

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY
OF MECHANICAL ENGINEERING

DVOUHŘÍDELOVÝ KONTINUÁLNÍ MÍSIČ

TWO SHAFT CONTINUOUS MIXER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ŠIMON LUKUVKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ MALÁŠEK PH.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Bibliografická citace mé práce:

LUKUVKA, Š. Dvuhřídelový kontinuální mísič. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana ing. Jiřího Maláška PhD., a s použitím uvedené literatury

V Brně 19.05.2008

Šimon Lukuvka

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem pedagogům Vysokého učení technického v Brně, Fakulty strojního inženýrství, zvláště pak Ústavu automobilního a dopravního inženýrství, odboru Dopravní a manipulační techniky za získané zkušenosti v oboru strojírenství.

Dále chci poděkovat mé rodině za obětavou podporu během celé doby studia.

Zvláštní poděkování pak patří ing. Jiřímu Maláškovvi PhD., vedoucímu mé diplomové práce, za pomoc a cenné rady při tvorbě této práce.



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Anotace

Tato diplomová práce řeší problematiku mísení a mísičů partikulárních látek. V první a druhé části je řešen teoretický rozbor mísicích procesů. Obsahem třetí a čtvrté části je návrh a výpočet parametrů mísiče.

Annotation

This diploma project solves questions of blending processes and mixers of particular materials. In the first and the second part is solved theoretical analysis of blending processes. Contain of the third and the fourth part is designing and calculating of the mixer's parameters.

		Obsah	
1	Úvod		1
2	Proces mísení a mísiče		2
2.1	Účel mísení		2
2.2	Druhy mísení		2
2.3	Rozdělení mísičů		2
2.4	Dvuhřídelový korytový mísič		3
2.5	Kvalita mísení		5
3	Teoretický rozbor mísicích procesů		6
3.1	Základní pojmy		6
3.2	Mezní stav partikulární látky		7
3.3	Napjatostní stav partikulární látky		9
3.3.1	Mohrova kružnice		9
4	Návrh dvuhřídelového kontinuálního mísiče		13
4.1	Schéma mísiče		13
4.2	Konstrukční provedení mísiče		14
4.2.1	Šnek		14
4.2.2	Koryto		15
4.2.3	Přední a zadní víko		16
4.2.4	Kryt soukolí		17
4.2.5	Pohon		18
5	Výpočet parametrů dvuhřídelového kontinuálního mísiče		18
5.1	Podmínky funkce mísiče		19
5.2	Stanovení výkonnosti mísiče		21
5.2.1	Stanovení předběžných rozměrů mísiče		23
5.2.2	Výpočet vnějšího průměru kružnice opsané lopatkami		23
5.2.3	Úhel stoupání šnekovice		24
5.2.4	Úhel naklonění lopatky k šroubové ploše		24
5.2.5	Součinitel přerušení šroubovice k_p		25
5.2.6	Osová rychlost		25
5.2.7	Plocha příčného řezu toku materiálu v mísiči		26
5.2.8	Skutečná výkonnost mísiče		26
5.2.9	Kontrola vypočtených hodnot		26
5.3	Stanovení příkonu pohonu mísiče		27
5.3.1	Výpočet momentu potřebného pro otáčení lopatek		27
5.3.2	Příkon pro otáčení hřídele		28
5.3.3	Příkon pro posuv materiálu		28
5.3.4	Příkon pohonu mísiče		29
5.4	Volba motoru a převodovky		29
5.5	Volba čerpadla		31
5.6	Výpočet lopatky		32
5.6.1	Úchyt lopatky		32
5.6.2	Výpočet svaru lopatky		34
5.6.3	Pevnostní výpočet úchyty a lopatky		35
5.6.3.1	Kontrola úchyty na otláčení		35
5.6.3.2	Kontrola na ohyb		36
5.6.3.3	Bezpečnost vůči únavovému lomu v ohybu		37

5.7	Pevnostní výpočet hřídele	38
5.7.1	Kontrola na krut	38
5.7.1.1	Napětí v krutu	38
5.7.1.2	Bezpečnost vůči únavovému lomu v krutu	40
5.7.1.3	Bezpečnost proti plastickým deformacím	40
5.7.2	Kontrola na ohyb	41
5.7.2.1	Ohybový moment od hmotnosti	41
5.7.2.2	Ohybový moment od hmotnosti v kritickém místě	43
5.7.2.3	Ohybový moment od lopatek	44
5.7.2.4	Ohybový moment od lopatek v kritickém místě	45
5.7.2.5	Napětí v ohybu v kritickém místě	46
5.7.2.6	Bezpečnost proti únavovému lomu v ohybu	47
5.7.2.7	Výsledná dynamická bezpečnost hřídele	47
6	Závěr	48
7	Seznam použitých veličin	49
8	Seznam použité literatury	53
9	Seznam výkresové dokumentace	54

1 Úvod

Mísiče mají v keramickém průmyslu a při výrobě stavebních materiálů svou nepostradatelnou úlohu, protože dokonalé promísení hmot je jedním z hlavních předpokladů pro zajištění kvality výroby. Základem pro většinu keramických výrobků a stavebních hmot je hmota připravená ze dvou a více základních surovin, aby se dosáhlo požadovaných vlastností. Proto zpracování surovin pouze v mlýnech, případně i v jiných strojích je ve většině případů nedostačující. Suroviny je totiž nutno co nejdokonaleji promísit. Směsi jsou následně používány k výrobě různých výrobků nebo jde o finální výrobek.

V této diplomové práci se zabývám návrhem dvouhřídelového kontinuálního mísiče k mísení zadaných složek.

2 Proces mísení a mísiče

Mísiče navazují na stroje pro rozpojování surovin. Čím je promísení lepší, tím je větší i stejnorodost výsledné hmoty, což podstatně ovlivňuje vlastnosti budoucího výrobku. Pokud je zpracovávána plastická hmota o určité vlhkosti, požaduje se, aby při jejím promísení došlo k rovnoměrnému prostupování vlhkosti v celém průřezu hmoty. Mísí-li se složky plastické a neplastické – ostřiva, je požadováno, aby v celém průřezu došlo při promísení k rovnoměrnému rozdělení všech složek.

Mísení je již částečně prováděno během některých předcházejících technologických procesech. Ovšem toto mísení ve většině případů nestačí, a je proto nutné používat speciální mísiče.

2.1 Účel mísení

Mísení se skládá z intenzivního promíchávání jednotlivých komponent, a také z promíchávání částic materiálu uvnitř celkového objemu. Účelem mísení tedy je:

- dokonalé a rovnoměrné smíšení dvou nebo více komponent
- získání optimálního povrchu reagujících látek
- změna fyzikálního stavu látky – rozpojení, rekrystalizace atd.
- urychlení chemických reakcí
- získání plastických směsí, emulzí, suspenzí, sypkých a zrnitých směsí atd.

2.2 Druhy mísení

To jaký druh stroje je použit pro ten který druh keramické hmoty, podmiňují především vlastnosti a skupenství surovin, které mají být míseny. Na základě toho rozeznáváme tři základní skupiny:

- **mísení zrnitých až práškovitých hmot** – provádí se buď jen za sucha nebo se po promísení za sucha přidává voda, případně jiné tekuté látky, a konečné mísení se provádí ve zvlhčeném stavu
- **mísení plastických hmot** – provádí se ve většině případů ve vlhkém stavu, někdy se mísená hmota ještě dovlhčuje na požadovanou vlhkost, nebo i propařuje, čímž se docílí její vhodné plastičnosti pro další tváření
- **mísení tekutých hmot** – provádí se za přebytku vody, kdy nejmenší částičky hmoty jsou ve vodě rozptýleny a vytváří surovinový kal

2.3 Rozdělení mísičů

Podle způsobu práce:

- mísiče s přerušovaným pracovním cyklem – periodické
- mísiče s nepřerušovaným pracovním cyklem – kontinuální

Podle vlastností a skupenství zpracovaných hmot:

- mísiče sypkých a práškovitých hmot

- mísiče plastických keramických a jim podobných hmot
- míchače tekutých suspenzí

Podle druhu:

- mechanické mísiče sypkých a práškovitých materiálů
- mechanické mísiče plastických materiálů
- mechanické míchače tekutých suspenzí
- kombinované mísiče
- speciální míchače

Podle uspořádání mísicích systémů:

- mísiče mechanické:
 - s horizontálním uložením mísicích systémů
 - s vertikálním uložením mísicích systémů
- míchače mechanické:
 - převážně s vertikálním uložením mísicích systémů

Podle provedení a druhu:

- mísiče kolové
- mísiče protiproudé, nazývané rychlomísiče
- mísiče korytové dvouhřídelové
- mísiče protlačovací
- míchače a rozplavovače vrtulové
- míchače hrabicové
- míchače speciální

2.4 Dvouhřídelový korytový mísič

Tento typ mísiče pracuje v nepřetržitém pracovním cyklu, kdy je mísič neustále doplňován novými surovinami a zároveň se promísený materiál odebrává.

V silikátovém průmyslu se tento mísič používá k důkladnému promísení a současnému prokypření keramických a podobných materiálů, buď v suchém nebo vlhkém stavu, nebo též k mísení při současném zavlažování. Mísič tohoto typu také slouží jako krátký dopravník.

Základní část koryta je tvořena korytem dané délky. Uvnitř koryta se otáčejí dva hřídele se systémem mísicích lopatek.

Hřídele se otáčejí těmito směry (viz obr. 1 níže) :

- protisměrně ze spoda nahoru (1)
- protisměrně zhora dolů (2)
- stejnosměrně ze spoda nahoru (3)
- stejnosměrně zhora dolů (4)



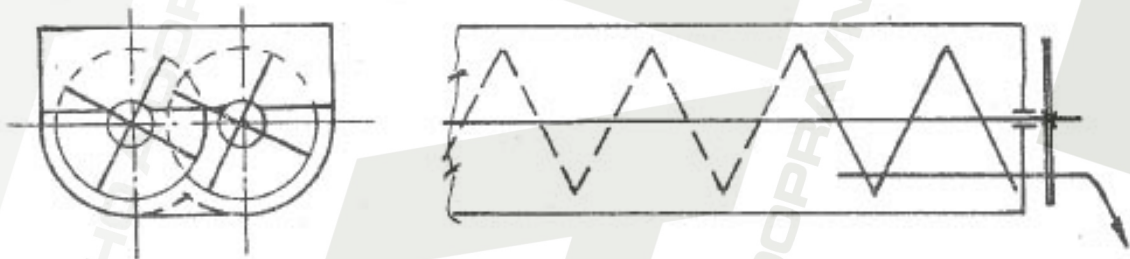
Obr. 1 – Otáčení hřídelů

Nejvíce se používají první dva způsoby. Neoptimálnější výsledky při vlastním mísení a nakypření vykazuje první způsob mísení. Zbývající způsoby se používají především tam, kde je mísič využíván spíše jako dopravník s pouze částečným mísením materiálu.

Systém lopatek je uspořádán ve šroubovici s daným stoupáním na jednom hřídeli levým a na druhém hřídeli pravým. Dále lopatky jednoho hřídele se překrývají s lopatkami druhého hřídele. Suroviny podávané do mísiče násypkou jsou systémem lopatek, při neustálém mísení, posunovány směrem k výpadu mísiče.

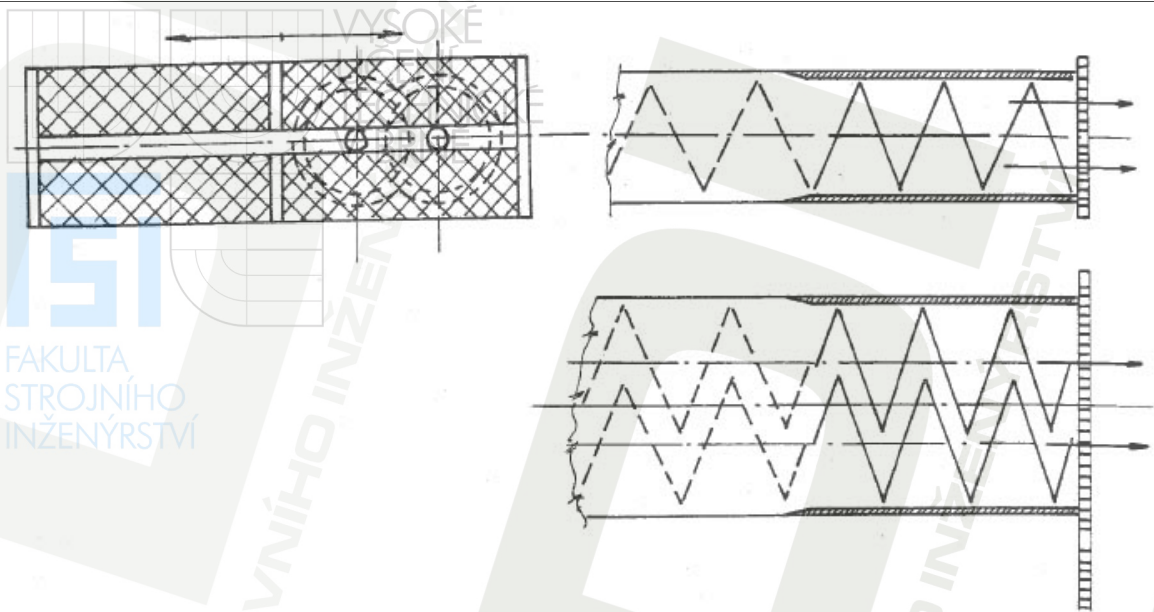
Výstup z mísiče je prováděn těmito dvěma způsoby:

- výstup volným čelem** – v části koryta před výstupem je nahrazen systém lopatek tlačnými šneky, které vytlačují promísenou směs volným průřezem čela mísiče. Před tímto volným otvorem jsou na koncích hřídelů upevněny nožové hvězdice, které rozřezávají vystupující pás směsi na menší kusy. Autor dodává, že: „V případě mísení suchých, sypkých látek, které netvoří shluky, nemusí být nožové hvězdice používány.“



Obr. 2 – Výstup volným čelem

- výstup s protlačováním** – přední část koryta je nahrazena uzavřenou lisovací komorou, ve které je systém mísicích lopatek nahrazen výtlačnými šneky. Před vyústěním lisovací komory je umístěno přesouvateľné síto, které je možno přesouvat za chodu mísiče. Promísený materiál se při výstupu z mísiče protlačuje otvory v síti, přičemž se postupně nečistotami ucpávají otvory příslušného úseku síta. Při ucpání se dá impuls k přestavení síta na vyčištěnou polovinu. Impuls k přestavení síta uděluje přesouvacímu mechanismu snímač tlaku, nebo se síta přesouvají podle předem stanoveného časového programu.

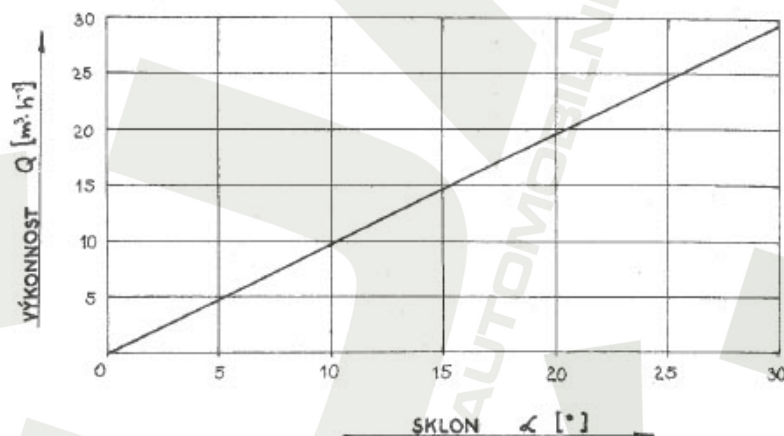


Obr. 3 – Výstup s protlačováním


2.5 Kvalita mísení

Na jakost mísení a tím i na výkonnost mají vliv následující činitele:

- **délka mísiče** – s větší délkou mísiče, při ostatních nezměněných parametrech se zvyšuje kvalita mísení
- **počet lopatek na jedno stoupání a jejich sklon** – obvykle jsou čtyři lopatky na jedno stoupání s nastavitelným sklonem v rozmezí 5° - 35° , s větším sklonem lopatek vzrůstá stoupání, a zároveň roste výkonnost, ale bohužel se snižuje kvalita mísení a naopak



Obr. 4 – Vliv sklonu lopatky na výkonnost mísiče

- 
frekvence otáčení hřídelů – s větší frekvencí otáčení prochází mísený materiál mísičem rychleji, ale kvalita mísení je horší a naopak; podle autora : „Obvyklé rozmezí otáček je 20-35 za minutu. Tyto otáčky dávají při obvyklých vnějších průměrech, opisovaných lopatkami, obvodové rychlosti v rozmezí 0,5-1,2 m.s⁻¹. Vzhledem ke konstrukci mísiče je nutné, aby oba hřídele měly stejné otáčky.“
- výstup z mísiče buď volným čelem nebo přes protlačovací síta** – Autor poznamenává, že: „Výstup z mísiče buď volným čelem nebo přes protlačovací síta neovlivňuje sice přímo vlastní proces mísení, ovlivňuje však částečně konečnou jakost směsi, vystupující z mísiče. Jestliže je použito protlačování otvory, dané velikosti, v protlačovacím síti, je směs jednak čištěna, jednak ještě nuceným protlačováním otvory, homogenizována.“

Optimální dobu průchodu mísičem, nastavení sklonu lopatek, frekvenci otáčení a jiné veličiny, je nutno stanovit na základě vlastností mísených materiálů, jejich granulometrického složení a komponent, případně i podle stupně vlhkosti.

3 Teoretický rozbor mísicích procesů

3.1 Základní pojmy

V mísicím procesu dochází k promíchávání tzv. partikulárních látek. Partikulární látku tvoří kapalina a vzájemně se dotýkající tuhé částice, což jsou zrna sypkého materiálu. Kapalina zde tvoří výplň pórů mezi částicemi tuhé látky. K tomuto promíchávání tedy dochází při složitém pohybu partikulárních částic, který je způsobený interakcemi mezi částicemi a mísicím zařízením, a dále vzájemnými interakcemi mezi samotnými částicemi. Matematicky se dá tento proces popsat jen velmi obtížně.

Kvalitativně se dá tento proces rozdělit na několik základních mechanismů, které při mísení působí současně.

Jsou to tyto mechanismy:

- smýkové mísení** – je charakteristické tvorbou tzv. smýkových ploch v celém objemu vsázky, které po sobě kloužou
- difúzní mísení** – je charakterizováno změnou polohy mezi jednotlivými částicemi uvnitř vsázky
- konvekční mísení** – je charakterizováno nuceným posunem celých skupin částic z jedné polohy do jiné polohy v mísiči
- mísení náhodnými srážkami** – je charakterizováno rozptýlením částic vlivem vzájemných nárazů mezi sebou nebo mezi pevnou stěnou mísiče a částicemi

- **mísení rozměňováním** – je charakterizováno deformací a rozměňováním vsázky tzv. kalandrováním

V konkrétních mísicích zařízeních se uplatňují všechny mechanismy, přičemž jeden z nich má převládající charakter. Na to, jak probíhá proces mísení, má vliv několik faktorů:

- **fyzikálně mechanické vlastnosti mísených látek:**
 - složení dle frakcí
 - sypaná objemová hmotnost
 - hustota zrna
 - pórovitost látky
 - velikost a tvar částic
 - povrch částic
 - úhel vnitřního a vnějšího tření
- **konstrukční uspořádání mísiče:**
 - způsob mísení
 - velikost komory
 - tvar mísicích elementů
- **procesní parametry:**
 - otáčky mísicích elementů
 - otáčky mísicí komory
 - hmotnostní nebo objemový poměr komponent
 - způsob dávkování a velikost dávky
 - náchylnost na segregaci

3.2 Mezní stav partikulární látky

Při vzájemném kontaktu částic dochází k přímému mechanickému styku pevných částic, při kterém dochází také k vzájemnému silovému působení. Především jsou to tzv. třecí vazby a křehké vazby. Největší význam z hlediska průmyslového řešení mají třecí vazby.

Třecí vazby mezi částicemi vzniknou při smykovém tření na stykové ploše mezi částicemi. Předpokladem vzniku smykového napětí je normální napětí na kluzné ploše. Normální napětí vznikne buď od vnějšího zatížení vrstvy partikulární látky, nebo i vlastní hmotností vrstvy. Je-li v mezerách přítomna kapalná fáze, může vzniknout i tření s kapalinovou vrstvou mezi částicemi. Tření mezi částicemi působí vždy, a to i když je partikulární látka v relativním klidu. Závislost mezi normálními a smykovými napětími při smykovém tření je v nejjednodušších případech vyjádřena Coulombovým zákonem, podle kterého platí:

$$S = f \cdot F_N \quad (1)$$

S...třecí síla [N]

F_N ...normální síla [N]

f...součinitel smykového tření [-]

Pokud vztáhneme působící síly na odpovídající plochy, získáme vztah mezi napětími:

$$\tau = f \cdot \sigma = \operatorname{tg} \varphi \cdot \sigma \quad (2)$$

τ ...smykové napětí [MPa]

f ...součinitel smykového tření [-]

σ ...normální napětí [MPa]

φ ...třecí úhel [°]

Vlivem smykového tření se reakce plochy v normálním směru odchyluje o třecí úhel pro který platí:

$$f = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau}{\sigma} \quad (3)$$

f ...součinitel smykového tření [-]

τ ...smykové napětí [MPa]

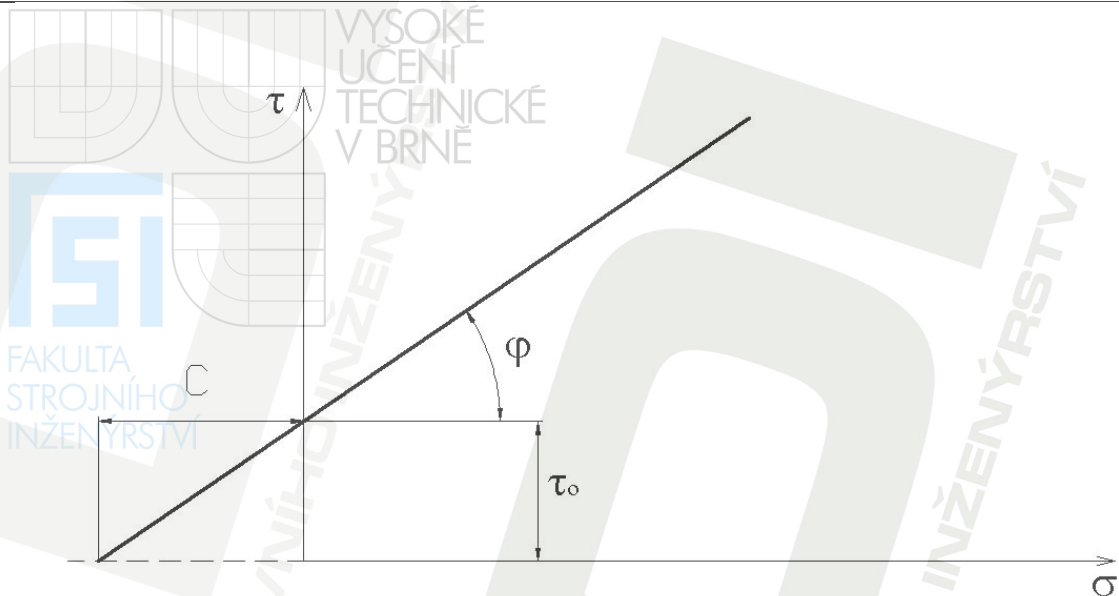
σ ...normální napětí [MPa]

φ ...třecí úhel [°]

Nastane-li taková situace, že částice partikulární látky jsou vlivem vnějších sil právě uvedeny do pohybu, pak hovoříme že partikulární látka se nachází v **mezním stavu**.

Coulombův zákon lze graficky znázornit v diagramu (obr. 12), kde na souřadné osy vyneseme hodnoty σ a τ . Závislost lze vyjádřit přímkou procházející počátkem o směrnici odpovídající třecímu úhlu φ . Přímka od sebe odděluje různé oblasti stavu partikulární látky a je označována jako **mezní přímka**. Stav partikulární látky nacházející se pod přímkou je nazýván **klidový (statický) stav**, zatímco nad přímkou jde o stav partikulární **látky v pohybu (pseudostatický stav)**. Stav partikulární látky odpovídající mezní přímce je označen jako mezní stav.

Mají-li soudržné síly takovou hodnotu, že je nelze zanedbat, nebude mezní přímka procházet počátkem. Na ose smykového napětí bude určitá hodnota prahového napětí τ_0 . Mimo to lze definovat další parametr C charakterizující **soudržnost materiálu (kohezivita)**, viz obr. 14. Z fyzikálního hlediska je to hodnota normálního napětí, které musí být překonáno a je způsobeno některou ze soudržných sil. Existují však i takové látky, pro které neplatí lineární závislost $\tau = f(\sigma)$. Porušení mezního stavu lze dosáhnout jednak větší silou, jednak změnou vnitřních podmínek v samotné partikulární látce.



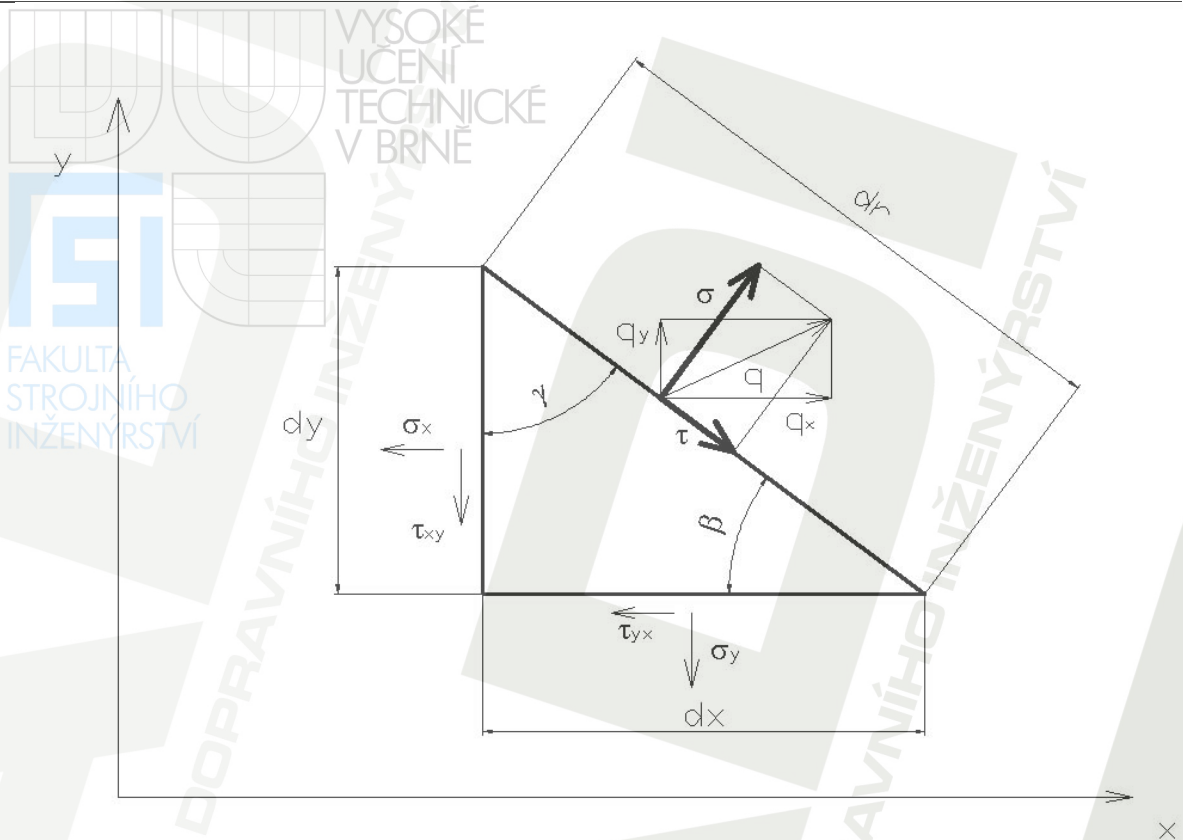
Obr. 12 – Mezní stav partikulární látky

3.3 Napjatostní stav partikulární látky

Před mísicím elementem se vytváří oblast plastického přetvoření. Tvar a velikost této oblasti závisí především na stavu napjatosti v partikulární látce před mísicím elementem, který je vytvářen v důsledku vzájemného silového působení partikulární látky a mísicího elementu. Na základě známého napjatostního stavu je možné sestavit v partikulární látce systém kluzných čar, podél kterých dochází k posuvu partikulární látky po překročení mezního zatížení. Při snaze zjistit síly působící na mísicí element je nejprve nutné zjistit stav napjatosti v dané látce. Následovně jsou uvedeny základní vztahy a pojmy potřebné pro jeho popis.

3.3.1 Mohrova kružnice

Mohrova kružnice se používá pro popis vztahu mezi normálovým a smykovým napětím v určitém bodě partikulární látky. Většinu úloh v mechanice partikulárních látek lze zjednodušit na řešení dvojrozměrných úloh. Potom můžeme popsat napjatostní vztah pomocí rovinné napjatosti. Vztahy mezi normálovými a smykovými složkami napětí získáme z rovnováhy sil na pravouhlém trojúhelníku vyjmutém ze zkoumané látky (pravouhlý trojúhelník dostaneme při zjednodušení úlohy na dvojrozměrnou napjatost).



Obr. 13 – Rovnováha sil působících na element látky

Na obrázku je znázorněn vyjmutý element. Na jeho odvěsnách d_x a d_y působí normálová napětí σ_x a σ_y , a smyková napětí τ_{xy} a τ_{yx} . Na přeponě elementu d_r působí obecné zatížení q , které se dá rozložit do směrů x a y :

$$q^2 = q_x^2 + q_y^2 \quad (4)$$

Dá se také rozdělit na normálovou a tangenciální složku:

$$q^2 = \sigma^2 + \tau^2 \quad (5)$$

Z rovnováhy sil ve směru os x a y dostaneme následující vztahy:

$$q_x \cdot d_r = \sigma_x \cdot d_y + \tau_{xy} \cdot d_x \quad (6)$$

$$q_y \cdot d_r = \sigma_y \cdot d_x + \tau_{yx} \cdot d_y \quad (7)$$

Délky stran d_x a d_y trojúhelníka lze vyjádřit na základě přepony d_r a úhlu γ :

$$d_x = d_r \cdot \sin \gamma \quad (8)$$

$$d_y = d_r \cdot \cos \gamma \quad (9)$$

Po dosazení těchto vztahů do rovnic pro rovnováhu sil ve směru os x a y dostaneme:

$$q_x = \sigma_x \cdot \cos \gamma + \tau_{xy} \cdot \sin \gamma \quad (10)$$

$$q_y = \sigma_y \cdot \sin \gamma + \tau_{yx} \cdot \cos \gamma \quad (11)$$

Normálovou složku napětí na přeponě trojúhelníka pak vyjádříme pomocí složek napětí q_x a q_y působících ve směru souřadných os:

$$\sigma = q_x \cdot \cos \gamma + q_y \cdot \sin \gamma \quad (12)$$

Po dosazení do tohoto vztahu předchozími vztahy složek q_x a q_y , dostaneme:

$$\sigma = \sigma_x \cdot \cos^2 \gamma + \sigma_y \cdot \sin^2 \gamma + \tau_{xy} \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma + \tau_{yx} \cdot \cos \gamma \cdot \sin \gamma \quad (13)$$

Vzhledem k tomu že platí $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, pak:

$$\sigma = \sigma_x \cdot \cos^2 \gamma + \sigma_y \cdot \sin^2 \gamma + 2 \cdot \tau_{xy} \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \quad (14)$$

Podobně lze vyjádřit i smykové napětí, působící na přeponě trojúhelníka, na základě složek napětí q_x a q_y :

$$\tau = q_x \cdot \sin \gamma + q_y \cdot \cos \gamma \quad (15)$$

Po dosazení do vztahu předchozími vztahy:

$$\tau = \tau_{xy} \cdot (\sin^2 \gamma - \cos^2 \gamma) + (\sigma_x - \sigma_y) \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma \quad (16)$$

Výsledné vztahy se upraví pomocí následujících goniometrických funkcí s dvojnásobným úhlem:

$$\cos^2 \gamma = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos 2\gamma) \quad (17)$$

$$\sin^2 \gamma = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos 2\gamma) \quad (18)$$

$$2 \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma = \sin 2\gamma \quad (19)$$

Po dosazení:

$$\sigma \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \cos 2\gamma + \tau_{xy} \cdot \sin 2\gamma \quad (20)$$

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \sin 2\gamma - \tau_{xy} \cdot \cos 2\gamma \quad (21)$$

Umocněním a sečtením rovnic se získá po úpravě vztah, který je rovnicí kružnice:

$$\left(\sigma - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \quad (22)$$

Tato kružnice (22) se nazývá **Mohrova kružnice** a určuje stav napjatosti v daném bodě látky. Poloha středu Mohrovy kružnice je dána vztahem:

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (23)$$

Poloměr kružnice je:

$$r_m = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (24)$$

Pokud se dosadí do vztahu Mohrovy kružnice tyto hodnoty:

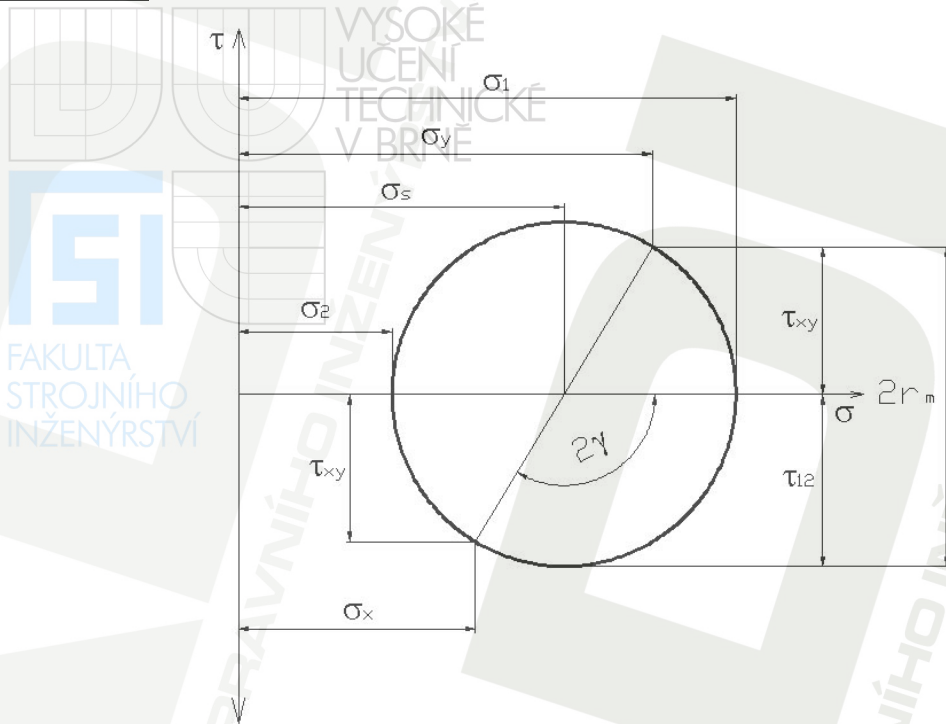
$$\sigma_x = \sigma_1 \quad (25)$$

$$\sigma_y = \sigma_2 \quad (26)$$

$$\tau_{xy} = 0 \quad (27)$$

potom vznikne vyjádření této kružnice pomocí hlavních napětí σ_1 a σ_2 :

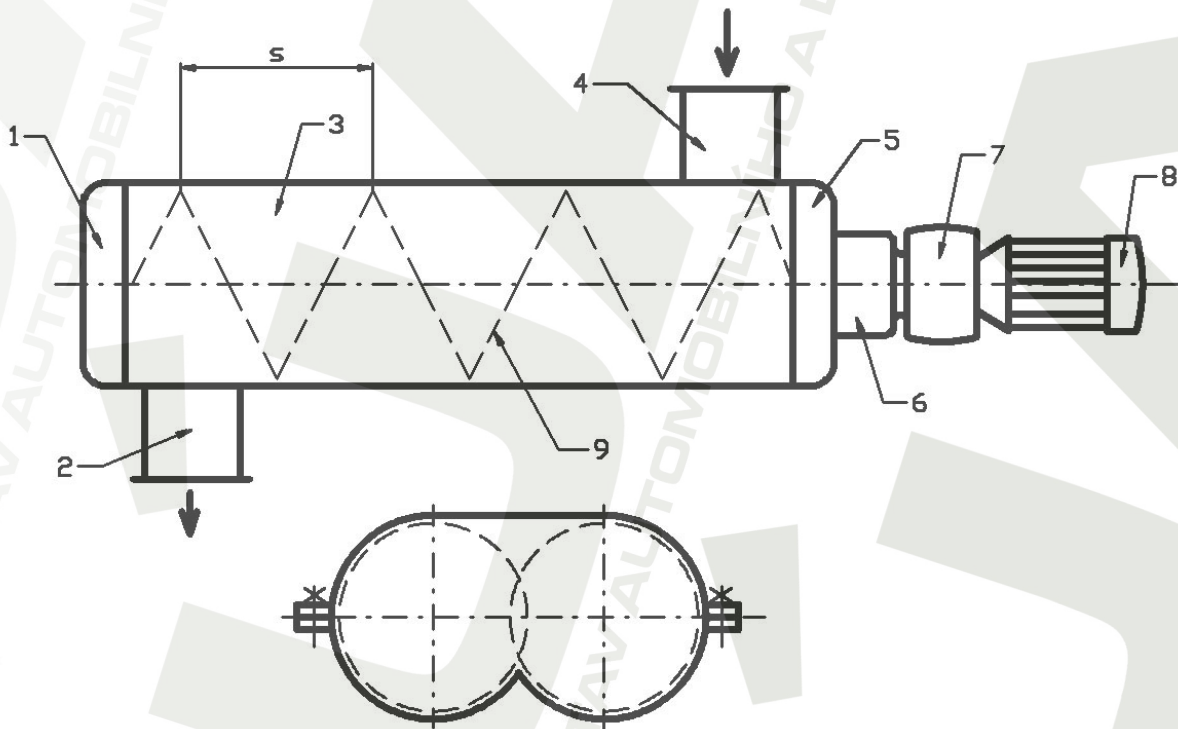
$$\left(\sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right)^2 \quad (28)$$



Obr. 14 – Mohrova kružnice

4 Návrh dvouhřídelového kontinuálního mísiče

4.1 Schéma mísiče



Obr. 5 – Schéma mísiče

- 1 – zadní víko
- 2 – výpad
- 3 – koryto
- 4 – vstup
- 5 – přední víko



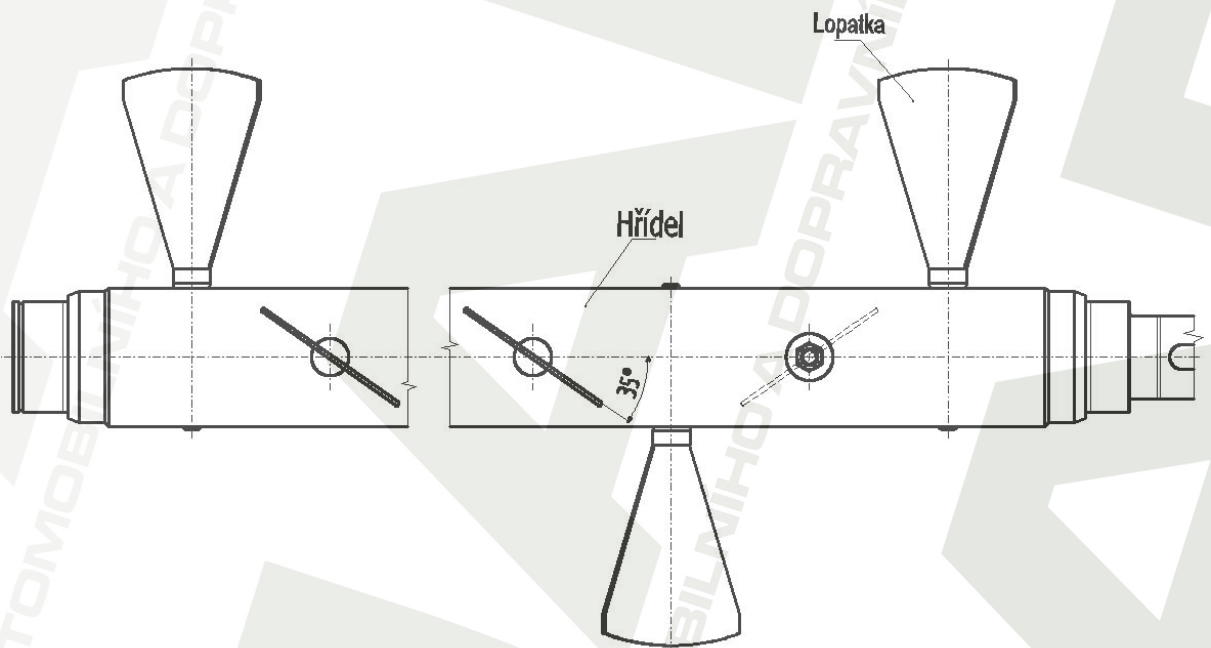
VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

- 6 – kryt soukolí
- 7 – převodovka
- 8 – elektromotor
- 9 – hřídel s lopatkami

4.2 Konstrukční provedení mísiče

4.2.1 Šnek

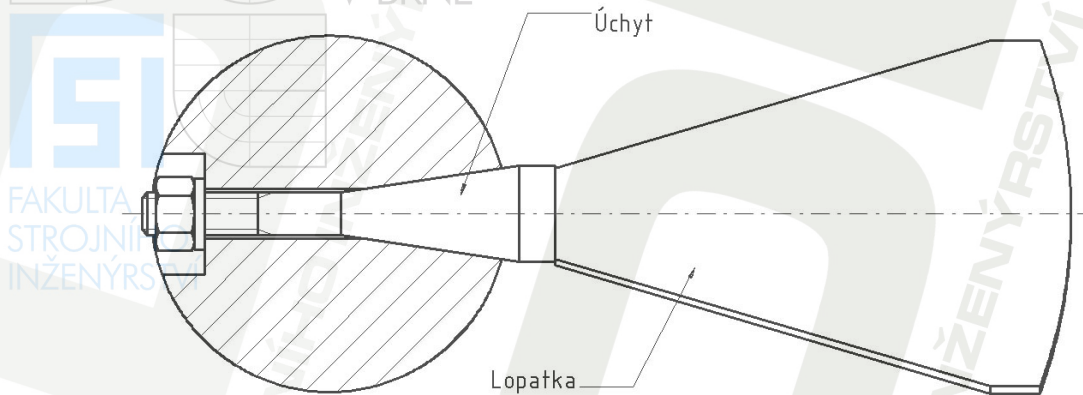
Šnek je nejdůležitější částí mísiče, jelikož nejnámenněji ovlivňuje mísení a dopravu směsi. Šnek se skládá ze šnekovice a hřídele. Šnekovice, jak vyplývá z obr. 6 níže, je pracovní část šneku, tvořena lopatkami. Lopatky jsou odkloněny od osy hřídele o úhel a tím tvoří pravé stoupání šnekovice. Tento úhel určuje směr pohybu a dopravu směsi při mísení. Celou šnekovici tvoří 17 lopatek na jednom hřídeli skloněných o úhel 35° od osy hřídele.



Obr. 6 – Šnek

Jak vidíme níže na obr. 7, lopatka je přivařena na úchyt, který má na jedné straně kuželovité zakončení a na straně druhé je zakončen závitem pro matici. Toto upevnění maticí zaručí snadnou výměnu úchytu s lopatkou při případném poškození. Úchyt lopatky je v hřídeli upevněn svěrným kuželový spoj, který po dotažení zabrání možnému nežádoucímu pootočení lopatky oproti hřídeli. Tento systém upevnění umožňuje jednoduché nastavení sklonu lopatky, jímž lze měnit výkonnost, dobu setrvání směsi v mísiči, kvalitu promísení a jiné veličiny. Dále je tento druh upevnění jednodušší (a tím pádem levnější) na výrobu, než například různé druhy tvarových styků. Mísič se tímto stává univerzálnějším při

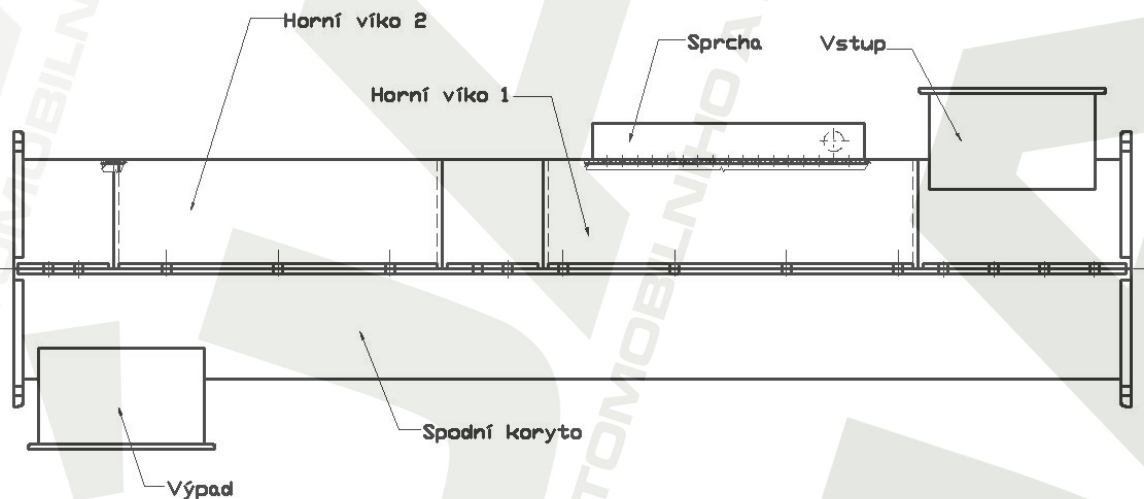
současném splnění všech zadaných požadavků, což bude mít příznivý vliv na hodnotu mísiče.



Obr. 7 – Uložení lopatky

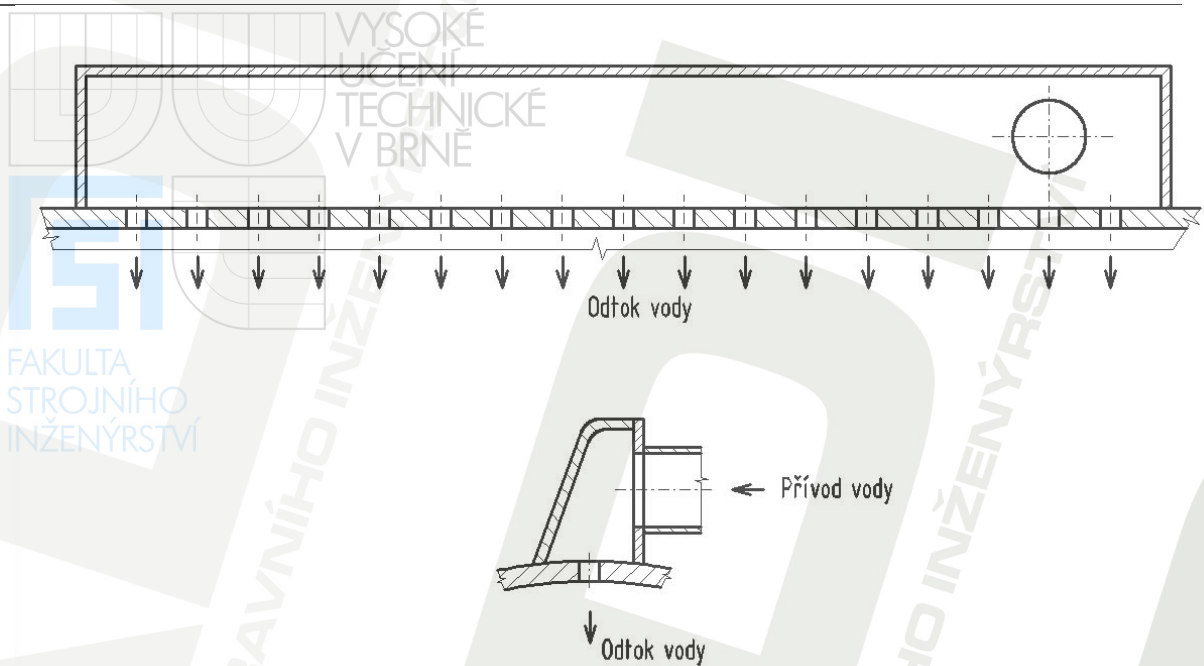
4.2.2 Koryto

Koryto je hlavní nosnou částí mísiče. Rozměry koryta závisí na velikosti šneku a také na typu míseného materiálu. Koryto je svařeno z ocelových plechů tloušťky 10 mm a přišroubováno k přednímu a zadnímu víku. S ohledem na mísený materiál je mezera mezi okraji lopatek a pláštěm koryta 10 mm.



Obr. 8 – Koryto

Koryto je tvořeno spodním korytem a krycí horní částí s dvěma horními víky. Krycí horní část se tedy při eventuálním poškození kterékoli lopatky nemusí odšroubovávat celá, postačí odšroubovat horní víka a poškozená lopátka se může vyměnit.



Obr. 9 – Sprcha

Díky požadované vlhkosti ve směsi je nezbytné, aby byla do koryta přiváděna voda. To se děje pomocí sprchy, která je vytvořena vyvrtáním děr do horního víka 1 a následným přivařením hlavní části sprchy, do které je pomocí trubek přivedena voda od čerpadla.

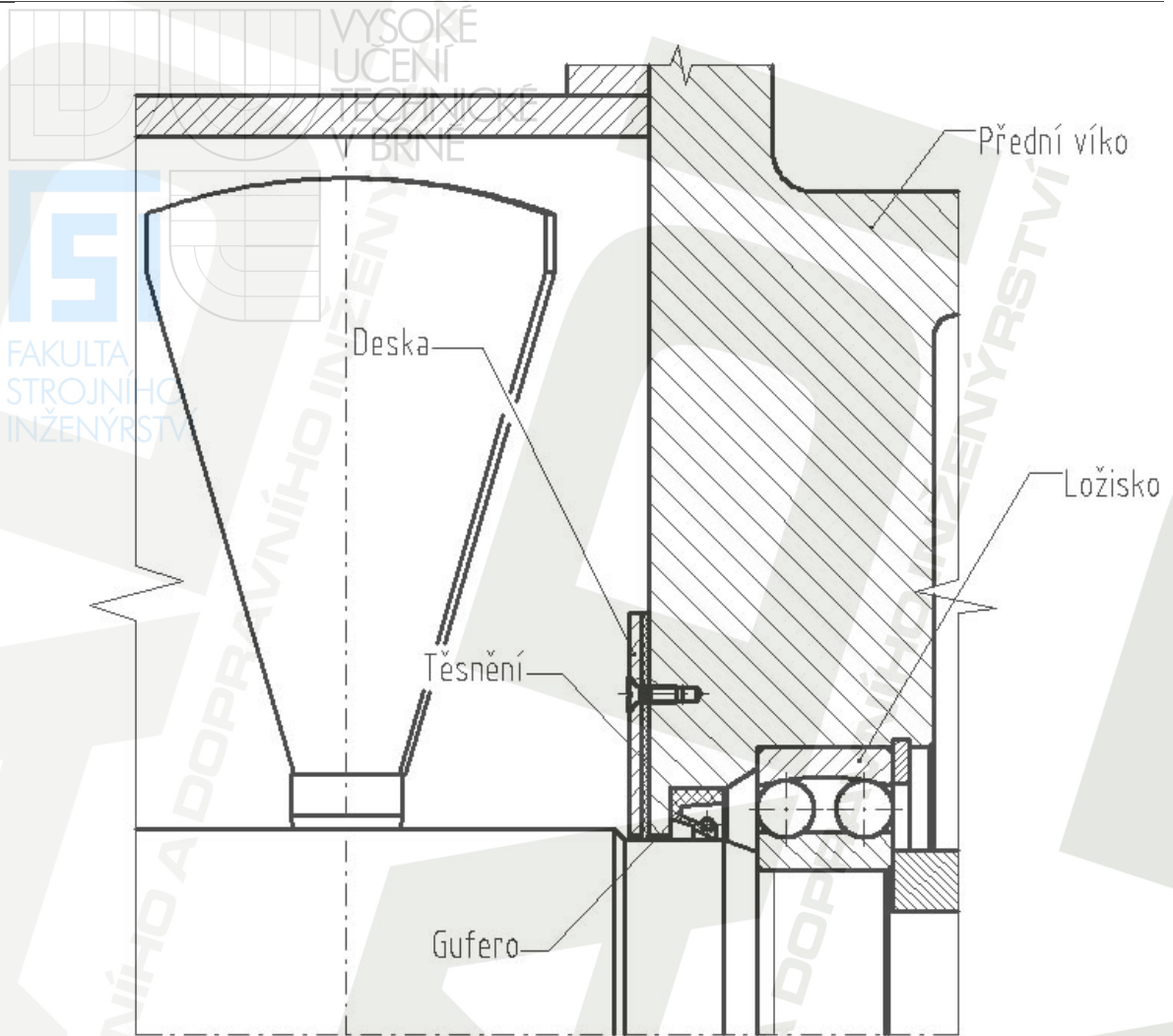
4.2.3 Přední a zadní víko

Přední a zadní víko jsou použity kvůli uložení valivých ložisek, přes které je od pohonu otáčeno oběma hřídeli. Mezi předním a zadním víkem je uloženo koryto, které je k nim přišroubováno.

Přední víko je odlitek. Tvoří část nosného členu mísiče. Na něj je přišroubován kryt soukolí, který dále částečně nese převodovku a motor. Nosnost je zaručena dvěma patkami a přišroubovaným korytem, které je zbývající nosnou částí mísiče.

Zadní víko je také odlitek. Ale oproti nosnému přednímu víku je pouze nesené.

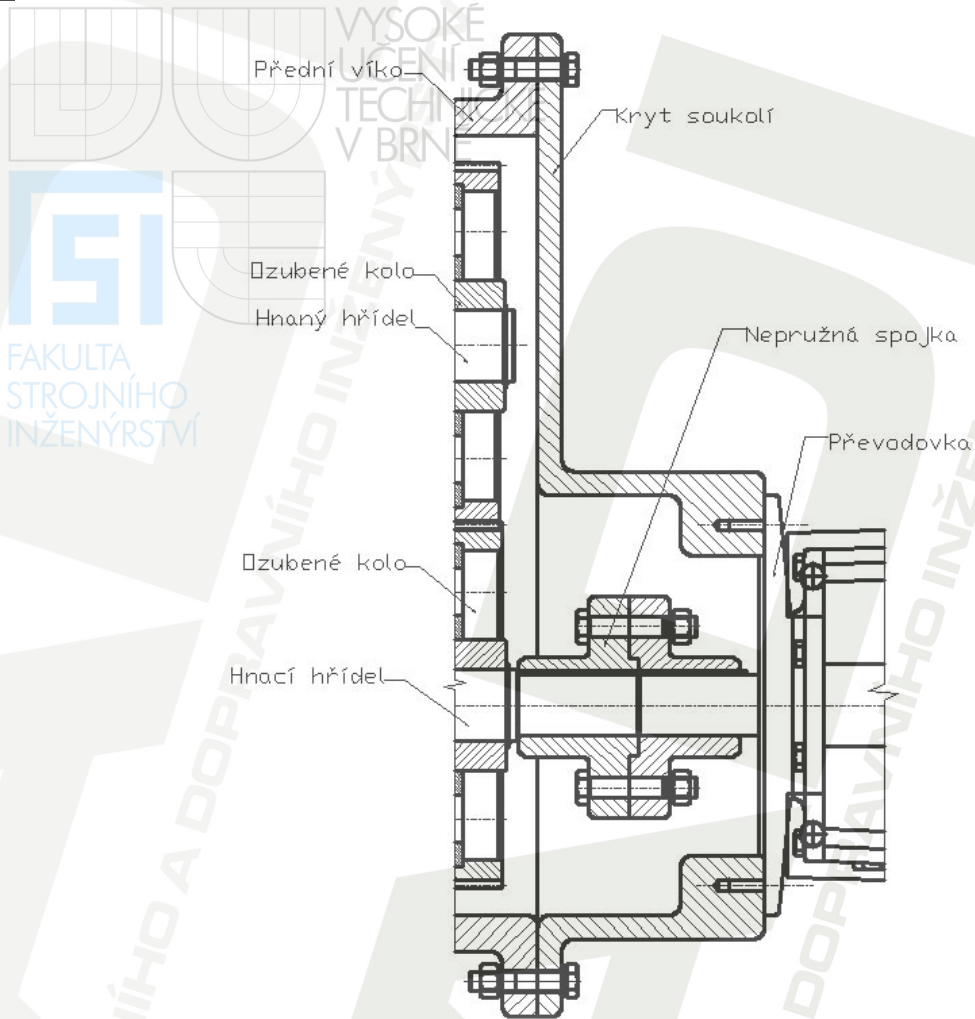
Utěsnění ložisek od mísené směsi je řešeno gufery, které jsou zasazeny přímo do předního a zadního víka. Dále je použito pryžové těsnění, které je připevněno PVC deskou pomocí zápusťných šroubů do každého víka.



Obr. 10 – Uložení hřídele v předním víku

4.2.4 Kryt soukolí

Kryt soukolí je stejně jako přední a zadní víko odlévaný. Slouží také jako kryt nepružné spojky pomocí níž je spojen hřídele od převodovky s hřídelem mísiče. Pokud je zapotřebí některé z ozubených kol vyměnit, stačí jednoduše kryt odšroubovat a soukolí je snadno přístupné.



Obr. 11 – Kryt soukolí

4.2.5 Pohon

Pohon je odvozen od přírubového motoru Siemens 132 S4, který je spojen s převodovkou STM AM 120/2. Převodovka je spojena s hřídelem pomocí nepružné spojky.

Všechny komponenty mísiče jsou zvoleny na základě následujících výpočtů mísení.

5 Výpočet parametrů dvouhřídelového kontinuálního mísiče

Zadané parametry:

Hmotnostní výkonnost mísiče:

$$Q_m = 10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

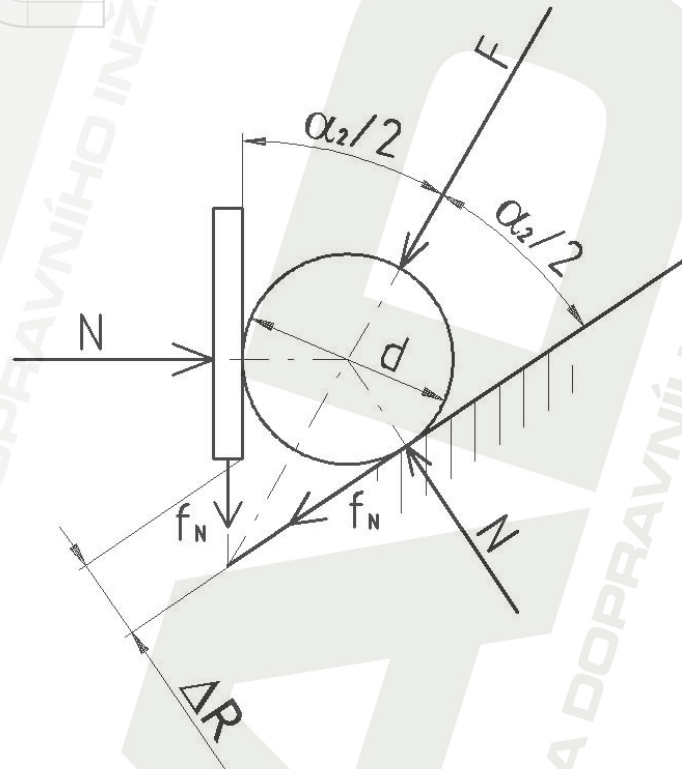
$$Q_m = 36000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Mísený materiál:

elektrárenský popílek	40%
cihlářský jíł	40%
cement	5%
vápno	5%
voda	10%

5.1 Podmínky funkce mísiče

Během práce mísiče může dojít k zaklínování minerálních částic hmoty, a také k jejich jemnému drcení, a to mezi povrchem mísicích lopatek a válcovou částí koryta mísiče a v klinovitém prostoru daném boční stěnou koryta mísiče a vnějším okrajem lopatek. Zaklínování částic lze omezit vhodnou úpravou okrajů lopatek.



Obr. 15 – Znázornění zachycení částice

Pro úhel zachycení α_2 , pod kterým je tvrdá částice uchopena lopatkou a dále přemísťována po povrchu pláště mísiče platí:

$$\alpha_2 = 2 \cdot \arctg \sqrt{\frac{R + b' \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{R - b' \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}} \quad (29)$$

α_2 ...úhel zachycení [°]

R...poloměr válcové části koryta mísiče [m]

b' ...vzdálenost částice od geometrického poloměru lopatky [m]

α ...úhel sklonu lopatky [°]

Z výše uvedeného vztahu, lze vidět že úhel zachycení α_2 je největší, pokud $b' = 0$, tedy $\alpha_2 = \arctg 1 = 45^\circ$.

Podmínka pro klínování částice mezi otáčející se lopatkou a válcovou částí koryta se stanoví z rovnováhy sil působících na částici takto (viz obr. 15):

$$-2 \cdot N \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2} + 2 \cdot N \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha_2}{2} + F = 0 \quad (30)$$

N ...síla, kterou je částice vtlačována mezi pohybující se lopatku a koryto [N]

α_2 ...úhel zachycení [°]

f ...součinitel tření částice o povrch lopatky i koryta mísiče (0,45)

F ...síla působící na částici ze strany mísené hmoty [N]

po upravení platí:

$$\alpha_2 \leq 2 \cdot \varphi + 2 \cdot \arcsin \left(\frac{F}{2 \cdot N} \cdot \cos \varphi \right) \quad (31)$$

α_2 ...úhel zachycení [°]

φ ...úhel tření [°]

F ...síla působící na částici ze strany mísené hmoty [N]

N ...síla, kterou je částice vtlačována mezi pohybující se lopatku a koryto [N]

Působení síly F na zaklínování je zanedbatelné, proto může být položeno rovno nule.

Platí tedy:

$$\text{pro } F = 0 \Rightarrow \alpha_2 \leq 2 \cdot \varphi$$

dále:

$$\varphi = \arctg(f) \quad (32)$$

$$\varphi = \arctg(0,45)$$

$$\varphi = 24^\circ 14'$$

φ ...úhel tření [°]

f ...součinitel tření částice o povrch lopatky i koryta mísiče (0,45)

z čehož vyplývá, že:

$$\alpha_2 \leq 2 \cdot \varphi \quad (33)$$

$$45^\circ \leq 2 \cdot 24^\circ 14'$$

$45^\circ \leq 48^\circ 28' \Rightarrow$ podmínka je splněna!

α_2 ... úhel zachycení [°]

φ ... úhel tření [°]

Z výše uvedených výpočtů vyplývá velikost úhlu zachycení, dále také podmínka, že je-li úhel zachycení menší než dvojnásobek úhlu tření, nedojde k zaklínění částice.

Zaklínování je také dále významně ovlivňováno velikostí mezery mezi povrchem válcové části koryta mísiče a vnějším okrajem lopatky ΔR . Pro rozměr částice d_c platí:

$$d_c > \frac{2 \cdot \Delta R}{1 + \cos \alpha_2} \quad (34)$$

d_c ... rozměr částice [m]

ΔR ... velikost mezery mezi povrchem koryta mísiče a vnějším okrajem lopatky [m]

α_2 ... úhel zachycení [°]

Předpokládáme-li jako doposud, že $F = 0$, potom platí:

$$\Delta R \cdot (f^2 + 1) > d_c > \Delta R \quad (35)$$

$$10 \cdot (0,45^2 + 1) > d_c > 10$$

$$12,025 \text{ mm} > d_c > 10 \text{ mm}$$

ΔR ... velikost mezery mezi povrchem koryta mísiče a vnějším okrajem lopatky [m]

f ... součinitel tření částice o povrch lopatky i koryta mísiče (0,45)

d_c ... rozměr částice [m]

Vztahem (35) je stanoveno rozmezí velikosti částic, které se zaklíní, a to i když na ně nepůsobí žádná síla F . Proto není vhodné mísit částice o velikosti v rozmezí

$$12,025 \text{ mm} > d_c > 10 \text{ mm} .$$

5.2 Stanovení výkonnosti mísiče

Hustoty jednotlivých materiálů mísené směsi:

Elektrárenský popílek

$$\rho_p = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Cihlářský jííl

$$\rho_j = 1850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Cement

$$\rho_c = 1200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Vápno

$$\rho_v = 1280 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Voda

$$\rho_{h_2o} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Hustota suché směsi:

$$\rho_s = \rho_p \cdot \%p + \rho_j \cdot \%j + \rho_c \cdot \%c + \rho_v \cdot \%v \quad (36)$$

$$\rho_s = 600 \cdot 0,40 + 1850 \cdot 0,40 + 1200 \cdot 0,05 + 1280 \cdot 0,05$$

$$\rho_s = 1104 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$\%p$... procentuální obsah elektrárenského popílku ve směsi [-]

ρ_p ... hustota elektrárenského popílku [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$\%j$... procentuální obsah cihlářského jílu ve směsi [-]

ρ_j ... hustota cihlářského jílu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$\%c$... procentuální obsah cementu ve směsi [-]

ρ_c ... hustota cementu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$\%v$... procentuální obsah vápna ve směsi [-]

ρ_v ... hustota vápna [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

ρ_s ... hustota suché směsi [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Hustota mokré směsi:

$$\rho_{vl} = \rho_s + \rho_{h2o} \cdot \%h2o \quad (37)$$

$$\rho_{vl} = 1104 + 1000 \cdot 0,10$$

$$\rho_{vl} = 1204 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

ρ_{vl} ... hustota mokré směsi [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

ρ_s ... hustota suché směsi [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

ρ_{h2o} ... hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

$\%h2o$... procentuální obsah vody ve směsi [-]

Objemová výkonnost:

$$Q = \frac{Q_m}{\rho_{vl}} \quad (38)$$

$$Q = \frac{36000}{1204}$$

$$Q = 29,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Q = 0,00831 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Q ... objemová výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

Q_m ...hmotnostní výkonnost [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$]

ρ_{vl} ...hustota mokré směsi [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

5.2.1 Stanovení předběžných rozměrů mísiče

Pro dobré promísení směsi je vhodné, aby byla směs promíchávána v mísiči přibližně 30 sekund. Proto je předběžně voleno:

$$s = 520 \text{ mm}$$

$$n = 40 \text{ min}^{-1}$$

$$L = 2000 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ s}$$

$$\alpha = 35^\circ$$

s...stoupání šnekovice [mm]

n...otáčky hřídele [min^{-1}]

L...délka koryta mísiče [mm]

t...doba průchodu materiálu mísičem [s]

α ...úhel naklonění lopatky k ose hřídele [$^\circ$]

5.2.2 Výpočet vnějšího průměru kružnice opsané lopatkami

Pro výpočet vnějšího průměru kružnice opsané lopatkami se vychází ze vzorce:

$$Q = 3600 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot c_h \quad (39)$$

Q...objemová výkonnost [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]

D...vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

s...stoupání šnekovice [m]

ψ ...součinitel optimálního plnění (voleno 0,45)

n...otáčky hřídele [s^{-1}]

c_h ...součinitel snižující dopravní množství (voleno 1)

Z něho vyplývá, že minimální průměr je:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot \pi \cdot \psi \cdot s \cdot n \cdot c_h}} \quad (40)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 29,9}{3600 \cdot \pi \cdot 0,45 \cdot 0,520 \cdot 0,667 \cdot 1}}$$

$$D = 260,3 \text{ mm}$$

volím $D = 420 \text{ mm}$

Q...objemová výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

D...vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

s...stoupání šnekovice [m]

ψ ...součinitel optimálního plnění (voleno 0,45)

n...otáčky hřídele [s^{-1}]

c_h ...součinitel snižující dopravní množství (voleno 1)

5.2.3 Úhel stoupání šnekovice

$$\beta = \arctg\left(\frac{s}{\pi \cdot D}\right) \quad (41)$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{0,520}{\pi \cdot 0,420}\right)$$

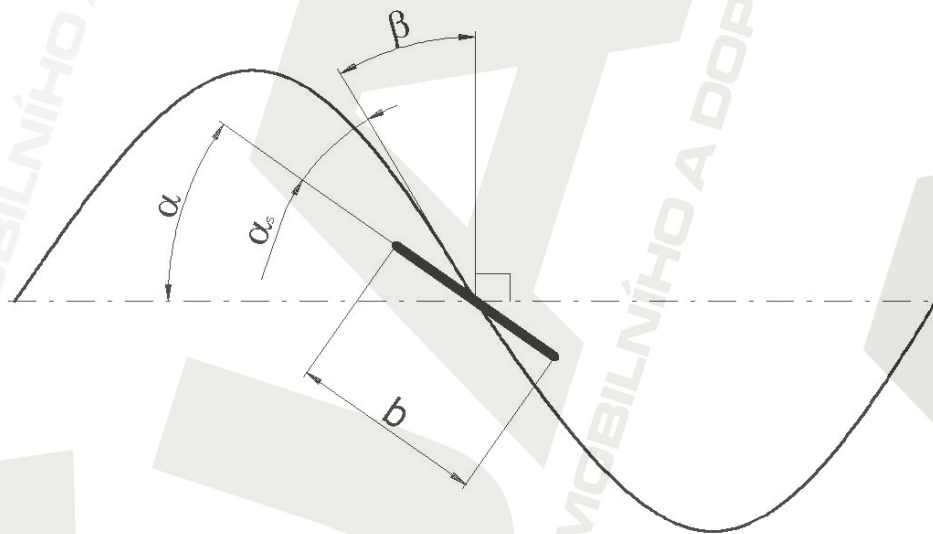
$$\beta = 21^\circ 31'$$

β ...úhel stoupání šnekovice [$^\circ$]

s...stoupání šnekovice [m]

D... vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

5.2.4 Úhel naklonění lopatky k šroubové ploše



Obr. 16 – Znázornění úhlů lopatky

$$\alpha_s = 90 - (\alpha + \beta) \quad (42)$$

$$\alpha_s = 90 - (35 + 21^\circ 31')$$

$$\alpha_s = 33^\circ 29'$$

α_s ... úhel naklonění lopatky k šroubové ploše [°]

α ... úhel naklonění lopatky k ose hřídele [°]

β ... úhel stoupání šnekovice [°]

5.2.5 Součinitel přerušení šroubovice k_p

Koeficient k_p vyjadřuje závislost přerušení plochy lopatek k ploše nepřerušovně šnekovice v rámci jednoho hřídele.

$$k_p = \frac{b \cdot \cos \alpha_s \cdot z \cdot \cos \beta}{\pi \cdot D} \quad (43)$$

$$k_p = \frac{0,120 \cdot \cos 33^\circ 29' \cdot 4 \cdot \cos 21^\circ 31'}{\pi \cdot 0,420}$$

$$k_p = 0,2823$$

k_p ...součinitel přerušení šroubovice [-]

b ...šířka lopatky (voleno 0,12 m)

α_s ... úhel naklonění lopatky k šroubové ploše [°]

z ...počet lopatek na jedno stoupání (4)

β ...úhel stoupání šnekovice [°]

D ... vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

5.2.6 Osová rychlost

S vzrůstající úhlovou rychlostí roste i výkonnost mísiče.

$$\varpi = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (44)$$

$$\varpi = 2 \cdot \pi \cdot 0,667$$

$$\varpi = 4,19 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

ϖ ...úhlová rychlost [rad.s⁻¹]

n ...otáčky hřídele [s⁻¹]

$$v_{ob} = \varpi \cdot \frac{D}{2} \quad (45)$$

$$v_{ob} = 4,19 \cdot \frac{0,420}{2}$$

$$v_{ob} = 0,880 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

v_{ob} ...obvodová rychlost [m.s⁻¹]

ϖ ...úhlová rychlost [rad.s⁻¹]

D... vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

Osová rychlost pohybu materiálu v_{os} závisí na obvodové rychlosti lopatek, jejich tvaru a nastavení. S rostoucí rychlostí postupu materiálu se zkracuje doba míchání směsi, což může ovlivnit kvalitu míchacího procesu.

$$v_{os} = k_v \cdot k_p \cdot v_{ob} \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (46)$$

$$v_{os} = 0,75 \cdot 0,2823 \cdot 0,880 \cdot \operatorname{tg} 21^\circ 31'$$

$$v_{os} = 0,073 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

v_{os} ... osová rychlost pohybu materiálu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

k_v ...součinitel vracení se směsí (0,68-0,75)

k_p ...součinitel přerušení šroubovice [-]

v_{ob} ...obvodová rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

β ...úhel stoupání šnekovice [°]

5.2.7 Plocha příčného řezu toku materiálu v mísiči

$$S_m = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (47)$$

$$S_m = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,420}{2}\right)^2$$

$$S_m = 0,208 \text{ m}^2$$

S_m ...plocha příčného řezu toku materiálu [m^2]

D... vnější průměr kružnice opsané lopatkami [m]

5.2.8 Skutečná výkonnost mísiče

$$Q_s = 3600 \cdot S_m \cdot v_{os} \cdot k_n \quad (48)$$

$$Q_s = 3600 \cdot 0,208 \cdot 0,073 \cdot 0,55$$

$$Q_s = 30,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \approx 29,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \quad Q_s \approx Q$$

Q_s ...skutečná výkonnost mísiče [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

S_m ...plocha příčného řezu toku materiálu [m^2]

v_{os} ... osová rychlost pohybu materiálu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

k_n ...součinitel naplnění mísiče (0,5-0,6)

5.2.9 Kontrola vypočtených hodnot

$$t = \frac{L}{v_{os}} \quad (49)$$

$$t = \frac{2}{0,073}$$

$$t = 27,4 \text{ s}$$

t...doba průchodu materiálu mísičem [s]

L...délka koryta mísiče [m]

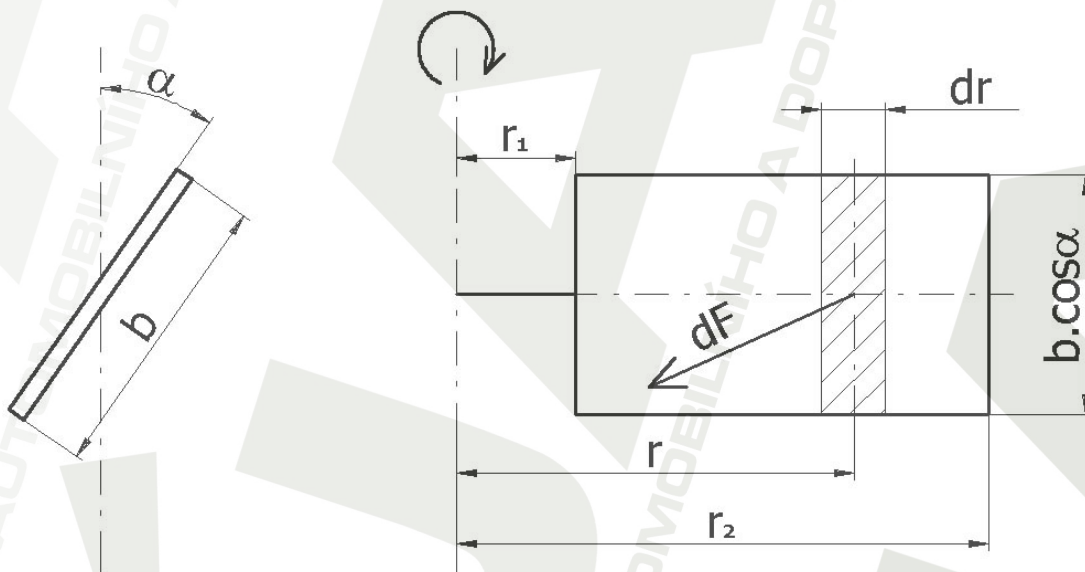
v_{os} ... osová rychlost pohybu materiálu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Čas 27 sekund vyhovuje požadavku na dobré promísení směsi v mísiči, při zachování požadované výkonnosti mísiče.

Výkonnost mísiče a dobu průchodu materiálu mísičem jde obecně dále ovlivňovat změnou úhlu naklonění lopatek vzhledem k ose hřídele, změnou otáček mísiče, popřípadě použitím lopatek s jinou šířkou. Pro tuto diplomovou práci je uvažováno pouze s nastavováním úhlu naklonění lopatek vzhledem k ose hřídele. Otáčky hřídele a šířka lopatek jsou konstantní.

5.3 Stanovení příkonu pohonu mísiče

5.3.1 Výpočet momentu potřebného pro otáčení lopatek



Obr. 17 – Znáznornění momentu potřebného na otáčení lopatek

$$dF = k_r \cdot dS = k_r \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot dr \quad (50)$$

$$M = \int_{r_1}^{r_2} k_r \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot r \cdot dr \quad (51)$$

$$M = \frac{k_r \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot (r_2^2 - r_1^2)}{2} \quad (52)$$

$$M = \frac{20000 \cdot 0,12 \cdot \cos 35 \cdot (0,21^2 - 0,05^2)}{2}$$

$$M = 40,89 \text{ Nm}$$

M...moment potřebný pro otáčení lopatek [N.m]

k_r ...měrný koeficient odporu proti pohybu lopatek ve směsi (pro vlhčené hliněné materiály 20000-30000 N.m⁻²)

b...šířka lopatky [m]

α ...úhel naklonění lopatky k ose hřídele [°]

r_1, r_2 ...poloměry vnitřních a vnějších hran lopatek (0,05m; 0,21m)

5.3.2 Příkon pro otáčení hřídele

$$P_{ot} = \frac{M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot z_c \cdot k_n}{1000} \quad (53)$$

$$P_{ot} = \frac{40,89 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,667 \cdot 34 \cdot 0,55}{1000}$$

$$P_{ot} = 3,2 \text{ kW}$$

P_{ot} ...příkon pro otáčení hřídele [kW]

M...moment potřebný pro otáčení lopatek [N.m]

n...otáčky hřídele [s⁻¹]

z_c ...celkový počet lopatek na obou hřídelích (34)

k_n ...součinitel naplnění mísiče (0,5-0,6)

5.3.3 Příkon pro posuv materiálu

$$P_p = \frac{\mu \cdot Q_s \cdot \rho_{vl} \cdot L \cdot g}{3,6 \cdot 10^6} \quad (54)$$

$$P_p = \frac{4 \cdot 30,06 \cdot 1204 \cdot 2 \cdot 9,81}{3,6 \cdot 10^6}$$

$$P_p = 0,79 \text{ kW}$$

P_p ...příkon pro posuv materiálu [kW]

μ ...koeficient odporu proti pohybu (pro hliněné materiály 4-5,5)

Q_s ...skutečná výkonnost mísiče [m³.h⁻¹]

ρ_{vl} ...hustota mokré směsi [kg.m⁻³]

L...délka koryta mísiče [m]

g...gravitační zrychlení (9,81 m.s⁻²)

5.3.4 Příkon pohonu mísiče

$$P = \frac{P_{ot} + P_p}{\eta_p} \quad (55)$$

$$P = \frac{3,2 + 0,79}{0,86}$$

$$P = 4,64 \text{ kW}$$

P...příkon pohonu mísiče [kW]

P_{ot} ...příkon pro otáčení hřídele [kW]

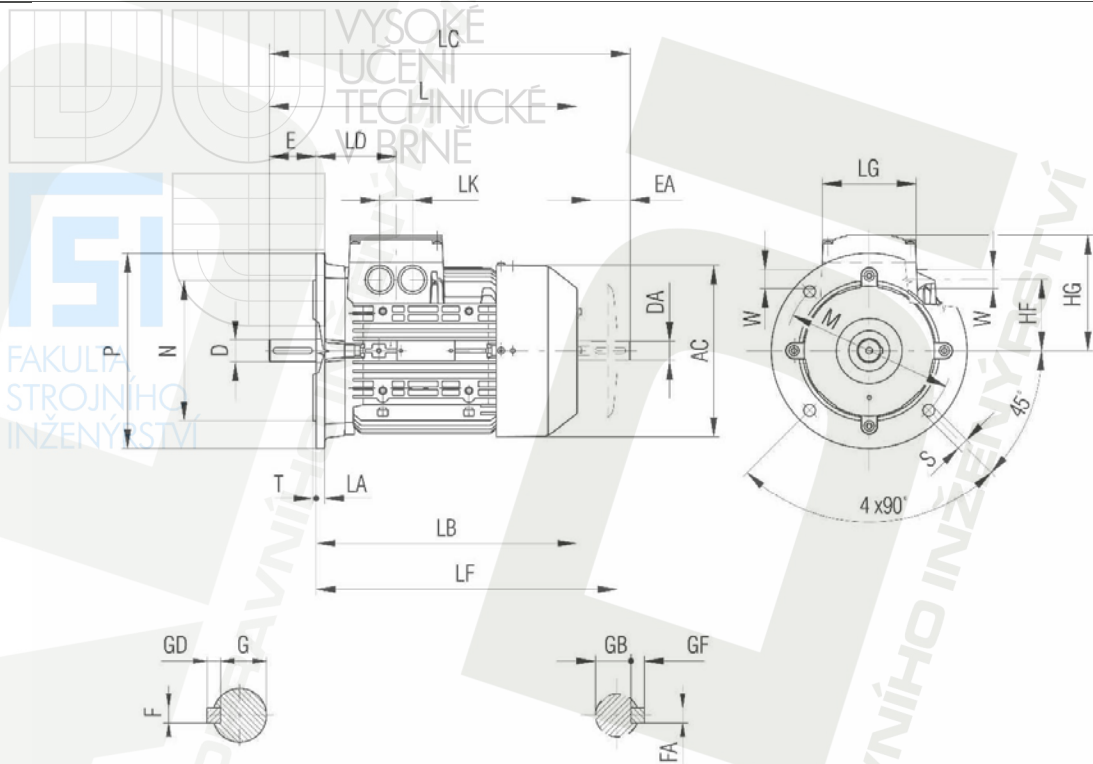
P_p ...příkon pro posuv materiálu [kW]

η_p ...účinnost převodovky (0,86)

5.4 Volba motoru a převodovky

Na základě vypočtených hodnot je zvolen motor Siemens 132 S4 s těmito parametry:

výkon motoru P...	5,5 kW
otáčky motoru n_1 ...	1440 min^{-1}
kroučící moment na výstupu z motoru M_{k1} ...	36,1 N.m
hmotnost motoru m_m ...	31 kg

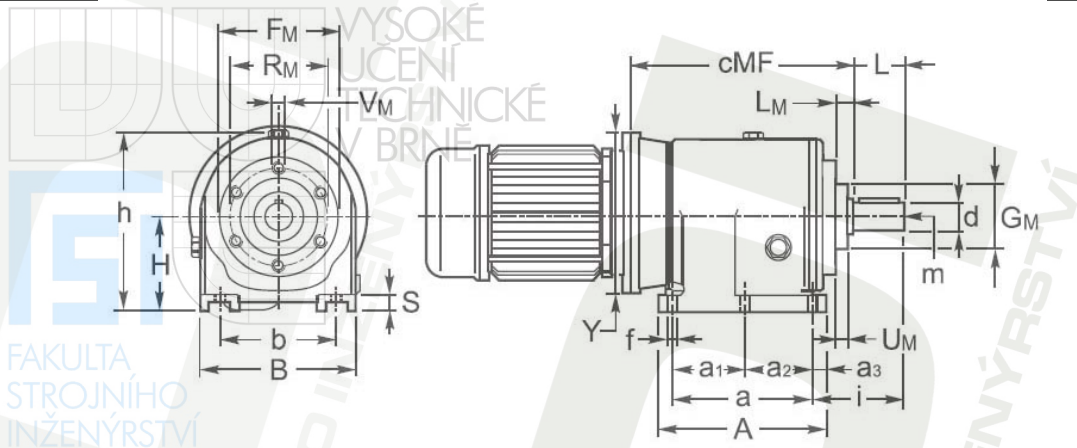


Velikost	Velikost přřruby	AC	HF	HG	L	LA	LB	LC	LD	LF	LG	LK	M	N
132S	FF265	259	107	167	454	12	374	552	128,5	426	140	42	265	230
Velikost	P	S	T	W	D	DA	E	EA	F	FA	G	GB	GD	GF
132S	300	14,5	4	32,3	38	38	80	80	10	10	33	33	8	8

Obr. 18 – Rozměry motoru Siemens 132 S4

dále volím převodovku STM AM 120/2 s těmito parametry:

výstupní otáčky n_2 ...	39 min^{-1}
převodový poměr i_r ...	37
výstupní kroutící moment M_{k2} (dle výrobce)...	1282 N.m
průměr výstupní hřídele d_v ...	60 mm
hmotnost převodovky m_p ...	11 kg



AM AC AR	a	a ₁	a ₂	a ₃	A	b	B	cRP	d h6	d ₁ j6	f	h	H	i	L	L ₁	LRP	m	m ₁	S
120	310	—	—	27,5	365	250	350	460	60	38	23	415	225	160	120	80	660	M12	M10	45

Obr. 19 – Rozměry převodovky STM AM 120/2

5.5 Volba čerpadla

Výkonnost dopravované vody:

$$Q_v = Q \cdot \%h2o$$

$$Q_v = 29,9 \cdot 0,1$$

$$Q_v = 2,99 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 0,83 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

(56)

Q_v ...výkonnost dopravované vody [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

Q ...výkonnost mísiče [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]

$\%h2o$... procentuální obsah vody ve směsi [-]

Na základě vypočtených hodnot je voleno například čerpadlo 32-SVA-2⁰ firmy Sigma Pumpy Hranice, s.r.o. s parametry:

$$Q_c = 0,6 - 1,33 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

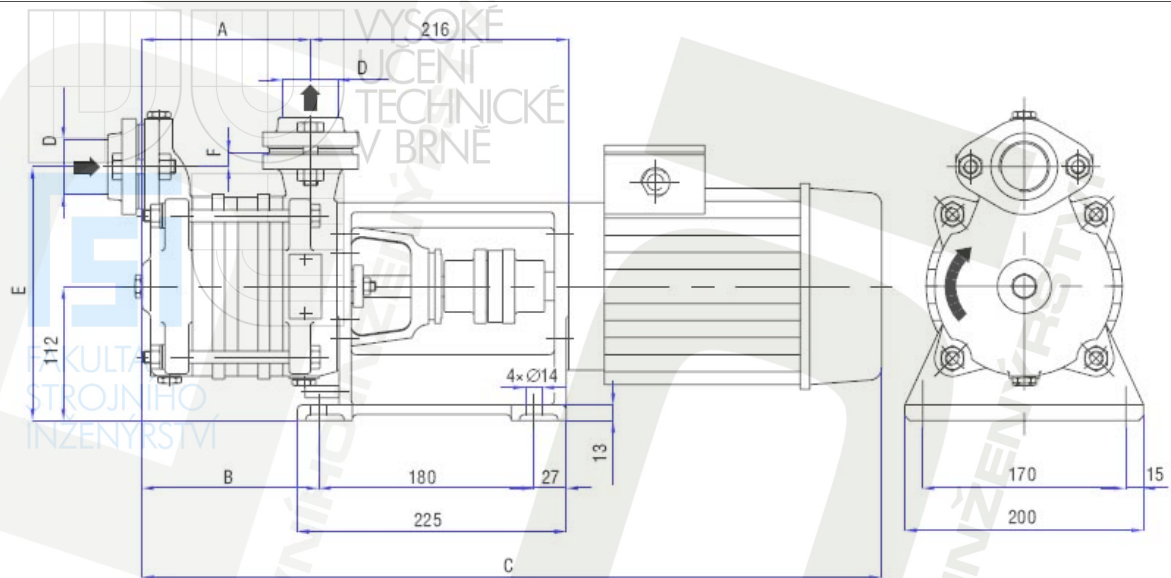
$$P_c = 2,2 \text{ kW}$$

$$m_{\text{cer}} = 17,5 \text{ kg}$$

Q_c ...průtok čerpadla

P_c ...výkon motoru čerpadla

m_{cer} ...hmotnost čerpadla



Čerpadlo	A	B	C	D	E	F
32-SVA-2 ⁰	141	156	670	G1 1/4"	212	12

Obr. 20 – Rozměry čerpadla 32-SVA-2⁰

5.6 Výpočet lopatky

5.6.1 Úchyt lopatky

Úchyt lopatky je vyroben ze svařitelné oceli 11 373 a v hřídeli je uchycen kuželovým samosvorným svěrným spojem. Kužel má kuželovitost 3:10 tedy vrcholový úhel $\alpha_k = 17^\circ 03' 42''$ s uložení H11/h11.

Střední průměr kužele:

$$D_{ks} = \frac{D_k + d_k}{2} \quad (57)$$

$$D_{ks} = \frac{0,026 + 0,014}{2}$$

$$D_{ks} = 0,02 \text{ m}$$

D_{ks} ...střední průměr kužele [m]

D_k ...největší průměr kužele [m]

d_k ...nejmenší průměr kužele [m]

Platí, že potřebný tlak ve spáře je:

$$p_k = \frac{2 \cdot k_s \cdot M}{\pi \cdot D_{ks}^2 \cdot l_k \cdot v} \quad (58)$$

$$p_k = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 40,89}{\pi \cdot 0,02^2 \cdot 0,04 \cdot 0,15}$$

$$p_k = 16,3 \text{ MPa}$$

p_k ...tlak ve spáře [Pa]

k_s ...bezpečnost proti skluzu (1,5)

M ...moment potřebný pro otáčení lopatek [N.m]

D_{ks} ...střední průměr kužele [m]

l_k ...délka kužele (0,40 m)

v ...součinitel sevření (0,15)

Potřebná osová lisovací síla:

$$F_{ua} = \pi \cdot D_{ks} \cdot l_k \cdot p_k \cdot \text{tg} \left(\frac{\alpha_k}{2} + \varphi_t \right) \quad (59)$$

$$F_{ua} = \pi \cdot 0,02 \cdot 0,04 \cdot 16,3 \cdot 10^6 \cdot \text{tg}(8^\circ 31' + 8^\circ 32')$$

$$F_{ua} = 12563 \text{ N} = 12,6 \text{ kN}$$

F_{ua} ...osová lisovací síla [N]

D_{ks} ...střední průměr kužele [m]

l_k ...délka kužele [m]

p_k ...tlak ve spáře [Pa]

α_k ...vrcholový úhel kužele [°]

φ_t ...třecí úhel ($\varphi_t = \arctg v$) [°]

Síla pro uvolnění spoje:

$$F_{ua1} = \pi \cdot D_{ks} \cdot l_k \cdot p_k \cdot \text{tg} \left(\varphi_t - \frac{\alpha_k}{2} \right) \quad (60)$$

$$F_{ua1} = \pi \cdot 0,02 \cdot 0,04 \cdot 16,3 \cdot 10^6 \cdot \text{tg}(8^\circ 32' - 8^\circ 31')$$

$$F_{ua1} = 11,92 \text{ N}$$

F_{ua1} ...síla pro uvolnění spoje [N]

D_{ks} ...střední průměr kužele [m]

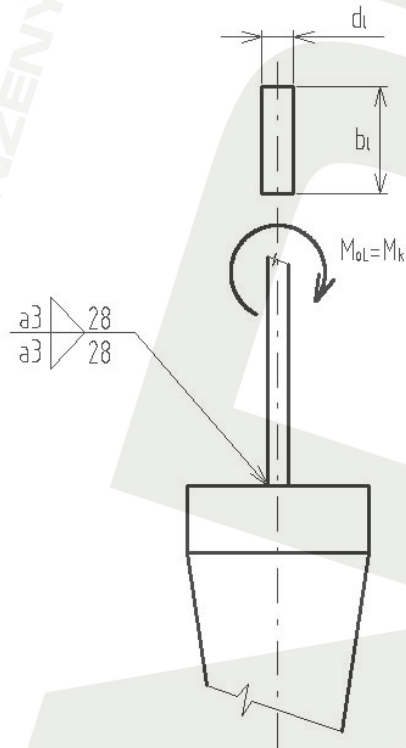
l_k ...délka kužele [m]

p_k ...tlak ve spáře [Pa]

α_k ...vrcholový úhel kužele [°]

φ_t ... třecí úhel ($\varphi_t = \arctg v$) [°]

5.6.2 Výpočet svaru lopatky



Obr. 21 – Svar lopatky a úchytu

Smykové napětí od ohybového momentu:

$$\tau' = \frac{3 \cdot M}{a \cdot l^2} \tag{61}$$

$$\tau' = \frac{3 \cdot 40890}{3 \cdot 28^2}$$

$$\tau' = 52,2 \text{ MPa}$$

τ' ...smykové napětí od ohybového momentu [MPa]

M...moment potřebný pro otáčení lopatek [N.mm]

a...jmenovitá tloušťka svaru [voleno 3mm]

l...délka svaru [mm]

Pro smykové napětí platí podmínka : $\tau' \leq \tau_{dov}$ (62)

$$\tau_{dov} = 0,75 \cdot \sigma_D \quad (63)$$

$$\tau_{dov} = 0,75 \cdot 95$$

$$\tau_{dov} = 71,25 \text{ MPa}$$

platí $\tau' \leq \tau_{dov}$, tedy podmínka (62) je splněna

τ_{dov} ...dovolené smykové napětí pro ocel 11 373 [MPa]

σ_D ...dovolené napětí v tahu oceli 11 373 [MPa]

5.6.3 Pevnostní výpočet úchyty a lopatky

5.6.3.1 Kontrola úchyty na otláčení

Otláčení od ohybu:

$$M_{ol} = F_l \cdot r_t \quad \Rightarrow \quad F_l = \frac{M_{ol}}{r_t} \quad (64)$$

$$F_l = \frac{40,890}{0,1446}$$

$$F_l = 283 \text{ N}$$

M_{ol} ...ohybový moment působící v těžišti lopatky [N.m]

F_l ... síla působící v těžišti lopatky [N]

r_t ...vzdálenost od osy hřídele k těžišti lopatky (vypočteno 0,1446 m)

$$p_{ol} = \frac{F_l \cdot \left(x_l + \frac{D_h}{2}\right) \cdot 6}{d_u \cdot D_h^2} \quad (65)$$

$$p_{ol} = \frac{283 \cdot \left(0,094 + \frac{0,1}{2}\right) \cdot 6}{0,019 \cdot 0,1^2}$$

$$p_{ol} = 1,3 \text{ MPa}$$

p_{ol} ...otlačení od ohybu [Pa]

F_l ... síla působící v těžišti lopatky [N]

x_l ...vzdálenost těžiště od okraje hřídele (vypočteno 0,094 m)

D_h ...průměr hřídele (0,1 m)

d_u ...střední průměr úchyty (vypočteno 0,019 m)

Otláčení od tlaku:

$$p_{tl} = \frac{F_l}{d_u \cdot D_h} \quad (66)$$

$$p_{tl} = \frac{283}{0,019 \cdot 0,1}$$

$$p_{tl} = 0,15 \text{ MPa}$$

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

p_{tl} ...otlačení od tlaku [Pa]

F_1 ... síla působící v těžišti lopatky [N]

d_u ...střední průměr úchyty (vypočteno 0,019 m)

D_h ...průměr hřídele (0,1 m)

Výsledné otlačení:

$$p_{lmax} = p_{ol} + p_{tl} \leq p_d$$

$$p_{lmax} = 1,3 + 0,15$$

$$p_{lmax} = 1,45 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa}$$

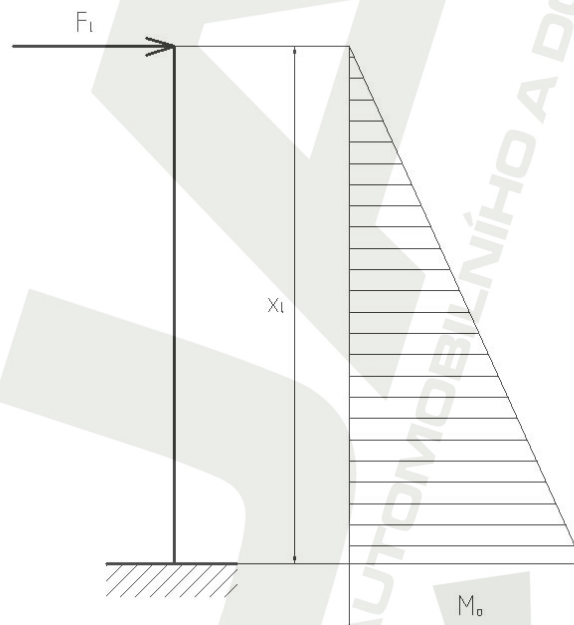
(67)

p_{lmax} ...výsledné otlačení [MPa]

p_{ol} ...otlačení od ohybu [MPa]

p_{tl} ...otlačení od tlaku [MPa]

5.6.3.2 Kontrola na ohyb



Obr. 22 – Průběh ohybového momentu působící na lopatku

Modul průřezu úchyty v místě největšího momentu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{um}^3}{32} \quad (68)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 26^3}{32}$$

$$W_o = 1726 \text{ mm}^3$$

W_o ...modul průřezu úchyty v místě největšího momentu [mm^3]

d_{um} ...průměr úchyty v místě největšího momentu (26 mm)

Výsledné napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M}{W_o} \quad (69)$$

$$\sigma_o = \frac{40890}{1726}$$

$$\sigma_o = 23,7 \text{ MPa}$$

σ_o ...výsledné napětí v ohybu [MPa]

M ...moment potřebný pro otáčení lopatek [N.mm]

W_o ...modul průřezu úchyty v místě největšího momentu [mm^3]

5.6.3.3 Bezpečnost vůči únavovému lomu v ohybu

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{Co}}{\sigma_o} \quad (70)$$

$$k_\sigma = \frac{140}{23,7}$$

$$k_\sigma = 5,9 \quad \Rightarrow \quad 1,5 < k_\sigma \text{ splněno}$$

k_σ ...bezpečnost vůči únavovému lomu v ohybu [-]

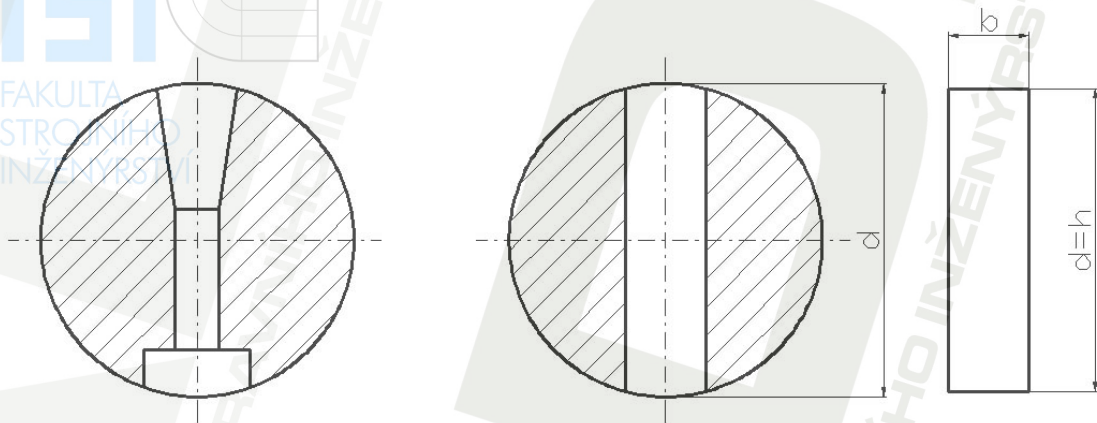
σ_{Co} ...mez únavy v ohybu pro ocel 11 373 (140 MPa)

σ_o ...výsledné napětí v ohybu [MPa]

5.7 Pevnostní výpočet hřídele

5.7.1 Kontrola na krut

5.7.1.1 Napětí v krutu



Obr. 23 – Řez hřídelem a zjednodušený řez hřídelem

Modul průřezu v krutu: - pro zjednodušení se použije upravený průřez hřídelem.

Pro kruh platí:

$$W_{kk} = \frac{\pi \cdot D_h^3}{16} \quad (71)$$

$$W_{kk} = \frac{\pi \cdot 100^3}{16}$$

$$W_{kk} = 196350 \text{ mm}^3$$

W_{kk} ...modul průřezu v krutu pro kruh [mm^3]

D_h ...průměr hřídele (100 mm)

Pro obdelník platí:

$$W_{ko} = a_o \cdot D_h \cdot b_d^2 \quad (72)$$

$$W_{ko} = 0,267 \cdot 100 \cdot 34^2$$

$$W_{ko} = 30865 \text{ mm}^3$$

W_{ko} ...modul průřezu v krutu pro obdelník [mm^3]

a_o ...součinitel poměru stran obdelníku, závislý na poměru stran h/b (0,267)

D_h ...průměr hřídele (100 mm)

b_d ...průměr díry (34 mm)

Celkový modul průřezu v krutu:

$$W_k = W_{kk} - W_{ko} \quad (73)$$

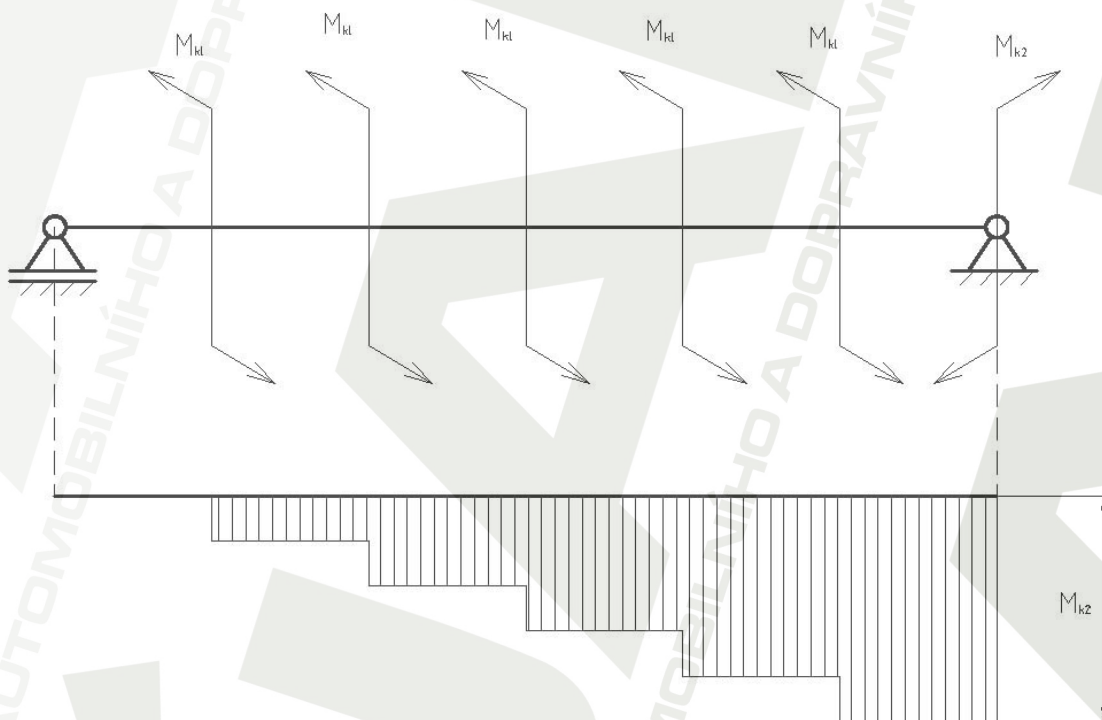
$$W_k = 196350 - 30865$$

$$W_k = 165485 \text{ mm}^3$$

W_k ... celkový modul průřezu v krutu [mm^3]

W_{kk} ...modul průřezu v krutu pro kruh [mm^3]

W_{ko} ...modul průřezu v krutu pro obdelník [mm^3]



Obr. 24 – Průběh kroutícího momentu na hřídeli

Namáhání krutem:

$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_k} \quad (74)$$

$$\tau_k = \frac{1282000}{165485}$$

$$\tau_k = 7,7 \text{ MPa}$$

τ_k ... napětí v krutu [MPa]

M_{k2} ... výstupní kroutící moment z převodovky [N.mm]

W_k ... celkový modul průřezu v krutu [mm³]

5.7.1.2 Bezpečnost vůči únavovému lomu v krutu

Pro míjivý krut platí:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_k}{2} \quad (75)$$

$$\tau_a = \frac{7,7}{2}$$

$$\tau_a = \tau_m = 3,85 \text{ MPa}$$

τ_a ... amplituda napětí [MPa]

τ_m ... střední hodnota napětí [MPa]

τ_k ... napětí v krutu [MPa]

$$k_\tau = \frac{\tau_{Ck}}{\frac{\beta_\tau}{v_\tau \cdot \varepsilon_p} \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_m} \quad (76)$$

$$k_\tau = \frac{170}{\frac{1,8}{0,72 \cdot 0,78} \cdot 3,85 + 0,02 \cdot 3,85}$$

$$k_\tau = 13,7$$

k_τ ... bezpečnost vůči únavovému lomu v krutu [-]

τ_{Ck} ... mez únavy v krutu (170 MPa) pro ocel 11 600

R_{es} ... mez kluzu ve smyku (210 MPa) pro ocel 11600

ψ_τ ... součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu (0,02) pro ocel 11600

β_τ ... vrubový součinitel (1,80) pro ocel 11 600

ε_p ... součinitel jakosti povrchu (0,78) pro ocel 11 600

v_τ ... součinitel velikosti (0,72) pro ocel 11 600

5.7.1.3 Bezpečnost proti plastickým deformacím

Při míjivém krutu je třeba ještě kontrolovat bezpečnost proti plastickým deformacím.

$$k'_\tau = \frac{R_{es}}{\tau_k} \quad (77)$$

$$k'_\tau = \frac{210}{7,7}$$

$$k'_\tau = 27,3$$

k'_τ ... bezpečnost proti plastickým deformacím [-]

R_{es} ... mez kluzu ve smyku (210 MPa) pro ocel 11600

τ_k ... napětí v krutu [MPa]

5.7.2 Kontrola na ohyb

5.7.2.1 Ohybový moment od hmotnosti

$$m_c = m_h + m_l \quad (78)$$

$$m_c = 156,6 + 4,55$$

$$m_c = 161,15 \text{ kg}$$

m_c ... celková hmotnost [kg]

m_h ... hmotnost hřídele (vypočteno 156,6 kg)

m_l ... hmotnost lopatek (vypočteno 4,55 kg)

Spojité zatížení od hmotnosti hřídele a lopatek:

$$q_h = \frac{m_c \cdot g}{L_p} \quad (79)$$

$$q_h = \frac{161,15 \cdot 9,81}{2,305}$$

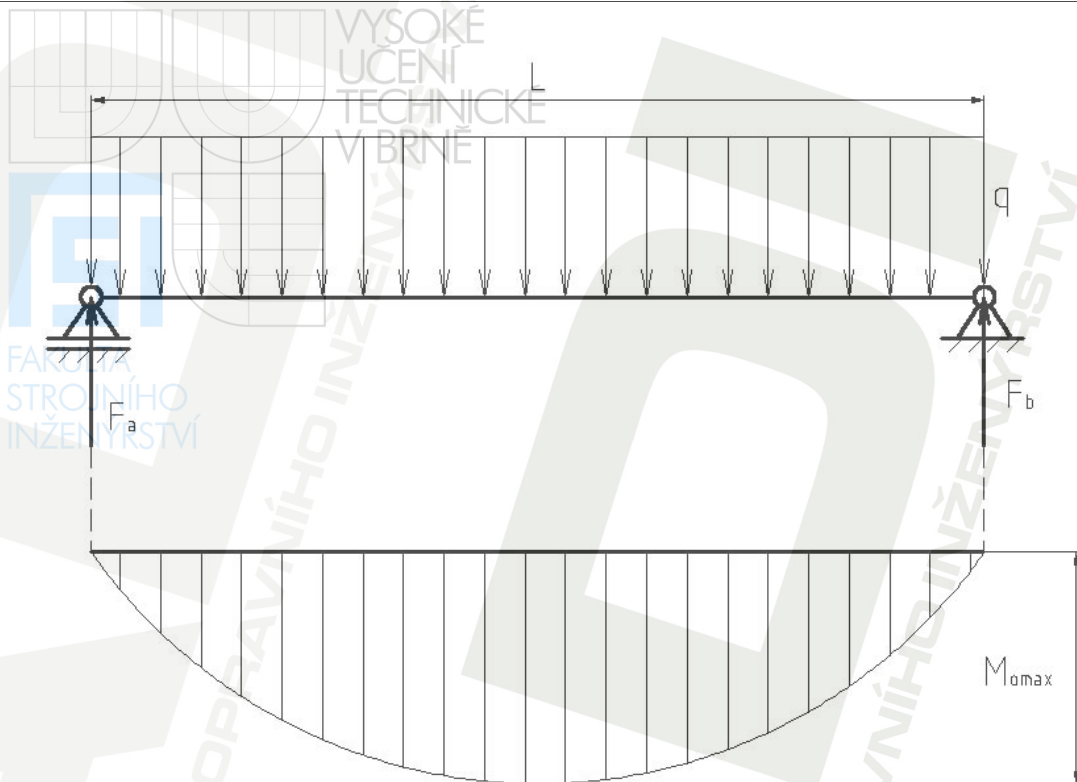
$$q_h = 686 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

q_h ... spojité zatížení od hmotnosti hřídele a lopatek [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]

m_c ... celková hmotnost [kg]

g ... gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

L_p ... délka hřídele od jedné podpory k druhé podpoře (2,305 m)



Obr. 25 – Průběh ohybového momentu od hmotnosti na hřídeli

Reakce v podporách:

$$\sum M_A = 0: \quad q_h \cdot L_p \cdot \frac{L_p}{2} - F_b \cdot L_p = 0 \Rightarrow F_b = \frac{q_h \cdot L_p}{2} \quad (80)$$

$$F_b = \frac{686 \cdot 2,305}{2}$$

$$F_b = 791 \text{ N}$$

$$F_a = q \cdot L_p - F_b$$

$$F_a = 686 \cdot 2,305 - 791$$

$$F_a = 791 \text{ N}$$

F_a, F_b ...síly v podporách [N]

q_h ... spojité zatížení od hmotnosti hřídele a lopatek [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]

L_p ...délka hřídele od jedné podpory k druhé podpoře [m]

Obecný ohybový moment:

$$M_{ox} = F_b \cdot x - \frac{q_h \cdot x}{2} \cdot x = \frac{q_h \cdot L_p \cdot x}{2} - \frac{q_h \cdot x^2}{2} \quad (81)$$

M_{ox} ...obecný ohybový moment [N.m]

F_b ...síla v podpoře B [N]

q_h ... spojité zatížení od hmotnosti hřídele a lopatek [N.m⁻¹]

x ...obecná vzdálenost [m]

L_p ...délka hřídele od jedné podpory k druhé podpoře [m]

5.7.2.2 Ohybový moment od hmotnosti v kritickém místě

Maximální ohybový moment:

Působíště maximálního ohybového momentu lze zjistit, pokud se zderivuje vztah pro obecný ohybový moment podle x a pak se položí rovný nule:

$$\frac{dM_{ox}}{dx} = \frac{q_h \cdot L_p}{2} - q_h \cdot x = 0 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{L_p}{2} \quad (82)$$

Tedy platí:

$$M_{o\max} = \frac{q_h \cdot L_p \cdot \frac{L_p}{2}}{2} - \frac{q_h \cdot \left(\frac{L_p}{2}\right)^2}{2} \quad (83)$$

$$M_{o\max} = \frac{686 \cdot 2,305 \cdot \frac{2,305}{2}}{2} - \frac{686 \cdot \left(\frac{2,305}{2}\right)^2}{2}$$

$$M_{o\max} = 456 \text{ N} \cdot \text{m}$$

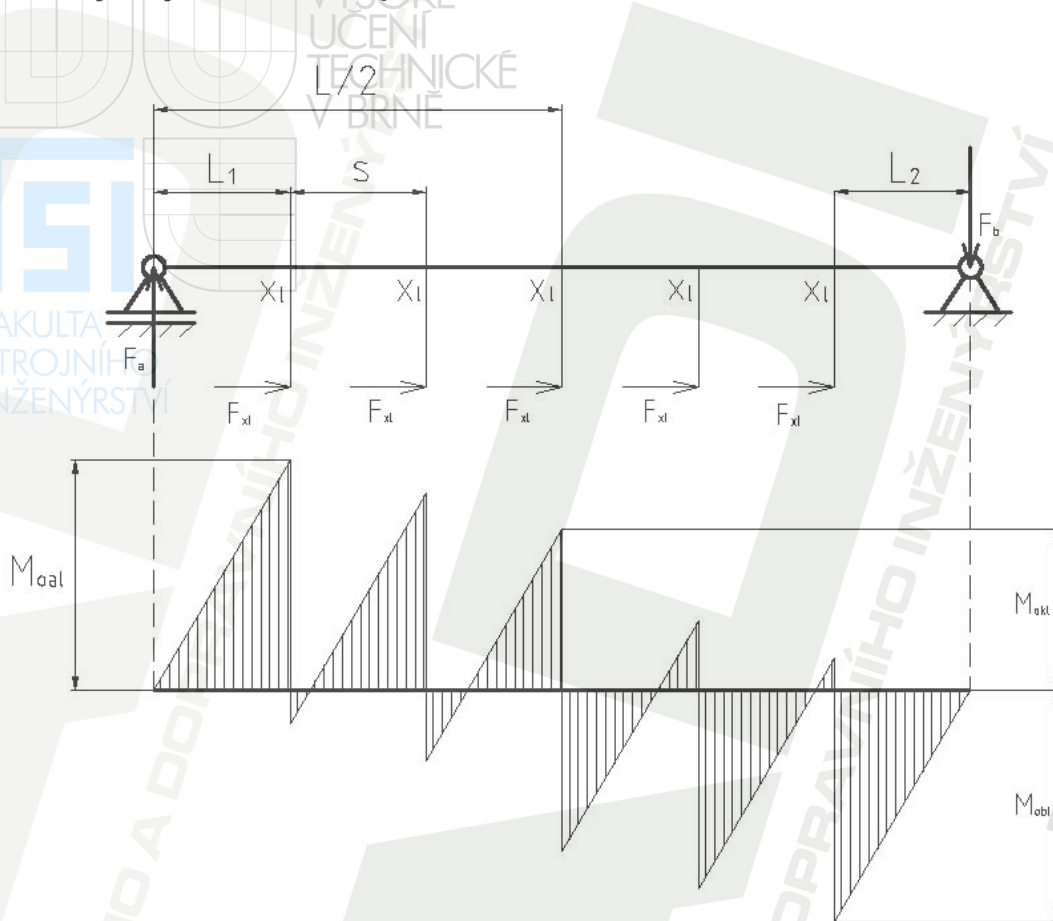
$M_{o\max}$...maximální ohybový moment [N.m]

q_h ... spojité zatížení od hmotnosti hřídele a lopatek [N.m⁻¹]

L_p ...délka hřídele od jedné podpory k druhé podpoře [m]

Kritické místo na hřídeli je v místě nejbližší působení maximálního ohybového momentu, kde je zároveň hřídel zeslaben o otvor pro uchycení lopatky. Toto místo připadá přímo na místo působení maximálního ohybového momentu.

5.7.2.3 Ohybový moment od lopatek



Obr. 26 – Průběh ohybového momentu od lopatek na hřídeli

$$F_x = \frac{F_y}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{M}{x_l \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (84)$$

$$F_x = \frac{40,89}{0,094 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ}$$

$$F_x = 621 \text{ N}$$

F_x ... síla ohýbající lopatku ve směru osy x [N]

F_y ... síla ohýbající lopatku ve směru osy y [N]

M... ohybový moment působící na lopatku (vypočteno 40,89 N)

x_l ... vzdálenost těžiště lopatky od okraje hřídele (vypočteno 0,094 m)

α ... úhel naklonění lopatky k ose hřídele

$$\sum M_a = 0: \quad F_{bl} \cdot L_p - 5 \cdot F_x \cdot x_l = 0 \quad (85)$$

$$F_{bl} = \frac{5 \cdot F_x \cdot x_l}{L_p} \quad (86)$$

$$F_{bl} = \frac{5 \cdot 621 \cdot 0,094}{2,305}$$

$$F_{bl} = 127 \text{ N}$$

$$\Sigma M_b = 0: F_{al} \cdot L_p - 5 \cdot F_x \cdot x_l = 0 \quad (87)$$

$$F_{al} = \frac{5 \cdot F_x \cdot x_l}{L_p} \quad (88)$$

$$F_{al} = \frac{5 \cdot 621 \cdot 0,094}{2,305}$$

$$F_{al} = 127 \text{ N}$$

F_{al} , F_{bl} ...síly v podporách od lopatek [N]

F_x ...síla ohýbající lopatku ve směru osy x [N]

x_l ...vzdálenost těžiště lopatky od okraje hřídele (vypočteno 0,094 m)

L_p ...délka hřídele od jedné podpory k druhé podpoře

$$M_{oal} = -F_{al} \cdot L_1 + F_x \cdot x_l \quad (89)$$

$$M_{oal} = -127 \cdot 0,1125 + 621 \cdot 0,094$$

$$M_{oal} = 44,1 \text{ Nm}$$

M_{oal} ...ohybový moment na první lopatce od podpory A [N.m]

F_{al} ...síla v podpoře A od lopatek [N]

L_1 ...vzdálenost první lopatky od podpory A (vypočteno 0,1125 m)

F_x ...síla ohýbající lopatku ve směru osy x [N]

x_l ...vzdálenost těžiště lopatky od okraje hřídele (vypočteno 0,094 m)

$$M_{obl} = F_{bl} \cdot L_2 - F_x \cdot x_l \quad (90)$$

$$M_{obl} = 127 \cdot 0,1125 - 621 \cdot 0,094$$

$$M_{obl} = -44,1 \text{ Nm}$$

M_{obl} ...ohybový moment na první lopatce od podpory B [N.m]

F_{bl} ...síla v podpoře B od lopatek [N]

L_2 ...vzdálenost první lopatky od podpory B (vypočteno 0,115 m)

F_x ...síla ohýbající lopatku ve směru osy x [N]

x_l ...vzdálenost těžiště lopatky od okraje hřídele (vypočteno 0,094 m)

5.7.2.4 Ohybový moment od lopatek v kritickém místě

$$M_{okl} = F_{al} \cdot \frac{L_p}{2} - 2 \cdot F_x \cdot x_l \quad (91)$$

$$M_{okl} = 127 \cdot \frac{2,305}{2} - 2 \cdot 621 \cdot 0,094$$

$$M_{okl} = 29,6 \text{ Nm}$$

M_{okl} ...ohybový moment od lopatky v kritickém místě [N.m]

F_{al} ...síla v podpoře A od lopatek [N]

L_p ...délka hřídele od jedné podpory k druhé podpoře [m]

x_l ...vzdálenost těžiště od okraje hřídele (vypočteno 0,094 m)

Vzhledem k velikosti maximálního ohybového momentu v kritickém místě můžeme ohybový moment od lopatek zanedbat.

5.7.2.5 Napětí v ohybu v kritickém místě

Pro následný výpočet je použita hodnota celkového ohybového momentu v kritickém místě. Průřez zeslabeného hřídele je stejný jako v případě krutu. Pro celkový modul průřezu v ohybu tedy platí:

$$W_{oh} = W_{ok} - W_{oo} \quad (92)$$

$$W_{oh} = \frac{\pi \cdot D_h^3}{32} - \frac{b_d \cdot D_h^2}{6} \quad (93)$$

$$W_{oh} = \frac{\pi \cdot 100^3}{32} - \frac{34 \cdot 100^2}{6}$$

$$W_{oh} = 41508 \text{ mm}^3$$

W_{oh} ... celkový modul průřezu hřídele v ohybu [mm³]

W_{ok} ...modul průřezu v ohybu pro kruh [mm³]

W_{oo} ...modul průřezu v ohybu pro obdelník [mm³]

D_h ...průměr hřídele (100 mm)

b_d ...průměr díry (27 mm)

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_{oh}} \quad (94)$$

$$\sigma_o = \frac{456000}{41508}$$

$$\sigma_o = 11 \text{ MPa}$$

σ_o ...napětí v ohybu [MPa]

$M_{o\max}$...maximální ohybový moment [N.m]

W_{oh} ... celkový modul průřezu hřídele v ohybu [mm³]

5.7.2.6 Bezpečnost proti únavovému lomu v ohybu

Pro střídavý ohyb platí:

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \sigma_o = 11 \text{ MPa}$$

σ_a ... amplituda napětí [MPa]

σ_m ... střední hodnota napětí [MPa]

σ_o ... napětí v ohybu [MPa]

Potom bezpečnost v ohybu je:

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{Co}}{\frac{\beta_\sigma}{v_\sigma \cdot \varepsilon_p} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m} \quad (95)$$

$$k_\sigma = \frac{280}{\frac{2}{0,78 \cdot 0,73} \cdot 11 + 0,04 \cdot 0}$$

$$k_\sigma = 7,2$$

k_σ ... bezpečnost vůči únavovému lomu v ohybu [-]

σ_{Co} ... mez únavy v ohybu (280 MPa) pro ocel 11 600

ψ_σ ... součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu (0,04) pro ocel 11600

β_σ ... vrubový součinitel (2,00) pro ocel 11 600

ε_p ... součinitel jakosti povrchu (0,73) pro ocel 11 600

v_σ ... součinitel velikosti (0,78) pro ocel 11 600

5.7.2.7 Výsledná dynamická bezpečnost hřídele

$$k_{dyn} = \frac{k_\sigma \cdot k_\tau}{\sqrt{k_\sigma^2 + k_\tau^2}} \quad (96)$$

$$k_{dyn} = \frac{7,2 \cdot 13,7}{\sqrt{7,2^2 + 13,7^2}}$$

$$k_{dyn} = 6,37$$

k_{dyn} ... výsledná dynamická bezpečnost hřídele [-]

k_σ ... bezpečnost vůči únavovému lomu v ohybu [-]

k_τ ... bezpečnost vůči únavovému lomu v krutu [-]

6 Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem Dvuhřídelového kontinuálního mísiče. Snažil jsem se navrhnout základní pracovní parametry a vhodně zvolit pohon pracovních součástí. Problematiku mísičů a mísicích procesů jsem nastínil jen částečně, protože skutečná problematika je obsáhlejší a vyžaduje laboratorní zkoušky a pokusy. Dále jsem provedl pevnostní a silové výpočty hřídele a lopatky, jenž jsou nezbytné pro správnou funkci mísiče. Pro kontrolu je zapotřebí provést provozní zkoušky, po kterých je možné určit přesné promísení směsi, případně je možné provést nějaké konstrukční úpravy.

Všechny materiály, konstrukční řešení a technologie výroby jsem volil s ohledem na co největší ekonomičnost mísiče, při zachování co největší možné kvality a bezpečnosti. Také jsem bral ohled na co nejširší využitelnost mísiče. Předpokládám, že tento mísič bude vyráběn kusově popřípadě maloseriově, proto jsem se snažil volit minimální počet výkovek a odlitků.

7 Seznam použitých veličin

%p	procentuální obsah elektrárenského popílku ve směsi	[-]
%j	procentuální obsah cihlářského jílu ve směsi	[-]
%c	procentuální obsah cementu ve směsi	[-]
%h ₂ o	procentuální obsah vody ve směsi	[-]
%v	procentuální obsah vápna ve směsi	[-]
a	jmenovitá tloušťka svaru	[mm]
a _o	součinitel poměru stran obdelníku, závislý na poměru stran h/b	[-]
b	šířka lopatky	[m]
b'	vzdálenost částice od geometrického poloměru lopatky	[m]
b _d	průměr díry	[mm]
D	vnější průměr kružnice opsané lopatkami	[m]
d _c	rozměr částice	[m]
D _h	průměr hřídele	[m]
d _k	nejmenší průměr kužele	[m]
D _k	největší průměr kužele	[m]
D _{ks}	střední průměr kužele	[m]
d _r	délka přepony trojúhelníka	[m]
d _u	střední průměr úchyty	[m]
d _{um}	průměr úchyty v místě největšího momentu	[mm]
d _v	průměr výstupní hřídele převodovky	[mm]
d _x	délka strany x trojúhelníka	[m]
d _y	délka strany y trojúhelníka	[m]
f	součinitel smykového tření	[-]
F	síla působící na částici ze strany mísené hmoty	[N]
F _a , F _b	síly v podporách	[N]
F _{al} , F _{bl}	síly v podporách od lopatek	[N]
F _l	síla působící v těžišti lopatky	[N]
F _N	normální síla	[N]
F _{ua}	osová lisovací síla	[N]
F _{ua1}	síla pro uvolnění spoje	[N]
F _x	síla ohýbající lopatku ve směru osy x	[N]
F _y	síla ohýbající lopatku ve směru osy y	[N]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
C _h	součinitel snižující dopravní množství	[-]
i _r	převodový poměr	[-]
k _{dyn}	výsledná dynamická bezpečnost hřídele	[-]
k _n	součinitel naplnění mísiče	[-]
k _p	součinitel přerušení šroubovice	[-]
k _r	měrný koeficient odporu proti pohybu lopatek ve směsi	[N.m ⁻²]

k_v	součinitel vracení se směsí	[-]
k_σ	bezpečnost vůči únavovému lomu v ohybu	[-]
k_τ	bezpečnost vůči únavovému lomu v krutu	[-]
k'_τ	bezpečnost proti plastickým deformacím	[-]
L	délka koryta mísiče	[m]
l	délka svaru	[mm]
L_1	vzdálenost první lopatky od podpory A	[m]
L_2	vzdálenost první lopatky od podpory B	[m]
l_k	délka kužele	[m]
L_p	délka hřídele od jedné podpory k druhé podpoře	[m]
M	moment potřebný pro otáčení lopatek	[N.m]
m_c	celková hmotnost	[kg]
m_{cer}	hmotnost čerpadla	[kg]
m_h	hmotnost hřídele	[kg]
M_{k2}	výstupní kroutící moment z převodovky	[N.mm]
m_l	hmotnost lopatek	[kg]
m_m	hmotnost motoru	[kg]
M_{oal}	ohybový moment na první lopatce od podpory A	[N.m]
M_{obl}	ohybový moment na první lopatce od podpory B	[N.m]
M_{ol}	ohybový moment působící v těžišti lopatky	[N.m]
M_{omax}	maximální ohybový moment	[N.m]
M_{ox}	obecný ohybový moment	[N.m]
m_p	hmotnost převodovky	[kg]
N	síla, kterou je částice vtačována mezi pohybující se lopatku a koryto	[N]
n	otáčky hřídele	[s ⁻¹]
P	příkon pohonu mísiče	[kW]
P_c	výkon motoru čerpadla	[kW]
p_k	tlak ve spáře	[Pa]
p_{lmax}	výsledné otláčení	[MPa]
p_{ol}	otlačení od ohybu	[Pa]
P_{ot}	příkon pro otáčení hřídele	[kW]
P_p	příkon pro posuv materiálu	[kW]
p_{tl}	otlačení od tlaku	[MPa]
q	obecné zatížení elementu	[N]
Q	objemová výkonnost	[m ³ .h ⁻¹]
Q_c	průtok čerpadla	[l.s ⁻¹]
q_h	spojité zatížení od hmotnosti hřídele a lopatek	[N.m ⁻¹]
Q_m	hmotnostní výkonnost	[kg.h ⁻¹]
Q_s	skutečná výkonnost mísiče	[m ³ .h ⁻¹]
Q_v	výkonnost dopravované vody	[m ³ .h ⁻¹]
q_x	zatížení elementu v ose x	[N]

q_y	zatížení elementu v ose y	[N]
R	poloměr válcové části koryta mísiče	[m]
r_1, r_2	poloměry vnitřních a vnějších hran lopatek	[m]
R_{es}	mez kluzu ve smyku pro ocel	[MPa]
r_m	poloměr Mohrovy kružnice	[-]
r_t	vzdálenost od osy hřídele k těžišti lopatky	[m]
s	stoupání šnekovice	[m]
S	třecí síla	[N]
S_m	plocha příčného řezu toku materiálu	[m ²]
t	doba průchodu materiálu mísičem	[s]
v_{ob}	obvodová rychlost	[m.s ⁻¹]
v_{os}	osová rychlost pohybu materiálu	[m.s ⁻¹]
W_k	celkový modul průřezu v krutu	[mm ³]
W_{kk}	modul průřezu v krutu pro kruh	[mm ³]
W_{ko}	modul průřezu v krutu pro obdelník	[mm ³]
W_o	modul průřezu úchytu v místě největšího momentu	[mm ³]
W_{oh}	celkový modul průřezu hřídele v ohybu	[mm ³]
x	obecná vzdálenost	[m]
x_l	vzdálenost těžiště od okraje hřídele	[m]
x_l	vzdálenost těžiště lopatky od okraje hřídele	[m]
z	počet lopatek na jedno stoupání	[-]
z_c	celkový počet lopatek na obou hřídelích	[-]
ΔR	velikost mezery mezi povrchem koryta mísiče a vnějším okrajem lopatky	[m]
α	úhel naklonění lopatky k ose hřídele	[°]
α_k	vrcholový úhel kužele	[°]
α_s	úhel naklonění lopatky k šroubové ploše	[°]
α_2	úhel zachycení	[°]
β	úhel stoupání šnekovice	[°]
β_σ	vrubový součinitel pro ocel	[-]
β_τ	vrubový součinitel pro ocel	[-]
ε_p	součinitel jakosti povrchu pro ocel	[-]
ε_p	součinitel jakosti povrchu pro ocel	[-]
γ	úhel naklonění elementu	[°]
η_p	účinnost převodovky	[-]
φ	třecí úhel	[°]
φ_t	třecí úhel	[°]
μ	koeficient odporu proti pohybu	[-]
v_σ	součinitel velikosti pro ocel	[-]
v_τ	součinitel velikosti pro ocel	[-]
ρ_c	hustota cementu	[kg.m ⁻³]

ρ_{h_2o}	hustota vody	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
ρ_j	hustota cihlářského jílu	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
ρ_p	hustota elektrárenského popílku	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
ρ_s	hustota suché směsi	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
ρ_v	hustota vápna	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
ρ_{vl}	hustota mokré směsi	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
σ	normální napětí	$[\text{MPa}]$
σ_{Co}	mez únavy v napětí ohybu pro ocel	$[\text{MPa}]$
σ_D	dovolené napětí v tahu oceli	$[\text{MPa}]$
σ_o	výsledné napětí v ohybu	$[\text{MPa}]$
σ_y	normálové napětí v ose y	$[\text{MPa}]$
σ_x	normálové napětí v ose x	$[\text{MPa}]$
τ	smykové napětí	$[\text{MPa}]$
τ'	smykové napětí od ohybového momentu	$[\text{MPa}]$
τ_a	amplituda napětí	$[\text{MPa}]$
τ_{Ck}	mez únavy v krutu pro ocel	$[\text{MPa}]$
τ_{dov}	dovolené smykové napětí pro ocel	$[\text{MPa}]$
τ_k	napětí v krutu	$[\text{MPa}]$
τ_m	střední hodnota napětí	$[\text{MPa}]$
τ_{xy}	smykové napětí	$[\text{MPa}]$
τ_{yx}	smykové napětí	$[\text{MPa}]$
ω	úhlová rychlost	$[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$
ψ	součinitel optimálního plnění	$[-]$
ψ_σ	součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu pro ocel	$[-]$
ψ_τ	součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu pro ocel	$[-]$

8 Seznam použité literatury

Tištěná literatura:

- [1] Prof. Ing. Blahoslav Pacas, DrSc. a kolektiv: Teorie stavebních strojů, 2.vyd., VUT Brno, 1986
- [2] Ing. Zdeněk Polický, CSc.: Keramické a úpravářské stroje I, 2. vyd., VUT Brno, 1989
- [3] Doc. Ing. Jaroslav Medek, CSc.: Mechanické pochody, 2.vyd., VUT Brno, 1991
- [4] Ing. Rudolf Kříž a Ing. Pavel Vávra: Strojírenská příručka, 5. svazek, 1.vyd., Scientia, spol. s r.o., 1994
- [5] Ing. Rudolf Kříž a Ing. Pavel Vávra: Strojírenská příručka, 6. svazek, 1.vyd., Scientia, spol. s r.o., 1995
- [6] Jan Leinveber a Pavel Vávra: Strojnické tabulky, 1.vyd., Albra – pedagogické nakladatelství, 2003
- [7] Prof. Ing. Přemysl Janíček, DrSc., Prof. Ing. Emanuel Ondráček, CSc., Prof. RNDr. Ing. Jan Vrbka, DrSc., Ing. Jiří Burša, Ph.D.: Mechanika těles, Pružnost a pevnost I, 1.vyd., VUT Brno, 2004
- [8] Prof. Ing. Emanuel Ondráček, CSc., Prof. RNDr. Ing. Jan Vrbka, CSc., Prof. Ing. Přemysl Janíček, DrSc.: Mechanika těles, Pružnost a pevnost II, VUT Brno, 2002
- [9] Ing. Pavel Svoboda. CSc., Ing. Jan Brandejs, CSc., Ing. František Prokeš: Základy konstruování, 2.vyd., VUT Brno, 2003
- [10] Ing. Pavel Svoboda. CSc., Ing. Jan Brandejs, CSc., Ing. Robert Kovářík, Ing. Evžen Sobek: Základy konstruování, výběr z norem pro konstrukční cvičení, VUT Brno, 2001
- [11] Ing. Evžen Sobek, Ing. Jan Brandejs, CSc., Ing. Jiří Dvořáček, Ing. Pavel Mazal, CSc., Ing. František Svoboda, CSc.: Základy konstruování, návody pro konstrukční cvičení

Webové stránky:

- [12] www.motorgear.cz
- [13] www.sigmapumpy.cz

9 Seznam výkresové dokumentace

Mísič	0 – 50/33 – 00
Hnací hřídel	1 – 50/33 – 04
Hnaný hřídel	1 – 50/33 – 05
Ozubené kolo	2 – 50/33 – 08
Lopatka	4 – 50/33 – 06
Úchyt lopatky	4 – 50/33 – 07
Kusovník	K – 50/33 – 21 až 24