

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba jaderně energetických zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh polohovací konstrukce pro stanici biologického víka Vyvážecího
zařízení reaktoru EPR

Autor: Bc. Lukáš Bílý
Vedoucí práce: Ing. Jan Zdebor, CSc.

Akademický rok 2012/2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledku diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Na prvním místě bych rád poděkoval konzultantce diplomové práce Ing. Věře Kollrossové, která svým ochotným přístupem, radami a připomínkami mi pomohla při vytvoření této práce. Poté bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Jeníkovi, Ph.D., se kterým jsem konzultoval pevnostní výpočet a v neposlední řadě také mému vedoucímu práce panu Ing. Janu Zdeborovi, CSc.

A naposledy bych rád poděkoval mé rodině a blízkým, kteří mě podporují po celou dobu studia.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bílý	Jméno Lukáš	
STUDIJNÍ OBOR	2302T041 „Stavba jaderně energetických zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zdebor, CSc.	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU-FST-KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	NEHODÍCÍ ŠKRTNĚTE
NÁZEV PRÁCE	Návrh polohovací konstrukce pro stanici biologického víka Vyvážecího zařízení reaktoru EPR		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

Počet stran (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	125	TEXTOVÁ ČÁST	88	GRAFICKÁ ČÁST	37
---------------	-----	-------------------------	----	--------------------------	----

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato práce obsahuje návrh polohovací konstrukce pro stanici biologického víka Vyvážecího zařízení reaktoru EPR. Cílem práce je navrhnout polohovací zařízení tak, aby se konstrukce pohybovala v kartézských souřadnicích. Práce obsahuje analytickou část, ucelený konstrukční návrh, část zaměřenou na pevnostní výpočet a technické zhodnocení jednotlivých variant. Součástí práce jsou výkresy a také DVD, kde je uložena simulace zařízení a celá tato zpráva.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p>	<p>Kontejner, polohování, BLHS, biologické víko, příruba biologického víka, seizmická událost, polohovací zařízení, klín, pohybový šroub, servomotor, Permaglide, zatížení, pevnostní výpočet, seizmické zatížení</p>

SUMMARY OF DIPLOMA THESIS

AUTHOR	Surname Bílý	Name Lukáš	
FIELD OF STUDY	2302T041 „Nuclear Power Equipment Design“		
SUPERVISOR	Surname (inclusive of degree) Ing. Zdebor, CSc.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU-FST-KKE		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITTLE OF THE WORK	Design of positioning structure for Biological lid Handling station of equipment reactor EPR		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Power System Engineering	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	125	TEXT PART	88	GRAPHICAL PART	37
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION (MAX 10 LINES) TOPIC,GOAL,RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This diploma thesis includes design of positioning structure for Biological lid Handling station of equipment reactor EPR. The purpose of the thesis is to design positioning structure which should move in Cartesian system. This thesis contains analytic part, structural design, part with strength calculation and economic evaluation. The DVD and the blueprints are attached to the thesis. On the DVD is stored simulation of the equipment and complete thesis.</p>
KEY WORDS	<p>Container, positioning, BLHS, Biological Lid Handling Station, biological lid, biological lid ring flange, seismic event, positioning structure, wedge, moving screw, servomotor, Permaglide, loads, strength calculation, seismic load</p>

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Popis a význam BLHS	2
3. Procesy při vyvážení použitých palivových souborů.....	6
4. Pevnostní výpočet polohovacího zařízení – teoretická část.....	12
4.1. Zemětřesení – základní pojmy, výpočet	13
4.2. Určení zatížení	14
4.3. Kategorie zatížení	16
4.4. Určení dovoleného napětí	17
5. Konstrukční řešení polohovacího zařízení – současné řešení.....	18
6. Konstrukční řešení polohovacího zařízení – nové řešení.....	21
6.1. Hlavní požadavky, které jsou kladené na konstrukci	21
6.2. Konstrukční varianty	23
6.3. Porovnání konstrukčních variant	27
7. Návrh jednotlivých částí finální konstrukční varianty	28
7.1. Návrh konstrukce základu	28
7.2. Permaglide	31
7.3. Silové poměry polohovacího zařízení	35
7.4. Návrh pohybového šroubu.....	45
7.5. Návrh snímače polohy	59
7.6. Návrh elektromotoru a převodovky.....	61
7.7. Návrh klínů	64
8. Technologie, montáž zařízení a manuální záloha	72
8.1. Technologie	72
8.2. Montáž zařízení	73
8.3. Manuální záloha	75
9. Informativní pevnostní výpočet – praktická část	76
9.1. Použité materiály	76
9.2. Výpočtový model konstrukce	77
9.3. Nastavení výpočtového modelu.....	79
9.4. Výsledky výpočtu	81
9.5. Zhodnocení výsledku výpočtu	83
10. Technické zhodnocení variant.....	85
11. Závěr.....	88

12. Použitá literatura	89
12.1. Knižní a jiné publikace	89
12.2. Internetové zdroje	89
Seznam obrázků	90
Seznam tabulek	93
Seznam obrázků přílohy	93
Seznam příloh.....	96
PŘÍLOHA č. 1	1
PŘÍLOHA č. 2.....	2
PŘÍLOHA č. 3.....	3
PŘÍLOHA č. 4.....	9
PŘÍLOHA č. 5.....	16
PŘÍLOHA č. 6.....	35

Seznam použitých označení a jednotek

Seznam označení		
Název	Označení	Jednotka
Kontaktní tlak při provozním zatížení	$p_{K.T.}$	MPa
Kontaktní tlak při seizmické události	$p_{K.T.HS2}$	MPa
Tahové napětí ve šroubu	σ_T	MPa
Tahové napětí ve šroubu při seizmicitě	σ_{THS2}	MPa
Dovolené napětí ve šroubu při zatížení H	σ_{DH}	MPa
Dovolené napětí ve šroubu při zatížení HS2	σ_{DHS2}	MPa
Smykové napětí v krutu	τ_K	MPa
Referenční hodnota napětí	$R_{v0.2}$	MPa
Mez kluzu materiálu	R_{p02}	MPa
Redukované napětí šroubu	σ_{RED}	MPa
Měrný tlak v závitech šroubu	p	MPa
Měrný tlak v závitech šroubu při seizmicitě	p_{HS2}	MPa
Dovolený měrný tlak v závitech šroubu	p_D	MPa
Provozní zatížení	Q	N
Zatížení při seizmické události	Q_{HS2}	N
Třecí síla	T	N
Normálová síla	N	N
Normálová reakce v obecné vazbě A	N_A	N
Normálová reakce v obecné vazbě B	N_B	N
Normálová reakce v obecné vazbě C	N_C	N
Normálová reakce v obecné vazbě D	N_D	N
Normálová reakce v posuvné vazbě E	N_E	N
Normálová reakce v posuvné vazbě F	N_F	N
Síla ve šroubu	F	N
Síla pro pohyb dvojice klínů k sobě	F_Z	N
Spouštěcí síla	F_S	N
Třecí síla u pohybového šroubu	F_T	N
Normálová síla u pohybového šroubu	F_N	N
Normálová složka v C mezi klíny při seizmicitě	N_{CHS2}	N
Normálová složka v D mezi klíny při seizmicitě	N_{DHS2}	N

Síla v pohybovém šroubu při seizmicitě	F_{HS2y}	N
Reakční síla mezi klíny	R	N
Třecí síla mezi klíny	T	N
Normálová síla mezi klíny	N	N
Vertikální složka reakční síly	F_V	N
Horizontální složka reakční síly	F_H	N
Moment pro pohyb dvojice klínů k sobě	M_Z	N.mm
Vstupní moment převodovky	M_{VST}	N. m
Výstupní moment převodovky	M_{VYST}	N. m
Délky hrany kamene	B	mm
Průměr otvoru pro šroub kamene	$d_{š.K.}$	mm
Vliv krutu při návrhu šroubu	β	°
Vrcholový úhel klínů	α	°
Úhel stoupání šroubovice	φ	°
Třecí úhel pohybového šroubu	γ	°
Třecí úhel klínu	γ_K	°
Úhel profilu trapézového závitu	$\alpha_{T.Z.}$	°
Střední průměr závitu pohybového šroubu	d_2	mm
Stoupání závitu pohybového šroubu	P_H	mm
Nejmenší průměr pohybového šroubu	d_3	mm
Velký průměr závitu pohybového šroubu	d	mm
Střední průměr závitu pohybového šroubu	d_2	mm
Nejmenší průměr matice	D_1	mm
Nutná výška matice	H_{MAT}	mm
Střední průměr matice	D_2	mm
Velký průměr matice	D_4	mm
Nosná výška matice	H_1	mm
Horizontální změna stanice při jedné otáčce šroubu	x	mm
Horizontální změna stanice o 15 mm	K	mm
Vertikální posunutí klínů při změně stanice o vzd. K	L	mm
Plocha polohování současného řešení	$S_{S.Ř.}$	mm ²
Plocha polohování nového řešení	$S_{N.Ř.}$	mm ²
Modul průřezu v krutu	W_K	mm ³

Gravitační zrychlení	g	m/s^2
Náhradní zrychlení pro i -tý směr	$a_{E,i}$	m/s^2
Největší hodnota zrychlení z grafů spektra odezvy	$a_{f,i}$	m/s^2
Hmotnost víka	$m_{VÍKA}$	kg
Hmotnost stanice (zařízení)	$m_{ZAŘ}$	kg
Počet závitů matice	n	1
Zvolený počet závitů matice	n_{ZVOL}	1
Bezpečnostní koeficient	e_i	1
Koeficienty pro dovolené napětí	a_{CC}	1
Převodový poměr planetové převodovky	i	1
Součinitel tření mezi kameny a Permaglidem	f_A	1
Součinitel tření mezi Permaglidy klínů	f_B	1
Počet stupňů volnosti	n_V	1
Počet těles soustavy včetně rámu	m	1
Počet posuvných vazeb soustavy	p	1
Počet valivých vazeb soustavy	v	1
Počet rotačních vazeb soustavy	r	1
Počet obecných vazeb soustavy	o	1
Součinitel tření pohybového šroubu	f	1
Součinitel tření pro obecný vztah	μ	1
Účinnost planetové převodovky	$\eta_{P.P.}$	%
Účinnost kuželové převodovky	$\eta_{K.P.}$	%
Celková účinnost převodu	$\eta_{ZAŘ}$	%
Účinnost pohybového šroubu:	η	%
Otáčky pohybového šroubu	$n_{POŽ}$	ot./min
Vstupní otáčky převodovky	n_{VST}	ot./min
Výstupní otáčky převodovky	$n_{VÝST}$	ot./min
Počet otáček pohybového šroubu při posunutí klínů o vzdálenost L	$n_{P.Š.}$	1
Výkon pohonu	P_{el}	W
Práce vykonaná (Pohybový šroub)	W_{VYK}	J
Práce dodaná (Pohybový šroub)	W_{DOD}	J

1. Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout konstrukční provedení polohovacího zařízení nosné podpěry stanice biologického víka Vyvážecího zařízení reaktoru EPR. V další části textu se bude dále užívat pro stanici biologického víka jen zkratka BLHS. Stanice biologického víka je součástí budovy s jaderným palivem u jaderné elektrárny EPR. Úkolem BLHS je zdvihnout biologické víko transportně skladovacího kontejneru na použité palivo a umístit ho na podpěru na přepravním stroji. V případě, kdy je naplněný tento kontejner použitými palivovými soubory, je víko umístěno zpět pomocí BLHS. Stanice musí také odolat silovým účinkům při seizmické události. Typy kontejnerů se uvádí pod označením TN13/2 a R72. Hmotnost víka s přírubou u prvního zmíněného TN13/2 činí zhruba 5000 kg. Kontejner R72 je podstatně lehčí, proto se bude uvažovat během výpočtu a návrhu zvedání těžšího víka kontejneru TN13/2.

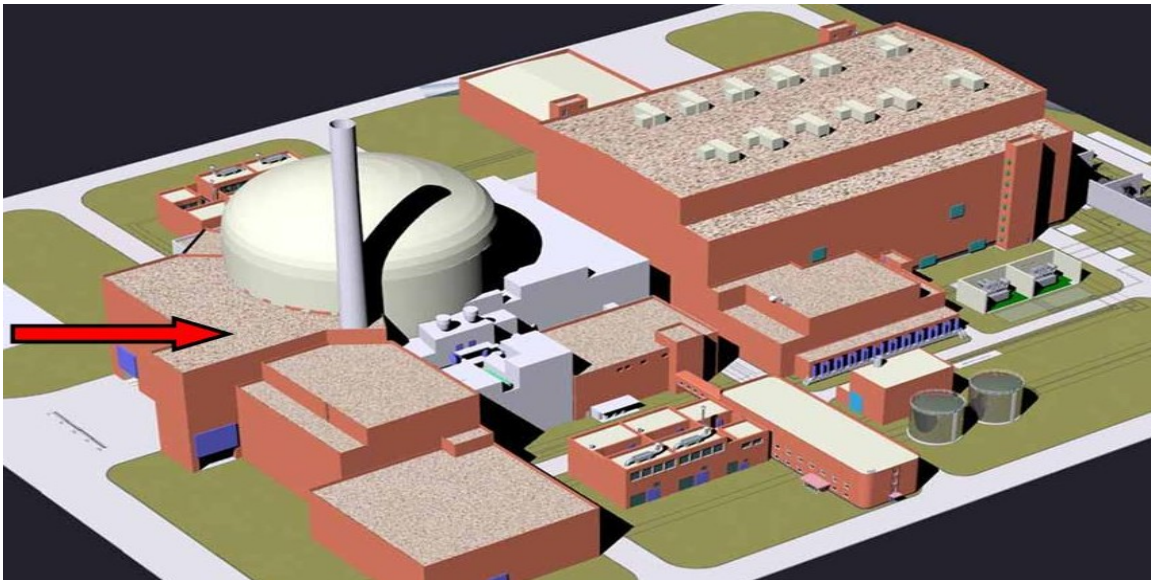
Tato diplomová práce má navrhnout jinou možnou alternativu polohovacího zařízení biologické stanice a technicky zhodnotit nové řešení se současným řešením konstrukce. Stávající konstrukce zde bude v krátkosti představena. Nová konstrukční alternativa bude řešena na jiném principu než současné řešení. Polohování stanice je nezbytné z důvodů vůlí v zařízeních a osa víka kvůli těmto vůlím nemusí být totožná s osou zachycovače stanice. Práce je zaměřena na provedení konstrukce polohování BLHS a na zafixování konstrukce proti případnému nežádoucímu posuvu konstrukce. Samotné provedení konstrukce zvedání a spouštění víka není náplní diplomové práce. Při navrhování je cílem zajistit polohování osy stanice v definované toleranci pro její provoz. Při návrhu musí být zohledněna odolnost zařízení při seizmické události. Diplomová práce se skládá z několika částí. Úvod je věnován účelu zařízení a jakou funkci má v rámci budovy s jaderným palivem. Je zde popis dějů, které se dějí během transportu kontejneru v budově s jaderným palivem a jak do toho zasahuje svojí činností BLHS. V další části je popsán teoretický pevnostní výpočet zařízení. Dále je zde popsáno původní konstrukční řešení polohovací stanice, které bylo použito na francouzské jaderné elektrárně Flamanville. Největší část je věnována novému konstrukčnímu řešení polohovacího zařízení, jelikož je to hlavní náplň této práce. Na počátku této kapitoly jsou uvedeny požadavky kladené na toto zařízení. Jsou zde dále uvedeny dvě konstrukční varianty a zhodnocení těchto dvou variant. Z těchto dvou konstrukčních variant je vybrána finální konstrukční varianta. U této varianty se dále provede dimenzování jednotlivých komponent a návrh všech potřebných zařízení, které přísluší novému řešení. Pro nové konstrukční řešení je třeba provést informativní pevnostní výpočet, který má zjistit odolnost zařízení během seizmické události. Pevnostní výpočet je rozdělen na dvě části a to na teoretickou část a praktickou část. V teoretické části je popsán v krátkosti princip kvazistatické metody, podle které se provede pevnostní výpočet. Praktická část je už věnována samotným dosaženým výsledkům a jejich zhodnocením. Porovnání nové konstrukční varianty a současného řešení se věnuje poslední část a to je tzv. technickoekonomické zhodnocení. V tomto technickoekonomickém zhodnocení se porovná nová konstrukční varianta se současnou konstrukční variantou. Závěr je věnován zhodnocení a rekapitulace dosažených výsledků a jejich možného uplatnění do praktického života.

Součástí zadání je i simulace zařízení, která byla vytvořena v programu NX 8,5. Simulaci zařízení lze nalézt na DVD, které je nedílnou součástí této práce. V přílohách jsou též připojeny jednotlivé výkresy konstrukčního řešení, 3D model a výsledky pevnostního výpočtu. Konstrukce byla vymodelována a pevnostně ověřena programem NX 8,5. Přehled veškeré použité literatury je uveden na konci této práce spolu se seznamem obrázků a tabulek.

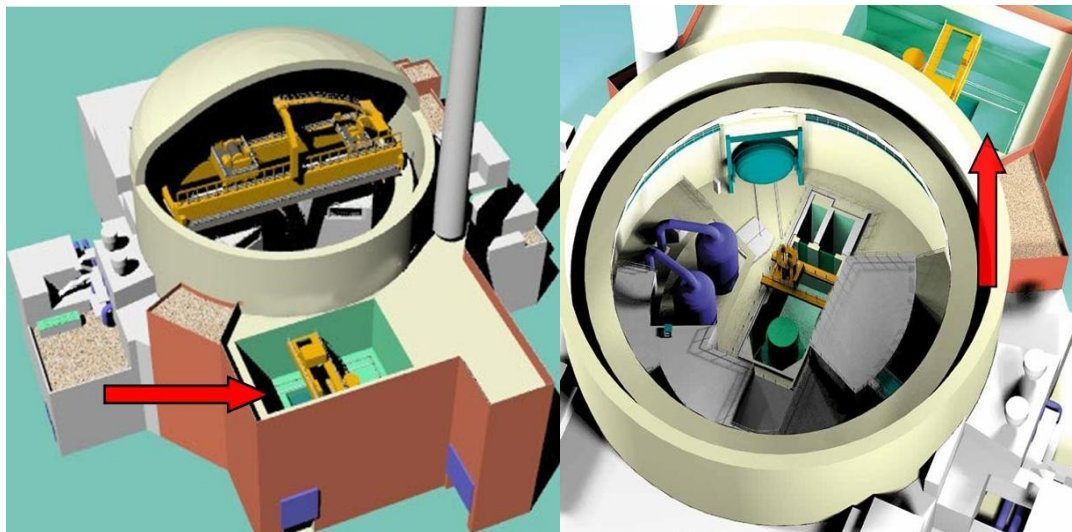
2. Popis a význam BLHS

Tato úvodní kapitola se věnuje popisu a významu Stanice biologického víka, která je součástí francouzské jaderné elektrárny EPR. Stanice biologického víka slouží pro zdvihání biologického víka (poklopu) s kruhovou přírubou z transportně skladovacího kontejneru na podpěru víka na přepravním stroji. BLHS je umístěna v budově s jaderným palivem. Budova s jaderným palivem přiléhá ze strany k reaktorové budově v rámci elektrárny EPR. V budově s jaderným palivem jsou v bazénech skladování umístěny použité palivové soubory. Na obrázku 1 a 2 je vidět, kde je stavebně řešena budova s jaderným palivem v rámci reaktoru EPR. Budovu s jaderným palivem označuje červená šipka. EPR je tlakovodní reaktor chlazený a moderovaný lehkou vodou o elektrickém výkonu 1650 (MWe). Reaktor EPR patří ke generaci III+. Obrázky byly převzaty z internetového zdroje [15].

Obrázek 1 - Jaderná elektrárna EPR (1650 MWe) – pohled na celý komplex elektrárny [15]

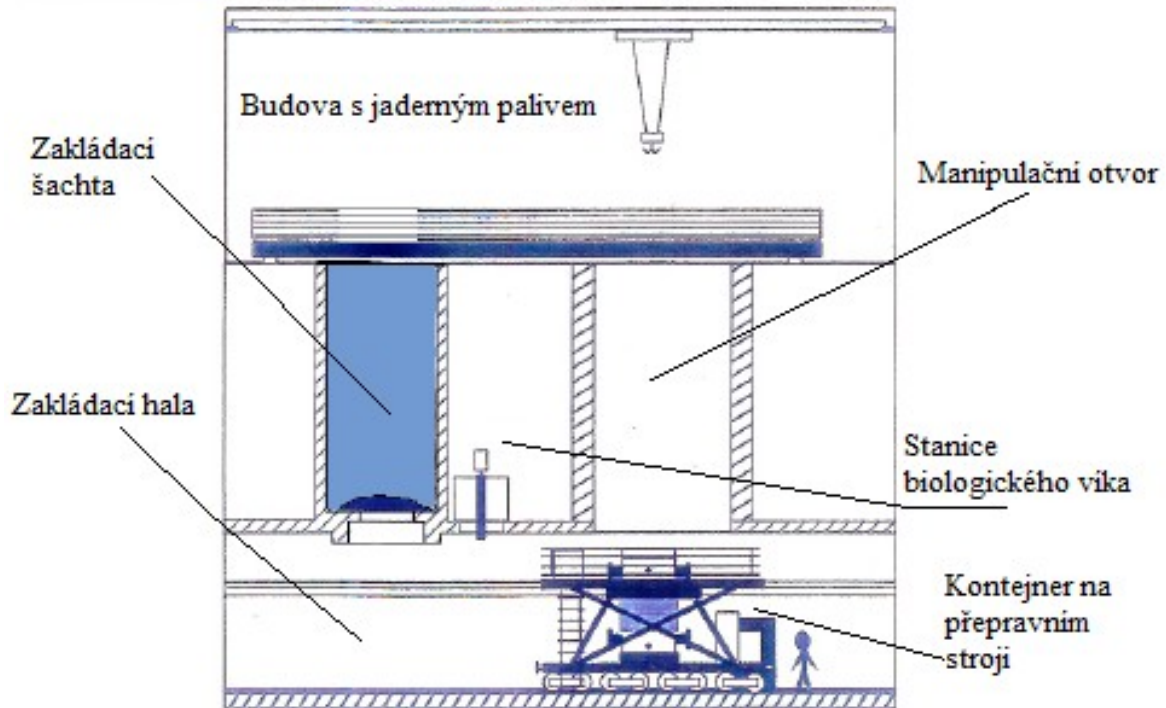


Obrázek 2 - Jaderná elektrárna EPR (1650 MWe) pohled dovnitř komplexu [15]



Stanice biologického víka je umístěna v budově s jaderným palivem a je mezi manipulačním otvorem a zakládací šachtou. V prostoru zakládací haly se pohybuje přepravní stroj s kontejnerem. Jednotlivé rozmístění stanic je dobře patrné z obrázku 3 níže.

Obrázek 3 - Jednotlivé části budovy s jaderným palivem [3]



Samotná BLHS se skládá z polohovací konstrukce a konstrukce zvedáku. Pod jejím prostorem se na kolejích pohybuje přepravní zařízení a na něm je umístěn transportně skladovací kontejner na použité palivo. Přepravní zařízení s prázdným kontejnerem se pohybuje ve směru od manipulačního otvoru k zakládací šachtě. Během pojezdu k zakládací šachtě se zastaví nejdříve pod manipulačním otvorem, kde se zkontroluje těsnění krytu biologického víka. Provede se kontrola hermetičnosti víka. Dále se provedou další nezbytné operace.

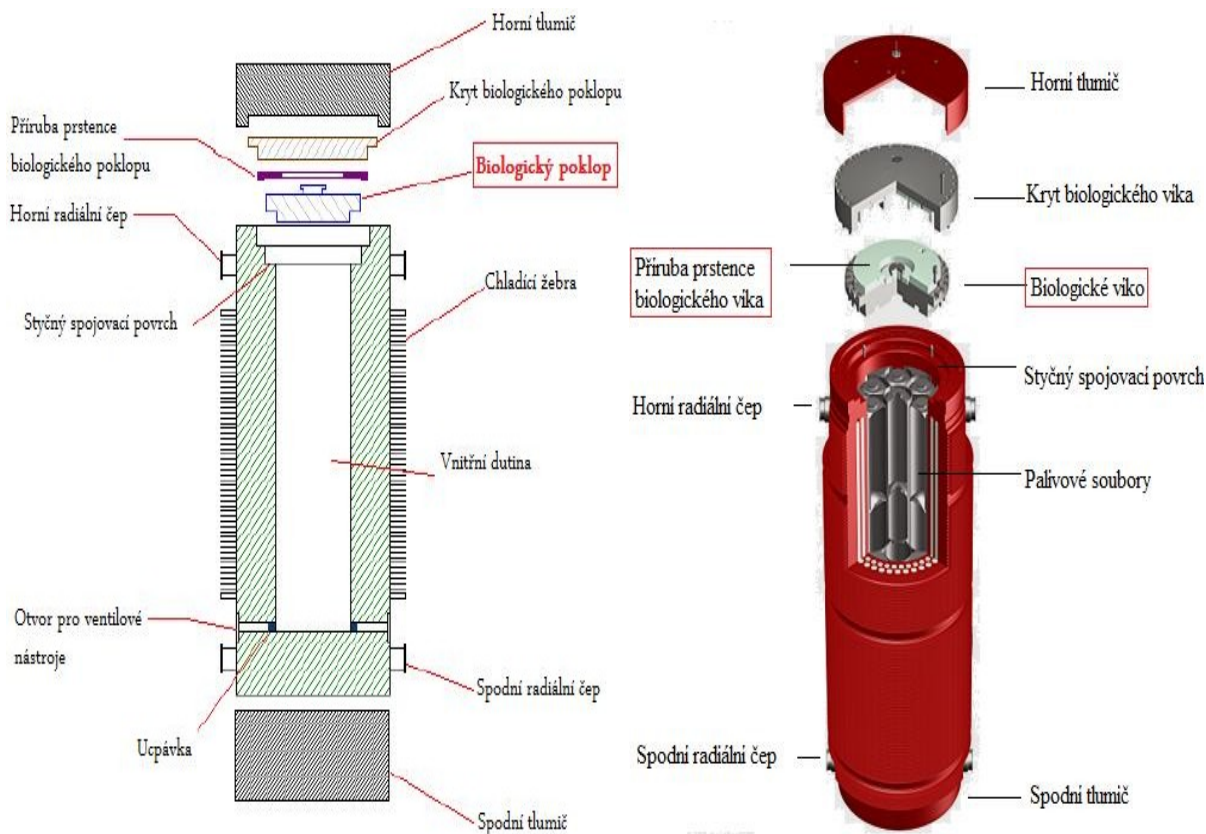
Po ukončení všech operací se uzavře manipulační otvor a přepravní stroj s kontejnerem se přemístí pod BLHS. Jelikož osa biologického víka a osa zachycovače stanice nemusí být totožné, tak se uvede do činnosti polohovací zařízení a nasměruje se osa zachycovače na osu víka. V okamžiku, kdy jsou osy totožné, zafixuje se poloha stanice a pomocí šroubového zvedáku se vyzvedne biologické víko kontejneru a umístí se na podpěru přepravního stroje. Tím končí úloha stanice a přepravní stroj s kontejnerem dále pokračuje k zakládací šachtě, avšak už bez víka, které je odloženo na podpěře přepravního stroje. Podpěra přepravního stroje je navržena tak, aby se mohlo zkontrolovat nebo popř. vyměnit těsnění víka. Poté, co se dostane přepravní stroj pod zakládací šachtu, je kontejner naplněn použitými palivovými soubory. Ve chvíli, kdy jsou všechny činnosti provedeny, vrací se přepravní stroj s kontejnerem zpět k BLHS. Víko je zde vyzvednuto z podpěry na přepravním stroji a je zpět umístěno na kontejner. Během manipulace s víkem nesmí být přítomny ve stanici fyzicky žádné osoby.

Manipulace jsou prováděny bez vizuální kontroly a bez přítomnosti osob. Tento proces je řízen dálkově z kontrolní místnosti. Následuje poslední zastávka pod manipulační otvor, kde se sešroubuje biologické víko a jeho příruba. Provede se kontrola těsnosti víka. Kryt biologického víka se umístí zpět a přišroubuje se ke kontejneru. Provedou se poslední nezbytné operace.

Transportně skladovací kontejner TN13/2

Kontejner TN13/2 se používá pro přepravu použitých palivových článků z budovy jaderného paliva elektrárny do přepracovacího závodu. Hlavní předností je, že ho lze opětovně po přepravě použít pro další transport použitých palivových souborů. Pro lepší představu, která část kontejneru je přemísťována pod BLHS, je zde umístěn obrázek 4, kde lze vidět transportně skladovací kontejner s popisem jednotlivých částí. Jedná se o typ kontejneru TN13/2. V červeném rámečku je zde zvýrazněno biologické víko (poklop). Při zvedání je zdvihána i příruba prstence biologického víka. Nad biologickým víkem a prstencem je tzv. kryt biologického víka a nad ním je ještě umístěn horní tlumič. Pro větší odvod tepla jsou na obvodu kontejneru chladicí žebra. Hmotnost zvedaných součástí (víka a příruby) činí zhruba 5000 (kg).

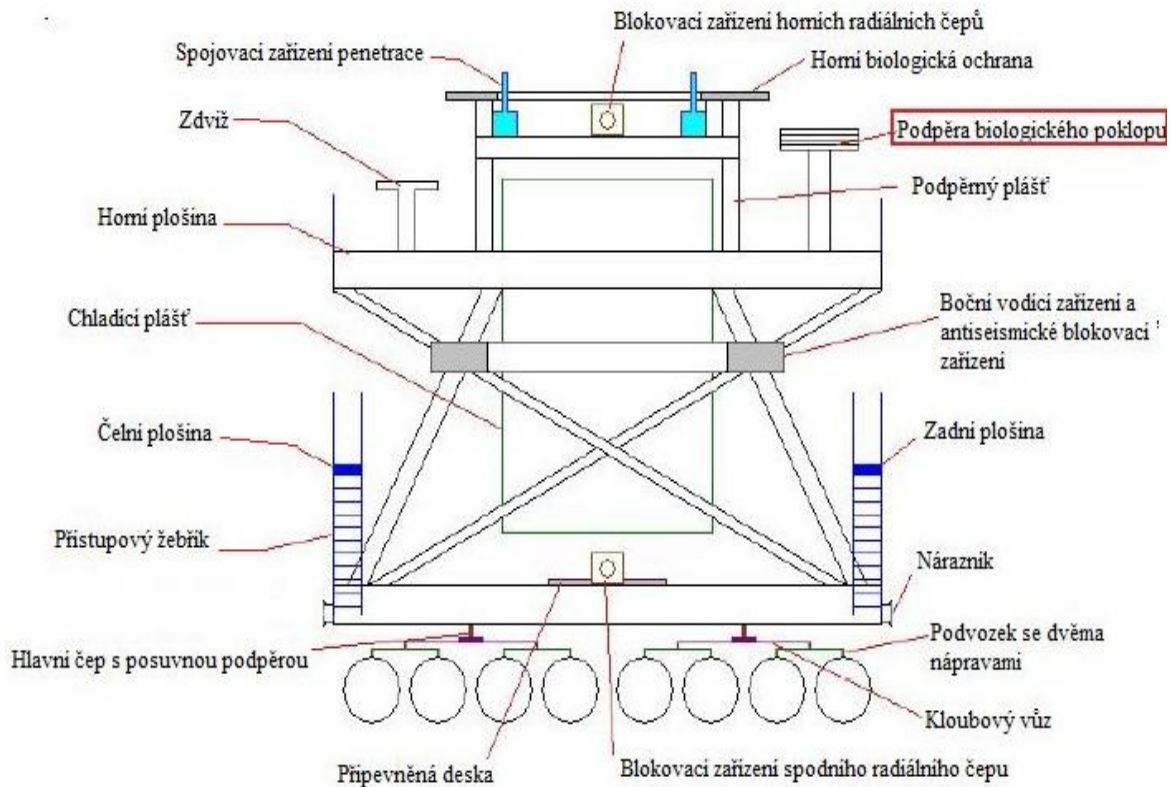
Obrázek 4 – Vlevo - Transportně skladovací kontejner na vyhořelé jaderné palivo typ TN13/2 [3] – popis jednotlivých částí; vpravo - 3D ukázka modelu kontejneru [16]



Převravní stroj

Na obrázku 5 na této straně je vidět skica převravního stroje s popisem hlavních částí, ve kterém je umístěn převravní kontejner. V červeném rámečku je zvýrazněna podpěra biologického víka (poklopu). Během transportu je víko umístěno na tuto podpěru a z této podpěry je opět zdviháno.

Obrázek 5 - Skica převravního stroje s popisem jednotlivých částí [3]



3. Procesy při vyvážení použitých palivových souborů

Tato kapitola je věnována popisu jednotlivých činností během vyvážení palivových souborů u elektrárny EPR. Kapitola popisuje, jak se do těchto činností zapojují stanice BLHS. Je třeba poznamenat, že níže uvedené informace o vyvážení jsou platné pro jadernou elektrárnu EPR a vyvážení v jiných typech jaderných elektráren se může lišit. Veškeré informace níže byly čerpany z textu [3] spolu s obrázky. Tento text neobsahuje veškeré procesy, které se dějí během vyvážení.

Procesy při vyvážení:

1) Příprava budovy s jaderným palivem [3]

Příprava těžkého jeřábu zvedací stanice, příprava přepravního stroje pro kontejnery a příprava zakládací haly. Na přepravním stroji se provedou běžné kontroly a prohlídky. Zakládací šachta se zaplní, provede se kontrola hermetičnosti penetrace, pravidelné inspekce a další zkoušky.

2) Příjezd tahače pod zvedací stanicí [3]

Na kontejneru se provede vizuální kontrola a kontrola radiologické aktivity. Provede se také radiologická zkouška spodní části biologického víka kontejneru. Následně se vyzdvihne kontejner těžkým jeřábem.

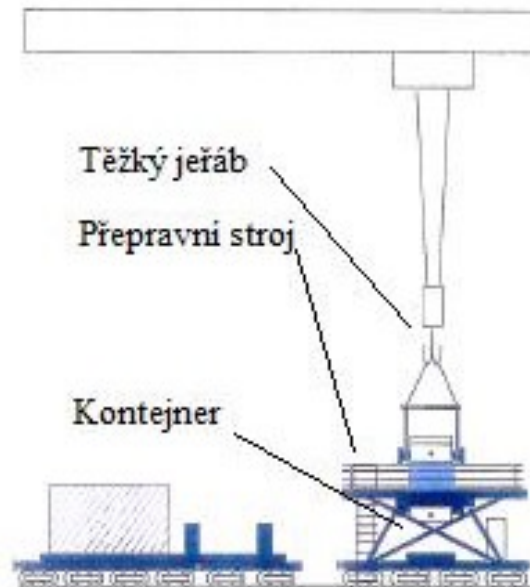
3) Zvedání a přenesení kontejneru na přepravní stroj [3]

Na chladicí žebra kontejneru se umístí sondy na měření teploty a následně je kontejner vyzvednut a přepravní stroj se umístí pod kontejner. Kontejner se umístí do přepravního stroje. Pomocí monitorovaných šroubových zvedáků, které svoji silou působí na spodní radiální čepy a na kloubovou desku se provede nastavení a umístění kontejneru. Horní radiální čepy jsou zablokovány a jsou odejmuty laserová čidla, měřící zařízení a zvedací nosník.

Obrázek 6 - Přepravní stroj s kontejnerem [15]



Obrázek 7 - Transport kontejneru na přepravní stroj [3]



4) Přeprava ze zvedací stanice do budovy s jaderným palivem [3]

K tahači je připojen přepravní stroj. Připojení se týká především připojení elektrického napájení a dodávkou stlačeného vzduchu. Následně je přesunut přepravní stroj do budovy s jaderným palivem pomocí tahače nebo pomocí vlastního pohonu. Během transportu už jsou otevřeny dveře budovy a nainstalovány mobilní kolejnice. Při přesunutí do zakládací haly je přepravní stroj automaticky vycentrován vůči vodícím kolejnícím, které zde byly umístěny. Tahač je poté odpojen a odstraněny jsou též odstraněny mobilní kolejnice. V zakládací hale se zavřou dveře a přepravní stroj je přesunut k otevírající manipulační stanici. Jsou uzamčena antiseizmická blokovací zařízení.

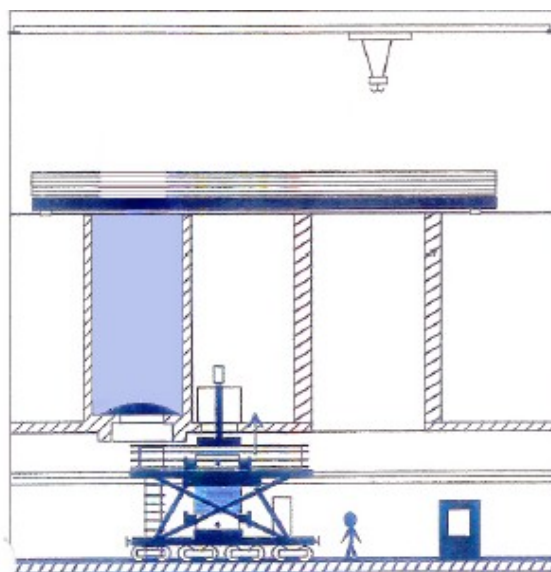
5) Příprava kontejneru v budově s jaderným palivem [3]

Manipulační otvor je otevřen. Provede se kontrola těsnění krytu biologického víka a to hlavně jeho nepropustnost. Pomocným jeřábem se transportuje spojovací prstenec na přepravní stroj a dále se sejme spodní a horní kryt ústí kontejneru a je zkontrolována jejich radiologická aktivita. Dále se provede kontrola nepropustnosti biologického víka a jeho příruby. Kontejner se připojí k odvětrávacímu okruhu přepravního stroje a naplní se demineralizovanou vodou. Nyní lze odšroubovat přírubu biologického víka a uzavřít manipulační otvor.

6) Odstranění biologického víka kontejneru [3]

Při sejmutí biologického víka z kontejneru se nachází přepravní stroj pod BLHS. Na přepravním stroji jsou uzamčena antiseizmická blokovací zařízení. Odstraní se spodní deska penetrace. Uvede se do činnosti polohování stanice a nasměruje osu stanice na osu víka. Zafixuje se poloha stanice proti případnému nežádoucímu posuvu. Válec manipulační stanice biologického víka je natankován a poté je spuštěn zachycovač BLHS. Uzavřou se čelisti zachycovače a biologické víko je zvednuto a uloženo na podpěře přepravního stroje.

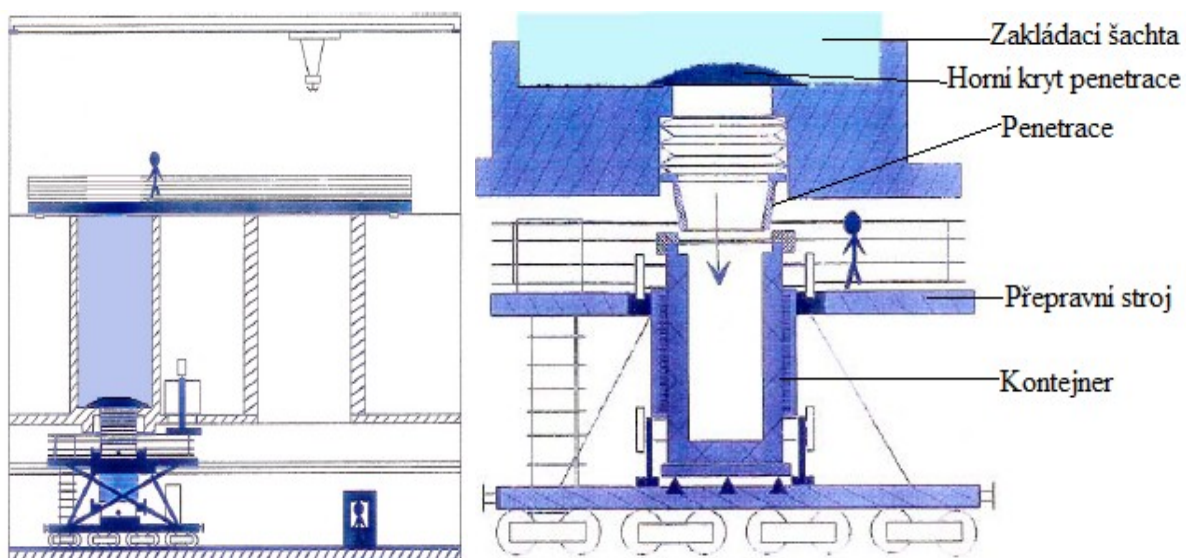
Obrázek 8 - Odstranění biologického víka z kontejneru [3]



7) Přeprava a spojení penetrace [3]

V prostoru pod zakládací šachtou se zablokují antiseizmická blokovací zařízení. Proveďte se odsátí vzduchu pod spodní částí biologického víka. Připojí se penetrace ke kontejneru a provede se kontrola hermetičnosti těsnění mezi penetrací a kontejnerem pomocí natlakovaného okruhu stlačeného vzduchu mezi těsněními. Kontejner je ještě v tuto chvíli prázdný, takže je možné, aby obsluha zkontrolovala těsnění biologického víka. Poté však musí zakládací halu opustit, jelikož se bude zaplňovat kontejner použitými palivovými soubory.

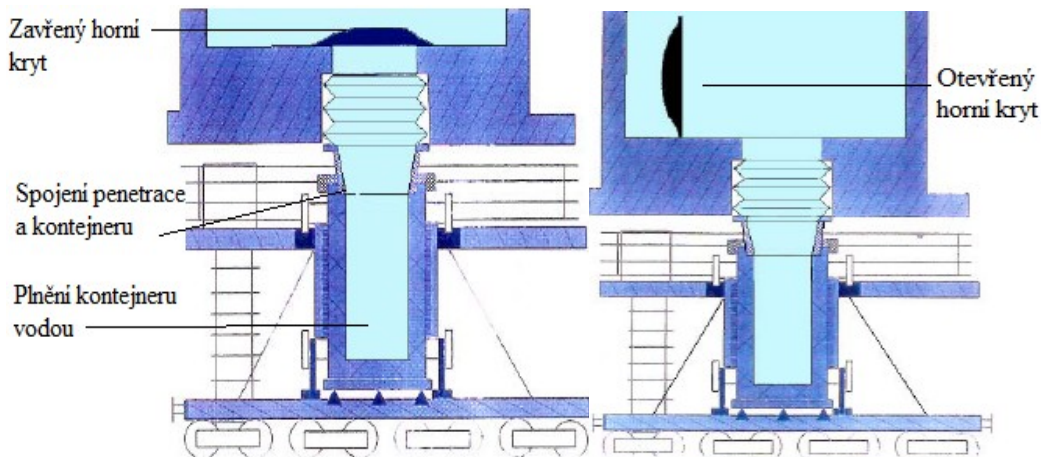
Obrázek 9 - Vlevo – Penetrace spojená s kontejnerem; Vpravo – Připojení k penetraci [3]



8) Otevření penetrace [3]

Při otevření odvodu odvětrání penetrace se začne penetrace a kontejner plnit vodou s obsahem bóru. Zaplňování vodou bude probíhat do té doby, než se vyrovnají tlaky na obou stranách horního krytu penetrace. Poté lze otevřít horní kryt penetrace.

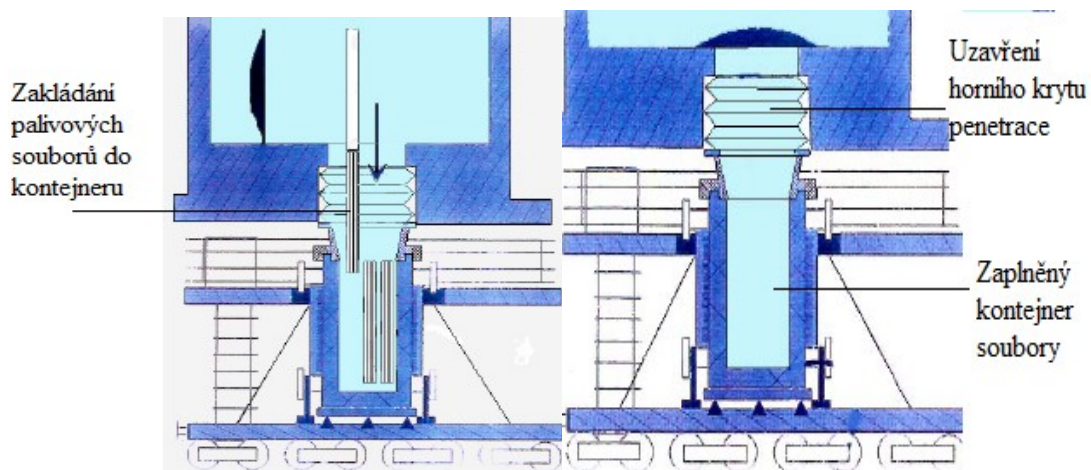
Obrázek 10 - Vlevo – Zaplňování kontejneru a penetrace; Vpravo – Otevření horního krytu penetrace [3]



9) Zakládání palivových souborů do přepravního kontejneru a odpojení [3]

Před zakládáním paliva se provede vizuální kontrola vnitřní dutiny kontejneru a jsou zkontrolovány též vložky a koš v kontejneru. Nyní lze transportovat palivové soubory do kontejneru skrze penetraci. Po ukončení transportu všech palivových souborů a zaplnění kontejneru se uzavře horní kryt penetrace. Následuje kontrola nepropustnosti těsnění horního krytu penetrace. Po kontrole se vyprázdní penetrace. Ta se poté může vysušit a vypláchnout a odpojí se od kontejneru.

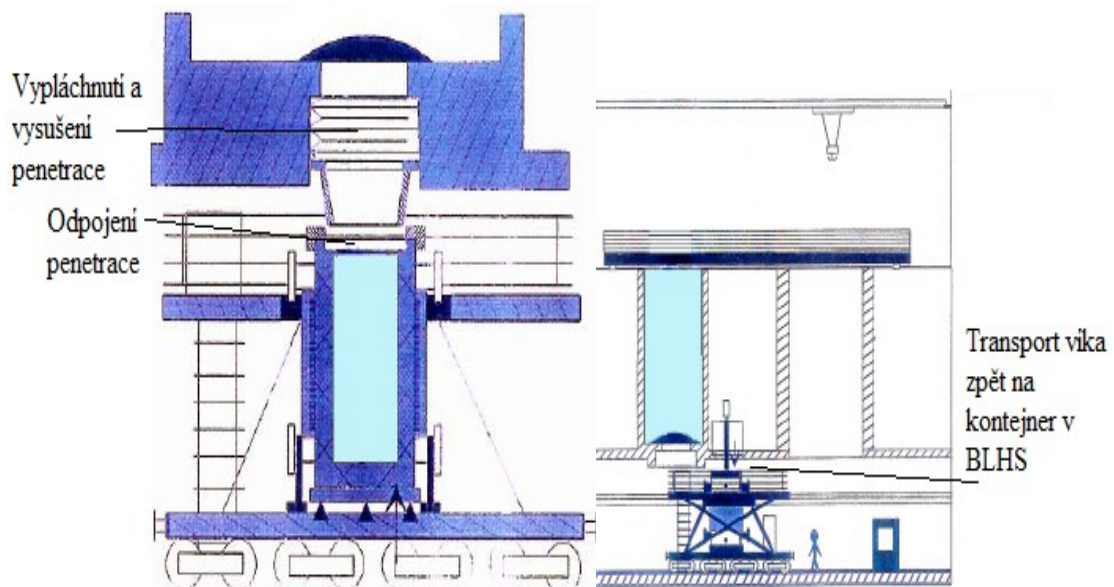
Obrázek 11 - Vlevo - Zaplňování palivovými soubory; Vpravo - Uzavření horního krytu penetrace [3]



10) Umístění biologického víka zpět na kontejner [3]

Při přesunu přepravního stroje musí být nejdříve odblokovány antiseismické blokovací zařízení. Přepravní stroj s kontejnerem, který obsahuje použité palivové soubory, se umístí pod stanici biologického víka. V této chvíli se opět zablokuje antiseismické zařízení. Biologické víko je vyzvednuto z podpěry a pomocí BLHS je zpět umístěno na kontejner. Před vstupem obsluhy do zakládací haly se musí provést změření radiologické aktivity a až poté se může vstoupit do haly.

Obrázek 12 - Vlevo - Odpojení penetrace; Vpravo - Biologické víko umístěné zpět na kontejner [3]



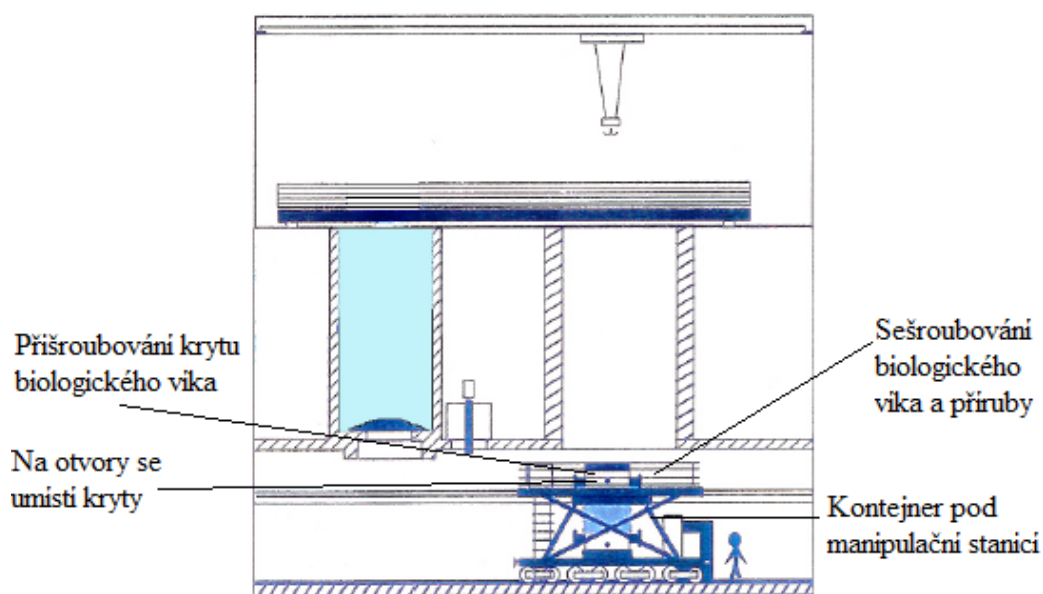
11) Kontejner pod manipulační stanicí [3]

Antiseismická blokovací zařízení jsou opět odblokována a přepravní stroj je umístěn pod manipulačním otvorem. Ve chvíli, kdy je přepravní stroj pod manipulačním otvorem, tak se provede sešroubování biologického víka a jeho příruby. Následuje kontrola těsnosti biologického víka. Kryt biologického víka se umístí na kontejner a připevní se ke kontejneru šrouby. Dle potřeby se vyprázdní kontejner. Pomocí ucpávek se poté uzavřou otvory kontejneru. Demineralizovaná voda se poté použije pro opláchnutí kapalinového okruhu a ventilových nástrojů. Provede se kontrola radiologické aktivity kontejneru. Tato kontrola spočívá v tom, že se měří dávky gama záření a neutronového záření.

12) Přemístění přepravního stroje do zvedací stanice [3]

Přepravní stroj se odpojí od závodu. Na přepravní stroj se umístí ochrana proti špatnému počasí. Otevřou se dveře zakládací haly a nainstalují se mobilní kolejnice a. Dále se připojí přepravní stroj za tahač. Po odtažení ke zvedací stanici jsou odstraněny mobilní kolejnice a zavřou se vrata zakládací haly.

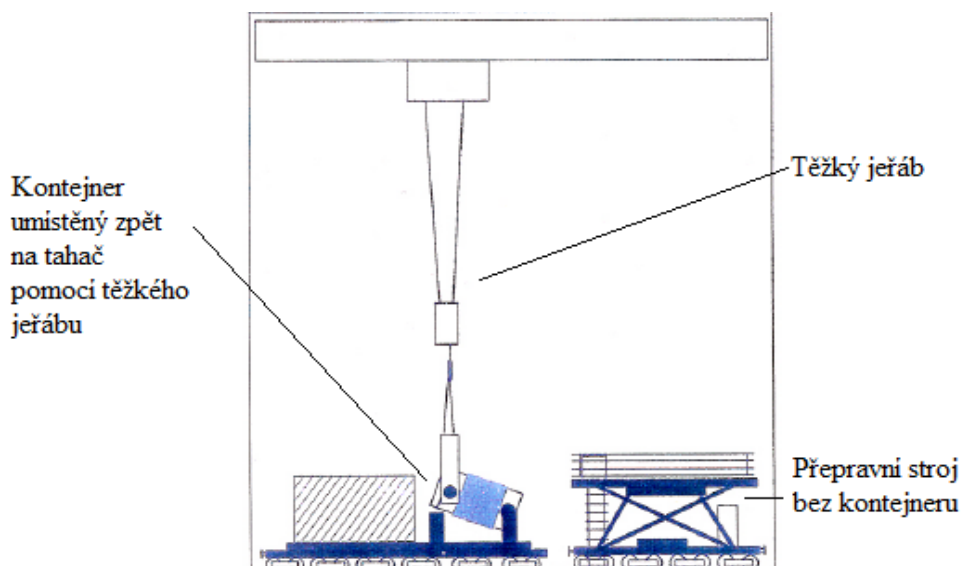
Obrázek 13 - Kontejner pod manipulační stanicí [3]



13) Přemístění kontejneru z přepravního stroje na tahač [3]

Přepravní stroj se přemístí pod těžký jeřáb a odstraní se ochrana proti špatnému počasí. Kontejner se propojí s manipulačním nosíkem. Poté se uvolní blokovací zařízení horních a dolních čepů a kontejner se těžkým jeřábem vyzdvihne a přemístí na tahač.

Obrázek 14 - Umístění kontejneru na tahač [3]



4. Pevnostní výpočet polohovacího zařízení – teoretická část

Hned na úvod je třeba poznamenat, že se jedná pouze o informativní pevnostní výpočet. Pevnostní výpočet je zpracován dle normy KTA 2201.4 [14]. Jedná se o německou normu KTA „Požadavky na ověření bezpečnosti mechanických a elektrických komponent proti zemětřesení“. Seizmický výpočet se řeší pomocí **tzv. kvazistatické metody**. Kvazistatická metoda se někdy uvádí pod pojmem „Přibližná metoda ekvivalentního statického seizmického zatížení“. Jedná se o nejjednodušší postup řešení. Standartní výpočet se řeší dynamicky. Vzhledem k tomu, že v této práci má být zpracován pouze informativní pevnostní výpočet, je kvazistatická metoda vhodnou alternativou. Zde jsou uvedeny základní pojmy, které jsou použity v pevnostním výpočtu. Pevnostní výpočet je rozdělen na dvě části a to na teoretickou část a praktickou část. Praktická část je uvedena v kapitole 9.

Definice základních pojmů:

➤ **Seizmické zatížení**

Zatížení, které vznikne pohybem základové půdy vyvolané zemětřesením.

➤ **Statické zatížení**

Zatížení, které nevyvolá významné zrychlení konstrukce nebo konstrukčních prvků. Statické zatížení je v průběhu času neměnné a bez setrvačných účinků.

➤ **Dynamické zatížení**

Zatížení, které vyvolá významné zrychlení konstrukce nebo konstrukčních prvků.

➤ **Kvazistatické zatížení**

Jedná se o dynamické zatížení, které je reprezentované ve statickém modelu pomocí ekvivalentního statického zatížení

➤ **Účinek zatížení**

Jedná se o síly, momenty, přetvoření apod.

➤ **Akcelerogram**

Záznam průběhu zrychlení v čase pro daný směr (vertikální zrychlení \cong 2/3 horizontálního zrychlení) [4].

➤ **Spektrum odezvy zrychlení**

Funkční závislost odezvy na kinematické buzení daným akcelerogramem v určitém místě a směru [4].

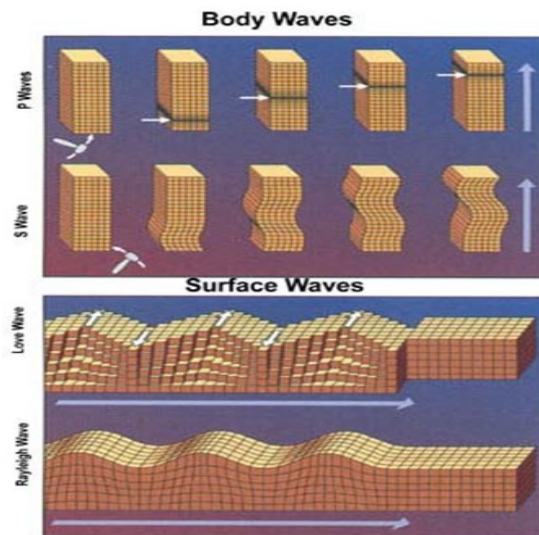
➤ **Maximální výpočtové zemětřesení (Safety Shutdown Earthquake)**

Nejsilnější zemětřesení, které se může potenciálně vyskytnout v dané lokalitě jaderné elektrárny. Označení takového zemětřesení je pod zkratkou SSE, SL2, S2 [4].

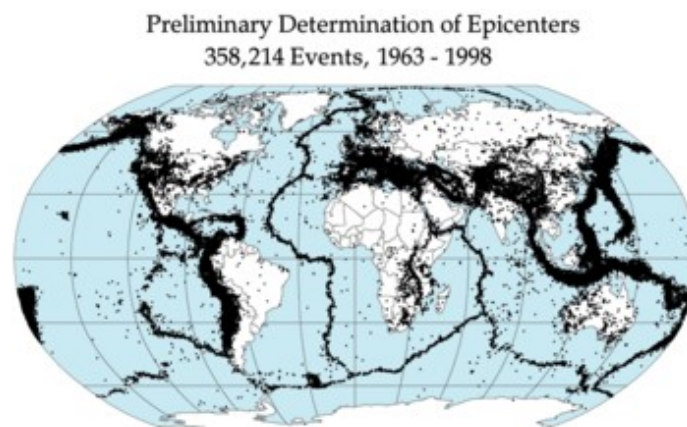
4.1. Zemětřesení – základní pojmy, výpočet

Při zemětřesení dojde k pohybu zemské kůry, při kterém se uvolňuje nahromaděné napětí. Projevuje se krátkodobými velmi rychlými pohyby zemského povrchu. Zemětřesení lze rozdělit na technickou a přírodní seizmicitu. Technická seizmicita je způsobena činností člověka a přírodní je nezávislá na působení člověka. Jedním z projevů zemětřesení jsou seizmické vlny, které se šíří z ohniska zemětřesení. Mezi seizmické vlny patří tzv. P-vlny, S-vlny, Loveovy, Rayleighovy vlny. Pro vyjádření velikosti otřesů se dnes používají dvě veličiny, které jsou magnitudo a makroseizmická intenzita. Magnitudo se zjišťuje z maximální amplitudy seizmometru a pro hodnocení účinků zemětřesení na konstrukci se nepoužívá. Pod pojmem intenzita zemětřesení se rozumí veličina, která se určí na základě pozorování makroseizmických účinků daného zemětřesení. Intenzita je závislá na velikosti způsobených škod zemětřesením. Velikost intenzity se mění se vzdáleností od epicentra zemětřesení, přičemž s větší vzdáleností od epicentra klesá. Tyto informace byly čerpány z přednášky [4] a internetového zdroje [17].

Obrázek 15 - Druhy vln při seizmické události [4]



Obrázek 16 - Ohniska zemětřesení mezi roky 1963-1998, epicentra odpovídají okrajům litosférický desek [17]



Postupy řešení odezvy na seizmické buzení

- Akcelerogram – řešení v časové oblasti, buzení akcelerogramy, časový průběh seizmického zatížení
- Pomocí lineárních spekter odezvy – kdy lze získat maximální obálkovou hodnotu zrychlení

Pro frekvenci od f_1 až obecně f_N s krokem Δf se stanoví maximální odezva (např. zrychlení). Následně se vytvoří grafy pro jednotlivé směry v závislosti na frekvenci popř. na útlumu. Grafy spektra zrychlení byly převzaty ze současného řešení společně s hodnotami maximálních zrychlení z těchto převzatých spekter. Data byla čerpána z výpočetní zprávy BLHS od společnosti Škoda JS [12] a informace o seizmicitě z internetového zdroje [21].

4.2. Určení zatížení

Zatížení lze určit dle následujících metod:

- a) Metoda spektra odezvy
- b) Metoda časového průběhu zatížení
- c) **Substituční metoda**

Tato práce dále rozebírá do větších podrobností tzv. Substituční metodu.

Substituční metoda

Substituční metoda se může použít v případě, kdy celý systém vykazuje dostatečně homogenní hmotnostní rozdělení. V případech systémů, které jsou složeny z několika podsystémů. Výpočet posuvů a napětí systému může být proveden pomocí náhradního statického zatížení. Náhradní zrychlení pro i -tý směr se spočte dle následujícího vztahu níže.

Vztah pro náhradní statické zatížení

$$a_{E,i} = e_i \cdot a_{f,i} \quad R. 1$$

Kde:

$a_{E,i}$ = náhradní (substituční) zrychlení pro i -tý směr

$a_{f,i}$ = největší hodnota zrychlení z grafů spektra odezvy pro i -tý směr

$e_i = 1,5$ - bezpečnostní koeficient, faktor skrývající příspěvek několika vlastních frekvencí pro i -tý směr, hodnota bezpečnostního koeficientu byla převzata z literatury [3] z tabulky 4.3.

Určení hodnoty zrychlení $a_{f,i}$

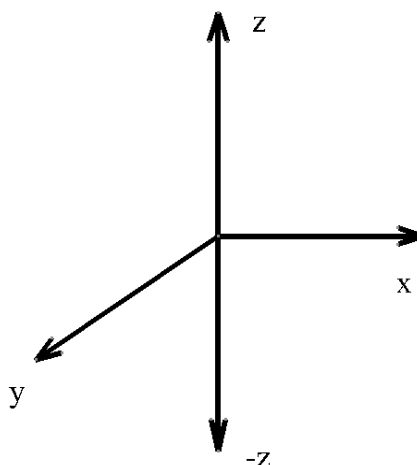
V prvním kroku se provede na funkčním modelu modální analýza. Zaznamená se první významná vlastní frekvence f_i v každém směru, na základě hodnocení participačních hmotností. Z grafů seizmických spekter pro danou výškovou úroveň se pak pro vypočtené frekvence odečtou hodnoty zrychlení. Tyto hodnoty zrychlení se ještě vynásobí bezpečnostním koeficientem dle normy. Tím se dostane náhradní zrychlení ve směrech X, Y, Z, kterým se staticky zatíží tento model. Spektrum odezvy seizmického děje je uvažováno s nadmořskou výškou 8,5 m a tlumením 7%. Zrychlení součástí vynásobené faktorem e_i se

zahrnutím gravitace je v tabulce níže. Hodnoty zrychlení součástí jsou platné pro současné konstrukční řešení. Jedná se o náročný výpočet, který není obsahem této práce, proto se převezmou data z původního řešení. Výpočet se provádí metodou konečných prvků na výpočtovém modelu, který se vytvořil v programu NX 8,5. V praktické části je poté postup vytvoření výpočtového modelu, nastavení výpočtového modelu, přehled použitých materiálů a dosažené výsledky.

Tabulka 1 – Náhradní zrychlení zatížení vynásobené bezpečnostním faktorem [12]

Směr	Osa	Náhradní zrychlení součástí [m/s ²]
Horizontální	X	11,272
Horizontální	Y	19,527
Vertikální – záporný směr	Z-	-23,260
Vertikální – kladný směr	Z+	3,640

Obrázek 17 - Souřadný systém pro zrychlení součástí



4.2.1. Dimenzování součástí - provozní zatížení

V případě analytického výpočtu jednotlivých komponent a jejich dimenzování je třeba definovat provozní zatížení. Provozním zatížením se má na mysli zatížení, které je od hmotnosti víka a hmotnosti zařízení. Hmotnost víka činí zhruba 5000 kg a hmotnost celého zařízení BLHS se ocenila na 1000 kg. Hmotnost zařízení bude ve skutečnosti nižší, ale pro konzervativní přístup se zvolila větší hmotnost. Z těchto poznatků lze odvodit gravitační sílu od jednotlivých hmotností s gravitačním zrychlením $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Provozní zatížení

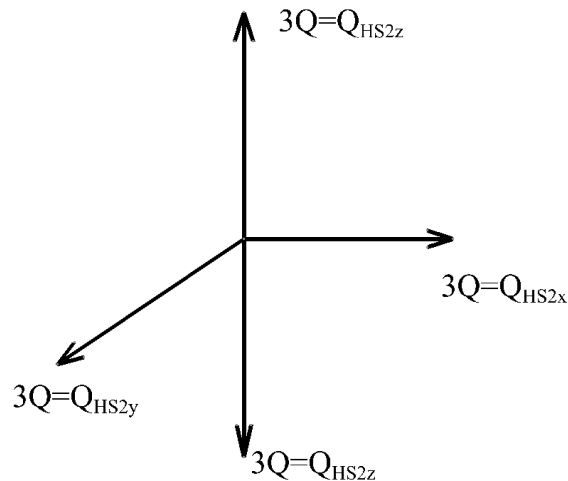
$$Q = m_{VÍKA} \cdot g + m_{ZAŘ} \cdot g = 5000 \cdot 9,81 + 1000 \cdot 9,81 = 58860 \text{ N} \rightarrow \underline{Q = 60000 \text{ N}} \quad \text{R. 2}$$

Po zaokrouhlení se volí výsledné provozní zatížení $Q = 60000 \text{ N}$.

4.2.2. Dimenzování součástí – zohlednění seizmických účinků

Při dimenzování jednotlivých součástí je třeba zohlednit seizmické účinky. Pro zohlednění těchto účinků se bude uvažovat trojnásobek provozního zatížení. Bude se následně uvažovat, že tento trojnásobek provozního zatížení působí ve všech směrech, X, Y a Z. Takto definované seizmické zatížení je velmi konzervativní.

Obrázek 18 - Seizmické zatížení použité v dimenzování komponent



Seizmické zatížení pro směry x, y a z

$$Q_{HS2x} = Q_{HS2y} = Q_{HS2z} = 3 \cdot 60000 = 180000 N$$

R. 3

4.3. Kategorie zatížení

Kategorií zatížení se rozumí, jakým způsobem je konstrukce zatěžována. Způsoby zatěžování se dají rozdělit do těchto čtyř kategorií.

Základní zatížení - H

Konstrukce je zatíženo obecně gravitačním zrychlením $9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ a je označováno zkratkou H.

Přídavné zatížení – Z

Jedná se o tzv. teplotní zatížení a další. Označuje se pod zkratkou Z.

Speciální zatížení – S

Jedná se o speciální zatížení dle normy DIN 15 018-1, účinky brždění, statické a dynamické testování. Označuje se pod zkratkou S.

Speciální zatížení – S2

Pod speciálním zatížením označovaným zkratkou S2 se skýtá účinek zemětřesení a silové účinky, které způsobuje zemětřesení. Zatížení během seizmické události se vyhodnocuje pomocí tzv. kvazistatické metody, která byla popsána výše v textu.

4.4. Určení dovoleného napětí

Pro dimenzování a kontrolu všech komponent je nutné definovat dovolené napětí. Dovolené napětí při podmínkách zatížení H a HS2 pro součásti je podle vztahů níže. Následující tabulky byly převzaty ze specifikace [3]. Na počátku je třeba určit referenční hodnotu napětí a z tohoto napětí se podle kategorie napětí a způsobu zatížení určí hodnota dovoleného napětí pro jednotlivé materiály.

4.4.1. Referenční hodnota napětí

Pro nerez materiál se smluvní mez kluzu vynásobí koeficientem 1,2 a tím se dostane referenční hodnota napětí. Pro černý materiál odpovídá referenční hodnota napětí smluvní mezi kluzu materiálu.

Tabulka 2 - Referenční hodnota napětí pro materiály [3]

Materiál	$R_{v0,2}$: Referenční hodnota napětí
Černý materiál	R_{p02}
Nerez ocel	$1,2 \cdot R_{p02}$

4.4.2. Dovolená napětí pro součásti

Podle typu zatížení se určí dovolené napětí pro materiály. Pro součásti je dovolené napětí bráno z tabulky viz dole.

Tabulka 3 - Koeficienty pro dovolené napětí pro typ zatížení H a HS2 – platí pro součásti [3]

Kategorie napětí		Způsoby zatížení	
		H	HS2
Tlakové a ohybové/ Tahové a ohybové	$a_{cc} \cdot \sigma_z$	0,67	1

Dovolené napětí pro součásti, kde pod označením σ_z se rozumí referenční mez napětí.

$$\sigma_z = R_{v0,2}$$

Dovolené napětí pro součásti při zatížení H [3]

$$\sigma_{D H} = a_{cc} \cdot \sigma_z = 0,67 \cdot \sigma_z \quad \text{R. 4}$$

Dovolené napětí pro součásti při zatížení HS2 [3]

$$\sigma_{D HS2} = a_{cc} \cdot \sigma_z = 1 \cdot \sigma_z \quad \text{R. 5}$$

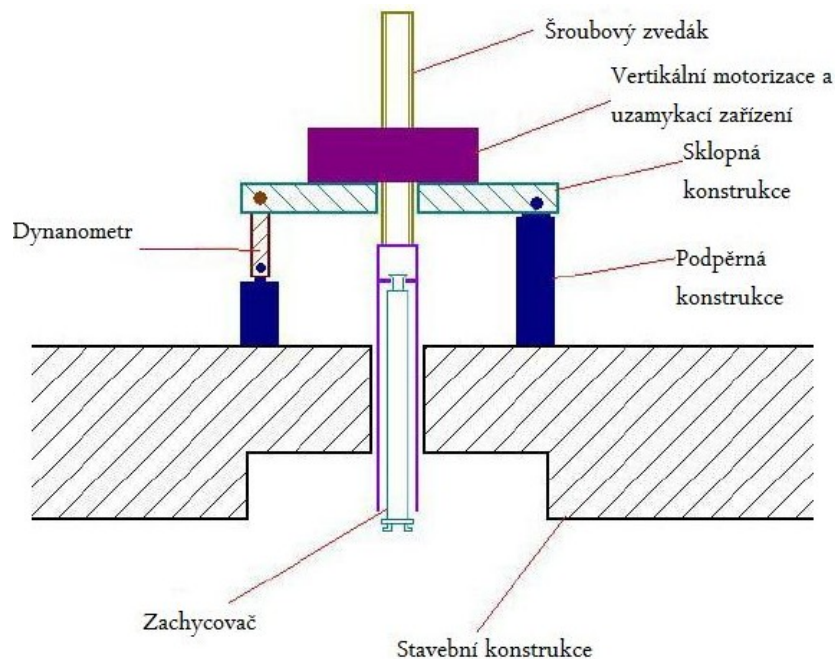
V případě seizmické události je vyšší hodnota dovoleného napětí. V kapitole 9 následuje praktická část informativního pevnostního výpočtu.

5. Konstrukční řešení polohovacího zařízení – současné řešení

Jedná se o současnou konstrukční variantu polohovacího zařízení. Tato stať popíše stávající konstrukční řešení zařízení. Zásadní konstrukční změna se týká principu polohování. Ve stávajícím řešení se polohuje zachycovač se šroubovým zvedákem v polárním souřadnicovém systému namísto nového konstrukčního řešení, kde se bude polohovat v kartézském souřadnicovém systému. Stanice se skládá z těchto základních částí:

- Soustava excentrických pouzder
- Pohony excentrických pouzder
- Vyrovnávací deska
- Šroubový zvedák s pohonem
- Zachycovač
- Elektrické komponenty a dynamometry

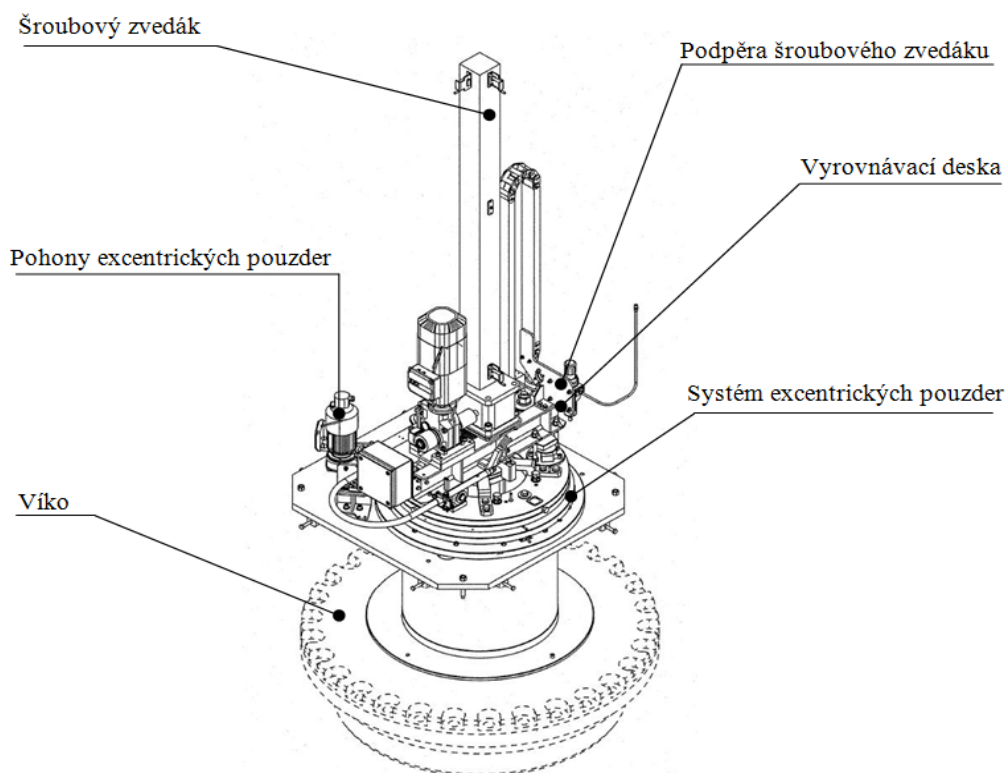
Obrázek 19 - Zjednodušené schéma pro současné řešení [3]



Důležité však bude se zaměřit na samotný systém polohování ve stávajícím řešení, které je úlohou této diplomové práce. Soustava excentrických pouzder se skládá z následujících částí:

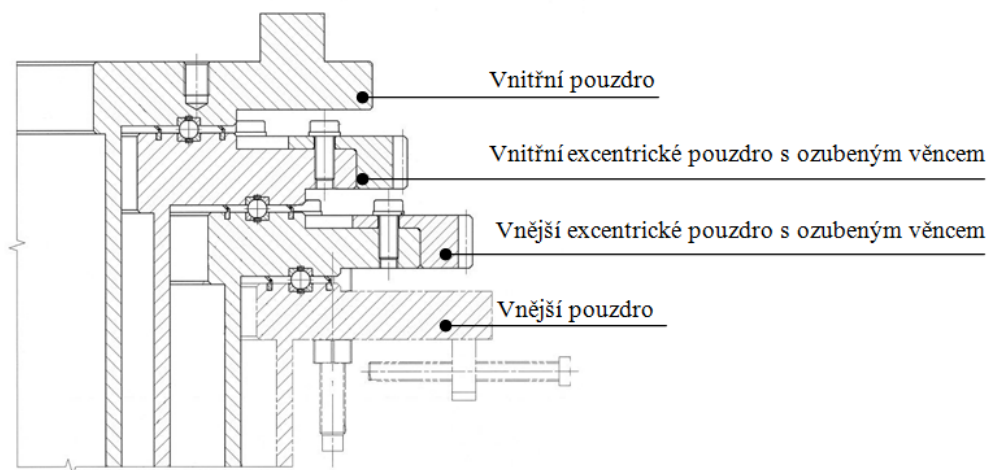
- Vnější pouzdro
- Vnější excentrické pouzdro s ozubeným věncem
- Vnitřní excentrické pouzdro s ozubeným věncem
- Vnitřní pouzdro
- Drátová ložiska

Obrázek 20 - Stávající řešení polohovacího zařízení biologické stanice [10]



Vnější pouzdro se vkládá do primární ocelové konstrukce, která je zabetonována do budovy. Prostor mezi vnějším pouzdem a ocelovou konstrukcí je vyplněn sekundárním betonem. Na vnější pouzdro se umístí ostatní excentrická pouzdra s věnci. Obě excentrická ozubení s excentricitou 7 mm se můžou plně rotačně otáčet a díky vzájemnému otáčení se mění poloha osy zachycovače. Každé z pouzder má svojí horní přírubu a na těchto přírubách jsou umístěny drátové ložiska. Schémata zařízení byla převzata z výkresů, které byly zapůjčeny společností ŠKODA JS [10,11].

Obrázek 21 - Systém excentrických pouzder pro stávající konstrukční řešení [11]



Rotace obou excentrických pouzder je řešena pomocí dvou elektrických pohonů skrze ozubené věnce. V případě výpadku elektrické energie je pro ovládní excentrických pouzder použito manuální ovládací tyče. Pozice pouzder je zabezpečena systémem elektrických pohonů s elektrickými brzdami. V případě abnormálních podmínek můžou být brzdy odbrzděny. Na systému excentrických pouzder je umístěna vyrovnávací deska, která slouží pro přesné horizontální nastavení šroubového zvedáku. Další částí je podpěra šroubového zvedáku, která je na jednom konci přes dva čepy spojena s vyrovnávací deskou. Na druhém konci se nachází dva dynamometry, které měří zatížení na zvedáku. Samotný šroubový zvedák slouží pro zvedání víka. Šroubový zvedák a ostatní komponenty, které slouží pro zdvihání víka, jsou převzaty do nového konstrukčního řešení.

6. Konstrukční řešení polohovacího zařízení – nové řešení

Cílem této práce je nové řešení polohování osy stanice v dané toleranci. Musí se také zohlednit nároky na seizmickou odolnost. Řešení uchycení a zvedání víka není podstatou této práce. Na úvod je třeba uvést požadavky na zařízení, které by se při návrhu měly dodržet. Během navrhování konstrukce zařízení se navrhly dvě konstrukční varianty. U obou variant je popsán princip jejich polohování. Z těchto dvou konstrukčních variant se poté rozpracovala do větších podrobností jen jedna z nich. U těchto dvou variant jsou popsány jejich přednosti a zároveň jejich nevýhody. Na konci kapitoly se zvolí finální konstrukční varianta.

6.1. Hlavní požadavky, které jsou kladené na konstrukci

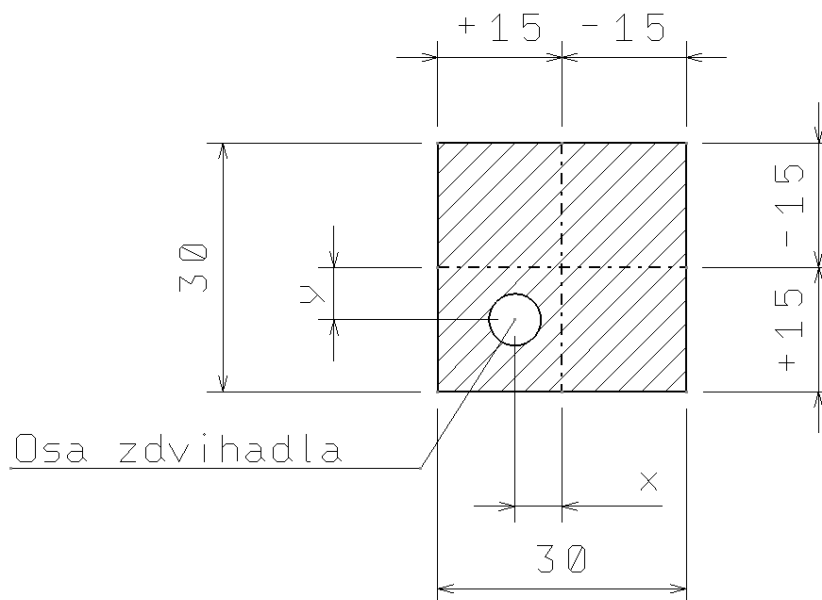
a) Polohování zařízení v kartézském souřadném systému

Zařízení se musí pohybovat v kartézském souřadném systému.

b) Oblast polohování zařízení musí být v rozsahu 30x30 mm

Nové konstrukční řešení polohovacího zařízení bude mít manipulační oblast, kde se bude moct pohybovat šroubový zvedák pro uchycení víka ± 15 mm. Oblast bude mít tedy tvar čtverce s rozměry 30x30 mm. Pro lepší názornost je zde obrázek 22, který vše dostatečně vysvětluje.

Obrázek 22 - Vyšrafovaná oblast polohování zařízení



c) Přesnost polohování zařízení

Přesnost polohování je dána mechanismem, který bude se zařízením pohybovat. Není třeba přesnosti v řádu jako u obráběcích strojů. Maximální nepřesnost polohování se stanovila na hodnotu $\pm 0,5$ mm.

d) Odolnost proti seizmické události

Při seizmické události vznikají síly, které jsou dány zrychleními způsobené zemětřesením. Odolností proti seizmické události se myslí přenos těchto sil do budovy. Podrobnosti o těchto silách vznikajících při zemětřesení se věnuje část pevnostního výpočtu. Konstrukce těmto účinkům musí odolat.

e) Aretace zařízení

Aretací zařízení se rozumí, že musí být nějakým způsobem řešena stálá (neměnná, fixní) poloha stanice.

f) Manuální záloha

V případě ztráty elektrické energie musí být zajištěna ovladatelnost zařízení manuální činností obsluhy.

g) Bezpečnost, spolehlivost a životnost zařízení

Samozřejmostí musí být bezpečnost a spolehlivost zařízení během provozu.

h) Standardizace a zaměnitelnost

Komponenty se navrhnu takovým způsobem, že se sníží počet modelů pro dodávky náhradních dílů. Jednotlivé identické součásti bude možné vzájemně zaměnit a to bez použití doplňků.

i) Náklady na zařízení a během provozu zařízení

Dalším z požadavků jsou minimální náklady na zařízení. Při navrhování konstrukce je žádoucí, co nejvíce preferovat nakupované součásti před vyráběnými komponenty. Je to z hlediska výrobních nákladů celého zařízení. Výroba komponent zvyšuje náklady na celé zařízení.

j) Instalace zařízení

Tím je míněno, že čas potřebný k montáži a demontáži bude maximálně zkrácený. Snížení počtu operací nutných k demontáži a montáži komponent. To platí, jak pro mechanické komponenty, tak i na elektrické, hydraulické a pneumatické komponenty.

k) Údržba zařízení

Konstrukce zařízení by měla být navržena takovým způsobem, aby se minimalizoval čas potřebný k výměně jednotlivých dílů. Části, u kterých se vyžaduje trvalé monitorování, seřizování nebo údržbu, budou snadno a bezpečně monitorovány. Co se týče mazání jednotlivých komponent, tak mazání musí být prováděno rychle a bezpečně.

6.2. Konstrukční varianty

V následující podkapitole jsou představeny dvě konstrukční varianty. V další podkapitole se porovnají tyto dvě varianty a zvolí se finální konstrukční varianta.

6.2.1. Konstrukční varianta č. 1

První varianta, která vykazuje značné nedostatky a celkově dost velkou složitost. Varianta by potřebovala značně dopracovat. Řešení používá klínů k zafixování polohy zvedáku. Idea klínů byla poté použita v následující variantě.

Princip řešení polohování

Polohování šroubového zvedáku je řešeno pomocí dvou stolů a šroubových zvedáků s elektromotory. Stoly se pohybují po lineárních vedeních. Šroubový zvedák je pevně spojen s horním stolem. Součásti jsou umístěny na základové desce. Na obrázku na další straně je vidět vnitřní vestavba vnějšího pláště. Zafixování polohy zařízení je řešeno soustavou klínů umístěných po obvodu vnějšího pláště. Klíny po obvodu vnějšího pláště se pohybují po lineárních vedeních, která jsou přišroubována na vnějším plášti. Klíny jsou umístěny i na čtvercovém profilu, který je pevně spojen se stoly a šroubovým zvedákem.

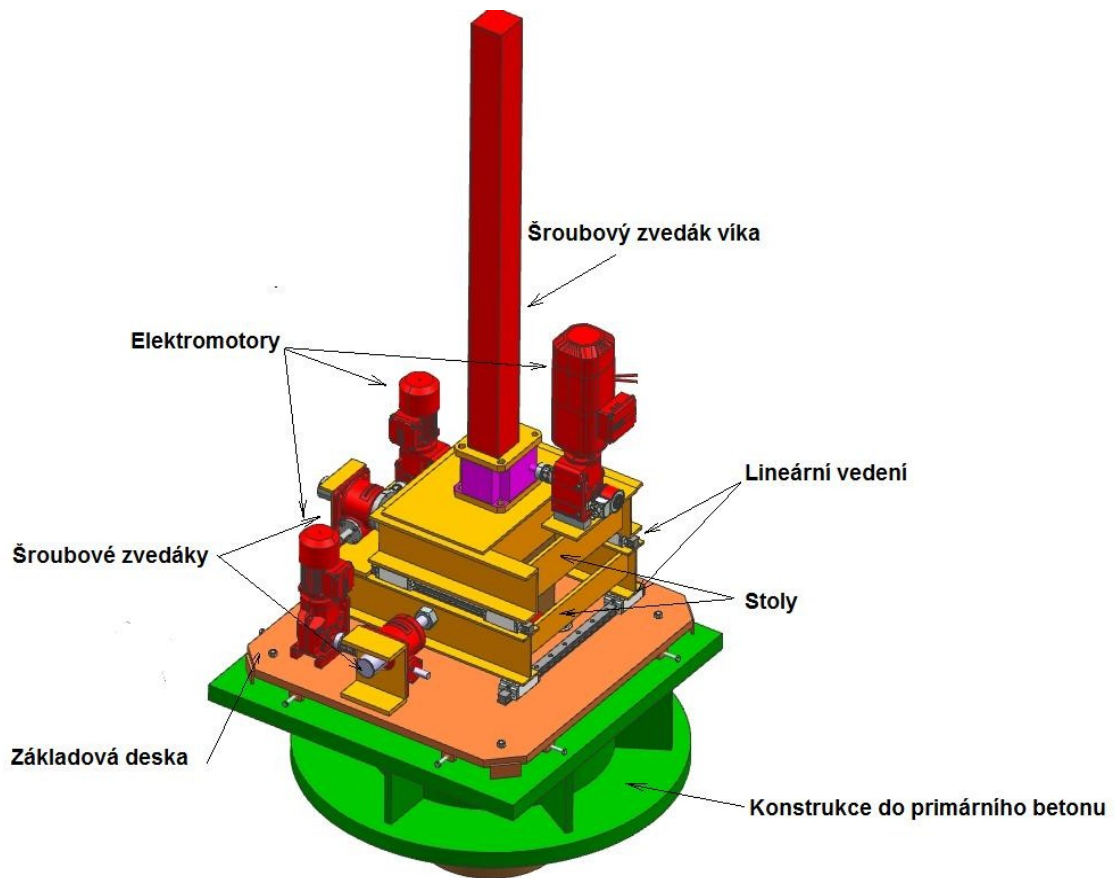
Dále jsou zde pružiny, které slouží pro dotlačení vnějších klínů na klíny na čtvercovém profilu. Nastane-li situace, že se požaduje změna polohy šroubového zvedáku, tak se pomocí jednočinných pneumatických pístů překoná síla pružin. V tu chvíli se klíny na vnějším plášti proti sobě roztáhnou a vytvoří prostor pro zvedák a tím je možné změnit polohu šroubového zvedáku. Když je potřeba po polohování zafixovat polohu zařízení, tak přestanou působit pneumatické jednočinné písty a pružiny svoji silou přitlačí klíny k sobě. Tím je zafixována poloha šroubového zvedáku víka.

V případě výpadku energie nebo při údržbě zařízení je možné manuálně ovládat stanici pomocí šroubů. Na obrázku jsou tyto šrouby vybarveny červenou barvou. Šrouby s maticí slouží pro ovládání horních klínů. Šroub s horním šestihranem ovládá polohu spodních klínů, kdy otvorem v horním klínu prochází šroub volně.

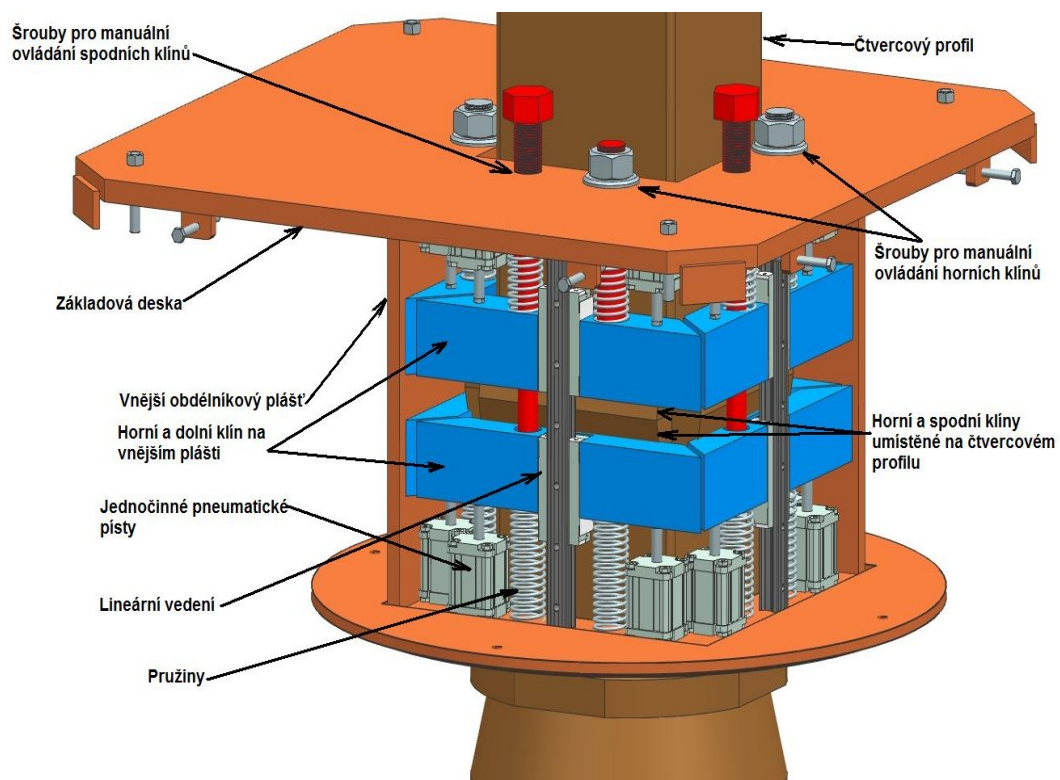
Problémy

Jedná se o variantu, která byla zpracována jako první. Z toho lze usuzovat, že bude mít značné nedostatky, které byly eliminovány v další variantě. Návrh je celkově dosti složitý a počet komponent je také značně vysoký. Na obrázcích je zde představeno celé zařízení s popsáním jednotlivých částí. Při použití této varianty s pružinami by se muselo provést naladění pružin tak, aby vlastní frekvence pružiny byla značně vyšší než frekvence vznikající při zemětřesení. Při špatném naladění by se pružina rozkmitala a v žádném případě by nepřispívala k utlumení celého zařízení, což je věc nepřijatelná.

Obrázek 23 - BLHS – varianta č. 1



Obrázek 24 – Vnitřní části polohovacího zařízení BLHS – varianta č. 1



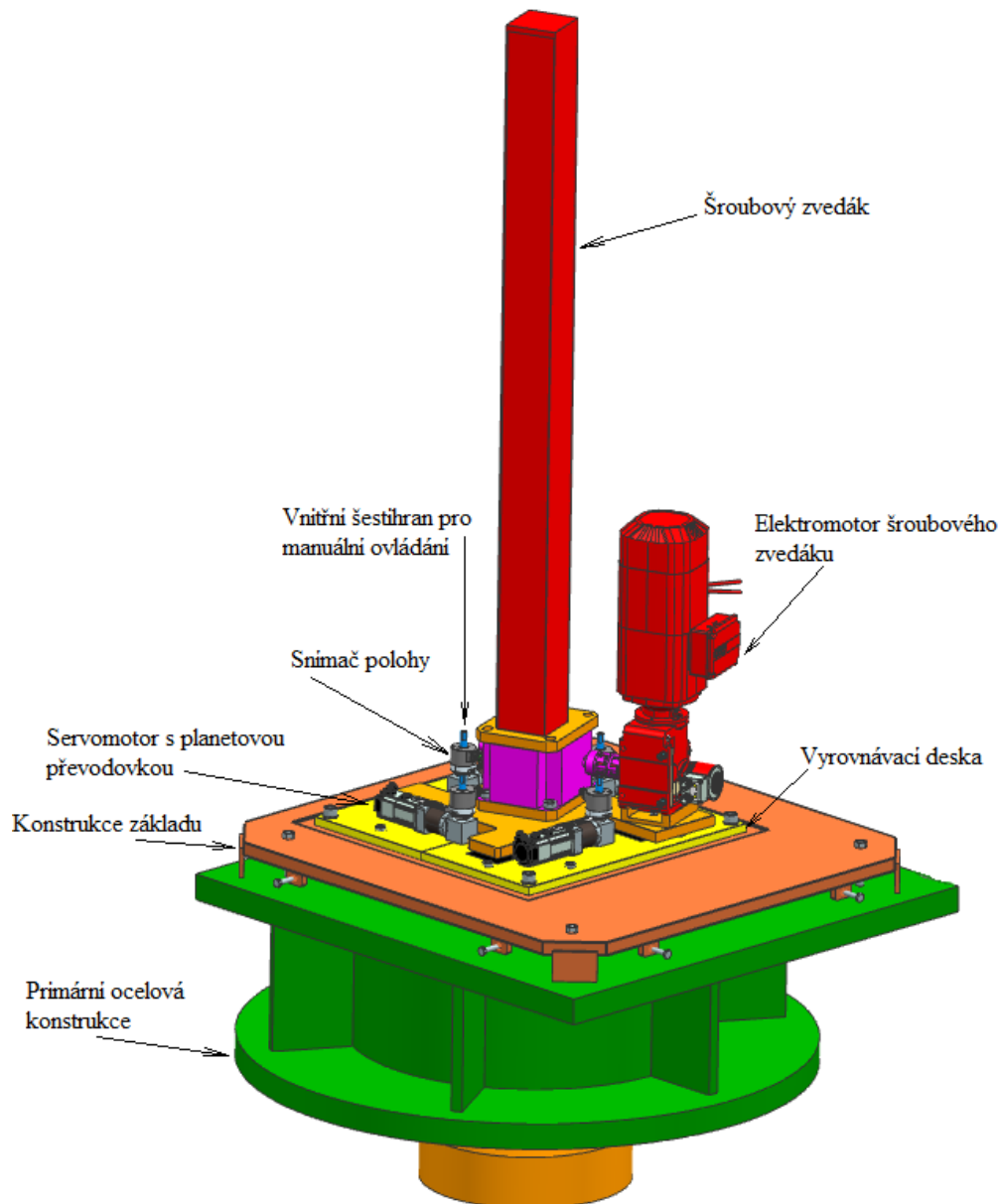
6.2.2. Konstrukční varianta č. 2

Pokročilá varianta, která je konstrukčně řešena do značných podrobností. V řešení polohování je použita idea klínů, které byly v první variantě.

Princip řešení polohování

Polohování konstrukce šroubového zvedáku na střed víka kontejneru se provádí soustavou pohybujících klínů. Aretace zařízení se děje taktéž klíny. Posuv klínů je zajištěn soustavou pohybových šroubů a matic. Pohybový šroub je konstrukčně řešen s levým a pravým lichoběžníkovým závitem a na horním konci každého pohybového šroubu je vnitřní šestihran, který slouží pro manuální ovládání pohybových šroubů v případě, kdy pohon šroubu je z nějakého důvodu nečinný. Levý a pravý závit šroubu zaručí to, že se klíny budou pohybovat při rotaci ve stejném okamžiku směrem k sobě a při opačné rotaci směrem od sebe.

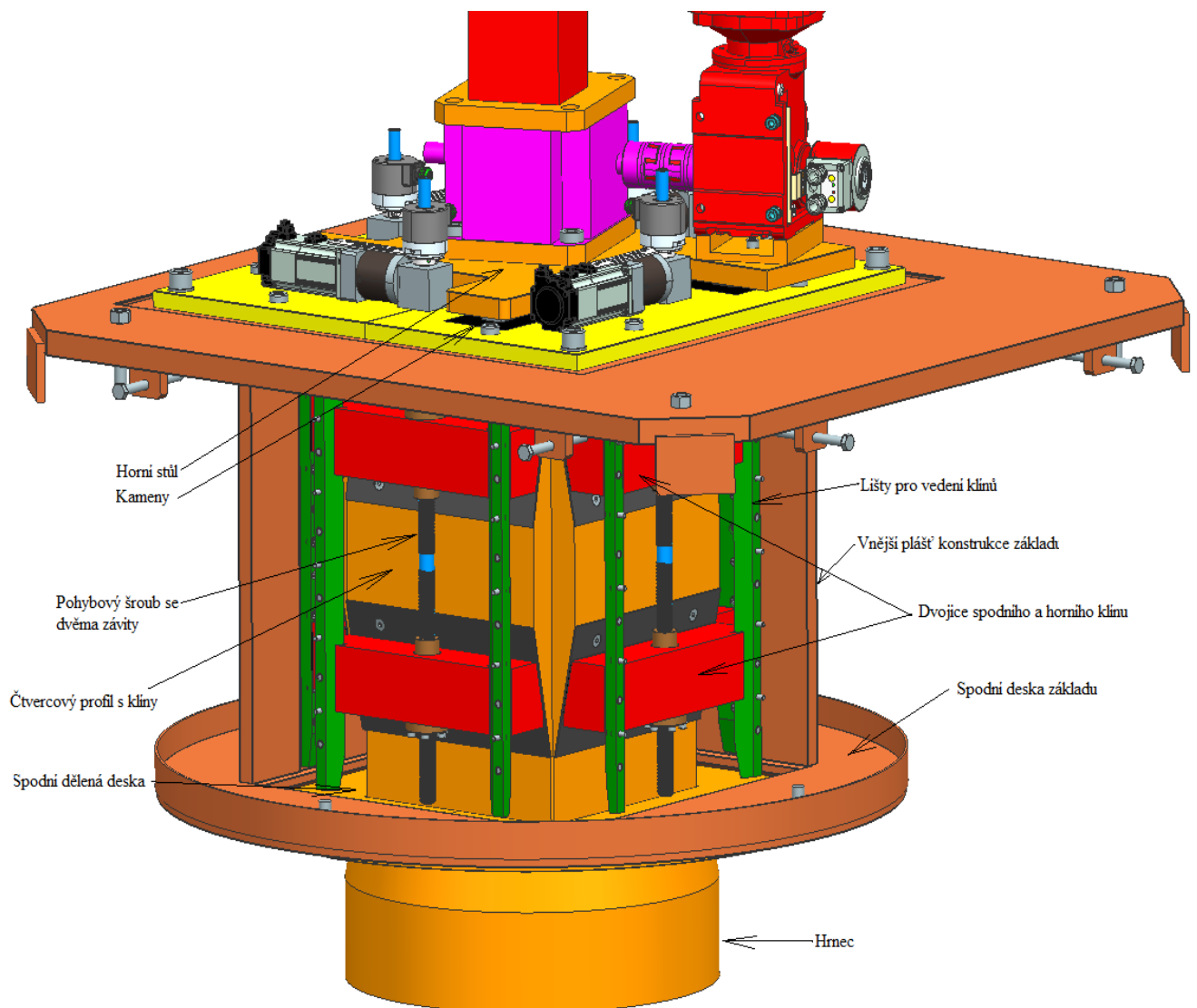
Obrázek 25 – BLHS – varianta č. 2



Šroubový zvedák je vtažen do čtvercového profilu a po vnějším obvodu čtvercového profilu jsou navařeny čtyři klíny. Hmotnost šroubového zvedáku s víkem nesou čtyři kameny, které jsou vsazeny do horního stolu šroubového zvedáku. Na desce konstrukce základu je kluzný materiál Permaglide po kterém se posouvá konstrukce zařízení šroubového zvedáku s víkem. Klíny se posouvají po lištách základu. Pro vyrovnání případných odchylek od rovinnosti je na desce základu umístěna vyrovnávací deska s nastavovacími šrouby.

Kluzné plochy klínů jsou opatřeny taktéž kluzným materiálem Permaglide. V případě seizmické události se přenesou síly skrze klíny a spodní dělicí desky do konstrukce základu a pohybového šroubu. Nad rámec diplomové práce byl do konstrukce navržen pohon pohybového šroubu. Pohybové šrouby jsou ovládány servomotorem s planetovou převodovkou. Součástí servomotoru je inkrementální snímač polohy a brzda. Na pohybovém šroubu je umístěno absolutní čidlo polohy. Čidla slouží jako zpětná vazba o poloze klínů. Spojení pohonu a pohybového šroubu není řešeno v konstrukčním návrhu. Konstrukční propojení šroubu a pohonu je ponecháno na zhotoviteli zařízení.

Obrázek 26 – Vnitřní části BLHS – varianta č. 2



6.3. Porovnání konstrukčních variant

V následující tabulce je proveden rozbor těchto dvou variant. Porovnání variant je z několika hledisek. Z výsledného porovnání vzejde finální varianta, která bude rozpracována do detailů.

Tabulka 4 - Porovnání konstrukčních variant 1 a 2

Číslo varianty	1	2
Složitost konstrukce	Složitá a komplikovaná	Jednodušší a méně komplikovaná
Rozměrnost konstrukce	Velké rozměry	Méně rozměrná konstrukce
Vyráběné komponenty	Vyšší počet vyráběných komponent	Nižší počet vyráběných komponent
Nakupované komponenty	Vysoký podíl nakupovaných	Vysoký podíl nakupovaných
Montáž zařízení	Časově náročnější	Časově méně náročná
Náklady zařízení	Vyšší náklady na zařízení	Nižší náklady na zařízení
Jiné problémy	Dimenzování pružin	

Z porovnání vyplývá, že z těchto dvou variant je ve většině sledovaných parametrů lepší **varianta č. 2.**

7. Návrh jednotlivých částí finální konstrukční varianty

Nové konstrukční řešení obsahuje komponenty, které jsou v této kapitole popsány. Bude zde popsán návrh jednotlivých částí pro zvolenou konstrukční variantu a tam, kde je to potřeba, tak její dimenzování. Mezi hlavní části konstrukční varianty patří konstrukce základu, pohybový šroub, klíny a příslušná elektrická zařízení.

Hlavní navrhované části konstrukční varianty

- ✓ Návrh konstrukce základu
- ✓ Permaglide – kluzné vedení
- ✓ Návrh pohybového šroubu s maticí
- ✓ Návrh snímače polohy
- ✓ Návrh servomotoru s převodovkou
- ✓ Návrh klínů

Největší část této kapitoly se věnuje dimenzování pohybového šroubu, klínům a rozboru sil na zařízení.

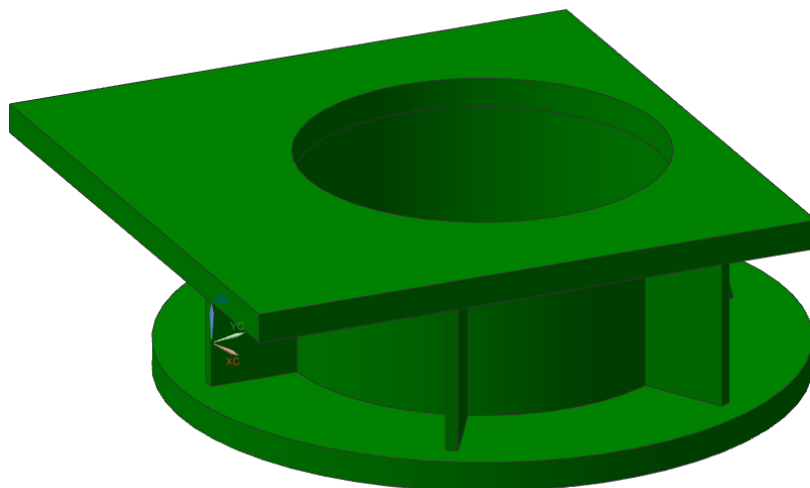
7.1. Návrh konstrukce základu

Tato kapitola se zabývá primární ocelovou konstrukcí a konstrukcí samotného základu.

7.1.1. Primární ocelová konstrukce

Ocelová konstrukce je zabetonovaná do budovy. Do vnitřních prostor této konstrukce se umístí konstrukce základu a prostor mezi primární ocelovou konstrukcí a konstrukcí základu se vyplní tzv. sekundárním betonem. Tato konstrukce se shoduje s provedením, které je u současného řešení.

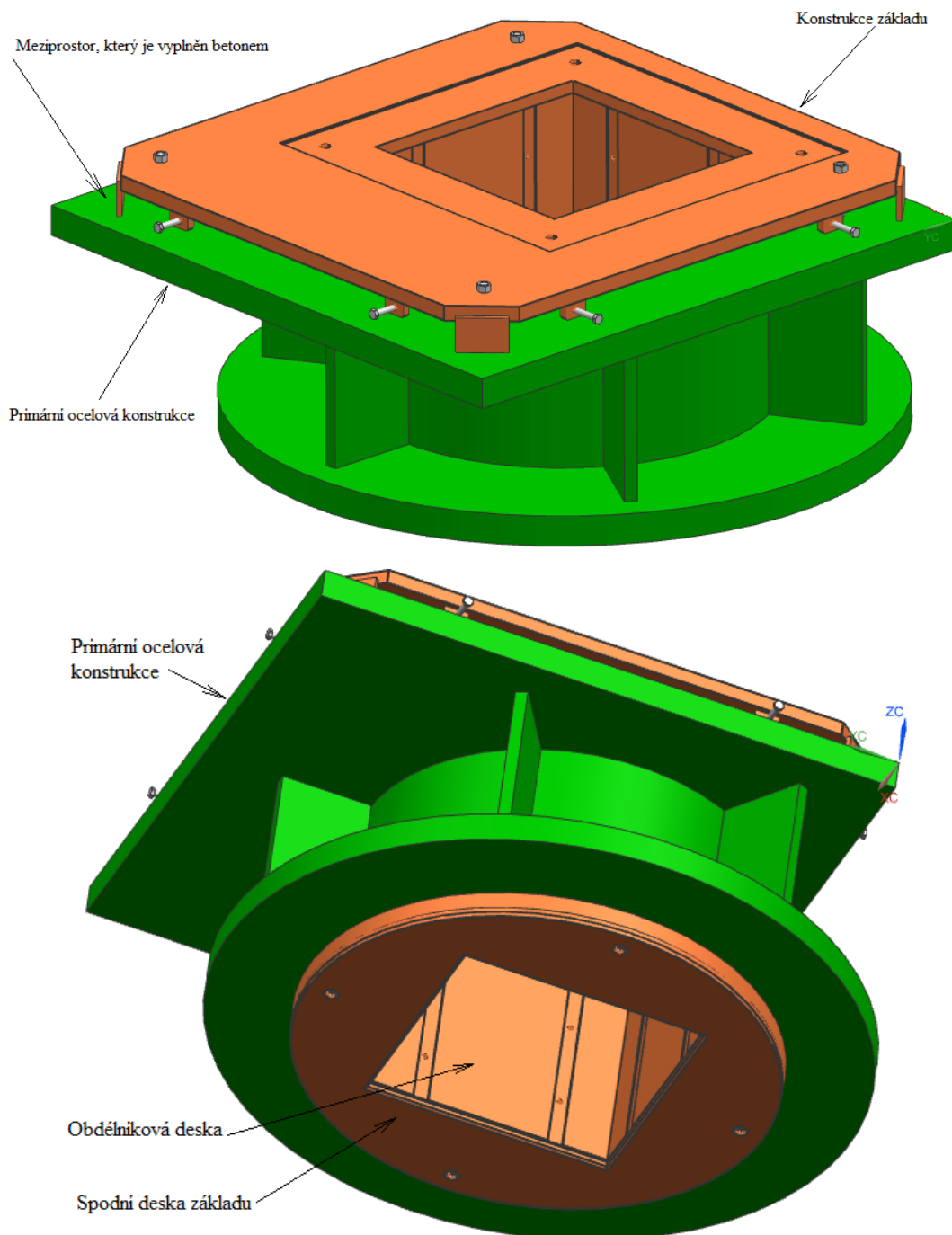
Obrázek 27 – Primární ocelová konstrukce



7.1.2. Konstrukce základu

Konstrukce základu už se liší od původní varianty. Vnitřní prostor základu je svařen ze čtyř obdélníkových desek na rozdíl od původní varianty, kde je kruhový otvor. Při umístění základu do primární ocelové konstrukce se pomocí šroubů ustaví základ do vodorovné polohy. Po ustavení základu se ve spodní části základu umístí spodní deska základu a ta se svaří k obdélníkovým deskám. Meziprostor mezi primární konstrukcí a základem se vyplní betonem. Na základovou desku bude umístěna tzv. vyrovnávací deska. Na vyrovnávací desku se umístí konstrukce šroubového zvedáku.

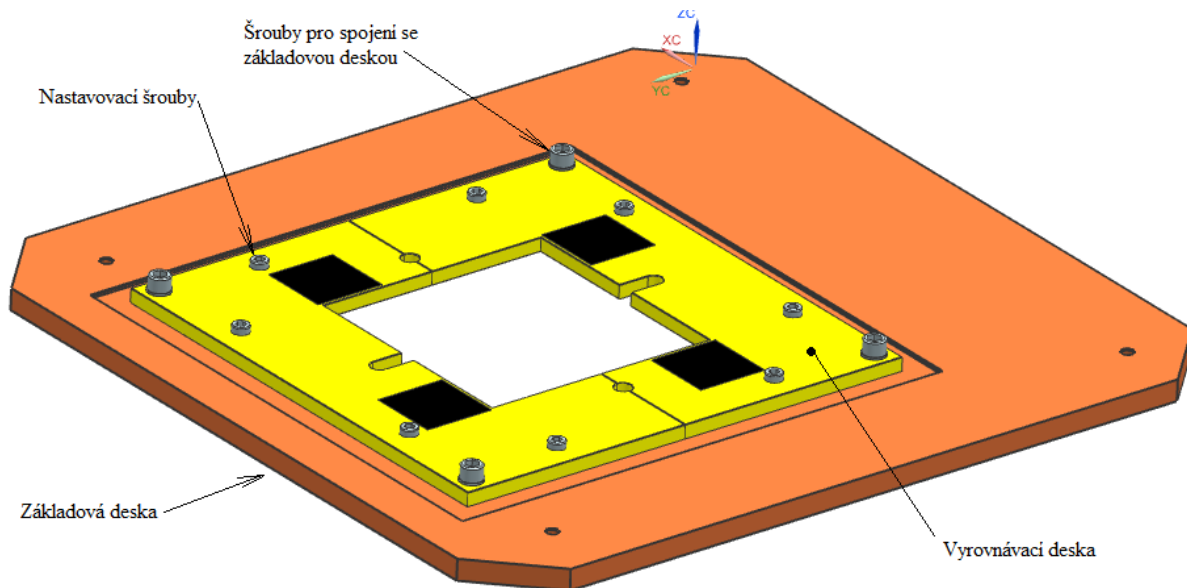
Obrázek 28 – Konstrukce základu s primární ocelovou konstrukcí



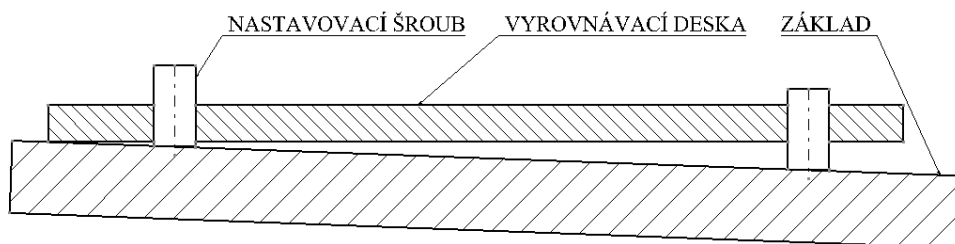
Vyrovnávací deska

V případě špatného ustavení základu a betonování je možné dosáhnout rovinnosti pomocí vyrovnávací desky s nastavovacími šrouby. Na vyrovnávací desce je umístěno 8 nastavovacích šroubů a v případě sklonu základu lze jimi vyrovnat odchylku od nerovinnosti. Nastavovací šrouby mají závit M24 a šrouby pro spojení se základovou deskou mají závit M20 a příslušnou plochou podložkou. Vyrovnávací deska je konstrukčně řešena jako dělená a je spojena kolíky.

Obrázek 29 – Vyrovnávací deska se základovou deskou



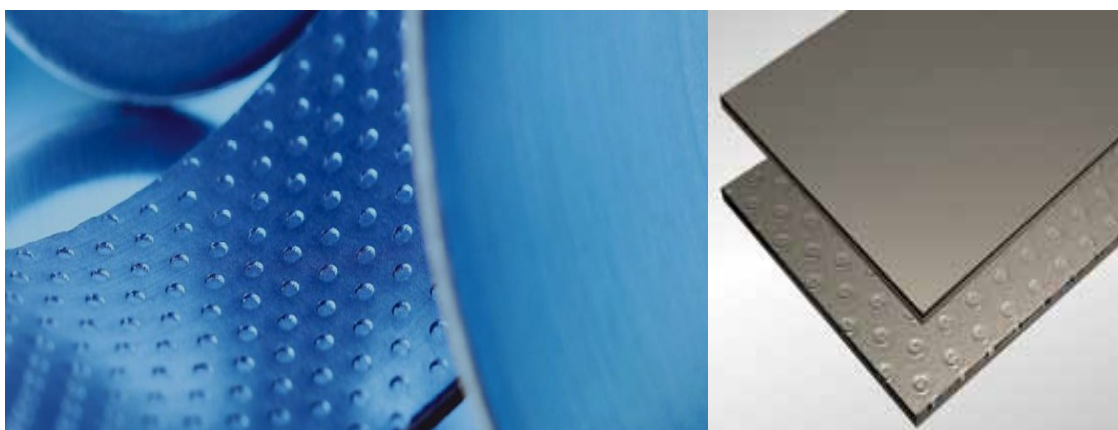
Obrázek 30 – Nerovinnost vyrovnávací desky a základové desky



7.2. Permaglide

Pro posuv konstrukce zvedáku po vyrovnávací desce a třecí plochy klínů je použito kluzného materiálu Permaglide. Tento materiál je výhodný pro své dlouhodobé nízké opotřebení a používá se ve strojírenství a v automobilovém průmyslu. Dobré kluzné vlastnosti tohoto materiálu jsou docílené použitím plastů na kovový základní materiál. Pro tento účel byly použity desky Permaglidu, které jsou na obrázku níže. Označení tohoto materiálu je P147.

Obrázek 31 - Materiál Permaglide [18]



7.2.1. Vlastnosti Permaglidu P147

- Univerzální použití
- Nízké tření a vysoká odolnost proti opotřebení
- Samomazné a velmi dobré vlastnosti při suchém běhu
- Dobrá chemická odolnost a odolnost proti korozi
- Neabsorbuje vodu, odolnost proti bobtnání

Tabulka 5 - Vlastnosti materiálu Permaglide [18]

Název veličiny	Hodnota	Jednotky
Statická únosnost	250	MPa
Dynamická únosnost při posuvu	140	MPa
Posuvná rychlost	$\leq 0,013$	m/s
Teplota	-200÷280	°C

Složení vrstvy Permaglidu P147

Materiál je složen ze tří vrstev. Jednotlivé rozložení vrstev a chemické složení je patrné z tabulky a obrázku na další straně.

1. Vrstva

První vrstvou je tzv. Running - in layer, která je z PTFE a maximální tloušťka vrstvy činí 0,003 mm.

2. Vrstva

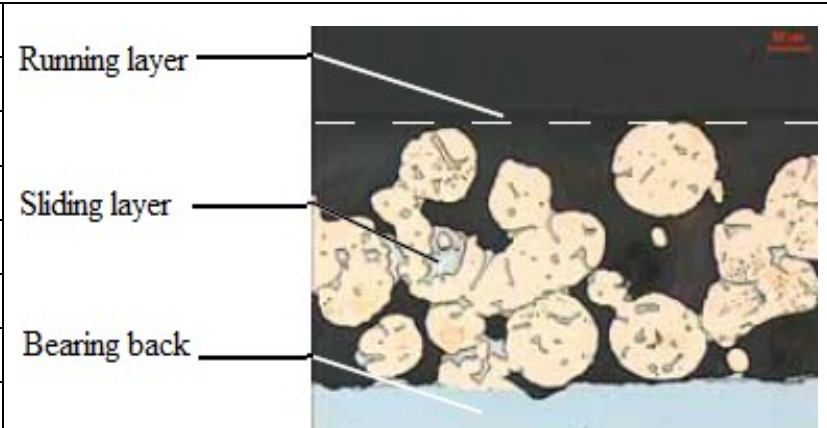
Prostřední vrstvou je tzv. Sliding layer, což v překladu je posuvná vrstva a je složena z cínu a mědi. Tloušťka vrstvy je 0,2-0,35 mm.

3. Vrstva

Poslední vrstvou je tzv. Bearing back. Do češtiny přeloženo jako nosná vrstva a jejím materiálem je ocel DC04 (podle ČSN materiál 11305).

Tabulka 6 - Jednotlivé vrstvy a složení Permaglidu [18]

1. vrstva – Running layer	
PTFE	82%
BaSO ₄	18%
2. vrstva – Sliding layer	
Cín	9-11%
Měď	Zbytek
3. vrstva – Bearing back	
Ocel	

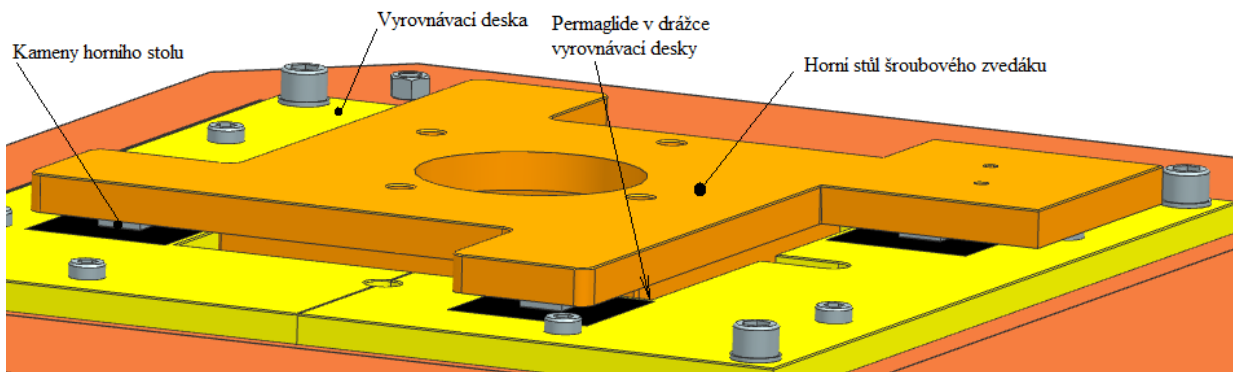


The image shows a microscopic cross-section of the Permaglide material. It is divided into three distinct layers. The top layer, labeled 'Running layer', is a thin, dark, uniform layer. The middle layer, labeled 'Sliding layer', consists of a matrix of small, light-colored particles with darker inclusions. The bottom layer, labeled 'Bearing back', is a thicker, light-colored, granular layer. Arrows point from the text labels to the corresponding layers in the image.

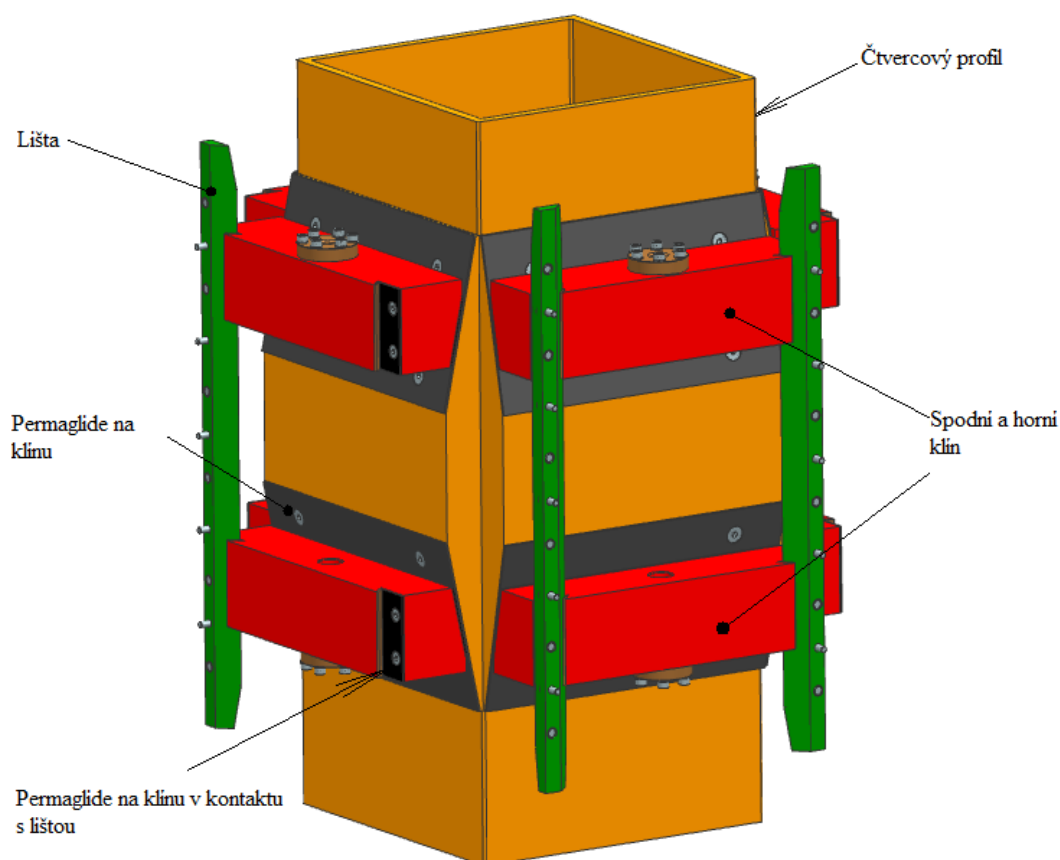
7.2.2. Použití Permaglidu v konstrukci

Kluzný materiál byl použit v kontaktu kamenů horního stolu a vyrovnávací desky. Permaglide je vložen do vyfrézované drážky vyrovnávací desky. Dále je Permaglide v kontaktu lišty a klínu a mezi klínem a protilehlým klínem. Na následujících obrázcích je přehledně vidět, kde je Permaglide použit.

Obrázek 32 – Permaglide v drážce vyrovnávací desky s kontaktem kamenů horního stolu



Obrázek 33 – Permaglide na klínech konstrukce



7.2.3. Výpočet kontaktního tlaku

Dále se zde provede výpočet kontaktního tlaku, podle kterého se z tabulky výrobce vezme příslušný třecí koeficient. Hodnota třecího koeficientu se snižuje s vyšším kontaktním tlakem. Zatížení Q je gravitační síla od hmotnosti víka společně s konstrukcí šroubového zvedáku. Při seizmické události se zjednodušeně pro výpočet uvažuje konzervativně trojnásobek provozního zatížení. Při výpočtu se uvažuje rovnoměrně rozložený tlak na povrchu kamene. Provede se výpočet měrného tlaku na kameny (podpěry) horního stolu. V případě, že měrný tlak bude vyhovovat dovoleným hodnotám, tak není třeba provádět výpočet měrného tlaku mezi klíny. Mezi klíny je mnohonásobně větší kontaktní plocha, takže měrný tlak bude s jistotou vyhovovat.

a) Zatížení

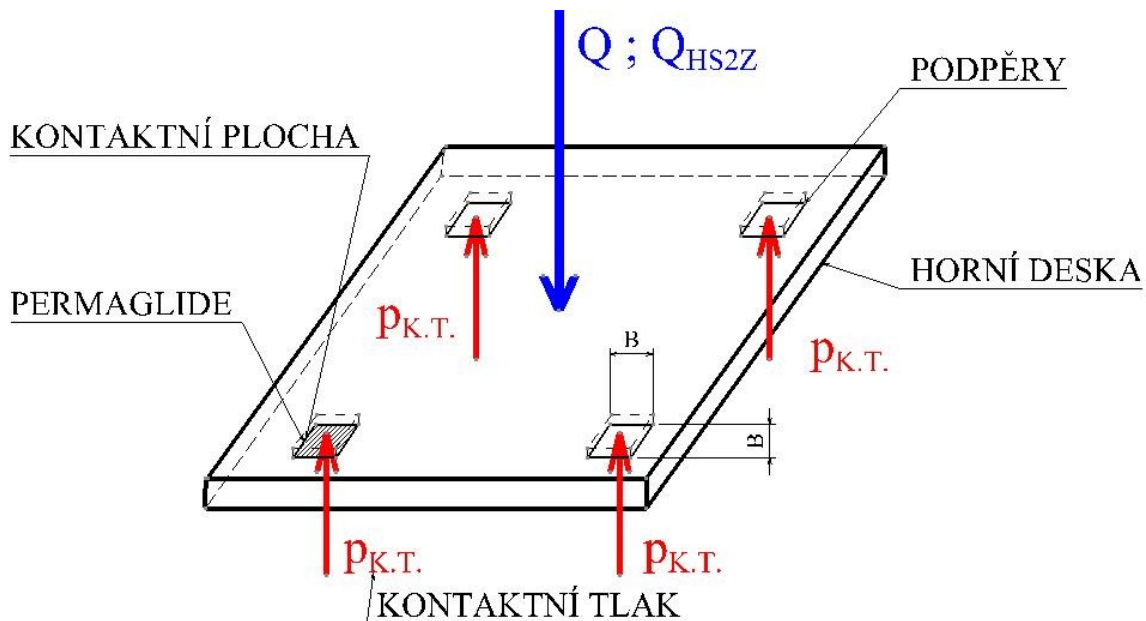
Provozní zatížení:

$$Q = 60000N$$

Zatížení při seizmické události:

$$Q_{HS2z} = 180000N$$

Obrázek 34 - Kontaktní tlak od zatížení a čtyři kameny (podpěry) na horním stole (desce)



b) Výpočet kontaktní tlaku na jednu ze stykových ploch kamene (podpěry) při provozním zatížení

Permaglide je v drážce vyrovnávací desky a je v kontaktu se čtyřmi stykovými plochami. Styková plocha s rozměry 30x30 mm je vystavena zatížení $Q/4$. Kamen má na povrchu otvor pro šroub o průměru 13 mm. Plocha kruhu zmenší kontaktní plochu kamene.

$$P_{K.T.} = \frac{Q/4}{B \cdot B - \frac{\pi \cdot d_{s.k.}^2}{4}} = \frac{60000/4}{30 \cdot 30 - \frac{\pi \cdot 13^2}{4}} = 19,6 \text{ MPa}$$

c) Výpočet kontaktní tlaku na jednu ze stykových ploch kamene (podpěry) při seizmické události

Výpočet kontaktního tlaku při zemětřesení se uvažuje zjednodušeně s trojnásobkem provozního zatížení.

$$P_{K.T.HS2} = \frac{Q_{HS2z}/4}{B \cdot B - \frac{\pi \cdot d_{s.k.}^2}{4}} = \frac{180000/4}{30 \cdot 30 - \frac{\pi \cdot 13^2}{4}} = 58,7 \text{ MPa}$$

Hodnoty tlakového zatížení stykové plochy vyhovují dovoleným hodnotám tlaků z tabulky 5. Není tedy třeba provádět výpočet kontaktního tlaku mezi klíny a mezi klíny a lištami.

Z katalogu Permaglide se nyní může vzít pro daný kontaktní tlak a posuv příslušný třecí koeficient. Z katalogu Permaglide [18] z tabulky 2 na straně 11 se vzal **třecí koeficient f_A a f_B** s hodnotami:

Součinitel tření mezi kameny a vyrovnávací deskou: $f_A = 0,1$

Součinitel tření mezi klíny: $f_B = 0,2$

Kvůli menšímu měrnému tlaku mezi klíny se vezme z tabulky konzervativně větší hodnota f_B .

7.3. Silové poměry polohovacího zařízení

Důležitá podkapitola, ve které se provede rozbor sil na zařízení. Na obrázku 37 bylo vytvořeno zjednodušené schéma zařízení. Na schématu je zakreslena soustava těles se stykovými vazbami. Uvažuje se situace, kdy se jedna dvojice klínů pohybuje k sobě a tím dochází k horizontální změně polohy zařízení s víkem. Ostatní tři dvojice klínů při rozboru sil neuvažují. Při horizontální změně polohy zařízení je potřeba překonat pasivní odpory ve stykových vazbách. Zátěž Q se vypočetla z rovnice R. 2 z teoretické části pevnostního výpočtu. Cílem je zjistit velikost síly F k překonání pasivních účinků ve všech členech a tím překonání hranice klidové stability. Síla F je důležitá pro dimenzování pohybového šroubu, jedná se totiž o osovou sílu v pohybovém šroubu. Řešení neznámých reakcí a sil se provede metodou uvolňování jednotlivých členů za použití podmínek rovnováhy. Síla F se nebude zjišťovat iteračně.

Poznámka: Dynamika se v soustavě neřeší, jelikož rychlost posuvu je tak nízká, že nemá význam dynamiku uvažovat.

Celá soustava se skládá po zjednodušení ze čtyř členů:

- 1- Konstrukce základu
- 2- Konstrukce zvedáku s víkem
- 3- Spodní klín, který se posouvá po vedení konstrukce základu
- 4- Horní klín, který se posouvá po vedení konstrukce základu

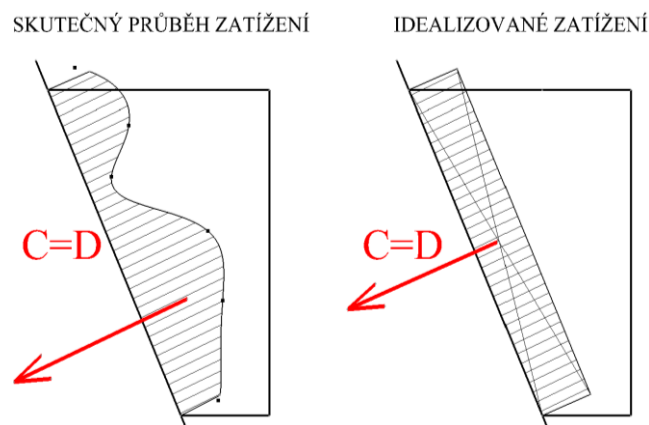
Zjednodušené předpoklady řešení:

Pro zjednodušení řešení se uvažují tyto následující zjednodušující předpoklady.

a) Výslednice sil mezi klíny

Ve stykových vazbách C a D se z důvodů zjednodušení řešení uvažuje rovnoměrné zatížení klínů s působením normálových reakcí a pasivních účinků ve středu zatěžované plochy. Ve skutečnosti je průběh zatížení nerovnoměrný a normálová reakce nepůsobí ve středu plochy.

Obrázek 35 - Zatížení klínů – skutečný a idealizovaný průběh zatížení



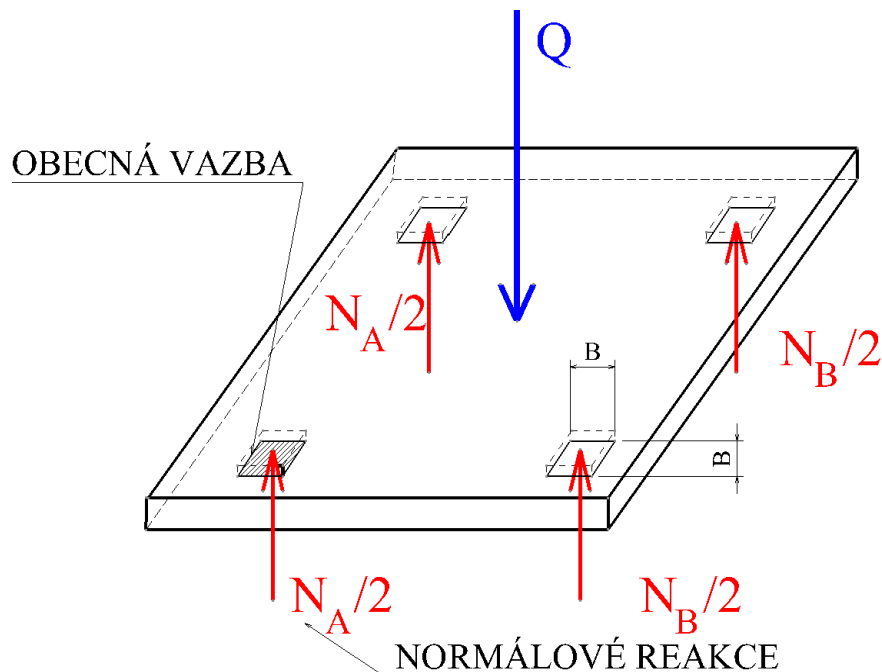
b) Hmotnost klínů se ve výpočtu neuvažuje

c) Obecná vazba v A a B

Uvažují se obecné vazby ve styku kamenů (podpěr) horního stolu s Permaglidem vyrovnávací desky. Kameny jsou dostatečně malé, takže se dá uvažovat tento předpoklad.

Na další skice je zakreslena horní deska se čtyřmi podpěrami (stykové plochy) a jsou v ní zakresleny normálové reakce na jednotlivé podpěry. V obrázku soustavy s tělesy jsou dvě normálové reakce $N_B/2$ a $N_A/2$ sečteny do jedné výsledné normálové reakce N_B a N_A .

Obrázek 36 - Normálové reakce v podpěrách horního stolu (obecné vazby A a B)



Součet reakcí $N_B/2$ a $N_A/2$ lze použít v případě, že se bude měnit poloha zařízení jen v jednom směru (např. v X nebo Y). Při změně polohy se však v jednom okamžiku můžou měnit dva směry (X a Y zároveň). V tom případě se budou pohybovat dvě dvojice klínů směrem k sobě. V takové situaci by v každé podpěře působila jiná normálová reakce. V této situaci budou překonávat pasivní odpory dvě dvojice klínů. Konzervativní výpočet však počítá s pohybem jen jedné dvojice klínů směrem k sobě. Samotná jedna dvojice bude muset překonávat pasivní účinky, proto lze použít součet reakcí $N_B/2$ a $N_A/2$.

7.3.1. Počet stupňů volnosti soustavy

Provede se kontrola pohyblivosti soustavy. Počet stupňů soustavy lze vypočítat dle následujícího vztahu. V případě mechanismu je zapotřebí, aby stupeň volnosti soustavy měl hodnotu 1.

$$n_v = 3 \cdot (m - 1) - 2 \cdot (p + v + r) - 1 \cdot o$$

R. 6

Kde:

m- počet těles včetně rámu - 4 tělesa

p- počet posuvných vazeb – 2 (E, F)

v- počet valivých vazeb

r- počet rotačních vazeb

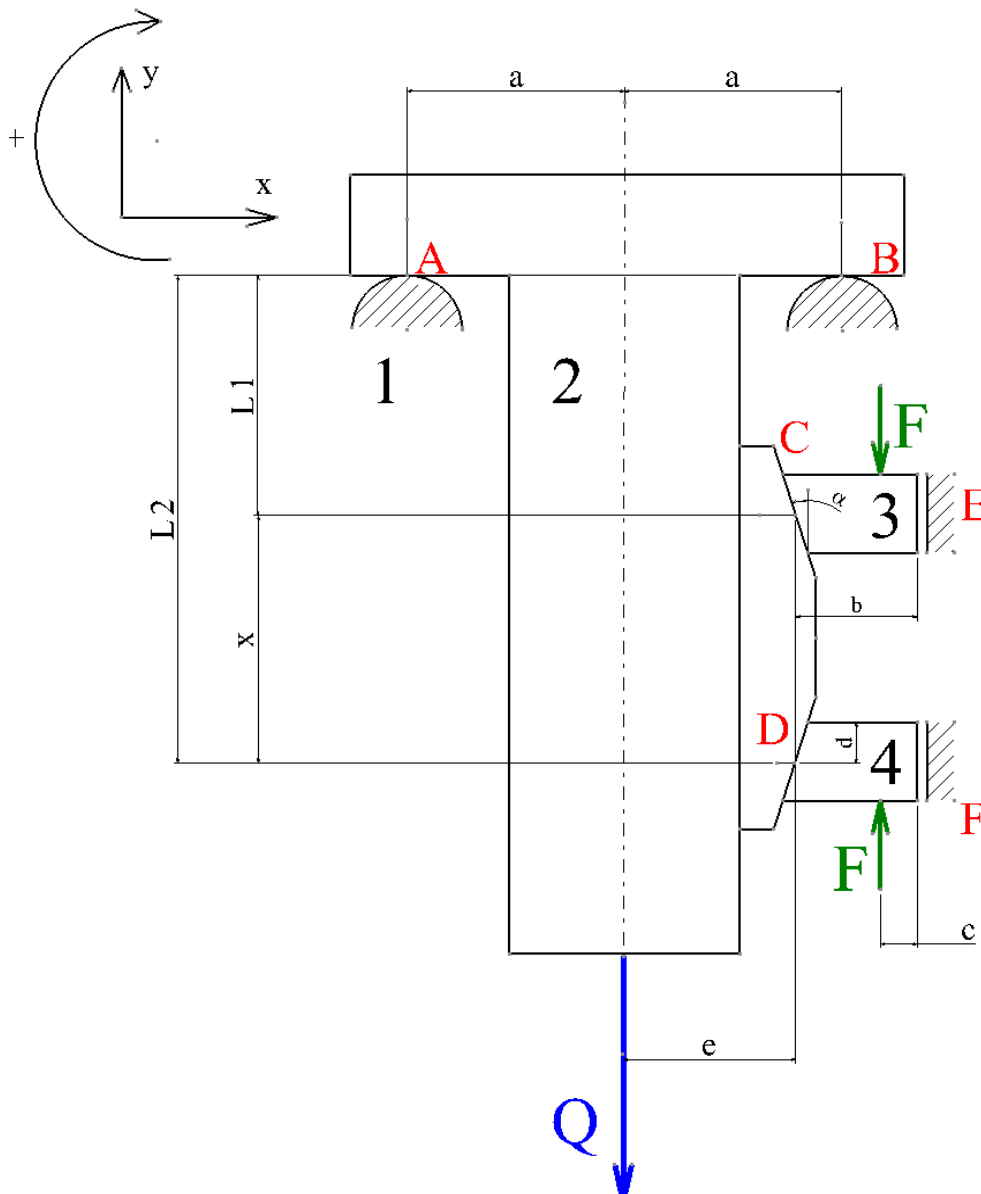
o- počet obecných vazeb – 4 (A, B, C, D)

Počet stupňů volnosti soustavy (po dosazení)

$$n_v = 3 \cdot (4 - 1) - 2 \cdot (2 + 0 + 0) - 1 \cdot 4 = 1^\circ \text{ volnosti}$$

Jedná se o soustavu staticky určitou pohyblivou s 1° stupněm volnosti! Těleso je tedy uloženo pohyblivě.

Obrázek 37 - Schéma soustavy se silovými účinky na zařízení



Tabulka 7 - Hodnoty vzdáleností a sil soustavy

Název	Označení	Velikost	Jednotky
Velikost zatížení	Q	60000	N
Síla pro překonání pasivních účinků	F	?	N
Vzdálenost obecné vazby A, B k ose zařízení s víkem	a	225	mm
Vzdálenost obecné vazby A, B k působení reakce N_C	l_1	180	mm
Vzdálenost obecné vazby A, B k působení reakce N_D	l_2	445	mm
Vzdálenost mezi působením reakce N_C a N_D	x	265	mm
Vzdálenost posuvné vazby E, F k reakcím N_C a N_D	b	75	mm
Vzdálenost osy zařízení s víkem k reakci N_C a N_D	e	175	mm
Vzdálenost působišťe síly F od posuvné vazby E, F	c	33	mm
Vzdálenost působišťe síly F a reakcí N_C a N_D	d	30	mm
Vrcholový úhel klínů	α	12	°

Možné pohybové stavy tělesa

Těleso je uloženo pohyblivě, jak již bylo napsáno. Při překonání hranice klidové stability nastane pohyb těles soustavy. V okamžiku pohybu klínů směrem k sobě se bude po překonání pasivních účinků pohybovat konstrukce zvedáku s víkem horizontálním směrem.

Neznámé reakce a síly

Neznámé veličiny reakce a síly jsou uvedeny v závorce

$$NV = \{N_A, N_B, N_C = N_D, N_E, N_F, F\}$$

Stykové závislosti pro pasivní účinky

V tomto případě se jedná o vztah pro smykové tření (Coulombovské tření).

$$T = N \cdot \mu$$

7.3.2. Uvolnění tělesa 2

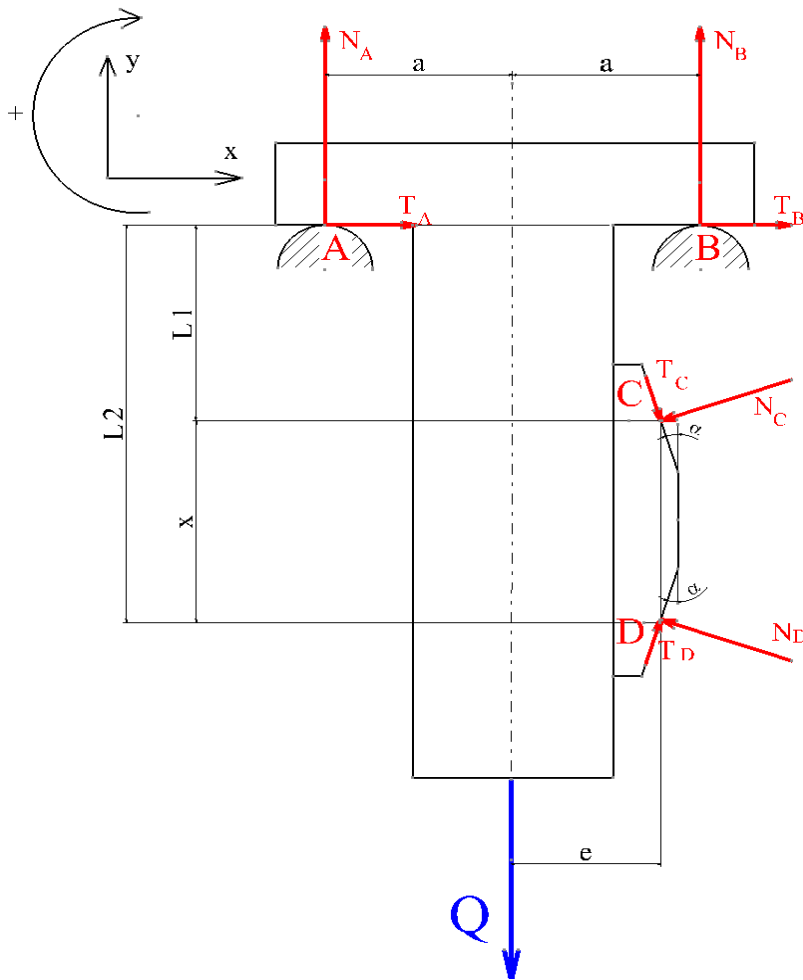
Těleso 2 je uloženo ve čtyřech obecných vazbách s označením A, B, C, D. Normálové reakce a k nim příslušné pasivní účinky jsou zakresleny na obrázku níže. V obecných vazbách A a B je uvažován součinitel tření f_A a ve vazbách C a D se uvažuje s třecím součinitelem f_B . Kladné směry momentů a sil jsou zakresleny v levém horním rohu obrázku.

Číselné hodnoty třecích součinitelů:

$f_A = 0,1$ – Součinitel tření ve vazbách A a B

$f_B = 0,2$ - Součinitel tření ve vazbách C a D

Obrázek 38 - Uvolnění tělesa 2 se zakreslenými reakcemi a silami



Při uvolňování tělesa 2 se použily 3 podmínky rovnováhy:

Rovnováha sil v ose x:

$$\sum F_{ix} = 0$$

$$T_A + T_B - N_{Cx} - N_{Dx} + T_{Dx} + T_{Cx} = 0 \quad \text{R. 7}$$

Rovnováha sil v ose y:

$$\sum F_{iy} = 0$$

$$N_A + N_B - Q - N_{Cy} + N_{Dy} + T_{Dy} - T_{Cy} = 0 \quad \text{R. 8}$$

Momentová podmínka k bodu B.

$$\sum M_{iB} = 0$$

$$N_A \cdot 2 \cdot a - Q \cdot a + N_{Cx} \cdot l_1 - N_{Cy} \cdot (a - e) - T_{Cy} \cdot (a - e) - T_{Cx} \cdot l_1 +$$

$$+ N_{Dx} \cdot l_2 + N_{Dy} \cdot (a - e) + T_{Dy} \cdot (a - e) - T_{Dx} \cdot l_2 = 0 \quad \text{R. 9}$$

Předpoklad je, že síla N_C a N_D mají stejnou velikost, potom lze následující vztahy zjednodušit.

Úprava rovnice R. 7:

$$\begin{aligned} N_A \cdot f_A + N_B \cdot f_A - N_C \cdot \cos \alpha - N_D \cdot \cos \alpha + T_D \cdot \sin \alpha + T_C \cdot \sin \alpha &= 0 \\ N_A \cdot f_A + N_B \cdot f_A - N_C \cdot \cos \alpha - N_D \cdot \cos \alpha + N_D \cdot f_B \cdot \sin \alpha + N_C \cdot f_B \cdot \sin \alpha &= 0 \\ N_A \cdot f_A + N_B \cdot f_A + N_C \cdot (f_B \cdot \sin \alpha - \cos \alpha) + N_D \cdot (f_B \cdot \sin \alpha - \cos \alpha) &= 0 \end{aligned}$$

Při předpokladu rovnosti normálových reakcí v bodě C a D:

$$N_C = N_D \quad \text{R. 10}$$

$$\begin{aligned} N_A \cdot f_A + N_B \cdot f_A - 2 \cdot N_C \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha) &= 0 \\ N_A \cdot f_A + N_B \cdot f_A &= 2 \cdot N_C \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha) \\ f_A \cdot (N_A + N_B) &= 2 \cdot N_C \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha) \end{aligned} \quad \text{R. 11}$$

Úprava rovnice R. 8 při dosazení vztahu rovnosti normálových reakcí R. 10:

$$N_C = N_D$$

Zjednodušení po použití vztahu R. 10

$$\begin{aligned} N_A + N_B - Q &= 0 \\ N_A + N_B &= Q \end{aligned} \quad \text{R. 12}$$

Vyjádření vztahu pro normálovou reakci N_C a N_D :

Dosazení rovnice R. 12 do R. 11 a vyjádření normálové reakce $N_C=N_D$.

$$Q \cdot f_A = 2 \cdot N_C \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)$$

Výsledný vztah pro normálovou reakci N_C a N_D :

$$N_C = N_D = \frac{Q \cdot f_A}{2 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)} \quad \text{R. 13}$$

Vyjádření vztahu pro normálovou reakci N_A z rovnice R. 9.

Úprava momentové rovnováhy pro vyjádření normálové reakce N_A :

$$\begin{aligned} N_A \cdot 2 \cdot a - Q \cdot a + N_{Cx} \cdot l_1 - T_{Cx} \cdot l_1 + N_{Dx} \cdot l_2 - T_{Dx} \cdot l_2 &= 0 \\ N_A \cdot 2 \cdot a - Q \cdot a + N_C \cdot \cos \alpha \cdot l_1 - T_C \cdot \sin \alpha \cdot l_1 + N_D \cdot \cos \alpha \cdot l_2 - T_D \cdot \sin \alpha \cdot l_2 &= 0 \\ N_A \cdot 2 \cdot a - Q \cdot a + N_C \cdot \cos \alpha \cdot l_1 - N_C \cdot f_B \cdot \sin \alpha \cdot l_1 + N_D \cdot \cos \alpha \cdot l_2 - N_D \cdot f_B \cdot \sin \alpha \cdot l_2 &= 0 \\ N_A \cdot 2 \cdot a - Q \cdot a + N_C \cdot l_1 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha) + N_D \cdot l_2 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha) &= 0 \end{aligned}$$

Při použití rovnice R. 10 lze upravit následující vztah na tvar níže:

$$\begin{aligned} N_A \cdot 2 \cdot a - Q \cdot a + N_C \cdot (l_1 + l_2) \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha) &= 0 \\ N_A &= \frac{Q \cdot a - N_C \cdot (l_1 + l_2) \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)}{2 \cdot a} \end{aligned}$$

Po dosazení normálové reakce N_C z R. 13 je výsledný vztah ve tvaru níže:

$$N_A = \frac{Q \cdot a - \frac{Q \cdot f_A}{2 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)} \cdot (l_1 + l_2) \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)}{2 \cdot a} =$$
$$N_A = \frac{2 \cdot Q \cdot a - Q \cdot f_A \cdot (l_1 + l_2)}{4 \cdot a}$$

Výsledný vztah pro normálovou reakci N_A :

$$N_A = \frac{Q \cdot [2 \cdot a - f_A \cdot (l_1 + l_2)]}{4 \cdot a} \quad \text{R. 14}$$

Vyjádření vztahu pro normálovou reakci N_B :

Ze vztahu R. 12 lze vyjádřit reakci N_B a po dosazení R. 14 se dostane výsledný vztah pro N_B :

$$N_B = Q - N_A = Q - \frac{Q \cdot [2 \cdot a - f_A \cdot (l_1 + l_2)]}{4 \cdot a} = \frac{2 \cdot Q \cdot a + Q \cdot f_A \cdot (l_1 + l_2)}{4 \cdot a}$$

Výsledný vztah pro normálovou reakci N_B :

$$N_B = \frac{Q \cdot [2 \cdot a + f_A \cdot (l_1 + l_2)]}{4 \cdot a} \quad \text{R. 15}$$

Podmínka nezápornosti reakcí N_A a N_B

Jelikož vazby A a B jsou jednostranné, přenesou jen reakce, které jsou naznačeny na obrázku 38 na stránce 39. Podmínka nezápornosti reakcí N_A a N_B je konstrukčně vyřešena.

Nezápornost reakcí N_A a N_B :

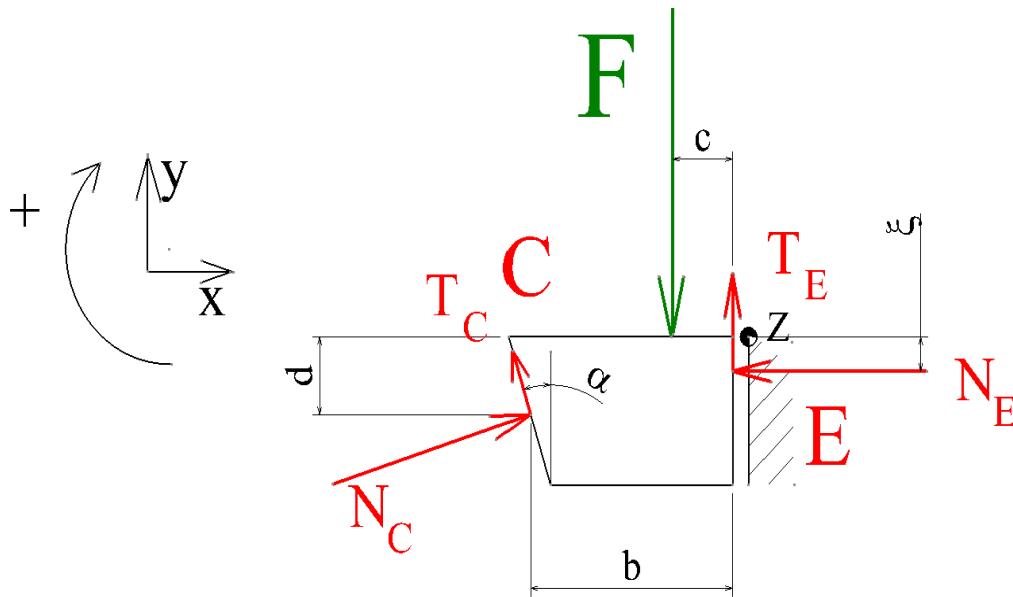
$$N_A \geq 0; N_B \geq 0$$

7.3.3. Uvolnění tělesa 3

Těleso 3 je uloženo pomocí posuvné vazby E a obecné vazby C, kde posuvná vazba odebírá dva stupně volnosti a obecná vazba odebírá jeden stupeň volnosti. Síla od vlastní tíhy klínu se při výpočtu neuvažuje.

Neznámé síly a reakce jsou zde F a N_E a k nim příslušné pasivní účinky a dále také vzdálenost ξ , kde působí normálová reakce v posuvné vazbě. Reakce v obecné vazbě C jsou známé z předešlého uvolnění tělesa 2. Jako v předešlém postupu uvolňování se použije podmínky rovnováhy v ose x a y a navíc momentové podmínky k bodu Z.

Obrázek 39 - Uvolnění tělesa 3 se zakreslenými silami a reakcemi



Při uvolňování se použily 3 podmínky rovnováhy:

Rovnováha sil v ose x:

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0 \\ N_{Cx} - T_{Cx} - N_E &= 0 \end{aligned} \quad \text{R. 16}$$

Rovnováha sil v ose y:

$$\begin{aligned} \sum F_{iy} &= 0 \\ N_{Cy} + T_{Cy} + T_E - F &= 0 \end{aligned} \quad \text{R. 17}$$

Momentová podmínka rovnováhy k bodu Z:

$$\begin{aligned} \sum M_{iZ} &= 0 \\ N_E \cdot \xi - F \cdot c + T_{Cy} \cdot b + T_{Cx} \cdot d + N_{Cy} \cdot b - N_{Cx} \cdot d &= 0 \end{aligned} \quad \text{R. 18}$$

Vyjádření normálové reakce N_E z rovnice R. 16:

$$\begin{aligned} N_C \cdot \cos \alpha - T_C \cdot \sin \alpha - N_E &= N_C \cdot \cos \alpha - N_C \cdot f_B \cdot \sin \alpha - N_E = 0 \\ N_C \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B) - N_E &= 0 \end{aligned}$$

Vztah N_E v závislosti na N_C :

$$N_E = N_C \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B) \quad \text{R. 19}$$

Dosazení normálové reakce N_C z rovnice R. 13:

$$N_E = \frac{Q \cdot f_A}{2 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)} \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B)$$

Výsledný vztah pro normálovou reakci N_E :

Po úpravě předešlé rovnice se dostane výsledný vztah pro normálovou reakci v posuvné vazbě.

$$N_E = \frac{Q \cdot f_A}{2} \quad \text{R. 20}$$

Vyjádření síly F z rovnice R. 17:

$$N_{Cy} + T_{Cy} + T_E - F = 0$$

$$F = N_{Cy} + T_{Cy} + T_E = N_C \cdot \sin \alpha + N_C \cdot f_B \cdot \cos \alpha + N_E \cdot f_B$$

Dosazení vztahu z R. 19 za normálovou reakci N_E :

$$F = N_C \cdot (\sin \alpha + f_B \cdot \cos \alpha) + N_C \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B) \cdot f_B \quad \text{R. 21}$$

$$F = N_C \cdot (\sin \alpha + 2 \cdot f_B \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B^2)$$

Výsledný vztah pro sílu F :

Po dosazení vztahu normálové reakce N_C z R. 13 se dostane výsledný vztah pro sílu ve šroubu.

$$F = \frac{Q \cdot f_A}{2 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)} \cdot (\sin \alpha + 2 \cdot f_B \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B^2) \quad \text{R. 22}$$

Úprava momentové podmínky z R. 18 pro vyjádření vzdálenosti ξ :

$$N_E \cdot \xi = F \cdot c - T_{Cy} \cdot b - T_{Cx} \cdot d - N_{Cy} \cdot b + N_{Cx} \cdot d$$

$$N_E \cdot \xi = F \cdot c - N_C \cdot \cos \alpha \cdot f_B \cdot b - N_C \cdot \sin \alpha \cdot f_B \cdot d - N_C \cdot \sin \alpha \cdot b + N_C \cdot \cos \alpha \cdot d$$

Výsledný vztah pro vzdálenost ξ :

$$\xi = \frac{F \cdot c - N_C \cdot (\cos \alpha \cdot f_B \cdot b - \sin \alpha \cdot f_B \cdot d - \sin \alpha \cdot b + \cos \alpha \cdot d)}{N_E} \quad \text{R. 23}$$

7.3.4. Uvolnění tělesa 4

Uvolnění tělesa 4 by se provedlo stejným způsobem, jako těleso 3. Výsledné vztahy budou vypadat stejně, proto nemá význam zde uvolňovat těleso 4.

Rovnost normálových reakcí v posuvných vazbách: $N_E = N_F$.

7.3.5. Vyčíslení všech neznámých sil a reakcí

Odvozené vztahy ze vztahů výše se použijí pro vyčíslení všech neznámých veličin.

Normálová reakce N_C a N_D z rovnice R. 13:

$$N_C = N_D = \frac{Q \cdot f_A}{2 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)} = \frac{60000 \cdot 0,1}{2 \cdot (\cos 12^\circ - 0,2 \cdot \sin 12^\circ)} = \underline{3203N}$$

Normálová reakce N_A a N_B z rovnice R. 14:

$$N_A = \frac{Q \cdot [2 \cdot a - f_A \cdot (l_1 + l_2)]}{4 \cdot a} = \frac{60000 \cdot [2 \cdot 225 - 0,1 \cdot (180 + 445)]}{4 \cdot 225} = \underline{25833N}$$

$$N_B = \frac{Q \cdot [2 \cdot a + f_A \cdot (l_1 + l_2)]}{4 \cdot a} = \frac{60000 \cdot [2 \cdot 225 + 0,1 \cdot (180 + 445)]}{4 \cdot 225} = \underline{34167N}$$

Normálová reakce N_E a N_F z rovnice R. 20:

$$N_E = N_F = \frac{Q \cdot f_A}{2} = \frac{60000 \cdot 0,1}{2} = \underline{3000N}$$

Síla F (Síla pro pohyb dvojice klínů směrem k sobě) z rovnice R. 22:

$$F = \frac{Q \cdot f_A \cdot (\sin \alpha + 2 \cdot f_B \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B^2)}{2 \cdot (\cos \alpha - f_B \cdot \sin \alpha)}$$

$$F = \frac{60000 \cdot 0,1 \cdot (\sin 12^\circ + 2 \cdot 0,2 \cdot \cos 12^\circ - \sin 12^\circ \cdot 0,2^2)}{2 \cdot (\cos 12^\circ - 0,2 \cdot \sin 12^\circ)} = \underline{1893N}$$

Vzdálenost ξ z rovnice R. 23:

$$\xi = \frac{F \cdot c - N_C \cdot (\cos \alpha \cdot f_B \cdot b - \sin \alpha \cdot f_B \cdot d - \sin \alpha \cdot b + \cos \alpha \cdot d)}{N_E}$$

$$\xi = \frac{1893 \cdot 33 - 3203 \cdot (\cos 12^\circ \cdot 0,2 \cdot 75 - \sin 12^\circ \cdot 0,2 \cdot 30 - \sin 12^\circ \cdot 75 + \cos 12^\circ \cdot 30)}{3000} = \underline{-8,2mm}$$

Z hlediska konzervativního přístupu pro překonání pasivních účinků se uvažuje síla v pohybovém šroubu $F = 6000 \text{ N}$. Je to i z důvodu kluzného uložení podpěr. Síla F bude použita v následujícím výpočtu pohybového šroubu.

Poznámka: Krajní poloha klínů

Výpočet je uvažován pro situaci, že klíny jsou v počáteční (středové) poloze, kdy všechny dvojice klínů mají shodnou Z souřadnici. V praxi však nastane situace, že klíny se budou přestavovat z krajní polohy. V krajní poloze jsou klíny od sebe maximálně vzdáleny. Vzdálenost l_1 a l_2 se změní z hodnoty $l_1 = 180 \text{ mm} \rightarrow 110 \text{ mm}$ a $l_2 = 445 \text{ mm} \rightarrow 515 \text{ mm}$. Ze vztahů R. 14 a R. 15 výše plyne, že v krajní poloze klínů nedojde ke změnám silových účinků.

7.4. Návrh pohybového šroubu

Teoretická část pohybového šroubu

Pohybový šroub slouží v konstrukci k přeměně rotačního pohybu na pohyb posuvný tedy točivého momentu na sílu. Pohybové šrouby mají široké uplatnění ve strojírenské praxi a to např. u zvedáků, pro supporty obráběcích strojů jako vodící šrouby soustruhů atd. Základní dělení pohybových šroubů je na závity s plošným dotykem a kuličkové pohybové šrouby. Přenos pohybu u šroubů s plošným dotykem je pomocí smykového tření. U kuličkových šroubů je to pomocí valivého tření. V konstrukční variantě byl **zvolen závit s plošným dotykem** a to kvůli tomu, že tyto závity umožňují v některých specifických případech samosvornost spojení šroubu a matice.

Závity s plošným dotykem jsou vyráběny s několika provedeními. Zde je následující rozdělení:

- Lichoběžníkový rovnoramenný závit
- Lichoběžníkový nerovnoramenný závit
- Čtvercový závit

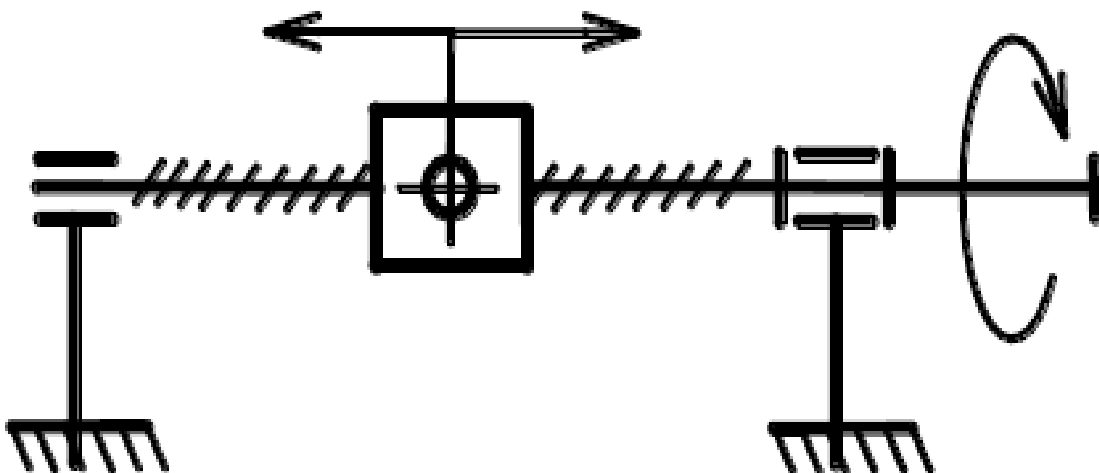
V konstrukčním řešení se použije **lichoběžníkový rovnoramenný závit**. Někdy je též lichoběžníkový závit nazýván jako trapézový závit. Obojí má stejný význam.

V praxi se používají 3 možné konstrukční uspořádání:

- a) šroub se otáčí na místě a matice se posouvá
- b) šroub se otáčí a posouvá v nehybné matici
- c) šroub se posouvá a matice se otáčí na místě

V konstrukčním provedení je vzájemný pohyb řešen tak, že **matice se posouvá a pohybový šroub se otáčí na místě**. Obrázek dole znázorňuje tento vzájemný pohyb součástí.

Obrázek 40 - Pohyb šroubu a matice, kde matice se posouvá a šroub se otáčí na místě [5]



7.4.1. Silové poměry pohybového šroubu

Při rozvinutí jednoho závitu pohybového šroubu do roviny lze zakreslit síly působící v pohybovém šroubu. Je třeba určit sílu k pohybu dvojice klínů směrem k sobě (zvedací síla).

Seznam základního značení:

F	Síla k překonání pasivních účinků soustavy (síla z rovnice R. 22) [N]
F_Z	Síla, která je potřebná k pohybu dvojice klínů k sobě (zvedací síla)[N]
F_T	Třecí síla [N]
F_N	Normálová síla [N]
φ	Úhel stoupání šroubovice [°]
γ	Třecí úhel [°]
$\alpha_{T.Z.}$	Úhel profilu trapézového závitu [°]
d_2	Střední průměr závitu [mm]
P_H	Stoupání závitu [mm]
f	Součinitel tření mezi maticí a šroubem [1]

7.4.1.1. Silové poměry při pohybu dvojice klínů směrem k sobě

V ose šroubu působí síla k překonání pasivních účinků, která se odvodila ze silových poměrů z kapitoly 7.3 z rovnice R. 22.

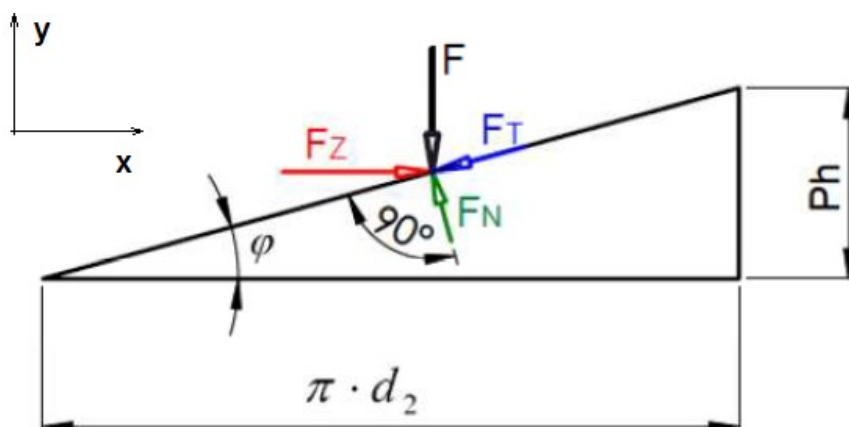
Úhel stoupání lze vyjádřit z trojúhelníku na obrázku níže pomocí goniometrické funkce tg a dostane se tak vztah:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_H}{\pi \cdot d_2} \quad \text{R. 24}$$

Třecí úhel, který není zakreslený v obrázcích, tak se spočte pomocí následujícího vzorce:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{F_T}{F_N} = f \quad \text{R. 25}$$

Obrázek 41 - Rozvinutý závit do roviny - silové poměry při pohybu dvojice klínů k sobě [6]



Při aplikaci podmínek rovnováhy lze vyjádřit vzorec pro sílu F_Z .

Podmínka rovnováhy v ose x:

$$\begin{aligned}\Sigma F_{xi} &= 0 \\ F_Z - F_N \cdot \sin \varphi - F_T \cdot \cos \varphi &= 0\end{aligned}\quad \text{R. 26}$$

Podmínka rovnováhy v ose y:

$$\begin{aligned}\Sigma F_{yi} &= 0 \\ -F - F_T \cdot \sin \varphi + F_N \cdot \cos \varphi &= 0\end{aligned}\quad \text{R. 27}$$

Velikost třecí síly se dá určit vztahem:

$$F_T = F_N \cdot f$$

Úprava podmínky rovnováhy v ose y z R. 27 a vyjádření normálové síly F_N :

$$F + F_N \cdot f \cdot \sin \varphi - F_N \cdot \cos \varphi = 0 \Rightarrow -F_N = -\frac{F}{(\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi)} \Rightarrow F_N = \frac{F}{(\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi)}$$

Úprava podmínky rovnováhy v ose x z R. 26 a vyjádření zvedací síly F_Z :

$$F_Z - F_N \cdot \sin \varphi - F_N \cdot f \cdot \cos \varphi = 0 \Rightarrow F_Z = F_N \cdot \sin \varphi + F_N \cdot f \cdot \cos \varphi = F_N \cdot (\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi)$$

Po dosazení za sílu F_N z předešlého vztahu se dostane výsledný vztah síly F_Z :

$$F_Z = \frac{F \cdot (\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi)}{(\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi)} = \frac{F \cdot (P_H + f \cdot \pi \cdot d_2)}{(\pi \cdot d_2 - f \cdot P_H)}$$

Tento vztah se dá dále upravit do zjednodušeného tvaru pomocí algebraických úprav a použití součtového vzorce pro funkci tg.

Výsledný vztah pro pohyb dvojice klínů k sobě (zvedací síla):

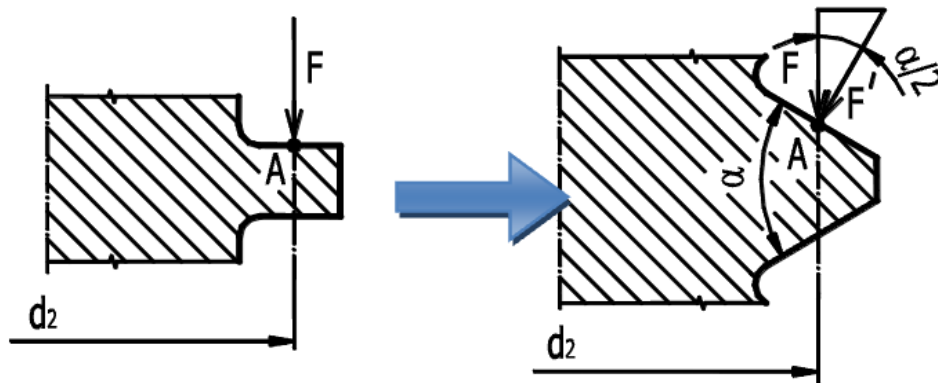
$$F_Z = \frac{F \cdot (\sin \varphi + f \cdot \cos \varphi)}{(\cos \varphi - f \cdot \sin \varphi)} = \frac{F \cdot \cos \varphi \cdot (\operatorname{tg} \varphi + f)}{\cos \varphi \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg} \varphi)} = \frac{F \cdot (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \gamma)}{1 - \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi} = \underline{\underline{F \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi)}}\quad \text{R. 28}$$

Výše uvedený odvozený vztah **platí pro čtvercový závit**. V případě použití lichoběžníkového závitu dochází k odklonu síly vlivem úhlu profilu závitu. Síla působí ve směru kolmém na profil závitu. Na skice na další straně je čtvercový závit s lichoběžníkovým a odklon síly F .

Normálová síla se vyjádří z trojúhelníku na obrázku na další straně a vztah je ve tvaru:

$$\cos \frac{\alpha_{T.Z.}}{2} = \frac{F}{F'} \Rightarrow F' = \frac{F}{\cos \frac{\alpha_{T.Z.}}{2}}\quad \text{R. 29}$$

Obrázek 42 – Řez čtvercovým a lichoběžníkovým (trapézovým) závitem a působení normálové síly [5]



Kde třecí síla je pro sílu F' :

$$F_T = F' \cdot f = \frac{F}{\cos \frac{\alpha_{T.Z.}}{2}} \cdot f = F \cdot f'$$

Upravený součinitel tření pro lichoběžníkový závit je ve tvaru níže [5]:

$$f' = \operatorname{tg} \gamma = \frac{f}{\cos \frac{\alpha_{T.Z.}}{2}} \quad \text{R. 30}$$

7.4.2. Moment potřebný ke zvednutí a spouštění břemene

Točivý moment potřebný k pohybu dvojice klínů směrem k sobě je součin síly F_z a středního poloměru závitu $d_2/2$.

Vztah pro moment potřebný k pohybu dvojice klínů směrem k sobě [5]:

$$\underline{\underline{M_z = F_z \cdot \frac{d_2}{2}}} \quad \text{R. 31}$$

7.4.3. Účinnost pohybového šroubu

Účinnost pohybového šroubu se dá vyjádřit jako podíl práce vykonané k práci dodané. U šroubové vazby je to poměr práce osové síly ve šroubu k práci vykonané hnací silou působící na závit na dráze odpovídající jedné otáčce [5].

Účinnost pohybového šroubu [5]:

$$\eta = \frac{W_{VYK}}{W_{DOD}} = \frac{F \cdot P_H}{F_z \cdot \pi \cdot d_2} = \frac{F \cdot P_H}{F_z \cdot \frac{P_H}{\operatorname{tg} \varphi}} = \frac{F \cdot \operatorname{tg} \varphi}{F_z} = \frac{F \cdot \operatorname{tg} \varphi}{F \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \gamma)} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\underline{\underline{\operatorname{tg}(\varphi + \gamma)}}} \quad \text{R. 32}$$

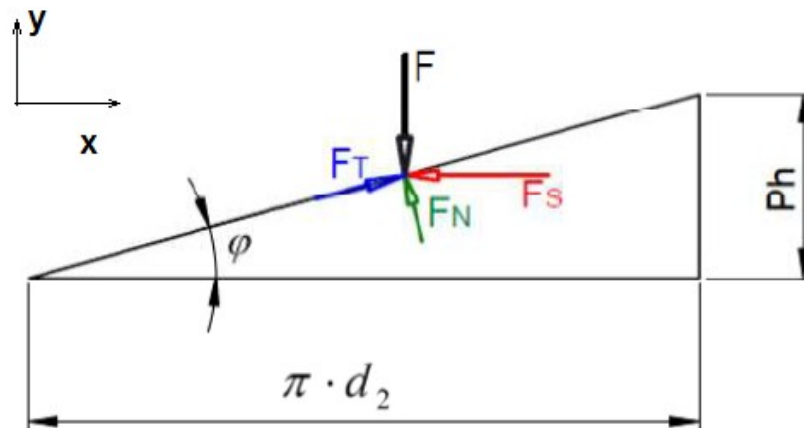
Poznámka:

Pohybový šroub s lichoběžníkovým (trapézovým) závitem má nižší účinnost než šroub se čtvercovým profilem.

7.4.4. Samosvornost pohybového šroubu

V případě, kdy je navržen šroub s velkým stoupáním může dojít k roztočení matice vlivem tíhy břemena. Z obrázku rozvinutého závitu do roviny a z podmínky rovnováhy v ose x lze odvodit, že velikost spouštěcí síly F_S závisí na vzájemném poměru x – ové složky třecí síly a síly normálové. Dojde-li k tomu, že je spouštěcí síla nulová dá se v tomto případě hovořit o hranici samosvornosti. Pohybový šroub je samosvorný v případě, kdy je spouštěcí síla větší než nula.

Obrázek 43 - Rozvinutý závit do roviny [6]



Z podmínky rovnováhy v ose x podle obrázku výše se vyjádří síla F_S :

$$-F_S - F_N \cdot \sin \varphi + F_T \cdot \cos \varphi = 0$$

$$F_S = F_T \cdot \cos \varphi - F_N \cdot \sin \varphi = F_N \cdot f \cdot \cos \varphi - F_N \cdot \sin \varphi$$

Podmínka samosvornosti:

$$F_S > 0$$

Po dosazení vzorce F_S :

$$F_N \cdot f \cdot \cos \varphi > F_N \cdot \sin \varphi$$

$$f \cdot \cos \varphi > \sin \varphi \Rightarrow f > \underline{\underline{\operatorname{tg} \varphi}}$$

Tento vztah platí pro závit se čtvercovým profilem, pro lichoběžníkový závit dochází k úpravě tohoto vztahu na tvar níže vlivem úhlu profilu závitu.

Výsledný vztah podmínky samosvornosti pro lichoběžníkový závit:

$$\underline{\underline{f > \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \frac{\alpha}{2}}}$$

R. 33

V případě samosvornosti pohybového šroubu a matice dochází k tzv. **mrtvému chodu**. Tento mrtvý chod existuje v důsledku vůlí mezi maticí a šroubem. Mrtvý chod by byl problém u obráběcích strojů, kde je požadavek na vysokou přesnost. V této aplikaci mrtvý chod nebude mít žádný vliv na polohování, protože zde není tak vysoký nárok na přesnost.

Tabulka 8 - Hodnoty součinitele tření v závitech – f [6]

Materiál šroubu	Materiál matice			
	Ocel	Bronz	Mosaz	Litina
Ocel bez mazání	0,15÷0,25	0,15÷ 0,23	0,15÷0,19	0,15÷0,25
Ocel, závity mazány	0,11÷0,17	0,10÷0,16	0,10÷0,15	0,11÷0,17
Bronz	0,08÷0,12	0,04÷0,06	-	0,06÷0,09

Materiálově je řešen šroub z oceli a matice z bronzu. Pro tyto materiály se vezme z tabulky 8 konzervativní hodnota součinitele tření v závitech šroubu a matice $f = 0,23$. Pro konzervativní přístup se uvažuje, že šroub nebude mazán. Pro snížení tření je možné v praxi použít kluzných laků nebo oleje.

Součinitel tření mezi závity šroubu a matice

$$f = 0,23$$

7.4.5. Pevnostní výpočet pohybového šroubu

Pohybový šroub je namáhán silou na překonání pasivních účinků na tah a smykovým napětím od krouticího momentu. Musí se též provést kontrola závitů na otláčení a určit nutný počet závitů matice. V poslední části analytického pevnostního výpočtu šroubu se provede kontrola šroubu v případě seizmické události.

a) Určení velikosti závitu šroubu

Průměr závitu se určí z normálového napětí se zahrnutým součinitelem namáhání v krutu.

Pevnostní podmínka šroubu [5]:

$$\sigma_{T(D)} \cdot \beta \leq \sigma_{DH} \quad R. 34$$

Kde koeficient β zahrnuje vliv zatím neznámého krutu na výsledné namáhání. Pro jednoduchý závit má koeficient hodnotu $\beta=1,3$ [5].

Při dosazení za normálové napětí:

$$\frac{F}{S} \cdot \beta = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \cdot \beta \leq \sigma_{DH}$$

Kde průměr d_3 , představuje malý průměr závitu a tím i nejmenší průměr šroubu. Dle normy ČSN 01 4050 se vyhledá normalizovaná velikost lichoběžníkového závitu, kde normalizovaná velikost průměru d_3 bude větší než průměr d_3 vypočtený podle vztahu níže.

Výsledný vztah pro výpočet nejmenšího průměru závitu

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot \beta}{\sigma_{DH} \cdot \pi}} \quad R. 35$$

b) Normálové napětí v tahu

Pro zvolený normalizovaný průměr závitu se spočte normálové napětí ve šroubu pro nejmenší průměr šroubu. Pohybový šroub je namáhán silou F v ose pohybového šroubu.

Rovnice pro normálové napětí:

$$\sigma_{T(D)} = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \quad \text{R. 36}$$

Kde průřez S představuje nejmenší průřez šroubu.

c) Smykové napětí v krutu

Kde M_Z je moment pro pohyb klínů k sobě a W_K je modul průřezu v krutu pro nejmenší průměr šroubu d_3 . Kroučící moment M působí na horní a spodní klín a proto dvojnásobek hodnoty kroučícího momentu M_Z .

Rovnice pro smykové napětí:

$$\tau_K = \frac{2 \cdot M_Z}{W_K} = \frac{2 \cdot M_Z}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{M}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \quad \text{R. 37}$$

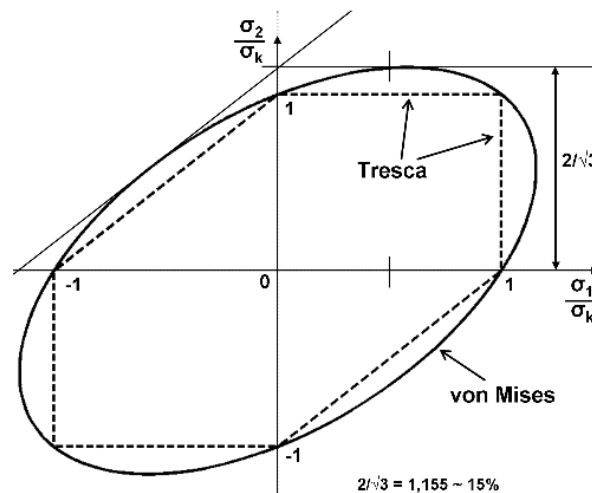
d) Redukované napětí (Podmínka τ_{MAX})

Hodnota redukovaného napětí se spočte z kritéria podle Trescy, což je teorie maximálních smykových napětí. Z obrázku níže je vidět, že kritérium von Misesa má větší hodnotu únosnosti, což je vyjádřeno větší plochou na obrázku. Kritérium Tresca zaujímá menší plochu a je konzervativnější na rozdíl od kritéria von Misesa.

Velikost redukovaného napětí dle Trescy lze spočítat podle následujícího vztahu:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_{T(D)}^2 + 4 \cdot \tau_K^2} \leq \sigma_{DH} \quad \text{R. 38}$$

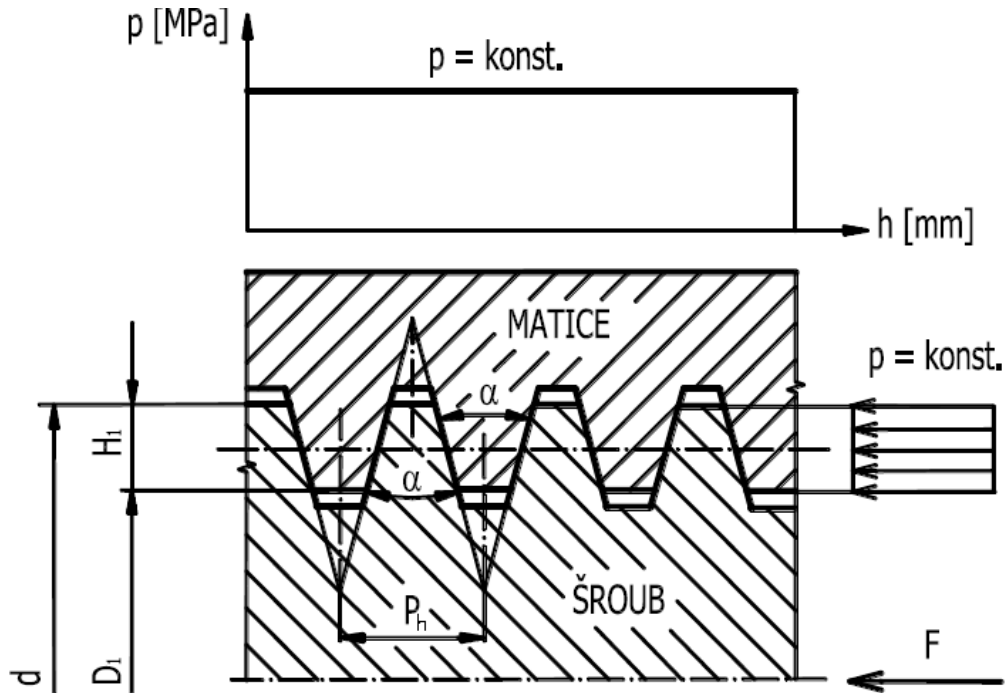
Obrázek 44 - Podmínky plasticity von Misesa a Tresca [7]



e) Určení výšky matice

Z tlaku ve stykových plochách matice a šroubu lze určit nutný počet závitů matice, tak aby nedošlo k otlacení závitů měrným tlakem. Při znalosti nutného počtu závitů lze určit výšku matice pohybového šroubu. Na skice níže je vidět působení měrného tlaku mezi závity.

Obrázek 45 - Rozložení měrného tlaku v závitech matice a šroubu [5]



Podmínka tlaku ve stykových plochách [5]:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot n} \leq p_D \quad \text{R. 39}$$

Kde H_1 představuje tzv. nosnou výšku závitu [5]:

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} \quad \text{R. 40}$$

Kde d je velký průměr závitů šroubu a D_1 je nejmenší průměr matice.

Rovnice pro výpočet počtu závitů

Z podmínky tlaku ve stykových plochách se vyjádří počet nutných závitů matice.

$$n \geq \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D} \rightarrow n_{zvol} \quad \text{R. 41}$$

Nutná výška matice

Zvolí se matice s vyšším počtem závitů n_{ZVOL} než které vyšly z rovnice R. 41.

f) Kontrola závitů na otláčení

Po vybrání matice s n_{ZVOL} závitů se provede výsledná kontrola závitů na otláčení.

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot n_{ZVOL}} \leq p_D \quad \text{R. 42}$$

Musí být splněna podmínka:

$$p \leq p_D \quad \text{R. 43}$$

Dovolený tlak mezi závity se vezme z následující tabulky 9. Při návrhu se uvažuje matice z bronzu, kdy se volí konzervativně při rychlosti menší než 0,02 m/s hodnota $p_D = 17 \text{ MPa}$. Tabulka byla převzata z literatury [6].

Hodnota dovoleného tlaku mezi závity

$$p_D = 17 \text{ MPa}$$

Tabulka 9 - Dovolené měrné tlaky v závitech [6]

Materiál šroubu	Materiál matice	Dovolený tlak v závitech p_D (MPa)	Rychlost (m/s)
Ocel	Bronz	17÷24	menší než 0,02
		11÷17	0,05
		5÷10	0,1÷0,2
		1÷2	0,25
Ocel	Litina	12÷17	0,04
		4÷7	0,1÷0,2

g) Kontrola pohybového šroubu při seizmickém zatížení

V okamžiku seizmické události působí na jednu dvojici klínů síla Q_{HS2x} , tato síla se rozdělí na dvě poloviny, kde $Q_{HS2x}/2$ namáhá jeden klín z dvojice klínů. Tato síla rozloží a do směrů x a y, kdy y-nová složka namáhá pohybový šroub na tah. Seizmické zatížení se uvažuje jako trojnásobek provozního zatížení z rovnice R. 3.

Seizmické zatížení:

$$Q_{HS2x} = 3 \cdot Q$$

Normálová složka N_C a N_D působící na klíny při seizmicitě z obrázku 46:

$$N_{CHS2} = N_{DHS2} = \frac{Q_{HS2x}}{2 \cdot \cos \alpha} \quad \text{R. 44}$$

Použití rovnice R. 21 pro vyjádření síly ve šroubu F_{HS2y} při dosazení normálové složky N_{CHS2} :

$$F_{HS2y} = N_{CHS2} \cdot (\sin \alpha + 2 \cdot f_B \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B^2) \quad \text{R. 45}$$

Napětí v tahu při seizmické události

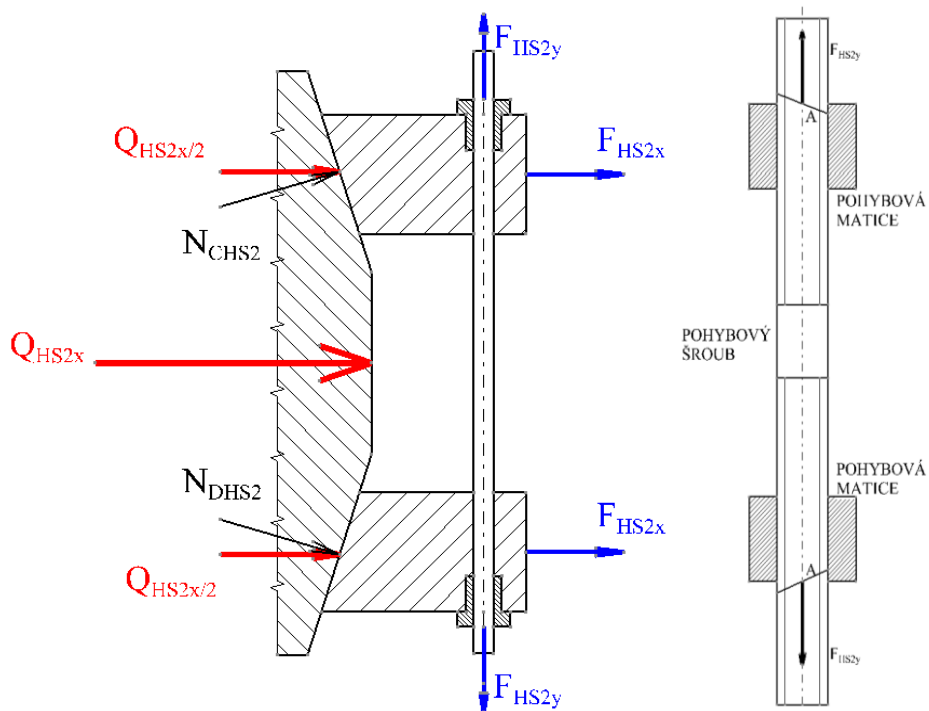
Normálové napětí v tahu pro nejmenší průřez šroubu a splnění pevnostní podmínky.

$$\sigma_{T_{HS2}} = \frac{F_{HS2y}}{S} = \frac{F_{HS2y}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \rightarrow \sigma_{T_{HS2}} \leq \sigma_{DHS2} \quad \text{R. 46}$$

Kontrola na otláčení závitů při seizmické události

$$p_{HS2} = \frac{F_{HS2y}}{S} = \frac{F_{HS2y}}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot n_{ZVOL}} \leq p_D$$

Obrázek 46 - Rozbor sil při seizmickém zatížení



Výpočetní část pohybového šroubu

V této podkapitole se navrhne a pevnostně zkontroluje pohybový šroub s maticí. V první části bude předběžně navržen lichoběžníkový závit pohybového šroubu. Dále se provede pevnostní kontrola a navrhne a poté zkontroluje matice. V další podkapitole se provede kontrola pohybového šroubu při seizmickém zatížení.

7.4.6. Návrh a kontrola šroubu při provozních podmínkách

a) Určení velikosti závitu šroubu

Ze vztahu z teoretické části se spočte předběžný průměr pohybového šroubu a z praktické části pevnostního výpočtu v podkapitole použitých materiálů z tabulky se vezme dovolené napětí pro materiál pohybového šroubu C35 (12040).

$$\sigma_{DH} = 254 \text{MPa}$$

Použití rovnice R. 35 pro návrh průměru d_3 :

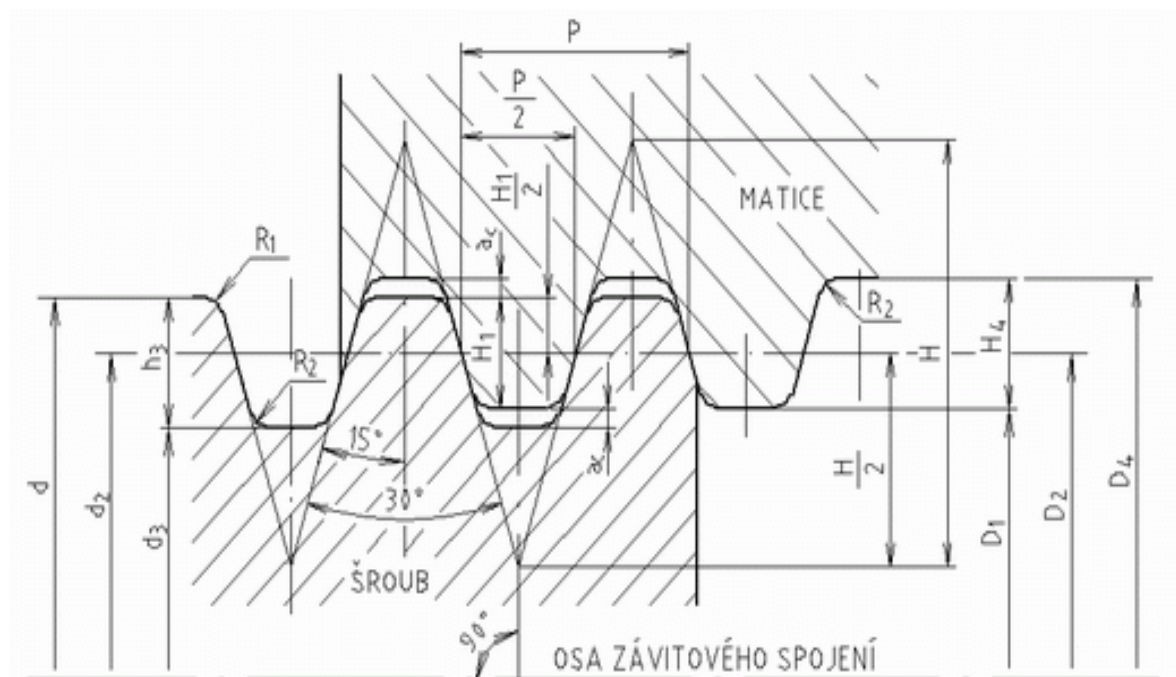
$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot \beta}{\sigma_{DH} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6000 \cdot 1,3}{254 \cdot \pi}} \geq 6,25 \text{ mm}$$

Volí se lichoběžníkový normalizovaný závit dle ČSN 01 4050 **Tr 20x2**. Pohybový šroub má dva závity TR 20x2. Jedna část šroubu má levochodý závit a druhá část šroubu má pravochoďový závit. Na konci této podkapitoly je 3D model šroubu.

b) Rozměry navrženého závitu

Na následujícím obrázku jsou vidět jednotlivé rozměry závitu šroubu a matice. Na této straně je i tabulka s rozměry jednotlivých průměrů.

Obrázek 47 - Rozměry lichoběžníkového závitu [8]



Tabulka 10 - Rozměry pohybového šroubu

Rozměr pohybového šroubu	Označení	Hodnota	Jednotky
Velký průměr šroubu	d	20	mm
Střední průměr šroubu	d_2	19	mm
Malý průměr šroubu	d_3	17,5	mm
Malý průměr matice	D_1	18	mm
Střední průměr matice	D_2	19	mm
Velký průměr matice	D_4	20,5	mm
Rozteč	P_H	2	mm

c) Síla pro pohyb dvojice klínů k sobě

Úhel stoupání lichoběžníkového závitu R. 24:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_H}{\pi \cdot d_2} = \frac{2}{\pi \cdot 19} \Rightarrow \varphi = 1^{\circ}56'$$

Třecí úhel lichoběžníkového závitu ze vztahu R. 30:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{f}{\cos \frac{\alpha_{T.Z.}}{2}} = \frac{0,23}{\cos \frac{30}{2}} \Rightarrow \gamma = 13^{\circ}24'$$

Podmínka samosvornosti:

$$\gamma > \varphi$$

$$13^{\circ}24' > 1^{\circ}56'$$

Spoj je samosvorný!

Síla pro pohyb dvojice klínů směrem k sobě R. 28:

$$F_z = F \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \gamma) = 6000 \cdot \operatorname{tg}(1^{\circ}56' + 13^{\circ}24') = \underline{\underline{1645N}}$$

d) Moment pro pohyb dvojice klínů k sobě

Moment pro pohyb dvojice klínů k sobě z R. 31:

$$M_z = F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \gamma) = 6000 \cdot \frac{19}{2} \cdot \operatorname{tg}(1^{\circ}56' + 13^{\circ}24') = \underline{\underline{15629N.mm = 15,7N.m}}$$

Jelikož moment je potřebný pro dvojici klínů, tak se hodnota momentu vynásobí dvěma.

$$M = 2 \cdot M_z = 2 \cdot 15629 = \underline{\underline{31258N.mm = 31,3N.m}}$$

e) Účinnost pohybového šroubu z rovnice R. 32

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg}(\varphi + \gamma)} = \frac{\operatorname{tg} 1^{\circ}56'}{\operatorname{tg}(1^{\circ}56' + 13^{\circ}24')} = 0,123 = \underline{\underline{12,3\%}}$$

f) Velikost redukovaného napětí

Normálové napětí ve šroubu z rovnice R. 36:

$$\sigma_{T(D)} = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{6000}{\frac{\pi \cdot 17,5^2}{4}} = 24,9MPa$$

Smykové napětí od krouticího momentu z rovnice R. 37:

$$\tau_K = \frac{M}{W_K} = \frac{M}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{31258}{\frac{\pi \cdot 17,5^3}{16}} = 29,7MPa$$

Redukované napětí (dle podmínky τ_{MAX}) R. 38:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_{T(D)}^2 + 4 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{24,9^2 + 4 \cdot 29,7^2} = \underline{\underline{64,4MPa}}$$

g) Kontrola splnění pevnostní podmínky

$$\sigma_{RED} \leq \sigma_{DH}$$

$$\underline{64,4MPa \leq 254MPa}$$

Hodnota redukovaného napětí má menší hodnotu než dovolené napětí. **Šroub TR 20x2** vyhovuje pro provozní zatížení a nyní se provede dimenzování bronzové přírubové matice.

h) Počet závitů matice

Počet závitů matice z rovnice R. 41:

$$n \geq \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot p_D} = \frac{6000}{\pi \cdot 19 \cdot \frac{20 - 18}{2} \cdot 17} = 5,91 \text{ závitů}$$

Je zvolena přírubová bronzová matice s výškou matice 110 mm a počtem 55 závitů.

$$n_{ZVOL} \geq n$$

$$\underline{55 \geq 5,91}$$

i) Kontrola závitů na otláčení

Pro zvolený počet závitů se provede kontrola na otláčení závitů z rovnice R. 42:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot n_{ZVOL}} = \frac{6000}{\pi \cdot 19 \cdot \frac{20 - 18}{2} \cdot 55} = \underline{1,83MPa}$$

j) Kontrola splnění tlaku ve stykových plochách z rovnice R. 43

$$p \leq p_D$$

$$\underline{1,83MPa \leq 17MPa}$$

Zvolená přírubová bronzová matice vyhovuje z hlediska otláčení závitů při provozním zatížení.

Obrázek 48 - Vlevo - Přírubová bronzová matice [19]; Vpravo – Trapézový závit [19]



7.4.7. Pevnostní kontrola pohybového šroubu při seizmickém zatížení

Při seizmické události se uvažuje, že pohybové šrouby jsou namáhány na tah. Při výpočtu napětí se vezme nejmenší průřez šroubu.

$$Q_{HS2x} = 180000N$$

Normálová složka působící na klín z rovnice R. 44:

$$N_{CHS2} = N_{DHS2} = \frac{Q_{HS2x}}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{180000}{2 \cdot \cos 12^\circ} = 92011N$$

Použití rovnice R. 45 pro vyjádření síly ve šroubu při dosazení normálové složky:

$$F_{HS2y} = N_{CHS2} \cdot (\sin \alpha + 2 \cdot f_B \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot f_B^2) = 92011 \cdot (\sin 12^\circ + 2 \cdot 0,2 \cdot \cos 12^\circ - \sin 12^\circ \cdot 0,2^2)$$
$$F_{HS2y} = 54365N$$

Namáhání na tah z rovnice R. 46:

$$\sigma_{THS2} = \frac{F_{HS2y}}{S} = \frac{54365}{\frac{\pi \cdot 17,5^2}{4}} = 226MPa$$

Kontrola pevnostní podmínky:

Hodnota dovoleného napětí pro pohybový šroub při seizmické události se vezme z kapitoly 9 pevnostního výpočtu z praktické části v sekci použitých materiálů.

$$\sigma_{THS2} \leq \sigma_{DHS2}$$
$$\underline{\underline{226MPa \leq 380MPa}}$$

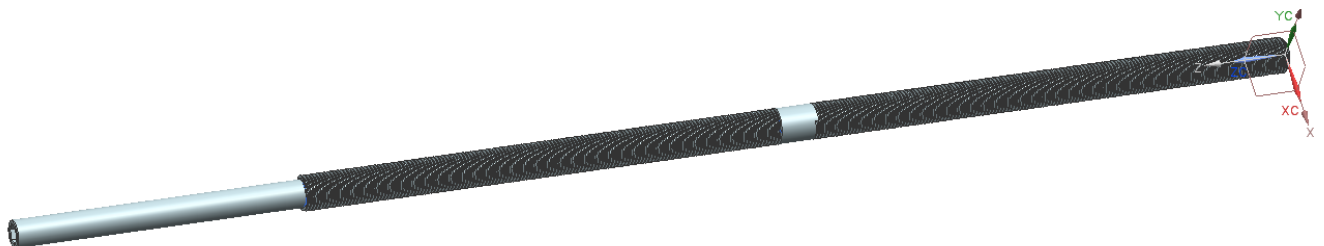
Kontrola na otláčení závitů během seizmické události:

$$p_{HS2} = \frac{F_{HS2y}}{S} = \frac{F_{HS2y}}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot n_{ZVOL}} = \frac{54365}{\pi \cdot 19 \cdot \frac{20-18}{2} \cdot 55} = 16,55MPa$$

$$p_{HS2} \leq p_D \rightarrow \underline{\underline{16,55MPa \leq 17MPa}}$$

Pohybový šroub Tr20x2 pevnostně vyhovuje seizmickému zatížení. Na obrázku níže je 3D model pohybového šroubu, kde jsou dva závity, levochodý a pravochoď. Na konci pohybového šroubu je šestihran pro manuální zálohu.

Obrázek 49 – 3D model pohybového šroubu



7.5. Návrh snímače polohy

Pro zjištění polohy klínů je třeba mít na pohybových šroubech umístěné snímače polohy, které zjistí s přesností polohu klínu a tím polohu šroubového zvedáku. Snímače umožňují realizovat zpětnou vazbu od soustavy. Pomocí rotačních optických snímačů lze zjistit momentální polohu natočení hřídele motoru, měřit úhlovou rychlost otáčení nebo zrychlení. V tomto konstrukčním řešení je použito rotačního optického enkóderu.

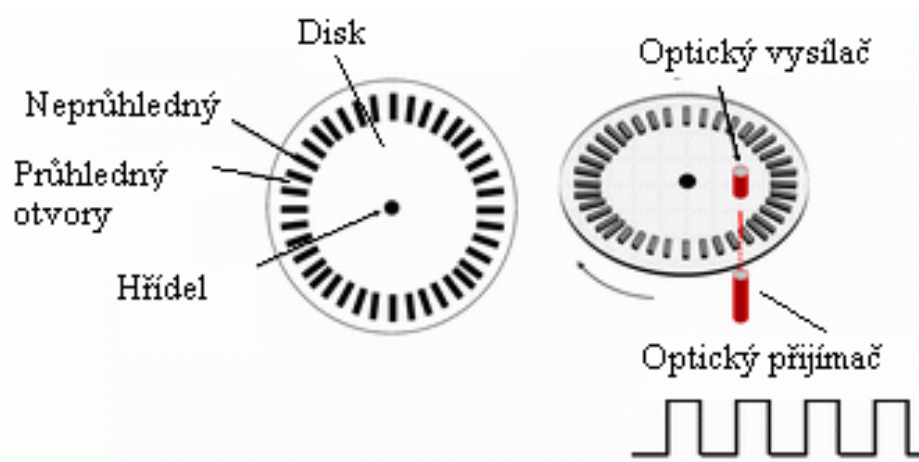
7.5.1. Rotační optické snímače pro měření natočení

Rotační optický snímač je elektromechanický převodník, který převádí rotační pohyb na elektrický signál.

Snímač je složen z těchto hlavních částí:

- Disk s opticky průhlednými a neprůhlednými otvory nebo odrazných a neodrazných plošek
- Optický vysílač, který je tvořen nejčastěji LED diodou, která vysílá světlo ve viditelném nebo infračerveném spektru
- Optický přijímač - fototranzistor nebo fotodioda
- Součástí snímače může být optika pro zaostření optického paprsku

Obrázek 50 - Princip rotačního optického snímače [20]



7.5.2. Princip funkce snímače

LED dioda vysílá světlo, které prochází diskem pouze skrze průhledné otvory. Neprůhledné otvory pohlcují světlo. Otáčením disku se vytváří světelné impulzy, které aktivují optický snímač. Optický snímač převádí světelné impulzy na elektrický signál. Tento elektrický signál už se dále zpracuje. V konstrukčním řešení se použije inkrementální a absolutní snímač polohy. Absolutní snímač dokáže identifikovat polohu v rámci 360° a dají se rozdělit na dvě kategorie a to na jedno otáčkové a více otáčkové. Uvedené informace o principu funkce snímače byly čerpány ze stránek [20]. Inkrementální snímač je součástí servomotoru pohybového šroubu.

Rozdělení optických snímačů:

- Absolutní
- Inkrementální

7.5.3. Absolutní snímač polohy

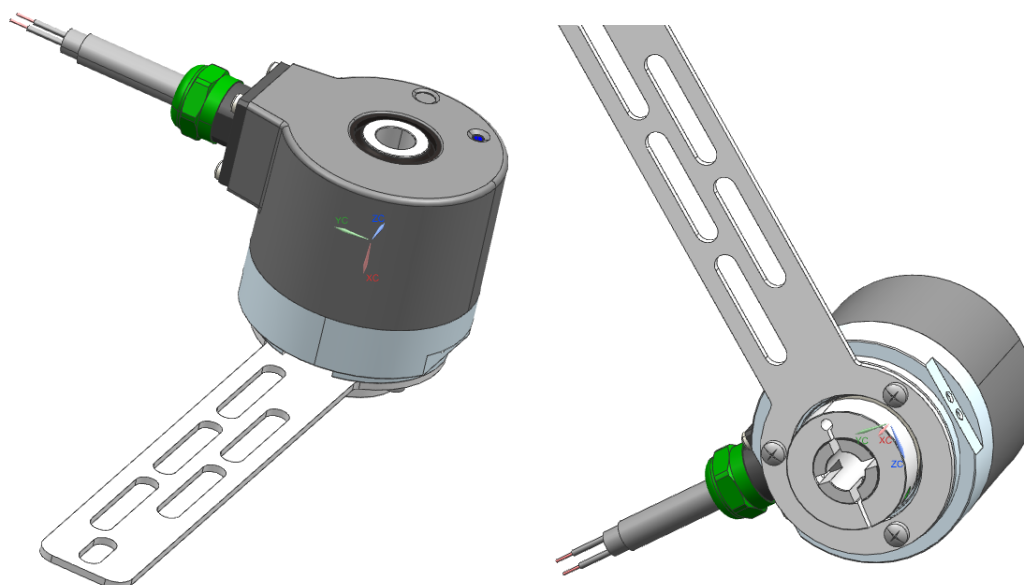
Byl vybrán absolutní víceotáčkový snímač polohy od firmy Kűbler. Parametry snímače jsou uvedeny v následující tabulce 11. Snímač má dostatečně vysoké rozlišení. Celkem jsou zapotřebí čtyři optické absolutní snímače. Na každém z pohybových šroubů je na konci tohoto šroubu umístěn tento snímač. Pod tabulkou je stažený 3D model ze stránek společnosti Kűbler [23].

Označení zvoleného snímače: **SENDIX 5883 SIL**

Tabulka 11 - Parametry absolutního víceotáčkového optického snímače [23]

Název	Hodnota	Jednotky
Průměr snímače	58	mm
Maximální otáčky hřídele	9000	ot /min
Maximální rozlišení	17+12	bit

Obrázek 51 – 3D model absolutního optického snímače SENDIX 5883 SIL [23]



7.6. Návrh elektromotoru a převodovky

Nad rámec diplomové práce se navrhnul pohon pro pohybový šroub. Pro pohon pohybového šroubu byl vybrán servomotor. Servomotorem lze nastavit natočení pohybového šroubu. Svoji velikostí je podstatně menší než asynchronní motory, které jsou ve stávajícím řešení. Pro redukci otáček a zvýšení momentu je na konci servomotoru umístěna planetová převodovka. Dále jsou zde uvedeny základní vztahy při návrhu pohonu.

Požadovaný moment na výstupu a otáčky

Moment je převzat z kapitoly návrhu pohybového šroubu a byly zvoleny otáčky šroubu.

Požadovaný moment:

$$M_{POŽ} = 33 \text{ N.m}$$

Otáčky pohybového šroubu:

$$n_{POŽ} = 60 \text{ ot/min}$$

Účinnost planetové převodovky a kuželové převodovky

Při výpočtu celkové účinnosti se uvažuje s tím, že se pro spojení pohonu s planetovou převodovkou a pohybového šroubu použije kuželová převodovka, což není nezbytné. Může být použit i jiný převod nebo jiný typ spojení.

Účinnost planetového převodu [24]:

$$\eta_{P.P} = 0,88 = 88\%$$

Účinnost kuželového převodu:

$$\eta_{K.P} = 0,8 = 80\%$$

Celková účinnost převodu:

$$\eta_{ZAR} = \eta_{P.P} \cdot \eta_{K.P} = 0,88 \cdot 0,8 = 0,704 = 70,4\%$$

Požadovaný výkon pohonu [34]

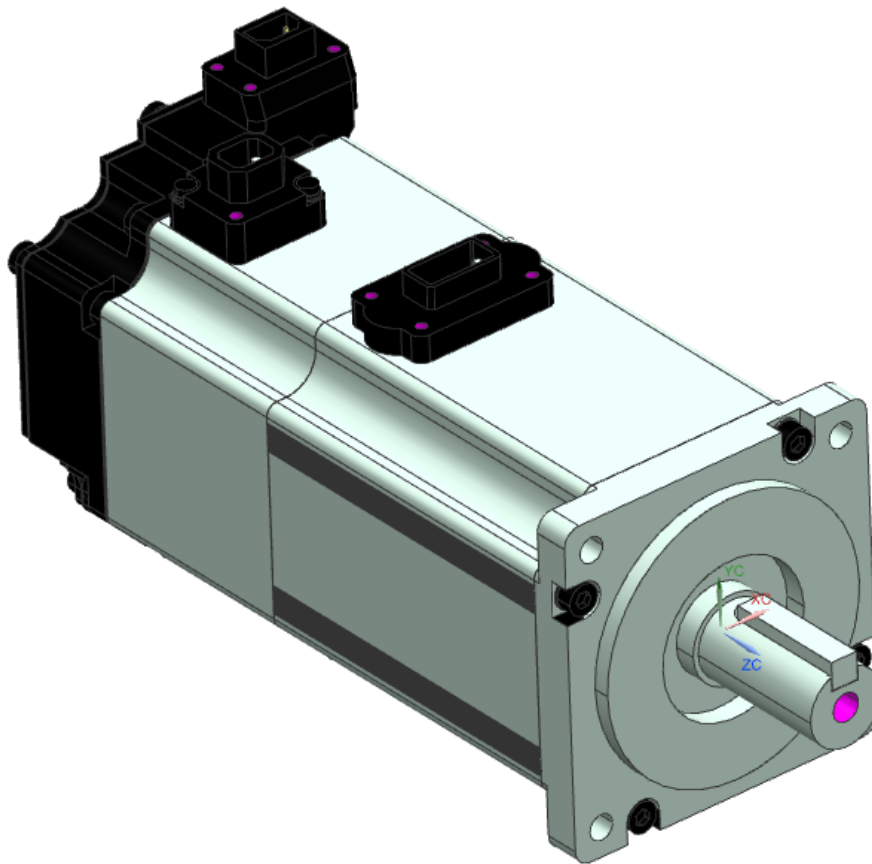
$$P_{el} = \frac{M_{POŽ} \cdot n_{POŽ}}{\eta_{ZAR} \cdot 9,55} = \frac{33 \cdot 60}{0,704 \cdot 9,55} = 295W$$

Výkon pohonu musí být větší než hodnota $P_{el} = 295 \text{ W}$.

7.6.1. Servomotor

Vybraný servomotor je od společnosti OMRON s označením R88M-K40030H-BS2. Pohon je velmi malý, jeho rozměry jsou 60x60x140 mm. Součástí servomotoru je inkrementální snímač polohy s brzdou. Jmenovitý moment pohonu činí $M_{VST}=1,3 \text{ N.m}$. Z výpočtu pohybového šroubu je požadovaný minimální moment. Výkon zvoleného pohonu je větší než požadovaný výkon pohonu. Byl zvolen servomotor s výkonem 400 W. Na následujícím obrázku je 3D model servomotoru, který byl stažen ze stránek společnosti [24].

Obrázek 52 - Servomotor – OMRON-R88M-K40030H-BS2 [24]



7.6.2. Převodovka

Pro redukci otáček a zvýšení momentu byla vybrána planetová převodovka. Planetová převodovka byla vybrána pro svoje menší rozměry oproti jiným převodovkám a velkému převodovému poměru při své malé velikosti. Vybraná planetová převodovka je od firmy NEUGART s označením PLE 60. Velikost planetové převodovky činí 60x60x85 mm.

Výstupní moment převodovky

Ze vztahu převodového poměru a momentů lze vypočítat výstupní moment převodovky.

$$i = \frac{M_{VYST}}{M_{VST}} \rightarrow M_{VYST} = i \cdot M_{VST} = 40 \cdot 1,3 = \underline{52N.m}$$

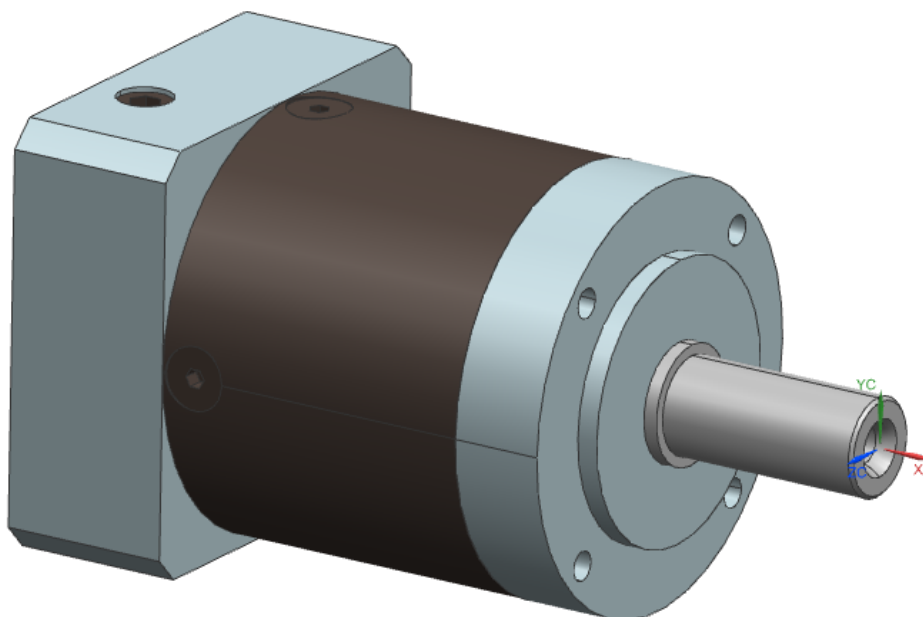
Výstupní otáčky převodovky

Ze vztahu převodového poměru a otáček lze vypočítat výstupní otáčky převodovky.

$$i = 40 = \frac{n_{VST}}{n_{VYST}} \rightarrow n_{VYST} = \frac{n_{VST}}{i} = \frac{3000}{40} = \underline{75ot / min}$$

Na následujícím obrázku je 3D model planetové převodovky, který byl stažen ze stránek společnosti [25].

Obrázek 53 – 3D model zvolené planetové převodovky [25]



7.6.3. Přehled parametrů servomotoru a převodovky

Na následující tabulce je přehled parametrů servomotoru a planetové převodovky.

Tabulka 12 - Přehled parametrů servomotoru [24] a planetové převodovky [25]

Název	Označení	Hodnota	Veličina
Výkon servomotoru	$P_{zv.el.}$	400	W
Moment servomotoru	M_{VST}	1,3	N.m
Otáčky servomotoru	n_{VST}	3000	ot. /min
Napájení	U	230	V
Převodový poměr převodovky	i	40	1
Výstupní otáčky převodovky	n_{VYST}	75	ot/min
Výstupní moment převodovky	M_{VYST}	52	N.m
Nominální moment převodovky	M_{NOM}	40	N.m
Maximální moment převodovky	M_{MAX}	64	N.m
Účinnost planetové převodovky	$\eta_{P.P}$	88	%
Výstupní průměr hřídele převodovky	d_{VYST}	14	mm

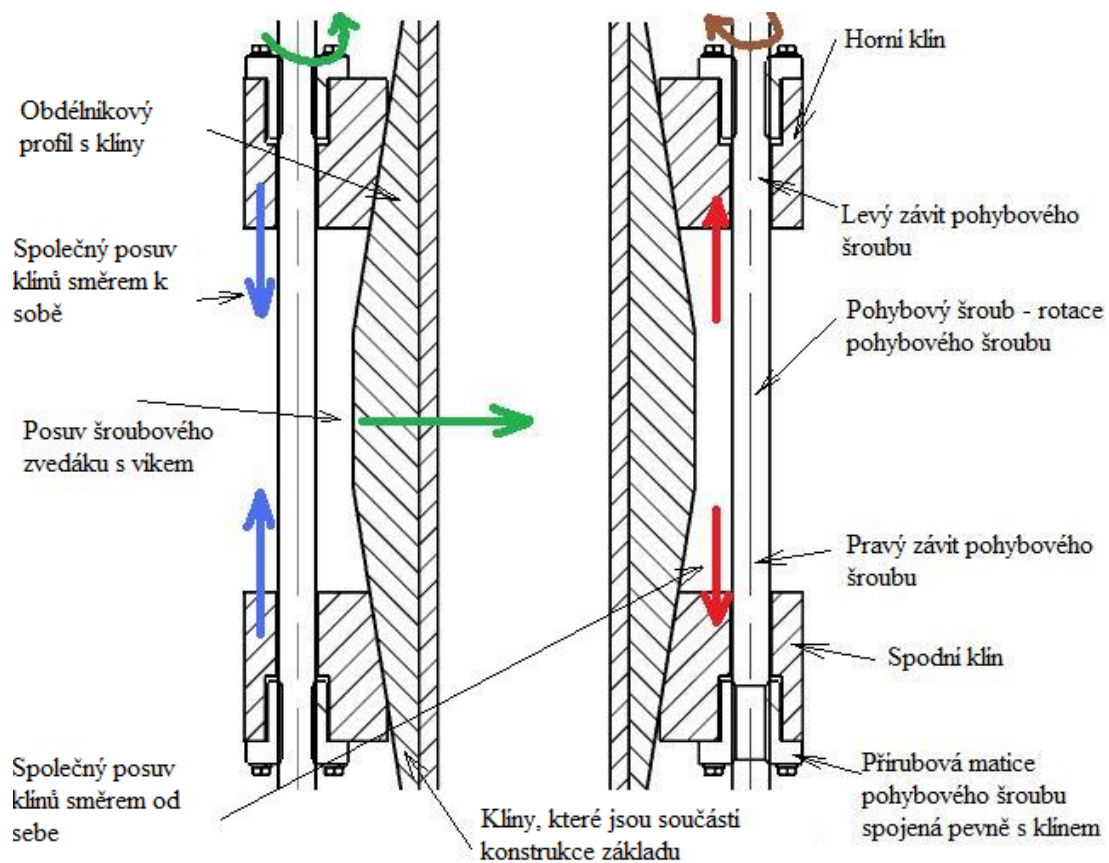
7.7. Návrh klínů

Klíny jsou nejpodstatnější změnou v konstrukčním řešení polohovacího zařízení. Pomocí klínu se bude měnit poloha celého zařízení a pomocí klínů se bude také provádět aretace zařízení. Klíny jsou rozmístěné po obvodě šroubového zvedáku, kdy každá dvojice horního a spodního klínu se pohybuje od sebe a k sobě podle toho jakým směrem je potřeba změnit polohu zařízení. Dvojice klínů se pohybuje po lištách (vedeních), které jsou součástí konstrukce základu. Klíny přicházejí do styku s protějšími klíny, které jsou součástí konstrukce zvedáku.

7.7.1. Popis funkce

Na obrázku níže jsou rozkresleny klíny s jednotlivými pohyby a pod obrázkem je princip, jak pracují klíny.

Obrázek 54 - Klíny s pohybovým šroubem a popisem

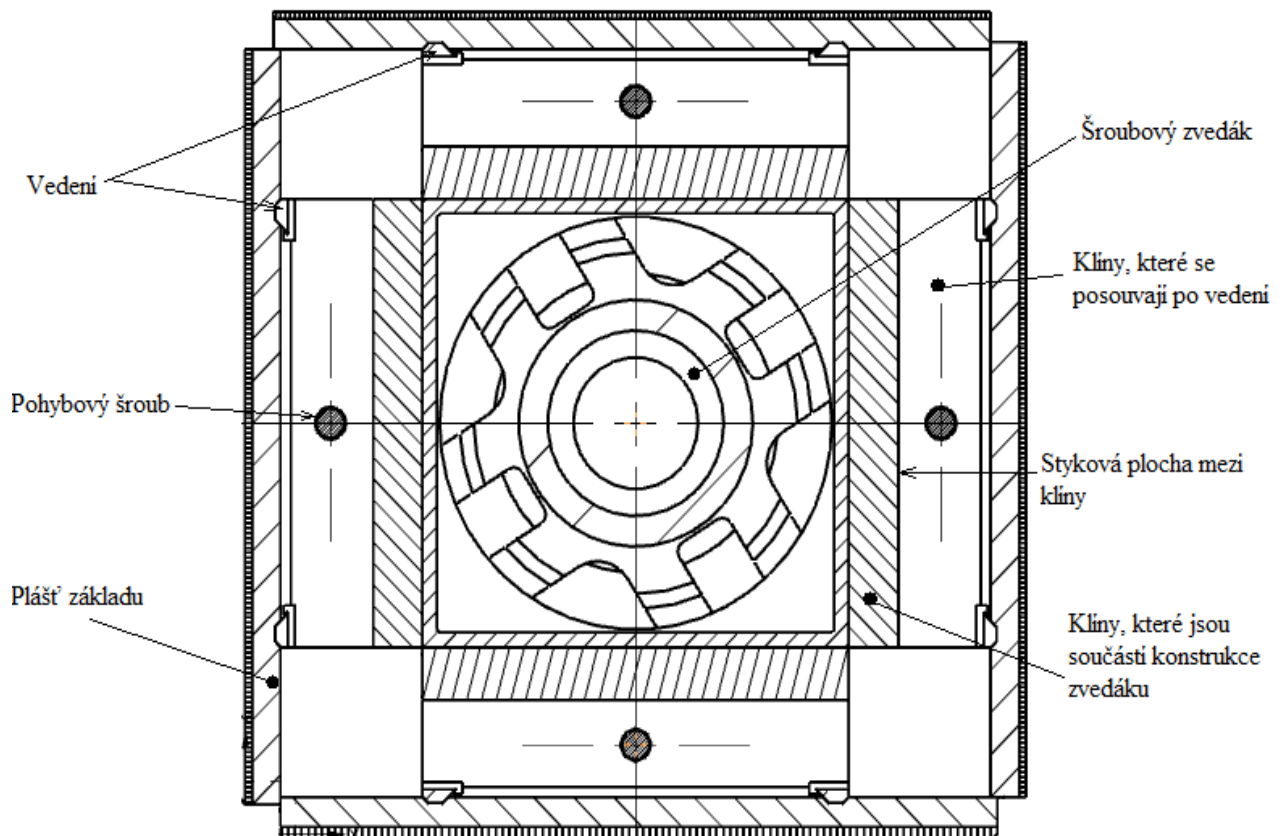


- I. Aretace zařízení - všechny dvojice klínů jsou staženy k sobě a není možný nežádoucí posuv konstrukce šroubového zvedáku.
- II. Při požadavku na změnu polohy určeným směrem se všechny čtyři dvojice klínů po obvodě zvedáku posunou o malou změnu od sebe, tak aby došlo k uvolnění

šroubového zvedáku. Posuv klínů od sebe je realizován rotací pohybového šroubu. Pohybový šroub je spojen s pohonem.

- III. Dvě dvojice klínů, které jsou proti sobě a jsou ve směru, a kde není požadavek na změnu směru, jsou nehybné. Zbylé dvě dvojice klínů naproti sobě realizují pohyb požadovaným směrem. Na obrázku výše je vidět, jak se pohybují dvojice klínů. Jedna dvojice klínů se posouvá směrem k sobě a tímto stahováním dochází k posunu šroubového zvedáku. Dvojice klínů naproti se musí proto pohybovat od sebe.
- IV. Po požadované změně polohy je třeba zaaretování zařízení. To se provede pomocí všech čtyř klínových dvojic. Všechny čtyři dvojice klínů se posunou o malou změnu směrem k sobě, tak aby došlo k dotažení klínů. V tu chvíli je zařízení pevně zafixováno a není možný posuv.

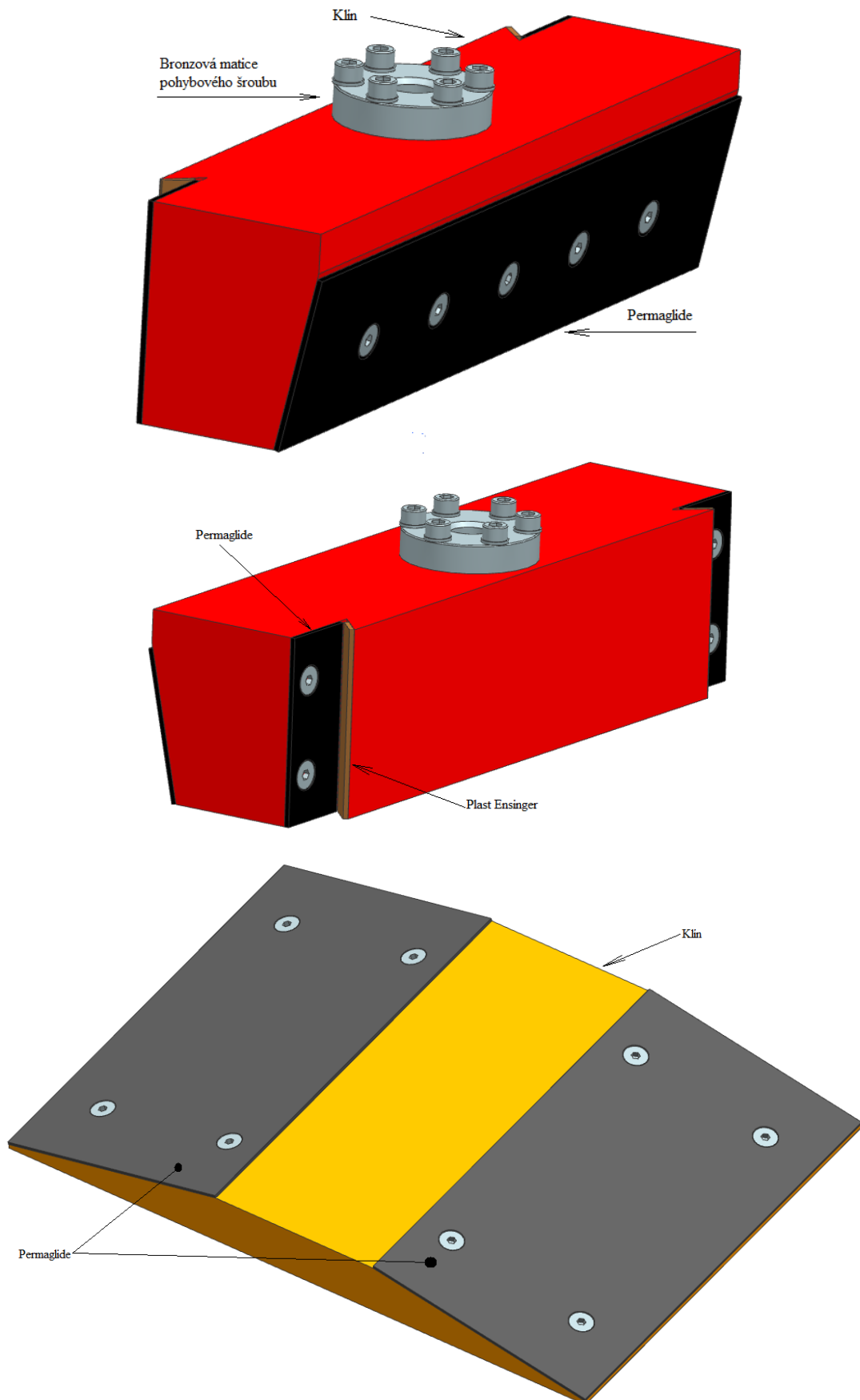
Obrázek 55 - Klíny s pohybovým šroubem a popisem – podélný řez



7.7.2. Popis klínu a 3D model klínu

Klín je navržen s vrcholovým úhlem 12° . Kontaktní plocha klínu je opatřena kluzným materiálem Permaglide a plastem Ensinger. Na horní části klínu je otvor pro pohybový šroub s maticí. Permaglide je připevněn na klín pomocí šroubů. Plast Ensinger je přilepen na klín. Rozměry samotného klínu jsou uvedeny ve výrobním výkresu, který je přiložen k práci a je součástí přílohy.

Obrázek 56 – 3D pohledy na klíny s popisem



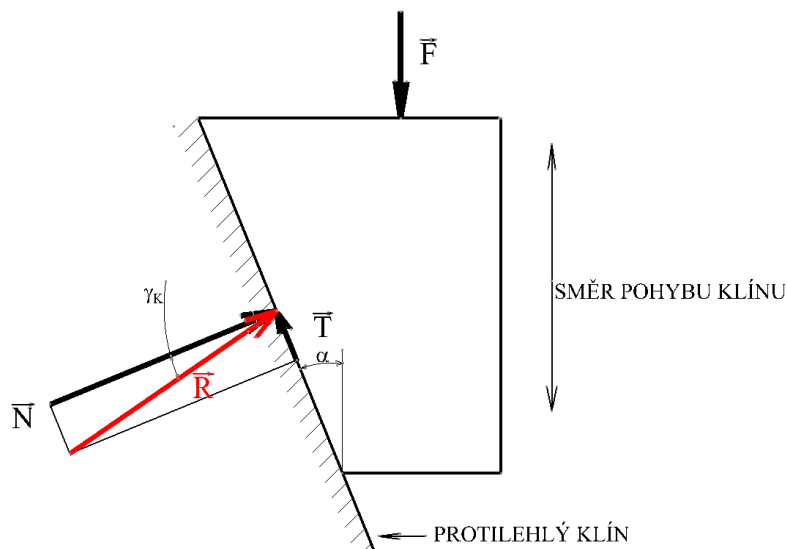
7.7.3. Analýza samosvornosti klínů

Problém samosvornosti klínů by mohl nastat v případě malého vrcholového úhlu klínů a velkého třecího součinitele mezi klíny. V případě samosvornosti by klíny, které jsou vzájemně v kontaktu, po zaklesnutí měly problém se vrátit zpět do původní polohy. Analýza samosvornosti klínů se provede pomocí rozboru sil na nakloněné rovině. Hlavní roli zde hraje, jak již bylo napsáno, tření mezi klíny a vrcholový úhel klínů. Třecímu součiniteli mezi klíny odpovídá třecí úhel. Na obrázku níže je silové působení jednoho z dvojice klínů.

Vztah třecího úhlu a součinitele tření mezi klíny:

$$\operatorname{tg} \gamma_K = f_B \rightarrow \gamma_K$$

Obrázek 57 - Silové působení na klín



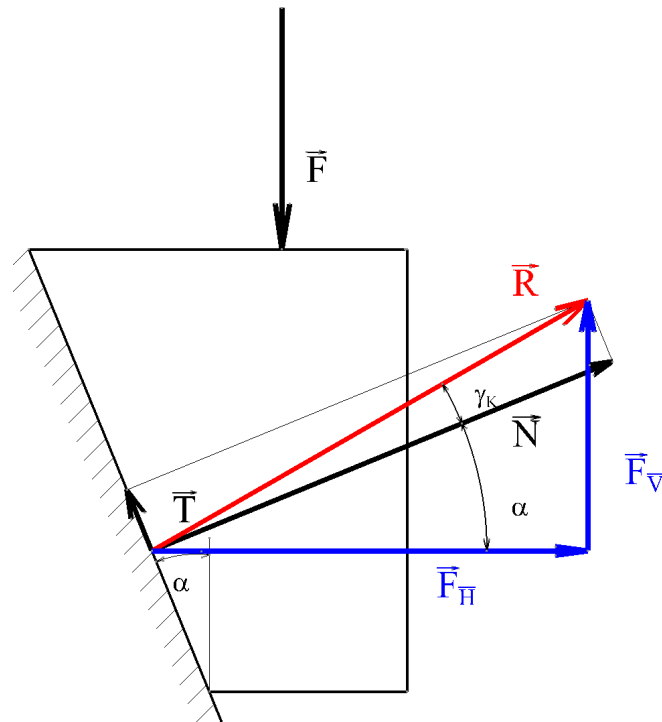
Seznam základního značení

F	Síla pro pohyb klínů k sobě	[N]
R	Reakční síla mezi klíny	[N]
T	Třecí síla mezi klíny	[N]
N	Normálová síla mezi klíny	[N]
α	Vrcholový úhel klín	[°]
γ_K	Třecí úhel	[°]
F_V	Vertikální složka reakční síly	[N]
F_H	Horizontální složka reakční síly	[N]

1) Posuv dvojice klínů k sobě

Při posuvu dvojice klínů k sobě působí na každý klín reakční síla **R**, kterou lze rozložit do dvou složek F_H a F_V a zároveň lze rozložit reakční sílu do složek normálové síly **N** a třecí síly **T**. Třecí síla **T** a vertikální složka F_V působí proti pohybu klínů.

Obrázek 58 - Rozbor sil při posuvu klínů k sobě



Z trojúhelníků na obrázku se můžou odvodit tyto vztahy:

$$\vec{R} = \vec{F}_H + \vec{F}_V$$

$$\sin(\alpha + \gamma_K) = \frac{F_V}{R} \rightarrow F_V = F = R \cdot \sin(\alpha + \gamma_K)$$

$$\cos \gamma_K = \frac{N}{R} \rightarrow R = \frac{N}{\cos \gamma_K}$$

Dosazení reakční síly R do vztahu pro F:

$$\underline{\underline{F = F_V = \frac{N}{\cos \gamma_K} \cdot \sin(\alpha + \gamma_K)}}$$

2) Posuv dvojice klínů od sebe

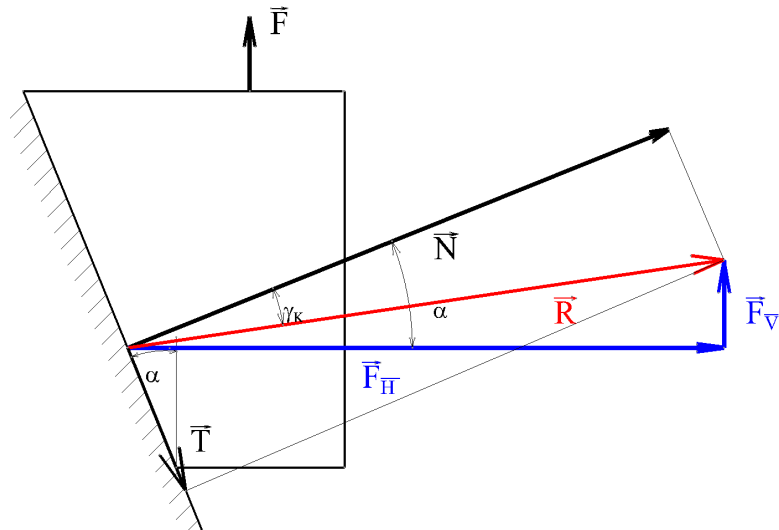
V případě posuvu klínů od sebe působí síla F opačným směrem než při pohybu k sobě. Při posuvu dvojice klínů směrem od sebe můžou nastat tři možné případy. Tyto tři možné případy jsou níže popsány. Důležité jsou první dva z nich, kde se rozeberou silové poměry.

- Vrcholový úhel klínu $>$ Třecí úhel mezi klíny $\alpha > \gamma_K$
- Vrcholový úhel klínu $<$ Třecí úhel mezi klíny $\alpha < \gamma_K$
- Vrcholový úhel klínu $=$ Třecí úhel mezi klíny $\alpha = \gamma_K$

a) Vrcholový úhel klínu $>$ třecí úhel; $\alpha > \gamma_K$

Není splněna podmínka samosvornosti, což je požadavek, který je kladený na funkci zařízení! Mezi klíny nepůsobí tak velké tření nebo je vrcholový úhel klínů větší než třecí úhel. Posun klínů od sebe je bez problémů.

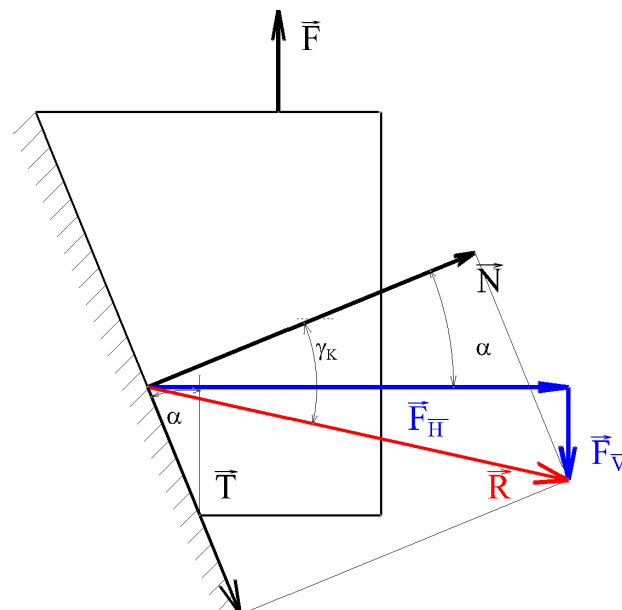
Obrázek 59 - Rozbor sil při pohybu klínů od sebe $\alpha > \gamma_K$



b) Vrcholový úhel klínu $<$ třecí úhel; $\alpha < \gamma_K$

Jiná situace nastává ve druhém případě a to, když třecí úhel je větší než vrcholový úhel klínů. Třecí úhel je tak velký, že otočí směr působení výsledné reakční síly R směrem dolů. Klín je silou F_V vtláčován do protilehlého klínu. Nastává tzv. samosvornost, což je efekt pro funkci zařízení **nežádoucí, který nesmí v žádném případě nastat.**

Obrázek 60 - Rozbor sil při pohybu klínů od sebe $\alpha < \gamma_K$



Zhodnocení samosvornosti u zařízení

Při posuvu klínů od sebe by v žádném případě neměl nastat případ samosvornosti klínů, proto byl zvolen vrcholový úhel klínů $\alpha=12^\circ$ a mezi povrchy se uvažuje konzervativní hodnota součinitele tření $f_B=0,2$.

Třecí úhel při součiniteli tření $f_B=0,2$:

$$\operatorname{tg} \gamma_K = f_B = 0,2 \rightarrow \gamma_K = 11^\circ 19'$$

$$\alpha = 12^\circ$$

Splnění podmínky nesamosvornosti:

$$\alpha > \gamma_K$$

$$12^\circ > 11^\circ 19'$$

Jelikož byla zvolena velmi konzervativní hodnota součinitele tření mezi povrchy klínů, tak by v žádném případě **neměl nastat případ samosvornosti zařízení**.

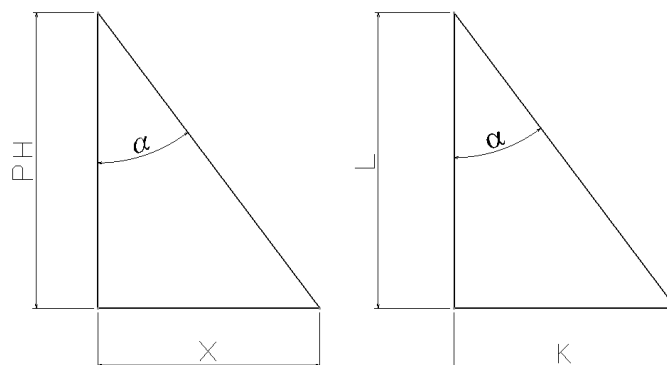
7.7.4. Výpočet posuvu klínu

V následující části se počítá horizontální posuv stanice při jedné otáčce pohybového šroubu. Dále pak vertikální posunutí klínů při změně polohy stanice o vzdálenost **K=15 mm**. Vzdálenost K je největší změna polohy od osy stanice. Vertikálnímu posunutí klínů přísluší nutný počet otáček pohybového šroubu. Vztahy pro výpočet lze jednoduše odvodit z trojúhelníků níže.

Seznam základního značení

- α – Vrcholový úhel klínů
- X - Horizontální posuv stanice při vykonání jedné otáčky pohybového šroubu
- K - Horizontální posuv stanice o vzdálenost 15 mm
- P_H - Stoupání pohybového šroubu
- L - Vertikální posuv klínů v případě horizontální změny stanice o 15 mm
- $n_{p.š}$ – Počet otáček pohybového šroubu v případě horizontální změny stanice o 15 mm

Obrázek 61 - Posuv klínu a pohybového šroubu



Horizontální změna polohy stanice při jedné otáčce pohybového šroubu

Při zvoleném vrcholovém úhlu klínu $\alpha = 12^\circ$ a stoupání pohybového šroubu 2 mm se při jedné otáčce pohybového šroubu změní horizontální poloha stanice o vypočtenou hodnotu x .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{P_H} \rightarrow x = \operatorname{tg} \alpha \cdot P_H = \operatorname{tg} 12^\circ \cdot 2 \cong \underline{0,43 \text{ mm}}$$

Vertikální posunutí klínů při změně polohy stanice o vzdálenost K

V případě horizontální změny polohy stanice o 15 mm se musí klíny vertikálně posunout od sebe o vypočtenou vzdálenost L .

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K}{L} \rightarrow L = \frac{K}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{15}{\operatorname{tg} 12^\circ} = \underline{70,57 \text{ mm} \cong 71 \text{ mm}}$$

Počet otáček pohybového šroubu při změně horizontální vzdálenosti o K

Pro vertikální posunutí klínu o 71 mm je zapotřebí 35,5 otáček pohybového šroubu.

$$n_{p.š.} = L / P_H = \underline{71 / 2 \cong 35,5 \text{ ot.}}$$

8. Technologie, montáž zařízení a manuální záloha

Kapitola se zabývá technologií, montáží zařízení a manuální zálohou konstrukce. Podkapitola technologie se věnuje povrchové úpravě povrchů součástí a technologií spojení jednotlivých komponent. Slovy je popsána montáž zařízení a poslední část je věnována manuální záloze stanice.

8.1. Technologie

Pro povrchovou úpravu povrchů jednotlivých součástí se použila technologie manganofosfátování a iontové nitridace. V dalších odstavcích se popíše, proč se použila tato technologie.

8.1.1. Manganofosfátování

Fosfátování se používá i jako úprava povrchu před nanášením nátěrových hmot. Při technologii manganofosfátování je třeba nejdříve dotýčný povrch otryskat. Tím dojde k očištění povrchu součástí a může se přistoupit k manganofosfátování. Součásti se vloží do lázně a na povrchu vznikne krystalická vrstva složená z fosfátů. Takto upravený povrch by neměl dostatečnou korozní odolnost, proto se povrch opatří nátěrovou hmotou. Při nanesení nátěrové hmoty vykazují součásti dostatečnou antikorozi ochranu. Manganofosfátování je vhodná alternativa pro úpravu součástí zařízení. Je třeba myslet na ekonomickou stránku věci, kdy použití nerez materiálu by zbytečně zvyšovalo náklady na zařízení, proto byla použita tato technologie. Informace byly čerpány z internetového zdroje [26].

Součásti pro manganofosfátování:

- ✓ Klíny
- ✓ Klíny na čtvercovém profilu
- ✓ Čtvercový profil
- ✓ Horní stůl
- ✓ Hrnc
- ✓ Spodní dělená deska

8.1.2. Iontová nitridace

Při iontové nitridaci jsou součásti uloženy izolovaně ve vakuové nádobě, kdy ocelový povrch je sycen dusíkem. Cílem je zvýšení otěruvzdornosti a zvýšení korozní odolnosti u součástí. Pro zvýšení korozivzdornosti lze součásti naimpregnovat přípravkem NICRO 666. Tento přípravek proniká hluboko do pórů kovového materiálu a vyplňuje tento prostor a vytváří tak na povrchu kluzný a konzervační film, který chrání součást.

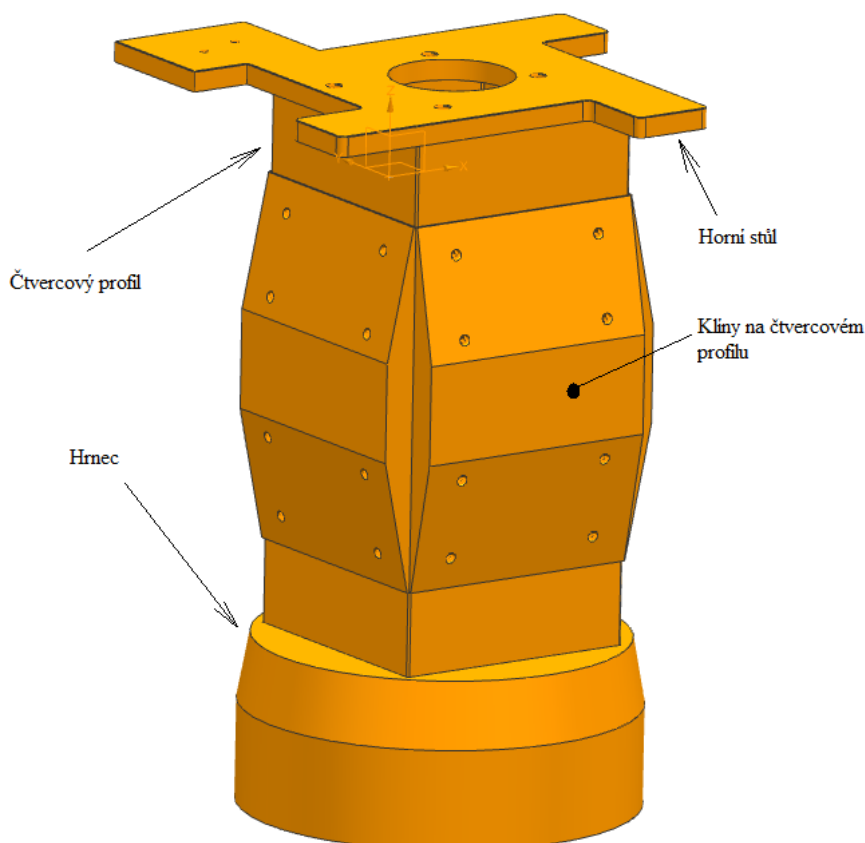
Součásti pro iontovou nitridaci:

- ✓ Kameny (podpěry horního stolu)
- ✓ Lišty
- ✓ Pohybový šroub

8.1.3. Svařování

Pro spojení některých částí se použije technologie svařování. Preferují se koutové svary v případě, kde koutové svary nepostačují, tak se použije jiného typu svaru např. V, U svar. Svařování se použije pro spojení horního stolu, čtvercového profilu, hrnce a klínů na čtvercovém profilu. Na následujícím obrázku je 3D model svařence.

Obrázek 62 – 3D model svařence



8.2. Montáž zařízení

Video z montáže celé konstrukce je umístěno na DVD, které je přiloženo k diplomové práci. V této podkapitole je slovy popsán postup montáže zařízení. Montáž celé konstrukce lze rozdělit do dvou hlavních částí a to montáž konstrukce základu a konstrukce zvedáku s polohovací konstrukcí.

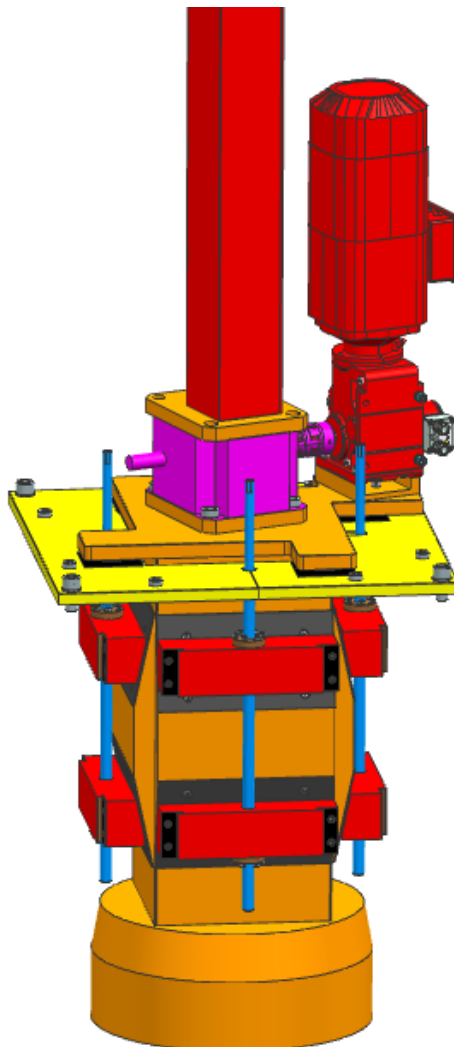
8.2.1. Konstrukce základu

V první řadě je třeba provést montáž konstrukce základu. V budově je umístěna ocelová konstrukce a na tuto konstrukci se ustaví do roviny svařená konstrukce základu. Ve spodní části konstrukce základu je navařena spodní deska základu. Poté se prostor mezi konstrukcí základu a primární ocelové konstrukce vyplní betonem. Do vnitřního prostoru konstrukce se zašroubují lišty pro klíny a ustaví se do požadované polohy pomocí nastavitelných šroubů.

8.2.2. Konstrukce zvedáku a polohovací konstrukce

Do svařené konstrukce zvedáku se namontují všechny vnitřní části a na horní stůl se umístí šroubový zvedák s elektromotorem. Elektromotor se ustaví na podložku elektromotoru a spojí se zvedákem spojkou. Na klíny čtvercového profilu se namontuje Permaglide. Ve spodní části horního stolu se do drážek našroubují kameny. Po montáži kamenů je připravena konstrukce šroubového zvedáku. Následuje montáž jednotlivých klínů s pohybovými šrouby a maticemi. Klíny s maticemi se našroubují na pohybové šrouby a všechny čtyři dvojice klínů a šroubů se umístí proti klínům na konstrukci zvedáku. Přistoupí se k montáži horní dělené desky, která se umístí pod podpěry horní desky a spojí se za pomoci kolíků. Všechny dvojice klíny se šrouby se dočasně např. pomocí řetězů zajistí proti případnému posuvu. Celá konstrukce zvedáku spolu se svázanými dvojicemi klínů a šroubů se umístí do konstrukce základu. Na horní vyrovnávací desku se namontují všechny pohony šroubů spolu s čidly polohy.

Obrázek 63 – Konstrukce zvedáku s klíny, která se zasune do konstrukce základu při montáži

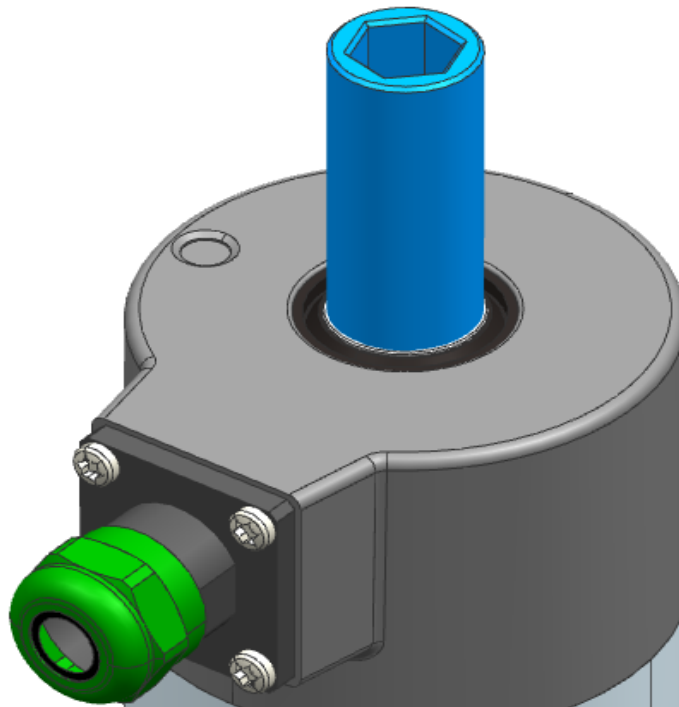


Ve spodní části stanice se namontuje spodní dělená deska. V případě nerovinnosti základové desky je možné horní vyrovnávací desku ustavit do vodorovné polohy pomocí nastavitelných šroubů. Celá montáž stanice je tímto posledním krokem ukončena.

8.3. Manuální záloha

Pro ovládání pohybového šroubu v případě výpadku sítě nebo poruchy pohonu popř. jiné události, která neumožní elektronické ovládání pohonů pohybových šroubů, musí být k dispozici potřebná manuální záloha. Pro tento účel byl vytvořen na horní koncové části pohybového šroubu vnitřní šestihran, který umožní za pomoci aku vrtačky popř. pomocí imbusového klíče ovládání pohybového šroubu. Pro rotaci pohybového šroubu je třeba překonat vypočtený moment $M = 31,3 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Obrázek 64 – Manuální záloha – vnitřní šestihran na pohybovém šroubu



Velikost momentu závisí na konstrukčním řešení spojení pohonu a pohybového šroubu. Při použití manuální zálohy by se kromě vypočteného momentu překonával i odpor, který klade pohon šroubu. Návrh pohonu není zadáním práce. Pohon by se mohl v případě použití manuální zálohy oddělit od pohybového šroubu. Dnes existují malé převodovky, které přenastaví kola v záběru a tím by dočasně mohl být pohon od pohybového šroubu odpojen. V případě, když už by nebyla manuální záloha potřeba, tak by se opětovně přenastavily kola do původního záběru.

9. Informativní pevnostní výpočet – praktická část

V zadání práce je uvedeno vypracování informativního pevnostního výpočtu. Informativní pevnostní výpočet byl zpracován v programu NX 8.5, kde součástí softwaru je i část pro vypracování pevnostních výpočtů. Výpočet byl proveden metodou konečných prvků ve zkratce pod označením MKP. Informativní výpočet má prokázat schopnost konstrukce odolat seizmickému zatížení. Z kapitoly pevnostního výpočtu a teoretické části se vezmou z tabulky [1] hodnoty maximálních zrychlení, kterými se zatíží staticky výpočtový model. Bude se ověřovat jen konstrukce polohování a vybrané části konstrukce zvedáku. Vnitřní části konstrukce zvedáku pro manipulaci s víkem se nevyhodnocují výpočtem.

9.1. Použité materiály

V tabulce jsou přehledně všechny použité materiály s jejich pevnostními vlastnostmi (R_e , R_{p02} , R_m) a vypočtenými dovolenými napětími při provozním zatížení H a seizmicitě $HS2$ z rovnice R. 4 a R. 5 na straně z podkapitoly 4.4. Materiálové hodnoty byly čerpány z internetových stránek.

Tabulka 13 - Přehled součástí s jejich materiálovými vlastnostmi a dovolenými hodnotami zatížení

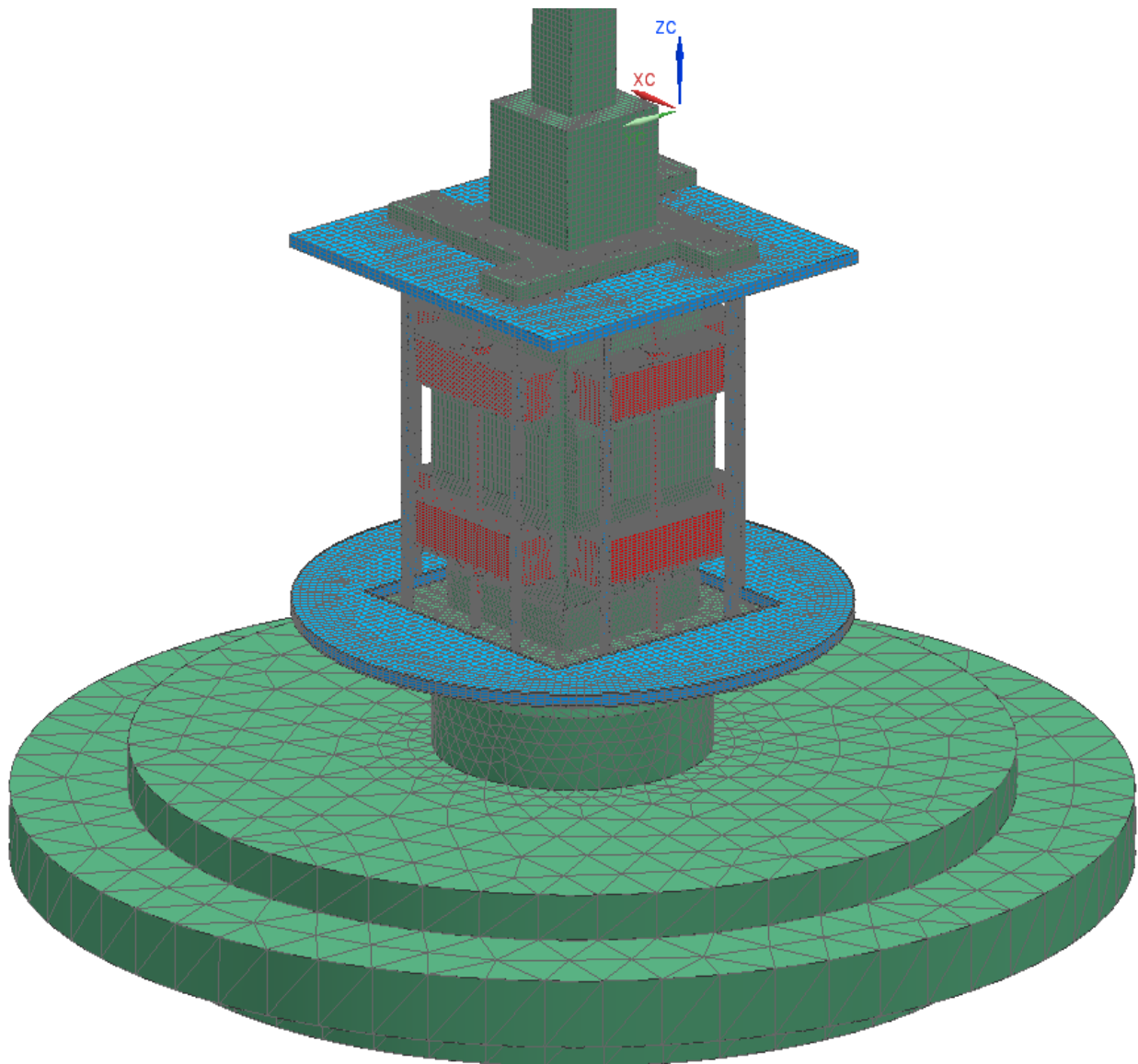
Součást	Materiál		R_e (R_{p02})	R_m	$R_{v0.2}$	H	HS2
	EN	ČSN					
Pohybový šroub	C35	12040	380	600	380	254	380
Lišty - vedení							
Kameny horního stolu							
Matice šroubu	CW453K	423018	290	380	290	194	290
Klín	E335	11600	315	570	315	211	315
Podložka elektromotoru	E295	11500	285	470	285	191	285
Vnější plášť	S235J0	11378	225	360	225	150	225
Základová deska							
Vyrovnávací deska							
Spodní deska základu							
Spodní dělená deska	S355J2	11523	295	450	295	197	295
Hrnec zvedáku							
Horní stůl							
Klíny na profilu							
Čtvercový profil	S355J2H	11503	355	470	355	238	355

Zdroje pro materiály a jejich materiálové charakteristiky jsou uvedeny v hranatých závorkách: C35 – 12040 [27] ; CW453K – 423018 [28] ; E335 – 11600 [29] ; E295 – 11500 [30] ; S235J0 – 11378 [31] ; S355J2 – 11523 [32] ; S355J2H – 11503 [33]

9.2. Výpočtový model konstrukce

Na počátku je třeba zmínit, že model je značně složitý a proto pro informativní pevnostní výpočet byl model zjednodušen do té míry, že bude mít vypovídající hodnotu. Upravená geometrie neobsahuje různá zkosení, zaoblení a velké množství šroubů. Na všech zjednodušených modelech se poté vytvořila potřebná síť. Snahou bylo vytvořit na všech součástech strukturovanou síť, avšak vzhledem k tomu, že model je značně složitý, tak na některých částech byla použita nestrukturovaná síť. Model neuvažuje svarová spojení jednotlivých komponent.

Obrázek 65 - 3D pohled na celý výpočtový model



9.2.1. Nasít'ované modely

Zde jsou popsány hlavní části výpočtového modelu s odkazem na obrázky výpočtových sítí v příloze č. 4 na konci práce.

Víko - Na víko byla vytvořena hrubá nestrukturovaná síť. Model víka má hmotnost 5000 kg a jemnou síť zde nebylo třeba vytvářet, jelikož víko jako takové se hodnotit nebude. Model víka je na obrázku 7 na straně 10.

Šroubový zvedák - Šroubový zvedák je v modelu zjednodušen do jednoho objemu na horním stole konstrukce zvedáku. Na modelu zvedáku byla vytvořena strukturovaná síť. Hmotnost objemu zvedáku činí 140 kg. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 8 na straně 10.

Vyrovnávací dělená deska - Na modelu vyrovnávací desky se vytvořila strukturovaná síť. V místech styku desky s kameny se vytvořila jemnější síť, tak aby svojí velikostí přibližně odpovídala síti na kamenech. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 9 na straně 11.

Spodní základová deska - Model desky obsahuje strukturovanou síť. Síť je ve všech místech rovnoměrná. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 10 na straně 11.

Hrncel konstrukce zvedáku - Vzhledem ke složitějšímu tvaru je na výpočtovém modelu hrnce nestrukturovaná síť. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 11 na straně 12.

Horní stůl konstrukce zvedáku s kameny - Horní stůl obsahuje částečně strukturovanou a nestrukturovanou síť. V místech spojení s kameny je vidět jemnější síť. Kamen má vytvořenou jemnou síť. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 12 na straně 12. Pro zjednodušení se uvažuje spojená síť kamene a horního stolu.

Čtvercový profil konstrukce základu - Na čtvercovém profilu je z velké většiny strukturovaná síť a na koncích profilu je vytvořena nestrukturovaná síť. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 13 na straně 13.

Klíny konstrukce zvedáku – Součástí modelu klínu je kluzný materiál Permaglide. Model neobsahuje otvory pro šrouby a byla na něm vytvořena strukturovaná síť. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 14 na straně 13.

Spodní dělená deska - Spodní dělená deska obsahuje nestrukturovanou síť. Model neobsahuje otvory a sražení. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 15 na straně 14.

Klín s maticí – Výpočtový model klínu s maticí obsahuje i kluzný materiál Permaglide. Model neobsahuje otvory pro šrouby a sražení. Na modelu je strukturovaná a částečně nestrukturovaná síť. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 16 na straně 14.

Pohybový šroub - V modelu pohybového šroubu se vzhledem ke zjednodušení neuvažuje závit a průměr šroubu modelu je uvažován jako nejmenší průměr d_3 . Díky zjednodušení se vytvořila na modelu strukturovaná síť. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 17 na straně 14.

Lišty - Výpočtový model lišty neobsahuje otvory pro díry a je na něm vytvořena nestrukturovaná síť. Výpočtový model je v příloze 4 obrázek 18 na straně 15.

9.3. Nastavení výpočtového modelu

Řešičem v programu NX 8.5 byl zvolen NASTRAN. V této podkapitole jsou uvedeny varianty zatížení modelu a nadefinované okrajové podmínky, vazby a kontakty.

9.3.1. Zatížení

Na následující tabulce jsou dvě varianty zatížení, kterými se zatíží výpočtový model. Tyto dvě zatížení se liší ve zrychlení ve směru Z. První varianta je pro záporně orientovaný směr Z a druhá varianta je pro kladně orientovaný směr Z. Hodnoty jsou z tabulky 1 z kapitoly 4.

Tabulka 14 - Dvě varianty zatížení pro výpočtový model

Směr	Osa	1.varinta zatížení[mm/s ²]	2.varinta zatížení[mm/s ²]
Horizontální	X	11272	11272
Horizontální	Y	19527	19527
Vertikální	Z	-23260	3640

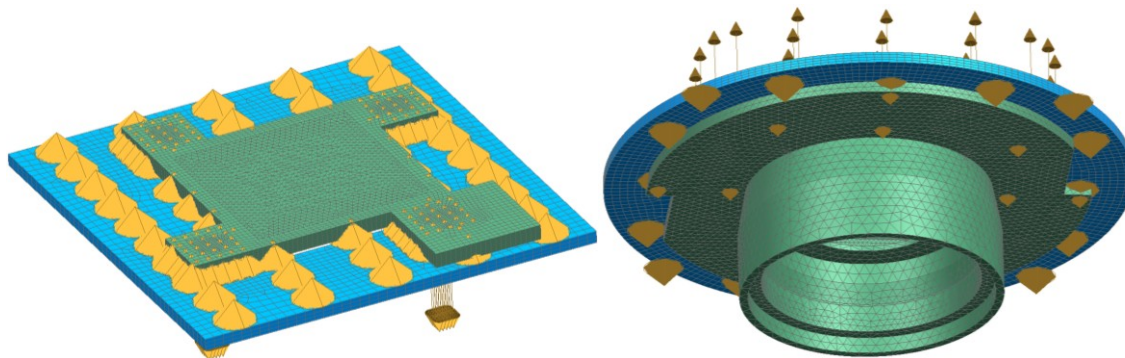
9.3.2. Kontakty

V této úloze bylo použito kontaktů mezi jednotlivými tělesy. V řešení pevnostní úlohy se postupně pevné vazby mezi tělesy nahrazovaly kontakty, tak aby model nejvíce odpovídal skutečnosti. Kontakt přenáší tlakové zatížení, ale tahové zatížení ne. V úloze bylo použito 13 kontaktů. Kontakty byly definovány mezi všemi dvojicemi klínů a klíny na čtvercovém profilu, jejich počet je 8. Další čtyři kontakty jsou mezi vyrovnávací deskou a kameny (podpěrami) horního stolu. Mezi spodní deskou základu a spodní dělenou deskou byl také definován kontakt. Tyto základní kontakty postačují pro informativní pevnostní výpočet. V případě kompletního výpočtu by se kontakty nadefinovaly na dalších místech např. v místech styku klínů s lištami a v dalších místech. Na obrázcích na další straně jsou vzájemné kontakty vyznačeny žlutými šipkami a jehlany.

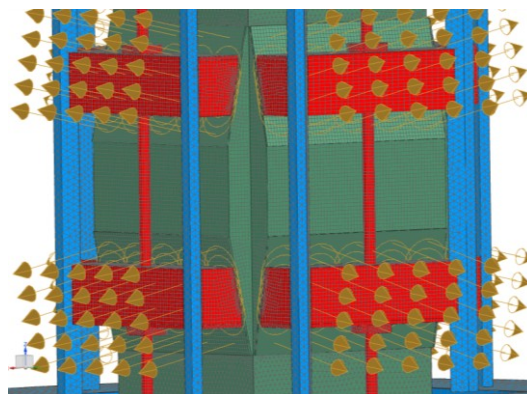
9.3.3. Vazby

V ostatních místech modelu, kde nebyl definován kontakt, tak bylo použito mezi tělesy pevných vazeb.

Obrázek 66 – Vlevo - kontakty mezi kameny (podpěrami) horního stolu a horní dělenou deskou; Vpravo - kontakt mezi spodní deskou základu a spodní dělenou deskou



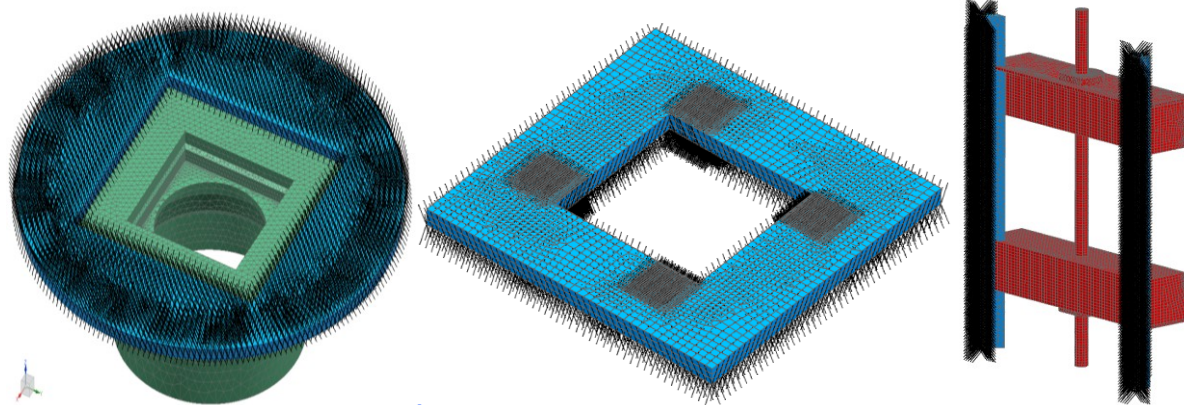
Obrázek 67 – Kontakty mezi klíny



9.3.4. Okrajové podmínky

V případě okrajových podmínek se vyrovnávací desce, spodní desce základu a všem lištám konstrukce základu definoval nulový posuv ve směru x , y , z ($x=y=z=0$). Na obrázcích níže jsou tyto tělesa znázorněna a černo barvou vyznačeny plochy s nulovými posuvy.

Obrázek 68 – Nulové posuvy ve směrech x , y , z na ploše spodní desky základu, vyrovnávací desky základu a lišt



9.4. Výsledky výpočtu

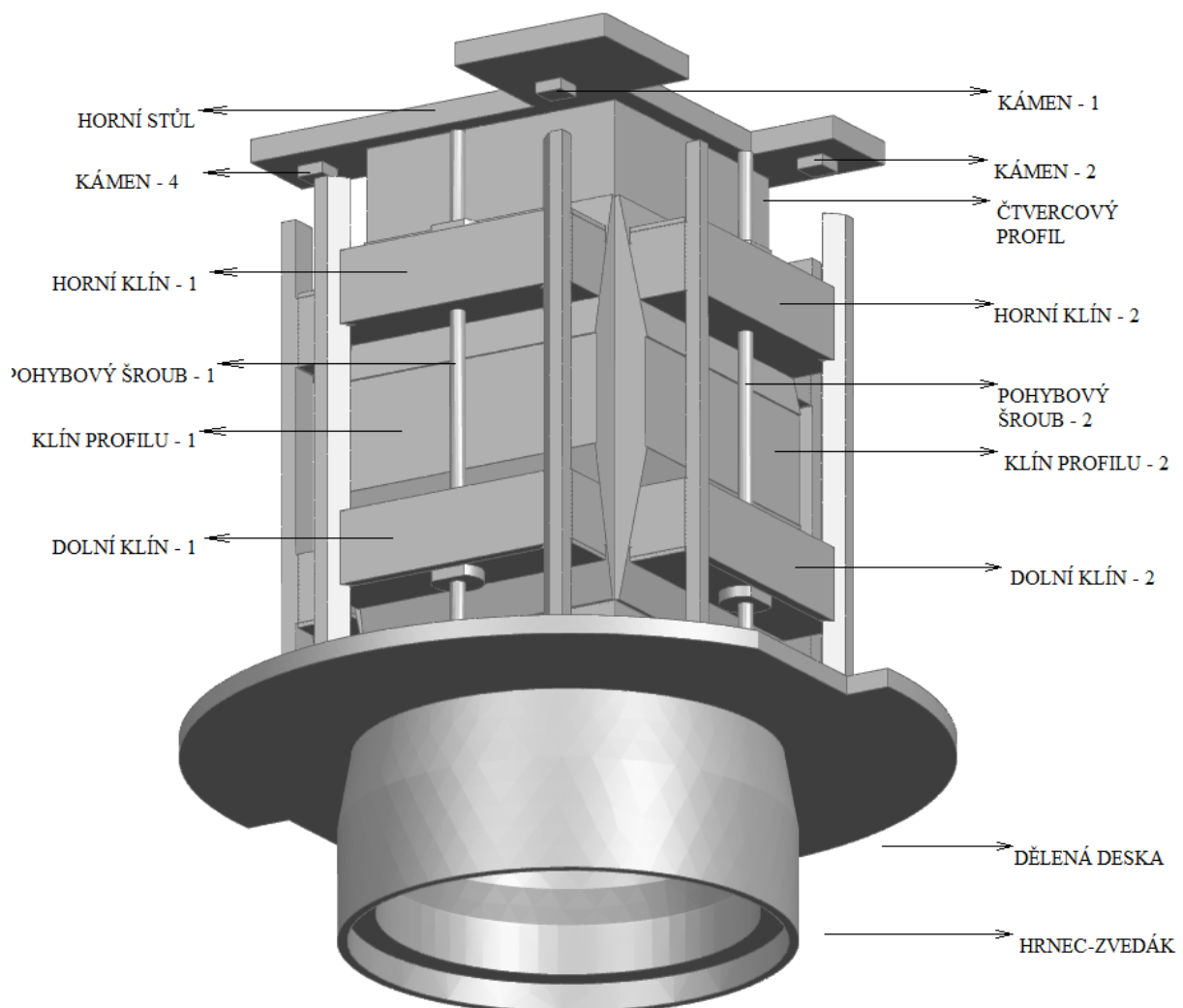
Vyhodnocení zatížení se provede pro každou jednotlivou hodnotící součást, kdy se porovná výsledné maximální Von-Mises napětí s dovolenou (limitní) hodnotou napětí. V příloze 5 jsou uvedeny obrázky s rozložením napětí v jednotlivých součástech. Rozložení napětí je pro variantu č. 1 a č. 2. Obrázky rozložení Von-Mises napětí jsou vykresleny do meze dovoleného napětí každé jednotlivé komponenty. Dále je vyhodnocen kontaktní tlak mezi klíny. Maximální hodnota kontaktního tlaku je dána statickou únosností Permaglidu z tabulky 5 na straně 31.

9.4.1. Součásti pro vyhodnocení

Budou se vyhodnocovat následující části:

- Části konstrukce zvedáku – kameny, horní stůl, klíny profilu, čtvercový profil, spodní dělená deska, hrnec zvedáku
- Části polohovací konstrukce – klíny, pohybové šrouby

Obrázek 69 – Popis částí, které se budou vyhodnocovat



9.4.2. Vyhodnocení zatížení

Vyhodnocení je v následujících tabulkách níže, kde v prvním sloupci je hodnotící součást a v dalších sloupcích maximální hodnota Von-Mises napětí a dovolená hodnota napětí. Z porovnání s dovoleným napětím se vyhodnotí, zda součást vyhovuje nebo nevyhovuje. V posledním sloupci je vyplněno číslo obrázku přílohy a stránka, kde je rozložení napětí součásti. V další tabulce jsou vyplněny hodnoty maximálních kontaktních tlaků mezi klíny.

Tabulka 15 – Vyhodnocení zatížení pro variantu 1 a 2

Komponenta		Dovolená hodnota napětí [MPa]	Maximální Von-Mises napětí – Var. č. 1 [MPa]	Maximální Von-Mises napětí – Var. č. 2 [MPa]	Vyhodnocení	č. obrázku a stránka přílohy
		σ_{DHS2}	σ_{MAX1}	σ_{MAX2}		
Spodní klíny	1	315	73	1	Vyhovuje	č.38, str.26
	2	315	156	111	Vyhovuje	č.40, str.27
	3	315	202	157	Vyhovuje	č.42, str.28
	4	315	103	49	Vyhovuje	č.44, str.29
Horní klíny	1	315	123	96	Vyhovuje	č.37, str.26
	2	315	3	2	Vyhovuje	č.39, str.27
	3	315	2	1	Vyhovuje	č.41, str.28
	4	315	83	70	Vyhovuje	č.43, str.29
Pohybový šrouby	1	380	5	2	Vyhovuje	č.45, str.30
	2	380	5	4	Vyhovuje	č.45, str.30
	3	380	7	5	Vyhovuje	č.45, str.30
	4	380	5	3	Vyhovuje	č.45, str.30
Dělená příruba	1	295	44	69	Vyhovuje	č.27, str.21
Dělená příruba	2	295	55	33	Vyhovuje	č.28, str.21
Horní stůl – zvedák		295	167	98	Vyhovuje	č.26, str.20
Čtvercový profil		355	275	127	Vyhovuje	č.25, str.20
Hrnc – zvedák		295	88	54	Vyhovuje	č.46, str.30
Klíny profilu	1	295	76	54	Vyhovuje	č.29, str.22
	2	295	91	67	Vyhovuje	č.30, str.22
	3	295	106	89	Vyhovuje	č.31, str.23
	4	295	80	65	Vyhovuje	č.32, str.23

Komponenta		σ_{DHS2}	σ_{MAX1}	σ_{MAX2}	Vyhodnocení	č. obrázku a stránka přílohy
Kameny - zvedák	1	380	258	138	Vyhovuje	č.33, str.24
	2	380	31	0	Vyhovuje	č.34, str.24
	3	380	106	36	Vyhovuje	č.35, str.25
	4	380	250	155	Vyhovuje	č.36, str.25

Tabulka 16 - Vyhodnocení kontaktního tlaku – Permaglide pro variantu 1 a 2

Komponenta		Dovolená hodnota kontaktního tlaku [MPa]	Maximální hodnota tlaku – Varianta č. 1 [MPa]	Maximální hodnota tlaku – Varianta č. 2 [MPa]	Vyhodnocení	č. obrázku a stránka
Spodní klíny - Permaglide	1	250	104	0	Vyhovuje	č.48, str.31
	2	250	313	229	Nevyhovuje	č.50, str.32
	3	250	400	333	Nevyhovuje	č.52, str.33
	4	250	148	69	Vyhovuje	č.54, str.34
Horní klíny - Permaglide	1	250	261	205	Nevyhovuje	č.47, str.31
	2	250	0	0	Vyhovuje	č.49, str.32
	3	250	0	0	Vyhovuje	č.51, str.33
	4	250	83	70	Vyhovuje	č.53, str.34

Tabulka 17 – Maximální Von-Mises napětí a posuv pro dvě varianty

	VARIANTA Č. 1	VARIANTA Č. 2
Maximální Von-Mises napětí	365 MPa	250 MPa
Hodnota absolutního max. posuvu	1 mm	0,7 mm

9.5. Zhodnocení výsledku výpočtu

Z výsledků je vidět, že maximální hodnota kontaktního tlaku Permaglide u **spodního klínu 2 a 3** a u **horního klínu 1** převyšuje statickou únosnost materiálu Permaglide. Je otázkou, zda ve skutečnosti bude takto vysoký kontaktní tlak. Ve výpočtovém modelu se totiž neuvažuje kontakt mezi lištami a klíny. Dá se předpokládat, že v případě kontaktů by se přenesla částečně síla do pohybového šroubu.

Výsledky ukazují, že pohybový šroub není téměř namáhaný, to je taktéž spojeno s tím, že není definován kontakt mezi lištou a klínem. Proto v budoucí práci na pevnostním výpočtu je zapotřebí nadefinovat další kontakty, tak aby model odpovídal více realitě.

Při pohledu na hodnoty maximálních Von-Mises napětí je vidět, že součásti vyhovují a ani u jedné z vyhodnocovacích součástí nepřesáhla hodnota Von-Mises napětí limitní (dovolenou) hodnotu napětí. Z porovnání je také možné zjistit, že hodnoty Von-Mises napětí jsou vyšší u první varianty, což je správně, jelikož zde má náhradní zrychlení vyšší hodnotu. V další práci na pevnostním výpočtu je třeba do modelu zahrnout svary a šrouby.

Při první variantě zatížení činí maximální posuv modelu 1 mm a při druhé variantě zatížení je tento posuv menší a má hodnotu 0,7 mm. Hodnoty maximálních posuvů se identifikovaly na modelu víka. Samotná konstrukce však má nižší hodnot posuvů.

Výpočet ukázal, jak se chová zjednodušený výpočtový model při kvazistatickém zatížení. Pro potřeby informativního pevnostního výpočtu takové výsledky postačují. Pro kompletní pevnostní výpočet by bylo zapotřebí na modelu ještě více zapracovat. Kompletní pevnostní výpočet však není účelem této práce a je nad rámec této práce. Všechny obrázky rozložení napětí a posuvů jsou součástí přílohy 5.

10. Technické zhodnocení variant

V této předposlední kapitole se provede technické zhodnocení nového konstrukčního řešení a stávajícího konstrukčního řešení. V zadání DP je uvedeno technicko - ekonomické zhodnocení variant, avšak provedeno bude jen technické zhodnocení variant. Z důvodu toho, že nebyly sděleny ekonomické údaje u současné varianty. Místo toho se provede technické zhodnocení variant v různém srovnání, které bude také účelné.

Srovnání se provede z hlediska:

- Princip polohování
- Rozměrnost a složitost konstrukce
- Vyráběné a nakupované součásti
- Rozsah polohování
- Údržba zařízení
- Výrobní náklady na zařízení

a) Princip polohování

Současné konstrukční řešení

Polohování je v polárních souřadnicích pomocí excentrických ozubených věnců s pouzdry. Ozubené věnce jsou poháněny rozměrnými asynchronními motory.

Nové konstrukční řešení

V novém návrhu je použito konstrukce klínů s pohybovými šrouby, kterými se provádí polohování. Jedná se o jednoduchý princip polohování. Polohování probíhá v kartézském souřadném systému.

b) Rozměrnost a složitost konstrukce

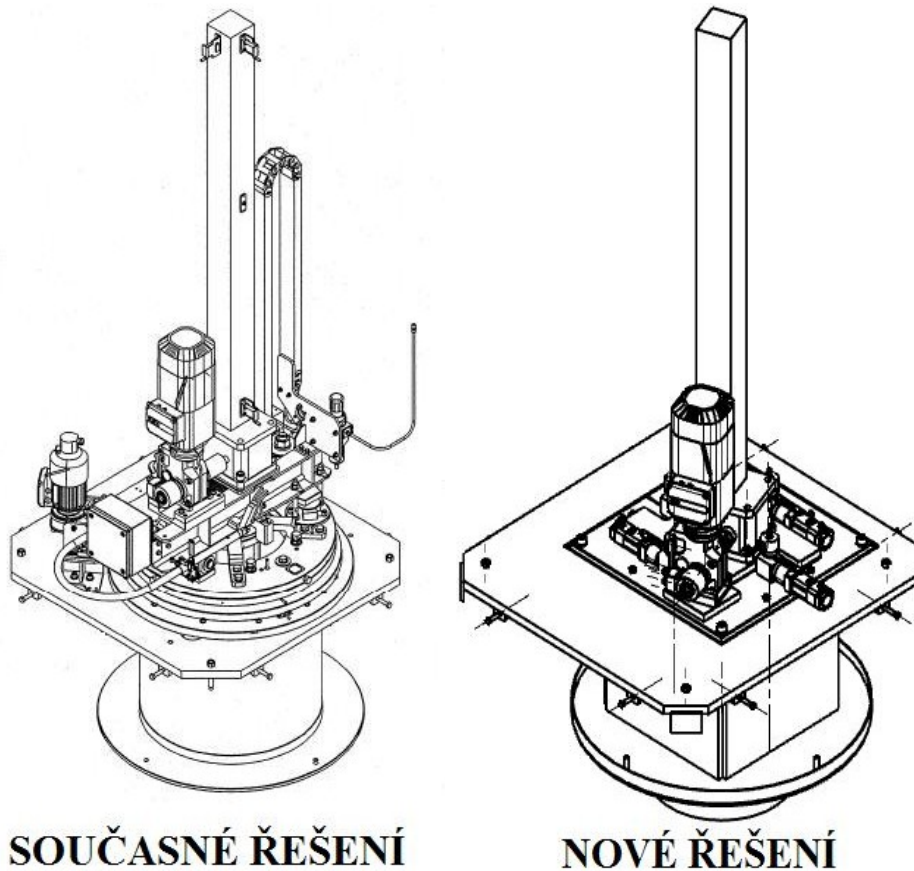
Současné konstrukční řešení

V současné konstrukci polohování jsou hlavními komponentami pouzdra, drátová ložiska, ozubené věnce, asynchronní motory s kuželovými převodovkami. Vnější plášť základu je kruhový.

Nové konstrukční řešení

V novém konstrukčním řešení má vnější plášť konstrukce základu menší rozměry. Vnější plášť není kruhový, ale čtvercový. Konstrukce polohování je umístěna ve vnitřním prostoru základu. Na horní části konstrukce základu jsou tak jen pohony pohybových šroubů a šroubový zvedák. Na obrázku níže jsou sestavy těchto dvou variant. Nová konstrukce je nižší, jelikož šroubový zvedák je umístěn na nižší pozici. Záchyt víka šroubového zvedáku je zkrácen o desítky mm. Pohybové šrouby jsou poháněny servomotory, které jsou oproti asynchronním motorům v původním řešení podstatně méně rozměrné. Nové řešení je jednodušší a obsahuje nižší počet komponent.

Obrázek 70 – Vlevo – současné řešení; Vpravo – nové řešení



c) Vyráběné a nakupované součásti

Současné konstrukční řešení

Mezi vyráběné komponenty polohovací konstrukce budou patřit hlavně ozubené věnce a svařované konstrukce vnitřních a vnějších pouzder. Do nakupovaných komponent lze zařadit tyto hlavní komponenty, jako jsou drátová ložiska a asynchronní motory s převodkou.

Nové konstrukční řešení

V novém konstrukčním řešení polohování patří mezi hlavní vyráběné komponenty klíny, pohybové šrouby, lišty, horní stůl a hrnec. Do nakupovaných komponent budou patřit servomotory s převodkou, snímače polohy, Permaglide, plast Ensinger a další.

d) Rozsah polohování

Současné konstrukční řešení

V současném řešení je možné polohovat v oblasti o průměru 28 mm. Což představuje plochu polohování:

Plocha polohování v současném řešení:

$$S_{s.ř} = \frac{\pi \cdot 28^2}{4} = 615 \text{ mm}^2$$

Nové konstrukční řešení

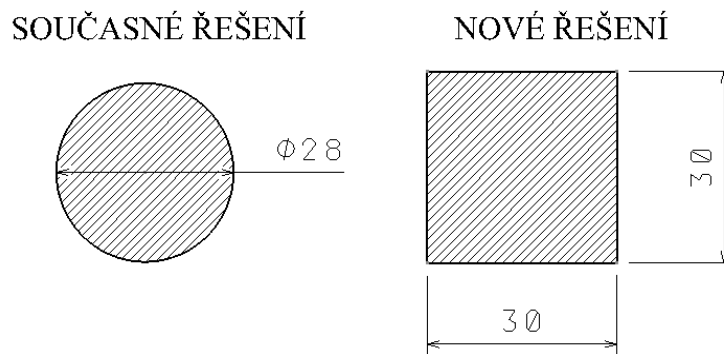
Rozsah polohování představuje čtverec o rozměrech 30x30 mm. Nově tedy představuje plochu 900 mm²

Plocha polohování v novém řešení:

$$S_{N.Ř.} = 30 \cdot 30 = 900 \text{ mm}^2$$

Z tohoto porovnání je vidět, že nové konstrukční řešení **zvětšuje možnost polohování stanice** z plochy 615 mm² na 900 mm², což představuje 1/3 nárůst.

Obrázek 71 - Oblast polohování současného řešení (vlevo) a nového řešení (vpravo)



e) Údržba zařízení

Současné konstrukční řešení

V současném řešení je většina komponent umístěna na desce konstrukce základu. Provádí se údržba drátových ložisek.

Nové konstrukční řešení

Údržba zařízení u nového konstrukčního řešení je problematictější. Pro přístup k vnitřním součástem je potřeba demontovat dolní dělenou desku a poté vyzdvihnout za pomoci zdvihacího zařízení celou konstrukci. Předpokládá se však, že nebude třeba provádět častou údržbu. Udržovat bude potřeba nanejvýš pohybový šroub. Jinak se předpokládá, že všechny části nebudou potřebovat nějakou zvláštní péči.

f) Výrobní náklady na polohovací zařízení

Současné konstrukční řešení

Nejvyšší náklady představuje výroba ozubených věnců, které jsou hlavními komponentami současného řešení.

Nové konstrukční řešení

V novém řešení odpadá výroba nákladných ozubených věnců. Náklady na výrobu klínů jsou z hlediska času výroby i složitosti nižší. V řešení není použito nijak výrobně složitých součástí. Z hlediska výběru materiálu komponent bylo snahou použít místo nerez materiálu jinou alternativu. Místo nerez materiálu na ochranu proti korozi se použilo technologie manganofosfátování, což ušetří výrobní náklady oproti použití nerez materiálu.

11. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukční řešení polohovacího zařízení stanice biologického víka Vyvážecího zařízení reaktoru EPR. Nové konstrukční řešení muselo taktéž odolat seizmickým účinkům, proto byl v zadání informativní pevnostní výpočet. Pro novou konstrukci se vytvořila simulace zařízení a zhotovily se příslušné výkresy. Úvodní část práce se zabírala procesem vyvážení v jaderných elektrárnách EPR, a jak do procesu vyvážení zasahuje BLHS. V další části textu se diplomová práce věnovala teoretické části pevnostního výpočtu. Kapitola 4 se zabírala seizmicitou a kvazistatickou metodou s ní spojenou. Konstrukce musela splňovat některé požadavky, které byly uvedeny v další části textu. Mezi ty hlavní požadavky lze zařadit polohování v kartézském souřadném systému a oblast polohování 30x30 mm. V kapitole 5 bylo v krátkosti představeno současné konstrukční řešení stanice. V současném konstrukčním řešení se polohování řešilo pomocí ozubených věnců s pouzdry. Nové návrhy polohovacího zařízení jsou uvedeny v kapitole 6, přičemž jsou uvedeny dvě varianty. Z těchto dvou variant byla vybrána finální konstrukční varianta.

Kapitola 7 zahrnovala dimenzování a návrh jednotlivých komponent finální varianty. Na úvod kapitoly byla uvedena primární ocelová konstrukce a konstrukce základu stanice. Primární ocelová konstrukce je totožná s původní konstrukcí v současném řešení. Konstrukce základu se liší od původního řešení. Vše je popsáno v podkapitole 7.1. Kontaktní plochy klínů a jiných součástí jsou opatřeny kluzným materiálem Permaglide. Ten byl popsán v části 7.2. Při dimenzování jednotlivých částí konstrukce bylo třeba provést rozbor sil na konstrukci. Z rozboru sil se určila osová síla ve šroubu, která je nutná pro podkapitolu 7.4., ve které se provedlo dimenzování pohybového šroubu a matice. V horní části šroubu je na hřídeli vsazen optický snímač polohy pro zpětnou vazbu o poloze pohybového šroubu. Nad rámeček diplomové práce byl navrhnout pohon pohybového šroubu. Byl navržen servomotor s planetovou převodovkou. Planetová převodovka má vysoký převodový poměr a malé rozměry. Spojení pohybového šroubu a pohonu je už na zvážení. Je možno použití kuželové převodovky nebo jiného spojení. V poslední části kapitoly 7 byly popsány klíny, které jsou jednou z nejdůležitějších částí konstrukce. Kapitola 8 se věnovala technologii, montáži zařízení a manuální záloze stanice. Video z montáže a simulace polohování je uložena na přiloženém DVD spolu s dalšími daty. Poslední kapitoly zahrnují informativní pevnostní výpočet a technické zhodnocení nové varianty a současného řešení stanice. Na konci zprávy jsou přiloženy přílohy, kde jsou výkresy, 3D model, dosažené výsledky výpočtu. Navíc je v poslední příloze č. 6 uvedena modální analýza, která byla dodatečně provedena na výpočtovém modelu a může posloužit pro dynamický výpočet konstrukce. Při návrhu 3D modelu, simulace a pevnostním výpočtu se použil software NX 8.5.

Z dosažených výsledků vyplývá, že se podařilo najít vhodné konstrukční řešení polohovacího zařízení stanice. V technickém zhodnocení je uvedeno, že nové řešení má větší oblast polohování a navržená konstrukce je jednodušší a méně rozměrná. Byl splněn i požadavek polohování v kartézském souřadném systému. Tato práce může posloužit jako podklad při návrhu stanice. Dodatečně by se měl provést návrh spojení pohybového šroubu a pohonu. Dále by měl být proveden komplexní pevnostní výpočet, jelikož v práci byl proveden pouze informativní zjednodušený výpočet. Jednotlivé komponenty v pevnostním výpočtu jsou zjednodušené kvůli složitosti celé sestavy. Během návrhu stanice se nevyskytly žádné zásadní problémy.

12. Použitá literatura

12.1. Knižní a jiné publikace

- [1] BEČVÁŘ, J. a kol. *Jaderné elektrárny*. Praha: SNTL, 1981.
- [2] LAMARSH, J. R., BARATTA A. J. *Introduction to Nuclear Engineering, Prentice-Hall, Inc.*, New Jersey, USA: 2001.
- [3] *Přepavní zařízení pro kontejnery na vyhořelé jaderné palivo technické specifikace – část 2*. Sofinel
- [4] MACÁK, P. *SMS Seismic Monitoring Systém ŠKODA JS: Prezentace*, Plzeň: ŠKODA JS
- [5] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů Části spojovací*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta strojní, 2012.
- [6] SVOBODOVÁ, M. *Spoje a spojovací součásti*. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická
- [7] VOLDŘICH, J. *Návrh přírubových spojů horního bloku tlakové nádoby jaderného reaktoru*. Plzeň: KKE FST ZČU, 2011.
- [8] SHIGLEY J. E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Vysoké učení technické v Brně, Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [9] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Úvaly, 2006.
- [10] *Dokumentace ŠKODA JS a.s.*, Drawing Ae 31831 P, Rev.2 Biological Lid Handling Station
- [11] *Dokumentace ŠKODA JS a.s.*, Drawing Ae 006119 P, Rev.3 Stanice zvedání biologického víka
- [12] *Dokumentace ŠKODA JS a.s.*, Ae 12689, Rev.4 SFCFT - Biological Lid Handling Station – calculation report

12.2. Internetové zdroje

- [13] *Safety standard of the Nuclear Safety Standards Commission KTA 3902 (6/99)*. http://www.kta-gs.de/e/standards/3900/3902_engl_2012_11.pdf. Německo: Listopad 2012.
- [14] *Safety standard of the Nuclear Safety Standards Commission KTA 2201.4 (6/90)*. http://www.kta-gs.de/e/standards/2200/2201_4_engl_2012_11.pdf. Německo: Listopad 2012.
- [15] PLEINER, Thomas. *Nuclear Power Plant with Pressurized Water Reactor EPR (1600 MW)*. <http://www.mtp-studio.de/epr-online/general.htm>. Listopad 2011.
- [16] <http://www.asn.fr/index.php/L-ASN-en-region/Division-de-Caen/Actualites-de-votre-region/Transport-de-matieres-radioactives>
- [17] *Přírodní katastrofy a environmentální hazardy*. <http://www.sci.muni.cz/~herber/quake.htm>
- [18] <http://www.permaglide.de/content2.asp?area=hauptmenue&site=permakatalog&cls=01>
- [19] VALENTA, *Valenta závitové tyče* [online]. <http://www.valentazt.cz/trapezovy-zavit.html>

- [20] MAZANEC, *Princip optických enkóderů polohy pro řízení motorů*.
http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/opticke_ekodery.htm
- [21] <http://www.ckait.cz/sites/default/files/EC8predn.pdf>
- [22] DIN 15018-2 *Cranes – Steel Structures – Verification and analyses*,
<http://www.scribd.com/doc/97696176/Din-15018-Cranes-Part-1>. Listopad 1984.
- [23] <http://www.kuebler.com/english2/prod-sen-multiturn.html>
- [24] <http://industrial.omron.cz/cs/home>
- [25] <http://www.neugart.de/index.php/de/Produkte/Standardgetriebe>
- [26] <http://www.povrchoveupravy.cz/2005-02-clanek01.html>
- [27] *Saarstahl Material specification sheet C35*.
http://www.saarstahl.com/fileadmin/saarstahl_extranet/images/04_produkte/walzstahlsorten/english/0501_C35.pdf
- [28] *SEEBERGER Material data sheet CW453K*.
http://www.seeberger.net/_assets/pdf/werkstoffe/bronze/en/CW453K.pdf
- [29] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=570
- [30] http://www.splav.kharkov.com/steelgrade/mat_start_eu.php?name_id=13
- [31] http://www.splav.kharkov.com/steelgrade/mat_start_eu.php?name_id=5
- [32] http://www.splav.kharkov.com/steelgrade/mat_start_eu.php?name_id=10
- [33] *Thyssenkrupp Material Data Sheet*. http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Dickwand_Hohlprofile/Hollow_section_acc_to_10210.pdf
- [34] http://www.sew-eurodrive.com/download/pdf/11509031_Rev1.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Jaderná elektrárna EPR (1650 MWe) – pohled na celý komplex elektrárny [15]..	2
Obrázek 2 - Jaderná elektrárna EPR (1650 MWe) pohled dovnitř komplexu [15].....	2
Obrázek 3 - Jednotlivé části budovy s jaderným palivem [3]	3
Obrázek 4 – Vlevo - Transportně skladovací kontejner na vyhořelé jaderné palivo typ TN13/2 [3] – popis jednotlivých částí; vpravo - 3D ukázka modelu kontejneru [16].....	4
Obrázek 5 - Skica přepravního stroje s popisem jednotlivých částí [3].....	5
Obrázek 6 - Přepravní stroj s kontejnerem [15]	6
Obrázek 7 - Transport kontejneru na přepravní stroj [3].....	7
Obrázek 8 - Odstranění biologického víka z kontejneru [3]	8
Obrázek 9 - Vlevo – Penetrace spojená s kontejnerem; Vpravo – Připojení k penetraci [3].....	8
Obrázek 10 - Vlevo – Zaplňování kontejneru a penetrace; Vpravo – Otevření horního krytu penetrace [3].....	9

Obrázek 11 - Vlevo - Zaplňování palivovými soubory; Vpravo - Uzavření horního krytu penetrace [3].....	9
Obrázek 12 - Vlevo - Odpojení penetrace; Vpravo - Biologické víko umístěné zpět na kontejner [3]	10
Obrázek 13 - Kontejner pod manipulační stanicí [3]	11
Obrázek 14 - Umístění kontejneru na tahač [3]	11
Obrázek 15 - Druhy vln při seizmické události [4].....	13
Obrázek 16 - Ohniska zemětřesení mezi roky 1963-1998, epicentra odpovídají okrajům litosférický desek [17].....	13
Obrázek 17 - Souřadný systém pro zrychlení součástí	15
Obrázek 18 - Seizmické zatížení použité v dimenzování komponent	16
Obrázek 19 - Zjednodušené schéma pro současné řešení [3].....	18
Obrázek 20 - Stávající řešení polohovacího zařízení biologické stanice [10]	19
Obrázek 21 - Systém excentrických pouzder pro stávající konstrukční řešení [11]	19
Obrázek 22 - Vyšrafovaná oblast polohování zařízení	21
Obrázek 23 - BLHS – varianta č. 1	24
Obrázek 24 – Vnitřní části polohovacího zařízení BLHS – varianta č. 1	24
Obrázek 25 – BLHS – varianta č. 2	25
Obrázek 26 – Vnitřní části BLHS – varianta č. 2.....	26
Obrázek 27 – Primární ocelová konstrukce	28
Obrázek 28 – Konstrukce základu s primární ocelovou konstrukcí.....	29
Obrázek 29 – Vyrovnávací deska se základovou deskou.....	30
Obrázek 30 – Nerovinnost vyrovnávací desky a základové desky	30
Obrázek 31 - Materiál Permaglide [18].....	31
Obrázek 32 – Permaglide v drážce vyrovnávací desky s kontaktem kamenů horního stolu ...	32
Obrázek 33 – Permaglide na klínech konstrukce	33
Obrázek 34 - Kontaktní tlak od zatížení a čtyři kameny (podpěry) na horním stolu (desce) ..	34
Obrázek 35 - Zatížení klínů – skutečný a idealizovaný průběh zatížení.....	35
Obrázek 36 - Normálové reakce v podpěrách horního stolu (obecné vazby A a B).....	36
Obrázek 37 - Schéma soustavy se silovými účinky na zařízení.....	37
Obrázek 38 - Uvolnění tělesa 2 se zakreslenými reakcemi a silami	39
Obrázek 39 - Uvolnění tělesa 3 se zakreslenými silami a reakcemi	42
Obrázek 40 - Pohyb šroubu a matice, kde matice se posouvá a šroub se otáčí na místě [5]....	45
Obrázek 41 - Rozvinutý závit do roviny - silové poměry při pohybu dvojice klínů k sobě [6]	46

Obrázek 42 – Řez čtvercovým a lichoběžníkovým (trapézovým) závitem a působení normálové síly [5]	48
Obrázek 43 - Rozvinutý závit do roviny [6]	49
Obrázek 44 - Podmínky plasticity von Misesa a Tresca [7]	51
Obrázek 45 - Rozložení měrného tlaku v závitech matice a šroubu [5].....	52
Obrázek 46 - Rozbor sil při seizmickém zatížení	54
Obrázek 47 - Rozměry lichoběžníkového závitu [8].....	55
Obrázek 48 - Vlevo - Přírubová bronzová matice [19]; Vpravo – Trapézový závit [19]	57
Obrázek 49 – 3D model pohybového šroubu.....	58
Obrázek 50 - Princip rotačního optického snímače [20].....	59
Obrázek 51 – 3D model absolutního optického snímače SENDIX 5883 SIL [23].....	60
Obrázek 52 - Servomotor – OMRON-R88M-K40030H-BS2 [24].....	62
Obrázek 53 – 3D model zvolené planetové převodovky [25].....	63
Obrázek 54 - Klíny s pohybovým šroubem a popisem	64
Obrázek 55 - Klíny s pohybovým šroubem a popisem – podélný řez	65
Obrázek 56 – 3D pohledy na klíny s popisem	66
Obrázek 57 - Silové působení na klín	67
Obrázek 58 - Rozbor sil při posuvu klínů k sobě.....	68
Obrázek 59 - Rozbor sil při pohybu klínů od sebe $\alpha > \gamma_K$	69
Obrázek 60 - Rozbor sil při pohybu klínů od sebe $\alpha < \gamma_K$	69
Obrázek 61 - Posuv klínu a pohybového šroubu.....	70
Obrázek 62 – 3D model svařence	73
Obrázek 63 – Konstrukce zvedáku s klíny, která se zasune do konstrukce základu při montáži	74
Obrázek 64 – Manuální záloha – vnitřní šestihran na pohybovém šroubu	75
Obrázek 65 - 3D pohled na celý výpočtový model.....	77
Obrázek 66 – Vlevo - kontakty mezi kameny (podpěrami) horního stolu a horní dělenou deskou; Vpravo - kontakt mezi spodní deskou základu a spodní dělenou deskou.....	80
Obrázek 67 – Kontakty mezi klíny	80
Obrázek 68 – Nulové posuvy ve směrech x, y, z na ploše spodní desky základu, vyrovnávací desky základu a lišt	80
Obrázek 69 – Popis částí, které se budou vyhodnocovat	81
Obrázek 70 – Vlevo – současné řešení; Vpravo – nové řešení	86
Obrázek 71 - Oblast polohování současného řešení (vlevo) a nového řešení (vpravo)	87

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Náhradní zrychlení zatížení vynásobené bezpečnostním faktorem [12].....	15
Tabulka 2 - Referenční hodnota napětí pro materiály [3]	17
Tabulka 3 - Koeficienty pro dovolené napětí pro typ zatížení H a HS2 – platí pro součásti [3]	17
Tabulka 4 - Porovnání konstrukčních variant 1 a 2	27
Tabulka 5 - Vlastnosti materiálu Permaglide [18]	31
Tabulka 6 - Jednotlivé vrstvy a složení Permaglidu [18].....	32
Tabulka 7 - Hodnoty vzdáleností a sil soustavy.....	38
Tabulka 8 - Hodnoty součinitele tření v závitech – f [6]	50
Tabulka 9 - Dovolené měrné tlaky v závitech [6].....	53
Tabulka 10 - Rozměry pohybového šroubu	55
Tabulka 11 - Parametry absolutního víceotáčkového optického snímače [23].....	60
Tabulka 12 - Přehled parametrů servomotoru [24] a planetové převodovky [25].....	63
Tabulka 13 - Přehled součástí s jejich materiálovými vlastnostmi a dovolenými hodnotami zatížení	76
Tabulka 14 - Dvě varianty zatížení pro výpočtový model	79
Tabulka 15 – Vyhodnocení zatížení pro variantu 1 a 2.....	82
Tabulka 16 - Vyhodnocení kontaktního tlaku – Permaglide pro variantu 1 a 2	83
Tabulka 17 – Maximální Von-Mises napětí a posuv pro dvě varianty	83

Seznam obrázků přílohy

Obrázek-příloha 1 – 3D model BLHS s víkem	4
Obrázek-příloha 2 – 3D model BLHS s víkem - bokorys.....	5
Obrázek-příloha 3 – 3D pohled na spodní část stanice	6
Obrázek-příloha 4 - 3D pohled na horní část BLHS	7
Obrázek-příloha 5 – 3D pohled vnitřních částí stanice	7
Obrázek-příloha 6 – Vnitřní části stanice.....	8
Obrázek-příloha 7 - Nasít'ovaný model víka.....	10
Obrázek-příloha 8 - Nasít'ovaný model šroubového zvedáku.....	10
Obrázek-příloha 9 - Nasít'ovaný model vyrovnávací dělené desky	11
Obrázek-příloha 10 - Nasít'ovaný model spodní desky základu	11
Obrázek-příloha 11 - Nasít'ovaný model hrnce konstrukce zvedáku.....	12
Obrázek-příloha 12 - Nasít'ovaný model horního stolu konstrukce zvedáku	12

Obrázek-příloha 13 - Nasíťovaný model čtvercového profilu konstrukce zvedáku	13
Obrázek-příloha 14 - Nasíťovaný model klínu konstrukce zvedáku	13
Obrázek-příloha 15 - Nasíťovaný model spodní dělené desky konstrukce zvedáku	14
Obrázek-příloha 16 - Nasíťovaný model klínu s maticí.....	14
Obrázek-příloha 17 - Nasíťovaný model pohybového šroubu.....	14
Obrázek-příloha 18 - Nasíťovaný model lišty.....	15
Obrázek-příloha 19 - Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno - VARIANTA Č. 1.....	17
Obrázek-příloha 20 – Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno - VARIANTA Č. 2.....	17
Obrázek-příloha 21 – Celkové Von-Mises napětí – deformace 10x zvětšeno-VARIANTA Č. 1	18
Obrázek-příloha 22 - Celkové Von-Mises napětí - deformace 10x zvětšeno-VARIANTA Č. 2	18
Obrázek-příloha 23 - Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno – VARIANTA Č. 1	19
Obrázek-příloha 24 - Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno – VARIANTA Č. 2.....	19
Obrázek-příloha 25 – Von-Mises napětí – Čtvercový profil – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	20
Obrázek-příloha 26 – Von-Mises napětí – Horní stůl – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	20
Obrázek-příloha 27 – Von-Mises napětí – Dělená deska 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	21
Obrázek-příloha 28 – Von-Mises napětí – Dělená deska 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	21
Obrázek-příloha 29 – Von-Mises napětí – Klín profilu 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	22
Obrázek-příloha 30 – Von-Mises napětí – Klín profilu 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	22
Obrázek-příloha 31 – Von-Mises napětí – Klín profilu 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	23
Obrázek-příloha 32 – Von-Mises napětí – Klín profilu 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	23
Obrázek-příloha 33 – Von-Mises napětí – Kámen 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	24
Obrázek-příloha 34 – Von-Mises napětí – Kámen 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	24
Obrázek-příloha 35 – Von-Mises napětí – Kámen 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	25
Obrázek-příloha 36 – Von-Mises napětí - Kámen 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno.....	25

Obrázek-příloha 37 – Von-Mises napětí – Klín horní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	26
Obrázek-příloha 38 - Von-Mises napětí – Klín dolní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	26
Obrázek-příloha 39 – Von-Mises napětí – Klín horní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	27
Obrázek-příloha 40 – Von-Mises napětí – Klín dolní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	27
Obrázek-příloha 41 – Von-Mises napětí – Klín horní 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	28
Obrázek-příloha 42 – Von-Mises napětí – Klín dolní 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	28
Obrázek-příloha 43 - Von-Mises napětí – Klín horní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	29
Obrázek-příloha 44 - Von-Mises napětí – Klín dolní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	29
Obrázek-příloha 45 - Von-Mises napětí – Pohybový šrouby – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	30
Obrázek-příloha 46 - Von-Mises napětí – Hrnc zvedáku – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	30
Obrázek-příloha 47 – Kontaktní tlak - Klín horní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	31
Obrázek-příloha 48 – Kontaktní tlak - Klín dolní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	31
Obrázek-příloha 49 – Kontaktní tlak - Klín horní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	32
Obrázek-příloha 50 – Kontaktní tlak - Klín dolní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	32
Obrázek-příloha 51 – Kontaktní tlak - Klín horní 3 – vlevo – VARIANTA 2; vpravo – VARIANTA 1 - deformace 10x zvětšeno	33
Obrázek-příloha 52 – Kontaktní tlak - Klín dolní 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	33
Obrázek-příloha 53 – Kontaktní tlak - Klín horní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	34
Obrázek-příloha 54 – Kontaktní tlak - Klín dolní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno	34
Obrázek-příloha 55 – Modální analýza - Absolutní posuvy – vlevo – 1 mód, vpravo – 2 mód - deformace 10x zvětšeno	36
Obrázek-příloha 56 – Modální analýza - Absolutní posuvy – vlevo – 3 mód, vpravo – 4 mód - deformace 10x zvětšeno	37

Seznam příloh

PŘÍLOHA Č. 1 – Výkres sestavy BLHS

PŘÍLOHA Č. 2 – Výrobní výkres součásti

PŘÍLOHA Č. 3 – 3D model zařízení

PŘÍLOHA Č. 4 – Informativní pevnostní výpočet – výpočtový model

PŘÍLOHA Č. 5 – Informativní pevnostní výpočet – napětí a posuvy

PŘÍLOHA Č. 6 – Modální analýza

PŘÍLOHA č. 1

Výkres sestavy BLHS

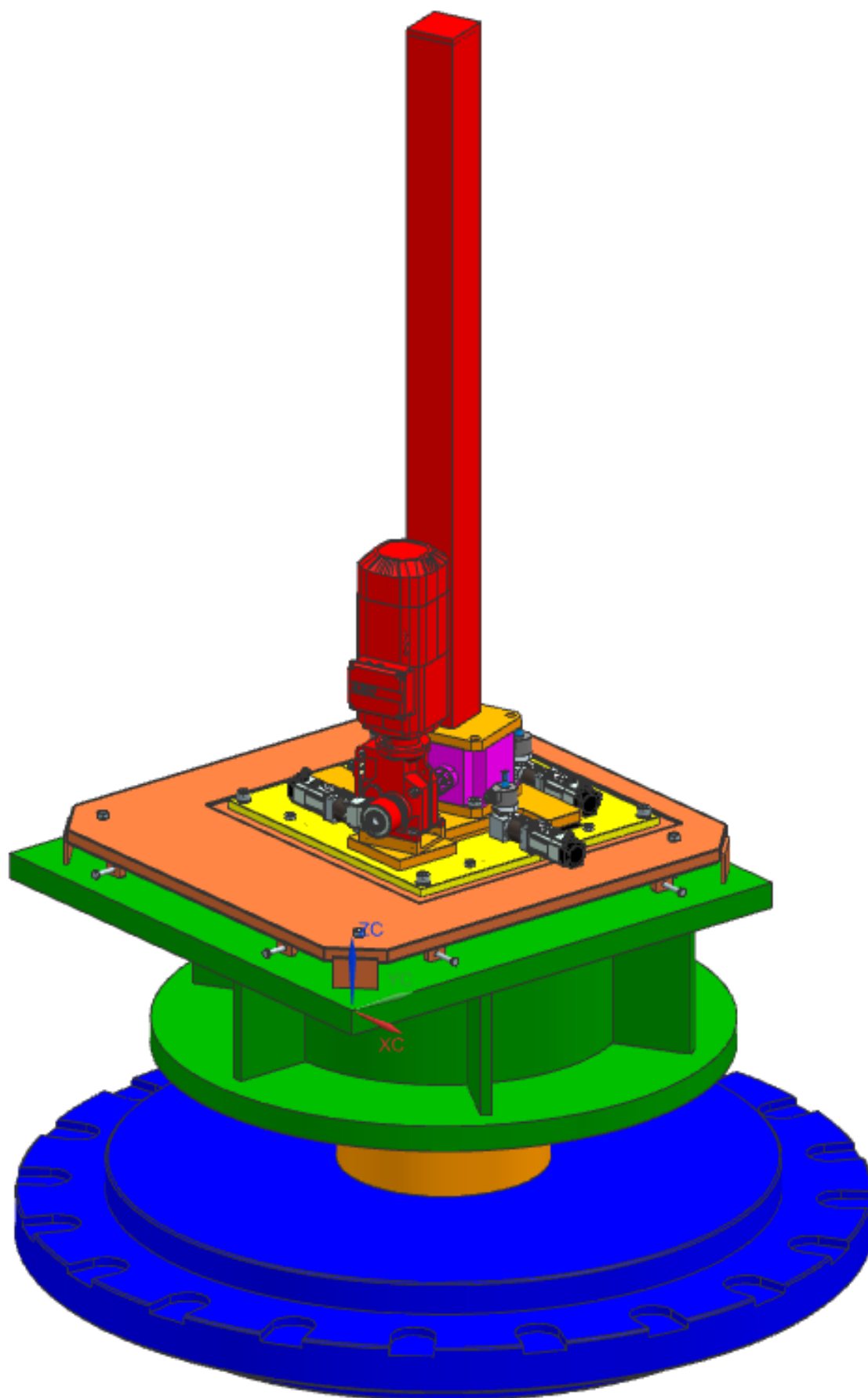
PŘÍLOHA č. 2

Výrobní výkres součásti

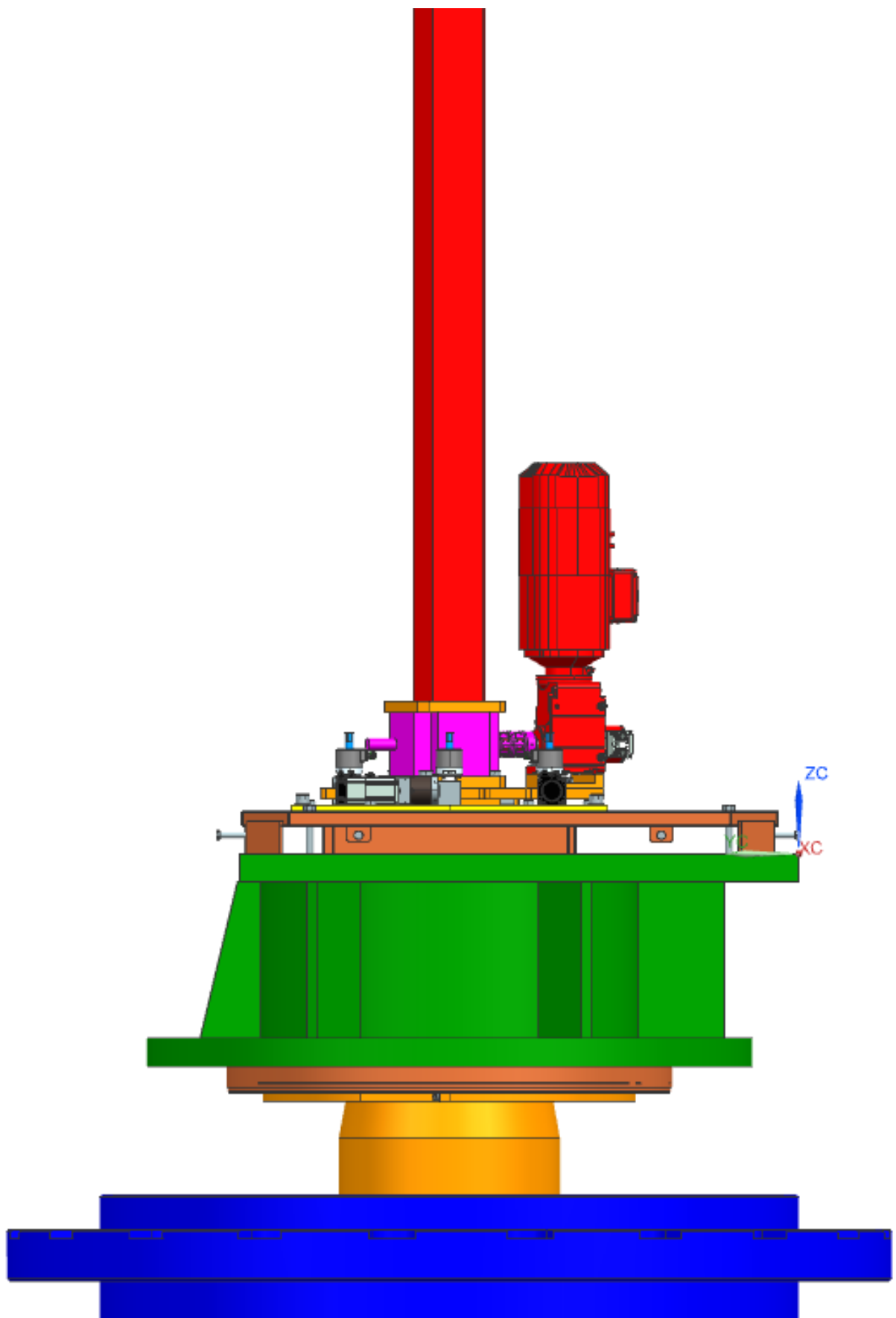
PŘÍLOHA č. 3

3D model zařízení

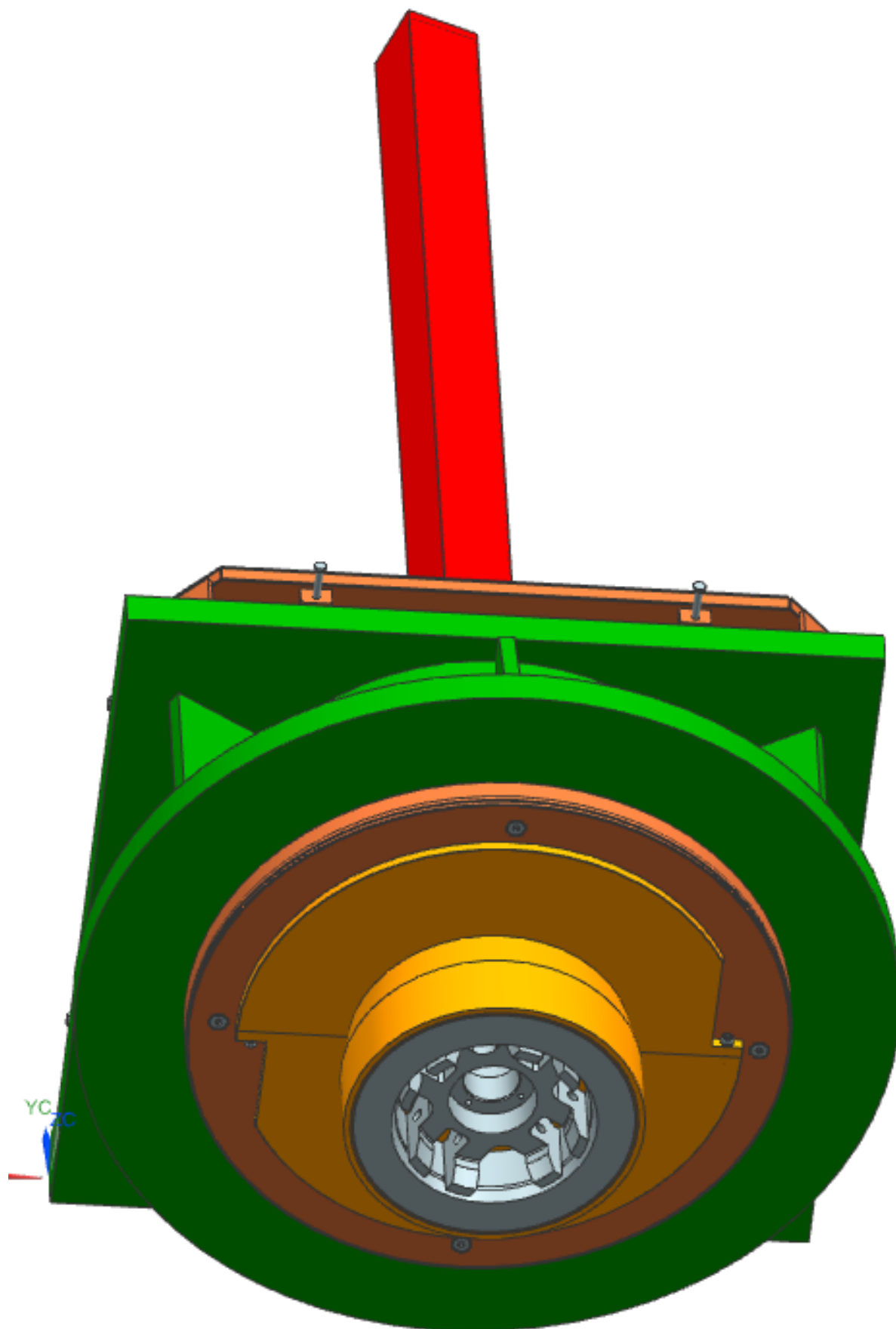
Obrázek-příloha 1 – 3D model BLHS s víkem



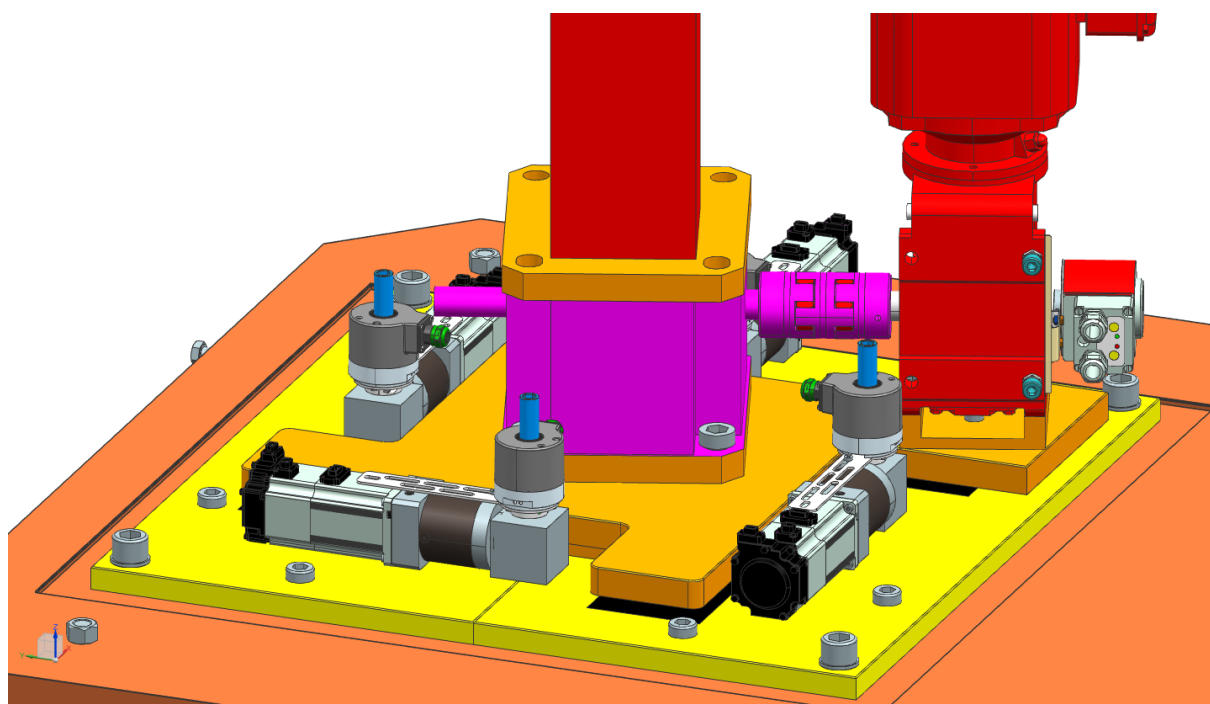
Obrázek-příloha 2 – 3D model BLHS s víkem - bokorys



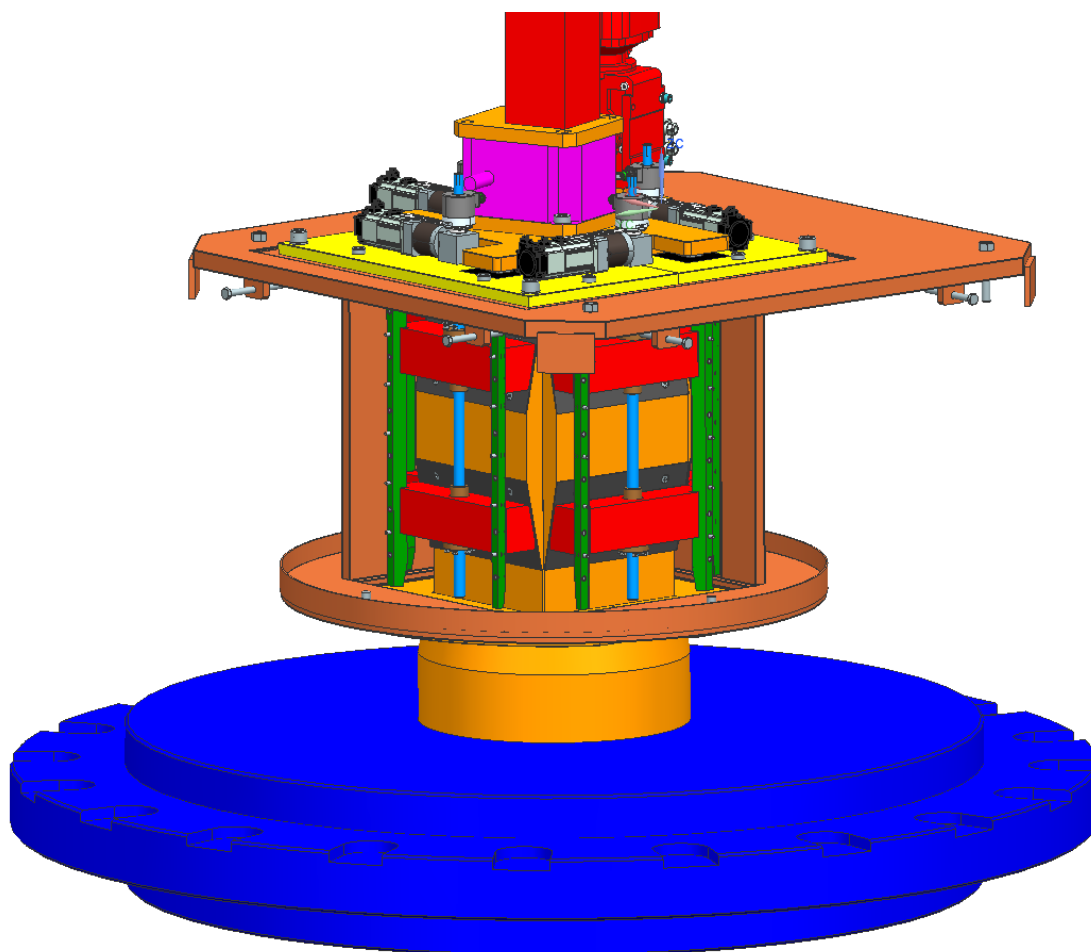
Obrázek-příloha 3 – 3D pohled na spodní část stanice



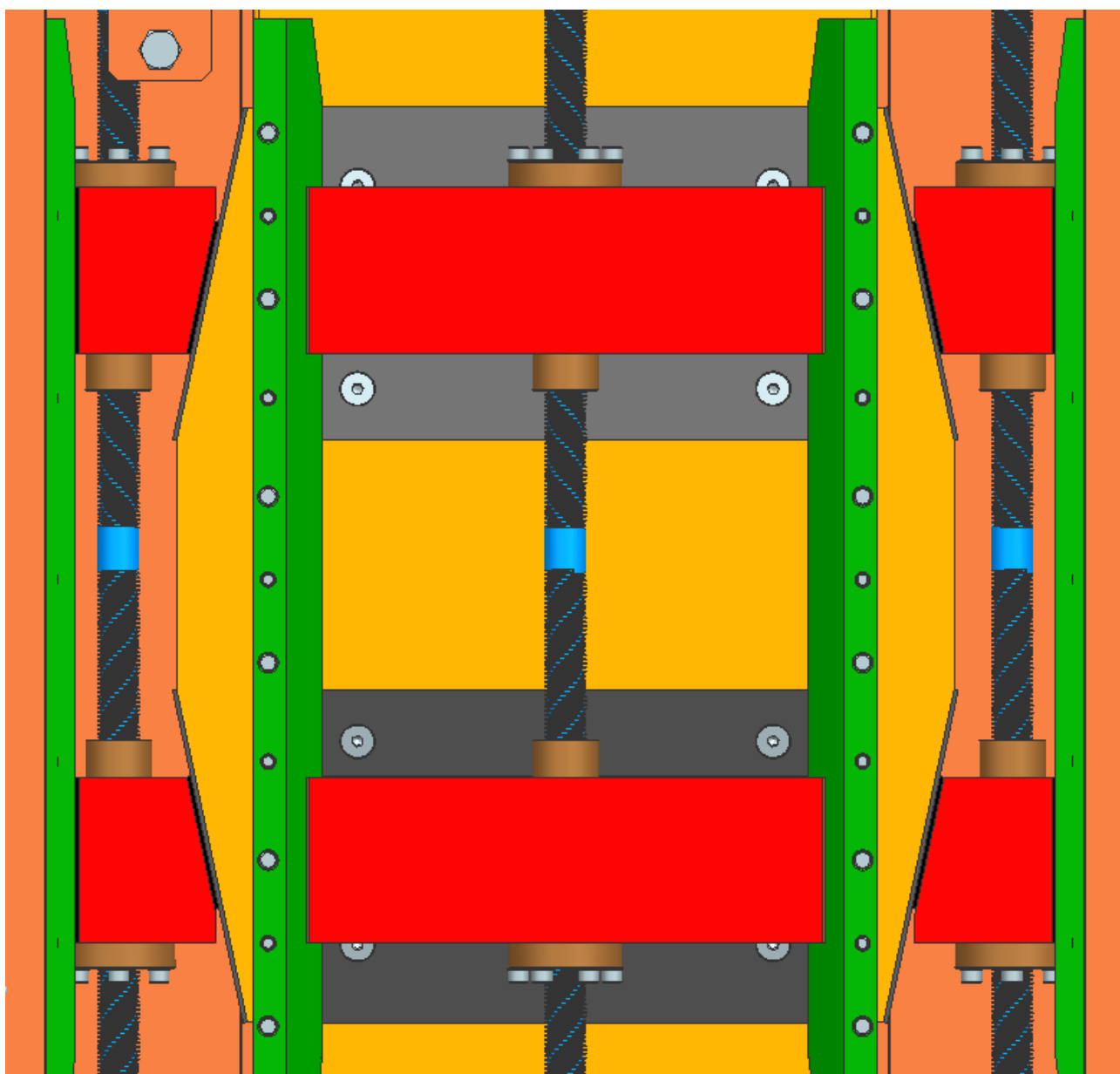
Obrázek-příloha 4 - 3D pohled na horní část BLHS



Obrázek-příloha 5 – 3D pohled vnitřních částí stanice



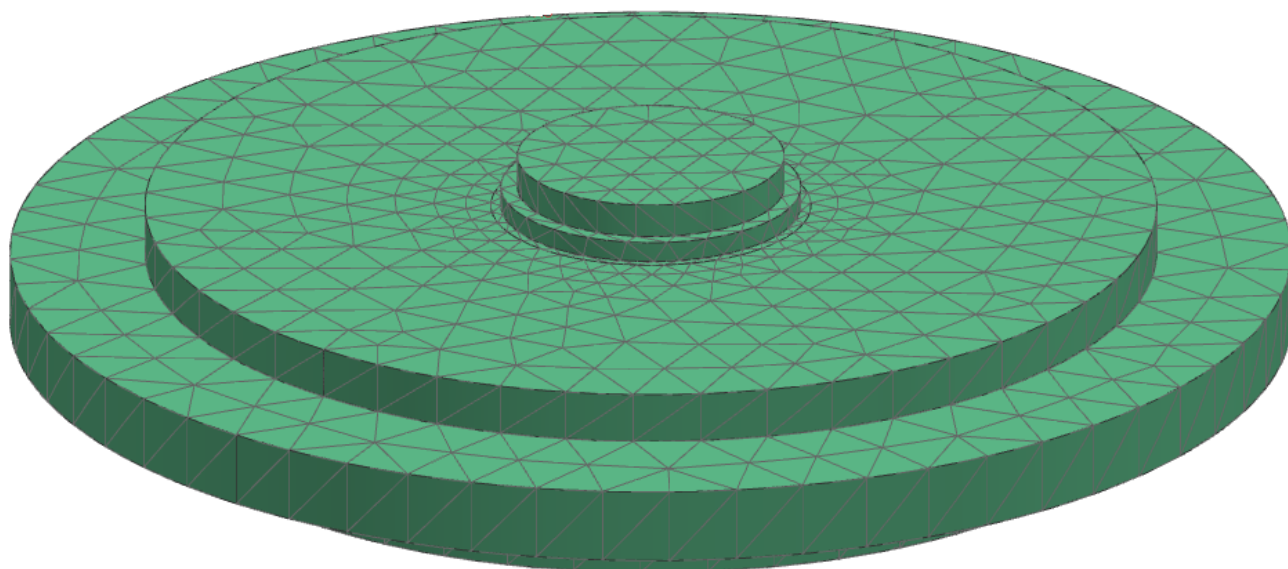
Obrázek-příloha 6 – Vnitřní části stanice



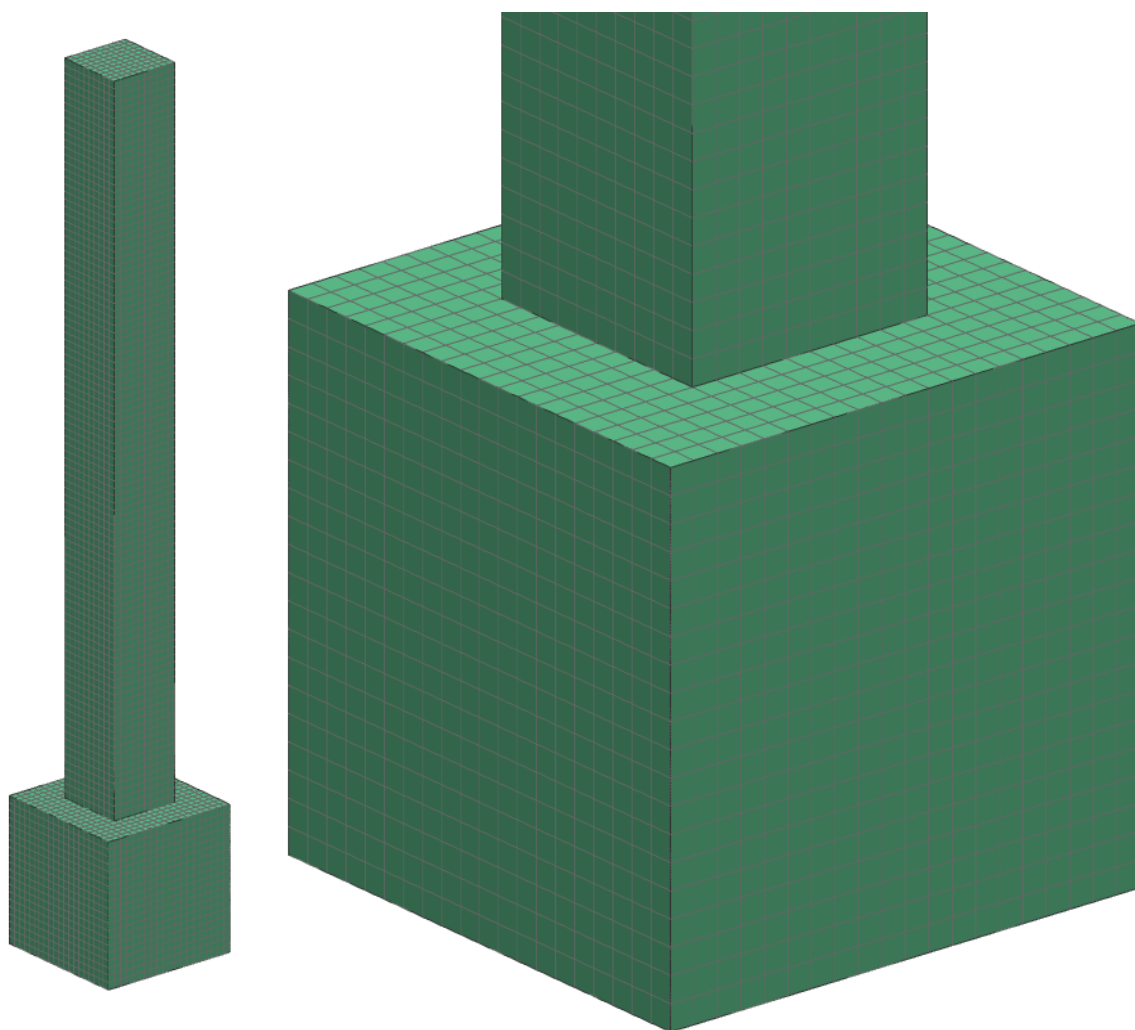
PŘÍLOHA č. 4

Informativní pevnostní výpočet – výpočtový model

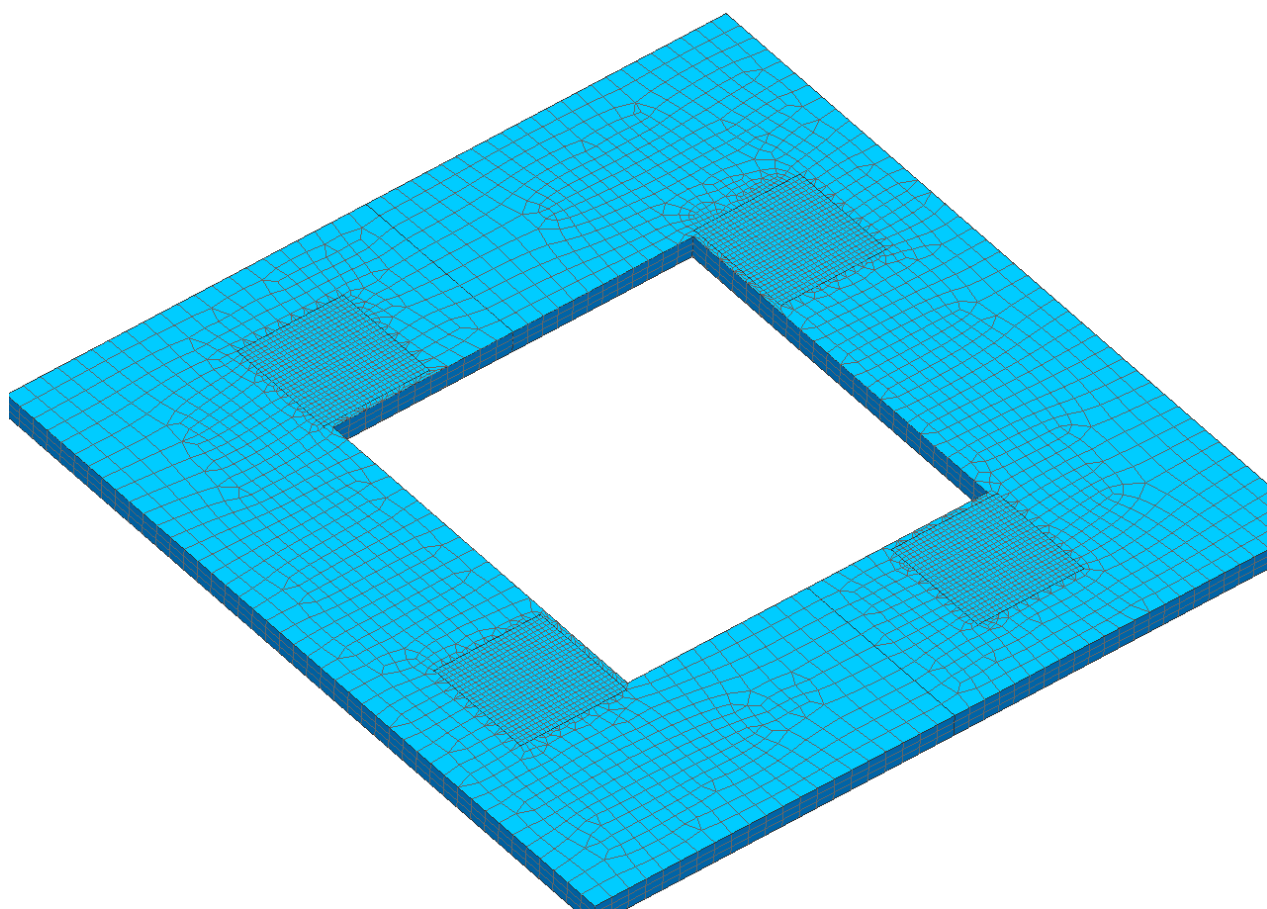
Obrázek-příloha 7 - Nasíťovaný model víka



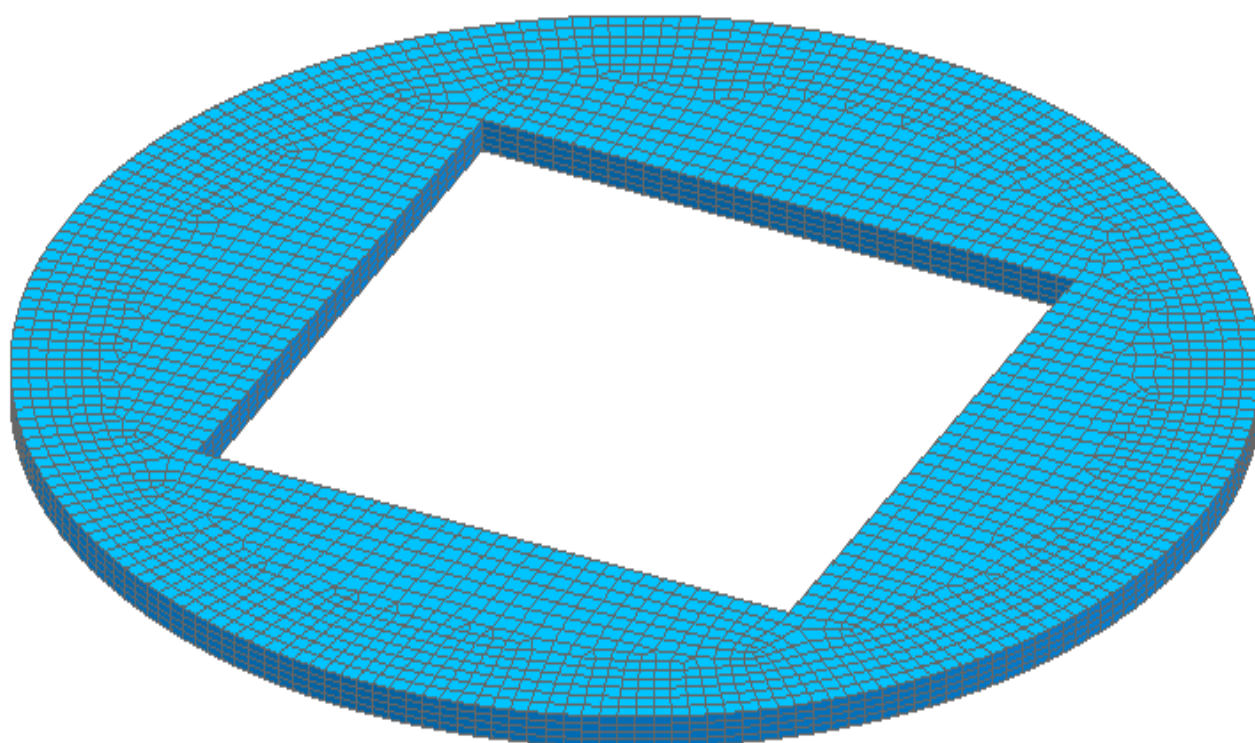
Obrázek-příloha 8 - Nasíťovaný model šroubového zvedáku



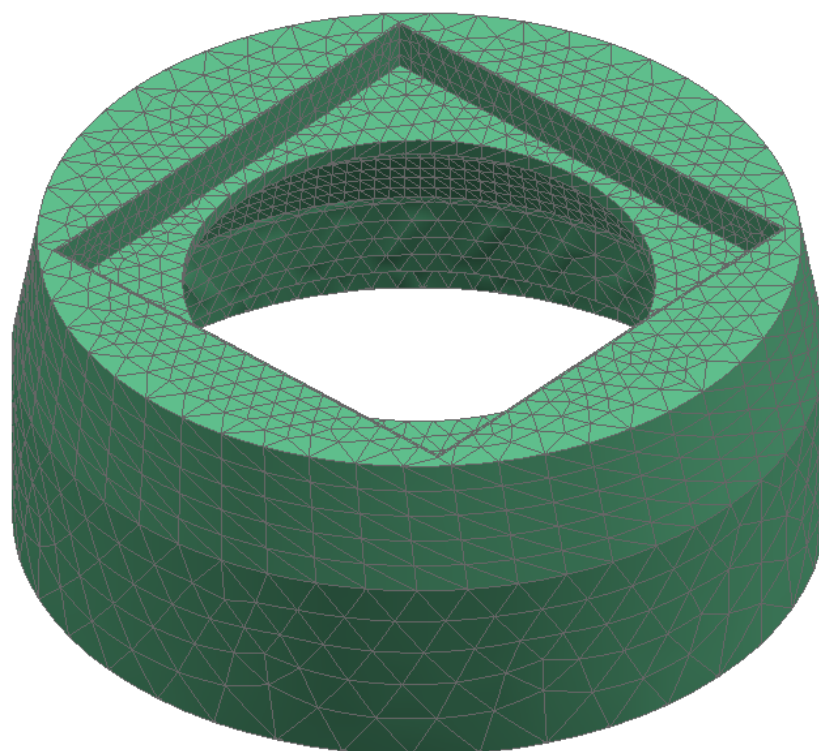
Obrázek-příloha 9 - Nasíťovaný model vyrovnávací dělené desky



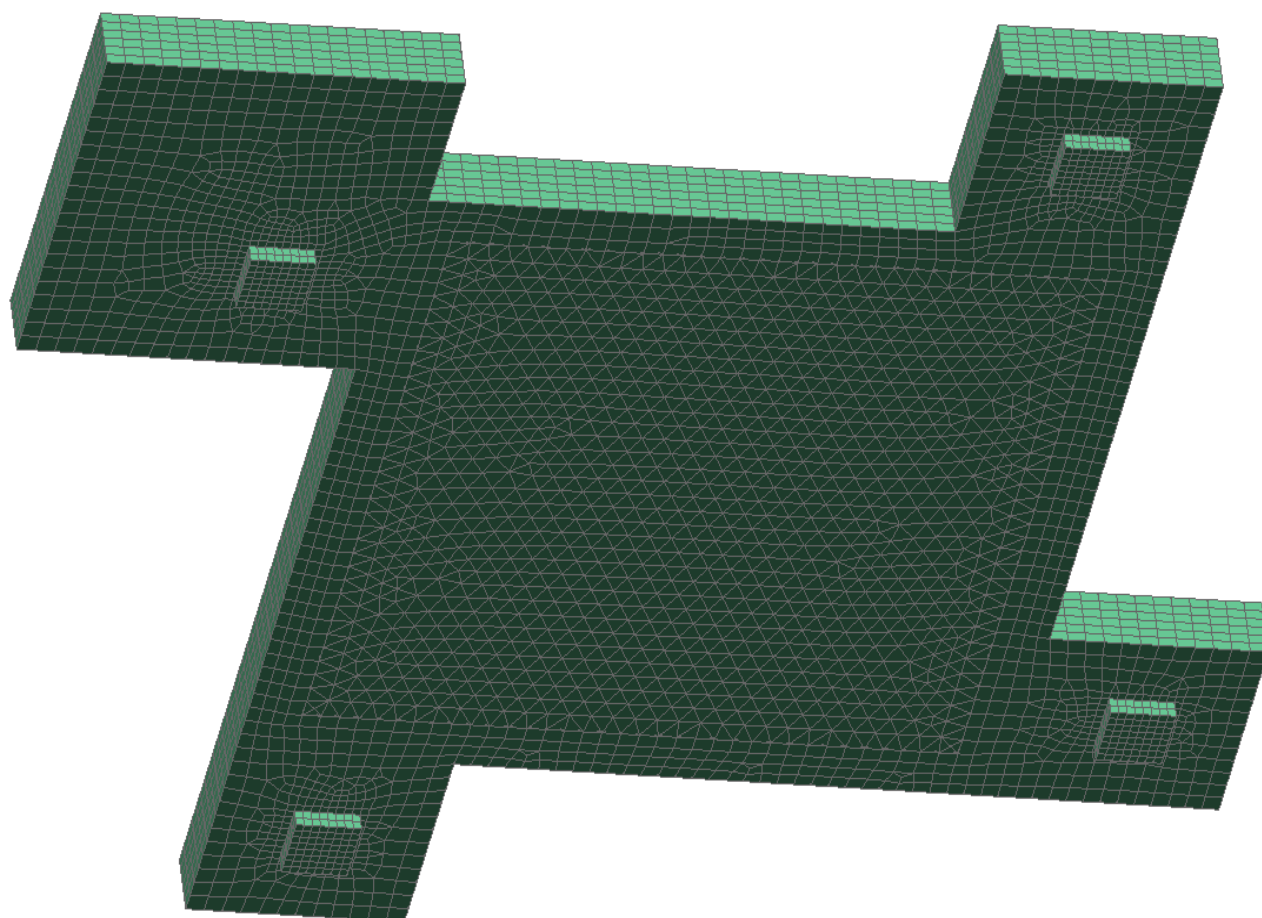
Obrázek-příloha 10 - Nasíťovaný model spodní desky základu



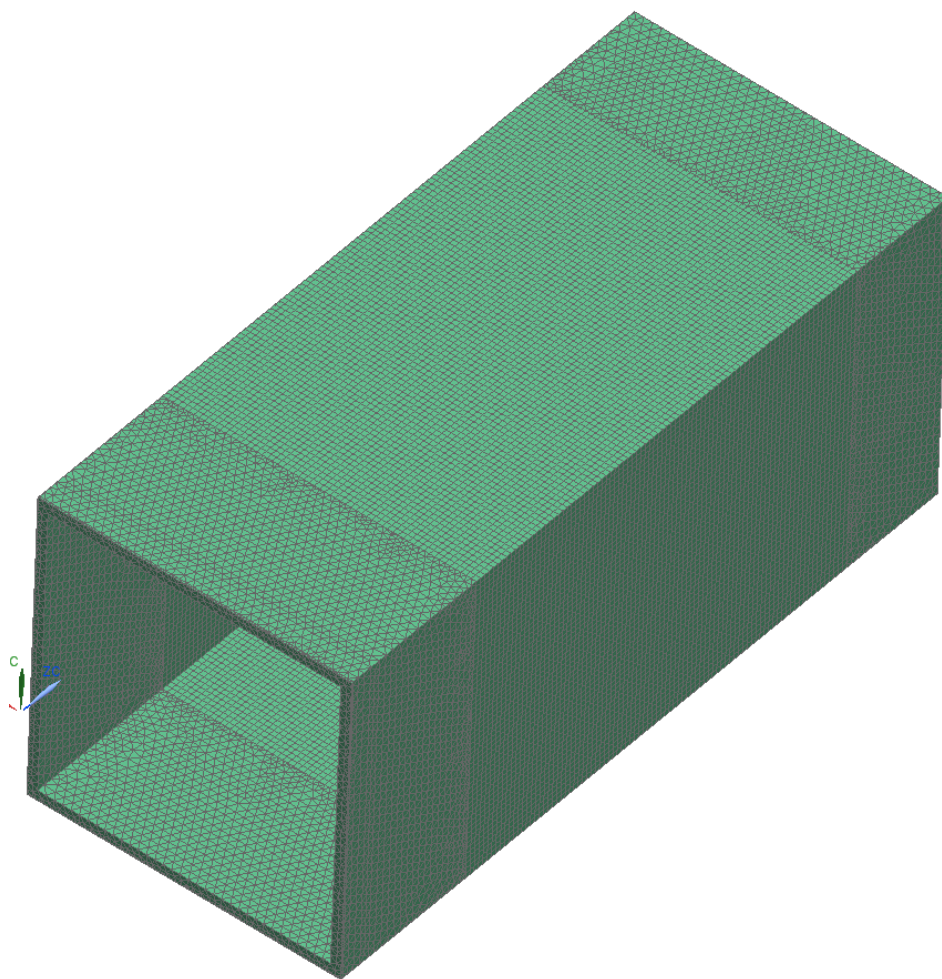
Obrázek-příloha 11 - Nasíťovaný model hrnce konstrukce zvedáku



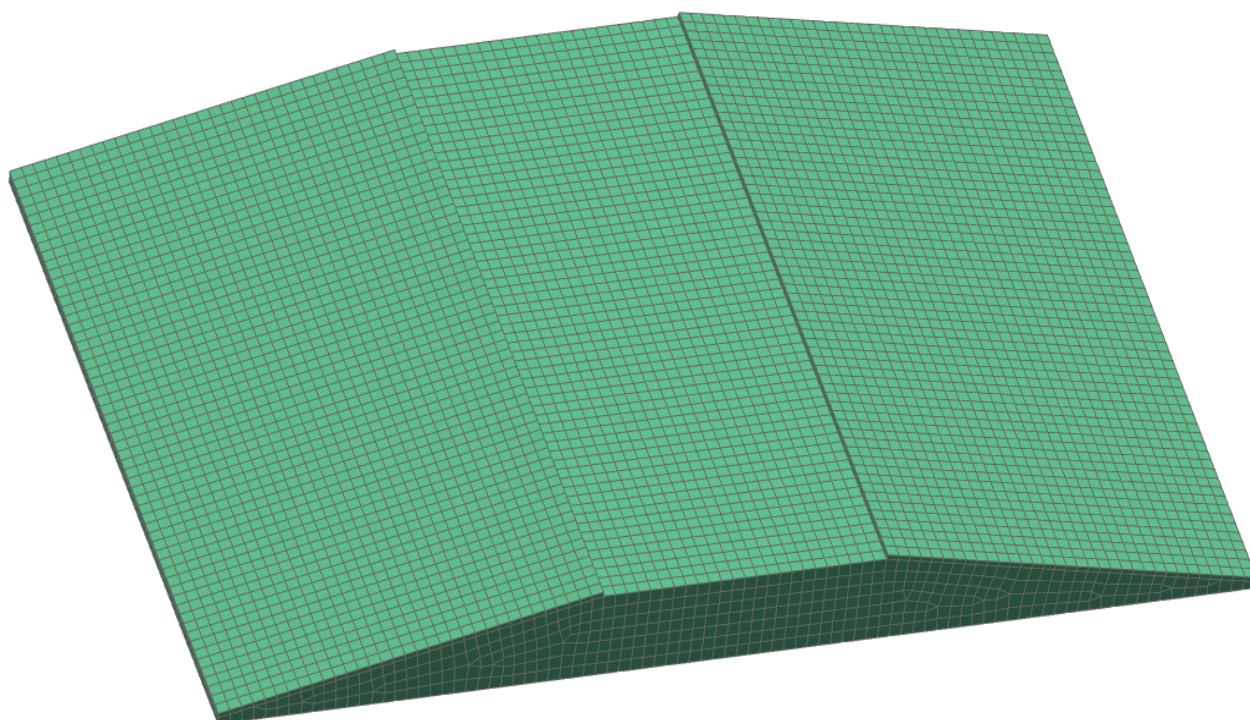
Obrázek-příloha 12 - Nasíťovaný model horního stolu konstrukce zvedáku



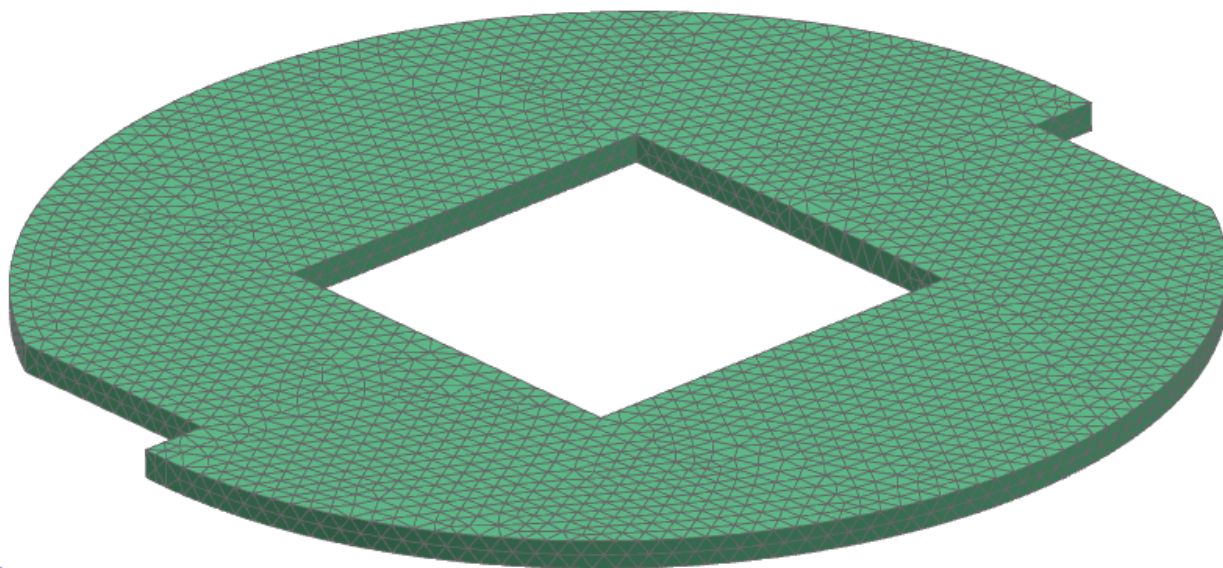
Obrázek-příloha 13 - Nasíťovaný model čtvercového profilu konstrukce zvedáku



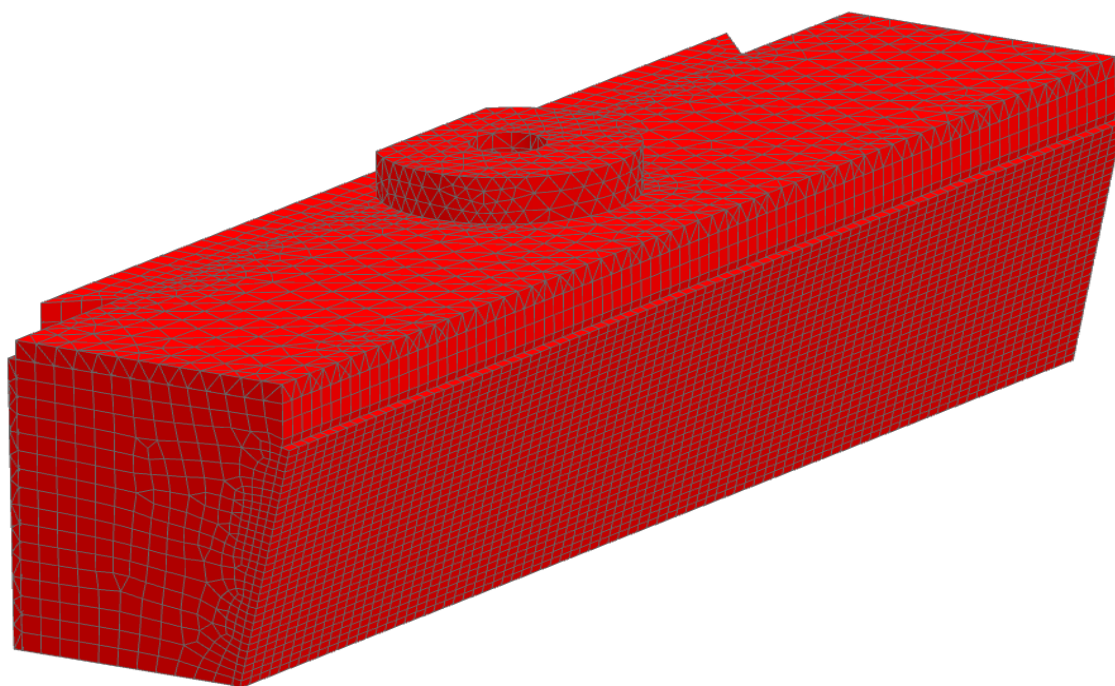
Obrázek-příloha 14 - Nasíťovaný model klínu konstrukce zvedáku



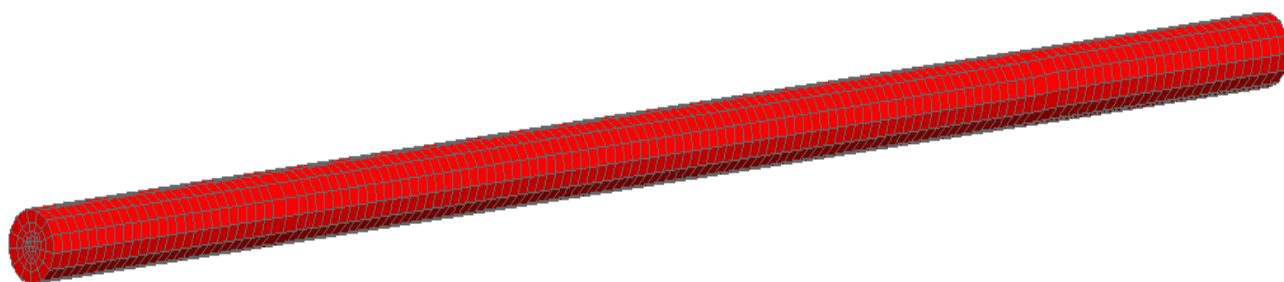
Obrázek-příloha 15 - Nasíťovaný model spodní dělené desky konstrukce zvedáku



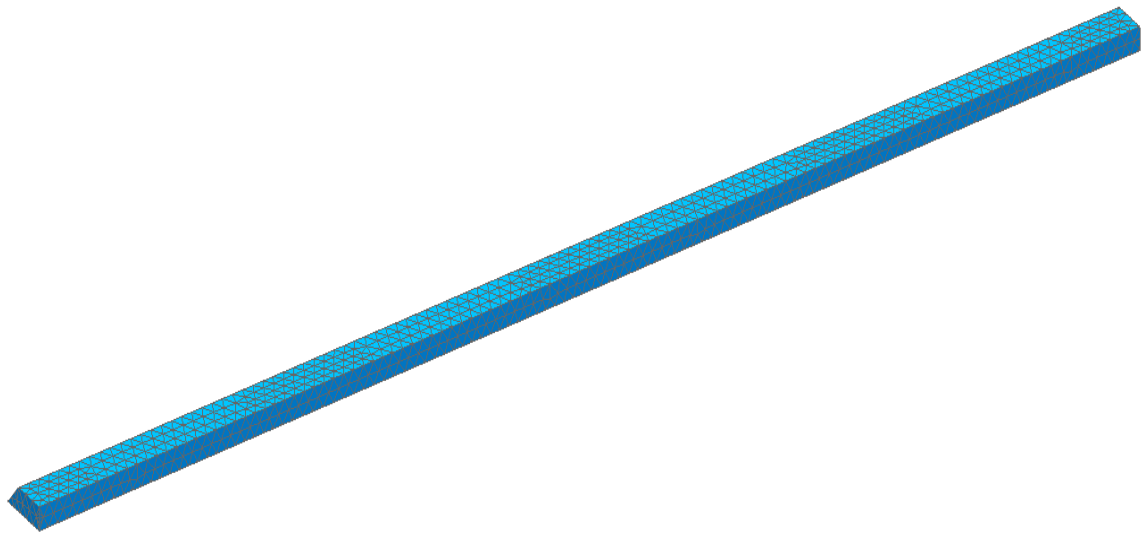
Obrázek-příloha 16 - Nasíťovaný model klínu s maticí



Obrázek-příloha 17 - Nasíťovaný model pohybového šroubu



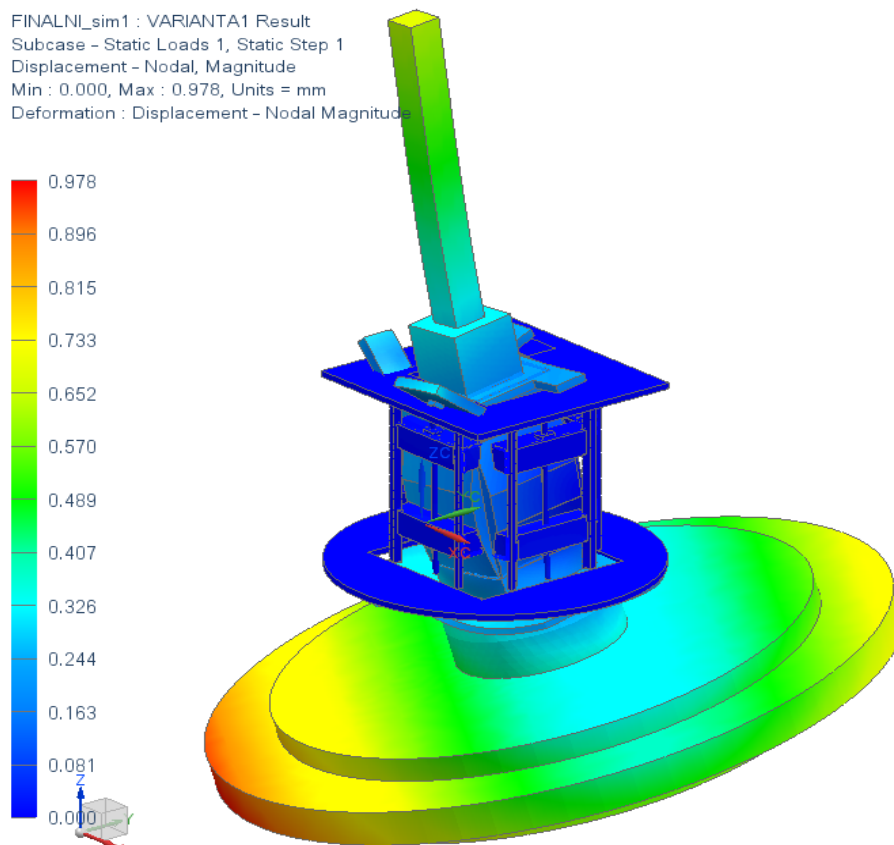
Obrázek-příloha 18 - Nasíťovaný model lišty



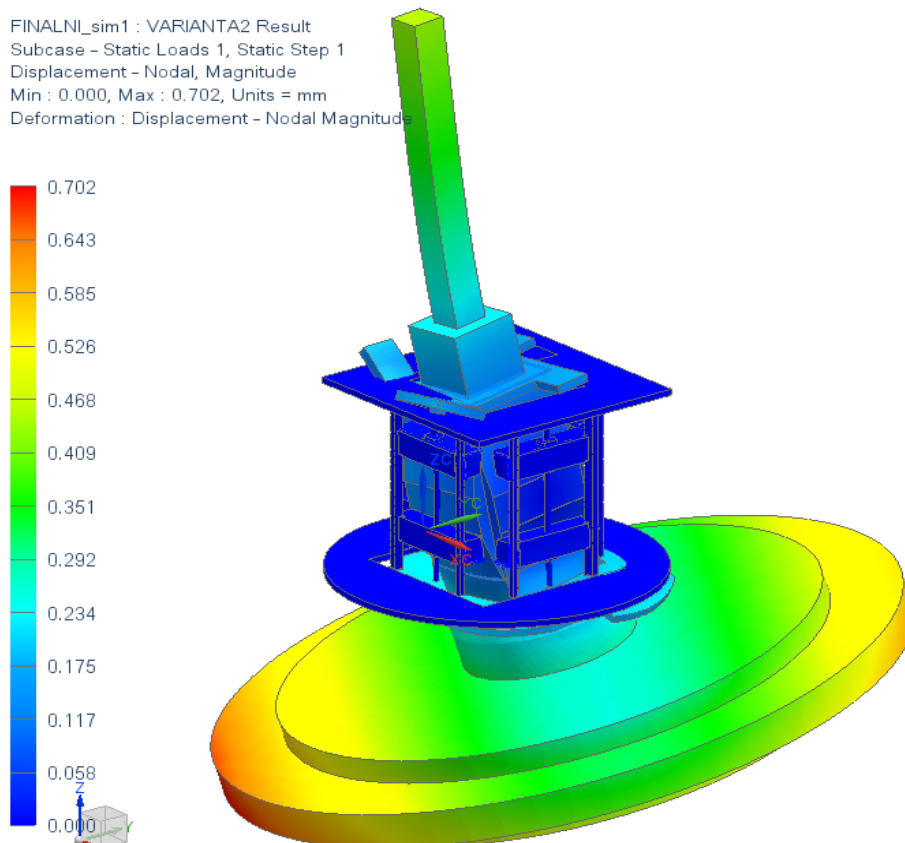
PŘÍLOHA č. 5

Informativní pevnostní výpočet – napětí a posuvy

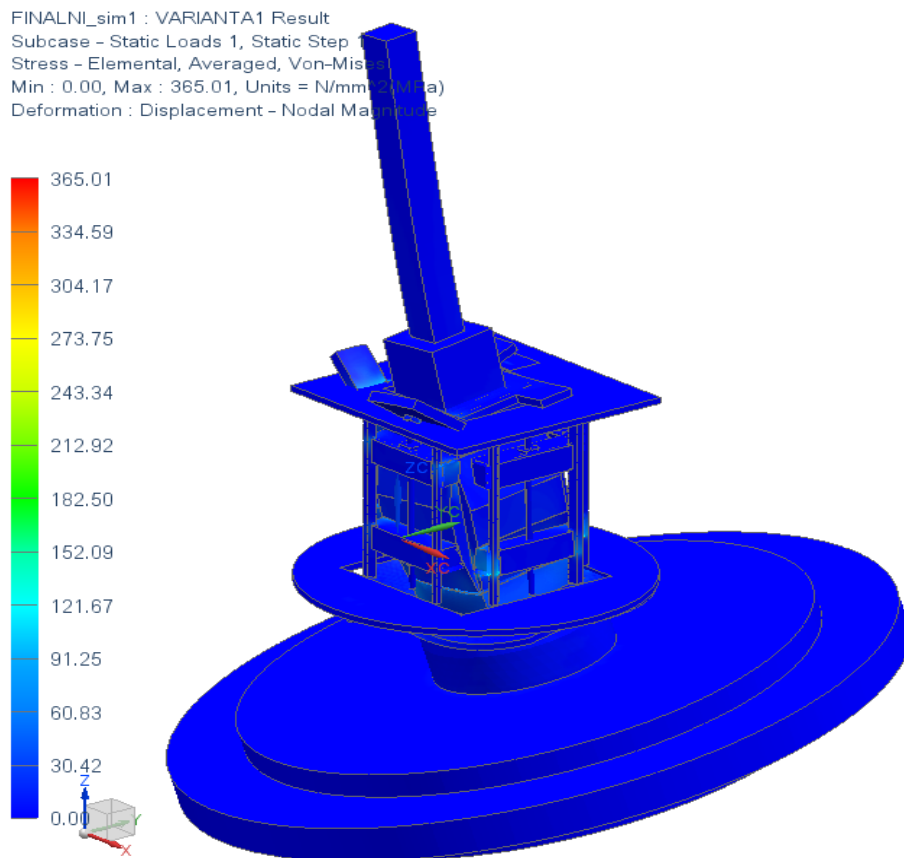
Obrázek-příloha 19 - Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno - VARIANTA Č. 1



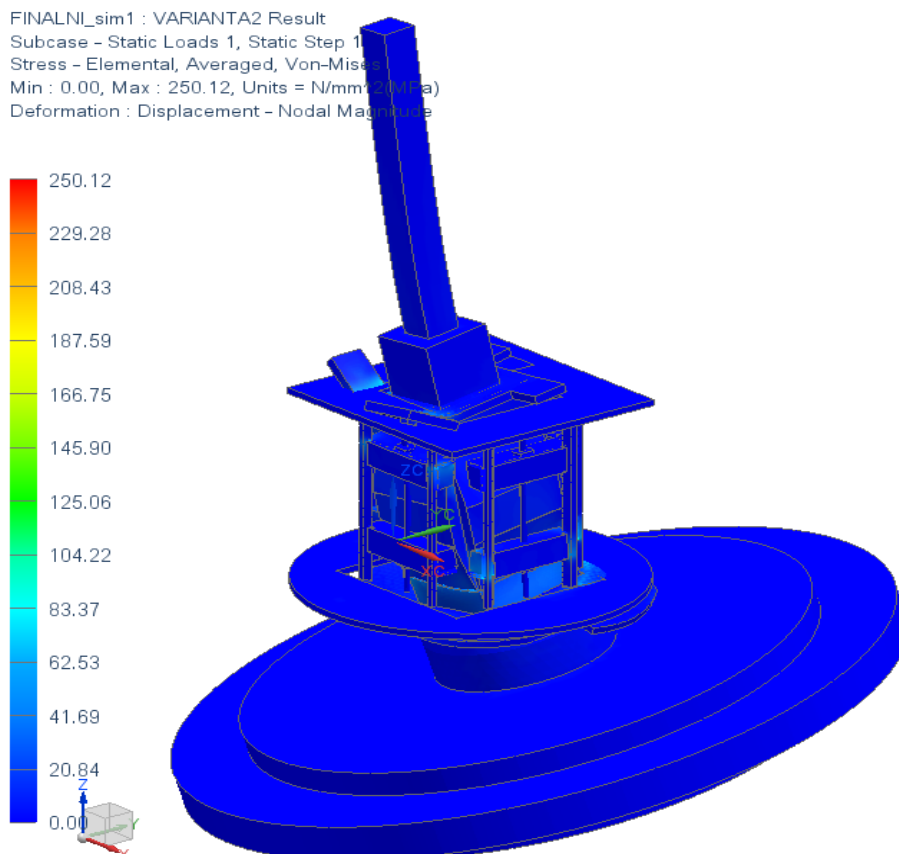
Obrázek-příloha 20 – Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno - VARIANTA Č. 2



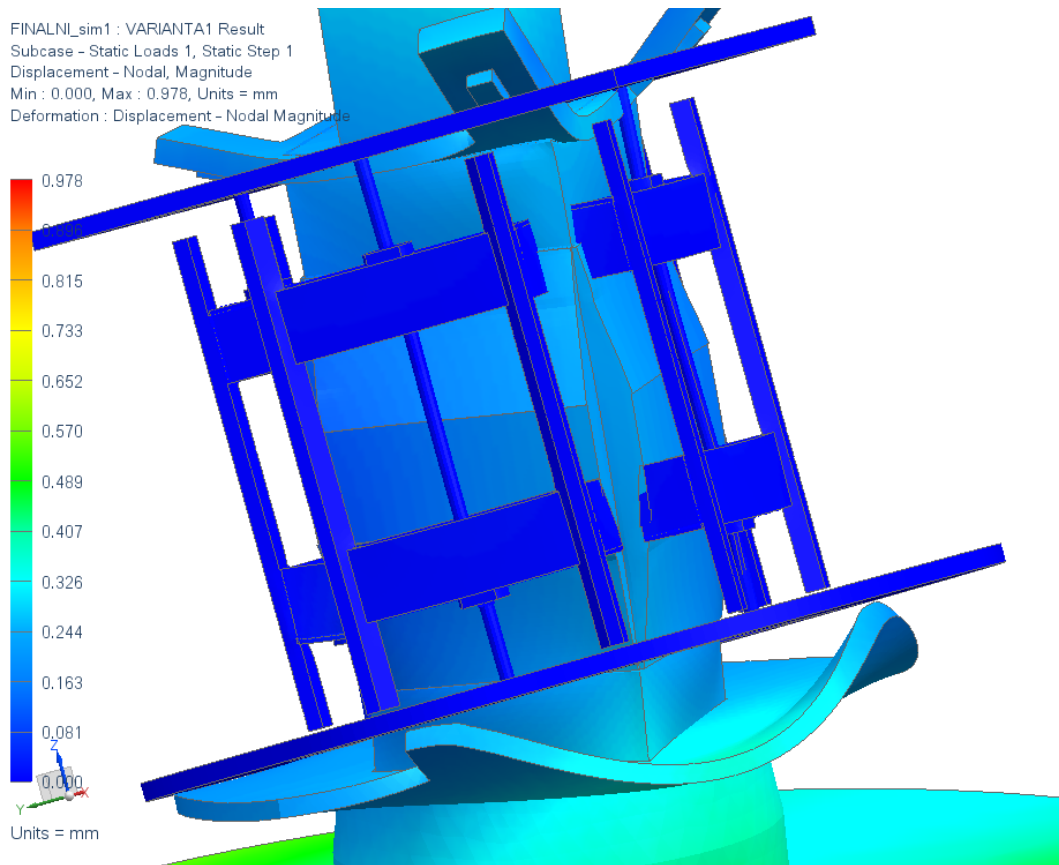
Obrázek-příloha 21 – Celkové Von-Mises napětí – deformace 10x zvětšeno-VARIANTA Č. 1



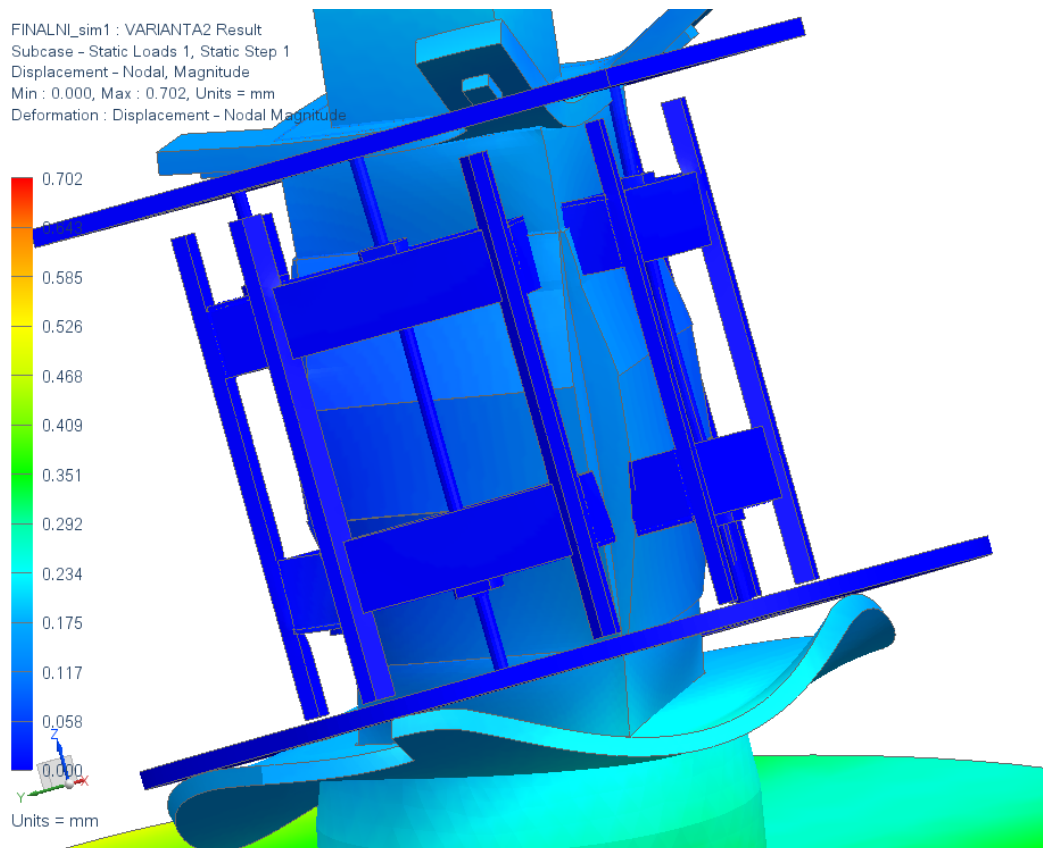
Obrázek-příloha 22 - Celkové Von-Mises napětí - deformace 10x zvětšeno-VARIANTA Č. 2



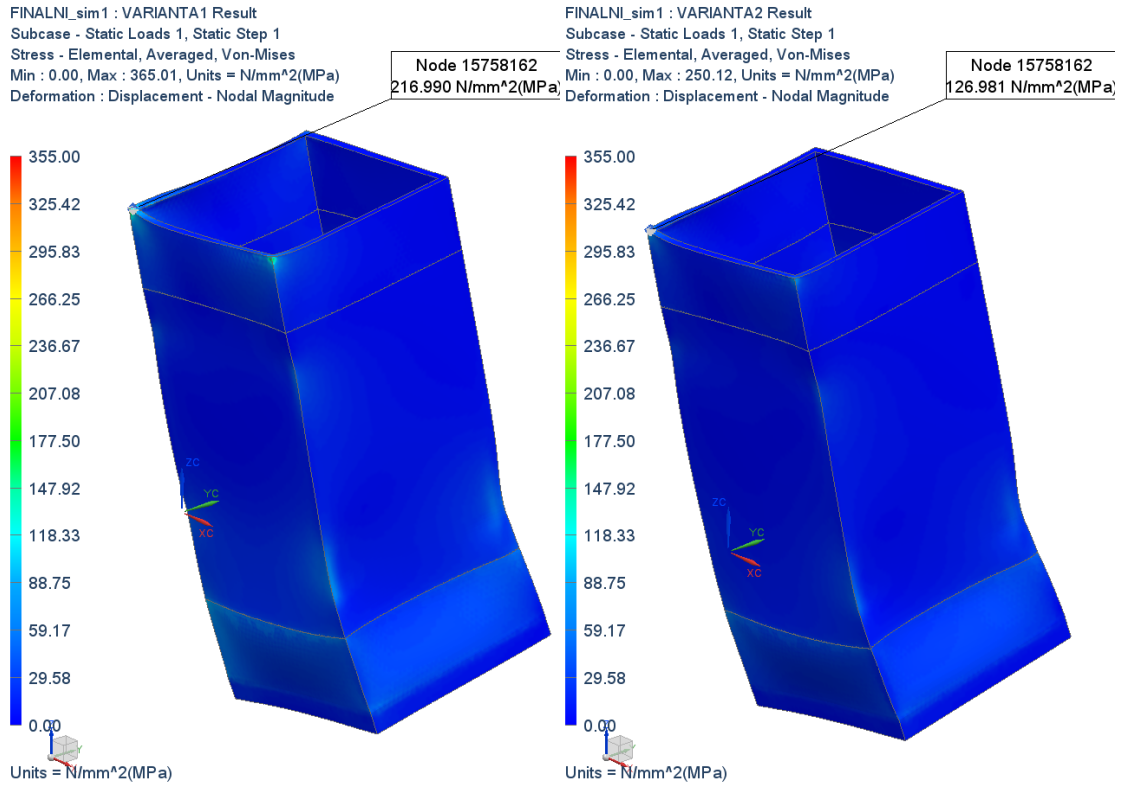
Obrázek-příloha 23 - Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno – VARIANTA Č. 1



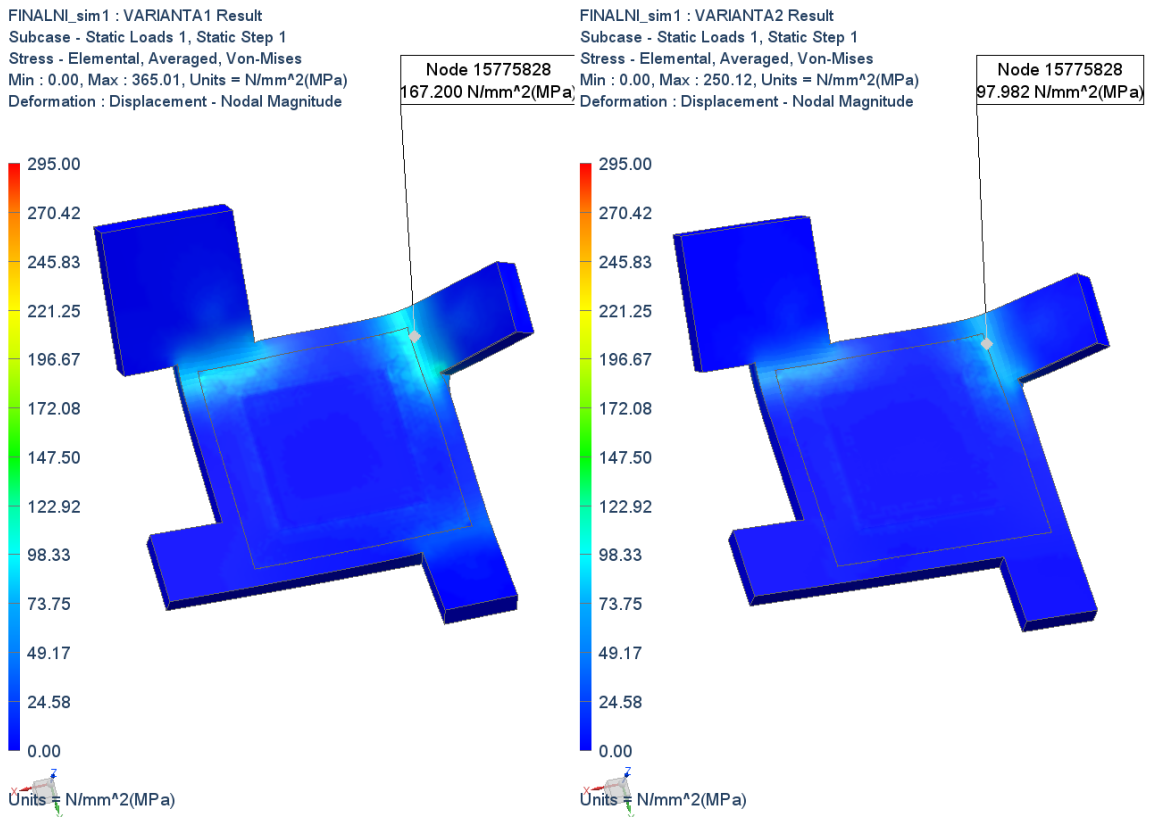
Obrázek-příloha 24 - Celkové posuvy, deformace 10x zvětšeno – VARIANTA Č. 2



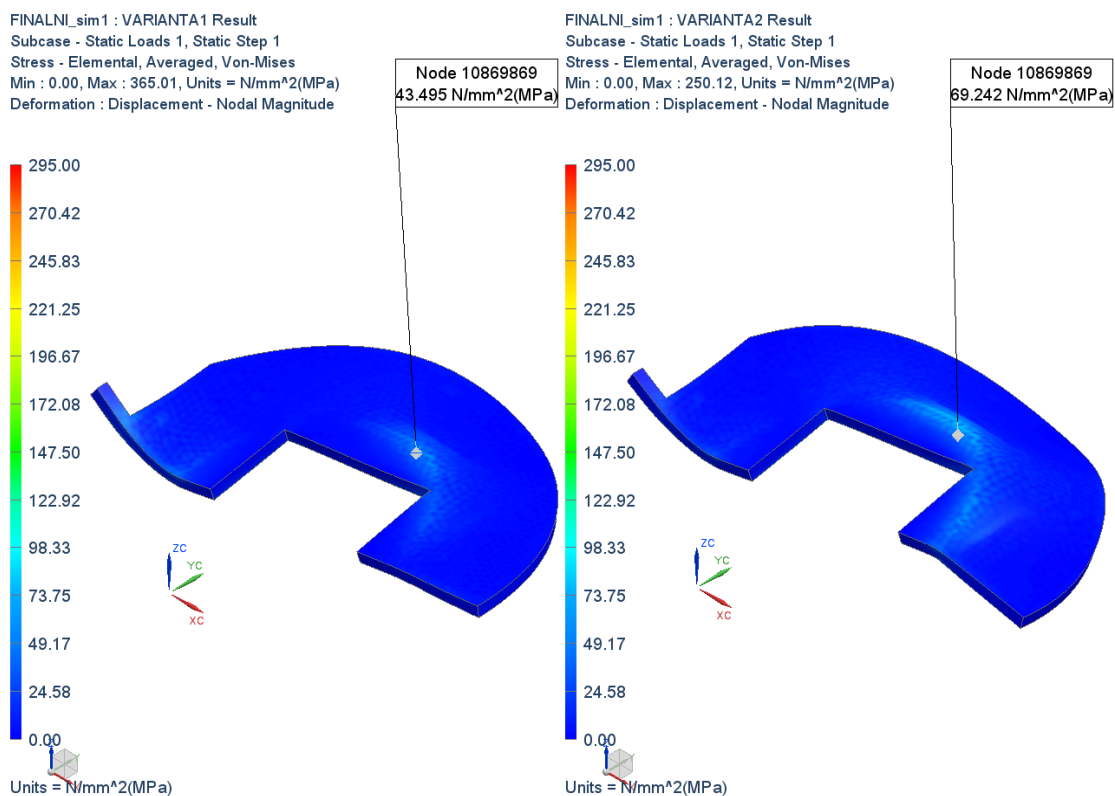
Obrázek-příloha 25 – Von-Mises napětí – Čtvercový profil – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



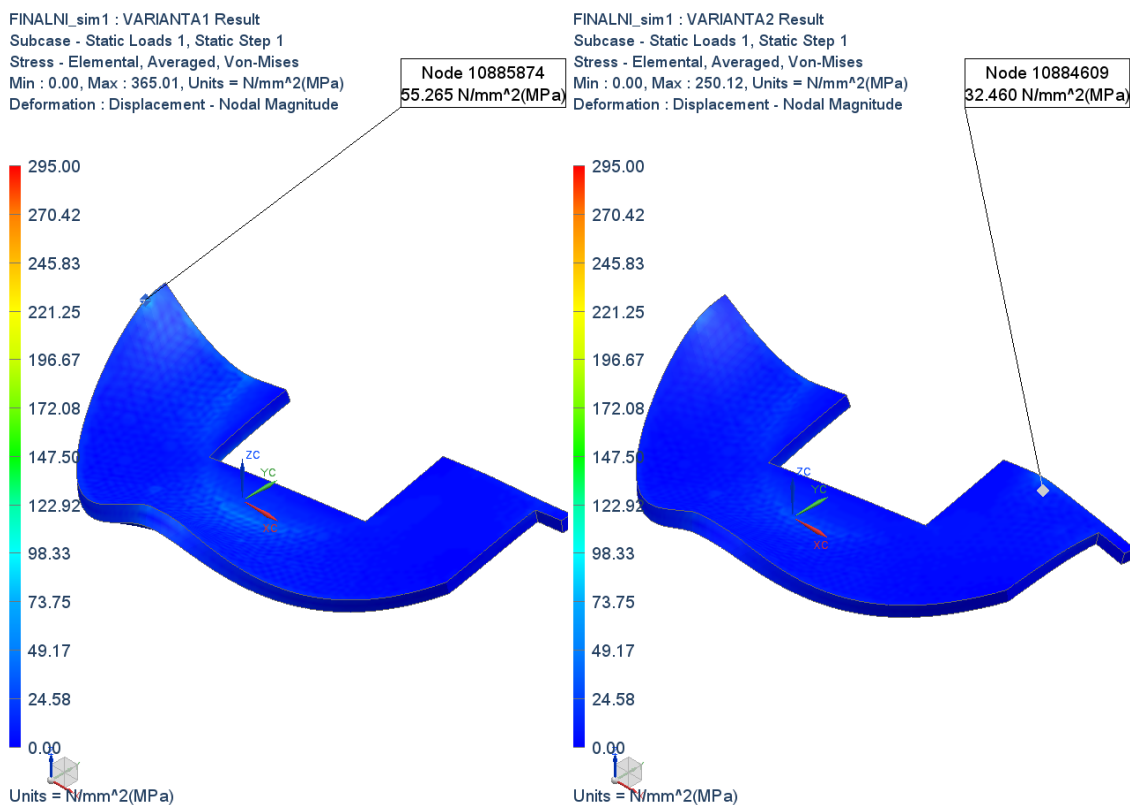
Obrázek-příloha 26 – Von-Mises napětí – Horní stůl – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



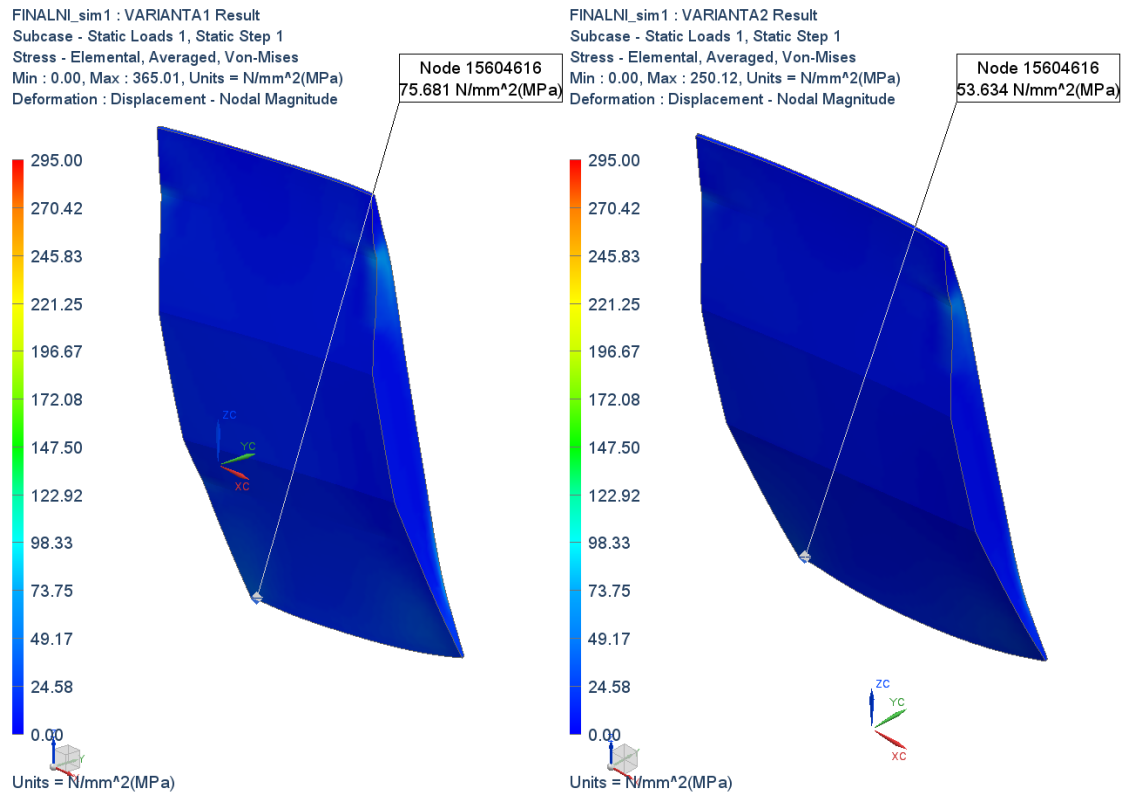
Obrázek-příloha 27 – Von-Mises napětí – Dělená deska 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



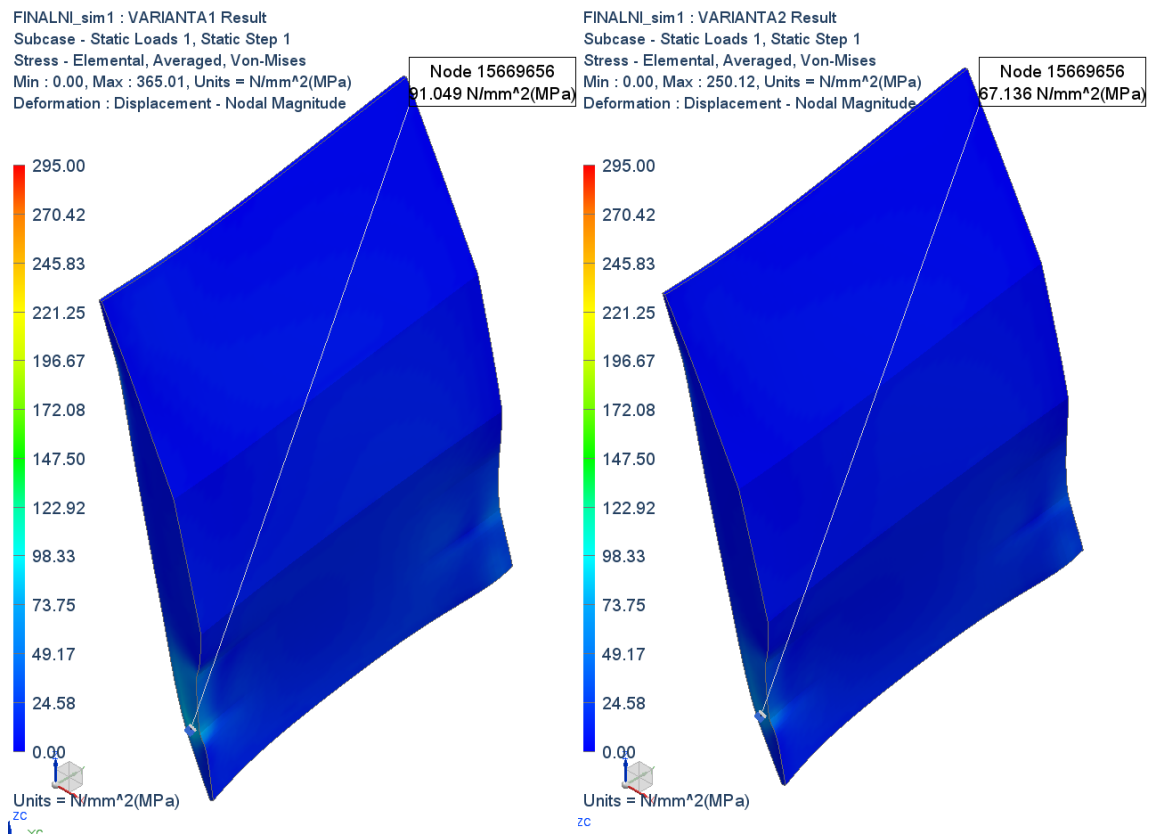
Obrázek-příloha 28 – Von-Mises napětí – Dělená deska 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



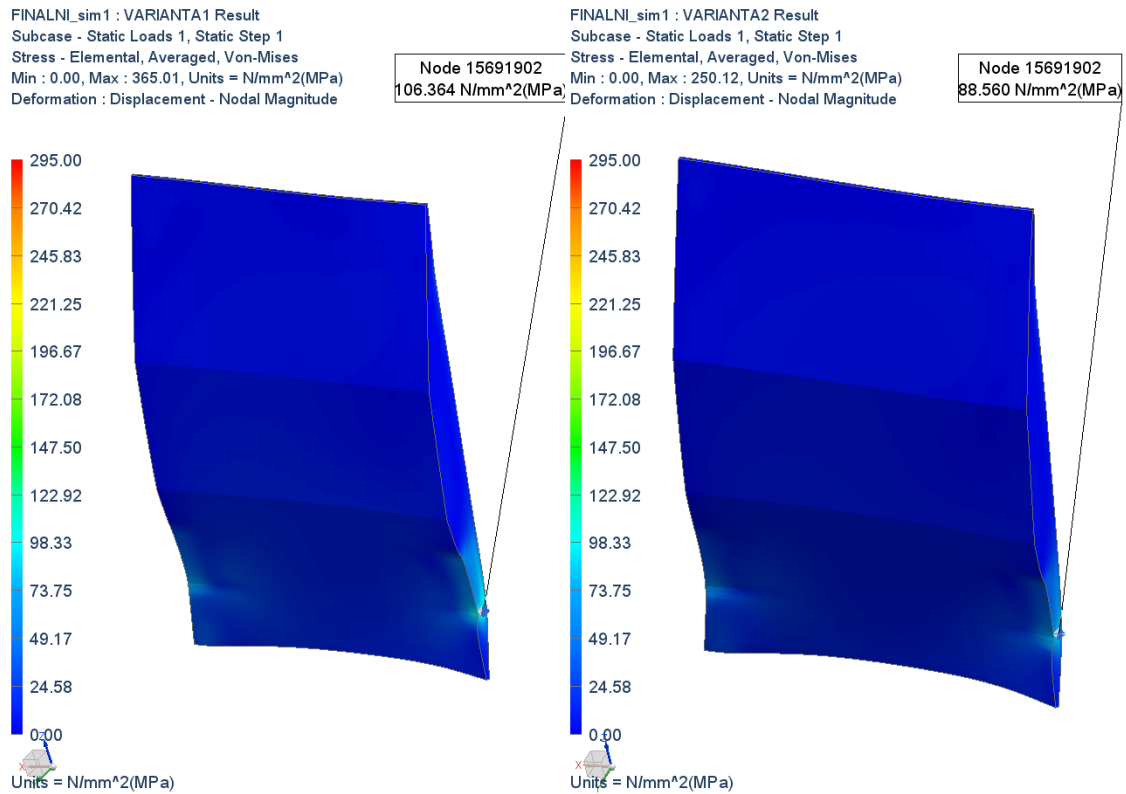
Obrázek-příloha 29 – Von-Mises napětí – Klín profilu 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



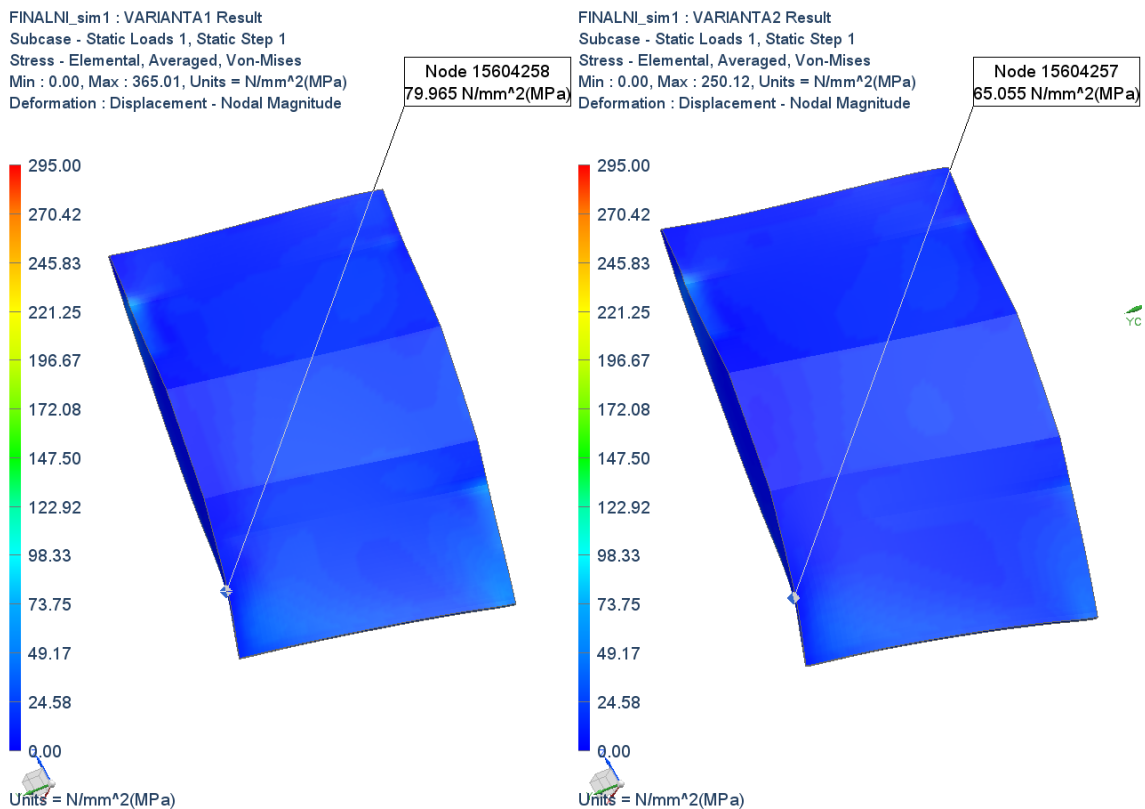
Obrázek-příloha 30 – Von-Mises napětí – Klín profilu 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



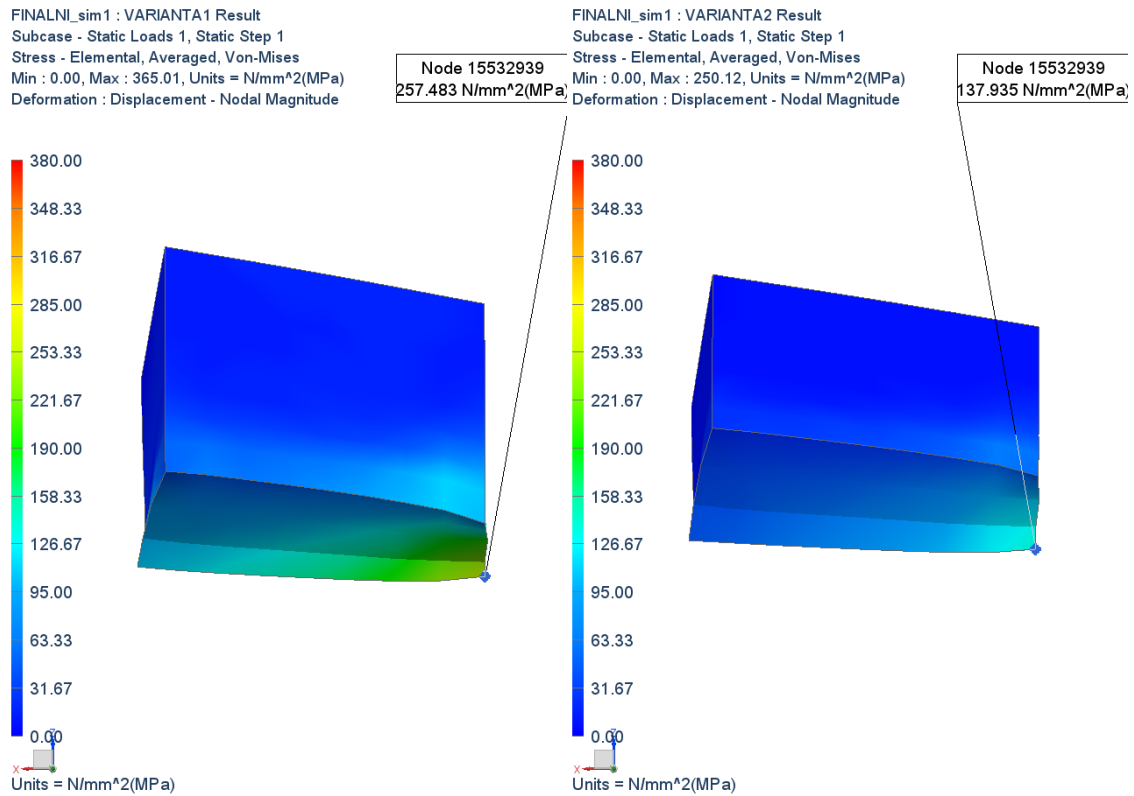
Obrázek-příloha 31 – Von-Mises napětí – Klín profilu 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



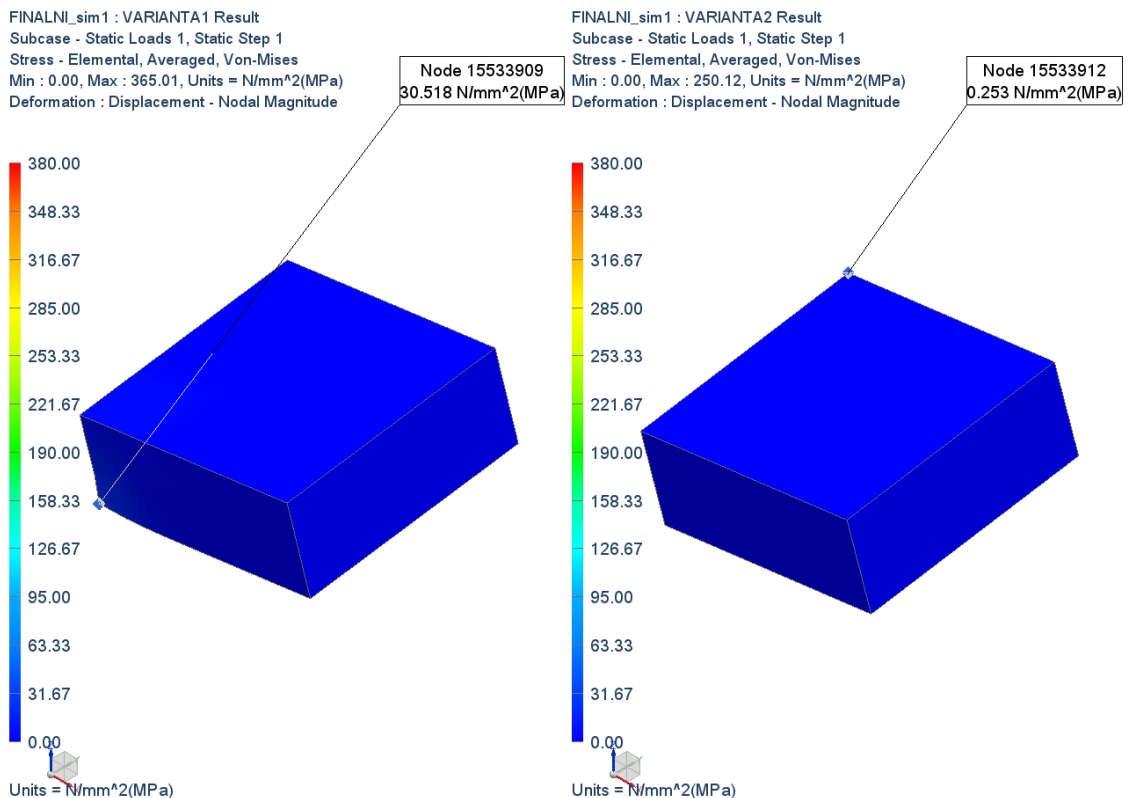
Obrázek-příloha 32 – Von-Mises napětí – Klín profilu 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



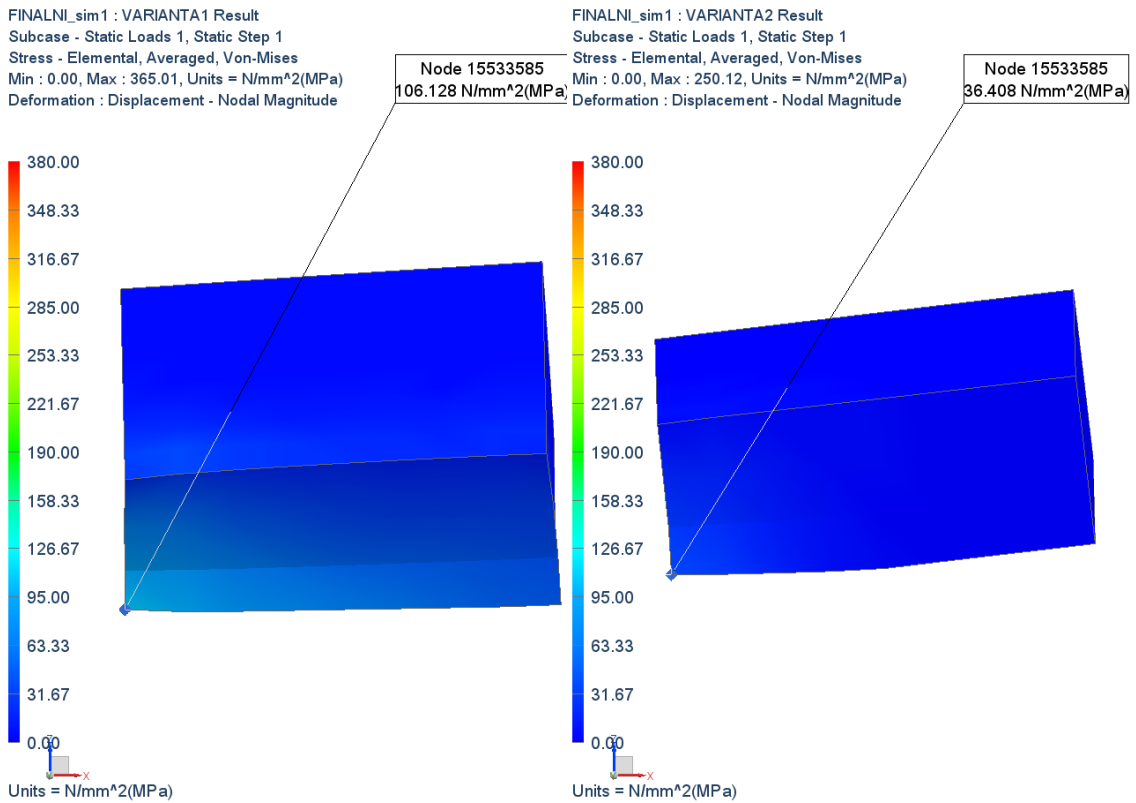
Obrázek-příloha 33 – Von-Mises napětí – Kámen 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



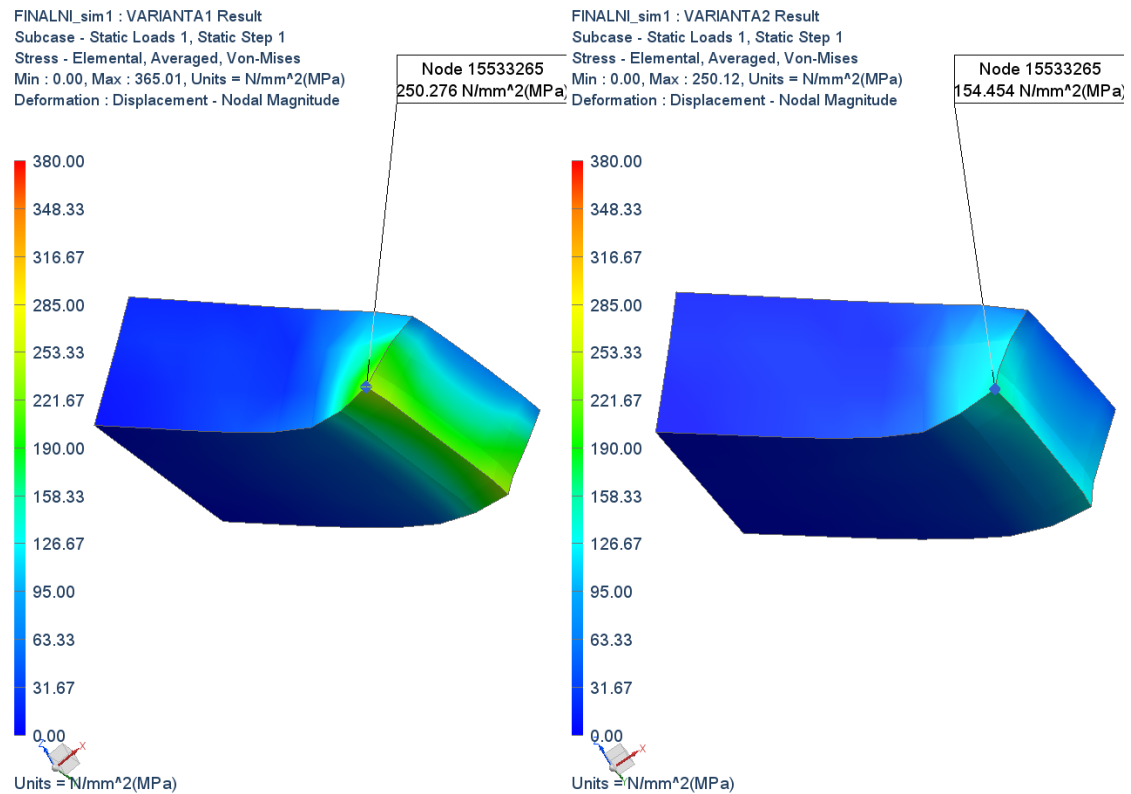
Obrázek-příloha 34 – Von-Mises napětí – Kámen 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



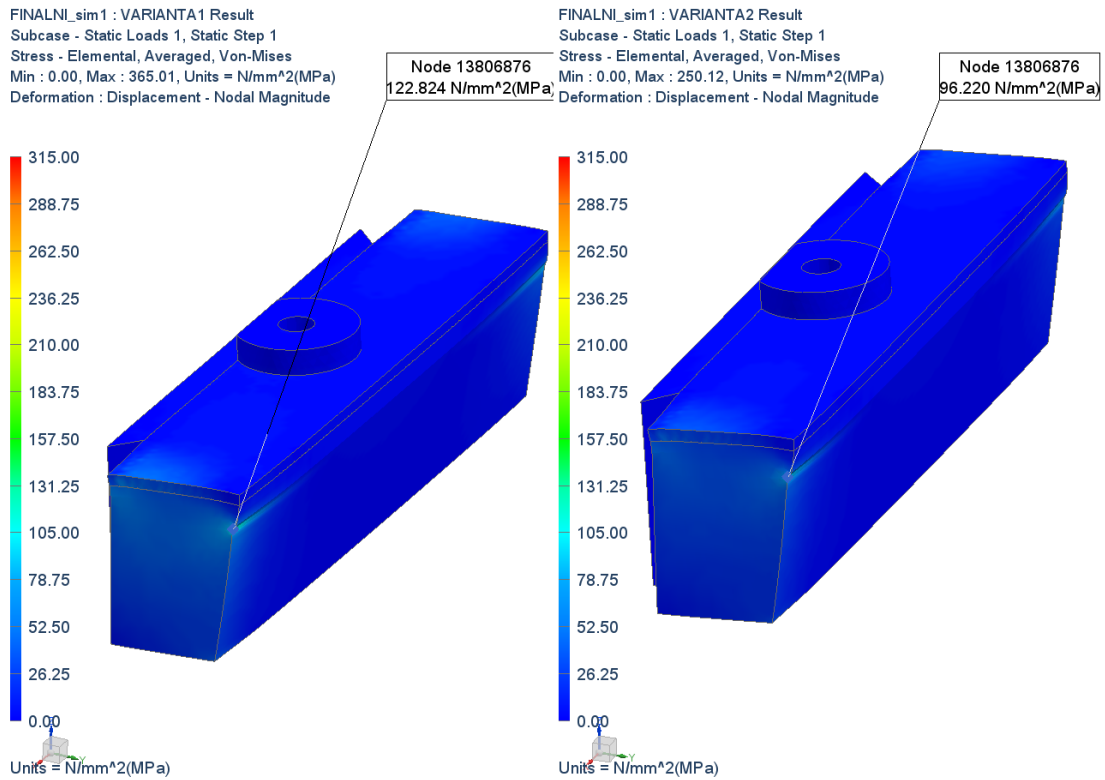
Obrázek-příloha 35 – Von-Mises napětí – Kámen 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



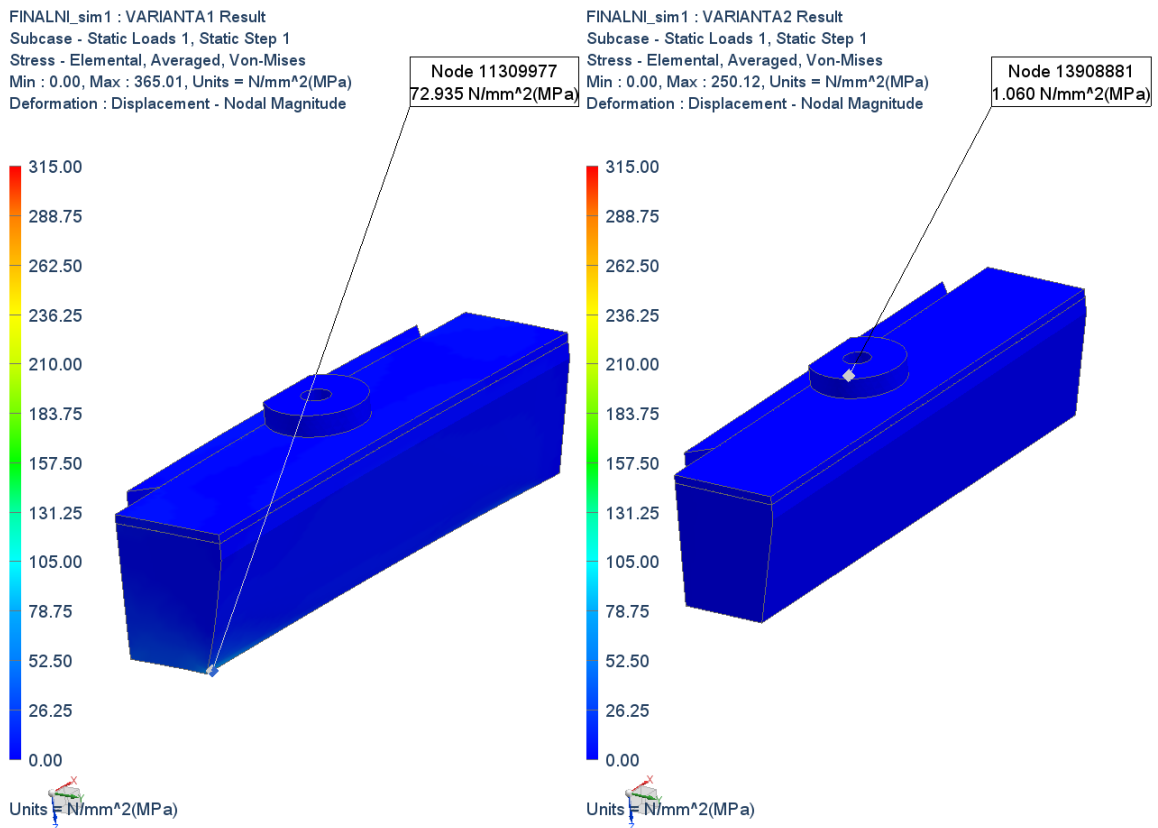
Obrázek-příloha 36 – Von-Mises napětí - Kámen 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



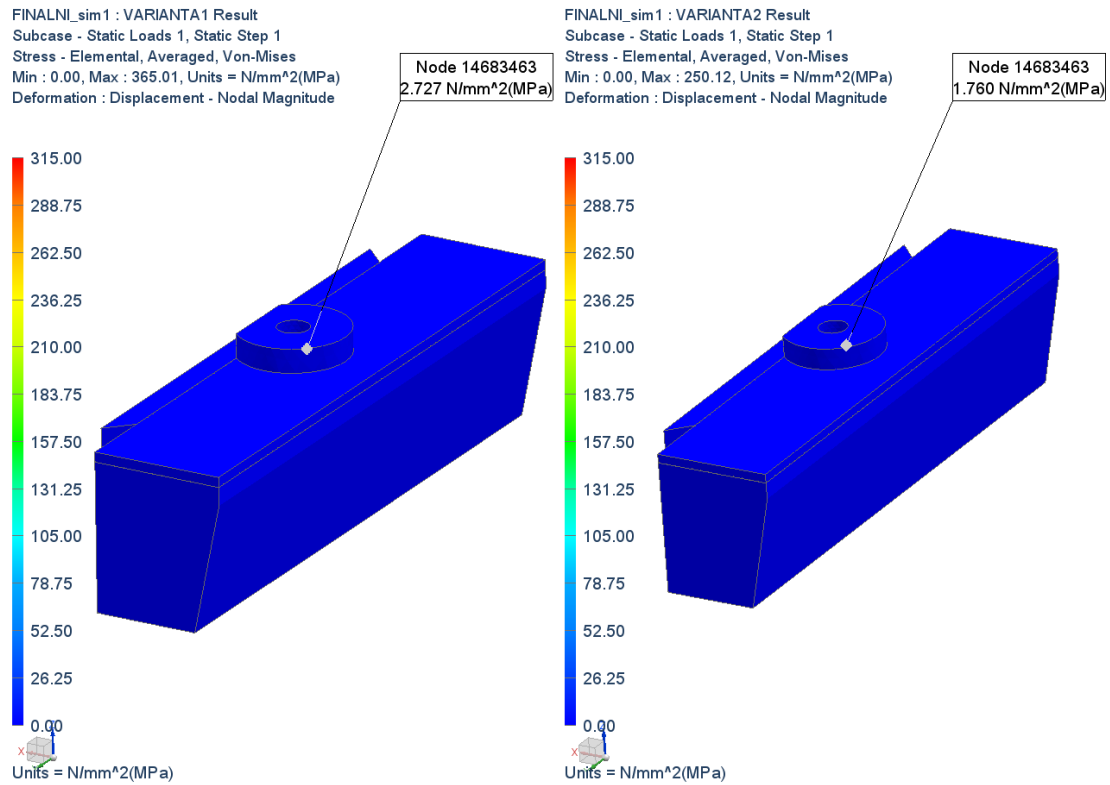
Obrázek-příloha 37 – Von-Mises napětí – Klín horní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



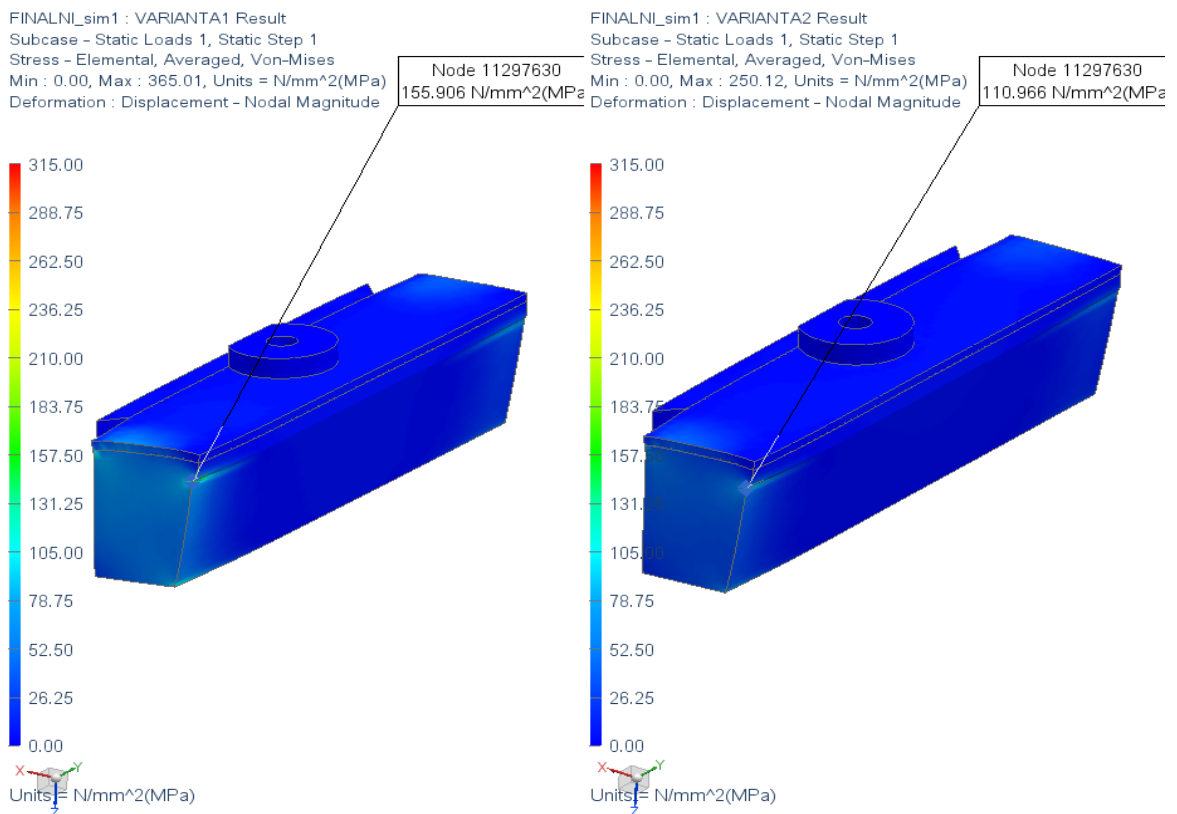
Obrázek-příloha 38 - Von-Mises napětí – Klín dolní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



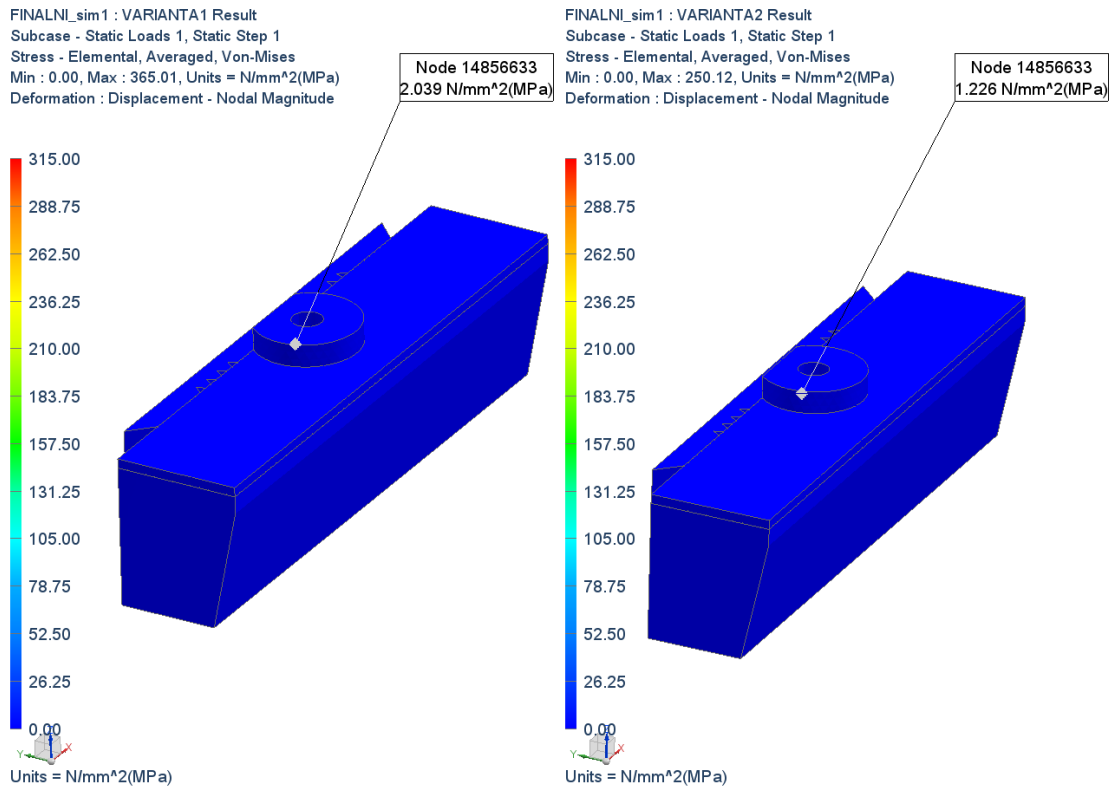
Obrázek-příloha 39 – Von-Mises napětí – Klín horní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



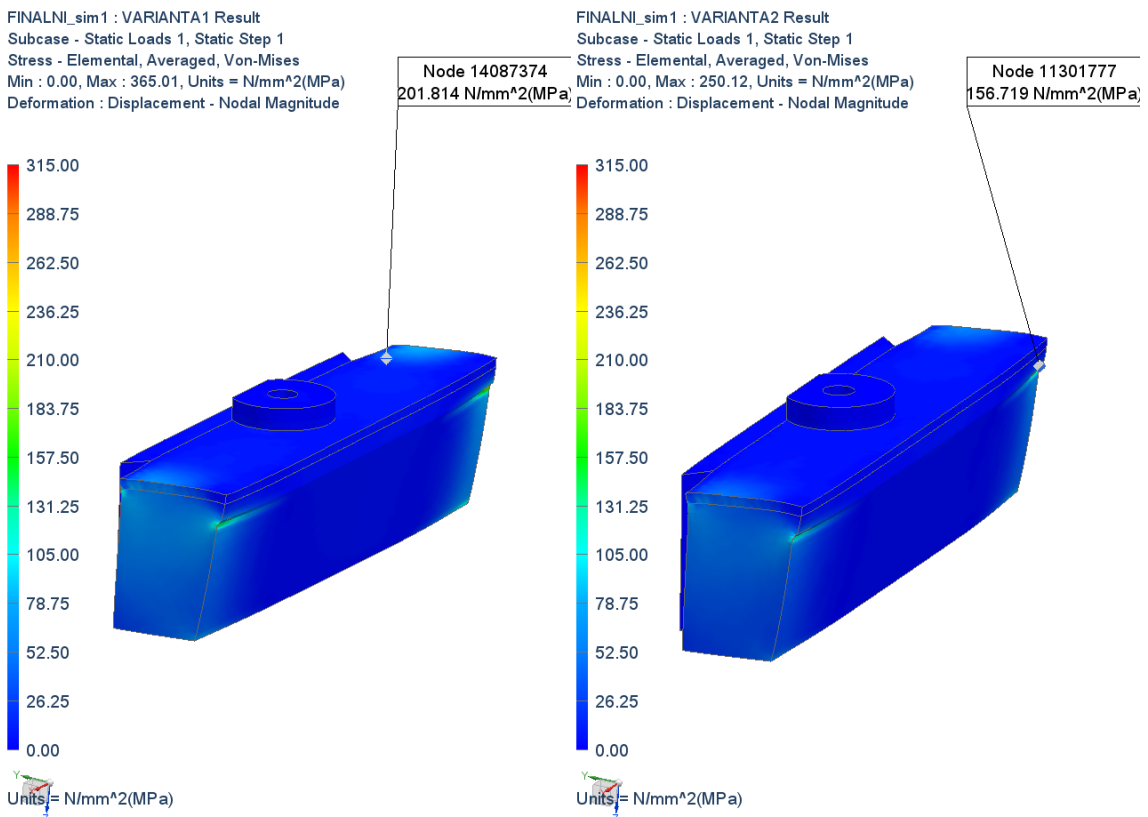
Obrázek-příloha 40 – Von-Mises napětí – Klín dolní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



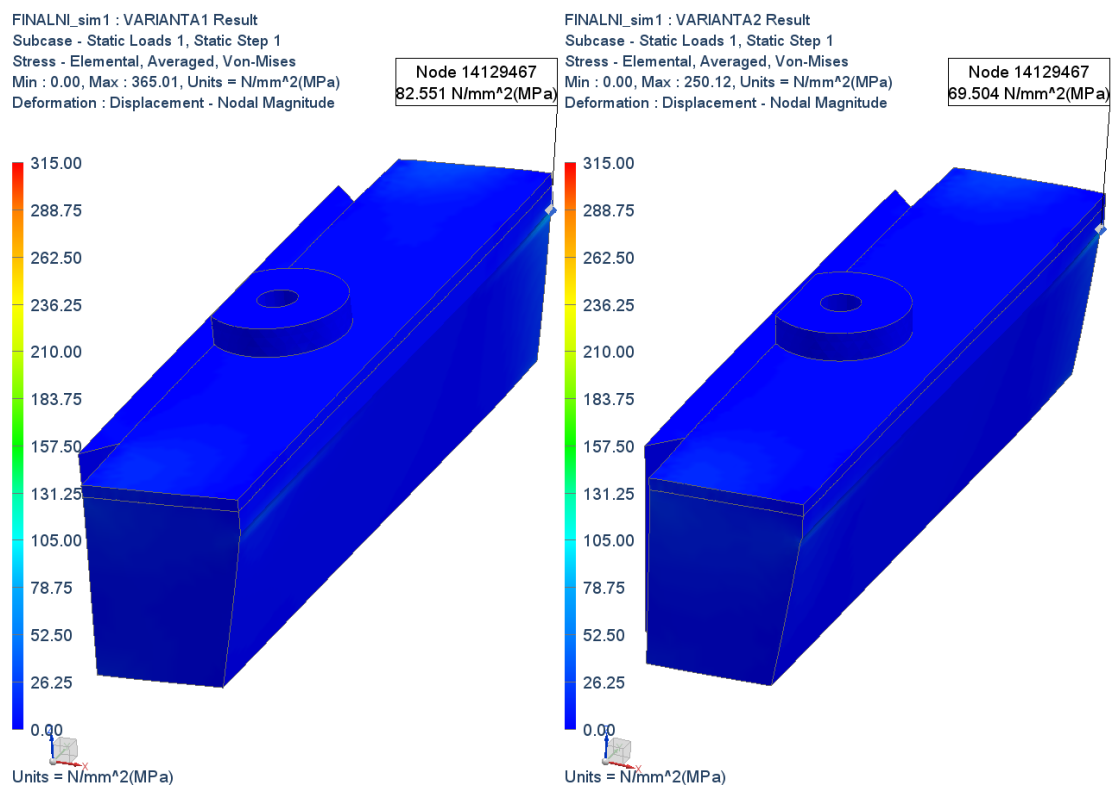
Obrázek-příloha 41 – Von-Mises napětí – Klín horní 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



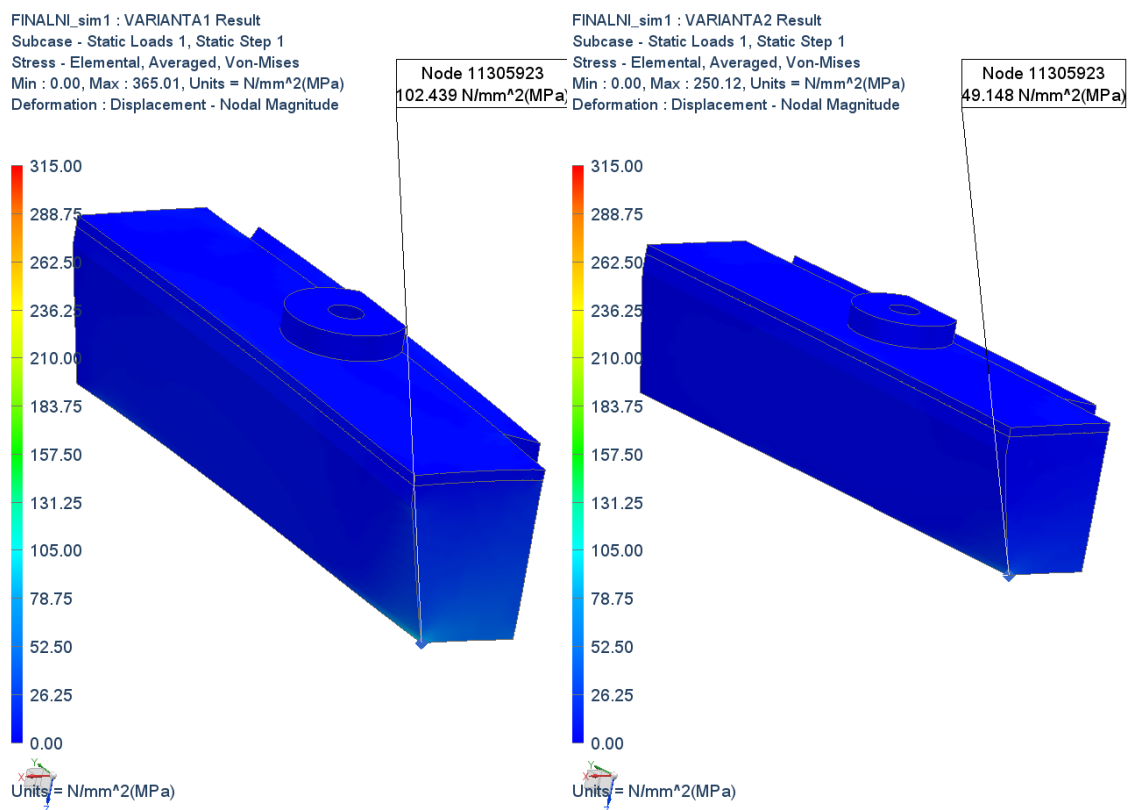
Obrázek-příloha 42 – Von-Mises napětí – Klín dolní 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



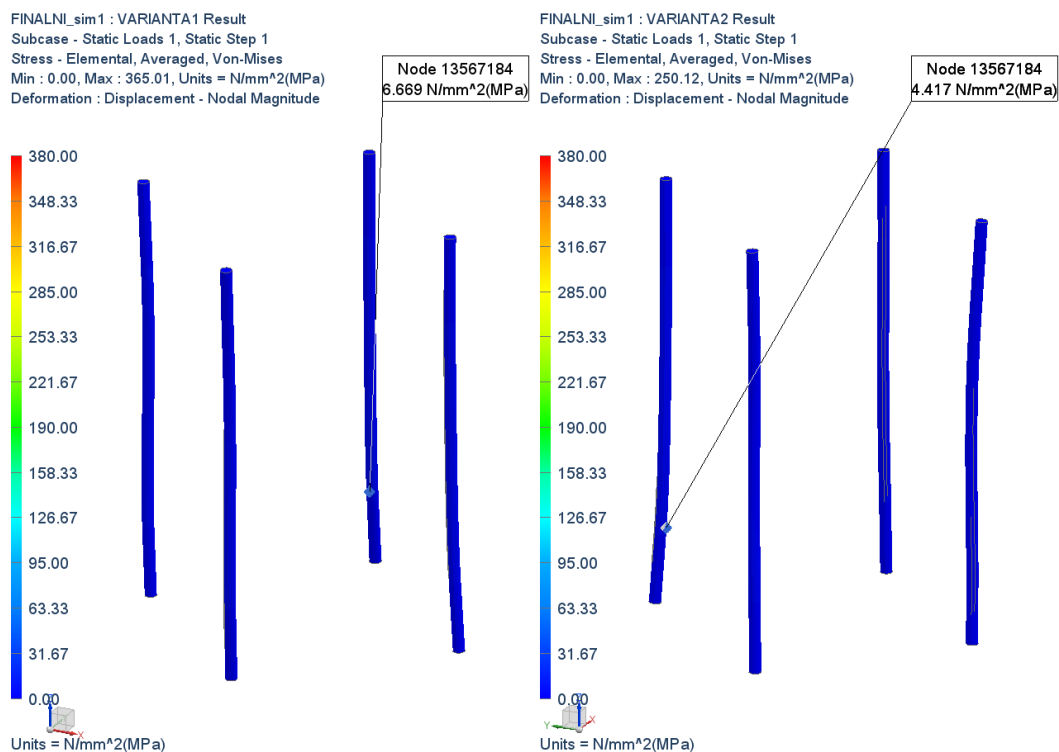
Obrázek-příloha 43 - Von-Mises napětí – Klín horní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



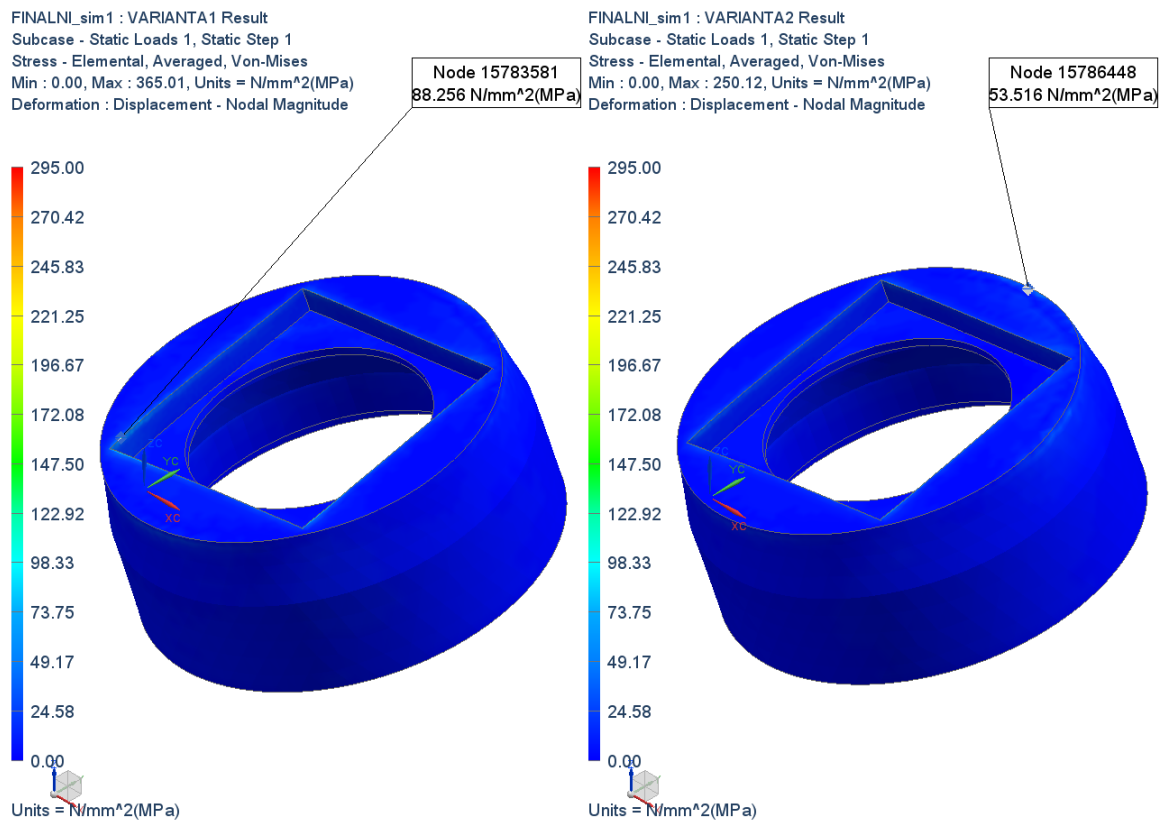
Obrázek-příloha 44 - Von-Mises napětí – Klín dolní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



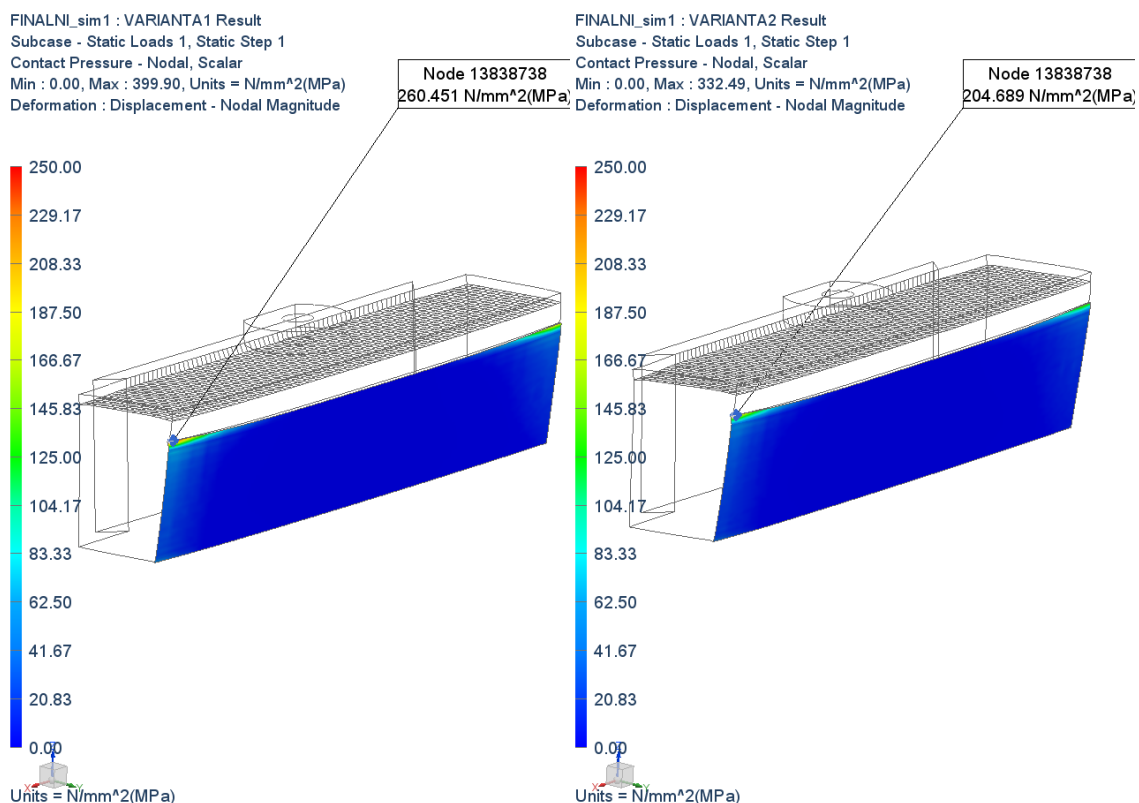
Obrázek-příloha 45 - Von-Mises napětí – Pohybový šrouby – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



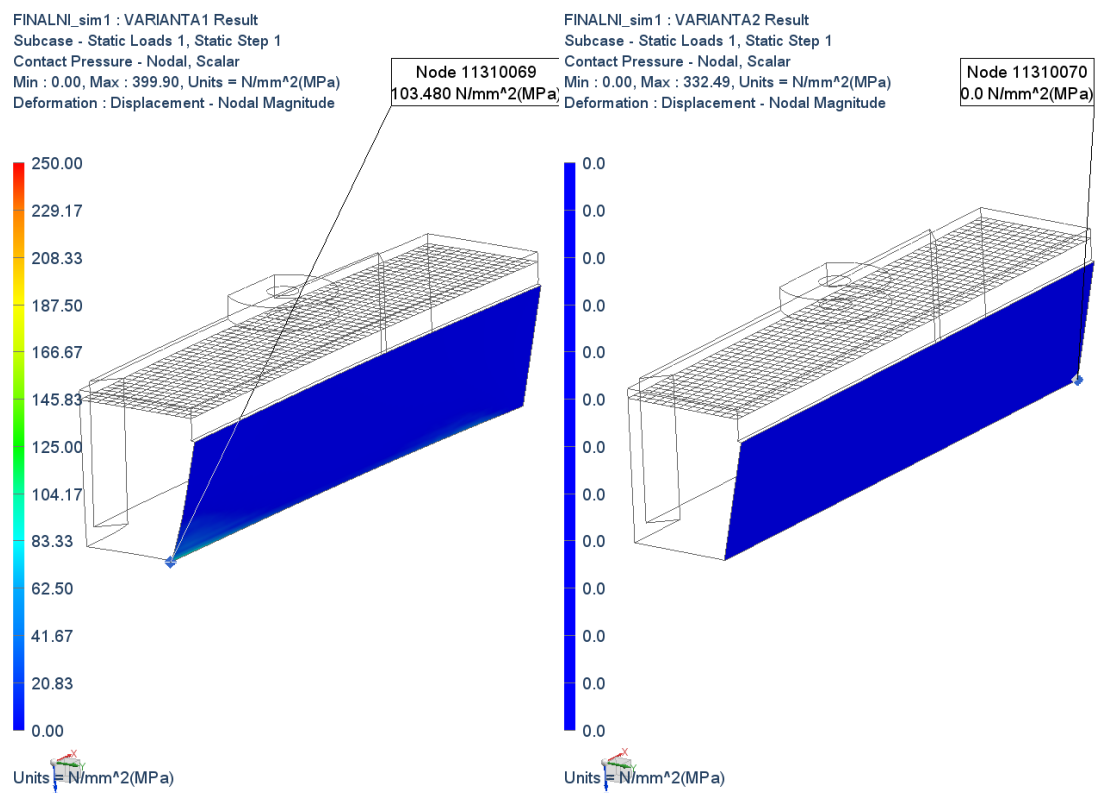
Obrázek-příloha 46 - Von-Mises napětí – Hrnc zvedáku – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



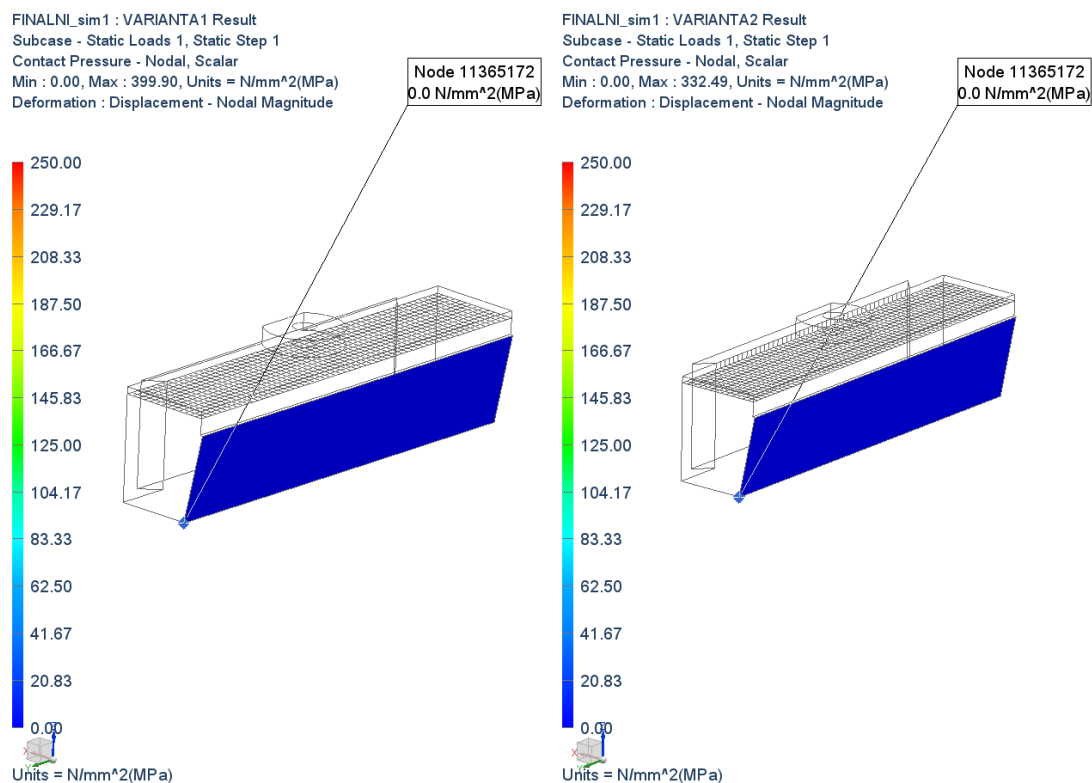
Obrázek-příloha 47 – Kontaktní tlak - Klín horní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



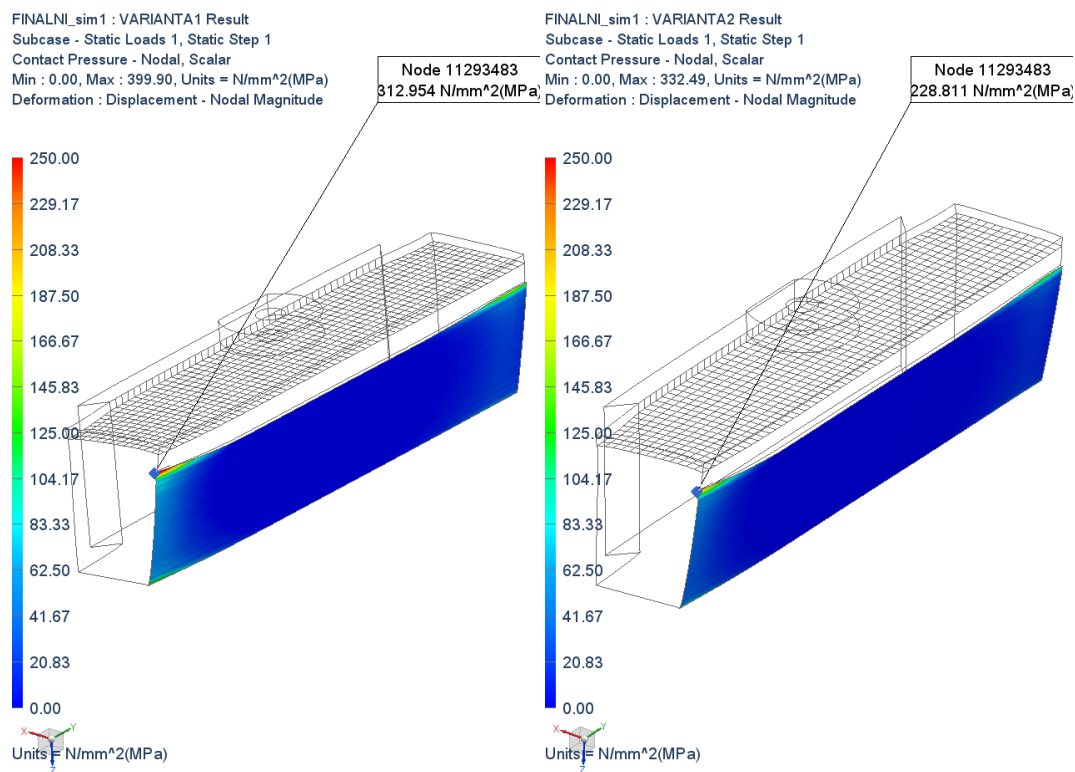
Obrázek-příloha 48 – Kontaktní tlak - Klín dolní 1 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



Obrázek-příloha 49 – Kontaktní tlak - Klín horní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



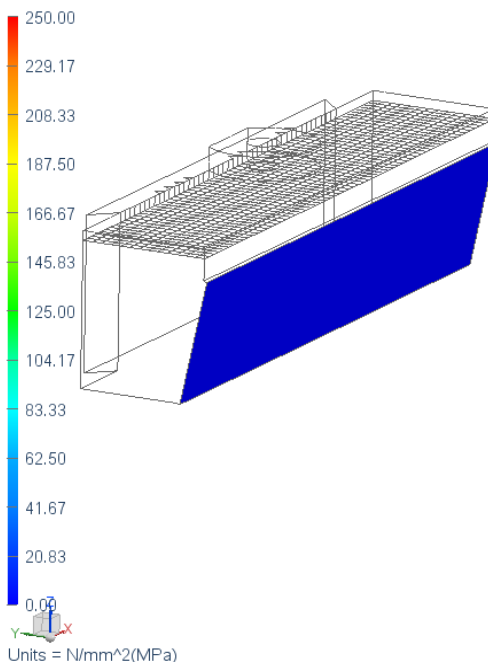
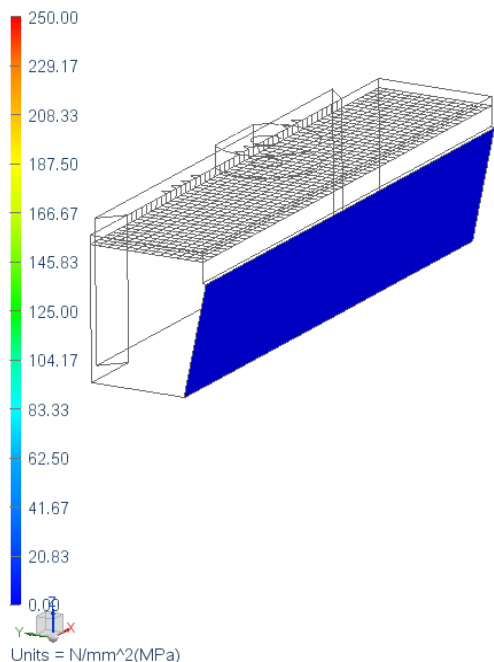
Obrázek-příloha 50 – Kontaktní tlak - Klín dolní 2 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



Obrázek-příloha 51 – Kontaktní tlak - Klín horní 3 – vlevo – VARIANTA 2; vpravo – VARIANTA 1 - deformace 10x zvětšeno

FINALNL_sim1 : VARIANTA2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Contact Pressure - Nodal, Scalar
 Min : 0.00, Max : 332.49, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

FINALNL_sim1 : VARIANTA1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Contact Pressure - Nodal, Scalar
 Min : 0.00, Max : 399.90, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



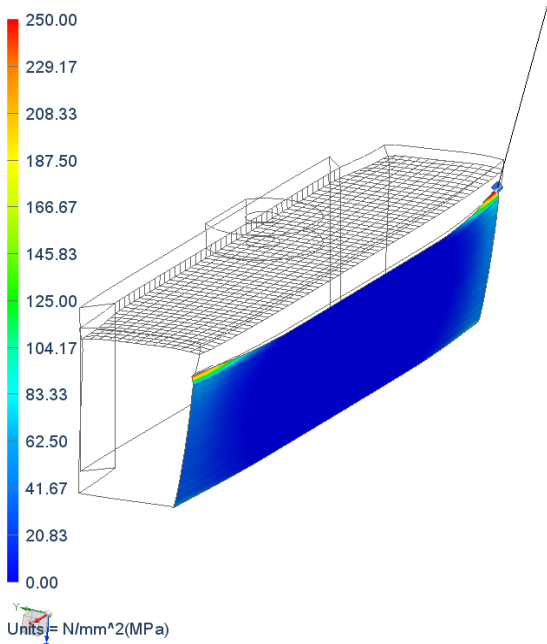
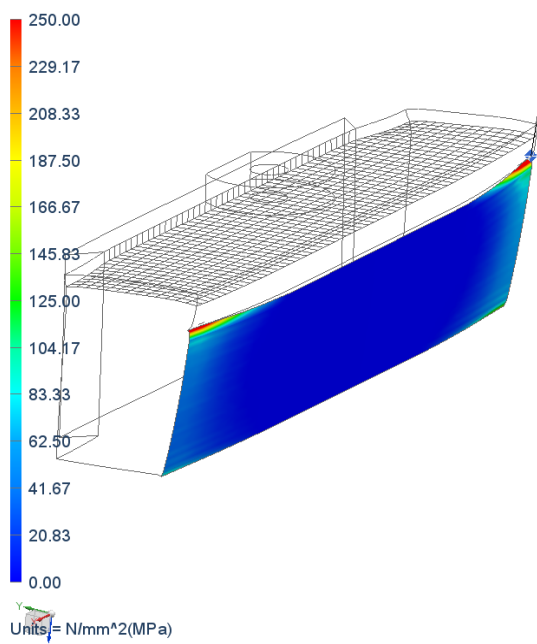
Obrázek-příloha 52 – Kontaktní tlak - Klín dolní 3 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno

FINALNL_sim1 : VARIANTA1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Contact Pressure - Nodal, Scalar
 Min : 0.00, Max : 399.90, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

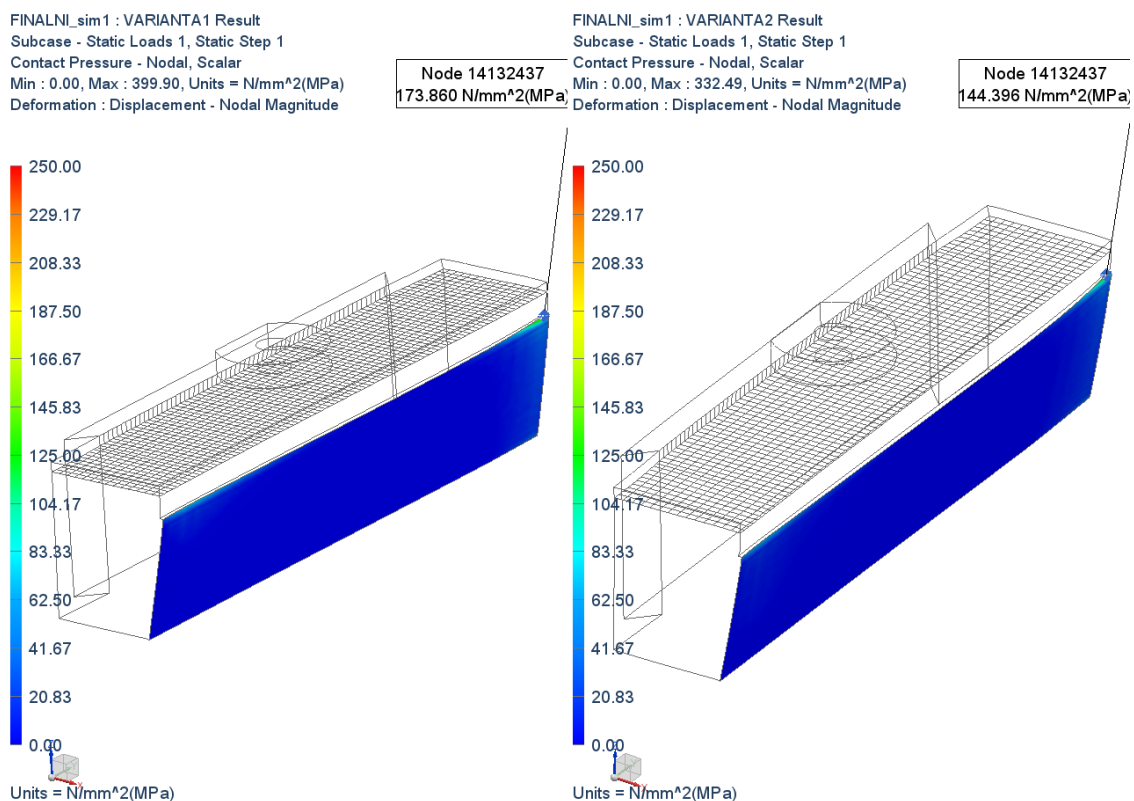
Node 11297691
 399.895 N/mm²(MPa)

FINALNL_sim1 : VARIANTA2 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Contact Pressure - Nodal, Scalar
 Min : 0.00, Max : 332.49, Units = N/mm²(MPa)
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

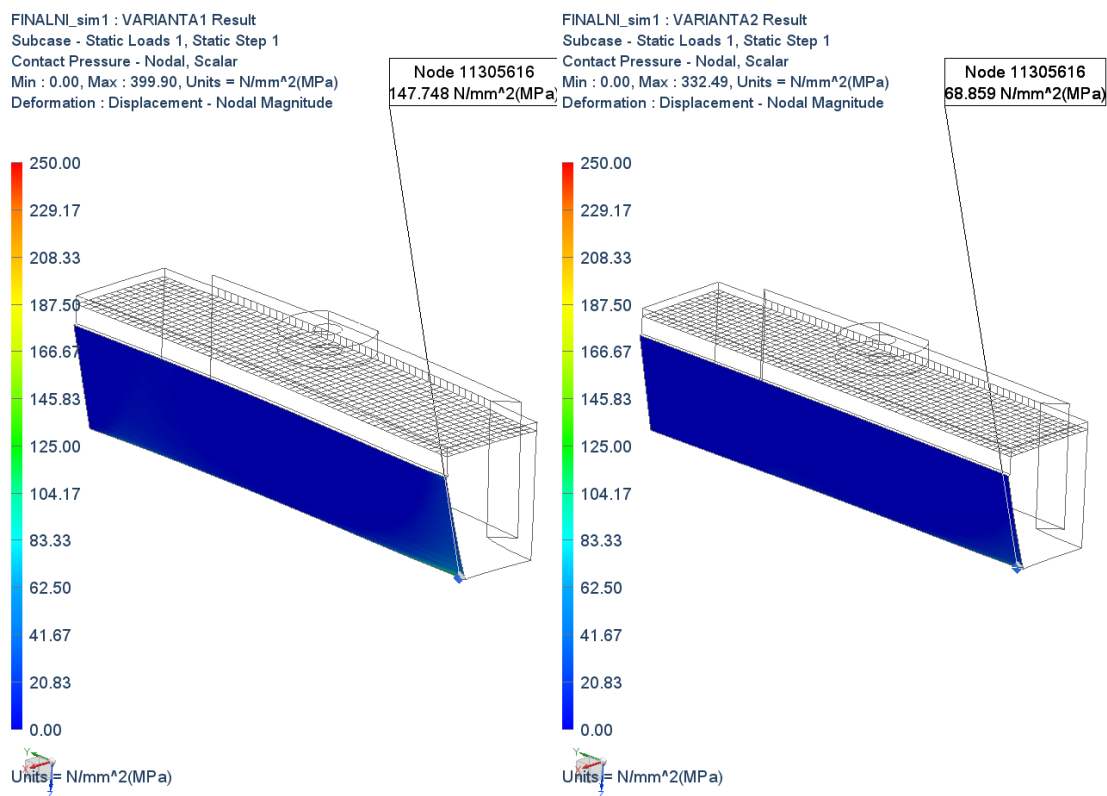
Node 11297691
 332.485 N/mm²(MPa)



Obrázek-příloha 53 – Kontaktní tlak - Klín horní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



Obrázek-příloha 54 – Kontaktní tlak - Klín dolní 4 – vlevo – VARIANTA 1; vpravo – VARIANTA 2 - deformace 10x zvětšeno



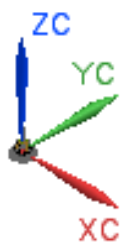
PŘÍLOHA č. 6

Modální analýza

Modální analýza

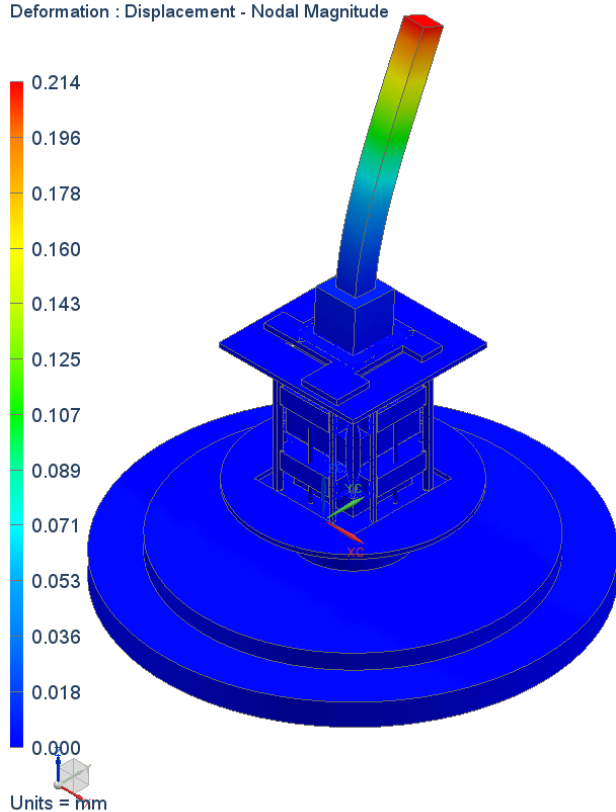
Na výpočtovém modelu se provedla modální analýza, díky které se získala vlastní frekvence systému. Výpočtový model se upravil z předchozího pevnostního výpočtového modelu tím způsobem, že všechny kontakty se nahradily pevnými vazbami. Nastavil se řešič v NX, kdy horní limit frekvence se nastavil na hodnotu 100 Hz. Z výpočtů se vzaly prvních 4 módy a vyhodnotily se jednotlivé posuvy ve směrech x, y a z. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce níže společně s hodnotami vlastních frekvencí. Dále jsou zde vyexportované obrázky ze softwaru NX 8.5 pro první čtyři módy.

Výsledky modální analýzy

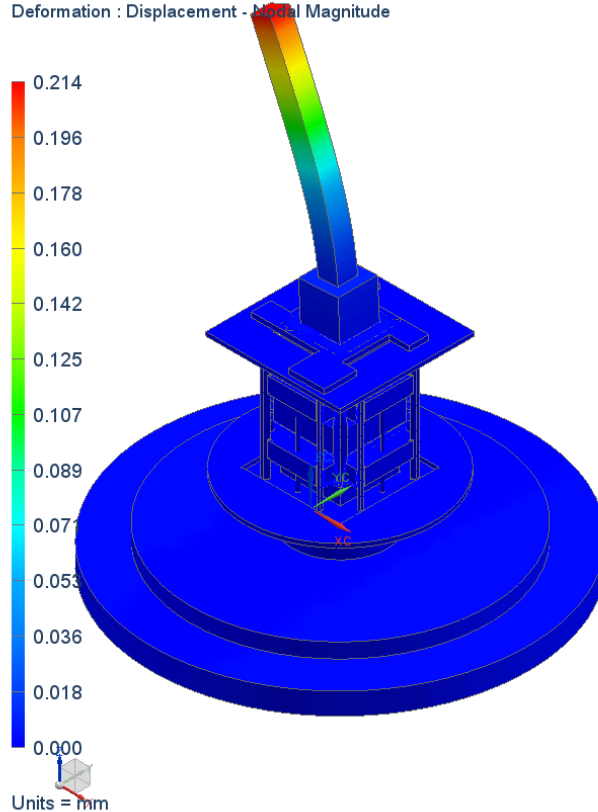
Mód	Vlastní frekvence	Max. posuv x	Max. posuv y	Max. posuv z	
1	70,42 Hz	0,0011	0,2130	0,0133	
2	70,46 Hz	-0,2130	0,0010	0,0134	
3	75,02 Hz	0,0199	0,0006	0,0245	
4	75,52 Hz	0,0006	0,0117	0,0246	

Obrázek-příloha 55 – Modální analýza - Absolutní posuvy – vlevo – 1 mód, vpravo – 2 mód - deformace 10x zvětšeno

FINALNI_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Eigenvalue Method 1, Mode 1, 7.042e+001 Hz
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.214, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

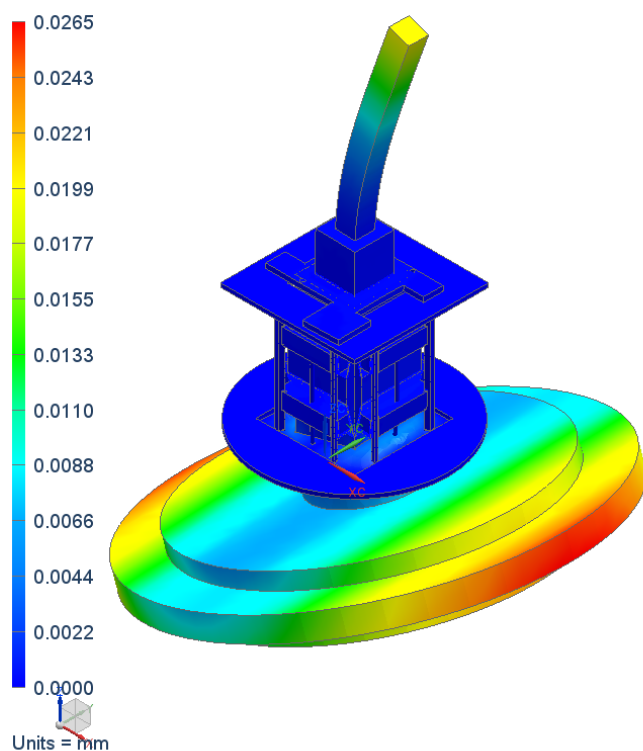


FINALNI_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Eigenvalue Method 1, Mode 2, 7.046e+001 Hz
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 0.214, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

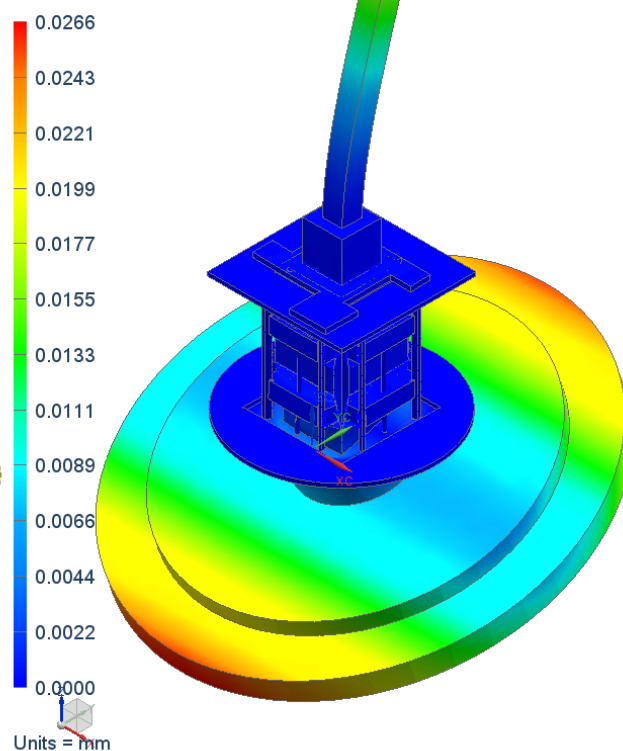


Obrázek-příloha 56 – Modální analýza - Absolutní posuvy – vlevo – 3 mód, vpravo – 4 mód - deformace 10x zvětšeno

FINALNI_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Eigenvalue Method 1, Mode 3, 7.502e+001 Hz
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.0000, Max : 0.0265, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



FINALNI_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Eigenvalue Method 1, Mode 4, 7.552e+001 Hz
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.0000, Max : 0.0266, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Závěr

Modální analýza může posloužit při detailnějším pevnostním výpočtu zařízení. Výsledky modální analýzy jsou potřebné při dynamickém výpočtu konstrukce.

