



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VYROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ
A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

PEVNOSTNÍ KONTROLA ZAŘÍZENÍ VODNÍ VÝKLOPNÍK A OPTIMALIZACE JEHO KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

DESIGN OPTIMISATION AND STRENGTH CHECKING OF WATER TILTABLE DEVICES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. JAN MACH

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

SUPERVISOR

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systému a robotiky
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Mach

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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

Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení

v anglickém jazyce:

Design optimisation and strength checking of Water tiltable devices

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod do problematiky způsobu transportu a balení ovoce a zeleniny v potravinářském průmyslu
2. Analýza současných řešení balících linek (popis procesu balení potravin, použití, výhody, nevýhody)
3. Analýza stávajícího konstrukčního řešení jednoúčelového stroje (JÚS) Vodní výklopník a zpracování s ohledem na:
 - a) kinematiku mechanismu
 - b) bezpečnost, vzhledem k meznímu stavu porušování konstrukce
 - c) bezpečnost, vzhledem k meznímu stavu deformace konstrukce
 - d) výpočty provést pomocí MKP
 - e) kontrola pohonu zařízení (motor, převodovka, řetězy)
4. Základní technicko-provozní parametry zařízení:
 - maximální hmotnost nákladu: 700 kg
 - přepravovaný náklad: jablka
 - voděodolnost, korozivzdornost
 - použití dřevěných beden nebo plastových box palet
 - mechanismus pro přidržování palet (beden)
 - zohlednit rychlost zdvihu vzhledem k výšce vodní hladiny
 - pohon elektrický s převodovkou
 - splnění základních požadavků na bezpečnost provozu a obsluhy
5. Zhodnocení současného řešení JÚS zda vyhovuje požadavkům na ekonomičnost řešení a bezpečnost vzhledem k pružnosti a pevnosti.
6. Optimalizace konstrukce rámu zařízení vzhledem k bodu 5.
7. Nakreslit 3D model JÚS, výkresovou dokumentaci sestavy a podsestav, včetně dílenských

výkresů.

8. Závěr a vyhodnocení přínosu zdokonaleného řešení vzhledem k původnímu řešení. Zhodnocení, zda byly splněny všechny požadavky na optimalizaci konstrukce a jeho pevnostní kontrolu.

Cíle diplomové práce:

Cílem je výpočtově zkontrolovat a optimalizovat současné konstrukční řešení zařízení a navrhnout zdokonalený typ s ohledem na tuhost a pevnost konstrukce strojního zařízení. Součástí DP je tedy jak projekt, konstrukce tak i případná realizace projektu v podmínkách společnosti Htech CZ s.r.o. v Olomouci.

Seznam odborné literatury:

Firemní literatura

Příslušný návrhový a výpočtový SW a jeho příručky

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V brně, dne 23.11.2012

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi zpracování ovoce a zeleniny ze zemědělských produktů na potraviny. V první části práce by se měl čtenář seznámit se základními informacemi o linkách zpracovávajících ovoce a zeleninu. Dále jsou popsány jaké stroje a zařízení se pro toto zpracování používají, jaký mají účel a jak fungují. Druhá část pojednává o konkrétním zařízení Vodní výklopník, kde je popsán jeho účel, funkce a jednotlivé části. Dále je řešena kinematika zařízení a následuje analýza zatížení rámu. Výpočty zatížení jsou provedeny v příloze jedna a na základě jejich výsledků je provedena simulace pomocí MKP (metoda konečných prvků). Výstupem jsou data potřebná pro zhodnocení bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu porušování a deformace a dále sloužící pro optimalizaci zařízení.

Klíčová slova

Stroje, zařízení a linky pro zpracování ovoce a zeleniny, analýza zatížení, bezpečnost k meznímu stavu porušení a deformace, optimalizace rámu

Abstract

This master's thesis is about possibility of fruit and vegetable process from agricultural raw material to food. The first part of thesis include information about machinery, devices and process line and describe how this devices work. The second part solve water tiltable device, this part explain what water tiltable device do, how work and describe structure of each subassembly. Next step solve the device by kinematics aspect and aspect of load analysis. Calculation is included in annex one. Results of annex one are used for FEM (finite element method) simulation of frame. Output of FEM simulation can be used for finding safety factor of displacement and strain, output data are used for optimization of device.

Keywords

Machinery and devices for process fruit and vegetables, load analysis, safety factor of displacement and stress, optimization of frame

Bibliografická citace

MACH, J. Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..


Prohlášení autora o původnosti práce

Já, Jan Mach, prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně dne 24.5.2013

1. ÚVOD	13
2. ÚVOD DO ZPRACOVÁNÍ OVOCE A ZELENINY.....	15
2.1. POŽADAVKY NA ZPRACOVÁNÍ OVOCE A ZELENINY	15
2.2. PROCESY.....	16
2.3. LINKY PRO ZPRACOVÁNÍ OVOCE A ZELENINY.....	17
2.4. ZAŘÍZENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ OVOCE A ZELENINY	19
2.4.1. <i>Neproduktivní zařízení</i>	19
2.4.2. <i>Produktivní zařízení</i>	26
3. JEDNOÚČELOVÉ ZAŘÍZENÍ VODNÍ VÝKLOPNÍK	31
3.1. ROZBOR JEDNOÚČELOVÉHO ZAŘÍZENÍ VODNÍ VÝKLOPNÍK	31
3.1.1. <i>Popis funkce, parametry</i>	31
3.1.2. <i>Popis částí stroje</i>	33
3.1.3. <i>Kinematika stroje</i>	36
3.1.4. <i>Analýza průběhu natáčení ramena v závislosti na zdvihu</i>	37
3.2. VÝPOČETNÍ ČÁST	41
3.2.1. <i>Výpočet přidržovacího ramena</i>	41
3.2.2. <i>Výpočet výtahu</i>	45
3.2.3. <i>Výpočet věže výtahu</i>	47
3.2.4. <i>Kontrola správnosti odvození a výsledků</i>	50
3.2.5. <i>Výpočet zatížení rámu nádrže</i>	51
3.2.6. <i>Výpočet pohonu</i>	52
3.2.7. <i>Výpočet řetězu</i>	54
3.3. KONTROLA ČÁSTÍ RÁMU K MEZNÍM STAVŮM POMOCÍ MKP	56
3.3.1. <i>Úvod do určení mezních stavů, koeficient bezpečnosti</i>	56
3.3.2. <i>Analýza zatížení pomocí MKP</i>	57
3.3.3. <i>Zhodnocení výpočtů MKP</i>	65
3.4. ZHODNOCENÍ ZAŘÍZENÍ VODNÍ VÝKLOPNÍK, NÁVRH OPTIMALIZACE.....	66
4. ZÁVĚR	67
5. LITERATURA A ZDROJE.....	69
5.1. LITERATURA, ZDROJE	69
5.2. INTERNETOVÉ ODKAZY	70
5.3. SEZNAM PŘÍLOH	70
5.3.1. <i>Papírové přílohy</i>	70
5.3.2. <i>Elektronické přílohy</i>	70
5.4. SEZNAM OBRÁZKŮ	71

Nedílnou součástí práce je také **Výpočtová zpráva - příloha 1**


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

1. Úvod

Téma této práce jsem si zvolil na základě mé praxe ve společnosti Htech cz s.r.o. v Olomouci, která se zabývá návrhy a realizací linek pro zpracování ovoce a zeleniny a také výrobou strojů pro tyto linky, popřípadě výrobou dalších zařízení. Hlavním důvodem proč jsem se takto rozhodnul bylo, že mi tato problematika připadá zajímavá a mohla by to pro mě být cenná zkušenost. Po domluvě jsem dostal ke zpracování zařízení vodní výklopník, které již bylo navrženo, ale byl požadavek na ověření bezpečnosti a tuhosti a popřípadě zjistit zda by bylo možno toto zařízení optimalizovat a snížit tak výrobní náklady, při zachování nebo zlepšení spolehlivosti. Prototyp původního zařízení byl již v minulosti vyroben a odzkoušen a následně mírně upraven tak, aby zařízení spolehlivě fungovalo. Ovšem chyběla nějaká přesnější analýza a výpočet zatížení byl zjednodušen tak, aby doba vývoje byla finančně co nejpříjemnější. Důvodem je, že zdlouhavá analýza a optimalizace je časově náročná a nemusí se u v podstatě kusové výroby vyplatit. Navíc absence vhodných nástrojů, zejména vhodného softwaru pro výpočet MKP (metoda konečných prvků), by nutně znamenala další investice do softwarového vybavení nebo outsourcing výpočtové práce. Proto byla tedy konstrukce vyřešena tak, že se návrh provedl s maximálním ohledem na funkčnost a počítalo se s předdimenzováním rámu a následným testováním. Je to v podstatě kompromis mezi nevhodným používáním materiálu a rychlostí vývoje a výroby. Pokud má konstruktér dostatek zkušeností a cit pro odhad, obvykle se tento kompromis u kusové výroby vyplatí.

Na začátku práce se budu zabývat možností zpracování ovoce a zeleniny v potravinářském provozu z hlediska mechanizace, tedy z pohledu strojů a zařízení pro tuto aplikaci. Pokusím se shrnout účel a požadavky linek pro zpracování ovoce a zeleniny. Dále se budu snažit, aby si čtenář mohl udělat představu, jak linky tohoto druhu přibližně vypadají a jaké obsahují zařízení. Protože existuje mnoho procesů pro zpracování různých druhů produktů, existuje také velké množství různých druhů zařízení. Pro zjednodušení členění jsem je rozdělil do dvou hlavních skupin a to na zařízení produktivní a neproduktivní, kde logikou členění je zda zařízení přímo zpracovává produkt nebo jej pouze „tlačí“ procesem.

Následuje druhá část, která obsahuje analýzu zatížení a pevnostní analýzu a dále případnou optimalizaci. Jako podklady pro řešení jsem dostal přístup k modelům sestavy, dílů a výkresům v programu SolidEdge od společnosti Siemens. Dále je v zadání požadovaná nosnost, z hlediska které je uvažováno provozní zatížení. V prvním kroku jsem provedl kinematický rozbor a rozhodnul jsem, že výpočet provedu pro uvolněná tělesa. Tedy simulovat budu vždy pouze konkrétní svařenec. Bylo nutné podsestavy uvolnit z vazeb, zjistit síly a momenty a jejich reakce s ostatními díly, tento poměrně obsáhlý výpočet je obsažen v příloze jedna. Důvodem rozdělení hlavní sestavy byla celková složitost, vzhledem k dostupnému výpočtovému zařízení, které by pravděpodobně na kompletní sestavu výkonově nestačilo. To se mi také následně v průběhu simulací potvrdilo. Výsledky výpočtu jsou použity pro zhodnocení bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu porušování a meznímu stavu deformace. Následně je zhodnocena možnost optimalizace jednoúčelového stroje a nakonec závěr.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

2. Úvod do zpracování ovoce a zeleniny

2.1. Požadavky na zpracování ovoce a zeleniny

Hlavním účelem každé linky je zpracovat produkt do požadovaného stavu. Linky popisované v této práci jsou linky na zpracování potravin a jako takové musejí splňovat, určité požadavky. Jedním z těchto požadavků je bezchybně plnit svůj účel po určitou dobu, musejí splňovat normy bezpečnosti práce, hygienické normy a to jak z hlediska pracovního prostředí tak i z hlediska zpracování potravin. Například musí být oddělen tzv. „špinavý“ a „čistý“ proces a nesmí se ani křížovat, také lidé obsluhující zařízení ve „špinavé“ části nesmí přes úsek „čistého“ procesu chodit atd. Pod špinavým procesem si můžeme představit například úsek praní, loupání, čištění, odnaťování, atd. Naproti tomu čistým procesem může být například finální sprchování, balení, paletování a jiné. Musí být zajištěn plynulý tok materiálu a to jak produktu, tak odpadu se kterým musí být bezpečně nakládáno. Stroje musí být navrženy tak, aby se v nich minimálně usazoval organický odpad a také, aby údržba byla co nejjednodušší. Se vším s čím se dostane produkt do kontaktu, musí být hygienicky nezávadné, ať už se jedná o použité materiály na zařízení (kovy, pásy, plasty ...) nebo provozní kapaliny. Pokud jsou všechny podmínky splněny, měla by linka vytvářet produkty bezvadné kvality. A přesně toto je cílem návrhu a provozu každé potravinářské linky. Samozřejmě výsledná kvalita také závisí na vstupních surovinách a dodržování předepsaných postupů.

Požadavky na potravinářskou linku:

- Vytvářet produkty bezvadné kvality
- Velká produktivita
- Co nejnižší náklady na údržbu a provoz
- Umožňovat podmínky bezpečné práce
- Dodržení hygienických předpisů
- Přiměřená životnost zařízení, spolehlivost
- Bezpečné zpracování odpadů
- Co nejmenší zastavěná plocha

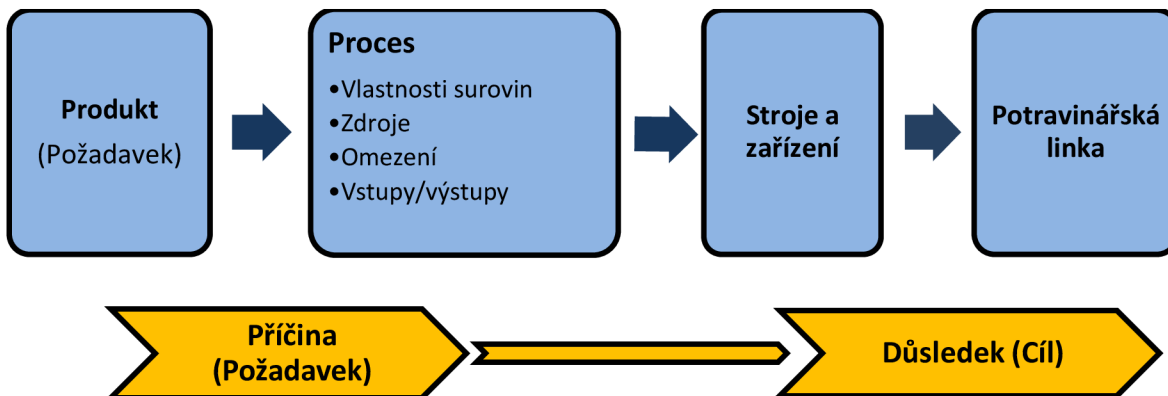
Při návrhu linky se musí zohlednit jaký produkt bude zpracováván, rozměry haly pokud je již postavena, organizace prostoru jako jsou vstupní a výstupní místa, technické a provozní místnosti, stěny, sloupy, atd. Zpracováváný produkt, druh a množství, určí jaké stroje a zařízení je potřeba zařadit do procesu. Rozvržení prostoru zase určí uspořádání strojů, dopravníku.

Druhy linek podle zpracovávaného produktu:

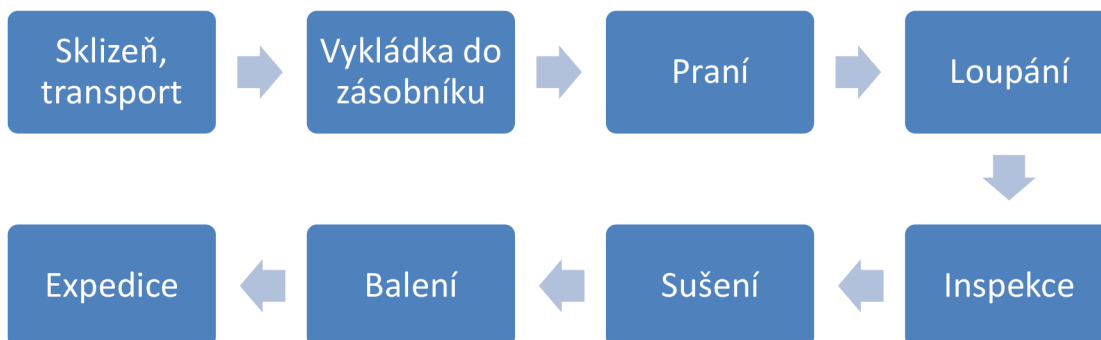
- Brambory
- Cibule
- Mrkev, Petržel
- Okurky
- Zelí, čínské zelí
- Citrusy
- Jablka

2.2. Procesy

Pokud chceme získat nějaký produkt, musí se identifikovat proces, který tento produkt vytvoří. Proces berme jako posloupnost děju a činností, která má vstupy a výstupy, kde jedním z výstupů je požadovaný výsledný produkt nebo produkty. Lze tedy říci, že pokud má být výstupem potravina, je potřeba vědět co je ke vzniku této potraviny potřeba a co se musí udělat a jak to můžeme udělat. Tedy procesy v potravinářství vznikají na základě požadavku konkrétního produktu, v tomto případě potraviny. Jako příklad lze uvést, že pokud jsou finálním produktem například rajčata balena v plastových krabičkách, je proces samozřejmě jiný než když jsou koncovým produktem brambory sypané volně v bednách nebo balené v síťových pytlích. V prvním příkladě se musí zohlednit, že rajčata jsou méně tvrdá než brambory, dále méně znečištěna a musí se zabalit do fólie atd., tedy proces zpracování je uzpůsoben jak na základě vstupu tak i výstupu. Proto je pro návrh strojů a zařízení potravinářské linky nutné znát proces. A pro proces je nutné znát požadavky na produkt a vlastnosti surovin popř. polotovarů, tedy je potřeba vědět co se bude zpracovávat, kde vstupní surovinou jsou produkty zemědělské, zelinářské nebo ovocnářské produkce. Takže aby se daly tyto suroviny efektivně zpracovat z produktů rostlinné výroby na potraviny, je potřeba znát vlastnosti jednotlivých plodin a vědět jak se s nimi má naložit.



Obrázek 1. Postup realizace potravinářské linky

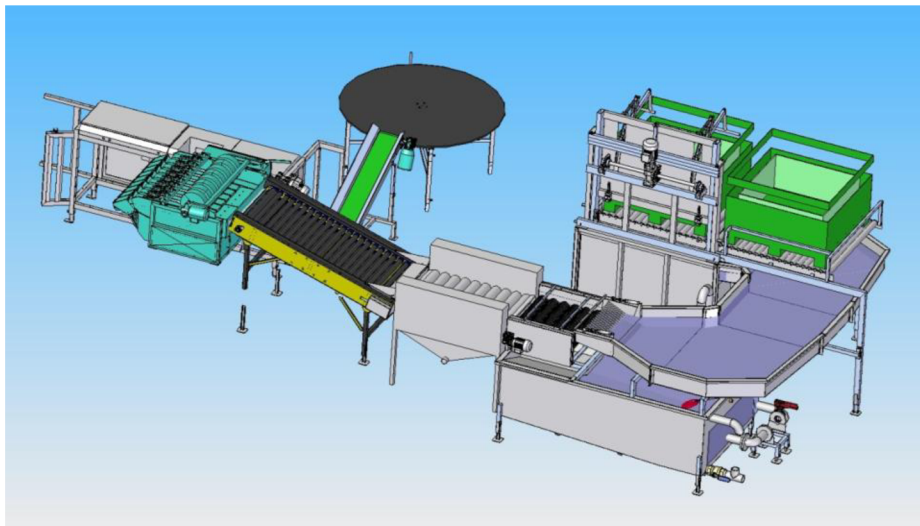


Obrázek 2. Ukázka možného procesu

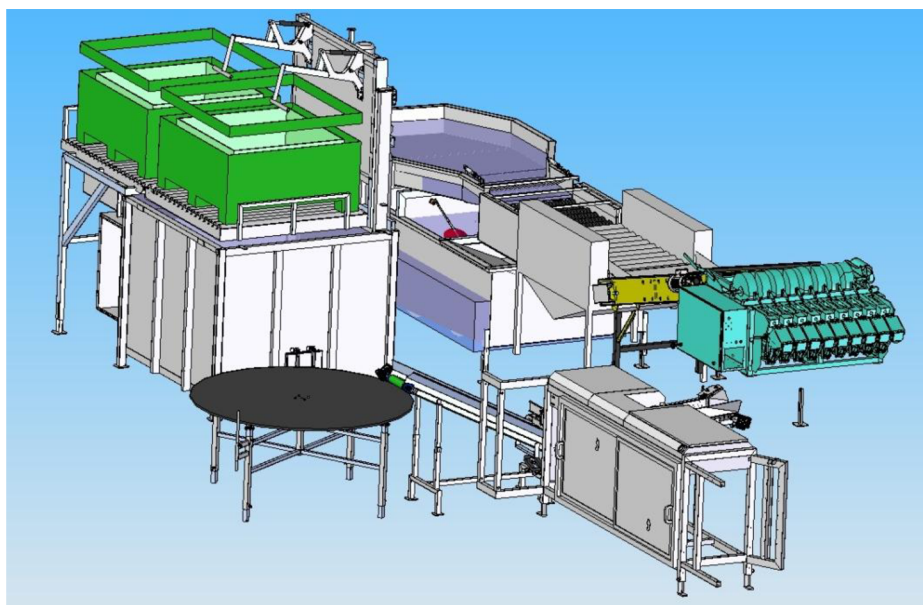


2.3. Linky pro zpracování ovoce a zeleniny

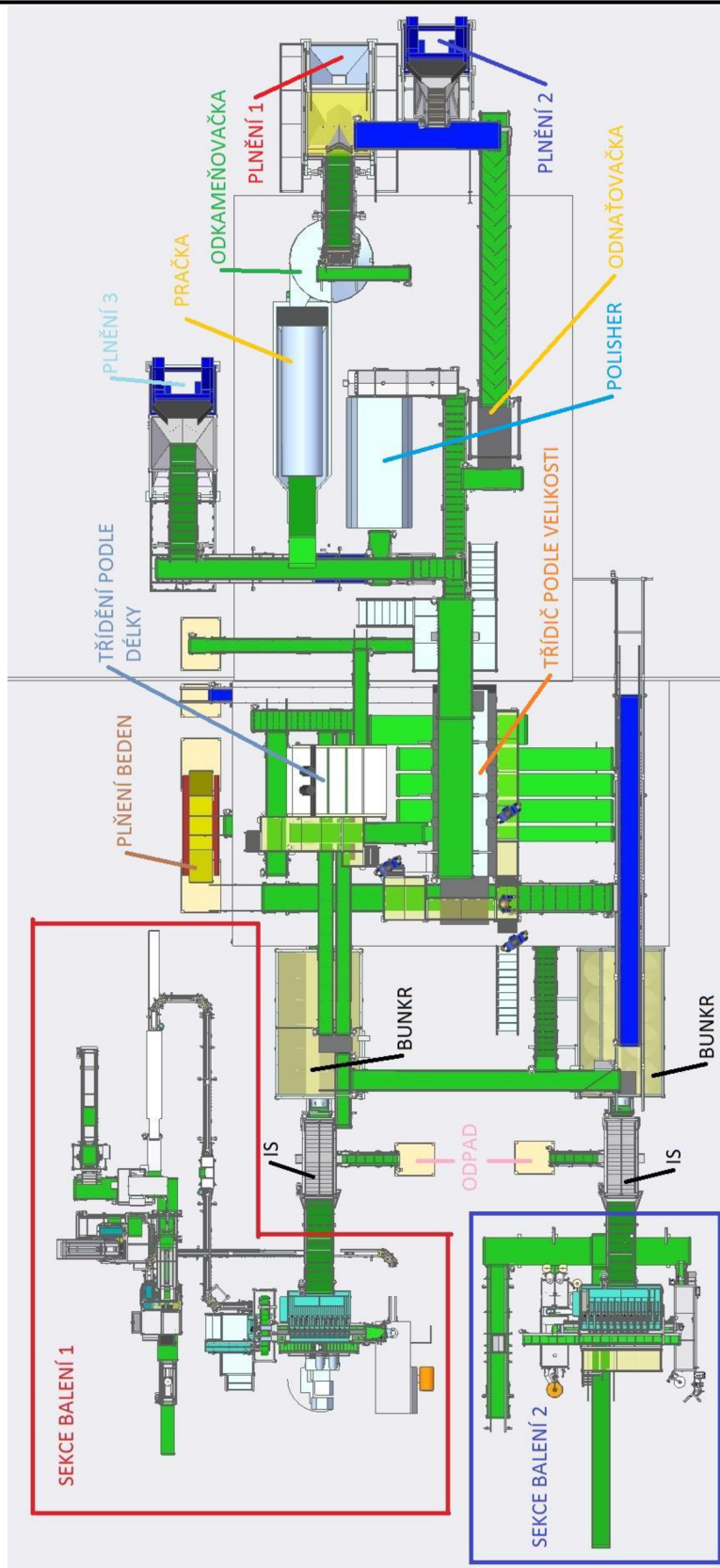
Na obrázcích číslo tři a čtyři je zobrazena část linky pro zpracování jablek. Vstupním zařízením je vodní výklopník, který spustí paletu do nádrže s vodou a jablka vyplavou na hladinu, kde je unáší proud vody korytem na kartáčovou pračku a odtamtud putují dopravníkem na dávkovací váhu z váhy do balicího stroje. Balicí stroj produkt zabalí a položí na vynášecí dopravník, který jej vynese na otočný stůl.




Obrázek 3. Ukázka části linky



Obrázek 4. Ukázka části linky, pohled od baličky



Obrázek 5. Půdorys linky pro zpracování mrkve

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

2.4. Zařízení pro zpracování ovoce a zeleniny

Zařízení a stroje využívané ke zpracování ovoce a zeleniny lze rozdělit na neproduktivní a produktivní, podle toho zda se zařízení týká přímo procesu zpracování, nebo slouží jako podpůrné.

Neproduktivní zařízení:

- Dopravníky transportní: Zajišťují dopravu produktů napříč procesem.
 - Pásový dopravník
 - Šnekový dopravník
 - Gravitační doprava (skluzy)
 - Ostatní doprava
- Manipulační zařízení atd.
- Zásobníky (bunkry)
- Váhy, dávkovače

Produktivní zařízení:


- Čištění
 - Suché čištění
 - Mytí, praní
 - Sprchování
- Třídění: podle velikosti, jakosti, zralosti
- Dělení, oddělování: řezání, sekání, strouhání, škrabání, mletí, atd.
- Balení: bedny, bedýnky, sáčky, pytle, sítě, jiné obalové materiály

2.4.1. Neproduktivní zařízení

Jedná se o stroje které nepůsobí přímo na surovinu nebo produkt a jejich účelem je většinou doprava produktů mezi technologickými operacemi. Může se také jednat o zařízení ke skladování produktů před a po zpracováním, jako například různé zásobníky atd.


Mechanická doprava: Tento druh dopravy se využívá pro přesun pevných materiálů. Zahrnuje zejména dopravníky. Transport může probíhat vodorovně, nahoru nebo dolů.

- **Pásový dopravník:** Přestože existují různé konstrukce, princip se u nich zásadně neliší. Pásový dopravník je složen z nosné konstrukce, která nese hnací válce, vratné válce a podpěrné válečky. Na válcích a válečkách je nasazen pás, který se pomocí pohonu otáčí a unáší materiál v požadovaném směru. Místo podpěrných váleček lze u některých variant použít podpěrné desky z polyamidových materiálů, toto je vhodné pro kratší dopravníky. Tvar pásu může být v příčném směru rovný, nebo žlabový, kdy válce mají tvar hyperboloidu. [1] Dopravní také může být rovný nebo lomený.
 - Nosná konstrukce: Musí být dostatečně tuhá, aby nedocházelo k deformacím při zatížení od produktů a vlastní hmotnosti. Musí být

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

odolná proti korozi, protože přepravovaný materiál může být mokrá z předchozí operace, nebo může uvolňovat agresivní látky. Konstrukce bývá obvykle z svařovaných profilů a dílů, nebo z lisovaných plechů. V současnosti je trendem využívat plechové dílce vyřezané vodním paprskem nebo vypálené laserem a následně ohýbané do profilů, tak aby se zvýšila tuhost ve všech směrech. Materiály rámu mohou být z nerezových ocelí, kde následně již není třeba povrchové úpravy, nebo z konstrukčních ocelí, ty se ale následně musí nechat lakovat, zinkovat nebo ošetřit jiným způsobem. Součástí nosné konstrukce je také způsob uložení. Dopravník může být postaven na podlaze haly, nebo jiné konstrukci, popřípadě nohy mohou být nahrazeny konzolami přichycujícími dopravník k jiné konstrukci.

- Válce, válečky: Nesou a podpírají pás. Hnací válec je naháněn pohonem. Pohon může být pomocí řemenice, řetězu, v současnosti je ale výhodné použít elektromotor s převodovkou, obvykle asynchronní motor. Převodovka bývá použita, protože pro pohon hnacího válce není potřeba vysokých otáček, ale stačí nižší otáčky s větším kroutícím momentem, to snižuje hmotnost pohonu. Lze také použít frekvenční měnič pro plynulou regulaci otáček. Vrátný válec je podobný hnacímu, ale nevystupuje z něj hřídel, je tedy pouze uložen v ložiscích. Podpěrné válečky slouží k podepření pásu tak aby se neprověsil. Existují dva typy, válečky které podpírají horní část pásu, která právě nese produkt a spodní válečky, které podpírají vracející se pás v dolní části, zde sice není produkt, ale u delších dopravníků by se pás prověsil vlastní hmotností a snižovala by se jeho životnost.
- Pásy: Přímou unášejí produkt a bývají obvykle z PVC. Mohou být s hladkým pásem nebo pásem s unášeči. Hladký pás se používá pro většinu aplikací, kde se produkt bude přepravovat ve vodorovném směru nebo jen v malém stoupání. Pro produkty které mají sklon ke kutálení a které se vynášejí pod větším úhlem je vhodné použít pásy s unášeči. Unášeče jsou přilepeny na povrch pásu v příčném směru a mohou být rovné nebo šípovité popřípadě jiného tvaru. Protože pás se provozem unavuje, tedy prodlužuje svoji délku musí se napínat. To se provádí oddalováním hnacího a hnaného válce, nebo dalším napínacím válcem, konstrukce tomu bývá obvykle uzpůsobena.
- Dodatečná zařízení: Slouží k doplnění funkce samotného dopravníku. Mohou to být různé násypky, výsypky, bočnice, plachty, kryty, klapky, atd. Násypky, výsypky, bočnice usměrňují tok materiálu, aby nedocházelo ke ztrátám vpadnutím. Plachty a kryty zamezují vzniku nadměrné prašnosti a také u vynášecích dopravníků k řetězovému padání, kdy například v horní části se uvolní brambor a při padání dolů sebou strhne další a vznikne „vlna“, která se zastaví až dole.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	



Obrázek 6. Vynášení pásový dopravník [5]

- **Článekové dopravníky:** Jsou podobné jako pásové dopravníky, ale místo pásu jsou latě nebo překrývající se desky umístěných na řetězech. Používají se zejména pro obalů, přepravek, sklenic, plechovek atd. Výhoda je že mohou být zakřiveny a tvořit tak zatáčky, klidně až do úhlu 180°. [1]
- **Válečkové dopravníky:** Obsahují válečky s ložisky mohou dopravovat bedny samospádem, stačí spád 10 cm na 3 m délky. Mezi výhody patří jednoduchost, možnost lomení dráhy, průchodnost. [1]
- **Řetězové dopravníky:** V přepravní ploše je drážka, ze které vystupuje vhodný výstupek, ten je unášen řetězem pod přepravní plochou. Tento dopravník je vhodný pro přepravu větších hromadných obalů (bedny, sudy, atd.). Použití v kombinaci s vysutými drahami. [1]



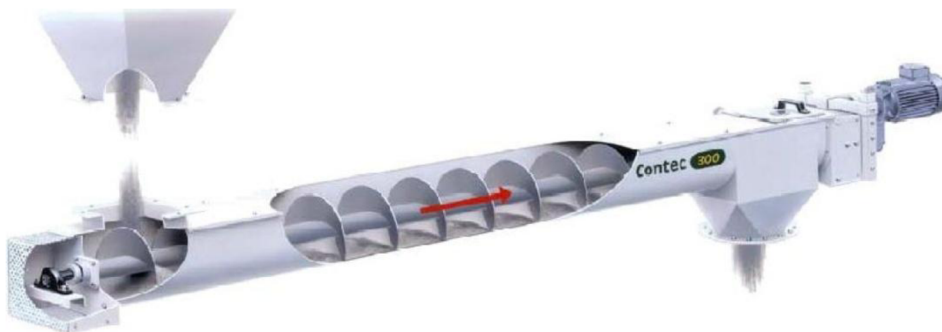
Obrázek 7. Řetězový dopravník [11]

- **Lopatkový (hrabicový) dopravník:** Poháněný řetěz v zakrytém kanálu opatřený lopatkami, hrabicemi nebo háky. Je vhodný pro dopravu sypkých



materiálů mimo obal, rychlost bývá malá, okolo 6-10 m/min, sklon maximálně 30°. [1]

- **Šnekové dopravníky:** Dopravní žlaby, ve který se otáčí šnek, tento tvar a rotační pohyb tlačí materiál dopředu. Z výhodou lze přemísťovat sypké a drobné materiály (mouka, cukr, hrášek, zrní, atd.). Další plus je fakt, že lze dopravovat materiál kontinuálně v přesných dávkách. Pokud je šnek uzavřen ze všech stran lze překonávat i značné stoupání. Maximální délka přibližně 6 m. [1]




Obrázek 8. Šnekový dopravník [12]

- **Vibrační dopravníky:** Principem je pohyb ojnice uložené na klikovém hřídeli. Převrácení plocha se tímto pohybuje nahoru a dolů a zároveň dopředu a dozadu. Při pohybu nahoru se přepravovaný materiál přitlačuje a zároveň je unášen v podélném směru, jakmile dosáhne plocha horní úvratě a začíná klesat, materiál pokračuje svoji setrvačností dále dopředu, sice dopadne opět na plochu, ale o kousek dále. Tímto opakovaným pohybem se pohybuje dopředu. Výhody přesná kontrola dávkování, vhodné i pro lepkavé potraviny a drobné materiály. [1]
- **Gravitační doprava:** Doprava samospádem, využívá se gravitačního zrychlení Země. Jednoduchý princip, protože nevyžaduje pohon. Lze použít pro dopravu ze stroje ke stroji, nebo z vyšší úrovně na nižší. Využívá se spádových potrubí, skluzů nebo shozů. [1]

Vodní doprava: Využívá se proudy vody v žlabu k unášení plavajícího materiálu. Žlaby mívají mírný sklon a proudí v nich voda, většinou užitková. Používají se například pro dopravu jablek, rajčat, hrášku, okurek atd. Hrášek je dostatečně malý a pevný takže může projít čerpadlem, využití potrubní dopravy. [1]

- **Výhody:**
 - jednoduché
 - šetrné pro měkké suroviny náchylné na potlučení
 - univerzální
 - surovina se současně čistí
 - lze kombinovat se zařízením na praní
- **Nevýhody:**
 - velká spotřeba vody
 - při poruše žlabu možnost úniku vody a vyplavení linky

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

- ztráty rozpustných látek vylouhováním
- možnost ovlivnit chemickou rovnováhu povrchu, důsledkem může být rychlejší degradace

Potrubní doprava: Pro přepravu tekutin, tedy kapalin a plynu (např. voda, nálevy, tekuté polotovary, páry, tlakový vzduch, nebo jiný plyn). Zařízením pro pohon je čerpadlo nebo kompresor a volí podle konkrétního použití. [1]

Pneumatická doprava: Používá se proud vzduchu nebo jiného plynu, který rychlostí 15 až 80 m/s unáší materiál v potrubí, úhel má vedlejší význam. Tato metoda je vhodná pro přepravu sypkých materiálů a technologii zpracování ovoce a zeleniny se používá pro krystalický cukr, jablečné výlisky a dále některé mražené produkty, jako např. hrášek. Rychlost proudění je ovlivněna vzdáleností, ztrátami, druhem přepravovaného materiálu, atd. [1]

- Typy: Výtlačné dopravníky (ventilátor tlačí materiál) nebo sací dopravník, popř. kombinace obou druhů
- Výhody:
 - jednoduché, snadná údržba
 - dobré čištění dopravního média
 - minimum pohyblivých částí
 - stačí pouze zdroj tlakového media
- Nevýhody:
 - prašné materiály mohou vytvořit výbušnou směs, zařízení musí být dobře uzemněno a tvorbě statické elektřiny se snaží zabránit pomocí vlhčení přepravovaného materiálu
 - vhodné pouze pro sypké materiály nebo specifické použití produktu malých rozměrů

Manipulační zařízení: Ostatní zařízení, které přemísťuje materiál, mohou to být například manipulátory, vykladače, paletizátory, různé vozíky - ruční, paletové, vysokozdvizné. Do potravinářských provozů nesmí z hygienických důvodů vozíky se spalovacími motory, využívají se proto vozíky elektrické.

- Vykladače: Lze je rozdělit na suché nebo mokré vykladače. [5]
 - Suché vykladače: Pracují na principu vyklápění skříňových palet. Paleta se umístí pomocí vysokozdvizného vozíku do zařízení a to jej překlápí, produkt se sype ven z palety a je odebírán dále do procesu.
 - Vodní vykladače: Jsou určeny pro šetrné a rychlé vyskladnění box palet převážně naplněnými jablky. Paleta se pomocí vysokozdvizného vozíku umístí na základnu, následně je paleta posunuta na výtah a ten zaaretuje a ponoří paletu do vodní lázně, ve které jablka plavou na hladině a jsou unášena proudem vody dále do procesu. Výhodami jsou šetrné vyložení palety bez otlučení produktu.




Obrázek 9. Suchý vyklapěč plastových palet [5]



Obrázek 10. Vodní vyklapěč se zařízením vodní výklopník [5]

- Podavače beden a kartonů: Prázdné bedny nebo kartony jsou vloženy ve sloupcích do zásobníku. Sloupec popojede do zařízení, které jej zvedne kromě spodní bedny nebo kartonu a ta následně popojede dále do plnicího stroje, popřípadě do skládacího stroje. Takto se vyloží celý sloupec a dále se pokračuje dalším sloupcem. Smyslem tohoto zařízení je usnadnění práce


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

obsluže, která nemusí celou dobu průběžně doplňovat bedny, ale naplní jednou zásobník a může se věnovat jiným činnostem. [5]



Obrázek 11. Zásobník a podavač beden [5]

- Kontrolní váhy: Zabalené produkty je třeba před uskladněním nebo expedicí zvážit, zda hmotnost vyhovuje stanovenému rozmezí.
- Stroje pro etiketování balení: Opatřují produkty štítky a etiketami. Každá bedna nebo balení musí mít etiketu. Štítky mohou být lepeny nebo tištěny, popřípadě raženy na pevné obaly.
- Paletizátory: Skládají bedny nebo pytle na palety tak, aby mohly být následně zabaleny a expedovány. Zařízení obsahuje plnicí dopravník, zásobník prázdných palet, stohovací věže s manipulátorem, a odváděcí válečkové sekce. Dále může být vybaveno balicí stanicí pro zpevnění sloupce produktu při větších výškách. Omotání se provádí sítovinou nebo fólií. [5]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	



Obrázek 12. Paletizátor od výrobce Symach [5]

Zásobníky: Patří mezi ně různé zásobníky, příjmové koše, bunkry. Slouží k uchování materiálu nebo produktu. Obvykle mají za účel skladování nebo jako tzv. „buffer“ před procesem, kde by nepravidelná dodávka mohla způsobit komplikace.

Třídění: Třídí se podle různých hledisek, například velikost barva, tvar, zralost, kvalita, atd. Třídění může být ruční nebo pomocí třídičů.

Váhy, dávkovače, třídění: Pro plynulý tok materiálu procesem nebo nadávkování produktu při balení je důležité přesné dávkování. K tomuto účelu se používají různé váhy a dávkovače.


2.4.2. Produktivní zařízení

Zpracovávají materiál do požadovaného stavu. Ke zpracování se využívá různých technologických operací. Tato zařízení přímo působí na surovinu nebo meziprodukt a tím vytvářejí výsledný produkt.

Zařízení pro čištění: Provádějí operace při kterých se ze surovin odstraňují nežádoucí látky nebo předměty. Podmínkou dalšího zpracování je dostatečné očištění suroviny minimálně na požadovanou mez.


Čištěním se odstraňují: [1]

- kovy: různé zbytky kovů atd.
- minerální látky: zemina, oleje, vazelína, kameny, atd.
- nepoživatelné části rostlin: listy, větve, slupky, stonky, atd.
- chemikálie: rezidua hnojiv nebo postřiků
- mikroorganismy: plísňe, spory, hniloba
- produkty činnosti mikroorganismů: toxiny, barviva, jiné látky

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

Dvě možnosti čištění:

- suché čištění
 - mokré čištění, praní
- **Suché čištění:** Pro produkty mechanicky odolné obvykle s menších rozměrů a s nízkým obsahem vlhkosti. Tento způsob čištění může být výhodnější z hlediska mikrobiální stability nebo proto, že se produkt následně nemusí sušit. [1]
 - nižší cena a menší rozměry než u praček
 - jednodušší a levnější likvidace suchého odpadu a sanitace zařízení
 - nevýhodou je ale nutnost opatření proti vzniku prašnosti
 - mezi základní typy patří:
 - Separátory vzduchové: využívají rozdíl hustot produktu a nečistot, použití principu podobného cyklonu.
 - Fyzikální separátory: využití pravidelného tvaru suroviny, mohou to být různá síta, nakloněné pásy, desky, dále detektory kovů, magnetické, elektromagnetické, atd.
 - **Mokré čištění:** Použití odstraňování zeminy, prachu a zbytků pesticidů z většiny druhů ovoce a zeleniny, značné zmenšení mikrobiální kombinace. Lze zvýšit účinek přidáním detergentů a zvýšením teploty, ale pro zpracování ovoce a zeleniny je to nevhodné. Zásadní nevýhodou je nutnost zpracování odpadní vody. Spotřebu lze snížit rozumným uspořádáním linky, kde čistá voda jde proti proudu procesu. Tedy nejčistší voda umývá koncový produkt nebo meziprodukt a dále se použije na hrubší mytí na začátku procesu. Dále filtrace a dezinfekce můžou také ušetřit další náklady atd. [1]
 - *Proces praní má tři fáze: [1]*
 - *Předmáčení: Pro uvolnění nejhrubších nečistot, voda nemusí být úplně čistá.*
 - *Vlastní praní: Může být hrubé nebo na hotovo, jedná se odstraňování nečistot pomocí proudu vody a vzájemného pohybu suroviny a čistících nástrojů.*
 - *Sprchování: Konečná fáze kde potravina je opláchnuta čistou vodou.*
 - *Pračky podle použití: [1]*
 - *předmáčecí pračky*
 - *pračky pro velice měkké suroviny (jahody, maliny, atd.)*
 - *pračky pro měkké suroviny (rajčata, papriky, peckové ovoce)*
 - *pračky pro tvrdé surovina (brambory, kořenová zelenina)*
 - *speciální pračky (okurky, listová zelenina)*
 - *Pračky podle konstrukce: [1]*
 - *Sprchové pračky: Typické pro oplachování velmi měkkých surovin, oplachování probíhá pomocí trysek, intenzita se volí s ohledem na surovinu.*
 - *Vibrační pračky: Pro měkké suroviny, vana naplněna vodou a vibruje. Univerzální pro jemnější suroviny. Nevýhodou jsou vibrace přenášené do okolí.*

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

- *Vzduchové pračky: Také pro měkké suroviny, velice univerzální a používané. Pracují na principu „whirlpool“.*
- *Fluidní pračky: Surovina plave s proudem vody pod hladinou. Lehčí částice vyplavou na hladinu zatímco těžší klesnou na dno. Turbulence vody zajišťuje dostatečný prací efekt. Nutnost stejného tvaru suroviny. Vhodné tedy pouze pro některé aplikace (hrášek).*
- *Bubnové pračky: Následující pračky jsou pro tvrdé suroviny, jako brambory, jablka, kořenovou zeleninu. Bubnové pračky jsou principem podobné domácí pračce, buben který rotuje je ponořený ve vodě nebo pouze oplachován ostřikem a surovina v se vněm převaluje a otíráním se tím čistí.*




Obrázek 13. Bubnová pračka brambor [13]

- *Hřeblové pračky: Žlab ve kterém se otáčí hřídel s hřebly nebo lopatkami, ty perou a posouvají surovinu.*
- *Kartáčové pračky: Kartáče otírají povrch suroviny a tím ji čistí.*
- *Hrabcové pračky: Speciální pračka pro listovou zeleninu, zejména špenát. Simuluje se zde máchání ve vodě, je to velice efektivní.*
- *Kartáčové pračky: Speciální konstrukce pro čištění okurek.*



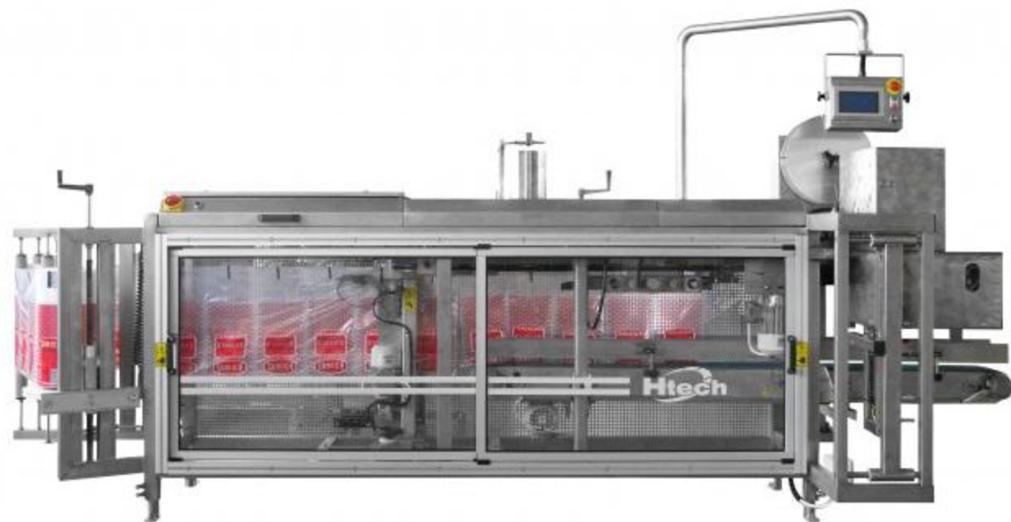
Obrázek 14. Kartáčová pračka [14]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 29
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

Balení: Balení ovoce a zeleniny je konečná fáze zpracování. Podle požadavků spotřebitelského odvětví záleží jak bude produkt balen, zda do plastových nebo dřevěných beden, nebo sáčků, sítěk, plastových bedýnek atd. Balení má obsahovat požadovanou dávku, proto před balícím strojem bývá řazená dávkovací váha. Stroje mohou být pro horizontální nebo vertikální balení. [5]

Možnosti balení:

- Plastové bedny pro opakované použití
- Dřevěné bedny
- Kartonové bedýnky
- Igelitové sáčky
- Síťové pytle



Obrázek 15. Horizontální balička [5]



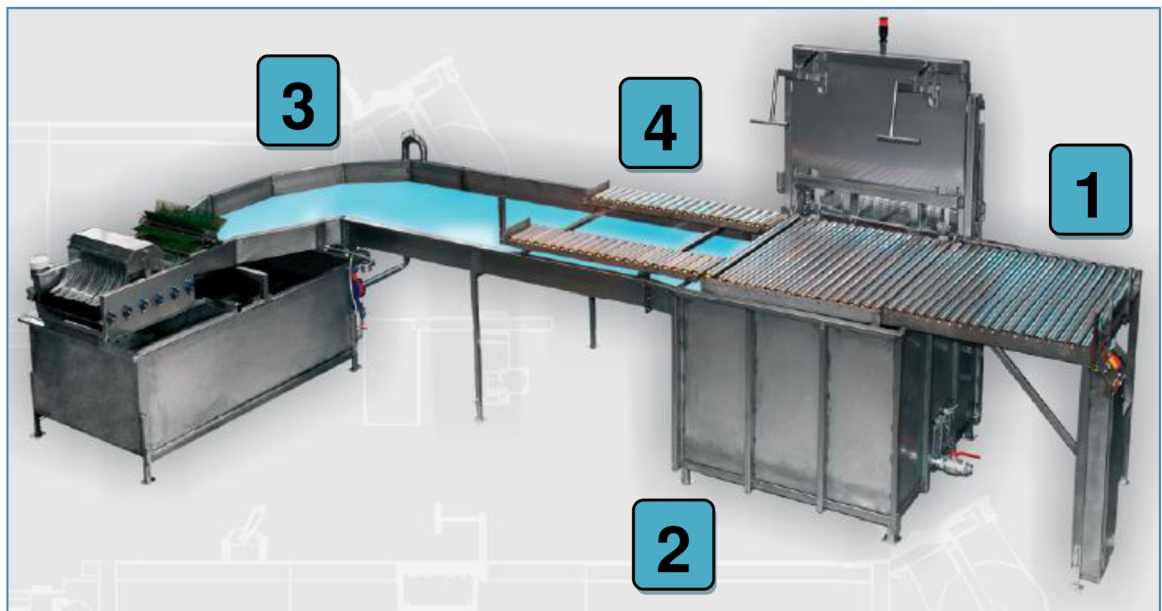
Obrázek 16. Vertikální balička od výrobce Jasa [5]

3. Jednoučelové zařízení vodní výklopník

3.1. Rozbor jednoučelového zařízení vodní výklopník

3.1.1. Popis funkce, parametry

V potravinářství, konkrétně v ovocnářském-zelinářském zpracování, lze pro šetrné vyprazdňování plastových krabicových palet (box palety) použít tzv. vodní vykladače. Účelem těchto zařízení je šetrně, bezpečně a efektivně vykládat palety naplněné sklizenou surovinou. Pro některé druhy ovoce je důležité co nejvíce omezit nežádoucí otloukání, které bývá příčinou pozdější hniloby a tedy znehodnocování produktu. Vodní vykladače (obrázek číslo 17) se obvykle skládají z úseků přísunu plných palet (1), vodního výklopníku (2), vodní cesty s cirkulující vodou (3) a části odběru prázdných palet (4). Toto zařízení funguje tak, že obsluha naloží paletu na plnicí válečkový pojezd. Paleta se následně posune na pojezd výtahu vodního výklopníku. Výtah se začne spouštět do vany s vodou a současně je box paleta přidržena pomocí dvojice ramen, která brání pohybu palety vzhledem k výtahu. Jablka ve vodě plavou, proto se vytlačí postupně z palety na vodní hladinu, kde jsou unášena proudící vodou dále ke zpracování. Potom co je paleta prázdná, a jablka jsou odplavena, vyjede výtah do horní polohy a další plná paleta posune stávající prázdnou na odebírací část, takže se může plynule pokračovat ve vyprazdňování produktu.



Obrázek 17. Popis vodního vykladače [5]

Toto zařízení dokáže šetrně vyprázdnit okolo dvaceti palet za hodinu. Každá tato paleta může mít i okolo 700 Kg hmotnosti nákladu. Nakládání a odebírání palet se provádí obsluhou pomocí vysokozdvížného vozíku, které se v provozech zpracování ovoce a zeleniny pro manipulaci běžně používají. Vodní cirkulace se provádí uzavřeným okruhem s filtrací pro minimalizaci spotřeby vody a tedy snížení nákladů. Použitý materiál je převážně nerezová ocel ČSN 17240 (DIN 1.4301, AISI 304). [5]



Vykládání palet pomocí vodních vykladačů má své výhody ale i některé nevýhody.

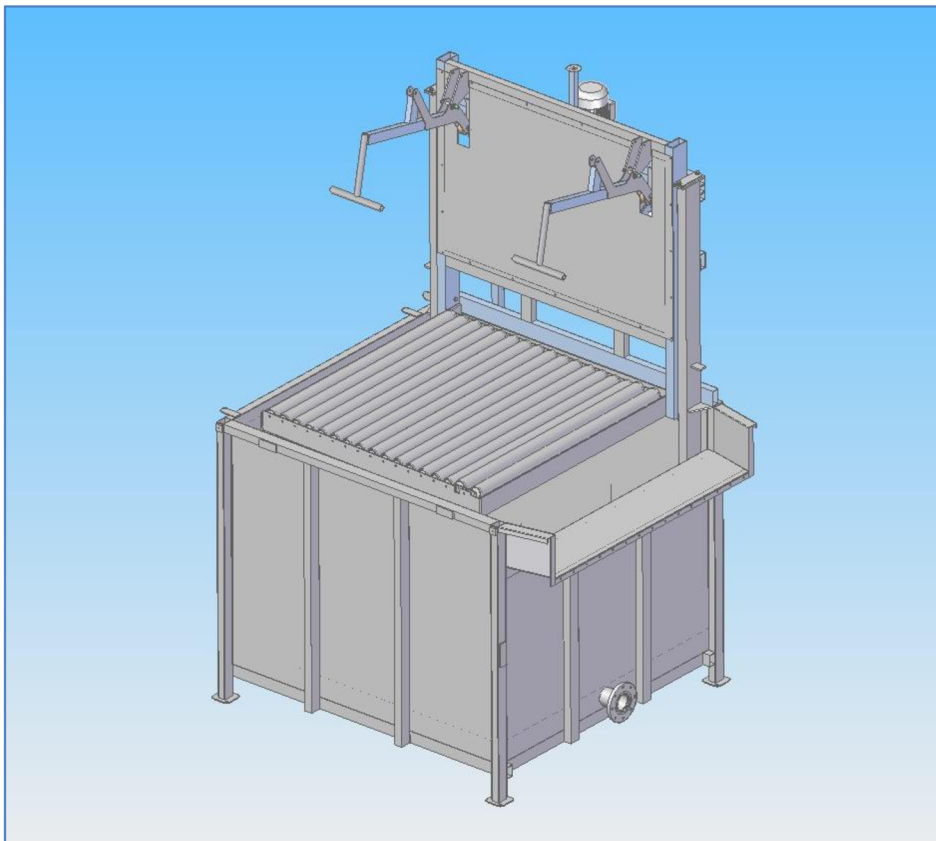
Výhody:

- šetrný způsob pro vykládku surovin náchylných na otlučení
- lze vyložit velké a hmotné box palety
- součást vodní cesty, výhodou zejména když má následovat mokrý proces
- uzavřená cirkulace s filtrací snižuje spotřebu vody



Nevýhody:

- u ovoce a zeleniny může namočení narušit mikrobiální rovnováhu, důsledkem bývá urychlení degradace ovoce a zeleniny
- nesmí docházet k únikům vody nebo průsakům
- pro nakládání se používají vysokozdvizné vozíky, musí být volný přístup k nakládání a vykládání palet
- investiční náklady jsou vyšší než u jednodušších zařízení
- před vytažením prázdné box palety se musí počkat než se odplaví všechna jablka

Vodní vykladače se skládají z více částí, tato práce je zaměřena hlavně na část zařízení vodní výklopník, které sváží box palety do nádrže s vodou. Dále se tedy v této práci zaměřím na toto zařízení.



Obrázek 18 - Vodní výklopník

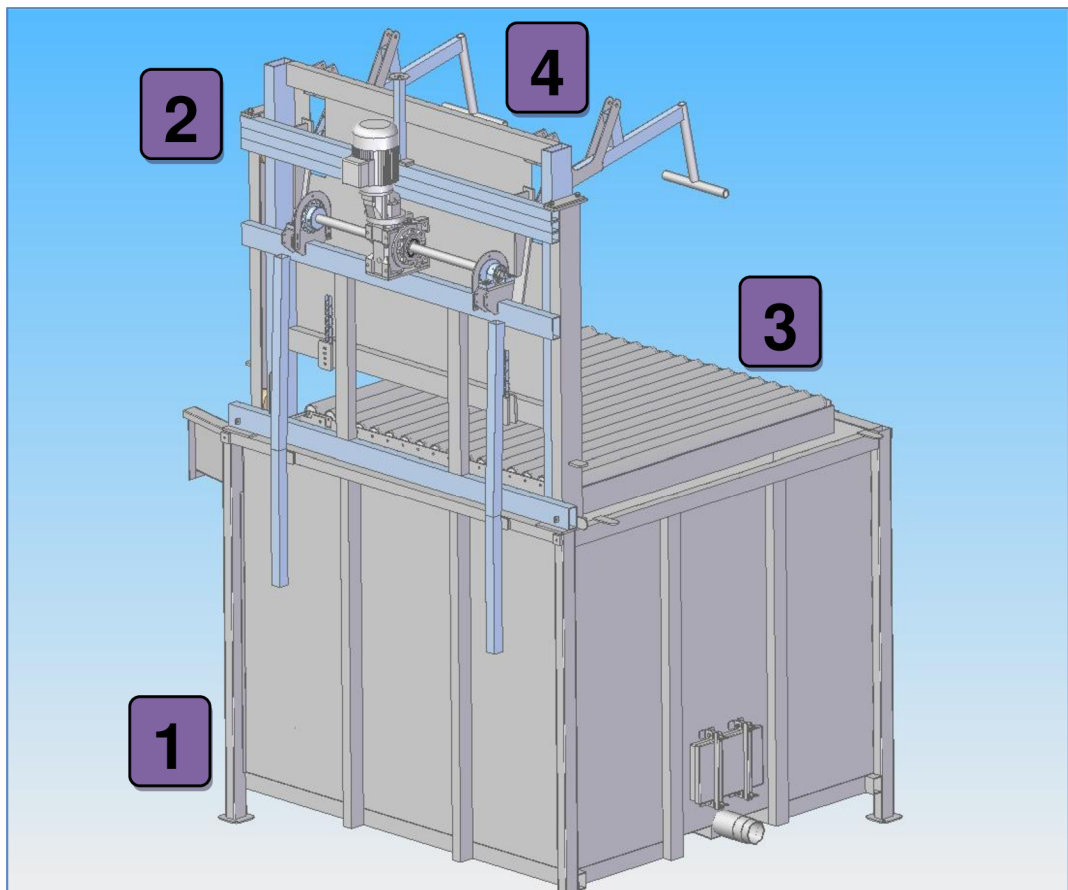
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

3.1.2. Popis částí stroje

Zařízení vodní výklopník se skládá z několika hlavních částí, kde každá z nich má určitou funkci a které na sebe navzájem navazují. Pro lepší pochopení funkce tohoto zařízení, bude dále rozvedena každá část zvlášť, včetně popisu a návaznosti vzhledem k dalším částem.

Zařízení lze rozdělit na pět základních částí: (viz. obrázek č.19)

1. Nádrž na vodu s kostrou
2. Věž výtahu
3. Výtah
4. Přidržovací ramena
5. Ovládací panel (není na obrázku)

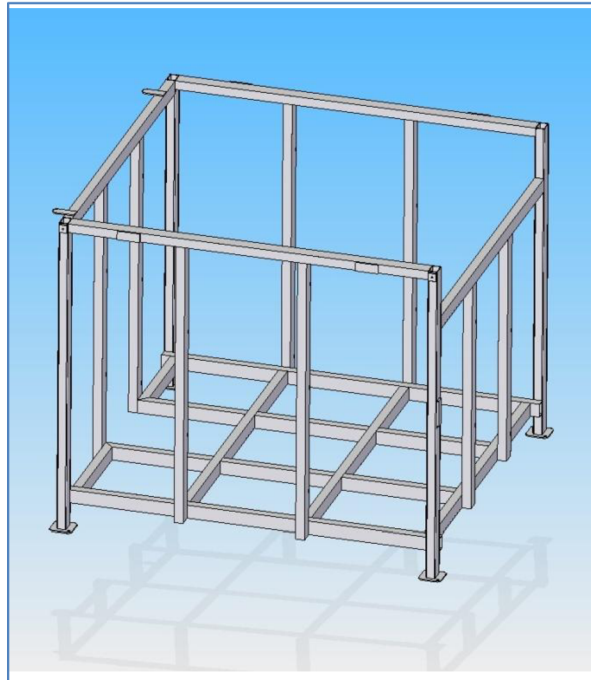


Obrázek 19. Hlavní části zařízení



Nádrž na vodu s kostrou:

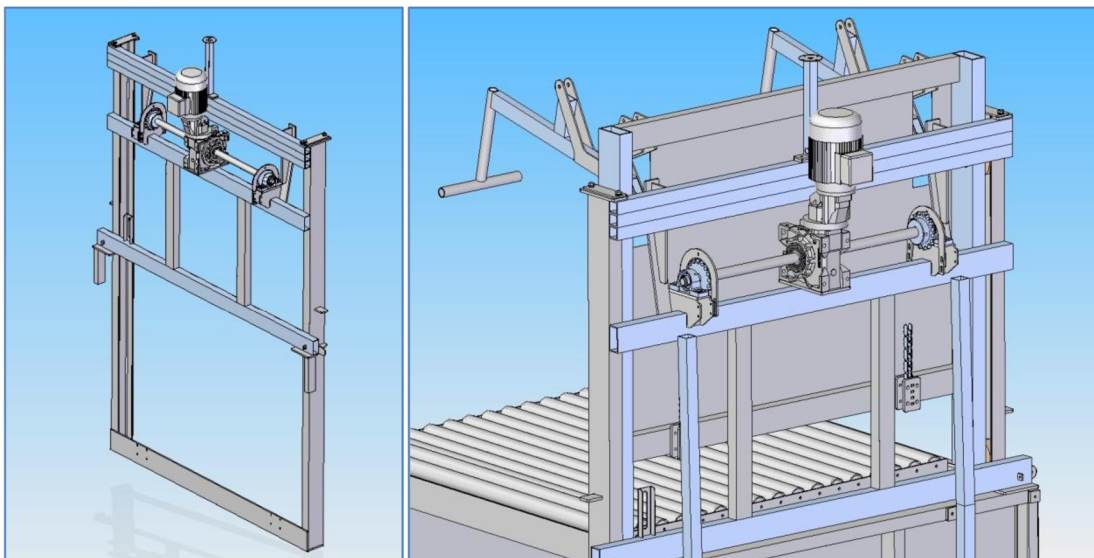
- Slouží k udržení vody, kde hladina musí být dostatečně vysoká pro ponoření celé box palety.
- Kostra je uložena na podlaze a nese plechovou nádrž s vodou a další připojené zařízení.
- Kostra je vytvořena svařením čtyřhranných profilů. Vana je vyrobena svařením plechových výřezků.
- Ke kostře bývají připojeny válečkové tratě pro nakládání a vykládání palet, dále věž výtahu a koryto vodní cesty.
- Na dně nádrže je přívod tlakové vody. Proudící voda pak unáší jablka do procesu.




Obrázek 20. Kostra nádrže

Věž výtahu:

- Věž je uchycena ke kostře a nese výtah a pohon výtahu. Pohonem je asynchronní elektromotor se šnekovou převodovkou, která nahání hřídel s řetězovými koly.
- Věž se ve svislém směru skládá z U profilů ve kterých jezdí kola výtahu.
- Ve směru pohybu je umístěno nakloněné křivkové vedení, které vyvozuje požadovaný pohyb přidržovacích ramen, tedy jejich sklopení v závislosti na zdvihu výtahu.

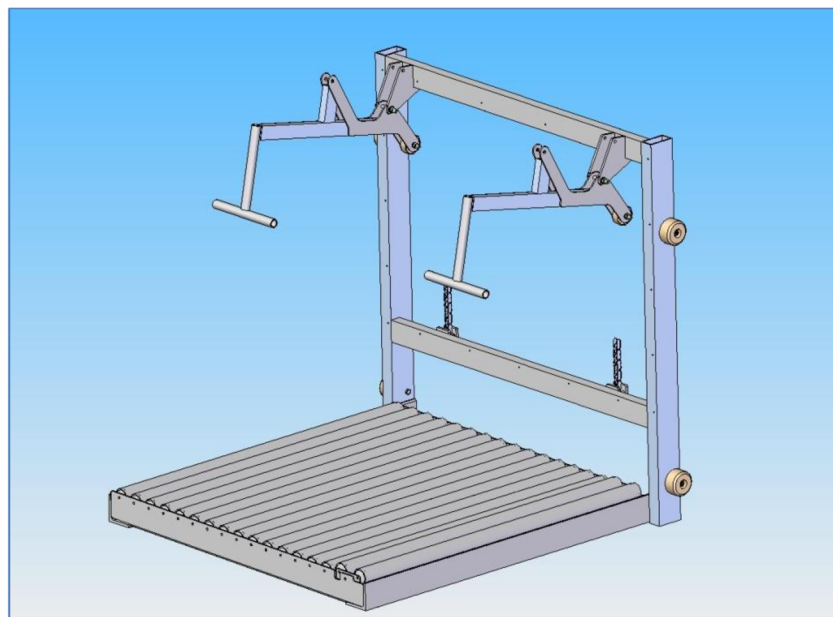


Obrázek 21. Věž výtahu, zadní pohled bez krytování

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

Výtah:

- Tvar připomíná písmeno L, kde svislá stěna nese čtyři kola. Kola jsou uložena v U profilech věže výtahu a tím omezují volnost pohybu pouze na pohyb ve svislém směru.
- V dolní nosníku je uchycení řetězů, řetězy vedou na řetězová kola na věži výtahu.
- Ve vodorovné části jsou uloženy válečky, na kterých bývá naložena paleta v průběhu vykládání.
- V horní části je uchycení pro přidržovací ramena a jejich plynové vzpěry.
- Rychlost zdvihu je pevně dána pohonem a má hodnotu $v=34$ (mm/s).



Obrázek 22. Výtah, obrázek bez krycího plechu a vzpěr

Ramena:

- Jejich účelem je přidržovat box paletu a omezit tak její pohyb vzhledem k výtahu. Box palety jsou z plastu nebo dřeva a proto by mohly vyplavat spolu s jablky. Musí být tedy při procesu vykládání přidrženy.
- Sklopení ramen je realizováno pomocí křivkového vedení a tlaku předepnutých plynových vzpěr.
- Přítlačné plynové vzpěry jsou od výrobce Eckold, typ je G14/28-150-376-GZ-GZ-2000N, katalog je součástí elektronické přílohy.

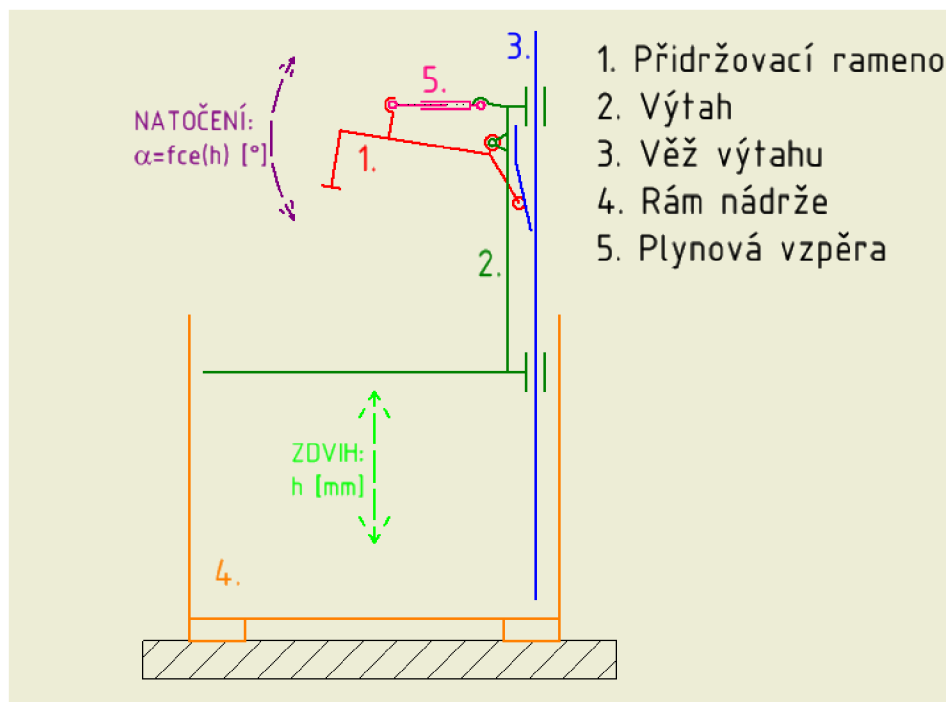
Ovládací panel:

- Obsahuje ovládací prvky a elektrické rozvody.
- Po naložení plné palety, obsluha manuálně spustí výtah dolů a po vyprázdnění opět nahoru, panel bývá umístěn tak, aby z místa u něj bylo dobře vidět na zařízení a také aby nemohlo dojít ke kontaktu obsluhy s pohybující se částí výtahu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

3.1.3. Kinematika stroje


Na obrázku č.23 je zobrazeno kinematické schéma zařízení, protože je zařízení symetrické podle svislé své roviny symetrie, lze ho pro tento rozbor považovat jako 2D mechanismus. Z kinematického hlediska jsou nejjednoduššími částmi rám nádrže a věž výtahu, protože nekonají žádný pohyb, tedy nemají žádný stupeň volnosti. Rám nádrže je položen na podlaze, následně je k rámu uchycena věž výtahu.



Obrázek 23. Kinematické schéma zařízení

Další částí je výtah, který je uložen ve vedení věže výtahu a může konat translační pohyb, neboli zdvih. Výtah má na obou svislých stranách umístěny pod sebou dvě kladky a protože tyto kladky jsou umístěny do U-profilu věže výtahu, lze tuto vazbu kinematické dvojice považovat za vazbu posuvnou, tedy vazbu která má pouze jeden stupeň volnosti a zbylé dva stupně omezuje (omezuje translaci v druhém směru a rotaci). V nejvyšší horní poloze je zdvih považován za nulovou hodnotu, naopak v nejnižší poloze je zdvih považován za maximální. Zdvih je realizován pomocí motoru s převodovkou, hřídelí a řetězovými koly, odtud vede řetěz, jehož konec je přichycen k výtahu.

Nejsložitější částí z hlediska kinematiky je přidržovací rameno, které koná obecný rovinný pohyb vzhledem ke globálnímu souřadnému systému. Rameno je uloženo na otočné vazbě výtahu, kolem které rotuje o úhel α , tato vazba odebírá dva stupně volnosti. Další vazbou je kontakt kladky s křivkovým vedením, jedná se v podstatě o vačkový mechanismus, který odebírá jeden stupeň volnosti. Protože křivkové vedení je součástí věže výtahu, umožňuje natáčení ramena, tedy úhel natočení ramena je opět funkcí zdvihu. Vůči výtahu rameno koná pouze rotační pohyb, protože ale výtah sám o sobě při zdvihu koná translační pohyb vůči věži, nebo také globálnímu souřadnému systému, je výsledným pohybem ramena tudíž pohyb obecný rovinný.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

Posledním členem mechanismu je plynová vzpěra, která v sobě akumuluje potenciální energii a tím přitlačuje rameno na křivkové vedení. Při kontaktu s přidržovanou box paletou ji aretuje na místě.

Kinematický rozbor: Rovnice ze skript kinematiky [7] str. 104, pro určení stupňů volnosti, kde n je počet členu soustavy včetně pevného rámu a $\xi_{p\xi}$ je řád vazby.

$$\eta = 3 \cdot (n - 1) - \sum \xi_{p\xi} \quad (1)$$

Soustava o dvou členech: věž výtahu - výtah. Jedná se o jednu kinematickou dvojici. Počet těles včetně rámu (věž je brána jako rám) je dvě, počet omezujících vazeb je jedna vazba druhého řádu. Výsledná rovnice kinematického rozboru tedy je:

$$\eta_{výtah} = 3 \cdot (2 - 1) - (1 \cdot 2) = 1^\circ \text{ volnosti} \quad (2)$$

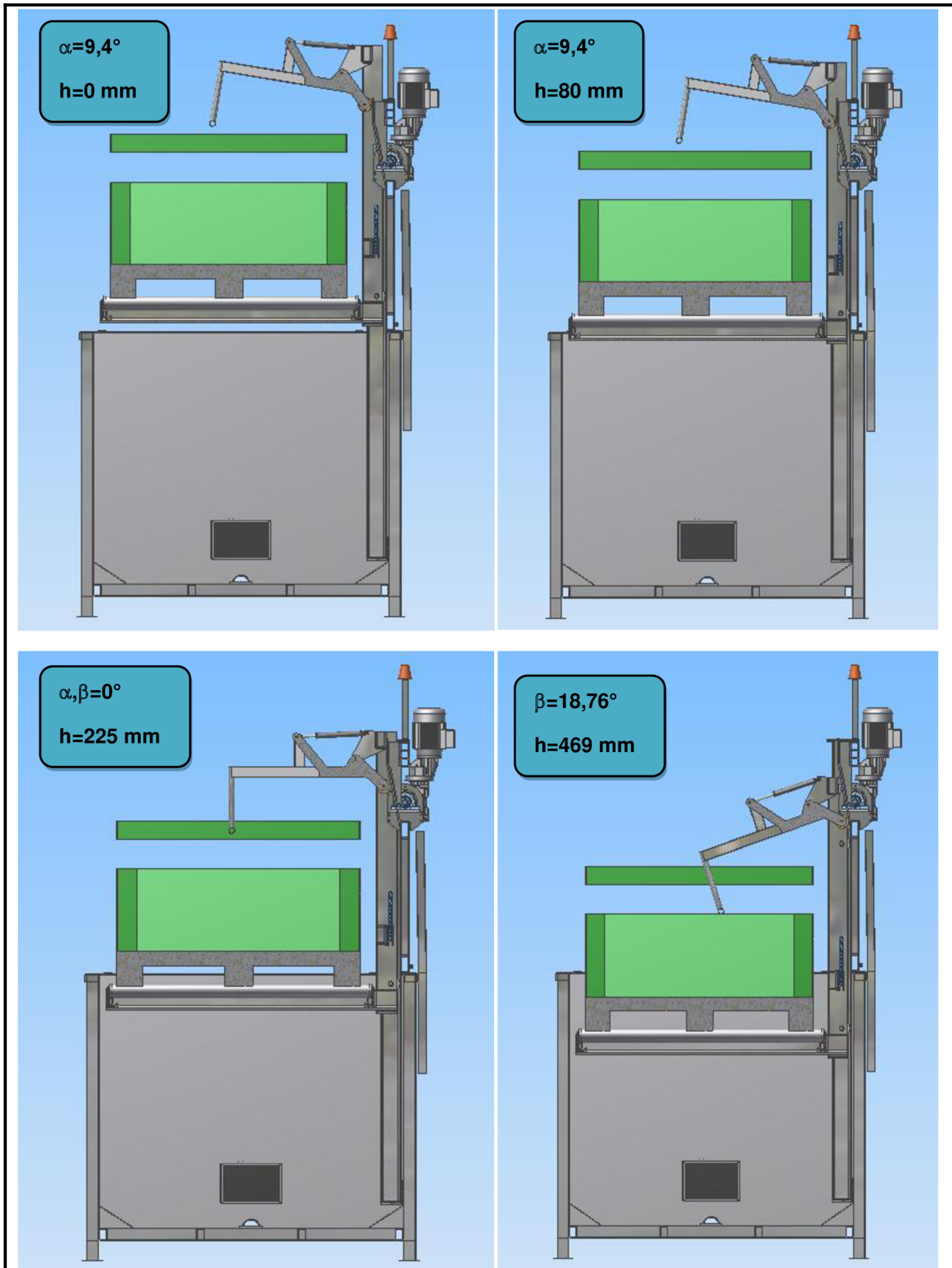
Soustava o třech členech: věž - výtah - rameno. Jsou zde tři kinematické dvojice, omezující vazby jsou dvě vazby druhého řádu (dvě rotační vazby) a jedna vazba prvního (obecná vazba, dotyk kladky a vedení). Pro usnadnění pochopení je možné si představit, že výtah je pevný rám a pohybujeme věží výtahu, potom se bude pohybovat i rameno. Rovnice proto je:

$$\eta_{rameno} = 3 \cdot (3 - 1) - (2 \cdot 2 + 1 \cdot 1) = 6 - 5 = 1^\circ \text{ volnosti} \quad (3)$$


Z rozboru je potvrzeno, že výtah se může pohybovat ve svislém směru, a že rameno se může otáčet kolem svého uložení. V reálném případě je poloha výtahu omezena ještě spojením s řetězem a poloha ramena přitlakem plynové vzpěry na křivkové vedení. Tedy polohu výtahu určuje natočení pohonu a polohu ramena určuje geometrie křivkového vedení a aktuální zdvih výtahu. V další podkapitole bude tedy rozebráno jaký je průběh natočení ramena v závislosti na zdvihu.

3.1.4. Analýza průběhu natáčení ramena v závislosti na zdvihu

Jak bylo popsáno výše, úhel natočení ramena je závislý na zdvihu h (mm). Protože nejsou k dispozici podklady, které by tento průběh popisovaly, bylo nutné jej analyzovat. To se mohlo provést dvěma způsoby, změřením na reálném zařízení nebo odměřit v počítačovém modelu. První varianta nebyla možná, protože zařízení nebylo v době zpracování této práce k dispozici. Proto jsem odměření provedl z modelu. Model je podkladem pro výrobní výkresy, takže by se měl shodovat se skutečně vyrobeným zařízením a rozdíly by měly být minimální. Ke zjištění potřebných hodnot jsem použil program Autodesk Inventor a simuloval jsem v něm zdvih. Hodnoty jsem získal ručně pomocí zadávání vazeb a nástroje měřit. Na následující stránce je sada obrázků, která ukazuje jak probíhá zdvih. Jen poznamenám, že zelený díl je schematické zobrazení box palety a na obrázku je box paleta rozdělena, protože vymezuje rozsah vysoké a nízké box palety nebo bedny. Levý horní obrázek ukazuje výtah v úplně horní poloze, tedy zdvih má hodnotu $h=0$ (mm). Rameno se dotýká křivkového vedení v horní části která je vertikální, tedy má nulový úhel se směrem pohybu. Rameno je v tomto případě natočeno pod úhlem $\alpha=9,4^\circ$ od země. Pravý horní obrázek zobrazuje zdvih $h=80$ (mm). Výtah je posunut dolů, ale úhel ramena zůstal konstantní, je totiž stále na svislé části křivkového vedení.



Obrázek 24. Zobrazení průběhu zdvihu

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

Od zdvihu $h=80$ (mm), má křivkové vedení úhel $\sigma = 11,5^\circ$ k svislému směru pohybu a tedy při pokračování zdvihu se bude měnit úhel ramena. Levý dolní obrázek zobrazuje zdvih $h=225$ (mm), kdy je rameno v horizontální poloze. Dále pravý dolní obrázek ukazuje zdvih $h=469$ (mm), kdy došlo k dotlačení box palety, úhel od horizontální polohy je $\beta=18,76^\circ$. Dále jsem naměřil ještě hodnoty pro dotlačení vysoké palety $\alpha=5,88^\circ$ pro zdvih $h=137$ (mm) a maximální natočení pro zdvih bez bedny $\beta=49^\circ$ pro zdvih od $h=863$ (mm) a dotlačení nízké box palety.

Je vidět, že může nastat několik druhů zdvihu. Může být vložena nízká bedna nebo vysoká, nebo nemusí být vložena žádná. Protože není jasné při které variantě zdvihu bude zatížení největší, rozhodl jsem zatížení vyšetřit jako funkci, tedy ne pouze pro jede konkrétní stav, ale jako průběh.

Podle naměřených hodnot úhlů pro konkrétní zdvihy jsem byl schopen sestavit jednoduché lineární rovnice a jejich intervaly. Intervaly jsou v tomto případě části zdvihu rozdělené tak, aby na sebe navazovaly.

Výpočty jsou obsaženy ve výpočtové zprávě - příloha 1, která je papírovou přílohou této práce a obsahuje kompletní výpočty a grafy. V diplomové práci budou vysvětleny některé postupy a dosažené výsledky, zbytek zůstane k nahlédnutí ve výpočtové zprávě. Výpočtová zpráva je zrealizována v programu Mathcad. Tento program je pohodlný nástroj pro nejrůznější výpočty, počítá parametricky, takže stačí zadat vstupní parametry, napsat rovnice a program je vyřeší. V Matcadu lze zapisovat vektory, matice, intervaly, počítat s maticemi, funkcemi, integrály a spoustu dalších užitečných věcí. Velkou výhodou je dobrá možnost vykreslování grafů a pohodlný zápis indexů.

Intervaly zdvihu, mezi nimi dochází ke změně podmínek [Příloha 1]:

$$h_1 := 0..80$$

$$h_2 := 80..225$$

$$h_3 := 137..1135$$

$$h_{4k} := 225..862.3$$

$$h_5 := 469..1135$$

$$h_6 := 862.3..1135$$

(1) Přílohy - intervaly zdvihu

Odvozené rovnice pro úhly α, β [Příloha 1]:

$$\alpha_1(h_1) := 0 \cdot h_1 - 9.4$$

$$\beta_{4k}(h_{4k}) := \frac{18.76}{244} \cdot h_{4k} - \frac{18.76 \cdot 225}{244}$$

$$\alpha_2(h_2) := \frac{9.4}{145} \cdot h_2 - \frac{9.4 \cdot 225}{145}$$

$$\beta_5(h_5) := 0 \cdot h_5 + 18.76$$

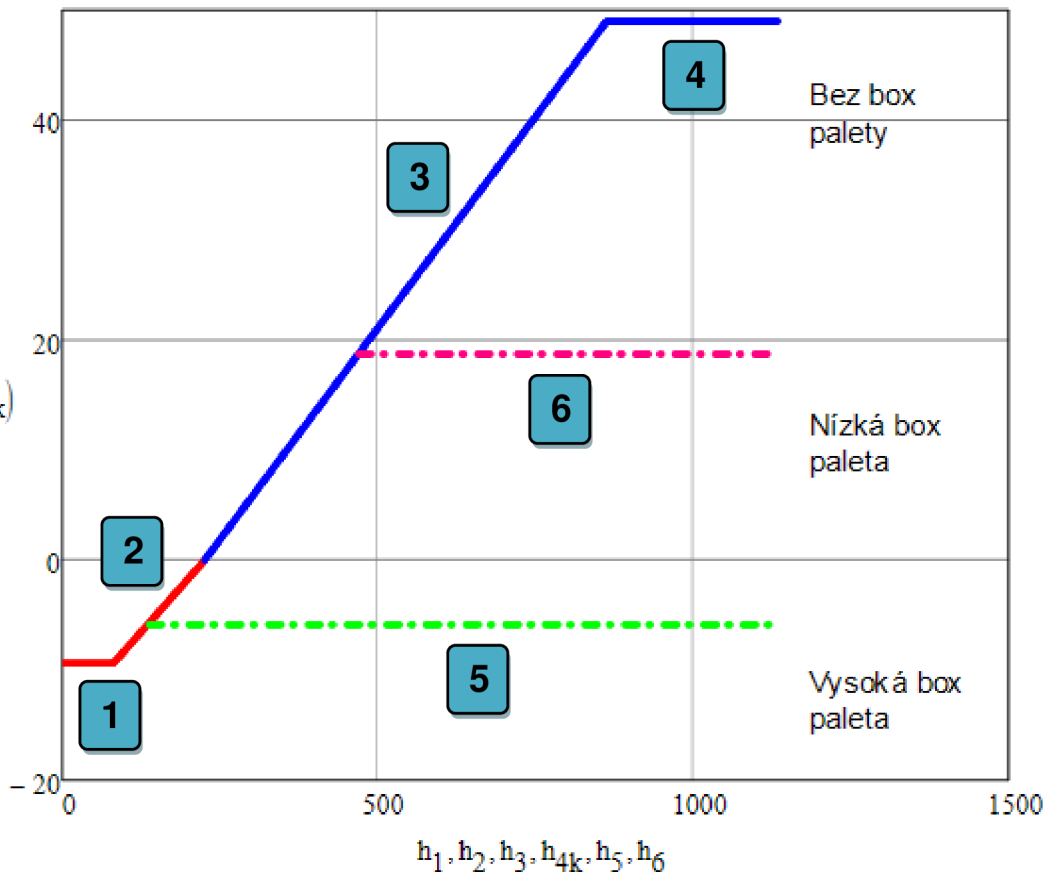
$$\alpha_3(h_3) := 0 \cdot h_3 - 5.88$$

$$\beta_6(h_6) := 0 \cdot h_6 + 49$$

(2) Přílohy - rovnice natočení ramena





Graf průběhu natočení ramena v závislosti na zdvihu pro různé stavy [Příloha 1]:



(3) Přílohy - Graf 1.1.

Z grafu přílohy je tedy názorně vidět, jak probíhá natáčení ramena v závislosti na zdvihu. V obrázku jsou zobrazeny následující části zdvihu. Zdvih po svislé části vedení, kdy je natočení konstantní (1). Dále část natáčení ramena do horizontální polohy (2), do tohoto okamžiku je úhel nazýván α . Z horizontální polohy ramena pokračuje zdvih dále a natočení se zvětšuje o úhel β , až do maximálního vysunutí plynové vzpěry (3), pak je úhel opět konstantní (4). Výše popsaný případ zdvihu je pro operaci bez bedny. Dále jsou zobrazeny ještě dvě možnosti průběhu zdvihu a to dotlačení vysoké (5) nebo nízké box palety (6). Opět je vidět, že se rameno otáčí dokud se nedotlačí na bednu. Při dotlačení ramena a dále pokračujícím zdvihu, se přestane kladka ramena dotýkat křivkového vedení. Opačně potom při zdvihu nahoru se v určitém okamžiku kladka přiblíží k vedení a začne se dotlačovat a opět otáčet rameno až dojde k odklopení bedny.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 41
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

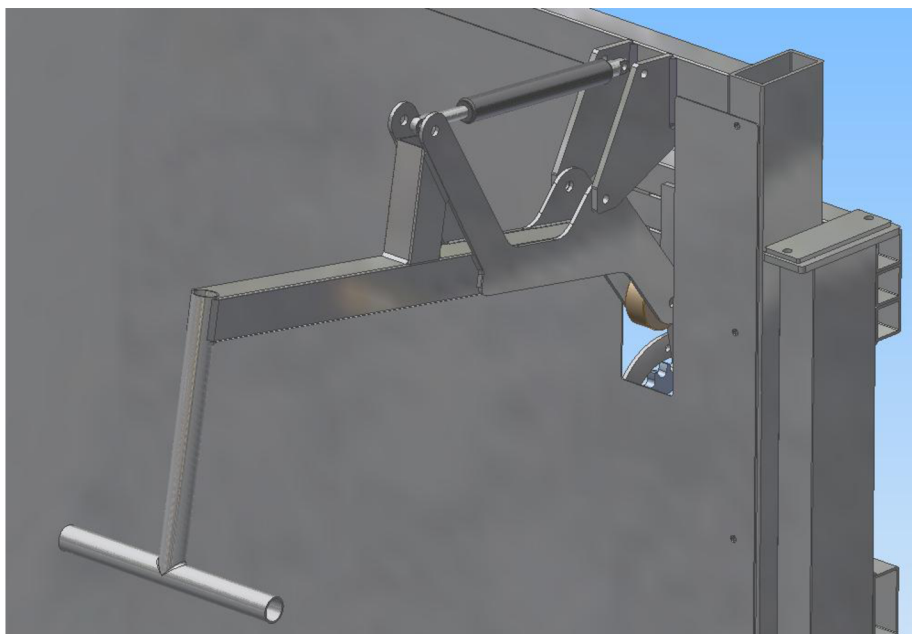
3.2. Výpočetní část

Protože cílem této práce je provést simulaci pevnosti pomocí MKP bylo nutné zjistit zatěžující síly a momenty na celé zařízení. Teoreticky by bylo možné provést simulaci celé sestavy, musely by se ale nastavit všechny vazby a dotyky, navíc by bylo provedení simulace tímto způsobem pravděpodobně velice složité a zdlouhavé, vzhledem k možnostem dostupného softwarového a hardwarového vybavení. Rozhodl jsem se tedy sestavu rozdělit na jednotlivé podsestavy a určit podmínky působení sil mezi nimi. Sestavu jsem tedy rozdělil a provedl uvolnění vazeb, které jsem nahradil silami, popř. momenty sil. Získal jsem tak schémata pro každou podsestavu, kde jednotlivými vazbami působí nahrazení síly. Cílem výpočtu je vyřešit a určit velikosti a směry všech uvolněných sil a tím poskytnout potřebná data pro provedení simulace. Tak by mělo být možné provést simulaci i na běžně dostupných počítačích.

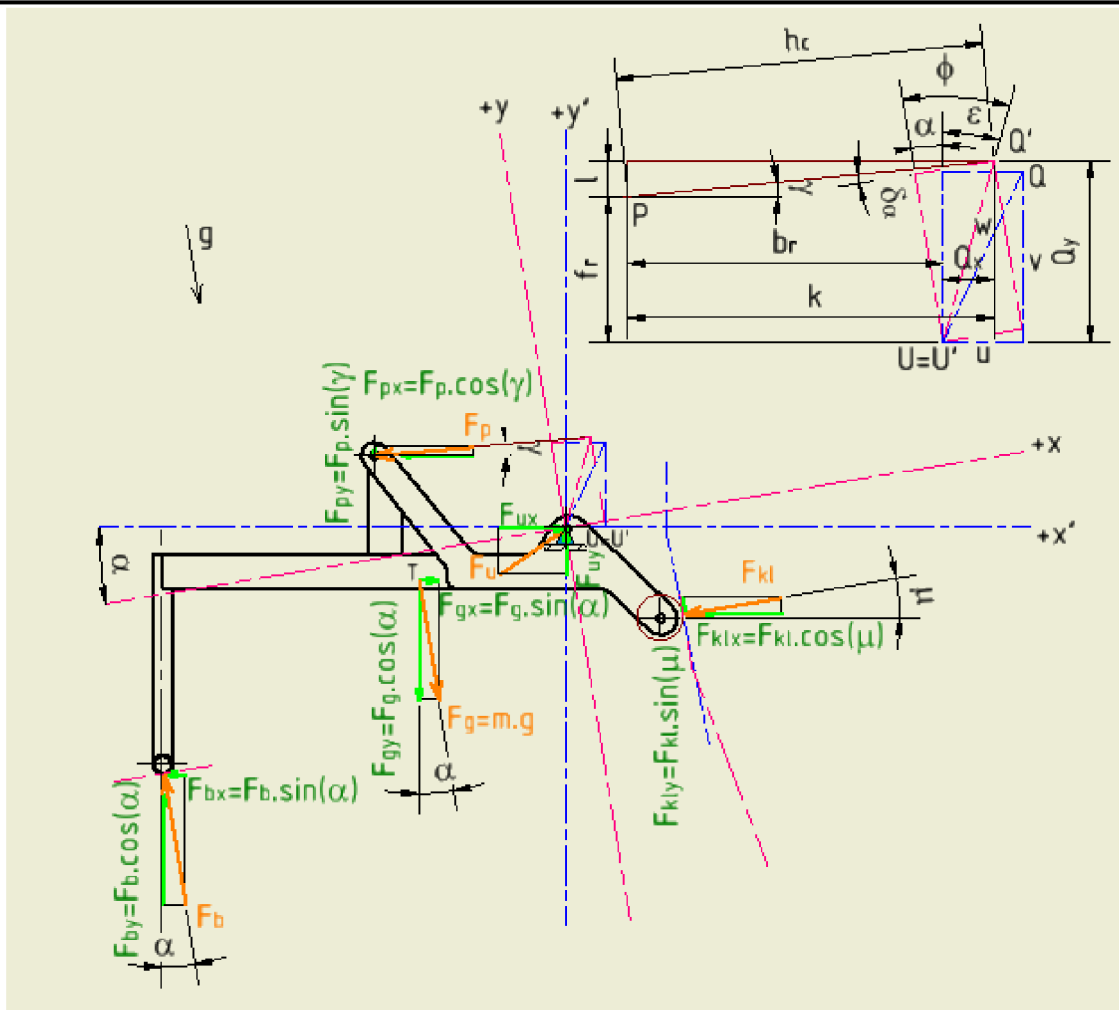
Výpočet pokračuje ve výpočtové zprávě - příloha 1 a je rozdělen do několika podkapitol, kde v každé z nich je vypočtena určitá podsestava. Z výpočtové zprávy vytáhnu a popíšu nepodstatnější informace, ostatní jsou k nahlédnutí v příloze.

3.2.1. Výpočet přídržovacího ramena

Rameno je tedy uchyceno na otočené vazbě k výtahu, tuto vazbu jsem pojmenoval vazba U a nahradil ji silou F_u . Na obrázku č.25. je vidět plynová vzpěra, která působí silou F_p na rameno v bodě P a její druhý konec působí stejně velkou silou na bod Q, který označuje kontakt vzpěry a výtahu. Poznámka: není zobrazen spojovací materiál. Dalšími vazbami je vazba od křivkového vedení, ta je nahrazena silou F_{kl} . A poslední uvažovanou vazbou je vazba při dotyku ramena a přídržované bedny, je označena silou F_b . Na rameno ještě působí gravitační síla v jejím těžišti. Na obrázku č.26 je vidět toto uvolnění, včetně všech sil, popřípadě úhlů potřebných pro určení jejich směru.



Obrázek 25. Způsob uchycení ramena



Obrázek 26. Schéma uvolněného ramena pro úhel alfa

Zvolené souřadné systémy jsou: globální kartézský souřadný systém XY, kde osa X je rovnoběžná s podlahou a v ose Y působí gravitační zrychlení g . Dalším souřadným systémem je systém ramena $X'Y'$ jeho střed je v bodě U a osa X' je rovnoběžná s hranou nejdelšího profilu ramena. Protože se rameno otáčí, bude se úhel α měnit a tím se budou rotovat i tyto systémy. Pro tento případ je zvolen jako pevný souřadný systém, systém $X'Y'$ rameno a otáčet se bude systém globální.

Síla F_p není konstantní. Při stlačení plynové vzpěry dochází k zvýšení síly, naopak při jejím vysouvání se síla zmenšuje. S tímto je ve výpočtu počítáno a velikost síly F_p je funkcí zdvihu vysunutí vzpěry, tedy vzdáleností bodů PQ. Směr síly je určen z natočení ramena.

Síla F_{kl} je síla od/na křivkové vedení, její směr je dán natočením ramena a aktuálním úhlem křivkového vedení. Velikost vyplývá z rovnováhy sil. Její velikost je nenulová když není dotlačena bedna, při dotlačení bedny se její hodnota změní na nulu.

Síla F_b , je při počátku zdvihu nulová, a její hodnota začne narůstat při dotlačování bedny, kde potom v určitém poměru nahrazuje sílu F_{kl} .



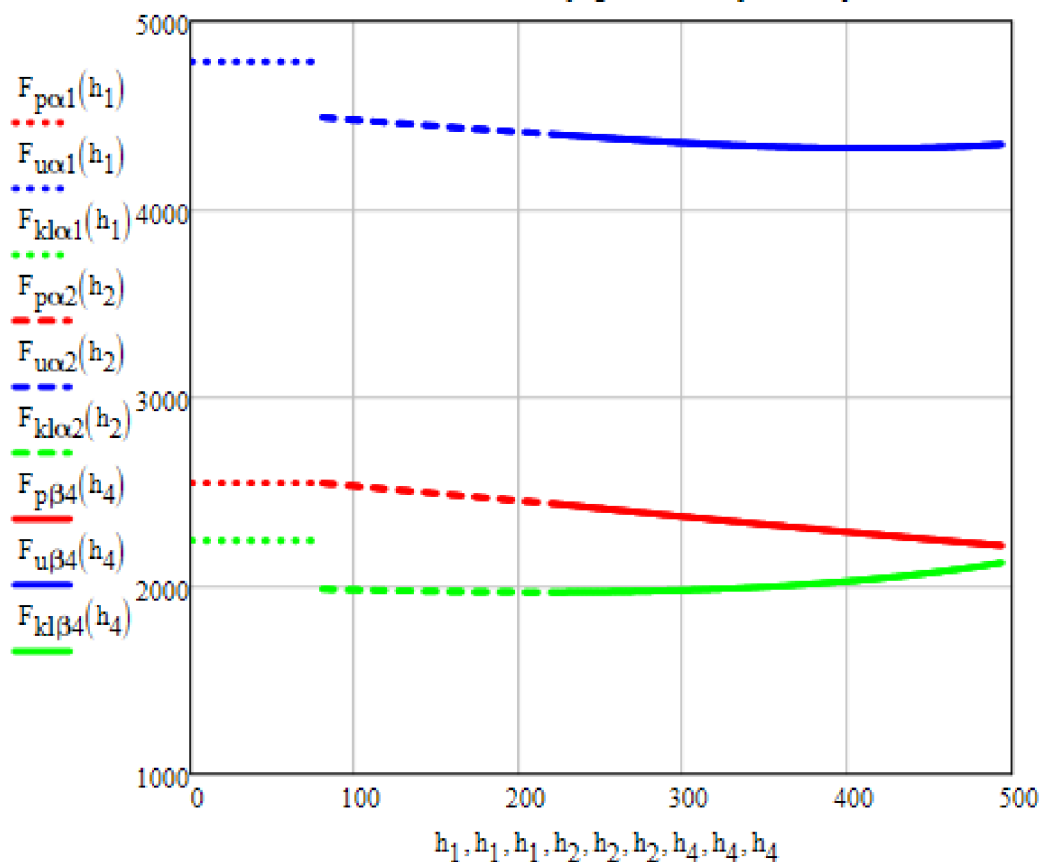
Síla F_u , působí v místě uložení U a vyplývá z rovnováhy ostatních sil.

Síla F_g je síla od gravitačního zrychlení hmot, působí v těžišti a je orientována v záporném směru osy Y.

Schéma na obrázku č.26 je určeno pro zdvih $h = 0$ mm až 225 mm, tedy pro úhel $\alpha = -9,4^\circ$ až 0° . Podobné schéma je i pro zdvih $h = 225$ až 1135 mm, tedy úhel $\beta = 0^\circ$ až 49° . Rozhodl jsem se zdvih takto rozdělit pro lepší pochopení a zamezení přecházení hodnoty úhlu ze záporné do kladné hodnoty a naopak.

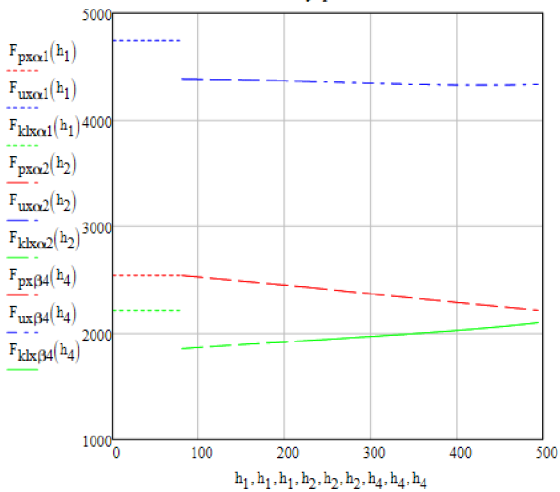
Sestavením rovnic rovnováhy, vyjádřením a upravením jsem získal rovnice pro řešení sil F_u , F_{kl} , F_b a jejich složky v osách X' a Y' . Rovnice rovnováhy plynou z předpokladu že, součet všech sil v každé ose musí být nulové hodnoty a zároveň součet všech momentů musí být roven nulové hodnotě. Vyřešením doplňkové rovnice pro F_p jsem získal průběh síly od plynové vzpěry. Síla F_g je konstantní, pouze mění velikosti svých složek v závislosti na natočení ramena. Dosazením do rovnic jsem získal průběhy všech sil v uvolněné sestavě. Tyto průběhy jsem následně vykreslil do grafů.

Graf 1.22. - Celkový průběh výsledných sil



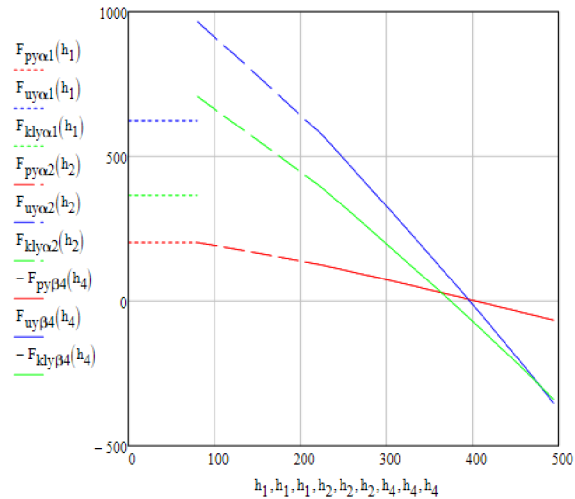


Graf 1.20. - Celkový průběh sil ve směru X'



(5) Příloha - Graf 1.20.

Graf 1.21. - Celkový průběh sil ve směru Y'



(6) Příloha - Graf 1.21.

Z grafu výsledných sil na ramenu 1.22. je vidět, že síly na uložení ramena, křivkového vedení i uložení plynové vzpěry, nabývají maximálních hodnot, při počátku zdvihu a jsou konstantní až dokud se nemění úhel křivkového vedení. Při změně úhlu se zatížení přesune z osy X' do osy Y', kde síly narostou, ve výsledku je ale toto zvýšení menší než snížení v ose X'. Tedy přesto nastává maximální zatížení na počátku zdvihu.

Nespojitost v grafech je způsobena zjednodušením výpočtu. Ve skutečnosti je mezi plochami křivkového vedení rádius a tedy přechod ze svislé roviny na nakloněnou by byl plynulý. V případě výpočtu, dochází ke skokové změně úhlu z nulové hodnoty na hodnotu jinou. Toto zjednodušení ale nemá na vypočítané výsledky vliv. V příloze jsou také výpočty pro dotlačování beden, výsledné síly jsou ovšem značně menší než při počátku zdvihu.

Vypočítané maximální síly na rameno na počátku zdvihu [Příloha 1]:

$$\text{Maximální síla od plynové vzpěry: } F_{p\alpha 1}(0) = 2547.6 \text{ N} \quad F_{p\alpha 1}(0) = 2539.5 \text{ N}$$

$$F_{p\gamma 1}(0) = 203 \text{ N}$$

$$\text{Maximální síla na křivkové vedení: } F_{kl\alpha 1}(0) = 2242.8 \text{ N} \quad F_{kl\alpha 1}(0) = 2212.7 \text{ N}$$

$$F_{kl\gamma 1}(0) = 366.3 \text{ N}$$

$$\text{Maximální síla na uložení ramena: } F_{u\alpha 1}(0) = 4784 \text{ N} \quad F_{u\alpha 1}(0) = 4743 \text{ N}$$

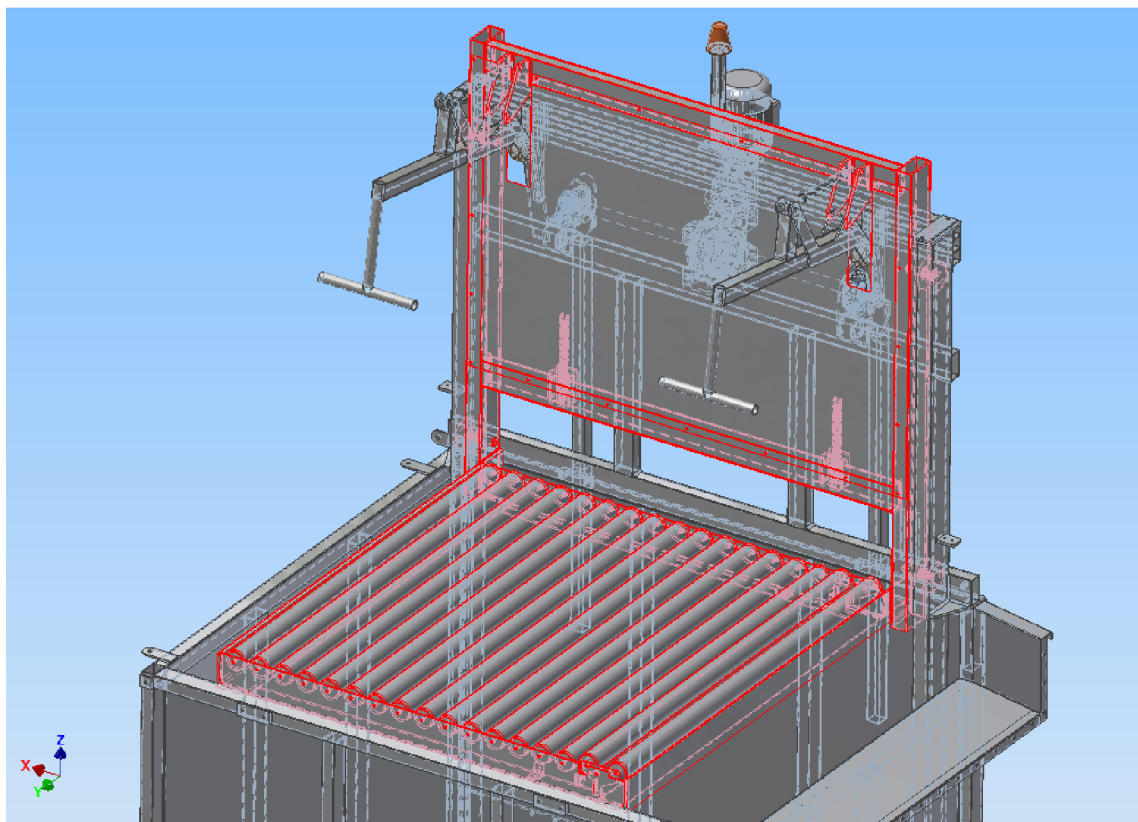
$$F_{u\gamma 1}(0) = 624.7 \text{ N}$$

(7) Příloha - Maximální síly na rameno pro h_1



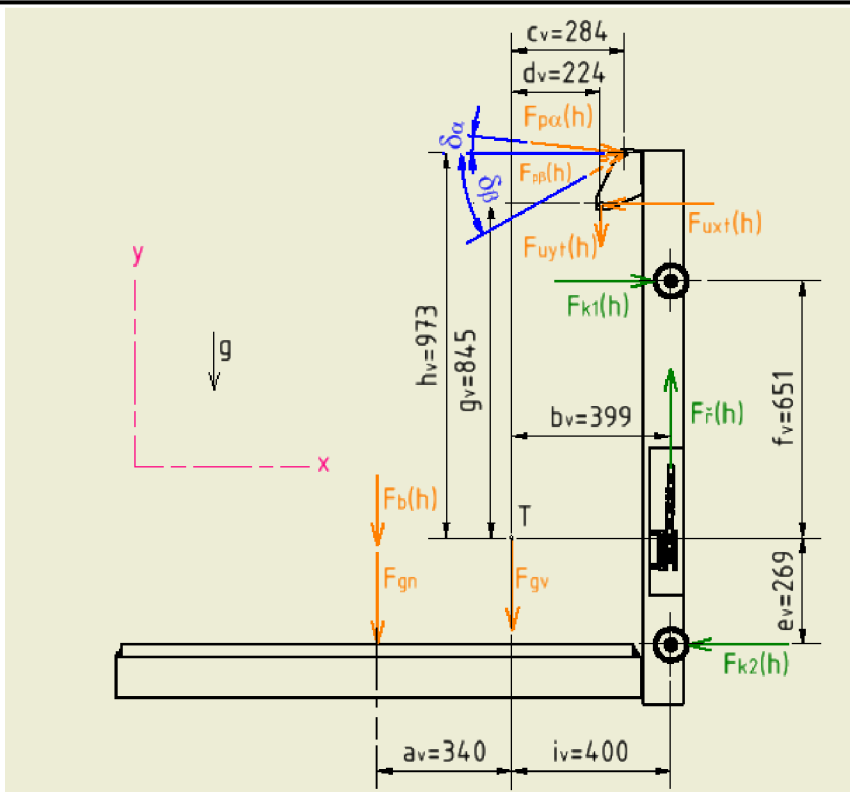
3.2.2. Výpočet výtahu

Výtah má na každé straně dvě pojezdová kola, která jsou uložena ve věži výtahu, tyto vazby jsem nahradil silami F_{k1} a F_{k2} , které jsou ve směru kolmém k ploše valení. Další vazbou je uchycení řetězu, ten je nahrazen silou F_r v místě uchycení. Vazby od ramena, síly F_p a F_u , jsou nahrazeny reakčními silami z předchozího výpočtu, tedy směry velikosti jsou pro konkrétní zdvih totožné, ale orientace je opačná. Velikosti sil F_p a F_u jsem transformoval ze souřadného systému ramena $X'Y'$ do souřadného systému globálního XY . Pro sílu F_p je pro určení směru použit pomocný úhel delta. Dále na výtah působí síly od nesené hmotnosti nákladu F_{gn} , hmotnosti samotného výtahu F_{gv} a síly od případného přidržení F_b . Síly a geometrické parametry jsou znázorněny na obrázku č.27. Síly které jsou známé, nebo je lze dopočítat jednoduchým výpočtem, jsou označeny oranžovou barvou. Zelené síly jsou neznámé a je potřeba je vypočítat z rovnic rovnováhy. Ve směru X působí síly na pojezdová kola a složky F_{ux} a F_{px} . Ve směru Y pak působí síly F_b , F_{gn} , F_{gv} , F_r a složky sil F_{uy} a F_{py} . Sestavením rovnic silové a momentové rovnováhy, jejich upravením a vyjádřením jsem dostal rovnice pro řešení neznámých sil.



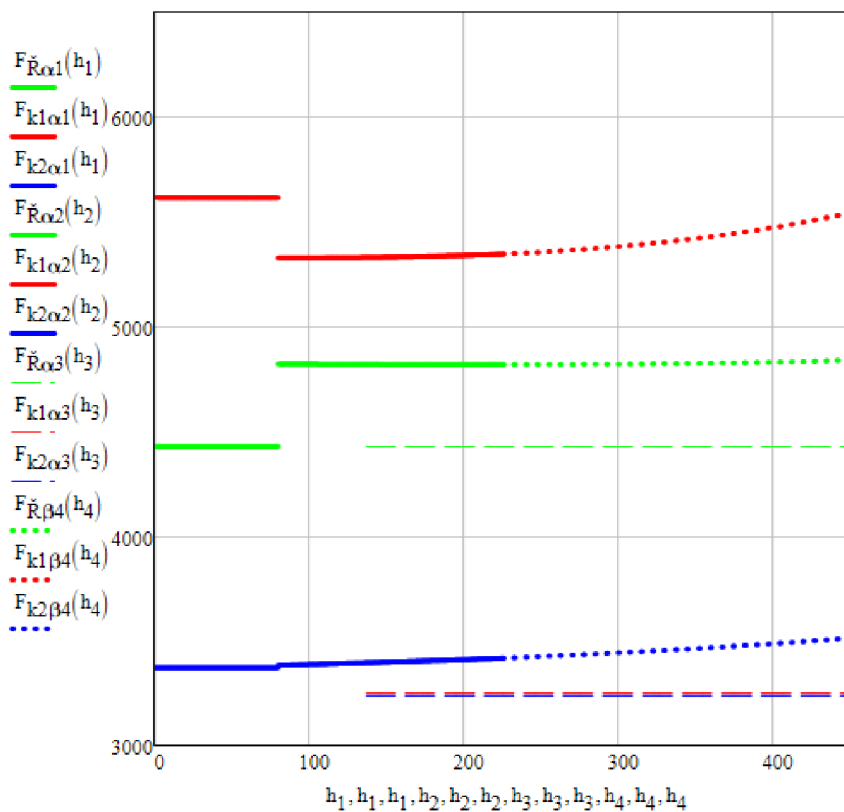
Obrázek 27. Pozice výtahu v sestavě

Poznámka: protože jsou prvky v postati zdvojené (levá, pravá strana výtahu, vedení, atd.). Jsou výsledky počítané vždy na jeden prvek, tedy na jedno kolo, jedno vedení, jeden řetěz atd.




Obrázek 28. Schéma uvolněných sil na výtahu

Graf 2.5. Výsledný průběh sil na výtahu



(8) Příloha - Graf 2.5. [Příloha 1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

Graf 2.5. zobrazuje velikosti sil v hlavních směrech. Podle schématu na obrázku č.27 působí síla na řetěz F_r ve směru Y a síly kol F_{k1} a F_{k2} ve směru X. Tlusté křivky zobrazují zatížení pro části zdvihu h_1 a h_2 , kde se rameno dotýká křivkového vedení. Čerchované křivky platí pro přidržení velké box palety. Tečkované křivky zobrazují zatížení při zdvihu bez box palety až na konec vedení. Nespojitost v grafu je opět způsobena zjednodušením výpočtu (viz. popis pod grafem 1.22.). Nespojitost mezi částí zdvihu h_2 a zdvihem přidržení bedny je způsobena nezohledněním pružné deformace soustavy rameno-paleta.

Za maximální zatížení pojezdových kol lze považovat opět zdvih h_1 s plným zatížením od nákladu. Maximální zatížení řetězu, nastává počátkem zdvihu h_2 . Tedy kdy se kladka dostane na šikmou část vedení a síla od ní se rozloží také do osy Y. Složka síly na křivkové vedení F_{kl} , tedy síla F_{kly} , způsobí jako přídavné zatížení řetězu, vzhledem k zatížení od hmotnosti soustavy výtah- náklad.

Vypočítané maximální síly na výtah [Příloha 1]:

Maximální síly pro zdvih h_1 v Newtonech na jeden prvek: (N/ks)

Maximální síla na řetěz: $F_{R\alpha 2}(100) = 4819.7 \text{ N}$

Maximální síla na horní kolo: $F_{k1\alpha 1}(0) = 5613.1 \text{ N}$

Maximální síla na dolní kolo: $F_{k2\alpha 1}(0) = 3370.3 \text{ N}$

Maximální síla na dolní kolo (zvýšená): $F_{k2\beta 4}(464) = 3520.499 \text{ N}$

(9) Příloha - Maximální síly na výtah

3.2.3. Výpočet věže výtahu

Věž výtahu je uložena na rámu nádrže. Předpokládám tři síly od vazeb, jednu ve směru Y a dvě ve směru osy X. Ve směru Y působí síla F_{uvvy} , která je výsledkem působení rámu kostry proti hmotnosti věže výtahu, výtahu a všech ostatních hmot. Síly ve směru osy X, tedy síly F_{uvvx} a F_{pvvx} působí proti momentu věže. Tyto síly jsou neznámé a jsou znázorněny zelenou barvou.

Ostatní síly působící na věž jsou znázorněny na obrázku č.28. Jsou zde reakční síly od pojezdových kol výtahu F_{k1} a F_{k2} , reakční síla od zatížení řetězu F_r a reakce síly od ramena na křivkového vedení F_{kl} . Pro barevné označení je použita oranžová a červená barva. Tyto síly jsou známé, potřeba je pouze u síly na vedení, přepočítat výslednou sílu do složek os X a Y. Protože jsou to opět reakce sil, mají stejnou velikost jako odvozené již vypočítané síly, pouze směr je opačný.

Sestavením rovnic rovnováhy, dosazením a vyjádřením, se opět zjistí rovnice řešení neznámých sil uložení. Na střední nosník působí nejen síla od zatížení řetězu, ale navíc i moment na ramenu od osy nosníku po roztečnou kružnici řetězového kola. Tento moment je nazván $M_{\dot{r}ij}$.



Maximální síly na jedno uložení věže výtahu a moment od zatížení na střední nosník [Příloha 1]:

Maximální síla od momentu na věž výtahu u uložení, směr X:

$$F_{uvvx\beta_4}(400) = -3400.9 \text{ N}$$

Maximální síla od momentu na věž výtahu na patě věže, směr X:

$$F_{pvvx\beta_4}(400) = 3400.9 \text{ N}$$

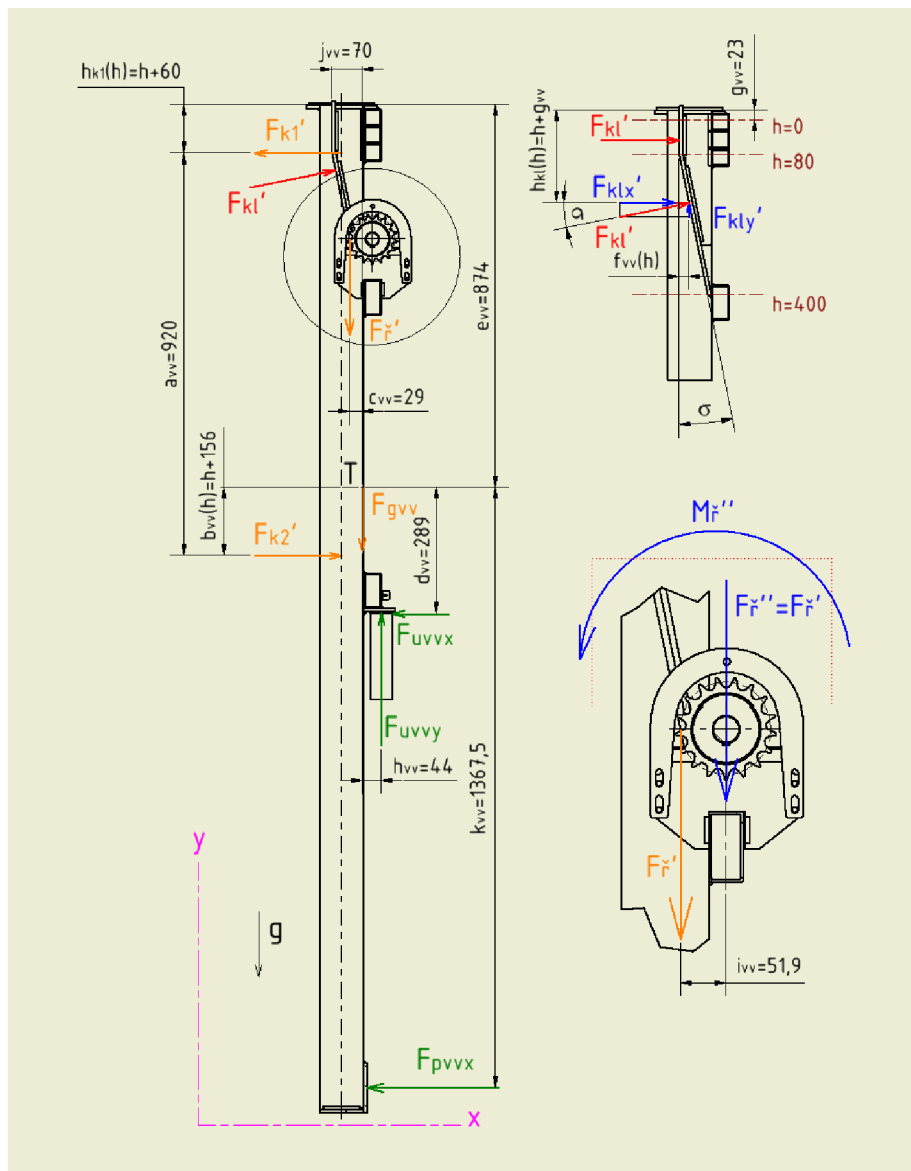
Síla zatížení věže ve směru Y:

$$F_{uvvy\alpha_1}(50) = 5052.621 \text{ N}$$

Moment od zatížení řetězu maximální:

$$M_{\check{R}ii\beta_4}(500) = 251.724 \text{ J}$$

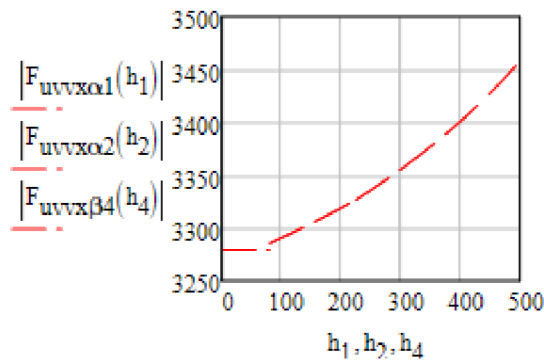
(10) Příloha - Maximální síly na uložení věže výtahu



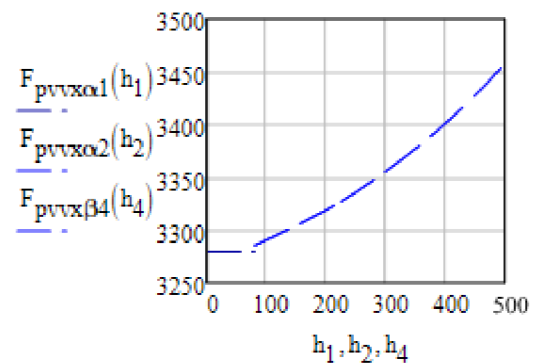
Obrázek 29. Schéma uvolněných sil na věž výtahu



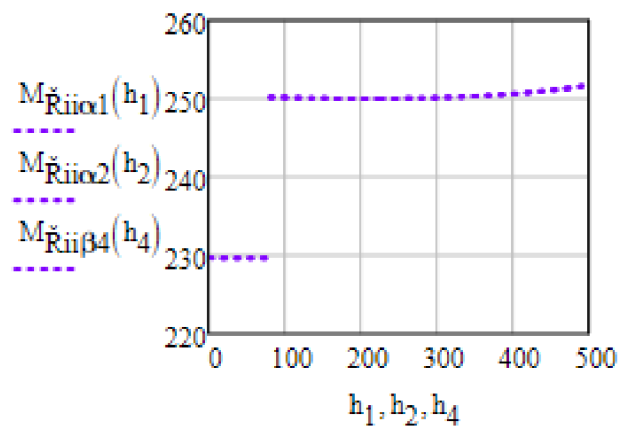
Graf 3.5.



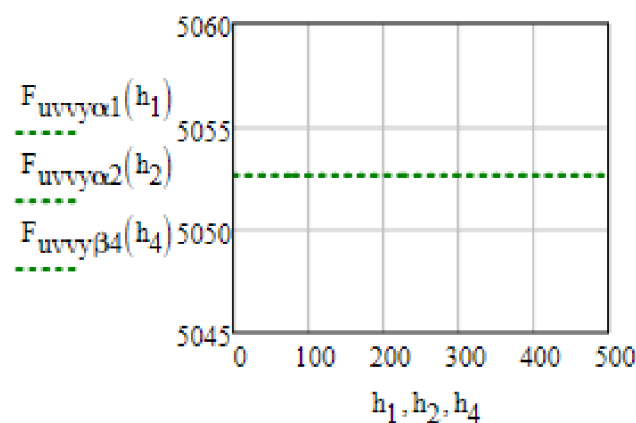
Graf 3.6.



Graf 3.8.



Graf 3.9.



(11) Příloha - Grafy 3.5. 3.6. 3.8. a 3.9. Průběhy sil a momentu na věž výtahu

Výsledné grafy ukazují, že síly F_{uvwx} a F_{pvwx} mají stejnou velikost. Dále je vidět, že skutečný směr síly F_{uvwx} je opačný, než je odvozeno podle schématu na obrázku č.26. Graf 3.8. zobrazuje průběh momentu na střední nosník od zatěžující síly řetězu. Graf 3.9. vykresluje konstantní průběh na zatížení vazby uložení ve směru Y.



3.2.4. Kontrola správnosti odvození a výsledků

Pokud jsou výpočty a odvození správně, měly by být součty všech sil v každém směru nulové hodnoty. Pro směr Y musí platit, že všechny nesené hmotnosti věže výtahu musí zachytit tato vazba. [Příloha 1]:

Sumy sil v X:

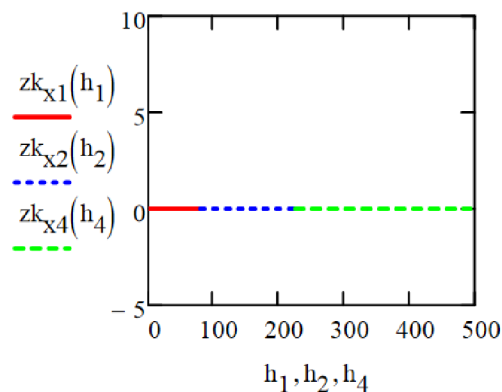
$$zk_{x1}(h_1) := -F_{k1\alpha1}(h_1) + F_{k2\alpha1}(h_1) + F_{klv vx\alpha1}(h_1) - F_{uvvx\alpha1}(h_1) - F_{pvvx\alpha1}(h_1)$$

$$zk_{x2}(h_2) := -F_{k1\alpha2}(h_2) + F_{k2\alpha2}(h_2) + F_{klv vx\alpha2}(h_2) - F_{uvvx\alpha2}(h_2) - F_{pvvx\alpha2}(h_2)$$

$$zk_{x4}(h_4) := -F_{k1\beta4}(h_4) + F_{k2\beta4}(h_4) + F_{klv vx\beta4}(h_4) - F_{uvvx\beta4}(h_4) - F_{pvvx\beta4}(h_4)$$

(12) Příloha - Soustava rovnic silové rovnováhy pro směr X

Graf 4.1.

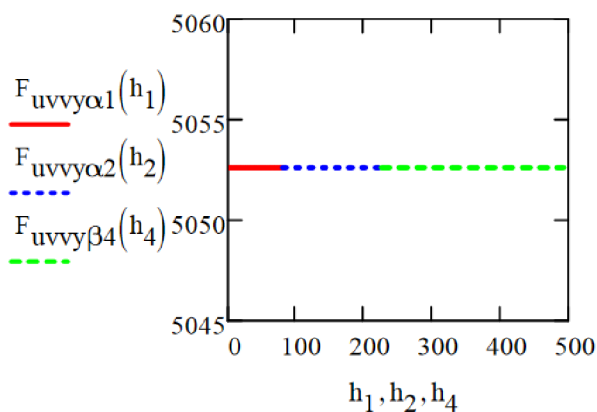


Síla gravitační kontrolní:

$$F_{gK} := \frac{F_{gn} + F_{gvv} + F_{gv} + 2 \cdot F_{gr}}{2}$$

$$F_{gK} = 5052.621 \text{ N}$$

Graf 4.2.



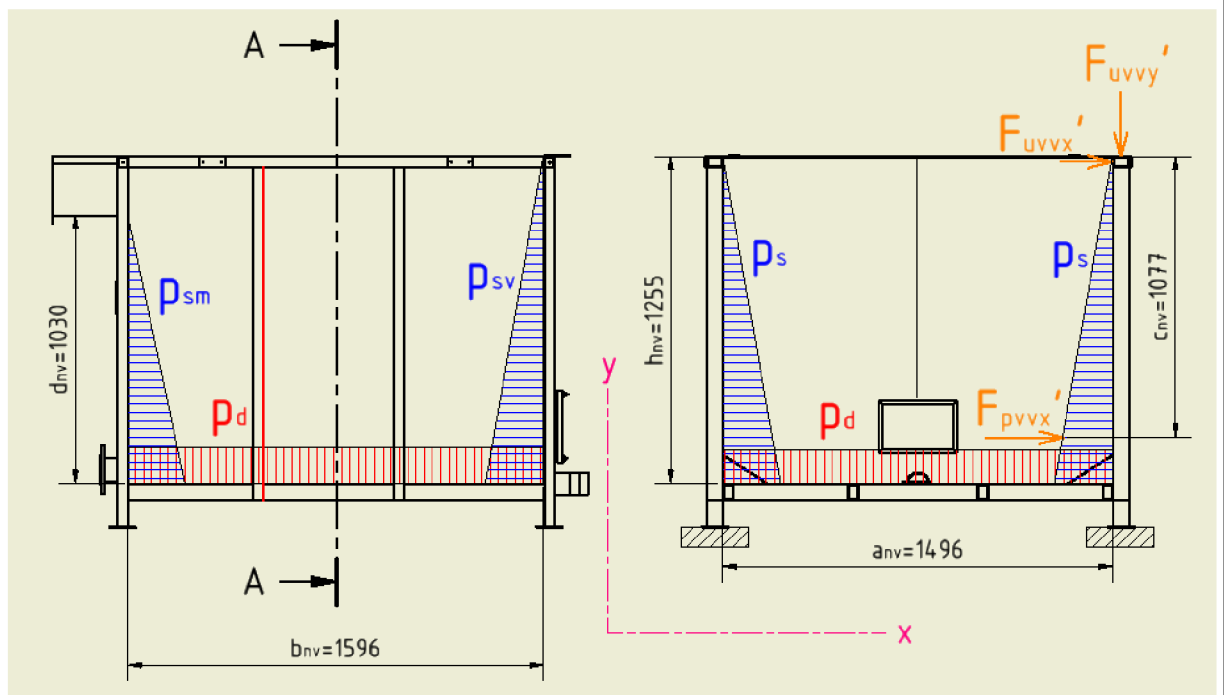
$$F_{uvvy\alpha1}(50) = 5052.621 \text{ N}$$

(13) Příloha - Grafy 4.1. a 4.2. kontrola výpočtu

Z grafů 4.1. a 4.2. jasně vyplývá, že odvození a výpočty proběhly správně.

3.2.5. Výpočet zatížení rámu nádrže

Rám nádrže je ustaven na podlaze, kde působí vazby které omezují jeho pohyb. Na nádrž působí známé zatížení od reakcí sil věže výtahu F_{uvvx} , F_{uvvy} a F_{pvvx} . Princip je stejný jako v předchozích případech s výjimkou, že zde není potřeba uvolňovat vazby od podlahy protože, ty lze zadat přímo v programu pro simulaci. Dalším zatížením nádrže s kosterou je zatížení od hydrostatického tlaku kapaliny. Tlak na dno je tlak největší a má konstantní hodnotu. Tlak na stěny nádrže bude mít hydrostatický průběh. Tedy na hladině bude tlak nabývat nulové hodnoty a s přibývajícím hloubkou bude růst na maximální tlak dna, v maximální hloubce.



Obrázek 30 - Schéma rámu nádrže

Objem nádrže, síla a tlak na dno nádrže [Příloha 1]:

Objem nádrže: $V_{nv} := a_{nv} \cdot b_{nv} \cdot h_{nv}$ $V_{nv} = 2996.458 \text{ L}$

Síla gravitační od hmotnosti vody: $F_{gvodymax} := \rho_{vody} \cdot V_{nv} \cdot g$ $F_{gvodymax} = 29385.216 \text{ N}$

Plocha dna nádrže: $S_{dna} := a_{nv} \cdot b_{nv}$

Tlak na dno: $P_{Hdnamax} := \frac{F_{gvodymax}}{S_{dna}}$ $P_{Hdnamax} = 12307.346 \text{ Pa}$



Hydrostatický tlak, průběh tlaku na stěny nádrže:

Krok výpočtu: $h_{NVV} := 0 \cdot m, 0.05 \cdot m \dots 1.255 \cdot m$

Dosazení do rovnice: $p_h = \rho \cdot g \cdot h$

$$P_{hs}(h_{NVV}) := \rho_{vody} \cdot g \cdot \int_0^{h_{NVV}} 1 \, dh \cdot m$$

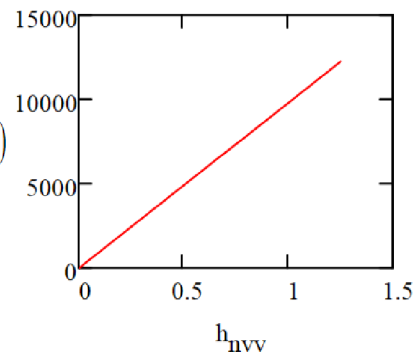
$$P_{hs}(1.255) = 12307.346 \text{ Pa}$$

Plochy stěn nádrže:

$$s_s := h_{NV} \cdot b_{NV} \quad s_s = 2.003 \text{ m}^2$$

$$s_{sm} := d_{NV} \cdot a_{NV} \quad s_{sm} = 1.541 \text{ m}^2$$

$$s_{sv} := h_{NV} \cdot a_{NV} \quad s_{sv} = 1.877 \text{ m}^2$$



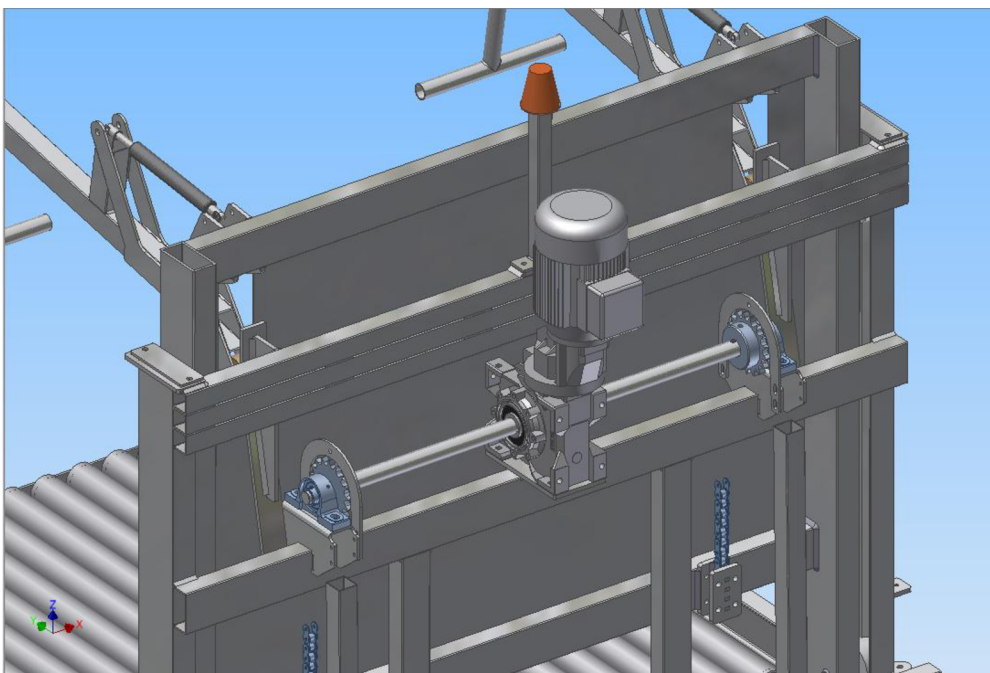
(15) Příloha - Výpočet hydrostatického tlaku

3.2.6. Výpočet pohonu

Na zařízení je použit pohon s převodovkou od výrobce Varvel, typ motoru je MTA80-A70 i224 550W. Jedná se o trojfázový asynchronní motor se šnekovou převodovkou, jde se o modulární konstrukci. Pohon dále obsahuje hřídel a dvě řetězová kola, dvě ložiska a krytování řetězových kol. Katalog motoru je přidán jako elektronická příloha. Parametry pohonu jsou:

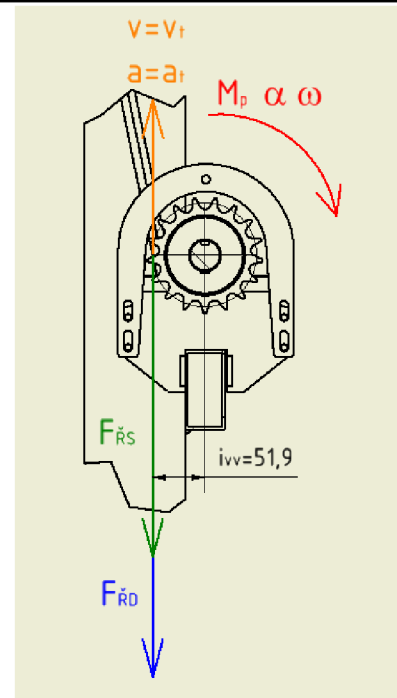
Motor: Výkon motoru $P_m=550W$, otáčky motoru $n_m=1400\text{min}^{-1}$

Převodovka: Převodový poměr $i_p=224$, účinnost převodu $\eta_p=0,6$



Obrázek 31. Uložení pohonu

Výstupní otáčky převodovky:	$n_p = 0.104 \frac{1}{s}$
Úhlová rychlost převodovky:	$\omega_p = 0.654 \frac{1}{s} \cdot \text{rad}$
Kroutící moment převodovky:	$M_p = 504.203 \text{ J}$
Rychlost zdvihu výtahu:	$v_h = 0.034 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Hmotnost prázdné bedny:	$m_b := 35 \cdot \text{kg}$
Zatížení maximálním nákladem:	$m_{zmax} = 902.448 \text{ kg}$
Zatížení minimálním nákladem:	$m_{zmin} = 187.448 \text{ kg}$
Minimální moment od zatížení:	$M_{zmin} = 95.404 \text{ J}$
Maximální moment od zatížení:	$M_z = 500.287 \text{ J}$



(16) Příloha - Vypočítané vlastnosti pohonu

Obrázek 32 - Schéma zatížení pohonu

Podle parametrů motoru a převodovky, lze dopočítat otáčky a úhlovou rychlost, dále moment na převodovce a rychlost zdvihu výtahu. Výsledky jsou uvedeny v obrázku (16) Příloha.

Rychlost zdvihu výtahu je 34 mm/s, tato rychlost by neměla způsobovat problémy, při kontaktu pohybujícího se výtahu s vodní hladinou. Příliš rychlý zdvih by mohl způsobovat velké vlny nebo dokonce vytékání vody z nádrže. Navíc pro tento typ stroje je lepší využít výkon motoru na kroutící moment, než na otáčky. Protože vyplavování jablek z nádrže do vodní cesty trvá řádově několik minut a nemá proto smysl šetřit čas na době zdvihu. Doba zdvihu je přibližně půl minuty.

Spočítaný výkon převodovky má tedy hodnotu $M_p = 500 \text{ Nm}$. Při uvažování okamžitého vytékání vody z box palety při zdvihu z nádrže, je moment od zatížení s prázdnou bednou je 95 Nm. Extrémním případem zdvihu je částečný zdvih plně naložené box palety, kdy by bylo nutné zdvih zrušit a vyvést plnou paletu zpět do horní polohy. Například z důvodu nějaké závady atd. Toto je ale absolutně nejkritičtější možnost zdvihu, která by ani neměla nastat. Je otázkou, jestli zahrnovat tento stav do uvažování zatížení, nebo jej opomenout s tím, že je to nereálné. Závěrem k pohonu, je zřejmé, že pohon má dostatek a dokonce i přebytek momentu pro pracovní zdvih. Není mi ale známo jak se projeví proudění vody okolo výtahu při vyzdvihování z nádrže. Při použití původní převodovky a motoru s výkonem 370 W, by byl kroutící moment na převodovce 340 Nm, zda bylo výhodné použít motor s menším výkonem, by bylo na hlubší posouzení. Úspora nákladů při použití motoru slabšího o jednu třídu by navíc pravděpodobně nebyla příliš vysoká.

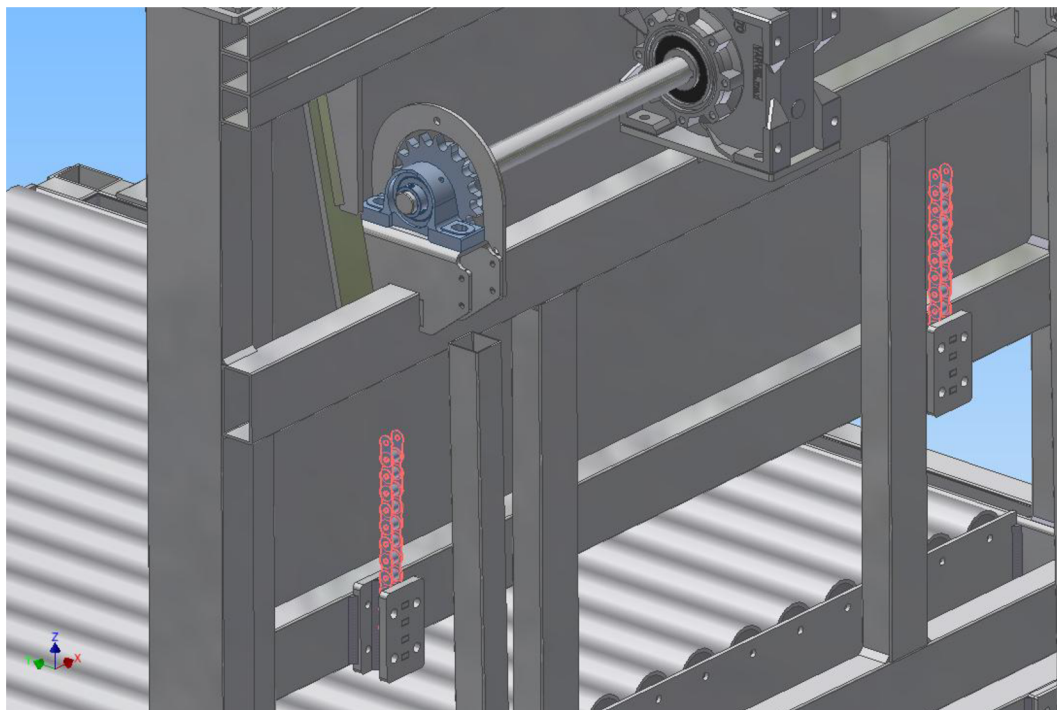
3.2.7. Výpočet řetězu

Zařízení obsahuje dvojici řetězů, jedná se o článkový řetěz velikosti 12B-1 od výrobce Challenge. Tabulka z katalogu je součástí elektronické přílohy.


Při rozběhu nebo doběhu výtahu je řetěz vystaven přetížení od dynamických, nebo také setrvačných, sil. Pro určení přesných hodnot setrvačných sil, musí být známo zrychlení nebo zpomalení pohybujících se hmot. Zrychlení pohybujících se hmot závisí na úhlovém zrychlení pohonu, toto zrychlení závisí na průběhu momentu motoru.

Průběh momentu motoru na otáčkách při rozběhu se nazývá momentová charakteristika a závisí na typu motoru, způsobu zapojení a napájení. Výrobce použitého motoru v katalogu neposkytuje tuto charakteristiku. Pro zjednodušení lze ale použít nominální moment převodovky, sice by rozběh tímto způsobem nebyl ve skutečnosti možný a vypočítané setrvačné síly budou větší než ve skutečnosti, pro tento výpočet lze ale toto zjednodušení použít. Ve výsledku dojde k předimenzování řetězu a zvýšení bezpečnosti. U zařízení tohoto typu to ale není na škodu. Navíc ceny řetězů nejsou tak markantní vzhledem k ceně celého zařízení a bezpečnost řetězu je pro zařízení klíčová.

Momentová rovnováha na hřídel pro zdvih nahoru. (viz obrázek č.32) Zdvih nahoru je z dynamického hlediska namáhání řetězu nejnáročnější, protože zrychlení výtahu má opačný směr než zrychlení gravitační a podle D'alambertova principu je směr setrvačné síly opačně orientován směru zrychlení, tedy setrvačná síla se bude přičítat k silám gravitačním a výsledná síla na řetěz se proto zvýší. Pro zdvih dolů by setrvačná síla působila opačně vzhledem k silám gravitační a proto by se zatížení řetězu snížilo.



Obrázek 33. Detail uchycení řetězu

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

Rovnice momentové rovnováhy na hřídel převodovky (viz. schéma C4.00-01-016-dynamika): $-M_p + M_z + M_s = 0$

Moment od statického zatížení: $M_S = m_{ci} \cdot g \cdot i_{VV}$

Moment od setrvačného (dynamického) zatížení: $M_D = m_{ci} \cdot a_c \cdot i_{VV}$

(17) Příloha - Momentová rovnováha na hřídeli z hlediska dynamiky

Pro zjištění zrychlení se uvažuje přebytek momentu převodovky vůči momentům zatěžujícím. Odvozením a dosazením rovnic vyjde [Příloha 1]:

Maximální teoretická dynamická (setrvačná) síla na jeden řetěz:

$$\text{- pro maximální náklad: } F_{D1} := \frac{m_{zmax} \cdot a_{acc1}}{2} \quad F_{D1} = 432.45 \text{ N}$$

$$\text{- pro minimální náklad: } F_{D2} := \frac{m_{zmin} \cdot a_{acc2}}{2} \quad F_{D2} = 3938.327 \text{ N}$$

Maximální teoretická síla na jeden řetěz s uvažováním statického i dynamického hlediska:


$$\text{- pro maximální náklad: } F_{\check{R}SD1} := \frac{m_{zmax} \cdot g}{2} + F_{D1} \quad F_{\check{R}SD1} = 4857.446 \text{ N}$$

$$\text{- pro minimální náklad: } F_{\check{R}SD2} := \frac{m_{zmin} \cdot g}{2} + F_{D2} \quad F_{\check{R}SD2} = 4857.446 \text{ N}$$

Pro porovnání maximální síla na řetěz při dotlačování ramena na křivkové vedení (viz. graf 2.5.): $F_{\check{R}\alpha 2(100)} = 4819.725 \text{ N}$

(18) Příloha - Výpočty dynamických sil

Z výsledků je vidět, že celková síla na řetěz i s působením dynamických sil zůstává přibližně stejná jako maximální síla na řetěz, při dotlačování křivkového vedení. A to přestože je uvažováno přehnané zrychlení. Proto lze říci, že z hlediska návrhu řetězu není třeba uvažovat dynamické síly. Použitý řetěz 12B-1 má podle katalogu výrobce minimální nosnost 29 KN, to je mnohonásobně více, než vypočítané maximální zatížení. Řetěz je tedy přibližně šestinásobně předimenzován. Mnohem vhodnější by bylo použít řetěz 08B-1, který má minimální pevnost 18 KN.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

3.3. Kontrola částí rámu k mezním stavům pomocí MKP

3.3.1. Úvod do určení mezních stavů, koeficient bezpečnosti

Tato kapitola obsahuje popis a zhodnocení simulace rámu zařízení pomocí metody konečných prvků. Simulace byla provedena v programu Simulation Multiphysics od společnosti Autodesk. Ve společnosti Htech CZ, jsem měl přístup k modelu a výkresové dokumentaci zařízení vodní výklopník. Původní podklady byly vytvořeny v programu SolidEdge: Siemens PLM Software. Na základě těchto podkladů jsem vytvořil model v programu Autodesk Inventor. Rámy a výpalky jsem přemodeloval, zaprvé je to jeden z bodů zadání a zadruhé pro jistotu, aby byla zaručena kompatibilita se simulačním programem. Pouze některé prvky jsem importoval, jednalo se zejména o modely bedny, motoru, ložisek, řetězového kola, řetězu a válečků. Dále jsem modely doplnil o svary, protože v podkladech se předepisovaly pouze do výkresů. Takto jsem získal modely svařenců, podsestav a výsledné sestavy. Potom už stačilo importovat sestavu do simulačního programu, nastavit řešení a nechat simulovat. Model vodního výklopníku je vložen jako elektronická příloha ve formátu *.dwfx, který je možno otevřít ve většině 3D prohlížečů, například v programu Desing Review. Cílem simulace bude zjistit hodnoty napětí a posuvů a následně určit bezpečnosti k mezním stavům deformace a porušování.

Podle učebnice pružnosti a pevnosti je mezní stav deformace popsán jako: „Mezní stav deformace tělesa je takový jeho stav, ve kterém se deformace funkčně přípustné mění na deformace funkčně nepřípustné.“ [8] Jedná se vlastně o to, že když by deformace (změna tvaru) byla tak velká, že způsobí nefunkčnost zařízení, pak nastal mezní stav deformace. Nepřípustným funkčním stavem by například mohlo být, zkroucení rámu na takovou hodnotu, že by se zamezilo pohybu výtahu.

Definicí mezního stavu porušování je: „Mezní stav porušení tělesa je takový jeho stav, při kterém poprvé zjistíme jeho porušení spojitosti na hranici rozlišitelnosti.“ [8] Může se jednat o trhliny, lomy, úplné oddělování částí. Zjednodušeně řečeno jde o porušování celistvosti těles na jakékoliv úrovni.

Deformačně pevnostní spolehlivost je vyjádření míry schopnosti zařízení plnit bezpečně svůj účel. Zahrnuje aby soustava plnila svou funkci za běžných i mimořádných podmínek po určitou dobu a v určitém stavu. [8] Deformačně provozní spolehlivost lze vyjádřit pomocí koeficientu bezpečnosti k_m . Platí tedy vztah: [8]

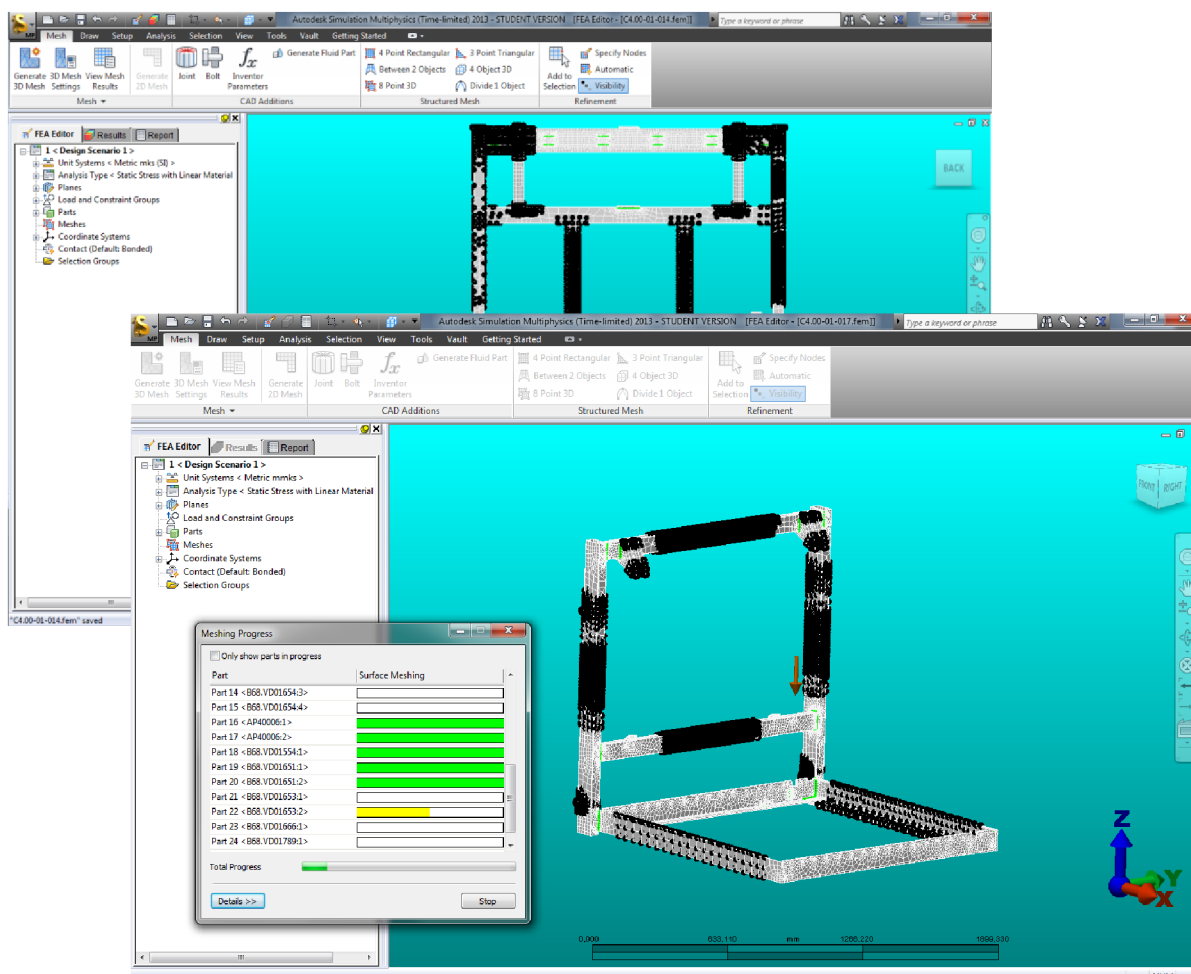
$$k_m = \frac{\alpha_{Mm}}{\alpha} \quad \text{nebo také} \quad k = \frac{\sigma_D}{\sigma_{max}} \quad (4)$$

Kde k_m je koeficient bezpečnosti (bezpečnost), α_{Mm} je mezní hodnota veličiny α . Příklad určení koeficientu bezpečnosti k meznímu stavu plastické deformace, popřípadě σ_D je napětí dovolené a σ_{max} je napětí maximální: Když bude mezním stavem hodnota meze kluzu materiálu $R_e=150$ MPa a vypočítaná nebo změřená hodnota napětí dílu je $\sigma_t=50$ MPa. Pak dosazením do vztahu pro bezpečnost vyjde, že koeficient bezpečnosti je roven hodnotě tři. Čím větší je koeficient bezpečnost, tím je větší pravděpodobnost, že nenastane mezní stav. Hodnota koeficientu bezpečnosti menší než jedna pak znamená, že bezpečnost nevyhovuje.



3.3.2. Analýza zatížení pomocí MKP

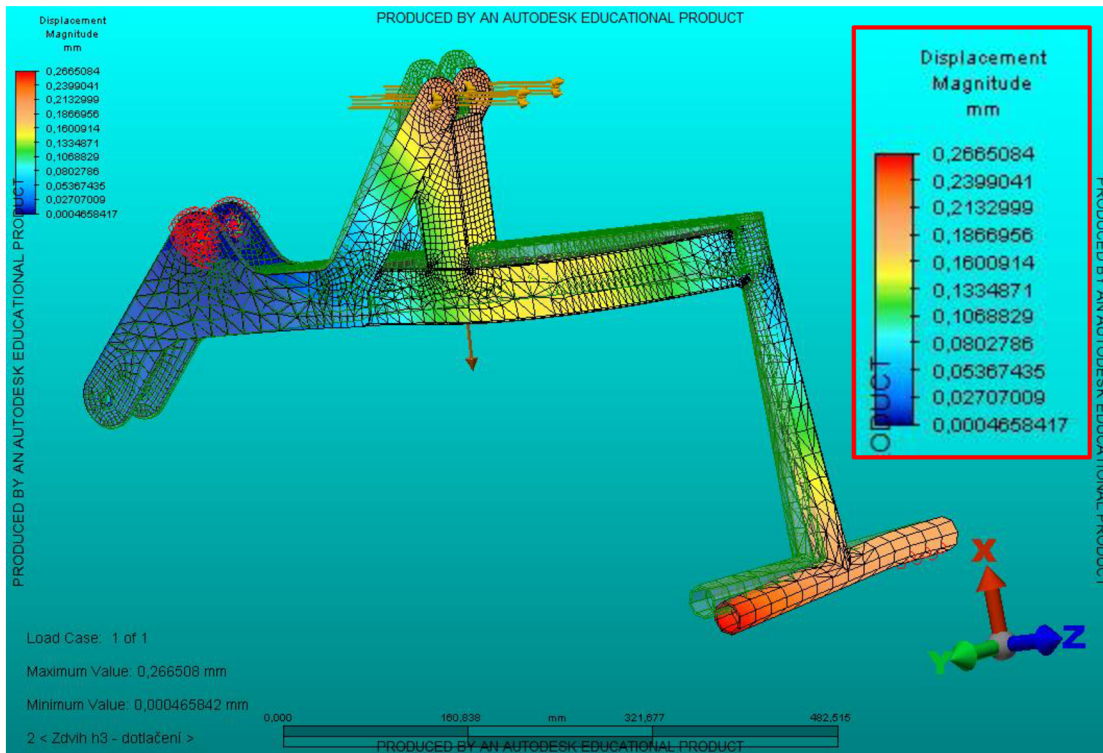
Pro analýzu a provedení výpočtu, bylo potřeba každou simulaci nastavit zvlášť. První krok bylo importování modelu. Dále jsem zvolil pro všechny pod sestavy druh analýzy Static stress with linear material. Potom následovalo nastavení gravitačního zrychlení. Hodně důležitou částí nastavení simulace bylo síťování (tzv. meshing), tato funkce rozdělila těleso na konečné prvky, obsahující uzlové body, pro které se řeší rovnice výpočtu. Prvky jsem nechával automaticky brick a tetrahedra, s tím že poprvé proběhlo automatické vygenerování sítě. Vždy to byl kompromis mezi přijatelnou sítí a počtem prvků. Protože jemná síť je vhodná pro řešení, ale zabírá mnoho výpočetních prostředků. Proto jsem první síťování prováděl hrubší sítí. Po vygenerování většinou nepoužitelné sítě, jsem musel upravit síťování. Na místech dotyků, svarů a působí sil jsem použil jemnější síť, pro méně zatížená nebo méně členitá místa jsem síť zvětšil. Potom následovalo další generování sítě, s upravenými specifikacemi (obrázek č.34). Na podruhé nebo na potřetí tato moje „iterace“ přinesla vhodnou síť použitelnou pro výpočet. Velikost prvků sítě byla volena 5 až 15 mm. Následovalo definování vazeb a zatěžujících sil a momentů. Po kontrole modelu jsem spustil analýzu a proběhla simulace, kde z výsledků by mělo být možné určit napětí, deformace a bezpečnost. Následovalo uložení obrázků se zajímavými výsledky a vytvoření tzv. report formuláře, neboli protokolu analýzy. **Protokoly výpočtu a obrázky jsou součástí elektronické přílohy.**



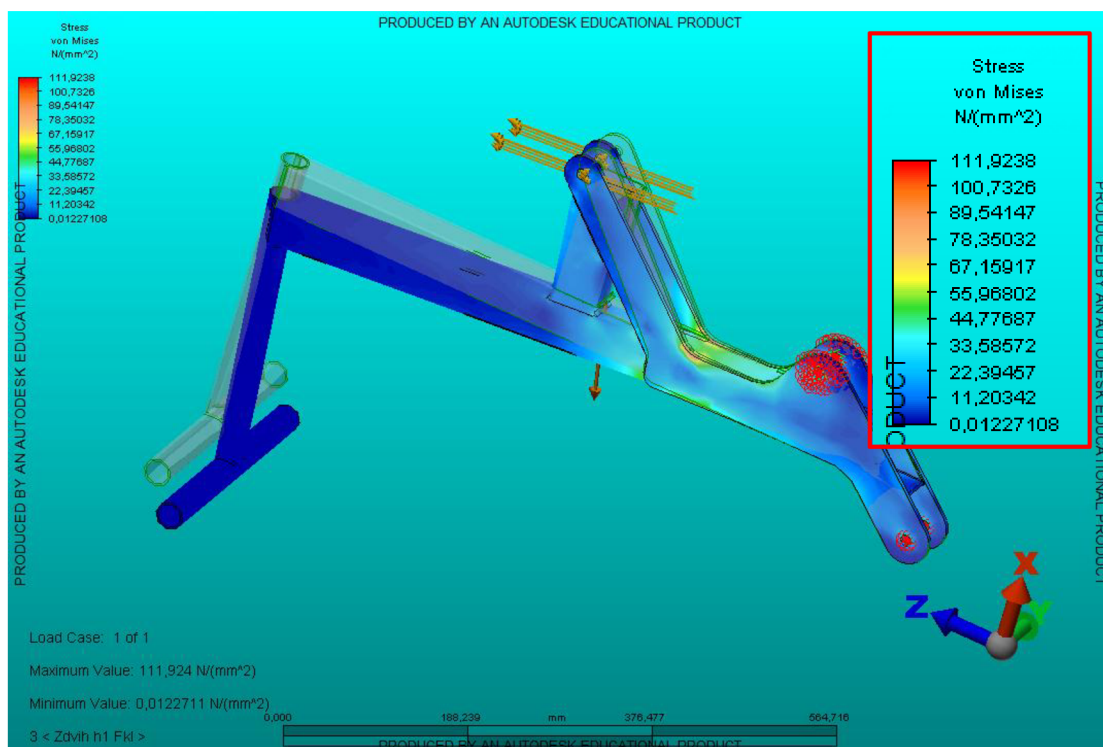
Obrázek 34. Přesíťování modelů



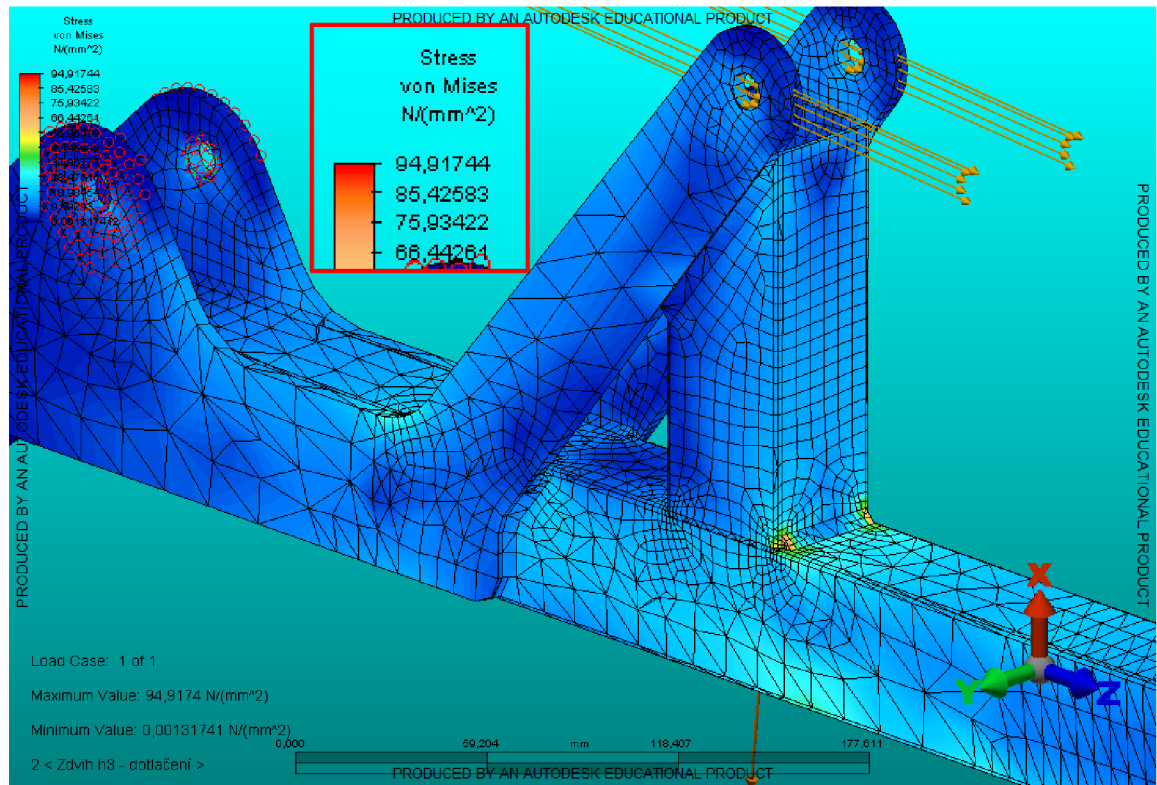
Simulace ramena: Simulaci jsem provedl pro dva stavy, pro stav při počátečním zdvihu a pro stav přidržení bedny. Velikosti sil jsem zadával pro maximální vypočtené hodnoty. Rozložení sil a vazeb podle obrázku č.26



Obrázek 35. Rameno - posunutí při dotlačení box palety



Obrázek 36. Rameno - Napětí von Mises



Obrázek 37. Rameno - přidržení box palety, koncentrace napětí

Ocel ČSN 17240 (DIN 1.4301, AISI 304), má mez kluzu minimálně $R_e=230$ MPa a mez pevnosti $R_m=540$ MPa. Tedy bezpečnost k meznímu stavu plastické deformace je podle vzorce (4) $k_{md}=2$ a k meznímu stavu porušení $k_{mp}=4,8$. Navíc je vidět, že maximální napětí se koncentruje v na okraji svaru, který ve skutečnosti má mnohem hladší konec. Maximální deformace ramena má hodnotu $u_d=0,3$ mm a lze ji považovat za více než přijatelnou. Napětí je reprezentováno redukovaným napětím HMM (von Mises), $\sigma_{HMMmax}=112$ MPa

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu pružnosti:

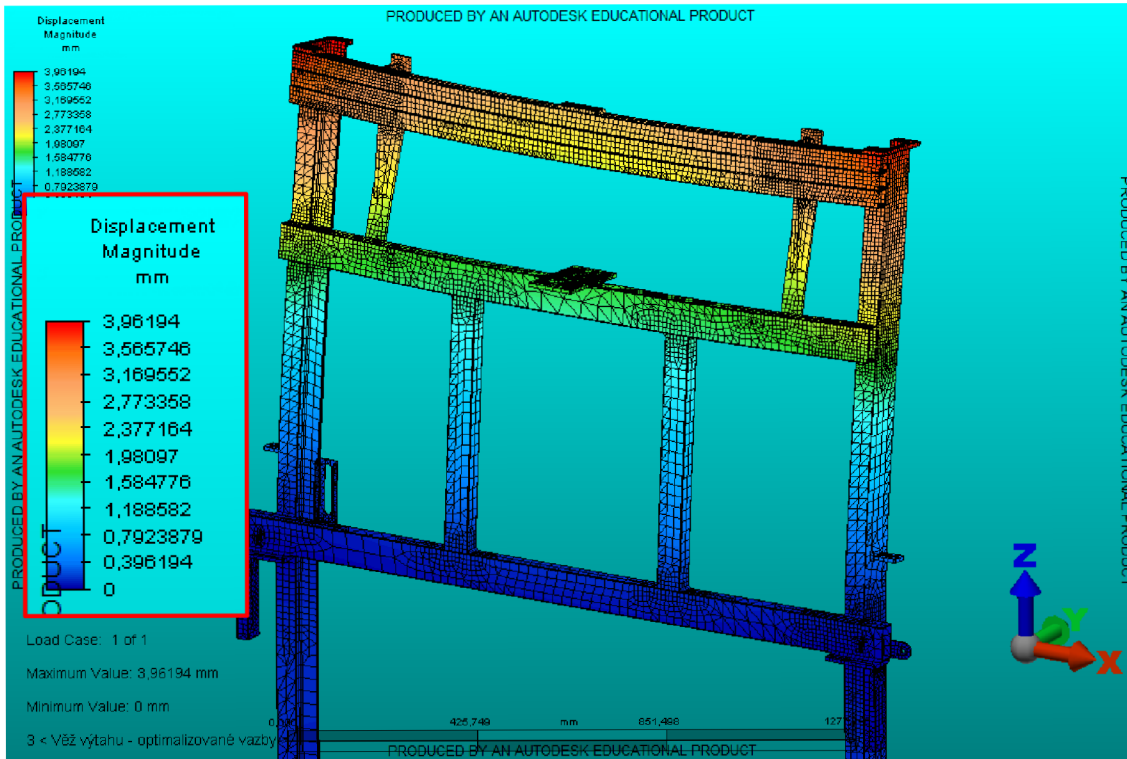
$$k_{md} = \frac{\alpha_{Md}}{\alpha} = \frac{230 \text{ MPa}}{112 \text{ MPa}} = 2 \text{ Vyhovuje} \quad (5)$$

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu pevnosti:

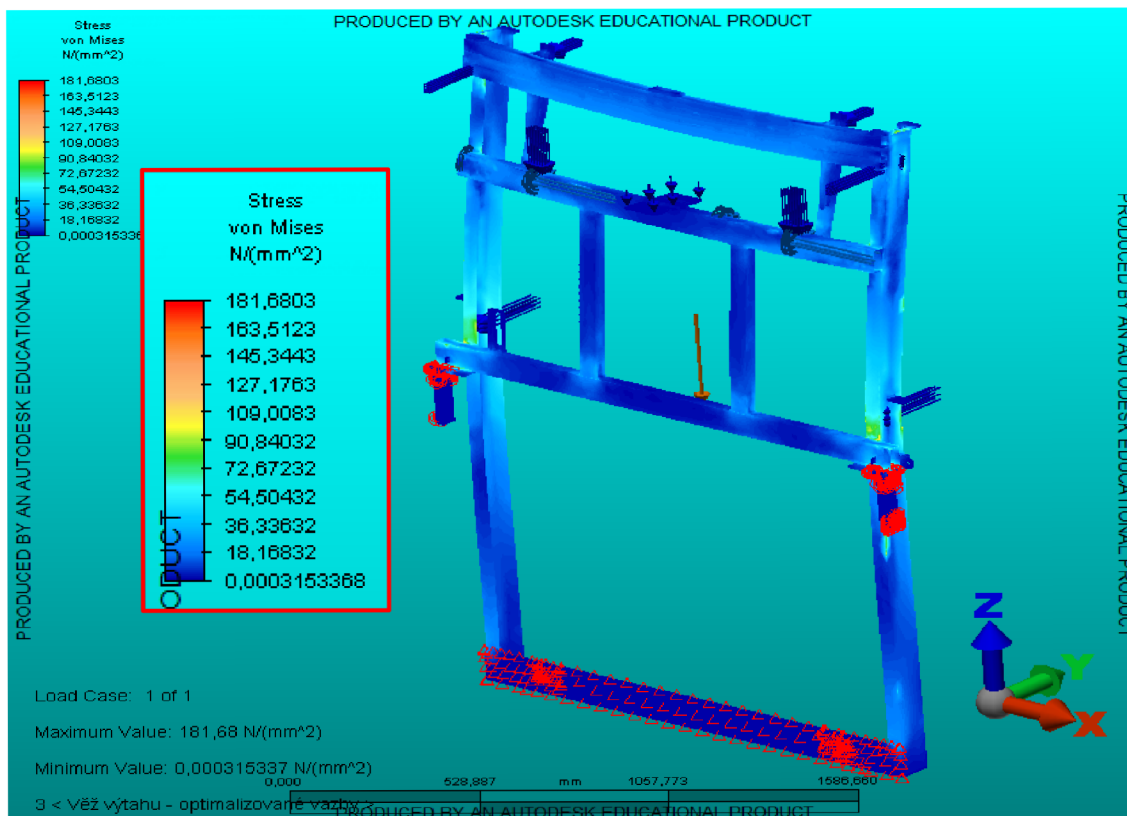
$$k_{mp} = \frac{\alpha_{Mp}}{\alpha} = \frac{540 \text{ MPa}}{112 \text{ MPa}} = 4,8 \text{ Vyhovuje} \quad (6)$$



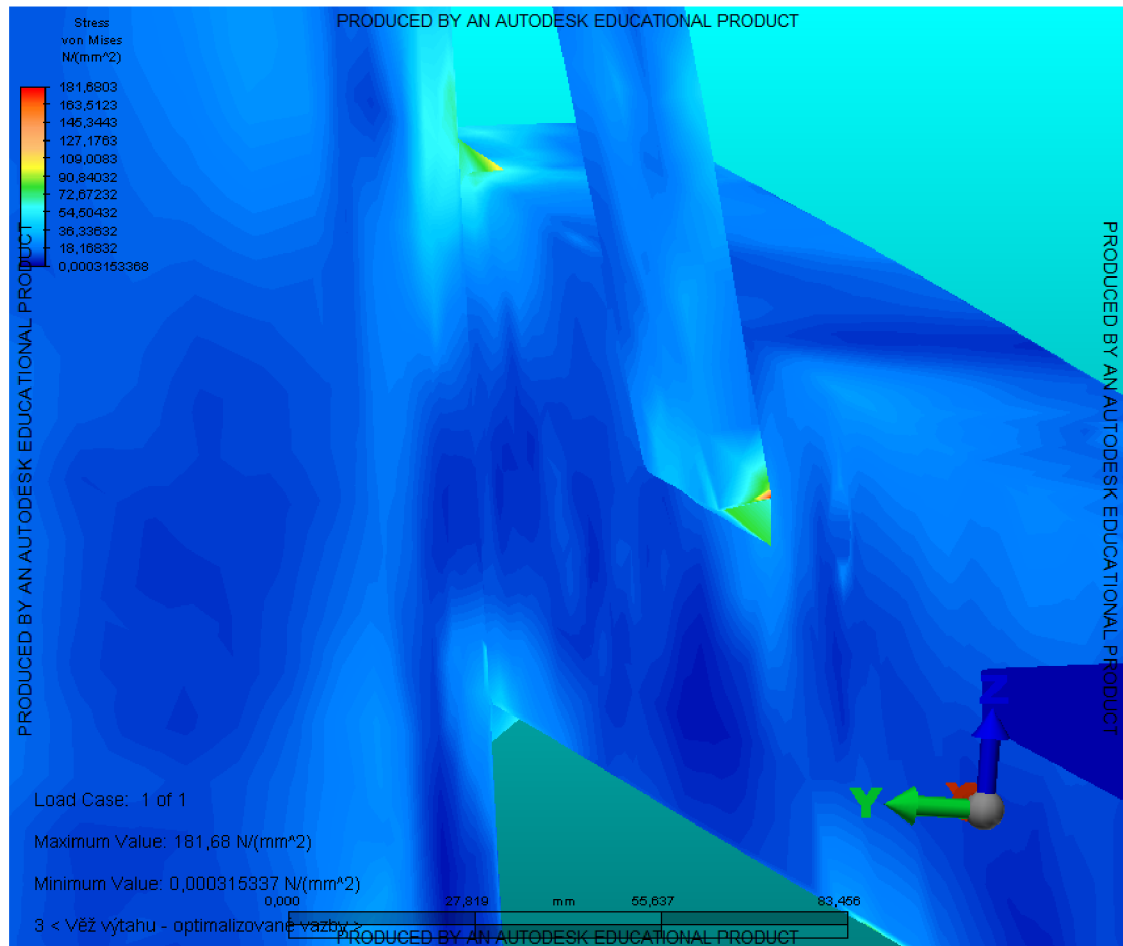
Simulace věže výtahu: Zatížení a vazby nastaveny podle výpočtu a schématu.



Obrázek 38. Věž výtahu - deformace



Obrázek 39. Věž výtahu - napětí von Mises



Obrázek 40. Věž výtahu - koncentrátoři napětí

Z výsledků je vidět, že se v místě některých svarů koncentruje napětí. Konkrétně na obrázku č.40 lze evidentně rozeznat, že takto veliké napětí by na svaru křivkového vedení a nosníku nemělo vzniknout, alespoň ne při zatížení v horní části. Tato nepřesnost ve výsledku je způsobena pravděpodobně „ostrou“ geometrií kolem svaru, protože ve skutečnosti by došlo k mnohem plynulejšímu ukončení svarové housenky. Takovýto hladký svar se ale v počítači velmi špatně modeluje. I přes tento koncentrátor napětí je maximální deformace rovna hodnotě $\sigma_{HMHmax}=182\text{MPa}$ a tak je bezpečnost k meznímu stavu plastické deformace podle vzorce (4) minimálně $k_{md}=1,3$ a k meznímu stavu porušení minimálně $k_{mp}=3$. Maximální deformace je $u_d=4\text{mm}$.

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu pružnosti:

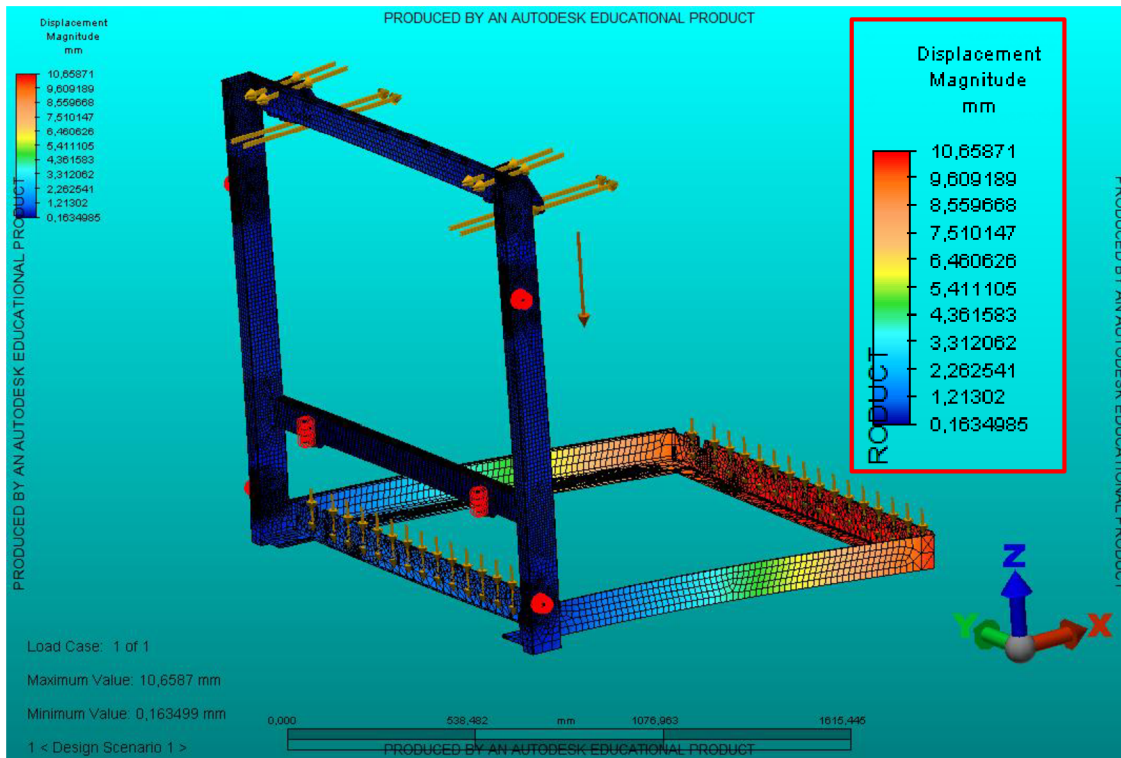
$$k_{md} = \frac{\alpha_{Md}}{\alpha} = \frac{230 \text{ MPa}}{182 \text{ MPa}} = 1,3 \text{ Vyhovuje} \quad (7)$$

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu pevnosti:

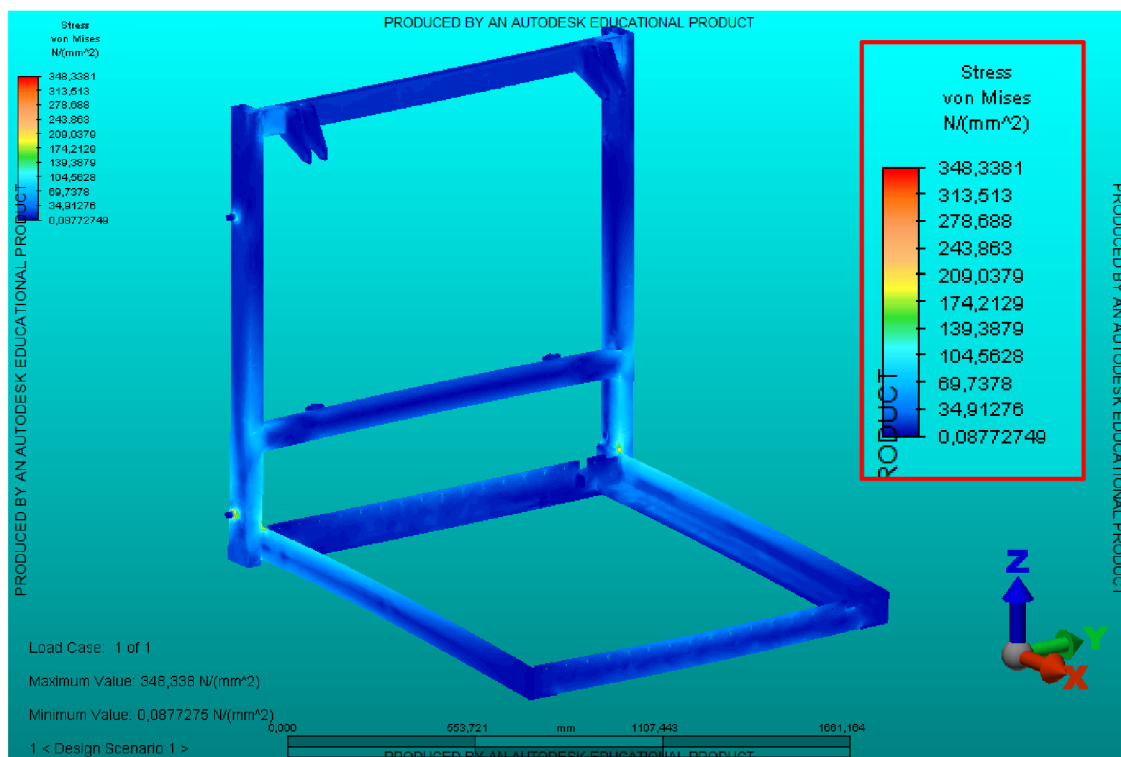
$$k_{mp} = \frac{\alpha_{Mp}}{\alpha} = \frac{540 \text{ MPa}}{182 \text{ MPa}} = 3 \text{ Vyhovuje} \quad (8)$$



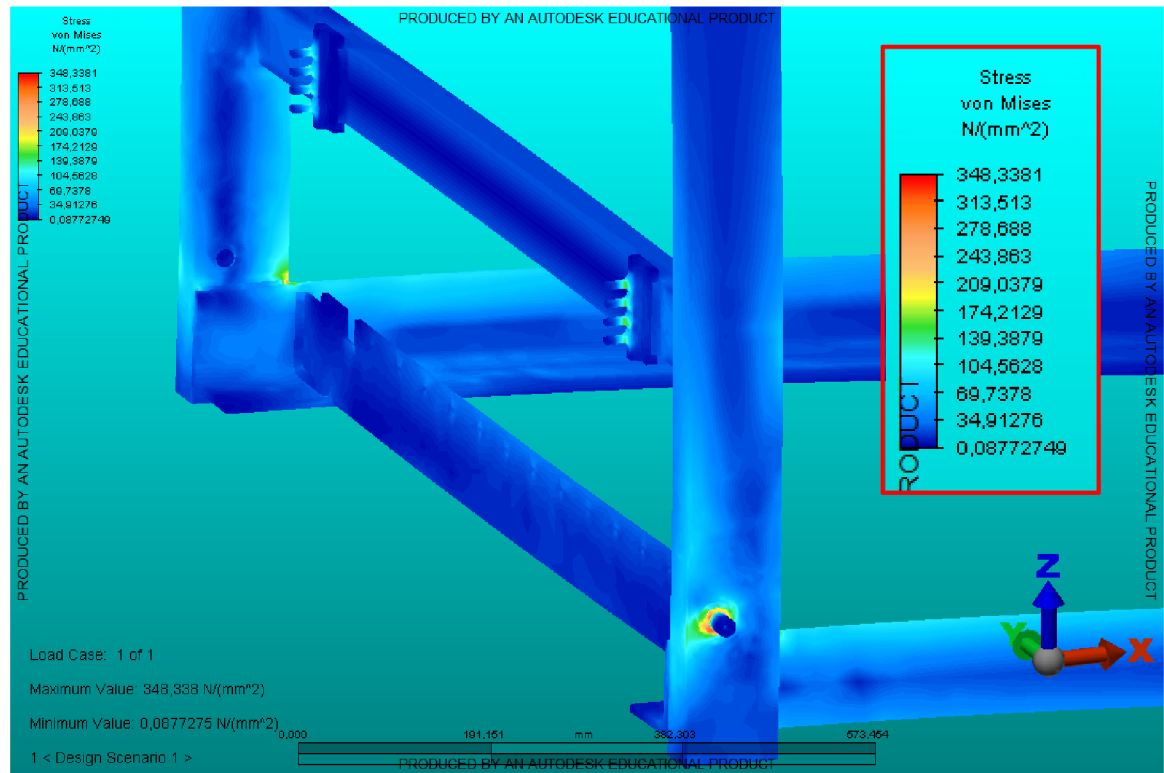
Simulace výtahu: Vazby na čepy kol jsou tak, aby byl uskutečněn jeden stupeň volnosti ve svislém směru. Další vazba působí na uchycení řetězu. Zbytek jsou zatěžující síly.



Obrázek 41. Výtah - deformace



Obrázek 42. Výtah - napětí podle von Mises



Obrázek 43. Výtah - koncentrace napětí

Opět se zde projevila koncentrace napětí, příčinami jsou pravděpodobně zase rozdílná geometrie svaru modelu a reálné svarové housenky. Každopádně se jedná o místo koncentrace napětí a bylo by potřeba optimalizovat model a výpočet, tak aby výsledná data byla přijatelnější. Navíc ve skutečnosti je svar hladší a čep kola může rozložit napětí do kola nebo vedení. Toto zde ale není zohledněno a bylo by potřeba této části věnovat další úsilí pro ověření správnosti analýzy. Vypočtená maximální deformace je $u_d=10,6$ mm a maximální napětí von Mises je $\sigma_{\text{MHmax}}= 348,5$ MPa.

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu pružnosti:

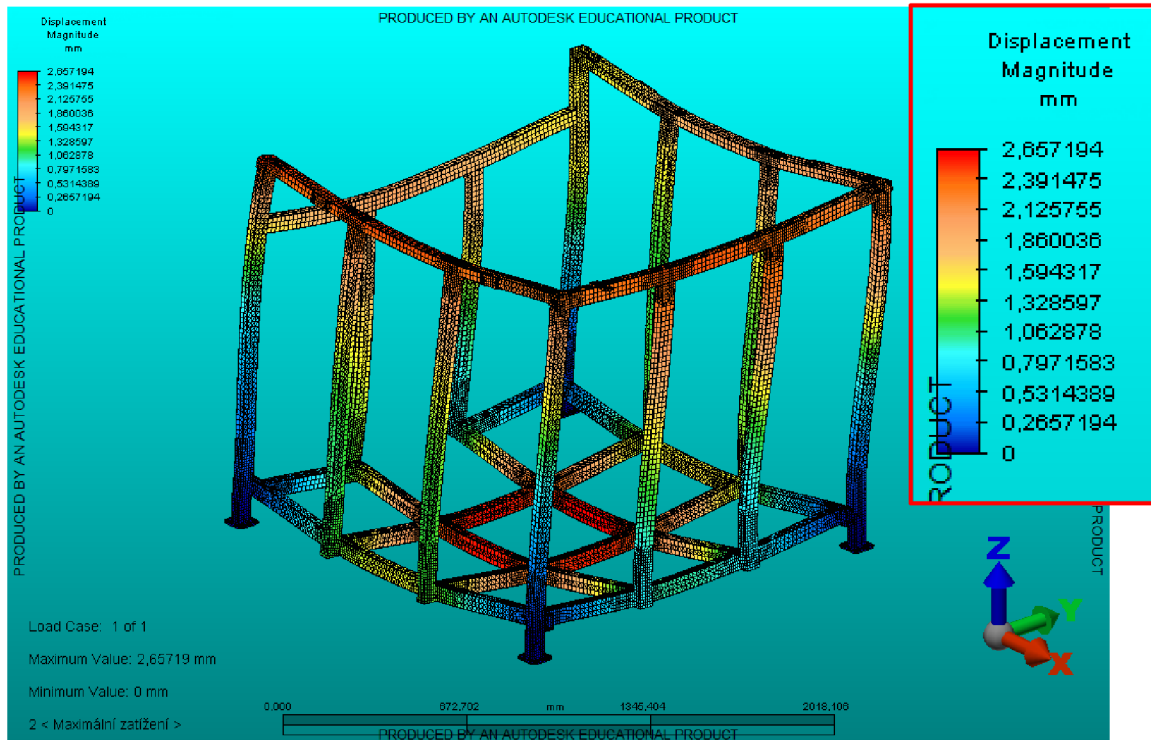
$$k_{md} = \frac{\alpha_{Md}}{\alpha} = \frac{230 \text{ MPa}}{348,5 \text{ MPa}} = 0,7 \text{ Nevyhovuje} \quad (9)$$

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu pevnosti:

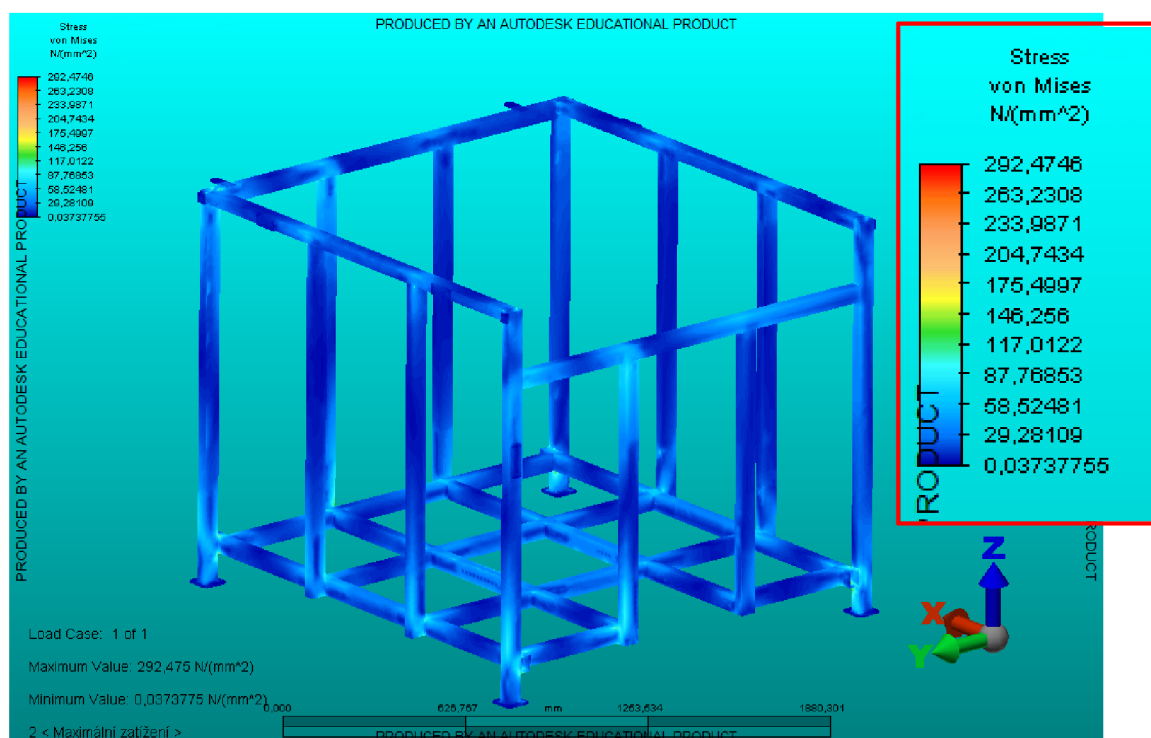
$$k_{mp} = \frac{\alpha_{Mp}}{\alpha} = \frac{540 \text{ MPa}}{348,5 \text{ MPa}} = 1,5 \text{ Vyhovuje} \quad (10)$$



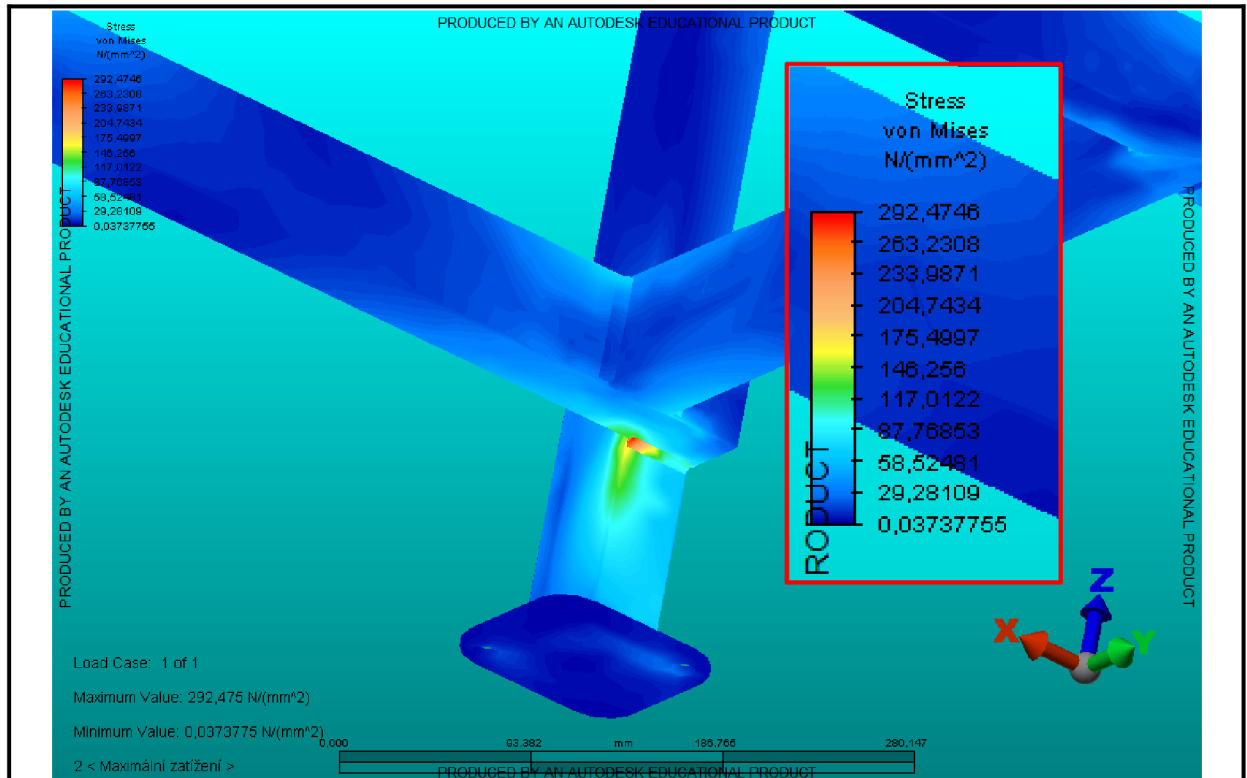
Simulace rámu nádrže: Nádrž je zatížena silami od věže výtahu a hydrostatickým tlakem, který působí na dno i stěny. Hladina je uvažovaná jako maximální možná, tedy až po horní okraj. Není to sice běžný provozní stav, jedná se o stav mimořádný, ale zde uvažován takto. Poznámka: Zobrazení deformací není v měřítku.



Obrázek 44. Rám nádrže - Deformace



Obrázek 45. Rám nádrže - Napětí



Obrázek 46. Rám nádrže - koncentrace napětí

Podobné výsledky řešení jako v předchozích dvou případech. Koncentrace napětí v těchto místech určitě bude, ale nelze ji předpokládat takto velkou. Deformace je maximálně $u_d=2,7\text{mm}$. Maximální napětí von Mises (HMH) je $\sigma_{HMHmax}=293\text{MPa}$.

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu pružnosti:

$$k_{md} = \frac{\alpha_{Md}}{\alpha} = \frac{230 \text{ MPa}}{293 \text{ MPa}} = 0,8 \text{ Nevyhovuje} \quad (11)$$

Koeficient bezpečnosti k meznímu stavu porušení:

$$k_{mp} = \frac{\alpha_{Mp}}{\alpha} = \frac{540 \text{ MPa}}{293 \text{ MPa}} = 1,8 \text{ Vyhovuje} \quad (12)$$

3.3.3. Zhodnocení výpočtů MKP

Určitých výsledků bylo dosaženo, ale nelze je považovat za uspokojivé. Koncentrace napětí v problematických místech, snižuje schopnost posoudit kritická místa svařenců a případná optimalizace by nemusela být navržena správně. Pro dosažení lepších výsledků by bylo vhodné upravit modely, pokusit se vyhladit svary. Jenže toto by bylo dost obtížné vzhledem k tvarům nosných profilů s rádiusy. Další možností by mohlo být změna sítě, upravení hustoty a elementů. K referenci správnosti výsledku by bylo vhodné, pokusit se spočítat některý z jednodušších uzlů analyticky a ten pak porovnávat s numerickými výsledky programu.

3.4. Zhodnocení zařízení vodní výklopník, návrh optimalizace

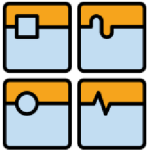
Vzhledem k tomu, že výpočty pomocí MKP nedopadly zrovna podle očekávání a z časových důvodů, již nebylo možno modely a simulace přepracovávat a optimalizovat je, pokusím se alespoň o přibližné posouzení stavu zařízení podle stávajících výsledků. Protože napětí v místech koncentrací dosahovalo mnohem vyšších hodnot, než je průměrné napětí, zvýšilo se tím také maximální uvažované napětí σ_{\max} , které je použito pro posouzení mezních stavů. Například na obrázku číslo 40 je vidět, že maximální napětí celé sestavy je v rohu křivkového vedení na velice malé ploše, kde by ale nemělo vznikat. Z toho lze usoudit, že maximální napětí budou nižší, než jsou napětí deklarována programem. Navíc u žádné součásti nebyla překročena mez pevnosti. Z toho důvodu lze, i bez přesného ověření, říci že zařízení splňuje bezpečnost vzhledem k meznímu stavu porušování (pevnosti). Mezní stav pružnosti je komplikován, protože se mohou měnit vlastnosti ovlivněného místa a na venek se to nemusí projevit. Zde by chtělo pokračovat v optimalizaci výpočtu, pro správné ověření maximálního napětí. Následně by nebyl problém zhodnotit zařízení i tohoto hlediska.

Optimalizovat by bylo možné rám vany a to tak, že by se doprostřed dna přidaly zesponu ještě dvě podpěrné nohy. Odlehčilo by se tak zatížení svarů. V části výpočtu řetězu popisují, že by bylo výhodnější použít řetěz 08B-1, namísto řetězu 12B-1, protože původní řešení řetězu je šestinásobně předimenzované. Určitě by bylo možné optimalizovat některý z rámu vzhledem k ceně, ale pravděpodobně by úspora nebyla veliká. Nezdá se totiž, že by některá z částí byla zásadně předimenzovaná.

Závěrem lze říci, že zařízení je spolehlivé a funkční, i když dosažené výsledky nejsou jednoznačné. Simulované zatížení bylo nevyšší možné, které může nastat a naopak u materiálových vlastností byly brány minimální hodnoty. Vzhledem ke vzniku maximálních napětí v nedokonalých přechodech svarů a tím k vypočítání koncentrovaných napětí, by nemělo ve skutečnosti docházet a nemělo by dojít k porušování rámu nebo plastickým deformacím. To je navíc podloženo, testy které proběhly u prototypu před uvedením do provozu.

	Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti	Bezpečnost k meznímu stavu pevnosti
Rameno	2	4,8
Věž výtahu	1,3	3
Výtah	0,7	1,5
Rám nádrže	0,8	1,8


Tabulka 3.1. Součinitelé bezpečností

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení		

4. Závěr

Tato práce začala uvedením do způsobů balení potravin, konkrétně ovoce a zeleniny. Kde, jak doufám, se čtenář dozví něco o strojích, zařízeních a linkách tohoto odvětví. Následuje rozdělení a popis strojů využívaných v těchto linkách, jedná se o popis účelu, uspořádání, funkce atd. Dále je uvedeno rozdělení strojů podle různých hledisek.


Následuje stěžejní část práce, tedy analýza zatížení jednoúčelového stroje vodní výklopník. Na začátku je popsána funkce, účel, uspořádání, návaznost jednotlivých podsestav. Dále pokračuje kinematický rozbor a odvození natočení ramena v závislosti na zdvihu. Potom se v práci začínají objevovat poznatky z výpočtové zprávy. Výpočtová zpráva je papírovou přílohou číslo jedna. Všechny výpočty a grafy jsou napsány ve výpočtové zprávě. Některé zajímavější části výpočtu jsou popsány a rozvedeny v práci. Po uvolnění zařízení na čtyři hlavní celky a zjištění provázanosti vzájemného působení je dalším krokem ověření správnosti výpočtů, dále výpočet motoru a řetězu. Zde byl odhalen prostor pro úsporu nákladů. U řetězu bezpochyby a u motoru by záleželo na přístupu, jak moc se jistit proti nestandardnímu zatížení. Po dokončení výpočtu byla zahájena simulace v programu Simulation Multiphysics. Podrobný postup je popsán v předchozích kapitolách. Princip byl síťovat součást, upravit síťování, nastavit vazby a síly a nechat vypočítat. Následně jsem výsledky zhodnotil, a myslím že se z nich dají vyvodit zajímavé závěry. Problémy způsobovala koncentrace napětí v místech hrubě modelovaných svarů. Deformace při maximálním zatížení je přijatelná a nebyť napětových koncentrací na problematických plochách, dalo by se to samé říci i o koeficientu bezpečnosti vzhledem k pevnosti. Původně bylo zamýšleno, že cílem práce bude i případná optimalizace rámu. Po simulaci a zhodnocení výsledků by byl, ale nesmysl optimalizovat něco co, nevychází ani špatně ani „příliš dobře“. Navíc fakt, že toto zařízení již bylo několikrát vyrobeno a funguje, svědčí že bezpečnost není problém. Z druhé strany se ale ani nepotvrdilo, že by zařízení bylo zbytečně předimenzované. Dále je zde další aspekt a to, že se jedná v podstatě o jednoúčelový stroj, kterých se za rok vyrobí velice málo. Zdá se totiž, že by si takováto optimalizace vyžádala hodně drahocenného času s nejasným výsledkem. Což se u jednoúčelových strojů příliš nevyplatí. Největší přínos této práce spatřuji v tom, že jsem si vyzkoušel vyřešit komplexní úkol i přesto že jeho praktické dopady jsou sporné a v praxi se pravděpodobně nevyužijí. Navíc to byla velice zajímavá zkušenost, která se může hodit do budoucna.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

5. Literatura a zdroje

5.1. Literatura, zdroje

- [1] J DOBIAŠ, J., Technologie zpracování ovoce a zeleniny\I – provizorní učební text, VŠCH-Technologická v Praze, Ústav konzervace potravin a technologie masa, v Praze 2004. Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktk/www_324/studium/OZ/zelenina_1.pdf
- [2] DOBIAŠ, J., Technologie zpracování ovoce a zeleniny\II – provizorní učební text, VŠCH-Technologická v Praze, Ústav konzervace potravin a technologie masa, v Praze 2004. Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktk/www_324/studium/OZ/zelenina_2.pdf
- [3] PULKRÁBEK, J., CAPOUCHOVÁ a HAMOUZ a kol., Speciální fytotechnika, Katedra rostlinné výroby ČZU V Praze, 2003, 190 s. ISBN 80-213-1020-0. Dostupné z: http://etext.czu.cz/sekce.php?titul_key=4&id=detail
- [4] BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V., Juan J. FERNÁNDEZ-MOLINA, Stella M. ALZAMORA, Maria S. TAPIA, Aurelio LÓPEZ-MALO a Jorge Welti CHANES. FAO. Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. Rome, 2003. ISBN 92-5-104861-4. Dostupné z: <http://www.fao.org/docrep/005/Y4358E/y4358e00.htm#Contents>
- [5] Firemní stránky společnosti Htech CZ s.r.o. [Online], Dostupné z: <http://cze.htech.cz/produkty> [21.4.2013]
- [6] ŘEPÁŇ, M., Stroje a zařízení, učební text SOŠ a SOU Horky nad Jizerou. Dostupné z: <http://www.souhoriky.cz/pracesitpdf/06k%20stroj%20a%20zariz%201.pdf>
- [7] PŘIKRYL, K.: Kinematika, FSI VUT Brno, akademické nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno, ISBN 80-214-2951-8
- [8] JANÍČEK, P., ONDRÁŠEK, E., VRBKA, J., BURŠA, J.: Mechanika těles pružnost pevnost I, FSI VUT Brno, akademické nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno, ISBN 80-214-2592-X
- [9] MAREK, J., a kol.: Konstrukce CNC obráběcích strojů, MM publishing s.r.o., Praha, 2010, ISBN 978-80-254-7980-3
- [10] PETRUŠKA, J.: MKP v inženýrských výpočtech, FSI VUT Brno [Online], Dostupné z: <http://ebookbrowse.com/mkp2011-pdf-d189864404> [3.4.2013]
- [11] Řetězový dopravník [Online], Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/retezovy-dopravnik-80cd-ms/> [2.3.2013]
- [12] Šnekový dopravník [Online], Dostupné z: <http://www.cimbria.cz/?page=produkty-210> [2.3.2013]
- [13] Bubnová pračka [Online], Dostupné z: <http://www.zeta-zr.cz/bubnove-pracky-univerzalni-bubnova-pracka-bp1580-str-76-1-42-2.html> [2.3.2013]
- [14] Kartáčová pračka [Online], Dostupné z: <http://www.strojvyvoj.cz/cs/prani-suroviny/13-kartacova-pracka-pro-myti-zeleniny.html> [2.3.2013]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
	Pevnostní kontrola zařízení Vodní výklopník a optimalizace jeho konstrukčního řešení	

5.2. Internetové odkazy

<http://inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=16>

<http://www.fao.org/docrep/005/Y4358E/y4358e00.htm#Contents> [4]

http://etext.czu.cz/php/skripta/skriptum.php?titul_key=4 [3]

<http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/roslinne-komodity/>

<http://haccp.webnode.cz/sanitace-v-potravinarstvi/>

5.3. Seznam příloh

5.3.1. Papírové přílohy

- Výpočtová zpráva - Příloha 1
- Výkresová dokumentace

5.3.2. Elektronické přílohy

- Výpočtová zpráva - Příloha,
 - MACH,J. Výpočtová zpráva - příloha 1.xmcd
 - MACH,J. Výpočtová zpráva - příloha 1.xps
 - MACH,J. Výpočtová zpráva - příloha 1.pdf
 - MACH,J. Výpočtová zpráva - schémata.pdf
- Protokoly a obrázky simulací, Autodesk Simulation Multiphysics
 - rameno: pdf a bmp
 - věž výtahu: pdf a bmp
 - výtah: pdf a bmp
 - rám nádrže: pdf a bmp
- Model zařízení vodní výklopník
 - VPV_01.dwfx
- Katalogy společnosti Htech CZ
- Katalog plynových vzpěr Eckold
- Katalog pohonů Varvel
- Katalog řetězů Challenge

5.4. Seznam obrázků

Obrázek 1. Postup realizace potravinářské linky.....	16
Obrázek 2. Ukázka možného procesu	16
Obrázek 3. Ukázka části linky	17
Obrázek 4. Ukázka části linky, pohled od baličky.....	17
Obrázek 5. Půdorys linky pro zpracování mrkve	18
Obrázek 6. Vynášení pásový dopravník.....	21
Obrázek 7. Řetězový dopravník	21
Obrázek 8. Šnekový dopravník	22
Obrázek 9. Suchý vyklapěč plastových palet	24
Obrázek 10. Vodní vyklapěč se zařízením vodní výklopník	24
Obrázek 11. Zásobník a podavač beden	25
Obrázek 12. Paletizátor od výrobce Symach	26
Obrázek 13. Bubnová pračka brambor	28
Obrázek 14. Kartáčová pračka.....	28
Obrázek 15. Horizontální balička	29
Obrázek 16. Vertikální balička od výrobce Jasa.....	29
Obrázek 17. Popis vodního vykladače	31
Obrázek 18 - Vodní výklopník	32
Obrázek 19. Hlavní části zařízení	33
Obrázek 21. Věž výtahu, zadní pohled bez krytování	34
Obrázek 20. Kostra nádrže	34
Obrázek 22. Výtah, obrázek bez krycího plechu a vzpěr	35
Obrázek 23. Kinematické schéma zařízení	36
Obrázek 24. Zobrazení průběhu zdvihu	38
Obrázek 25. Způsob uchycení ramena	41
Obrázek 26. Schéma uvolněného ramena pro úhel alfa	42
Obrázek 27. Pozice výtahu v sestavě	45
Obrázek 28. Schéma uvolněných sil na výtahu.....	46
Obrázek 29. Schéma uvolněných sil na věž výtahu	48
Obrázek 30 - Schéma rámu nádrže	51
Obrázek 31. Uložení pohonu.....	52
Obrázek 32 - Schéma zatížení pohonu.....	53
Obrázek 33. Detail uchycení řetězu	54
Obrázek 34. Přesíťování modelů	57
Obrázek 35. Rameno - posunutí při dotlačení box palety	58
Obrázek 36. Rameno - Napětí von Mises	58
Obrázek 37. Rameno - přidržení box palety, koncentrace napětí	59
Obrázek 38. Věž výtahu - deformace.....	60
Obrázek 39. Věž výtahu - napětí von Mises.....	60
Obrázek 40. Věž výtahu - koncentrátoři napětí	61
Obrázek 41. Výtah - deformace	62
Obrázek 42. Výtah - napětí podle von Mises	62
Obrázek 43. Výtah - koncentrace napětí.....	63
Obrázek 44. Rám nádrže - Deformace	64
Obrázek 45. Rám nádrže - Napětí	64
Obrázek 46. Rám nádrže - koncentrace napětí.....	65