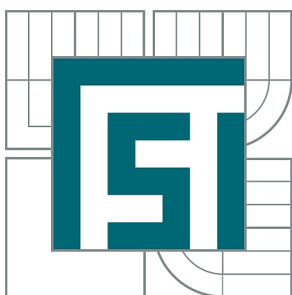




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

INOVACE KOREČKOVÉHO ELEVÁTORU

INNOVATION OF THE BUCKET ELEVATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ HÁLA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN BRANDEJS, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Hála

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Inovace korečkového elevátoru

v anglickém jazyce:

Innovation of the bucket elevator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je kompletní inovace stávajících korečkových elevátorů. Jednou z hlavních úprav je eliminace prostorů, kde dochází k usazování a napěchování dopravovaného materiálu. Nová konstrukce musí zabezpečit dokonalejší automatické čištění spodní napínací hlavy elevátoru.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Konceptní řešení
5. Konstruktivní řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkres sestavení

Typ práce: konstrukční; Účel práce: výzkum a vývoj

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G.: Konstruování strojních součástí.
Překlad 7. vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Brandejs, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 21. 11. 2014



v.z. Hartl

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

v.z. Katolický

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá inovací korečkového elevátoru. Jedná se zejména o konstrukční úpravu elevátoru v místech, kde dochází k usazování a napěchování dopravovaného materiálu. Usazený materiál způsobuje zahnívání a následnou kontaminaci čerstvého materiálu. Hlavním cílem této práce je navrhnout konstrukční řešení dokonalejšího čištění paty korečkového elevátoru. Další inovace se týká úpravy systému značení a výkonnostní řady elevátorů.

Klíčová slova

korečkový elevátor, inovace, dopravník, koreček, čištění

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the innovation of the bucket elevator. The thesis is focused on design modification of the elevator in the areas where the transported material is settled. Settled material causes decay and subsequent contamination of the fresh material. Main purpose of this paper is to propose design solution to improve cleaning of the feed boot of the bucket elevator. The next innovation deals with the modification of the marking system and efficient series of the elevators.

Key words

bucket elevator, innovation, conveyor, bucket, cleaning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HÁLA, O. *Inovace korečkového elevátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 59 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Brandejs, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Inovace korečkového elevátoru vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů v příloze této práce.

Datum

Ondřej Hála

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Brandejsovi J., CSc. za jeho cenné rady a připomínky. Děkuji konzultantům Ing. Procházkovi T., Ing. Slabému F., Ing. Nalezencovi J. a Špásovi M. za odbornou pomoc a dále firmě Prokop Invest, a.s. za poskytnutí potřebných počítačových programů a materiálů. Děkuji také své rodině za podporu a umožnění studia na vysoké škole.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	14
1.1 Korečkové elevátory obecně	14
1.2 Popis konstrukčních částí	15
1.2.1 Tažné prostředky	15
1.2.2 Korečky	15
1.2.3 Nosná konstrukce	16
1.2.4 Pohon	17
1.2.5 Napínací zařízení	17
1.3 Popis funkce	17
1.3.1 Plnění korečků	18
1.3.2 Vyprazdňování korečků.....	18
1.4 Současné konstrukce elevátorů Prokop Invest, a.s.	21
1.4.1 Typy elevátorů a systém značení.....	21
1.4.2 Charakteristika konstrukcí.....	22
1.4.3 Pata elevátoru a čištění	24
1.4.4 Kontrolní snímače	24
1.4.5 Výpočet.....	25
1.5 Konkurence a současný trh.....	25
1.5.1 Skandia Elevator.....	25
1.5.2 STROJMONT CZ a.s.	26
1.5.3 JK MONT, s.r.o.	27
1.5.4 Taurus, s.r.o.	27
1.5.5 Porovnání s konkurencí	28
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	29
2.1 Charakteristika problému	29
2.1.1 Značení a výkonnostní řady.....	29
2.1.2 Pata elevátoru a čištění	29
2.2 Cíl práce.....	30
3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	31
3.1 Úprava výkonnostní řady a systému značení	31
3.2 Návrh paty elevátoru	32
3.2.1 Varianta 1 – Pohyblivá vana.....	32
3.2.2 Varianta 2 – Kompenzátory.....	34
3.2.3 Varianta 3 – Vnitřní pohyblivé dno.....	35

3.2.4 Varianta 4 – Vnější pohyblivé dno	36
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	37
4.1 Výpočty.....	37
4.2 Pata elevátoru.....	38
4.2.1 Popis konstrukčního řešení	38
4.2.2 Popis napínání a čištění.....	41
4.2.3 Popis dodatečného čištění	41
4.2.4 Popis výměny bubnu.....	41
5 DISKUZE	42
ZÁVĚR	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN.....	45
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	46
SEZNAM TABULEK.....	47
SEZNAM PŘÍLOH	48

ÚVOD

Dopravní zařízení slouží k řízené dopravě průmyslových materiálů do předem určených míst. Každý materiál má různé fyzikální a chemické vlastnosti. Tyto vlastnosti spolu s požadovaným dopravním směrem jsou výchozími faktory pro volbu vhodného dopravního prostředku.

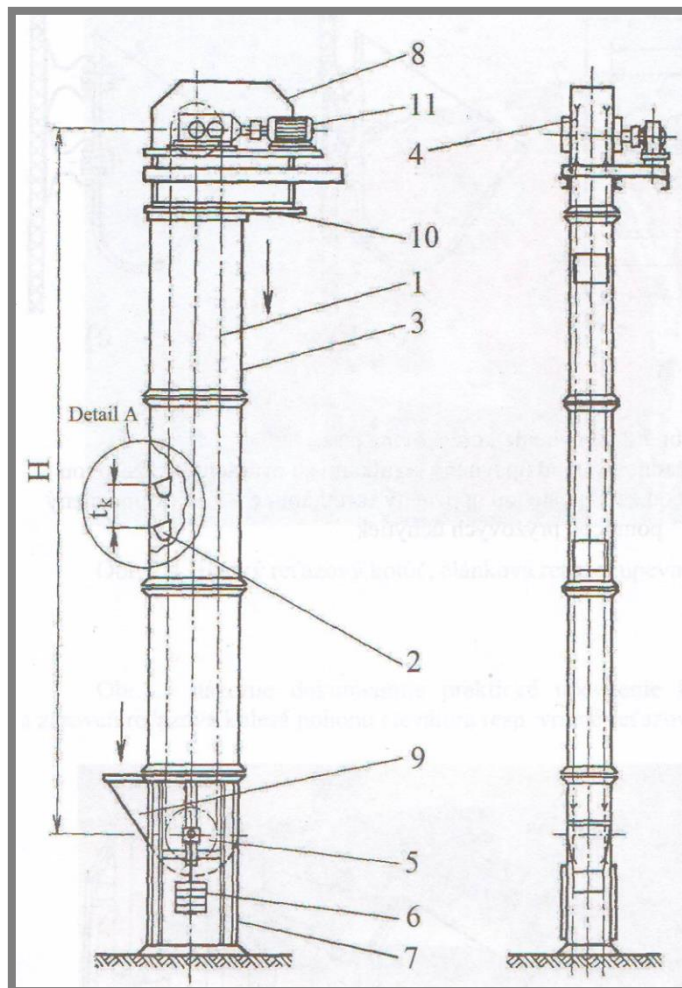
Elevátory jsou manipulační zařízení, která zajišťují dopravu průmyslových materiálů ve směru svislém vzhůru. Slouží pro dopravu převážně sypkých materiálů, jako jsou například obiloviny, mouka, popel a materiálů, které tvoří menší částice, jako například uhlí, kamení, písek apod.

Díky spolupráci s firmou Prokop Invest, a.s. (dále jen PI) jsem dostal příležitost podílet se na mnoha konstrukčních projektech a řešit tak konkrétní problémy u specifických zařízení. Jedním z těchto projektů je inovace stávajících korečkových elevátorů, o níž pojednává tato bakalářská práce. Inovace se týká zejména čištění paty elevátoru. Jedná se o kompletní konstrukční změnu tvaru dna a principu funkce. Dále se práce zabývá úpravou systému značení elevátorů a úpravou výkonnostní řady.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Korečkové elevátory obecně

Korečkové elevátory (viz obr. 1-1) jsou mechanická dopravní zařízení, která slouží pro dopravu převážně sypkých materiálů, jako jsou například obiloviny, mouka, popel a materiálů, které tvoří menší částice, jako například uhlí, kamení, písek apod. Dominantním směrem dopravy materiálu je směr svislý vzhůru. Elevátory se dělí na svislé přímé korečkové elevátory, které mají úhel sklonu ke svislé ose menší než 20° , šikmé korečkové elevátory, které mají úhel sklonu ke svislé ose mezi $20\text{--}35^\circ$ a výsypné korečkové elevátory, které dopravují materiál do různých výšek mezi body umístěnými ve svislé rovině [1]. Transport je zajištěn pomocí korečků, které jsou upevněny na tažném prostředku. Tažný prostředek je zavěšen na hnacím bubnu v hlavě elevátoru a na vratném (napínacím) bubnu v patě je napínán tak, aby byla zajištěna správná funkce.



Obr. 1-1 Korečkový elevátor a jeho základní části [2]

1 – tažný prostředek, 2 – korečky, 3 – šachta, 4 – hnací buben, 5 – vratný (napínací; hnaný) buben, 6 – systém napínání, 7 – pata, 8 – hlava, 9 – vpád, 10 – výpad, 11 – pohon

1.2 Popis konstrukčních částí

Každý elevátor může v podstatě být sám o sobě unikát, jelikož většinou záleží na požadavcích zákazníka. Jedním z hlavních faktorů je dopravovaný materiál. Na základě jeho konzistence a struktury je nutno zvolit vhodný tvar a materiál korečků. Od dopravované suroviny se také odvíjí volba materiálu konstrukce elevátoru. Můžeme využít buď konstrukčních ocelí, nerezových ocelí nebo jejich kombinací. Dalším řídicím faktorem při konstrukci je dopravní výkon elevátoru. S výkonem souvisí dopravní rychlost a dle rychlosti je nutno zase zvolit vhodný tažný prostředek. Vzhledem k dopravovanému materiálu je také důležité zvolit nejvhodnější způsob plnění a vyprazdňování korečků. Všechny tyto faktory a mnoho dalších vytváří celkový koncept a konstrukci daného elevátoru.

1.2.1 Tažné prostředky

Tažné prostředky zajišťují pohyb korečků v požadovaném směru. Tažným prostředkem může být pás nebo řetěz.

Pásové elevátory dosahují dopravních rychlostí v_D do $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a řadí se mezi rychloběžné elevátory. [2] Dosahují objemového dopravního výkonu¹ Q_V až $1500 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a dopravní výšky h_D až 60 m. Pásky mohou být pryžové, polyvinylchloridové nebo pletivové. Pryžové pásky se používají nejčastěji. Tyto pásky mohou mít vložky z umělých vláken nebo ocelových lan. Elevátory s pryžovými pásky mohou dopravovat materiál v rozmezí teplot -10 až $+70^\circ\text{C}$ a při speciální úpravě pásu až do 150°C .

Řetězové elevátory se používají při dopravě abrazivních materiálů a při vyšších dopravních výškách. Dosahují dopravní rychlosti v_D od $0,3$ do $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a patří do kategorie pomaloběžných elevátorů. [2] Dosahují hmotnostního dopravního výkonu Q_V až $800 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ a dopravní výška může být až 90 m. Používají se řetězy článkové nebo sponové. Korečky na sponovém řetězu mohou být zavěšeny na jedné nebo na dvou větvích. Přípustná teplota dopravovaného materiálu se pohybuje v rozmezí -10 až $+150^\circ\text{C}$. Při speciálních úpravách může být teplota dopravovaného materiálu až 250°C .

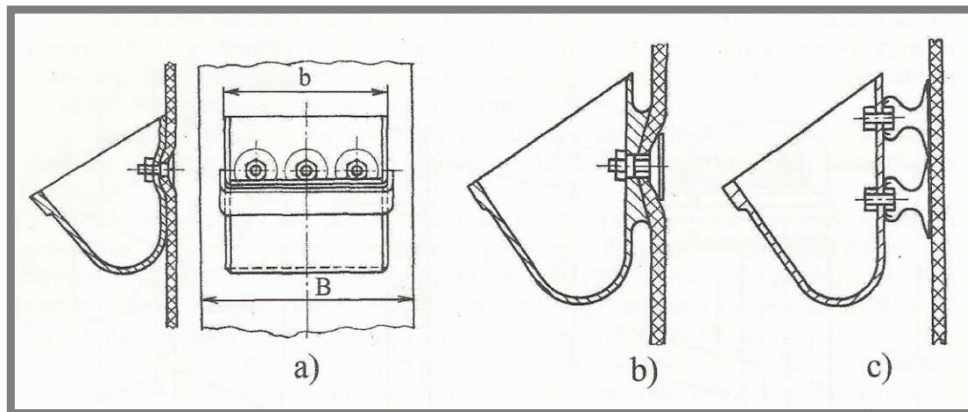
1.2.2 Korečky

Korečky zajišťují transport dopravované suroviny. Zhotovují se z ocelového plechu svařováním, nýtováním, lisováním nebo se odlévají z temperované litiny [3]. Tvar a materiál korečků se volí na základě dopravovaného materiálu. Záleží zejména na jeho váze, velikosti jednotlivých kusů, ale i na dalších faktorech jako je například lepivost, nebo zda se jedná o potravinářský, či chemický produkt. Korečky bývají nejčastěji z ocelového plechu o tloušťce 1 až 8 mm, mohou však být také plastové.

¹ Většina firem uvádí v nabídce elevátorů hmotnostní dopravní výkon Q_m [$\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$] doplněný typem materiálu. Některé firmy dokonce používají hmotnostní dopravní výkon, ale bez uvedení materiálu, potom je však tato informace vzhledem k různým hustotám a stavům dopravované suroviny irelevantní.

Nejvhodnější jsou korečky, které nemají vnitřní hrany ostré, ale hrany zaoblené. V ostrých rozích či hranách snadněji dochází k usazování materiálu, což je nežádoucí.

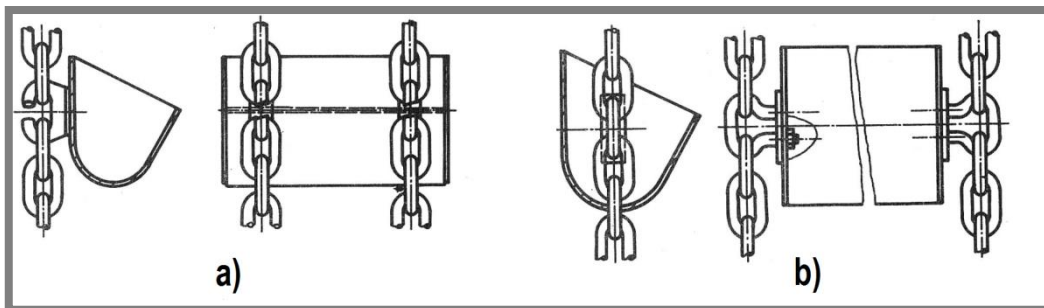
Na pás lze korečky upevnit více způsoby (viz obr. 1-2). Pokud se korečky šroubují přímo na pás, je nutné, aby v místě připojení byly zaoblené tak, aby vnitřní strana pásu nebyla vystouplá a byl tak zajištěn hladký chod korečků přes bubny [2].



Obr. 1-2 Upevnění korečků na pásu [2]

a) koreček s prolisovanou zadní stěnou upevněný šrouby, b) koreček s upravenou zadní stěnou upevněný šrouby, c) koreček upevněný pomocí pryžových úchytek

Na řetězu jsou korečky připojeny odnímatelně pomocí šroubů. Upevňují se buď čelně (obr. 1-3a) nebo bočně (obr. 1-3b).



Obr. 1-3 Upevnění korečků na řetězu [4]

1.2.3 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce korečkového elevátoru může být uzavřená nebo otevřená. Největší výhodou uzavřeného elevátoru je, že nedochází k mísení dopravovaného produktu s okolím.

Následující text i celá práce se dále týká popisu pouze uzavřeného přímého svislého korečkového elevátoru.

Pata elevátoru (někdy též spodní napínací hlava) tvoří základ konstrukce elevátoru. Je zde umístěn napínací systém, který zajišťuje napínání tažného prostředku. Na patu

navazuje střední část nosné konstrukce uzavřeného korečkového elevátoru tzv. šachta. Šachta zamezuje kontaktu dopravované suroviny s okolím a spojuje patu s hlavou elevátoru. Hlava je konstruována tak, aby bylo zajištěno správné vyprazdňování korečků, a také musí být uzpůsobena pro umístění pohonu.

V případě, že je elevátor umístěn v budově, je nutné ho ukotvit v jednotlivých patrech, kterými prochází. Pokud se jedná o venkovní elevátor, ve většině případů je potřebné elevátor doplnit o nosnou konstrukci, převážně příhradovou. Ta zároveň zajišťuje přístup k pohonu.

1.2.4 Pohon

1.2.4

Pohon je umístěn na hlavě elevátoru. Výkon elektromotoru je závislý na velikosti elevátoru, jeho dopravním výkonu a dopravní výšce. Důležitou součástí pohonu je brzda. Ta může být buď mechanická anebo elektromagnetická. Za provozu se korečky elevátoru plní pouze z jedné strany od pomyslné roviny, kterou vytváří svislá rovina procházející osou pohonu. Při vypnutí pohonu bez brzdy by nevyspané korečky způsobily pohyb tažné jednotky v protisměru. Tím by mohlo dojít k jejich vysypání a následnému ucpání elevátoru. V horším případě by tento „pád“ mohl elevátor poškodit tak, že by to vedlo ke ztrátě funkce. Dříve se využívalo brzd, které byly mimo pohon a fungovaly na principu mechanismu rohatky se západkou.

1.2.5 Napínací zařízení

1.2.5

Napínací zařízení je umístěno na patě elevátoru. Správné napnutí tažného elementu je nutné pro přenos sil na hnacím bubnu. Napínání je zajištěno pomocí šroubů. Dříve bylo využíváno napínání pomocí závaží. Napínací zařízení je nutné z důvodu postupného vytahování tažného elementu, což může vést ke ztrátě funkce. Stálé zkracování tažného elementu by totiž bylo příliš pracné a naprosto nevýhodné, jelikož by byla nutná odstávka elevátoru.

Potřebný zdvih je 200 až 500 mm nebo u řetězů minimálně 2 rozteče řetězu. Velikost napínací síly F_N se pohybuje zpravidla v rozmezí 500 až 2000 N. [5]

1.3 Popis funkce

1.3

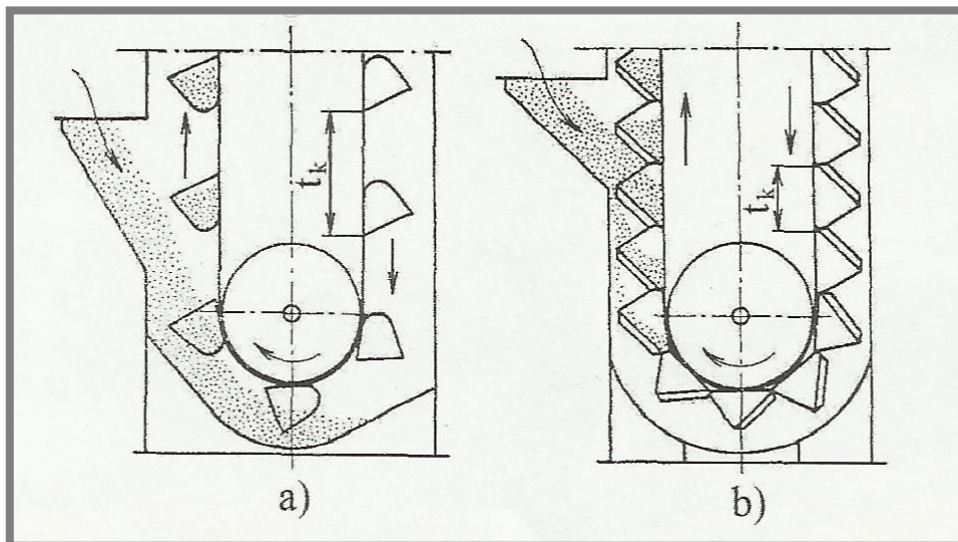
Výrobci korečkových elevátorů vycházejí z několika let starých a ověřených koncepcí elevátorů. Nicméně každý výrobce se samozřejmě snaží konkurovat tomu druhému, a tak svou koncepci stále vylepšuje. To dalo za vznik mnoha druhům elevátorů, které se v mnoha prvcích liší, ale jejich celková charakteristika a funkce zůstává stejná.

1.3.1 Plnění korečků

Přivádění materiálu do korečků a jejich rovnoměrné plnění je pro správnou funkci elevátoru velmi důležité. Přiváděcí rychlost materiálu musí být malá. Korečky se mohou plnit více způsoby a to buď hrabáním (obr. 1-4a), nasypáváním (obr. 1-4b) nebo kombinací obou způsobů. [5]

Násypnému způsobu dáváme přednost u většiny materiálů. Tento způsob se používá zejména pro hrubě kusovité a silně abrazivní materiály. U hrabacího způsobu by tyto materiály způsobovaly příliš velké odpory pro nabírání. [4]

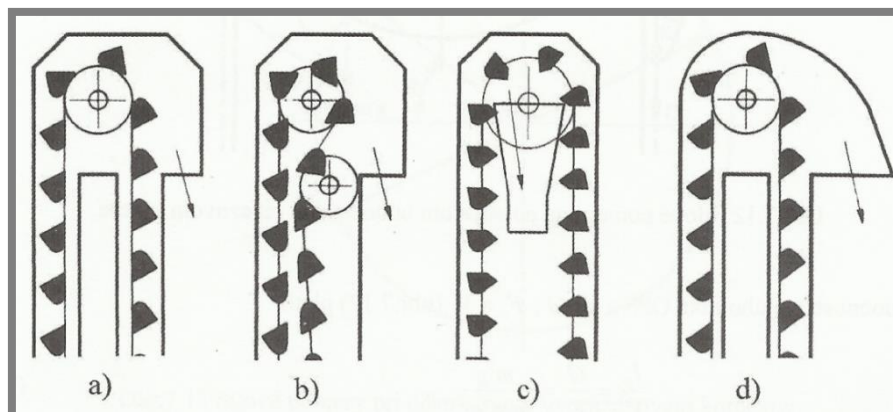
Hrabací způsob plnění je vhodný jen pro neabrazivní a lehké materiály. Hrabání způsobuje větší spotřebu energie a korečky se rychleji opotřebovávají. Pro materiály s malou zrnitostí (do 10 mm) neovlivňuje hrabací způsob plnění dopravní rychlost elevátoru, pro materiály kusovité je třeba ji volit menší než 1 m.s^{-1} . Kombinovaný způsob plnění nastává při nedokonalém násypném způsobu, kdy část materiálu propadá kolem korečků na dno šachty a je zde korečky nabírána. [5]



Obr. 1-4 Způsoby plnění korečků [2]
 t_k – rozteč korečků

1.3.2 Vyprazdňování korečků

Podle způsobu vyprazdňování materiálu dělíme elevátory na odstředivé a gravitační. Většina elevátorů bývá odstředivá. Umožňují dosažení větších dopravních rychlostí a tím tedy větších dopravních výkonů. Materiál je vysypáván přes vnější hranu korečku. Odstředivé elevátory se používají hlavně na lehčí sypké nelepivé materiály, jako jsou například různé druhy obilí. Gravitační elevátory dosahují nižších dopravních rychlostí a materiál je vysypáván přes vnitřní hranu korečku. Gravitační elevátory se používají na těžší a abrazivnější materiály, jako je například kamení nebo uhlí. Díky nižším rychlostem je právě účinek abraze snížen. Dle uvedených způsobů vyprazdňování se dále liší konstrukce hlavy elevátorů (obr. 1-5).



Obr. 1-5 Způsoby vyprazdňování korečků [2]

a) gravitační přes vnitřní stěnu korečku, b) gravitační s odklonem vratné větve, c) gravitační přes střed, d) odstředivou silou

Zda bude vyprazdňování odstředivé nebo gravitační, závisí zejména na dopravní rychlosti. Odstředivé vyprazdňování korečků nastává při rychlostech vyšších než 1 až 1,5 m.s⁻¹. Takže odstředivé vyprazdňování dosáhneme spíše za použití pásů jako tažného prostředku. Typ vyprazdňování můžeme určit ze silového poměru na hnacím bubnu (obr. 1-6). [2]

Na materiál v korečku působí tíhová síla

$$G = m \cdot g \quad (1.1)$$

kde:

G	[N]	je tíhová síla,
m	[kg]	hmotnost dopravovaného materiálu,
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení

a odstředivá síla vlivem pohybu

$$F_c = m \cdot r_s \cdot \omega^2 \quad (1.2)$$

kde:

F_c	[N]	je odstředivá síla,
r_s	[m]	poloměr dráhy těžiště korečku,
ω	[rad.s ⁻¹]	úhlová rychlost.

Z podobnosti trojúhelníku OPS platí

$$\frac{l_p}{r_s} = \frac{G}{F_c} = \frac{m \cdot g}{m \cdot r_s \cdot \omega^2} \quad (1.3)$$

$$l_p = \frac{g}{\omega^2} \quad (1.4)$$

kde:

l_p	[m]	je pólová vzdálenost
-------	-----	----------------------

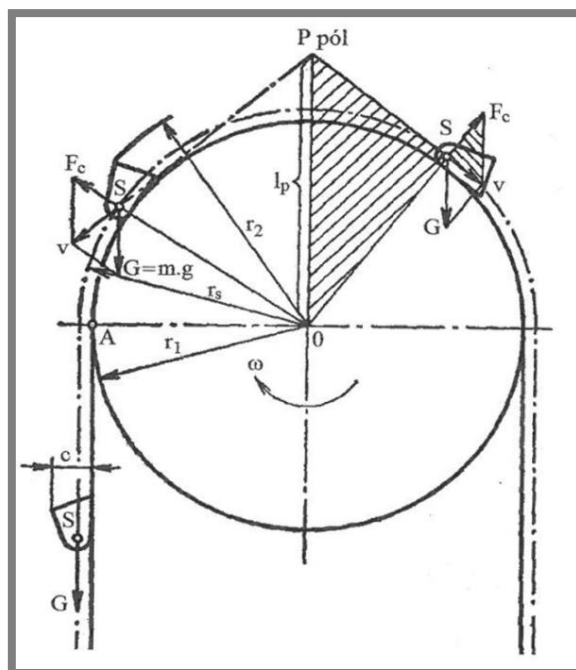
a platí pro ni:

- $l_p > r_2$ - vyprazdňování bude gravitační,
- $l_p < r_1$ - vyprazdňování bude odstředivé,
- $r_1 < l_p < r_2$ - vyprazdňování bude gravitační i odstředivé

kde:

- r_1 [m] je poloměr dráhy opsané vnitřní hranou korečku,
- r_2 [m] poloměr dráhy opsané vnější hranou korečku.

Případ, kdy může být vyprazdňování gravitační i odstředivé by neměl nastat, protože by se částice při vyprazdňování mohly srážet a dráha jejich letu bude neurčitá. Může dokonce docházet k tak nepříznivému jevu, že částice by dopadaly na spodní část korečků ve vratné větvi a byly by nabírány stále dokola.



Obr. 1-6 Silové poměry na hnacím bubnu [2]

Odstředivé vyprazdňování začíná při dosažení úhlu α . V této poloze je svislá složka odstředivé síly F_y v rovnováze se silou tíhovou G (obr. 1-7). [2]

Z obrázku 1-7 vyplývá

$$F_y = G \quad (1.5)$$

$$m \cdot r_s \cdot \omega^2 \cdot \sin \gamma = m \cdot g \quad (1.6)$$

kde:

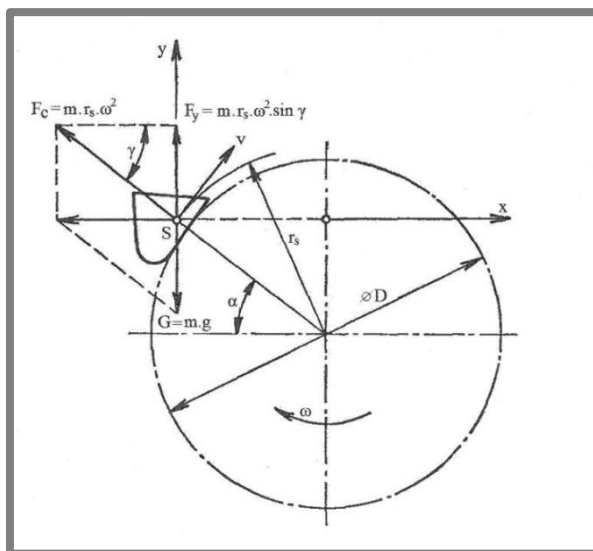
- F_y [N] je svislá složka odstředivé síly,
- γ [°] úhel svírající odstředivá síla s vodorovnou osou x.

Jelikož $\alpha = \gamma$, potom z rovnice (1.6) můžeme vyjádřit úhel počátku vyprazdňování α

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{g}{r_s \cdot \omega^2} \quad (1.7)$$

kde:

α [rad] je úhel počátku vyprazdňování.



Obr. 1-7 Rovnováha sil na hnacím bubnu [2]

Při gravitačním vyprazdňování bývá tažným prostředkem převážně řetěz. Korečky mají malé rozestupy a dopravní rychlost musí být nízká, aby byl gravitační způsob vyprazdňování zajištěn.

1.4 Současné konstrukce elevátorů Prokop Invest, a.s.

1.4

Elevátory firmy PI jsou plně funkční dopravní stroje a vyhovují všem náležitým normám. Nicméně jejich konstrukce a s tím související výkresové dokumentace jsou přes dvacet pět let staré. Elevátory již tedy nejsou tolik schopné konkurence, a to zejména z důvodu jejich drahé výroby a některých nevhodných konstrukčních řešení. Firma disponuje několika základními typy elevátorů. Většina elevátorů se však nejčastěji stává součástí větší linky projektované samotnou firmou, a tak bývá každý elevátor upraven „na míru“.

1.4.1 Typy elevátorů a systém značení

1.4.1

Firma PI vyrábí elevátory pouze pásové. Disponuje elevátory pro mlynářské účely, kde dopravní surovinou je zejména pšenice a pro kafilerní účely, kde může být dopravní surovinou například masokostní moučka. Stávající konstrukce existují ve dvou typových řadách PEK a PEV. Detailní rozdělení dosahovaných hmotnostních výkonů je v tabulce 1-1.

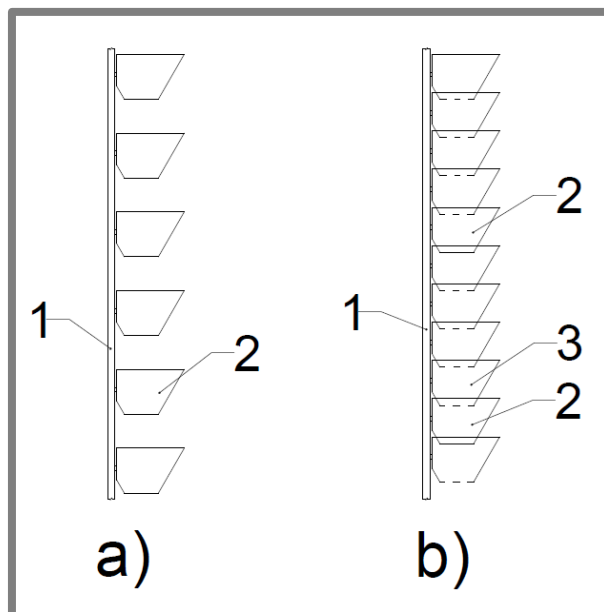
Tab. 1-1 Rozdělení výkonů elevátorů firmy Prokop Invest a.s. [6]

Surovina	Hmotnostní dopravní výkon [$t \cdot h^{-1}$]					
	Typ elevátoru	PEK		PEV		
	Výkonnostní řada	100	155	100	155	220
Pšenice	Normální obvodová rychlost	5	15	32	75	120
	Snížená obvodová rychlost	3,3	10	-	-	-
Řepka	Normální obvodová rychlost	2,3	7	15	35	-
Masokostní moučka	Normální obvodová rychlost	0,8	2,3	5	12	-

Elevátory dosahují dopravních výšek až 60 m. Výška je přímo specifikována až zákazníkem nebo potřebou linky. Požadované výšky se potom dosáhne počtem a typem použitých šachet. Dle druhu a stavu dopravované suroviny se volí vhodný materiál konstrukce (konstrukční „černá“ ocel, nerezová ocel, pozinkovaná ocel). Dle dané dopravované suroviny se také volí vhodný materiál korečků popř. dalších částí elevátoru.

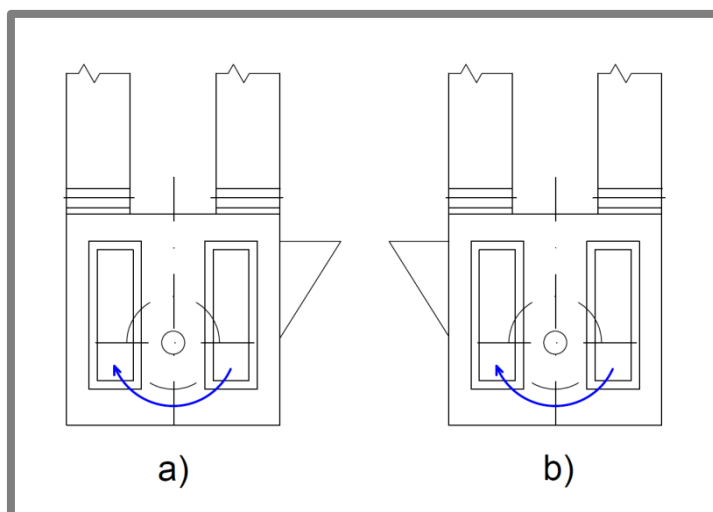
1.4.2 Charakteristika konstrukcí

Elevátory PEK a PEV jsou podobné, liší se zejména v dosažitelných dopravních výkonech a rozmístění korečků (viz obr. 1-8). Elevátor PEV (viz obr. 1-8b) má tu zvláštnost, že má korečky umístěné těsně za sebou tak, že dno jednoho je pod horní hranou následujícího korečku pod ním. Vždy je umístěno několik korečků za sebou, které nemají dno, a za nimi následuje jeden koreček se dnem. Tento způsob je zejména vhodný pro nelepivé sypké materiály s menšími částicemi, jako je mouka a pšenice. Surovina v tomto případě vytváří přes řadu korečků bez dna souvislý sloupec materiálu, a tím je dopravní výkon dané suroviny větší než u elevátoru typu PEK. Elevátor PEK (viz obr. 1-8a) má rozmístění korečků standardní a rozteč korečků se řídí pokynem jejich výrobce. Oba typy využívají převážně hrabacího způsobu plnění. Ve většině případů však v elevátoru nastane kombinace obou způsobů plnění – hrabacího i násypného.



Obr. 1-8 Uspořádání korečků elevátorů a) PEK a b) PEV
1 – tažný pás, 2 – koreček se dnem, 3 – koreček bez dna

Elevátory firmy PI využívají více způsobů plnění. Nejčastějším a nejvhodnějším způsobem je plnění elevátoru po směru otáčení (obr. 1-9a). Tento způsob má zejména tu výhodu, že při vpádu do elevátoru dopravovaná surovina svou kinetickou energií působí po směru pohybu korečků, a tak je zatížení elevátoru menší. Pokud není možné, zejména z dispozičních důvodů, elevátor zkonstruovat tak, aby byl vpád suroviny po směru otáčení, je nutno umístit vpád proti směru otáčení² (obr. 1-9b) nebo případně z boku paty elevátoru. Ačkoliv jsou tyto způsoby plnění běžně využívány, literatura se o nich nezmiňuje.

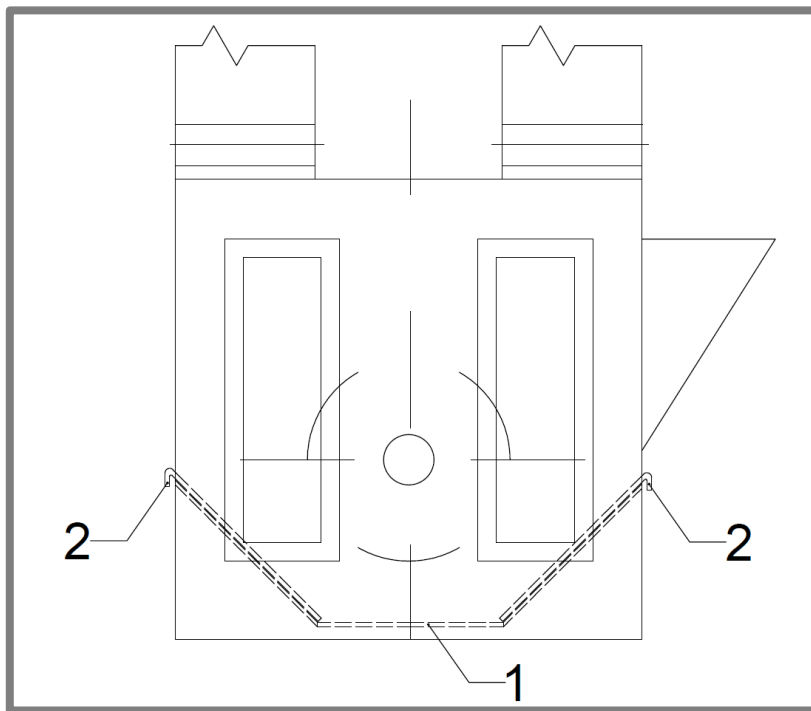


Obr. 1-9 Umístění vpádů na patě elevátoru (Modrá šipka značí směr otáčení.)
a) vpád po směru otáčení, b) vpád proti směru otáčení

² Ve firmě PI se pro tyto způsoby plnění také využívají zažité výrazy: „po ráně“, což znamená po směru otáčení a „proti ráně“, což znamená proti směru otáčení.

1.4.3 Pata elevátoru a čištění

Stávající paty elevátorů PI jsou nejvíce problémovou částí. Vůle mezi vnější hranou korečků a dnem paty elevátoru je tak velká, že se na dně volně usazuje dopravovaný materiál. Ten potom zahnívá a kontaminuje čerstvý materiál. Tomu se předchází pravidelným čištěním dna elevátoru pomocí kontrolních otvorů (viz obr. 1-10), které jsou umístěny na bocích paty. Kontrolní otvory jsou dva, naproti sobě a otevírají se pomocí šoupátek.



Obr. 1-10 Umístění otvorů pro čištění
1) dno elevátoru, 2) šoupátka

1.4.4 Kontrolní snímače

Pokud by v elevátoru došlo například k sesmeknutí nebo přetržení pásu, mohlo by dojít ke značné škodě jak na elevátoru, tak i na přilehlých strojích. Sesmeknutí také může vést ke kontaktu korečků se stěnami elevátoru, a jelikož se v elevátorech většinou nachází výbušná atmosféra, jiskra může iniciovat výbuch. Předcházet těmto fatálním haváriím pomáhají kontrolní snímače. V případě, že snímač zaregistruje nesprávnou funkci daného prvku, který kontroluje, dojde k vypnutí pohonné jednotky elevátoru, a tím se pozastaví funkce stroje. Ve většině případů má za následek vypnutí elevátoru pozastavení celé výrobní linky. Kontrolní snímače jsou tedy nedílnou součástí elevátorů z hlediska bezpečnosti.

Elevátory PI mají dva kontrolní body. Jeden bod je tvořen sondou DIA 3010 ZROV, která kontroluje otáčky hnaného bubnu a je umístěna na patě elevátoru. Otáčky hnaného bubnu jsou porovnávány s otáčkami hnacího bubnu (s pohonem) a případná změna tohoto poměru hlásí, že dochází k prokluzu pásu, což je nežádoucí.

Druhým kontrolním bodem je dvojice indukčních snímačů II-2010-BBOA od firmy IFM, které kontrolují sesmeknutí pásu. Snímače jsou umístěny na patě elevátoru. Snímače směřují proti sobě a mezi nimi probíhají korečky. Pokud se korečky k jednomu z dvojice snímačů začnou přibližovat, vyhodnocovací systém hlásí, že tažný prostředek začíná klouzat z bubnů do stran, což je opět nežádoucí.

Snímače jsou tedy aktivní ochranou. Jako pasivní ochrana proti výbuchu jsou na elevátoru umístěny bezpečnostní klapky pro výbušné prostředí.

1.4.5 Výpočet

1.4.5

Firma PI má sestavený vlastní výpočet pro elevátory. Výpočet funguje tak, že se zadají vstupní hodnoty, kterými jsou požadovaný dopravní výkon, dopravní výška, dopravní rychlost, součinitel plnění korečků, rozteč korečků, objem korečků a další potřebné hodnoty. Některé hodnoty se volí na základě přiložených tabulek nebo získaných zkušeností. Výstupem výpočtu jsou potom zejména otáčky elevátoru, potřebný příkon, nebo zda bude dosažen zadaný způsob vyprazdňování.

1.5 Konkurence a současný trh

1.5

Konkurenční firmy nabízejí široký výběr elevátorů. Některé firmy se specializují např. pouze na elevátory zemědělské, potravinářské, chemické, elevátory pro stavebnictví nebo pro dřevozpracující průmysl. Firmy dále nabízejí několik poddruhů v dané průmyslové oblasti. Jiné firmy se snaží dodávat své elevátory do více průmyslových oborů, ale jejich nabídka pro danou průmyslovou oblast není potom příliš obsáhlá.

Pro zákazníka je jedním z nejdůležitějších parametrů dopravní výkon. Většina firem udává dopravní výkon hmotnostní, jenž je v jednotkách $t \cdot h^{-1}$, v malé míře používají dopravní výkon objemový, jenž je v jednotkách $m^3 \cdot h^{-1}$. Je nutno doplňovat dopravní výkon o informaci, o jakou dopravovanou surovinu se jedná. Tato informace je vcelku zásadní, protože každá surovina má různou hustotu. Hustotu přímo ovlivňuje suchost dané suroviny. Důležité jsou i další fyzikální vlastnosti, které udávají chování částic při dopravě materiálu. Pokud někdo nabízí elevátor s dopravním výkonem např. $40 t \cdot h^{-1}$, potom je nemožné, aby dvě různé suroviny (např. obilí a slupky slunečnicových semínek) dosáhly stejného dopravního výkonu, protože slupky jsou lehké a mají tvar uzpůsobený k tomu, že při větších rychlostech jsou vzduchem „vyhrabávány“ z korečků, a tak dochází k jejich víření a nedokonalému vyprazdňování.

1.5.1 Skandia Elevator

1.5.1

Elevátory švédské firmy Skandia Elevator jsou jedny z nejkvalitnějších, co se týče zemědělského průmyslu. Specializují se zejména na dopravu obilí. Firmy Siagra s.r.o., Pawlica s.r.o. a Agroing Brno s.r.o. jsou dodavateli produktů Skandia Elevator pro české země.

Jejich elevátory se dělí do tří výkonnostních řad: L-Line (lehká řada), I-Line (střední, průmyslová řada) a H-Line (těžká řada). Ke světové špičce patří právě díky široké škále dodávaných výkonů. Menší farmy, které využívají elevátory pouze přes období žní, si budou vybírat z lehké řady a naopak pro denní a téměř celoroční vytížení jsou vhodné elevátory z těžké řady. V tabulce 1-2 jsou pro porovnání uvedeny dosahované dopravní výkony. Všechny dopravní výkony jsou uvedeny pro jeden samostatný elevátor. [7]

Tab. 1-2 Rozdělení výkonů elevátorů firmy Skandia Elevator [7]

Řada	Dosahované hmotnostní dopravní výkony [t.h ⁻¹]										
	30	40	60	80	100	120	200	300	400	500	600
L-Line	✓	✓	✓								
I-Line		✓	✓	✓	✓	✓					
H-Line			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

1.5.2 STROJMONT CZ a.s.

Firma STROJMONT CZ a.s. sídlí v obci Želetava. Nabízí pět typů elevátorů. Jejich jednotlivé dopravní výkony a maximální dopravní výšky jsou specifikovány v tabulce 1-3. Dopravní výkony jsou specifikované v objemových jednotkách. Elevátory je možné vybavit dalším příslušenstvím, jako je například blokáce zpětného chodu, hlídání otáček a hlídání vybočení pásu. Je možné také upravit korečky a pásy vhodné pro danou dopravovanou surovinu. Samozřejmostí je možnost si zvolit povrchovou úpravu elevátoru. [8]

Tab. 1-3 Rozdělení výkonů elevátorů firmy STROJMONT CZ a.s. [8]

	Objemový dopravní výkon [m ³ .h ⁻¹]	Maximální dopravní výška [m]
EK 7	6	20
EK 20	20	20
EK 32	44	20
EK 180	125	23
EK 320	150	25

Pokud budeme uvažovat dopravní výkon elevátoru EK 320 a surovinu pšenici s hustotou $750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, můžeme si pomocí základního vzorce pro výpočet hustoty snadno vypočítat dopravní výkon v hmotnostních jednotkách, který bude $112,5 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$.

1.5.3 JK MONT, s.r.o.

1.5.3

Firma JK MONT, s.r.o. se sídlem v Přelouči nabízí elevátory pro kafilérie, zemědělství, mlynářství, ale i jiná průmyslová odvětví. Jejich nabídka se skládá ze tří typů pásových elevátorů a jednoho typu řetězového elevátoru. Dosahované dopravní výšky se pohybují v rozmezí 5 – 40 m. V tabulce 1-4 jsou uvedeny dosahované dopravní výkony. [9]

Tab. 1-4 Rozdělení výkonů elevátorů firmy JK MONT, s.r.o. [9]

	Hmotnostní dopravní výkon [$\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$]	Typ tažného členu
EK 100	5 – 20	pásový
EK 155	20 – 40	pásový
EK 220	40 – 80	pásový
EKR 155	5 - 20	řetězový

1.5.4 Taurus, s.r.o.

1.5.4

Chrudimská firma Taurus, s.r.o. nabízí 4 typy pásových elevátorů. Jednotlivé dopravní výkony jsou specifikovány v tabulce 1-5. [10]

Tab. 1-5 Rozdělení výkonů elevátorů firmy Taurus, s.r.o. [10]

Rozteč korečků t [mm]	Objemový dopravní výkon [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$]	
	t = 200	t = 120
EO 7	7	13
EO 20	20	43
EO 50	50	100
EO 100	100	180

Pře počítáme-li si opět pomocí základního vzorce pro výpočet hustoty nejvyšší dosahovaný dopravní výkon objemový na hmotnostní, dostaneme hodnotu $135 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ pro pšenici.

1.5.5 Porovnání s konkurencí

V kapitolách 1.5.1 až 1.5.4 je porovnání jedné zahraniční firmy a několika českých firem, které vyrábějí elevátory. Není zde proveden kompletní výpis porovnávaných firem, protože to není předmětem práce, ale z uvedeného vyplývá, že české firmy dosahují hmotnostních dopravních výkonů kolem 90 až 150 t.h⁻¹. Je vidět, že zahraniční firmy dosahují podstatně větších dopravních výkonů. Firma Skandia Elevator není jedinou zahraniční firmou, která dosahuje tak vysokých výkonů. Hmotnostní dopravní výkon okolo 600 t.h⁻¹ dosažený jedním elevátorem stále není limitem. Některé firmy udávají u svých elevátorů až 1200 t.h⁻¹. Dosahované hodnoty pro české země jsou dány potřebou českých spotřebitelů. Nicméně, vývoj jde ve všech průmyslových odvětvích neustále kupředu a potřeby českých farmářů, ale i ostatních spotřebitelů se začínají zvyšovat a začínají se stále častěji objevovat elevátory s výkonem větším než 200 t.h⁻¹.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

2

2.1 Charakteristika problému

2.1

Současné konstrukce elevátorů firmy PI již nevyhovují dnešním standardům a potřebám. Pomalu začínají ztrácet na konkurence-schopnosti.

2.1.1 Značení a výkonnostní řady

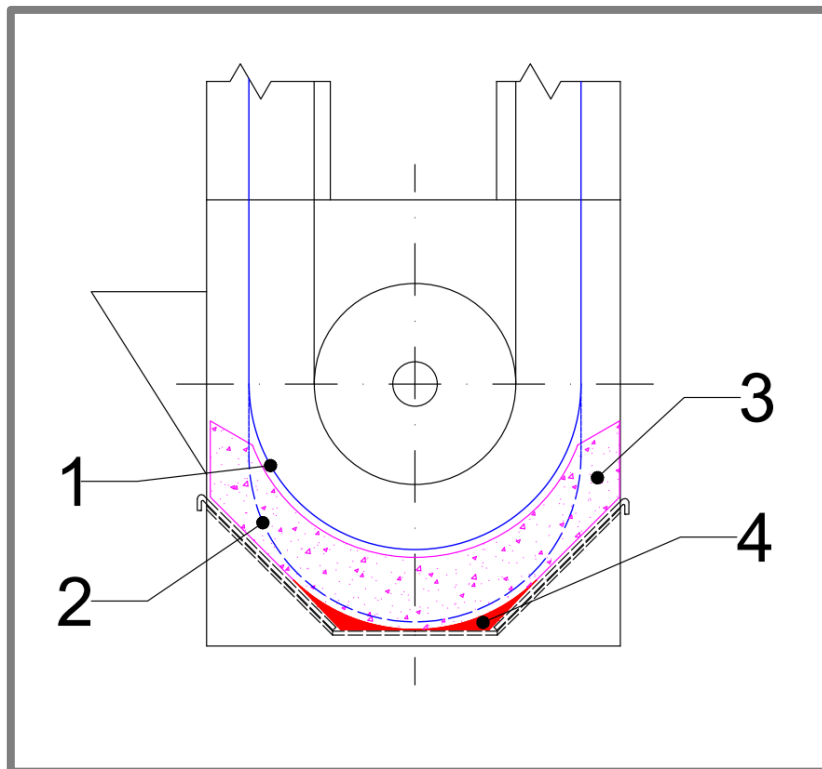
2.1.1

Drtivá většina zaměstnanců firmy PI již dnes nedokáže říct, co přesně označení PEK a PEV znamená. Stejně tak označení výkonnostních řad je číslo, které neodpovídá hmotnostním ani objemovým výkonům. Z dostupných zdrojů se pravděpodobně jedná o číslo, které označuje šířku korečků. Během let se však korečky postupně zaměnily za novější, například z důvodu, že se přestaly vyrábět. Nové korečky měly již šířku trochu odlišnou, ale číselné označení přetrvalo původní, a tak jsou čísla 100, 155, 220 téměř nicneříkající. To není chybou, ale mělo by být snahou využívat co nejmenší počet znaků, které sdělí co nejvíce informací, což je samozřejmě výhodnější a přehlednější jak pro firmu, tak pro zákazníka. Postupem času vznikly i další nesrovnalosti v tomto systému. Například elevátor PEV 220 má rozmístění korečků jako elevátory typu PEK (viz obr. 1-8). Označení PEK a PEV je tedy převážně přežitek z 80. let 20. století.

2.1.2 Pata elevátoru a čištění

2.1.2

Hlavním problémem jsou oblasti v patě elevátorů, kde se nacházejí „mrtvá místa“ (viz pozice 4 obr. 2-1). Pokud je hnaný buben (popruhový kotouč) v horní (počáteční) poloze, potom materiál označený fialově a červeně není korečky nabírán. Při postupném napínání, které může probíhat řádově několik měsíců, se fialová plocha zmenšuje až do doby, kdy se buben dostane do dolní (konečné) polohy (viz pozice 2 obr. 2-1). Při dolní poloze bubnu není materiál nabírán pouze v červeně vyznačených místech. V této poloze však buben elevátoru nesetrvá dlouho, protože další napínání již není možné, tak se tažný prostředek musí zkrátit a buben se tedy opět dostane do horní polohy. Celý proces se potom opakuje znovu. Dlouho usazený materiál v problematických místech zahnívá a kontaminuje čerstvý dopravovaný materiál. S tím souvisí otázka čištění těchto míst. Současné konstrukce firmy PI mají na bocích paty kontrolní otvory (viz obr. 1-10), kterými lze usazený materiál odstranit. Toto řešení je však nepraktické.



Obr. 2-1 „Mrtvá místa“ v patě elevátoru

- 1) dráha vnější hrany korečků v počáteční poloze napínání bubnu (modře),
- 2) dráha vnější hrany korečků v konečné poloze napínání bubnu (modře čárkovaně),
- 3) materiál odebíraný až při postupném napínání,
- 4) nikdy nenabraný materiál („mrtvá místa“)

2.2 Cíl práce

Cílem práce je tedy navrhnout nové značení elevátorů, které bude přehledné a upravit výkonnostní řadu tak, aby byly snadno kombinovatelné s dalšími dopravníky firmy PI. Dále je potřeba navrhnout konstrukční řešení paty elevátorů tak, aby v ideálním případě docházelo k automatickému čištění (neboli samočištění). Jedná se tedy o návrh konstrukce, kde budou „mrtvá místa“ eliminována. S inovací elevátorů souvisí spousta dalších řešení. Některá však spadají pod firemní know-how nebo jsou pro tuto bakalářskou práci bezpředmětná.

3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

3.1 Úprava výkonnostní řady a systému značení

Jak již bylo zmíněno, současný systém označování elevátorů je zcela nevyhovující a je potřeba ho nahradit novým.

Firma PI většinou zajišťuje celé výrobní linky, které obsahují více druhů dopravníků. Je tedy výhodné upravit výkonnostní řadu podle jiných dopravníků, které jsou jak konstrukčně tak technologicky na vysoké úrovni.

Tomuto popisu odpovídají řetězové dopravníky (tzv. redlery). Redlery jsou dopravníky určené především pro vodorovnou dopravu sypkých materiálů. Mohou být jak jednosměrné tak dvousměrné. Nemusí se jednat výhradně o vodorovnou dopravu, redlery mohou být i šikmé, takže v určité míře lze dopravit materiál i ve svislém směru. Redlery firmy PI existují v mnoha variantách a modifikacích. Důležité jsou však dopravní výkony, kterých dosahují. Ty se pohybují v rozmezí 47 – 400 m³.h⁻¹. Vyrábět elevátory v celém tomto rozsahu by se nevyplatilo, protože elevátory s příliš velkým výkonem by neměly odbyt.

Při jednání s firmou PI bylo rozhodnuto, že největší elevátor bude dosahovat 280 m³.h⁻¹. Nová řada elevátorů se tedy bude řídit podle tohoto výkonu. Návrh nové výkonnostní řady je v tabulce 3-1.

Tab. 3-1 Návrhové dělení výkonnostní řady elevátorů

Nové značení	Původní značení	Objemový dopravní výkon $v_D = 2,8 \text{ m.s}^{-1}$	Pšenice [750 kg.m ⁻³]	Řepka [650 kg.m ⁻³]	Masokostní moučka [800 kg.m ⁻³]
[-]	[-]	[m ³ .h ⁻¹]	[t.h ⁻¹]	[t.h ⁻¹]	[t.h ⁻¹]
PE007	PEK100	7	5	2,3	0,8
PE020	PEK155	20	15	7	2,3
PE043	PEV100	43	32	-	5
PE100	PEV155	100	75	-	12
PE160	PEV220	160	120	-	-
PE220	-	200	165		
PE280	-	280	210		

Jak je vidět v tabulce 3-1, Elevátory PE007, PE020 odpovídají původním typu PEK a elevátory PE043, PE100, PE160 odpovídají typu PEV. U elevátorů PE043 a PE100 není uveden dopravní výkon pro řepku, protože bylo zjištěno, že dané

uspořádání korečků těchto elevátorů (viz. Obr. 1-8b) nevyhovuje dopravě tohoto produktu. Elevátory PE220 a PE280 jsou nové navrhované typy elevátorů. Dle těchto potom budou stávající elevátory PEK a PEV upraveny.

Došlo tedy ke sjednocení řad a změně značení. Číselná hodnota v označení nyní udává objemový dopravní výkon pro dopravní rychlost v_D 2,8 m.s⁻¹. Dopravní rychlost 2,8 m.s⁻¹ je volena záměrně. Jedná o rychlost vhodnou pro dopravu pšenice, která je totiž nejčastější surovinou dopravovanou elevátory firmy PI. Dopravní rychlost v_D je pro každý materiál vhodná jiná a přímo tedy ovlivňuje dosahovaný hmotnostní dopravní výkon. Značení lze doplnit dalším číslem, které bude značit dopravní výšku. Toto označení již řekne vcelku podstatné informace o daném elevátoru. Výsledné značení tedy může vypadat následovně: PE100-30. První číslo značí objemový dopravní výkon 100 m³.h⁻¹ a druhé číslo dopravní výšku 30 m.

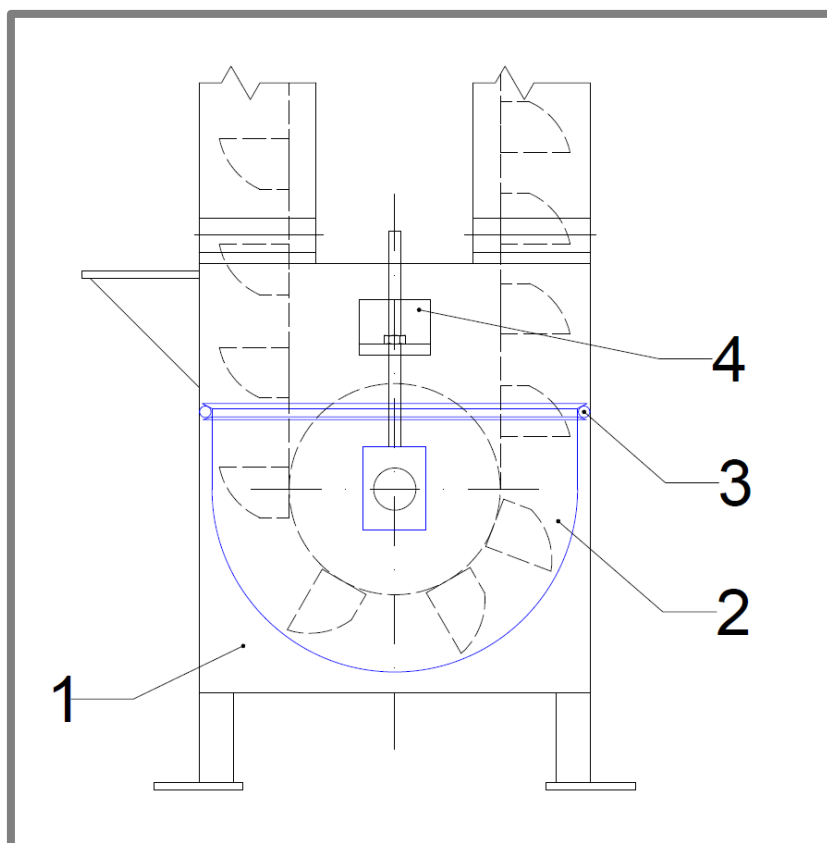
3.2 Návrh paty elevátoru

Navrhovaná pata elevátoru bude konstruovaná pro elevátor PE280. Požadavky na patu elevátoru jsou zřejmé z kapitoly 2.1.2 Pata elevátoru a čištění. Je navrženo více variant, z nichž jedna bude vybrána pro následné konstrukční zpracování.

3.2.1 Varianta 1 – Pohyblivá vana

Samotná pata elevátoru se skládá ze dvou hlavních částí. Jednu část tvoří nosná konstrukce neboli tělo, které musí být tuhé a uzavřené. Pata je připevněna k zemi kotevními šrouby. Na tělo dále navazují šachty připevněné pomocí šroubů. Uvnitř těla paty je člen, který se nazývá vana (viz obr. 3-1). Ta má částečně tvar poloviny válce, který s jistou vůlí kopíruje dráhu vnější hrany korečků. Uvnitř je tedy hnaný buben s tažným prostředkem. Vana je uložena vůči tělu pohyblivě. Podél celé horní hrany vany je umístěno těsnění kruhového průřezu, které je z obou stran semknuto přírubami. Je zde tedy vysoký požadavek na rovinnost ploch, po kterých se těsnění smýká.

Napínání je zajištěno pomocí dvou šroubů, které jsou umístěny na bocích paty elevátoru. Při napínání je tedy nutno dotahovat oba šrouby stejně, aby byla zajištěna vodorovná poloha spodní hřídele, a zároveň se vana musí pohybovat tak, aby se v rámu nevzpříčila. Napínací zařízení je přímo spojeno se spodní hřídelí, na které je umístěn buben a pohyblivá vana.



Obr. 3-1 Návrh varianty 1 – Pohyblivá vana

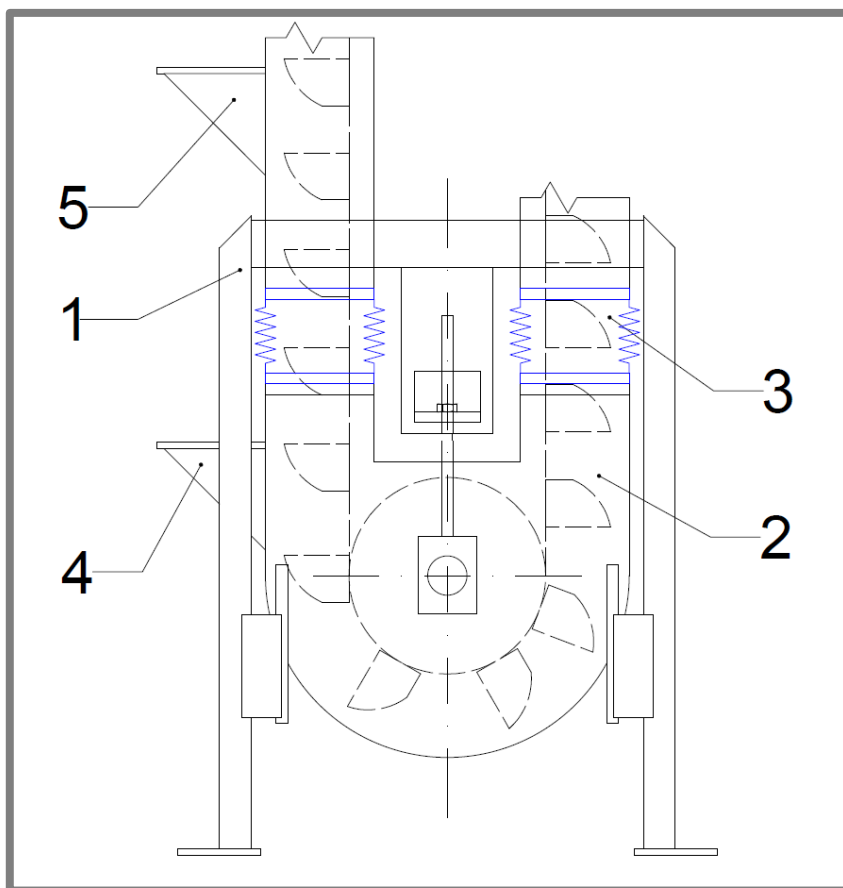
1) nosná konstrukce a tělo paty elevátoru, 2) pohyblivá vana (modře),
3) těsnění, 4) napínací zařízení

Díky pohyblivé vaně v patě elevátoru máme nyní zajištěnou stálou vůli mezi vnější hranou obíhajícího korečku a dnem elevátoru. Vanu bychom tedy mohli označit za samočisticí. Mohlo by se i přesto zdát, že v této vymezené vůli se může materiál usazovat a zahnívát. Je totiž možné, že právě čerstvě dodaný dopravovaný materiál nebude nabrán prvními korečky. Nicméně tato vůle je tak malá, že snadno dojde k promísení „vynechaného“ materiálu s materiálem čerstvým. Je tedy velmi malá pravděpodobnost, aby zde nějaké dopravované částice zůstaly delší dobu.

Obdoba této varianty byla již ve firmě PI jednou použita. Při provozu i při výrobě bylo zjištěno několik vážnějších nedostatků. Při volbě této varianty by tedy bylo nutné tyto nedostatky zmapovat a odstranit.

3.2.2 Varianta 2 – Kompenzátory

Pata elevátoru je tvořena otevřeným rámem, který je pevně spojen s prvními segmenty šachet. Pod těmito segmenty jsou umístěny plechové kompenzátory (pozice 3 obr. 3-2). Na kompenzátory navazuje podobný člen, jako je vana v první variantě. Dno vany opět kopíruje dráhu vnější hrany korečků. Uvnitř vany je stejně jako v první variantě umístěn spodní buben s tažným prostředkem. Vana je vůči rámu uložena pohyblivě. Pohyb vany musí být dokonale svislý vůči rámu, jinak by mohlo dojít ke kontaktu rámu a vany nebo korečků a vany. Je tedy nutno zkonstruovat vodící prvky. Toto řešení pomocí kompenzátorů má tu výhodu, že odpadá problematika těsnění pohyblivých částí. Při dopínání jsou všechny délkové rozdíly vyrovnány v kompenzátorech. Vzniká zde však problém s vpádem, který je umístěn na vaně (pozice 4 obr. 3-2). Potom se bude muset vždy řešit způsob kompenzace předcházejícího stroje s vpádem elevátoru. Další možností je vpád umístit až na první segment šachet nad kompenzátory (pozice 5 obr. 3-2), což není příliš vhodné řešení, protože by potom byl vpád příliš vysoko.

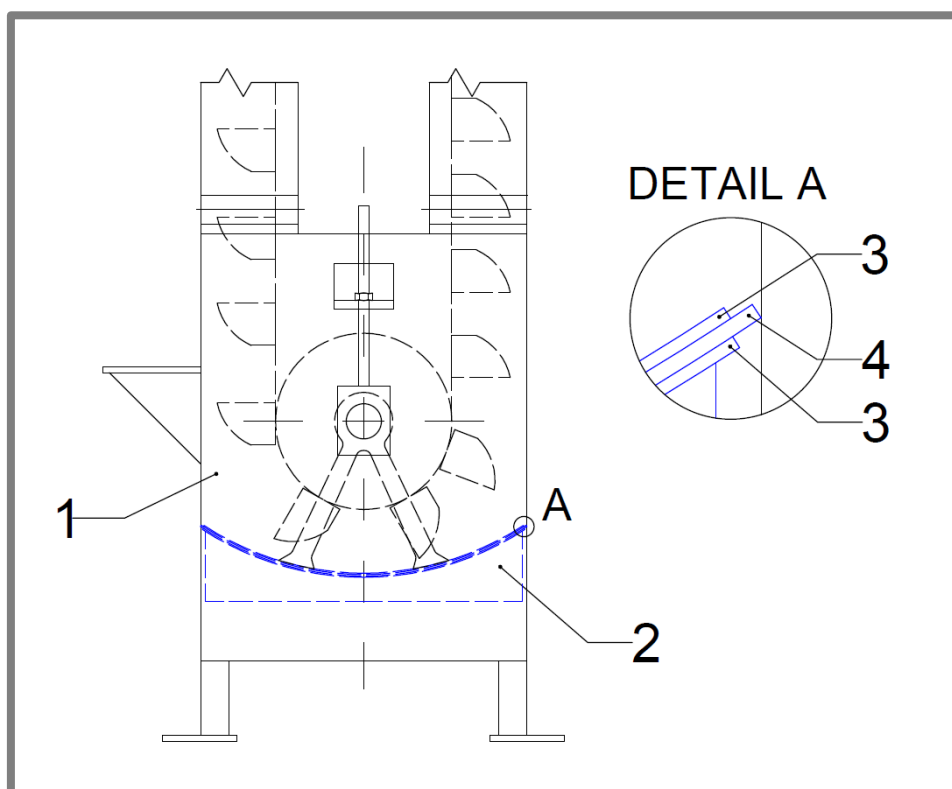


Obr. 3-2 Návrh varianty 2 - Kompenzátory

- 1) nosná konstrukce, 2) pohyblivá vana, 3) kompenzátory (modře),
4) varianta vpádu na pohyblivé vaně, 5) varianta vpádu na prvním segmentu šachty

3.2.3 Varianta 3 – Vnitřní pohyblivé dno

Tato varianta je obdobou varianty 1. Pata elevátoru je tvořena nosnou konstrukcí, která je tuhá a uzavřená a zároveň tvoří tělo paty. Pohyblivým členem je zde pouze dno, které je tvořeno dvěma plechy, mezi nimiž je vloženo těsnění (viz Detail A obr. 3-3). Dno přímo nekopíruje dráhu korečků, ale je prohnuté tak, aby nejnižší bod ležel přímo pod osou hřídele. Dopravovaný materiál tedy bude mít snahu se sesunout k tomuto bodu. Spojení napínacího zařízení se dnem je provedeno pomocí ramen, která jsou umístěna uvnitř paty, pokud by ramena byla vně paty, byla by konstrukce příliš složitá a rozměrná. U této varianty získáme relativně nízkou polohu vpádu, ale stejně jako u varianty 1, je zde problematické utěsnění pohyblivé části. Tělo, po kterém se dno smýká, musí mít co nejmenší počet svarů, v nejlepším případě svary žádné, aby bylo co nejméně zkroucené a bylo tak zajištěno dokonalé přiléhání těsnění dna. Dalším vcelku problematickým požadavkem je odolnost těsnění proti negativním vlastnostem dopravované suroviny. To klade značné nároky na kvalitu těsnění, čímž se navyšuje jeho cena. Dalším negativním prvkem této varianty, je značný počet míst usazování materiálu. Materiál se při nedokonalém konstrukčním provedení může usazovat právě na daném těsnění nebo za ramena, která spojují dno s hřídelí.

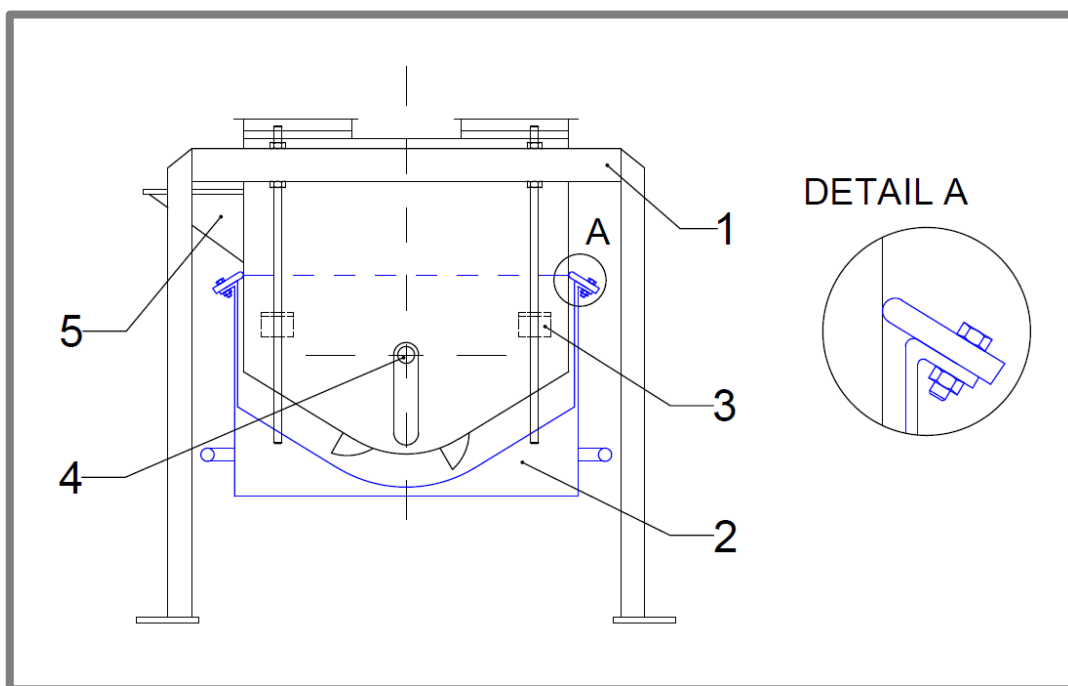


Obr. 3-3 Návrh varianty 3 – Vnitřní pohyblivé dno

1) tělo paty elevátoru, 2) vnitřní pohyblivé dno (modře), 3) plechy, 4) těsnění

3.2.4 Varianta 4 – Vnější pohyblivé dno

Varianta 4 vychází z varianty 1. Rozdílné je řešení pohyblivého dna (viz obr. 3-4). Těsnění dna v této variantě je uloženo vůči tělu paty vně, nikoliv uvnitř. Takto uložené dno má oproti dnu uloženému uvnitř řadu výhod. Těsnění je provedeno vně konstrukce. Tím jsou eliminována potenciální místa usazování materiálu na těsnění. V patě elevátoru je zejména vlivem aspirace³ mírný podtlak. Ten působí v této konstrukční variantě příznivě, jelikož přitahuje těsnění k tělu paty elevátoru. Napínání může být provedeno pomocí čtyř šroubů, tím se sice mírně ztíží proces napínání, ale bude zajištěno, že se dno při správném napnutí nevzpříčí. U varianty se dvěma šrouby by to byl problém. Na pohyblivé dno by bylo vhodné umístit vodováhu pro kontrolu správné polohy. Do pohyblivého dna jsou vsunuty zásuvky, které tvoří profil dna. Ten kopíruje dráhu vnější hrany korečků. Na zásuvkách jsou umístěna madla pro snadnou manipulaci. Zásuvky slouží ke kontrole a čištění dna. Stejně jako ve variantě 3 dno nekopíruje celou dráhu korečků, když se nacházejí na hnaném bunu, ale nejnižší bod má pod osou hřídele. Dopravovaný materiál tedy bude mít snahu se vlivem gravitační síly do tohoto místa dostat. V tomto místě je vůle mezi vnější hranou korečků a dnem nejmenší.



Obr. 3-4 Návrh varianty 4 – Vnější pohyblivé dno

Dno je zobrazeno bez přední části krytu. Čárkovaná modrá čára značí kontakt těsnění této části s tělem paty elevátoru. Dno se nachází v horní poloze, tzn. před napínáním.

1) nosná konstrukce, 2) vnější pohyblivé dno (modře), 3) napínání, 4) hřídel bubny, 5) vpád

³ Aspirace se vyskytuje na elevátorech ve většině případů. Záleží však na charakteru celé dopravní linky. Aspirace slouží k čištění atmosféry uvnitř elevátoru. Tím se odsává například prach, který tvoří potenciální výbušné prostředí.

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

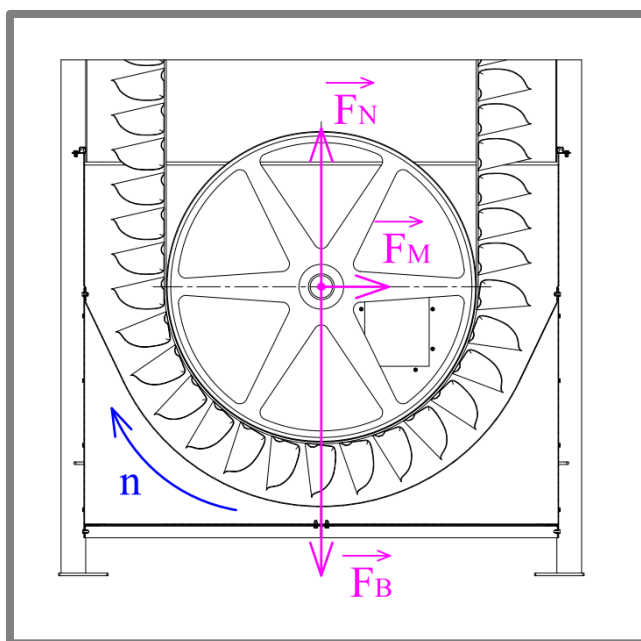
Při jednání s firmou PI byla ke konstrukčnímu zpracování paty elevátoru určena návrhová varianta 4. Ke kapitole 4 se vztahují všechny přílohy: příloha 1 (Výkonový výpočet elevátoru), příloha 2 (Výpočet pomocných rozměrů dle katalogu VAV Aandriyvingen), příloha 3 (Analytický výpočet hnané hřídele), příloha 4 (Kontrola závitů napínacích tyčí na otláčení), příloha 5 (Výkres sestavy paty) a příloha 6 (Reálná vizualizace paty). Barevná kombinace je volena dle standardu firmy PI, tedy kombinace barvy červené a barvy slonové kosti.

4.1 Výpočty

Výchozím výpočtem pro konstrukci elevátoru je výkonový výpočet firmy PI, který se nachází v příloze 1. Stručný popis výpočtu se nachází v kapitole 1.4.5. Výpočet vychází z literatury [5]. Výstupními hodnotami výpočtu jsou otáčky $n = 43 \text{ s}^{-1}$, výpočtová hmotnostní výkonnost $Q_m = 211\,680 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, příkon $P_p = 37\,387 \text{ W}$ a maximální síla v pásu $F_{p_{\max}} = 35\,542 \text{ N}$. Poslední hodnota znamená, že bylo dosaženo odstředivého způsobu vyprazdňování.

Pomocný výpočet pro hlavní rozměry paty byl použit od firmy VAV Aandriyvingen z Nizozemska [11]. Tento výpočet byl použit, protože tato firma dodává firmě PI elevátorové pásy a korečky. Firma VAV Aandriyvingen na základě volby jejich tažného pásu, korečku a velikosti bubnu nabízí tento jednoduchý výpočet.

Analytický výpočet hřídele se nachází v příloze 3. Výpočet je proveden v programu MathCAD 14 dle literatury [12]. Na hřídel působí tyto síly (viz obr. 4-1): tíhová síla od bubnu F_B , napínací síla potřebná pro vytvoření požadovaného předpětí v pásu F_N a síla odporu materiálu při nabírání F_M .



Obr. 4-1 Silový rozbor hnané hřídele
 fialově – síly působící na hřídel, F_B – tíhová síla bubnu, F_N – napínací síla,
 F_M – odpor materiálu
 modře – směr otáčení hřídele

Ve výpočtu je zanedbána síla odporu materiálu při nabírání F_M , protože se dá předpokládat, že vzhledem k ostatním silám působícím na hřídel je zanedbatelně malá. Tato síla je také obtížně stanovitelná. Její velikost by záležela na tom, zda bude na patě zvolen vpád suroviny po směru nebo proti směru pohybu korečků, dále by záležela na druhu suroviny, jejím stavu a dalších faktorech. Výpočet je proveden pro dva stavy. V prvním stavu je hřídel zatížená tíhovou silou bubnu a silou napínací. Ve druhém stavu je napínací síla zanedbána. Protože se napínací síla s tíhovou silou v prvním případě vzájemně odečítají, je tento stav nebezpečnější.

Výpočet na kontrolu závitů na otlacení je proveden v programu MathCAD 14 dle literatury [12] a [13]. Je počítáno pouze se statickým zatížením, jelikož stanovení dynamického zatížení při provozu je velmi problematické. Hmotnost skupiny, která zatěžuje napínací mechanismus je 692,26 kg. Do této skupiny patří posuvné dno, buben, hřídel a ložiska. Váha skupiny byla odečtena z programu SolidWorks 2010. Výpočet je stanoven pro nebezpečnější stav, tedy bez napínací síly.

4.2 Pata elevátoru

4.2.1 Popis konstrukčního řešení

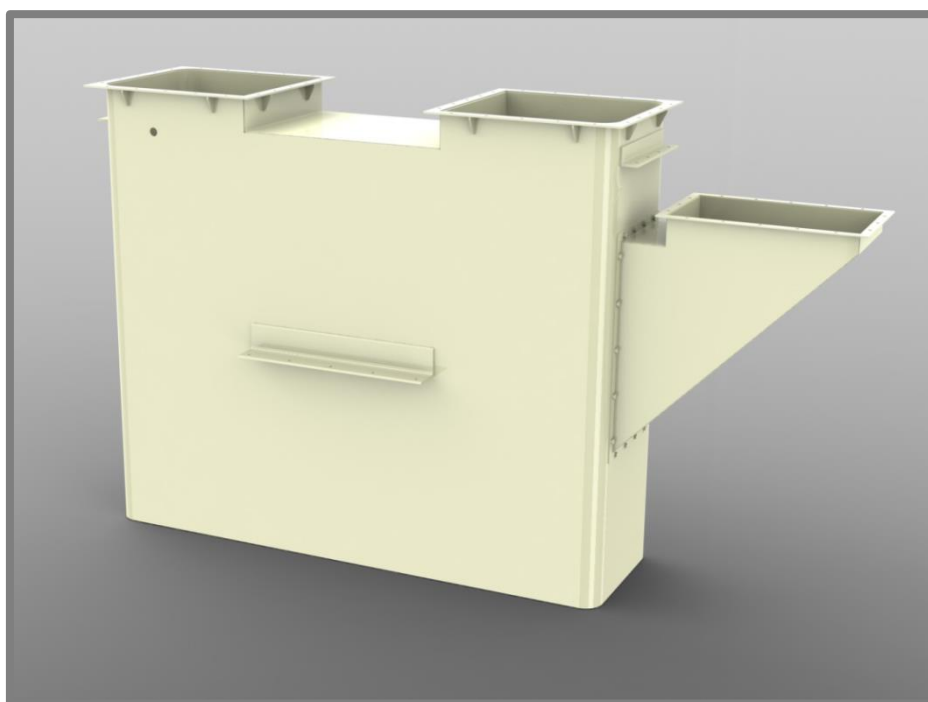
Pata se skládá z nosné konstrukce, těla, vnějšího posuvného dna se zásuvkami a systému napínání. Pro konstrukční řešení je jako výchozí materiál uvažována běžná konstrukční ocel. Jedná se tedy o variantu z tzv. „černé oceli“.

Nosná konstrukce (viz obr. 4-2) se skládá z čtvercových trubek, které tvoří čtyři nohy. Ty jsou doplněny příčkami opět ze čtvercových trubek, opatřené zavětrováním. Konstrukce je částečně šroubovaná a lze ji tedy rozložit na čtyři samostatné části. Nosná konstrukce je doplněna patkami pro zajištění kotevními šrouby, krytkami nohou pro zamezení zapadávání nečistot a zemnicí maticí.



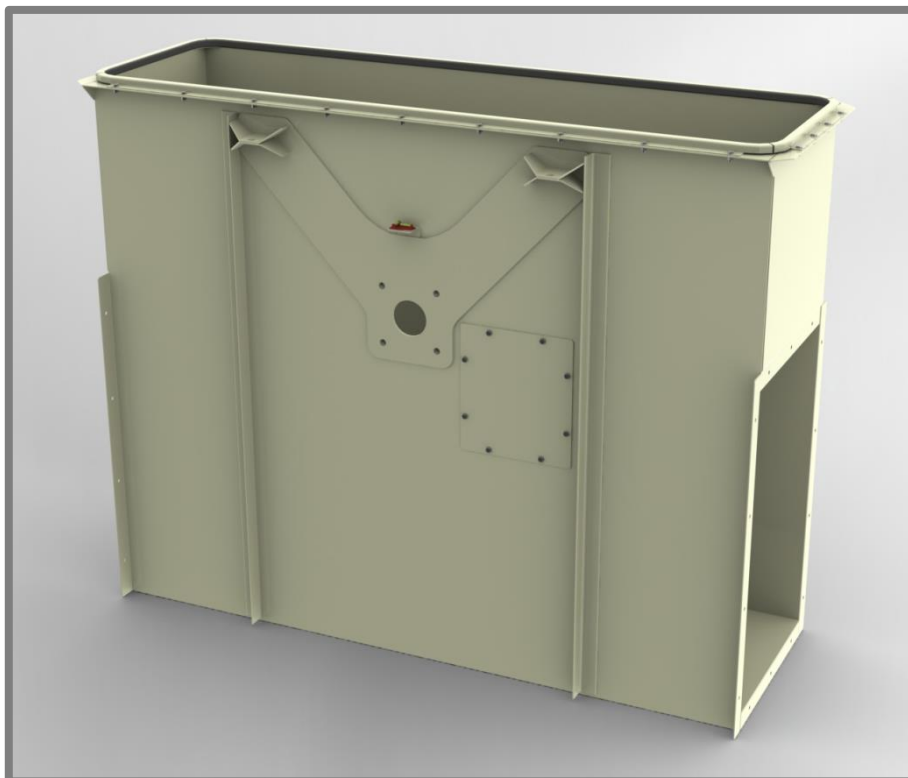
Obr. 4-2 Nosná konstrukce

Tělo paty (viz obr. 4-3) je uloženo na nosné konstrukci pomocí úhelníků a zajištěno šrouby. Hrany těla jsou zaobleny pro snadnější obepnutí pryžovým těsněním s příložkami, a tedy pro zajištění lepší těsnosti. Horní příruby slouží pro připojení šachet. Otvor, na který je připevněn vpád pomocí šroubů se také nachází na protější straně, kde je nyní zaslepen víčkem. To umožňuje vpád dle potřeby přemístit na tuto protější stranu a měnit tak způsob plnění korečků, tedy po směru otáčení, či proti směru otáčení. Na tělo je také možné umístit dva vpády naproti sobě. Tělo je doplněno konstrukčními otvory pro montáž snímačů, které slouží jako kontrola proti sesmeknutí pásu (viz příloha 5). Větší plochy těla jsou zhotoveny z plechů tloušťky 4 mm.



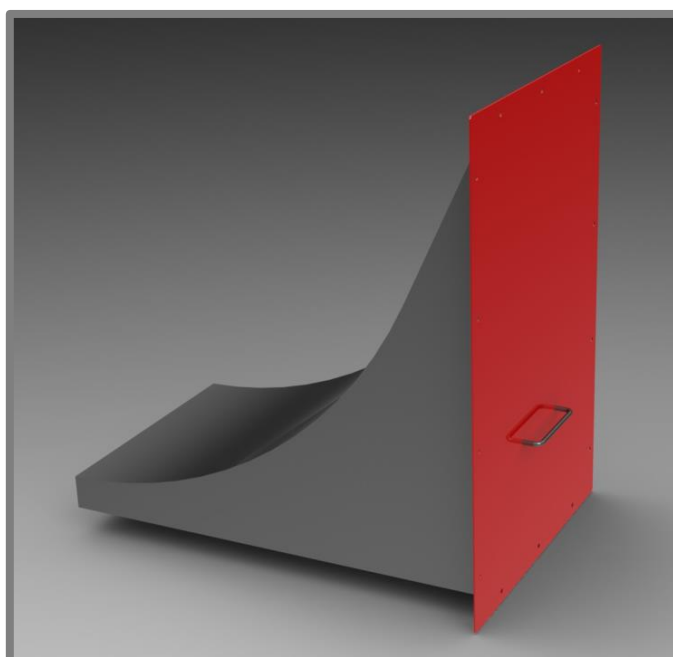
Obr. 4-3 Tělo paty

Pomocí čtyř tyčí se závitem, které tvoří mechanismus napínání, je k tělu připevněno vnější posuvné dno (viz obr. 4-4). Na posuvném dnu jsou zhotoveny otvory pro umístění ložiskových domků typu UCF, ve kterých je uložena hřídel s bubnem. Na levém ložisku (při pohledu na vpád) je umístěn držák pro připevnění sestavy na snímání otáček (viz příloha 5 detail I). Tato sestava se nachází na stávajících elevátorech firmy PI. Dva velké protilehlé otvory s přírubami slouží pro umístění zásuvek. Těsnění mezi tělem a posuvným dnem je zajištěno pomocí čtyř pryžových těsnění s příložkami. Těsnění jsou tedy ze všech čtyř stran natlačena k tělu a zajištěna příložkami, které jsou upevněny šrouby k posuvnému dnu. Detail provedení těsnění se nachází na výkresu (viz příloha 5 detail B). Na výztuhách, které slouží pro přenos sil mezi hřídelí a napínacími šrouby jsou umístěny vodováhy. Dva protilehlé montážní otvory, které se nacházejí u ložiskových domků, slouží jako přístup k axiálnímu zajištění náboje bubnu na hřídeli, které je realizováno pomocí dvou odtlačovacích šroubů s čípkem. Posuvné dno je převážně zhotoveno z plechu tloušťky 3 mm.



Obr. 4-4 Vnější posuvné dno

Zásuvky (obr. 4-5) jsou doplněny madly pro snadnější manipulaci. Ke dnu jsou připevněny pomocí šroubů a obě zásuvky jsou spolu spojeny pomocí příložek na spodní straně posuvného dna. Zásuvky jsou svařované z plechu tloušťky 2,5 mm.



Obr. 4-5 Zásuvka

4.2.2 Popis napínání a čištění

4.2.2

Posuvné dno se při prvním sestavení celého elevátoru a po umístění tažného prostředku s korečky ustaví do horní polohy. Všechny příložky se uvolní a od těla paty se společně s těsněními mírně odsunou, aby těsnění nekladlo odpor při posuvu, a aby se zbytečně neodíralo. Jelikož je tíhová síla dna se zásuvkami a hřídelí s bubnem větší než potřebná napínací síla pro tažný prostředek, je napínání prováděno pouze vlastní vahou této skupiny. Pro napínání se povolují příslušné matice všechny naráz nebo po jedné, ale potom se musí povolovat rovnoměrně po malých částech. K ustavení správné polohy slouží dvě 2D⁴ vodováhy, které jsou na posuvném dnu umístěné. Po dosažení potřebného napnutí tažného pásu, které se zjistí příslušnými měřicími přístroji a ustavení do správné polohy, se příložky s těsněními přisunou k tělu a dotáhnou šrouby.

Díky tomu, že hřídel je spojena přímo s posuvným dnem, je mezi vnější hranou obíhajících koreček a funkčním dnem zajištěna stálá vůle. Velikost této vůle je 35 mm. Díky této malé vůli korečky tedy vybírají většinu prostoru posuvného dna, a dochází tak k neustálému pohybu materiálu, který potom nemá tendenci se usazovat. Tuto funkci lze označit za samočištění.

4.2.3 Popis dodatečného čištění

4.2.3

Pro kontrolu dna se demontují šrouby, kterými jsou k němu připojeny zásuvky. Zásuvky se pomocí madel vytáhnou. Nyní je možné zkontrolovat stav vnitřního prostoru a případně dno vyčistit.

4.2.4 Popis výměny bubnu

4.2.4

Pro výměnu bubnu se vysunou zásuvky kvůli odlehčení a dají se stranou. Se dnem se poté sjede až na zem, tedy na úroveň patek nosné konstrukce. Dno se odjistí od napínacích šroubů a již není s patou nijak v kontaktu. Z ložiska se odmontuje snímač otáček. S uvolněným dnem se nyní zcela vyjede do jedné ze stran ve směru, kterým se vytahují zásuvky. Nyní se buben zavěsí, aby nespadl, hřídel se uvolní z ložisek a buben se uvolní z hřídele.

⁴ Jedná se o vodováhu, která má dvě kontrolní buňky, které jsou vůči sobě kolmé. Pohledem na vodováhu lze tedy určit vodorovný směr plochy. Vodováhám označeným 2D se též někdy říká dvousměrné nebo dvou-libelové. Výrobci nejsou v označování tohoto typu vodováh jednotní.

5 DISKUZE

Konstrukčně zpracovaná návrhová varianta 4 splňuje daný požadavek automatického čištění. V porovnání se stávajícími patami elevátorů firmy PI došlo k výrazné eliminaci „mrtvých míst“. Nicméně, stále se zde nacházejí místa, kde by v menší míře mohlo k usazování dopravovaného materiálu docházet. Jedná se například o vůle mezi boky zásuvek a boky posuvného dna. Tato místa jsou však nezbytná pro snadný výsuv zásuvek z paty. Nelze je tedy všechna zcela odstranit. Nabízí se zde tedy další možnosti zdokonalování paty, ale již v omezené míře, neboť důležitým limitem je také výrobní náročnost a cena.

Těsnění mezi posuvným dnem a tělem paty je provedeno pomocí pryžového těsnění NBR o tvrdosti 50 Sh. Záměrně je zvoleno těsnění s dutinou a nižší tvrdostí, aby co nejlépe kopírovalo tvar těla a případné nerovnosti, které můžou vzniknout zejména svařováním. Těsnění tohoto místa je jedno z nejproblematictějších konstrukčních řešení. Nelze předem zcela odhadnout chování těsnění při obepnutí těla paty. Toto řešení je tedy nutně nejprve vyzkoušet na prototypu a určit jeho vhodnost.

Zásuvky jsou nyní k posuvnému dnu připevněny pomocí šroubů. Díky samočisticí funkci se předpokládá minimální potřeba jejich výsuvu. Upnutí šrouby je sice jednoduché řešení, ale pro častou demontáž velmi nepraktické. Nabízí se zde tedy využití rychloupínacích šroubů nebo přezek s háčkem. Na zkušebním prototypu se určí frekvence potřeby jejich vysouvání pro kontrolu vnitřku posuvného dna. Zde je také důležitá zpětná vazba od firem, kde bude tato pata použita. Na základě těchto informací se vyhodnotí, zda například nebude potřeba změnit systém upnutí zásuvek na rychlejší.

Pro výměnu bubnu je nyní pata zkonstruována tak, že se musí s celým posuvným dnem vyjet do strany. Nabízí se zde možnost zvětšit otvory pro zásuvky a po demontáži hřídele buben vykultit těmito otvory ven. Takto bychom nemuseli sice demontovat celé posuvné dno, ale při vykulování by mohl buben, vzhledem ke své váze, promáčknout spodní část posuvného dna. Také manipulace s ním by nebyla nejjednodušší.

Velikost zdvihu pro napínání je nyní 400 mm. Tato velikost je zcela dostačující pro běžné provozy.

Na patě jsou použita stávající konstrukční řešení snímačů otáček a vychýlení pásu firmy PI. Oba dva typy se však ve firmě PI začínají projevovat jistými nedostatky. Bylo by tedy příhodné, současně s inovací paty elevátoru, upravit i tato zařízení.

Z analytického výpočtu hřídele vyplývá, že nejmenší bezpečnost je při únavovém poškození hřídele pro druhý stav zatížení hřídele. Tato bezpečnost je 18,5. Z uvedeného je patrné, že hřídel je předimenzován. Rozměry hřídele jsou však voleny úměrně k již funkčním hřídelím na stávajících elevátorech firmy PI. Je tedy možné, že i tyto jsou předimenzovány. Je nutno si uvědomit, že při výpočtu byly některé síly zanedbány. Pata elevátoru projde ve firmě PI ještě nespočtem dalších úprav a zdokonalení, je tedy potřeba při těchto úpravách stanovit zanedbané síly a zahrnout je do výpočtu.

ZÁVĚR

Výsledkem této práce je návrh konstrukčního řešení paty elevátoru o objemovém dopravním výkonu $280 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a dopravní výšce 60 m pro dopravní rychlost $2,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, který bude tvořit největší elevátor nové výkonové řady elevátorů firmy PI.

Konstrukční řešení poslouží firmě Prokop Invest, a.s. jako podklad pro další vývoj a výrobu prototypu. Na základě rozměrů této paty budou zhotoveny šachty a horní hlava elevátoru, podle již stávajících konstrukcí, neboť horní hlavy elevátorů prošly nedávnou úpravou a není na nich potřeba velkých změn.

Po kompletizaci elevátoru s nově navrženou patou a jeho vyzkoušení, dojde k jeho zhodnocení z hlediska výkonnostního a ekonomického. Poté bude porovnán se stávajícími elevátory. Na základě těchto hledisek se podle nové výkonnostní řady postupně upraví všechny stávající elevátory. To následně povede k jejich katalogizaci, která usnadní výběr zákazníkovi. Přehledný katalog také zlepší projekční činnost firmy PI. Snahou je vytvořit katalog, kde si zákazník sám sestaví elevátor dle jeho potřeb a po schválení firmou PI mu bude dodán.

Klíčovým problémem pro tuto práci bylo obstarávání informací. Na první pohled se zdá, že literatury ohledně elevátorů je více než dost, ale to je pouhý klam. Většina kvalitní literatury pochází z 50. – 80. let 20. století. Novější knihy o elevátorech, ale i o dopravnících obecně, vycházejí právě z této staré literatury, a je vidět, že během padesáti let se změnilo minimum vědomostí. Novější knihy jsou tedy víceméně kopiemi předešlých. Není to ani tak problémem, jelikož základní myšlenka funkce každého dopravníku je stále stejná a konstrukce je tak většinou z velké části daná. Jednotlivé dopravníky se liší v maličkostech, které jsou v dnešní době předmětem firemních „know-how“ a v knihách je tedy nenalezneme. Nicméně, tyto maličkosti a detaily jsou právě to, co tvoří dokonalé stroje.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN 26 2001. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů. Korečkové a lavičkové elevátory. Třídění*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [2] BIGOŠ, P., KULKA, J., KOPAS, M., MANTIČ, M. *Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení*. TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. 356 s. Edícia vedeckej a odbornej literatury: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta. ISBN 978-80-553-1187-6
- [3] JANDROUŠ, Václav. *ÚSTAV PRO TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ INFORMACE. Korečkové dopravníky - Elevátory*. Praha, 1956. 64s.
- [4] GAJDŮŠEK, J., ŠKOPÁN, M. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. Brno: rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988. 277s. Ediční středisko VUT, Brno.
- [5] DRAŽAN, F., VOŠTOVÁ, V., JEŘÁBEK, K., BRAND, M. *Teorie a stavba dopravníků*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1983. 290s. Ediční středisko ČVUT, Praha.
- [6] *Mlýnské stroje a zařízení*. Pardubice: Prokop Invest a.s., 2010. 179s.
- [7] Products. *Skandia Elevator* [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://skandia-elevator.se/produkter-en-GB/>
- [8] Korečkové elevátory. *STROJMONT CZ a.s.* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: <http://www.strojmont.cz/cs/koreckove-elevatory.html>
- [9] Korečkové elevátory. *JK MONT CZ a.s.* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: <http://www.jkmont.cz/koreckove-elevatory>
- [10] Korečkové elevátory – doprava suchých sypkých neabrazivních materiálů. *Taurus, s.r.o.* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: <http://www.taurus-sro.cz/krmivarny-a-mlyny/elevatory.html>
- [11] Delivery program. Katwijk: VAV Aandriyvingen, 2011. 60s.
- [12] SHIGLEY, J. E., MISCHKE, Ch. R., BUDYNAS, R. G. *Konstruování strojních součástí*. VUTIUM, Brno 2010, 1186 s.
- [13] ZELENÝ, J. *Stavba strojů - strojní součásti: Učebnice pro střední průmyslové školy*. Vyd. 2. Praha: Computer Press, 2003, 157 s. Edice strojaře. ISBN 80-722-6311-0.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

Zkratka	Význam
PI	Prokop Invest, a.s.

Symbol	Rozměr	Veličina
c	[mm]	šířka korečku
F_B	[N]	tíhová síla bubnu
F_M	[N]	síla odporu nabíraného materiálu
F_N	[N]	napínací síla
F_y	[N]	svislá složka odstředivé síly
F_{pmax}	[N]	maximální napínací síla v pásu
G	[N]	tíhová síla
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
h_D	[m]	dopravní výška
l_p	[m]	pólová vzdálenost
m	[kg]	hmotnost dopravovaného materiálu
n	[s ⁻¹]	otáčky bubnu
P_p	[W]	příkon
Q_m	[kg.h ⁻¹]	hmotnostní dopravní výkon
Q_V	[m ³ .h ⁻¹]	objemový dopravní výkon
r_1	[m]	poloměr dráhy opsaný vnitřní hranou korečku
r_2	[m]	poloměr dráhy opsaný vnější hranou korečku
r_s	[m]	poloměr dráhy korečku opsaný jeho těžištěm
t	[°C]	teplota
t_k	[mm]	rozteč korečků
v_D	[m.s ⁻¹]	dopravní rychlost
α	[rad]	úhel počátku vyprazdňování
γ	[rad]	úhel svírající odstředivá síla s vodorovnou osou x
ω	[rad.s ⁻¹]	úhlová rychlost

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

- Obr. 1-1** Korečkový elevátor a jeho základní části [2]
Obr. 1-2 Upevnění korečků na pásu [2]
Obr. 1-3 Upevnění korečků na řetězu [4]
Obr. 1-4 Způsoby plnění korečků [2]
Obr. 1-5 Způsoby vyprazdňování korečků [2]
Obr. 1-6 Silové poměry na hnacím bubnu [2]
Obr. 1-7 Rovnováha sil na hnacím bubnu [2]
Obr. 1-8 Uspořádání korečků elevátorů
Obr. 1-9 Umístění vpádů na patě elevátoru
Obr. 1-10 Umístění otvorů pro čištění
- Obr. 2-1** „Mrtvá místa“ v patě elevátoru
- Obr. 3-1** Návrh varianty 1 – Pohyblivá vana
Obr. 3-2 Návrh varianty 2 – Kompenzátory
Obr. 3-3 Návrh varianty 3 – Vnitřní pohyblivé dno
Obr. 3-4 Návrh varianty 4 – Vnější pohyblivé dno
- Obr. 4-1** Silový rozbor hnané hřídele
Obr. 4-2 Nosná konstrukce
Obr. 4-3 Tělo paty
Obr. 4-4 Vnější posuvné dno
Obr. 4-5 Zásuvka

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1-1** Rozdělení výkonů elevátorů firmy Prokop Invest, a.s. [6]
Tab. 1-2 Rozdělení výkonů elevátorů firmy Skandia Elevator [7]
Tab. 1-3 Rozdělení výkonů elevátorů firmy STROJMONT CZ a.s. [8]
Tab. 1-4 Rozdělení výkonů elevátorů firmy JK MONT, s.r.o. [9]
Tab. 1-5 Rozdělení výkonů elevátorů firmy Taurus, s.r.o. [10]
- Tab. 3-1** Návrhové dělení výkonnostní řady elevátorů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkonový výpočet elevátoru
Příloha 2	Výpočet pomocných rozměrů dle katalogu VAV Aandriyvingen
Příloha 3	Analytický výpočet hnané hřídele
Příloha 4	Kontrola závitů napínacích tyčí na otláčení
Příloha 5	Výkres sestavy paty elevátoru
Příloha 6	Reálná vizualizace paty elevátoru (SolidWorks – PhotoView 360 2010)

PŘÍLOHA 1

VÝPOČET ELEVÁTORU				
PROKOP®	Projekt:	Bakalářská práce	Datum:	7.3.2015
	Zařízení:	-	Provedl:	Hála Ondřej
	Pozice:	-		ELEVÁTOR
VSTUPNÍ PARAMETRY				
veličina	značka	hodnota	jednotka	poznámka
Hmotnostní výkonnost	Q_m	210 000	kg/h	
Dopravní výška	h_D	60,00	m	
Hustota materiálu	ρ_m (rho)	750	kg/m ³	pšenice
Dopravní rychlost	v_D	2,8	m/s	
Součinitel plnění	ψ (psi)	1,00	[-]	
Sypný/hrabací způsob plnění	-	0,9	[-]	0 nás./1 hra.
Poloměr bubnu	r_b	625	mm	
Padací výška materiálu	h_1	200	mm	
Objem korečku	V_k	0,00392	m ³	S330 (Z3) VAV
Rozteč korečků	t_k	140	mm	
Součinitel rozteče korečků	c_k	0,17	[1]	
Šířka korečků	c	214	mm	
Měrná hrabací práce	A_h	300	J/kg	
Délková hustota	q_p	55,0	kg/m	
Napínací síla	F_N	2 000	N	
VÝSTUPNÍ HODNOTY				
veličina	značka	hodnota	jednotka	poznámka
Rozteč korečků	t_k	140	mm	
Otáčky	n	43	1/min	
Hmotnostní výkonnost	Q_m	211 680	kg/h	
Příkon	P_p	37 387	W	
Max. síla v pásu	F_{pmax}	35 542	N	
Způsob vyprazdňování	-	odstředivý	[-]	
POHON	-			
PÁS	VAV SBR 500/4			

PŘÍLOHA 2

Výpočet rozměrů elevátoru dle VAV katalogu

Zadané parametry

S330	zvolený koreček
$P_1 := 700\text{mm}$	parametr 1
$P_2 := 150\text{mm}$	parametr 2
$P_3 := \left[70 + \left(\frac{1}{3} \cdot 70 \right) \right] \text{mm}$	parametr 3
$P_4 := 180\text{mm}$	parametr 4
$P_5 := 215\text{mm}$	parametr 5
$P_6 := 10\text{mm}$	parametr 6
$P_9 := 650\text{mm}$	parametr 9
$P_{10} := 170\text{mm}$	parametr 10
$P_{11} := 200\text{mm}$	parametr 11
$P_{12} := 470\text{mm}$	parametr 12
$P_{13} := 60\text{mm}$	parametr 13
$D_b := 1250\text{mm}$	průměr bubny

Rozměry hlavy

$$P_7 := \frac{D_b}{2}$$

$$P_7 = 625\text{ mm}$$

$$R_1 := P_3 + P_5 + P_6 + P_7$$

$$R_1 = 943.333\text{ mm}$$

$$R_2 := R_1 + P_1 + P_2$$

$$R_2 = 1793.333\text{ mm}$$

$$H_1 := R_1 + P_2$$

$$H_1 = 1093.333\text{ mm}$$

$$H_2 := 1.43 \cdot (R_1 + P_2)$$

$$H_2 = 1563.467\text{ mm}$$

$$P_8 := P_7 + P_6 + P_5 + P_4 - R_1$$

$$P_8 = 86.667\text{ mm}$$

$$H_3 := P_8 + R_1$$

$$H_3 = 1030\text{ mm}$$

$$H_4 := P_9 + P_{13} + P_{10}$$

$$H_4 = 880\text{ mm}$$

$$H_5 := 1.43(P_9 + P_{13}) + P_{11}$$

$$H_5 = 1215.3\text{ mm}$$

$$H_6 := P_9 + P_{13}$$

$$H_6 = 710\text{ mm}$$

$$H_7 := 1.43(P_9 + P_{13})$$

$$H_7 = 1015.3\text{ mm}$$

$$H_{8A_zrni_granule} := 50\text{mm} + H_4$$

$$H_{8A_zrni_granule} = 930\text{ mm}$$

$$H_{8A_vlhke_prach} := 50\text{mm} + H_5$$

$$H_{8A_vlhke_prach} = 1265.3\text{ mm}$$

$$H_{8B} := P_7 + \frac{2}{3} \cdot D_b + 25\text{mm}$$

$$H_{8B} = 1483.333\text{ mm}$$

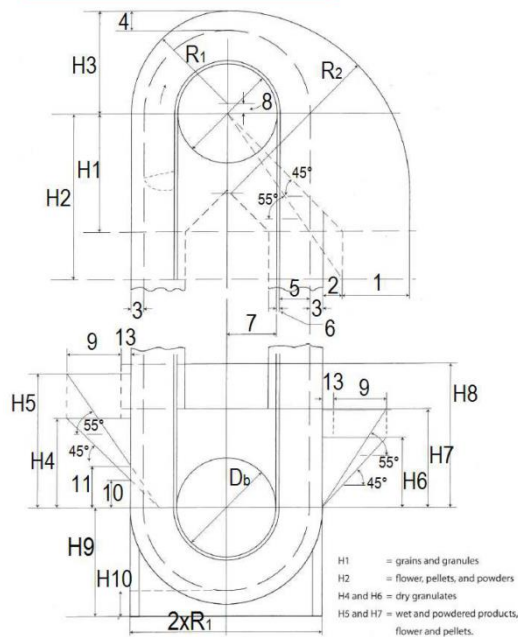
Z hodnot H_{8A} a H_{8B} volíme větší.

$$H_9 := 50\text{mm} + P_7 + P_6 + P_5 + \frac{1}{3} \cdot D_b \quad H_{10} := 50\text{mm} + \frac{1}{3} \cdot D_b$$

$$H_9 = 1316.667\text{ mm}$$

$$H_{10} = 466.667\text{ mm}$$

Basic parameters of an elevator with Starco resp. Super Starco elevator buckets. The elevator head and foot sizes may be calculated using the mentioned equations and tables. For lifting heights between 31 and 70 m, parameter 3 must be increased by 1/3.



PŘÍLOHA 3

Analytický výpočet hnané hřídele

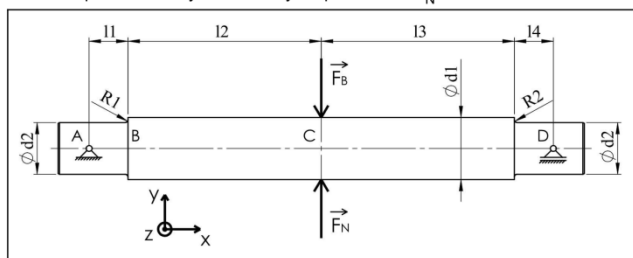
Parametry hřídele

E335 (11 600)	materiál	$m_B := 386.76\text{kg}$	hmotnost bubnu
$R_c := 295\text{MPa}$	mez kluzu	$F_B := m_B \cdot g = 386.76 \cdot 9.81 = 3792.82\text{N}$	tíhová síla od bubnu
$R_m := 570\text{MPa}$	mez pevnosti	$F_N := 2000\text{N}$	napínací síla od tažného členu
$l_1 := 55\text{mm}$	$d_1 := 90\text{mm}$		
$l_2 := 273\text{mm}$	$d_2 := 75\text{mm}$		
$l_3 := 273\text{mm}$	$R_1 := 4\text{mm}$		
$l_4 := 55\text{mm}$	$R_2 := 4\text{mm}$		

1. Při uvažování napínací síly

Silové působení

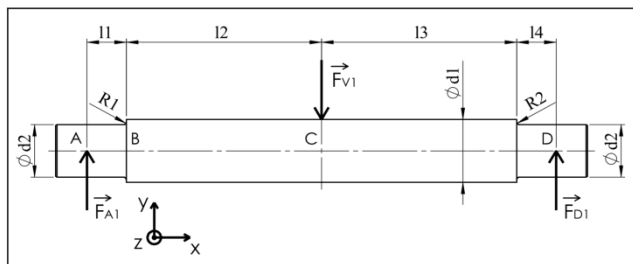
Hřídel je uložena ve dvou naklápěcích ložiscích UCF215 v místech A a D.
Na hřídel působí dvě významné síly: napínací síla F_N od tažného členu a tíhová síla F_B od bubnu.



$$F_{V1} := F_B - F_N = 3792.82\text{N} - 2000\text{N} = 1792.82\text{N}$$

výsledná síla působící na hřídel v místě C

Uvolnění



Hřídel je namáhána pouze na ohyb.

Výpočet reakčních sil

Rovnice rovnováhy

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = F_{A1} - F_{V1} + F_{D1} = 0$$

$$\Sigma M_{zA} = -F_{V1} \cdot (l_1 + l_2) + F_{D1} \cdot (l_1 + l_2 + l_3 + l_4) = 0$$

Reakční síly

$$F_{D1} := \frac{F_{V1} \cdot (l_1 + l_2)}{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)} = \frac{1792.82 \cdot \text{N} \cdot (55 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm})}{55 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm} + 55 \cdot \text{mm}} = 896.41 \text{ N}$$

$$F_{A1} := F_{V1} - F_{D1} = 1792.82 \cdot \text{N} - 896.41 \cdot \text{N} = 896.41 \text{ N}$$

Stanovení výsledných vnitřních účinků ohybového momentu

Vliv posouvajících sil zanedbáme.

Deklarace úseků

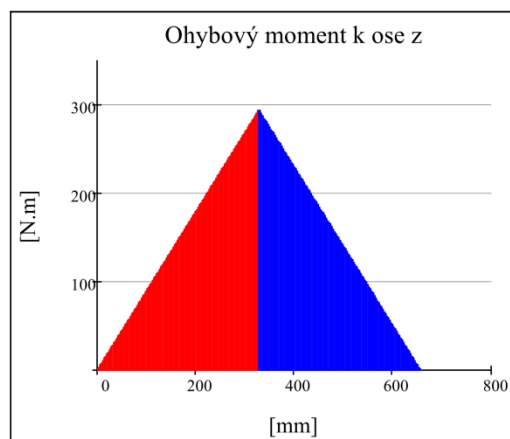
$$x_1 := 0 \dots \frac{(l_1 + l_2)}{\text{mm}}$$

$$x_2 := \frac{(l_1 + l_2)}{\text{mm}} \dots \frac{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)}{\text{mm}}$$

Ohybový moment k ose z

$$M_{oz11}(x) := F_{A1} \cdot (x \cdot \text{mm})$$

$$M_{oz21}(x) := F_{A1} \cdot (x \cdot \text{mm}) - F_{V1} \cdot [x \cdot \text{mm} - (l_1 + l_2)]$$

**Stanovení kritických míst**

B - vrub

C - lokální extrém ohybového momentu

$$M_{oB1} := F_{A1} \cdot l_1 = 896.41 \cdot \text{N} \cdot 55 \cdot \text{mm} = 49302.55 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \text{ohybový moment v místě B}$$

$$M_{oC1} := F_{A1} \cdot (l_1 + l_2) = 896.41 \cdot \text{N} \cdot (55 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm}) = 294022.48 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \text{ohybový moment v místě C}$$

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$\frac{R_1}{d_2} = \frac{4\text{-mm}}{75\text{-mm}} = 0.053 \quad \frac{d_1}{d_2} = \frac{90\text{-mm}}{75\text{-mm}} = 1.2 \quad \alpha_{\sigma B} := 1.95 \quad \text{součinitel tvaru vrubu v místě B}$$

$$\sigma_{oB1} := \frac{32 \cdot M_{oB1} \cdot \alpha_{\sigma B}}{\pi \cdot d_2^3} = \frac{32 \cdot 49302.55 \cdot \text{N} \cdot \text{mm} \cdot 1.95}{\pi \cdot (75\text{-mm})^3} = 2.321 \cdot \text{MPa} \quad \text{napětí v místě B}$$

$$\sigma_{oC1} := \frac{32 \cdot M_{oC1}}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{32 \cdot 294022.48 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot (90\text{-mm})^3} = 4.108 \cdot \text{MPa} \quad \text{napětí v místě C}$$

$$k_{K1} := \frac{R_e}{\sigma_{oC1}} = \frac{295 \cdot \text{MPa}}{4.108 \cdot \text{MPa}} = 71.811 \quad \text{bezpečnost k meznímu stavu pružnosti}$$

Bezpečnost k meznímu stavu únavy

$$\sigma_{Co} := 0.504 \cdot R_m = 0.504 \cdot 570 \cdot \text{MPa} = 287.28 \cdot \text{MPa} \quad \text{mez únavy zkušebního vzorku v ohybu za rotace}$$

$$a := 4.51 \quad b := -0.265 \quad \text{volba součinitelů}$$

$$k_a := a \cdot \left(\frac{R_m}{\text{MPa}} \right)^b = 4.51 \cdot \left(\frac{570 \cdot \text{MPa}}{\text{MPa}} \right)^{-0.265} = 0.839 \quad \text{součinitel vlivu jakosti povrchu}$$

$$k_b := 1.51 \cdot \left(\frac{d_1}{\text{mm}} \right)^{-0.157} = 1.51 \cdot \left(\frac{90\text{-mm}}{\text{mm}} \right)^{-0.157} = 0.745 \quad \text{součinitel vlivu velikosti tělesa}$$

$$k_c := 1 \quad \text{součinitel vlivu způsobu zatěžování}$$

$$k_d := 1 \quad \text{součinitel vlivu teploty}$$

$$k_e := 0.897 \quad \text{součinitel spolehlivosti (spolehlivost 90\%)}$$

$$k_f := 1 \quad \text{součinitel dalších vlivů}$$

$$\sigma_{Co_carka} := k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sigma_{Co} = 0.839 \cdot 0.745 \cdot 0.897 \cdot 287.28 \cdot \text{MPa} = 161.071 \cdot \text{MPa}$$

korigovaná mez únavy
v kritickém místě součásti
amplituda napětí (voleno kritičtější místo C)

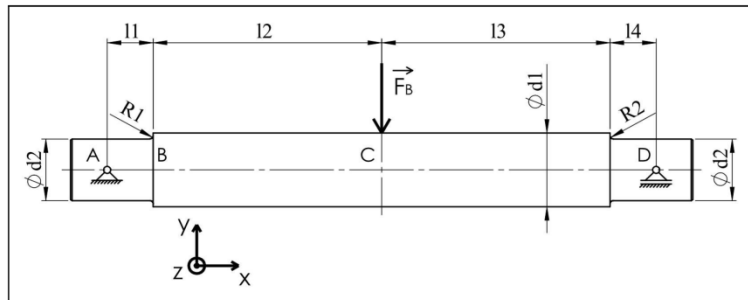
$$\sigma_{a1} := \sigma_{oC1} = 4.108 \cdot \text{MPa}$$

$$k_u := \frac{\sigma_{Co_carka}}{\sigma_{a1}} = \frac{161.071 \cdot \text{MPa}}{4.108 \cdot \text{MPa}} = 39.209 \quad \text{bezpečnost k meznímu stavu únavy}$$

2. Při zanedbání napínací síly

Silové působení

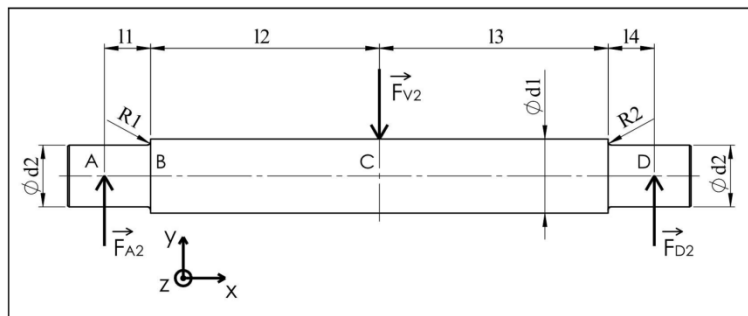
Hřídel je uložena ve dvou naklápěcích ložiscích UCF215 v místech A a D.
Na hřídel působí jedna významná síla: tíhová síla F_B od bubny.



$$F_{V2} := F_B = 3792.82 \text{ N}$$

výsledná síla působící na hřídel v místě C

Uvolnění



Hřídel je namáhána pouze na ohyb.

Výpočet reakčních sil

Rovnice rovnováhy

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = F_{A2} - F_{V2} + F_{D2} = 0$$

$$\Sigma M_{zA} = -F_{V2}(l_1 + l_2) + F_{D2}(l_1 + l_2 + l_3 + l_4) = 0$$

Reakční síly

$$F_{D2} := \frac{F_{V2} \cdot (l_1 + l_2)}{(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)} = \frac{3792.82 \cdot \text{N} \cdot (55 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm})}{55 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm} + 55 \cdot \text{mm}} = 1896.41 \text{ N}$$

$$F_{A2} := F_{V2} - F_{D2} = 3792.82 \cdot \text{N} - 1896.41 \cdot \text{N} = 1896.41 \text{ N}$$

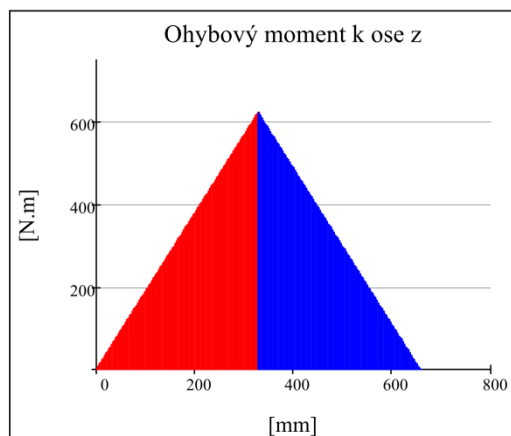
Stanovení výsledných vnitřních účinků ohybového momentu

Vliv posouvajících sil zanedbáme.

Ohybový moment k ose z

$$M_{oz12}(x) := F_{A2} \cdot (x \cdot \text{mm})$$

$$M_{oz22}(x) := F_{A2} \cdot (x \cdot \text{mm}) - F_{V2} \cdot [x \cdot \text{mm} - (l_1 + l_2)]$$

**Stanovení kritických míst**

B - vrub

C - lokální extrém ohybového momentu

$$M_{oB2} := F_{A2} \cdot l_1 = 1896.41 \cdot \text{N} \cdot 55 \cdot \text{mm} = 104302.55 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ohybový moment v místě B

$$M_{oC2} := F_{A2} \cdot (l_1 + l_2) = 1896.41 \cdot \text{N} \cdot (55 \cdot \text{mm} + 273 \cdot \text{mm}) = 622022.48 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ohybový moment v místě C

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$\sigma_{oB2} := \frac{32 \cdot M_{oB2} \cdot \alpha_{\sigma B}}{\pi \cdot d_2^3} = \frac{32 \cdot 104302.55 \cdot \text{N} \cdot \text{mm} \cdot 1.95}{\pi \cdot (75 \cdot \text{mm})^3} = 4.91 \text{ MPa} \quad \text{napětí v místě B}$$

$$\sigma_{oC2} := \frac{32 \cdot M_{oC2}}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{32 \cdot 622022.48 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot (90 \cdot \text{mm})^3} = 8.69 \text{ MPa} \quad \text{napětí v místě C}$$

$$k_{K2} := \frac{R_e}{\sigma_{oC2}} = \frac{295 \cdot \text{MPa}}{8.69 \cdot \text{MPa}} = 33.947 \quad \text{bezpečnost k meznímu stavu pružnosti}$$

Bezpečnost k meznímu stavu únavy

$$\sigma_{Co} = 287.28 \cdot \text{MPa}$$

mez únavy zkušební vzorku
v ohybu za rotace

$$\sigma_{Co_carka} = 161.071 \cdot \text{MPa}$$

korigovaná mez únavy
v kritickém místě součásti

$$\sigma_{a2} := \sigma_{oC2} = 8.69 \text{ MPa}$$

amplituda napětí (voleno kritičtější místo C)

$$k_{u2} := \frac{\sigma_{Co_carka}}{\sigma_{a2}} = \frac{161.071 \cdot \text{MPa}}{8.69 \cdot \text{MPa}} = 18.535$$

bezpečnost k meznímu stavu únavy

PŘÍLOHA 4

Kontrola závitů napínacích tyčí na otláčení

Parametry tyčí

E335 (11 600)	materiál
$\sigma_{KtT} := 300\text{MPa}$	mez kluzu v tahu tyče
M20	velikost závitů
$d_T := 20\text{mm}$	jmenovitý průměr závitů tyče
$d_2 := 18.376\text{mm}$	střední průměr závitů tyče

Parametry matic

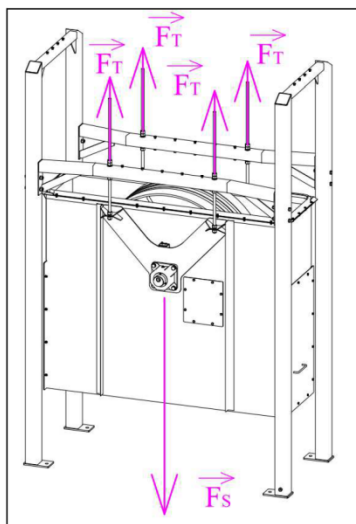
ocel ; 8	materiál ; třída pevnosti
$\sigma_{KtM} := 640\text{MPa}$	mez kluzu v tahu matice
M20	velikost matic
$m_M := 18\text{mm}$	výška matice
$D_1 := 17.294\text{mm}$	malý průměr závitů matice
$P := 2.5\text{mm}$	rozteč

Velikost zatížení

$m_S := 692.26\text{kg}$	hmotnost zatěžující skupiny
$F_S := m_S \cdot g = 692.26 \cdot 9.81 = 6788.75\text{ N}$	velikost zatížení

Silové působení

Na základě symetrie redukoveme výpočet pouze na jednu tyč se závitem.



Kontrola na otláčení

$$F_T := \frac{F_S}{4} = \frac{6788.75 \cdot \text{N}}{4} = 1697.19 \text{ N} \quad \text{zatížení na jednu tyč}$$

$$p = \frac{F_T}{S} = \frac{F_T}{n_z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} = \frac{2 \cdot F_T \cdot P}{m_M \cdot \pi \cdot d_2 \cdot (d_T - D_1)}$$

kde:
 n_z počet závitů matice
 H_1 výška obdélníku rozloženého mezikruží

$$p := \frac{2 \cdot F_T \cdot P}{m_M \cdot \pi \cdot d_2 \cdot (d_T - D_1)} = \frac{2 \cdot 1697.19 \cdot \text{N} \cdot 2.5 \cdot \text{mm}}{18 \cdot \text{mm} \cdot \pi \cdot 18.376 \cdot \text{mm} \cdot (20 \cdot \text{mm} - 17.294 \cdot \text{mm})}$$

$$p = 3.018 \cdot \text{MPa}$$

Pro výpočet dovoleného napětí volíme mez kluzu v tahu pro tyč, protože je menší než pro matici.

$$p_D := 0.25 \cdot \sigma_{KtT} = 75 \cdot \text{MPa}$$

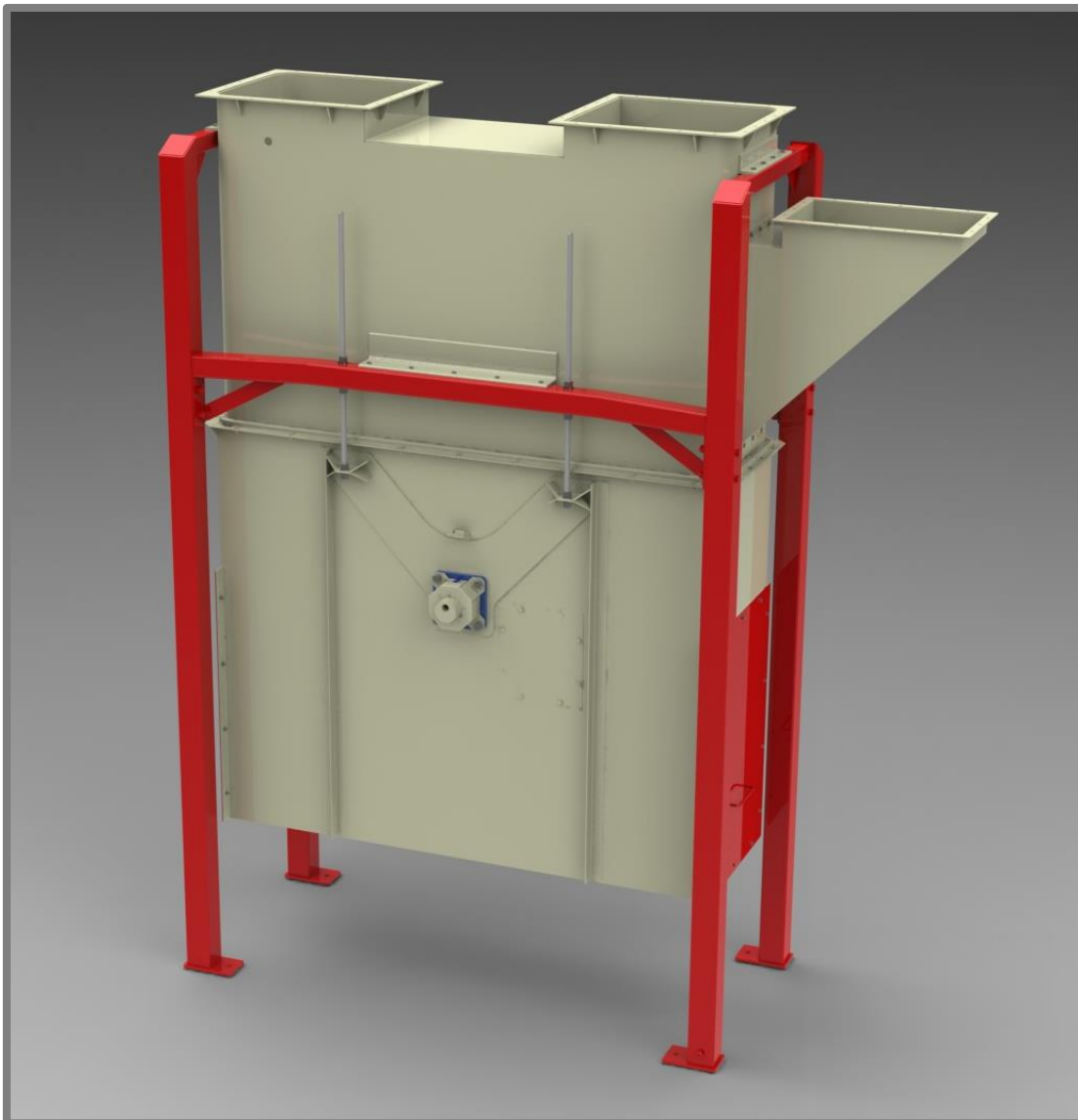
Tlak v závitech je menší než dovolený, závit vyhovuje.

PŘÍLOHA 5

Výkresová dokumentace je zhotovena dle norem a zvyklostí firmy PI v programu SolidWorks 2010.

Výkres sestavy paty elevátoru se nachází v příložených deskách. Pokud se jedná o elektronickou verzi, výkres je dostupný ve formátu PDF.

PŘÍLOHA 6



Reálná vizualizace paty elevátoru v barevném standardu firmy PI.