



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh dopravních cest odpadu plnicí
stanice**

**Design of Municipal Waste Conveyors of
Loading Station**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Ivo MERUNA

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Martin Havlíček

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Meruna** Jméno: **Ivo** Osobní číslo: **424939**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh dopravních cest odpadu plnicí stanice

Název diplomové práce anglicky:

Design of municipal waste conveyors of loading station

Pokyny pro vypracování:

V závěrečné práci formou rešerše zpracujte možnosti dočasného uskladnění a dopravy komunálního odpadu v plnicí stanici.
Navrhněte alespoň 2 vhodné uspořádání a řešení dopravních cest plnicí stanice.
Proveďte návrhové výpočty dopravníků a doplňte o detailní konstrukční návrh násypky.
Práce bude obsahovat 3D model sestavy násypky a pomocí vhodného softwaru proveďte pevnostní analýzu vybraných prvků.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, Vladimír. Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, 170 s. ISBN 978-80-01-04138-3.
POSPÍCHAL, Jaroslav. Technické kreslení. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 84 s. ISBN 978-80-01-03214-52008.
LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Havlíček, ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

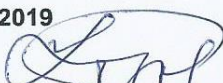
Datum zadání diplomové práce: **08.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.12.2019**



Ing. Martin Havlíček
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



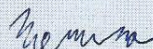
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.4.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Návrh dopravních cest odpadu plnicí stanice“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Havlíčka, s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze

.....

Ivo Meruna

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Martinovi Havlíčkovi za vedení a rady při zpracování daného tématu diplomové práce. Dále děkuji rodině za stálou podporu napříč celým mým dosavadním studiem.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora: Bc. Ivo Meruna

Název DP: Návrh dopravních cest odpadu plnicí stanice

Anglický název: Design of Municipal Waste Conveyors of Loading Station

Rok: 2019

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Obor studia: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Ústav: Ústav konstruování a částí strojů

Vedoucí DP: Ing. Martin Havlíček

Bibliografické údaje: počet stran: 51
počet obrázků: 40
počet tabulek: 3
počet příloh: 0

Klíčová slova: komunální odpad, plnicí stanice, pásový dopravník, násypka

Keywords: municipal waste, loading station, belt conveyor, hopper

Anotace:

Tato diplomová práce obsahuje přehled běžně používaných dopravníků na sypké materiály, možná řešení dočasného uskladnění odpadu mezi plnicími operacemi, několik různých uspořádání plnicí stanice a návrhové výpočty dopravníků volené varianty. Hlavní částí práce je detailní konstrukční návrh modulární násypky doplněný o 3-D model.

Abstract:

This thesis includes an overview of commonly used conveyors for bulk materials, possible solutions for temporary storage of waste between loading operations, several different layouts of the loading station and design calculations of conveyors for the selected layout. The main part of the thesis is a detailed design of a modular hopper with a 3-D model.

OBSAH

1. Úvod	1
2. Vlastnosti komunálního odpadu	2
3. Možnosti dočasného uskladnění	3
4. Možnosti dopravy komunálního odpadu	5
4.1. Vibrační dopravníky.....	5
4.2. Šnekové dopravníky	7
4.3. Redlery	8
4.4. Korečkové elevátory	9
4.5. Doprava v pomocném médiu	10
4.6. Dopravní skluzy	10
4.7. Žlabové dopravníky.....	11
4.8. Pásové dopravníky	13
4.9. Článekové dopravníky	17
5. Návrh uspořádání plnicí stanice	19
5.1. První varianta	19
5.2. Druhá varianta	20
5.3. Třetí varianta	21
6. Návrh dopravníků	23
6.1. Jednosměrný pásový dopravník	23
6.1.1. Potřebný objemový tok	23
6.1.2. Volená rychlost pásu	23
6.1.3. Minimální potřebný průřez náplně a volba šířky pásu	24
6.1.4. Snížení rychlosti pásu, objemový tok a čas plnění.....	26
6.1.5. Hlavní odpory.....	26
6.1.6. Vedlejší odpory	28
6.1.7. Přídavné odpory a odpor k překonání dopravní výšky.....	29
6.1.8. Obvodová síla a potřebný výkon motoru	29
6.1.9. Největší tahová síla v pásu, pevnostní kontrola pásu.....	30
6.1.10. Napínací síla a tahové síly F_1 a F_2	30
6.2. Reverzní pásový dopravník.....	30
6.3. Redlerové dopravníky	31
7. Návrh násypky	32
7.1. Návrh vertikálních stěn	33
7.2. Návrh diagonálních stěn.....	35
7.3. Nosná konstrukce	39
7.4. Svařenec dveří a otevírací mechanismus.....	40
7.5. Pevnostní analýza	44
8. Závěr	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	51
SEZNAM TABULEK	51

1. Úvod

Za účelem snížení nákladů na převoz odpadu je v případě dostatečné vzdálenosti cílové stanice, například spalovny nebo skládky, vhodné využití plnicí stanice. Plnicí stanice je budova, která slouží jako mezičlánek v dopravě komunálního nebo recyklovatelného odpadu. Hlavní funkcí plnicí stanice je přeložení odpadu ze svozových vozidel do velkoobjemových kontejnerů, které jsou do cílové stanice dovezeny dopravním prostředkem o velkém výkonu, například vlakem nebo kamionem. Odpad je do kontejnerů lisován, aby bylo umožněno převážet co největší množství. Plnicí stanice jsou někdy doplněny o třídící linku, čímž získávají další funkci. Při vhodném umístění plnicí stanice dojde k ušetření nákladů na pohonné hmoty a zároveň k odlehčení dopravy na vytížených pozemních komunikacích. Další výhodou tohoto řešení je lokální snížení emisí.

Hlavní cíle této diplomové práce jsou návrh uspořádání plnicí stanice včetně dopravních cest, stanovení potřebných výkonů a rychlostí dopravníků pomocí návrhových výpočtů a detailní konstrukční návrh násypky, sloužící k dočasnému uskladnění odpadu mezi plnicími operacemi.

2. Vlastnosti komunálního odpadu

Komunální odpad je odpad z domácností a odpad, jehož složení je srovnatelné s odpadem z domácností, ale s výjimkou odpadu z výroby, zemědělství a lesnictví. [20]

Pro správnou volbu uskladnění a přepravy materiálu je určující jeho zařazení do materiálové skupiny, která odpovídá základním vlastnostem materiálu. Toto zařazení se nazývá třídění materiálu. Materiál lze třídit podle jeho stavu na pevný, kapalný nebo plynný a podle snadnosti přepravy i přípravy k přepravě na jednotlivé kusy, manipulační jednotky (například palety nebo kontejnery) a volně ložený materiál. [1]

Hlavní složka komunálního odpadu je pevná a sypká, nicméně nestejnorodost materiálu může způsobovat jeho částečnou kusovitost. Objevují se v něm i kapaliny a doprovodnou složkou je zápach v plynném skupenství. Kapalná složka odpadu však není pro přepravu považována za důležitou a kapaliny, které z prostor mezi pevnými částicemi budou při přepravě materiálu v plnicí stanici protékat, budou odváděny kanalizačním systémem

do nádrže. Plynná složka nebude nijak přepravována. Plnicí stanice musí být vzhledem k zápachu umístěna tak, aby převládající směr větru byl směrem od obytné zástavby. [2]

Z pohledu třídění podle snadnosti přepravy i přípravy k přepravě je komunální odpad po vysypání z vozidel svozu volně ložený materiál. To znamená snadnou hromadnou přepravu pomocí kontinuálních dopravníků. [1]

Pro následující návrhové výpočty dopravníků je nutné nejprve zjistit některé materiálové vlastnosti komunálního odpadu. Jednou z nejdůležitějších vlastností nejen pro tento výpočet, ale i pro návrh násypky, je sypná hmotnost. [1] Ta se může výrazně lišit, a to nejen v závislosti na oblasti, ze které odpad pochází, ale i na jeho vlhkosti [3] a samozřejmě také na míře jeho slisování při předchozím zpracování.

Velkým problémem při určení jakékoli průměrné vlastnosti komunálního odpadu je náhodnost vzorku. Měřené průměrné sypné hmotnosti se u komunálního odpadu pohybují v rozmezí od 66 kg/m^3 do 200 kg/m^3 [3]. Vzhledem k tomu, že směsný komunální odpad bude dovážen do plnicí stanice před roztříděním, mohou se v něm vyskytovat například různé kovové součásti nebo stavební odpad. To znamená pravděpodobnost nárůstu lokální sypné hmotnosti, který by v nejhorsích případech mohl vést k poškození násypky nebo dopravníků.

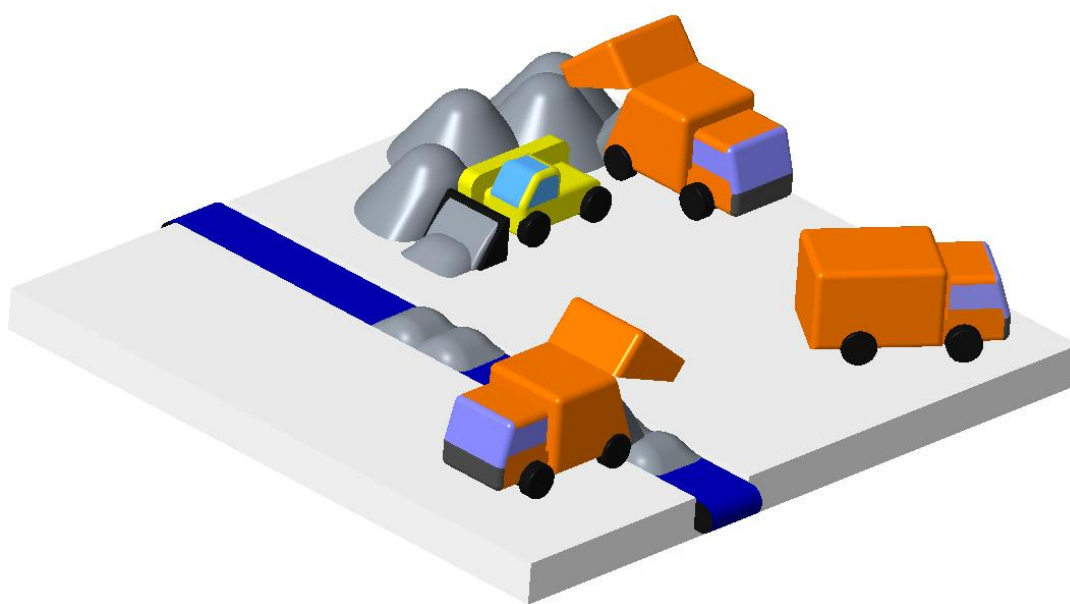
Za účelem zajištění dostatečné bezpečnosti při výpočtech byla vzhledem k nejistým faktorům vlhkosti, míry slisování a nehomogenity komunálního odpadu zadána v rámci práce objemová hmotnost 600 kg/m^3 . Pro výpočet dopravníku bude uvažována sypná hmotnost rovna objemové hmotnosti, to znamená uvažovaný součinitel nakypření bude roven jedné. [1]

Další materiálová vlastnost velmi důležitá pro výpočty dopravníků je sypný úhel. [1] Ten se pohybuje na širokém rozmezí od 25° do 52° [3] a závisí nejen na vlhkosti odpadu, ale i na velikosti a tvaru zrn materiálu a koeficientu tření. Toto velké rozpětí hodnot pro sypný úhel komunálního odpadu je tedy způsobeno hlavně nehomogenitou materiálu.

3. Možnosti dočasného uskladnění

Do plnicí stanice směřuje odpad z blízkého okolí, což vede v určitých částech dne k hromadění vozidel pro svoz odpadu v prostoru stanice. Aby každé takové vozidlo nemuselo čekat příliš dlouho na vyprázdnění, je odpad dočasně uskladňován přímo ve stanici.

Na Obr. 1 je varianta volného skladování na zemi. Tato varianta znamená volné nasypání materiálu na hromady na podlaze. [1] Tím šetří náklady na násypku a znamená oproti variantě s násypkou i nižší stanici, ale její půdorys pro uskladnění stejného množství odpadu je několikrát větší. Další nevýhodou je nutnost manipulačních vozidel, která by po opadnutí špičky vytíženosti musela uskladněný odpad shrnovat po částech na podlahový dopravník.

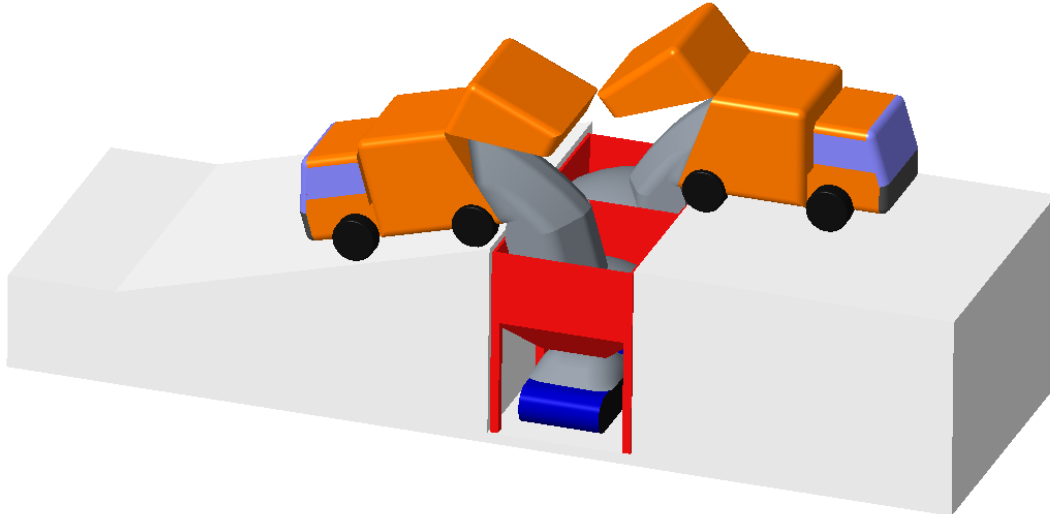


Obr. 1: Skladování volné na zemi [autor]

Další možností pro sypké materiály je skladování volné v zařízení. Toho lze pro sypké materiály docílit dvěma způsoby. První je označován jako skladování v zařízení nepohyblivě a znamená použití zásobníku – násypky. Druhým je naopak skladování v zařízení pohyblivě, čímž je myšleno uložení materiálu na podlahových nebo podvěsných dopravnících. [1]

Zásobník je stěnami omezený prostor, ve kterém může být uložený sypký i kusový materiál krátkodobě nebo dlouhodobě. Materiál je do zásobníku přiváděn shora, uvnitř se pohybuje účinky vlastní tíhy a odváděn je zdola. Materiálová rezerva vytvořená v násypce pomáhá řešit nerovnoměrnost toku materiálu, způsobenou obecně vlivem technologie, nepozornosti obsluhy nebo poruchami zařízení. [1] V případě plnicí stanice je zdrojem neplynulého toku materiálu přerušovaný charakter vysypávání vozidel svozu odpadu.

Při použití násypky dojde k prostorově efektivnějšímu skladování odpadu, zmenšení půdorysu stanice, ale zároveň k jejímu zvýšení. Navíc pro svoz vyvstává nutnost vyvážet odpad nad úroveň terénu, pokud není zásobník na podzemním podlaží. (Obr. 2)



Obr. 2: Skladování volné v zařízení [autor]

Výškové rozdíly mezi úrovní pro uložení násypky a úrovní, ze které je násypka plněna, lze s výhodou řešit využitím převýšení terénu. Pokud terén volené lokality žádné převýšení neposkytuje, je stavba náročnější a dražší. Při uložení násypky na podzemním podlaží sice odpadají výjezdy vozů nad úroveň terénu a s tím spojené energetické ztráty, ale výškový rozdíl se projevuje na výstupním dopravníku.

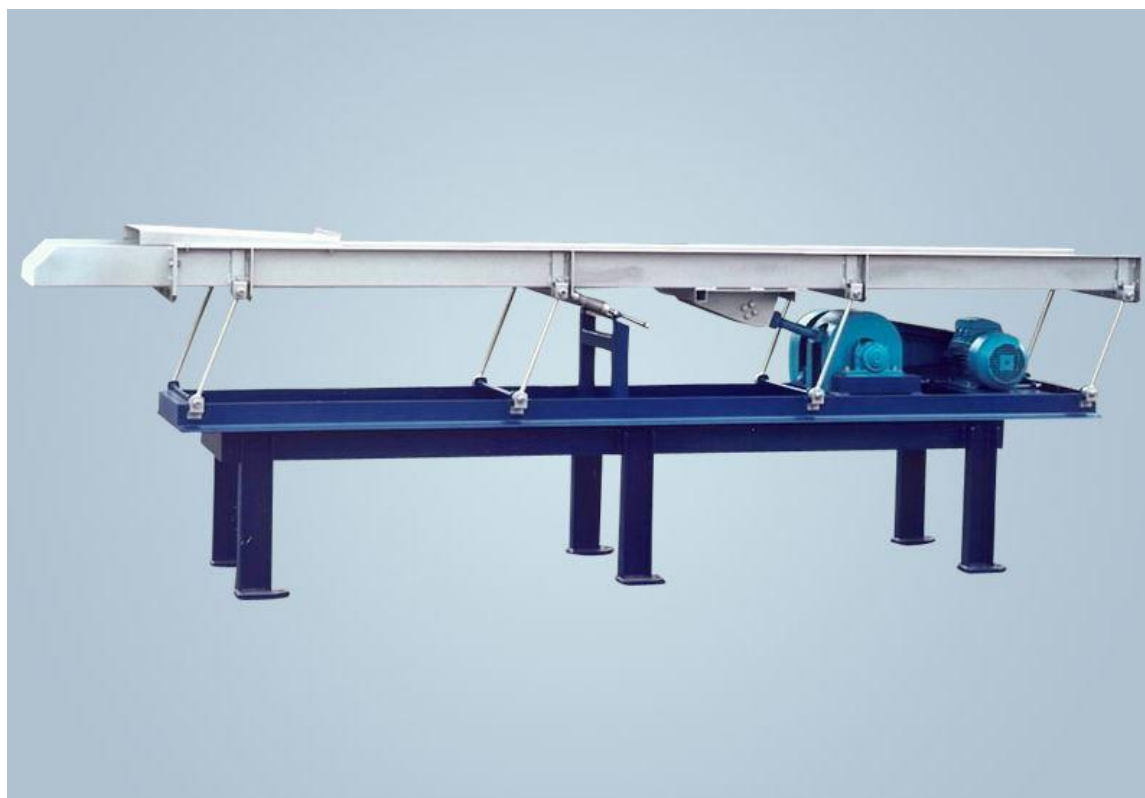
4. Možnosti dopravy komunálního odpadu

Jak již bylo uvedeno v úvodu o materiálových vlastnostech komunálního odpadu, pro volbu dopravy jsou určující základní vlastnosti materiálu. Všechny dále zmíněné manipulační prostředky jsou vhodné pro přepravu sypkého materiálu.

4.1. Vibrační dopravníky

Jedním z druhů mechanických dopravníků pro dopravu sypkého materiálu jsou vibrační dopravníky, které využívají pro přemístění materiálu setrvačné síly působící na jeho částice. Základní část tvořící tento dopravník je žlab, nejčastěji ve tvaru písmene U nebo kruhový, pružně uložený na základu. Kmitavý pohyb žlabu je vyvozován pohonem, jehož způsob a vlastnosti jsou spolu s uložením žlabu určující pro pohyb částic materiálu. Podle charakteru pohybu částic materiálu se vibrační dopravníky dělí do dvou skupin. [1]

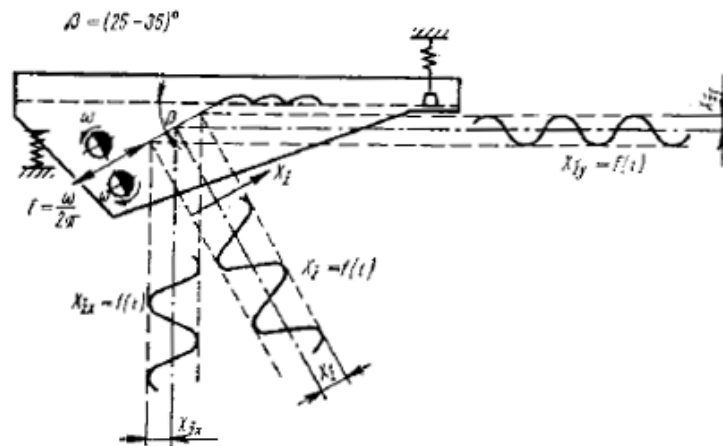
Pro první z těchto skupin platí, že jsou částice dopravovaného materiálu stále ve styku se žlabem. Jejich pohyb je způsoben vlivem rozdílu silových impulsů udělených částicím pohybem žlabu ve směru dopravy a zpět. Tato skupina se podle principu nazývá impulsní dopravníky a dále ji lze dělit na pohyblivé dopravní žlaby a třasadla (Obr. 3). [1]



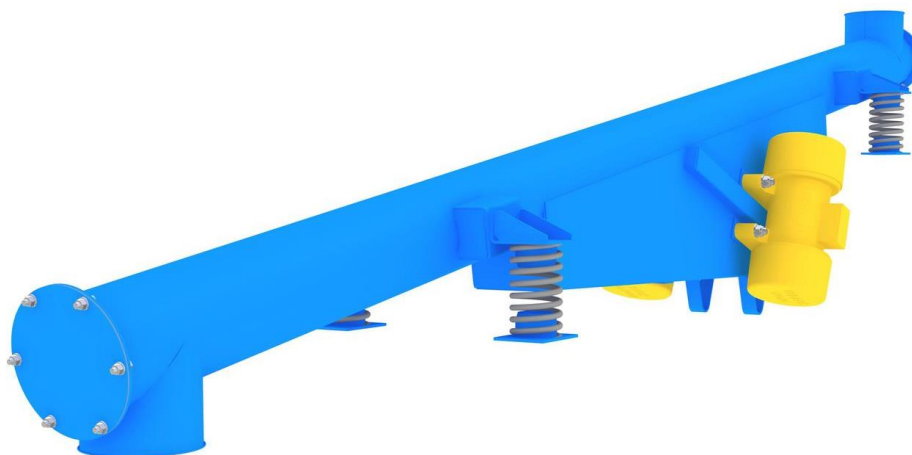
Obr. 3: Třasadlový dopravník [4]

Pokud dochází v určité fázi pohybu žlabu k oddělení částic dopravovaného materiálu od žlabu a jejich vržení do prostoru, dopadají částice po vrhových parabolách zpět do žlabu. (Obr. 4) Vzdálenosti, na něž jsou takto částice vrhány, jsou velmi malé. Naznačený způsob pohybu je označován jako mikrovrh a druhá skupina vibračních dopravníků, která funguje na tomto principu, je označována jako dopravníky s mikrovrhem (Obr. 5). Tuto skupinu lze

dále dělit podle systému pohonu na dopravníky se systémem s tuhou vazbou mezi pohonem a žlabem a dopravníky se systémem s pružnou vazbou mezi pohonem a žlabem. [1]



Obr. 4: Princip dopravy mikrovrhem [1]

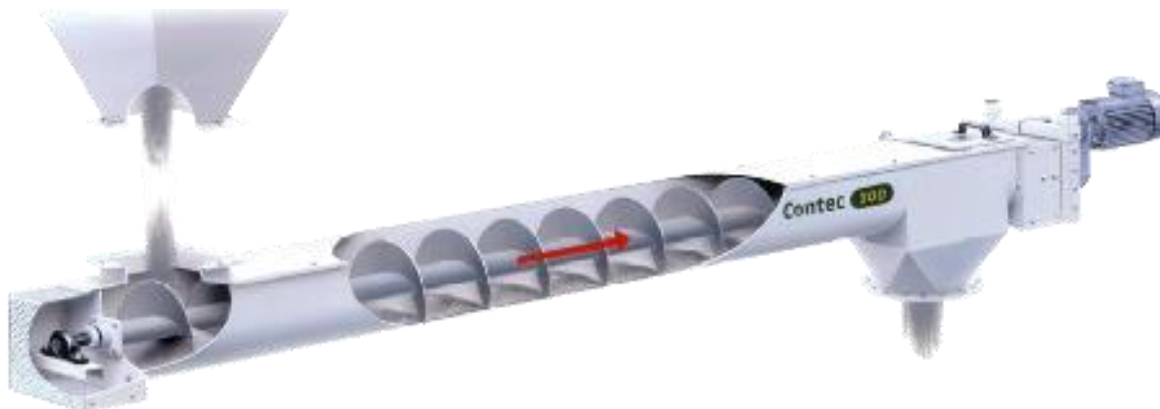


Obr. 5: Vibrační dopravník s mikrovrhem trubkový [5]

Z naznačených principů funkce je zřejmé, že vibrační dopravníky nejsou vhodné pro dopravu komunálního odpadu. Velkou překážkou pro jejich použití je různorodost hmotností a velikostí jednotlivých částic materiálu a také rozdílnost v součinitelích tření mezi žlabem a materiály obsaženými ve směsném komunálním odpadu.

4.2. Šnekové dopravníky

Materiál je v uzavřeném žlabu šnekového dopravníku (Obr. 6) přemísťován pomocí rotujícího šneku mechanickým způsobem. Vlivem vlastní tíhy materiálu a tření mezi dopravovaným materiálem a žlabem nedochází k otáčení materiálu spolu se šnekem. Pro správnou funkci je důležité, aby žlab nebyl zaplněný materiálem v celém svém průřezu. Stupeň naplnění žlabu je vyjádřen pomocí součinitele plnění, který je dán poměrem plochy průřezu materiálu ve žlabu ku průmětu plochy šnekovnice a jeho hodnoty jsou doporučovány na základě vlastností materiálu. [1]



Obr. 6: Šnekový dopravník [6]

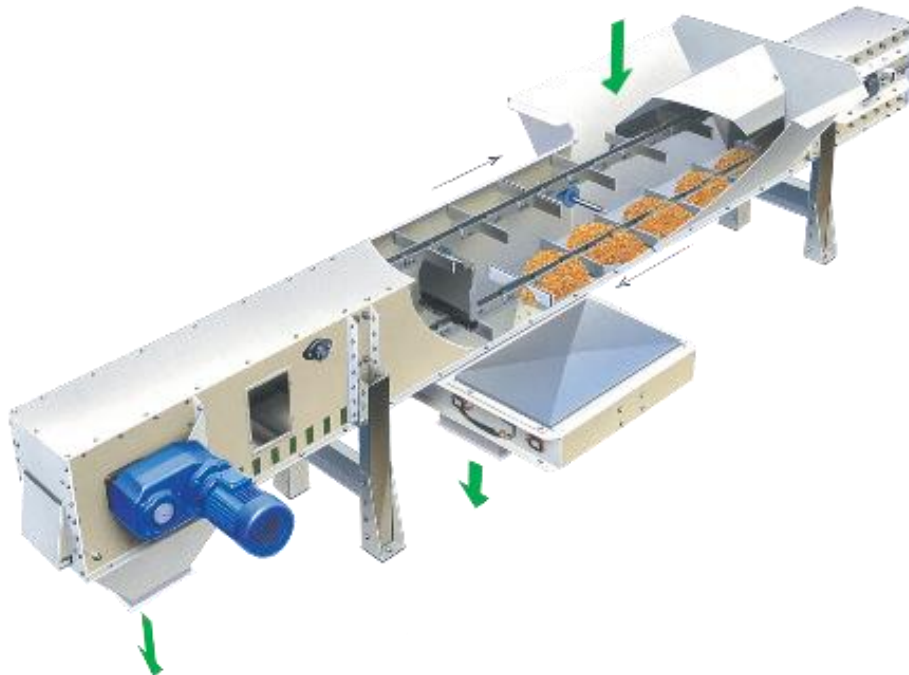
Hlavní výhodou šnekových dopravníků je jednoduchost jejich konstrukce a možnost použití nejen pro vodorovnou, ale i pro šikmou a ve výjimečných případech i svislou dopravu materiálu. Používají se hlavně pro materiály s jemnější zrnitostí, díky uzavřeným žlabům jsou vhodné pro prašné materiály a díky charakteru pohybu mohou šnekové dopravníky kromě dopravní funkce ještě vykonávat i technologický proces míchání materiálu. V potravinářském průmyslu se využívá možnosti provedení ohebného šnekového dopravníku, tvořeného žlabem z ohebné hadice a jedné nebo dvou šnekovnic z ocelového drátu. [1]

Jak již vyplývá ze stručného popisu šnekového dopravníku, není jeho použití vhodné pro komunální odpad. Důvodem je přítomnost částic materiálu o poměrně velkých rozměrech a, stejně jako u vibračních dopravníků, proměnnost součinitele tření mezi dopravovaným materiálem a stěnami žlabu nebo šnekovnicí.

4.3. Redlery

Jedná se o mechanické dopravníky, jejichž tažným elementem je řetěz. Ten pohybuje unášeči, které pak dopravují materiál uzavřeným žlabem. Průřez dopravovaného materiálu je větší než čelní plocha unášeče. Základní vrstva je tvořena tažnými řetězy, unášeči a materiálem od dna žlabu po horní hranu unášečů a pohybuje se rychlostí řetězu. Nad touto základní vrstvou se vytváří unášená vrstva a rychlost jejího pohybu, která je menší než rychlost základní vrstvy, je určena rozdílem třecích sil vnitřního tření mezi vrstvami materiálu a třecích sil mezi unášeným materiálem a stěnami žlabu. Tato rychlost je označována jako dopravní rychlost. [1]

Velkou výhodou redlerů (Obr. 7) je možnost dopravy materiálu pod libovolným sklonem a možnost kombinovat směry dopravy v rovině ohybu řetězu. Nejčastěji jsou používány pro dopravu práškových, jemnozrnných a hrubozrnných materiálů, například obilovin nebo uhlí. [1]



Obr. 7: Redler [7]

Pro překonání velkého výškového rozdílu mezi nejnižším a nejvyšším bodem navrhovaných uspořádání plnicí stanice, upřesněných v pozdější části práce, je použití redleru vhodné řešení.

4.4. Korečkové elevátory

Korečkové elevátory jsou také druhem mechanických dopravníků, který je vhodný pro přepravu sypkých materiálů. Korečky, ve kterých je materiál přemísťován, jsou pevně uloženy na tažném orgánu, kterým může být pás, řetěz nebo lano. Sklon elevátoru se pohybuje mezi 60° a 90° . Výškové omezení korečkových elevátorů je 30 m při použití pásu jako tažného elementu a 90 m pro řetězový tažný prvek. [1]

Materiál a tvar korečků je dán dopravovaným materiálem. Většinou jsou korečky vyráběny z ocelových plechů lisováním a svařováním. Šířky korečků se běžně pohybují v rozmezí od 80 do 1 000 mm a pro větší šířky je nutné vyztužení přední stěny příčkou. Uspořádání z hlediska rozteče korečků rozlišujeme přetržité, kdy je mezi korečky prostor, ve kterém se nachází pouze tažný element, a nepřetržité, při kterém je mezera mezi korečky minimální (Obr. 8). Uspořádání je závislé hlavně na způsobu plnění a dopravovaném materiálu, přetržité uspořádání se používá v kombinaci s plněním hrabáním a nepřetržité pro plnění násypným způsobem. Vyprazdňování korečků je buď odstředivé, nebo gravitační a závisí hlavně na rychlosti pohybu korečků. [1]



Obr. 8: Korečkový elevátor plněný násypným způsobem s odstředivým vyprazdňováním [8]

Vzhledem k tomu, že jsou korečkové elevátory vhodné pro dopravu jemnozrnných a drobně kusovitých materiálů a běžná maximální šířka korečku se pohybuje okolo jednoho metru, není jejich použití pro směsný komunální odpad příliš vhodné. Například v důlním průmyslu se používají korečkové elevátory větších rozměrů, které přepravují těžší materiál

o velkých rozměrech. Bylo by tedy možné použít korečkový elevátor specializované konstrukce.

4.5. Doprava v pomocném médiu

Pro dopravu sypkého materiálu v pomocném médiu je základní rozdělení podle druhu použitého média, které je buď plyn u pneumatických systémů nebo kapalina u hydraulických systémů. Pneumatické systémy využívají jako pomocné médium ve většině případů vzduch, pokud přepravovaný materiál nesmí přijít do kontaktu se vzduchem, je používán nejčastěji dusík. Dpravují se jimi materiály práškové a zrnité. Využívané principy jsou přetlaková a podtlaková doprava. [1]

Hydraulické dopravní systémy užívají jako pomocné médium vodu, která spolu s dopravovaným materiálem tvoří hydrosměs, proudící buď otevřeným žlabem nebo potrubím. Způsob hydraulické dopravy v potrubí může být, podobně jako u pneumatické dopravy, přetlakový a podtlakový. V případě žlabu se hydrosměs pohybuje samospádem. Poslední člen hydraulického dopravního systému je odlučovač, který odděluje z hydrosměsi přepravovaný materiál od vody. [1]

Doprava v pomocném médiu není pro směsný komunální odpad vhodná. Hlavní překážkou je jako u vibračních dopravníků velká rozdílnost hustoty mezi jednotlivými částicemi. Oba tyto způsoby dopravy ale mohou rozdílnost hustot materiálů využít a být používány pro pozdější třídění odpadu.

4.6. Dopravní skluzy

K dopravě sypkých i kusových materiálu lze použít dopravní skluzy (Obr. 9), které nejsou nijak poháněny. Pohyb materiálu je způsobem účinky tíhových sil. Dráhy dopravních skluzů jsou přímé nebo ve tvaru šroubovice. Jejich sklon určuje rychlost pohybu materiálu, která může při nedostatečném sklonu být nulová a při velkém sklonu naopak příliš velká. Tím u skluzu i přepravovaného materiálu roste míra opotřebení a navíc hrozí nebezpečí poškození v případě kusových materiálů. Rozhodujícím faktorem pro určení správného sklonu pro dosažení požadované rychlosti je součinitel tření mezi povrchem skluzu a dopravovaným materiálem. [1]

Šroubovicové skluzy se používají pro překonání velkých výškových rozdílů na minimálním půdorysu. Využití obou druhů skluzů je i v krátkodobém skladování při zastavení odběru. Jejich hlavní výhodou je minimální údržba, bezporuchovost a energetická nenáročnost provozu díky absenci pohonného ústrojí. [1]

Pro dopravu netříděného komunálního odpadu by dopravní skluz mohl být vhodným řešením. Při překročení požadované rychlosti nijak nevedí opotřebení přepravovaného materiálu a možnost otevřenosti a snadného přístupu obsluhy řeší do značné míry problém se zastavením materiálu ve skluzu. Pro zajištění dostatečného sklonu dopravního skluzu by však plnicí stanice musela být ještě vyšší. To by znamenalo buď vyšší výjezd pro vozidla svozu odpadu, nebo větší výškový rozdíl na výstupním dopravníku.



Obr. 9: Dopravní skluz pro kusový materiál [9]

4.7. Žlabové dopravníky

Žlabové dopravníky lze použít k dopravě sypkého materiálu různých vlastností i kusového materiálu. Dopravní člen je u žlabových dopravníků tvořen unášecí nebo hřebly, vlečenými oběžným řetězem nebo nesenými tyčí s postupně vratným přímočarým pohybem. Materiál je takto dopravován v otevřeném žlabu hnutím nebo vlečením. Provedení žlabových dopravníků je stabilní nebo pojízdné. [1]

Dělení žlabových dopravníků je podle pohybu unášecích členů na trkací žlabové dopravníky a žlabové dopravníky s obíhajícími unášecími prvky. Trkací dopravníky pracují periodicky, dopravním členem je tyč nesoucí unášecí nebo výkyvná hřebla. Pohyb tyče je postupně vratný přímočarý. Dopravní trasa může být jen přímá. Tyto dopravníky jsou používány pro přepravu třísek od soustruhů a jiných obráběcích strojů, drobného šrotu a odpadků. Pohon je buď hydrostatický nebo elektromotorem v kombinaci s hřebenem. [1]

Žlabové dopravníky s obíhajícími unášecími prvky se dále dělí podle druhu unášecích elementů na žlabové dopravníky s unášecí, používané pro dopravu kusového materiálu, a hřeblové dopravníky (Obr. 10) pro dopravu sypkých materiálů. K přemístění materiálu dochází hnutím hřebly, která jsou upevněná na tažném řetězu a mají tvar hrabic nebo lopatek. Sklon dopravy hřeblovými dopravníky se pohybuje v rozmezí od -35° do $+40^\circ$. Jejich použití je pro syké hmoty libovolné zrnitosti a dopravovaný materiál může být nesourodý. Nejsou vhodné pro dopravu abrazivních materiálů, pokud tomu není žlab přizpůsoben vyložení otěruvzdorným materiálem. Přivádění a odebírání materiálu je možné v libovolném místě dopravníku. [1]

Jak vyplývá z vlastností žlabových dopravníků, jsou vhodné pro přepravu komunálního odpadu. Pro vodorovné úseky je levnější variantou pásový dopravník, redlerový dopravník oproti hřeblovému umožňuje strmější stoupání při úklonné dopravě.



Obr. 10: Hřeblový dopravník [10]

4.8. Pásové dopravníky

Mechanické dopravníky, jejichž tažný a nosný element je nekonečný pás, se nazývají pásové dopravníky. Pás je vedený a poháněný pomocí bubnů a podpíráný rovinnou plochou nebo válečky. Použití těchto dopravníků je pro kusové i sypké materiály, jejich směr dopravy může být vodorovný nebo šikmý a provedení může být stabilní, pojízdné (Obr. 11) i přenosné. Normalizované šířky pásů se pohybují od 400 mm do 2 000 mm, materiály pásů mohou být pryže, PVC, oceli nebo pletivové. Tvar dopravní trasy může být lomený, oblouky lomených dopravníků pak mohou být konvexní při přechodu ze šikmého směru na vodorovný i konkávní při opačném přechodu. Materiál je dopravován buď pouze v jednom směru u jednosměrných dopravníků nebo střídavě oběma směry u reverzních dopravníků. K dopravě opačným směrem mohou být využity i vratné větve. [1]



Obr. 11: Pojízdné provedení lomeného pásového dopravníku s konkávním obloukem [11]

Jednou ze základních částí pásového dopravníku je nosná konstrukce, na které jsou uloženy jeho ostatní součásti. Statické síly, které nosná konstrukce přenáší, jsou tíhové síly působící na přepravovaný materiál, pás a celou dopravníkovou konstrukci. Dynamické namáhání nosné konstrukce je vyvoláno podélným a příčným kmitáním pásu, přiváděním materiálu na pás a nevyváženými hmotami bubnů a válečků. Síly od tahu v pásu na hnacích a vratných bubnech se u větších dopravníků zachycují v ocelové konstrukci poháněcích a vratných stanic. Nosná konstrukce se u stabilních dopravníků ukládá na betonové základy nebo konstrukce budov. Malé dopravníky mohou být řešeny jako pojízdné nebo přenosné. [1]

Přenos hnací síly z poháněcího bubnu na pás probíhá podle Eulerova vztahu pro vláknové tření. Výpočtové vztahy potřebné pro návrh pásových dopravníků udává norma ČSN ISO 5048 nebo její starší varianta ČSN 26 3102. Za účelem získání co nejpříznivějšího průběhu síly v pásu má být pohon dopravníku umístěn tak, aby zatížená větev byla přímo tažena. Jako pohonná jednotka se používá asynchronní elektromotor ve spojení s převodovkou. Brzdění šikmých pásových dopravníků, u kterých by tíhové síly mohly v případě zastavení pohonu způsobit samovolný pohyb, je nejčastěji řešeno použitím čelistové brzdy. Ta je umístěna na vstupním hřídeli převodovky pohonu a při zapnutí pohonu je odbrzděna elektromagneticky nebo hydraulickým odbrzdovačem. Při vypnutí pohonu nebo přerušení dodávky proudu dojde k samočinnému zabrzdění. U menších dopravníků lze k brzdění použít válečkové zpětné brzdy na hřídeli bubnu nebo brzdícího pásu, který je při zpětném pohybu vtážen mezi pás a buben a třením zastaví další pohyb pásu. [1]

Bubny jsou svařované s válcovitým nebo soudkovitým pláštěm ze svinutého plechu. Pro zvýšení součinitele tření mezi pásem a bubnem se používá obložení bubnů pryžovým materiálem, popřípadě keramikou nebo dřevem. Obložení bubnu se za účelem dalšího zlepšení třecích vlastností drážkuje (Obr. 12). Ohyb pásu přes buben způsobuje přídavné namáhání, které roste se zmenšujícím se průměrem bubnu. Minimální průměr bubnu je dán jako násobek tloušťky nosné vrstvy pásu a závisí na tom, je-li buben hnací nebo vratný a na materiálu nosných vrstev. [1]



Obr. 12: Poháněcí buben s drážkovaným pryžovým obložením [12]

Napínání pásu zajišťuje přenos sil z hnacího bubnu na pás a omezuje prověšení pásu mezi válečkovými stolicemi. Velikost napínací síly závisí na tahových silách ve větvi nabíhající na poháněcí buben a ve větvi z něj sbíhající, dopravní výšce a délkové hustotě pásu. Napínání pásu je realizováno jako tuhé, s konstantní napínací silou nebo s ručně nebo automaticky regulovatelnou silou. Tuhé napínání je realizováno pomocí šroubů (Obr. 13) nebo ručních kladkostrojů a používá se pro krátké dopravníky do 30 m a dopravníky s pásy s vložkami z ocelových lan. Provedení napínání se provádí pohybem vratného bubnu. K napínání konstantní napínací silou se používá závaží. Pro co nejmenší hmotnost

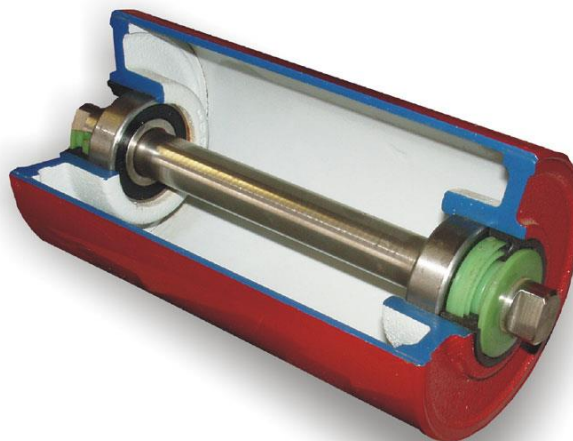
napínacího závaží je pás napínán v místech nejmenšího tahu. Regulace napínací síly pro třetí případ napínání může být pneumatická, elektrická nebo elektrohydraulická. [1]



Obr. 13: Tuhé napínání pásu pomocí šroubů [13]

Přezové pásy se skládají z nosných vložek, které přenášejí tahové síly a jsou spojeny pryžovými vrstvami a obaleny ochrannými krycími pryžovými vrstvami. Počet nosných vložek se pohybuje od jedné do sedmi a je dán požadovanou pevností pásu a jejich materiál jsou buď přírodní nebo syntetická vlákna nebo ocelová lana, která jsou podélně zavulkanizovaná do pásu. Pro speciální účely existují například pásy odolávající kyselinám a louchům, nebo nehořlavé či elektricky vodivé pásy. [1]

Válečky, jejichž funkcí je podírat a vést pás dopravníku, jsou uloženy ve válečkové stolici a tím vytvářejí požadovaný ložný průřez. Požadované vlastnosti válečků jsou malý odpor vůči otáčení, malá hmotnost, jednoduchá konstrukce, dokonalá těsnost proti vnikání nečistot, vyváženost a nenáročná údržba. Konstrukce válečků se podobá bubnům. Jedná se opět o svařenec, jehož válcovitý plášť je tvořen skruženým plechem. V čelech válečků jsou uložena jednořadá kuličková ložiska, vniku nečistot brání těsnění. Dávka mazacího tuku je taková, aby byla postačující po celou životnost válečků. [1] Řez válečkem je na Obr. 14.



Obr. 14: Řez válečkem pásového dopravníku [14]

Nosné válečkové stolice udávají tvar ložného průřezu a upevňují se na nosnou konstrukci dopravníku. Rozteč stolic závisí na druhu dopravovaného materiálu, šířce pásu a ložném profilu. Volí se na základě dovoleného prověšení pásu. Vzdálenost stolic v zátěžné větvi je menší v místech přivádění materiálu a místech konvexních oblouků. V místě dopadu materiálu lze místo válečkových stolic použít dopadové lože (Obr. 15). Ve vratné větvi je vzdálenost stolic výrazně větší a stolice jsou většinou jednoválečkové. [1] Stolice zátěžné větve jsou jednoválečkové v případě plochých pásů a dvouválečkové nebo tříválečkové (Obr. 16) u pásů korýtkových. Dvouválečkové stolice se používají pro šířky pásu od 400 mm do 650 mm. [16]



Obr. 15: Dopadové lože pro korýtkový pás [15]



Obr. 16: Tříválečková stolice tvořící korýtko pásu [17]

Čištění pásu je v případě suchého materiálu, který neulpívá na pásu, možné řešit škrabkou s pryžovou hranou (Obr. 17), která je na pás přitlačována závažím nebo pružinou. Pás lze čistit také použitím rotačního čističe nebo kartáče, který může být ocelový nebo lépe nylonový, aby nedocházelo k odírání pásu. Kartáč se otáčí ve směru pohybu pásu a jeho

obvodová rychlost by měla být o 20 % vyšší, než je obvodová rychlost pásu. V případě silně ulpívajících materiálů se používají kotoučové a šikmé válečky ve vratné větvi. [1]



Obr. 17: Odpružený lamelový stěrač [18]

Pásový dopravník je vzhledem k jeho jednoduchosti, téměř univerzálnímu použití a příznivé ceně vhodný jako základní dopravní člen navrhované plnicí stanice. Výhodou je hlavně možnost snadného přizpůsobení a to, že může být použit pro proměnné rozměry částic materiálu.

4.9. Článekové dopravníky

Jedná se opět o mechanické dopravníky. Jejich dopravním prostředkem jsou oběžné řetězy s články. Tvar článků a jejich uspořádání jsou dány dopravovaným materiálem a účelem použití. Možnosti použití článkových dopravníků (Obr. 18) jsou široké jak pro kusové materiály, tak pro sypké hmoty. Hlavní výhodou článkových dopravníků je možnost přizpůsobení tvaru a materiálu článku dané aplikaci, čímž se tento druh dopravníků stává všestranný. Používány jsou často tam, kde nelze řešit transport pomocí pásového dopravníku, oproti kterému jsou článkové dopravníky dražší. [1]

Maximální sklon článkových dopravníků může být i větší než 60°, je ale podmíněn použitím komorových článků. Pokud jsou články ploché nebo s postranicemi, je maximální úhel sklonu 20°. Kvůli vyšší ceně bývají článkové dopravníky používány pro velké objemové toky. Provedení článkových dopravníků jsou stabilní, pojízdná i přenosná. Tvary článků mohou být latkové, ploché, s postranicemi a komorové. Článekový pás je tvořen tažným orgánem, články a podpěrnými kladkami. Kluzné vedení pásu je vhodné jen pro lehké materiály a krátké vzdálenosti. V opačných případech je používáno vedení valivé, které vyžaduje tuhou nosnou konstrukci dopravníku. [1]



Obr. 18: Varianta článkového dopravníku pro dopravu třísek od obráběcích strojů [19]

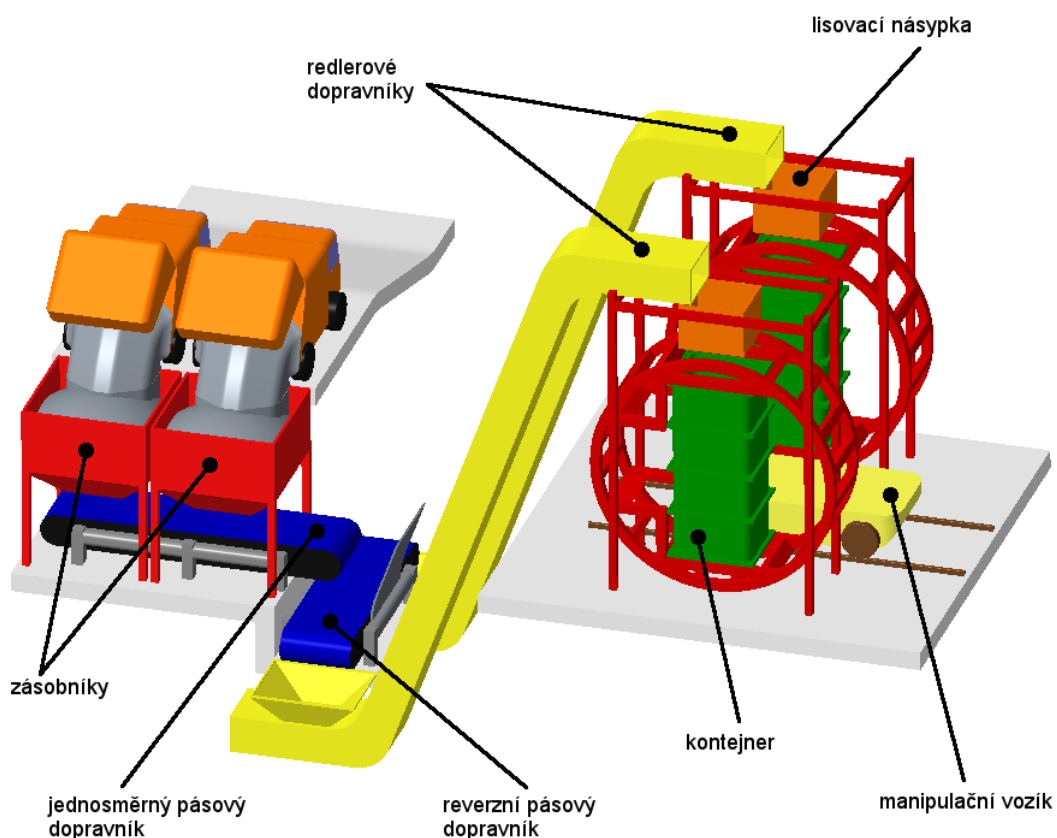
Článkový dopravník lze použít pro přepravu komunálního odpadu. Vzhledem k rozdílným velikostem a tvarům částic sice ztrácí článkové dopravníky svou hlavní výhodu, kterou je možnost optimalizovat tvary článků pro přepravovaný materiál, ale to nebrání jejich funkci. Navíc je možné docílit úhlu stoupání většího než 60° , a proto by bylo možné použít článkový dopravník i v úklonné části přepravy.

5. Návrh uspořádání plnicí stanice

Pro následující výpočty dopravníků je zásadní určit uspořádání plnicí stanice, ze kterého budou kromě použitých druhů dopravníků určeny potřebné délky a sklony dopravníků.

5.1. První varianta

Na Obr. 19 je zobrazena jedna z možností uspořádání plnicí stanice. Odpad vyváží vozidla svozu nad úroveň terénu a zásobníky jsou z části umístěny pod úrovní terénu. Jednosměrný pásový dopravník pod násypkami dopravuje komunální odpad ve vodorovném směru na reverzní pásový dopravník stejné šířky. Ten dále dopravuje materiál v jednom ze dvou směrů podle toho, který kontejner je připraven k plnění. Dalším dopravním členem je redlerový dopravník, který odpad vyváží nad úroveň terénu a dále až k lisovací násypce, která usměrní pád materiálu směrem do kontejneru a po jeho naplnění odpad stlačí. Kontejner se uzavře, otočí do horizontální polohy a manipulačním vozíkem se naloží na dopravní prostředek, který ho následně odváží do spalovny odpadů.

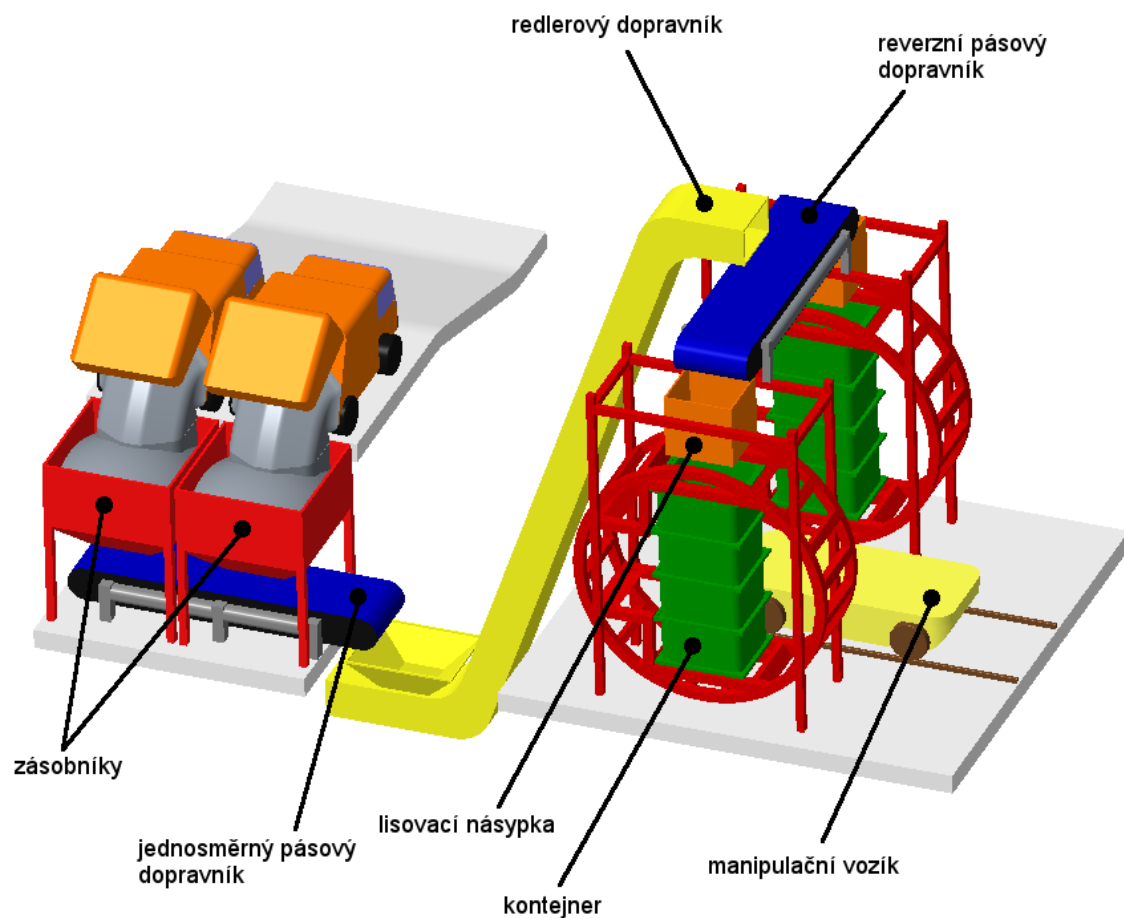


Obr. 19: První varianta uspořádání plnicí stanice [autor]

Nevýhodou tohoto uspořádání je použití dvou redlerů, které jsou nejdražšími dopravními členy navržené dopravníkové trati. Výhodou je naopak možnost chvilkového uskladnění materiálu v těchto dopravnících při výkonové špičce překladiště.

5.2. Druhá varianta

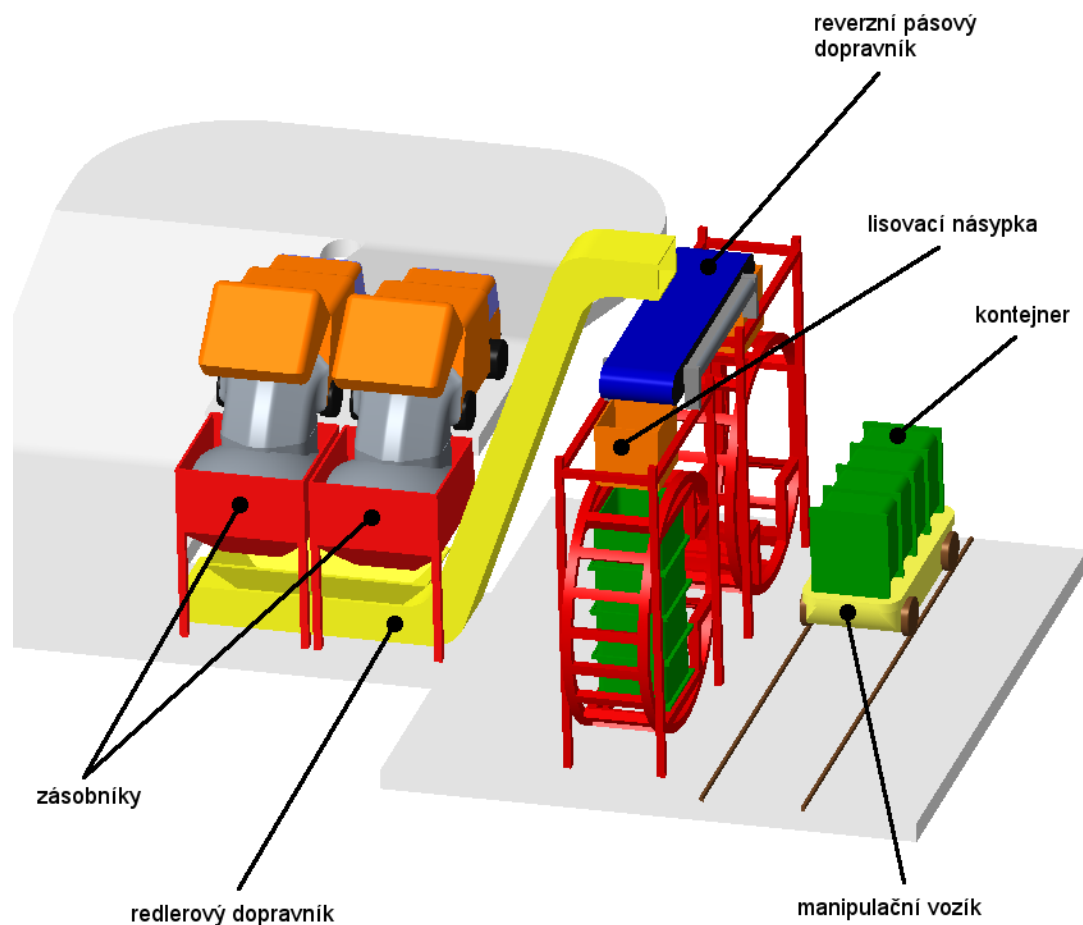
Další možností je umístění redlerového dopravníku přímo za jednosměrný pásový dopravník (Obr. 20). Rozdělení odpadu reverzním pásovým dopravníkem pak probíhá před lisovací násypkou. Tím dojde nejen k ušetření nákladů na redler, ale sníží se tím i zahloubení stanice. Nevýhodou je nutnost dopravovat materiál ještě výše, aby byl nad rozdělovacím dopravníkem dostatek místa pro dopravovaný materiál.



Obr. 20: Druhá varianta uspořádání plnicí stanice [autor]

5.3. Třetí varianta

Obr. 21 znázorňuje třetí variantu, u které jsou zásobníky uloženy na výškové úrovni okolního terénu. Dopravní linka se skládá pouze ze dvou členů, z nichž první je redlerový dopravník, který je umístěn přímo pod násypkami. Odpad je tímto dopravníkem vyvážen na reverzní pásový dopravník, který zastává stejnou funkci jako u předchozích možností uspořádání. Dalším rozdílem oproti předchozím návrhům rozmístění plnicí stanice je možné řešení pro případ, kdy ve volené lokalitě není možné umístit zařízení pro otáčení kontejnerů po obou stranách kolejí pro manipulační vozík. To by platilo buď z prostorových důvodů nebo v případě, kdy kolejová větev pro dopravní prostředek odvázející naplněné kontejnery z prostor plnicí stanice musí být zachována jako průjezdná a nemůže být slepá.



Obr. 21: Třetí varianta uspořádání plnicí stanice [autor]

Zásadní nevýhodou tohoto řešení je nutnost vyjíždět do značné výšky svozovými vozidly, pokud ve volené lokalitě nelze využít existujícího převýšení terénu. Výhodou této varianty je ušetření jednoho dopravního členu, které může při vhodném návrhu znamenat snížení nákladů a zkrácení dopravní cesty odpadu.

Ve všech navržených variantách se objevují pouze pásové a redlerové dopravníky. Redlery by bylo možné nahradit hrablovými dopravníky, což by ale znamenalo zmenšení úhlu sklonu a tím i prodloužení dopravní linky. Pro návrhové výpočty dopravníků volím první variantu, a to kvůli schopnosti uskladnit více materiálu během špičky vytíženosti

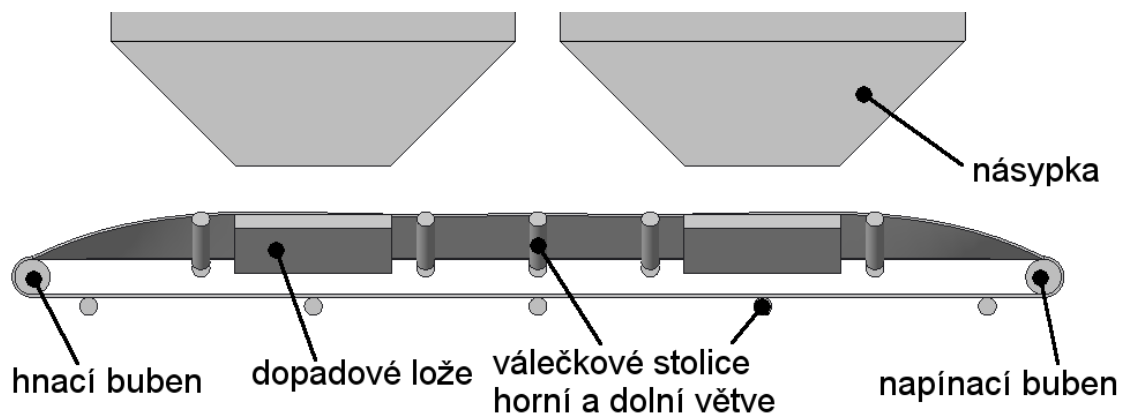
stanice. Navíc tato varianta umožňuje okamžité plnění kontejneru hned po přepnutí, a to díky umístění redlerů na konec. Po dobu, během které putuje materiál po rozdělovacím dopravníku, slouží pro redlery jako zdroj materiálu jejich vlastní zásobníky, umístěné přímo na těchto dopravnících. U zbylých dvou variant je koncovým členem rozdělovací pásový dopravník a přejezdem materiálu z jednoho konce na druhý dochází k časové prodlevě.

6. Návrh dopravníků

Zvolená varianta uspořádání se skládá z jednosměrného pásového dopravníku, reverzního pásového dopravníku a dvou paralelních redlerů. Pro tuto variantu následuje bližší návrh dopravníků a návrhové výpočty, které přibližně určí jejich rozměry, rychlosti a potřebné výkony pohonů.

6.1. Jednosměrný pásový dopravník

Prvním dopravním členem je jednosměrný pásový dopravník umístěný pod násypkami. Délka dopravníku je 9 m a materiál je ze zásobníků dopravován na pás volným pádem (Obr. 22). Pod násypkami jsou z tohoto důvodu umístěna dopadová lože, která tlumí rázy a chrání pás před protržením. Pás je čištěn dvěma vnějšími a jedním vnitřním stěračem. Napínání pásu je tuhé pomocí šroubů.



Obr. 22: Schéma k výpočtu pásového dopravníku [autor]

6.1.1. Potřebný objemový tok

Pro návrh dopravníku je určující čas vymezený na naplnění kontejneru. V rámci řešeného projektu byl stanoven čas na naplnění kontejneru a dolisování materiálu na šest minut. Větší část tohoto času bude strávena vlastním plněním. Aby byl pro dolisování odpadu do kontejneru dostatek času, pro naplnění jsem stanovil čas $t = 3,5 \text{ min} = 210 \text{ s}$. Pro předpokládaný objem kontejneru $V = 20 \text{ m}^3$ je pak požadovaný objemový tok

$$Q_V = \frac{V}{t} = \frac{20}{210} \doteq 0,0952 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}. \quad (1)$$

6.1.2. Volená rychlost pásu

Následuje volba rychlosti dopravníku. Vzhledem k nehomogenitám dopravovaného materiálu a proměnlivosti jeho vlastností je z normalizované řady rychlostí volena nízká dopravní rychlost $v = 0,63 \text{ ms}^{-1} (\doteq 2,27 \text{ km/h})$. [16]

6.1.3. Minimální potřebný průřez náplně a volba šířky pásu

Z objemového toku a rychlosti lze výpočtem podle [16] určit minimální potřebný teoretický průřez náplně A .

$$A = \frac{Q_V}{v} = \frac{0,0952}{0,63} \doteq 0,151 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Dalším krokem je výpočet průřezu náplně pásu [16] pro volené šířky pásu, které se pohybují na rozmezí od 1 400 mm do 2 000 mm. Vzhledem k velkému rozmezí hodnot sypného úhlu bude pro návrh dopravníku pro zajištění dostatečného objemového toku použit minimální sypný úhel 25° a pro zaručení jeho únosnosti naopak maximální hodnota 52° . Pro plochý pás platí výpočet průřezu materiálu dle [16]

$$A = \frac{1}{6} b^2 \tan \psi \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

kde ψ je sypný úhel dopravovaného materiálu a pro využitou ložnou šířku pásu platí

$$b = 0,9 B - 50 \text{ mm}, \quad (4)$$

kde B je šířka pásu. [16]

Pro korýtkový pás, který je na rozmezí volených šířek pásu tvořen vždy tříválečkovou stolicí, platí pro výpočet průřezu náplně pásu (Obr. 23) podle [16] následující vztahy.

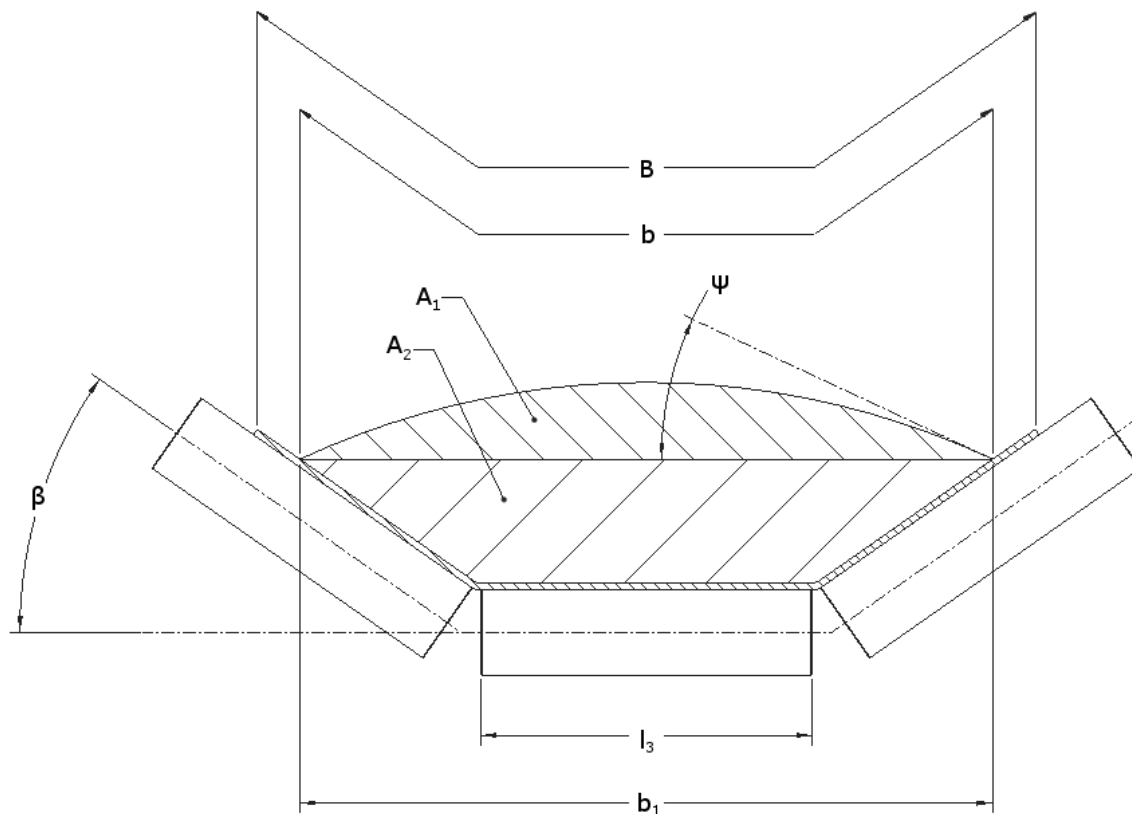
$$A = A_1 + A_2 \quad (5)$$

$$A_1 = 1,67 b_1^2 \tan \psi \cdot 10^{-7} \quad (6)$$

$$A_2 = 2,5(b_1^2 - l_3^2) \tan \beta \cdot 10^{-7} \quad (7)$$

$$b_1 = b \cos \beta + l_3(1 - \cos \beta) \quad (8)$$

A_1 je horní část průřezu, která závisí jak na geometrii a rozměrech stolice a pásu tak na sypném úhlu dopravovaného materiálu, a A_2 je dolní část průřezu, která teoreticky závisí pouze na geometrii korýtkového pásu. Reálný objem v obou těchto částech průřezu může být nepříznivě ovlivněn přítomností částic deskovitého tvaru o poměrně velké délce hrany, jako jsou například kartonové desky.



Obr. 23: Průřez náplně korýtkového pásu [autor]

Výsledky získané výpočty podle rovnic (3) až (8) pro volené rozmezí šířek jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Vypočítané minimální a maximální průřezy náplně pásu v závislosti na šířce pásu

B [mm]	β [°]	l_3 [mm]	Stolice			
			jednoválečková		tříválečková	
			A_{\min} [m ²]	A_{\max} [m ²]	A_{\min} [m ²]	A_{\max} [m ²]
1 400	30	530	0,114	0,312	0,238	0,408
1 600	35	600	0,150	0,412	0,330	0,542
1 800	35	670	0,192	0,526	0,422	0,691
2 000	35	750	0,238	0,653	0,524	0,859

Z těchto výsledků porovnáním s (2) vyplývá, že dostatečný objemový tok bude pro volenou rychlost zajištěn v případě použití pásu šířky 1 800 mm nebo 2 000 mm pro plochý pás a pro celé volené rozmezí šířek od 1 400 mm do 2 000 mm pro pás korýtkový. Podle [16] následuje kontrola šířky pásu se zřetelem na zrnitost materiálu. Pro netříděný materiál norma doporučuje pro volené šířky následující největší délky hran materiálu (Tab. 2), a to v případě ojedinělého výskytu kusů těchto rozměrů v množství do pěti procent z dopravovaného materiálu.

Tab. 2: Doporučené největší délky hrany netříděného materiálu podle šířky pásu [16]

Šířka pásu B [mm]	1 400	1 600	1 800	2 000
Největší délka hrany netříděného materiálu [mm]	600	675	750	800

Z možností řešení tedy vzhledem k tomuto doporučení odpadají šířky pásu 1 400 mm a 1 600 mm, aby byla zajištěna doprava větších kusů odpadu.

Pro dopravu komunálního odpadu je vzhledem k jeho měnícím se průměrným vlastnostem vhodnější použití korýtkového pásu. Tím dojde k omezení vlivu proměnného sypného úhlu díky nezávislosti části A_2 průřezu materiálu na této materiálové vlastnosti. Všechny další výpočty budou provedeny pro šířku pásu 1 800 mm, což je maximální dodávaná šířka pásu, jehož výběr je blíže popsán při výpočtu hlavních odporů.

6.1.4. Snížení rychlosti pásu, objemový tok a čas plnění

Podle velikosti průřezu náplně pásu je snížena rychlost pásu tak, aby byl objemový tok dostatečný. Pro nižší rychlost pásu $v = 0,25 \text{ ms}^{-1} (\doteq 0,9 \text{ km/h})$ volenou z normalizované řady je objemový tok při minimálním sypném úhlu 25° roven

$$Q_{Vmin} = v \cdot A_{min}^{3v} 1^{800} = 0,25 \cdot 0,422 = 0,1055 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad (9)$$

a z něj vyplývající maximální čas plnění kontejneru

$$t_{max} = \frac{V}{Q_{Vmin}} = \frac{20}{0,1055} \doteq 190 \text{ s} \doteq 3,16 \text{ min.} \quad (10)$$

6.1.5. Hlavní odpory

Podrobnější výpočet pásového dopravníku pokračuje určením hlavních odporů. Ty vychází ze zatížení způsobeného hmotností dopravovaného materiálu a hmotností pásu připadající na 1 m délky pásu. Maximální hmotnost materiálu na 1 m délky pásu je při maximálním sypném úhlu 52° vypočítána podle [16] jako

$$m_1 = \rho \cdot A_{max}^{3v} 1^{800} = 600 \cdot 0,691 = 414,6 \text{ kg m}^{-1} \quad (11)$$

kde ρ je sypná hmotnost.

Pro zjištění hmotnosti pásu na 1 m je nejprve nutná volba pásu. Podle [21] jsou pro dopravu odpadu vhodné olejivzdorné pryžové dopravní pásy, používané v čističkách odpadních vod, třídíčkách odpadů nebo recyklačních a kompostových závodech. Pro snížení tření na dopadovém loži je volen pás GUMEX EP 400/3 2+0 G-OIL s obnaženou spodní vložkou, jehož vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 3. Maximální dodávaná šířka tohoto pásu je 1 800 mm. [21]

Tab. 3: Základní vlastnosti voleného dopravníkového pásu [21]

Hmotnost 1 m pásu m_2 [kg]	Pevnost R_{mB} [N/mm]	Pracovní teplota [°C]	Tloušťka pásu d [mm]	Minimální průměr hnacího bubnu D [mm]
10,98	400	-25 ÷ +60	5,5	315

Z rozmezí pracovních teplot je zřejmé, že pás je vhodný pro celoroční venkovní používání. Pás je flexibilní a vhodný pro provoz na dopravníku s korýtkovým profilem.

Délka navrhovaného pásového dopravníku je $L = 9$ m a podle [22] bude vzhledem k této délce vypočtena obvodová síla potřebná na poháněcím bubnu ze vztahu

$$F_U = F_H + F_N + F_{S1} + F_{S2} + F_{St} \quad (12)$$

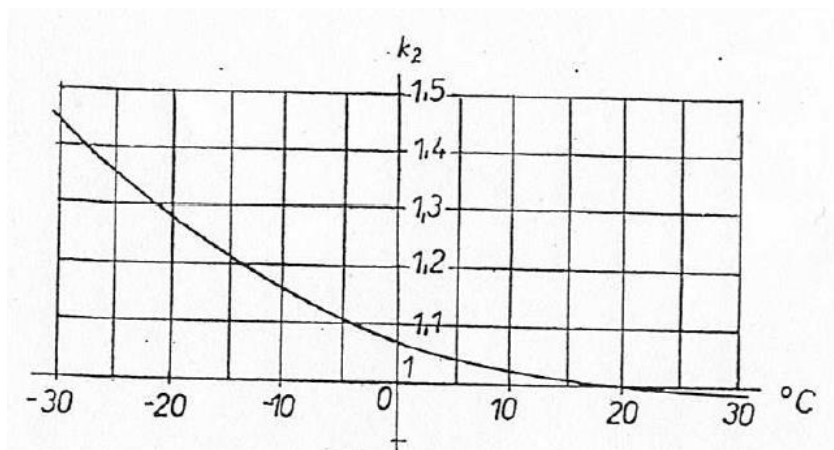
Pro výpočet hlavních odporů F_H dle [22] platí

$$F_H = f L g [q_{RO} + q_{RU} + (2q_B + q_G) \cos \delta], \quad (13)$$

kde je $m_1 = 414,6 \text{ kg m}^{-1} = q_G$, $m_2 = 10,98 \text{ kg m}^{-1} = q_B$ a globální součinitel tření f je vypočítaný ze vztahu

$$f = f_1 \cdot k_2 = 0,027 \cdot 1,35 \doteq 0,0365. \quad (14)$$

Globální součinitel tření při teplotě 20 °C je podle [16] vhodné volit jako $f_1 = 0,027$ pro případ značné kusovitosti materiálu a možnosti přetěžování transportéru. Teplotní součinitel $k_2 = 1,35$ vyjadřuje vliv teploty pro provoz dopravníku při mezní pracovní teplotě pásu -25 °C a jeho hodnota byla získána z diagramu na Obr. 24.



Obr. 24: Diagram závislosti teplotního součinitele na teplotě [16]

Tíhové síly od rotujících částí válečků připadající na 1 m délky dopravníku pro horní větev se určí podle [16] jako

$$q_{RO} = \frac{G_{rh} n_h}{t_h} = \frac{16,6 \cdot 3}{1,5} = 33,2 \text{ kp m}^{-1} \quad (15)$$

a v dolní větvi obdobně

$$q_{RU} = \frac{G_{rd} n_d}{t_d} = \frac{22,3 \cdot 2}{3} = 14,9 \text{ kp m}^{-1}, \quad (16)$$

kde $n_h = 3$ je počet válečků v horní stolici, $n_d = 2$ je počet válečků v dolní stolici, $t_h = 1,5$ m je volená rozteč stolic válečků v tažné větvi a $t_d = 3$ m volená rozteč stolic válečků ve vratné větvi dopravníku. Tíhové síly od rotujících částí válečku $G_{rh} = 16,6$ kp a $G_{rd} = 22,3$ kp byly zjištěny z [16].

Pro vodorovnou dopravu je cosinus úhlu sklonu dopravníku $\cos \delta = \cos 0^\circ = 1$, a pro hodnotu hlavních odporů tedy platí výpočet

$$F_H = f L g (q_{RO} + q_{RU} + 2q_B + q_G) = 0,0365 \cdot 9 \cdot 9,81 \cdot (33,2 + 14,9 + 2 \cdot 10,98 + 414,6) \doteq 1\,562 \text{ N} \quad (17)$$

6.1.6. Vedlejší odpory

Vedlejší odpory F_N zahrnují odpory setrvačných sil v místě nakládání a urychlování F_{bA} , odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením v oblasti urychlování F_f , odpor ohybu pásu na bubnech F_l a odpor v ložiskách bubnu F_t . Odpor setrvačných sil v místě nakládání a v oblasti urychlování je podle [22]

$$F_{bA} = Q_{Vmax} \rho (v - v_0) = v A_{max}^{3v} \rho (v - v_0) = 0,25 \cdot 0,691 \cdot 600 \cdot (0,25 - 0) \doteq 26 \text{ N} \quad (18)$$

pro složku rychlosti přiváděného materiálu ve směru dopravy $v_0 = 0$.

Odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením v oblasti urychlování F_f je vzhledem k charakteru nakládání materiálu na pás zanedbán. Odpor ohybu pásu na bubnech je vypočten podle [22] jako

$$F_l = 9B \left(140 + 0,01 \frac{F}{B} \right) \frac{d}{D} = 9 \cdot 1,8 \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{2\,500}{1,8} \right) \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{0,315} \doteq 44 \text{ N} \quad (19)$$

kde hodnota pro průměrný tah v pásu na bubnu $F = 2\,500$ N byla pro účely výpočtu předběžně odhadnuta, $d = 5,5 \cdot 10^{-3}$ m je tloušťka pásu a $D = 0,315$ m je průměr bubnu.

Poslední z vedlejších odporů je odpor v ložiskách vratného bubnu, jehož výpočet závisí na detailním provedení dopravníku. Pro stanovení jeho hodnoty byl průměr hřídele v ložisku odhadnut na $d_0 = 0,06$ m a vektorový součet tahů v pásu působících na bubnu a tíhových sil hmot otáčejících se částí bubnu byl odhadnut na $F_T = 4\,000$ N. Z těchto hodnot a výpočtového vztahu z [22] vyplývá hodnota tohoto odporu

$$F_t = 0,005 \frac{d_0}{D} F_T = 0,005 \cdot \frac{0,06}{0,315} \cdot 4\,000 \doteq 4 \text{ N} \quad (20)$$

Celková hodnota vedlejší odporů je tedy

$$F_N = F_{bA} + F_l + F_t = 26 + 44 + 4 = 74 \text{ N} \quad (21)$$

6.1.7. Přídavné odpory a odpor k překonání dopravní výšky

Další člen uvedený v rovnici (12) jsou přídavné hlavní odpory F_{S1} , které zahrnují odpor válečků vychýlených ve směru pohybu pásu a odpor tření o boční stěny násypky nebo bočního vedení, je-li po celé délce dopravníku. [22] První z těchto odporů je zanedbán vzhledem k malé délce dopravníku, druhý se nevztahuje na daný návrh, jelikož boční vedení není u dopravníku použito.

Člen F_{S2} vyjadřuje v rovnici (12) přídavné vedlejší odpory. Mezi ně patří odpory čističů pásu a bubnu, odpor tření o boční stěny násypky nebo bočního vedení, je-li pouze v části délky dopravníku, odpor shrnovačů dopravované hmoty z pásu a odpor shazovacího vozu. [22] Shazovací vůz, shrnovače a boční vedení materiálu nejsou součástí navrženého dopravníku, a proto jsou tyto odpory nulové. Pro odhad odporů čističů pásu bude použit výpočet podle [22]

$$F_r = n_\xi A p \mu_3 = 3 \cdot 1,65 \cdot 0,002 \cdot 6 \cdot 10^4 \cdot 0,4 \doteq 238 \text{ N} = F_{S2} \quad (22)$$

kde $n_\xi = 3$ je počet čističů pásu, $A = (1,65 \cdot 0,002) \text{ m}^2$ je odhadnutá dotyková plocha mezi pásem a čističem pásu, $p = 6 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ je tlak mezi čističem pásu a pásem volený podle [22] a součinitel tření mezi pásem a čističem pásu $\mu_3 = 0,4$ byl odhadnut podle [23].

Poslední člen rovnice (12) je odpor k překonání dopravní výšky F_{St} , který je v případě vodorovného dopravníku nulový.

6.1.8. Obvodová síla a potřebný výkon motoru

Obvodová síla je tedy rovna

$$F_U = F_H + F_N + F_{S1} + F_{S2} + F_{St} = 1\,562 + 74 + 0 + 238 + 0 = 1\,874 \text{ N} \quad (23)$$

Potřebný výkon elektromotoru pohánějícího dopravník se stanoví z vypočtené obvodové síly a volené rychlosti dopravníku výpočtem podle [22].

$$P_{Mmin} = \frac{F_U \cdot v}{\eta} = \frac{1\,874 \cdot 0,25}{0,85} \doteq 552 \text{ W} = 0,552 \text{ kW} \quad (24)$$

Takto vypočtený výkon je vhodný pro velký nárůst sil při rozběhu zatíženého pásu navýšit jeho vynásobením koeficientem rozběhu $\xi = 1,6 \div 2$.

Pro přenos obvodové síly z hnacího bubnu na pás je nutné, aby minimální tahová síla ve sbíhající větvi byla dle [22]

$$F_{2min} \geq \xi F_U \frac{1}{e^{\mu\varphi} - 1} = 1,8 \cdot 1\,874 \cdot \frac{1}{e^{0,4 \cdot \pi} - 1} \doteq 1\,343 \text{ N} \quad (25)$$

kde $\xi = 1,8$ je součinitel zohledňující nárůst obvodové síly při rozběhu oproti ustálenému stavu a jeho hodnota byla volena podle [22], úhel opásání je $\varphi = 180^\circ = \pi$ rad a součinitel tření $\mu = 0,4$ byl volen podle [22].

6.1.9. Největší tahová síla v pásu, pevnostní kontrola pásu

Největší tahová síla v pásu je podle [22]

$$F_{max} = F_U \xi \left(\frac{1}{e^{\mu\varphi} - 1} + 1 \right) = 1\,874 \cdot 1,8 \cdot \left(\frac{1}{e^{0,4\pi} - 1} + 1 \right) \doteq 3\,782\,N \quad (26)$$

Pevnostní kontrola pásu pak vychází z porovnání

$$R_{mB} = 400 \cdot 1800 = 720\,000\,N > F_{max} = 3\,782\,N \quad (27)$$

Volený pás tedy vyhovuje nejen ze strany požadavků na odolnost proti chemickému působení dopravovaného materiálu, ale i po pevnostní stránce.

6.1.10. Napínací síla a tahové síly F_1 a F_2

Pro zjištění napínací síly je určující sklon dopravníku a umístění pohonu. Pro pohon na přepadávacím konci a vodorovný pás platí podle [16]

$$Z = 2 \cdot F_{2min} \cdot 1,1 = 2 \cdot 1\,343 \cdot 1,1 \doteq 2\,955\,N \quad (28)$$

Z této hodnoty se určí tahová síla v horní větvi pásu podle [16] jako

$$F_1 = \frac{Z}{2} + F_U = \frac{2\,955}{2} + 1\,874 \doteq 3\,352\,N \quad (29)$$

a tahová síla v dolní větvi pásu také dle [16] jako

$$F_2 = \frac{Z}{2} = \frac{2\,955}{2} \doteq 1\,478\,N \quad (30)$$

6.2. Reverzní pásový dopravník

Délka reverzního pásového dopravníku $L = 7,5\,m$ je srovnatelná s délkou jednosměrného pásového dopravníku. Pro zajištění stejného objemového toku je stejná rychlost pásu i jeho šířka. Konstrukční řešení dopravníku je stejné a rozdíly v jednotlivých odporech jsou minimální. Pro řešení reverzního pásového dopravníku tedy lze použít výsledky jednosměrného pásového dopravníku z 6.1.

6.3. Redlerové dopravníky

Koncové členy dopravní linky jsou redlerové dopravníky. Při uvažovaném uložení dopravníku v hloubce dvou metrů pod úroveň terénu je výška, kterou bude dopravník překonávat, 10,2 metru. Objemový tok redlerovým dopravníkem musí odpovídat maximálnímu objemovému toku jednosměrného pásového dopravníku, neboli

$$Q_V = v_p A_{max}^{3v} 1^{800} = 0,25 \cdot 0,691 \doteq 0,1728 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad (31)$$

kde v_p označuje rychlost pásu z 6.1.

Při volené šířce žlabu dopravníku $b = 1,8 \text{ m}$ a podle [1] volené rychlosti řetězu $v_{or} = 0,25 \text{ m s}^{-1}$ a součinitelích $c_V = v/v_{or} = 0,8$ a $c_p = 0,95$ je výsledná celková výška vrstvy dopravovaného materiálu h_C podle [1] rovna

$$h_C = \frac{Q_V}{v_{or} c_V c_p b} = \frac{0,1728}{0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 1,8} \doteq 0,51 \text{ m} \quad (32)$$

Odhad potřebného příkonu pohonu se pro kombinovaný redler provede dle [1] ze vztahu

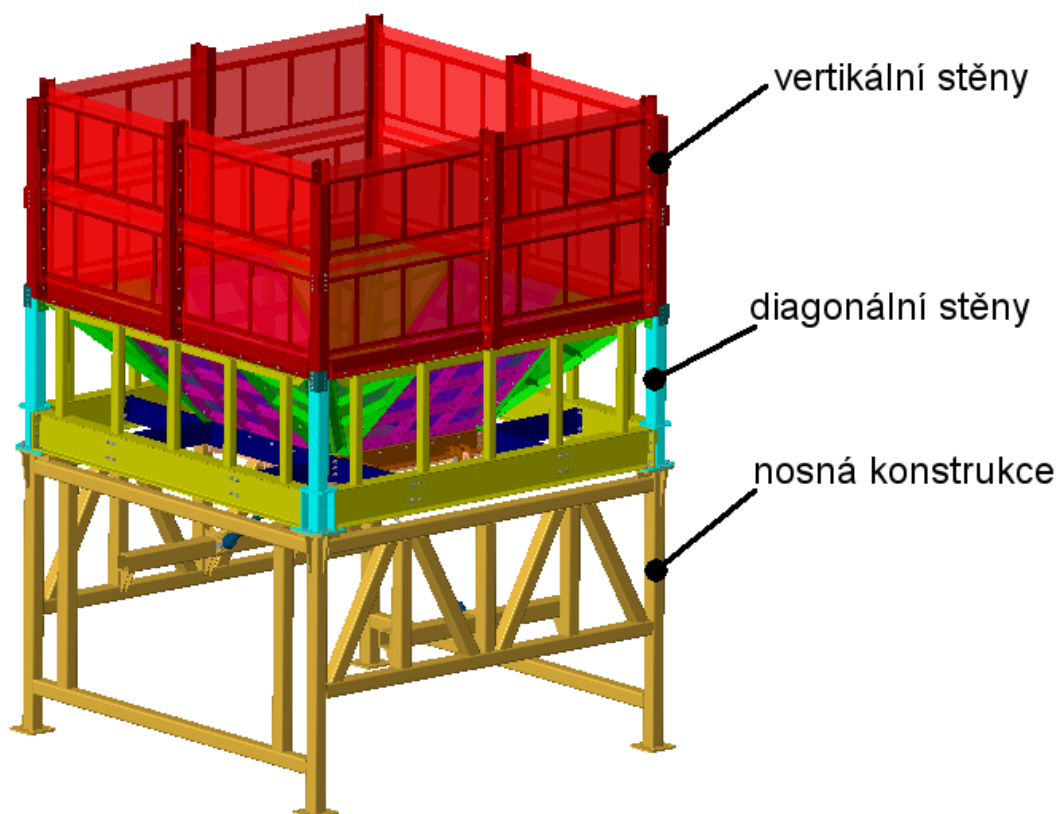
$$\begin{aligned} P_M &= g[Q_V \rho(l_V w + h) + 2q_p l_{0V} w v_{or} c_V] = \\ &= 9,81[0,1728 \cdot 600(10 \cdot 1,1 + 10,2) + 2 \cdot 80 \cdot 10 \cdot 1,1 \cdot 0,25 \cdot 0,8] = \\ &\doteq 25\,020 \text{ W} = 25,02 \text{ kW} \end{aligned} \quad (33)$$

kde $l_V = 10 \text{ m}$ je vodorovný průmět dopravní délky, $w = 1,1$ je součinitel celkového odporu, jehož hodnota byla volena podle [1], $h = 10,2 \text{ m}$ je dopravní výška, $q_p = 80 \text{ kg m}^{-1}$ je odhadovaná hmotnost jednoho metru řetězu s unášeči a $l_{0V} \approx l_V = 10 \text{ m}$ je vodorovný průmět dopravníku.

Výpočty všech dopravníků slouží jako orientační a skutečné hodnoty potřebných výkonů závisí na detailním konstrukčním provedení výrobce.

7. Návrh násypky

Hlavní částí této diplomové práce je návrh násypky pro uskladnění komunálního odpadu v prostorách plnicí stanice. Násypka byla navržena jako modulární s požadavkem na minimální objem uskladněného materiálu v zásobnicích plnicí stanice 40 m^3 . Návrh násypky je pro přehlednost rozdělen na několik dílčích částí podle Obr. 25.

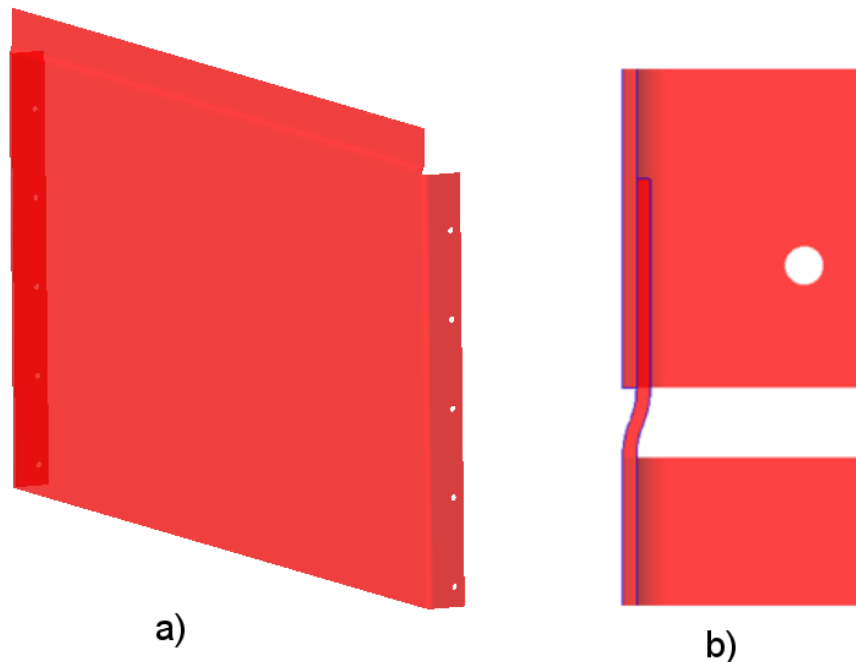


Obr. 25: Celková sestava násypky na komunální odpad [autor]

Násypka byla navržena tak, aby v případě poškození některé stěny byla umožněna poměrně snadná výměna poškozené části za novou. Objem násypky na Obr. 25 je 22 m^3 , její výška je 5,1 m a šířka i délka jsou 3,6 m. Pro dosažení dostatečného úložného prostoru pro odpad budou nad jednosměrným pásovým dopravníkem umístěny dvě násypky vedle sebe, což v případě poškození jedné z násypek nebude znamenat úplné zastavení činnosti plnicí stanice.

7.1. Návrh vertikálních stěn

Svislé stěny násypky jsou tvořeny plechy o tloušťce stěny 4 mm (Obr. 26 a), jejichž tvar byl navržen tak, aby každý plech zapadal do plechu pod sebou a kapaliny obsažené v komunálním odpadu nezatékaly působením tíhové síly do mezer mezi plechy (Obr. 26 b). Tímto tvarovým ohybem plechu a zdvojnásobením tloušťky stěny v místě překryvu plechů dojde ke zmenšení průhybu stěn vlivem silového působení od odpadu v násypce nebo větru, pokud je násypka prázdná. Šířka plechu je 1 600 mm a výška plechu je 830 mm.

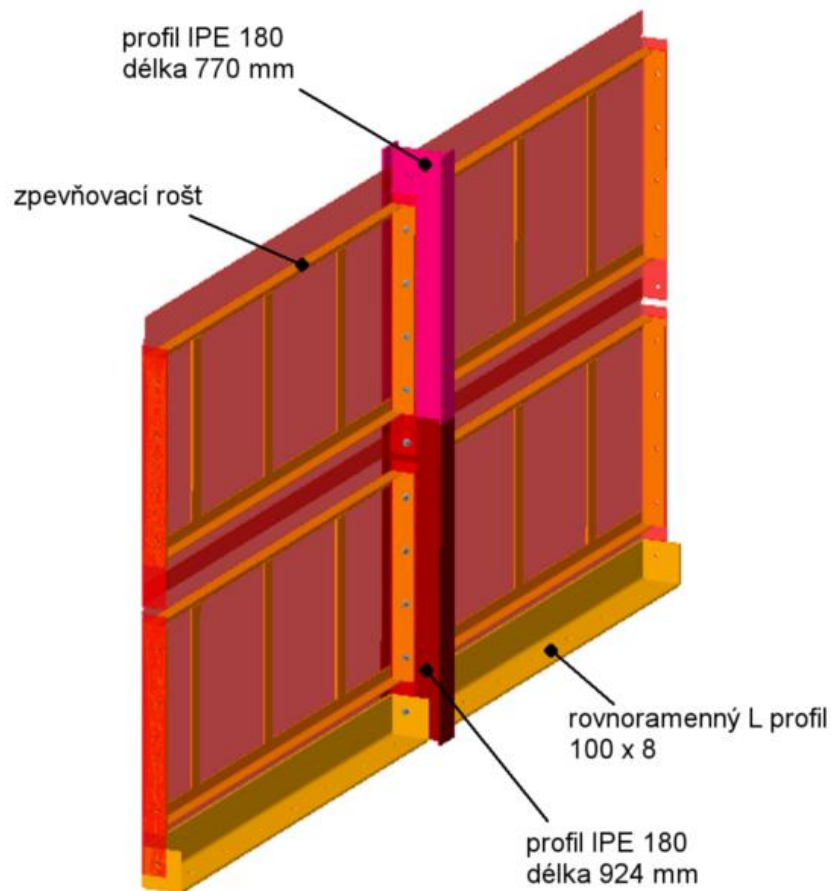


Obr. 26 Tvar plechu vertikálních stěn [autor]

Sousedící plechy v jedné stěně jsou k sobě spojeny pomocí profilů IPE 180 (Obr. 27). Tyto profily jsou uloženy vůči plechům s přesahem, a tím zajišťují spojení mezi jednotlivými výškovými vrstvami plechů. Délka těchto profilů je 770 mm a byla navržena tak, aby odpovídala vzdálenosti od dolní hrany plechu stěny k dolní hraně nad ním umístěného plechu. Tím je zajištěna modularita násypky ve vertikálním směru, jelikož přidání nového patra plechů za účelem zvětšení objemu násypky znamená pro spojovací a nosnou konstrukci z profilů jednoduše přidání nové vrstvy profilů.

Pro uložení vertikálních stěn na další konstrukci pod nimi je v dolní vrstvě použit stejný profil IPE o rozdílné délce 924 mm, na který jsou přišroubovány svařence z rovnoramenných profilů L 120 x 8 a desek bočnic o tloušťce 8 mm. Plechy jsou z vnější strany stěny vyztužené svařovanými rošty z rovnoramenných profilů L 40 x 4 a plochých tyčí 50 x 6 a 65 x 8.

Sešroubování stěn je provedeno šrouby se šestihrannou hlavou s límcem M10 podle normy DIN 6921, které jsou díky límci vhodné pro spojování plechů. Ze stejného důvodu byly pro spojení voleny matice s límcem DIN 6923.

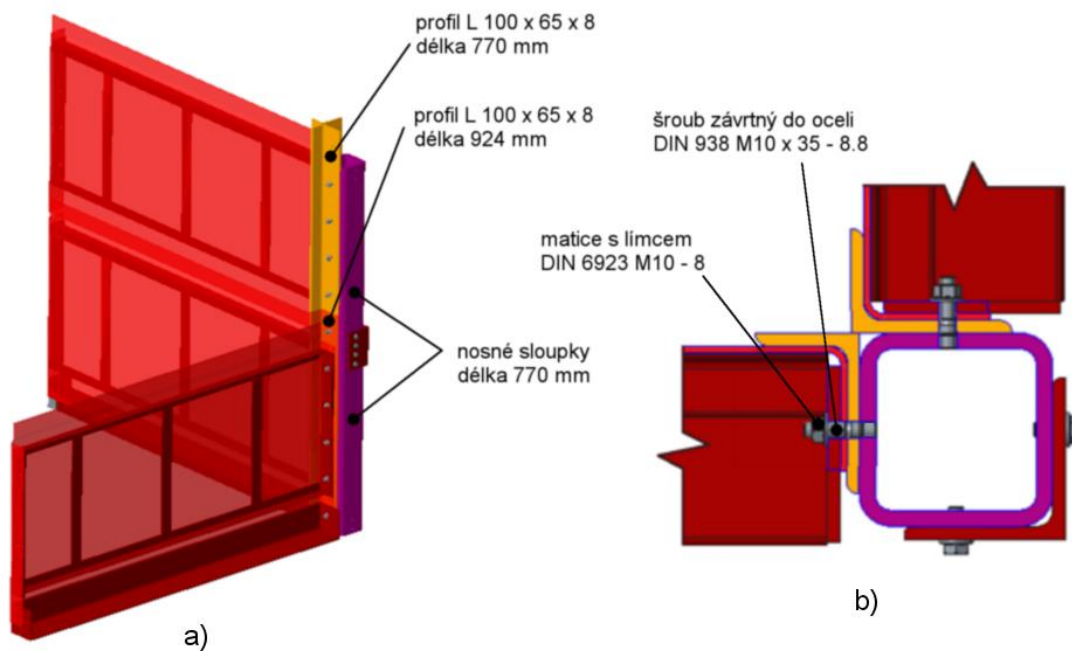


Obr. 27: Spojení vertikálních stěn prostřednictvím profilu IPE [autor]

Přípevnění jedné stěny ke druhé v rozích, které znázorňuje Obr. 28 a), je provedeno opět použitím profilů. Nosné sloupky v rozích jsou tvořeny uzavřenými čtvercovými profily o hraně 120 mm a tloušťce stěny 10 mm, jejichž délka je také 770 mm. V těchto profilech jsou závitové díry pro závrtné šrouby M10, pomocí kterých jsou k nosným sloupkům připevněny profily L 100 x 65 x 8, plechy stěn a zpevňovací rošty (Obr. 28 b).

Délka L profilů je stejně jako u profilů IPE 180 v dolním patře 924 mm a v ostatních patrech 770 mm. Funkce těchto profilů spočívá hlavně v utěsnění relativně velkých mezer vzniklých v rozích mezi spojovanými plechy kvůli ohybové geometrii plechu.

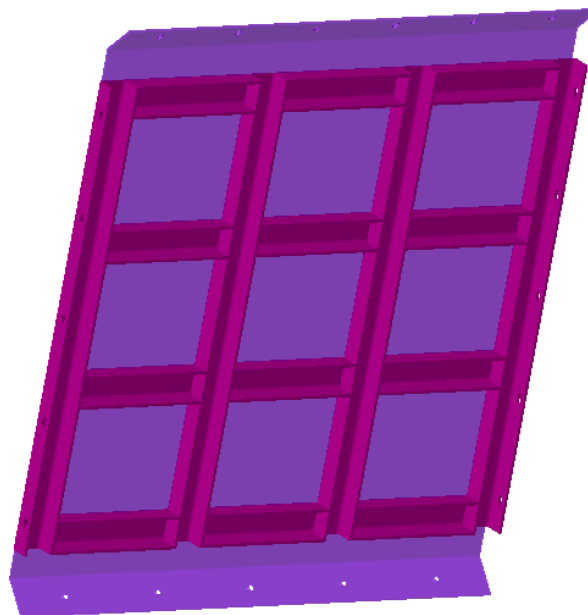
Dotěsnění vertikálních stěn s účelem zamezit úniku hnilobných i jiných kapalin a případných kyselin, které se budou ve směsném komunálním odpadu vyskytovat, do okolí plnicí stanice je zajištěno pomocí silikonu. Ten je nanášen do spár mezi jednotlivými do sebe zapadajícími plechy, mezi profily a plechy ve všech místech styku na vnitřní stěně násypky a mezi na sebe dosedajícími profily IPE 180 a L 100 x 65 x 8, které také tvoří vnitřní stěnu násypky.



Obr. 28: Spojení vertikálních stěn v rozích násypky [autor]

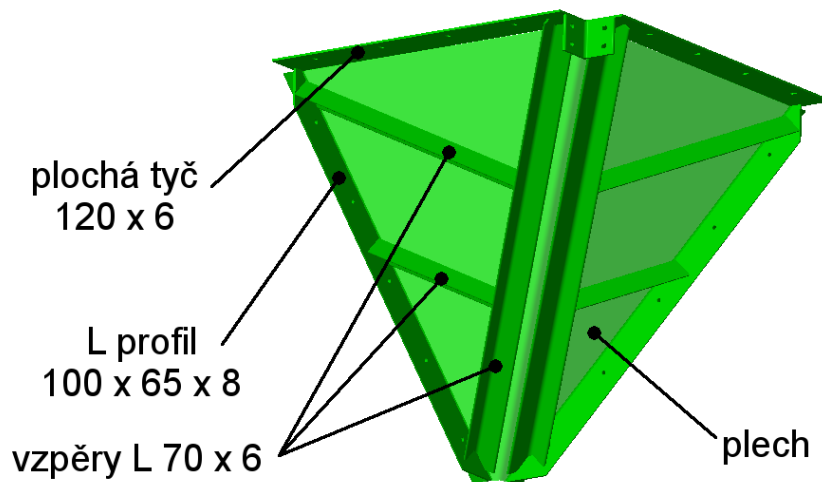
7.2. Návrh diagonálních stěn

Svislé stěny dosedají na stěny diagonální, které svírají s vertikálními stěnami úhel 45° . Tyto šikmé stěny jsou opět tvořené plechy, ale z důvodů většího namáhání a dopadání materiálu přímo na diagonální stěny je tloušťka těchto plechů 6 mm a ze stejných důvodů jsou na jejich spodní stěně navařeny profily UPE 80. (Obr. 29)



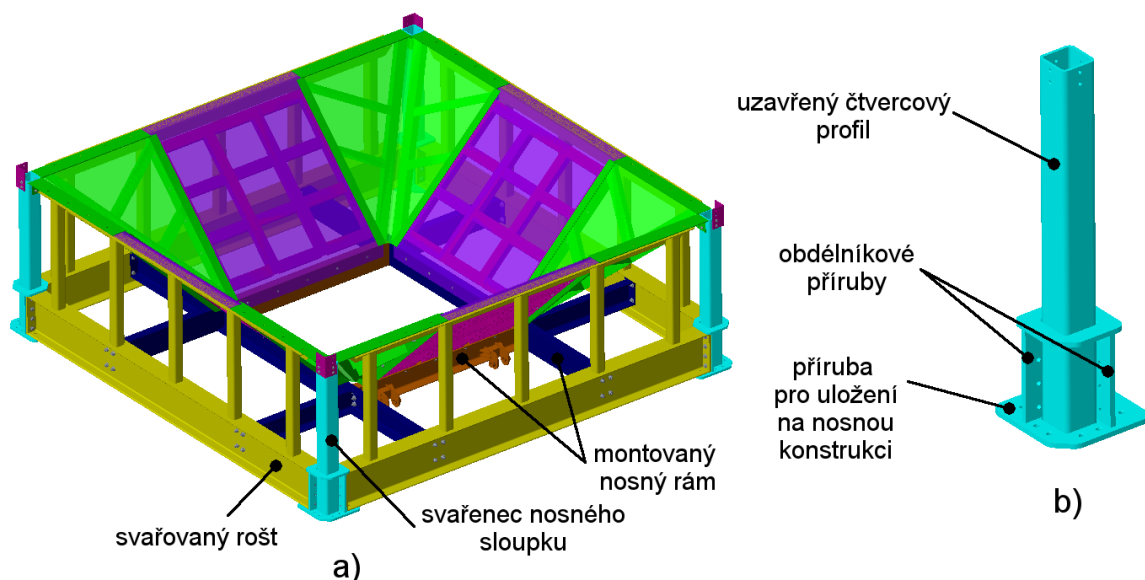
Obr. 29: Svařenec plechu pro diagonální stěny [autor]

V rozích je použit plech stejné tloušťky, který je navařen do rámu, svařovaného z plochých tyčí o průřezu 120 mm na 6 mm a L profilů 100 x 65 x 8 pro zajištění montáže k okolním stěnám a rovnoramenných L profilů 70 x 6, které slouží jako vzpěry pro vyztužení. (Obr. 30)



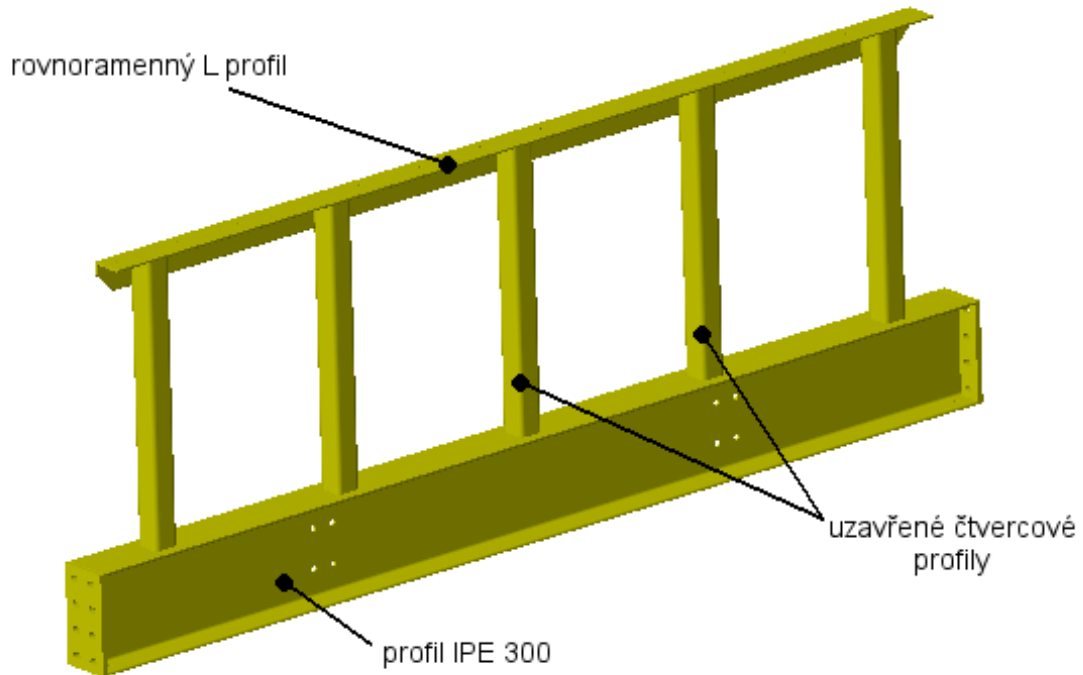
Obr. 30: Rohový svařenec pro diagonální stěny [autor]

Rohové svařence jsou montovány k plechům tvořícím šikmé stěny opět pomocí šroubů a matic s límcem. Montážní sestava diagonálních stěn (Obr. 31 a) dále obsahuje svařovaný nosný sloupek, který je stejně jako u stěn vertikálních tvořen uzavřeným čtvercovým profilem o hraně 120 mm a tloušťce stěny 10 mm. Na tento profil jsou navařeny dvě obdélníkové příruby o tloušťce 18 mm, ve kterých jsou závitové díry M16 pro další montáž a jedna příruba o tloušťce stěny 16 mm sloužící pro uložení sestavy diagonálních stěn na nosnou konstrukci násypky. (Obr. 31 b)



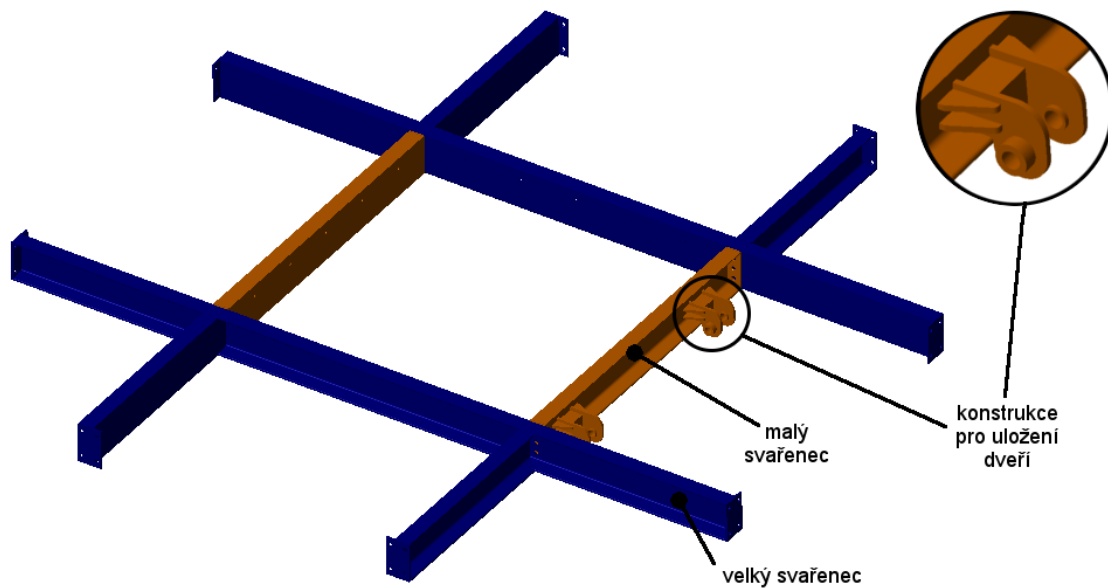
Obr. 31: Sestava diagonálních stěn a svařenec nosného sloupku [autor]

K přenosu silového působení ze stěnových plechů na nosnou konstrukci je použit svařovaný rošt (Obr. 32), tvořený z nosníku IPE 300, uzavřených čtvercových profilů 80 x 8 a rovnoramenného L profilu 100 x 8. Na L profil jsou uloženy stěny tvořící svařence a skrz ně je pak celá sestava vertikálních stěn montována k sestavě diagonálních stěn pomocí čtrnácti šroubů s šestihrannou hlavou s límcem velikosti M10 v každé ze čtyř stěn. Konce profilu IPE jsou ke svařenci nosného sloupku přišroubovány pomocí osmi šroubů M16 na každé straně.



Obr. 32: Svařovaný rošt [autor]

V dolní části jsou šikmé stěny přišroubovány k montovanému nosnému rámu (Obr. 33), tvořenému z profilů UPE 180, jejichž tvar umožňuje snadný přístup při montáži. Tento rám je montován ze dvou velkých a dvou malých svařenců. V sestavě šikmých stěn je rám přišroubován k profilům IPE 300 čtyř svařovaných roštů. Velké svařence, v sestavě nosného rámu uloženy jako protilehlé, se skládají z hlavního profilu o délce 3 374 mm a dvou do něj navařených profilů délky 964 mm. Malé svařence tvoří profil délky 1 414 mm a na něj navařené plechové výpalky pro panty dveří násypky, do jejichž otvorů jsou navařena futra pro čepy.



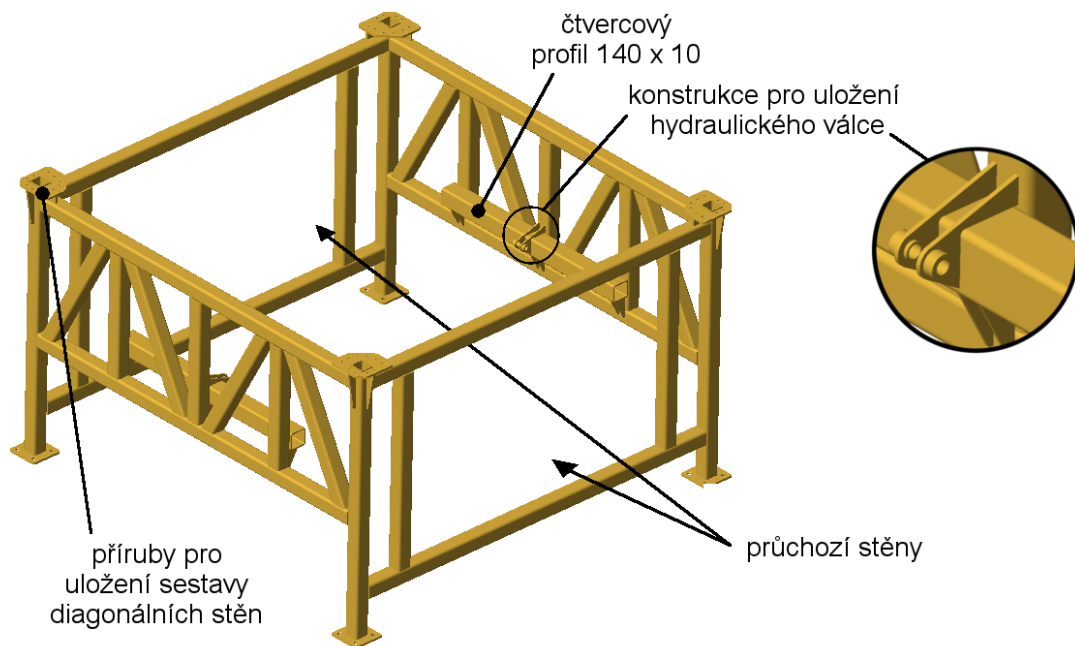
Obr. 33: Nosný rám [autor]

Vnitřní strana šikmých stěn je, stejně jako svislé stěny, dotěsněna pomocí silikonu, nanášeného do všech spár mezi rovnými stěnami a rohovými svařenci a nosným rámem v okolí otvoru pro výsyp materiálu. Po montáži vertikálních stěn k diagonálním se opět dotěsní silikonem.

Přímo pod násypkou je nutné vytvořit odtokový kanál pro kapaliny, které buď protekly násypkou nebo ztekly z pásu dopravníku. Podobný odtok se pak musí vyskytovat i pod reverzním dopravníkem ze stejných důvodů. Oba tyto kanály by měly vést do nádrže, odkud bude nutné kapaliny čerpat. Pro zabránění ucpání těchto odtoků zbytky odpadů je možné použít jako síto běžně dostupné podlahové rošty.

7.3. Nosná konstrukce

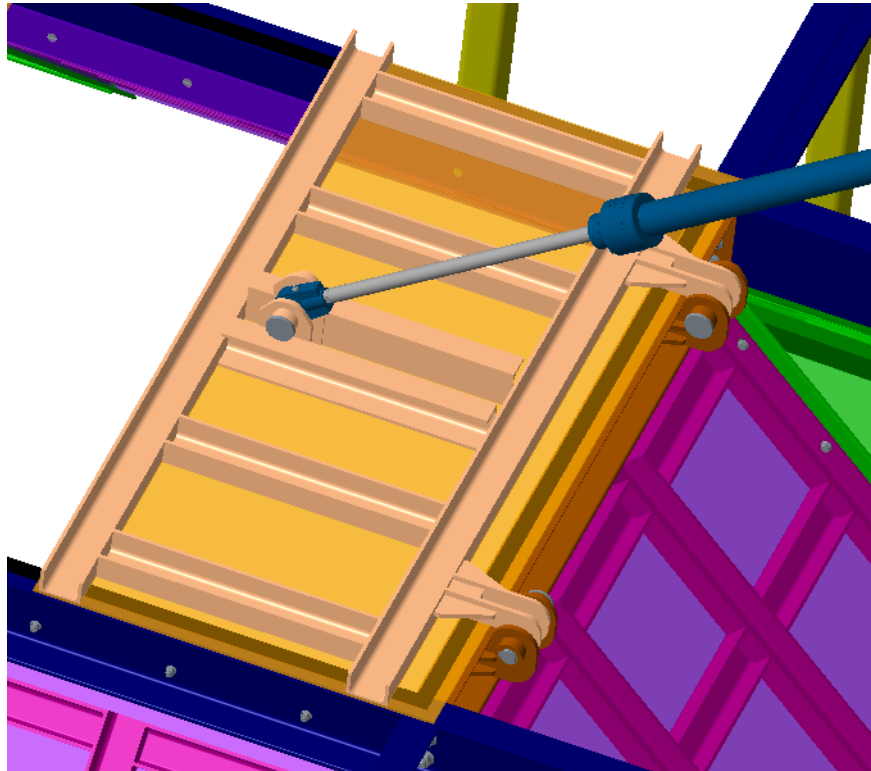
Další částí navržené násypky je nosná konstrukce (Obr. 34), svařovaná převážně ze čtvercových uzavřených profilů 120 x 10, které byly u vertikálních a diagonálních stěn použity jako nosné sloupky. V horních rozích nosné konstrukce jsou navařeny příruby pro uložení sestavy diagonálních stěn. Pro připevnění nosné konstrukce k podlaze je uvažováno její uložení na závitové tyče zalité v betonu a následné dotažení matic. Dvě protilehlé strany nosné konstrukce jsou průchozí pro pásový dopravník. Zbylé dvě stěny přenášejí silové účinky hydraulických válců, které slouží k otevírání a uzavírání dveří násypky. Kvůli těmto silovým účinkům byl v místech pro uložení válců k nosné konstrukci přivařen uzavřený čtvercový profil o délce hrany 140 mm a tloušťce stěny 10 mm, na který jsou navařeny plechové výpalky s futry pro uložení hydraulických válců.



Obr. 34: Nosná konstrukce [autor]

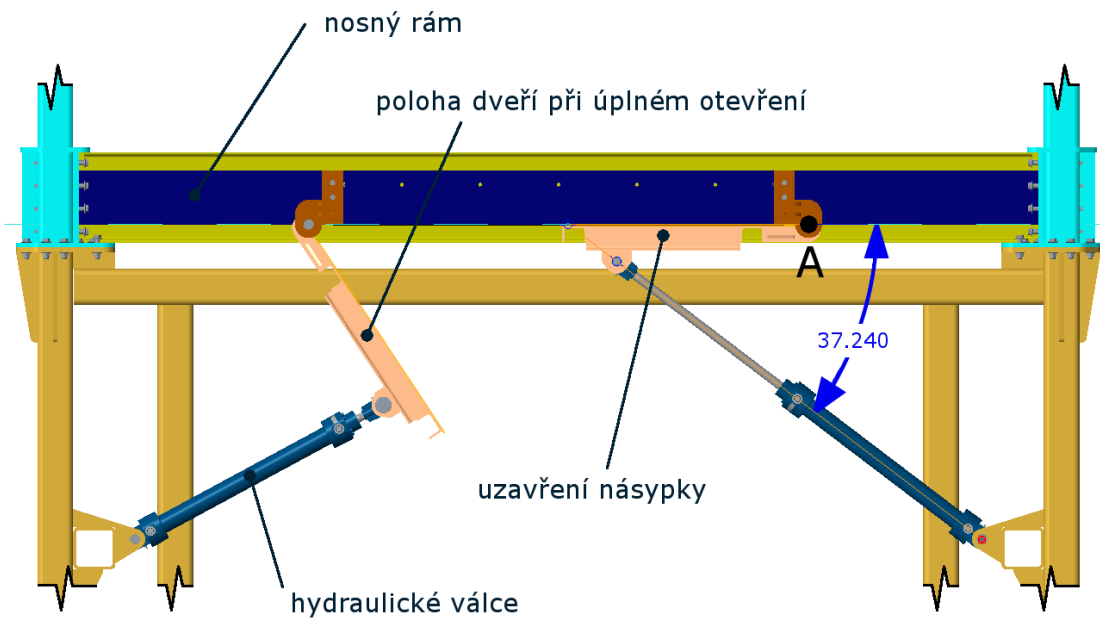
7.4. Svařenec dveří a otevírací mechanismus

Dveře jsou tvořeny plechem o tloušťce 6 mm, na který jsou za účelem zpevnění z vnější strany navařeny profily UPE 80, stejně jako u plechů šikmých stěn (Obr. 35). Pro připojení dveří k násypce a hydraulického válce ke dveřím jsou použity čepy, kvůli kterým jsou na dveře přivařeny výpalky s futry. Všechny čepy mají podle použitých hydraulických válců průměr 30 mm a v axiálním směru jsou zajištěny z jedné strany hlavou a z druhé pojistným kroužkem, jelikož silové účinky jsou ve směru osy čepu minimální.



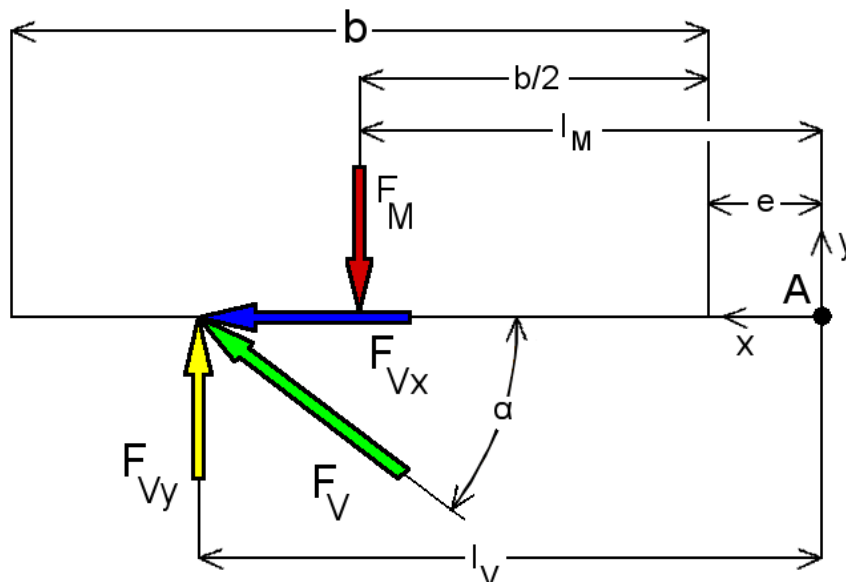
Obr. 35: Svařenec dveří a jeho uložení v sestavě násypky pomocí čepů [autor]

Mechanismus pro otevírání a zavírání násypky je navržen jako co nejjednodušší. Krajní polohy při úplném otevření a uzavření jsou znázorněny na Obr. 36, kde za účelem zlepšení přehlednosti nebyly zobrazeny některé komponenty. Pohyb dveří je zajištěn dvěma hydraulickými válci, jejichž zdvih je 592 mm.



Obr. 36: Otevírací mechanismus [autor]

Pro výběr válce je pro danou aplikaci určující silové působení materiálu v násypce na dveře a úhel, který svírá osa válce s vodorovnou rovinou, která je v Obr. 36 proložena dolní rovinou nosného rámu, na který se dveře dovírají. Potřebná síla válce je potom vypočtena z momentové rovnice k průmětu osy čepu, označenému jako bod A. Schéma pro tento výpočet je na Obr. 37.



Obr. 37: Momentová rovnováha k bodu A [autor]

Síla F_M , která vyjadřuje působení komunálního odpadu na dveře, je vypočtena jako tíhová síla působící na sloupec odpadu nad plochou zavřených dveří. Půdorysné rozměry tohoto sloupce jsou $a = 1,43$ m a $b = 0,715$ m. Uvažovaná výška je $h = 3$ m, což je vzdálenost od horní plochy plechu dveří k hornímu okraji svislé stěny násypky 2,75 m, která je navýšená o 0,25 m kvůli utváření klenby u sypkého materiálu. Velikost této síly je tedy

$$F_M = g \cdot \rho \cdot V = g \cdot \rho \cdot h \cdot a \cdot b = 9,81 \cdot 600 \cdot 3 \cdot 1,43 \cdot 0,715 \doteq 18\,055 \text{ N} \quad (34)$$

a její působíště je pro zjednodušení v geometrickém středu půdorysu sloupce materiálu.

Síla válce F_V svírá s vodorovnou rovinou úhel $\alpha = 37,24^\circ$. Pro rovnici momentové rovnováhy k bodu A vyplývá

$$M_A: F_{Vy} \cdot l_V - F_M \cdot l_M = F_V \sin \alpha \cdot l_V - F_M \cdot l_M = 0 \quad (35)$$

Pro rameno síly F_M platí

$$l_M = e + \frac{b}{2} = 0,115 + 0,3575 = 0,4725 \text{ m} \quad (36)$$

kde $e = 0,115$ m značí vzdálenost od čepu dveří k vnitřní stěně nosného rámu. Rameno síly válce $l_V = 0,637$ m je dáno návrhem svařence dveří. Z rovnice (35) po úpravě a dosazení vyplývá

$$F_{Vmin} = \frac{k F_M l_M}{l_V \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 18\,055 \cdot 0,4725}{0,637 \cdot \sin 37,24^\circ} = 44\,261 \text{ N} \quad (37)$$

Vzhledem k nehomogennímu charakteru komunálního odpadu a možnostem přetížení násypky právě v prostorách dveří se ve výpočtu této minimální síly válce objevuje koeficient bezpečnosti $k = 2$.

Z katalogu [24] byl podle této potřebné síly volen hydraulický válec CDH1MP5/50/28/592A3X/B22CSUMZWWWWYWWW LY = 5 mm. To je průmyslový hydraulický válec řady CDH1 s průměrem pístu 55 mm a průměrem pístní tyče 28 mm se zdvihem 592 mm a prodloužením pístnice o 5 mm bez dalších speciálních požadavků, který při pracovním tlaku 250 bar vyvine v tlaku sílu 49,1 kN při zavírání dveří násypky a v tahu 33,7 kN při jejich otevírání.

Vybraný válec je pro dané použití kontrolován na vzpěr. Štíhlostní poměr je pro oba konce kloubově uložené podle [23]

$$\lambda = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{I}{S}}} = \frac{l}{\sqrt{\frac{d_p^2}{16}}} = \frac{597}{\sqrt{\frac{28^2}{16}}} \doteq 85,3 < \lambda_m = 90 \quad (38)$$

a odtud pro oblast nepružného vzpěru a ocel s mezí kluzu $260 \div 290 \text{ N mm}^{-2}$ dle [23]

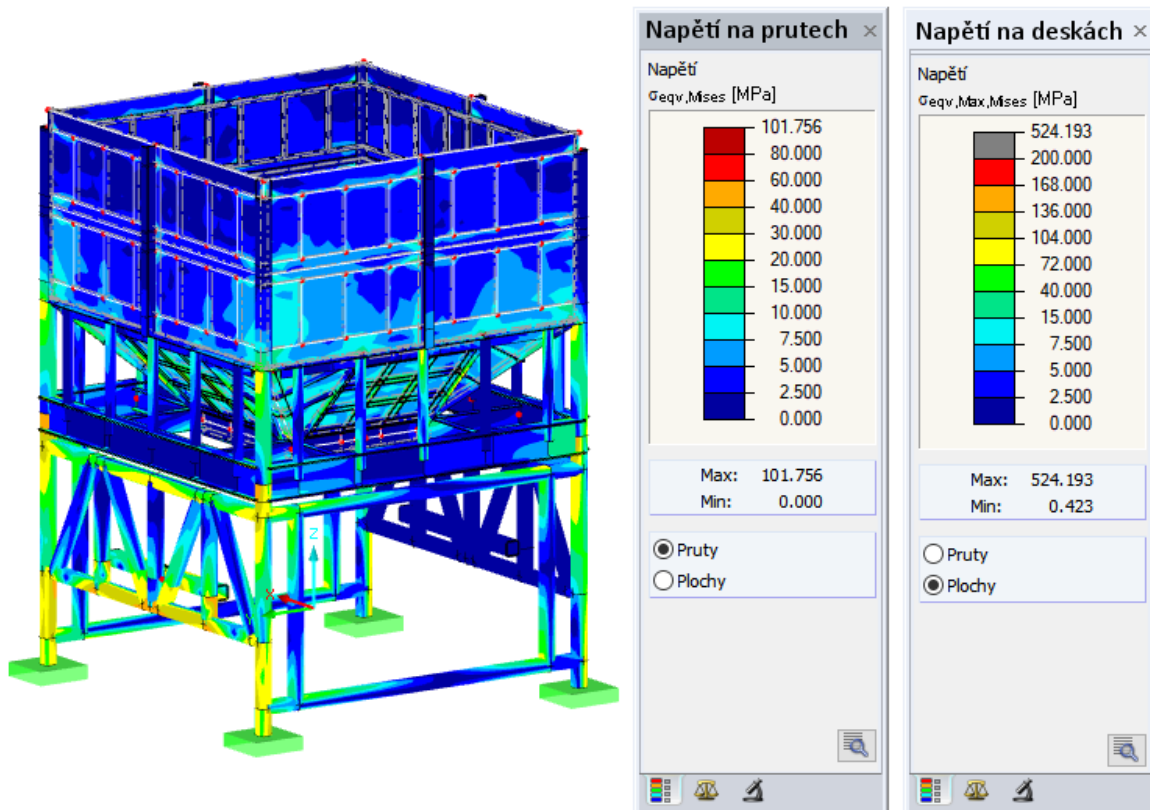
$$F_{kr} = S\sigma_{kr} = \frac{\pi d_p^2}{4} (335 - 0,62\lambda) = \frac{\pi \cdot 28^2}{4} (335 - 0,62 \cdot 85,3) \doteq 173\,712 \text{ N} \quad (39)$$

Výsledná kritická síla je několikanásobně větší než síla hydraulického válce a ke ztrátě stability nedochází.

Rozdílné zatížení jednoho válce oproti druhému při zavírání násypky by způsobilo, že se jedno křídlo dveří bude zavírat rychleji než druhé. To by v krajních případech vedlo k většímu zatížení na jedné straně pásu, vypadávání odpadu mimo pás a v případě, že bude objemový tok odpadu z násypky regulován mírou jejího otevření, k nedostatečné funkčnosti této regulace. Řešením těchto problémů by byla synchronizace pohybu válců například použitím rotačního děliče průtoku. Pravděpodobnost, že bude jedno křídlo oproti druhému znatelně více zatížené dostatečně dlouho, je ale velmi malá, navíc regulaci objemového toku z násypky lze na tyto krátkodobé výkyvy připravit tak, aby nebylo nutné pořizovat relativně drahé děliče průtoku pro každou násypku v plnicí stanici.

7.5. Pevnostní analýza

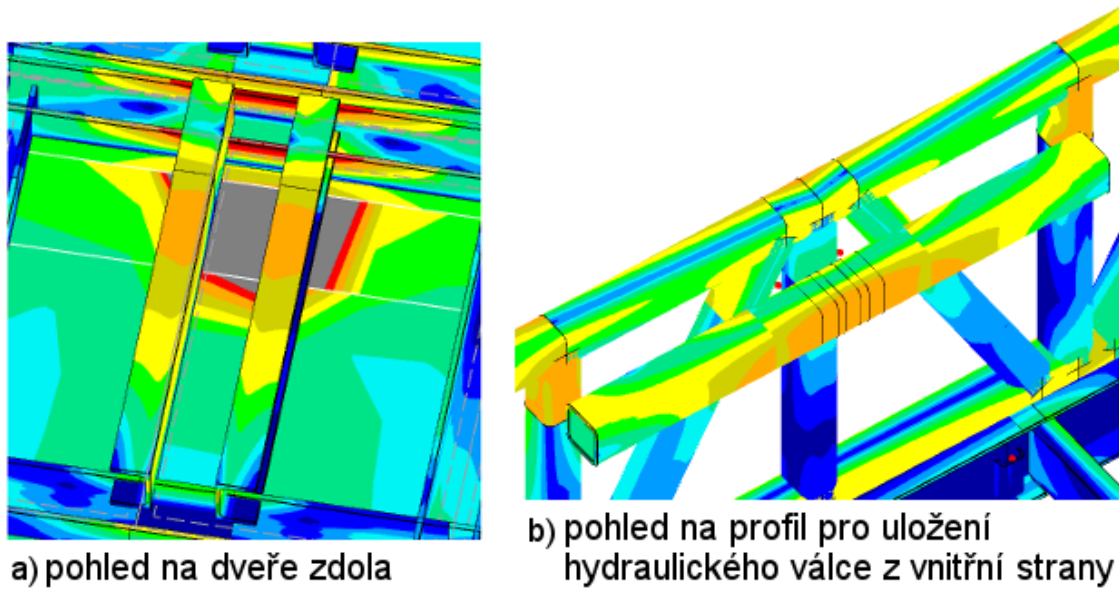
Pro navrženou násypku byl proveden výpočet metodou konečných prvků pomocí programu Dlubal RFEM 5.19, ve kterém byl pro potřeby výpočtu vytvořen zjednodušený model násypky. Silové působení na svislé stěny násypky vlivem tření mezi uskladněným materiálem a stěnami bylo zanedbáno, veškeré silové působení od komunálního odpadu je ve výpočtu přenášeno šikmými stěnami a dveřmi násypky. Vzhledem k možnému venkovnímu umístění násypky a velké ploše stěn bylo uvažováno silové působení od větru.



Obr. 38: Celkový pohled na pevnostní analýzu [autor]

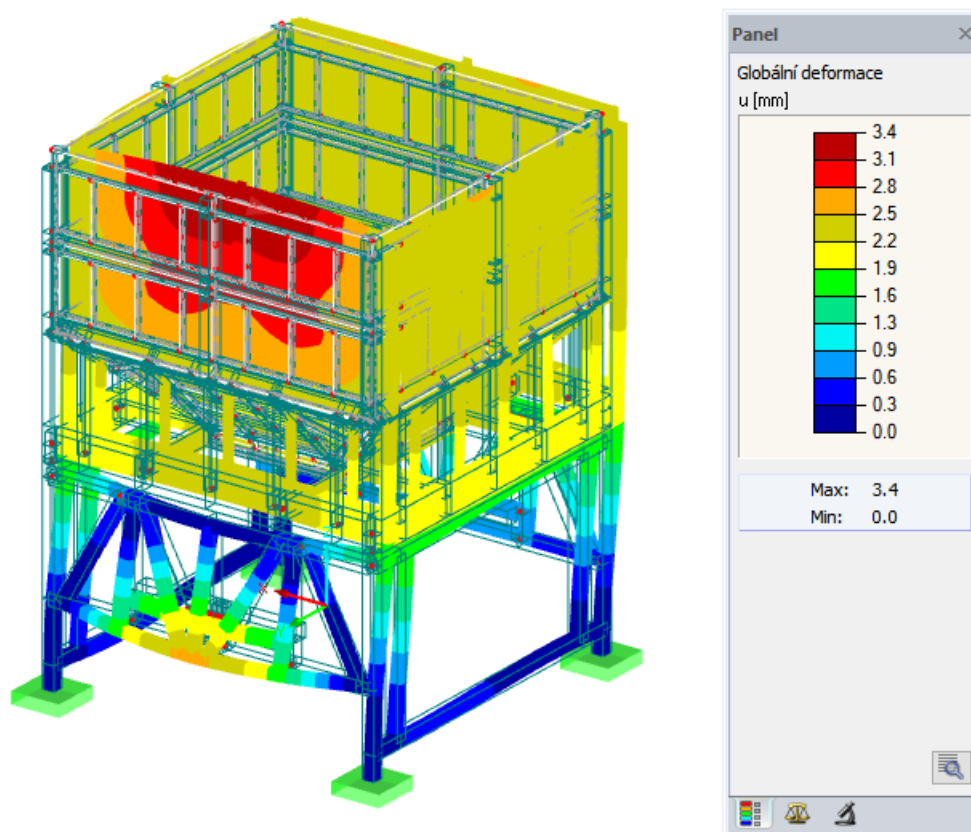
Z celkového pohledu na pevnostní výpočet násypky (Obr. 38) je zřejmé, že maximální vypočítané napětí na prutech je $101,756 \text{ N mm}^{-2}$, zatímco na deskách bylo vypočteno napětí více než pětinasobné. Tento výrazný rozdíl mezi maximálními hodnotami napětí na prutech a na deskách je způsoben dvěma faktory. Prvním z nich jsou napěťové špičky v rozích desek, které vznikají v důsledku idealizované a zjednodušené geometrie desek s ostrými rohy. Druhý z těchto faktorů je charakter zatěžování, který je v místě silového působení uzavírajícího hydraulického válce zadán pomocí bodových sil. Napětí mimo takto ovlivněné oblasti nedosahuje hodnot vyšších než 136 N mm^{-2} .

Napětí na prutech i na deskách dosahuje maximálních hodnot v místech silového působení hydraulických válců (Obr. 39), a to ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že všechna ostatní zatížení jsou plošná a lépe rozložená po konstrukci násypky. Druhý důvod je, že jen část síly válce působí v požadovaném směru proti zatížení dveří tíhou materiálu, ale konstrukce musí samozřejmě přenášet i horizontální složku síly válce.



Obr. 39: Místa největšího namáhání [autor]

Deformace (Obr. 40) nemají na funkci násypky zásadní vliv. Maximálních hodnot nabývají na horní hraně svislých stěn, což je způsobeno silovým působením větru a malou ohybovou tuhostí konstrukce vertikálních stěn ve svislém směru. Další výraznější deformace jsou v okolí silového působení hydraulických válců.



Obr. 40: Globální deformace [autor]

8. Závěr

V rámci závěrečné práce byly na základě rešerše možností dopravy a uskladnění komunálního odpadu navrženy tři varianty uspořádání plnicí stanice, která slouží pro překládání odpadu do objemnějších kontejnerů, a to včetně dopravních cest. Pro vybranou variantu, skládající se z jednosměrného pásového dopravníku, reverzního pásového dopravníku a dvou paralelních redlerů, byly početně navrženy dopravníky. Výpočty těchto dopravníků slouží jako orientační a reálné výsledky závisí na detailním konstrukčním návrhu výrobce.

Pro uskladnění komunálního odpadu byla vybrána možnost skladování volného v zařízení nepohyblivě. Pro toto uskladnění byla navržena násypka v podobě trojrozměrného modelu. Tento detailní návrh násypky byl vytvořen pomocí programu Creo Parametric 3.0 a pro následný výpočet metodou konečných prvků byl použit program Dlubal RFEM 5.19. Objem násypky je 22 m^3 , její celková výška je 5,1 m a její maximální půdorysné rozměry jsou 3,6 m na 3,6 m. Konstrukce násypky umožňuje v případě jejího poškození (například proražením plechu některé ze stěn) poměrně snadnou výměnu dílu za nový bez nutnosti rozebírání větších montážních celků.

Otevírací mechanismus zásobníku byl navrhnout co nejjednodušší, aby se nekomplikovala montáž násypky. Dveře jsou ke konstrukci násypky připevněny pomocí čepů, jištěných v axiálním směru pomocí pojistných kroužků. Stejným způsobem jsou uchyceny hydraulické válce ke dveřím a k nosné konstrukci násypky.

Z pevnostní analýzy vyplývá maximální napětí v prutech $101,756 \text{ N mm}^{-2}$. Maximální vypočtená hodnota napětí na deskách je velmi zkreslena zjednodušením výpočetního modelu a způsobem zatížení uzlů, které jsou v místě zatížení od hydraulického válce společné deskám i prutům. Největších hodnot dosahuje napětí na prutech i na plochách v okolí hydraulických válců. K největším deformacím 3,4 mm dochází ve středu horní hrany svislých stěn, a to vlivem větru na nenaplněnou násypku. Výrazné deformace jsou také v okolí silového působení hydraulických válců otevíracího mechanismu. Kompletní 3D model konstrukčního řešení násypky je k nalezení na přiloženém CD.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DRAŽAN, František; JEŘÁBEK, Karel. MANIPULACE S MATERIÁLEM. Praha 1: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1979. 04-220-79.
- [2] DUŠÁTKO, Antonín a kolektiv. SKLADOVÉ OBJEKTY a jejich provoz z pohledu bezpečnostních, hygienických a požárních předpisů. Olomouc: ANAG, 2012. ISBN 978-80-7263-756-0
- [3] SHULTZ, David W.; BLACK, David. Municipal Solid Waste: Resource Recovery, Proceedings of the Seventh Annual Research Symposium. [on-line] 2019 [cit. 2019-06-14] Dostupné na internetu
<https://books.google.cz/books?id=v847dnRPPXMC&printsec=frontcover>
- [4] SG strojírna s.r.o. Třesadlové dopravníky [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<http://www.sg-stroj.cz/drevarska-technologie/dopravniky/trasadlove-dopravniky-2/>
- [5] VIBROS. Dopravníky a podavače [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<https://www.vibros.cz/dopravniky-a-podavace>
- [6] NAVZAS. Šnekové dopravníky [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<http://www.navzas.cz/doc/snekove-dopravniky>
- [7] NAVZAS. Redlery [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<http://www.navzas.cz/doc/redlery>
- [8] Guttridge. Carrier Bucket Elevator [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<https://www.guttridge.com/eu/en/products/bucket-elevator>
- [9] STRAND. Skluz 180 [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<http://strand.cz/produkty/skluz/>
- [10] mayfran INTERNATIONAL. Hřeblový dopravník CT3 [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<https://www.mayfran.cz/product/hreblovy-dopravnik-ct3.html>
- [11] TECHNOLOGY. Lomený pásový dopravník [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<https://www.technology.cz/balici-stroje/pasove-dopravniky/lomeny-pasovy-dopravnik/>
- [12] AMG Karel Pícha s.r.o. Bubny poháněcí [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<http://www.amgpicha.cz/bubny/pohaneci/>
- [13] SUPERIOR. Take-Ups [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15] Dostupné na internetu
<https://superior-ind.com/components/accessories/take-ups/>

- [14] AMG Karel Pícha s.r.o. Válečky hladké [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15]
Dostupné na internetu
<http://www.amgpicha.cz/valecky-ocelove/hladke/>
- [15] TECHBELT. Dopadové lože [on-line] 2019 [cit. 2019-06-16]
Dostupné na internetu
<https://www.dopravnipasy.com/dopadove-loze-impact-bars>
- [16] Norma. ČSN 26 3102: 1971 „Pásové transportéry“
- [17] AMG Karel Pícha s.r.o. Pražce [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15]
Dostupné na internetu
<http://www.amgpicha.cz/prazce/prazce/>
- [18] VVV MOST spol. s.r.o. Stěrače dopravních pásů [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15]
Dostupné na internetu
<http://vvvmost.cz/hlavni-sterac-dopravnich-pasu-hosch-typ-b/>
- [19] HENNIG. Katalog Conveyors & Filtration. [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15]
Dostupné na internetu
<https://www.hennigworldwide.com/assets/docs/CONVEYORS%20AND%20FILTRATION.pdf>
- [20] TRÍDĚNÍ ODPADU.CZ Komunální odpad [on-line] 2019 [cit. 2019-06-15]
Dostupné na internetu
<https://www.trideniodpadu.cz/komunalni-odpad>
- [21] GUMEX. Katalog Průvodce světem dopravníkových pásů. [on-line] 2019 [cit. 2019-06-16]
Dostupné na internetu
<https://www.gumex.cz/sekce/informace-pro-zakazniky/katalogy-ke-stazeni-120>
- [22] Norma. ČSN ISO 5048: 1994 „Zařízení pro plynulou dopravu nákladů: Pásové dopravníky s nosnými válečky – Výpočet výkonu a tahových sil“
- [23] LEIVEBER, Jiří; VÁVRA, Pavel. STROJNICKÉ TABULKY Páté upravené vydání. Úvaly: ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [24] Rexroth. Katalog Hydraulic cylinders – Mill type, Series CDH1 / CGH1 / CSH1. [on-line] 2019 [cit. 2019-06-23]
Dostupné na internetu
https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/re17332_2017-07.pdf?db=brmv2&lvid=1202215&mvid=14049&clid=20&sid=83DED195E44B28BB8C016B4317BFF7A4.borex-tc&sch=M&id=14049,20,1202215

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Název veličiny	Jednotka
a	Obecný délkový rozměr	m
A	Celková plocha průřezu materiálu / Dotyková plocha mezi pásem a čističem pásu	m ²
b	Využitá ložná šířka pásu / Šířka žlabu / Obecný šířkový rozměr	m
b ₁	Průmět využití ložné šířky pásu na vodorovnou rovinu	m
B	Šířka pásu	m
c _p	Součinitel zmenšení objemu dopravovaného materiálu	1
c _v	Součinitel snížení rychlosti pohybu materiálu	1
d	Tloušťka pásu	m
d ₀	Průměr hřídele v ložisku bubnu	m
d _p		
D	Průměr hnacího bubnu	m
e	Vodorovná vzdálenost od osy čepu dveří k vnitřní stěně nosného rámu	m
f	Globální součinitel tření	1
f ₁	Globální součinitel tření při teplotě 20 °C	1
F	Průměrný tah v pásu na bubnu	N
F ₁	Tahová síla v horní větvi pásu	N
F ₂	Tahová síla v dolní větvi pásu	N
F _{2min}	Minimální tahová síla ve sbíhající větvi pásu	N
F _{bA}	Odpory setrvačných sil v místě nakládání a urychlování materiálu	N
F _f	Odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením v oblasti urychlování	N
F _H	Hlavní odpory	N
F _{kr}	Kritická síla	N
F ₁	Odpor ohybu pásu na bubnech	N
F _M	Tíhová síla působící na sloupec materiálu v násypce	N
F _{max}	Největší tahová síla v pásu	N
F _N	Vedlejší odpory	N
F _r	Odpor čističů pásu	N
F _{S1}	Přídavné hlavní odpory	N
F _{S2}	Přídavné vedlejší odpory	N
F _{St}	Odpor k překonání dopravní výšky	N
F _t	Odpor v ložiskách bubnu	N
F _T	Vektorový součet tahů v pásu působících na bubnu a tíhových sil hmot otáčejících se částí bubnu	N
F _U	Obvodová síla na poháněcím bubnu	N
F _V	Síla hydraulického válce	N
F _{Vx}	Horizontální složka síly hydraulického válce	N
F _{Vy}	Vertikální složka síly hydraulického válce	N
g	Tíhové zrychlení	m s ⁻²
G _{rd}	Tíhové síly od rotačních částí válečků v dolní větvi pásu	kp
G _{rh}	Tíhové síly od rotačních částí válečků v horní větvi pásu	kp
h	Dopravní výška / Obecný výškový rozměr	m
h _C	Celková výška vrstvy dopravovaného materiálu	m
I	Kvadratický moment	mm ⁴



k	Součinitel bezpečnosti	1
k_2	Součinitel vlivu teploty	1
l	Délka písní tyče	mm
l_0	Redukovaná délka prutu	mm
l_3	Délka válečku tříválečkové stolice	m
l_M	Vodorovná vzdálenost od osy čepu dveří k působišti síly F_M	m
l_v	Vodorovný průmět dopravní délky	m
l_{v0}	Vodorovný průmět dopravníku	m
l_V	Vodorovná vzdálenost od osy čepu dveří k působišti síly F_V	m
L	Délka dopravníku	m
m_1	Hmotnost nákladu na 1 m délky pásu	kg m^{-1}
m_2	Hmotnost 1 m dopravníkového pásu	kg m^{-1}
n_ξ	Počet čističů pásu	1
n_d	Počet válečků ve stolici dolní větve pásu	1
n_h	Počet válečků ve stolici horní větve pásu	1
p	Tlak mezi čističem pásu a pásem	N m^{-2}
P_M	Výkon elektromotoru	W
q_B	Hmotnost 1 m dopravníkového pásu	kg m^{-1}
q_G	Hmotnost nákladu na 1 m délky pásu	kg m^{-1}
q_p	Hmotnost 1 m řetězu s unášeči	kg m^{-1}
q_{RO}	Hmotnost rotačních částí válečků na 1 m horní větve dopravníku	kg m^{-1}
q_{RU}	Hmotnost rotačních částí válečků na 1 m dolní větve dopravníku	kg m^{-1}
Q_V	Objemový tok	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
R_{mB}	Pevnost pásu	N mm^{-1}
S	Plocha průřezu písní tyče	mm^2
t	Čas	s
t_d	Rozteč válečkových stolic v dolní větvi dopravníku	m
t_h	Rozteč válečkových stolic v horní větvi dopravníku	m
V	Objem	m^3
v	Rychlost pásu	m s^{-1}
v_0	Složka rychlosti přiváděného materiálu ve směru dopravy	m s^{-1}
v_{0r}	Rychlost řetězu	m s^{-1}
w	Součinitel celkového odporu dopravníku	1
Z	Napínací síla	N
α	Úhel mezi osou hydraulického válce a vodorovnou rovinou	$^\circ$
β	Úhel sklonu válečků	$^\circ$
δ	Úhel sklonu dopravníku ve směru pohybu	$^\circ$
λ	Štíhlost prutu	1
λ_m	Mezní štíhlost prutu	1
η	Účinnost pohonné jednotky	1
μ	Součinitel tření mezi poháněcím bubnem a pásem	1
μ_3	Součinitel tření mezi pásem a čističem pásu	1
ξ	Součinitel rozběhu	1
ρ	Sypná hmotnost / Objemová hmotnost	kg m^{-3}
σ_{kr}	Kritické napětí	N mm^{-2}
φ	Úhel opásání	$^\circ$
ψ	Sypný úhel	$^\circ$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Skladování volné na zemi [autor]	3
Obr. 2: Skladování volné v zařízení [autor]	4
Obr. 3: Třasadlový dopravník [4]	5
Obr. 4: Princip dopravy mikrovřhem [1]	6
Obr. 5: Vibrační dopravník s mikrovřhem trubkový [5]	6
Obr. 6: Šnekový dopravník [6]	7
Obr. 7: Redler [7]	8
Obr. 8: Korečkový elevátor plněný násypným způsobem s odstředivým vyprazdňováním [8]	9
Obr. 9: Dopravní skluz pro kusový materiál [9]	11
Obr. 10: Hřeblový dopravník [10]	12
Obr. 11: Pojízdne provedení lomeného pásového dopravníku s konkávním obloukem [11]	13
Obr. 12: Poháněcí buben s drážkovaným pryžovým obložení [12]	14
Obr. 13: Tuhé napínání pásu pomocí šroubů [13]	15
Obr. 14: Řez válečkem pásového dopravníku [14]	15
Obr. 15: Dopadové lože pro korýtkový pás [15]	16
Obr. 16: Tříválečková stolice tvořící korýtko pásu [17]	16
Obr. 17: Odpružený lamelový stěrač [18]	17
Obr. 18: Varianta článkového dopravníku pro dopravu třísek od obráběcích strojů [19]	18
Obr. 19: První varianta uspořádání plnicí stanice [autor]	19
Obr. 20: Druhá varianta uspořádání plnicí stanice [autor]	20
Obr. 21: Třetí varianta uspořádání plnicí stanice [autor]	21
Obr. 22: Schéma k výpočtu pásového dopravníku [autor]	23
Obr. 23: Průřez náplně korýtkového pásu [autor]	25
Obr. 24: Diagram závislosti teplotního součinitele na teplotě [16]	27
Obr. 25: Celková sestava násypky na komunální odpad [autor]	32
Obr. 26 Tvar plechu vertikálních stěn [autor]	33
Obr. 27: Spojení vertikálních stěn prostřednictvím profilu IPE [autor]	34
Obr. 28: Spojení vertikálních stěn v rozích násypky [autor]	35
Obr. 29: Svařenec plechu pro diagonální stěny [autor]	35
Obr. 30: Rohový svařenec pro diagonální stěny [autor]	36
Obr. 31: Sestava diagonálních stěn a svařenec nosného sloupku [autor]	36
Obr. 32: Svařovaný rošt [autor]	37
Obr. 33: Nosný rám [autor]	38
Obr. 34: Nosná konstrukce [autor]	39
Obr. 35: Svařenec dveří a jeho uložení v sestavě násypky pomocí čepů [autor]	40
Obr. 36: Otevírací mechanismus [autor]	41
Obr. 37: Momentová rovnováha k bodu A [autor]	41
Obr. 38: Celkový pohled na pevnostní analýzu [autor]	44
Obr. 39: Místa největšího namáhání [autor]	45
Obr. 40: Globální deformace [autor]	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Vypočítané minimální a maximální průřezy náplně pásu v závislosti na šířce pásu	25
Tab. 2: Doporučené největší délky hrany netříděného materiálu podle šířky pásu [16]	26
Tab. 3: Základní vlastnosti voleného dopravníkového pásu [21]	27