0,3$ m. Podle rovnice (6.2) je průměr velkého pásu $D_v=0,6$ m.

Je nutné zajistit dostatečný prostor nad míchanou hmotou. Tento prostor bude sloužit k proudění ohřátého vzduchu. Výšku volného prostoru volím $H_p=0,3$ m. Celková výška nádoby je

$$H_n = \frac{D_v}{2} + \frac{D_m}{2} + H_p = \frac{0,6m}{2} + \frac{0,3m}{2} + 0,3m = 0,75m$$

Nyní máme rozměry, potřebné ke konstrukci horní nádoby. Následuje volba vhodného materiálu a polotovarů, ze kterých se bude nádoba svařovat. V místech, která jsou ve styku s míchanou hmotou, je zvolen materiál odolný vůči abrazi. Ostatní součásti budou vyrobeny z konstrukční oceli. Podmínkou pro výběr polotovarů je také svařitelný materiál, snadné zpracování a dostupnost.



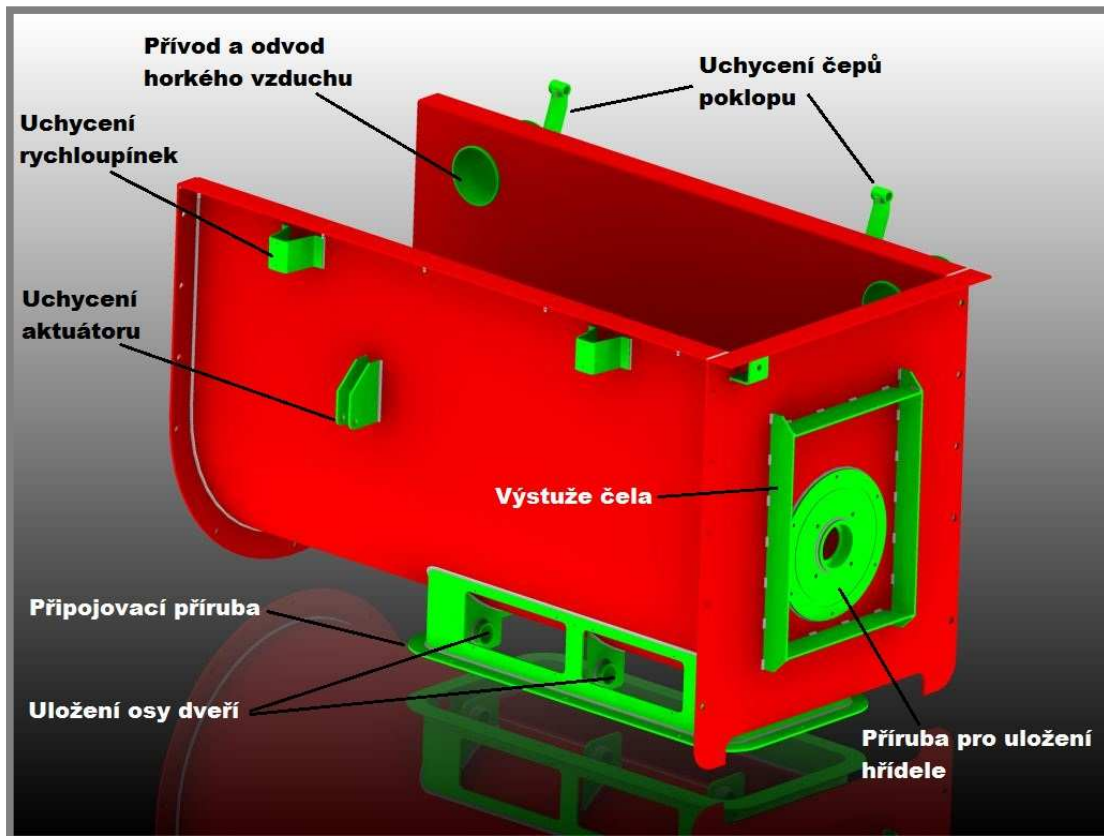
Obr. 6-5 Horní nádoba

Na obr. 6-5 je svařenec horní nádoby. Není třeba provádět pevnostní propočty svarů, neboť z hlediska těsnosti jsou svary aplikovány po celé délce spojů. Svarové spoje jsou tedy z pevnostního hlediska velmi předimenzovány. Nádobě chybí jedna čelní stěna. Je to z důvodu instalace míchadla do nádoby. Po nasunutí míchadla se čelní stěna dodatečně přišroubuje. Na boku nádoby jsou navařeny úchyty čepů poklopu a otvory pro přívod nebo odvod horkého vzduchu. V popředí lze spatřit úchyty upínacích spon poklopu a uchycení lineárního aktuátoru. Na spodní straně nádoby je spojovací příruba, sloužící k přišroubování k dolní nádobě. Uvnitř této příruby je uchyceno uložení osy dveří horní nádoby.



Obr. 6-6 Otvor v horní nádobě

Na obr. 6-6 je tato nádoba zobrazena v pohledu ze spodu. Je zde ukázán otvor pro přemístění hmoty do spodní nádoby. Na čelní stěně jsou navařeny kruhové desky, sloužící k uchycení mechanických ucpávek a uložení hřídelí. Čela jsou vytužena pásy.



Obr. 6-7 Schéma horní nádoby

Na obr. 6-7 jsou popsány jednotlivé součásti a barevně odlišeny použité materiály. Červenou barvou je značen otěruvzdorný materiál Hardox 450 od firmy SSAB. Tvrdost tohoto materiálu se pohybuje kolem 425-475 HB. Součásti z tohoto materiálu jsou vyrobeny z plechu tloušťky 5 mm. Zelenou barvou jsou značeny součásti vyrobené z konstrukčního materiálu S355J2C dle EN 10025-2. Jsou vyrobeny z plechů o tloušťkách od 3 do 8 mm dle normy ČSN EN 10051+A1. Přívod a odvod vzduchu je vyroben z bezešvé, hladké trubky 114x3,6 dle ČSN 42 5715.01. Materiál trubky je 11 353.0 dle ČSN 42 0250 [25].

Další částí hlavního tělesa je nádoba druhého stupně. Dále v této práci je nazývána jako dolní nádoba. V dolní nádobě se otáčí lopatkové míchadlo. Navíc je zde umístěn šnek, určený pro dávkování směsi. Od toho se odvíjí tvar nádoby. Jako v předchozím případě, budeme počítat s tvarem připomínajícím písmeno U. Z hlediska variability bude nádoba počítána pro pásové míchadlo. To v budoucnu zajistí možnou výměnu jednotlivých typů míchadel. Na dno je následně umístěno koryto pro výtlačný šnek. Vzhledem k malým rozměrům a komplikacím při otvírání je otočný poklop nahrazen poklopem snímacím. Proto jsou na stěnách nádoby dány pouze úchyty pro vertikální rychloupínky.

Rozměry dolní nádoby jsou určeny pomocí rovnic (6.2) a (6.3). Z rozměrových důvodů a z důvodu montáže je zvolen velký průměr spodní nádoby $D_v=0,55$ m. Nyní je třeba vypočítat délku nádoby pro daný objem hmoty. Malý průměr je

$$D_m = \frac{D_v}{2} = \frac{0,55m}{2} = 0,275m$$

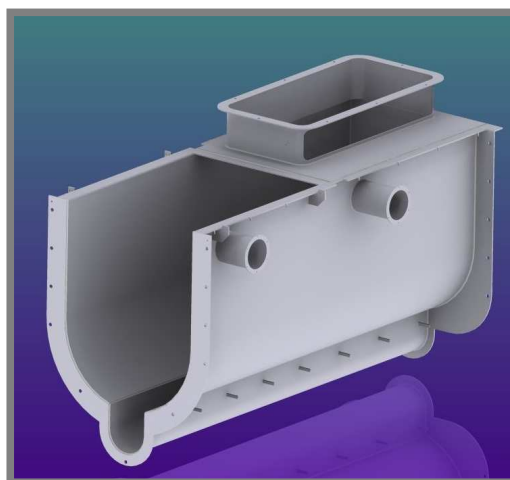
Nyní po úpravě rovnice (6.3) můžeme vypočítat délku dolní nádoby

$$L_n = \frac{V_n}{\frac{\pi}{2} \cdot D_m^2 + D_m^2} = \frac{0,298913m^3}{\frac{\pi}{2} \cdot 0,275^2 m^2 + 0,275^2 m^2} = 1,537m$$

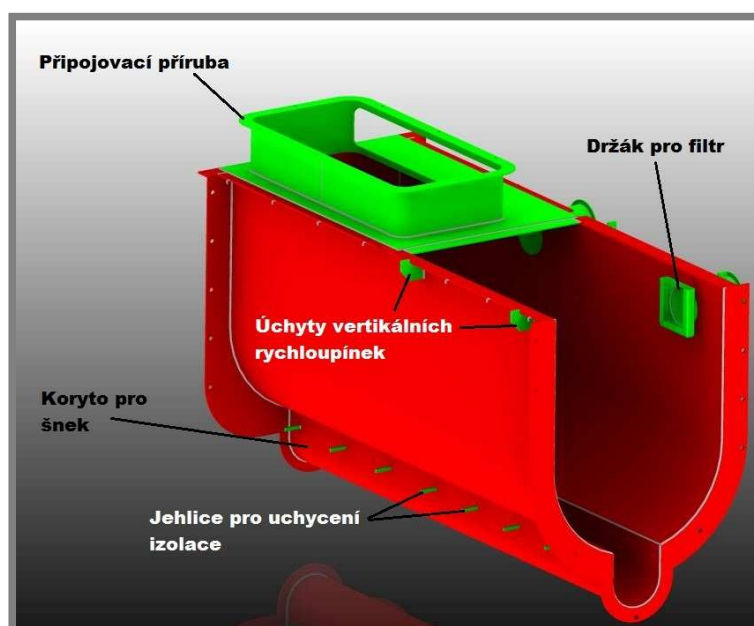
Vypočtenou hodnotu zaokrouhlíme na $L_n=1,6$ m. Výška nádoby je potom upravena pro proudění ohřátého vzduchu o $H_p=0,3025$ m. Celková výška je

$$H_n = \frac{D_v}{2} + \frac{D_m}{2} + H_p = \frac{0,55m}{2} + \frac{0,275m}{2} + 0,3025m = 0,715m$$

Na obr. 6-8 je zobrazena svařená sestava dolní nádoby. Materiály a polotovary jsou zcela analogické s horní nádobou.



Obr. 6-8 Dolní nádoba

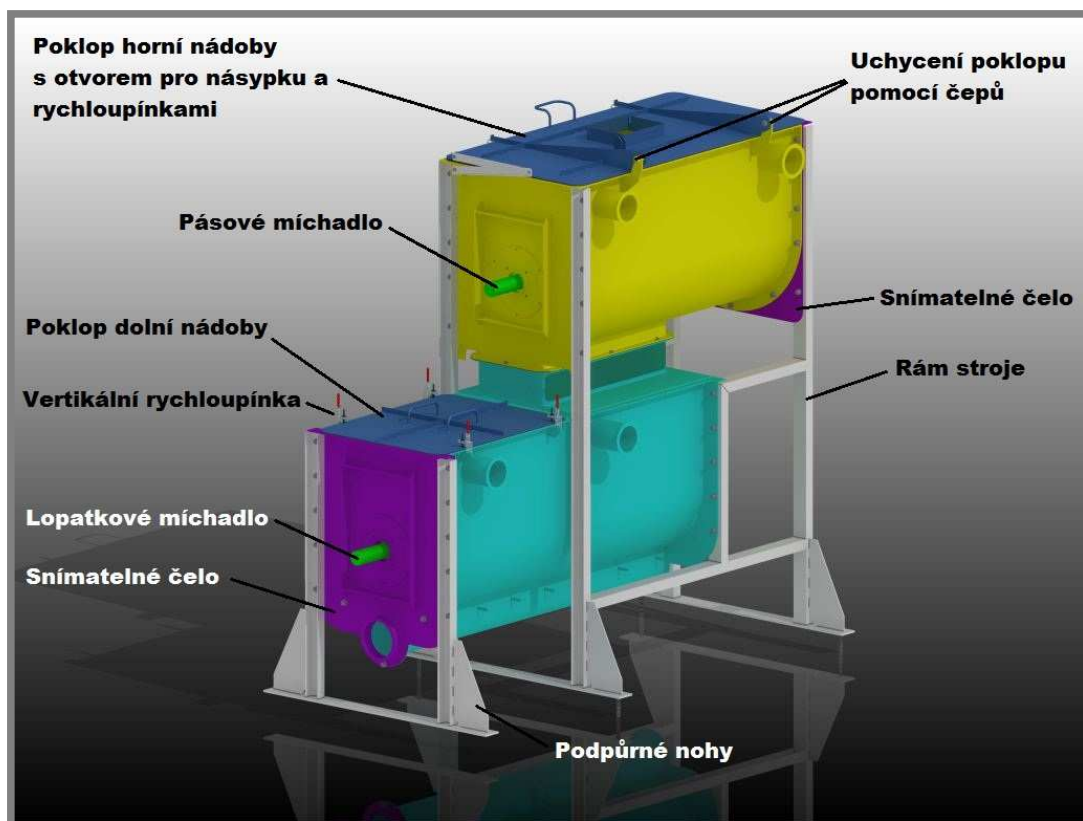


Obr. 6-9 Schéma dolní nádoby

6.3 Konstrukce rámu a připojení nádob

Rám slouží k ustanovení poloh nádob a nese celou váhu stroje. Je vyroben z normalizovaných polotovarů. Výrobní metody by neměly být komplikované.

Na obr. 6-10 je znázorněn jednoduchý rám spojený s nádobami. Jde o svařovanou sestavu z profilů tvaru U. Tento profil zajišťuje dostatečnou pevnost a hlavně tuhost konstrukce. Nádoby se k rámu přišroubují. Pro podepření přední části dolní nádoby jsou použity nohy, vyrobené opět z U profilů.



Obr. 6-10 Spojení rámu s nádobami

Nejdříve se nasune shora do rámu dolní nádoba. Do nádoby bylo vloženo lopatkové míchadlo. Přiloží se snímatelné čelo, jehož poloha se pojistí dvěma lícovanými kolíky. Spodní nádoba se, na straně snímatelného čela, dodatečně podepře podpurnými nohami, vyrobenými stejně jako rám. Ke spojení nádob a rámu je použito dvacet šroubových spojů. Ke spojení snímatelného čela byly vytvořeny další tři šroubové spoje. Použity jsou šrouby velikosti M12. Nad spodní nádobu se nasune shora nádoba horní. Nádoby se k sobě spojí pomocí osmi šroubů M8. Šrouby jsou vybrány dle normy ČSN 02 1103.25. Do horní nádoby bylo vloženo pásové míchadlo. Stejně jako v předchozím případě je k nádobě přiloženo snímatelné čelo, jehož poloha je stanovena pomocí dvou kolíků o průměru 6 mm dle ČSN 02 2152. Ke každé nádobě je poté přidělen poklop. Horní nádoba má poklop uložený otočně pomocí čepů dle DIN 1444, spolu s pojistnými kroužky pro hřídele dle DIN 471. Zajištění horního poklopu je provedeno nastavitelnými stahovacími sponami. Poklop dolní nádoby je snímatelný a je zajištěn vertikálními rychloupínkami.

Rychloupínky jsou vybrány z internetových stránek firmy MAREK Industrial a.s. [27]. Horní poklop je po otevření podepřen vzpěrou. Míchaný prostor je třeba utěsnit. Proto bylo použito těsnění pro zvýšené teploty. Snímatelná čela jsou těsněna těsněním tloušťky 2 mm. Z důvodu zhoršené přiléhavosti jsou oba poklapy také těsněny těsněním o tloušťce 3 mm. Na spoji nádob nelze zajistit přesné rozměry. Netěsnosti, které na tomto spoji bohužel vzniknou, jsou odstraněny těsněním o tloušťce 2 mm. Těsnění bylo vybráno z internetových stránek firmy SITTECH. Typ těsnění je BA-U, jenž odolává trvalým teplotám kolem 250 °C [15].

6.3.1 Pevnostní kontrola rámu

6.3.1

Nyní známe způsob připojení nádob na rám a tudíž i síly přenášené na rám. Na obr. 6-11 je vše přehledně znázorněno. Provedeme pevnostní kontrolu analytickým výpočtem. Počítána bude bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti. Pokud bude bezpečnost menší než požadovaná, bude třeba změnit rozměry nebo materiál.

Pro konstrukci rámu je zvolen polotovár:

Tyč průřezu U válcovaná za tepla DIN 1026-1, U 65

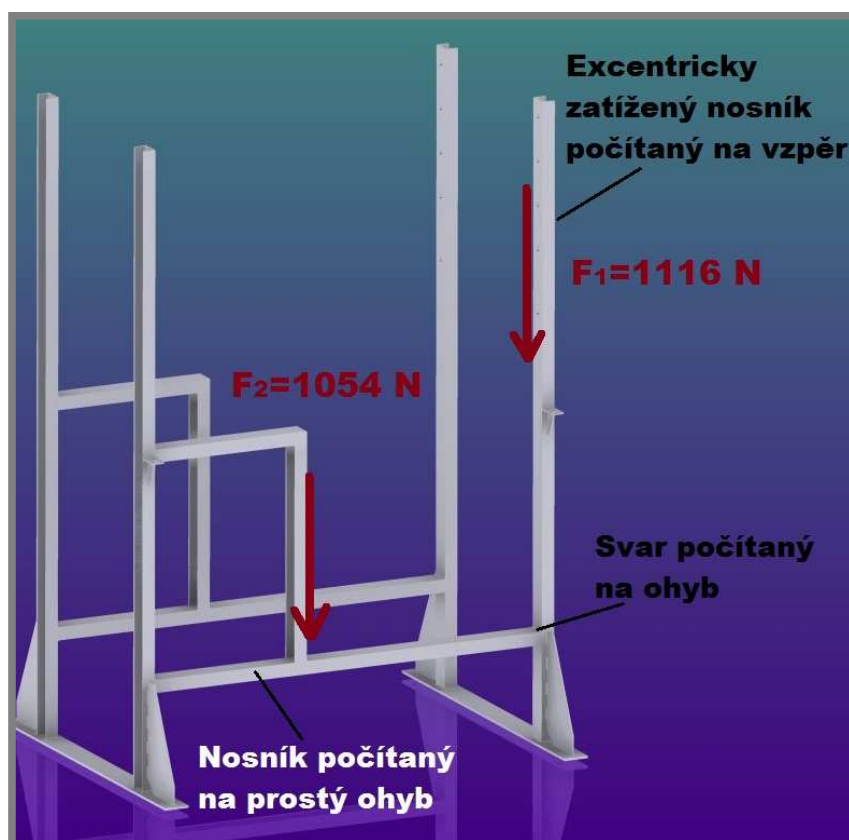
Rozměry:

Výška průřezu $h_p=65$ mm

Šířka průřezu $b_p=42$ mm

Materiál tyče je S355J2 dle ČSN EN 10027-1 [25]

Mez kluzu zvoleného materiálu je $R_e=335$ MPa [28]



Obr. 6-11 Zatížení rámu

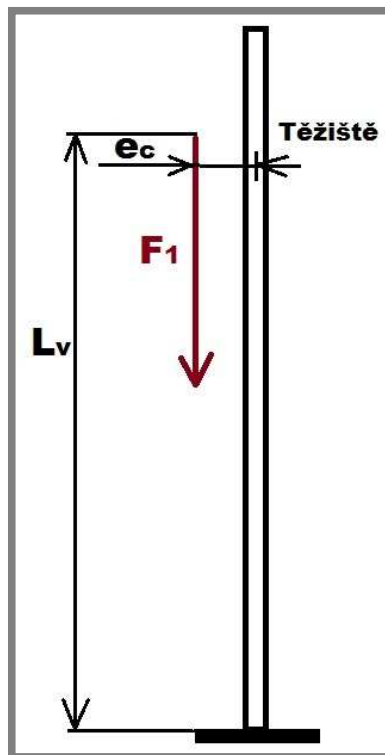
Nyní spočítáme zatěžující síly, které působí na rám díky hmotnosti nádob, míchané hmoty a ostatních součástí. Celková hmotnost přenášená na rám po připojení horní nádoby je $m_c=455$ kg. Tuto hmotnost nesou čtyři nosníky. Potom síla na jeden nosník je

$$F_1 = \frac{m_c \cdot g}{4} = \frac{455 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2}}{4} = 1116 \text{ N} \quad (6.4)$$

kde

m_c [kg] -nesená hmotnost
 g [ms^{-2}] -gravitační zrychlení

Jak již bylo naznačeno v obr. 6-11, bude nosník zatížený silou F_1 počítán na vzpěr. V tomto případě se nejedná o zatížení působící v těžišti průřezu, jelikož zatížení se přenáší na styčné ploše mezi profilem a stěnou nádoby. Budeme tedy počítat vzpěr s excentricky zadanou silou. Pro samotný výpočet si nosník zjednodušíme. Předpokládáme pouze samostatnou tyč na jednom konci vetknutou. Pokud zanedbáme ostatní součásti, jež konstrukci zpevňují, budeme se při výpočtu nacházet na konzervativní straně.



Obr. 6-12 Schéma vertikálního nosníku

Budeme také uvažovat působení síly v těžišti styčné plochy mezi nádobou a nosníkem. Ve vertikálním směru to znamená zkrácení celkové délky nosníku $L_c=2025$ mm na výpočtovou délku o polovinu velikosti styčné plochy. Výpočtová délka nosníku je

$$L_v = L_c - \frac{803 \text{ mm}}{2} = 2025 \text{ mm} - \frac{803 \text{ mm}}{2} = 1623 \text{ mm}$$

Musíme rozhodnout, jak budeme zadaný problém řešit. Buď budeme řešit dlouhý prut, nebo sloup. Rozhodneme se pomocí mezního štíhlostního poměru

$$\check{S}_{mez} = 0,282 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot S_1}{F_1}} = 0,282 \cdot \sqrt{\frac{207 \cdot 10^9 \text{ Pa} \cdot 9,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{1116 \text{ N}}} = 115,436 \quad (6.5)$$

kde

E	[Pa]	-modul pružnosti v tahu
S_1	[m ²]	-plocha průřezu profilu U
F_1	[N]	-zatěžující síla

Pro porovnání vypočteme skutečnou štíhlost

$$\check{S} = \frac{L_v}{\sqrt{\frac{J_y}{S_1}}} = \frac{1,623 \text{ m}}{\sqrt{\frac{1,41 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4}{9,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}}} = 129,923 \quad (6.6)$$

kde

L_v	[m]	-výpočtová délka nosníku
J_y	[m ⁴]	-kvadratický modul průřezu
S_1	[m ²]	-plocha průřezu profilu U

Po porovnání výsledků rovnic (6.5) a (6.6) je jasné, že nosník budeme počítat jako dlouhý prut pomocí sekantové rovnice, neboť skutečný štíhlostní poměr je větší než mezní [28]

$$\frac{F_{krit}}{S_1} = \frac{R_e}{1 + \left(\frac{e_c^2}{\frac{J_y}{S_1}} \right) \cdot \sec \left[\left(\frac{L_v}{2 \cdot \frac{J_y}{S_1}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{krit}}{E \cdot S_1}} \right]} \quad (6.7)$$

kde

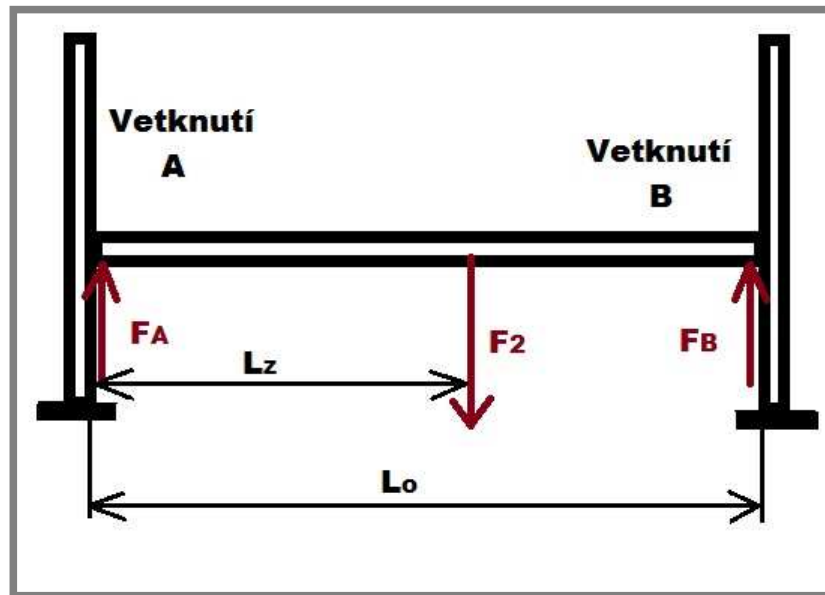
F_{krit}	[N]	-kritická síla
e_c	[m]	-excentricita
R_e	[Pa]	-mez kluzu v tahu

Po dosazení do rovnice (6.7) získáme rovnici o jedné neznámé F_{krit} . Tuto neznámou nemůžeme z rovnice vyjádřit, tudíž je nutné použít vhodnou numerickou metodu. V našem případě byl použit výpočetní software Mathcad. Celý výpočet této rovnice je ukázán v příloze A. V tomto dokumentu je pouze uvedena výsledná hodnota kritické síly $F_{krit}=64\ 890$ N. Tato hodnota převyšuje několikanásobně velikost zatěžující síly $F_1=1116$ N. NAVRHNUTÝ NOSNÍK VYHOVUJE.

Nyní je třeba zkontrolovat vodorovný nosník na ohyb. Předtím si určíme ohybovou sílu F_2 . Tato síla vzniká po připojení dolní nádoby k rámu. Zatěžující hmotnost je $m_c=430$ kg. Dolní nádobu nesou čtyři nosníky. Ohybová síla je podle rovnice (6.4)

$$F_2 = \frac{m_c \cdot g}{4} = \frac{430 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2}}{4} = 1054 \text{ N}$$

Délka nosníku pro výpočet ohybového napětí je $L_o=1317$ mm. Poloha zatěžující síly je $L_z=821$ mm. Nyní je nutné vypočítat reakce ve vetknutích. Řídit se budeme schématem na obr. 6-13.



Obr. 6-13 Schéma horizontálního nosníku

Po uplatnění podmínek statické rovnováhy dostaneme soustavu dvou rovnic

$$-F_2 + F_A + F_B = 0$$

$$F_B \cdot L_o = F_2 \cdot L_z$$

Po dosazení

$$-1054N + F_A + F_B = 0$$

$$F_B \cdot 1,317m = 1054N \cdot 0,821m$$

Výsledkem soustavy rovnic jsou dvě reakce $F_A=397$ N a $F_B=657$ N.

Největší ohybový moment je

$$M_o = F_A \cdot L_z = 397N \cdot 0,821m = 325,963Nm$$

Maximální ohybové napětí vypočteme za předpokladu zanedbání posouvajících sil

$$\sigma_o = \frac{M_o \cdot c}{J_y} = \frac{325,963Nm \cdot 0,014m}{1,41 \cdot 10^{-7} m^4} = 32,827 \cdot 10^6 Pa$$

kde

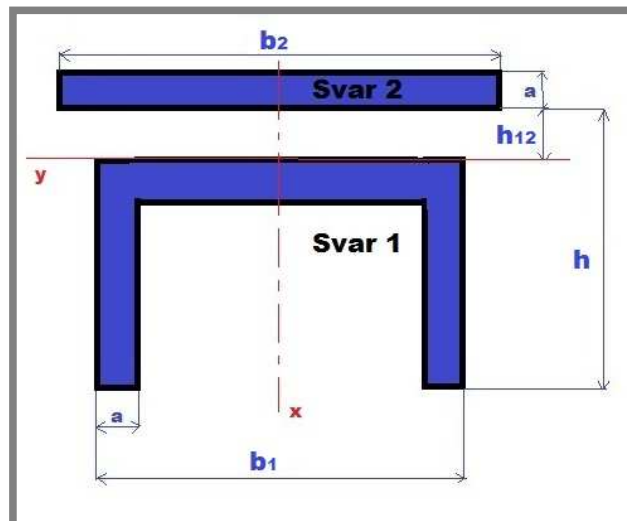
M_o	[Nm]	-ohybový moment
c	[m]	-vzdálenost těžiště průřezu od povrchu
J_y	[m ⁴]	-kvadratický modul průřezu

Bezpečnost vzhledem k meznímu stavu pružnosti

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{335 \cdot 10^6 Pa}{32,827 \cdot 10^6 Pa} = 10,205$$

Bezpečnost má větší hodnotu než 1,5. NAVRHNUTÝ NOSNÍK VYHOVUJE.

V poslední fázi bude zkontrolován svar namáhaný ohybovým momentem. Účinný průřez svaru sklopený do roviny připojení je znázorněn na obr. 6-14. Šířka svaru je $z=8\text{ mm}$. Svar bude proveden tavnou elektrodou E-B 123 3,2x450 dle normy ASME SFA/AWS A 5.1. Obdobná norma je ČSN EN 499. Mez kluzu svarového materiálu je $R_e=450\text{ MPa}$ [25].



Obr. 6-14 Svar namáhaný ohybovým momentem

Určení výpočtové plochy svaru dle obr. 6-14

$$S_U = 0,707 \cdot z \cdot b_2 + 0,707 \cdot z \cdot [b_1 + 2 \cdot (h - h_{12})]$$

Po dosazení rozměrů

$$S_U = 0,707 \cdot 8\text{ mm} \cdot 65\text{ mm} + 0,707 \cdot 8\text{ mm} \cdot [47,4\text{ mm} + 2 \cdot (42\text{ mm} - 5,5\text{ mm})] = 1049\text{ mm}^2$$

Nyní bude spočítána poloha těžiště svaru. Nejdříve je nutné vypočítat polohu těžiště svaru 1 dle [28]

$$x_{t1} = \frac{(h - h_{12})^2}{2 \cdot (h - h_{12}) + b_1} = \frac{(42\text{ mm} - 5,5\text{ mm})^2}{2 \cdot (42\text{ mm} - 5,5\text{ mm}) + 47,4\text{ mm}} = -11,65\text{ mm}$$

Poloha těžiště svaru 2 je

$$x_{t2} = h_{12} + \frac{0,707 \cdot z}{2} = 5,5\text{ mm} + \frac{0,707 \cdot 8\text{ mm}}{2} = 8,328\text{ mm}$$

Poloha těžiště svaru jako celku

$$x_t = \frac{x_{t2} \cdot (0,707 \cdot z \cdot b_2) + x_{t1} \cdot [0,707 \cdot z \cdot (b_1 + 2 \cdot (h - h_{12}))]}{S_U}$$

Po dosazení

$$x_t = \frac{8,328\text{ mm} \cdot (0,707 \cdot 8\text{ mm} \cdot 65\text{ mm}) - 11,65\text{ mm} \cdot [0,707 \cdot 8\text{ mm} \cdot (47,4\text{ mm} + 2 \cdot (42\text{ mm} - 5,5\text{ mm}))]}{1049\text{ mm}^2} = -4,266\text{ mm}$$

V další fázi je vypočítán jednotkový osový moment svaru 1 dle [28]

$$J_{U1} = \frac{2 \cdot (h - h_{12})^3}{3} + 2 \cdot (h - h_{12})^2 \cdot x_{t1} + [b_1 + 2 \cdot (h - h_{12})] \cdot x_{t1}^2$$

Po dosazení je $J_{U1}=17\ 680\text{ mm}^3$

Jednotkový osový moment svaru 2 je dle [28]

$$J_{U2} = \frac{(0,707 \cdot z)^3}{12} + 0,707 \cdot z \cdot b_2 \cdot x_{t2} = \frac{(0,707 \cdot 8mm)^3}{12} + 0,707 \cdot 8mm \cdot 65mm \cdot 8,328mm = 3077mm^3$$

Jednotkový osový moment svaru jako celku

$$J_U = J_{U1} + [0,707 \cdot z \cdot [b_1 + 2 \cdot (h - h_{t2})]] \cdot (x_{t1} - x_t) + J_{U2} + (0,707 \cdot z \cdot b_2) \cdot (x_{t2} - x_t) = 17680mm^3 + [0,707 \cdot 8mm \cdot [47,4mm + 2 \cdot (42mm - 5,5mm)]] \cdot (-11,65mm - 8,328mm) + 3077mm^3 + (0,707 \cdot 8mm \cdot 65mm) \cdot (8,328mm + 4,266mm) = 20750mm^3$$

Nyní je možné spočítat napětí ve svaru. Ve výpočtu budeme uvažovat smykovou složku napětí od posouvající síly i smykovou složku napětí způsobenou ohybem. Smyková složka napětí od posouvající síly je

$$\tau_1 = \frac{F_2}{S_U} = \frac{1054N}{1049mm^2} = 1,005MPa$$

Pro výpočet smykového napětí souvisejícího s ohybem je potřeba určit největší vzdálenost těžiště od okraje svaru

$$r = \sqrt{\left(\frac{47,4mm}{2}\right)^2 + (42mm - 5,5mm + x_t)^2} = \sqrt{\left(\frac{47,4mm}{2}\right)^2 + (42mm - 5,5mm - 4,266mm)^2} = 40,009mm$$

Smykové napětí způsobené ohybovým momentem

$$\tau_2 = \frac{M_o \cdot r}{J_U \cdot 0,707 \cdot z} = \frac{325,963 \cdot 10^3 Nmm \cdot 40,009mm}{20750mm^3 \cdot 0,707 \cdot 8mm} = 111,104MPa \quad (6.8)$$

kde

M_o	[Nm]	-ohybový moment
J_U	[m ³]	-jednotkový osový moment svaru
z	[m]	-šířka svaru
r	[m]	-největší vzdálenost těžiště od okraje svaru

Celkové napětí ve svaru je

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} = \sqrt{1,005^2 MPa^2 + 111,104^2 MPa^2} = 111,109MPa$$

Svar bude kontrolován podle ČSN 05 0120. Předpokládáme statické namáhání. Dovolené napětí ve výpočtu bezpečnosti se určí pomocí převodního součinitele, stanoveného pro boční koutový svar. Svařování je provedeno ručně, za použití výše uvedené elektrody. Převodní součinitel svarového spoje $\alpha_\tau=0,650$ [28]. Dovolené napětí svaru je potom

$$\tau_D = \alpha_\tau \cdot \frac{R_e}{k} = 0,65 \cdot \frac{335MPa}{1,5} = 145,167MPa$$

kde

α_τ	[-]	-převodní součinitel svaru
R_e	[Pa]	-mez kluzu základního materiálu
k	[-]	-součinitel bezpečnosti

Napětí ve svaru vyšlo menší než napětí dovolené. SVAR VYHOVUJE.

6.4 Návrh pohonů míchadel

Jak bylo uvedeno v předchozích částech této práce, budou míchadla poháněna elektropřevodovkami. Výhoda tohoto řešení spočívá v jednoduchém použití. Otáčky elektromotorů jsou u použitých typů míchadel převodovány do 60 min^{-1} [1]. Tuto hodnotu zvolíme jako referenční. Při nutnosti zvolení nižších otáček je možné vyměnit celou elektropřevodovku bez velkých problémů. Také bude možné volit otáčky přes řídicí jednotku linky pomocí frekvenčních měničů. V této kapitole nebudeme řešit uchycení pohonů k nádobám, pouze se zaměříme na zvolení jejich správných typů. Jelikož neznáme přesně viskozitu míchané směsi, určíme potřebný výkon pohonů dle prospektů jiných výrobců. Budeme volit tři pohony. První pro pásové míchadlo, druhý pro lopatkové míchadlo a poslední pro šnek. Pohony dveří horní nádoby a klapky v násypce budou určeny později.



Obr. 6-15 Elektropřevodovky Motosx [30]

Výrobou pásových a lopatkových míchaček se zabývá mnoho výrobců. Z jejich prospektů se dají v některých případech určit parametry vyráběných strojů. Nás zajímá objem míchané hmoty a výkon pohonu.

Tab. 6-1 Pracovní objemy a výkony míchaček od vybraných výrobců [18] [30] [31] [32]

Pásové míchačky		
HAS	210 dm ³	3-5,5 kW
	420 dm ³	4-7,5 kW
Charles Ross and son company	140 dm ³	4-5,5 kW
	280 dm ³	
Lopatkové míchačky		
HAS	200 dm ³	3 kW
	350 dm ³	4 kW
Charles Ross and son company	140 dm ³	1-1,5 kW
	280 dm ³	

V tab. 6-1 jsou uvedeny pracovní objemy a k nim přiřazené příkony jednotlivých míchaček od firem HAS a Charles Ross and son company. Pracovní objem hmoty byl v našem zařízení vypočten při konstrukci nádob a jeho hodnota se pohybuje kolem 300 dm^3 . Při určení potřebného příkonu jsou brány do úvahy tyto skutečnosti. Materiál je bez velkých pevných kusů. Stroj se musí rozběhnout, i když jsou nádoby naplněny. Po zvážení těchto informací a hodnot uvedených v tab. 6-1, je zvolen pro pásové míchadlo příkon motoru 5,5 kW. Pro lopatkové míchadlo příkon 4 kW.

Posledním úkolem v této kapitole je určení příkonu šnekového podavače. Volený příkon závisí na průměru šneku, dopravovaném materiálu, délce šneku a množství podávané hmoty. V tab. 6-2 jsou tyto hodnoty uvedeny pro šnekové dopravníky od firmy SPIDO.

Tab. 6-2 Příkony šnekových dopravníků [33]

TYP DOPRAVNÍKU	ŠD-120	ŠD-150	ŠD-200	ŠD-300
průměr šnekovnice [mm]	120	150	200	300
dopravní výkon [m^3/h]	6	11	26	48
max. délka dopravníku [m]	4,5	6	9	9
příkon pohonu [kW]	1,1-1,5	1,5-3	1,5-4	2,2-5,5

V našem případě byla spodní nádoba navržena pro instalaci šnekovnice o průměru 150 mm. Množství podávaného materiálu plyne z parametrů linky, tj. až 600 dm^3 za jednu hodinu. Délka šneku bude odpovídat délce spodní nádoby. Po zvážení těchto informací byl zvolen příkon pro šnekový podavač 1,5 kW. U tohoto pohonu je nutné zajistit lepší chlazení, jelikož motor bude třeba často spouštět. Také je třeba tento pohon vybavit brzdou, z důvodu přesného podávání směsi.

Konkrétní pohony jsou vybrány z katalogu dostupného na internetových stránkách www.elektromotory.cz. Pro pohon míchadel jsou zvoleny vzhledem k otáčkám a výkonu šnekové elektropřevodovky. Pro pohon šnekového podavače je zvolena čelní elektropřevodovka s šikmým ozubením. Provozní součinitele elektromotorů jsou v rozmezí hodnot jedna až dvě, neboť budou použity pro pohon míchacího zařízení.

Tab. 6-3 Zvolené pohony[29]

Pásové míchadlo: Helical worm geared motor			
Číslo pohonu dle katalogu: 2KJ1604-7HF13-1FG1+H03+D80			
Výkon	Kroutící moment	Otáčky	Provozní součinitel
5,5 kW	728 Nm	62 min^{-1}	1,2
Lopatkové míchadlo: Helical worm geared motor			
Číslo pohonu dle katalogu: 2KJ1604-7GF13-1FH1+H03+D80			
4 kW	570 Nm	61 min^{-1}	1,3
Šnekový podavač: Helical geared motor			
Číslo pohonu dle katalogu: 2KJ1104-1EP13-1AW1+D04+B09			
1,5 kW	424 Nm	34 min^{-1}	1,9

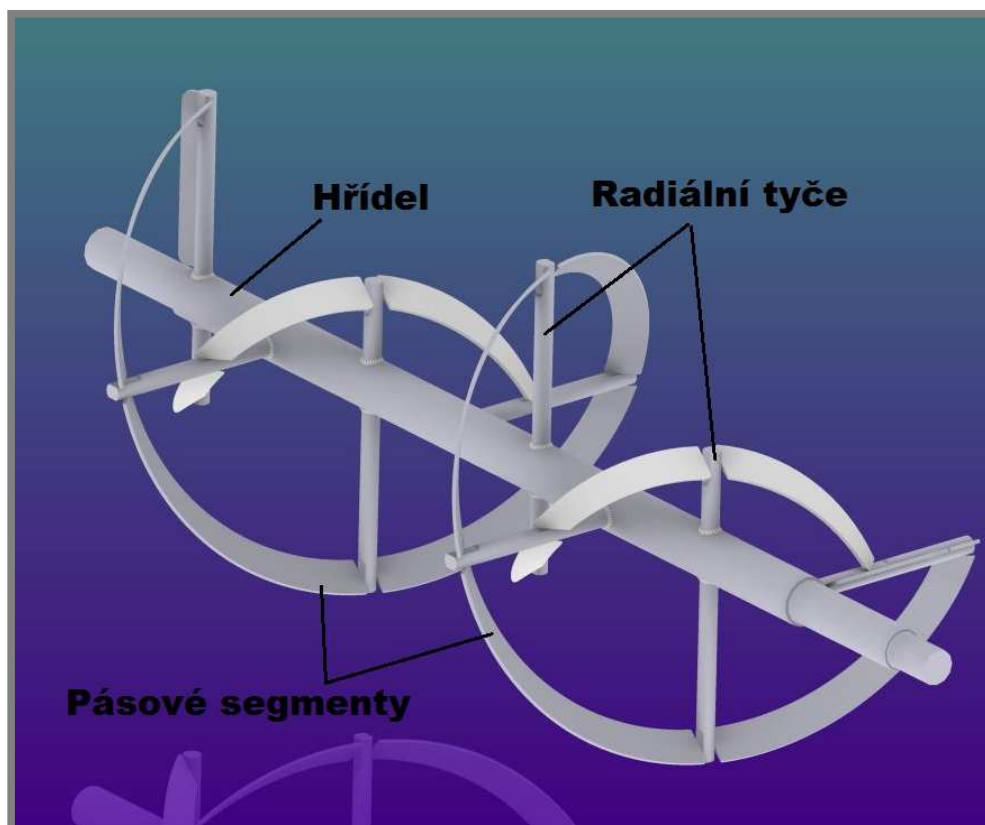
Šnekové převodovky byly vybrány se svislou polohou elektromotoru. Připojení ke stroji je přes příruby o průměru 300 mm. Elektrické napětí, pod kterým bude

provozován pohon pásového míchadla, je 380-420 V. Napětí pro pohon lopatkového míchadla a šnekového podavače je napětí 220-240 V. Pohon šneku nebude uchycen pomocí příruby, ale pomocí patek na podstavec. Moment integrované brzdy, jež je potřebná k přesnému dávkování hmoty, je 10 Nm [29].

6.5 Konstrukce míchadel a šneku

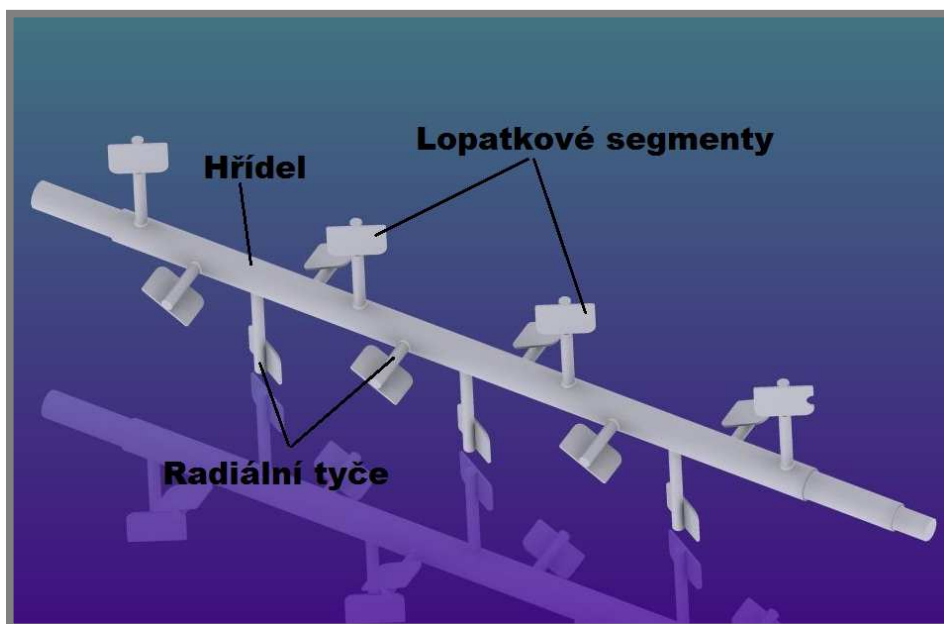
6.5

Na začátku této kapitoly si určíme tvar a rozměry míchadel a šneku. Při volbě polotovarů je nutné dbát na odolnost vůči abrazi. Míchadlo se skládá z hřídele, radiálních tyčí a jednotlivých pásových segmentů, navařených na radiální tyče. Vnější pás má maximální průměr stanovený podle rozměrů horní nádoby, tj. 590 mm. Vnitřní pás má maximální průměr 300 mm. Šířka plechu, ze kterého se budou pásové segmenty vyrábět je 50 mm, tloušťka 8 mm. Jako polotovar volím plech vyrobený z oteruvzdorného materiálu Hardox 450. Rozměry jsou určeny s ohledem na povlak, který se nanese na vnitřní plochy nádob i na míchadla se šnekem. Předpokládaná tloušťka povlaku je 1 mm. V tomto případě je vůle mezi nádobou a míchadly v rozmezí 2-3 mm. Hřídel i radiální tyče jsou navrženy z kruhových tyčí. Hřídel je vyroben z tyče ocelové, kruhové, válcované za tepla o průměru 75 mm dle ČSN 42 5510.11(A). Před svařením je obrobena na maximální průměr 70 mm. Na koncích jsou vytvořena osazení pro ložiska s vnitřním průměrem 60 mm. Radiální tyče jsou vyrobeny z ocelové, kruhové, válcované za tepla o průměru 25 mm dle ČSN 42 5510.11(A). V místech navaření pásových segmentů jsou vytvořeny rovinné plochy, z důvodu lepší manipulace a sestavení. Na krajních radiálních tyčích jsou navařeny stírací plechy, opět vyrobené z oteruvzdorného plechu Hardox 450.



Obr. 6-16 Pásové míchadlo

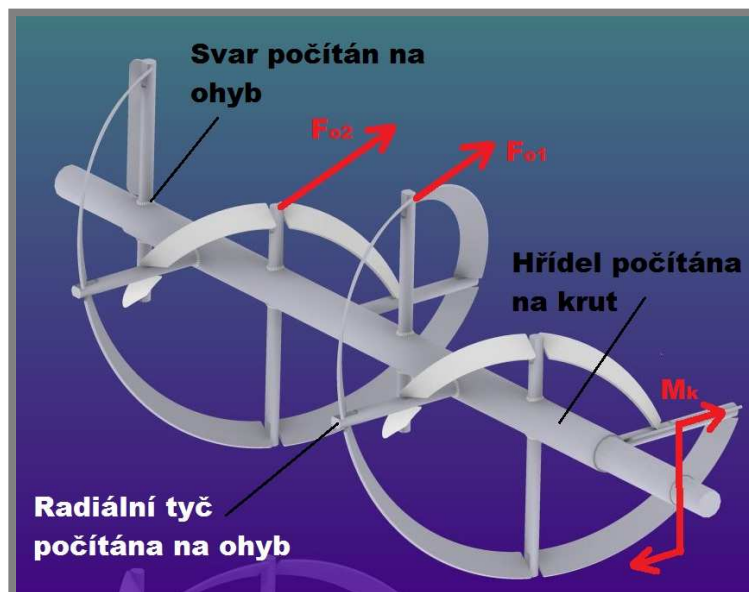
Lopátkové míchadlo je konstruováno podobně jako míchadlo pásové. Skládá se z hřídele, radiálních tyčí a segmentů lopatek. Polotovar a materiál hřídele je stejný jako v předchozím případě. Hřídel se liší pouze délkou, která je uzpůsobená rozměru dolní nádoby. Lopatky jsou umístěny na velkém a malém průměru. Velký průměr má rozměr 535 mm a je volen tak, aby mezi lopatkami a stěnou nádoby byla po nanesení povlaku vůle v rozmezí 2-3 mm. Malý průměr lopatek je 305 mm. Lopatky jsou navařeny na radiálních tyčích šikmo pod úhlem 30° . Na velkém a malém průměru je sklon opačný. Tímto je zkomplikován pohyb míchané hmoty v axiálním směru, což napomůže dobrému promíchání. Radiální tyče jsou konstruovány stejně jako u míchadla pásového. Jediný rozdíl je v délce a v rovinných plochách, na které jsou navařeny lopátkové segmenty. Tyto segmenty jsou vytvořeny z rovného plechu o tloušťce 8 mm. Materiál plechu je opět Hardox 450.



Obr. 6-17 Lopátkové míchadlo

6.5.1 Pevnostní kontrola míchadel

Pevnostní výpočty budou prováděny z důvodu podobnosti pouze na pásové míchadle. Kritickými místy jsou drážka pro pero na hřídeli a svar mezi radiální tyčí a hřídelí. Radiální tyč je navíc nutné zkontrolovat na ohyb. Zatížení budeme uvažovat od kroutícího momentu pohonu. Ve firmách, které tyto stroje vyrábějí, se pro tyto účely postaví prototyp, na kterém se zatížení míchadel změří [1]. My takovou možnost nemáme, a proto budeme uvažovat plné zatížení od pohonu. Důvodem, proč je počítáno pouze pásové míchadlo, je podobnost konstrukcí a materiálů. Jediný rozdíl je v pohonech. U pásového míchadla je zvolen pohon s větším kroutícím momentem. Od kroutícího momentu poté vznikají obvodové síly, které namáhají radiální tyče na ohyb. Zatížení je samozřejmě dynamické. Protože neznáme přesný proces zatížení, musíme dynamiku zanedbat a řešit problém z hlediska statického. Jednotlivé pevnostní výpočty budou probíhat analyticky, kdy složité tvary budou zjednodušeny tak, aby se výpočet pohyboval na konzervativní straně.



Obr. 6-18 Zatížení míchadla

Nejdříve zkontrolujeme hřídel míchadla na krut. Jak bylo napsáno výše, kritické místo se nachází u drážky pro pero. V tomto místě má hřídel průměr $d_h=50$ mm. Drážka pro těsné pero má rozměry dle ČSN 02 2562 [26]. Drážka má šířku $b_d=14$ mm a rádius $r_d=0,6$ mm. Podle [35] je potom vrubový součinitel pro zatížení krutem $\alpha_d=3,2$. Kroutící moment od pohonu je $M_k=728$ Nm. Smykové napětí v materiálu způsobené kroutícím momentem je

$$\tau_k = \alpha_d \cdot \frac{M_k \cdot 16}{\pi \cdot d_h^3} = 3,2 \cdot \frac{728 \text{ Nm} \cdot 16 \cdot 10^3}{\pi \cdot 50^3 \text{ mm}^3} = 94,916 \text{ MPa}$$

kde

α_d	[-]	-vrubový součinitel drážky pro pero
M_k	[Nm]	-kroutící moment
d_h	[m]	-průměr hřídele

Materiál polotovaru hřídele je ocel vhodná ke zušlechtění 15 230.3 dle ČSN 42 0002. Hřídel bude zušlechtěna na dolní pevnost. Potom tedy bude materiál 15 230.6 dle ČSN 42 0002. Mez kluzu v tahu je $R_e=635$ MPa [28]. Musíme počítat s mezí kluzu ve smyku. Podle teorie měrné energie napjatosti změny tvaru je mez kluzu ve smyku

$$R_{se} = 0,577 \cdot R_e = 0,577 \cdot 635 \text{ MPa} = 366,395 \text{ MPa} \quad (6.9)$$

Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti je tedy

$$k = \frac{R_{se}}{\tau_k} = \frac{366,395 \text{ MPa}}{94,916 \text{ MPa}} = 3,86$$

Bezpečnost má větší hodnotu než 1,5. NAVRHNUTÁ HŘÍDEL VYHOVUJE.

Nyní spočítáme obvodové síly, jež vzniknou na radiálních tyčích. Máme dva průměry pásů. Na větším průměru vzniká od kroutícího momentu menší obvodová síla, než na průměru menším. Jelikož jsou na několik radiálních tyčí navařeny pásy na malém i velkém průměru, budeme na ohyb kontrolovat právě je. Dále budeme předpokládat, že radiální tyče zabírají do míchaného materiálu všechny společně.

Tento předpoklad lze zdůvodnit spojením všech tyčí pásovými segmenty. Ohybová síla na velkém pásu je

$$F_{o1} = \frac{M_k \cdot 2}{D_v} = \frac{728Nm \cdot 2}{0,551m} = 2642N \quad (6.10)$$

kde

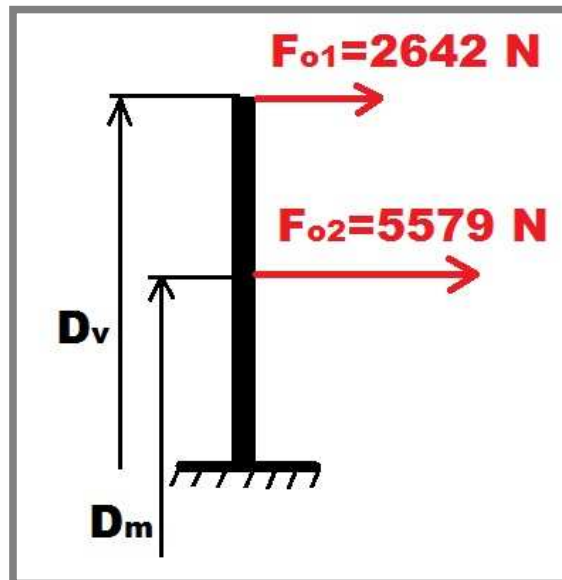
M_k [Nm] -kroučící moment
 D_v [m] -střední průměr na pásu o velkém průměru

Dle rovnice (6.10) je potom obvodová síla na malém pásu

$$F_{o2} = \frac{M_k \cdot 2}{D_m} = \frac{728Nm \cdot 2}{0,261m} = 5579N$$

kde

D_m [m] -střední průměr na pásu o malém průměru



Obr. 6-19 Zatížení radiální tyče

Ohybový moment by měl být správně počítán v místě připojení k hřídeli. Po zjednodušení je ohybový moment počítán k ose. Ohybový moment je

$$M_o = F_{o1} \cdot \frac{D_v}{2} + F_{o2} \cdot \frac{D_m}{2} = 2642N \cdot \frac{0,551m}{2} + 5579N \cdot \frac{0,261m}{2} = 1168Nm$$

Pro tento výpočet momentu je rozhodující předpoklad, že malý i velký pás přenášejí obvodové síly samostatně. Tyto samostatné obvodové síly se potom přenášejí na několik radiálních tyčí, na které je navařen malý i velký pás. Ohybové napětí se vypočte podle vztahu

$$\sigma_o = \frac{M_o \cdot 32}{\pi \cdot d_r^3 \cdot n} = \frac{1168Nm \cdot 32 \cdot 10^3}{\pi \cdot 25^3 mm^3 \cdot 4} = 190,398MPa$$

kde

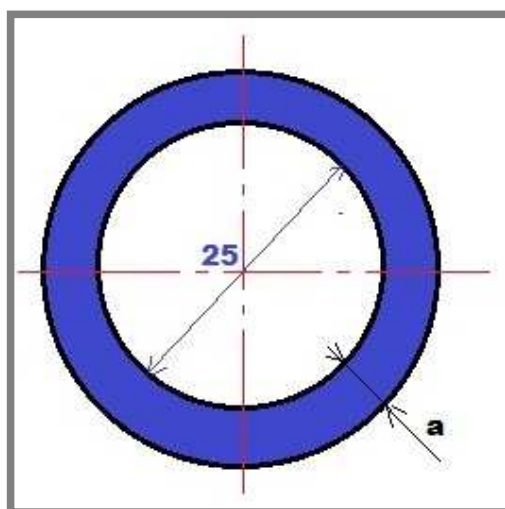
d_r [m] -průměr radiální tyče
 n [-] -počet radiálních tyčí s velkým i malým pásem

Materiál radiálních tyčí je opět 15 230.6 dle ČSN 42 0002. Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti je

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{635MPa}{190,398MPa} = 3,33$$

Bezpečnost vyšla větší než 1,5. NAVRHNUTÁ TYČ VYHOVUJE.

Radiální tyče jsou k hřídeli připojeny koutovým svarem. Svar bude proveden ručně obalenou elektrodou E-B 123 3,2x450 dle normy ASME SFA/AWS A 5.1. Šířku svaru volím $z=4$ mm. Svar má kruhový tvar. Na obr. 6-20 je znázorněn účinný průřez svaru, sklopený do roviny připojení. Vše je počítáno pro tyč, na kterou byl navařen malý i velký pás. To znamená, že na tyč opět působí dvě obvodové síly.



Obr. 6-20 Koutový svar na vetknutí

Účinná plocha svaru je podle [28]

$$S_U = 1,414 \cdot z \cdot \pi \cdot \frac{d_r}{2} = 1,414 \cdot 4mm \cdot \pi \cdot \frac{25mm}{2} = 222,111mm^2$$

kde

d_r	[m]	-průměr radiální tyče
z	[m]	-šířka svaru

Smykové napětí od posouvající síly je

$$\tau_1 = \frac{F_{o1} + F_{o2}}{S_U \cdot n} = \frac{2642N + 5579N}{222,111mm^2 \cdot 4} = 9,253MPa$$

kde

F_o	[N]	-obvodová síla
n	[-]	-počet svarů

Jednotkový osový kvadratický moment účinného průřezu dle [28] je

$$J_U = \pi \cdot d_r^3 = \pi \cdot 25^3 mm^3 = 49090mm^3$$

Smykové napětí ve svaru související s ohybem je dle [28]

$$\tau_2 = \frac{M_o \cdot \left(\frac{d_r}{2} + z \right)}{0,707 \cdot z \cdot J_U \cdot n} = \frac{1168 \text{ Nm} \cdot 10^3 \cdot (12,5 \text{ mm} + 4 \text{ mm})}{0,707 \cdot 4 \text{ mm} \cdot 49090 \text{ mm}^3 \cdot 4} = 34,715 \text{ MPa}$$

kde

M_o	[Nm]	-ohybový moment
n	[-]	-počet svarů
d_r	[m]	-průměr radiální tyče
z	[m]	-šířka svaru
J_U	[m ³]	-jednotkový osový kvadratický moment účinného průřezu

Celkové napětí ve svaru

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} = \sqrt{9,253^2 \text{ MPa}^2 + 34,715^2 \text{ MPa}^2} = 35,927 \text{ MPa}$$

Svar bude kontrolován podle ČSN 05 0120. Zanedbáme dynamické zatížení svaru z důvodu velmi nízkých otáček. Dovolené napětí ve výpočtu bezpečnosti se určí pomocí převodního součinitele, stanoveného pro boční koutový svar. Svařování je provedeno ručně, za použití výše uvedené elektrody. Převodní součinitel svarového spoje $\alpha_\tau=0,650$ [28]. Dovolené napětí svaru je potom

$$\tau_D = \alpha_\tau \cdot \frac{R_e}{k} = 0,65 \cdot \frac{635 \text{ MPa}}{1,5} = 275,166 \text{ MPa} \quad (6.11)$$

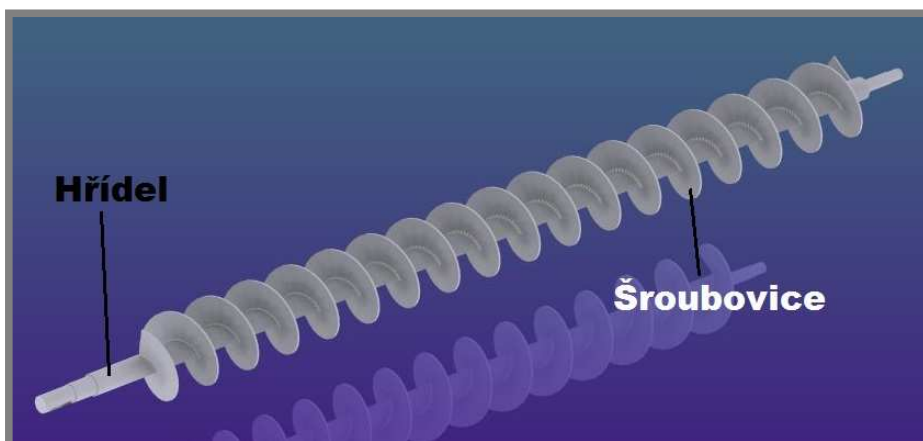
kde

α_τ	[-]	-převodní součinitel svaru
R_e	[Pa]	-mez kluzu základního materiálu
k	[-]	-součinitel bezpečnosti

Napětí ve svaru je menší než napětí dovolené. SVAR VYHOVUJE.

6.5.2 Návrh šneku a jeho pevnostní kontrola

Šnekový podavač je tvořen hřídelí a šroubovicí, která je na hřídeli navařená. Rozměry šneku musí odpovídat navrhnuté nádobě. Spodní nádoba byla navrhnutá pro šnek o průměru 147 mm. Počítá se s nanesením povlaku o tloušťce 1 mm. S tímto povlakem je vůle mezi šnekem a stěnou nádoby kolem 1 mm. Hřídel šneku má vytvořeny na koncích osazení pro uchycení ložisek.



Obr. 6-21 Šnek

Šroubovice šneku je tvořena otěrvzdorným plechem Hardox 450 o tloušťce 5 mm. Hřídel je navrhnutá z tyče ocelové, kruhové, válcované za tepla, o průměru 45 mm dle ČSN 42 5510.11(A). Šroubovice šneku je dimenzována podle množství materiálu, které šnek vytlačí ze stroje za jednu otáčku. Musíme zjistit, jaký objem představuje 2,5 kg míchané hmoty. Měrná hmotnost míchaného materiálu je $\rho_h=1840 \text{ kg/m}^3$. Potom objem pro $m_{2,5}=2,5 \text{ kg}$ je

$$V_{2,5} = \frac{m_{2,5}}{\rho_h} = \frac{2,5 \text{ kg}}{1840 \text{ kg/m}^3} = 1,359 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Průměr hřídele šneku je $d_h=40 \text{ mm}$. Maximální průměr šneku je $d_s=147 \text{ mm}$. Potom výtlačný průřez šneku je

$$S_s = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_h^2}{4} = \frac{\pi \cdot 147^2 \text{ mm}^2}{4} - \frac{\pi \cdot 40^2 \text{ mm}^2}{4} = 15720 \text{ mm}^2$$

Nyní určíme délku válce pro daný objem a výtlačnou plochu

$$L_s = \frac{V_{2,5}}{S_s} = \frac{1359 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}{15720 \text{ mm}^2} = 86 \text{ mm}$$

Tato délka se blíží požadovanému stoupání šroubovice šneku. Nesmíme ale zapomenout na objem samotné šroubovice. V tomto případě začleníme do výpočtu objem jedné otáčky šroubovice, změřený v programu Inventor. Objem jedné otáčky šroubovice je $V_s=62\,860 \text{ mm}^3$. Stoupání šroubovice šneku potom je

$$L_s = \frac{V_{2,5} + V_s}{S_s} = \frac{1359 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 + 62860 \text{ mm}^3}{15720 \text{ mm}^2} = 90 \text{ mm}$$

Když nyní známe rozměry šnekového podavače, můžeme se zaměřit na pevnostní kontrolu jeho hřídele. Hřídel je namáhaná krutícím momentem, jenž má velikost $M_k=424 \text{ Nm}$. Kritické místo se nachází v místě drážky pro pero. Průměr hřídele je zde $d_h=32 \text{ mm}$. Šířka drážky pro těsné pero je $b_d=10 \text{ mm}$. Zaoblení drážky je $r_d=0,6 \text{ mm}$. Dle [34] je potom vrubový součinitel pro zatížení krutem $\alpha_d=3$. Smykové napětí v materiálu způsobené krutícím momentem je

$$\tau_k = \alpha_d \cdot \frac{M_k \cdot 16}{\pi \cdot d_h^3} = 3 \cdot \frac{424 \text{ Nm} \cdot 16 \cdot 10^3}{\pi \cdot 32^3 \text{ mm}^3} = 197,7 \text{ MPa}$$

kde

α_d	[-]	-vrubový součinitel drážky pro pero
M_k	[Nm]	-krutící moment
d_h	[m]	-průměr hřídele

Materiál polotovaru hřídele je ocel vhodná ke zušlechtění 15 230.3 dle ČSN 42 0002. Hřídel bude zušlechtěna na dolní pevnost. Potom tedy bude materiál 15 230.6 dle ČSN 42 0002. Mez kluzu v tahu je $R_e=635 \text{ MPa}$ [28]. Dle rovnice (6.9) je mez kluzu ve smyku $R_{se}=366,395 \text{ MPa}$. Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti je tedy

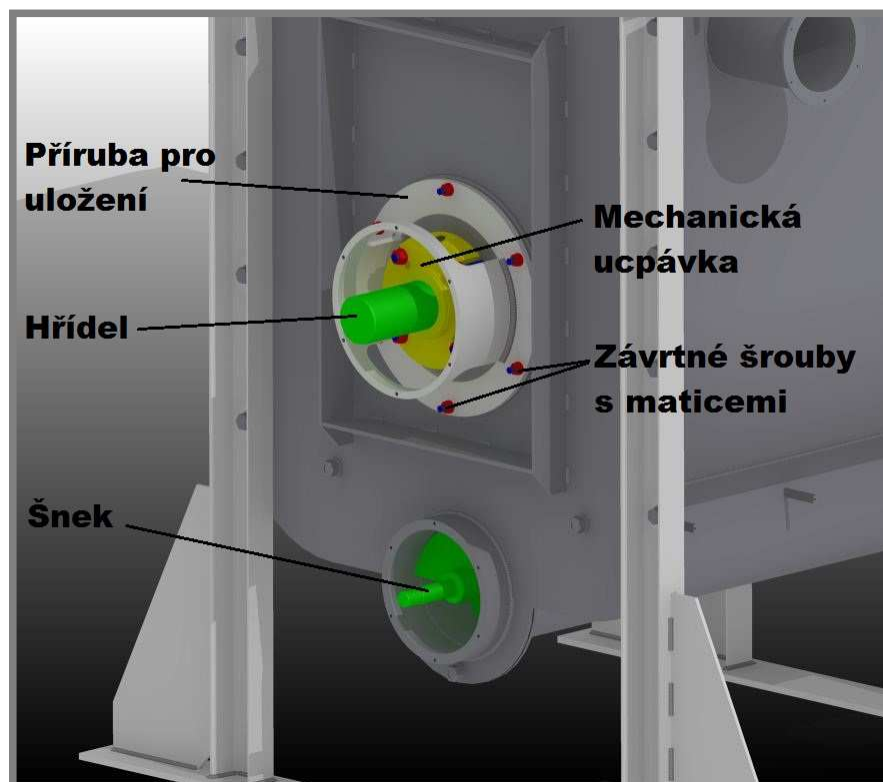
$$k = \frac{R_{se}}{\tau_k} = \frac{366,395 \text{ MPa}}{197,7 \text{ MPa}} = 1,85$$

Bezpečnost má větší hodnotu než 1,5. NAVRHNUTÁ HŘÍDEL VYHOVUJE.

6.6 Návrh uložení míchadel a šneku

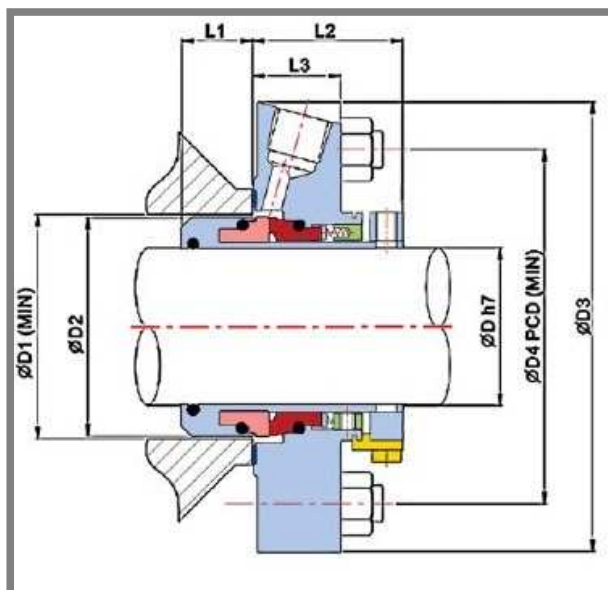
Vzhledem k délce hřídelí a výrobním možnostem je dobré zvolit pro uložení naklápěcí ložiska. V případě uložení šneku jsme omezeni rozměry, a tudíž budeme volit ložiska jednořadá, kuličková. Důležité je také zajištění vhodného těsnění hřídelí. Vhodné je použití mechanické ucpávky, která bude odolná vůči abrazivnímu materiálu.

Na obr. 6-22 je znázorněno uchycení příruby pro uložení a mechanické ucpávky. Důležité je použití závrtných šroubů, zašroubovaných do čel nádob. Toto řešení umožňuje uchycení uložení ložisek a mechanických ucpávek bez nutnosti vrtání průchozích děr do nádob. Navíc hladkost vnitřní stěny nenarušují žádné matice nebo hlavy šroubů. Mechanická ucpávka je znázorněna žlutou barvou. Je uchycena pomocí závrtných šroubů do oceli M10x50 ČSN 02 1174.20 (závrtné šrouby jsou znázorněny modrou barvou). Usazení ucpávky se seřizuje pomocí odpovídajících matic a podložek (matice s podložkami jsou znázorněny červeně).



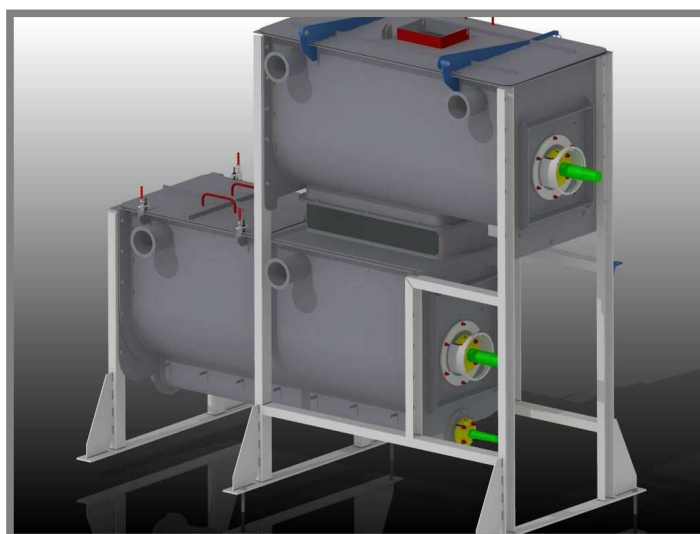
Obr. 6-22 Ucpávka a příruba pro uložení

Ucpávka byla vybrána od firmy Pokorný s.r.o. Jedná se o ucpávku C10 POWERseal TC/TC Viton. Při výběru ucpávky bylo nutné určit několik důležitých faktorů. Rychlost otáčení hřídele je malá (do 60 min^{-1}). Médium v nádobách je abrazivní. Teplota při provozu je $130 \text{ }^\circ\text{C}$. Viskozita míchaného materiálu byla určena pouze orientačně po natavení plastu. Poloha hřídelí je vodorovná a jsou dovoleny průhyby i výrobní nepřesnosti. Jak již bylo napsáno výše, ucpávka se upevní ke konstrukci pomocí závrtných šroubů. Pro míchadla byla velikost ucpávky určena průměrem hřídelí 60 mm. Stejná ucpávka byla použita pro hřídel šneku na straně pohonu. Jediný rozdíl byl v určení ucpávky podle průměru hřídele, který byl 40 mm [35].



Obr. 6-23 Mekanická ucpávka POWERseal [35]

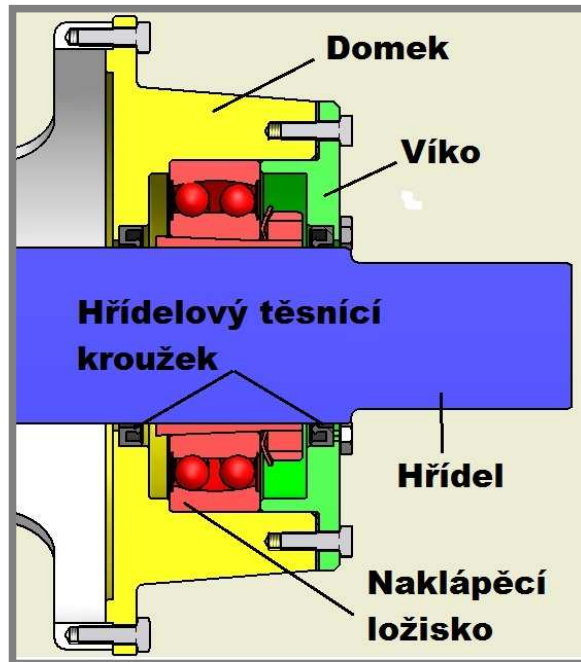
Na výtlačné straně šneku nebylo možné mechanickou ucpávku použít. Řešení tohoto problému se nachází dále v této kapitole. Pro uchycení domků ložisek na nádoby byly použity svařované příruby. Tyto příruby jsou středěny na nádobách pomocí tvarových vybrání. Přišroubovány jsou závrtnými šrouby do oceli M8x40 ČSN 02 1174.20. Příruby jsou vhodně tvarovány z důvodu snadné manipulace s ucpávkami.



Obr. 6-24 Příruby pro uchycení domků ložisek

Podrobně je uložení hřídelí míchadel zobrazeno na obr. 6-25. Na přírubu pro uložení (bílá barva) se uchytí domek pro ložisko (žlutě) pomocí šesti šroubů M6x20 ČSN 02 1103.25. Do domku je nasunuto naklápěcí ložisko (červeně) od SKF 2213 E-2RS1KTN9 spolu s upínacím pouzdem H 113 C [36]. Ložisko je dodáno s integrovaným těsněním a je namazáno plastickým mazivem na celou dobu životnosti ložiska. Ložisko je velmi snadné použít. Toleruje průhyby hřídele (modrou barvou) a výrobní nepřesnosti.

V domku je ložisko axiálně zajištěno přišroubovaným víkem (zeleně). Ložiskový prostor je těsněn pomocí hřídelových těsnících kroužků od firmy Rubena. Kroužky byly zvoleny s ohledem na průměr hřídele a zvýšenou provozní teplotu. Značení hřídelových těsnících kroužků je G 60x75/12 WAS NBR DIN 3760 [37]. Na obrázku je ukázáno uložení s průchozí hřídelí. Na opačné straně stroje je uložení podobné s tím rozdílem, že je hřídel ukončena v ložiskovém prostoru a víko je vyrobeno bez otvoru pro hřídel. Víko je vybaveno těsněním tloušťky 1 mm od firmy SITTECH. Uložení hřídelí pásového i lopatkového míchadla jsou zcela identická.



Obr. 6-25 Uložení hřídelí

Víko uložení ložiska je přišroubováno k domku šesti ocelovými šrouby M6x20 ČSN 02 1103.25. Protože na míchadlech vznikají axiální síly, je nutné uložení na toto zatížení zkontrolovat. Konkrétně je nutné spočítat tlak v závitech šroubů víka a porovnat jej s tlakem dovoleným. Nejdříve spočítáme axiální sílu vznikající na pásovém míchadle. S tímto míchadlem počítáme z důvodu největšího výkonu pohonu. Stoupání šroubovice velkého pásu je $P_v=708$ mm. Potom úhel stoupání šroubovice velkého pásu je

$$\psi_v = \arctan\left(\frac{P_v}{\pi \cdot D_v}\right) = \arctan\left(\frac{708\text{mm}}{\pi \cdot 551\text{mm}}\right) = 22,245^\circ$$

kde

D_v [m] -střední průměr na pásu o velkém průměru

Úhel stoupání šroubovice malého pásu při stoupání $P_m=748$ mm je

$$\psi_m = \arctan\left(\frac{P_m}{\pi \cdot D_m}\right) = \arctan\left(\frac{748\text{mm}}{\pi \cdot 261\text{mm}}\right) = 42,372^\circ$$

kde

D_m [m] -střední průměr na pásu o malém průměru

Axiální složka síly na velkém pásu

$$F_{av} = \tan(\psi_v) \cdot F_{o1} = \tan(22,245^\circ) \cdot 2642N = 1081N$$

kde

$$F_{o1} \quad [N] \quad \text{-obvodová síla na velkém pásu}$$

Axiální složka síly na malém pásu je

$$F_{am} = \tan(\psi_m) \cdot F_{o2} = \tan(42,372^\circ) \cdot 5579N = 5089N$$

kde

$$F_{o2} \quad [N] \quad \text{-obvodová síla na malém pásu}$$

Šroubovice pásů na míchadle jsou protiběžné. Celková síla je dána rozdílem jednotlivých axiálních sil

$$F_a = F_{am} - F_{av} = 5089N - 1081N = 4008N$$

Tato síla je poté zachytávána ocelovými šrouby víka. Stoupání závitů šroubů je dle [26] $P_s=1$ mm. Délka zašroubování je $l_z=15$ mm. Počet závitů je potom

$$z_s = \frac{l_z}{P_s} = \frac{15mm}{1mm} = 15$$

Tlak v závitech je

$$p = \frac{F_a}{z_s \cdot 6 \cdot d_2 \cdot \frac{d - d_3}{2}} = \frac{4008N}{15 \cdot 6 \cdot 5,350mm \cdot \frac{6mm - 4,773mm}{2}} = 13,569MPa$$

kde

$$\begin{aligned} d & \quad [m] && \text{-velký průměr závitu} \\ d_2 & \quad [m] && \text{-střední průměr závitu} \\ d_3 & \quad [m] && \text{-malý průměr závitu} \end{aligned}$$

Dovolený tlak v závitech dle [38] pro ocel a třídu pevnosti 5.8 je $p_D=90MPa$. Bezpečnost proti vytržení šroubů je

$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{90MPa}{13,569MPa} = 6,632$$

NAVRHNUTÝ ŠROUBOVÝ SPOJ VYHOVUJE.

Jelikož ostatní uložení přenášejí menší síly a šroubové spoje použité v těchto uloženích jsou zcela identické, není třeba je kontrolovat.

Naklápěcí ložiska musí být navržena v souladu s podmínkami, ukázanými v katalogu od SKF. Zatížení ložisek je zejména axiálními silami a je nutné volit ložiska tak, aby tyto síly vydržely. Dle [36] je šířka ložisek $B=31$ mm a průměr díry ložiska $d=60$ mm. Potom maximální přípustná axiální síla je dle [36]

$$F_{al} = 0,003 \cdot B \cdot d = 0,003 \cdot 31mm \cdot 60mm = 5,58kN$$

V našem případě je axiální síla F_a menší než F_{al} , tudíž NAVRHNUTÉ LOŽISKO VYHOVUJE. Vzhledem k nízkým otáčkám a nízkému radiálnímu zatížení není nutné počítat životnost ložisek.

Uložení výtlačného šneku je zcela totožné s uložením hřídelí míchadel. Rozdíl spočívá pouze ve spojení příruby pro uložení a domku pro ložiska. V tomto případě je vytvořen pouze jeden ložiskový domek, který je přišroubován k dolní nádobě. Ložiska byla použita z rozměrových důvodů pouze jednořadá kuličková. Ložiska jsou opět od firmy SKF. Na straně umístění pohonu je zvoleno kuličkové ložisko větších rozměrů. Je to nutné z důvodu axiálního zatížení od šneku. Ložisko je W6207 2RS1 s integrovaným těsněním a mazáním plastickým mazivem. Má dynamickou únosnost $C=21,6$ kN. Axiální únosnost ložiska je potom dle [39]

$$F_a = 0,5 \cdot C = 0,5 \cdot 21,6 \cdot 10^3 \text{ N} = 10,8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Při výpočtu axiální síly vznikající na šneku, budeme uvažovat síly vznikající na středním průměru. Úhel stoupání je

$$\psi = \arctan\left(\frac{L_s}{\pi \cdot D_2}\right) = \arctan\left(\frac{90\text{mm}}{\pi \cdot 89,5\text{mm}}\right) = 17,749^\circ$$

kde

L_s [m] -stoupání šroubovice šneku
 D_2 [m] -střední průměr

Obvodová síla na středním průměru je

$$F_o = \frac{M_k \cdot 2}{D_2} = \frac{424\text{Nm} \cdot 10^3 \cdot 2}{89,5\text{mm}} = 9475\text{N}$$

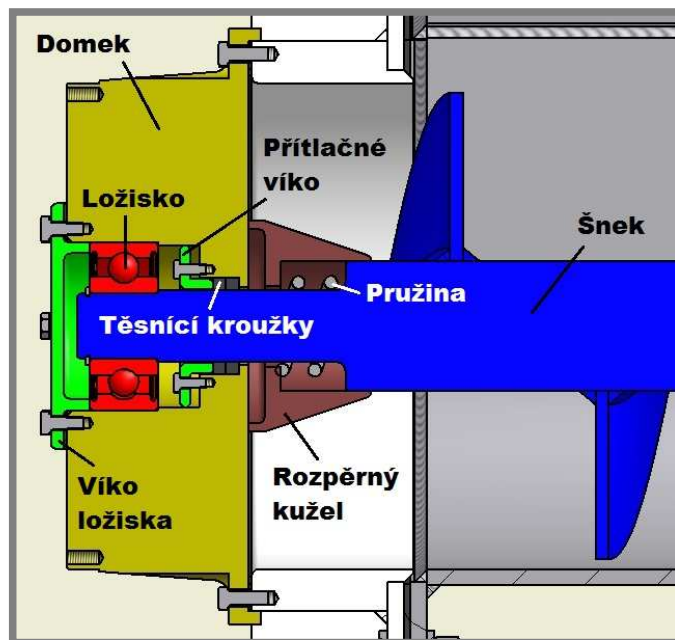
kde

M_k [Nm] -kroučící moment pohonu šneku

Axiální síla na šneku je potom

$$F_a = \tan(\psi) \cdot F_o = \tan(17,749^\circ) \cdot 9475\text{N} = 3033\text{N}$$

Axiální síla vyšla nižší než je axiální únosnost ložiska. NAVRHNUTÉ LOŽISKO VYHOVUJE.



Obr. 6-26 Uložení šneku na výtlačné straně

Na obr. 6-26 je znázorněno uložení šneku na výtlačné straně. Míchaná hmota je protlačována dvěma otvory v domku ložiska dále do linky. Jelikož je nutné zajistit co největší rozměr výtlačných otvorů, je ložisko voleno s co nejmenšími rozměry. Ložisko je nasunuto na hřídeli šneku, takže je nutné zajistit dostatečně velké osazení hřídele. Z pevnostního hlediska osazení nepředstavuje problém, neboť hřídel v těchto místech již nepřenáší velký kroučící moment. Mechanická ucpávka nebyla z rozměrových důvodů vhodná, proto je použito dvou speciálních šňurových ucpávek TEMAPACK 4200 o velikosti 4x4 mm od firmy SITTECH. Tyto ucpávky jsou vyrobeny z aramidu a jsou odolné vůči abrazivním materiálům. Vyradí teploty nad 200 °C a musí se mazat silikonem nebo olejem [15]. Ucpávky jsou přitlačeny víkem. Přítlačná síla se nastavuje pomocí čtyř šroubů M3x8 ČSN 02 1103.55. Ucpávky jsou chráněny před míchanou hmotou rozváděcím kuželem. Ten je nasunut na hřídeli šneku a je přitlačován ke stěně domku tlačnou pružinou. Rozváděcí kužel je vyroben z oceli 15 230.6 3 dle ČSN 42 0002. Pružina má průměr drátu 4 mm, vnější průměr 31 mm a je vyrobena z drátu třídy SL dle DIN EN 10270-1. V domku je nasunuto kuličkové ložisko od SKF 62304-2RS1 [39]. Ložisko má integrované těsnění a je mazáno plastickým mazivem. V domku je ložisko axiálně jištěno víkem, které je přišroubováno k domku čtyřmi šrouby M4x10 ČSN 02 1103.25. Na hřídeli je jištěno pojistným kroužkem pro hřídele 20 DIN 471. Domek ložiska je přišroubován ke spodní nádobě pomocí šesti šroubů M5x12 ČSN 02 1103.25. Vzhledem k nízkému zatížení není třeba toto uložení kontrolovat. Plochy, stýkající se s hmotou, jsou opatřeny povlakem.

6.7 Uchycení elektropřevodovek a určení vhodné spojky

6.7

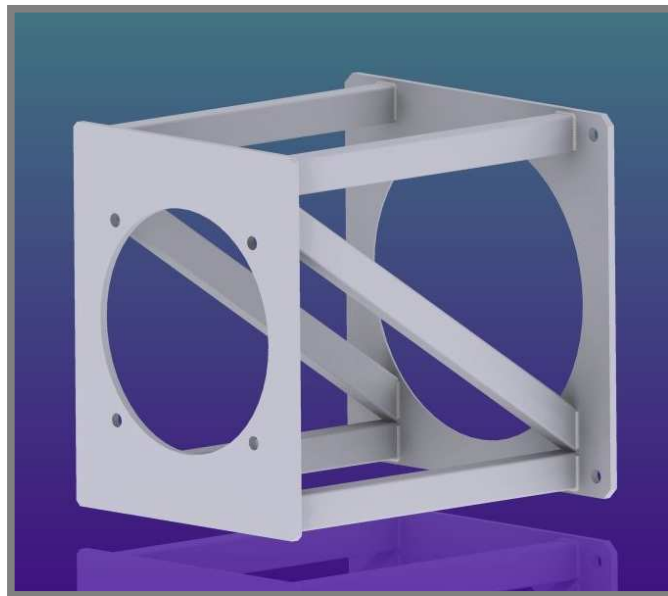
V předchozích kapitolách byly vybrány pohony míchadel a šneku. Tyto pohony musí být umístěny na příslušná místa a je třeba zajistit přenos kroučícího momentu na hřídele. Také je třeba vybrat a umístit pohony dveří horní nádoby a klapky v násypce.

Za pohony míchadel a šneku byly zvoleny elektropřevodovky Motox. Tabulka pohonů se nachází v předcházející kapitole. Nyní je třeba zajistit upevnění pohonů míchadel na nádobách a upevnění pohonu šneku na podstavci.



Obr. 6-27 Pohony stroje

Pohony míchadel jsou umístěny na nádoby pomocí motorového lože tvořeného konzolou. Konzola je tvořena trubkami obdélníkového průřezu a ocelovými plechy. Na straně motoru je vytvořena kruhová díra, která odpovídá osazení na přípojovací přírubě převodovky. Takto je motor umístěn v ose uložení. Příruba převodovky je potom přišroubována čtyřmi šrouby M12x40 ČSN 02 1101.55. Na straně nádoby je konzola středěna osazením a přišroubována šrouby M12x20 ČSN 02 1103.55. V tomto případě je šroubový spoj průchozí přes stěnu nádoby a proto je těsněn kruhovým těsněním tloušťky 1 mm od firmy SITTECH [15]. Výhodou je zaměnitelnost konzoly pro oba dva pohony míchadel. Jako polotovar obdélníkových nosníků je zvolen profil svařovaný s obdélníkovým průřezem 40x30x3 dle EN 10219. Materiál polotovaru je ocel S235JRH dle ČSN EN 10027-1 [25].



Obr. 6-28 Lože motoru

6.7.1 Pevnostní kontrola konzoly

Hmotnost motoru je $m=137\text{ kg}$ [29]. Síla od hmotnosti motoru je

$$F_m = m \cdot g = 137\text{kg} \cdot 9,87\text{ms}^{-2} = 1352\text{N}$$

kde

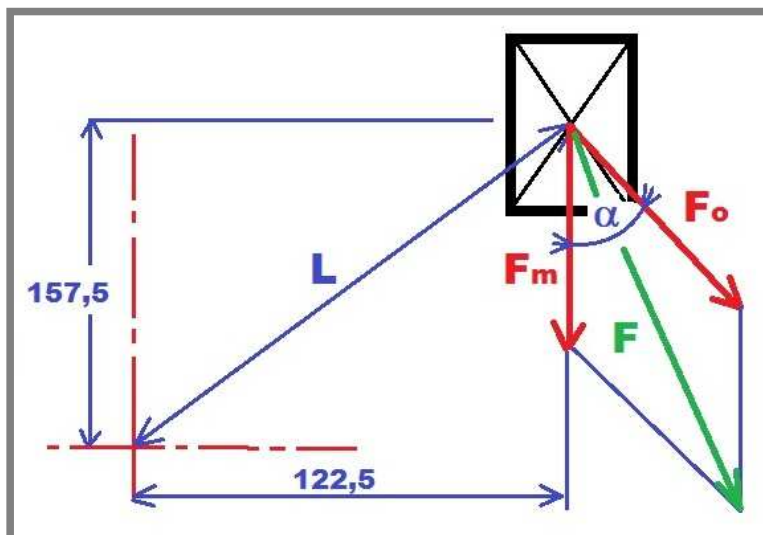
g [ms⁻²] -gravitační zrychlení

Největší kroutící moment působící na konzole je $M_k=728\text{ Nm}$. Z tohoto kroutícího momentu určíme obvodovou sílu, jež působí na obdélníkový profil. Vzdálenosti pro výpočet délky ramene byly vzaty z parametrického modelu vytvořeného v Inventuru. Délka ramene je

$$L = \sqrt{(122,5\text{mm})^2 + (157,5\text{mm})^2} = 199,531\text{mm}$$

Obvodová síla je

$$F_o = \frac{M_k}{L} = \frac{728\text{Nm} \cdot 10^3}{199,531\text{mm}} = 3649\text{N}$$



Obr. 6-29 Síly působící na obdélníkový profil

Celková síla působící na obdélníkový profil je potom dána součtem vektorů sil. K tomu potřebujeme znát úhel mezi vektory

$$\alpha = 90^\circ - \arctan\left(\frac{122,5\text{mm}}{157,5\text{mm}}\right) = 52,125^\circ$$

V programu Inventor byly načrtnuty jednotlivé vektory a proveden jejich součet. Z grafického řešení nám vychází celková síla $F=4626\text{ N}$. Úhel, který svírá vektor této síly se svislou osou, je $\alpha_F=38,2^\circ$. Jelikož v každém obdélníkovém profilu vychází jiný součet vektorů, budeme uvažovat pouze největší celkovou sílu pro všechny nosníky. Na obrázku 6-28 můžeme vidět, že bylo použito šesti nosníků. Jelikož zatěžující síla nepůsobí v ose symetrie profilu, musíme vypočítat kvadratický moment průřezu pro pootočený souřadný systém o úhel α_F . Kvadratický moment průřezu vztahený k vodorovné ose je

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{b_v \cdot h_v^3}{12} = \frac{30\text{mm} \cdot (40\text{mm})^3}{12} - \frac{24\text{mm} \cdot (34\text{mm})^3}{12} = 8,139 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Kvadratický moment průřezu vztahený ke svislé ose

$$J_y = \frac{b^3 \cdot h}{12} - \frac{b_v^3 \cdot h_v}{12} = \frac{(30\text{mm})^3 \cdot 40\text{mm}}{12} - \frac{(24\text{mm})^3 \cdot 34\text{mm}}{12} = 5,083 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

kde

b	[m]	-šířka profilu
h	[m]	-výška profilu
b_v	[m]	-vnitřní šířka profilu
h_v	[m]	-vnitřní výška profilu

Kvadratický moment průřezu pro pootočený souřadný systém o úhel α_F

$$J_\alpha = J_x \cdot \cos^2(\alpha_F) + J_y \cdot \sin^2(\alpha_F) = 8,139 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot \cos^2(38,2^\circ) + 5,083 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot \sin^2(38,2^\circ) = 6,97 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Nyní můžeme spočítat modul průřezu v ohybu pro pootočený souřadný systém

$$W_o = \frac{J_\alpha}{\sqrt{\frac{b^2}{4} + \frac{h^2}{4}}} = \frac{6,97 \cdot 10^4 \text{ mm}^4}{\sqrt{\frac{(30\text{mm})^2}{4} + \frac{(40\text{mm})^2}{4}}} = 2788\text{mm}^3$$

kde

b	[m]	-šířka profilu
h	[m]	-výška profilu
J_α	[m ⁴]	-kvadratický moment průřezu pro pootočený souřadný systém

Délka nosníku, na němž budeme počítat ohybové napětí je $L_n=360$ mm. Potom ohybové napětí pro jeden nosník je

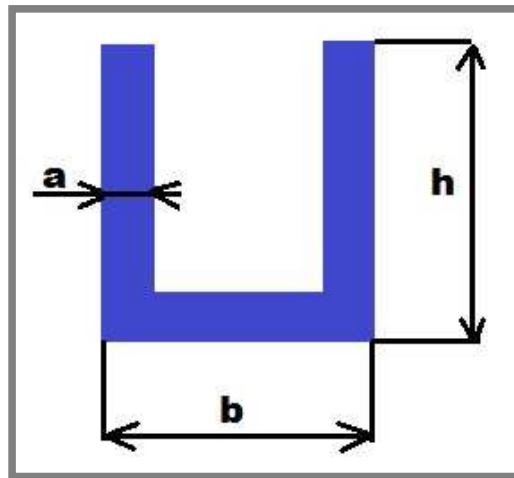
$$\sigma_o = \frac{F \cdot L_n}{6 \cdot W_o} = \frac{4626\text{N} \cdot 360\text{mm}}{6 \cdot 2788\text{mm}^3} = 99,548\text{MPa}$$

Bezpečnost k mezi kluzu je pro materiál S235JRH

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{235\text{MPa}}{99,548\text{MPa}} = 2,3$$

Bezpečnost vyšla větší než 1,5. NAVRHNUTÝ PROFIL VYHOVUJE.

Zkontrolován musí být i svar mezi obdélníkovým profilem a plechem na straně nádoby. Svar je namáhán ohybem. Počítat jej budeme dle [28]. Šířka svaru $z=6$ mm.



Obr. 6-30 Svar motorového lože

Účinná plocha svaru

$$S = 0,707 \cdot z \cdot (b + 2 \cdot h) = 0,707 \cdot 6\text{mm} \cdot (30\text{mm} + 2 \cdot 40\text{mm}) = 466\text{mm}^2$$

Jednotkový osový kvadratický moment svaru je třeba přepočítat pro pootočený souřadný systém o $\alpha_F=38,2^\circ$. Z důvodu rozsáhlosti a složitosti je celý výpočet uveden v příloze A. Zde je pouze uveden výsledek $J_U=19\,720$ mm³. Smykové napětí způsobené posouvající silou je

$$\tau_1 = \frac{F}{S} = \frac{4626\text{N}}{466\text{mm}^2 \cdot 6} = 1,652\text{MPa}$$

kde

F	[N]	-celková síla
-----	-----	---------------

Největší vzdálenost od těžiště profilu k okraji svaru

$$r = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(h - \frac{h^2}{b + 2 \cdot h}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{30\text{mm}}{2}\right)^2 + \left(40\text{mm} - \frac{40\text{mm}^2}{30\text{mm} + 2 \cdot 40\text{mm}}\right)^2} = 29,545\text{mm}$$

Potom smykové napětí způsobené ohybovým momentem

$$\tau_2 = \frac{F \cdot L_n \cdot r}{6 \cdot J_U \cdot 0,707 \cdot z} = \frac{4626\text{N} \cdot 360\text{mm} \cdot 29,545\text{mm}}{6 \cdot 19720\text{mm}^3 \cdot 0,707 \cdot 6\text{mm}} = 98,026\text{MPa}$$

kde

F	[N]	-celková síla
L_n	[m]	-délka nosníku
r	[m]	-nejdelší vzdálenost k okraji svaru od jeho těžiště
J_U	[m ³]	-jednotkový osový kvadratický moment svaru
z	[m]	-šířka svaru

Celkové napětí je

$$\tau = \sqrt{\tau_1 + \tau_2} = \sqrt{1,652\text{MPa} + 98,026\text{MPa}} = 98,04\text{MPa}$$

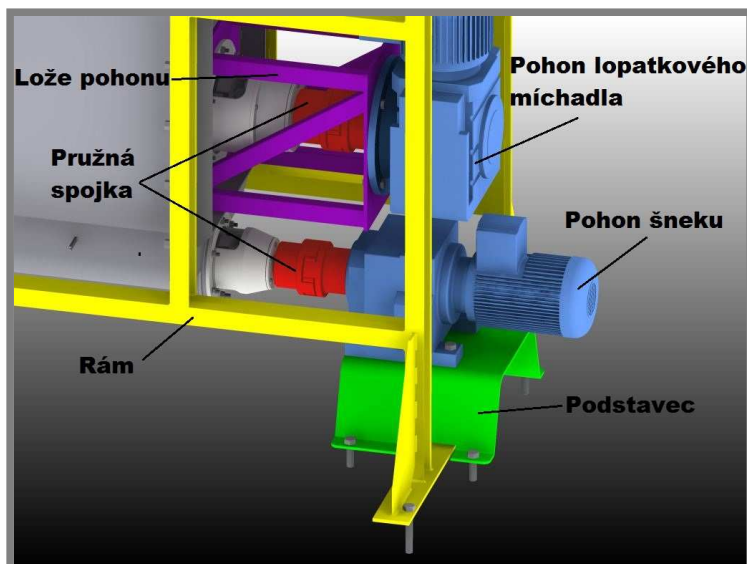
Dle ČSN 05 0120 a rovnice (6.11) je dovolené napětí $\tau_D = 101,833\text{MPa}$.

NAVRHNUTÝ SVAR VYHOVUJE.

6.7.2 Uchycení pohonu šneku a určení pružných spojek

6.7.2

Pohon šneku není třeba upevňovat na stěnu nádoby. Elektropřevodovka je ustavena na svařovaném podstavci. Je k němu přišroubována čtyřmi šrouby M16x25 ČSN 02 1103.25 s odpovídajícími maticemi a podložkami. Stejnými šrouby je potom uchycen podstavec k betonovému podloží. Podstavec je vyroben z plechu o tloušťce 5 mm. Materiál plechu je S355J2+N dle EN 10025-2. Přenos kroutících momentů na



Obr. 6-31 Uchycení pohonu šneku

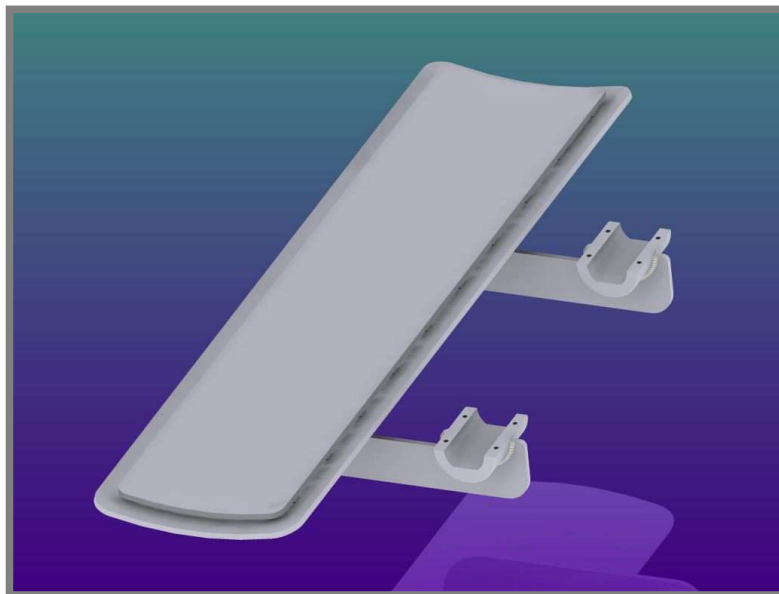
hřídele míchadel je uskutečněn pomocí pružných ozubcových spojek. Spojky jsou vybrány z katalogu firmy TEATEchnik. Pro pohon míchadel je vybrána spojka typ

GE-T 65-75 AA. Tato spojka přenáší nominální kroutící moment až 625 Nm. Pro přenos kroutícího momentu na hřídel šneku byla vybrána spojka GE-T 55-70 AA. Tato spojka přenáší nominální kroutící moment 410 Nm. Oba typy spojek jsou použitelné pro teploty dosahující 125 °C. Také vyrovnávají drobné úhlové odchylky mezi spojovanými hřídelemi, nesouososti a tlumí vibrace [40]. Moment je přenášen na hřídele pomocí těsných per dle DIN 6885A.

6.8 Dveře horní nádoby a klapka v násypce

Dveře v horní nádobě zabraňují v průniku míchané hmoty do dolní nádoby. Klapka v násypce slouží pouze k udržení ohřátého vzduchu v horní nádobě a zabraňuje velkým tepelným ztrátám. Dveře i klapka mají svůj pohon, který je možné ovládat.

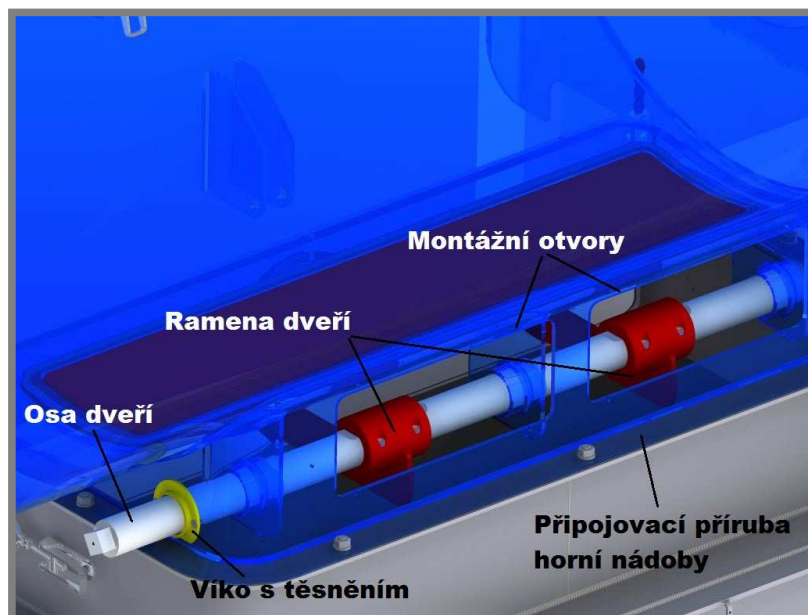
Nejdříve se budeme věnovat dveřím horní nádoby. Je třeba, aby tvar dveří kopíroval tvar nádoby. Nesmí docházet k příliš velkému akumulaci materiálu v místě dveří, což by znehodnotilo míchací proces. Na obrázku 6-32 vidíme svařovanou sestavu dveří. Horní plech kopíruje poloměr nádoby. Jeho rozměry jsou 696 mm na 146 mm. Tímto vzniká mezi plechem a okrajem nádoby mezera o velikosti 2 mm. Plech je vyroben ze stejného materiálu jako nádoba, tedy z ořezovzdorného plechu Hardox 450 o tloušťce 5 mm. Ostatní součásti dveří jsou vyrobeny z materiálu S355J2C+N dle EN 10025-2. Spodní plech je o 17 mm širší, jelikož



Obr. 6-32 Dveře horní nádoby

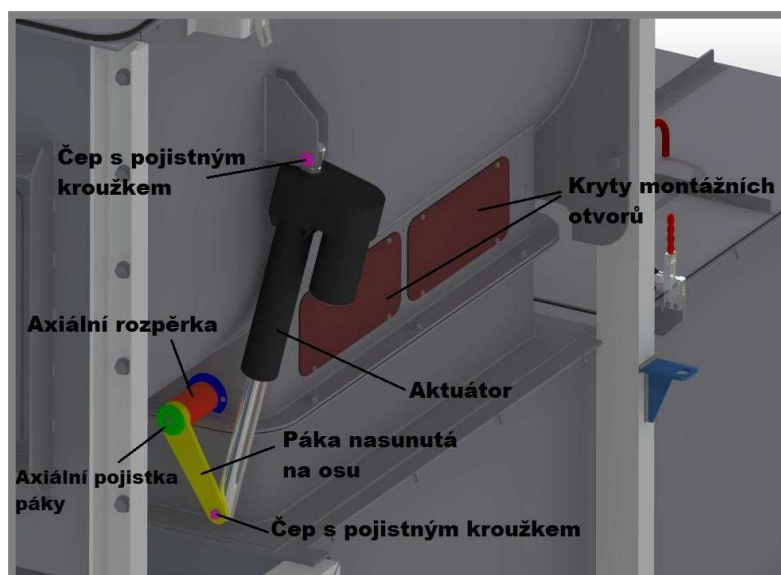
dosedá na těsnění od firmy SITTECH o rozměrech 4x4 mm typ BA-U [15]. Těsnění je umístěno na spodní straně horní nádoby. Na spodní plech dveří jsou potom navařena dvě ramena, pomocí kterých se dveře uchytí na otočnou osu. Na osu se ramena uchytí tvarovým stykem za použití přišroubovaných objímek. Objímky jsou přišroubovány šrouby s vnitřním šestihranem M5x14 ČSN 021143.55. Uchytení na ose je zobrazeno na obr. 6-33 přes dva montážní otvory ve stěně připojovací příruby. Přes osu je přenášen kroutící moment, s nímž se bude dveřmi pohybovat. Kroutící moment je vyvolán na rameni, na kterém působí silou lineární aktuátor

s trapézovým převodem od firmy Transmotec. Aktuátor má zdvih 200 mm a vyvine sílu až 1500 N. Číslo dle katalogu je DMA-12-10-A-200-IP65. Tento aktuátor má mechanický převod deset ku jedné, pracuje pod napětím 12 V a má koncové spínače. Vydrží statické zatížení až 4500 N [41]. Uchycení aktuátoru je provedeno čepem 12x40 DIN 1444. Čep je jištěn pojistným kroužkem pro hřídele 12 DIN 471. Lineární aktuátor působí na páku pomocí ocelového čepu 12x45 DIN 1444. Čep je



Obr. 6-33 Osa dveří

opět jištěn pojistným kroužkem. Páka je nasunuta na čtvercový profil, jenž je vyfrézován na konec osy. Aby bylo zabráněno úniku horkého vzduchu, bylo použito víko s těsnícím kroužkem. Těsnící kroužek je vyroben z materiálu NBR70. Jeho značení je dle internetových stránek firmy Rubena X-kroužek 34,52x3,53 [37]. Páka je axiálně jištěná nasunutou rozpěrkou a axiální pojistkou, přišroubovanou k ose. Osa je v uchycení mazána plastickým mazivem.



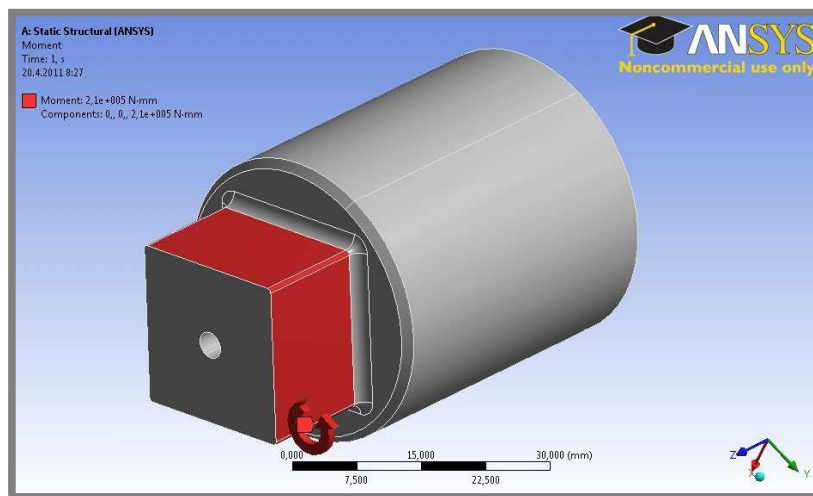
Obr. 6-34 Aktuátor a otočná páka

6.8.1 Návrh osy a pevnostní kontrola dveří

Jelikož osa dveří má poměrně složitý tvar, budeme provádět pevnostní výpočet v programu ANSYS workbench. Aktuátor působí maximální silou $F=1500\text{ N}$. Rozměry páky, nasunuté na ose, jsou přesně vypočteny vzhledem ke zdvihu aktuátoru a délce ramen dveří. Dveře se tedy otáčejí zhruba o 90° . V tomto případě je délka páky $l=140\text{ mm}$. Kroutící moment na ose dveří je

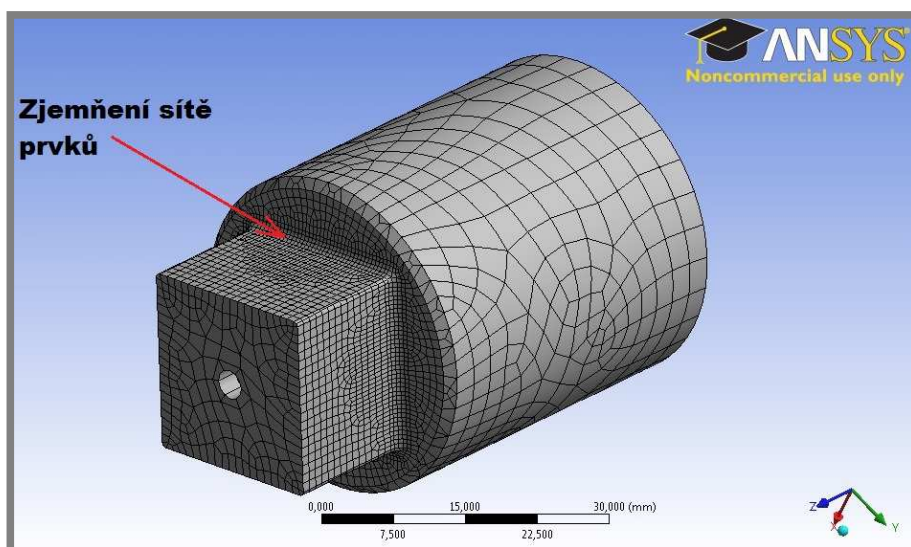
$$M_k = F \cdot l = 1500\text{ N} \cdot 140\text{ mm} = 210 \cdot 10^3\text{ Nmm}$$

Kroutící moment je z důvodu výpočtu v programu ANSYS uveden v Nmm. Do prostředí statické strukturální analýzy byl načten model zkrácené osy. Zkrácení bylo vytvořeno z důvodu ušetření potřebných uzlů k výpočtu. Na plochy čtvercového průřezu byl aplikován vypočtený kroutící moment. Na zadní stranu osy bylo aplikováno vetknutí s nulovým posunem ve všech směrech. Poté byla vytvořena síť



Obr. 6-35 Aplikace kroutícího momentu

prvků se zjemněním na plochách čtvercového průřezu a zaoblených přechodech ploch. Kritické místo s největším napětím je předpokládáno v přechodu čtvercového průřezu do čelní plochy osy. Síť byla volena jako hexagonální. Na obr. 6-37 potom

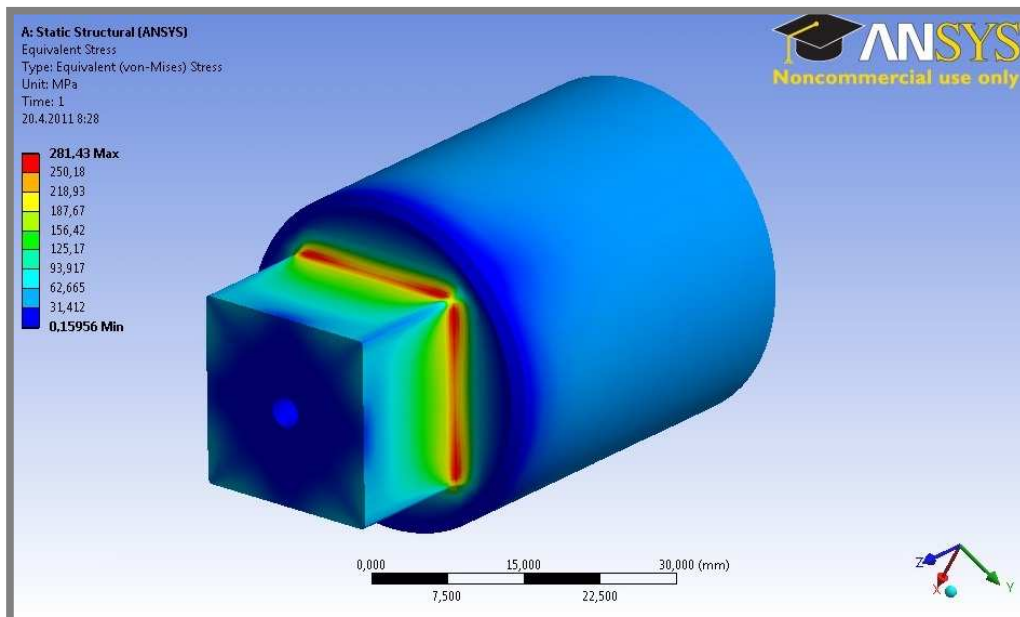


Obr. 6-36 Vytvoření sítě prvků na ose

vidíme napětí podle podmínky HMH. Přesně podle předpokladu nám největší napětí vychází na přechodu čtvercového průřezu do čelní plochy. Maximální napětí má velikost $\sigma_e=281,43$ MPa. Díky vypočtenému napětí určíme materiál osy tak, aby nedocházelo k meznímu stavu pružnosti při bezpečnosti 1,5. Minimální mez kluzu materiálu je

$$R_{e\min} = \sigma_e \cdot 1,5 = 281,43 \text{ MPa} \cdot 1,5 = 422,145 \text{ MPa}$$

Polotovar osy dveří volím tyč ocelovou, kruhovou, válcovanou za tepla, ČSN 42 5510.11(A), průměr 45 mm. Materiál je 15 230.6 dle ČSN 42 0002 [25].



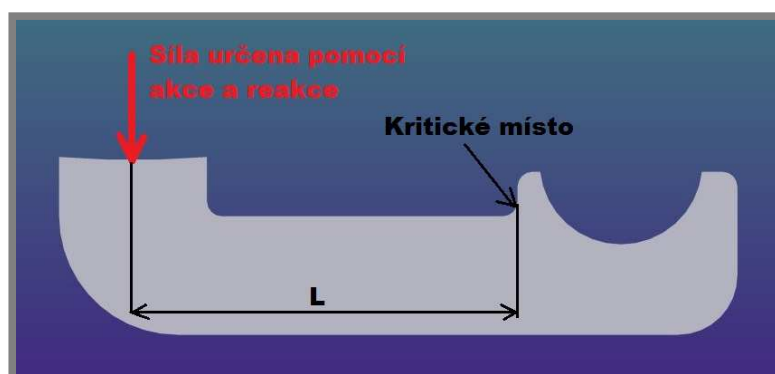
Obr. 6-37 Napětí v ose dveří

Další nutností je kontrola ramen dveří. Ramena jsou vyrobena z plechu dle ČSN EN 10051+A1 tloušťky $b=5$ mm. Materiál plechu je S355J2C+N dle EN 10025-2 [25]. Zatěžující ohybová síla je určena podle principu akce a reakce. Pokud je kroutící moment na ose $M_k=210$ Nm a délka ramene po kritické místo $L=132,5$ mm, potom ohybový moment pro jedno rameno v kritickém místě je

$$M_o = \frac{M_k \cdot L}{l \cdot 2} = \frac{210 \text{ Nm} \cdot 10^3 \cdot 132,5 \text{ mm}}{140 \text{ mm} \cdot 2} = 99375 \text{ Nmm}$$

kde

l [m] -délka páky



Obr. 6-38 Zatížení ramene dveří

Modul průřezu v ohybu je dle [26]

$$W_o = \frac{h^2 \cdot b}{6} = \frac{(40\text{mm})^2 \cdot 5\text{mm}}{6} = 1333\text{mm}^3$$

kde

h [m] - výška profilu

b [m] - šířka profilu

Napětí v ohybu je potom

$$\sigma_o = \frac{M_o \cdot \beta}{W_o} = \frac{99375\text{Nmm} \cdot 1,6}{1333\text{mm}^3} = 101,182\text{MPa}$$

kde

β [-] - součinitel vrubu pro osazení dle [28]

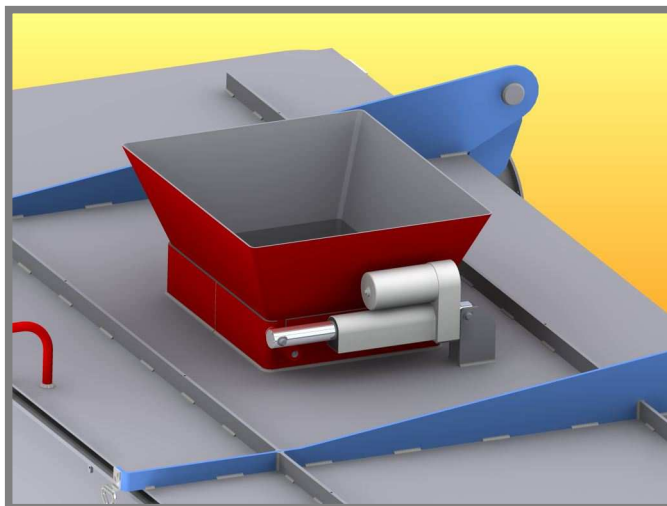
Bezpečnost vůči meznímu stavu pružnosti je

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} = \frac{335\text{MPa}}{101,182\text{MPa}} = 3,212$$

Bezpečnost vyšla větší než 1,5. NAVRHNUTÉ RAMENO VYHOVUJE.

6.8.2 Klapka v násypce

Dalším zařízením, poháněné lineárním aktuátorem je klapka v násypce. V tomto případě nepotřebujeme vyvíjet velkou sílu na páku. Klapka slouží pouze k uzavření násypky a zabraňuje tak tepelným ztrátám. Pro pohon klapky volím lineární aktuátor

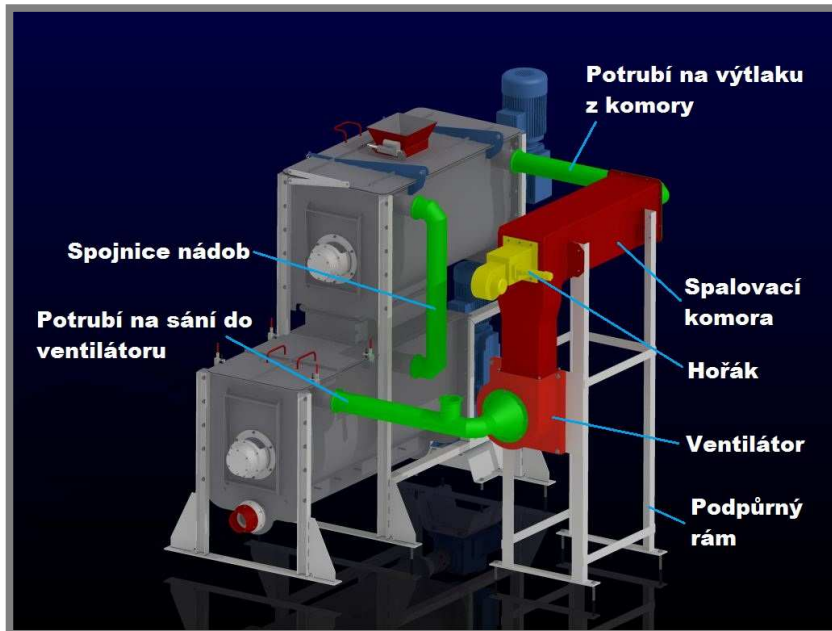


Obr. 6-39 Pohon klapky

od firmy Transmotec. Číslo aktuátoru dle [41] je DLA-12-5-A-50-IP65. Aktuátor má zdvih 50 mm, pracuje pod napětím 12 V a je vybaven převodem pět ku jedné. Je uchycen na poklop horní nádoby pomocí čepu 8x30 DIN 1444. Čep je jištěn pojistným kroužkem 8 DIN 471. Aktuátor působí na páku klapky přes čep 8x28 DIN 1444. Čep je opět jištěn pojistným kroužkem. Klapka je vyrobena z plechu tloušťky 2 mm. Materiál plechu je svařitelná ocel S355J2C+N dle EN 10025-2 [25].

6.9 Ohřev hmoty

Ohřev je zajištěn zařízením, skládající se z rámu, spalovací komory, hořáku, ventilátoru a spojovacího potrubí. Teplota vzduchu je kontrolována tepelnou sondou.



Obr. 6-40 Zařízení pro ohřev hmoty

Nejdříve je nutné určit hořák pro ohřev vzduchu s dostatečným výkonem. Minimální výkon hořáku stanovíme dle kalorimetrických rovnic a doby ohřevu. Ohřev z 20 °C bude probíhat pouze v horní nádobě. V dolní nádobě se udržuje teplota směsi. Nyní spočítáme potřebnou tepelnou energii pro ohřev jednotlivých složek míchané hmoty z 20 °C na 130 °C. Hmotnost písku v horní nádobě je $m_p=300$ kg, hmotnost PET je $m_{pet}=150$ kg a hmotnost HDPE je $m_{hdpe}=50$ kg. Teplu pro ohřev písku je

$$Q_p = m_p \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = 300 \text{ kg} \cdot 10^3 \cdot 0,835 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (130^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}) = 2,756 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Teplu pro ohřev PET je

$$Q_{pet} = m_{pet} \cdot c_{pet} \cdot (t_2 - t_1) = 150 \text{ kg} \cdot 10^3 \cdot 1,6 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (130^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}) = 2,64 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Teplu pro ohřev HDPE je

$$Q_{hdpe} = m_{hdpe} \cdot c_{hdpe} \cdot (t_2 - t_1) = 50 \text{ kg} \cdot 10^3 \cdot 2,5 \text{ Jg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \cdot (130^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}) = 1,375 \cdot 10^7 \text{ J}$$

kde

c_m	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-měrná tepelná kapacita křemičitého písku [42]
c_{pet}	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-měrná tepelná kapacita PET [43]
c_{hdpe}	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-měrná tepelná kapacita HDPE [43]

Potom minimální výkon hořáku při délce ohřevu 20 minut (celkový čas pro míchání v horní nádobě včetně plnění a vyprázdnění je 30 minut) je

$$P = \frac{Q_p + Q_{pet} + Q_{hdpe}}{20 \text{ min} \cdot 60} = \frac{2,756 \cdot 10^7 \text{ J} + 2,64 \cdot 10^7 \text{ J} + 1,375 \cdot 10^7 \text{ J}}{20 \text{ min} \cdot 60} = 56,421 \text{ kW}$$

Dalším kritériem pro výběr hořáku je objem vzduchu v nádobách. V horní nádobě je obsaženo 237 dm³ vzduchu. V dolní nádobě je 266 dm³ vzduchu. Při výběru hořáku byla oslovena firma Ohnut s.r.o. Ta vybrala vhodný hořák z dostupné nabídky a

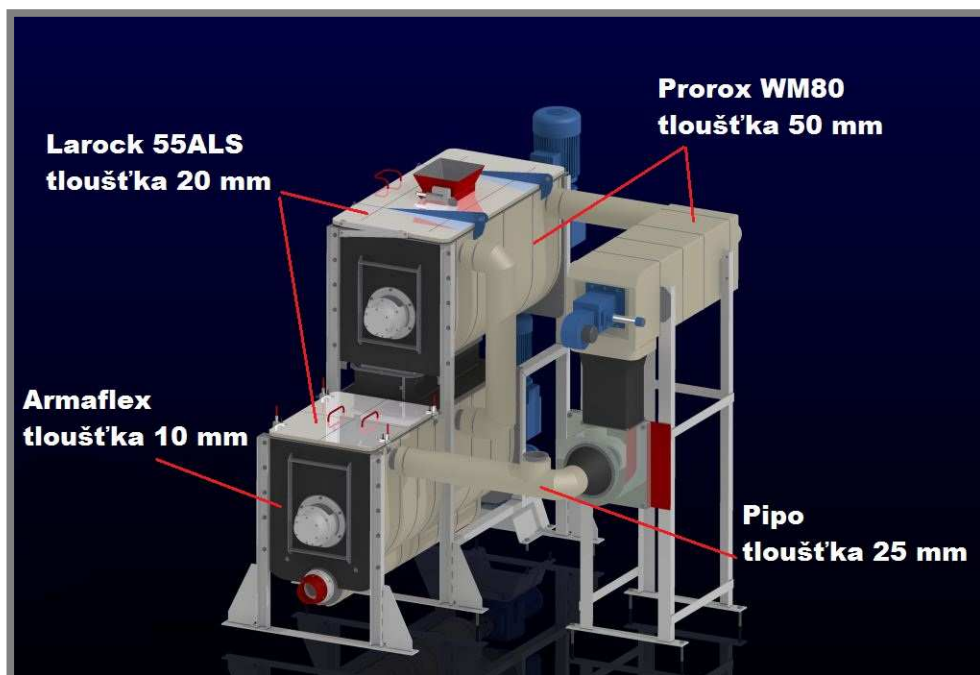
navrhla potřebný výkon ventilátoru. Byl zvolen hořák AH-40 s integrovaným ventilátorem a výkonem 105 kW. Výkon ventilátoru pro dostatečný přísun vzduchu je $1000 \text{ m}^3\text{hod}^{-1}$ [44]. Po zvážení těchto informací byl zvolen nízkotlaký ventilátor VNG 250-6-0,37/1 od firmy Ventilátory s.r.o. Tento ventilátor pracuje i za zvýšených teplot do $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Jeho výkon není přesně daný na $1000 \text{ m}^3\text{hod}^{-1}$ a tudíž se jeho pohon bude muset regulovat. Je třeba objednat i přípojovací přírubu na výtlaku ventilátoru [45]. Ventilátor je přišroubován k rámu čtyřmi šrouby M16x75 ČSN 02 1101.55.

Vzduch je pomocí ventilátoru vháněn do spalovací komory. Komora je svařena z plechu tloušťky 3 mm. Materiál plechu je S355J2C+N dle EN 10025-2 [25]. Není nutné použít žáruvzdornou ocel, neboť mezi proudem spalin a stěnou komory je vůle o velikosti 76 mm. Umístění hořáku je provedeno dle [46] pomocí šesti šroubů M8x16 02 1103.25. Hořák je v komoře utěsněn pomocí těsnění od firmy SITTECH. Typ těsnění je opět BA-U, tloušťka 2 mm [15]. Komora je uchycena na rámu pomocí osmi šroubů M6x16 ČSN 02 1103.25. Z komory proudí ohřátý vzduch do potrubí na výtlaku z komory. V tomto potrubí je těsně před vstupem do horní nádoby umístěna tepelná sonda J-L-A-6-40-M6-S-5 od firmy Omega. Jedná se o model pro měření teploty vzduchu. Typ termočlánku je železo-konstantan, přesnost měření třídy A dle DIN. Sonda je našroubována do otvoru v potrubí se závitem M6 [47]. Po vstupu do horní nádoby předá vzduch svou tepelnou energii míchané hmotě. Poté proudí zcela volně přes spojnicí nádob do dolní nádoby. Zde se pouze udržuje teplota hmoty na stanovené teplotě. Z dolní nádoby proudí vzduch přes filtr pro vyšší teploty s třídou filtrace G3 dle EN 779 od firmy Klima service a.s. Typ filtru je MA 20 s hliníkovým rámem [48]. Po přefiltrování je vzduch veden zpět do sání ventilátoru. V této části konstrukce se také nachází příruba pro napojení odvodu vzduchu pryč z budovy. Potrubí je vyrobeno jako svařovaná sestava z bezešvé, hladké trubky 114x3,6 dle ČSN 42 5715.01. Materiál trubky je 11 353.0 dle ČSN 42 0250 [25].

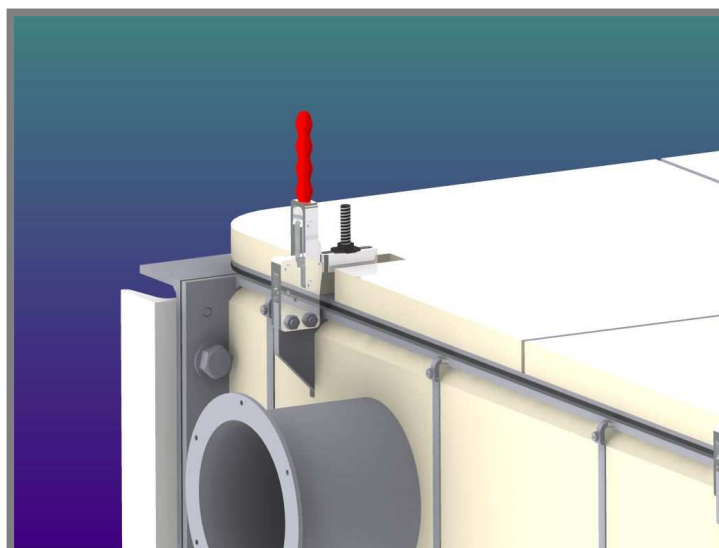
Podpurný rám je vyroben velmi jednoduše z tyčí průřezu nerovnoramenného L 75x50x6 dle EN 10056 a pásů oceli [25]. Rám není třeba pevnostně kontrolovat, jelikož hmotnost nesených součástí není velká. Rám je upevněn do betonového podlaží čtyřmi šrouby M16x100 ČSN 02 1103.25.

6.10 Technická izolace a kontrola tepelných ztrát

K zamezení zbytečných a nežádoucích tepelných ztrát je aplikováno několik druhů technické izolace. Na stěnách nádob je umístěna technická izolace od firmy Rockwool Prorox WM80 tloušťky 50 mm. Tato izolace je uchycena na nádobách pomocí plechových pásů, jež jsou k nádobám přišroubovány. Stejná izolace je umístěna i na spalovací komoře. Pro uchycení na komoře bylo použito několika ocelových lanek. Složité tvary lze z této izolace sešít z několika kusů. Maximální provozní teplota je $640 \text{ }^\circ\text{C}$. Dalším typem izolace od zmíněné firmy jsou izolace Larock 55ALS a Pipo. Larock 55ALS má tloušťku 20 mm a je umístěná na poklopech nádob. Uchycení zde bude provedeno pomocí krytů poklopů. Maximální provozní teplota této izolace je stejná jako u WM80. Pipo je speciální izolace určená pro potrubí. V našem případě byla zvolena tloušťka 25 mm. Maximální provozní teplota je $250 \text{ }^\circ\text{C}$ [49]. Na čelech nádoby by bylo uchycení klasické izolace složité. Z tohoto důvodu je zde nalepena izolace Armaflex tloušťky 10 mm. Tato izolace vydrží i s lepidlem teploty do $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Izolace dodává firma AZ Flex [50].



Obr. 6-41 Technická izolace



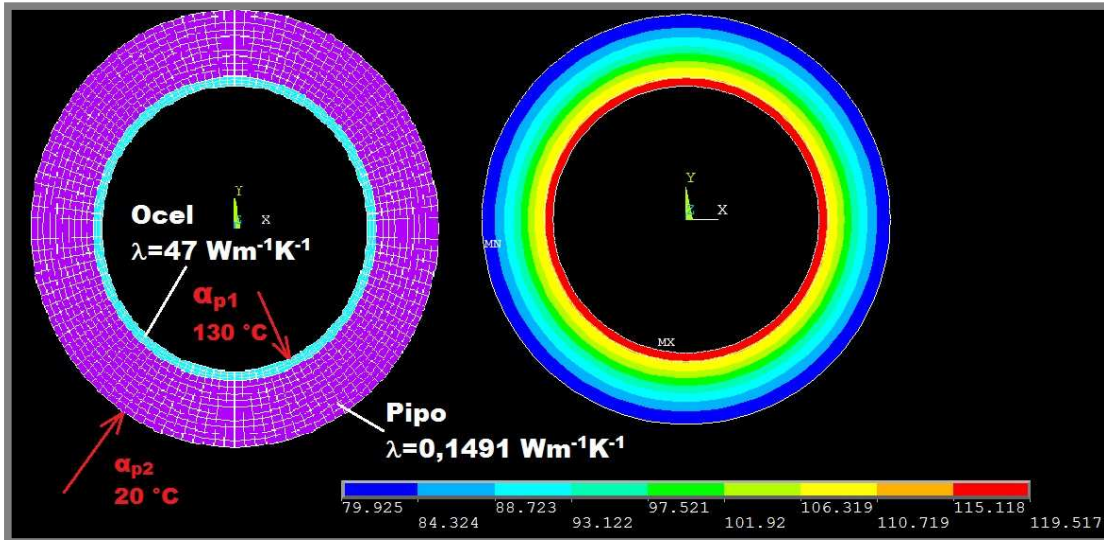
Obr. 6-42 Uchycení izolace WM80

Nyní zkontrolujeme tepelné ztráty po připevnění izolací na konstrukci. Výpočet budeme provádět v programu ANSYS. V tomto programu vytvoříme jednotlivé modely nádob, potrubí a spalovací komory. Po nadefinování okrajových podmínek provedeme výpočet měrného tepelného toku. Poté pomocí měrného tepelného toku určíme ztráty na plochách, určených v parametrickém modelu v programu Inventor.

V první fázi je třeba určit součinitele přestupu tepla v jednotlivých částech. Vzhledem k rozsáhlosti výpočtů jsou zde uvedeny pouze výsledné hodnoty. Celé výpočty jsou uvedeny v příloze A.

V další fázi již následují výpočty tepelných ztrát. První budeme počítat ztráty na vodorovném spojovacím potrubí. Součinitel přestupu tepla uvnitř potrubí je $\alpha_{p1}=62,605 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu byl určen pomocí

programu ANSYS Workbench (integrováno pro výpočet horizontální potrubí) a má hodnotu $\alpha_{p2}=1,24 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Byl vytvořen 2D model a nadefinovány jednotlivé materiály. Zadat se musely zejména tepelné vodivosti materiálů pro ocel a izolaci Pipo. Síť byla vytvořena z prvků PLANE55 vhodných pro termální analýzu.

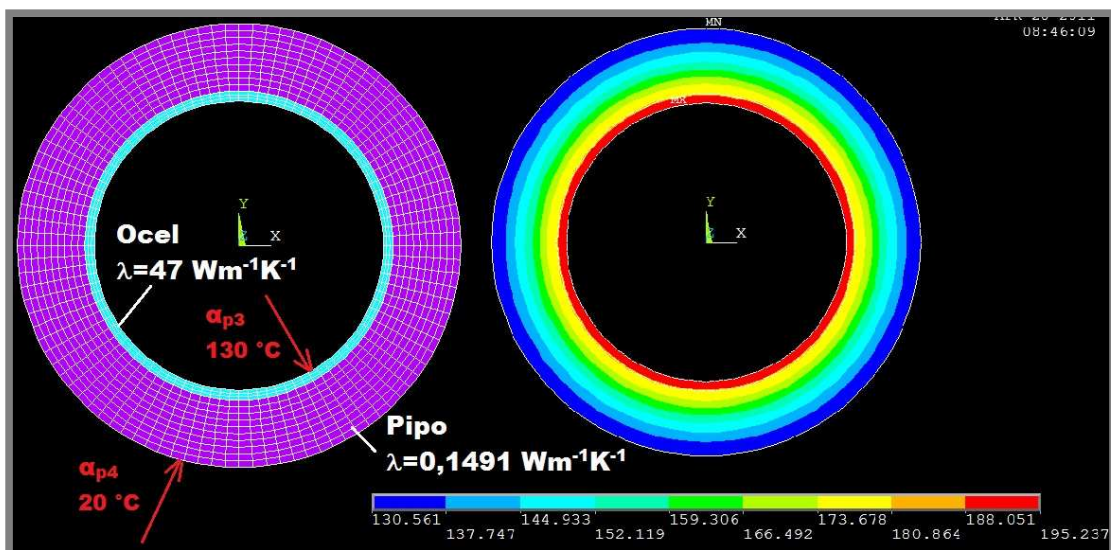


Obr. 6-43 Měrný tepelný tok pro vodorovné potrubí

Z analýzy určíme měrný tepelný tok na povrchu izolace $q_1=84,324 \text{ Wm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta pro povrch změřený v parametrickém modelu je tedy

$$Q_1 = 1,349634 \text{ m}^2 \cdot q_1 = 1,349634 \text{ m}^2 \cdot 84,324 \text{ Wm}^{-2} = 113,807 \text{ W}$$

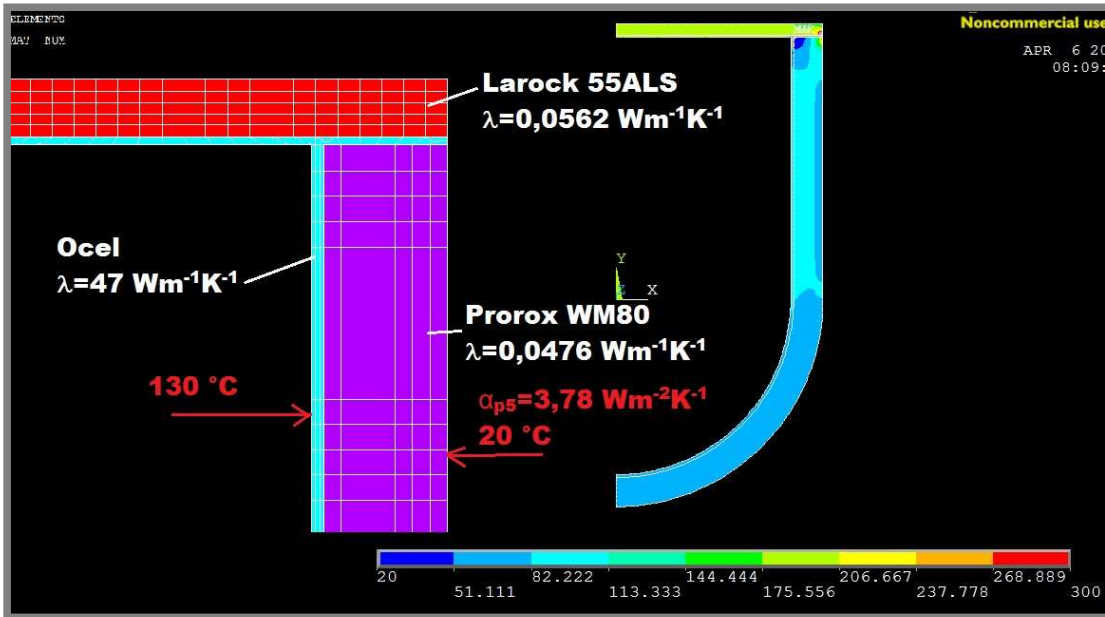
Dále je nutné spočítat tepelné ztráty na svislém potrubí. Materiály v modelu jsou stejné. Jediná změna se děje při zadávání součinitelů přestupu tepla. Součinitel přestupu tepla uvnitř potrubí je $\alpha_{p3}=\alpha_{p1}=62,605 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Součinitel na povrchu potrubí je $\alpha_{p4}=3,78 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ (určeno z programu ANSYS Workbench pro stojatý vzduch, vertikální plochu). Měrný tepelný tok na povrchu je $q_2=137,747 \text{ Wm}^{-2}$.



Obr. 6-44 Měrný tepelný tok pro svislé potrubí

Celková tepelná ztráta pro povrch změřený v parametrickém modelu je tedy
 $Q_2 = 0,504915m^2 \cdot q_2 = 0,504915m^2 \cdot 137,747Wm^{-2} = 69,551W$

Horní nádoba se skládá ze tří základních materiálů. Jelikož neznáme koeficient přestupu tepla uvnitř nádoby a ani jej z důvodu složitého proudění nemůžeme určit, musíme předpokládat teplotu na povrchu nádoby 130 °C. Na vnějším povrchu je koeficient přestupu tepla stanoven stejně jako v předchozím případě. Tedy pro stojatý vzduch $\alpha_{p5}=3,78 Wm^{-2}K^{-1}$. Horní nádoba je počítána spolu s poklopem.



Obr. 6-45 Měrný tepelný tok pro horní nádobu

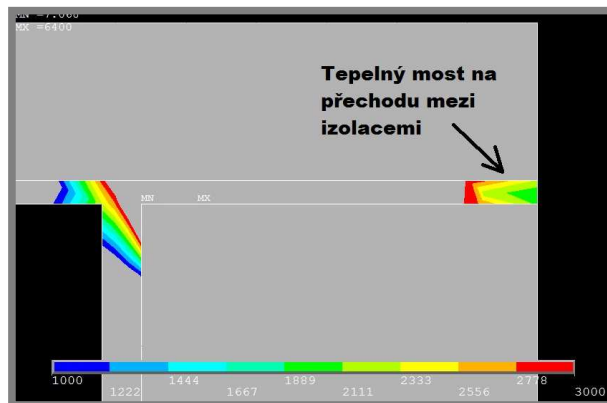
Měrný tepelný tok na povrchu izolace WM80 je $q_3=82,222 Wm^{-2}$. Pro celou plochu je celková tepelná ztráta

$$Q_3 = 1,926249m^2 \cdot q_3 = 1,926249m^2 \cdot 82,222Wm^{-2} = 158,38W$$

Měrný tepelný tok na povrchu izolace 55ALS je $q_4=206,667 Wm^{-2}$. Pro celou plochu je celková tepelná ztráta

$$Q_4 = 1,55731m^2 \cdot q_4 = 1,55731m^2 \cdot 206,667Wm^{-2} = 321,845W$$

Nesmíme zapomenout na tepelný most, který vzniká díky složitému tvaru nádoby. Tepelný most je v detailu znázorněn na obr. 6-46. Zde byl naměřen měrný tepelný

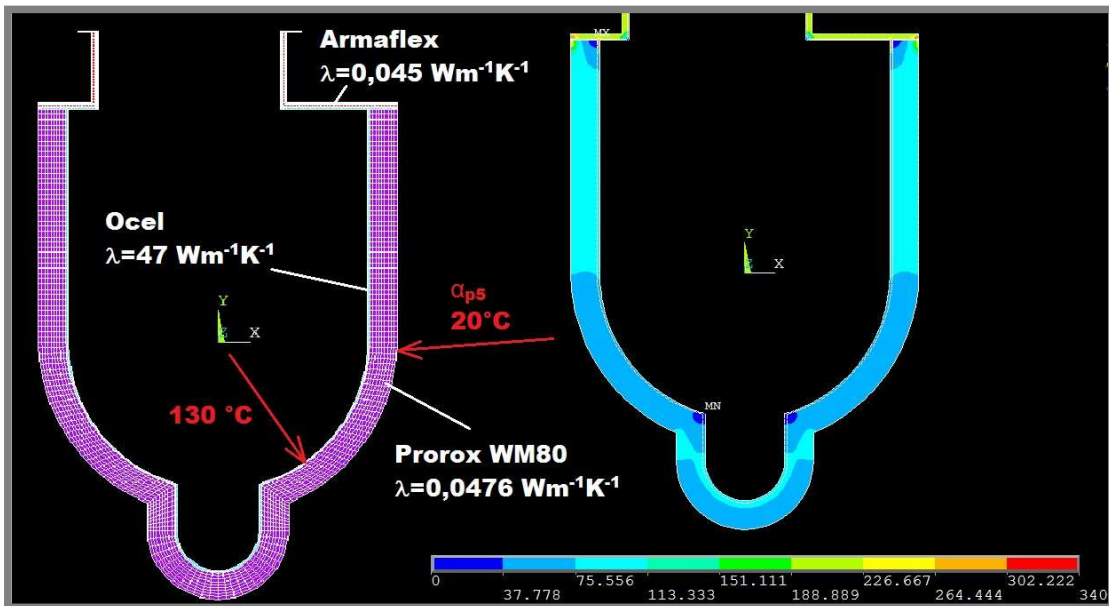


Obr. 6-46 Měrný tepelný tok pro tepelný most horní nádoby

tok $q_5=2111 \text{ Wm}^{-2}$. Tento tok je rozpočítán na plochu horní nádoby, na které nebylo možné umístit izolaci. Celková tepelná ztráta je

$$Q_5 = 0,020864 \text{ m}^2 \cdot q_5 = 0,020864 \text{ m}^2 \cdot 2111 \text{ Wm}^{-2} = 44 \text{ W}$$

Dolní nádoba má mnohem složitější tvar než nádoba horní, neboť musíme počítat se spojovacími přírubami nádob. Okrajové podmínky jsou zcela shodné s předchozím případem. Na povrchu izolace WM80 v místech šneku a válcových



Obr. 6-47 Měrný tepelný tok pro spodní nádobu

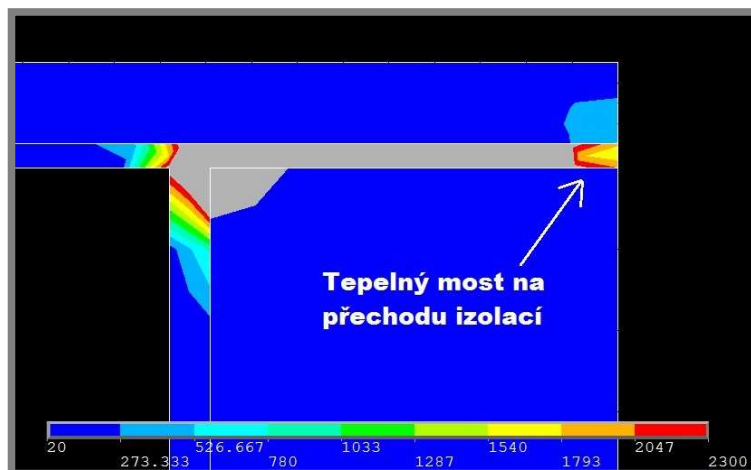
ploch nám vychází měrný tepelný tok $q_6=75,556 \text{ Wm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta na těchto plochách je

$$Q_6 = 1,832428 \text{ m}^2 \cdot q_6 = 1,832428 \text{ m}^2 \cdot 75,556 \text{ Wm}^{-2} = 138,451 \text{ W}$$

Na povrchu izolace Armaflex byl změřen měrný tepelný tok $q_7=266,667 \text{ Wm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta na této izolaci je potom

$$Q_7 = 0,607018 \text{ m}^2 \cdot q_7 = 0,607018 \text{ m}^2 \cdot 266,667 \text{ Wm}^{-2} = 137,591 \text{ W}$$

Na přechodu mezi izolací WM80 a Armaflex se opět nachází tepelný most. Měrný

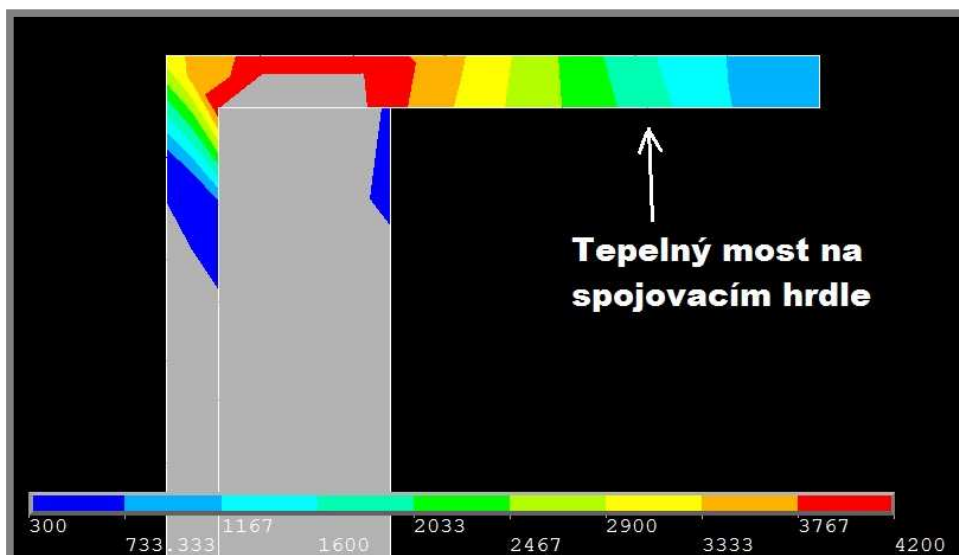


Obr. 6-48 Měrný tepelný tok pro tepelný most dolní nádoby

tepelný tok zde vychází $q_8=1793 \text{ Wm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta je

$$Q_8 = 0,08764 \text{ m}^2 \cdot q_8 = 0,08764 \text{ m}^2 \cdot 1793 \text{ Wm}^{-2} = 157,139 \text{ W}$$

Další tepelný most vzniká na hrdlech spojnic nádob. Průměrná hodnota měrného



Obr. 6-49 Měrný tepelný tok pro tepelný most spojovacího hrdla

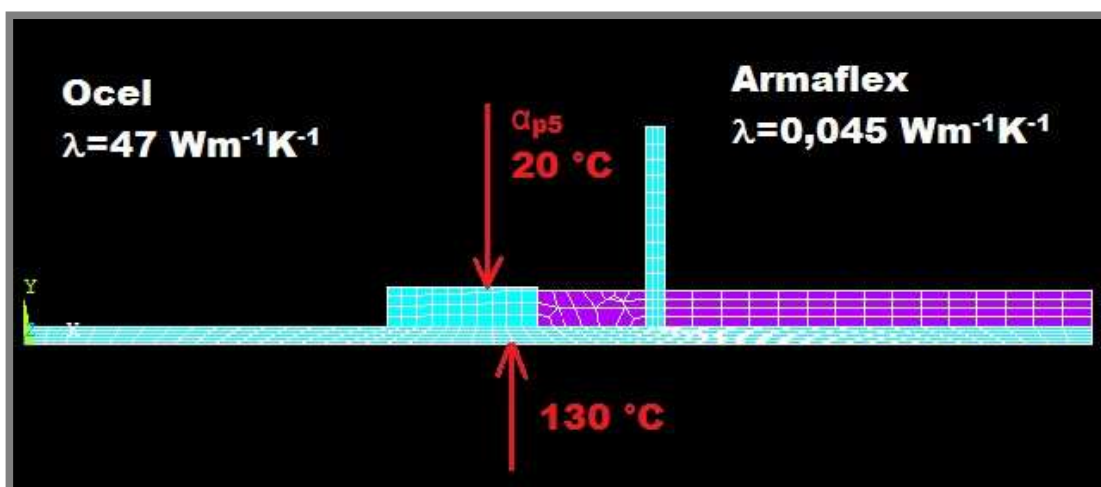
tepelného toku v těchto místech je $q_9=2683 \text{ Wm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta je

$$Q_9 = 0,1917 \text{ m}^2 \cdot q_9 = 0,1917 \text{ m}^2 \cdot 2683 \text{ Wm}^{-2} = 514,331 \text{ W}$$

Posledním měřeným úsekem je svislé plocha s izolací WM80. Na tomto místě je měrný tepelný tok $q_{10}=151,111 \text{ Wm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta je

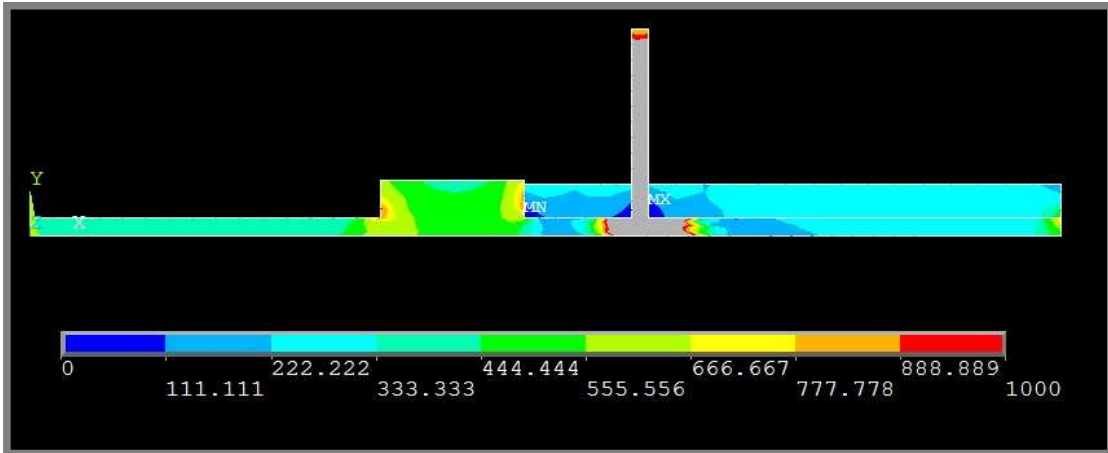
$$Q_{10} = 1,463332 \text{ m}^2 \cdot q_{10} = 1,463332 \text{ m}^2 \cdot 151,111 \text{ Wm}^{-2} = 221,126 \text{ W}$$

Nejdůležitější částí z hlediska termální analýzy jsou čelní plochy nádob. Zde se nacházejí výstužná žebra, která nemohla být pokryta izolací. Proto jsou v tomto úseku předpokládány největší tepelné ztráty. Okrajové podmínky výpočtu jsou pořád stejné jako v předchozích případech. Na izolaci Armaflex byl změřen měrný tepelný



Obr. 6-50 Model čela nádoby

tok $q_{11}=444,444 \text{ Wm}^{-2}$. Celková tepelná ztráta je na této izolaci pro všechna čela
 $Q_{11} = 1,364463 \text{ m}^2 \cdot q_{11} = 1,364463 \text{ m}^2 \cdot 444,444 \text{ Wm}^{-2} = 606,427 \text{ W}$



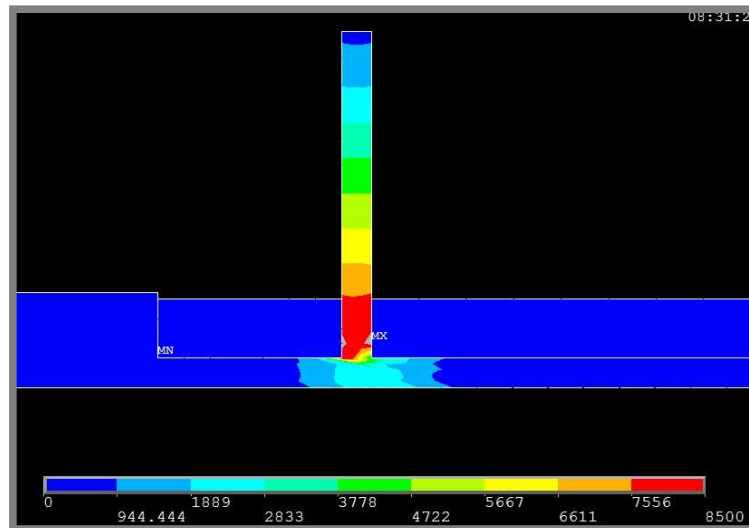
Obr. 6-51 Měrný tepelný tok pro čelo nádoby

Měrný tepelný tok v místě bez izolace a zesílení materiálu je $q_{12}=q_{11}$. Potom celková tepelná ztráta pro tyto plochy je

$$Q_{12} = 0,113544 \text{ m}^2 \cdot q_{12} = 0,113544 \text{ m}^2 \cdot 444,444 \text{ Wm}^{-2} = 50,464 \text{ W}$$

Měrný tepelný tok v místě zesílení ocelového materiálu je $q_{13}=555,556 \text{ Wm}^{-2}$. Potom celková tepelná ztráta pro plochy se zesílením je

$$Q_{13} = 0,270274 \text{ m}^2 \cdot q_{13} = 0,270274 \text{ m}^2 \cdot 555,556 \text{ Wm}^{-2} = 150,152 \text{ W}$$



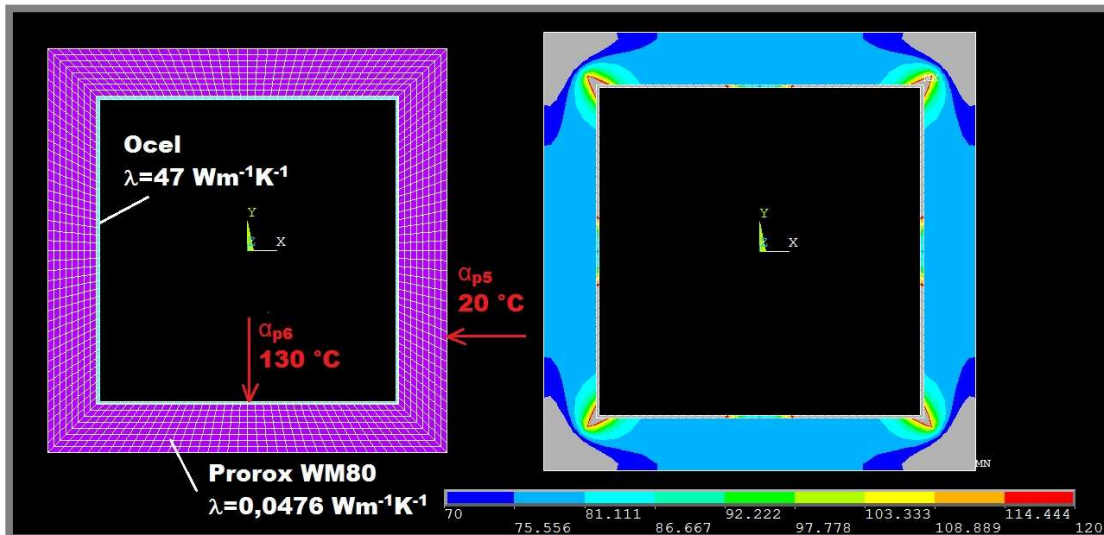
Obr. 6-52 Měrný tepelný tok pro žebro

Největší měrný tepelný tok byl změřen na výstužném žebro. Jeho střední hodnota je $q_{14}=5194 \text{ Wm}^{-2}$. Tepelná ztráta pro všechna žebra je

$$Q_{14} = 0,794 \text{ m}^2 \cdot q_{14} = 0,794 \text{ m}^2 \cdot 5194 \text{ Wm}^{-2} = 4124 \text{ W}$$

V tomto případě se jedná o zásadní tepelnou ztrátu.

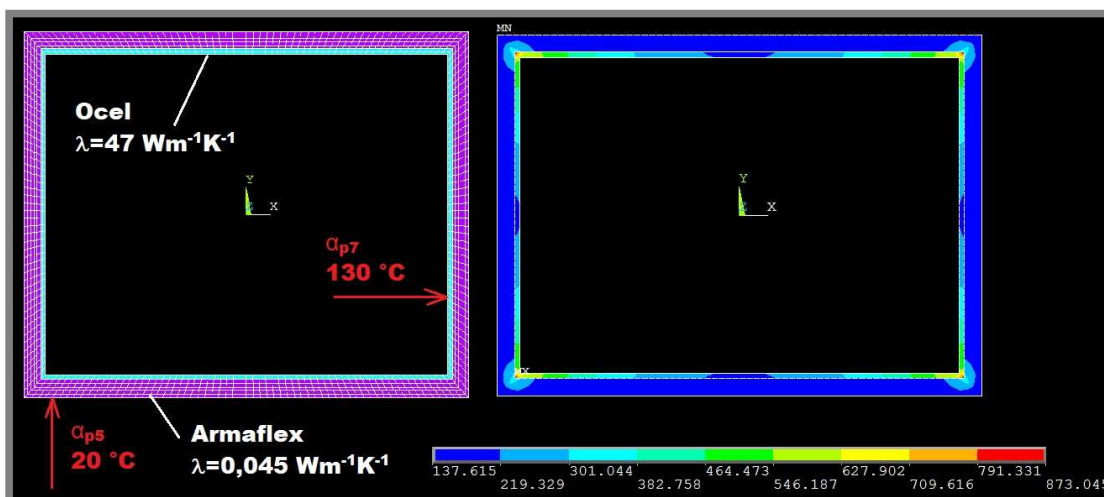
Zbývá vypočítat tepelné ztráty pro spalovací komoru. Horizontální část komory je pokryta izolací Prorox WM80. Součinitel přestupu tepla uvnitř spalovací komory je $\alpha_{p6}=9,36 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Na vnější straně má stejnou hodnotu jako α_{p5} . Při modelování byly zanedbány poloměry na rozích izolace. Měrný tepelný tok na povrchu izolace



Obr. 6-53 Měrný tepelný tok pro vodorovnou spalovací komoru

vychází $q_{15}=92,222 \text{ Wm}^{-2}$. Tepelná ztráta je
 $Q_{15} = 1,858265 \text{ m}^2 \cdot q_{15} = 1,858265 \text{ m}^2 \cdot 92,222 \text{ Wm}^{-2} = 171,373 \text{ W}$

Posledním výpočet tepelné ztráty je v místě svislé části spalovací komory s izolací Armaflex. Součinitel přestupu tepla uvnitř potrubí je $\alpha_{p7}=22,507 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Ostatní okrajové podmínky jsou opět stejné. Měrný tepelný tok na vnějším povrchu



Obr. 6-54 Měrný tepelný tok pro svislou spalovací komoru

je $q_{16}=219,329 \text{ Wm}^{-2}$. Celková ztráta pro všechny plochy je
 $Q_{16} = 0,389024 \text{ m}^2 \cdot q_{16} = 0,389024 \text{ m}^2 \cdot 219,329 \text{ Wm}^{-2} = 85,324 \text{ W}$

Nyní spočítáme tepelnou ztrátu pro celý stroj

$$Q_c = \sum_{i=1}^{16} Q_i = 7063,961 \text{ W}$$

Celková ztráta je mnohem menší, než přebytek výkonu navrhnutého hořáku.
TECHNICKÁ IZOLACE JE NAVRHNUTA SPRÁVNĚ.

6.11 Plošina pro čištění a konečný vzhled stroje

K hlavnímu tělesu se v konečné fázi připevní plošina, usnadňující čištění horní nádoby. Také byly připevněny kryty vyrobené z ocelových plechů. Kryty jsou vyrobeny velmi jednoduše základními výrobními metodami stříháním a ohýbáním z plechu tloušťky 0,8 mm dle EN 10131. Materiál plechů je DC01-A-m dle EN 10130. Kryty jsou přišroubovány k rámu za pomoci šroubů M3x10 dle ČSN 02 1155.25 a šroubů do plechu 3.5x9.5 dle ČSN 02 1235C. Základ plošiny je vyroben z obdélníkových profilů 50x35x3 dle EN 10219. Na tento základ je umístěna podlaha z lístkového plechu tloušťky 5 mm dle DIN 59220. Poloha podlahy je jištěna šrouby se zápustnou hlavou M5x8 dle ČSN 02 1151.25. Z důvodu bezpečnosti je plošina vybavena zábradlím, jež je vyrobeno z ocelové trubky 28x4 ČSN 42 5715.01 [25]. Základ plošiny je připevněn k hlavnímu rámu stroje čepy s hlavou, jištěnými závlačkami. K plošině také patří schody vyrobené ze dvou L profilů 60x40x6 EN 10056, a ohýbaného lístkového plechu. Schody jsou opět připevněny k základu plošiny čepy se závlačkami dle DIN 1444.



Obr. 6-55 Konečný vzhled stroje

Jako poslední výpočet provedeme zjištění nosnosti plošiny. Nosnost budeme počítat z hlediska zatížení, kdy obsluha bude stát uprostřed plošiny. V tomto případě je jediný vodorovný obdélníkový profil zatížen maximálním ohybovým momentem. Zatěžující síla je dána hmotností obsluhy. Ohybový moment uprostřed plošiny je

$$M_o = \frac{F \cdot L}{4}$$

kde

L [m] - délka vodorovného obdélníkového profilu

F [N] - zatěžující síla

Modul průřezu v ohybu je pro obdélníkový profil

$$W_o = \frac{B \cdot H^3 - b \cdot h^3}{6 \cdot H} = \frac{35\text{mm} \cdot (50\text{mm})^3 - 29\text{mm} \cdot (44\text{mm})^3}{6 \cdot 50\text{mm}} = 7618,656\text{mm}^3$$

kde

B [m] - šířka profilu

H [m] - výška profilu

b [m] - vnitřní výška profilu

h [m] - vnitřní výška profilu

Maximální ohybové napětí získáme z meze kluzu materiálu S235JRH, kde $R_e=235\text{MPa}$ [28]. Bezpečnost volím $k=1,5$.

$$\sigma_o = \frac{R_e}{k} = \frac{235\text{MPa}}{1,5} = 156,666\text{MPa}$$

Z rovnice pro ohybové napětí potom vyjádříme maximální sílu

$$F = \frac{\sigma_o \cdot 4 \cdot W_o}{L} = \frac{156,666\text{MPa} \cdot 4 \cdot 7618,656\text{mm}^3}{1324\text{mm}} = 3606\text{N}$$

Potom maximální nosnost plošiny je dána

$$m_p = \frac{F}{g} = \frac{3606\text{N}}{9,81\text{ms}^{-2}} = 367,6\text{kg}$$

MAXIMÁLNÍ NOSNOST PLOŠINY VYCHÁZÍ 360 kg.

6.12 Volba vhodného povlaku proti abrazi

6.12

V předchozích kapitolách bylo naznačeno umístění vhodného povlaku. Nyní musíme určit jeho vhodný typ. Existuje velké množství druhů povlaků odolných proti abrazi od slitin karbidů a nitridů až po keramické povlaky. V našem případě navrhuji použít keramický povlak maximální tloušťky 1 mm. Má velmi vysokou tvrdost, výborné kluzné vlastnosti a chrání ocelové součásti vůči korozi. Použití takového povlaku výrazně zvyšuje životnost součástí. Tím se také snižují náklady na údržbu stroje a zamezuje se velmi častým výměnám opotřebovaných součástí. Povlak vytvoří firma Plasmametal s.r.o. Tato firma vytváří povlaky pomocí nanášení plasmovým hořákem. Maximální rozměry součástí, které lze povlakovat, jsou do 5000x1250 mm. Maximální hmotnost osm tun [51].

6.13 Přehled cen kupovaných komponent

Vzhledem k velkému množství součástí uvádím pouze ceny komponent v několika důležitých kategoriích. Ceny jsou uvedeny bez DPH a nezahrnují výrobní operace. Ceny jsou zaokrouhlovány na koruny nahoru.

HUTNÍ POLOTOVARY

Zdroj: www.ferona.cz

-plechy otěruvzdorné Hardox 450	95 097 Kč
-plechy z obyčejné konstrukční oceli o tloušťkách od 2-8 mm	9 457 Kč
-plechy pro kryty tloušťky 0,8 mm	3 272 Kč
-plech lístkovaný tloušťky 5 mm	4 870 Kč
-tyč průřezu U65	2 655 Kč
-obdélníkové profily	795 Kč
-tyče kruhové z materiálu 15 230.3	7 970 Kč
-tyče kruhové z obyčejné konstrukční oceli	4 034 Kč
-trubky z konstrukčních ocelí	3 476 Kč
-tyče nerovnoramenného L	1 671 Kč
-tyče ploché	771 Kč

NORMALIZOVANÉ SOUČÁSTI

Zdroj: www.sroubky.cz

-šrouby	534 Kč
-matice	85 Kč
-podložky	177 Kč
-kolíky 6x24-8.8 ČSN 02 2152	14 Kč
-nýty trhací A2/A2 4x6 ČSN 02 2391	14 Kč
-závlačky	2 Kč
-lanko pozinkované průměr 3.15 ČSN 02 4311.45	40 Kč

Zdroj: www.naros.cz/shopcz

-závrtné šrouby	930 Kč
-----------------	--------

Zdroj: www.k2l.cz

-čepy	428 Kč
-------	--------

Zdroj: www.eshop.killich.cz

-pojistné kroužky	3 Kč
-pera těsná	75 Kč

RYCHLOUPÍNKY

Zdroj: www.marek.eu

-vertikální rychloupínky 05700-0150	1616 Kč
-stahovací spony 05550-1421121 a protikusy 05550-9135211	522 Kč

TĚSNÍCÍ MATERIÁL

Zdroj: www.sittech.cz

-aramidová ucpávka TEMAPACK 4200	232 Kč
-těsnění BA-U o tloušťkách 1-3 mm	2536 Kč

Zdroj: www.rubena.cz

-hřídelové těsnící kroužky	312 Kč
-X-kroužek 34,52 x3,53 NBR 70	17 Kč

Zdroj: www.seals.cz
 -mechanické ucpávky C10 TC/TC Viton_____ 95 218 Kč

POHONY

Zdroj: www.elektromotory.cz
 -šneková elektropřevodovka 2KJ1604-7HF13-1FG1+H03+D80_____ 25 225 Kč
 -šneková elektropřevodovka 2KJ1604-7GF13-1FH1+H03+D80_____ 23 675 Kč
 -čelní elektropřevodovka 2KJ1104-1EP13-1AW1+D04+B09_____ 19 853 Kč
 Zdroj: www.transmotec.cz
 -lineární aktuátor DMA-12-10-A-200-IP65_____ 12 726 Kč
 -lineární aktuátor DLA-12-5-A-50-IP65_____ 4 334 Kč

LOŽISKA

Zdroj: www.praktikloziska.cz
 -ložiska kuličková jednořadá SKF_____ 4 999 Kč
 Zdroj: www.proprumysl.cz
 -ložiska naklápěcí SKF_____ 11 488 Kč

VENTILÁTOR

Zdroj: www.ventilatory-sro.cz
 -ventilátor VNG 250-6-0,37/1_____ 23 220 Kč
 Zdroj: www.ft.tul.cz
 -filtr MA 20 s hliníkovým rámem_____ 645 Kč

ZAŘÍZENÍ PRO OHŘEV

Zdroj: www.ohnut.cz
 -hořák AH 40 s regulací_____ 205 000 Kč
 Zdroj: www.omegaeng.cz
 -tepelná sonda J-L-A-6-40-M6-S-5_____ 1 400 Kč

PRUŽNÁ SPOJKA

Zdroj: www.teatechnik.cz
 -pružné ozubcové spojky_____ 6 776 Kč

TECHNICKÁ IZOLACE

Zdroj: www.azflex.cz
 -Rockwool PROROX WM80 50mm_____ 1 715 Kč
 -Rockwool LAROCK 55ALS 20mm_____ 222 Kč
 -Rockwool PIPO 25mm_____ 249 Kč
 -ARMAFLEX HT 10mm_____ 2 781 Kč

POVLAK

Zdroj: www.plasmametal.cz
 -keramický povlak_____ Cena určena až při výrobě.

CENA CELKEM:_____ 581 131Kč

7 ZÁVĚR

Byla vytvořena návrhová sestava míchacího a hnětacího zařízení. Všechny požadavky dle zadání byly splněny. Stroj je konstruován jako dvoustupňové míchací zařízení s kaskádovitě uspořádanými míchacími stupni. První stupeň tvoří pásová míchačka, druhý stupeň míchačka lopatková. Množství míchané hmoty je 500 kg za půl hodiny. Míchaná hmota je podávána v přesných dávkách po 2,5 kg ze stroje šnekovým podavačem. Konstrukce jednotlivých stupňů byla tvořena s ohledem na jednoduchost. Míchací stupně jsou dobře přístupné pro případné čištění, nebo pro výměnu opotřebovaných součástí. Dobrá vyměnitelnost je také zajištěna jednoduchými tvary součástí a snadnou výrobou. Všechny součásti, stýkající se s míchanou hmotou, jsou vyrobeny z ořezuvzdorného materiálu. Navíc je na jejich povrch nanesen keramický povlak. Tímto je zajištěna delší životnost stroje. Hmota je během míchacího procesu intenzivně ohřívána vzduchem o teplotě 130 °C. Tepelná energie vzduchu je navýšena použitím plynového hořáku s integrovaným ventilátorem. Tento hořák umožňuje recirkulaci ohřátého vzduchu, takže spolu s využitím technické izolace lze ušetřit provozní náklady na ohřev míchané hmoty. Pro kontrolu byla určena tepelná ztráta stroje, jejíž hodnota je vzhledem k přebytku výkonu hořáku velmi nízká. Vzhledem k dlouhodobému používání je přesto žádoucí tepelné ztráty snížit, například aplikací izolační pěny na spojovací hrdla nádob.

Stroj je tvořen s ohledem na snadnou výrobu a sestavení. Každá komponenta stroje lze koupit, nebo vyrobit jednoduchými výrobními metodami. Mezi ně patří svařování, frézování a soustružení. Plechové součásti jsou vytvořeny ohýbáním a stříháním. Součásti lze získat obrobením a svařením normalizovaných, běžně dostupných polotovarů. Některé součásti je potřeba po obrobení tepelně zušlechtit na dolní mez pevnosti.

Pokud se podrobněji podíváme na ceny jednotlivých součástí, můžeme si povšimnout několika věcí. Z hutních polotovarů jsou nejdražší ořezuvzdorné plechy. Představují velmi významnou investici. Dalšími drahými součástmi jsou mechanické ucpávky. Ty byly zvoleny na základě mnoha kritérií, jako je třeba odolnost vůči abrazi. Vzhledem k míchání abrazivního média musíme používat drahé polotovary a součásti. Vysoká cena je ale vykoupena dlouhou životností a spolehlivostí. Nejdražším prvkem stroje je plynový hořák s regulací, který svou cenou ostatní komponenty enormně převyšuje. Z dlouhodobého provozního hlediska je ale použití plynového hořáku příznivé, neboť cena plynu je v současné době mnohem nižší než cena elektřiny.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PAUL, Edward; ANTIEMO-OBENG, Victor. *Handbook of industrial mixing: Science and practice* [online]. 2004 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: <www.knovel.cz>.
- [2] Učební text Univerzity Tomáše Bati [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: <http://web.ft.utb.cz/cs/docs/1._P____pravn____operace.pdf?PHPSESSID=e0730d2e8f3f03088ddd55f9fab61be9>.
- [3] Přípravné zpracování plastů [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: <www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm>.
- [4] S.S.PHARMA TECH [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: <www.pastefillingmachines.com >.
- [5] Unique mixers and furnaces [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.uniquemixer.com >.
- [6] Ribbon blender [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.ribbonblender.in/index.html >.
- [7] Prospekt WBN Batch-type ribbon blenders [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.has.cz>.
- [8] BEPEX particle processing technology [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.bepex.com>.
- [9] Twin shaft mixer [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.scottequipment.com>.
- [10] Mixing and kneading machines [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.coperion.com>.
- [11] Programme mixing technology [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.netzsch-grinding.com>.
- [12] DRAISWERKE, INC. [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.draiswerke-inc.com>.
- [13] Flowserve [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.flowserve.com>.
- [14] CHESTERTON [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.chesterton.com>.
- [15] SITTECH.CZ [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.sittech.cz>.
- [16] Machinery & Equipment Company, Inc. [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.usedribbonblenders.net>.
- [17] Prospekt WAM Pohony [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.has.cz >.
- [18] Prospekt WN-T Tubular batch-type ribbon blenders [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.has.cz >.
- [19] Prospekt WBHT WBHP Batch-Type Ploughshare Mixers with Bomb Bay Discharge [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.has.cz >.
- [20] Jacketed Vessel Design [online]. 2008 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.cheresources.com>.
- [21] Katalog Eclipse combustion [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.ohnut.cz>.
- [22] Stránky firmy Bohemia machine [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.bohemia-machine.cz >.

- [23] Internetové stránky firmy Tři pyramidy [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.triypyramidy.cz >.
- [24] MUZZIO, Fernando; LLUSA, Marcos. *Evaluating the mixing performance of a ribbon blender*. In *Powder technology* [online]. 2008 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.sciencedirect.com >.
- [25] Katalog firmy feron [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.feron.cz >.
- [26] LAINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky. Úvaly* : ALBRA, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [27] MAREK Industrial a.s. [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.marek.eu >.
- [28] SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.. *Konstruování strojních součástí*. Brno : VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [29] Katalog Motox geared motors [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.elektromotory.cz >.
- [30] Model 42N Ribbon Blender Specifications and Dimensions [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.mixers.com >.
- [31] Paddle Blender Specifications and Dimensions [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.mixers.com >.
- [32] Prospekt WTS Batch-Type Twin Shaft Paddle Mixers [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.has.cz >.
- [33] Šnekové dopravníky [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.spido.cz >.
- [34] JANÍČEK, Přemysl; ONDRÁČEK, Emanuel. *Mechanika těles pružnost pevnost I*. Brno : CERM, 2004. 287 s. ISBN 80-214-2592-X.
- [35] Mechanické ucpávky [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.seals.cz >.
- [36] Katalog Naklápěcí ložiska SKF [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.skf.cz >.
- [37] Katalog firmy rubena [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.rubena.cz >.
- [38] KŘÍŽ, Rudolf. *Stavba a provoz strojů I*. Brno : Scientia, 2004. 92 s. ISBN 80-7183-023-2.
- [39] Katalog Kuličková ložiska SKF [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.skf.cz >.
- [40] Katalog pružných spojek [online]. 2009 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.teatechnik.cz >.
- [41] Nabídka lineárních aktuátorů transmotec [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.transmotec.cz >.
- [42] Wikipedia, the free encyclopedia. Heat capacity [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_capacity >.
- [43] Matweb, material property data [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.matweb.com >.
- [44] Ohnut spalovací technika [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.ohnut.cz >.
- [45] Katalog Ventilátory nízkotlaké VNG [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.ventilatory-sro.cz >.

- [46] Prospekt Eclipse AirHeat Burner [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.eclipsenet.com >.
- [47] Průmyslové termočlánky firmy Omega [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.omegaeng.cz >.
- [48] Nabídka Rámečkových filtrů od firmy KS Klima service a.s. [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.ksklimaservice.cz >.
- [49] Technické izolace firmy Rockwool [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.rockwool.cz >.
- [50] Nabídka technických izolací firmou AZ flex [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.azflex.cz >.
- [51] Internetové stránky firmy Plasmametal [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z WWW: < www.plasmametal.cz >.
- [52] SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan. *Základy konstruování*. Brno : CERM, 2006. 199 s. ISBN 80-7204-458-3.

9 SEZNAM SYMBOLŮ

ρ_h	[kgm ⁻³]	-měrná hmotnost míchané hmoty
m_h	[kg]	-požadovaná hmotnost míchané hmoty
V_h	[m ³]	-objem míchané hmoty
V_{hk}	[m ³]	-konečný objem míchané hmoty
V_n	[m ³]	-objem míchané hmoty pro jednu nádobu
D_v	[m]	-průměr většího pásu
D_m	[m]	-průměr menšího pásu
L_n	[m]	-délka nádoby
H_n	[m]	-výška nádoby
m_c	[kg]	-nesená hmotnost
g	[ms ⁻²]	-gravitační zrychlení
F	[N]	-síla
L_v	[m]	-výpočtová délka
E	[Pa]	-modul pružnosti v tahu
S	[m ²]	-plocha
\check{S}_{mez}	[-]	-mezí štíhlostní poměr
\check{S}	[-]	-skutečná štíhlost
J_y	[m ⁴]	-kvadratický modul průřezu
F_{krit}	[N]	-kritická síla
e_c	[m]	-excentricita
R_e	[Pa]	-mez kluzu v tahu
M_o	[Nm]	-ohybový moment
c	[m]	-vzdálenost těžiště průřezu od povrchu
k	[-]	-součinitel bezpečnosti
S_U	[m ²]	-výpočtová plocha svaru
J_U	[m ³]	-jednotkový osový moment svaru
z	[m]	-šířka svaru
r	[m]	-největší vzdálenost těžiště od okraje svaru
α_τ	[-]	-převodní součinitel svaru
τ	[Pa]	-smykové napětí
α_d	[-]	-vrubový součinitel drážky pro pero
M_k	[Nm]	-kroučící moment
d_h	[m]	-průměr hřídele
R_{se}	[Pa]	-mez kluzu ve smyku
d_r	[m]	-průměr radiální tyče
n	[-]	-počet elementů
σ_o	[Pa]	-ohybové napětí
$S_\check{s}$	[m ²]	-výtlačná plocha šneku
α_d	[-]	-vrubový součinitel drážky pro pero
V	[m ³]	-objem
$L_\check{s}$	[m]	-stoupání šroubovice šneku
ψ	[°]	-úhel stoupání šroubovice
d	[m]	-velký průměr závitů
d_2	[m]	-střední průměr závitů
d_3	[m]	-malý průměr závitů

b	[m]	-šířka profilu
h	[m]	-výška profilu
α	[°]	-úhel natočení
J_α	[m ⁴]	-kvadratický moment průřezu pro pootočený souřadný systém
l	[m]	-délka páky
β	[-]	-součinitel vrubu pro osazení dle [28]
c_m	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-měrná tepelná kapacita křemičitého písku [42]
c_{pet}	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-měrná tepelná kapacita PET [43]
c_{hdpe}	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-měrná tepelná kapacita HDPE [43]
P	[W]	-výkon
Q_m	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-teplo pro ohřev písku
Q_{pet}	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-teplo pro ohřev PET
Q_{hdpe}	[Jkg ⁻¹ °C ⁻¹]	-teplo pro ohřev HDPE
α_p	[Wm ⁻² K ⁻¹]	-součinitel přestupu tepla
q	[Wm ⁻²]	-měrný tepelný tok
Q	[W]	-tepelná ztráta

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Perfektně promíchaná směs [1]	13
Obr. 1-2 Náhodně promíchaná směs [1]	13
Obr. 1-3 Ideálně pravidelná směs [1]	14
Obr. 1-4 Náhodná pravidelná směs [1]	14
Obr. 1-5 Reálná směs za působení koheze [1]	14
Obr. 1-6 Disperzní a distributivní míchání [1]	15
Obr. 1-7 Bubnová míchačka [4]	16
Obr. 1-8 Míchací nádoba tvaru V [6]	16
Obr. 1-9 Tvary pásových míchadel [6]	17
Obr. 1-10 Pásová míchačka [7]	17
Obr. 1-11 Míchadla s lopatkami a radlicemi [6]	18
Obr. 1-12 Míchačka se dvěma hřídelemi [9]	18
Obr. 1-13 Dvouramenné míchačky s dolní výpustí a výtlačným šnekem [10]	18
Obr. 1-14 Typy míchadel dvouramenné míchačky [1]	19
Obr. 1-15 Planetový mixer [5]	19
Obr. 1-16 Umístění vypouštěcích otvorů [6]	20
Obr. 1-17 Mechanická ucpávka HTZ [13]	21
Obr. 1-18 Zakoupené uložení hřídele [16]	22
Obr. 1-19 Uložení hřídele navrhnuté výrobcem [7]	22
Obr. 1-20 Elektromotor bez podpůrné konstrukce [18]	23
Obr. 1-21 Elektromotor s podpůrnou konstrukcí [19]	23
Obr. 1-22 Nádoba s topnou spirálou [20]	24
Obr. 1-23 Hořák pro ohřev kapalin [21]	24
Obr. 1-24 Bubnová suška od firmy Bohemia Machine [22]	25
Obr. 1-25 Hořák pro ohřev vzduchu [21]	25
Obr. 5-1 Varianta 1	29
Obr. 5-2 Varianta 2	30
Obr. 5-3 Varianta 3	31
Obr. 5-4 Ohřev bez cirkulace vzduchu	32
Obr. 5-5 Ohřev s cirkulací vzduchu	32
Obr. 6-1 Celková sestava	33
Obr. 6-2 Podélný řez strojem	33
Obr. 6-3 Příčný řez strojem	34
Obr. 6-4 Schéma horní nádoby	36
Obr. 6-5 Horní nádoba	37
Obr. 6-6 Otvor v horní nádobě	37
Obr. 6-7 Schéma horní nádoby	38
Obr. 6-8 Dolní nádoba	39
Obr. 6-9 Schéma dolní nádoby	39
Obr. 6-10 Spojení rámu s nádobami	40
Obr. 6-11 Zatížení rámu	41
Obr. 6-12 Schéma vertikálního nosníku	42
Obr. 6-13 Schéma horizontálního nosníku	44
Obr. 6-14 Svar namáhaný ohybovým momentem	45
Obr. 6-15 Elektropřevodovky Motox [30]	4

Obr. 6-16	Pásové míchadlo	49
Obr. 6-17	Lopátkové míchadlo	50
Obr. 6-18	Zatížení míchadla	51
Obr. 6-19	Zatížení radiální tyče	52
Obr. 6-20	Koutový svar na vetknutí	53
Obr. 6-21	Šnek	54
Obr. 6-22	Ucpávka a příruba pro uložení	56
Obr. 6-23	Mecanická ucpávka POWERseal [35]	57
Obr. 6-24	Příruby pro uchycení domků ložisek	57
Obr. 6-25	Uložení hřídelí	58
Obr. 6-26	Uložení šneku na výtlačné straně	60
Obr. 6-27	Pohony stroje	61
Obr. 6-28	Lože motoru	62
Obr. 6-29	Síly působící na obdélníkový profil	63
Obr. 6-30	Svar motorového lože	64
Obr. 6-31	Uchycení pohonu šneku	65
Obr. 6-32	Dveře horní nádoby	66
Obr. 6-33	Osa dveří	67
Obr. 6-34	Aktuátor a otočná páka	67
Obr. 6-35	Aplikace kroutícího momentu	68
Obr. 6-36	Vytvoření sítě prvků na ose	68
Obr. 6-37	Napětí v ose dveří	69
Obr. 6-38	Zatížení ramene dveří	69
Obr. 6-39	Pohon klapky	70
Obr. 6-40	Zařízení pro ohřev hmoty	71
Obr. 6-41	Technická izolace	73
Obr. 6-42	Uchycení izolace WM80	73
Obr. 6-43	Měrný tepelný tok pro vodorovné potrubí	74
Obr. 6-44	Měrný tepelný tok pro svislé potrubí	74
Obr. 6-45	Měrný tepelný tok pro horní nádobu	75
Obr. 6-46	Měrný tepelný tok pro tepelný most horní nádoby	75
Obr. 6-47	Měrný tepelný tok pro spodní nádobu	76
Obr. 6-48	Měrný tepelný tok pro tepelný most dolní nádoby	76
Obr. 6-49	Měrný tepelný tok pro tepelný most spojovacího hrdla	77
Obr. 6-50	Model čela nádoby	77
Obr. 6-51	Měrný tepelný tok pro čelo nádoby	78
Obr. 6-52	Měrný tepelný tok pro žebro	78
Obr. 6-53	Měrný tepelný tok pro vodorovnou spalovací komoru	79
Obr. 6-54	Měrný tepelný tok pro svislou spalovací komoru	79
Obr. 6-55	Konečný vzhled stroje	80

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 6-1 Pracovní objemy a výkony míchaček od vybraných výrobců [18] [30] [31] [32]	47
Tab. 6-2 Příkony šnekových dopravníků [33]	48
Tab. 6-3 Zvolené pohony[29]	48

12 SEZNAM PŘÍLOH

12

Příloha A: Pomocné výpočty v programu Mathcad 14
Návrhová sestava
Kusovník