



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DVOUŠNEKOVÝ MÍSIČ KONTINUÁLNÍ

CONTINUAL DOUBLE-HELICOIDAL MIXER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Černý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Jan Černý
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Dvoušnekový mísič kontinuální

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh, výpočty a konstrukce šnekového mísiče dle zadaných parametrů:

Výkonnost mísiče: 12 kg.s⁻¹.

Mísené materiály: elektrárenský popílek 45 %,

cihlářský jííl 20 %,

cement 10 %,

vápno 5 %,

voda 20 %.

Cíle diplomové práce:

Návrh kontinuálního dvoušnekového mísiče pro mísení jíílů, vápna, cementu a elektrárenských popílků s vodou.

Vypracování konstrukční a výpočtové dokumentace.

Provedení pevnostního rozboru vybraného dílce.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce se zaměřuje na proces mísení partikulárních materiálů a návrh šnekového mísiče pro tuto činnost. V teoretické části je popsáno samotné mísení a vlastnosti partikulárních látek. Následně jsou rozebrána jednotlivá zařízení sloužící k různým typům mísení. Praktická část obsahuje výpočty hlavních rozměrů a potřebného příkonu. Následuje volba vhodného pohonu, ložisek a ozubeného převodu. V závěru je proveden rozbor zatížení lopatkové hřídele a pevnostní analýza lopatky mísiče pomocí programu Autodesk Inventor. Součástí práce je přiložená výkresová dokumentace sestavy zařízení a vybraných dílčích součástí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Partikulární materiál, mísení, směs, beton, kontinuální mísič, šnek, dvouhřídelový mísič,

ABSTRACT

This work focuses on the process of mixing particulate materials and the design of the screw mixer for this activity. The theoretical part describes the mixing and properties of particulate matter. Subsequently, individual devices serving for different types of mixing are analyzed. The practical part contains calculations of the main dimensions and the required power consumption. The choice of suitable drive, bearings and gear is followed. Finally, the analysis of the blade shaft load and the strength analysis of the mixer blade using Autodesk Inventor are performed. Part of this work is enclosed drawing documentation of equipment assembly and selected partial components.

KEYWORDS

Particulate material, mixing, mixture, concrete, continual mixer, double-helicoidal mixer

SCHLÜSSELWÖRTER

Partikelmaterial, Mischung, Beton, kontinuierlicher Mischer, Doppelhelikoidmischer

MOTS CLÉS

Matériau particulaire, mélange, béton, mélangeur continu, mélangeur double hélicoïdal

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERNÝ, J. *Dvoušnekový mísič kontinuální*. Brno, 2020. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 91 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 10. září 2020

.....

Jan Černý

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za rady a připomínky při zpracování diplomové práci. Dále bych také chtěl poděkovat rodině a všem svým blízkým za podporu během celého dosavadního studia.

OBSAH

Úvod	10
1 Mísení	11
1.1 Partikulární látky	11
1.2 Mísený materiál	18
1.3 Duhy mísení	19
1.4 Důležité parametry pro volbu mísiče	20
2 Mísiče	23
2.1 Základní rozdělení mísičů	23
2.2 Rozdělení mísičů dle konstrukce	25
2.3 Dvouhřídelový mísič	27
3 Parametry šnekového mísiče	29
3.1 Výpočet výkonnosti mísiče	29
3.2 Výpočet předběžných rozměrů mísiče	29
3.3 Kontrola dopravovaného množství	37
3.4 Stanovení příkonu pro pohon mísiče	37
3.5 Stanovení podmínek pro správnou funkci mísiče	39
4 Pohonná jednotka	42
4.1 Elektromotor	42
4.2 Převodovka	43
4.3 Spojka	44
5 Čerpadlo pro systém sprchy	45
5.1 Parametry sprchy	45
5.2 Zapojení systému na vodovod	46
5.3 Zapojení systému na čerpadlo	47
6 Ozubený převod	49
6.1 Výpočet parametrů ozubeného soukolí	49
6.2 Pevnostní výpočet	52
6.3 Zatížení ložisek od ozubeného převodu	54
7 Volba ložisek	55
7.1 Zatížení ložisek	55
7.2 Přední ložisko	56
7.3 Zadní ložisko	57
7.4 Provoz ložisek	57
8 Pevnostní výpočet důležitých částí mísiče	58
8.1 Výpočet hřídele	58

8.2	Výpočet lopatky	67
9	Provoz zařízení	73
9.1	Hlavní části mísiče	73
9.2	Umístění	74
9.3	Údržba	75
9.4	Uplatnění v technologiích	75
	Závěr	76
	Seznam použitých zkratk a symbolů	80
	Seznam příloh	87

ÚVOD

Mísicí zařízení se uplatňují v různých odvětvích průmyslu, nejčastěji v potravinářství, farmacii či stavebnictví. Podle vlastností dané látky a požadovaného stupně promísení, je voleno konstrukční řešení daného mísiče. Existuje tak několik druhů mísících procesů a celá problematika těchto zařízení se neustále zdokonaluje.

Historie využívání betonu není přesně datována, nicméně postupem času bylo nevyhnutelné pro výrobu betonu používat stroje. Začátkem 20. století je zaznamenán obrovský skok v podobě využití pohonné jednotky k mísení betonu. Následující etapa tak znamenala další zlepšování již získaných poznatků. Vznikají stroje přenosné, pojízdné, stabilní atd. V současné době tento obor nezaznamenává tak velký posun, avšak stále zaměstnává plno konstruktérů a technologů projekčních firem.

Cílem diplomové práce je návrh a konstrukční řešení kontinuálního dvouhřídelového mísiče pro mísení betonové směsi. Výchozím předpokladem je přesný poměr vstupních surovin, kterými jsou cement, voda, cihlářský jííl, vápno a elektrárenský popílek. Práce obsahuje výpočtovou část, dle které jsou voleny komponenty jako pohon, ložiska a ozubený převod. V závěru práce je pomocí programu Autodesk Inventor provedena pevnostní analýza lopatky.

1 MÍSENÍ

Mísení lze definovat jako operaci, při které se z jednotlivých látek (složek) utvářejí směsi. Dle povahy složek mohou být plynné, tekuté, polotuhé nebo tuhé. Rozlišujeme směsi homogenní, heterogenní a koloidní. U homogenní, neboli stejnorodé, směsi nelze určit rozhraní mezi jednotlivými složkami. Vlastnosti v celém objemu jsou stejné nebo se mění plynule. Složky heterogenní směsi, lze snadněji rozlišit okem či běžným mikroskopem, přičemž na rozhraní jednotlivých fází se mění fyzikální a chemické vlastnosti skokově. Mezi heterogenní a homogenní směsí rozlišujeme dle velikosti jednotlivých částic, směs koloidní. Částice nabývají velikost od $1 \cdot 10^{-7}$ m až $1 \cdot 10^{-9}$ m a lze je pozorovat pouze pod mikroskopem. V jednotlivých odvětvích průmyslu se tak lze setkat s mísením různě velikých částic. Hlavním účelem mísení je dosáhnout homogenní směsi a tím i zajištění stejné struktury a vlastností v celém objemu. Proces je charakterizován především skupenstvím a vlastnostmi vstupních surovin a dle toho vhodně zvoleným typem mísení. [1,2]

1.1 PARTIKULÁRNÍ LÁTKY

Partikulární látky jsou látky skládající se ze vzájemně se dotýkajících částic pevné fáze, přičemž mezery mezi nimi jsou vyplněny kapalinou nebo plynem. U těchto látek se setkáváme se dvěma typy pórů, vnějšími a vnitřními. Vnější, neboli povrchové póry zvětšují povrch pevné fáze, zatímco vnitřní ovlivňují fyzikální vlastnosti látky. Směsi částic, od makroskopických po mikroskopické, tvoří danou partikulární látku. Jestliže poměr mezi mikroskopickými a makroskopickými částicemi nepřesáhne poměr 1:10, hovoříme o tzv. zrně. Zrna disponují poměrně malou soudržností, a proto zavádíme termín sypný materiál. Pro srozumitelné popsání tohoto materiálu nám slouží několik základních parametrů, které jsou rozebrány v následující kapitole. Přehled údajů je pro klasifikaci a označení sypných hmot je uveden v normě ČSN 26 0070. Mezi partikulární látky jsou zahrnuty suroviny chemického potravinářského i stavebního průmyslu. Jedná se např. o léčiva, hnojiva, obilí, cement, písek atd. [3]

1.1.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

OBJEMOVÁ HMOTNOST

Při popisu stavebních materiálů rozlišujeme hustotu dané látky a její objemovou hmotnost. Jedná se o poměr hmotnosti látky k objemu látky, neboli hmotnosti objemové jednotky i s dutinami a póry. Je tedy zřejmé, že hustota je vždy větší než objemová hmotnost. Veličina je úzce spojena s vlhkostí a pórovitostí. Velmi záleží, zda jsou dutiny vyplněny vzduchem, a jedná se o objemovou hmotnost v suchém stavu, či vyplněny vodou a je nutné uvést i vlhkost. Stlačením materiálu se sníží obsah pórů a objemová hmotnost tak vzroste. Pokud má materiál malou pórovitost, hodnoty hustoty a objemové hmotnosti se téměř rovnají. [3,6]

PÓROVITOST

Významná vlastnost stavebních materiálů je pórovitost, která ovlivňuje intenzitu zhuštění. Při rostoucí intenzitě, dochází postupně k uzavírání velkých pórů ($>4\mu\text{m}$) a následně hrubých pórů ($4-0,14\mu\text{m}$). Objem jemných a velmi jemných pórů se tlakem mírně zvětšuje. Pórovitost materiálu je dána vztahem:

$$n = \frac{V_p}{V_c} \quad (1.1)$$

V_p - objem pórového prostoru [m^3]

V_c - objem celkový [m^3]

Dalším možným vyjádřením je pomocí čísla pórovitosti e , kde současně pro převod mezi pórovitostí a číslem pórovitosti platí:

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{n}{1-n} \quad (1.2)$$

V_p - objem pórového prostoru [m^3]

V_s - objem pevných částic [m^3]

n - pórovitost materiálu [-]

K určení pórovitosti lze užít několika metod. Existuje přímá metoda, kde se určí celkový objem a objem materiálu bez pórů a následným rozdílem stanovíme objem pórů. Vhodná je také metoda odpařování vody, při které se určí hmotnost nasyceného a vysušeného vzorku. S využitím mikroskopu uplatníme metodu optickou. Z plochy materiálu se určí viditelná plocha pórů. Velký vliv na pórovitost má nestejnorožnost a tvar zrn. [3,7,12]

VLHKOST

Materiál označujeme jako vlhký, pokud póry jsou částečně nebo úplně zaplněny kapalinou. V ostatním případě hovoříme o látce suché. V případě, úplněho zaplněný pórů se jedná o látku nasycenou. Vlhkost rozdělujeme na váhovou (hmotnostní) vlhkost w , která je definovaná poměrem hmotnosti vody m_v ve vzorku a hmotnosti vysušeného vzorku m_s dle rovnice:

$$w = \frac{m_v}{m_s} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

Druhým typem je vlhkost objemová w_v , daná objemem vody ρ_v k objemu pevné fáze ρ_s . Objemová vlhkost udáváme nejčastěji v procentech a je definována vztahem:

$$w_v = \frac{V_v}{V_s} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

Hmotnost kapaliny se stanovuje z rozdílu hmotnosti nasyceného vzorku a vzorku vysušeného při teplotě 105-110°C. S vlhkostí souvisí veličina nazývaná stupeň nasycení (stupeň saturace S_r), která vyjadřuje, jaká část pórů je vyplněna vodou. Hodnotu nelze zjistit přímo, ale je zapotřebí znát alespoň 4 fyzikální veličiny z níže uvedených, z nichž jedna je vždy měrná hmotnost vody ρ_v . [7,13]

ρ_m - měrná hmotnost materiálu

ρ_d - objemová hmotnost vysušeného materiálu

ρ - objemová hmotnost materiálu

ρ_v - měrná hmotnost vody, $\rho_v = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

n - pórovitost

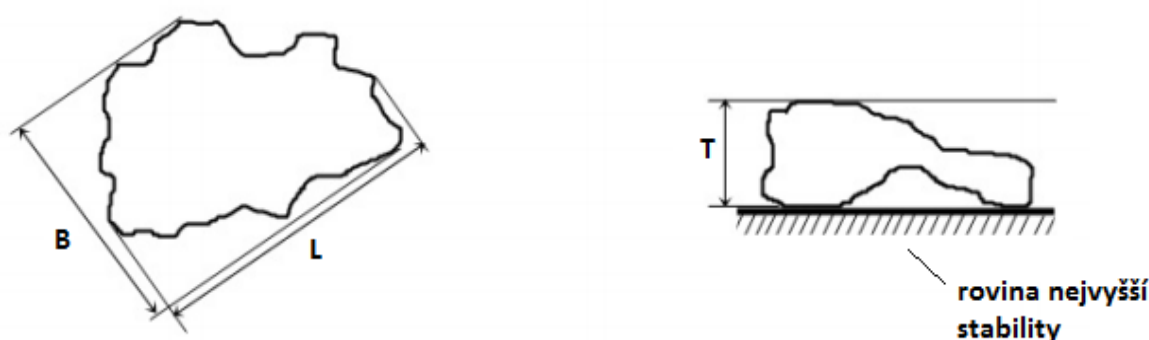
w - váhová vlhkost

Stupeň nasycení se na rozdíl od vlhkosti stanovuje méně často. Zjednodušeně lze psát:

$$S_r = \frac{w}{n} \quad (1.5)$$

VELIKOST, TVAR, SLOŽENÍ

Rozměry pevných částic jsou rozmanité od submikroskopických až po makroskopické. Hranice pro určení makroskopických částic, je poloměr těchto částic větší než 0,1 mm. Pro rozlišení menších částic je zapotřebí odpovídající mikroskopické vybavení. Nejmenší velikosti, které se ještě sledují, jsou na úrovni jednotek nanometrů, přičemž se jedná o submikroskopické částice.



Obrázek 1 Rovina stability zrna a popis tvaru zrna

Tvar částice je určen pomocí roviny nejvyšší stability. Uložení spočívá v tom, že částice, na kterou působí gravitační síla, dopadne na podložku a nejmenší možný rozměr je na tuto podložku kolmý. Podstava je současně rovina nejvyšší stability. Velikost částice lze poté popsat třemi navzájem kolmými rozměry. Jedná se o tloušťku T , šířku B a délku L . Tyto rozměry definují veličiny podlouhlost m_l a plochost m_t .

$$m_l = \frac{L}{B} \quad (1.6)$$

$$m_t = \frac{B}{T} \quad (1.7)$$

Z uvedených rovnic zjistíme základní informace o částici. V případě, že rozměry částice jsou ve všech směrech stejné, hovoříme o izometrickém tvaru. Většina částic má nepravidelný tvar a rozměry nejsou totožné. Pokud dva rozměry převažují nad třetím, částice má destičkovitý tvar. Existuje případ, kdy je pouze jeden rozměr dominantnější a jde o tvar vlákna, tyčinky nebo disku. V případě ideální částice nám k určení velikosti stačí jeden rozměr, a to průměr koule. Odchytky od skutečného tvaru nám vystihují tvarové součinitele. Nejčastěji se zavádí objemový součinitel α_v , povrchový součinitel α_s a sféricita α_k , které jsou popsány rovnicemi:

$$\alpha_v = \frac{\alpha_e}{m_t \cdot \sqrt{m_l}} \quad (1.8)$$

$$\alpha_s = 1,57 + A \left(\frac{a_c}{m_l} \right)^{4/3} \cdot \frac{m_l + l}{m_t} \quad (1.9)$$

$$\alpha_k = \left(\frac{d_v}{d_s}\right)^2 \quad (1.10)$$

Součinitel α_e je redukovaný objemový součinitel, A je součinitel závislý na geometrickém tvaru částic, d_v je průměr koule stejného průměru jak částice a d_s je průměr koule o stejném povrchu jako částice. Hodnoty součinitelů jsou přehledně uvedeny v tabulce.

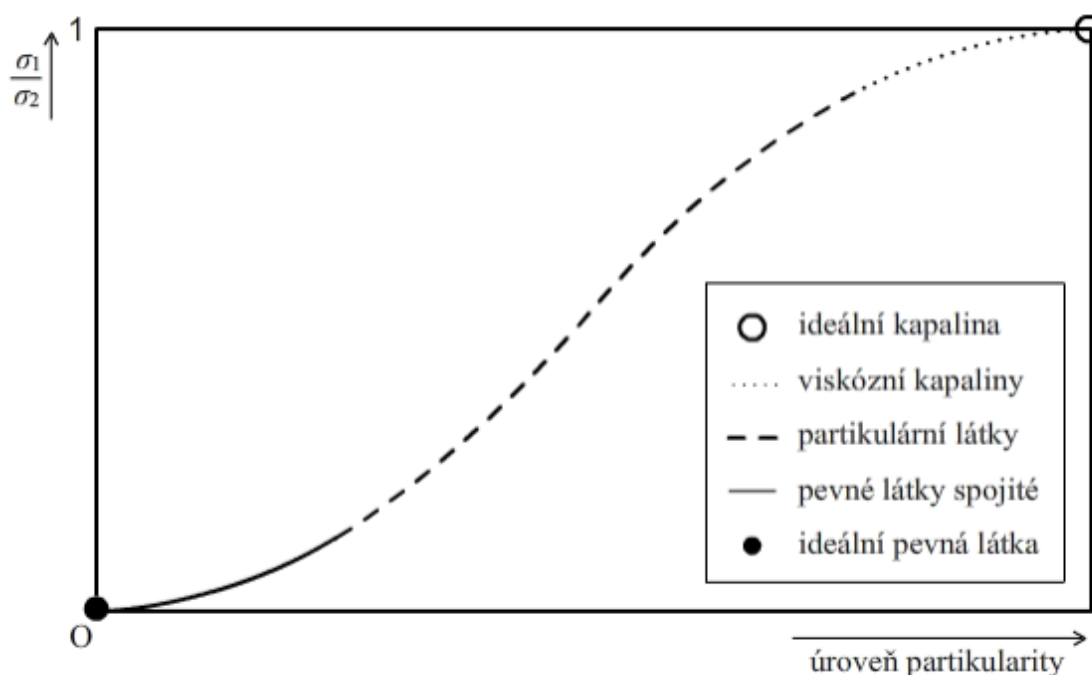
Tabulka 1 Tvarové součinitele

Tvar částice	α_v	α_s	α_k
kulovitý	0,32-0,41	2,7-3,4	0,817
ostrohranný	0,2-0,28	2,5-3,2	0,655
Šupinkovitý	0,12-0,16	2,0-2,8	0,543
Velmi tenké šupinky	0,01-0,03	1,6-1,7	0,216

V předchozí části byly popsány vlastnosti jednotlivých částic. Ve skutečnosti však hovoříme o souboru částic. Monodisperzní soustavu rozumíme takovou, kde jednotlivé částice v systému jsou stejné, avšak mohou se od sebe i odlišovat a systém je potom polydisperzní. Chování takového systému částic v technologickém procesu lze pouze předvídat, jelikož záleží na spoustě dalších faktorů, jako jsou složení, teplota, působení okolních vlivů (např. oxidace) velikosti působícího napětí atd. [3,4,11]

1.1.2 MECHANIKA PARTIKULÁRNÍCH LÁTEK

Jak bylo zmíněno v minulé kapitole, s materiálem musíme pracovat jako se systémem částic, který disponuje různými vlastnostmi. Podle mechanických vlastností se materiál může chovat jako kapalina nebo jako pevná látka. Toto chování lze určit z poměru navzájem kolmých normálových napětí v určitém objemu materiálu. Ideální pevná látka se působením vnějších sil nijak nedeformuje, což v případě působení normálovým napětím σ_1 na stěnu vymezeného krychlového objemu, nebude na kolmo orientovanou stěnu vyvinuto žádné normálové napětí σ_2 , a poměr σ_2/σ_1 bude roven nule. Pascalův zákon nám popisuje chování ideální kapaliny, u které se setkáváme s rovnoměrně rozloženým tlakem, z čehož plyne poměr σ_2/σ_1 roven jedné. Reálné látky však nelze jednoznačně popsat. Pro poměr σ_2/σ_1 existuje široké rozmezí hodnot, které jsou dány např. viskozitou u kapalin, snižující uvedený poměr. U pevných látek dochází k deformacím a vzniku nenulového napětí σ_2 . Oblast poměrů je reprezentována partikulárními látkami, které se mohou chovat více jako pevná látka či jako kapalina. Vše je znázorněno pomocí tzv. Kézdiho diagramu na obr 2.[3]



Obrázek 2 Kézdiho diagram

VAZBY MEZI ČÁSTICEMI

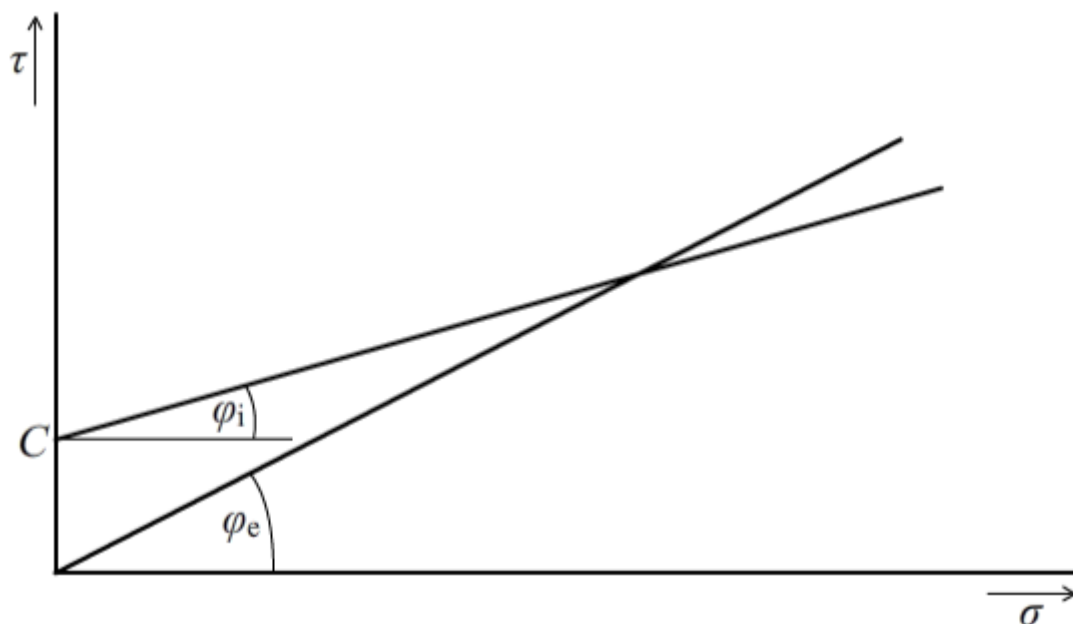
Síly, kterými na sebe částice působí, mohou být malého či velkého dosahu. Dosah působení sil malého dosahu je řádově v desetinách nanometrů. Tyto síly představují povrchovou energii pevných částic, která je vyvolána porušením krystalické mřížky. Příkladem se jedná o vazby vodíkovými můstky či Bondovy odpudivé síly. Síly velkého dosahu se uplatňují pouze v některých případech a jejich dosah odpovídá řádově desítkám nanometrů. Jde o van der Waalsovy – Londonovy přitažlivé síly mezi koloidy a Coulombovy elektrostatické síly. Částice mezi sebou interagují na styčných místech, vrcholcích nerovností. Uplatňují se tedy především síly malého dosahu a síly velkých dosahů se zanedbávají.

Částice partikulární látky drží v silové rovnováze díky vazebním mechanismům. Ty lze rozdělit do dvou základních skupin na poddajné a na vazby pevné (křehké). Poddajné vazby umožňují relativně snadné vzájemné přesuny částic, kdy po přesunu je vazba opět obnovena. Při poruše pevných vazeb ovšem dochází také k poruše samotných částic.

Významným typem vazby jsou třecí vazby, vznikající při vzájemném kontaktu velkého množství částic. Vzájemné stykové plochy a úhly sklonu částic jsou různorodé a je zapotřebí sledovat tření v určitém objemu nazvaném smyková zóna. Vzniklé tření označujeme jako vnitřní. Obecně rozlišujeme pohyby částic klouzavé či valivé, odkud potom uvažujeme tření kluzné a valivé. Jelikož kluzné tření není vázané na tvar částice, je mnohem častější. K valivému tření může dojít pouze u izometrických částic. Tření je navíc významně závislé na objemové hmotnosti materiálu. Při zhutnění tak dochází i k zvyšování hodnoty vnitřního tření.

Poměr mezi normálovými a třecími silami můžeme vyjádřit pomocí úhlu vnitřního tření φ_i a efektivního úhlu tření φ_c . Parametry zjistíme pomocí smykové zkoušky na Jenikeho smykovém stroji. V případě řešení soudržných materiálů, je přímka svírající s horizontální osou úhel vnitřního tření posunuta ke kladným hodnotám smykového tření (písmeno C,

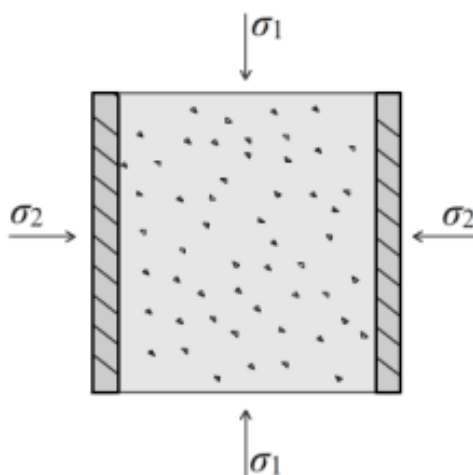
obr.3). Je tedy patrné, že i při nulovém normálovém napětí existuje nenulové smykové napětí. Nesoudržné materiály (sypké) mají průběh jednodušší. Při nulovém normálovém napětí vykazují i nulové smykové napětí a průběh přímek vymežující úhly tření jsou totožné a prochází počátkem. [3,14,15]



Obrázek 3 Úhel vnitřního tření φ_i a efektivní úhel tření φ_e soudržné partikulární látky

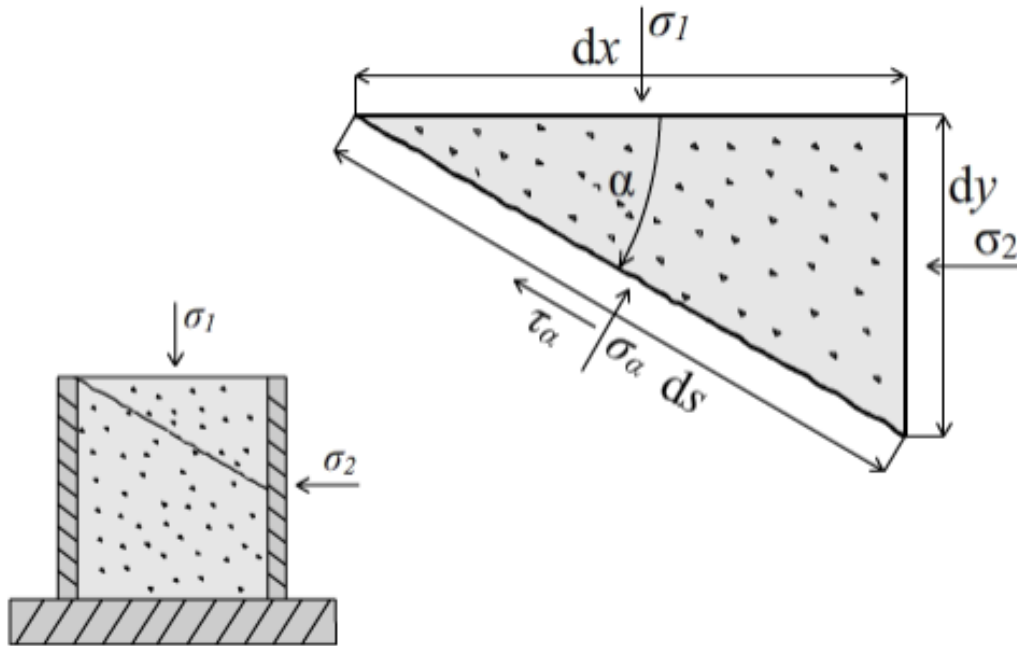
NAPĚTÍ V PARTIKULÁRNÍ LÁTCE

Před samotným návrhem zpracovatelských strojů partikulárního materiálu je nezbytné znát mechanické chování mísené partikulární látky. S tím souvisí také rozložení napětí v rámci určitého objemu. V následujícím rozebrání dané problematiky pro zjednodušení zanedbáme nejmenší rozměr napětí σ_3 .



Obrázek 4 Elementární krychle partikulárního materiálu

Pro popis napětí se definuje elementární krychle, na kterou působí smyková a normálová napětí. Při určitém natočení elementární krychle, lze najít polohu, kde působí pouze normálové napětí. Tyto napětí nazýváme hlavní normálová napětí σ_1 a σ_2 . Ve vertikálním směru působí na materiál kladné normálové napětí σ_1 . Přes stěny zásobníku působí jako reakce na horizontální tlak materiálu napětí σ_2 . Hodnota horizontálního napětí je menší než napětí vertikální.



Obrázek 5 Elementární trojboký hranol

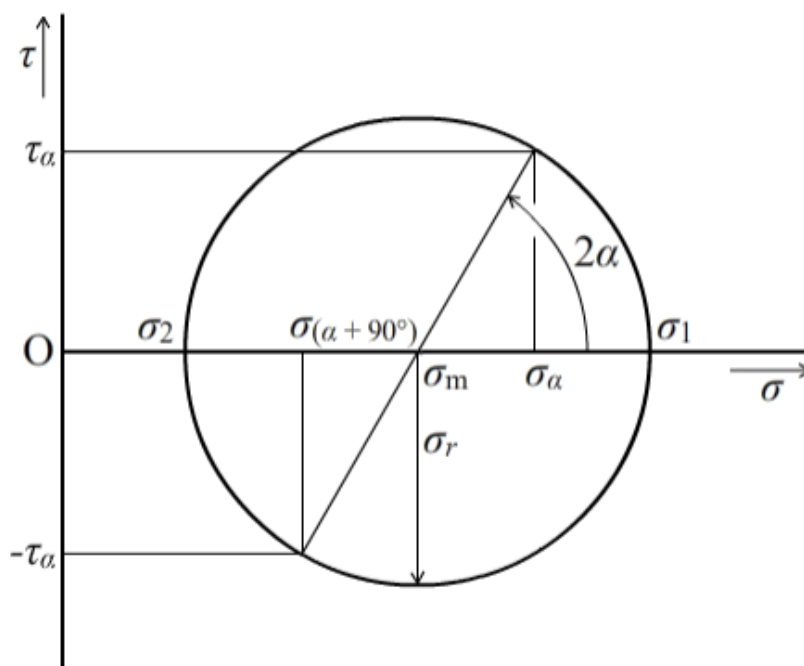
Vhodnější možností je popis napětí pomocí trojbokého hranolu, vzniklého seříznutím elementární krychle (obr. 5). Elementární trojboký hranol bude charakterizován již zmíněnými normálovými napětími, a navíc normálovým napětím σ_α a smykovým napětím τ_α . Tyto hodnoty lze dopočítat pro libovolný úhel α ze známých hlavních normálových napětí.

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot \cos 2\alpha \quad (1.11)$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot \sin 2\alpha \quad (1.12)$$

Při výpočtu rovnic (1.11) a (1.12) pro všechny hodnoty úhlů α zjistíme jednotlivé dvojice smykových a normálových napětí. Vynesením hodnot do grafu závislosti smykového a normálového napětí a následným spojením získaných bodů vznikne kružnice. Kružnice je pojmenována po jejím objeviteli a nazývá se Mohrova kružnice (viz obr. 6). Střed této kružnice leží na ose σ ($\tau_m = 0$) a můžeme ho určit podle rovnice:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \quad (1.13)$$



Obrázek 6 Mohrova kružnice

Z obrázku vyplývá skutečnost, že Mohrova kružnice reprezentuje napětí na všech rovinách vedených pod libovolným úhlem daným objemem partikulární látky. Kružnice je charakterizovaná středem σ_m , který leží vždy na ose σ , a dvěma body protínající tuto osu. Tyto průsečíky označujeme jako hlavní napětí, z nichž větší je σ_1 a menší σ_2 . Zjištění těchto dvou napětí postačuje k nakreslení Mohrovy kružnice a tedy i rozložení napětí v materiálu. [16,17]

1.2 MÍSENÝ MATERIÁL

Nejrozšířenějším stavebním materiálem je beton, skládající se z pojiva, plniva, vody, přísad a příměsí. Nejčastějším příkladem je beton cementový, kde je pojivem cement a plnivem kamenivo. Technologie betonu se v současné době zabývá výrobou betonu s potřebnými vlastnostmi a minimální energetickou náročností (úspora cementu). Tato práce se zabývá mísením a tvorbou betonu z předem daných materiálu a jejich procentuálním zastoupením ve směsi. Jedná se o elektrárenský popílek, cihlářský jíl, cement, vápno a voda. Uvedené složení má vliv na vlastnosti výsledné směsi a navíc má hospodárné využití průmyslových odpadů.

1.2.1 POJIVA

Pojivem, které váže ostatní materiály při výrobě betonu, je cement. Skládá se zejména z oxidu vápenatého a křemičitého, který je obsažen v některé z hlavních složek. Mezi hlavní složky řadíme např. Portlandský slínek, granulovanou vysokopecní strusku, pucolány, popílky atd.

Popílek, jako přísada k cementu vzniká při spalování pevných, zpravidla jemně mletých paliv v uhelných elektrárnách a zachycuje se z kouřových plynů elektrickými odlučovači. Funkcí popílku v betonu je zlepšení kvality povrchu a zvýšení odolnosti vůči průsaku vodě. Při výrobě betonu se jedná o latentně hydraulickou příměs¹.

¹ Latentně hydraulické příměsi mají skrytou schopnost zúčastnit se hydratace, tzn. při reakci s Ca(OH)_2 tvrdnou ve vodním prostředí. Schopnost se projeví po přidání aktivátoru - cementu

1.2.2 PLNIVA

Mezi plniva řadíme různé druhy kameniva. Při výrobě betonu se jedná o hlavní složku, která má ve směsi nosnou funkci. V takové případě jsou požadavky na kamenivo hlavně pevnost, trvanlivost, a nenasákavost. Vhodný výběr je poté ovlivněn druhem horniny, různou velikostí zrn, případně objemovou hmotností. Cihlářské jíly se používají především pro zlepšení tvárnosti. Jsou jemnější než cihlářské hlíny a jsou také plastičtější. K nejvyužívanějším plnivům řadíme písek, šterk či drť.

1.2.3 OSTATNÍ SLOŽKY

Nezbytnou položkou pro výrobu betonu je voda, která podléhá požadavkům normy ČSN EN 1008. Daný typ vody je nutné podrobit zkoušení a posouzení vhodnosti.

Pro vytvoření určitých vlastností betonu se přidávají do směsi přísady, které tvoří maximálně 5% její hmotnosti. Jedná se o chemikálie přidávající se prvotně do vody. Rozdělují se na: Provdzdušňovací, urychlující/zpomalující tuhnutí, vodoredukující, těsnící atd. Při současném použití více přísad je nutné ověření snášenlivosti.

Další důležitou složkou jsou příměsi. Příměsi, ať už organické nebo anorganické látky se přimíchávají do kameniva ke zlepšení vlastností. Tyto látky vykazují latentní hydraulitu, neboli schopnost tvrdnout ve vodním prostředí. Jde např. o strusku, popílky a pálené hlíny. Většinou jsou charakterizovány také vysokým obsahem SiO_2 . Jako budič hydraulicity lze poté použít cement, vápno nebo hydroxid sodný.

Poslední položku zauímají barviva či výztuže. [18,19]

1.3 DUHY MÍSENÍ

Rozlišujeme 3 základní druhy mísení: samospádové (gravitační), nucené a desintegrační (aktivační).

1.3.1 SAMOSPÁDOVÉ MÍCHÁNÍ

Za stálé rotace bubnu je materiál vynášen pomocí pevně uchycených lopatek do určité výšky a poté vlivem gravitační síly upadá zpět na dno bubnu. Tento typ mísení je vhodný pro malé množství s větší příměsí vody. Nejčastěji využíváno pro míchání betonových směsí a malt.

1.3.2 NUCENÉ MÍCHÁNÍ

Stroje s nuceným mísením můžeme rozdělit na cyklické či kontinuální. První zmíněné pracují na principu různě natočených lopatek umístěných v rozdílných vzdálenostech od osy otáčení. Jedná se tzv. rotorové míchačky. Podobné zařízení řadí se do této kategorie jsou turbulentní vysokootáčkové míchačky, které vytváří intenzivní proudění v nehybné nádobě a proces mísení značně urychlují. Od cyklicky pracujících mísících zařízení se však v současnosti ustupuje a využívají se především kontinuální stroje s plynulým provozem. Nejčastěji jde o horizontální mísiče, kde se proti sobě ve žlabu pohybují dva hřídele s upevněnými lopatkami. Současně dochází k posuvu materiálu a kvalita je určena dobou mísení.

1.3.3 DEZINTEGRAČNÍ MÍCHÁNÍ

Vstupní materiál je mísen dohromady přímo, např. vibromícháním. Těleso míchačky nebo její lopatky zajišťují vibrování (kmitočet 25 až 50 Hz) a dochází tak k směřování. Podmínkou je nepřerušovaný účinek z důvodu zamezení zatuhnutí směsi.

V cementářských mlýnech či samospádových míchačkách s hrubým kamenivem dochází k tzv. mělnění zrn. Souhrně se tento děj nazývá dezintegrační předmíchávání.

1.4 DŮLEŽITÉ PARAMETRY PRO VOLBU MÍSIČE

Při výběru způsobu mísení nebo typu zařízení jsou rozhodující tyto okolnosti.

1.4.1 STUPEŇ PROMÍSENÍ

Základní předpoklad pro volbu kvalitního mísiče je účinnost homogenizace a s ní spojený stupeň promísení. Hodnota účinnosti se stanovuje odebráním vzorků směsi v průběhu mísení a to z různých částí mísiče. Postupem času by se pravděpodobnost společného výskytu složek vedle sebe měla zvětšovat, což by z odebraných vzorků mělo být patrné. Odběrem se nesmí výrazně ovlivnit objem směsi ani koncentrace sledované směsi. Z odebraných vzorků se určí množství jednotlivých částic látek a odpovídající procento mísení x_1 dle vztahu:

$$x_1 = \frac{v_1}{v_c} \cdot 100\% \quad (1.14)$$

v_1 -objem dané látky v určitém objemu vzorku

v_c -celkový objem těže pozorované látky dávkované do stroje

účinnost mísené látky je poté:

$$\eta_1 = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad [\%] \quad (1.15)$$

$x_1 + x_2 + \dots + x_n$ - procenta mísení dané látky v jednotlivých vzorcích

n - počet odebíraných vzorků

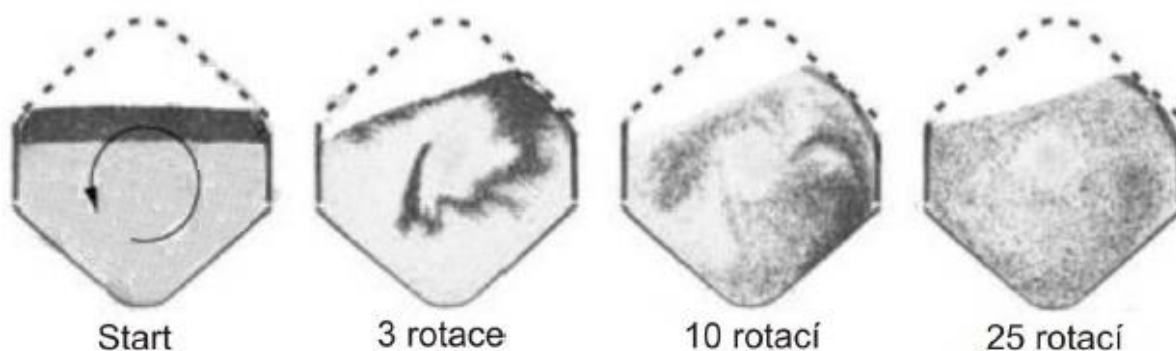
Dle stejného principu se stanoví jednotlivé účinnosti $\eta_2, \eta_3, \dots, \eta_m$ u ostatních složek a určí se celková účinnost mísení dle vztahu:

$$\eta_c = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_m}{m} \quad [\%] \quad (1.16)$$

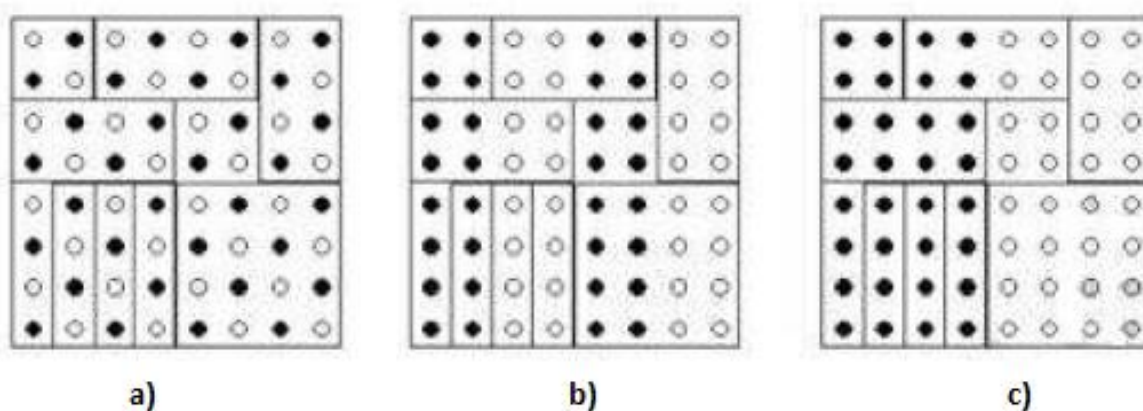
$\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_m$ - účinnosti mísení daných látek

m - počet druhů látek ve výsledné směsi

Pro správné určení účinnosti je vhodné sledovat výsledky dílčích účinností, jelikož i při nerovnoměrnosti rozložení míchaných látek můžeme dostat stejnou účinnost mísení. Pro vyšší stupeň promísení jsou vyšší také investiční a provozní náklady. Záleží zde také na velikosti objemu materiálu, který určuje vhodný příkon stroje.



Obrázek 7 Průběh míchání směsi v bubnovém mísiči

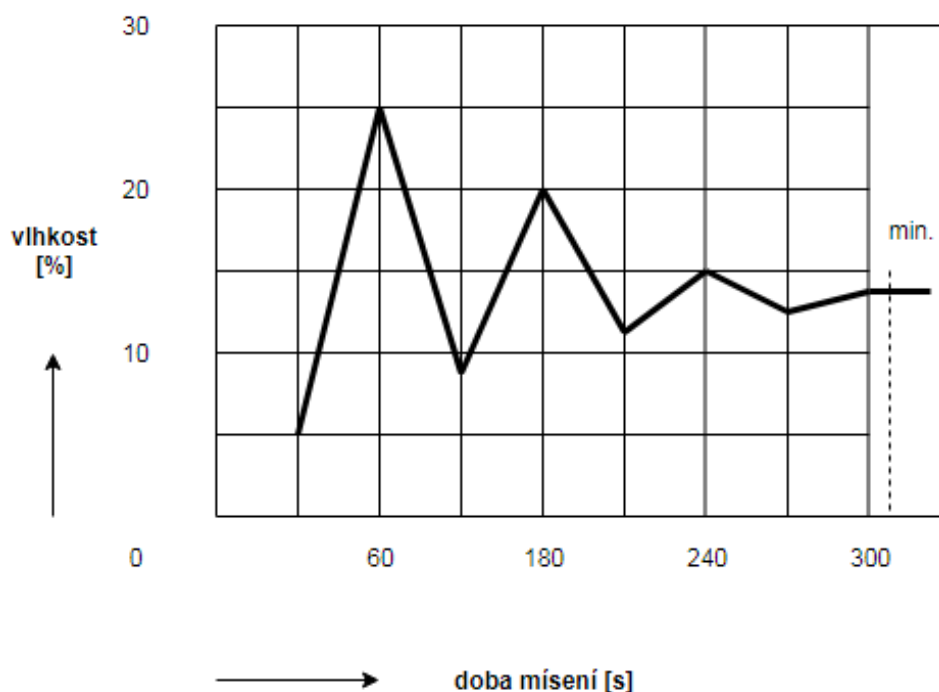


Obrázek 8 Možnosti promíchání dvousložkové směsi

a) dobře promíchaná směs b) složky seskupeny v pruzích c) oddělené směsi

1.4.2 VELIKOST MÍSIČE A DOBA MÍSENÍ

Optimální doba mísení a s ní související velikost mísiče závisí na mnoha okolnostech. Určení se však odvíjí od zkušebního měření. V předem určených intervalech se odebírají vzorky, u kterých se stanovuje kvalita promísení. V určitém okamžiku bude mít odebraný vzorek požadované složení látek a bude následovat přibližně konstantní průběh těchto hodnot. Dle výsledných hodnot lze stanovit potřebnou dobu mísení. S přihlédnutím k výkonnosti mísiče lze poté odvodit velikost a tedy objem mísicí komory.



Obrázek 9 Vyhodnocení potřebné doby mísení

Jak již bylo uvedeno, stanovení velikosti mísícího zařízení a doby mísení nelze jednoznačně určit. Volba je založena na zkušenostech a modifikování dřívějších řešení s ohledem na druh mísení a vstupní složky. Důležitým kritériem je také výkonnost a příkon zařízení.

1.4.3 ČIŠTĚNÍ A PRAŠNOST

Je-li mísič používán pro mísení různých vsádek, je zapotřebí do technologického postupu zařadit proces čištění, aby nedocházelo k znehodnocování následujících směsí. V případě, že je zařízení používáno kontinuálně pro tvorbu směsi se stále stejnými vlastnostmi, mohou se tvořit usazeniny, které je nutné také odstranit. Při konstrukci je důležité zohlednit tuto skutečnost a vyhnout se složitě dostupným místům. Nejlépe se čistí bubnové mísiče.

Při mísení se často vytváří prach, který negativně ovlivňuje celý proces. Kvůli prachu může docházet ke ztrátám materiálu, a tedy nedokonalému promísení směsi, případně se ovlivní požadovaný chod stroje. V takovém případě je vhodné tomu předcházet. Řešením může být přidáním vody s povrchově aktivními látkami, které usnadňují pronikání do vnitřních částí vsádky. Velmi se dbá na těsnost jednotlivých částí a u kontinuálních mísičů se můžeme setkat s instalováním lapačů prachu.

2 MÍSIČE

Mísení surovin se využívá v různých odvětvích průmyslu, ať už jde o těžbu, zemědělství, farmacii či potravinářství. Stroje, které nám tuto činnost usnadňují, se nazývají mísiče. Mísiče se dají rozdělit do několika kategorií, např. dle konstrukce či způsobu využití. Výběr vhodného typu zařízení, může být ovlivněn především těmito technickými podmínkami:

- Objem nebo hmotnost směřovaných komponent
- Vlastnosti mísené směsi
- Způsob vedení procesu (periodický, kontinuální)
- Náhylnost materiálu k segregaci
- Podmínky průběhu procesu (s/bez příměsí vody, teplota atd.)
- Energetická náročnost
- Investiční náklady
- Náklady na obsluhu a údržbu

2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MÍSIČŮ

Obecně můžeme mísičí zařízení rozdělit do následujících skupin:

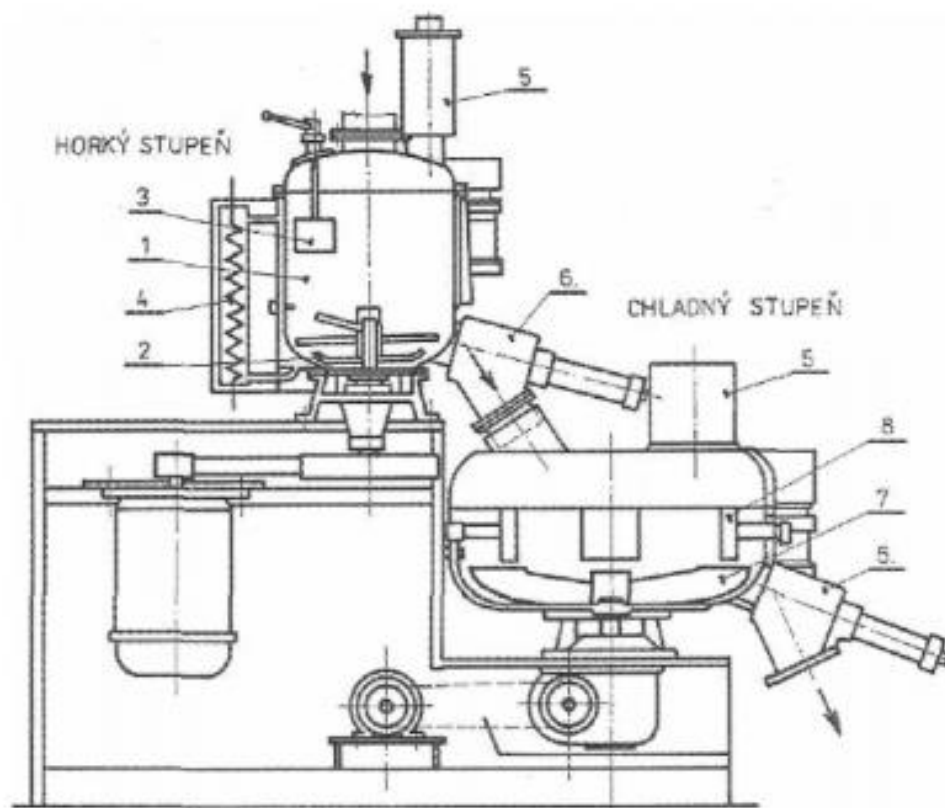
Periodická mísičí zařízení
Kontinuální mísičí zařízení
Pneumatická (fluidní) zařízení
Řízené skládkování

2.1.1 PERIODICKÉ A KONTINUÁLNÍ MÍSIČÍ ZAŘÍZENÍ

Periodické a kontinuální mísiče se využívají pro neustále se opakující provoz, přičemž pracují především na mechanických principech. Klíčovým prvkem těchto strojů je minimalizace prostojů. Pro udržení vysoké kvality, je důležitá rychlá údržba a jednoduchá výměna opotřebovaných či rozbitých komponentů. Důraz se klade také na dodržování přesnosti dávkování s ohledem na koncentraci výsledné směsi. Odpadá zde nutnost skladů, jelikožsoučasně u těchto typů mísičů dochází k přepravě materiálů. [1,5]

2.1.2 PNEUMATICKÁ MÍSIČÍ ZAŘÍZENÍ

Fluidní zařízení se používají k mísení sypkých směsí velkých objemů. Promíchání je docíleno pomocí přivedeného tlakového vzduchu soustavou trysek u dna nádoby. Sypký materiál o velikosti zrna do 0,5 mm se provzdušní a nabude vlastností kapalin, neboli zfluidizuje. Tento způsob se využívá např. v cementárenském průmyslu pro mísení mletého vápence a křemene. Výsledná směs je při procesu ohřívána a pro další zpracování je nutné její ochlazení. Fluidní míchačka tak obsahuje horký a chladný stupeň (viz obrázek). [1,5]



Obrázek 10 Schéma fluidního mísiče

(1- Nádob, 2 – míchadlo, 3 – narážka, 4 – topení, 5 – vzduchový filtr, 6 – výpusť, 7 – chlazené míchadlo, 8 – chladící segmenty)

2.1.3 ŘÍZENÉ SKLADOVÁNÍ

Poslední typ představuje skladování, při kterém lze dosáhnout určitého hrubého smísení materiálu. Vhodným založením skládky či uložením materiálu v zásobníku dochází k částečnému mísení a materiál je poté smíchaný odebírán. Tuto metodu, nazýváme řízené skladování. [1]

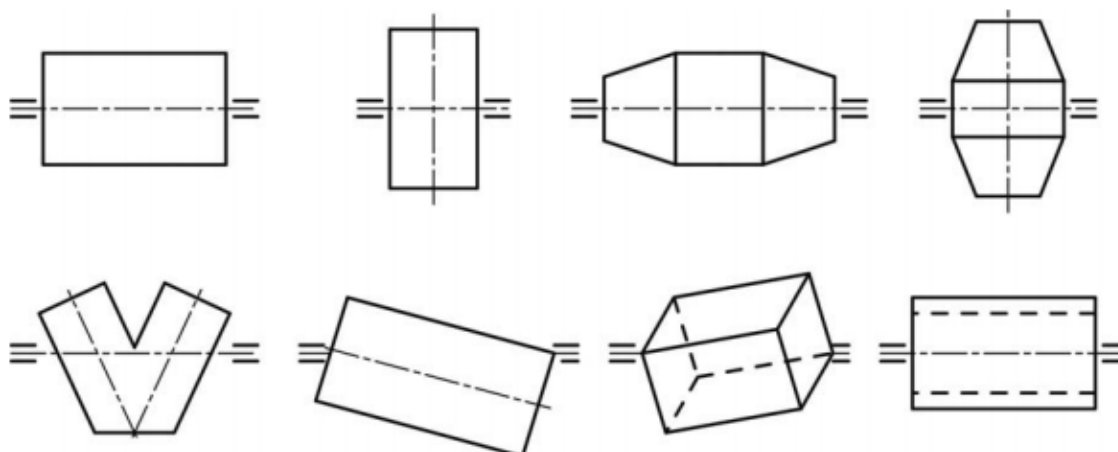
2.2 ROZDĚLENÍ MÍSIČŮ DLE KONSTRUKCE

Z hlediska konstrukčních prvků, můžeme rozeznat 4 skupiny těchto strojů.

- Směšovače s rotující komorou
- Směšovače se stacionární komorou a rotujícím míchadlem
- Statické směšovače
- Ostatní zařízení určená primárně k jiným účelům, kde rovněž dochází k mísení

2.2.1 SMĚŠOVAČE S ROTUJÍCÍ KOMOROU

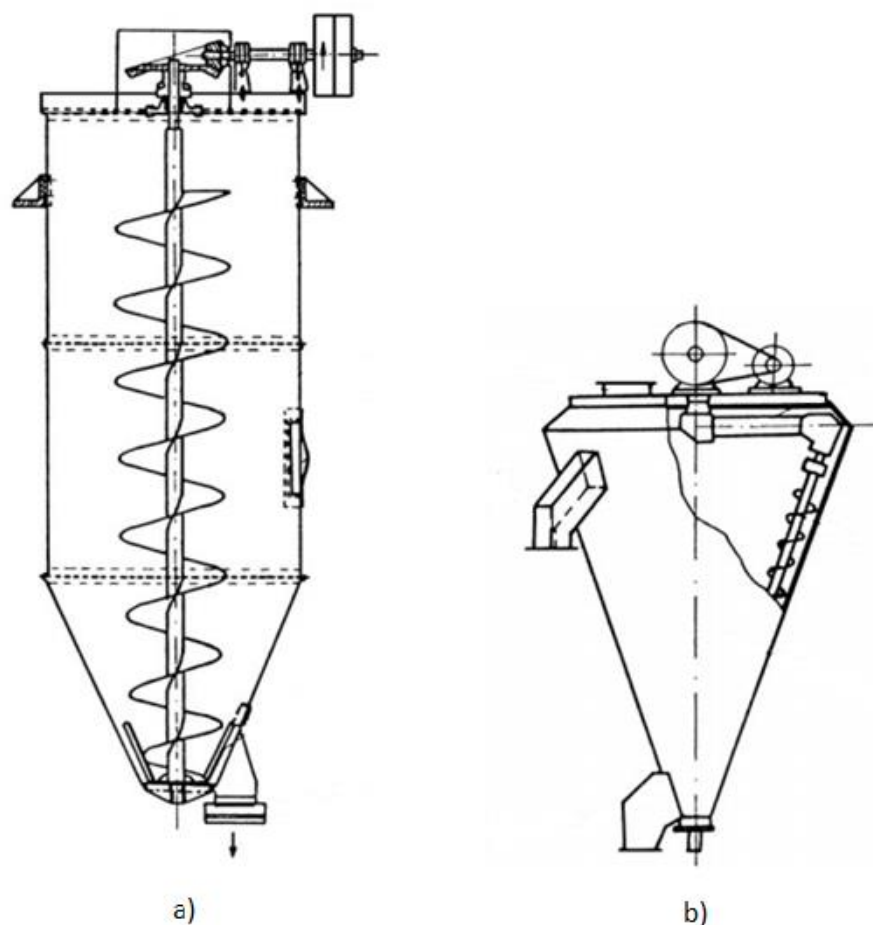
Tyto stroje představují jednoduchý princip mísení materiálu. Vyznačují se otáčivým pohybem celého ústrojí, při kterém dochází ke smíchání dané vsádky. Nejrozšířenější typ tohoto směšovače je bubnový. Existuje však velké množství variant, lišící se pouze tvarem nádoby (kuželové, hranolové, typ V a Y). Uvnitř nádoby se zpravidla nacházejí nepohyblivé lopatky usnadňující mísení. Velkou výhodou je jejich různorodost a využití. Pracují za sucha i s příměsí kapaliny, mohou být staticky umístěné či mobilní (např. domíchávače pracující při přepravě směsi). Výhodou je snadná manipulace a nízké provozní náklady, nevýhodou je množství pro plnění – 30÷35%, u typu V až 40%. [1]



Obrázek 11 Typy mísičů s rotující komorou

2.2.2 SMĚŠOVAČE SE STACIONÁRNÍ KOMOROU A ROTUJÍCÍM MÍCHADLEM

Hlavním rozdílem od předešlého typu, je pohyb vnitřního prvku namísto komory. Mísící element může být upevněn na jednom či na dvou hřídelích, které se otáčejí buď v rovině vodorovné, nebo svislé. Jejich směr otáčení může být protisměrný nebo stejnosměrný. Současně při mísení dochází také k transportu, a to ve vodorovné či svislé poloze. Zařízení pracují v neustálém cyklu, kdy je mísič neustále doplňován a promísený materiál odebírán. K těmto typům strojů patří např. lopatkové či pásové mísiče. Nejrozšířenější však bývá mísič se šnekovým míchadlem. Mezi speciální konstrukci šnekového mísiče řadíme tzv. Nautamixer. Jedná se o planetový mísič, kdy šnek koná vedle vlastní rotace také planetový pohyb po obvodu kuželové komory. Pro zvýšení mísícího účinku se mohou použít i dva šneky v kombinaci s různým tvarem komory. Od kapitoly 2.3 této práce se budeme podrobněji věnovat dvoušnekovým mísičům.



Obrázek 12 Šnekový mísič (a) a mísič Nautamixer (b)

2.2.3 STATICKÉ SMĚŠOVAČE

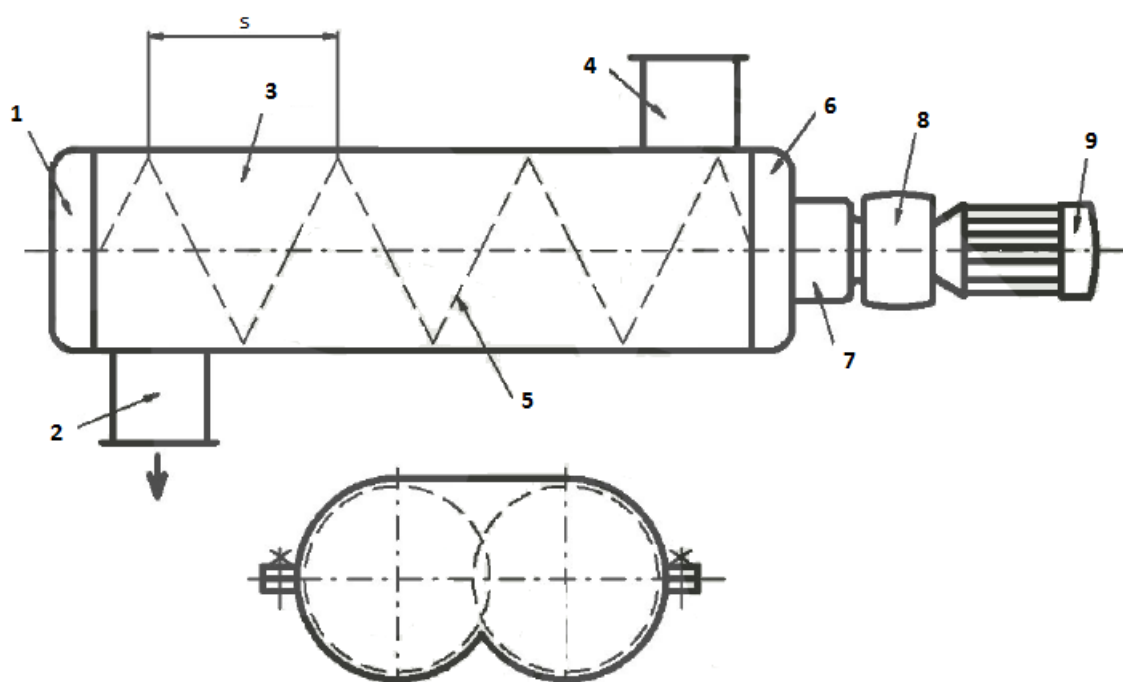
Statické směšovače jsou kompaktní zařízení zařazována o potrubí, kde svým tvarem a konstrukcí zajišťují míchání protékajících látek. Pracují především s mísením tekutin (kapaliny i plyny), popř. mísení tekutin s pevnými látkami a dále se používají jako tepelné výměníky a reaktory. [G]Vhodnější volbou jsou mísiče vertikální, které využívají k pohybu materiálu gravitaci. Při horizontálním uspořádání je nutné využít hnací agregát a následně na výstupu zařadit odlučovač. Hlavní výhodou je bezesporu snadný a bezúdržbový provoz, volitelné konstrukční typy (lamely, mříže, šrouby) či nízké investiční náklady díky absenci rotujících částí. Mezi nevýhody patří především krátká doba zdržení materiálu v mísičím zařízení. Vyžadují také konstantně přesný poměr dávkovacího materiálu (přesná dávkovací čerpadla).

2.2.4 OSTATNÍ ZAŘÍZENÍ

K ostatním zařízením se řadí stroje, u kterých, vedle jejich hlavního účelu, dochází také k směšování, Mohou to být např. různé typy mlýnů a drtičů, fluidní a pneumatické směšovače atd.

2.3 DVOUHŘÍDELOVÝ MÍSIČ

Tento typ mísiče se stacionární komorou se využívá především ve stavebním průmyslu při výrobě betonových, cementových či jiných směsí. Mísič pracuje nejčastěji horizontálně (příp. s malým sklonem), a zároveň s mísením umožňuje přesun materiálu. Stroj se skládá ze tří základních částí – komora, hřídel s lopatkami a pohon. Do komory jsou dávkovány jednotlivé suroviny. Následně lopatky umístěné na rovnoběžných hřídelích materiál mísí. Vše zprostředkovává elektromotor požadovaného výkonu. Výsledné promísení je nejvíce ovlivněno volbou vhodných rozměrů komory a rozměrů lopatek. Sklon lopatek navíc určuje axiální rychlost pohybu směsi, proto mohou být v některé části mísiče úhly nastaveny negativně, což snižuje danou rychlost. Dochází také k výraznějšímu střetávání proudů a intenzivnějšímu promíchávání.



Obrázek 13 Schéma dvouhřídelového mísiče

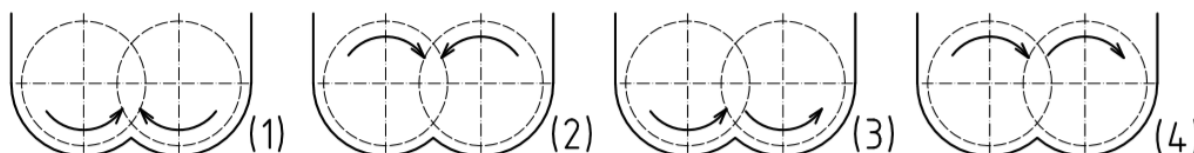
2.3.1 VÝHODY A NEVÝHODY

Díky všestrannému použití jsou varianty toho mísiče hojně používány v několika odvětví průmyslu. Vyznačují se především nepřetržitým mísením a pohybem materiálu. Kompaktní konstrukce umožňuje volitelné umístění stroje a využití pouze malého prostoru. V současné době jsou jednotlivé komponenty vyráběny s ohledem na velkou životnost a odolnost. Příkladem mohou být např. kosočtvercové kachle pro vyložení žlabu, které zvyšují odolnost vůči čtvercovým. Redukují se také otěrové plochy jednotlivých dílů a usnadňuje se jejich výměna. Pozitiva přináší tzv. bezhřídelová míchačka, která eliminuje nánosy materiálu vznikající v místě nulových rychlostí os u původní hřídelové míchačky. Odpadá tak nutnost čištění pevného odpadu v podobě nánosů. Na druhou stranu zde vznikají velké požadavky na utěsnění hřídelí, plynulý chod stroje, dávkování příměsí a vyprazdňování. S tím jsou spojeny pořizovací náklady a náklady na údržbu. Celkově jsou však tyto stroje velmi spolehlivé a využívány již přes 100 let. [20]

2.3.2 OTÁČENÍ HŘÍDELŮ

Kromě frekvence a délky mísicího procesu, přispívá velkou mírou k požadovanému promísení také smysl otáčení obou hřídelů. Ten může být zpravidla ve čtyřech variantách:

- Protisměrné zespoda nahoru (1)
- Protisměrné shora dolů (2)
- Stejnsměrné zespoda nahoru (3)
- Stejnsměrné shora dolů (4)



Obrázek 14 otáčení hřídelů

Při využití protisměrného otáčení se homogenizační časy zkracují, jelikož dochází k delšímu času sdílení materiálu ve smykové zóně. Nejvíce jsou využívány první dva způsoby. Uvedených smyslů otáčení lze docílit pomocí jednoduchého ozubeného převodu (1,2) nebo pomocí řetězového převodu (3,4).

2.3.3 VÝROBCI

V České republice sídlí společnost Merko CZ, která je výrobcem technologických celků pro výrobu betonu. Od roku 1991 firma vyrábí betonárky a doplňkové zařízení ke zpracování betonu. Zastoupení má firma téměř po celé Evropě. Druhým českým zástupcem je firma HAS CZ, zabývající se zpracováním a přepravou různých druhů sypkých materiálů ve všech průmyslových odvětvích. Mísicí stroje jsou pak pouze zlomkem ze strojů, které firma nabízí. Společnost působí na českém trhu od roku 1992 a je součástí největšího světového dodavatele šnekových dopravníků WAMGROUP.[20,21]

WAMGROUP je světovým lídrem na trhu v oblasti šroubových dopravníků a obor zájmu směřuje také v oblasti manipulace a zpracování stavebních hmot. Společnost byla založena již v roce 1968 v italské Modeně a dnes je již zastoupena po celém světě. K této divizi se řadí několik značek zabývajících se svým specifickým oborem, např. WAM (šnekové dopravníky zrnitých materiálů), MAP (technologie míchání) nebo MVM (šnekové dopravníky, podpora WAM).[22]

Z evropských firem v tomto odvětví vynikají především německy mluvící země. Dlouholeté zkušenosti v oblasti strojírenství nabízí německá firma BHS. Specializuje se na technologii mechanických procesů jako míchání, drcení a recyklace. Zařadit sem můžeme také švýcarské společnosti WAB a STAMIXCO, které vyvíjejí zařízení pro různé technologie míchání.[23]

3 PARAMETRY ŠNEKOVÉHO MÍSIČE

Návrh šnekového mísiče bude vycházet z níže zadaných parametrů.

Výkonnost mísiče: $Q_m = 12 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$

Mísené materiály:

Elektrárenský popílek	45%	($\rho_p = 700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Cihlářský jííl	20 %	($\rho_j = 1850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Cement	10 %	($\rho_c = 1200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Vápno	5 %	($\rho_v = 900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Voda	20 %	($\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

3.1 VÝPOČET VÝKONNOSTI MÍSIČE

Výkonnost mísiče se určí ze zadané hodnoty hmotnostní výkonnosti Q_m a vypočtené objemové hmotnosti vlhčené směsi.

Objemová hmotnost směsi:

$$\rho_s = \rho_p \cdot \%p + \rho_j \cdot \%j + \rho_c \cdot \%c + \rho_v \cdot \%v + \rho_{H_2O} \cdot \%H_2O \quad (3.1)$$

$$\rho_s = 700 \cdot 0,45 + 1850 \cdot 0,2 + 1200 \cdot 0,1 + 900 \cdot 0,05 + 1000 \cdot 0,2 \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$$

$$\rho_s = 1050 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Objemová výkonnost mísiče:

$$Q_v = \frac{3600 \cdot Q_m}{\rho_s} \quad (3.2)$$

$$Q_v = \frac{3600 \cdot 12}{1050} [\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}]$$

$$Q_v = 41,14 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$$

3.2 VÝPOČET PŘEDBĚŽNÝCH ROZMĚRŮ MÍSIČE

K výpočtu předběžných rozměrů mísiče je nutné znát určité vstupní parametry, které volíme ze zvolené literatury.

Obvyklé rozmezí otáček je v rozmezí 20 až 35 za minutu. Tyto hodnoty udávají obvodové rychlosti vnějšího průměru lopatek 0,5 – 1,2 m/s.[9]

Otáčky hřídele volím $n_2 = 30 \text{ min}^{-1} = 0,5 \text{ s}^{-1}$

3.2.1 VÝPOČET VNĚJŠÍHO PRŮMĚRU OPISOVANÉHO LOPATKAMI

Při výpočtu vnějšího průměru opísovaného lopatkami se vychází ze vztahu str. 208, lit [8].

$$Q_v = 3600 \frac{\pi D^2}{4} s \Psi n_2 c_H \quad (3.3)$$

Po úpravách dostáváme vztah pro minimální vnější průměr opísovaný lopatkami:

$$D = \sqrt{\frac{4Q_v}{3600 \cdot \pi \cdot s \cdot \Psi \cdot n_2 \cdot c_H}} \quad (3.4)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 41,14}{3600 \cdot \pi \cdot 0,45 \cdot 0,5 \cdot 1}} \quad [\text{m}]$$

$$D = 0,401 \text{ m}$$

Ψ - součinitel optimálního zaplnění, volím dle literatury [8], str. 209, $\Psi = 0,45$ [-]

n_2 - otáčky lopatkového hřídele [-]

s - stoupání, $s \approx D$ [m]

c_H - korekční součinitel pro nulový úhel stoupání žlabu, lit. [8], str. 209 $c_H = 1$ [-]

D - minimální vnější průměr opísovaný lopatkami [m]

OBVODOVÁ RYCHLOST LOPATEK

$$v_L = \pi \cdot D \cdot n_2 \quad (3.5)$$

$$v_L = \pi \cdot 0,401 \cdot 0,5 \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

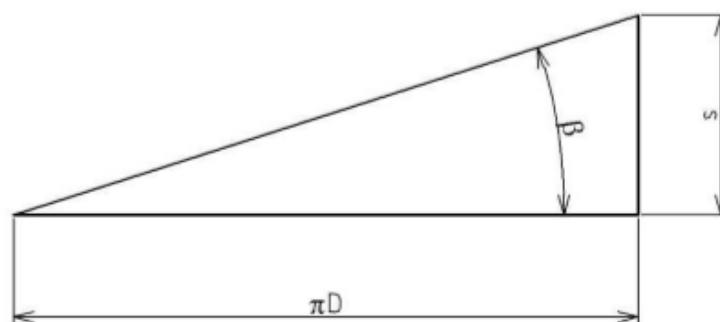
$$v_L = 0,63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

ÚHEL STOUPÁNÍ ŠNEKOVNICE

$$\beta = \text{arctg} \frac{s}{\pi \cdot D} \quad (3.6)$$

$$\beta = \text{arctg} \frac{0,401}{\pi \cdot 0,401} \quad [^\circ]$$

$$\beta = 17^\circ 40'$$



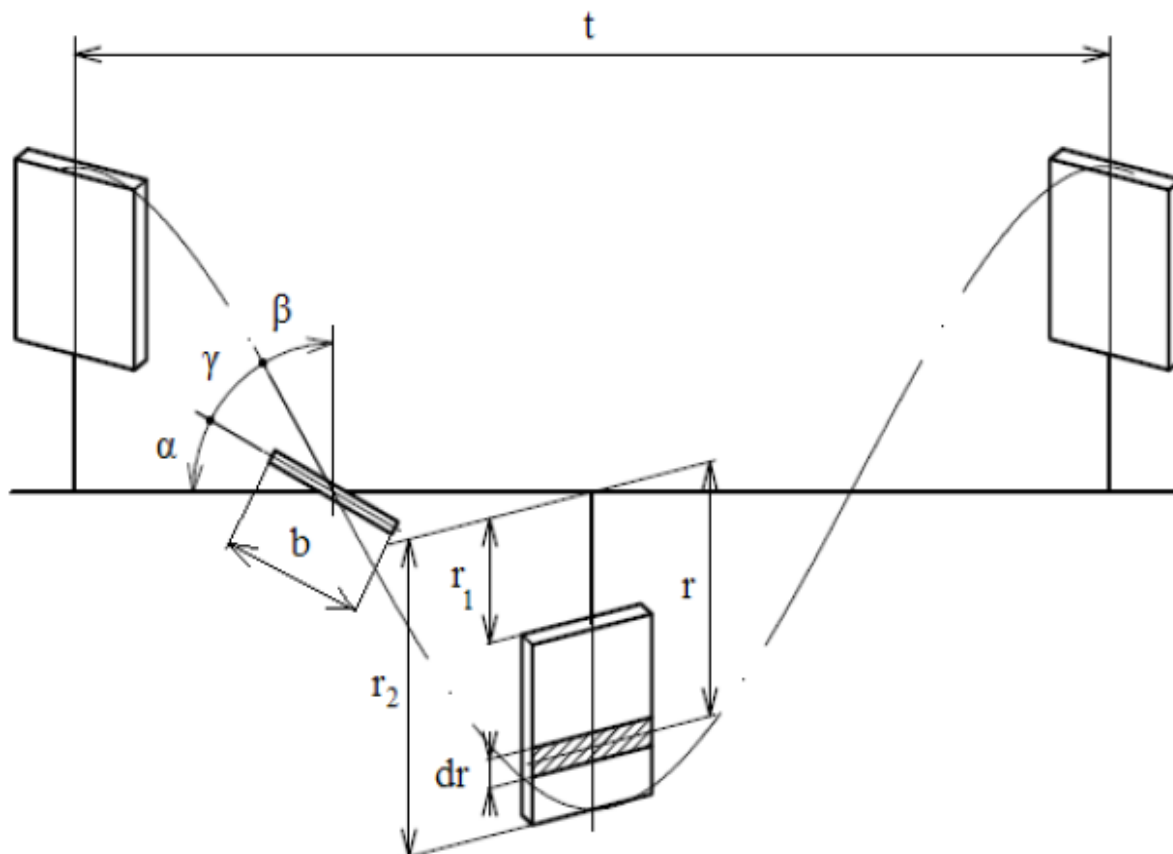
Obrázek 15 Stoupání šnekovnice

VÝPOČET OSOVÉ RYCHLOSTI POHYBU MATERIÁLU

Výpočet pro osovou rychlost v_{os} volím ze strany 174. lit [10].

$$v_{os} = k_v \cdot k_p \cdot v_L \cdot tg\beta \quad (3.7)$$

V uvedené rovnici máme neznámé, které je nutno si předem zvolit nebo vypočítat. Nejdříve vypočítáme součinitel přerušení povrchu šnekovnice k_p . Jedná se o závislost přerušení plochy lopatek k ploše nepřerušené šnekovnice na jedné hřídeli. Současně lze vztah vyjádřit jako závislost šířky lopatky na šroubovici k její délce (viz obr. 16).



Obrázek 16 Závislost šířky lopatky na šroubovici k její délce

Rovnice pro zjištění součinitele přerušení povrchu šnekovnice:

$$k_p = \frac{b \cdot z \cdot \cos\delta}{\frac{\pi \cdot D}{\cos\beta}} \quad (3.8)$$

b – šířka lopatky, volím $b = 90$ mm

z – počet lopatek na jedno stoupání, volím dle literatury [9], str. 170 $z = 4$

δ – úhel naklonění lopatky ke šroubové ploše $^\circ$, výpočet zřejmý z obr. 11

Úhel naklonění lopatky ke šroubové ploše:

$$\delta = 90^\circ - \alpha - \beta \quad (3.9)$$

$$\delta = 90^\circ - 25^\circ - 18^\circ [^\circ]$$

$$\delta = 47^\circ$$

α – úhel nastavení lopatky vůči ose hřídele, dle [9], str. obvyklé rozmezí 5°-35°, volím 25°

β – úhel zjištěný z rovnice (3.6)

Dosazení hodnot do vztahu (3.8):

$$k_p = \frac{0,09 \cdot 4 \cdot \cos 47^\circ}{\frac{\pi \cdot 0,401}{\cos 17^\circ 40'}} \quad [-]$$

$$k_p = 0,19$$

Osová rychlost poté:

$$v_{os} = k_v \cdot k_p \cdot v_L \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (3.7)$$

$$v_{os} = 0,7 \cdot 0,19 \cdot 0,63 \cdot \operatorname{tg} 17^\circ 40' \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$v_{os} = 0,027 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

k_v – součinitel vracení se směsi [-], volím $k_v = 0,7$

SKUTEČNÁ VÝKONNOST MÍSIČE

Ze vztahu pro výkonnost mísiče si vyjádříme skutečnou plochu toku míseného materiálu:

$$Q_v = 3600 \cdot S_o \cdot v_{os} \quad (3.10)$$

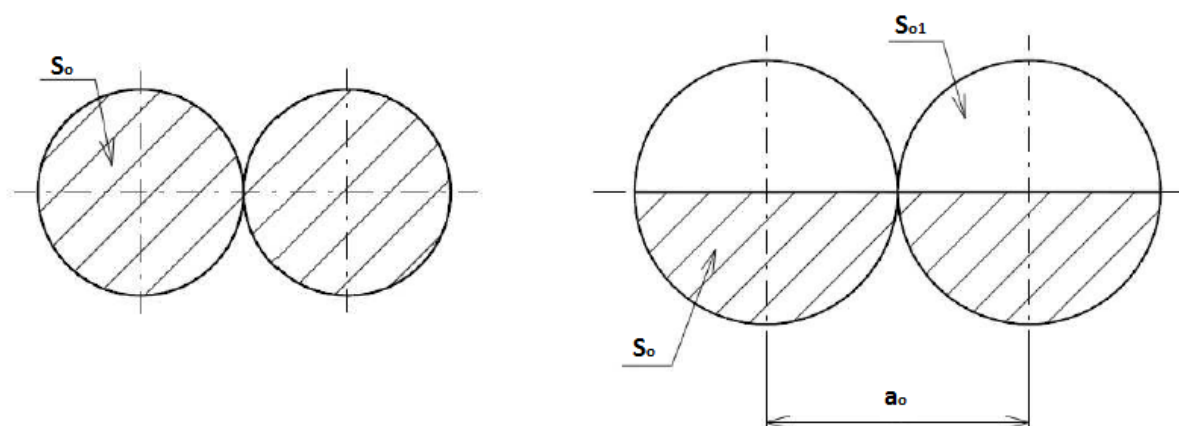
Po úpravě je skutečná plocha toku materiálu dána vztahem:

$$S_o = \frac{Q_v}{3600 v_{os}} \quad (3.11)$$

$$S_o = \frac{41,14}{3600 \cdot 0,027}$$

$$S_o = 0,423 \text{ m}^2$$

Vypočítaná plocha nám udává maximální možnou plochu toku materiálu při úplném zaplnění žlabu. Při zohlednění přiblížení os lopatkových hřídelů bude plocha mísiče větší (viz obr.12).



Obrázek 17 Změna průřezu toku materiálu vlivem plnění

ZOHLEDNĚNÍ ZAPLNĚNÍ ŽLABU

$$S_{01} = \frac{S_0}{k_n} \quad (3.12)$$

$$S_{01} = \frac{0,423}{0,6} \quad [\text{m}^2]$$

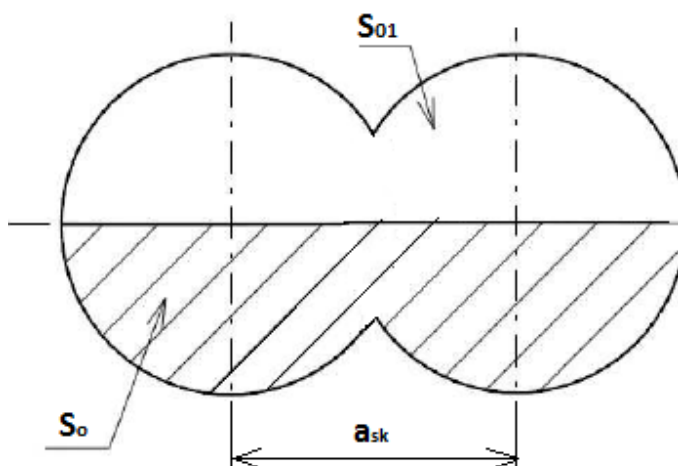
$$S_{01} = 0,705 \text{ m}^2$$

k_n – součinitel naplnění mísiče [-], voleno dle lit. [10], str. 174 $k_n=0,6$

S_{01} – skutečný teoretický průřez toku materiálu [m^2]

ZOHLEDNĚNÍ PŘIBLÍŽENÍ OS LOPATKOVÝCH HŘÍDELŮ

Jelikož se změní vzdálenost os lopatkových hřídelů, je nutné přepočítat zaplnění žlabu (viz obr. 18)



Obrázek 18 Změna průřezu toku materiálu vlivem přiblížení os lopatkových hřídelů

$$a_{sk} = 0,75 \cdot a_0 \quad (3.13)$$

a_{sk} – skutečná rozteč os lopatkových hřídelů [m]

a_r – teoretické rozteč os lopatkových hřídelů [m]

kruhová výseč:

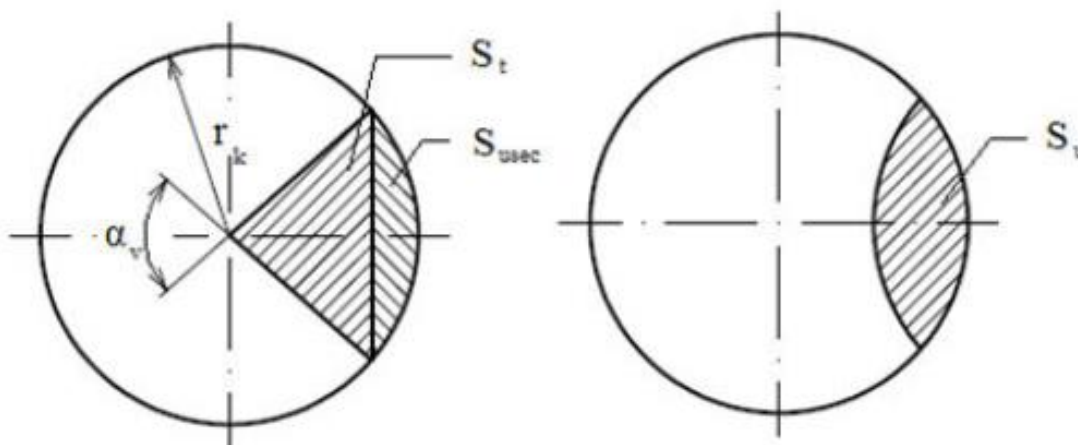
$$S_v = \frac{\alpha_v R_k^2}{2} \quad (3.14)$$

α_v – středový úhel kruhové výseče [°]

R_k – teoretický poloměr kruhu [m]

S_v – obsah kruhové výseče [m²]

Podle obr. 19, je patrné překrytí jednotlivých ploch průtočné plochy. Ke zjištění skutečné plochy průřezu postupujeme dle níže uvedených rovnic.



Obrázek 19 Překrytí průtočných ploch

Obsah trojúhelníku kruhové výseče:

$$S_t = R_k^2 \cdot \sin \frac{\alpha_v}{2} \cdot \cos \frac{\alpha_v}{2} = \frac{R_k^2}{2} \cdot \sin \alpha_v \quad (3.15)$$

R_k – teoretický poloměr kruhu [m]

α_v – středový úhel kruhové výseče [°]

Po přiblížení os lopatkových hřídelů o $0,75 \cdot a_0$, je středový úhel kruhové výseče roven:

$$\alpha_v = 82^\circ = 1,43 \text{ rad} \quad (3.16)$$

Obsah plochy úseče obou kruhů:

$$S_{usec} = 2 \cdot (S_v - S_t) \quad (3.17)$$

$$S_{usec} = 2 \cdot \left[\frac{R_k^2}{2} \cdot (\alpha_v - \sin \alpha_v) \right]$$

$$S_{usec} = 2 \cdot \left[\frac{1^2}{2} \cdot (1,43 - \sin 82^\circ) \right] \quad [\text{m}^2]$$

$$S_{usec} = 0,44 \text{ m}^2$$

Obsah plochy obou kruhů:

$$S_k = 2 \cdot \pi \cdot R_k^2 \quad (3.18)$$

$$S_k = 2 \cdot \pi \cdot 1^2 \quad [\text{m}^2]$$

$$S_k = 6,28 \text{ m}^2$$

Procentuální poměr zmenšení průřezu x_p při daném přiblížení hřídelů:

$$x_p = \frac{S_{usec}}{S_k} \cdot 100\% \quad (3.19)$$

$$x_p = \frac{0,44}{6,28} \cdot 100\%$$

$$x_p = 7 \%$$

Skutečná plocha průřezu mísiče potřebná pro daný tok materiálu na jeden lopatkový hřídel:

$$S_{skut1} = \frac{S_{01} \cdot (1 + 0,07k_n)}{2} \quad (3.20)$$

$$S_{skut1} = \frac{0,705 \cdot (1 + 0,07 \cdot 0,6)}{2} \quad [\text{m}^2]$$

$$S_{skut1} = 0,367 \text{ m}^2$$

Skutečná plocha odpovídající oběma hřídelům je dvojnásobná, tedy:

$$S_{skut} = 0,734 \text{ m}^2$$

Výpočet skutečného průměru opísovaného lopatkami hřídele

$$D_L = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{skut1} + \pi \cdot d_h^2}{\pi}} \quad (3.21)$$

$$D_L = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,367 + \pi \cdot 0,08^2}{\pi}}$$

$$D_L = 0,688 \text{ m}$$

S ohledem na výsledek je volen průměr opísovaný lopatkami $D_L = 0,69 \text{ m}$

STANOVENÍ DÉLKY ŠNEKOVÉHO MÍSIČE

Rozměry šnekového mísiče se odvíjí od požadované doby mísení směsi. Pro získání směsi odpovídající kvality, se v několika intervalech odebírají vzorky, které určují výslednou kvalitu mísení, dle požadovaného parametru.

V době, kdy odebraný vzorek odpovídá požadavkům, lze stanovit výslednou dobu mísení. Doba mísení lze ovlivnit např. změnou otáček lopatkových hřídelů, úpravou záměrů lopatek či zvětšením průřezu toku materiálu. Regulaci výkonnosti a kvalitu směsi budeme uvažovat především úhel nastavení lopatek vzhledem k ose hřídele

Pro ideální promísení volím čas průchodu směsi žlabem $t_m = 100\text{s}$ a úhel lopatek $\alpha = 25^\circ$

$$L = v_{os} \cdot t_m \quad (3.22)$$

$$L = 0,027 \cdot 100$$

$$L = 2,7 \text{ m}$$

Volena účinná délka mísiče $L = 2,8\text{m}$

STANOVENÍ POČTU LOPATEK

Stoupání p_s na jedné hřídeli určíme:

$$p_s = \frac{L}{s} \quad (3.23)$$

$$p_s = \frac{2,8}{0,4}$$

$$p_s = 7$$

s – stoupání [m], zvoleno $s = 0,4 \text{ m}$

Počet lopatek jednoho lopatkového hřídele:

$$p_{L1} = z \cdot p_s \quad (3.24)$$

$$p_{L1} = 4 \cdot 7$$

$$p_{L1} = 28$$

z – počet lopatek na jedno stoupání, doporučená hodnota dle lit. [10] je $z = 4$

Celkový počet lopatek pro oba hřídele je dvojnásobný, tedy $p_L = 56$

KONTROLA OBVODOVÉ RYCHLOSTI

$$v_{ob} = \pi \cdot D_L \cdot n_2 \quad (3.25)$$

$$v_{ob} = \pi \cdot 0,69 \cdot 0,5$$

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

3.3 KONTROLA DOPRAVOVANÉHO MNOŽSTVÍ

$$Q_{vs} = 3600 \cdot S_{skut} \cdot v_{os} \cdot k_n \quad (3.26)$$

$$Q_{vs} = 3600 \cdot 0,734 \cdot 0,027 \cdot 0,6$$

$$Q_{vs} = 42,8 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$$

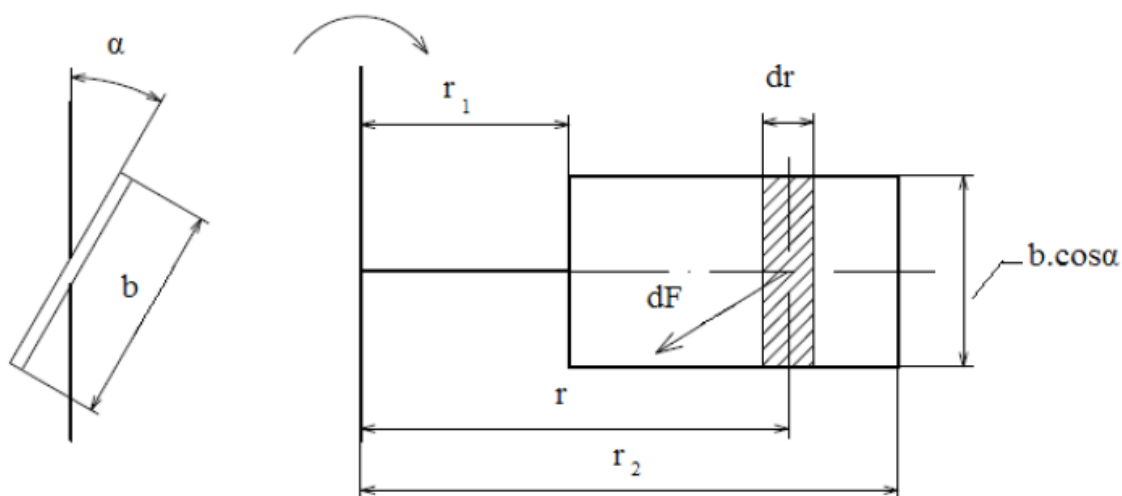
$$Q_{vs} \approx Q_v = 41,14 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$$

Skutečné dopravované množství směsi je stanoveno s maximální odchylkou 5%, což je pro další postup VYHOVUJÍCÍ.

3.4 STANOVENÍ PŘÍKONU PRO POHON MÍSIČE

K vypočítání příkonu pohonu mísiče, byly použity vztahy z lit. [10] str. 174 a 175.

Pro výpočet krouticího momentu pro otáčení jedné lopatky vycházíme z předpokladu, že na element plochy lopatky, působí elementární síla odporu při pohybu této lopatky (obr.). Pro zjednodušení zavádíme měrný koeficient odporu proti pohybu lopatek, který nahrazuje všechny hodnoty odporů.



Obrázek 20 Elementární síla působící na elementu plochy lopatky

3.4.1 KROUTICÍ MOMENT PRO OTÁČENÍ LOPATEK

KROUTICÍ MOMENT POTŘEBNÝ PRO OTÁČENÍ JEDNÉ LOPATKY

$$dF = k_r \cdot dS = k_r \cdot b \cdot \cos\alpha \, dr \quad (3.27)$$

$$M_{kl1} = k_r \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot \int_{r_1}^{r_2} r \, dr$$

$$M_{kl1} = \frac{k_r \cdot b \cdot \cos\alpha \cdot (r_2^2 - r_1^2)}{2}$$

$$M_{kl1} = \frac{15000 \cdot 0,09 \cdot \cos 25^\circ \cdot (0,345^2 - 0,255^2)}{2}$$

$$M_{kl} = 33 N \cdot m$$

k_r – měrný koeficient odporu proti pohybu lopatek [$N \cdot m^{-2}$], $k_r = 15000 N \cdot m^{-2}$ z lit. [10] str. 170

r_1 – vnitřní poloměr opisovaný lopatkou [m]

r_2 – vnější poloměr opisovaný lopatkou [m]

α – úhel nastavení lopatky vůči ose hřídele [$^\circ$]

KROUTICÍ MOMENT PRO OTÁČENÍ OBOU LOPATKOVÝCH HŘÍDELÍ

$$M_{kl} = M_{kl1} \cdot p_L \cdot k_n \quad (3.28)$$

$$M_{kl} = 33 \cdot 56 \cdot 0,6$$

$$M_{kl} = 1108,8 N \cdot m$$

k_n – součinitel naplnění mísiče [-]

p_L – celkový počet lopatek obou hřídelí [-]

3.4.2 POTŘEBNÝ PŘÍKON PRO OTÁČENÍ HŘÍDELE

$$P_o = M_{kl} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_2 \quad (3.29)$$

$$P_o = 1108,8 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,5$$

$$P_o = 3483,4 W$$

3.4.3 POTŘEBNÝ PŘÍKON PRO SUNUTÍ MATERIÁLU ŽLABEM

$$P_s = \frac{\mu \cdot Q_{vs} \cdot \rho_s \cdot L \cdot g}{3,6 \cdot 10^3} \quad (3.30)$$

$$P_s = \frac{3 \cdot 42,8 \cdot 1050 \cdot 2,8 \cdot 9,81}{3,6 \cdot 10^3}$$

$$P_s = 1028,7 W$$

μ – koeficient odporu proti pohybu [-], dle lit. [8] str. 210 $\mu = 3$

Q_{vs} – skutečná objemová výkonnost mísiče [$m^3 \cdot hod^{-1}$]

ρ_s – objemová hmotnost mísené směsi [$kg \cdot m^{-3}$]

L – účinná délka žlabu mísiče [m]

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

3.4.4 POTŘEBNÝ PŘÍKON PRO POHON MÍSIČE

Při provozu kontinuálního mísiče je nutné počítat s možným přetížením, tj. stav, kdy se mísič přeplní materiálem a tím stoupne hodnota požadovaného výkonu. Navíc je nutné předpokládat stav, kdy je mísič zastaven při plném naložení a je nutné překonat tzv. záběrný moment k opětovnému rozběhu. Z důvodu náhlého přetížení musí být příkon dle lit. [8] str. 210 navýšen minimálně o 20%.

$$P = (P_o + P_s) \cdot 1,2 \quad (3.31)$$

$$P = (3483,4 + 1028,7) \cdot 1,2$$

$$P = 5414,5 \text{ W}$$

3.5 STANOVENÍ PODMÍNEK PRO SPRÁVNOU FUNKCI MÍSIČE

Pokud je daný mísič v chodu, může docházet k zaklíňování a jemnému drcení částic směsi. K tomuto stavu dochází na problematických místech, a to mezi povrchem lopatek a válcovou částí žlabu nebo a v klínovém prostoru daném boční stěnou koryta a vnějším okrajem lopatek. Zaklíňování lze předejít vhodnou úpravou okrajů lopatek.

Podmínka pro zaklíňování částice mez i povrchem lopatky a válcovou částí žlabu:

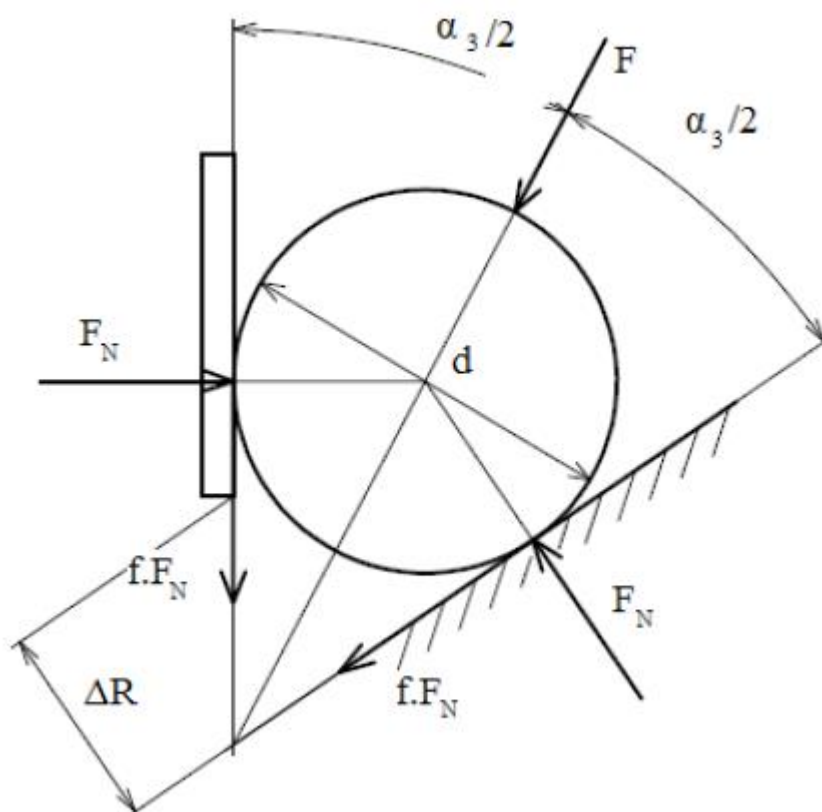
$$-2F_N \cdot \sin \frac{\alpha_z}{2} + 2 \cdot f \cdot F_N \cdot \cos \frac{\alpha_z}{2} + F = 0 \quad (3.32)$$

F_N – normálová síla, která vtlačuje částici mezi lopatku a plášť koryta [N]

α_z – úhel zachycení, pod kterým je částice uchopena lopatkou a přemísťuje se po povrchu žlabu [°]

f – součinitel tření částice o lopatku i žlab, vyjadřuje se též tangentou úhlu [-], volím $f = 0,5$

F – síla působící na částici ze strany mísené směsi [N]



Obrázek 21 Rovnováha sil působící na částici

Pro úhel zachycení α_z platí:

$$\alpha_z = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R+b' \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{R-b' \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}} \quad (3.33)$$

R – poloměr válcové části žlabu [m]

b' - vzdálenost částice směsi od geometrického poloměru lopatky [m]

α – úhel sklonu lopatky vůči ose lopatkové hřídele [°]

za vzorce (3.33) vyplývá, že maximální úhel zachycení α_z bude, pokud $b'=0$:

$$\alpha_z = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R}{R}} = \operatorname{arctg} 1 = 45^\circ \quad (3.34)$$

Dosazením do vztahu (3.32) a jeho úpravou dostaneme:

$$\alpha_z \leq 2\varphi + \arcsin \left(\frac{F}{2F_N} \cos \varphi \right) \quad (3.35)$$

φ – úhel tření mezi materiálem a žlabem [°]

Působení síly zanedbáváme, jelikož je příliš malá ($F=0$) a úhel tření si zapíšeme následovně:

$$\varphi = \operatorname{arctg} f \quad (3.36)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} 0,5$$

$$\varphi = 26^\circ 34'$$

Po dosazení do vztahu (3.35):

$$\alpha_z \leq 2 \cdot 26^\circ 34'$$

$$45^\circ \leq 53^\circ 08' \Rightarrow \quad \text{Podmínka vyhovuje}$$

Z dosud zjištěných výpočtů bylo zjištěno, že pokud je úhel zachycení menší než dvojnásobek úhlu tření, nedojde k zaklínění částice. Zaklínění však může být dáno velikostí mezery mezi povrchem žlabu mísiče a vnějším okrajem lopatky ΔR . Pro částici o průměru d_m platí:

$$d_m < \frac{2\Delta R}{1 + \cos \alpha_z} \quad (3.37)$$

S dřívějším předpokladem $F=0$, můžeme psát vztah určující rozmezí velikosti částice, nevhodné pro mísení:

$$\Delta R < d_m < \Delta R(f^2 + 1) \quad (3.38)$$

$$8 < d_m < 8(0,5^2 + 1)$$

$$8 < d_m < 10 \text{ mm}$$

Rovnice (3.38) stanovuje rozmezí velikosti částic, které se při mísení zaklínují mezi lopatkou a žlabem mísiče. V takovém případě by mohlo dojít k drcení částice, zastavení stroje či destrukci lopatky. Rozmezí 8 - 10mm je tedy pro mísení daným typem zařízení nevhodné.

4 POHONNÁ JEDNOTKA

Pohon sestavíme z katalogových produktů elektromotoru, převodovky a spojky.

4.1 ELEKTROMOTOR

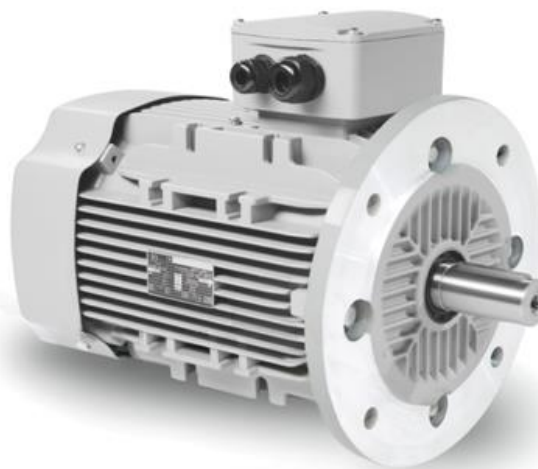
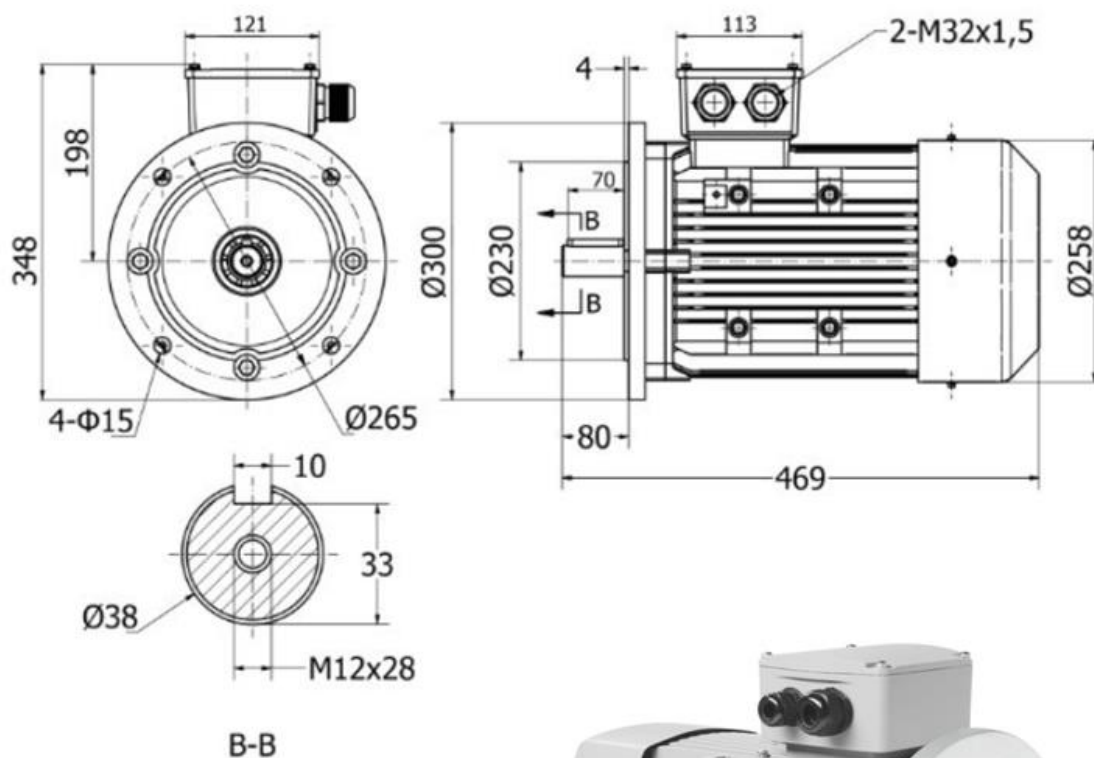
Na základě vypočtených hodnot z kapitoly 3.4 je vybírán vhodný elektromotor.

Od firmy VYBO Electric a.s. je vybrán elektromotor s katalogovým označením 1AL132S-4. Jedná se o třífázový asynchronní elektromotor v přírubovém provedení s těmito parametry: [24]

Výkon motoru: $P = 5,5 \text{ kW}$

Jmenovité otáčky: $n_{el} = 1455 \text{ min}^{-1}$

Hmotnost motoru: 43 kg



Obrázek 22 Elektromotor 1AL132S-4

4.2 PŘEVODOVKA

Od firmy RAVEO volím čelní litinovou převodovku ITH odpovídající velikosti ITH 132. Jedná se o převodovku s vysokou účinností zvolenou dle vypočítaných požadavků s těmito hodnotami: [25]

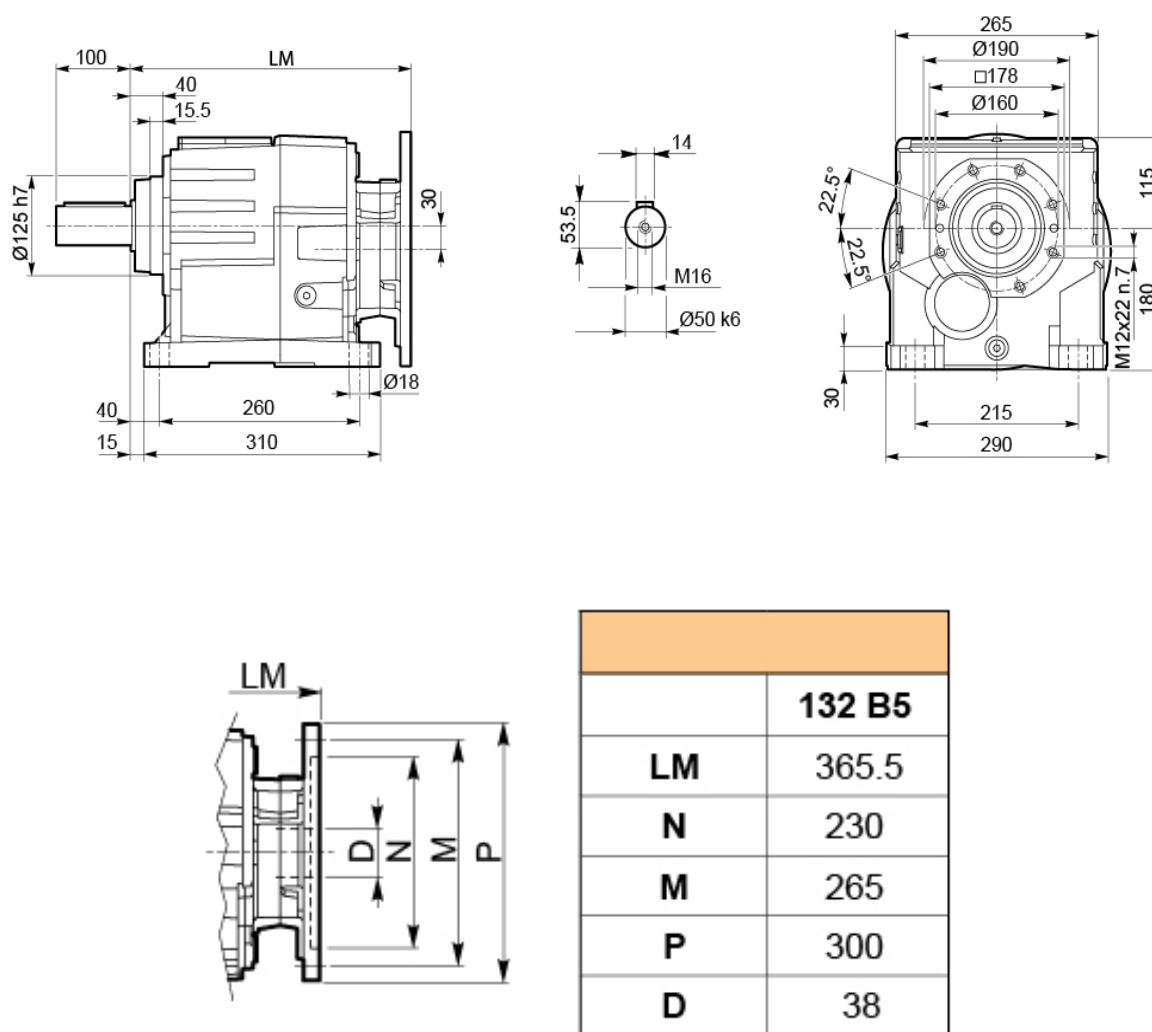
Vstupní otáčky od motoru: $n_{e1} = 1455 \text{ min}^{-1}$

Výstupní otáčky: $n_2 = 30 \text{ min}^{-1}$

Převodový poměr: $i = 48,5$

Výstupní krouticí moment: $M_{kp} = 1750 \text{ N}\cdot\text{m}$

Množství oleje: $V_o = 1,2\text{l}$



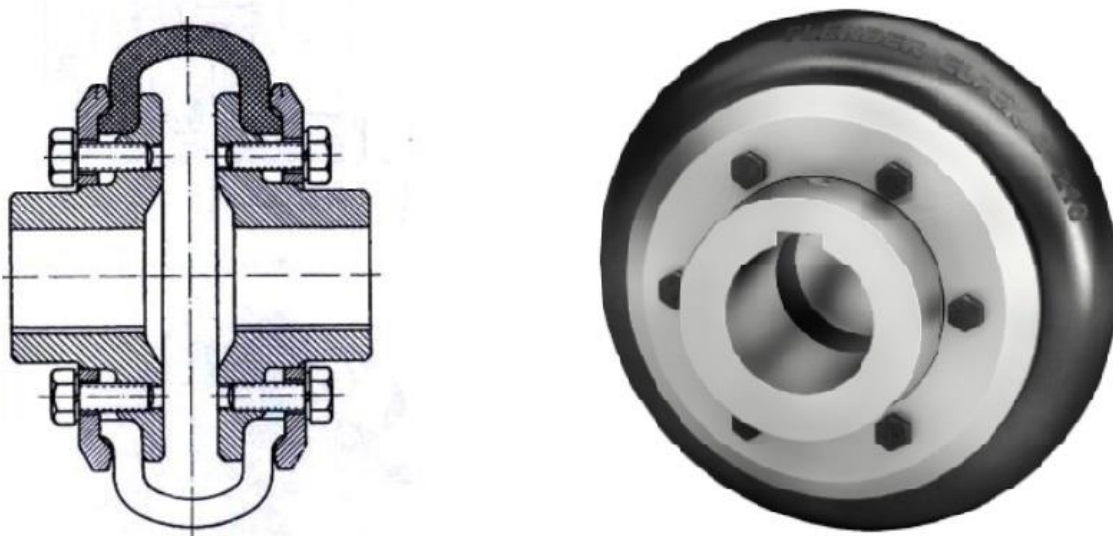
Obrázek 23 Rozměry převodovky ITH 132

4.3 SPOJKA

Pro spojení převodovky s mísičem je využita pružná hřídelová spojka ELPEX. Spojka je vhodná hlavně díky malým rozměrům a bezúdržbovému chodu. V případě potřeby lze snadno vyměnit pryžovou obruč bez další demontáže. Navíc kompenzuje vyosení hřídelů a pracuje v rozsahu krouticího momentu od 24Nm do 14500Nm. Bližší popis je k dispozici na stránkách výrobce. [26]

Průměr hřídelů: $d_1 = d_2 = 50\text{mm}$

Maximální otáčky: $n_{s,\text{max}} = 2300\text{ min}^{-1}$



Obrázek 24 Spojka ELPEX

5 ČERPADLO PRO SYSTÉM SPRCHY

K ideální vlhkosti výsledné směsi je nutné zajistit přítok vody. Z tohoto důvodu je navržen systém kropení směsi pomocí přívodního potrubí. Varianta zapojení je na běžné vodovodní potrubí nebo na externí čerpadlo dodávající vodu ze samostatné nádrže.

Systém se skládá z přívodního potrubí, hlavice sprchy ústící do mísiče a dalších komponentů dle typu přívodu vody.

5.1 PARAMETRY SPRCHY

Pro správné napojení sprchy je nejdříve nutné zjistit důležité rozměry a podmínky pro zajištění ideální vlhkosti směsi.

5.1.1 VÝPOČET PRŮTOKU

$$Q_{H_2O} = Q_{vs} \cdot \%H_2O \quad (5.1)$$

$$Q_{H_2O} = 42,8 \cdot 0,2$$

$$Q_{H_2O} = 8,56 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1} = 2,378 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

$\%H_2O$ – procentuální obsah vody ve směsi [%], dle zadání $\%H_2O = 0,2$

Q_{vs} – skutečná objemová výkonnost mísiče [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]

5.1.2 MINIMÁLNÍ SVĚTLOST PŘÍVODNÍHO POTRUBÍ

$$d_{sv} = \sqrt{\frac{4Q_{H_2O}}{\pi \cdot v_k}} \quad (5.2)$$

$$d_{sv} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,38 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 2,5}}$$

$$d_{sv} = 0,035 \text{ m}$$

v_k – střední rychlost proudění vody v průtočném průřezu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], z tabulky hodnot průtočných rychlostí je $v_k = (0,5-2,5) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, volím $v_k = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Dle výpočtu je zvolena světlost potrubí DN 40 se závitů G1

5.1.3 MINIMÁLNÍ POČET OTVORŮ SPRCHY

Základním předpokladem pro výpočet je stanovení průměru jednoho otvoru. Rozměr volím $d_o = 3 \text{ mm}$.

SVĚTLÝ PRŮŘEZ POTRUBÍ

$$S_{tp} = \frac{\pi \cdot d_{sv}^2}{4} \quad (5.3)$$

$$S_{tp} = \frac{\pi \cdot 35^2}{4}$$

$$S_{tp} = 962 \text{ mm}^2$$

VELIKOST PRŮŘEZU OTVORU

$$S_d = \frac{\pi d_0^2}{4} \quad (5.4)$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot 3^2}{4}$$

$$S_d = 7,1 \text{ mm}^2$$

POČET OTVORŮ SPRCHY

$$P_{ot} = \frac{S_{tp}}{S_d} \quad (5.5)$$

$$P_{ot} = \frac{962}{7,1}$$

$$P_{ot} = 135,5$$

Počet otvorů je zvolen $P_{ot} = 140$

5.2 ZAPOJENÍ SYSTÉMU NA VODOVOD

Přívod vody je možné uskutečnit pomocí napojení na vodovod. V takovém případě je nutné regulovat průtok vody, jelikož tlak v potrubí je různý. K zapojení je využit hlavní ventil a průtokoměr.

5.2.1 HLAVNÍ VENTIL

U napojení na vodovodní síť je instalován dvoucestný elektromagnetický ventil firmy MAR Systems. Hlavní technické údaje ventilu jsou: [29]

Pracovní tlak: 0,3-16 bar

Velikost připojení: G1

Světlost: DN40

Standardní napětí: 230V/50Hz



Obrázek 25 Elektromagnetický ventil

5.2.2 PRŮTOKOMĚŘ

Pro kontrolu správného množství dodávané vody je instalován průmyslový průtokoměr typové řady FLOW 38. Dle katalogu [28] splňuje všechny požadavky.

Světlost: DN40

Průtok: 1-12 m³·hod⁻¹



Obrázek 26 Průtokoměr FLOW 38

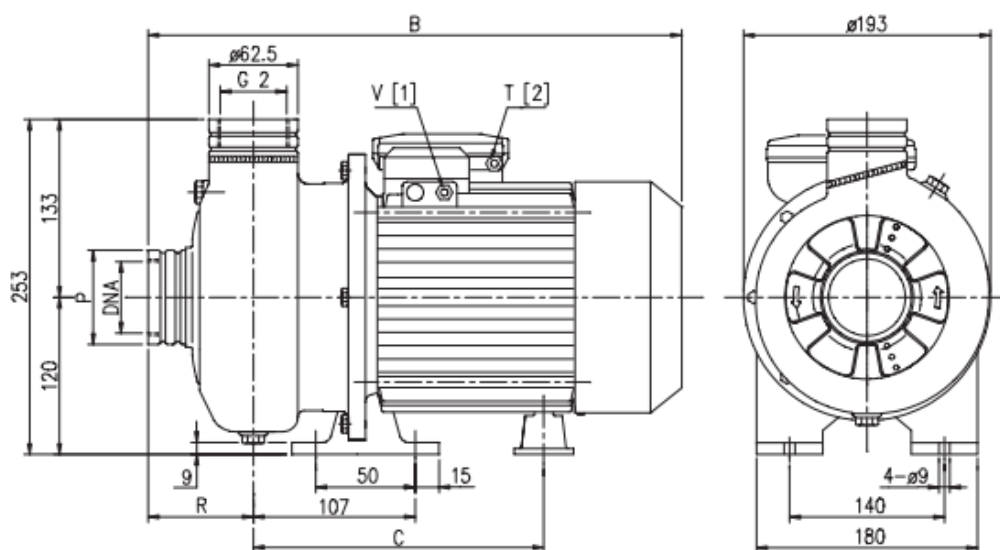
5.3 ZAPOJENÍ SYSTÉMU NA ČERPADLO

V případě umístění mísiče mimo vodovodní síť, lze využít řešení se samostatnou nádrží a přívodem vody pomocí čerpadla. Pro daný průtok je zvoleno odstředivé čerpadlo EBARA DWO 150, vhodné pro nepřetržitý provoz. Tento produkt společnosti e-čerpadla má následující technické parametry: [30]

Průtok: 6-33m³/hod

Dopravní výška: 5-9,5m

Příkon elektromotoru: 1,1 kW



Model	Rozměry (mm)						Váha Kg
	B	C	R	! P	V	! T	
DWO 150	364	198.5	74	62.5	PG11	PG13.5	12,6

Obrázek 27 Rozměry odstředivého čerpadla DWO 150

6 OZUBENÝ PŘEVOD

Mísení směsi u kontinuálního mísiče zajišťují dva lopátkové hřídele, z nichž je jeden napojen na pohon mísiče a pomocí ozubeného soukolí se přenáší krouticí moment na hřídel druhý. Spojení ozubených kol a hřídelí je pomocí upínacích pouzder.

6.1 VÝPOČET PARAMETRŮ OZUBENÉHO SOUKOLÍ

MODUL OZUBENÍ

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{2M_k}{z_k \cdot \Psi_o \cdot w_{td}}} \Rightarrow m_o^3 = \frac{2 \cdot M_k \cdot m_o}{d_r \cdot \Psi_o \cdot w_{td}} \Rightarrow m_o = \sqrt{\frac{2M_k}{d_r \cdot \Psi_o \cdot w_{td}}} \quad (6.1)$$

$$m_n = \sqrt{\frac{2 \cdot 1750}{0,384 \cdot 20 \cdot 30}}$$

$$m_n = 3,89$$

Z normalizované řady modulů volím nejbližší vyšší hodnotu, $m_n = 4$

d_r – průměr roztečné kružnice [mm], $d_r = 384$ mm

Ψ_o – relativní šířka ozubení, dle ČSN 01 4686 volena hodnota $\Psi = 20$

w_{td} – měrné dovolené zatížení zubu [MPa], dle ČSN 01 4686 voleno $w_{td} = 30$ MPa

M_k – maximální přenášený krouticí moment od převodovky [N·m]

z_k – počet zubů ozubeného kola [-]

HLAVNÍ PARAMETRY

Šířka ozubení:

$$b_w = \Psi \cdot m_n \quad (6.2)$$

$$b_w = 20 \cdot 4$$

$$b_w = 80 \text{ mm}$$

Počet zubů:

$$z_1 = z_2 = \frac{d_r}{m_n} \quad (6.3)$$

$$z_1 = z_2 = \frac{384}{4}$$

$$z_1 = z_2 = 96 \text{ zubů}$$

Výška zubu:

$$h = 2,25 \cdot m_n \quad (6.4)$$

$$h = 2,25 \cdot 4$$

$$h = 9 \text{ mm}$$

výška hlavy zubu:

$$h_a = m_n \quad (6.5)$$

$$h_a = 4 \text{ mm}$$

Výška paty zubu:

$$h_f = 1,25 \cdot m_n \quad (6.6)$$

$$h_f = 1,25 \cdot 4$$

$$h_f = 5 \text{ mm}$$

Hlavová vůle:

$$c_a = 0,25 \cdot m_n \quad (6.7)$$

$$c_a = 0,25 \cdot 4$$

$$c_a = 1 \text{ mm}$$

Průměr hlavové kružnice:

$$d_a = d_r + 2 \cdot h_a \quad (6.8)$$

$$d_a = 384 + 2 \cdot 4$$

$$d_a = 392 \text{ mm}$$

Průměr patní kružnice:

$$d_f = d_r - 2 \cdot h_f \quad (6.9)$$

$$d_f = 384 - 2 \cdot 5$$

$$d_f = 374 \text{ mm}$$

Průměr základní kružnice:

$$d_z = d_r \cdot \cos \alpha_z \quad (6.10)$$

$$d_z = 384 \cdot \cos 20^\circ$$

$$d_z = 360,8 \text{ mm}$$

d_z – normalizovaný úhel záběru [°]

PARAMETRY PRO PEVNOSTNÍ VÝPOČET

Rozteč zubů:

$$t = \pi \cdot m_n \quad (6.11)$$

$$t = \pi \cdot 4$$

$$t = 12,6 \text{ mm}$$

Základní rozteč:

$$t_b = t \cdot \cos \alpha_z \quad (6.12)$$

$$t_b = 12,6 \cdot \cos 20^\circ$$

$$t_b = 11,8 \text{ mm}$$

Součinitel záběru v čelní rovině:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - 2 \cdot a_w \cdot \sin \alpha_z}{2 \cdot t_b} \quad (6.13)$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{392^2 - 360,8^2} + \sqrt{392^2 - 360,8^2} - 2 \cdot 384 \cdot \sin 20^\circ}{2 \cdot 11,8}$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,85\varepsilon$$

 $d_{a1,2}$ – průměr hlavové kružnice [mm] $d_{b1,2}$ – průměr základní kružnice [mm] a_w – vzdálenost os [mm]

Součinitel záběru v osové rovině:

$$\varepsilon_\beta = \frac{b_w \cdot \sin \beta_t}{\pi \cdot m_n} \quad (6.14)$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{80 \cdot \sin 0}{\pi \cdot 4}$$

$$\varepsilon_\beta = 0$$

 b_w – šířka ozubeného soukolí [mm] β_t – úhel sklonu zubu [°]

6.2 PEVNOSTNÍ VÝPOČET

Vzorce a jednotlivé veličiny pro pevnostní výpočet jsem použil z [66]

Obvodová síla:

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{kp}}{d_r} \quad (6.15)$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 1750000}{384}$$

$$F_t = 9115 \text{ N}$$

M_{kp} – max. krouticí moment převodovky [N·mm]

d_r – průměr roztečné kružnice [mm], $d_r = 384$ mm

6.2.1 ÚNOSNOST V OHYBU

Nominální napětí v ohybu v patě zubu:

$$\sigma_{F0} = \frac{F_t}{b_w \cdot m_n} \cdot Y_{FS} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \quad (6.16)$$

$$\sigma_{F0} = \frac{9115}{80.4} \cdot 4,3 \cdot 1 \cdot 0,63$$

$$\sigma_{F0} = 77,16 \text{ MPa}$$

Y_{FS} – součinitel tvaru zubu a koncentrace napětí [-], voleno $Y_{FS} = 4,3$

Y_β – součinitel sklonu zubu [-], voleno $Y_\beta = 1$

Y_ε – součinitel vlivu záběru profilu [-], při podmínce $\varepsilon_\beta < 1$ je $Y_\varepsilon = 0,2 + \frac{0,8}{\varepsilon_\alpha} = 0,63$

Napětí v ohybu v patě zubu:

$$\sigma_F = \sigma_{F0} \cdot K_A \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{Fv} \quad (6.16)$$

$$\sigma_F = 77,16 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1,2$$

$$\sigma_F = 138,8 \text{ MPa}$$

K_A – součinitel vnějších dynamických sil [-], pro středně nerovnoměrné zatěžování $K_A = 1,5$

$K_{F\alpha}$ – součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů [-], $K_{F\alpha} \cdot K_{Fv} = 1,2$

$K_{F\beta}$ – součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce [-], z tabulek voleno $K_{F\beta} = 1$

K_{Fv} – součinitel vnitřních dynamických sil [-], $K_{F\alpha} \cdot K_{Fv} = 1,2$

Součinitel bezpečnosti v ohybu:

$$S_F = \frac{\sigma_{F,lim}}{\sigma_F} \cdot Y_{NT} \cdot Y_R \cdot Y_X \cdot Y_\delta \quad (6.17)$$

$$S_F = \frac{500}{138,8} \cdot 1,8 \cdot 1$$

$$S_F = 6,5 \geq 1,4 \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

$\sigma_{F,lim}$ – mez únavy v ohybu [MPa], pro ocel 12 020 je $\sigma_{F,lim} = 500$ MPa

Y_{NT} – součinitel životnosti [-], pro železné materiály v rozmezí 1-2,5, volím $Y_{NT} = 1,8$

Y_R – součinitel drsnosti v oblasti patního přechodu zubu [-]

Y_X – součinitel velikosti zatížení [-]

Y_δ – součinitel vrubové citlivosti [-]

Zjednodušený výpočet - $Y_R \cdot Y_X \cdot Y_\delta = 1$

6.2.2 ÚNOSNOST V DOTYKU

Nominální napětí ve valivém bodě dle Hertze:

$$\sigma_{H0} = \sqrt{\frac{F_t}{d_r \cdot b_w} \cdot \frac{u+1}{u}} \cdot Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\epsilon \quad (6.18)$$

$$\sigma_{H0} = \sqrt{\frac{9115}{384 \cdot 80} \cdot \frac{1+1}{1}} \cdot 2,3 \cdot 190 \cdot 0,85$$

$$\sigma_{H0} = 286 \text{ MPa}$$

u – převodové číslo [-], voleno $i = 1$

Z_H – součinitel tvaru zubu [-], voleno $Z_H = 2,3$

Z_E – součinitel materiálu [-], pro materiál ocel voleno $Z_E = 190$

Z_ϵ – součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů [-], $Z_\epsilon = 0,85$

Napětí ve valivém bodě:

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{Hv}} \quad (6.19)$$

$$\sigma_H = 286 \cdot \sqrt{1,5 \cdot 1 \cdot 1,2}$$

$$\sigma_H = 383 \text{ MPa}$$

Hodnoty použity z předchozího výpočtu pro napětí v ohybu v patě zubu.

Součinitel bezpečnosti v dotyku (proti tvorbě pettingů):

$$S_H = \frac{\sigma_{H,lim}}{\sigma_H} \cdot Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_v \quad (6.20)$$

$$S_H = \frac{1210}{383} \cdot 1,8 \cdot 0,9$$

$$S_H = 5,1 \geq 1,2 \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

$\sigma_{H,lim}$ - mez únavy zubu v dotyku [MPa], voleno dle materiálu $\sigma_{H,lim} = 1210$ MPa

Z_{NT} - součinitel životnosti [-], v rozmezí 1-2,5, volím $Z_{NT} = 1,8$

Z_L - součinitel maziva [-]

Z_R - součinitel drsnosti boků zubů [-]

Z_v - součinitel obvodové rychlosti [-]

Součin $Z_L \cdot Z_R \cdot Z_v$ v rozmezí 0,85 – 0,95, voleno $Z_L \cdot Z_R \cdot Z_v = 0,9$

6.3 ZATÍŽENÍ LOŽISEK OD OZUBENÉHO PŘEVODU

Radiální síla na roztečné kružnici:

$$F_{R0} = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \quad (6.21)$$

$$F_{R0} = 9115 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ$$

$$F_{R0} = 3317,6 \text{ N}$$

Radiální zatížení jednoho ložiska je poté:

$$F_{R01} = F_{R02} = \frac{F_{R0}}{2} \quad (6.22)$$

$$F_{R01} = F_{R02} = \frac{3317,6}{2}$$

$$F_{R01} = F_{R02} = 1658,8 \text{ N}$$

Axiální síla je u přímého ozubení nulová. Toto zatížení je nutno zachytit koncovými ložisky navrženými v následující kapitole.

7 VOLBA LOŽISEK

Lopatkou hřídel, která zajišťuje proces mísení, je nutné zamezit radiální a axiální posuv. Toho docílíme vhodně zvolenými ložisky. Ložisko na předním čele je uloženo v radiálně-axiálním ložisku. Uvažujeme zde zatížení vlastní vahou, reakci způsobené ozubeným soukolím a vliv sunutí mísené směsi. Koncové ložisko zajišťuje pouze zatížení od vlastní hmotnosti, voleno je tedy radiální.

7.1 ZATÍŽENÍ LOŽISEK

7.1.1 AXIÁLNÍ SMĚR

Axiální síla:

$$F_a = \frac{M_{kp}}{R_s \cdot \operatorname{tg}(\beta_s + \varphi)} \quad (7.1)$$

$$F_a = \frac{1750}{0,25 \cdot \operatorname{tg}(17^\circ 40' + 26^\circ 34')}$$

$$F_a = 7190 \text{ N}$$

M_{kp} – maximální krouticí moment převodovky [N·m]

φ – třecí úhel mezi žlabem a materiálem [°], $\varphi = \operatorname{arctg} 0,5 = 26^\circ 34'$

R_s – účinný poloměr lopatek [m], $R_s = (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot D_L = 0,25 \text{ m}$

β_s – skutečný úhel stoupání šnekovnice [°], $\beta_s = \operatorname{arctg} \frac{s}{\pi \cdot D_L} = 17^\circ 40'$

s – stoupání šnekovnice [m]

D_L – průměr opisovaný lopatkami hřídele [m]

Kontrolní axiální síla:

$$F_{ak} = \frac{P_s}{2 \cdot v_{os}} \quad (7.2)$$

$$F_{ak} = \frac{1028,7}{2 \cdot 0,027}$$

$$F_{ak} = 19050 \text{ N}$$

P_s – příkon potřebný pro sunutí směsi žlabem [W]

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

Pro správnou volbu ložiska je vybráno větší zatížení, tedy $F_{ak} = 19050 \text{ N}$

7.1.2 RADIÁLNÍ SMĚR

Radiální zatížení je způsobeno vlastní vahou lopatkové hřídele i s lopatkami. Hmotnost byla spočítána v kap. 8.1.2, i s následným výpočtem zatížení v podporách ($R_A = R_B = 750 \text{ N}$). K tomuto zatížení je nutné přičíst zatížení od ozubeného převodu vypočítané v kap. 6.3 ($F_{R01} = F_{R02} = 1658,8$).

Radiální síla

$$F_R = R_A + F_{R01} \quad (7.3)$$

$$F_R = 750 + 1658,8$$

$$F_R = 2408,8 \text{ N}$$

7.2 PŘEDNÍ LOŽISKO

Ložisko na straně pohonné jednotky je zatíženo v axiálním i radiálním směru. Pro kombinované zatížení je vhodné použít jednořadé kuželíkové ložisko, nebo dvouřadé soudečkové. Z katalogu firmy ZKL group je voleno soudečkové ložisko s označením 22310EW33J.

Zadané parametry:

$$F_{ak} = 19050 \text{ N}$$

$$F_R = 2408,8 \text{ N}$$

$$n_2 = 30 \text{ min}^{-1}$$

$$C_r = 220000 \text{ N}$$

Hodnoty koeficientů:

$$e = 0,36$$

$$Y = 1,7$$

$$X = 0,67$$

K určení ekvivalentního dynamického zatížení je nutné určit poměr zatěžujících sil:

$$\frac{F_{ak}}{F_R} = \frac{19050}{2408,8} = 7,9 > e \quad (7.4)$$

Následující výpočet ekvivalentního dynamického zatížení je dán vztahem:

$$P = X \cdot F_R + Y \cdot F_{ak} \quad (7.5)$$

$$P = 0,67 \cdot 2408,8 + 1,7 \cdot 19050$$

$$P = 33999 \text{ N}$$

Výpočet trvanlivosti:

$$L_h = \left(\frac{C_r}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} \quad (7.6)$$

$$L_h = \left(\frac{220000}{33999}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 30}$$

$$L_h = 280489 \text{ hod}$$

7.3 ZADNÍ LOŽISKO

Koncové ložisko je zatíženo radiální silou vzniklou od vlastní váhy lopatkového hřídele. Pro tento typ zátěže jsou využívány kuličková ložiska. Od firmy SKF volím ložiskovou jednotku kuličkovým ložiskem YAR 210-2RF.

Zadané parametry:

$$F_a = 0 \text{ N}$$

$$F_R = 2408,8 \text{ N}$$

$$n_2 = 30 \text{ min}^{-1}$$

$$C_r = 35100 \text{ N}$$

Hodnoty koeficientů:

$$e = 0,17$$

Jelikož je axiální síla rovna nule, potom i poměr zatěžujících sil je roven nule. Dynamické ekvivalentní zatížení je $P = F_R = 2408,8 \text{ N}$.

Výpočet trvanlivosti:

$$L_h = \left(\frac{C_r}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} \quad (7.7)$$

$$L_h = \left(\frac{35100}{2408,8}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 30}$$

$$L_h = 4198383 \text{ hod}$$

7.4 PROVOZ LOŽISEK

Základní trvanlivost obou ložisek je stanovena poměrně vysoká. Zároveň však může docházet k většímu opotřebení vlivem nepřesnosti v uložení lopatkové hřídele a následným provozem. Obě ložiska jsou opatřeny pouzdrem připevněným k tělu mísiče a utěsněna proti nečistotám. Pro správnou funkci je zajištěno mazání, v přední části společně s ozubeným soukolím, koncové ložisko pomocí mazací hlavice.

8 PEVNOSTNÍ VÝPOČET DŮLEŽITÝCH ČÁSTÍ MÍSIČE

8.1 VÝPOČET HŘÍDELE

Pohon mísiče je napojen pomocí pružné spojky na lopatkovou hřídel. S využitím ozubeného převodu je hnací moment přenášen od hnacího hřídele ke hnanému hřídeli. Krouticí moment poté rozdělujeme:

$$M_{k1} = \frac{M_{kp}}{2} \quad (8.1)$$

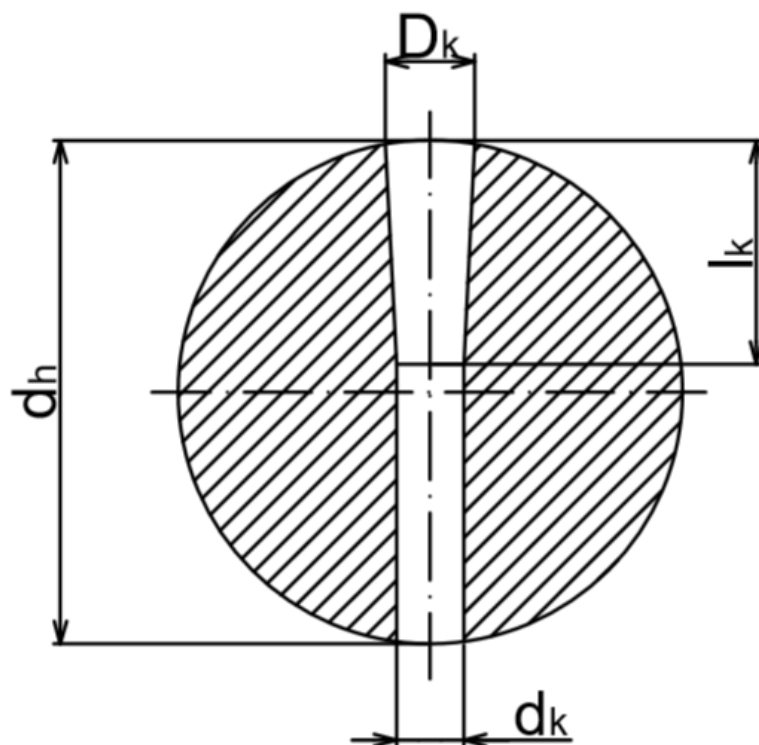
$$M_{k1} = \frac{1750}{2}$$

$$M_{k1} = 875 \text{ N} \cdot \text{m}$$

M_{kp} – výstupní krouticí moment převodovky [$\text{N} \cdot \text{m}$], z kap. 4.2 určen $M_{kp} = 1750 \text{ N} \cdot \text{m}$

8.1.1 KONTROLA NA KRUT

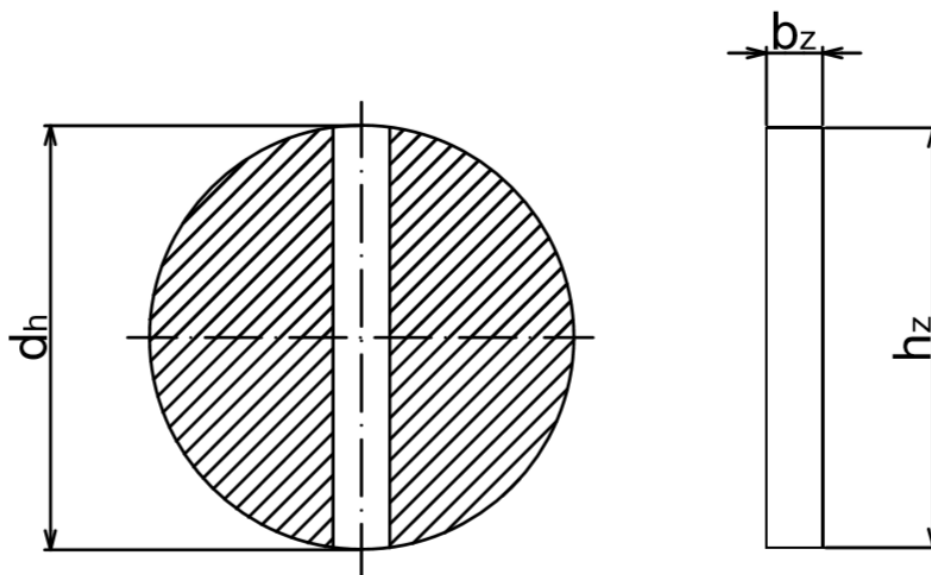
Kontrolu na krut je nutné provést pro nejslabší místo na hřídeli. Zeslabený průřez je v místě uchycení lopatky, přičemž dle průběhu krouticího momentu zaznamenáváme největší hodnotu v místě uchycení první lopatky.



Obrázek 28 Řez hřídele v místě uchycení lopatky

MODUL PRŮŘEZU V KRUTU

Z obr. 28 provedeme zjednodušený průřez, ze kterého následně vypočítáme modul průřezu (viz obr. 29).



Obrázek 29 Zjednodušený průřez hřídele

Modul průřezu pro kruh:

$$W_{kh} = \frac{\pi \cdot d_h^3}{16} \quad (8.2)$$

$$W_{kh} = \frac{\pi \cdot 80^3}{16}$$

$$W_{kh} = 100531 \text{ mm}^3$$

d_h – průměr hřídele [mm], voleno $d_h = 80 \text{ mm}$

Modul průřezu pro obdélníkový tvar:

$$W_{kz} = \alpha_z \cdot h_z \cdot b_z^2 \quad (8.3)$$

$$W_{kz} = 0,291 \cdot 80 \cdot 20^2$$

$$W_{kz} = 9312 \text{ mm}^3$$

α_z – součinitel poměru stran pro krut u obdélníkového průřezu [-], určeno $\alpha_z = 0,291$

h_z – výška zjednodušeného obdélníku [mm], lze psát $h_z = d_h = 80 \text{ mm}$

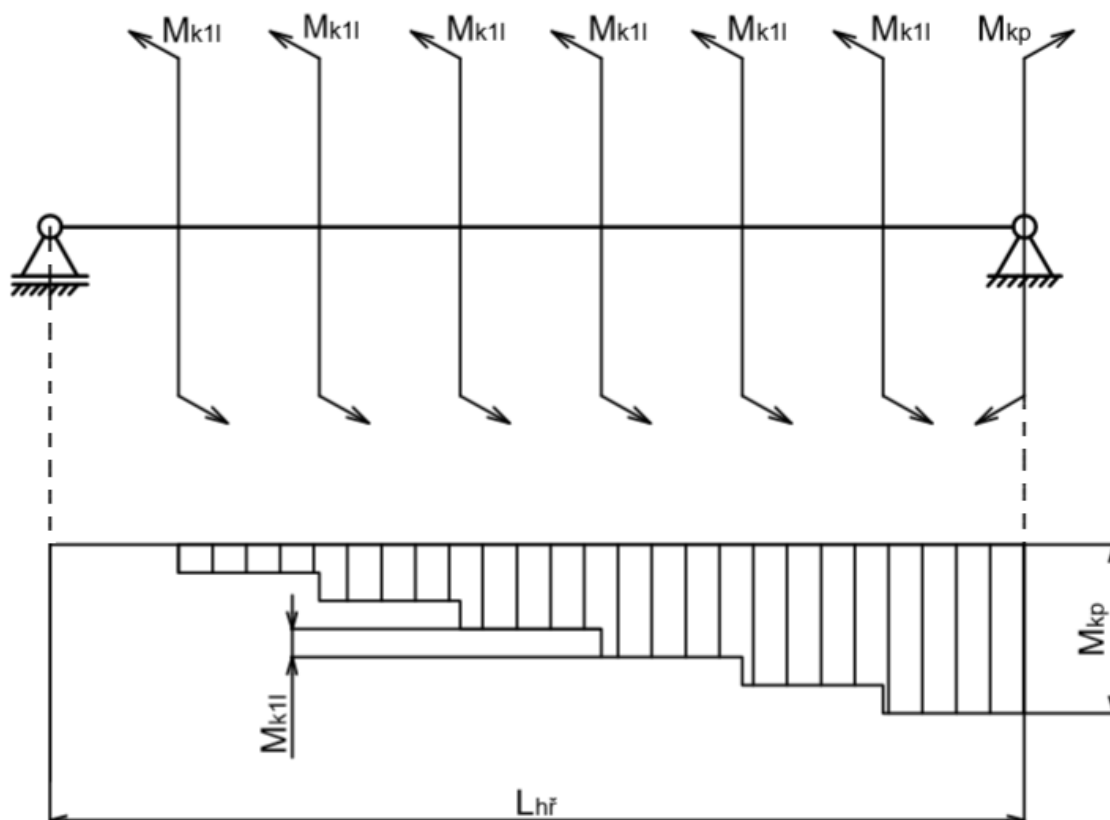
b_z – šířka zjednodušeného obdélníku [mm], $b_z = 20 \text{ mm}$

Celkový modul průřezu v krutu:

$$W_{kc} = W_{kh} - W_{kz} \quad (8.4)$$

$$W_{kc} = 100531 - 9312$$

$$W_{kc} = 91219 \text{ mm}^3$$



Obrázek 30 Průběh krouticího momentu na hřídeli

Krouticí moment odebírající jednou lopatkou:

$$M_{k1l} = \frac{M_{k1}}{p_{l1}} \quad (8.5)$$

$$M_{k1l} = \frac{875}{28}$$

$$M_{k1l} = 31,25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

p_{l1} – počet lopatek na jednom hřídeli [-], z kapitoly 3.2.1 určeno $p_{l1} = 28$

M_{k1} – krouticí moment jednoho lopatkového hřídele

NAPĚTÍ V KRUTU

$$\tau_{kh} = \frac{M_{k1}}{W_{kc}} \quad (8.6)$$

$$\tau_{kh} = \frac{875000}{91219}$$

$$\tau_{kh} = 9,6 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí pro hřídel z oceli 11 500 a bezpečnost $k = 2$ je $\tau_{kd} = 85 \text{ MPa}$.

$\tau_{kd} > \tau_{kh} \Rightarrow$ zeslabený průřez hřídele podmínce krutu **VYHOVUJE**

8.1.2 KONTROLA NA OHYB

Lopátkový hřídel je na každém konci mísiče uložen v ložiskách. V mezi podporami je hřídel zatížen svou vlastní hmotností a dochází k ohybu.

$$m_c = m_h + m_l \quad (8.7)$$

$$m_c = \rho_{Fe} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_h^2}{4} \cdot L_{hř} + \frac{\pi \cdot d_l^2}{4} \cdot \left(r_1 - \frac{d_h}{2} \right) \cdot p_{l1} + b \cdot t_l \cdot (r_2 - r_1) \cdot p_{l1} \right]$$

$$m_c = 7800 \cdot \left[\frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot 3,3 + \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot \left(0,255 - \frac{0,08}{2} \right) \cdot 28 + 0,09 \cdot 0,005 \cdot (0,345 - 0,255) \cdot 28 \right]$$

$$m_c = 153 \text{ kg}$$

m_h – hmotnost lopátkové hřídele [kg]

m_l – hmotnost všech lopatek na jedné lopátkové hřídeli [kg]

ρ_{Fe} – hustota ocele [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], voleno $\rho_{Fe} = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

d_h – průměr lopátkové hřídele [m]

d_l – průměr držáku lopatky [m]

$L_{hř}$ – délka lopátkové hřídele mezi ložisky [m]

p_{l1} – počet lopatek na jednom lopátkovém hřídeli [-]

b – šířka lopatky [m]

t_l – tloušťka lopatky [m]

r_1 – vnitřní poloměr opisovaný lopátkou [m]

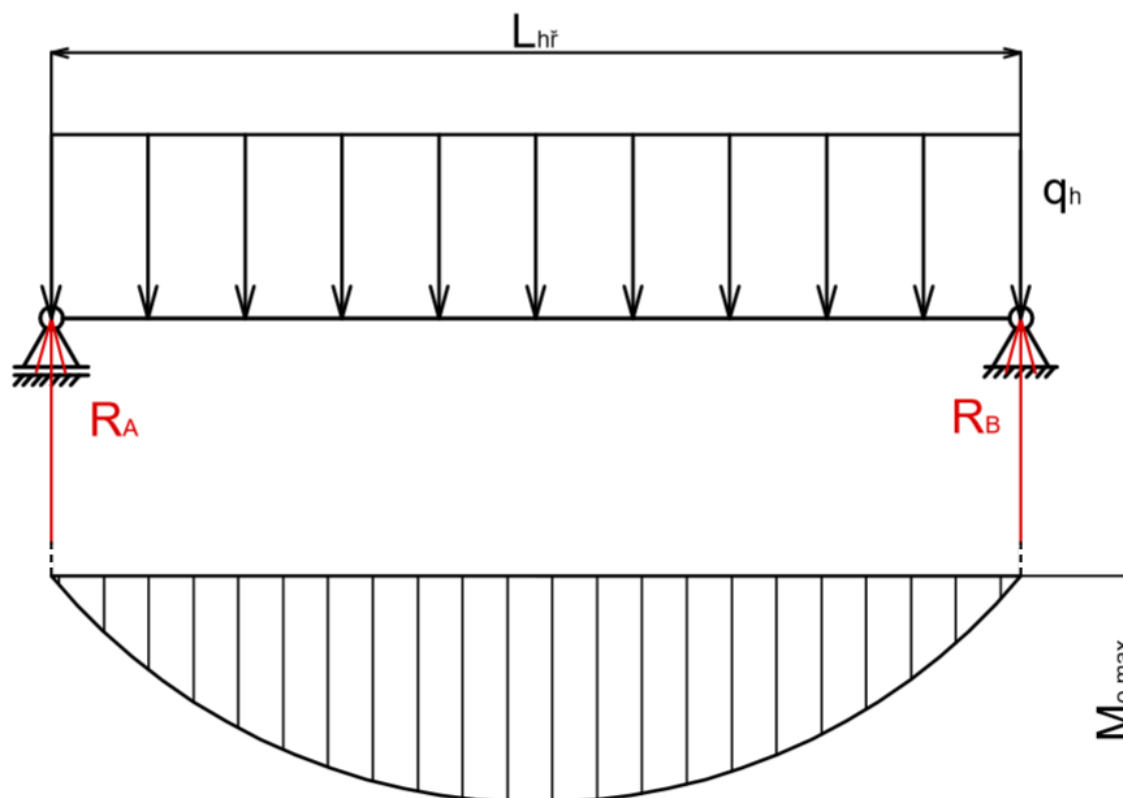
r_2 – vnější poloměr opisovaný lopátkou [m]

SPOJITÉ ZATÍŽENÍ OD HMOTNOSTI LOPATKOVÉ HŘÍDELE

$$q_h = \frac{m_c \cdot g}{L_{hř}} \quad (8.8)$$

$$q_h = \frac{153 \cdot 9,81}{3,3}$$

$$q_h = 455 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$



Obrázek 31 Průběh ohybového momentu

REAKCE V PODPORÁCH

$$\sum M_A = q_h \cdot L_{hř} \cdot \frac{L_{hř}}{2} - R_B \cdot L_{hř} = 0 \quad (8.9)$$

$$R_B = q_h \cdot \frac{L_{hř}}{2}$$

$$R_B = 455 \cdot \frac{3,3}{2}$$

$$R_B = 750 \text{ N} = R_A$$

R_A, R_B – reakce v podporách, viz obr. 31

OHYBOVÝ MOMENT V OBEČNÉM MÍSTĚ

$$M_{o,x} = R_B \cdot x - \frac{q_h \cdot x}{2} \cdot x \quad (8.10)$$

$$M_{o,x} = \frac{q_h \cdot L_{hř}}{2} \cdot x - \frac{q_h}{2} \cdot x^2$$

x – obecná vzdálenost [m]

MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT

Maximální ohybový moment se určí derivováním rovnice (8.10) podle x , přičemž se výsledná rovnice položí rovna nule. Z uvedeného zadání je zřejmé, že maximální ohybový moment bude uprostřed hřídele.

$$\frac{dM_{o,x}}{dx} = \frac{q_h \cdot L_{hř}}{2} - q_h \cdot x = 0 \quad \Rightarrow \quad x = \frac{L_{hř}}{2} \quad (8.11)$$

Hodnotu x následně dosadíme do rovnice (8.10) a zjistíme velikost maximálního ohybového momentu.

$$M_{o,max} = \frac{q_h \cdot L_{hř}}{2} \cdot \frac{L_{hř}}{2} - \frac{q_h}{2} \cdot \left(\frac{L_{hř}}{2}\right)^2 = \frac{q_h \cdot L_{hř}^2}{4} - \frac{q_h \cdot L_{hř}^2}{8} = \frac{q_h \cdot L_{hř}^2}{8} \quad (8.12)$$

$$M_{o,max} = \frac{455 \cdot 3,3^2}{8}$$

$$M_{o,max} = 620 \text{ N} \cdot \text{m}$$

OHYBOVÝ MOMENT V KRITICKÉM MÍSTĚ

K dalšímu výpočtu musíme použít hodnotu ohybového momentu v kritickém místě, což je úchyt lopatky. Maximální moment lze využít pouze v případě plného průřezu. Kritické místo je ve vzdálenosti přibližně 1,6 m od podpory. Výsledný kritický moment tak bude o něco menší, viz rovnice (8.13).

$$M_{o,krit} = \frac{q_h \cdot L_{hř}}{2} \cdot x_{krit} - \frac{q_h}{2} \cdot x_{krit}^2 = \frac{q_h \cdot x_{krit}}{2} \cdot (L_{hř} - x_{krit}) \quad (8.13)$$

$$M_{o,krit} = \frac{455 \cdot 1,6}{2} \cdot (3,3 - 1,6)$$

$$M_{o,krit} = 618,8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Rozdíl momentu kritického a maximálního je pouze minimální, a dále bude používán jen $M_{o,krit}$ v místě zeslabeného průřezu.

MODUL PRŮŘEZU HŘÍDELE V OHYBU

Stejně jako pro krut, je podobně počítán také ohyb. Uvažuje se pouze zjednodušený průřez hřídele dle obr. 29, přičemž se nejprve spočítá modul průřezu v ohybu pro kruh a poté pro obdélník. Následně se dopočítá celkový modul průřezu v ohybu. Hodnota se použije pro určení napětí.

Modul průřezu pro kruh:

$$W_{oh} = \frac{\pi \cdot d_h^3}{32} \quad (8.14)$$

$$W_{oh} = \frac{\pi \cdot 80^3}{32}$$

$$W_{oh} = 50266 \text{ mm}^3$$

Modul průřezu pro obdélníkový tvar:

$$W_{oz} = \frac{b_z \cdot h_z^2}{6} \quad (8.15)$$

$$W_{oz} = \frac{20 \cdot 80^2}{6}$$

$$W_{oz} = 21334 \text{ mm}^3$$

Celkový modul průřezu v ohybu:

$$W_{oc} = W_{oh} - W_{oz} \quad (8.16)$$

$$W_{oc} = 50266 - 21334$$

$$W_{oc} = 28932 \text{ mm}^2$$

REAKCE V PODPORÁCH

$$\sigma_{oh} = \frac{M_{o,krit}}{W_{oc}} \quad (8.17)$$

$$\sigma_{oh} = \frac{618,8}{28,932}$$

$$\sigma_{oh} = 22 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí v ohybu pro hřídel z oceli 11 500 a bezpečnost $k = 2$ je $\sigma_{od} = 100 \text{ MPa}$.

$$\sigma_{od} > \sigma_{oh} \quad \Rightarrow \quad \text{zeslabený průřez hřídele podmínce ohybu **VYHOVUJE**}$$

8.1.3 KONTROLA STATICKÉ BEZPEČNOSTI

Po zjištění napětí v krutu a ohybu je nutné kritické místo zkontrolovat pro kombinovanou pevnost v ohybu a krutu.

Redukované napětí pomocí HMH kritéria:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{oh}^2 + 3 \cdot (\alpha_B \cdot \tau_{kh})^2} \quad (8.18)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{22^2 + 3 \cdot (0,7 \cdot 9,6)^2}$$

$$\sigma_{red} = 25$$

α_B – Bachův opravný součinitel, pro střídavý ohyb a míjivý krut je $\alpha_B = 0,7$

$\sigma_{do} > \sigma_{red} \Rightarrow$ z hlediska statické bezpečnosti průřez hřídele **VYHOVUJE**

8.1.4 KONTROLA DYNAMICKÉ BEZPEČNOSTI

Otáčející hřídel je namáhána současně střídavým ohybem a míjivým krutem. V kritickém místě je nutné opět zkontrolovat únavovou pevnost.

Střídavý ohyb:

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \sigma_{oh} = 22 \text{ MPa}$$

Míjivý krut:

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau_{kh}}{2} = \frac{9,6}{2} = 4,8 \text{ MPa}$$

σ_m – střední hodnota napětí v ohybu [MPa]

σ_a – amplituda napětí v ohybu [MPa]

τ_m – střední hodnota napětí v krutu [MPa]

τ_a – amplituda napětí v krutu [MPa]

Bezpečnost proti únavovému lomu v ohybu:

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{Co}}{\frac{\beta_\sigma}{v_\sigma \cdot \varepsilon_p} \sigma_a + \Psi_\sigma \cdot \sigma_m} \quad (8.19)$$

$$k_\sigma = \frac{240}{\frac{1}{0,76 \cdot 0,8} \cdot 22 + 0,02 \cdot 0}$$

$$k_\sigma = 6,6$$

σ_{Co} – mez únavy v ohybu [MPa], dle lit. [27] str. 203 volím $\sigma_{Co} = 240$ MPa

β_σ – vrubový součinitel pro ohyb [-], dle lit. [27] str. 208 $\beta_\sigma = 1$

v_σ – součinitel vyjadřující vliv velikosti součásti na mez únavy v ohybu [-], dle lit. [27] str. 210 pro nelegovanou ocel o průměru hřídele 80 mm je $v_\sigma = 0,76$

ε_p – součinitel vyjadřující vliv jakosti povrchu na mez únavy [-], dle lit. [27] str. 210 voleno $\varepsilon_p = 0,8$

Ψ_{Co} – součinitel charakterizující citlivost materiálu na nesouměrnost cyklu [-], dle lit. [27] str. 210 je $\Psi_o = 0,02$

bezpečnost proti únavovému lomu v krutu:

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{Co}}{\frac{\beta_{\tau}}{\nu_{\tau} \cdot \varepsilon_p} \tau_a + \Psi_{\tau} \cdot \tau_m} \quad (8.20)$$

$$k_{\tau} = \frac{150}{\frac{1}{0,73 \cdot 0,8} \cdot 4,8 + 0,01 \cdot 4,8}$$

$$k_{\tau} = 18,1$$

τ_{Ck} – mez únavy v krutu [MPa], dle lit. [27] str. 203 volím $\tau_{Ck} = 150$ MPa

β_{τ} – vrubový součinitel pro krut [-], dle lit. [27] str. 208 $\beta_{\tau} = 1$

ν_{τ} – součinitel vyjadřující vliv velikosti součásti na mez únavy v krutu [-], dle lit. [27]

str. 210 pro nelegovanou ocel o průměru hřídele 80 mm je $\nu_{\sigma} = 0,73$

ε_p – součinitel vyjadřující vliv jakosti povrchu na mez únavy [-], dle lit. [27] str. 210 voleno

$$\varepsilon_p = 0,8$$

Ψ_{τ} – součinitel charakterizující citlivost materiálu na nesouměrnost cyklu [-], dle lit. [27]

str. 210 je $\Psi_{\tau} = 0,01$

CELKOVÁ DYNAMICKÁ BEZPEČNOST HŘÍDELE

$$k_{dh} = \frac{k_{\sigma} \cdot k_{\tau}}{\sqrt{k_{\sigma}^2 + k_{\tau}^2}} \quad (8.21)$$

$$k_{dh} = \frac{6,6 \cdot 18,1}{\sqrt{6,6^2 + 18,1^2}}$$

$$k_{dh} = 6,2$$

Z výsledku dynamické bezpečnosti je zřejmé, že hřídel není zbytečně předimenzovaná, avšak plně dostačující pro práci v provozních podmínkách.

8.2 VÝPOČET LOPATKY

Lopatka i s úchytem je vyrobena ze svařitelné oceli 11 373 a do hřídele je usazena svěrným spojem kuželového typu. Spoj zabraňuje axiálnímu pootočení při procesu mísení. Mísená směs způsobuje namáhání lopatky na ohyb.

8.2.1 ZATÍŽENÍ OD MÍSENÉ SMĚSI

Mísená směs působí tlakem na středu plochy lopatky. Síla působící na lopatku je dána vztahem dle lit. [10] str. 175.

$$F_L = k_r \cdot b \cdot \cos \alpha \int_{r_1}^{r_2} dr \quad (8.22)$$

$$F_L = k_r \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot (r_2 - r_1)$$

$$F_L = 15000 \cdot 0,09 \cdot \cos 25 \cdot (0,345 - 0,255)$$

$$F_L = 110 \text{ N}$$

Použité veličiny určeny v kapitole 3.4.1

ZJEDNODUŠENÁ PLOCHA LOPATKY

$$S_L = b \cdot (r_2 - r_1) \quad (8.23)$$

$$S_L = 0,09 \cdot (0,345 - 0,255)$$

$$S_L = 0,0081 \text{ m}^2$$

TLAK PŮSOBÍCÍ NA PLOCHU LOPATKY

$$p_{1L} = \frac{F_L}{S_L} \quad (8.24)$$

$$p_{1L} = \frac{110}{0,0081}$$

$$p_{1L} = 13580 \text{ Pa} \approx 0,014 \text{ MPa}$$

Zjištěná hodnota tlaku bude následně využita pro pevnostní výpočet v kap.

8.2.2 ÚCHYT LOPATKY

Úchyt lopatky je stejně jako lopatka ze svařitelné oceli 11 373. Uchycení je kuželovým svěrným spojem s normalizovanou kuželovitostí 1:10. Požadované sevření je pomocí šroubového spoje.

STŘEDNÍ PRŮMĚR KUŽELE

$$d_s = \frac{D_k + d_k}{2} \quad (8.25)$$

$$d_s = \frac{0,02 + 0,016}{2}$$

$$d_s = 0,018 \text{ m}$$

D_k – největší průměr kužele [m], určeno z obr. 28, $D_k = 0,02\text{m}$

d_k – nejmenší průměr kužele [m], určeno z obr. 28, $d_k = 0,016\text{ m}$

TLAK V KUŽELOVÉ STYKOVÉ PLOŠE

$$p_k \geq \frac{2 \cdot k_s \cdot M_{kl}}{\pi \cdot d_s \cdot l_k \cdot \vartheta_s} \quad (8.26)$$

$$p_k \geq \frac{2 \cdot 1,8 \cdot 33}{\pi \cdot 0,018 \cdot 0,04 \cdot 0,1}$$

$$p_k \geq 0,525 \text{ MPa}$$

k_s – bezpečnost proti skluzu [-], dle lit. [27] str. 226 je voleno pro míjivé zatížení lopatky $k_s = 1,8$

M_{kl} – krouticí moment potřebný pro otáčení jedné lopatky

l_k – délka kuželového spoje [m], dle obr. $l_k = 0,04\text{ m}$

ϑ_s – součinitel sevření kužele [-], dle lit. [27] str. 229 pro kuželovitost 1:10 je v rozmezí (0,05-0,15), volím $\vartheta_s = 0,1$

LISOVACÍ SÍLA

$$F_u = \pi \cdot d_s \cdot l_k \cdot p_k \cdot \text{tg}(\alpha_s + \varphi_s) \quad (8.27)$$

$$F_u = \pi \cdot 0,018 \cdot 0,04 \cdot 525000 \cdot \text{tg}(2^\circ 54' + 5^\circ 42')$$

$$F_u = 180 \text{ N}$$

α_s – úhel zkosení kužele [°], pro kuželovitost 1:10 se vypočte $\alpha_s = \text{arctg} \frac{1}{2 \cdot K} = 2^\circ 54'$

φ_s – třecí úhel [°], $\varphi_s = \text{arctg} \vartheta_s = 5^\circ 42'$

K – kuželovitost spoje

SÍLA PRO UVOLNĚNÍ SPOJE

$$F_p = \pi \cdot d_s \cdot l_k \cdot p_k \cdot \text{tg}(\varphi_s - \alpha_s) \quad (8.28)$$

$$F_p = \pi \cdot 0,018 \cdot 0,04 \cdot 525000 \cdot \text{tg}(5^\circ 42' - 2^\circ 54')$$

$$F_p = 58 \text{ N}$$

UTAHOVACÍ MOMENT SPOJE

$$M_u = M_z + M_A \quad (8.29)$$

$$M_u = F_u \cdot \frac{d_{ss}}{2} \cdot \text{tg}(\Psi_z + \varphi_z) + F_u \cdot r_m \cdot \mu_m$$

$$M_u = 180 \cdot \frac{0,009}{2} \cdot \text{tg}(3^\circ 02' + 9^\circ 50') + 180 \cdot 0,007 \cdot 0,15$$

$$M_u = 0,37 \text{ N} \cdot \text{m}$$

M_z – třecí moment v závitu [N·m]

M_A – třecí moment v dosedací ploše [N·m]

d_{ss} – střední průměr závitu šroubu [m], pro M10 x 1,5 je $d_{ss} = 9,03$ mm

r_m – poloměr třecí plochy [m], pro šestihranné matice platí:

$$r_m = 0,7 \cdot d = 0,7 \cdot 0,01 = 0,007 \text{ m}$$

Ψ_z – úhel stoupání závitu [°], výpočet pro závit M10 x 1,5 je:

$$\Psi_z = \arctg\left(\frac{P_z}{\pi \cdot d_{ss}}\right) = \arctg\left(\frac{1,5}{\pi \cdot 9,03}\right) = 3^\circ 02'$$

φ_z – třecí úhel [°], výpočet z rovnice:

$$\varphi_z = \arctg\left(\frac{\mu_m}{\cos\beta_z}\right) = \arctg\left(\frac{0,15}{\cos 30^\circ}\right) = 9^\circ 50'$$

μ_m – součinitel tření v závitech [-], dle lit [27] str. 152, pro nemazaný povrch $\mu_m = 0,15$

β_z – poloviční vrcholový úhel závitu [°], pro metrický závit $\beta_z = 30^\circ$

KONTROLA ZÁVITU ŠROUBOVÉHO SPOJE

Výpočet plochy průřezu šroubu:

$$S_{\xi} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_{ss} + d_{sm}}{2}\right)^2 \quad (8.30)$$

$$S_{\xi} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{9,03 + 8,1}{2}\right)^2$$

$$S_{\xi} = 57,6 \text{ mm}^2$$

d_{sm} – malý průměr závitu šroubu [mm], pro závit M10x1,5 je $d_{sm} = 8,1$ mm

Namáhání závitu na tah od osové síly F_u :

$$\sigma_z = \frac{F_u}{S_{\xi}} \quad (8.31)$$

$$\sigma_z = \frac{180}{57,6}$$

$$\sigma_z = 3,1 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí v tahu $\sigma_{d\delta}$ [MPa] pro držák lopatky z materiálu 11 373 a bezpečnost $k=3$ je $\sigma_{d\delta} = 80$ MPa

$\sigma_{d\delta} > \sigma_z \Rightarrow$ šroubový spoj v zeslabeném průřezu na namáhání tahem **VYHOVUJE**

Namáhání šroubu na otlačení v závitech:

$$p_z = \frac{4 \cdot F_u}{i_m \cdot \pi \cdot (d_{\xi}^2 - D_{im}^2)} \quad (8.32)$$

$$p_z = \frac{4 \cdot 180}{5,6 \cdot \pi \cdot (10^2 - 8,376^2)}$$

$$p_z = 1,4 \text{ MPa}$$

d_s – velký průměr závitu šroubu [mm], pro závit M10x1,5 je $d_s = 10$ mm

D_{1m} – malý průměr závitu matice pro závit M10x1,5 je $D_{1m} = 8,376$ mm

i_m – počet závitů matice [-], platí $i_m = \frac{v_m}{P_z} = \frac{8,4}{1,5} = 5,6$

v_m – výška matice [mm], pro šestihrannou matici M10x1,5 je $v_m = 8,4$ mm

dovolený tlak v závitech šroubu [MPa] je pro materiál 11 373 $p_{dz} = 50$ MPa

$p_{dz} > p_z \Rightarrow$ šroubový spoj z hlediska otlacení v závitech **VYHOVUJE**

8.2.3 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

Největšímu namáhání na ohyb je vystavována lopatka, kterou jsem podrobil pevnostní analýze. Vytvořený model se skládá z části lopatkové hřídele, ke které je kuželovým svěrným spojem uchycena lopatka. Samotná lopatka tloušťky 5 mm je přivařena k ofrézovanému úchytu. Zjednodušený model je vyhodnocen pomocí metody konečných prvků (MKP) v prostředí Autodesk Inventor.

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

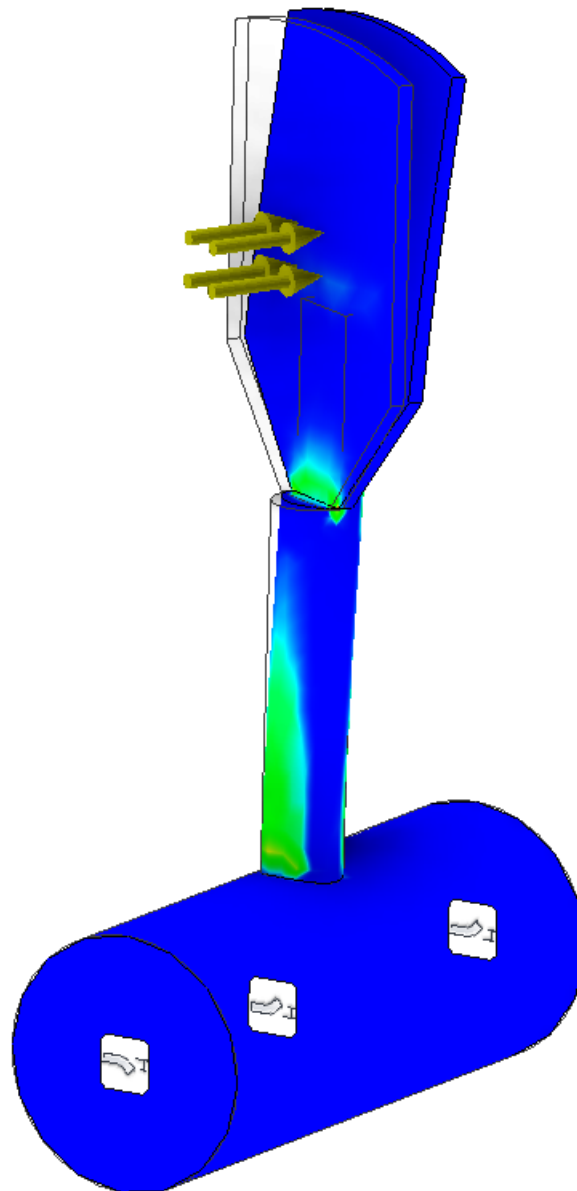
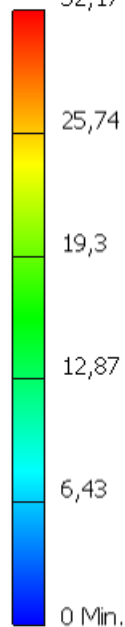
Plocha lopatky byla vystavena spočítanému tlaku z kap. 8.2.1 $p_L = 0,014$ MPa. Hřídel měla zamezené všechny stupně volnosti pomocí pevné vazby. Pro správnou analýzu byl lopatce přiřazen zvolený materiál 11373 a vytvořena optimální síť.



Obrázek 32 síťový model lopatky

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Typ: Napětí Von Mises
 Jednotka: MPa
 29.02.2020, 21:17:02
 32,17 Max.

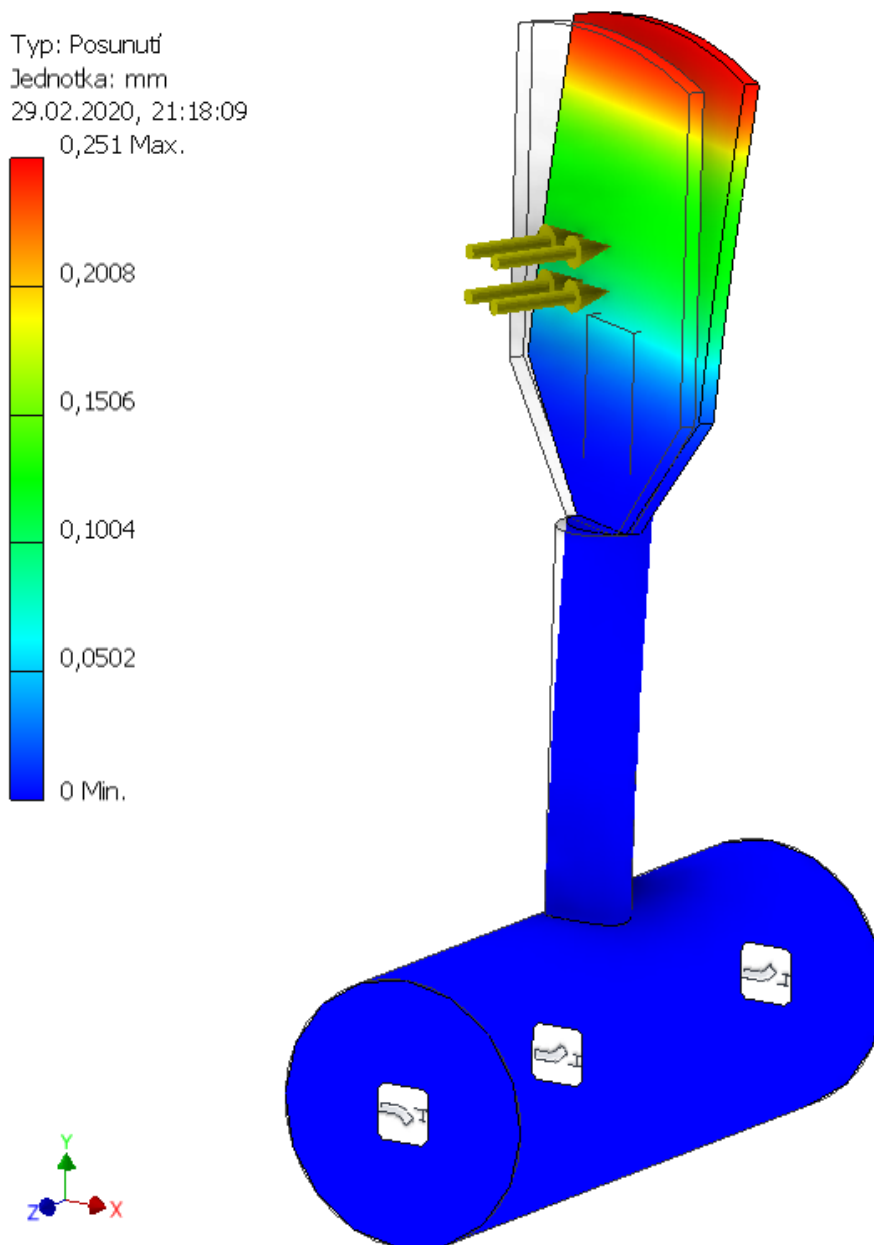


Obrázek 33 Zatížený stav lopatky

Dle obr. 33 je vidět průběh ohybového momentu, kde největších hodnot nabývá v místě spojení lopatkové plochy k držáku lopatky a poté uchycení samotné lopatky ke hřídeli. Maximální hodnota je přibližně $\sigma_{01} = 32$ MPa.

Dovolené napětí v ohybu pro míjivý ohyb je pro materiál 11373 s bezpečností $k=2$ stanoveno na $\sigma_{D0} = 70$ MPa

$\sigma_{D0} > \sigma_{01} \Rightarrow$ problematická místa lopatky při namáhání na ohyb VYHOVUJÍ



Obrázek 34 Posunutí lopatky způsobené ohybem

Vlivem zatížení mísenou směsí dochází k posunutí konce lopatky dle obr. 34 odpovídající $\delta_x = 0,25$ mm. Vzhledem k rozměrům modelu, považují toto posunutí jako vyhovující.

9 PROVOZ ZAŘÍZENÍ

Pro správnou funkčnost celého zařízení je nutné mísič správně smontovat, vhodně umístit a také zajišťovat pravidelnou údržbu. Kombinací těchto tří aspektů lze zajistit dlouhodobý a bezproblémový chod stroje.

9.1 HLAVNÍ ČÁSTI MÍSIČE

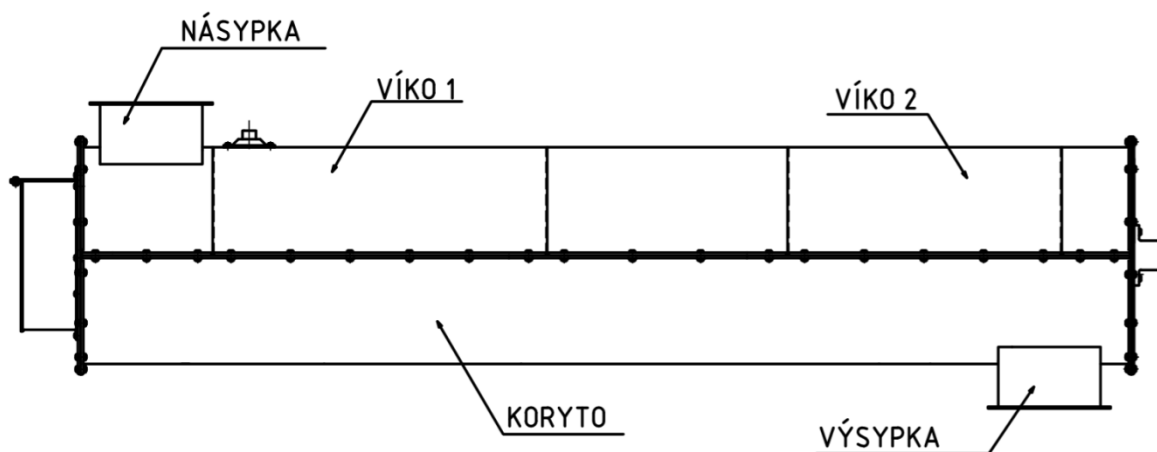
9.1.1 HŘÍDEL

Mísení a doprava směsi je zajištěna pomocí dvou souběžně vedených hřídelů. Hnací hřídel je spojena pomocí pružné spojky s pohonem a krouticí moment je přenášen pomocí ozubeného soukolí. To je tvořeno dvěma ozubenými koly upevněnými pomocí svěrného pouzdra ke každé z hřídelí. Hřídele jsou uložena na každém konci v ložiskách, vpředu v soudečkovém a vzadu v jednořadém kuličkovém ložisku.

Šnek je utvořen připevněnými lopatkami, které jsou navíc skloněny o úhel 25° vůči ose hřídele. Upevnění lopatek je realizováno pomocí svěrného kuželového spoje, který se jeví jako nejjednodušší, a navíc umožňuje i snadnou demontáž.

9.1.2 TĚLO MÍSIČE

Hlavní částí představuje koryto, ke kterému je přišroubováno přední a zadní víko. K těmto víkům je na přední straně přidělán svařovaný kryt soukolí, a ložiskový domeček se soudečkovými ložisky. V zadní části je k víku upevněn domek, ve kterém je nalisováno samomazné kluzné pouzdro. V horní části se nachází dvě manipulační víka, která se v případě potřeby dají odšroubovat. Mísený prostor je tak snáze přístupný.



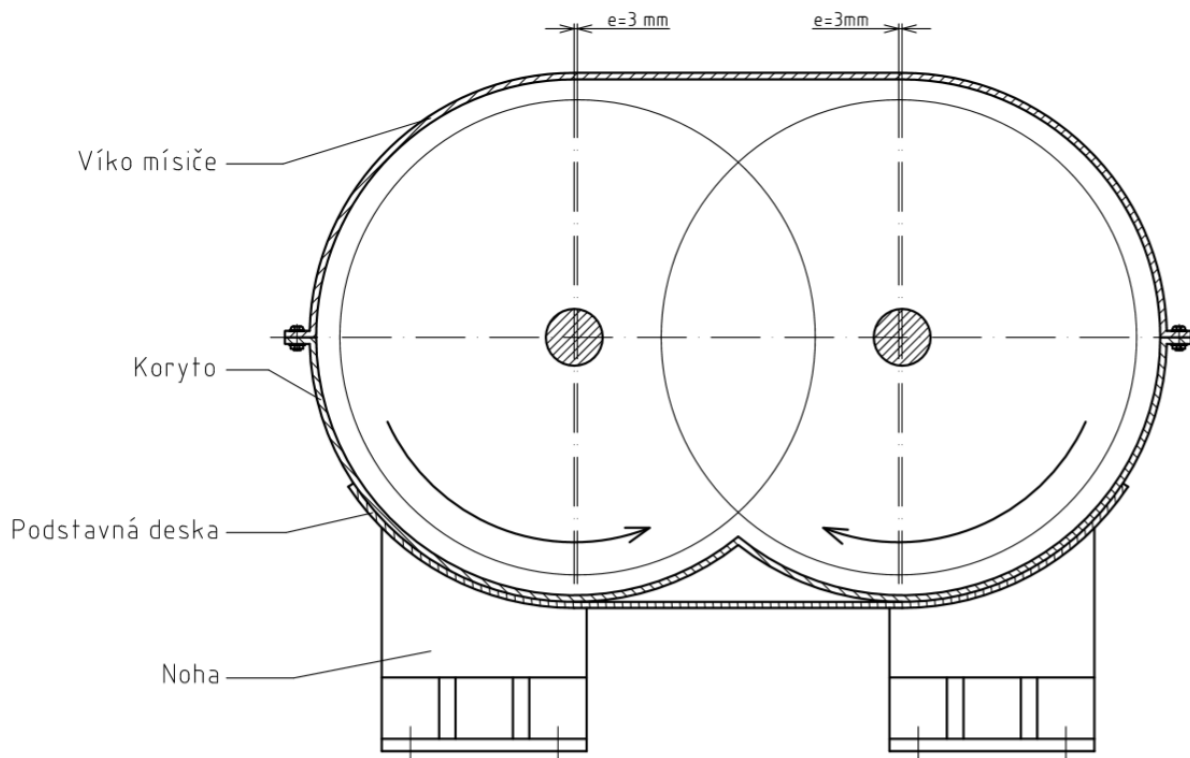
Obrázek 35 Tělo mísiče

K tělu jsou dále připevněny podpěry, výsypka, násypka a sprcha mísiče.

9.1.3 PODPĚRY

Celé zařízení je k zemi upevněno pomocí pěti párů nohou společně s podstavcem pro převodovou skříň. V místech dle výkresové dokumentace, je ke korytu přivařena podstavná deska, na které jsou nohy mísiče. Pro správný chod stroje a utlumení nežádoucích vlivů je nutné využít vhodné kotevní šrouby v závislosti na podkladu.

Dle obr. 36 je patrné excentrické uložení hřídelí vůči korytu mísiče. Toto řešení předchází možnému zaklínování drobných částic, přičemž hodnota excentricity byla stanovena $e=3\text{ mm}$.



Obrázek 36 Excentrické uložení hřídelí a upevnění nohou

9.2 UMÍSTĚNÍ

Uvedený typ mísičího stroje je určen do soustavy strojů k plynulému zajištění technologických procesů. Aplikuje se zde vertikální uspořádání, u kterého je předcházející prvek oproti následujícímu převýšen. Současně se klade důraz na prostor v okolí zařízení pro snadnou manipulaci a případnou montáž.

Komplex pro výrobu betonu je nejčastěji umístěn v blízkosti zdrojů surovin pro výrobu betonu (doly) nebo v dostatečném prostoru mimo městské oblasti s možností skládky. Betonárnou je pak nazýván objekt skládající se z několika zásobníků, systémů dopravníků a mísiče. Mísicí zařízení navazuje na třídičku kameniva či skladovací zařízení, které dávkuje požadované množství kameniva. V okolí je nutné mít zásobník vody nebo zajistit její dodávku. Vyprazdňování probíhá většinou samospádem pomocí koryt do autodomíchávačů.

Mísíč je nejčastěji ukotven na betonovou podlahu či připevněn na přesně navrženou ocelovou konstrukci. Kvůli vibracím a chvění vůči okolí se využívají různé druhy podložek či silentbloků. Samozřejmostí je vodorovný podklad.

9.3 ÚDRŽBA

Zařízení se skládá z méně či více namáhaných součástí, které jsou po určité době používání nutné vyměnit nebo vyčistit. Jedná se především o mísicí prostředí, které je za tímto účelem navrhováno snáze přístupné. Ostatní důležité součásti jako např. ložiska, ozubené soukolí atd. jsou utěsněna pomocí tmelu. Jejich provoz je nutné zajistit pomocí pravidelného mazání, a to přibližně každé 3 měsíce s ohledem na čistotu a stav maziva.

Součástí nejvíce náchylná k poškození je lopatka. Opakované zatěžování může vést k únavě materiálu. Následně v místě koncentrace napětí vznikne únavový lom. V takovém případě je nutné poškozenou lopatku vyjmout a dle požadovaných upevňovacích sil přidělat novou. Výměnu lze provést otevřením horního víka bez nutnosti rozebrání dalších částí stroje.

Před prvním použitím je nutné zkontrolovat správnost montáže jednotlivých dílů, zapojení elektroinstalace, rozvod vody a smysl otáčení hřídelů. Stroj je nutné spouštět prázdný a poté nastavit dávkování materiálu a kropení směsi.

9.4 UPLATNĚNÍ V TECHNOLOGÍCH

Zařízení je dle návrhu pouze k jednoúčelovému používání, a to k mísení betonové směsi. Při dodržení podmínky o velikosti zrna směsi lze uvažovat i o mísení dalších materiálů. K tomuto účelu je možné navržené lopatky vyměnit za jiný typ, případně uvažovat s jinou mísicí dobou, dávkováním, rychlostí otáčení rotorů, atd. Alternativními směsi můžou být např. malty, omítky, sádra, lepidla, barvy nebo pouze sypké směsi bez dávkování vody.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout funkční zařízení na mísení betonové směsi. Vstupními surovinami byly cement, voda, vápno, elektrárenský popílek a cihlářský jííl. Pro ideální promísení byla stanovena teoretická doba mísení a vstupní otáčky lopatkové hřídele. Dle těchto parametrů byl zvolen základní rozměr mísiče a postupně další rozměry jednotlivých komponentů.

Pohon stroje tvoří asynchronní elektromotor o výkonu 5,5 kW, na který navazuje čelní převodovka stejné typové velikosti jako je motor. Ke spojení s lopatkovou hřídelí byla vybrána pružná spojka. Jednotlivé části pohonu byly vybrány s ohledem na příznivou cenu a velikost celé jednotky.

Dílcí součásti mísiče jako jsou ložiska, ozubená kola nebo lopatkové hřídele byly spočítány dle teoretických vzorců a navrženy pro funkčnost celého stroje. Jednotlivé návrhy zahrnovaly pevnostní výpočet, ložiska navíc teoretickou trvanlivost. Lopatkovou hřídel jsem zkoumal při zátěži na krut a ohyb. Uchycení lopatky bylo řešeno kuželovým spojem a důležitým předpokladem byl průběh ohybové napětí od mísené směsi. Průběh byl simulován pomocí metody konečných prvků pomocí programu Inventor.

Výsledné promísení ovlivňuje řada faktorů, kde pouze některé z nich zde byly rozebrány. K těm nejdůležitějším bych zařadil především vlastnosti míseného materiálu, poměr vnitřního a vnějšího úhlu tření vsádky a materiálu míchačky a také režim zařízení, který je zde dán počtem otáček hřídele a dobou mísení směsi. Problematika je řešena pouze teoreticky a další faktory by bylo výhodnější testovat experimentálně.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Prof. Ing. MEDEK, J. CSc. Mechanické pochody. 3. Vydání. Brno: Fakulta strojní VUT v Brně, 1998. ISBN 80-214-1264-X.
- [2] STURMAN, R. The Role of Discontinuities in Mixing. *Advances in Applied Mechanics* [online]. 2012, 51-90 [cit. 2020-06-13]. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380876-9.00002-1>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123808769000021>
- [3] FEDA, Jaroslav. Základy mechaniky partikulárních látek. 1. vyd. Praha: Academia, 1977, 347 s. ISBN.
- [4] POLÁK, J., J. PAVLISKA a A. SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-248-0043-8
- [5] PAUL, E. L., V.A. ATIEMO-OBENG a S.M. KRESTA. *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice* [online]. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience 2003 [cit. 2020-06-13]. ISBN 978-0-471-26919-9. Dostupné z: <https://www.wiley.com/en-us/Handbook+of+Industrial+Mixing%3A+Science+and+Practice-p-9780471269199>
- [6] Fyzikální veličiny. www.izolace-info.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/fyzikalni-veliciny/9483-objemova-hmotnost-fyzikalni-veliciny-a.html#.XuS9uTozbIV>
- [7] Popis a zařídění skalních hornin a zemin podle ČSN. [Http://geologie.vsb.cz/](http://geologie.vsb.cz/) [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/CviceniInzenyrskaGeologie/KAPITOLY/6_CSNNORMY/6_CSNNORMY_5do.htm?fbclid=IwAR1-Zqh2OJvISXr_wuMeMdpu4PifQfz6TvenkCnIOB07V-UWuMEK0Bdrdac
- [8] GAJDŮŠEK, Jaroslav; ŠKOPÁN, Miroslav. Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Brno: VUT, 1988. 277 s.
- [9] POLICKÝ, Z.. Keramické a úpravárenské stroje I. 2. vyd. Brno : VUT Brno, 1989. 200 s. ISBN 80-214-1066-3.
- [10] PACAS, B.. Teorie stavebních strojů. 2. vyd. Brno : VUT Brno, 1986. 244 s.
- [11] Fayed, M. a L. OTTEN, *Handbook of powder science*, 2nd ed. New York: Chapman, 1997. ISBN 04-129-9621-9
- [12] JOHN, Campbell. Porosity. *Complete Casting Handbook - Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design*. Elsevier, 2011, s. 1-1. ISBN 9781856178099. Dostupné také z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/rcid:kpCCHMCPM1/id:kt00A9J6O2/complete-casting-handbook/porosity?kpromoter=Summon>

- [13] Vlhkost hornin. ceg.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://ceg.fsv.cvut.cz/vyuka/podklady-pro-studenty/220-lpg/nasakavost-vlhkost?fbclid=IwAR2fUeoe2LdEgGqIJVNoj2usNmQUNTgC1zBAfo3vrgNuNQwm-W5pGapksIk>
- [14] Inženýrství chemicko-farmaceutických výrob: tok, doprava a skladování sypkých hmot. In: Sypké hmoty: Doprava a skladování [online]. 2011 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/kot/wp-content/uploads/2011-02-tok-doprava-skladovani-3x2.pdf>
- [15] SLANINA, O. Sypné vlastnosti jemných partikulárních materiálů jako funkce vybraných látkových parametrů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2014. 114 s
- [16] SCHULZE, D. Powdertesters, flowability testing, sheartesters: by Dietmar Schulze. DIETMAR SCHULZE. A test with the Ring Shear Tester RST-XS: Procedure for the measurement of the flowability (yield locus test) [online]. 2003 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <http://www.dietmar-schulze.de/rstxsdemoe.html> SCHULZE, Dietmar. Powders and bulk solids: behavior, characterization, storage and flow. New York: Springer, c2008. ISBN 35-407-3767-7
- [17] KÉZDI, Á. Handbook of soil mechanics. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1974, 294 s. ISBN 96-305-0088-4.
- [18] Beton. ebeton.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <http://ebeton.cz/>
- [19] Příručka technologa beton. www.betonuniversity.cz/ [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: http://www.betonuniversity.cz/uploads/sources/publikace/dd005446dfc8af01490e11d6a4f2c0df43bb981a_uploaded_prirucka-technologa-beton.pdf?fbclid=IwAR2t1kPZ8-VIIv_1dWomaoF2Z_r67aniIWEQdLIJ3nptqbcF2KwJSWPAmQo
- [20] Šnekové dopravníky, elevátory, řetězové dopravníky. www.has.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.has.cz/produkty/snekove-dopravniky-elevatory-retezove-dopravniky>
- [21] Základní informace o firmě. www.merko.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.merko.cz/cz/o-spolecnosti/zakladni-informace.html>
- [22] Wamgroup. wamgroup.com [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://wamgroup.com/en-GB/corporate/home>
- [23] Industrystock. www.industrystock.com [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.industrystock.com/en>
- [24] Elektromotor. www.elektro-motor.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: https://www.elektro-motor.cz/obchod/elektromotor-5-5-kw-1a1132s-4/?fbclid=IwAR3KoYsU0BP8Nt5eu3F0_KaenzQCxk7u8F_IzW0Vh9CMzz2qX830WdOQ73Q

- [25] Čelní převodovky. www.raveo.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/celni-prevodovky-ith>
- [26] Hřídelové spojky. www.elektromotory.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/hridelove-spojky-siemens-flender>
- [27] KRÍŽ, Rudolf; VÁVRA, Pavel. Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích. Svazek 5, O - Technika konstruování; P - Technická dokumentace; R –Části strojů a převody (1. část). 1. vyd. Praha: Scientia, 1994. 241 s. ISBN 80-858-2759-X
- [28] Průmyslový průtokoměr. www.gas-as.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.gas-as.cz/x85188/flow-38>
- [29] Elektromagnetický ventil. www.marsystems.cz [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: https://www.marsystems.cz/2-2-cestne-neprimo-ovladane-elventily-na-vodu-vzduch?fbclid=IwAR00u_3PSDSC7QofpBICNDP7zGo2xw8v9_3BxW19IBQfsqLllo5q1CP7sEI
- [30] Odsředivé čerpadlo. [Www.e-cerpadla.cz](http://www.e-cerpadla.cz) [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: https://www.e-cerpadla.cz/odstredive-cerpadlo-ebara-dwo-150-400-v-d-24.html?fbclid=IwAR28v0dP_j7NtFCzMqtzKGaZU9BiAaxinPHdbCCxYH4P1q7yRn7Bw3ruaOU

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

%c	[-]	Procentuální obsah cementu ve směsi
%H ₂ O	[-]	Procentuální obsah vody ve směsi
%j	[-]	Procentuální obsah cihlářského jílu ve směsi
%p	[-]	Procentuální obsah elektrárenského popílku ve směsi
%v	[-]	Procentuální obsah vápna ve směsi
a _{sk}	[m]	Skutečná rozteč os lopatkových hřídelů
a _t	[m]	Teoretická rozteč os lopatkových hřídelů
a _w	[m]	Vzdálenost os lopatkových hřídelů
b	[m]	Šířka lopatky
b _w	[m]	Šířka ozubení
b _z	[m]	Šířka zjednodušeného obdélníka
c _a	[m]	Hlavová vůle
c _H	[-]	Korekční součinitel
C _r	[N]	Dynamická únosnost ložiska
D _{1m}	[m]	Malý průměr závitu matice
D	[m]	Minimální průměr opisovaný lopatkami
d _a	[m]	Průměr hlavové kružnice
d _f	[m]	Průměr patní kružnice
d _h	[m]	Průměr lopatkové hřídele
D _k	[m]	Největší průměr kužele
d _k	[m]	Nejmenší průměr kužele
D _L	[m]	Skutečný průměr opisovaný lopatkami
d _l	[m]	Průměr držáku lopatky
d _m	[m]	Průměr částice
d _r	[m]	Průměr roztečné kružnice
d _s	[m]	Střední průměr kužele
d _{sv}	[m]	Minimální světlost přívodního potrubí
d _š	[m]	Velký průměr závitu šroubu
d _{šs}	[m]	Střední průměr závitu šroubu
d _z	[m]	Průměr základní kružnice
e	[-]	Číslo pórovitosti

f	[-]	Součinitel tření
F	[N]	Síla působící na částici
F_a	[N]	Axiální síla
F_{ak}	[N]	kontrolní axiální síla
F_L	[N]	síla působící na lopatku
F_N	[N]	Normálová síla
F_p	[N]	síla pro uvolnění spoje
F_R	[N]	radiální síla
F_{RO}	[N]	radiální síla na roztečné kružnici
F_{RO1}	[N]	radiální zatížení jednoho ložiska
F_t	[N]	odvodová síla ozubeného kola
F_u	[N]	lisovací síla
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
h	[m]	výška zubu
h_a	[m]	výška hlavy zubu
h_f	[m]	Výška paty zubu
h_z	[m]	výška zjednodušeného obdélníka
i	[-]	Převodový poměr převodovky
i_m	[-]	počet závitů matice
K	[-]	kuželovitost spoje
K_A	[-]	součinitel vnějších dynamických
k_{dh}	[-]	celková dynamická bezpečnost hřídele
$K_{F\alpha}$	[-]	součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů
$K_{F\beta}$	[-]	součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce
K_{Fv}	[-]	součinitel vnitřních dynamických sil
k_n	[-]	součinitel naplnění mísiče
k_p	[-]	Součinitel přerušení povrchu šnekovnice
k_r	[m]	vnitřní poloměr opisovaný lopatkou
k_s	[-]	bezpečnost proti skluzu
k_v	[-]	Součinitel vracení směsi
k_σ	[-]	bezpečnost proti únavovému lomu v ohybu
k_τ	[-]	bezpečnost proti únavovému lomu v krutu
L	[m]	účinná délka mísiče

L_h	[hod]	trvanlivost ložiska
$L_{hř}$	[m]	délka lopatkové hřídele mezi ložisky
l_k	[m]	délka kuželového spoje
M_A	[N·m]	třecí moment v dosedací ploše
m_c	[kg]	celková hmotnost lopatkové hřídele s lopatkami
m_h	[kg]	hmotnost lopatkové hřídele
m_l	[-]	Podlouhlost
m_l	[kg]	hmotnost všech lopatek na jedné lopatkové hřídeli
M_{kl1}	[N·m]	kroučící moment pro otáčení jedné lopatky
M_{kl}	[N·m]	kroučící moment pro otáčení obou lopatkových hřídelí
m_n	[-]	modul ozubení
m_s	[kg]	Hmotnost vysušeného vzorku
m_t	[-]	Pločnost
m_v	[kg]	Hmotnost vody
$M_{o,krit}$	[N·m]	ohybový moment v kritickém místě
$M_{o,max}$	[N·m]	maximální ohybový moment
$M_{o,x}$	[N·m]	ohybový moment v obecném místě
M_u	[N·m]	utahovací moment spoje
M_z	[N·m]	třecí moment v závitě
n	[-]	Pórovitost materiálu
n_2	[s ⁻¹]	Otáčky hřídele
n_{el}	[min ⁻¹]	jmenovité otáčky elektromotoru
P	[W]	celkový příkon mísiče
p_{dz}	[Pa]	dovolený tlak v závitěch
p_k	[Pa]	tlak v kuželové stykové ploše
p_{1L}	[Pa]	tlak působící na plochu lopatky
p_L	[-]	celkový počet lopatek
p_{L1}	[-]	počet lopatek na jednom lopatkovém hřídeli
P_s	[W]	Potřebný příkon pro sunutí materiálu žlabem
P_o	[W]	Potřebný příkon pro otáčení hřídele
P_{ot}	[-]	počet otvorů sprchy
p_z	[Pa]	tlak v závitěch
q_h	[N·m ⁻¹]	spojité zatížením hmotnosti lopatkové hřídele
Q_{H2O}	[l·s]	průtok sprchy mísiče

Q_m	[$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]	Hmotnostní výkonnost mísiče
Q_v	[$\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$]	Objemová výkonnost mísiče
Q_{vs}	[$\text{m}^3\cdot\text{hod}^{-1}$]	skutečné dopravované množství směsi
r_1	[m]	vnitřní poloměr opisovaný lopatkou
r_2	[m]	vnější poloměr opisovaný lopatkou
R_a, R_b	[N]	reakce v podporách
R_k	[m]	teoretický poloměr kruhu
r_m	[m]	poloměr třecí plochy
R_s	[m]	účinný poloměr lopatek
S_d	[m^2]	velikost průřezu otvoru sprchy
s	[m]	Stoupání
S_o	[m^2]	Skutečná plocha toku materiálu
S_{o1}	[m^2]	Teoretický průřez toku materiálu
S_H	[-]	součinitel bezpečnosti v dotyku
S_k	[m^2]	obsah ploch kruhů
S_L	[m^2]	zjednodušená plocha lopatky
S_r	[-]	Stupeň nasycení
S_{skut1}	[m^2]	skutečná plocha průřezu mísiče na jeden lopatkový hřídel
S_{skut}	[m^2]	skutečná plocha průřezu mísiče na dva lopatkové hřídele
$S_{\dot{s}}$	[m^2]	plocha průřezu šroubu
S_t	[m^2]	obsah trojúhelníku kruhové výseče
S_{tp}	[m^2]	světlý průřez potrubí
S_{usec}	[m^2]	obsah plochy úseče
S_v	[m^2]	obsah kruhové výseče
t	[m]	rozteč zubů
t_b	[m]	základní rozteč
t_l	[m]	tloušťka lopatky
t_m	[s]	čas průchodu směsi žlabem
u	[-]	převodové číslo
V_c	[m^3]	Celkový objem materiálu
v_m	[m]	výška matice
v_k	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	střední rychlost proudění vody v průtočném průřezu
v_L	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	Obvodová rychlost lopatek
v_{ob}	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	obvodová rychlost

V_p	$[m^{-3}]$	Objem pórovitého materiálu
V_s	$[m^{-3}]$	Objem pevné fáze
V_v	$[m^{-3}]$	Objem vody
w	$[\%]$	Hmotnostní vlhkost
w_{kc}	$[m^3]$	celkový modul průřezu v krutu
w_{kh}	$[m^3]$	modul průřezu pro kruh, krut
w_{kz}	$[m^3]$	modul průřezu pro obdélník, krut
W_{oc}	$[m^3]$	celkový modul průřezu v ohybu
W_{oh}	$[m^3]$	modul průřezu pro kruh, ohyb
W_{oz}	$[m^3]$	modul průřezu pro obdélník, ohyb
w_{td}	$[Pa]$	Měrné dovolené zatížení zubu
w_v	$[\%]$	Objemová vlhkost
x	$[m]$	obecná vzdálenost
x_p	$[\%]$	procentuální poměr zmenšení průřezu při daném přiblížení hřidelů
Y_{FS}	$[-]$	součinitel tvaru zubu a koncentrace napětí
Y_{NT}	$[-]$	součinitel životnosti
Y_R	$[-]$	součinitel drsnosti v oblasti patního přechodu zubu
Y_X	$[-]$	součinitel velikosti zatížení
Y_β	$[-]$	součinitel sklonu zubu
Y_δ	$[-]$	součinitel vrubové citlivosti
Y_ε	$[-]$	součinitel vlivu záběru profilu
z_1, z_2	$[-]$	počet zubů
z	$[-]$	Počet lopatek na jedno stoupání
Z_E	$[-]$	součinitel materiálu
Z_H	$[-]$	součinitel tvaru zubu
z_k	$[-]$	počet zubů ozubeného kola
Z_L	$[-]$	součinitel maziva
Z_{NT}	$[-]$	součinitel životnosti
Z_R	$[-]$	součinitel drsnosti boků zubů
Z_v	$[-]$	součinitel obvodové rychlosti
Z_ε	$[-]$	součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů
α	$[\circ]$	úhel naklonění lopatek vůči ose hřídele
α_s	$[-]$	Povrchový součinitel
α_v	$[-]$	Objemový součinitel

α_{vys}	[°]	středový úhel kruhové výseče
α_z	[°]	úhel zachycení částice
α_{zo}	[-]	součinitel poměru stran pro krut u obdélníkového průřezu
α_ϵ	[-]	Redukovaný objemový součinitel
β	[°]	úhel stoupání šnekovnice
β_t	[°]	úhel sklonu zubu
β_z	[°]	poloviční vrcholový úhel závitů
β_σ	[-]	vrubový součinitel pro ohyb
β_τ	[-]	vrubový součinitel pro krut
δ	[°]	Úhel naklonění lopatky ke šroubové ploše
ϵ_p	[-]	součinitel vyjadřující vliv jakosti povrchu na mez únavy
ϵ_α	[-]	součinitel záběru v čelní rovině
ϵ_β	[-]	součinitel záběru v osové rovině
ϑ_s	[-]	součinitel sevření
μ	[-]	Koeficient odporu proti pohybu
μ_m	[-]	součinitel tření v závitech
ν_σ	[-]	součinitel vyjadřující vliv velikosti součásti na mez únavy v ohybu
ν_τ	[-]	součinitel vyjadřující vliv velikosti součásti na mez únavy v krutu
ρ	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost materiálu
ρ_c	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost cementu
ρ_d	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost vysušeného materiálu
ρ_{Fe}	[kg·m ⁻³]	hustota ocele
ρ_{H_2O}	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost vody
ρ_j	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost cihlářského jílu
ρ_m	[kg·m ⁻³]	Měrná hmotnost materiálu
ρ_p	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost elektrárenského popílku
ρ_s	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost směsi
ρ_v	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost vápna
ρ_v	[kg·m ⁻³]	Měrná hmotnost vody
σ_1	[Pa]	Hlavní normálové napětí 1
σ_2	[Pa]	Hlavní normálové napětí 2
σ_a	[Pa]	amplituda napětí v ohybu
σ_{Co}	[Pa]	mez únavy v ohybu
$\sigma_{dš}$	[Pa]	dovolené napětí v tahu

σ_F	[Pa]	napětí v ohybu v patě zubu
$\sigma_{F,lim}$	[Pa]	mez únavy v ohybu
σ_{FO}	[Pa]	nominální napětí v ohybu v patě zubu
σ_H	[Pa]	napětí ve valivém bodě
$\sigma_{H,lim}$	[Pa]	mez únavy zubu v dotyku
σ_{HO}	[Pa]	nominální napětí ve valivém bodě
σ_m	[Pa]	střední hodnota napětí v ohybu
σ_{od}	[Pa]	dovolené napětí v ohybu
σ_{oh}	[Pa]	napětí v ohybu
σ_{red}	[Pa]	redukované napětí
σ_z	[Pa]	napětí v tahu závitu šroubu
σ_α	[Pa]	Normálové napětí
τ_a	[Pa]	amplituda napětí v krutu
τ_{Ck}	[Pa]	mez únavy v krutu
τ_{kd}	[Pa]	dovolené napětí v krutu
τ_{kh}	[Pa]	napětí v krutu
τ_m	[Pa]	střední hodnota napětí v krutu
τ_α	[Pa]	Smykové napětí
φ	[°]	úhel tření mezi materiálem a žlabem
Ψ	[-]	Součinitel optimálního zaplnění
Ψ_{co}	[-]	součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost cyklu, ohyb
Ψ_{ct}	[-]	součinitel citlivosti materiálu na nesouměrnost, krut
Ψ_o	[-]	relativní šířka ozubení
Ψ_z	[°]	úhel stoupání závitu

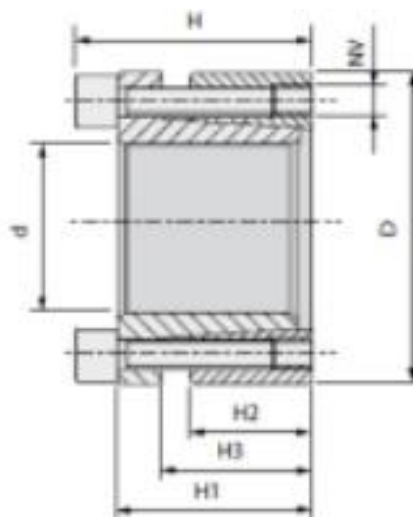
SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

/1/	Sestava mísiče	A0-SSZ-1
/2/	Ozubené kolo	A3-SSZ-2
/3/	Hnací hřídel	A3-SSZ-3
/4/	Hnaný hřídel	A3-SSZ-4
/5/	Svarek lopatky	A3-SSZ-5
/6/	Plocha lopatky	A4-SSZ-6
/7/	Úchyt lopatky	A4-SSZ-7
/8/	Dno sprchy	A3-SSZ-8
/9/	Sprcha	A3-SSZ-9
/10/	Kusovník	A4-SSZ-10

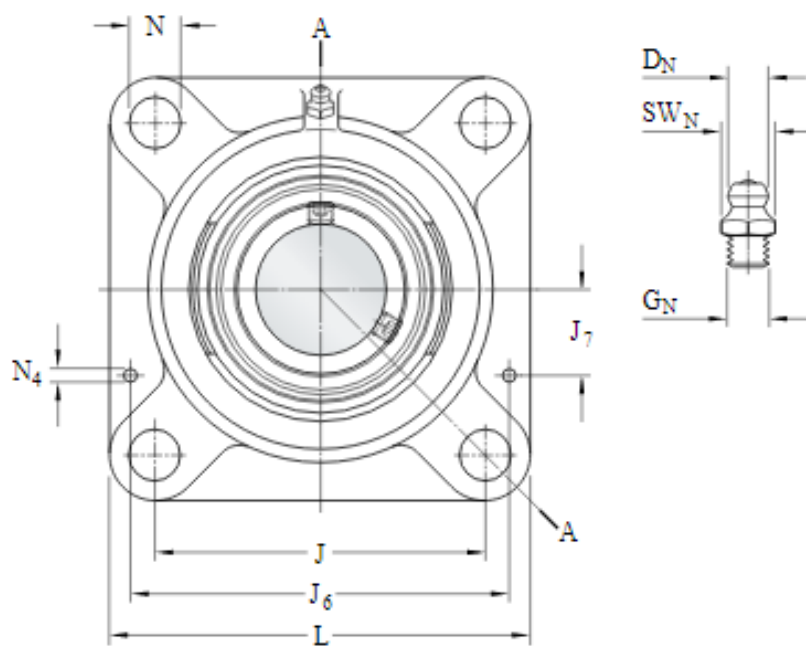
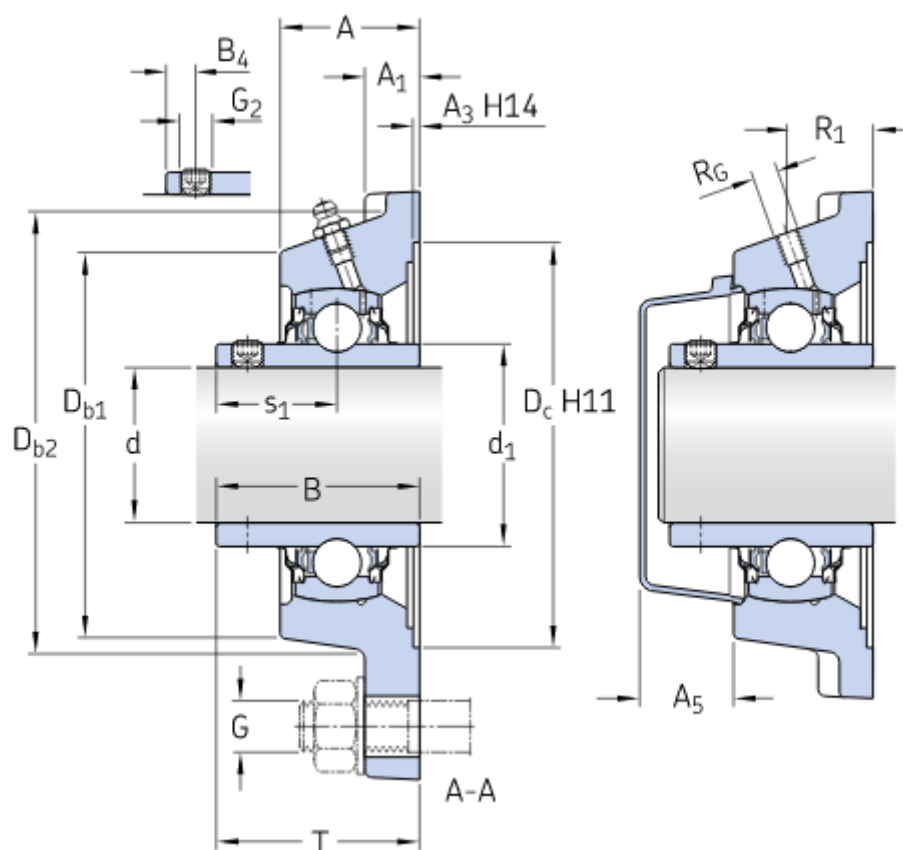
Ostatní přílohy:

[P-1] Upínací pouzdro



KOD	Vyměry						Síla Docisku			Odblokowywanie		Moment obrotowy			
	d	D	H3	H1	H	H2	NV typ šrubby	Tv (Nm)	Šrubby	NV typ šrubby	Šrubby	Mt (Nm)	Pa (N/mm ²)	\bar{F} (kN)	Pm (N/mm ²)
KLAA019	19	47	22	28	34	17	M6x20	14	5	M6	3	355	280	31	120
KLAA020	20	47	22	28	34	17	M6x20	14	5	M6	3	360	280	33	120
KLAA022	22	47	22	28	34	17	M6x20	14	5	M6	3	400	268	33	123
KLAA024	24	50	22	28	34	17	M6x20	14	6	M6	3	440	243	36	120
KLAA025	25	50	22	28	34	17	M6x20	14	6	M6	3	560	280	36	138
KLAA028	28	55	22	28	34	17	M6x20	14	6	M6	3	625	250	36	128
KLAA030	30	55	22	28	34	17	M6x20	14	6	M6	3	650	235	36	128
KLAA032	32	60	22	28	34	17	M6x20	14	8	M6	4	950	290	50	150
KLAA035	35	60	22	28	34	17	M6x20	14	8	M6	4	1050	268	50	150
KLAA038	38	65	22	28	34	17	M6x20	14	8	M6	4	1140	252	50	146
KLAA040	40	65	22	28	34	17	M6x20	14	8	M6	4	1200	232	50	146
KLAA045	45	75	25	33	41	20	M8x25	35	7	M8	3	2180	285	70	168
KLAA050	50	80	25	33	41	20	M8x25	35	7	M8	3	2430	258	85	158
KLAA055	55	85	25	33	41	20	M8x25	35	8	M8	4	3050	268	85	173
KLAA060	60	90	25	33	41	20	M8x25	35	8	M8	4	3350	243	85	163
KLAA065	65	95	25	33	41	20	M8x25	35	9	M8	3	4080	253	85	173
KLAA070	70	110	30	40	50	24	M10x30	70	8	M10	4	6280	278	119	178
KLAA075	75	115	30	40	50	24	M10x30	70	8	M10	4	6680	258	119	168
KLAA080	80	120	30	40	50	24	M10x30	70	8	M10	4	7130	248	119	168
KLAA085	85	125	30	40	50	24	M10x30	70	9	M10	3	8750	258	132	178
KLAA090	90	130	30	40	50	24	M10x30	70	9	M10	3	9080	248	132	168
KLAA095	95	135	30	40	50	24	M10x30	70	10	M10	4	10580	258	132	178
KLAA100	100	145	32	44	56	26	M12x35	125	8	M12	4	13380	268	170	188
KLAA110	110	155	32	44	56	26	M12x35	125	8	M12	4	14580	238	170	178
KLAA120	120	165	32	44	56	26	M12x35	125	9	M12	4	17880	248	200	178
KLAA130	130	180	40	52	64	34	M12x35	190	12	M12	6	25950	238	270	168
KLAA140	140	190	40	54	68	34	M14x40	190	9	M14	4	26950	208	270	148
KLAA150	150	200	40	54	68	34	M14x40	190	10	M14	5	32950	228	320	168

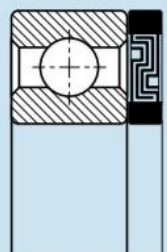
[P-2] Ložiskový domek



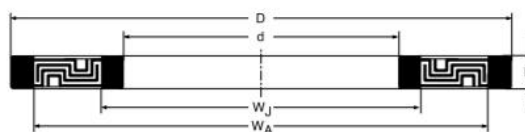
ROZMĚRY

d	50 mm
d ₁	= 62,51 mm
A	43 mm
A ₁	15 mm
A ₃	3,2 mm
A ₅	33 mm
B	51,6 mm
B ₄	9 mm
D _{b1}	107 mm
D _{b2}	118 mm
D _c	125,4 mm
J	111 mm
L	143 mm
N	18 mm
s ₁	32,6 mm
T	60,6 mm

[P-3] Labyrintové těsnění



A NILOS-Ring LSTO steel-disk seal ready for installation for a roller bearing with 30 mm internal diameter and 55 mm external diameter would be designated 30 x 55 LSTO.



d (tolerance M8)	D (tolerance k7)	NILOS-Ring part number	h+0.2	W _A	W _J	Fitting bearing sizes
10	30	10 x 30 LSTO	4.0	25	15	
12	28	12 x 28 LSTO	4.0	25	15	
15	35	15 x 35 LSTO	4.0	30	20	
17	35	17 x 35 LSTO	4.0	31	21	
17	40	17 x 40 LSTO	4.0	34	23	
20	42	20 x 42 LSTO	4.0	38	24	
20	47	20 x 47 LSTO	4.0	41	26	
20	52	20 x 52 LSTO	4.0	45	27	
25	47	25 x 47 LSTO	4.0	43	29	
25	52	25 x 52 LSTO	4.0	46	31	NILOS-Ring LSTO fit all bearing sizes having correspond- ing inner and outer diameter dimensions.
25	62	25 x 62 LSTO	4.0	54	33	
30	55	30 x 55 LSTO	4.0	50	35	
30	62	30 x 62 LSTO	4.0	56	36	
30	72	30 x 72 LSTO	4.0	65	37	
35	62	35 x 62 LSTO	4.0	57	40	
35	72	35 x 72 LSTO	4.0	65	42	
35	80	35 x 80 LSTO	4.0	71	44	
40	68	40 x 68 LSTO	4.0	63	45	
40	80	40 x 80 LSTO	4.0	73	47	
40	90	40 x 90 LSTO	4.0	81	49	
45	75	45 x 75 LSTO	4.0	70	50	
45	85	45 x 85 LSTO	4.0	78	52	
45	100	45 x 100 LSTO	4.0	91	54	
50	90	50 x 90 LSTO	4.0	83	57	
50	110	50 x 110 LSTO	4.0	99	61	
55	100	55 x 100 LSTO	4.0	91	64	
60	110	60 x 110 LSTO	4.0	101	69	
70	125	70 x 125 LSTO	4.0	116	79	
75	130	75 x 130 LSTO	4.0	121	84	
80	140	80 x 140 LSTO	4.0	129	91	