

INOVACE KRUHOVÉHO VIBRAČNÍHO DNO

Jiří Nalezenec

Vedoucí práce: Doc. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

Abstrakt

Kruhové vibrační dno slouží k vyprazdňování zásobníků na partikulární látky, které mají sklon ke klenbování (mouka, krupice, cement, atp.). Ve společnosti Prokop Invest,a.s. Pardubice, která je výrobcem strojů a zařízení pro mlýnský a zpracovatelský průmysl, je toto zařízení vyráběno od 60.let 20.století. V poslední době se ovšem vyskytl problém s dodávkami klenutých den, která jsou v konstrukci použita, a stejně tak ostatní konstrukční skupiny neodpovídají dnešním trendům. Bylo proto rozhodnuto o inovaci těchto zařízení při dodržení původní geometrie a rozměrové řady zařízení.

Klíčová slova

Inovace, Kruhové vibrační dno, Prokop, mouka, obilí

1. Úvod

Kruhové vibrační dno, které umožňuje spolehlivé vyprazdňování zásobníků se sypkými materiály, má ve svém výrobním programu mnoho firem z celého světa. V České republice toto zařízení vyrábí firma Prokop Invest,a.s. Pardubice.

2. PROKOP INVEST,a.s. Pardubice

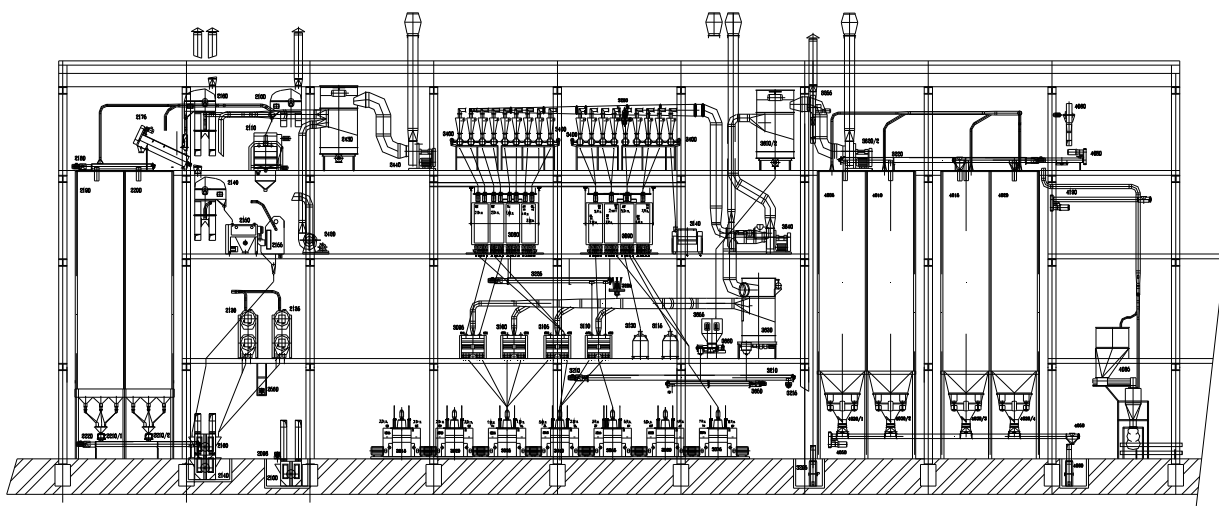
Tato firma je tradičním výrobcem mlýnských strojů. Historie společnosti sahá do roku 1870, kdy pan Josef Prokop založil firmu vyrábějící mlýnské a zemědělské stroje. Největší rozmach zažila firma Prokop ve 30.letech 20.století, kdy vyvážela do mnoha zemí světa stroje pro mlýny včetně vodních turbín. Po válce a znárodnění byla přejmenována na Továrny mlýnských strojů (TMS). Po privatizaci v 90.letech se noví majitelé rozhodli vrátit k původní značce Prokop.

Dnešní Prokop Invest,a.s. vyváží stroje a zařízení pro mlýny, kašerie, potravinářský a chemický průmysl do mnoha zemí světa [1].

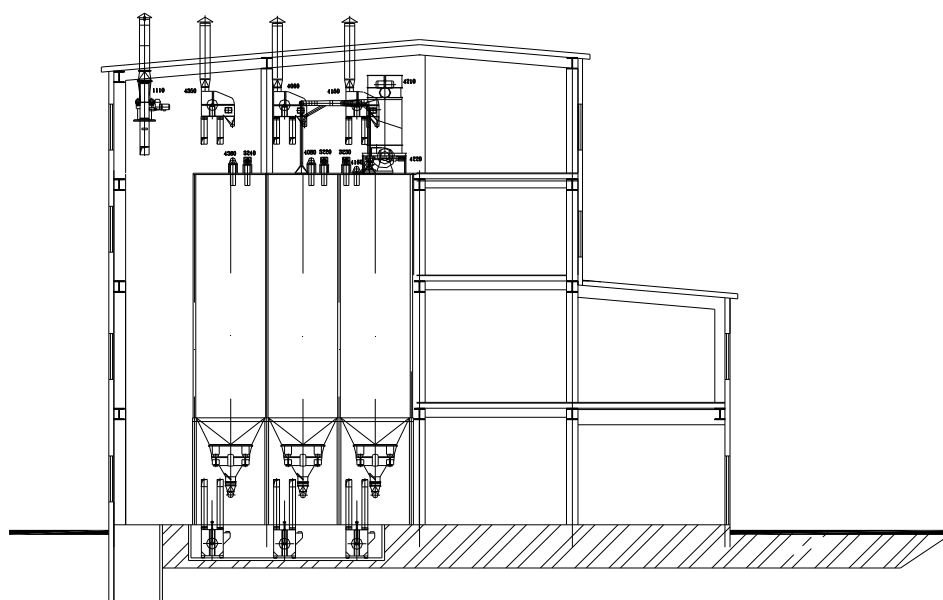
3. Technologie skladování a zpracování obilovin

3.1 Mlýnský průmysl

Mlýnský průmysl patří mezi nejstarší odvětví potravinářského průmyslu. Už od starého Egypta byly zakládány mlýny na obilí a plnily strategickou funkci při zajištění potravy pro široké okolí. Hnací silou mlýnů bývala nejčastěji vodní energie, přenášená přes vodní kolo, dále energie větru a výjimečně také síla zvířat. V druhé polovině 19.století byly nově zakládány průmyslové mlýny, nejčastěji s pohonem parním strojem. Od 20.let 20.století byly v mlýnech zaváděny samostatné pohony jednotlivých strojů elektromotorem. Ve 30. letech začala pronikat do mlýnů pneumatická doprava obilovin a produktů. Koncovým bodem pseudopravy po průchodu celou technologií bývá zásobník. Z toho už je produkt přemístěn buď na balicí linku, nebo do dopravních prostředků. Pro názornost uvádím schémata mlýnu společnosti Prokop Invest,a.s. Na obrázcích 1,2 si lze povšimnout, že vibrační dna jsou zde použita v počtu 12 kusů.



Obr.1 Schéma mlýna, nárys (Prokop Invest,a.s.)



Obr.2 Schéma mlýna, řez (Prokop Invest,a.s.)

3.2 Obiloviny, mlynářské produkty

Obiloviny jsou strategickou a historicky nejvýznamější zemědělskou plodinou. Výrazně ovlivňují výživovou bilanci světové populace. Uplatňují se jednak pro lidskou výživu (především pšenice a rýže), jsou hlavní surovinou pro výrobu potravin, ale slouží i pro výživu hospodářských zvířat a pro další technické zpracování (výroba lihu apod.). Pro představu bylo ve světě v roce 2009 sklizeno 2231 mil. tun obilovin, z toho 682,8 mil. tun pšenice. V ČR pak dosáhla produkce obilovin 7,79 mil. tun, z toho 4,4 mil. tun. pšenice [2]. Z těchto čísel je patrné, jak obrovské hmotnostní toky tečou technologickými linkami mlýnů.

3.3 Mouka

Mlynářství má v Čechách slavnou tradici a dnes představuje průmyslový obor. Ve své produkci zpracovává 1,2 mil. tun pšenice, 0,18 mil. tun žita a v menším množství také další obiloviny [3]. Hlavním úkolem mlynářské technologie při zpracování obilí je oddělit obalové části od endospermu, což se provádí postupným drcením zrna a meliva s následným tříděním

a čištěním. Při přípravě obilí i vlastním mletí se využívá jeho fyzikálních vlastností, přičemž každý druh obilí vyžaduje podle svých vlastností jiný technologický způsob zpracování.

Proces mletí pšenice se dělí do tří etap:

- *šrotování*
- *luštění krupic*
- *vymílání*

Vždy je zařazeno několik pasáží (opakování) danou etapou. Typové (obchodní) mouky se míchají z jednotlivých pasážních mouk a podle granulace se dělí na hladké, polohrubé a hrubé. Mouka se skladuje v silech, zásobnících nebo v obalech.

Jako odpady z mlýna ocházejí otruby, krmné mouky, šrot po kalibrátu a klíčky.

3.4 Fyzikální vlastnosti obilné masy

Sypkost je schopnost obilné masy samovolně se pohybovat po nakloněné rovině. Umožňuje snadné přemísťování a moderní dopravu zrna i jeho meziproductů využitím vlastní hmotnosti. Sypnost obilné masy je charakterizována úhlem přirozeného sklonu a úhlem tření. Úhel přirozeného sklonu je úhel, který svírá obilní masa s vodorovnou podložkou. Jeho stanovení je důležité pro orientační posouzení vlhkosti zrna. Úhel tření je nejmenší úhel, při němž se začne zrno samovolně pohybovat po nakloněné rovině. Největší sypkost mají zejména zrna kulatá a hladká (hrách, proso), u nichž je sypkost stabilní. Vlhkostí se sypkost silně snižuje, kromě kulatých semen. Rovněž cizí příměsi zpravidla sypkost snižují, proto je třeba zrno před uložením do silových komor vyčistit.

3.5 Skladování obilovin

Obiloviny a produkty z nich vyrobené (mouka, krupice) se skladují buď v silech (dlouhodobé skladování), nebo v zásobnících. Zásobníky jsou určeny převážně pro krátkodobé skladování například na konci technologické linky mlýna. Z nich jsou produkty vyprazdňovány do dopravních prostředků (vlaky, automobily, lodě), nebo jsou baleny do konečných balení např. po jednom kilogramu.

3.6 Obilní skladiště

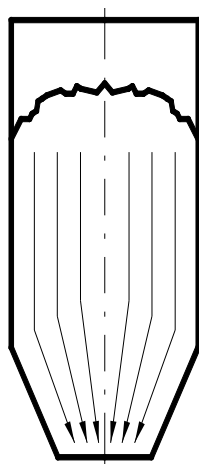
- podlahové sklady
- ocelové věžové sklady (s aktivním provzdušňováním nebo bez provzdušňování)
- zásobníky (železobetonové, ocelové, sklolaminátové)

Vyprazdňování zásobníků s partikulárními materiály je často problematické.

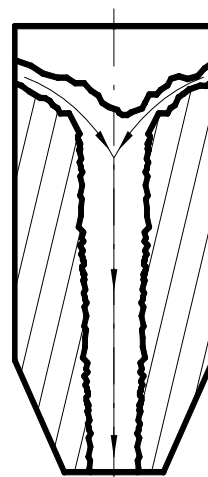
3.7 Tokové profily materiálu

Tok partikulárních materiálů může probíhat dvěma způsoby:

- a) *Hmotový tok* – celý objem materiálu je v pohybu (obr.3).
- b) *Jádrový tok* – pohybuje se pouze střední objem, při stěnách vznikají tzv. mrtvé zóny, které v zásobníku zůstanou (obr.4).



Obr.3 Hmotový tok

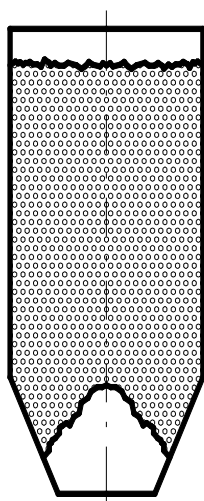


Obr.4 Jádrový tok

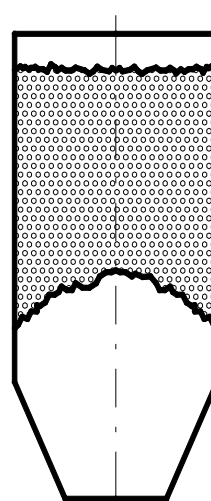
3.8 Typy poruch vyprazdňování

Poruchy vyprazdňování rozdělujeme na několik skupin:

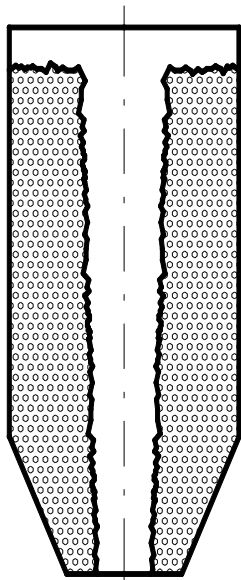
- *klenba* – vzniká ve spodní části zásobníku v jeho zkosené části díky rozložení sil třecích a tíhových (obr.5).
- *oblouk* – vzniká podobně jako klenba, ale ve válcové části (obr.6).
- *komín* – při této poruše se hmotový tok podobá jádrovému, materiál má velkou soudržnost, nesepývá se. Mrtvé zóny tak zaujímají velký podíl z objemu zásobníku (obr.7).
- *nálevka* – je relativně nejmenší poruchou, přesto v zásobníku zůstává velký podíl materiálu (obr.8).



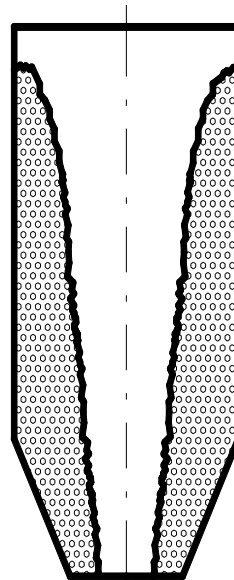
Obr.5 Klenba



Obr.6 Oblouk



Obr. 7 Komín



Obr. 8 Nálevka

3.9 Způsoby vyprazdňování

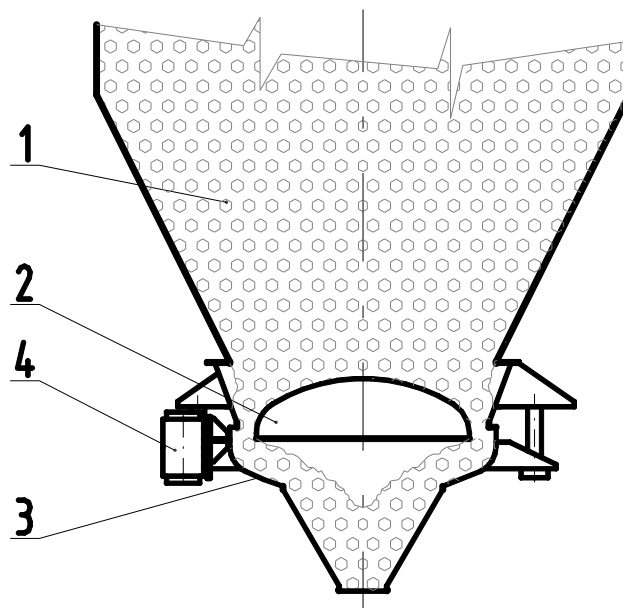
Účelem používaných zařízení je rozrušit vzniklé poruchy a umožnit tak plynulé vyprázdnění. V silách je většinou vrstva rozrušována mechanickými zařízeními, zrno je následně dopravováno obvykle šnekovými dopravníky. U sil se používají *vyhrnovací šneky*. Ty jsou většinou konické, je jich několik vedle sebe a zajišťují tak plynule vyhrnutí materiálu ze sila a jeho promíchání. Další možností, používanou většinou u zásobníků, je *kruhové vibrační dno*.

4. Kruhové vibrační dno PVD

4.1 Fyzikální princip

Princip vnějšího buzení se používal i u nejstarších známých mlynářských strojů, známých od středověku. Například vibrační třídič, tzv. žejbro, které třídilo různé frakce podle velikosti, bylo poháněno výstředníkem.

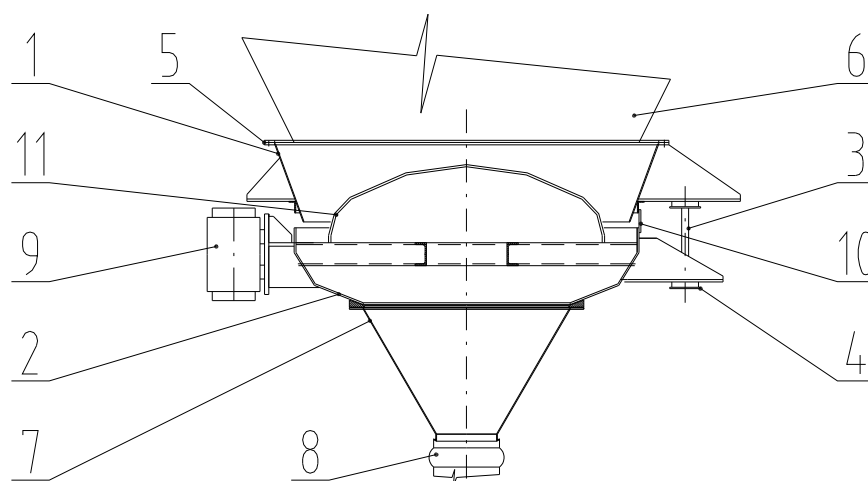
U vibračních den (obr.9) jsou do skladovaného materiálu (1) vnášeny vibrace přes štít (2), který je pevně spojen se spodní pohyblivou částí vibračního dna (3). Na ní je připevněn příložený vibromotor(4) s vertikálně orientovanou osou rotace. Vibromotor je vlastně asynchronní elektromotor s nevyvázkem.



Obr.9 Schéma vyprazdňování

4.2 Původní konstrukce PROKOP

Je vyráběna rozměrová řada PVD v rozměrech 600,1200 a 1500mm. Zařízení (obr.10) je tvořeno horní (1) a dolní (2) částí, které jsou spojeny přes táhla (3) pružně uložena na pryžových tlumících prvcích (4). Horní část je přes přírubu (5) pevně spojena se zásobníkem (6), dolní přechází ve výsypný kužel (7) a přes pružný člen (8) je spojena s návaznými dopravními cestami. Na dolní části je připevněn vibromotor (9). Mezera mezi horní a dolní částí je překryta manžetou ze silikonové pryže (10). Základem konstrukce dolní části je klenuté dno (11). Je to polotovar primárně určený pro tlakové nádoby - sice pevný, ale drahý a špatně dostupný. Z klenutého dna je vypálen vrchlík, který je v obrácené poloze připevněn k rozpěrnému rámu a tvoří tzv. štít (11).



Obr.10 Původní konstrukce PROKOP

4.3 Požadavky na novou konstrukci

Po několika schůzkách s pracovníky Prokop Invest (PI) byly stanoveny požadavky na konstrukci, vycházející z jejich pracovních zkušeností v projekci, technologii, výrobě a provozu zařízení.

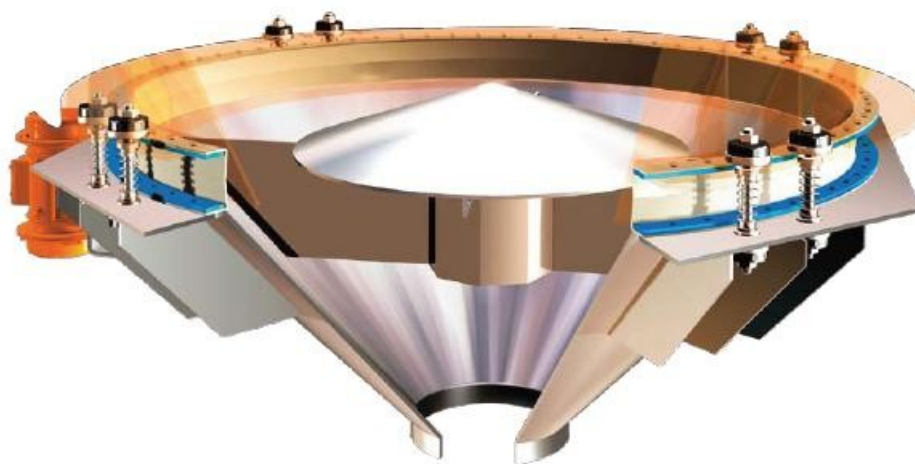
- *technologické požadavky:* u základní geometrie bylo doporučeno vycházet z geometrie stávající – kužel dolní části bude kopírovat úhel klenutého dna. Průtok materiálu při vyprazdňování bývá nastavován několika způsoby – nastavením vibromotoru, výškou štítu a vložením clony mezi příruby dolní části a výsypky. Je žádoucí použít novou manžetu mezi pevnou a pohyblivou část.
- *konstrukční a výrobní požadavky:* je účelné použít standartizaci pro vybrané díly (např. táhla budou stejná pro PVD1500 a PVD1200). Plechové díly budou páleny. Vhodné je používat několik vybraných tloušťek plechů.

4.4 Seznámení s výrobky konkurenčních výrobců

Vibrační dno má ve výrobním programu poměrně velké množství firem. Z nich uvádím několik zástupců.



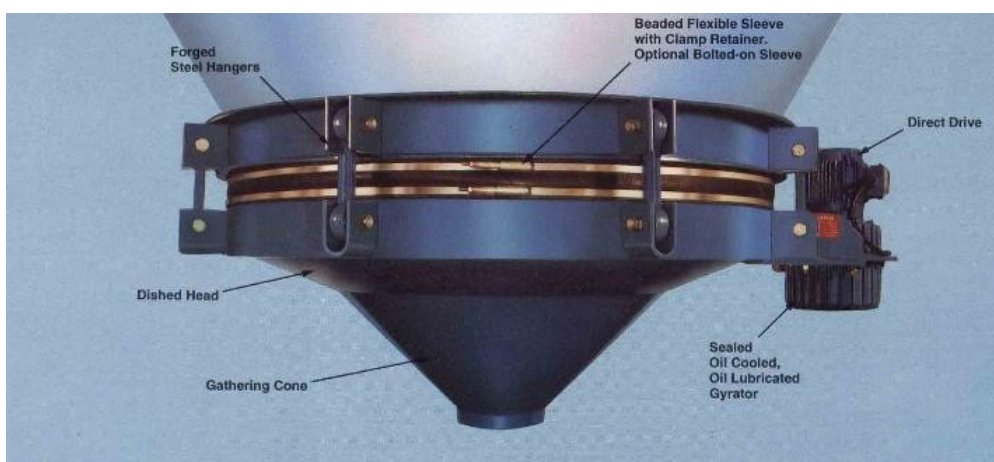
Obr.11 Vibrační dno Bühler(CH) [5]



Obr.12 Vibrační dno Extrac(I) [6]



Obr.13 Vibrační dno Carman(USA) [7]

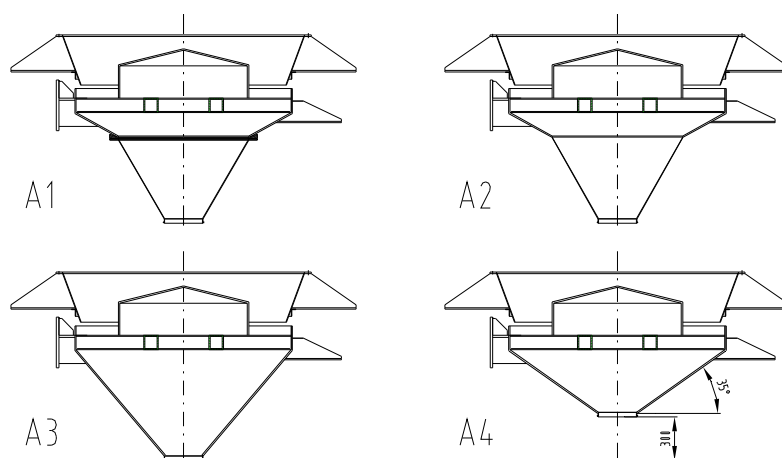


Obr.14 Vibrační dno Vibra Screw(USA) [8]

4.5 Návrhy nové koncepce

V první fázi bylo vypracováno několik návrhů pro různé konstrukční podskupiny. Ty byly předloženy pracovníkům PI k diskuzi.

- A) *Změna výpadu* - jeden ze základních impulsů pro inovaci bylo nahrazení klenutého dna svařovaným kuželem. Na návrzích A1 až A4 (obr.15) je vidět několik navržených variant řešení.

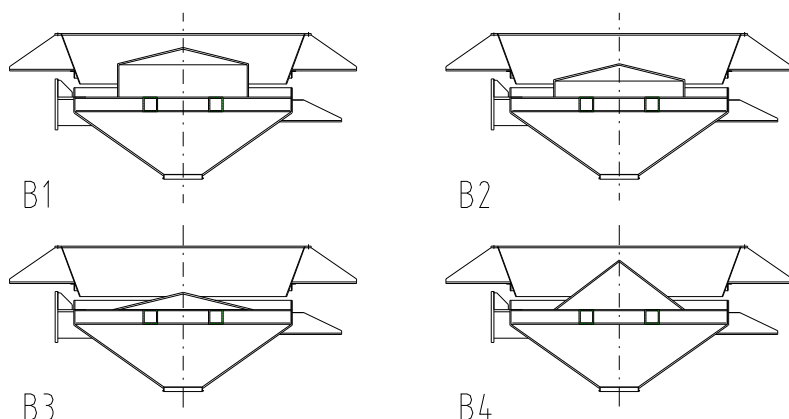


Obr.15 Návrhy změny výpadu

- A1) dno a vrchlík štítu nahrazeny kužely
- A2) tvar zůstává, kužele svařeny bez příruby
- A3) jeden kužel, stávající výška
- A4) snížená výška

Z těchto variant byla vybrána varianta A1 – je třeba zanechat přírubu mezi kuželem a výsypkou kvůli možnosti vložit clonu pro zaškrcení průtoku.

B) *Změna štítu* - u původního dna byl štít tvořen vyříznutým vrchlíkem. Na návrzích na obr.16 jsou vidět návrhy svařovaného štítu.

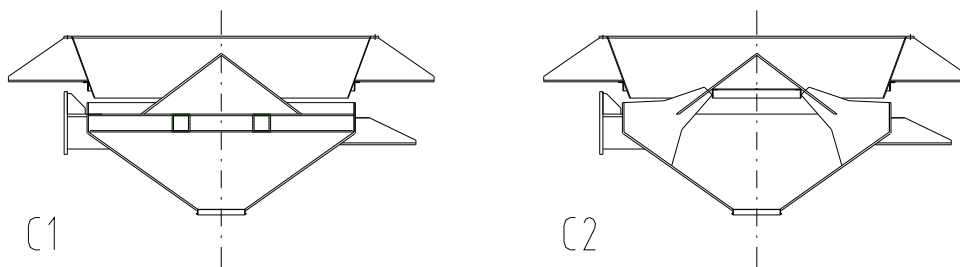


Obr.16 Návrhy provedení štítu

- B1) výška štítu jako u stávajícího provedení
- B2) výška snížena na polovinu
- B3) štít co nejnižší
- B4) ostrý štít

Byla vybrána varianta B1 (kužel nahrazující geometrii vrchlíku), ale spojená s možností nastavit výšku štítu.

C) *Změna koncepce rámu* - Původně byl rám svařen z „U“ profilů, překrytých plechem proti zanášení skladovaným materiálem (v době konstrukce nebyly jacky běžně dostupné). Návrhy jsou na obr.17.

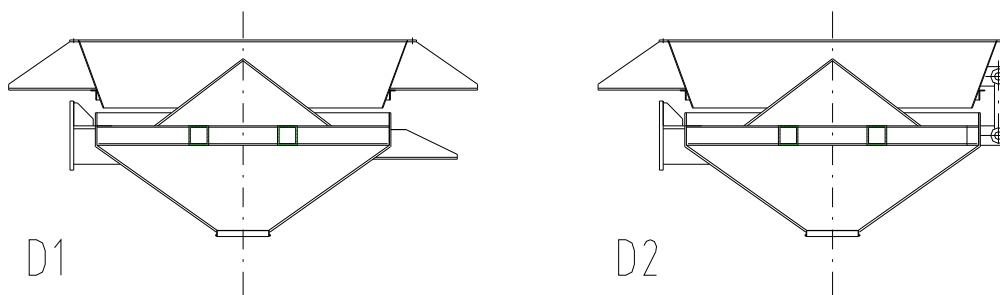


Obr.17 Návrhy konstrukce rámu

- C1) rám z jackelů
- C2) rám tvořen výpalky z plechu umístěnými proti pružinám

Byla vybrána varianta C2, avšak upravená tak, aby bylo možno nastavovat výšku.

D) *Systém pružin* – oproti původně používaným pružicím prvkům dnes většina výrobců používá válcové pryžové pružiny (obr.18).



Obr.18 Návrhy pružicích prvků

D1) stávající provedení

D2) provedení s táhly s oky

Bylo rozhodnuto využít novou koncepci s válcovými pružinami.

4.6 Výběr finální varianty

Z těchto návrhů byly seskupeny 3 varianty (obr.19):

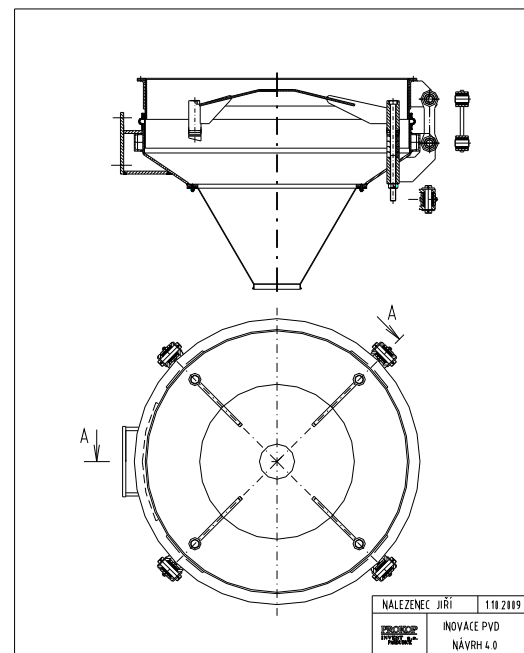
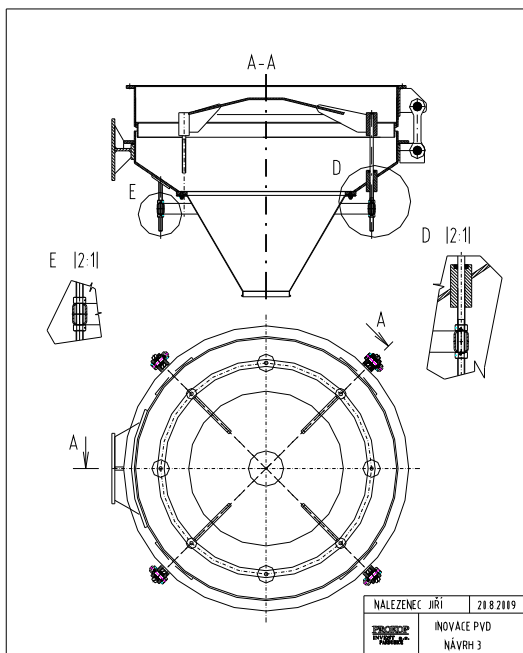
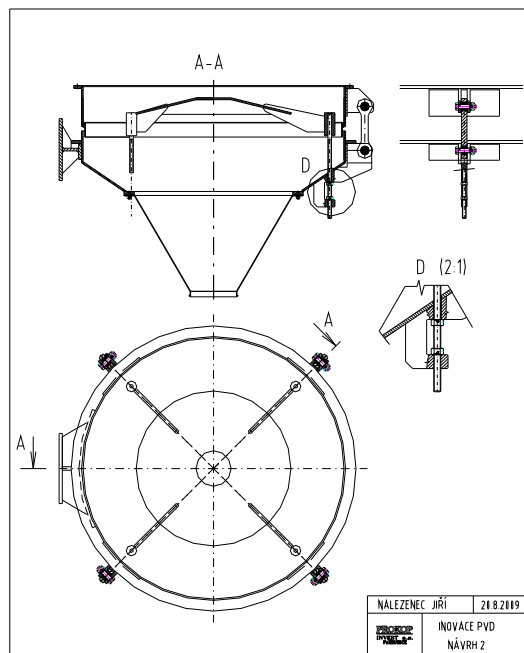
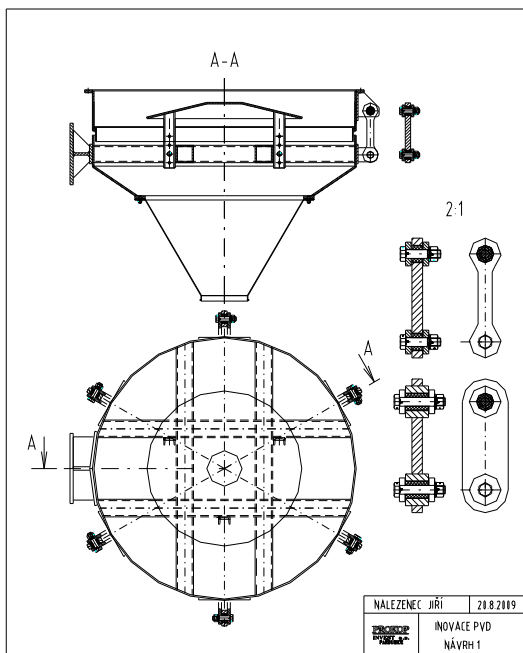
Varianta 1 – tato varianta je nejbližší původní koncepci, zachovává myšlenku vnitřního rozpěrného rámu (tentokrát svařenec z jackelů), táhla jsou ale nová.

Varianta 2 – štít je uchycen na čtyřech tyčích. Přes systém matic lze i za provozu nastavovat výšku štítu. Problémem je málo tuhé uchycení štítu a netěsnost.

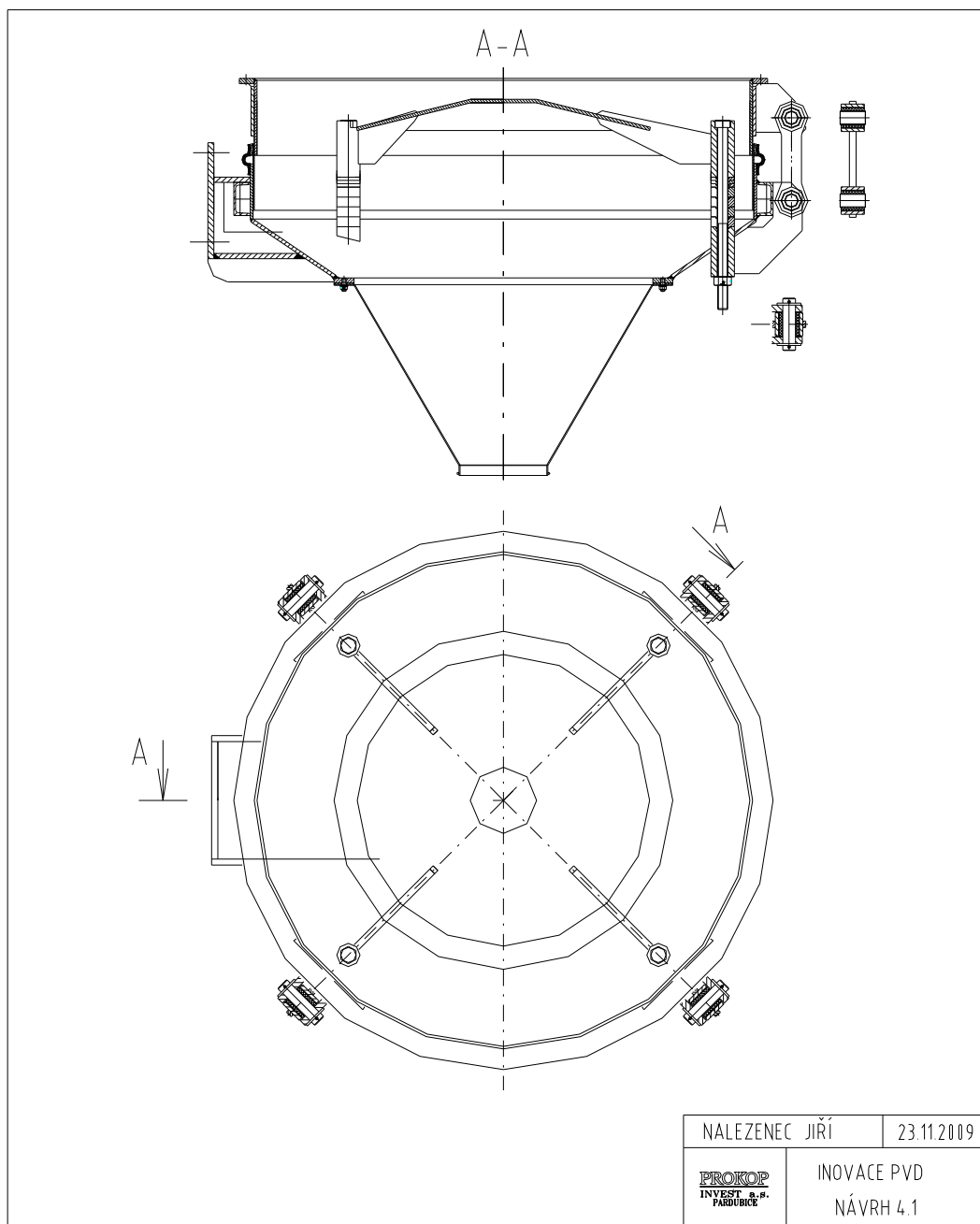
Varianta 3 – navazuje na variantu 2, řeší problém s netěsností, ovšem řešení přes kruh je složité. Navíc zde zůstává malá tuhost uchycení štítu – jsou obavy především z toho, že pokud by se uvolnila masa materiálu jen z jedné strany, mohlo by dojít k ohnutí šroubů a tím k havárii zařízení.

Varianta 4 – odstraňuje hlavní nevýhodu variant 2,3. Štít leží na několika podložkách o výšce 10mm a 30mm. Jejich počtem lze regulovat výšku štítu. Na této verzi je také použit výztužný prstenec a nové konzoly pro uchycení táhel.

Pracovníky Prokop Invest byla vybrána varianta 4. Ta po úpravě několika skupin nese označení 4.1 (obr.20). Podle ní byl vytvořen 3D model, na kterém je provedena pevnostní analýza metodou konečných prvků (FEM). Po vyhodnocení výsledků a optimalizaci případných kritických míst bude vytvořena kompletní výrobní dokumentace.



Obr.19 Návrhy PVD



Obr.20 Návrh 4.1

4.7 Výpočty

V rámci inovace PVD jsou prováděny tyto výpočty:

a) *návrhové*:

- výpočet síly na dno (dle ČSN 73 5570)
- statický výpočet čepu a táhla

b) *kontrolní*:

- kontrolní výpočet je proveden metodou konečných prvků (FEM) v programu Abacus, zvláště s ohledem na zjištění frekvence vlastních kmitů.

4.8 Konstrukční prvky

Horní část

Základem horní části je svařovaný válec, na kterém je na horní straně přivařena příruba a po stranách z něj vystupují čtyři konzoly pro táhla. Materiál plechových dílů je S235JRG1 podle EN (11 373 podle ČSN).

Spodní část

Spodní svařovaný kužel navazuje na spodní válcovou část a dole je zakončen přírubou. Po obvodu jsou čtyři konzoly pro uchycení táhel a také konzola pro uchycení vibromotoru. Materiál plechových dílů je S235JRG1 podle EN (11 373 podle ČSN)[9].

Štít

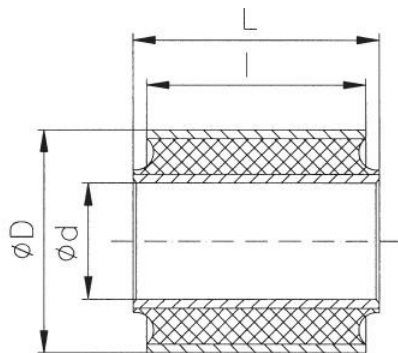
Štít je navržen jako svařenec tvaru komolého kuželu. Ten je vynesena na čtyřech výpalcích z plechu tl.20mm. Ty jsou přivařeny ke sloupkům, které přenášejí zatížení přes vyjímatelné podložky na spodní část. Počtem podložek lze regulovat výšku štítu nad kuzelem a tím i průtok materiálu. Na plechových dílech je použita ocel EN S235JRG1, na rotačních EN E295 (ČSN 11500) [9].

Táhlo

Je konstruováno jako svařenec dvou trubek a tvarového výpalku (obr.20). Po svaření bude obrobena a lakována.

Pouzdrová pružina

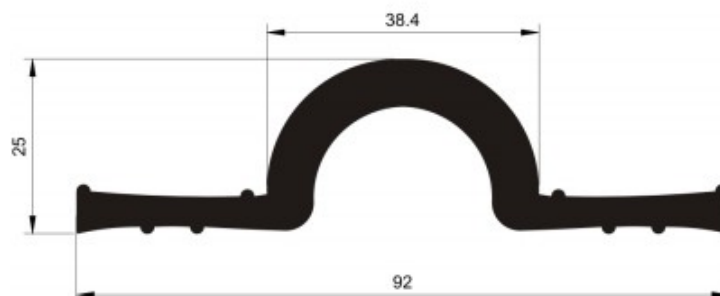
Výrobce je německá firma Gummi Metal Technik, GmbH



Obr.21 Pouzdrová pružina GMT [10]

Manžeta

Manžeta je vyrobena jako vytlačovaný profil z materiálu EPDM (elastomer dobře odolávající povětrnostním vlivům, UV záření apod.). Profil bude spojen svařením ve speciálním přípravku do kruhového tvaru. Výrobce je firma Profily,s.r.o. Vítkov.



Obr.22 Průřez manžetou [11]

Překrytí silikonovou pryží

Vzhledem k tomu, že materiál EPDM není vhodný ke styku s potravinami, bude překryt z vnitřní strany páskem ze silikonové pryže o tloušťce 4mm.

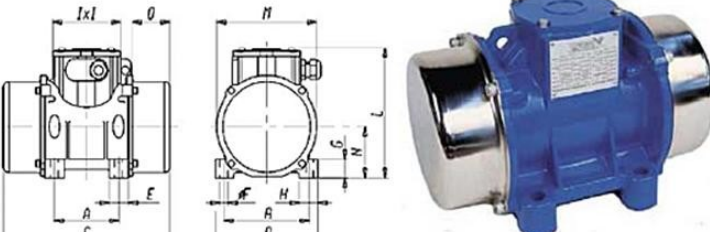
Vibromotor

Výrobce je společnost WEBAC Vibros, s.r.o., Příbram.

6-PÓLOVÝ TŘÍFÁZOVÝ ELEKTROVIBRÁTOR 1000 OT./MIN.

POLOŽKY KATALOGU ELEKTROVIBRATOR 1000 OT./MIN.																									
typ	mechanické parametry			elektrické parametry			rozměry																		
	stat. moment	odstředivá síla			max. výkon [W]	max. proud [A]	váha [kg]	ref.	připojovací rozměry																
		[kg/mm]	[kg]	[kN]					400V																
		50 Hz	50 Hz	50 Hz					50 Hz	50 Hz	A	B	ø F	ks	C	D	E	G	H	I	L	M	N	O	vývody
WEV/20/02/6	179	200	1.96	180	0.48	19	2	105	140	13	4	340	167	32	28.5	30	111	204	163	80	96	FG16			
WEV/30/02/6	268	300	2.94	330	0.68	23	2	120	170	17	4	376	205	38	40	33	111	214.5	191	91.5	97	FG16			
WEV/35/02/6	446	500	4.91	330	0.71	47	2	120	170	17	4	436	210	60	22	47.5	111	243	223	115.5	118	FG16			
WEV/38/02/6	714	800	7.85	640	1.3	60	2	140	190	17	4	486	230	72	25	45	111	257	241	124.5	127	FG16			
WEV/40/02/6	982	1100	10.8	710	1.6	70	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/41/02/6	1339	1500	14.7	900	2	81	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/50/02/6	1518	1700	17.0	1100	2.2	90	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/53/02/6	1964	2200	22.0	1400	2.5	110	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/55/02/6	2321	2600	26.0	1600	2.8	120	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/57/02/6	2767	3100	31.0	1800	3.1	130	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/60/02/6	3482	3900	39.0	2200	3.4	150	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/62/02/6	4285	4800	48.0	2600	3.7	160	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/65/02/6	4732	5300	53.0	2800	4.0	170	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/67/02/6	5714	6400	64.0	3200	4.3	190	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/71/02/6	7232	8100	81.0	4000	4.6	220	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/75/02/6	7768	8700	87.0	4200	4.9	230	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/81/02/6	8750	9800	98.0	4800	5.2	260	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/110/02/6	10089	11300	113.0	5500	5.5	300	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/130/02/6	11607	13000	130.0	6300	5.8	340	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			
WEV/141/02/6	12679	14200	142.0	6800	6.1	380	2	140	190	17	4	557	230	72	25	45	111	257	241	124.5	162.5	FG16			

Rad. 2



Obr.23 Výběr z katalogu WEBAC Vibros, s.r.o.[12]

4.9 Regulace průtoku

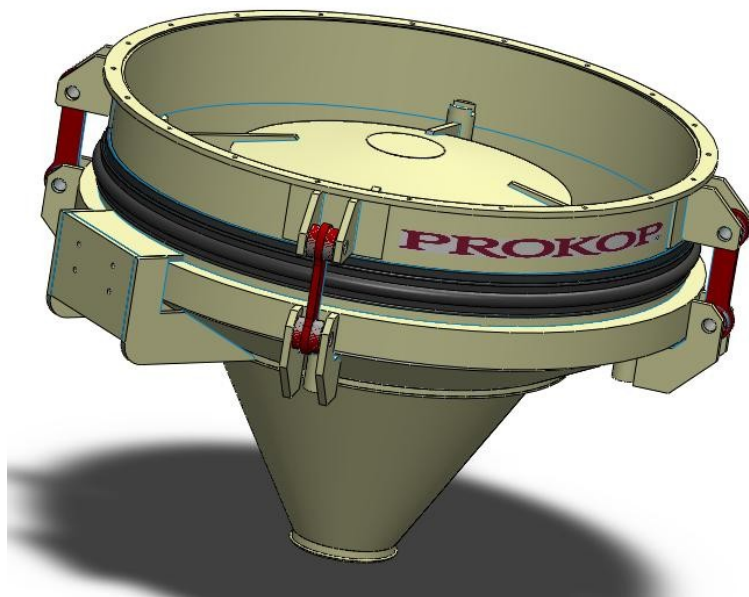
Při uvádění mlýna do provozu nebo i později při změnách nastavení technologické linky je třeba správně nastavit průtočné množství. Nová konstrukce vibračního dna PROKOP umožňuje několik variant nastavení. Průtok je možno regulovat:

- nastavením vibromotoru (nevývažky je možno natáčet a tím regulovat odstředivou sílu)
- nastavením štítu (vložením příslušného počtu podložek docílíme žádané mezery mezi kuzelem a štítem)
- vložením clony

Na přání je možno také vybavit PVD frekvenčním měničem otáček.

5. Závěr

Vibrační dno plní svou nezastupitelnou roli při vyprazdňování zásobníků s organickými i anorganickými partikulárními materiály se sklonem k poruchám vyprazdňování. Výhodou tohoto stroje bývá jeho nízká pořizovací cena, vysoká spolehlivost, nízké provozní náklady. Vibrační dno firmy Prokop Invest,a.s. Pardubice je konstruováno především pro použití v mlynářském průmyslu. Nová konstrukce (obr.24) je konstruována s ohledem na vysokou životnost, snadné nastavení v rámci technologické linky, nízkou hmotnost a nízké výrobní náklady.



Obr.24 3D model nového PVD

Seznam použité literatury

- [1] *Propagační materiály*, Prokop Invest,a.s.
- [2] *Obiloviny 2009*, zpravodaj Ministerstva zemědělství
- [3] KUČEROVÁ, J: *Technologie cereálií*, MZLU v Brně, Brno 2004
- [4] PELIKÁN, M: *Zpracování obilovin a olejnin*, MZLU v Brně, Brno 1996
- [5] *Propagační materiály*, Bühler
- [6] *Propagační materiály*, Extrac
- [7] *Propagační materiály*, Carman
- [8] *Propagační materiály*, Vibra Screw
- [9] *Katalog hutních polotovarů Feron*,a.s., <http://www.ferona.cz/cze/katalog>
- [10] *Product catalogue*, GMT Gummi-Metall-Technik GmbH, Bühl
- [11] *Katalog firmy Profily*, PROFILY s.r.o., <http://www.profil.cz>
- [12] *Katalog firmy Webac Vibro*, Webac Vibro s.r.o., <http://www.webac-vibro.com>