

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MODERNIZACE ESKALÁTORU RENOVATION OF ESCALATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARTIN KOBZÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PŘEMYSL POKORNÝ PHD.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Kobzík

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

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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

Modernizace eskalátoru

v anglickém jazyce:

Renovation of escalator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte konstrukční řešení modernizace eskalátorů firmy Otis typu 506 za maximálního použití komponentů NCE 506. Řešení zahrnuje eskalátor o sklonu 30°, šířka schodu 600 mm. Maximální zdvih 4950 mm.

Cíle diplomové práce:

Technická zpráva obsahující:

- koncepční návrh modernizace,
- pevnostní a funkční přepočty navržené modernizace,
- další výpočty dle pokynů vedoucího DP

Výkresová dokumentace

- pomocí Pro/Engineer vytvořte objemový model
- výkresová dokumentace v rozsahu dle vedoucího DP.

Seznam odborné literatury:

1. Janovský L.: Elevator Mechanical Design. Elevator World 2001
2. SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
3. Firemní literatura a příslušné ČSN

Vedoucí diplomové práce: Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

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

V Brně, dne 21.11.2014



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá rozbořem konstrukce eskalátoru firmy Otis a koncepcí jeho modernizace s názvem „In-truss“. Tento typ modernizace spočívá v ponechání stávající nosné konstrukce eskalátoru typu 506, do které se vkládají komponenty novější řady 506-NCE. Taková operace vyžaduje modifikaci, nebo tvorbu dílů (adaptérů) k uchycení nových komponentů na konstrukci a také její úpravy. Tyto úpravy vedou na pevnostní kontrolu konstrukce, která je provedena pomocí metody konečných prvků v softwaru NX I-deas. Práce obsahuje návrh vybraných subsystémů eskalátoru, pevnostní kontrolu nosné konstrukce a tvorbu objemového modelu v programu CREO-Parametric pro další využití.

KLÍČOVÁ SLOVA

Eskalátor, modernizace, nosná konstrukce, hlavní pohon, napínací vozík, kolejový systém, metoda konečných prvků.

ABSTRACT

This master's thesis covers the construction analysis of an escalator by the Otis a.s. company and the conception of its modernization called "In-truss". This type of modernization consists in preserving the supporting construction of the 506-type escalator into which the components of newer 506-NCE series are to be built in. Such operation requires modifying the construction and creating adaptors used to anchor the new components to it. These modifications lead to the stress testing of the construction, that is done by using the finite elements method in NX-Ideas software. The thesis contains the design of selected subsystems of the escalator, the stress testing of the new supporting construction and the creation of volume model in CREO-Parametric application for further use.

KEYWORDS

Escalator, modernization, truss construction, main drive, tension carriage, track system, fem analysis.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOBZÍK, M. Modernizace eskalátoru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 20. května 2015

.....

Martin Kobzík



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval Ing. Přemyslovi Pokornému, Ph.D. za cenné připomínky a odborné vedení nejen při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat kolektivu konstruktérů firmy Otis, díky kterým jsem byl schopen lépe pochopit problematiku navrhování eskalátorů a Ing. Petrovi Damborskému za konzultaci v oblasti firemních výpočtů.



OBSAH

Obsah	1
Úvod	2
1 Shrnutí zadání	3
2 Cíle práce	4
3 Hlavní součásti eskalátoru	5
3.1 Nosná konstrukce	5
3.2 Hlavní pohon	6
3.3 Napínací vozík	6
3.4 Kolejový systém	7
3.5 Motor s převodovkou	7
3.6 Balustráda a okopové plechy	8
3.7 Hřebeny, hřebenová a nástupní deska	8
3.8 Schodnicový řetěz	9
3.9 Schodnice	10
3.10 Pohon madla	10
4 Koncepce modernizace	11
4.1 Přehled změn	11
4.2 Řezací plán	12
5 Pevnostní analýza	13
5.1 Výpočtový model	13
5.2 Uchycení výpočtového modelu eskalátoru	13
5.3 Zátěžné stavy	14
5.3.1 Zatížení vlastní hmotností konstrukce (LC1)	14
5.3.2 Zatížení vyvolané hmotností balustrády a pohybujících se částí (LC2)	14
5.3.3 Zatížení vyvolané pasažéry (LC3)	19
5.3.4 Zatížení jednotlivých statických součástí (LC4)	20
5.3.5 Zatížení vyvolaná dynamickými účinky (LC5)	23
5.4 Souhrn zatížení v podobě kombinací zátěžných stavů	36
6 Vyhodnocení výsledků zatížení	37
Závěr	39
Seznam použitých zkratk a symbolů	41
Seznam příloh	44



ÚVOD

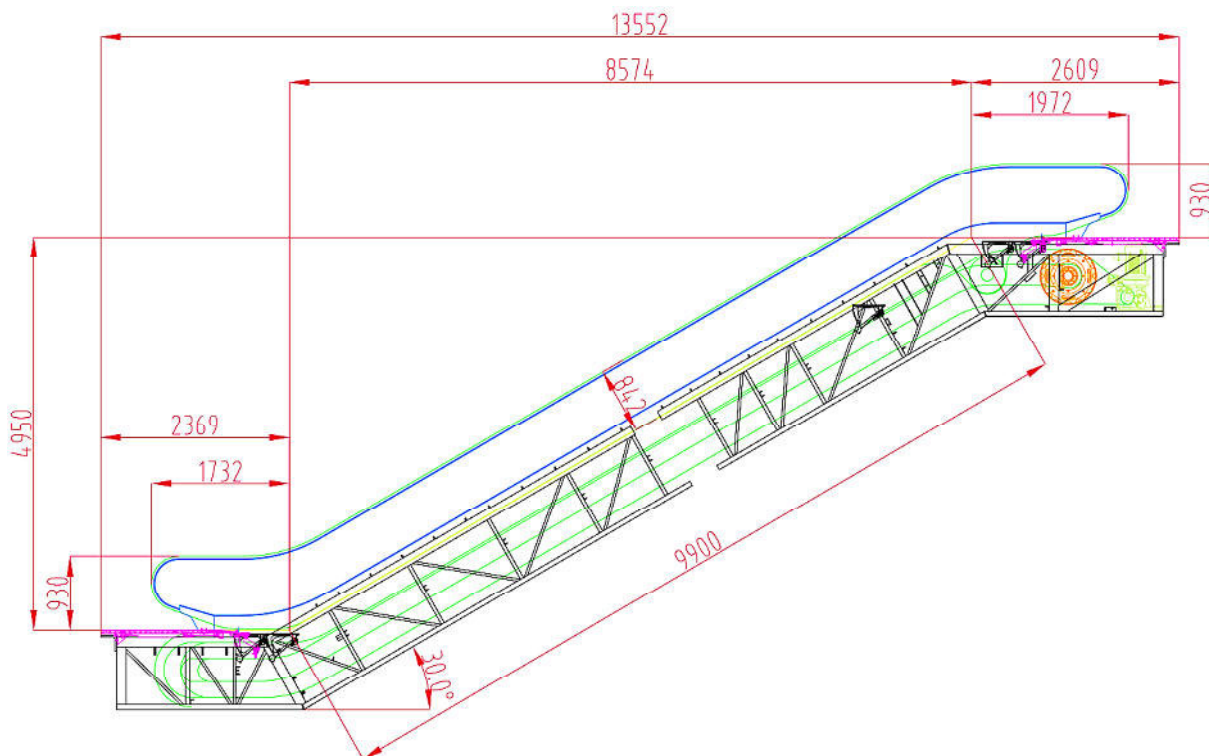
Slovo eskalátor můžeme volně přeložit jako pohyblivé schody. Jedná se v podstatě o speciální řetězový dopravník, pro jehož pohon bývá zpravidla použit třífázový asynchronní elektromotor. S eskalátory se setkáváme nejčastěji v nákupních centrech, podzemních stanicích metra, nádražích a dalších místech, ve kterých je kladen požadavek na přepravu osob mezi úrovněmi nebo podlažními staveb. Oproti výtahům má větší přepravní kapacitu a to díky kontinuálnímu provozu. Pro jejich navrhování slouží na evropském kontinentu norma EN 115.

Tato diplomová práce je založena na zadání projektu zakázkové modernizace břeclavské pobočky firmy Otis. Běžné modernizace se provádí náhradou starých dílů tak, že jsou vyrobeny nové díly podle starého designu. U celkové (rozsáhlé) modernizace je možné využít metodu s názvem „In-truss“. Tato metoda spočívá v tom, že se využije pouze stávající nosná konstrukce eskalátoru (truss) typu 506 a jsou do ní vsazeny nové standardní, či lehce modifikované subsystémy a díly z modelové řady 506-NCE.



1 SHRnutí ZADÁNÍ

Tato kapitola slouží jako rekapitulace bodů zadání a upřesnění požadovaných konstrukčních prvků.



Obrázek 1: Rozměry upřesňující zadání

- Zdvih eskalátoru 4950 mm
- Sklon eskalátoru 30°
- Šířka schodnice 600 mm
- Motor EC 2-7 - výkon 5,5 kW
- Materiál konstrukce RSt 37-2 (mez kluzu v tahu 235 MPa)
- Provedení modernizace bez svařování na konečné montáži
- Kompletní výměna balustrády
 - Skleněné panely
 - Hliníkové krytí balustrády
 - Ocelové okopové plechy



2 CÍLE PRÁCE

- Provést rozbor koncepce eskalátoru a jeho modernizace
- Vypracovat návrh modernizace pomocí programu Creo parametric pro další využití
- Zpracovat pevnostní analýzu konstrukce před modernizací a po modernizaci
- Porovnat a vyhodnotit výsledky analýzy

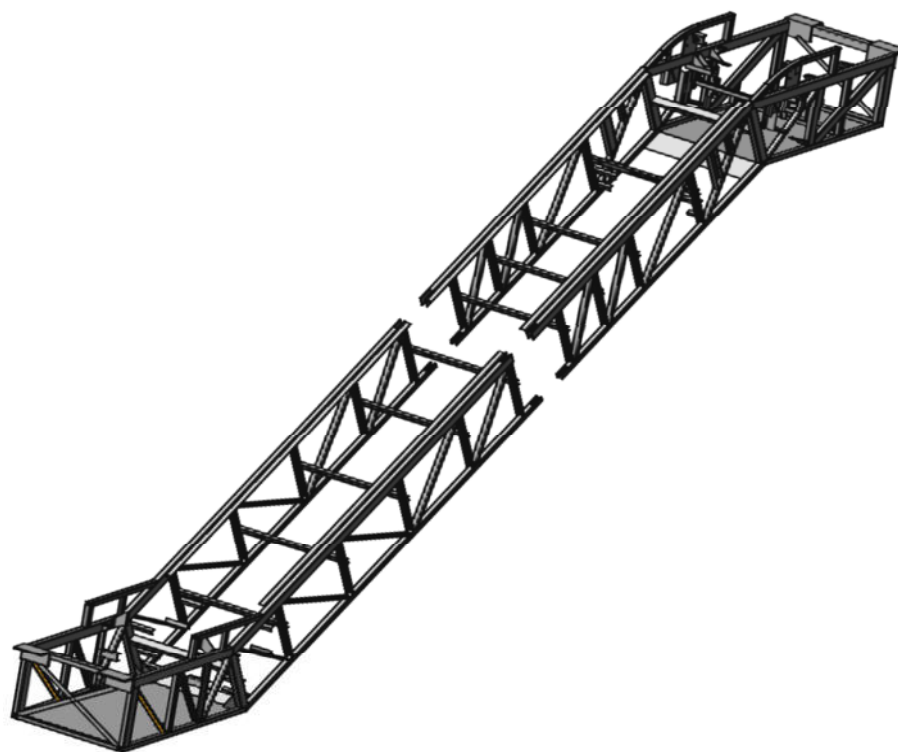


3 HLAVNÍ SOUČÁSTI ESKALÁTORU

Koncepce eskalátorů firmy Otis lze rozčlenit do subsystémů tak, aby byl konečný produkt přehlednější. V následujících podkapitolách jsou popsány a zformulovány ty nejdůležitější pro chod eskalátoru a zpracování této diplomové práce.

3.1 NOSNÁ KONSTRUKCE

Nosná konstrukce je svařená z ocelových profilů (nejčastěji jáckly, profily U a L) a plechového dna. Do budov se kotví pomocí nosných úhelníků na koncích konstrukce. Povrchové úpravy se dělí na standardní nátěr barvou, nebo zinkování. To se používá zpravidla pro eskalátory, které svojí částí zasahují mimo budovy, nebo pracují ve vlhkém prostředí. Z důvodu velkých rozměrů některých konstrukcí se může skládat z více částí, které jsou k sobě připojeny šrouby. Nosnou konstrukci můžeme pomyslně rozdělit na horní stanici, střední díl a spodní stanici.

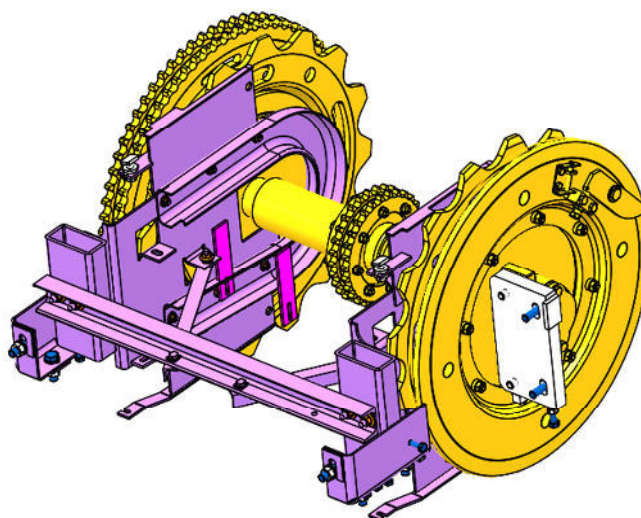


Obrázek 2: Nosná konstrukce



3.2 HLAVNÍ POHON

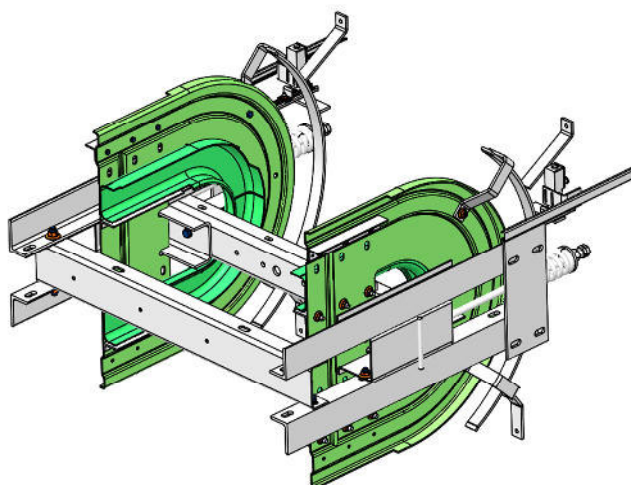
Hlavní pohon slouží jako mezičlánek přenosu sil z převodovky na schodnicové řetězy. Bývá zpravidla umístěn v horní stanici a pomocí šroubů připojen k nosné konstrukci. Skládá se z plně jednolitě nebo dělené hřídele, řetězového kola pro přenos momentu z převodovky, dvou kol se zuby pro kola schodnicového řetězu a tzv. obraceče vymezujícího dráhu kol schodnic.



Obrázek 3: Hlavní pohon

3.3 NAPÍNACÍ VOZÍK

Slouží k vymezení dráhy schodnicového řetězu a jeho nepřetržité napínání pro hladký chod eskalátoru. Bývá umístěn zpravidla ve spodní stanici. Skládá se z pevné části spojené s nosnou konstrukcí a pohyblivé části. Napínání je provedeno pomocí dvou vinutých pružin s předpětím daným typem a zdvihem eskalátoru.

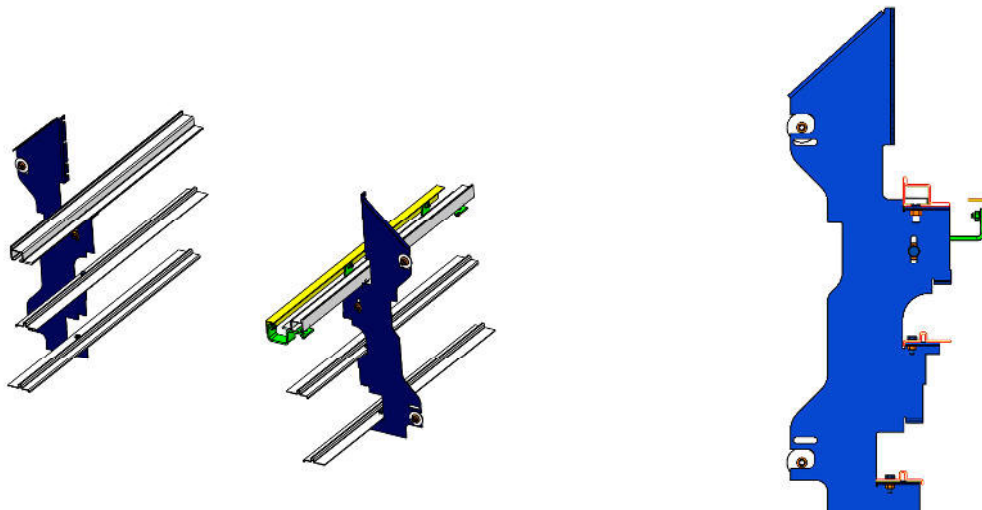


Obrázek 4: Napínací vozík



3.4 KOLEJOVÝ SYSTÉM

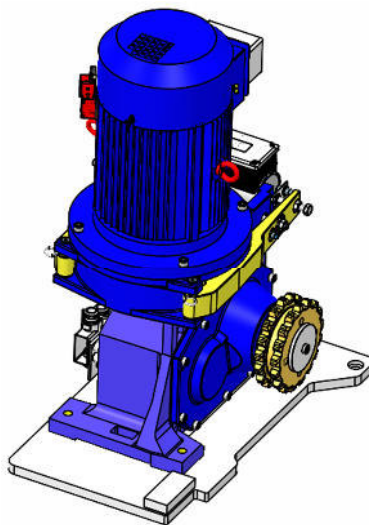
Vymezuje pohyb schodnicového řetězu po celé délce eskalátoru a v horní i dolní stanici. Skládá se z držáků kolejí, kolejnic a „protiklopných“ kolejí. Jde o speciální ocelové profily, které musí splňovat předepsané rozměry. Jedná se o náchylný subsystém z hlediska seřizování a velmi na něm závisí kvalita chodu eskalátoru.



Obrázek 5: Řez kolejovým systémem (vlevo), Detail řezu v oblasti držáku kolejí (vpravo)

3.5 MOTOR S PŘEVODOVKOU

Pro pohon eskalátoru se používá zpravidla asynchronní elektromotor, který je připojen k převodovce s hypoidním soukolím. Jsou kladeny požadavky zejména na vysokou účinnost, nízkou hlučnost a tepelné vyzařování. Výkony motorů jsou používány od 4,5 kW do 11 kW. Převod síly z převodovky na hlavní pohon bývá řetězový nebo pomocí další převodovky. U některých typů eskalátorů mohou být řazeny paralelně dva motory.



Obrázek 6: Motor EC 2-7 s převodovkou



3.6 BALUSTRÁDA A OKOPOVÉ PLECHY

Úkolem balustrády je zajistit bezpečnost pasažérů. Vyrábí se v provedení výšky 1000 mm a 930 mm. Základní typy jsou skleněná (glass) a nerezová (opaque). Skládají se z bariér, vnitřních krytů, vnějších krytů, vstupů madla a okopových plechů.

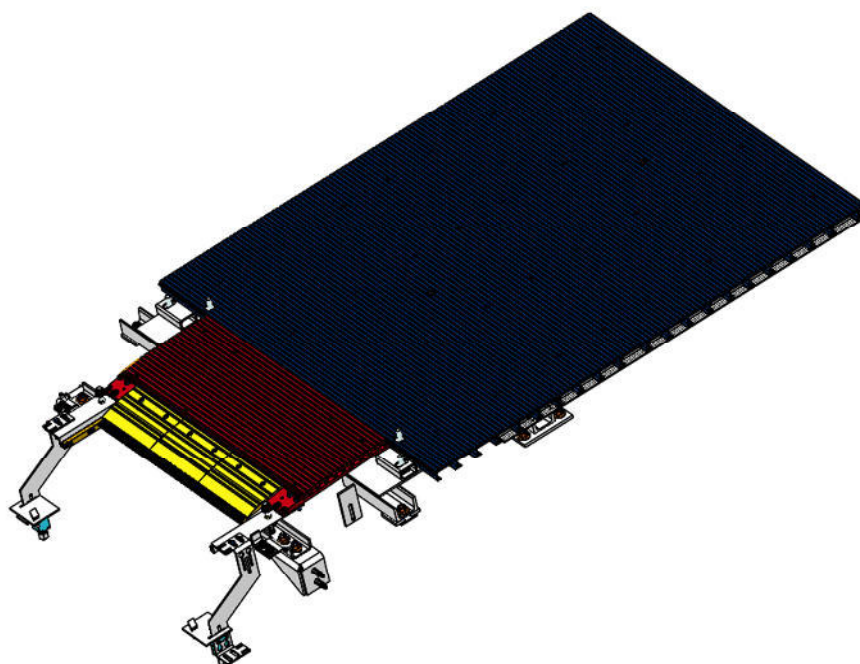


Obrázek 7: Balustráda

3.7 HŘEBENY, HŘEBENOVÁ A NÁSTUPNÍ DESKA

Tyto komponenty jsou umístěny ve stanicích eskalátoru a slouží jako nástupní plochy pro pasažéry. Jsou vyrobeny převážně z profilů hliníkových slitin. Tento subsystém může být opatřen bezpečnostními čidly pro nadzvednutí, nebo posun hřebene. Tento případ se může stát například při kolizi schodnice s hřebeny, nebo vniknutí cizího předmětu mezi schodnici a hřebeny.

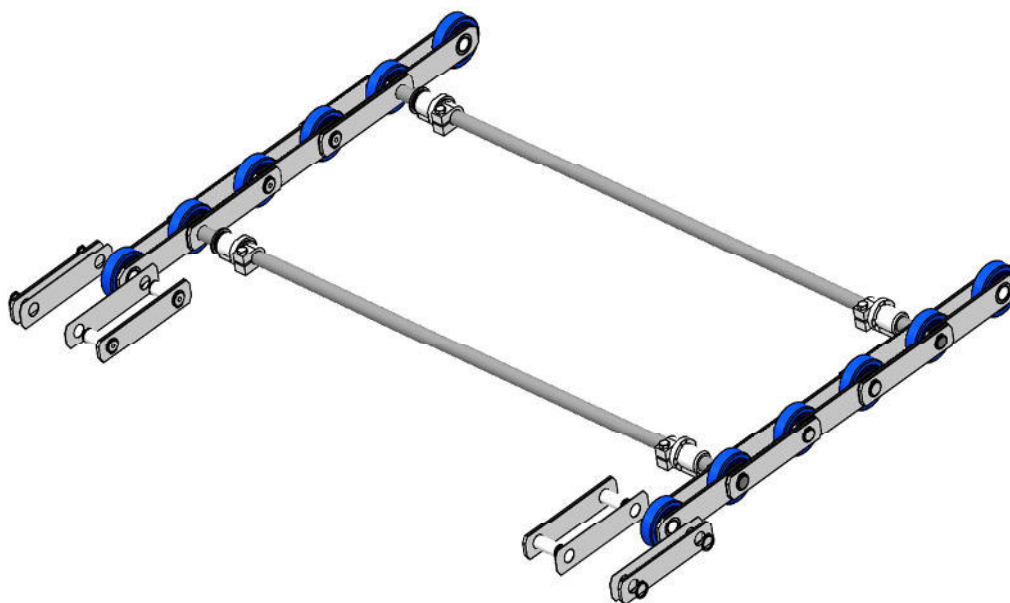
- Nástupní deska: Slouží jako nášlapná plocha. Je odnímatelná z důvodu přístupu servisních pracovníků.
- Hřebenová deska: Slouží rovněž jako nášlapná plocha, ale také k uchycení hřebenových segmentů
- Hřebenové segmenty: Slouží jako přechodná součást mezi pohyblivými (schodnice) a nepohyblivými (nástupní a hřebenová deska) součástmi. Dříve se používaly hřebeny jako jednolitý díl. Z důvodu potřeby výměny v případě vylomení zubu hřebenu se začaly používat pouze jako segmenty.



Obrázek 8: Kompletace hřebeni, hřebenové a nástupní desky

3.8 SCHODNICOVÝ ŘETĚZ

Slouží pro přenos sil z hlavního pohonu na schodnice. Řetěz se skládá z ocelových článků spojených čepy osazených ložisky a polyuretanovými kolečky s pryžovým běhounem. Eskalátor obsahuje dva řetězy. Spojení mezi nimi je provedeno hřídelemi, na které se zavěšují schodnice.

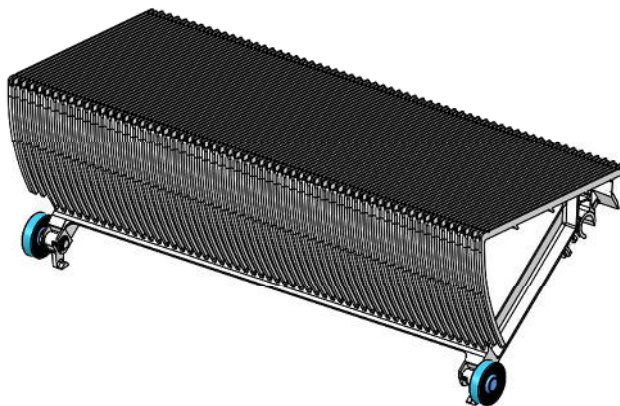


Obrázek 9: Část schodnicového řetězu



3.9 SCHODNICE

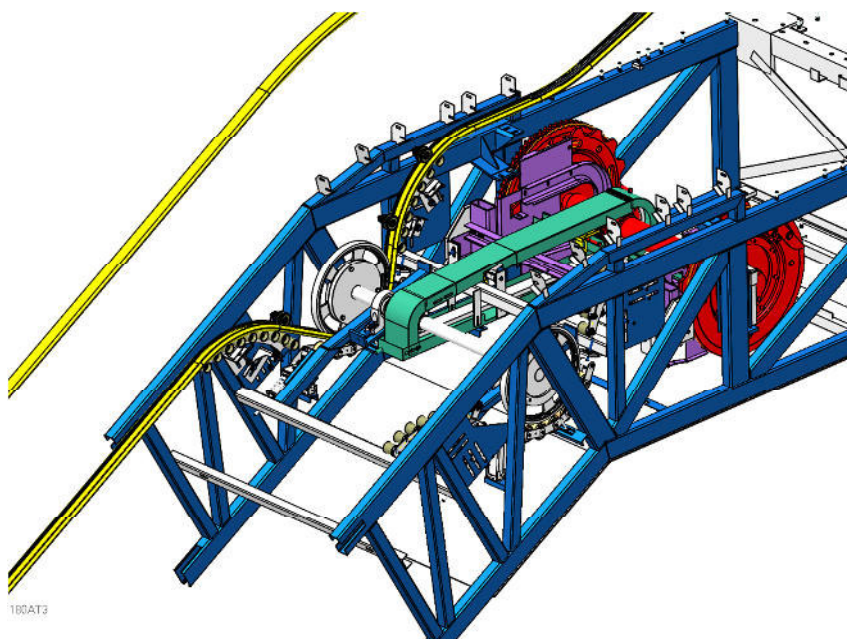
Schodnice jsou vyrobeny z odlitků z hliníkových slitin. Nasazují se na hřídele schodnicového řetězu a jsou opatřeny polyuretanovými kolečky s ložisky a pryžovým běhounem. Nášlapná plocha a čelo schodnice jsou profilovány. Pro větší bezpečnost je možno okraje nášlapné plochy opatřit žlutou barvou, nebo žlutými plastovými vložkami.



Obrázek 10: Schodnice

3.10 POHON MADLA

Firma Otis měla v minulosti ve své výrobě několik druhů pohonů madla. Pro modernizace byl vybrán pouze jeden (aktuálně nejvíce používaný) a to trakční pohon madla. Pomocí řetězu je odebírán krouticí moment z hlavního pohonu a přenášen na hřídel pohonu madla osazenou koly pohonu madla s polyuretanovými běhouny. Pro zvýšení trakce je madlo na kolo tlačeno sadou přítláčných válečků s vinutou pružinou. Tento systém je vybaven dalšími sadami válečků vymezujících dráhu madla.



Obrázek 11: Trakční pohon madla v sestavě s hlavním pohonem



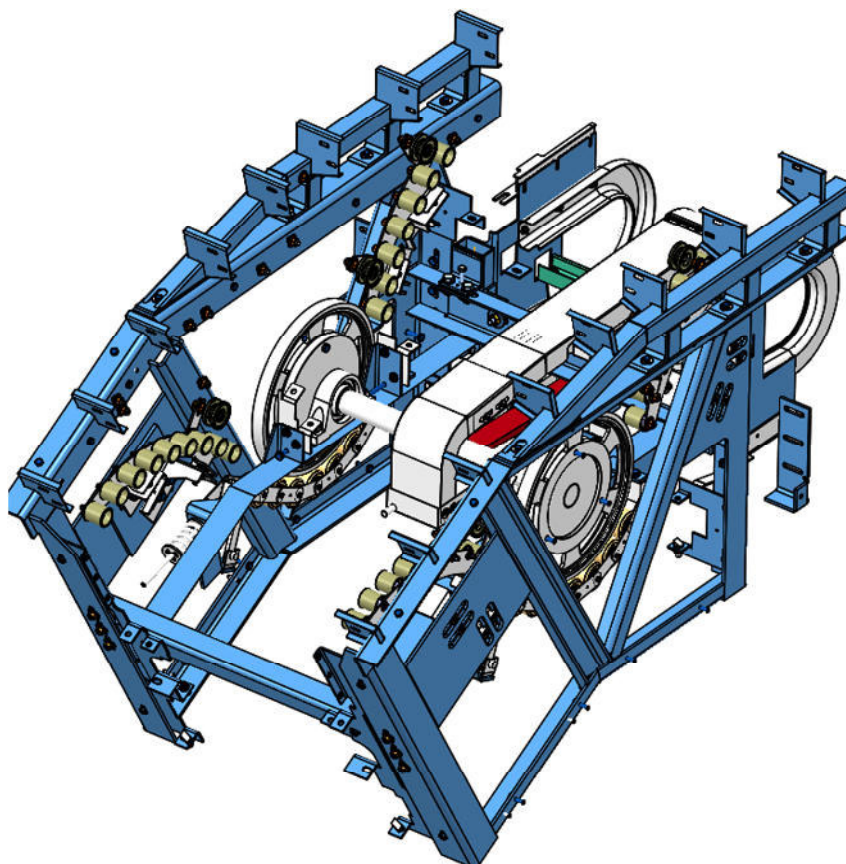
4 KONCEPCE MODERNIZACE

Nosná konstrukce typu 506 je širší a má konstruované připojovací rozměry všech subsystémů jinak, než u typu 506-NCE. Proto je potřeba některé díly rozšířit, nosnou konstrukci upravit a připojit k ní adaptéry (držáky), pokud nelze danou situaci řešit jiným způsobem. Vzhledem k lokalitám, kde jsou eskalátory vystaveny (podzemní stanoviště, nákupní centra atd.), není povoleno svařování. V horní stanici dochází k největším změnám kvůli sjednocení systému pohonu madla. Je zde navržena úprava nosné konstrukce vyřezáním některých dílů. To vede na pevnostní analýzu nosné konstrukce. Ta je provedena pomocí metody konečných prvků v softwaru NX I-deas. Kontrola je provedena dvakrát. Jednou pro zatíženou konstrukci bez úprav a podruhé s úpravami. Tyto dvě sady výsledků jsou navzájem vyhodnoceny.

4.1 PŘEHLED ZMĚN

- **HORNÍ STANICE**

V horní stanici dochází k největším úpravám konstrukce. Je potřeba do ní vložit adaptér, který slouží k uchycení pohonu madla, obrabeče a držáků kolejí. Dochází zde k vyřezání příčného nosníku v přechodu ze stanice do středního dílu. Důvodem takovéto rozsáhlé úpravy je zejména sjednocení typů pohonu madla. Tím se odstraní potíže vyvolané rozdílností konstrukcí z různých vývojových etap eskalátorů typu 506. Rovněž se zkrátí doba práce na montáži, na kterou se klade velký důraz.



Obrázek 12: Adaptační rám koncepce "In-truss"



- **STŘEDNÍ DÍL**

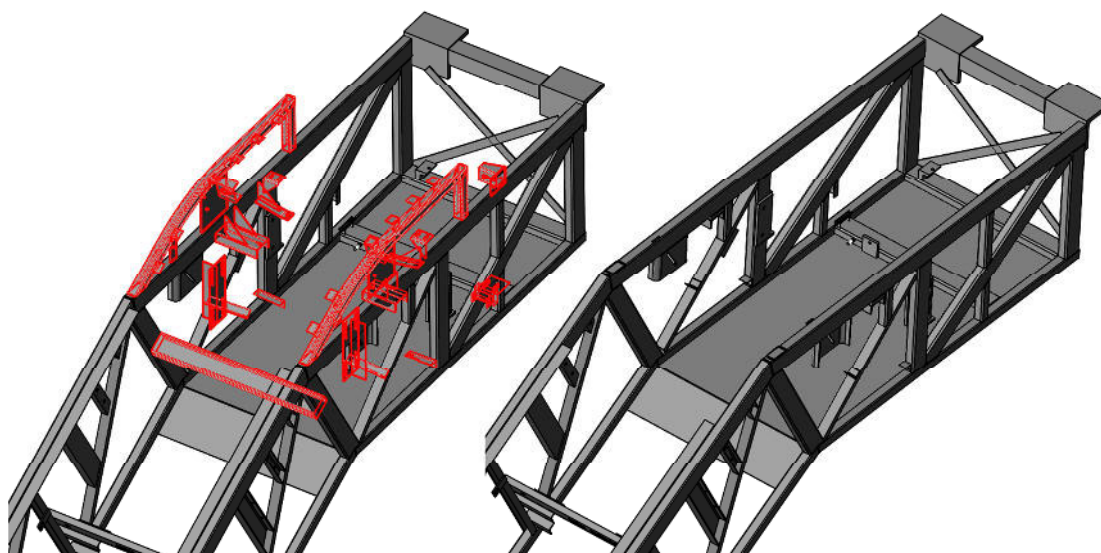
Ve střední sekci dochází pouze k úpravám držáků kolejí kolejového systému a držákům balustrád. Využívá se zde konstrukce v původním stavu.

- **SPODNÍ STANICE**

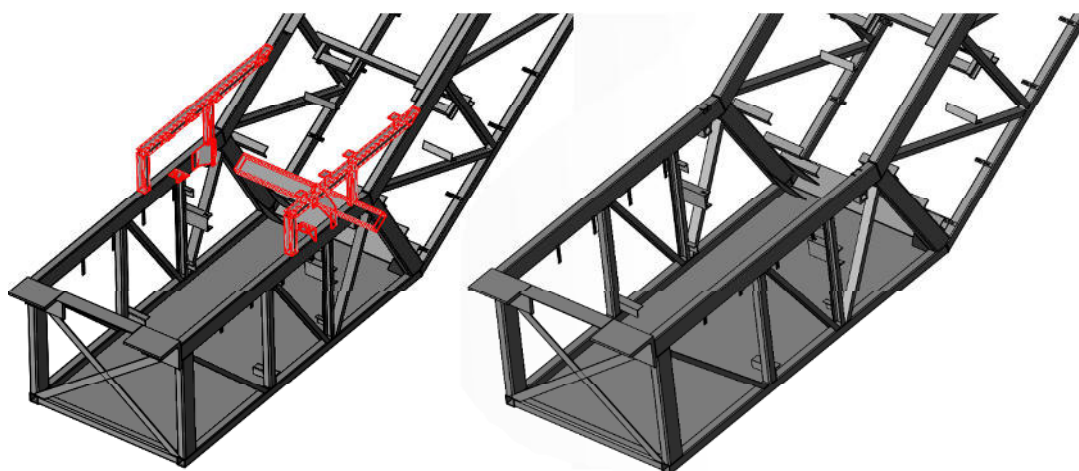
Ve spodní stanici je vyřezán příčný nosník v přechodu ze spodní stanice do středního dílu. Důvodem této úpravy je kolize konstrukce s kolejovým systémem. Dále je uchycena balustráda a standardní napínací vozík pomocí adaptérů.

4.2 ŘEZACÍ PLÁN

Tato podkapitola obsahuje zejména zobrazení materiálu, který je vyřezán z nosné konstrukce. Jde zejména o dva příčné nosníky, jak je popsáno v podkapitole 4.1. Rovněž dojde k vyřezání některých držáků komponentů.



Obrázek 13: Úpravy v horní stanici (červeně označeny díly k odstranění z konstrukce)



Obrázek 14: Úpravy ve spodní stanici (červeně označeny díly k odstranění z konstrukce)



5 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

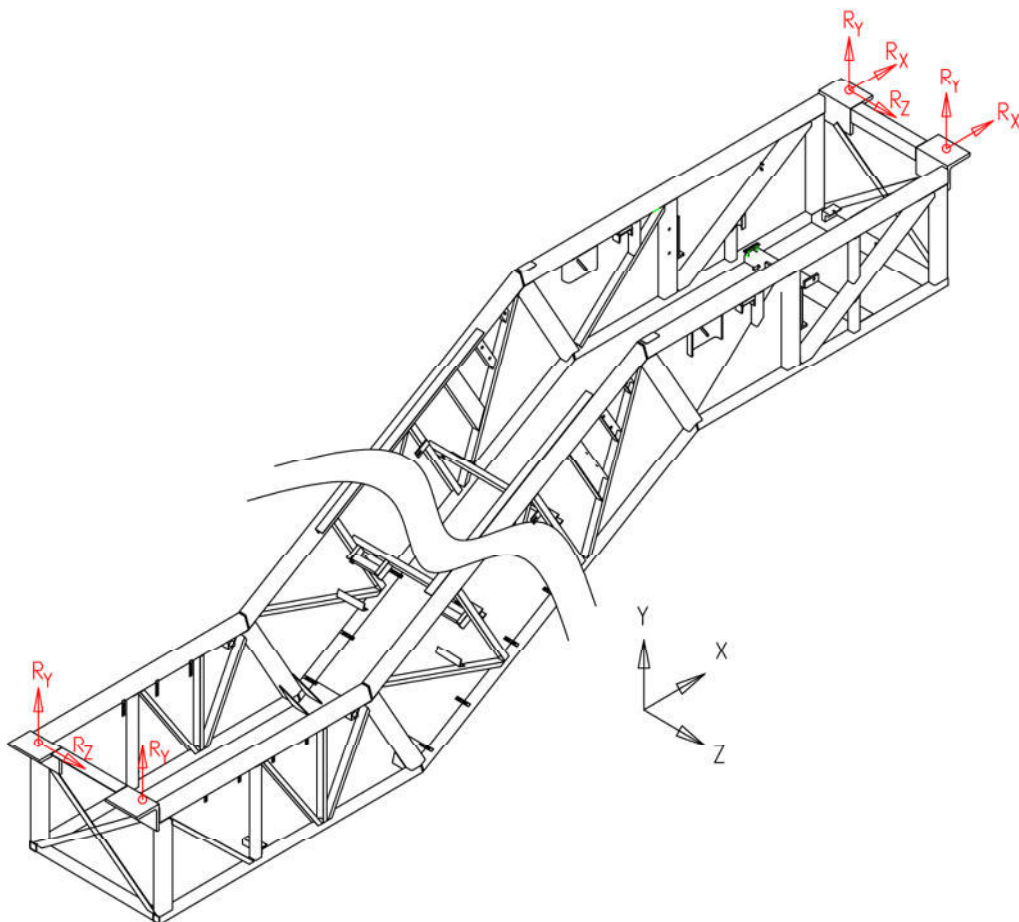
Následující podkapitoly jsou věnovány pevnostní analýze. Kontrola spočívá v provedení dvou výpočtů. Před a po modifikaci nosné konstrukce. Výsledky jsou navzájem porovnány a vyhodnoceny. Stav po úpravách konstrukce nesmí vykazovat přílišné výkyvy v hodnotách napětí a deformace, oproti stavu před úpravami. Rovněž musí být prokázáno, že se úpravami nepřenáší napětí do míst, kde nebylo při navrhování původní konstrukce uvažováno.

5.1 VÝPOČTOVÝ MODEL

Pro výpočet je zvolen program NX I-deas. Výpočtový model je skořepinový a je rozdělen do skupin (grup) podle tloušťky materiálu jednotlivých součástí. Samotný model je proveden vytažením hlavního tvaru eskalátoru a profily jsou do něj modelovány pomocí funkce partition. Model je opatřen volnou sítí velikosti elementů 24. Veškeré zatěžující osamělé síly jsou na plochy roznášeny pomocí prvku constraint.

5.2 UCHYCENÍ VÝPOČTOVÉHO MODELU ESKALÁTORU

Základním zjednodušujícím předpokladem pro výpočet je uchycení nosné konstrukce do konstrukce budovy. Na obrázku 15 je znázorněno, v jakých směrech jsou odebrány stupně volnosti ve vazbách.



Obrázek 15: Schéma nahrazení vazeb nosné konstrukce



5.3 ZÁTĚŽNÉ STAVY

Z předchozích kapitol vyplývá tvorba dvou druhů zátěžných stavů. První jsou vytvořeny pomocí standardních výpočtů firmy Otis pro modelovou řadu 506-NCE. Druhé jsou vytvořeny pomocí firemního dokumentu statického výpočtu eskalátoru typu 506 z roku 1979. Zde je popsáno předpokládané zatížení vyvolané komponenty, které se v té době používaly. Tento dokument má jinou strukturu oproti nynějším výpočtům a obsahuje méně stavů. Nicméně z něj lze použít potřebné informace a implementovat je do aktuální struktury výpočtů.

5.3.1 ZATÍŽENÍ VLASTNÍ HMOTNOSTÍ KONSTRUKCE (LC1)

Toto zatížení je provedeno pomocí výpočtového programu NX I-deas. Program si na základě vymodelované konstrukce, přiřazeným tloušťkám materiálu a stanoveným vektorem gravitačního zrychlení toto zatížení vytvoří. Tyto zatěžovací stavy jsou pojmenovány LC1_506 pro kompletní konstrukci a LC1_NCE pro konstrukci po vyřezání dílů dle kapitoly 4.2 „Řezací plán“.

5.3.2 ZATÍŽENÍ VYVOLANÉ HMOTNOSTÍ BALUSTRÁDY A POHYBUJÍCÍCH SE ČÁSTÍ (LC2)

Tato podkapitola se zabývá výpočty hmotností staticky uložených součástí. Pro výpočet zatížení komponenty 506-NCE vychází zejména z hustoty materiálu a objemů modelů z programu Creo parametric. Pro modelovou řadu 506 jsou údaje převzaty z výše zmíněného statického návrhu konstrukce [3]. Působíště zatížení pro LC2_506 a LC2_NCE je zobrazeno v příloze P2.

Údaje pro zátěžný stav odpovídající 506-NCE:

Je potřeba si zavést některé důležité pojmy pro další výpočty. Mezi ně patří uvažovaná hustota oceli, hliníkové slitiny a bezpečnostního skla pro výpočty:

$$\rho_{OC} = 7850 \text{ kg/m}^3 - \text{hustota oceli}$$

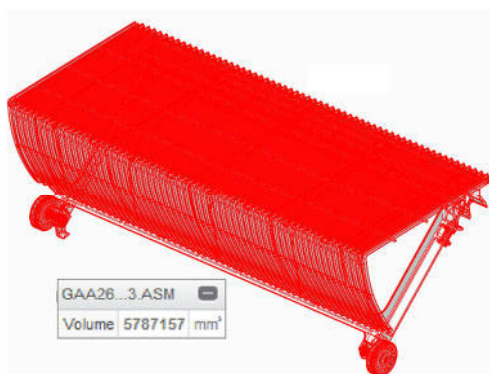
$$\rho_{HS} = 2700 \text{ kg/m}^3 - \text{hustota hliníkové slitiny}$$

$$\rho_{BS} = 2500 \text{ kg/m}^3 - \text{hustota bezpečnostního skla}$$



- Schodnice a schodnicový řetěz

Hmotnost schodnice (měřeno na schodnici šířky 1m → násobeno 0,6x):



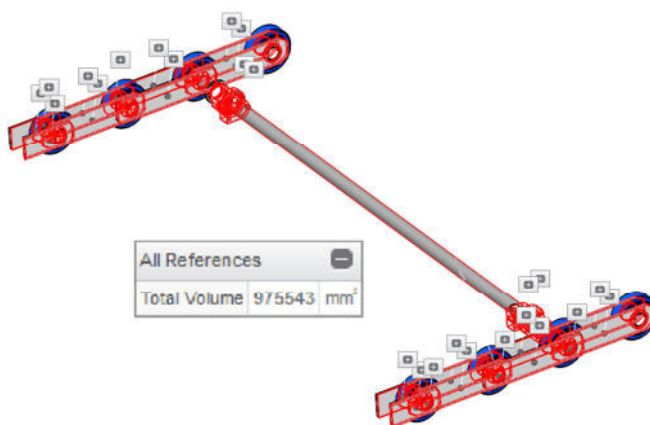
Obrázek 16: Měření objemu modelu schodnice

$$m_{SCH_{NCE}} = \rho_{HS} \cdot V_{SCH_{NCE}} \cdot 0,6 \quad (1)$$

$$m_{SCH_{NCE}} = 2700 \cdot 5,79 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6$$

$$m_{SCH_{NCE}} = 9,38 \text{ kg}$$

Hmotnost řetězu (měřeno na úseku o délce 0,5m → násobeno 2x):



Obrázek 17: Měření objemu modelu schodnicového řetězu (úsek 0,5 m)

$$m_{RET_{NCE}} = \rho_{OC} \cdot 2 \cdot V_{RET_{NCE}} \quad (2)$$

$$m_{RET_{NCE}} = 7850 \cdot 2 \cdot 0,98 \cdot 10^{-3}$$

$$m_{RET_{NCE}} = 15,39 \text{ kg}$$



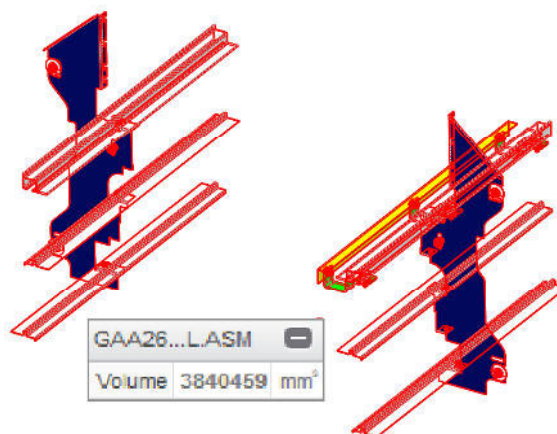
Zatížení vyvolané hmotností schodnice a řetězu na délce 1m v hlavní i vratné větvi eskalátoru (schodnice násobeny 2,5x – toto množství schodnic se vejde na 1m délky):

$$q_{SR_{NCE}} = 2 \cdot (m_{SCH_{NCE}} \cdot 2,5 + m_{RET_{NCE}}) \cdot g \quad (3)$$

$$q_{SR_{NCE}} = 2 \cdot (9,38 \cdot 2,5 + 15,39) \cdot 9,81$$

$$q_{SR_{NCE}} = 0,76 \text{ kN/m}$$

- Koleje



Obrázek 18: Měření objemu modelu kolejového systému (úsek 1 m)

Hmotnost kolejového systému (měřeno na sestavě o délce 1m):

$$m_{KOL_{NCE}} = \rho_{OC} \cdot V_{KOL_{NCE}} \quad (4)$$

$$m_{KOL_{NCE}} = 7850 \cdot 3,84 \cdot 10^{-3}$$

$$m_{KOL_{NCE}} = 30,14 \text{ kg}$$

Zatížení vyvolané hmotností kolejového systému na délce 1m:

$$q_{KOL_{NCE}} = m_{KOL_{NCE}} \cdot g \quad (5)$$

$$q_{KOL_{NCE}} = 30,14 \cdot 9,81$$

$$q_{KOL_{NCE}} = 0,30 \text{ kN/m}$$



- Balustráda

Balustráda se skládá ze tří hlavních součástí. Jsou to skleněné tabule, hliníkové krytí balustrády a okopové plechy.

Objem dvou skleněných tabulí o tloušťce 0,01m, délce 1m a výšce 0,75m:

$$V_{SKLO} = 2 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot 0,75 = 15 \cdot 10^{-3} m^3 \quad (6)$$

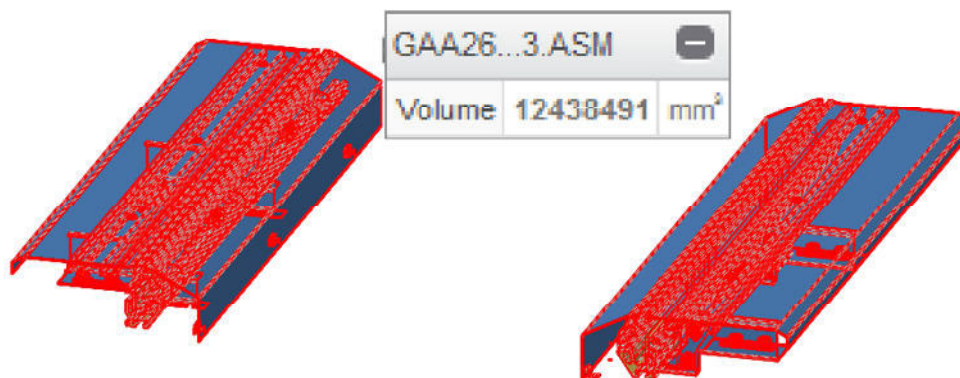
Hmotnost skleněných tabulí na délce 1m:

$$m_{SKLO_{NCE}} = \rho_{BS} \cdot V_{SKLO} \quad (7)$$

$$m_{SKLO_{NCE}} = 2500 \cdot 15 \cdot 10^{-3}$$

$$m_{SKLO_{NCE}} = 37,50 \text{ kg}$$

Hmotnost hliníkového krytí balustrády na délce 1m:



Obrázek 19: Měření objemu modelu hliníkového krytí balustrády (úsek 1 m)

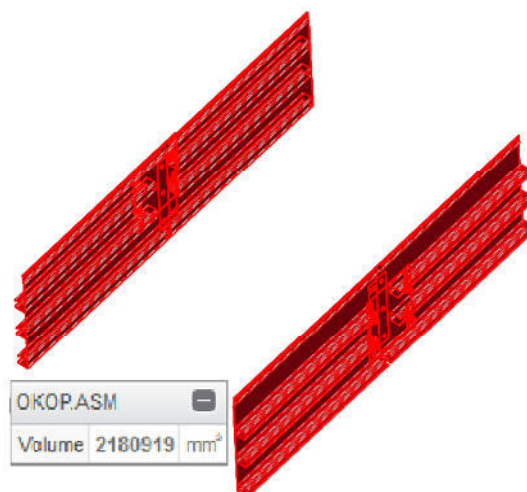
$$m_{KKR_{NCE}} = \rho_{HS} \cdot V_{KKR_{NCE}} \quad (8)$$

$$m_{KKR_{NCE}} = 2500 \cdot 12,44 \cdot 10^{-3}$$

$$m_{KKR_{NCE}} = 31,10 \text{ kg}$$



Hmotnost okopových plechů na délce 1m:



Obrázek 20: Měření objemu modelu okopových plechů (úsek 1 m)

$$m_{OKOP_{NCE}} = \rho_{OC} \cdot V_{OKOP_{NCE}} \quad (9)$$

$$m_{OKOP_{NCE}} = 7850 \cdot 2,18 \cdot 10^{-3}$$

$$m_{OKOP_{NCE}} = 17,11 \text{ kg}$$

Součet zatížení vyvolané hmotností balustrády na délce 1m:

$$q_{BA_{NCE}} = (m_{KKR_{NCE}} + m_{SKLO_{NCE}} + m_{OKOP_{NCE}}) \cdot g \quad (10)$$

$$q_{BA_{NCE}} = (31,10 + 37,50 + 17,11) \cdot 9,81$$

$$q_{BA_{NCE}} = 0,84 \text{ kN/m}$$

Údaje pro zátěžný stav odpovídající 506:

Zátěž komponentem	Značení	Hodnota [kp/m]	Převedeno [kN/m]	Získáno z
Shody a schod. řetěz	q_{SR506}	113	1,1	[3, str. 14]
Koleje	q_{KOL506}	38	0,38	[3, str. 14]
Balustráda (sklo)	q_{BA506}	63	0,62	[3, str. 16]

Tabulka 1: Výčet zatížení od vlastní hmotnosti pohyblivých částí a balustrády řady Otis 506



5.3.3 ZATÍŽENÍ VYVOLANÉ PASAŽÉRY (LC3)

Norma EN 115 udává jmenovité zatížení pohyblivých schodů 5 kN/m^2 [4, str. 19, kap. 5.2.5]. Toto zatížení musí být rozloženo po celé délce eskalátoru. Pro schodnice o šířce 600 mm :

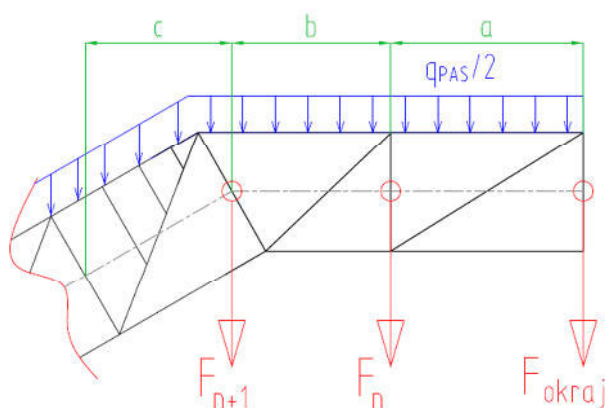
$$q_{PAS} = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ kN/m} \quad (11)$$

Z toho vyplývá pro každou bočnici eskalátoru:

$$q_{PAS/2} = \frac{q_{PAS}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ kN/m} \quad (12)$$

Toto zatížení je přepočítáno jako zatížení jednotlivých sil v oblasti spoje stojin nosné konstrukce a příčných U-profilů. Takto vypočtené zatížení jsou vloženy do tabulky 2 a vyobrazeny v příloze P3. Toto zatížení je stejné pro LC3_506 a LC3_NCE.

Obecně:



Obrázek 21: Rozložení sil vyvolaných hmotností pasažérů obecně

$$F_n = \frac{a + b}{2} \cdot q_{PAS/2} \quad (13)$$

$$F_{n+1} = \frac{b + c}{2} \cdot q_{PAS/2} \quad (14)$$

$$F_{okraj} = \frac{a}{2} \cdot q_{PAS/2} \quad (15)$$



Síla	Vzdálenost uzlu zprava [mm]	Vzdálenost uzlu zleva [mm]	Výsledná hodnota [kN]
Fp1	0	1319	0,86
Fp2	1319	1084	1,56
Fp3	1084	1004	1,36
Fp4	1004	996	1,30
Fp5	996	586	1,03
Fp6	586	586	0,76
Fp7	586	822	0,92
Fp8	822	820	1,07
Fp9	820	996	1,18
Fp10	996	996	1,29
Fp11	996	996	1,29
Fp12	996	769	1,15
Fp13	769	632	0,91
Fp14	632	590	0,79
Fp15	590	831	0,92
Fp16	831	0	0,54

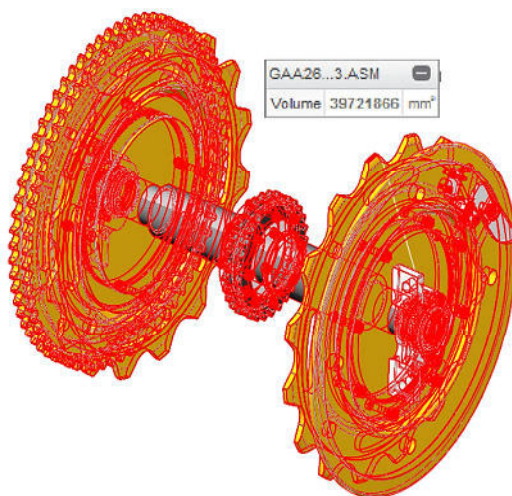
Tabulka 2: Výsledné hodnoty sil vyvolaných hmotností pasažérů působící na bočnici eskalátoru

5.3.4 ZATÍŽENÍ JEDNOTLIVÝCH STATICKÝCH SOUČÁSTÍ (LC4)

Jedná se o zatížení vyvolaná součástmi, které nepůsobí po celé délce eskalátoru. Kapitola je rozdělena rovněž do dvou částí. Obsahuje tedy zatížení komponenty 506-NCE vypočtené z objemových modelů a ze statického výpočtu eskalátoru 506 stejně jako v kapitole 5.3.2. Působíště zatížení LC4_506 a LC4_NCE je zobrazeno v příloze P4.

Údaje pro zátěžný stav odpovídající 506-NCE:

- Hlavní pohon



Obrázek 22: Měření objemu modelu hlavního pohonu



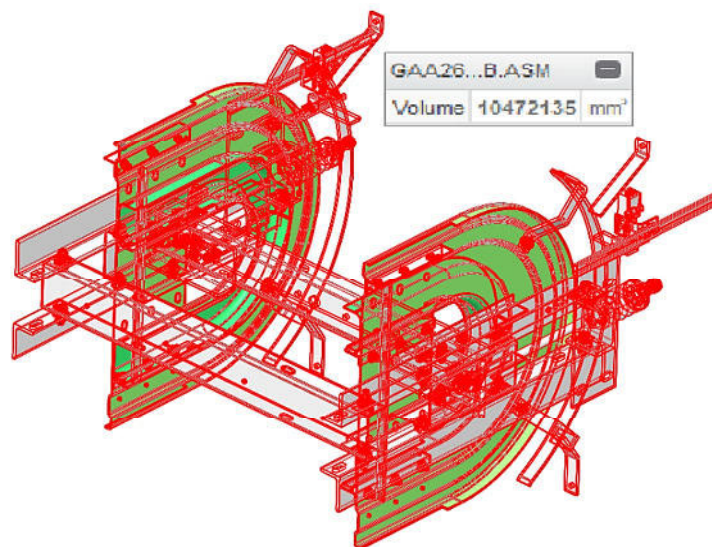
$$V_{HP_{NCE}} = 39,72 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$F_{HP_{NCE}} = \rho_{OC} \cdot V_{HP_{NCE}} \cdot g \quad (16)$$

$$F_{HP_{NCE}} = 7850 \cdot 39,72 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81$$

$$F_{HP_{NCE}} = 3,06 \text{ kN}$$

- Napínací vozík



Obrázek 23: Měření objemu modelu napínacího vozíku

$$V_{NV_{NCE}} = 10,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

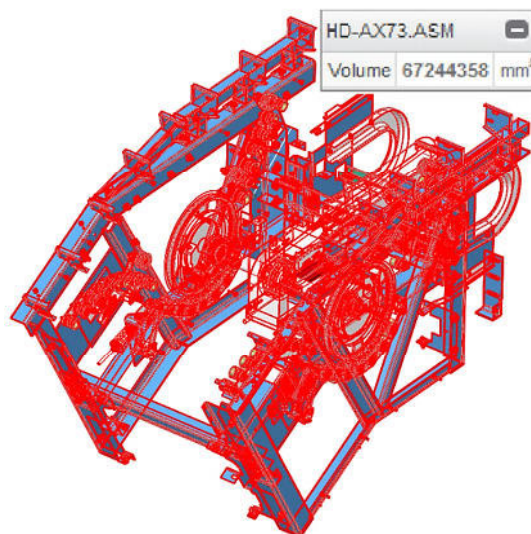
$$F_{NV_{NCE}} = \rho_{OC} \cdot V_{NV_{NCE}} \cdot g \quad (17)$$

$$F_{NV_{NCE}} = 7850 \cdot 10,47 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81$$

$$F_{NV_{NCE}} = 0,81 \text{ kN}$$



- Adaptační rám s pohonem madla



Obrázek 24: Měření objemu modelu adaptačního rámu

$$V_{AR_{NCE}} = 67,24 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$F_{AR_{NCE}} = \rho_{OC} \cdot V_{AR_{NCE}} \cdot g \quad (18)$$

$$F_{AR_{NCE}} = 7850 \cdot 67,24 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81$$

$$F_{AR_{NCE}} = 5,18 \text{ kN}$$

- Motor s převodovkou

$$m_{MOT_{NCE}} = 259 \text{ kg} \text{ [6, appendix B, tab. Dutchi-Motor]}$$

$$F_{MOT_{NCE}} = m_{MOT_{NCE}} \cdot g \quad (19)$$

$$F_{MOT_{NCE}} = 259 \cdot 9,81$$

$$F_{MOT_{NCE}} = 2,54 \text{ kN}$$

Údaje pro zátěžný stav odpovídající 506:

Zátěž komponentem	Značení	Hodnota [kp]	Převedeno [kN]	Získáno z
Hlavní pohon	$F_{HP_{506}}$	400	3,9	[3, str. 15]
Napínací vozík	$F_{NV_{506}}$	200	1,96	[3, str. 15]
Motor	$F_{MOT_{506}}$	500	4,9	[3, str. 15]

Tabulka 3: Výčet zatížení od jednotlivých součástí komponentů řady Otis 506



5.3.5 ZATÍŽENÍ VYVOLANÁ DYNAMICKÝMI ÚČINKY (LC5)

Tato podkapitola se zabývá vyjádřením předpokládaných sil, které působí na konstrukci při chodu eskalátoru. Jde v podstatě o náhradu dynamických sil silami statickými. Kapitola je členěna do dvou částí. V první části je proveden výpočet pro hodnoty zatížení působící na koleje v přechodech ze stanic do středního dílu a hodnoty sil v místě uchycení motoru do konstrukce modelu 506-NCE. Druhá část obsahuje metodicky stejné výpočty s hodnotami určenými pro model 506. Průvodní ilustrací pro tuto výpočty zatížení lze nalézt v příloze P1. Zobrazení zatížení modelu se nachází v přílohách P5/1 a P5/2.

- Pro výpočet těchto napětí je třeba zavést následující pojmy (uvedené pojmy mají stejné hodnoty jak pro 506, tak pro 506-NCE):

$z = 4,95 \text{ m}$ – zdvih eskalátoru

$\alpha = 30^\circ$ – sklon eskalátoru

ZATÍŽENÍ OD KOMPONENTŮ 506-NCE

$r_{MOT} = 0,086 \text{ m}$ – poloměr roztečné kružnice řetězového kola převodovky

Předpětí napínacího vozíku je tvořeno pomocí dvou tlačných pružin z pružinové oceli DIN 2098:

Délka v nezátíženém stavu 110 mm

Délka na kterou se pružiny seřizují 100 mm

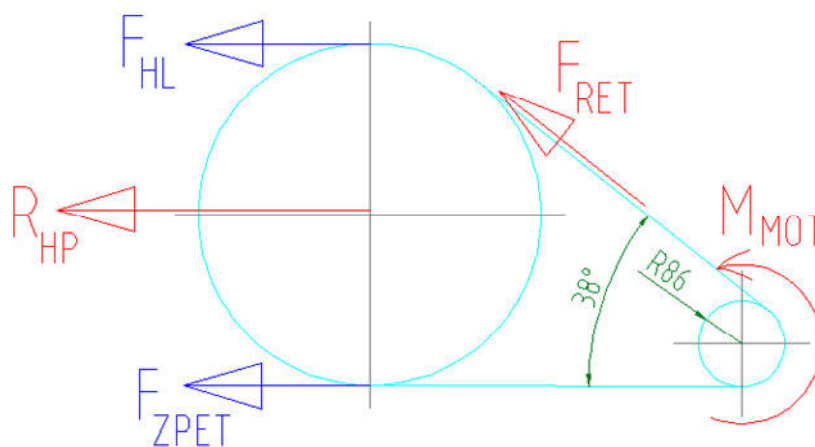
Vnější průměr pružiny 60 mm

Průměr drátu 10 mm

Tuhost pružiny 148,4 N/mm [7]

$$F_{PRENCE} = 2 \cdot (110 - 100) \cdot 148,4$$

$$F_{PRENCE} \cong 3 \text{ kN} \text{ – součet sil předpětí pružin napínacího vozíku}$$



Obrázek 25: Síly působící na hlavní pohon (výběr z přílohy P1)



- Síla na hlavní větvi schodnicového řetězu:

$$F_{HLNCE} = \left(q_{PAS} + \frac{q_{SRNCE}}{2} \right) \cdot \cos 30^\circ \cdot z + \frac{F_{PRENCE}}{2} \quad (20)$$

$$F_{HLNCE} = \left(3 + \frac{0,76}{2} \right) \cdot \cos 30^\circ \cdot 4,95 + \frac{3}{2}$$

$$F_{HLNCE} = 15,99 \text{ kN}$$

- Síla na vratné větvi schodnicového řetězu:

$$F_{ZPETNCE} = \frac{q_{SRNCE}}{2} \cdot \cos 30^\circ \cdot z + \frac{F_{PRENCE}}{2} \quad (21)$$

$$F_{ZPETNCE} = \frac{0,76}{2} \cdot \cos 30^\circ \cdot 4,95 + \frac{3}{2}$$

$$F_{ZPETNCE} = 3,13 \text{ kN}$$

- Síla v místě ukotvení hlavního pohonu k nosné konstrukci:

$$R_{HPNCE} = F_{HLNCE} + F_{ZPETNCE} \quad (22)$$

$$R_{HPNCE} = 15,99 + 3,13$$

$$R_{HPNCE} = 19,12 \text{ kN}$$

- Síla působící na řetěz mezi motorem a hlavním pohonem:

$$F_{RETNCE} = F_{HLNCE} - F_{ZPETNCE} \quad (23)$$

$$F_{RETNCE} = 15,99 - 3,13$$

$$F_{RETNCE} = 12,86 \text{ kN}$$



- Moment působící na řetězové kolo motoru:

$$M_{MOT_{NCE}} = F_{RET_{NCE}} \cdot r_{MOT} \quad (24)$$

$$M_{MOT_{NCE}} = 12,86 \cdot 0,086$$

$$M_{MOT_{NCE}} = 1,11 \text{ kNm}$$

- Vertikální působení síly $F_{RET_{NCE}}$:

$$F_{VERT_{NCE}} = F_{RET_{NCE}} \cdot \sin 38^\circ \quad (25)$$

$$F_{VERT_{NCE}} = 12,86 \cdot \sin 38^\circ$$

$$F_{VERT_{NCE}} = 7,92 \text{ kN}$$

- Horizontální působení síly $F_{RET_{NCE}}$:

$$F_{HOR_{NCE}} = F_{RET_{NCE}} \cdot \cos 38^\circ \quad (26)$$

$$F_{HOR_{NCE}} = 12,86 \cdot \cos 38^\circ$$

$$F_{HOR_{NCE}} = 10,13 \text{ kN}$$

Síly na bočnice v přechodech ze stanic do středního dílu

V příloze P5/1 jsou obecně zobrazeny působišťe sil na bočnice konstrukce společně se silami, které jsou příčinou tohoto zatížení.

- Síla působící v místech přechodu z horní stanice do středního dílu:

$$F_{ZAT1_{NCE}} = R_{HP_{NCE}} \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ} \quad (27)$$

$$F_{ZAT1_{NCE}} = 19,12 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ}$$

$$F_{ZAT1_{NCE}} = 9,90 \text{ kN}$$



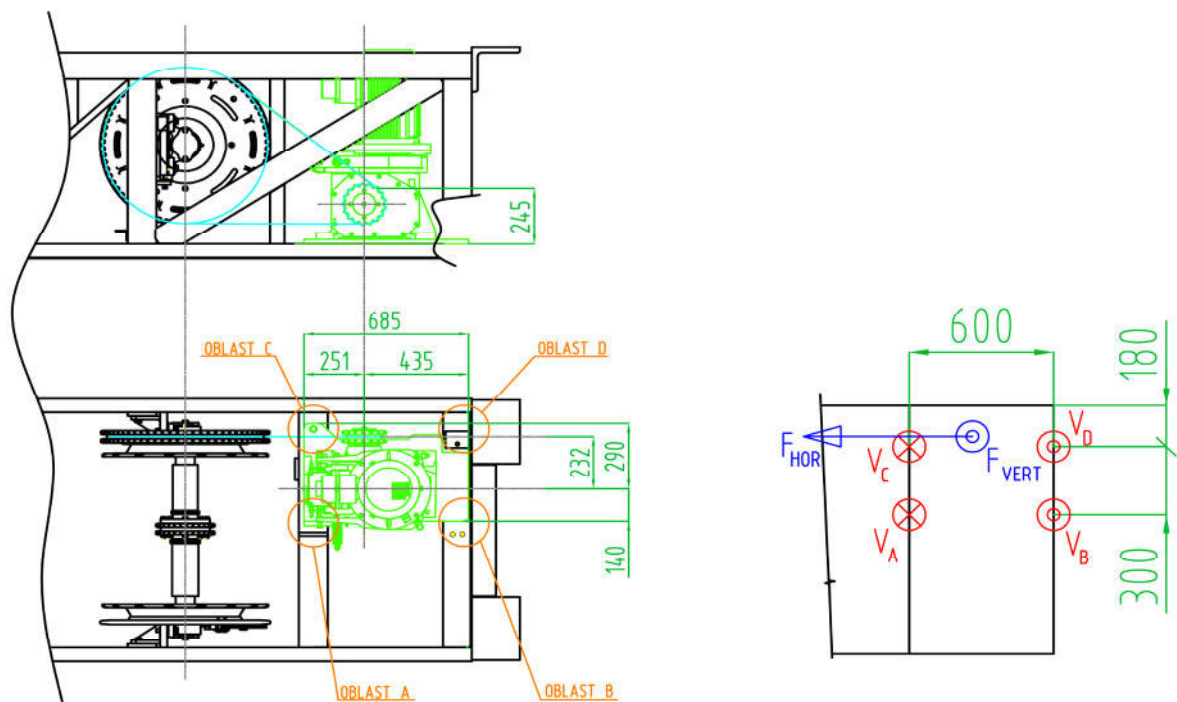
- Síla působící v místech přechodu ze spodní stanice do středního dílu:

$$F_{ZAT2NCE} = F_{PRENCE} \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ} \quad (28)$$

$$F_{ZAT2NCE} = 3 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ}$$

$$F_{ZAT2NCE} = 1,55 \text{ kN}$$

Síly působící ve vertikálním směru v oblasti uchycení motoru



Obrázek 26: Schéma pro výpočet vertikálních sil působících v místech uchycení motoru

- Síly působící v místě uchycení motoru od vertikální složky:

$$V_{A1,NCE} = V_{B1,NCE} = V_{C1,NCE} = V_{D1,NCE} = \frac{F_{VERTNCE}}{4} \quad (29)$$

$$V_{A1,NCE} = V_{B1,NCE} = V_{C1,NCE} = V_{D1,NCE} = \frac{7,92}{4}$$

$$V_{A1,NCE} = V_{B1,NCE} = V_{C1,NCE} = V_{D1,NCE} = 1,98 \text{ kN}$$



$$V_{A2,NCE} = V_{B2,NCE} = -\frac{F_{VERTNCE} \cdot 0,232}{0,140} \cdot \frac{1}{2} \quad (30)$$

$$V_{A2,NCE} = V_{B2,NCE} = -\frac{7,92 \cdot 0,232}{0,140} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{A2,NCE} = V_{B2,NCE} = -6,56 \text{ kN}$$

$$V_{C2,NCE} = V_{D2,NCE} = \frac{F_{VERTNCE} \cdot 0,232}{0,290} \cdot \frac{1}{2} \quad (31)$$

$$V_{C2,NCE} = V_{D2,NCE} = \frac{7,92 \cdot 0,232}{0,290} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{C2,NCE} = V_{D2,NCE} = 3,17 \text{ kN}$$

- Síly působící v místě uchycení motoru od horizontální složky:

$$V_{A3,NCE} = V_{C3,NCE} = -\frac{F_{HORNCE} \cdot 0,245}{0,251} \cdot \frac{1}{2} \quad (32)$$

$$V_{A3,NCE} = V_{C3,NCE} = -\frac{10,13 \cdot 0,245}{0,251} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{A3,NCE} = V_{C3,NCE} = -4,94 \text{ kN}$$

$$V_{B3,NCE} = V_{D3,NCE} = \frac{F_{HORNCE} \cdot 0,245}{0,435} \cdot \frac{1}{2} \quad (33)$$

$$V_{B3,NCE} = V_{D3,NCE} = \frac{10,13 \cdot 0,245}{0,435} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{B3,NCE} = V_{D3,NCE} = 2,85 \text{ kN}$$



- Síly působící v místě uchycení motoru vyvolané momentem na řetězovém kole motoru:

$$V_{A4,NCE} = V_{C4,NCE} = -\frac{M_{MOT,NCE}}{0,251} \quad (34)$$

$$V_{A4,NCE} = V_{C4,NCE} = -\frac{1,11}{0,251} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{A4,NCE} = V_{C4,NCE} = -2,21 \text{ kN}$$

$$V_{B4,NCE} = V_{D4,NCE} = \frac{M_{MOT,NCE}}{0,435} \cdot \frac{1}{2} \quad (35)$$

$$V_{B4,NCE} = V_{D4,NCE} = \frac{1,11}{0,435} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{B4,NCE} = V_{D4,NCE} = 1,28 \text{ kN}$$

- Součet vertikálních sil:

$$V_{ASUM,NCE} = V_{A1,NCE} + V_{A2,NCE} + V_{A3,NCE} + V_{A4,NCE} \quad (36)$$

$$V_{ASUM,NCE} = 1,98 - 6,56 - 4,94 - 2,21$$

$$V_{ASUM,NCE} = -11,73 \text{ kN}$$

$$V_{BSUM,NCE} = V_{B1,NCE} + V_{B2,NCE} + V_{B3,NCE} + V_{B4,NCE} \quad (37)$$

$$V_{BSUM,NCE} = 1,98 - 6,56 + 2,85 + 1,28$$

$$V_{BSUM,NCE} = -0,45 \text{ kN}$$

$$V_{CSUM,NCE} = V_{C1,NCE} + V_{C2,NCE} + V_{C3,NCE} + V_{C4,NCE} \quad (38)$$

$$V_{CSUM,NCE} = 1,98 + 3,17 - 4,94 - 2,21$$

$$V_{CSUM,NCE} = -2,00 \text{ kN}$$

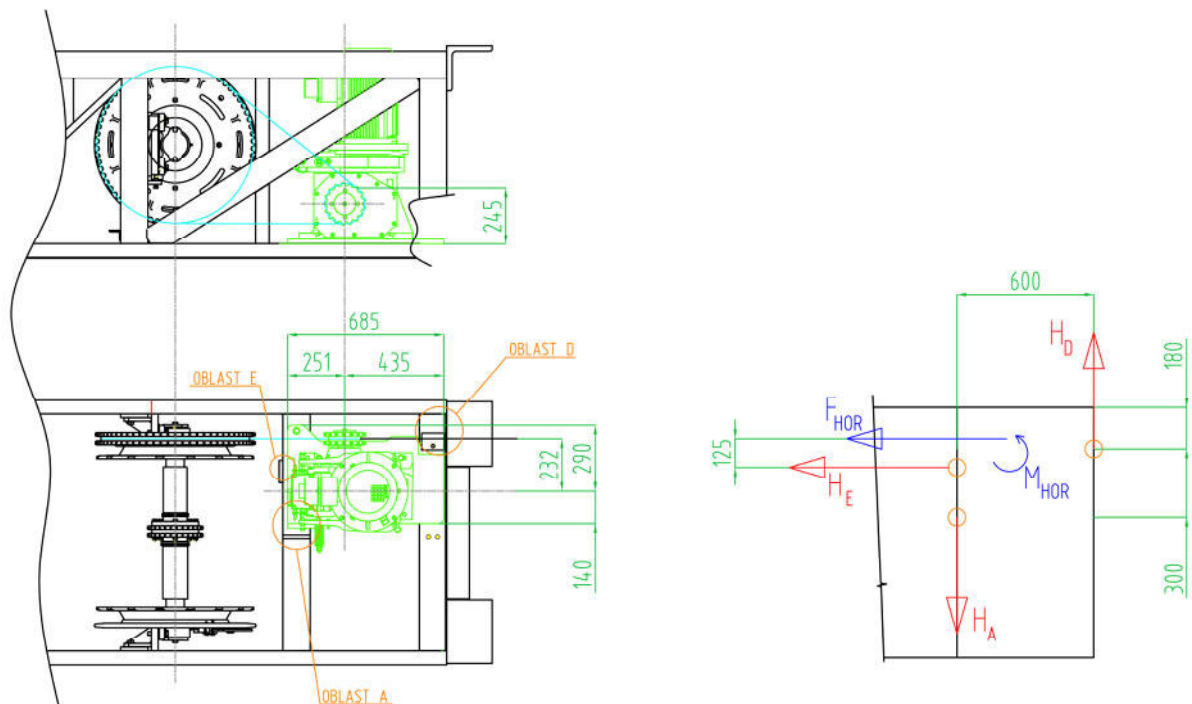


$$V_{D\SUM,NCE} = V_{D1,NCE} + V_{D2,NCE} + V_{D3,NCE} + V_{D4,NCE} \quad (39)$$

$$V_{D\SUM,NCE} = 1,98 + 3,17 + 2,85 + 1,28$$

$$V_{D\SUM,NCE} = 9,28 \text{ kN}$$

Síly působící v horizontálním směru v oblasti uchycení motoru



Obrázek 27: Schéma pro výpočet horizontálních sil působících v místech uchycení motoru

- Moment vyvolaný horizontální složkou síly $F_{RET,NCE}$

$$M_{HOR,NCE} = F_{HOR,NCE} \cdot 0,125 \quad (40)$$

$$M_{HOR,NCE} = 10,13 \cdot 0,125$$

$$M_{HOR,NCE} = 1,27 \text{ kN}$$

- Horizontální zatížení v oblasti E

$$H_{E,NCE} = -F_{HOR,NCE} \quad (41)$$

$$H_{E,NCE} = -10,13 \text{ kN}$$



- Horizontální zatížení v oblasti A a D

$$H_{ANCE} = H_{DNCE} = \frac{M_{HOR_{NCE}}}{0,6} \quad (42)$$

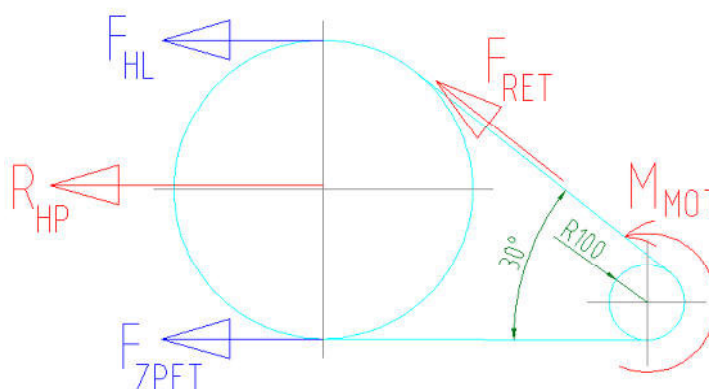
$$H_{ANCE} = H_{DNCE} = \frac{1,27}{0,6}$$

$$H_{ANCE} = H_{DNCE} = 2,12 \text{ kN}$$

ZATÍŽENÍ ODPOVÍDAJÍCÍ ZATÍŽENÍ OD KOMPONENTŮ 506

$F_{PRE_{506}} = 3 \text{ kN}$ – součet sil předpětí pružin napínacího vozíku [3, str. 23]

$r_{MOT_{506}} = 0,1 \text{ m}$ – poloměr roztečné kružnice řetězového kola převodovky [3, str. 23]



Obrázek 28: Síly působící na hlavní pohon (výběr z přílohy P1)

- Síla na hlavní větvi schodnicového řetězu:

$$F_{HL_{506}} = \left(q_{PAS} + \frac{q_{SR_{506}}}{2} \right) \cdot \cos 30^\circ \cdot z + \frac{F_{PRE_{506}}}{2} \quad (43)$$

$$F_{HL_{506}} = \left(3 + \frac{1,1}{2} \right) \cdot \cos 30^\circ \cdot 4,95 + \frac{3}{2}$$

$$F_{HL_{506}} = 16,72 \text{ kN}$$



- Síla na vratné větvi schodnicového řetězu:

$$F_{ZPET506} = \frac{q_{SR506}}{2} \cdot \cos 30^\circ \cdot z + \frac{F_{PRE506}}{2} \quad (44)$$

$$F_{ZPET506} = \frac{1,1}{2} \cdot 4,95 \cdot \cos 30^\circ + \frac{3}{2}$$

$$F_{ZPET506} = 3,86 \text{ kN}$$

- Síla v místě ukotvení hlavního pohonu k nosné konstrukci:

$$R_{HP506} = F_{HL506} + F_{ZPET506} \quad (45)$$

$$R_{HP506} = 16,72 + 3,86$$

$$R_{HP506} = 20,58 \text{ kN}$$

- Síla působící na řetěz mezi motorem a hlavním pohonem:

$$F_{RET506} = F_{HL506} - F_{ZPET506} \quad (46)$$

$$F_{RET506} = 16,72 - 3,86$$

$$F_{RET506} = 12,86 \text{ kN}$$

- Moment působící na řetězové kolo motoru:

$$M_{MOT506} = F_{RET506} \cdot r_{MOT506} \quad (47)$$

$$M_{MOT506} = 12,86 \cdot 0,100$$

$$M_{MOT506} = 1,29 \text{ kN}$$

- Vertikální působení síly F_{RET506} :

$$F_{VERT506} = F_{RET506} \cdot \sin 30^\circ \quad (48)$$

$$F_{VERT506} = 12,86 \cdot \sin 30^\circ$$

$$F_{VERT506} = 6,43 \text{ kN}$$



- Horizontální působení síly F_{RET506} :

$$F_{HOR506} = F_{RET506} \cdot \cos 30^\circ \quad (49)$$

$$F_{HOR506} = 12,86 \cdot \cos 30^\circ$$

$$F_{HOR506} = 11,14 \text{ kN}$$

Síly na bočnice v přechodech ze stanic do středního dílu

V příloze P5/1 jsou obecně zobrazeny působíště sil na bočnice konstrukce společně se silami, které jsou příčinou tohoto zatížení.

- Síla působící v místech přechodu z horní stanice do středního dílu:

$$F_{ZAT1506} = R_{HP506} \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ} \quad (50)$$

$$F_{ZAT1506} = 20,58 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ}$$

$$F_{ZAT1506} = 10,65 \text{ kN}$$

- Síla působící v místech přechodu ze spodní stanice do středního dílu:

$$F_{ZAT2506} = F_{PRE506} \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ} \quad (51)$$

$$F_{ZAT2506} = 3 \cdot \frac{\sin 30^\circ}{\sin 75^\circ}$$

$$F_{ZAT2506} = 1,55 \text{ kN}$$

Síly působící ve vertikálním směru v oblasti uchycení motoru (viz Obrázek 26)

- Síly působící v místě uchycení motoru od vertikální složky:

$$V_{A1,506} = V_{B1,506} = V_{C1,506} = V_{D1,506} = \frac{F_{VERT506}}{4} \quad (52)$$

$$V_{A1,506} = V_{B1,506} = V_{C1,506} = V_{D1,506} = \frac{6,43}{4}$$

$$V_{A1,506} = V_{B1,506} = V_{C1,506} = V_{D1,506} = 1,61 \text{ kN}$$



$$V_{A_{2,506}} = V_{B_{2,506}} = -\frac{F_{VERT_{506}} \cdot 0,232}{0,140} \cdot \frac{1}{2} \quad (53)$$

$$V_{A_{2,506}} = V_{B_{2,506}} = -\frac{6,43 \cdot 0,232}{0,140} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{A_{2,506}} = V_{B_{2,506}} = -5,33 \text{ kN}$$

$$V_{C_{2,506}} = V_{D_{2,506}} = \frac{F_{VERT_{506}} \cdot 0,232}{0,290} \cdot \frac{1}{2} \quad (54)$$

$$V_{C_{2,506}} = V_{D_{2,506}} = \frac{6,43 \cdot 0,232}{0,290} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{C_{2,506}} = V_{D_{2,506}} = 2,57 \text{ kN}$$

- Síly působící v místě uchycení motoru od horizontální složky:

$$V_{A_{3,506}} = V_{C_{3,506}} = -\frac{F_{HOR_{506}} \cdot 0,245}{0,251} \cdot \frac{1}{2} \quad (55)$$

$$V_{A_{3,506}} = V_{C_{3,506}} = -\frac{11,14 \cdot 0,245}{0,251} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{A_{3,506}} = V_{C_{3,506}} = -5,44 \text{ kN}$$

$$V_{B_{3,506}} = V_{D_{3,506}} = \frac{F_{HOR_{506}} \cdot 0,245}{0,435} \cdot \frac{1}{2} \quad (56)$$

$$V_{B_{3,506}} = V_{D_{3,506}} = \frac{11,14 \cdot 0,245}{0,435} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{B_{3,506}} = V_{D_{3,506}} = 3,14 \text{ kN}$$



- Síly působící v místě uchycení motoru vyvolané momentem na řetězovém kole motoru:

$$V_{A4,506} = V_{C4,506} = -\frac{M_{MOT_{506}}}{0,251} \cdot \frac{1}{2} \quad (57)$$

$$V_{A4,506} = V_{C4,506} = -\frac{1,29}{0,251} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{A4,506} = V_{C4,506} = -2,57 \text{ kN}$$

$$V_{B4,506} = V_{D4,506} = \frac{M_{MOT_{506}}}{0,435} \cdot \frac{1}{2} \quad (58)$$

$$V_{B4,506} = V_{D4,506} = \frac{1,29}{0,435} \cdot \frac{1}{2}$$

$$V_{B4,506} = V_{D4,506} = 1,48 \text{ kN}$$

- Součet vertikálních sil:

$$V_{ASUM,506} = V_{A1,506} + V_{A2,506} + V_{A3,506} + V_{A4,506} \quad (59)$$

$$V_{ASUM,506} = 1,61 - 5,33 - 5,44 - 2,57$$

$$V_{ASUM,506} = -11,73 \text{ kN}$$

$$V_{BSUM,506} = V_{B1,506} + V_{B2,506} + V_{B3,506} + V_{B4,506} \quad (60)$$

$$V_{BSUM,506} = 1,61 - 5,33 + 3,14 + 1,48$$

$$V_{BSUM,506} = 0,90 \text{ kN}$$

$$V_{CSUM,506} = V_{C1,506} + V_{C2,506} + V_{C3,506} + V_{C4,506} \quad (61)$$

$$V_{CSUM,506} = 1,61 + 2,57 - 5,44 - 2,57$$

$$V_{CSUM,506} = -3,83 \text{ kN}$$



$$V_{D_{SUM,506}} = V_{D_{1,506}} + V_{D_{2,506}} + V_{D_{3,506}} + V_{D_{4,506}} \quad (62)$$

$$V_{D_{SUM,506}} = 1,61 + 2,57 + 3,14 + 1,48$$

$$V_{D_{SUM,506}} = 8,80 \text{ kN}$$

Síly působící v horizontálním směru v oblasti uchycení motoru (viz Obrázek 27)

- Moment vyvolaný horizontální složkou síly $F_{RET_{NCE}}$

$$M_{HOR_{506}} = F_{HOR_{506}} \cdot 0,125 \quad (63)$$

$$M_{HOR_{506}} = 11,14 \cdot 0,125$$

$$M_{HOR_{506}} = 1,39 \text{ kN}$$

- Horizontální zatížení v oblasti E

$$H_{E_{506}} = -F_{HOR_{506}} \quad (64)$$

$$H_{E_{506}} = -11,14 \text{ kN}$$

- Horizontální zatížení v oblasti A a D

$$H_{A_{506}} = H_{D_{506}} = \frac{M_{HOR_{506}}}{0,6} \quad (65)$$

$$H_{A_{506}} = H_{D_{506}} = \frac{1,39}{0,6}$$

$$H_{A_{506}} = H_{D_{506}} = 2,32 \text{ kN}$$



5.4 SOUHRN ZATÍŽENÍ V PODOBĚ KOMBINACÍ ZÁTĚŽNÝCH STAVŮ

V Tabulce jsou přiřazeny návrhové koeficienty zatížení k jednotlivým stavům podle normy ČSN EN 1990.

$\gamma_{Q,1} = 1,50$ – Hlavní proměnné zatížení [5, str. 45, tab. A1.2 (A)]

$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$ – Stálá nepříznivá zatížení [5, str. 45, tab. A1.2 (A)]

Typ	Zátěžný stav	Návrhové hodnoty zatížení	Značení zátěžného stavu
506 NCE	Vlastní hmotnost konstrukce	1,35	LC1_NCE
506 NCE	Zatížení vyvolané hmotností balustrády a pohybujících se částí	1,35	LC2_NCE
506 NCE	Zatížení vyvolané pasažéry	1,5	LC3_NCE
506 NCE	Zatížení jednotlivých statických součástí	1,35	LC4_NCE
506 NCE	Zatížení vyvolaná dynamickými účinky	1,5	LC5_NCE
506	Vlastní hmotnost konstrukce	1,35	LC1_506
506	Zatížení vyvolané hmotností balustrády a pohybujících se částí	1,35	LC2_506
506	Zatížení vyvolané pasažéry	1,5	LC3_506
506	Zatížení jednotlivých statických součástí	1,35	LC4_506
506	Zatížení vyvolaná dynamickými účinky	1,5	LC5_506

Tabulka 4: Přiřazení koeficientů zatížení k jednotlivým zátěžným stavům

Tyto zátěžné stavy jsou seskupeny do zátěžných skupin, které jsou aplikovány do výpočtů v programu NX I-deas:

$$LG1_{NCE} = LC1_{NCE} + LC2_{NCE} + LC4_{NCE} \quad (66)$$

$$LG2_{NCE} = (LC1_{NCE} + LC2_{NCE} + LC4_{NCE}) \cdot 1,35 \quad (67)$$

$$LG3_{NCE} = LC1_{NCE} + LC2_{NCE} + LC3_{NCE} + LC4_{NCE} \quad (68)$$

$$LG4_{NCE} = (LC1_{NCE} + LC2_{NCE} + LC4_{NCE}) \cdot 1,35 + LC3_{NCE} \cdot 1,5 \quad (69)$$

$$LG5_{NCE} = LC1_{NCE} + LC2_{NCE} + LC3_{NCE} + LC4_{NCE} + LC5_{NCE} \quad (70)$$

$$LG6_{NCE} = (LC1_{NCE} + LC2_{NCE} + LC4_{NCE}) \cdot 1,35 + (LC3_{NCE} + LC5_{NCE}) \cdot 1,5 \quad (71)$$

$$LG1_{506} = LC1_{506} + LC2_{506} + LC4_{506} \quad (72)$$

$$LG2_{506} = (LC1_{506} + LC2_{506} + LC4_{506}) \cdot 1,35 \quad (73)$$

$$LG3_{506} = LC1_{506} + LC2_{506} + LC3_{506} + LC4_{506} \quad (74)$$

$$LG4_{506} = (LC1_{506} + LC2_{506} + LC4_{506}) \cdot 1,35 + LC3_{506} \cdot 1,5 \quad (75)$$

$$LG5_{506} = LC1_{506} + LC2_{506} + LC3_{506} + LC4_{506} + LC5_{506} \quad (76)$$

$$LG6_{506} = (LC1_{506} + LC2_{506} + LC4_{506}) \cdot 1,35 + (LC3_{506} + LC5_{506}) \cdot 1,5 \quad (77)$$



6 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZATÍŽENÍ

Všechny níže uvedené hodnoty jsou maximální průměrované hodnoty z vrchní i spodní plochy stěny skořepiny modelu celé konstrukce. Všechny redukované napětí jsou posuzovány podle podmínky HMH.

Zátěžná skupina	506 - maximální napětí [MPa]	506-NCE maximální napětí [MPa]	Přírůstek maximálního napětí [MPa]	Procentuální přírůstek napětí [%]
LG1	28,10	33,80	5,70	20,28
LG2	38,00	45,60	7,60	20,00
LG3	67,20	71,20	4,00	5,95
LG4	96,60	102,00	5,40	5,59
LG5	200,00	189,00	-11,00	-5,50
LG6	298,00	282,00	-16,00	-5,37

Tabulka 5: Porovnání maximálních napětí

Zátěžná skupina	506 - maximální deformace [mm]	506-NCE - maximální deformace [mm]	Přírůstek maximální deformace [mm]	Procentuální přírůstek deformace [%]
LG1	3,01	3,25	0,24	7,97
LG2	4,07	4,39	0,32	7,86
LG3	6,60	6,84	0,24	3,64
LG4	9,44	9,77	0,33	3,50
LG5	7,17	7,29	0,12	1,67
LG6	10,30	10,40	0,10	0,97

Tabulka 6: Porovnání maximálních deformací

- Z výsledků MKP analýzy v tabulkách 5 a 6 lze vyvodit, že největší procentuální navýšení napětí a deformace je při zatížení modelu zátěžnými skupinami LG1 a LG2 (zatížení vlastní hmotností konstrukce a všech částí eskalátoru). To lze zdůvodnit oslabením konstrukce a vložením těžkého adaptačního rámu do horní stanice. Tento adaptační rám byl do modelu vnesen pouze jako břemeno zavěšené na horní stěny nosníků bočnic eskalátoru. Ve skutečnosti bude však zvyšovat tuhost konstrukce. Nutno podotknout, že nejvyšší hodnoty napětí se dosáhne při LG2 ve stavu eskalátoru po modernizaci (LG2_NCE) a to 45,60 MPa. Toto napětí se vyskytuje v oblastech vnějších vazeb modelu eskalátoru (viz kapitola 5.2) a zlomech v přechodu z horní stanice do středního dílu na spodním plechu konstrukce, jak je zobrazeno v příloze P6. Rozsah stupnice (0-25 MPa) je nastaven tak, aby bylo prokázáno, že v těchto místech k tomuto jevu dochází. Bezpečnost vzhledem k mezi kluzu v tahu materiálu (235 MPa) je tedy více než pětinasobná. V příloze P7 jsou vybrané obrazové přílohy z porovnání LC2_506 a LC2_NCE. Nastavení rozsahu stupnice (0-15 MPa) je takové, aby bylo zřejmé, v kterých místech dochází ke zvýšení napětí po modernizaci.



- Nejvíce směrodatnými výsledky jsou výsledky po zatížení LG3 a LG4 (zatížení vlastní hmotností konstrukce a všech součástí eskalátoru při plném obsazení pasažéry). Norma udává zatížení pasažéry rovno 5 kN/m^2 [4, str. 19, kap. 5.2.5]. Jde o vysokou hodnotu, která zvýší napětí zhruba na dvojnásobnou hodnotu oproti LG1 a LG2. Toto zatížení má vliv na celou délku eskalátoru. V obrázkové příloze P8 Obr. P8-1 a P8-2 lze porovnat zvýšení napětí v konstrukci. Rozsah stupnice (0-45 MPa) je nastaven tak, aby nebyla zobrazována vysoká napětí v okolí vazeb. Nikde na konstrukci nepřevyšuje napětí hranici 50 MPa.
- Výsledky analýzy LG5 a LG6 dokazují, že nejvyšších hodnot napětí je dosaženo v oblasti uchycení motoru ke konstrukci. Je velmi pozitivní, že při porovnání stavů po modernizaci (LG5_NCE a LG6_NCE) se maximální napětí nezvýší a koncentruje se ve stejných místech jako před modernizací (LG5_506 a LG6_NCE). Přestože jsou hodnoty napětí vysoké, tak se lze odkázat na to, že původní design držáku motoru byl navržen a léty praxe ověřen tak, aby toto napětí vydržel bez ztráty funkce. Ilustrace, která prokazuje téměř totožné rozložení napětí je obsažena v příloze P9. Rozsah stupnice je u obou případů nastaven do 70 MPa.
- Největších deformací je dosaženo ve stavu po modernizaci při zatížení kompletního modelu LG6_NCE (10,40 mm). Při zobrazení deformace samotné konstrukce bez spodního plechu, dostáváme maximální hodnoty průhybu konstrukce (9,71 mm). Norma EN 115 udává, že nesmí být průhyb větší než $1/750$ vzdálenosti mezi podporami [4, str. 19, kap. 5.2.5]. Tato vzdálenost je 13552 mm (viz kap. 1). Ukázky deformací lze nalézt v příloze P10.

$\Delta l_{max} = 9,71 \text{ mm}$ – maximální vypočtený průhyb na konstrukci

$l_1 = 13552 \text{ mm}$ – vzdálenost mezi podporami

- Výpočet dovoleného maximálního průhybu

$$\Delta l_{DOV} = \frac{1}{750} \cdot l_1 \quad (78)$$

$$\Delta l_{DOV} = \frac{1}{750} \cdot 13552$$

$$\Delta l_{DOV} = 18,07 \text{ mm}$$

- Porovnání dovolené a vypočtené hodnoty

$$\Delta l_{max} < \Delta l_{DOV} \quad (79)$$

$$9,71 \text{ mm} < 18,07 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvořit koncepční návrh modernizace eskalátoru firmy Otis. Tato modernizace má pracovní název „In-truss“ a je směřována na již nevyroběný typ eskalátoru „506“. Taková modernizace spočívá v ponechání nosné konstrukce starého eskalátoru a jsou do ní vkládány komponenty novější řady „506-NCE“. Design některých nových komponentů je nekompatibilní se starou konstrukcí. Proto byly navrženy úpravy držáků, vkládací adaptační rám horní stanice a zásahy do konstrukce.

Práce tedy obsahuje rozbor konstrukce eskalátoru podle subsystémů, ze kterých se skládá. Objemový model a popis koncepce modernizace včetně stručného přehledu změn a řezacího plánu. Kvůli některým důležitým prvkům vyřezaných z konstrukce byla provedena pevnostní analýza formou srovnání výsledků.

Pro analýzu byl vytvořen skořepinový model ve výpočtovém programu konečných prvků NX-Ideas. Model obsahuje dva druhy sítě (Originální konstrukci a konstrukci bez vyřezaných nosníků). Rovněž byly vytvořeny dvě sady zátěžných stavů. První odpovídá stavu před modernizací a vychází z firemní literatury statického návrhu konstrukce eskalátoru z doby, kdy řada 506 vznikala a vyvíjela se. Druhá sada se řídí aktuálně používanými zatěžovacími předpoklady. Hodnoty zejména hmotností byly převzaty z objemů modelů aktuálního designu. Tyto zátěžné stavy byly seřazeny do zátěžných skupin (zatížení hmotností konstrukce a všech součástí eskalátoru, předešlé zatížení s přidáním hmotnosti pasažérů, předešlé zatížení a náhrada statickými silami vyvolanými chodem eskalátoru). Tyto zatížení byly násobeny koeficienty podle ČSN EN 1990.

U grafických výsledků MKP analýzy jsou všechna redukovaná napětí posuzována podle metody HMM. Rozsahy legend napětí byly nastaveny tak, aby byly odstraněny vlivy vysokých lokálních napětí v oblastech vnějších vazeb a pod přímým zatížením sil. Z výsledků po zatížení konstrukce vlastní hmotností a hmotností jednotlivých součástí je zřejmý vliv zejména vložení adaptačního rámu. V tomto případě jde o nejvyšší přírůstek napětí (cca 20%). Maximální hodnoty napětí dosahují 25 MPa. Po přidání zatížení pasažéry se hodnota přírůstku sníží (cca 6%). Zde dosahují hodnoty maxima napětí 50 MPa, které nejsou pro materiál RSt 37-2 kritické. Při aplikaci všech zatížení, tedy i simulace chodu eskalátoru dosahují výsledky velmi vysokého napětí v oblasti uchycení motoru (max 298 MPa). V tomto případě se lze odkázat na dlouhodobě funkční design držáku motoru, který je schopen taková napětí snášet. Pozitivní je, že jsou hodnoty po modernizaci nižší. Nejvyšší maximální deformace modelu bez spodního plechu je 9,71 mm. Taková deformace splňuje podmínky, které udává norma EN 115.

Tato práce nebere v úvahu poškození konstrukce vlivem stárí, možnou korozi, vadné svary, případné porušení konstrukce při odřezávání jejích částí a dalších nepředvídatelných jevů. Nepovedlo se vnést vlivy imperfekcí konstrukce do skořepinového modelu a výpočty jsou pouze lineární z důvodu nedostatku času a nedostatečného výpočtového zařízení. Pravděpodobně by bylo lepším řešením postupovat následovně. Vytvořit model se sítí, zatížit silami pro vyvolání imperfekcí, extrahovat deformovaný model. Ten poté zatížit silami podle zátěžných stavů, které tato práce popisuje. Poté vyhodnocovat výsledky nelineární analýzy. I přes tyto nedostatky jde tvrdit, že má tato práce směrodatnou hodnotu a může se na jejím základě modernizace typu „In-truss“ realizovat.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] JANOVSÝ L.: *Elevator Mechanical Design*. Elevator World Inc, 1999. 401 s. ISBN 1886536260.
- [2] SHIGLEY, J. E., MISCHKE, CH. R., BUDYNAS, R. G.: *Konstruování strojních součástí*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] FLOHR-OTIS, Berlin: *Statische berechnung fahrtreppen - traggerüst 9703 D v. 10.8.79*. 1979. 141 s.
- [4] ČSN EN 115-2+A1: 2010. Bezpečnost pohyblivých schodů a pohyblivých chodníků – Část 1: Konstrukce a montáž. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 80s.
- [5] ČSN EN 1990: 2010. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 100s.
- [6] OMS Antriebstechnik, EC 2-7 Instalation instruction [online]. [cit 5. Května 2015]. Dostupné z : <<http://www.hypodrive.com/daten2011/EC%202-7Installation%20instructions%206-2011.pdf>>
- [7] HENNLICH, Produkty - Tlačné pružiny z pružinové oceli [online]. [cit 5. Května]. Dostupné z: <<https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162/tlacne-pruziny-z-pruzinove-oceli.html>>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Za koeficient X lze dosadit 506, nebo NCE podle druhu zatěžování.

F_{ZPETX}	[kN]	Síla na vratné větvi schodnicového řetězu
H_{DX}	[kN]	Horizontální zatížení v oblasti D
M_{HORX}	[kN · m]	Moment vyvolaný horizontální složkou síly F_{RET}
R_{HPX}	[kN]	Síla v místě ukotvení hlavního pohonu ke konstrukci
m_{KKRNCE}	[kg]	Hmotnost kovového krytí balustrády
m_{KOLNCE}	[kg]	Hmotnost kolejového systému
$m_{OKOPNCE}$	[kg]	Hmotnost okopových plechů
q_{SRX}	[kN/m]	Zatížení od schodnice a schodnicového řetězu
F_{ARNCE}	[kN]	Síly vyvolaná hmotností adaptačního rámu
F_{HLX}	[kN]	Síla na hlavní větvi schodnicového řetězu
F_{HPX}	[kN]	Síly vyvolaná hmotností hlavního pohonu
F_{HORX}	[kN]	Horizontální působení síly F_{RET}
F_{MOTX}	[kN]	Síly vyvolaná hmotností motoru s převodovkou
F_{NVX}	[kN]	Síly vyvolaná hmotností napínacího vozíku
F_{PREX}	[kN]	Celková síla napínání pomocí napínacího vozíku
F_{RETX}	[kN]	Síla působící na řetěz mezi motorem a hlavním pohonem
F_{VERTX}	[kN]	Vertikální působení síly F_{RET}
F_{ZAT1X}	[kN]	Síla působící v místech přechodu z horní stanice do středního dílu
F_{ZAT2X}	[kN]	Síla působící v místech přechodu ze spodní stanice do středního dílu
H_{AX}	[kN]	Horizontální zatížení v oblasti A
H_{EX}	[kN]	Horizontální zatížení v oblasti E
M_{MOTX}	[kN · m]	Moment působící na řetězové kolo motoru
$V_{A1-2,X}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru A od vertikální složky
$V_{A3,X}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru A od horizontální složky
$V_{A4,X}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru A od momentu na řet. kole
$V_{ASUM,X}$	[kN]	Součet vertikálních sil v místě A
$V_{B1-2,X}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru B od vertikální složky
$V_{B3,X}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru B od horizontální složky
$V_{B4,X}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru B od momentu na řet. kole
$V_{BSUM,X}$	[kN]	Součet vertikálních sil v místě B



$V_{C_{1-2,X}}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru C od vertikální složky
$V_{C_{3,X}}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru C od horizontální složky
$V_{C_{4,X}}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru C od momentu na řet. kole
$V_{C_{SUM,X}}$	[kN]	Součet vertikálních sil v místě C
$V_{D_{1-2,X}}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru D od vertikální složky
$V_{D_{3,X}}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru D od horizontální složky
$V_{D_{4,X}}$	[kN]	Síla působící v místě uchycení motoru D od momentu na řet. kole
$V_{D_{SUM,X}}$	[kN]	Součet vertikálních sil v místě D
$V_{AR_{NCE}}$	[m ³]	Objem adaptačního rámu
V_{HP_X}	[m ³]	Objem hlavního pohonu
$V_{KKR_{NCE}}$	[m ³]	Objem kovového krytí balustrády
V_{KOL_X}	[m ³]	Objem kolejového systému
V_{NV_X}	[m ³]	Objem napínacího vozíku
$V_{OKOP_{NCE}}$	[m ³]	Objem okopových plechů
$V_{RET_{NCE}}$	[m ³]	Objem schodnicového řetězu
$V_{SCH_{NCE}}$	[m ³]	Objem schodnice
$V_{SKLO_{NCE}}$	[m ³]	Objem tabulí z bezpečnostního skla
l_1	[mm]	Vzdálenost mezi podporami
$m_{MOT_{NCE}}$	[kg]	Hmotnost motoru s převodovkou
$m_{RET_{NCE}}$	[kg]	Hmotnost schodnicového řetězu
$m_{SCH_{NCE}}$	[kg]	Hmotnost schodnice
$m_{SKLO_{NCE}}$	[kg]	Hmotnost tabulí z bezpečnostního skla
q_{BA_X}	[kN/m]	Zatížení od balustrády
q_{KOL_X}	[kN/m]	Zatížení od kolejového systému
q_{PAS}	[kN/m]	Zatížení vyvolané pasažéry
$q_{PAS/2}$	[kN/m]	Zatížení na bočnici eskalátoru vyvolané pasažéry
r_{MOT_X}	[m]	Poloměr roztečné kružnice ozubeného kola motoru s převodovkou
$\gamma_{G,j,sup}$	[-]	Koeficient pro stálá nepříznivá zatížení
$\gamma_{Q,1}$	[-]	Koeficient pro hlavní proměnné zatížení
ρ_{BS}	[kg/m ³]	Hustota bezpečnostního skla
ρ_{HS}	[kg/m ³]	Hustota hliníkové slitiny
ρ_{OC}	[kg/m ³]	Hustota oceli
Δl_{DOV}	[mm]	Maximální dovolený průhyb
Δl_{max}	[mm]	Maximální vypočtený průhyb na konstrukci



$LG1_x$	[-]	Zátěžná skupina $LG1_x$ v textu také $LG1_X$
$LG2_x$	[-]	Zátěžná skupina $LG2_x$ v textu také $LG2_X$
$LG3_x$	[-]	Zátěžná skupina $LG3_x$ v textu také $LG3_X$
$LG4_x$	[-]	Zátěžná skupina $LG4_x$ v textu také $LG4_X$
$LG5_x$	[-]	Zátěžná skupina $LG5_x$ v textu také $LG5_X$
$LG6_x$	[-]	Zátěžná skupina $LG6_x$ v textu také $LG6_X$
z	[m]	Zdvih eskalátoru
α	[°]	Sklon eskalátoru



SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Síly pro výpočet LC5
- P2 LC2 – Zatížení vyvolané hmotností balustrády a pohyblivých částí
- P3 LC3 – Zatížení vyvolané pasažéry
- P4 LC4 – Zatížení jednotlivými statickými součástmi
- P5/1 LC5 – Zatížení vyvolaná dynamickými účinky
- P5/2 LC5 – Zatížení vyvolaná dynamickými účinky
- P6 Výsledky MKP analýzy (Oblasti maxima napětí - demonstrace na LG2_NCE)
- P7 Výsledky MKP analýzy (zátěžné skupiny LG3 a LG4)
- P8 Výsledky MKP analýzy (zátěžné skupiny LG3 a LG4)
- P9 Výsledky MKP analýzy (zátěžné skupiny LG5 a LG6)
- P10 Výsledky MKP analýzy (průhyb zátěžné skupiny LG6_NCE)
- P11 Fotografie z realizace