

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Návrh dvouosé polohovací konstrukce pro upevnění solárních
panelů**
**Design of Biaxial Positional Construction for Mounting of Solar
Modules**

Student:

Roman Fousek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Kubín

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Roman Fousek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Příčná 307, Kopřivnice, 74221

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FOUSEK, R. *Návrh dvouosé polohovací konstrukce pro upevnění solárních panelů : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 50 s. Vedoucí práce: KUBÍN, T.

Ve své bakalářské práci navrhuji konstrukci k upevnění solárních panelů. Na úvod se zmiňuji o současném stavu solárních panelů a konstrukcí. Dále řeším stavy, při kterých dochází k největšímu namáhání konstrukce. Ve druhé fázi provádím rozbor mnou navržené konstrukce a popisuji jednotlivé části. Některé popisy jsou doprovázeny pevnostními výpočty nebo analýzami MKP. V bakalářské práci provádím i výběr vhodných pohonných zařízení s následujícím zdůvodněním výběru. Na závěr hodnotím navrženou konstrukci.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FOUSEK, R. *Design of Biaxial Positioning Construction for Mounting of Solar Modules : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2009, 50 p. Thesis head: KUBÍN, T.

I'm designing a construction for mounting of solar modules in my bachelor thesis. At the beginning I'm making references about the current state of solar modules and constructions. Next I'm solving states where constructions are most strained. In the second phase I'm making analysis of my construction and I'm describing particular components . Some of these describes are supplied by strength calculations or by FEM analyses. I'm also making selections of suitable driving systems followed by reasoning of these selections in my bachelor thesis. At the conclusion I'm reviewing designed construction.

Obsah

Seznam použitých veličin	8
Úvod.....	10
1 Současný stav fotovoltaických systémů	11
1.1 Fotovoltaické panely.....	11
1.2 Konstrukce	13
2 Stanovení okrajových podmínek	16
2.1 Požadavkový list.....	16
2.3 Návrh počtu a rozmístění panelů	16
2.2 Všeobecné namáhání konstrukcí	17
2.4 Návrh nejnepříznivějších zatížení.....	22
3 Popis konstrukce	24
3.1 Nosná část.....	24
3.2 Elektronika.....	25
3.3 Principy sledování.....	25
4 Kontrolní výpočty a parametry konstrukčních skupin.....	27
4.1 Sloup	27
4.2 Pohon natáčení.....	30
4.3 Pojezdové rameno.....	33
4.4 Pojezdová část.....	34
4.5 Pojezd.....	35
4.6 Naklápěcí mechanismus	36
4.7 Pohon naklápění.....	41
4.8 Stahovací zařízení	43
4.9 Informační mechanismus	45
4.10 Upevnění panelů ke konstrukci.....	46
5 Závěr	47
6 Seznam použité literatury	48
7 Seznam příloh	50

Seznam použitých veličin

D_t	vnější průměr táhla	[mm]
F_0	předepínací síla	[N]
F_1	síla od větru	[N]
F_{1x}	horizontální složka síly F_1	[N]
F_{1y}	vertikální složka síly F_1	[N]
F_2	výslednice sil	[N]
F_3	výslednice sil	[N]
F_4	tahová síla ve sloupu	[N]
F_7	síla v čepu táhla	[N]
F_{7a}	axiální složka síly F_7	[N]
F_{7r}	radiální složka síly F_7	[N]
F_a	axiální síla od větru	[N]
F_{ax}	horizontální složka síly F_a	[N]
F_{ay}	vertikální složka síly F_a	[N]
F_{nap}	napínací síla lana	[N]
F_o	ovládací síla šroubu	[N]
F_{ol}	ovládací síla lana	[N]
F_u	únosnost lana	[N]
G	tíha konstrukce	[N]
H_1	nosná hloubka závitu	[mm]
M_k	kroučící moment	[Nm]
M_{ke}	potřebný kroučící moment elektromotoru	[Nm]
P	stoupání závitu	[mm]
R_{ax}	axiální složka reakce R_a	[N]
R_{ay}	radiální složka reakce R_a	[N]
R_{by}	radiální složka reakce R_b	[N]
R_e	mez pružnosti šroubu	[MPa]
R_{et}	mez pružnosti táhla	[MPa]
S	celková plocha panelů	[m ²]
S_{max}	maximální plocha panelů na pojezdové části	[m ²]
W_k	modul průřezu šroubu v krutu	[mm ³]
W_{kt}	modul průřezu táhla v krutu	[mm ³]
W_o	modul průřezu táhla v ohybu	[mm ³]
Z	zdvih šroubu	[mm]
b	výška panelů	[mm]
c_e	součinitel expozice	[-]
c_{pe}	součinitel vnějšího tlaku	[-]
d_2	střední průměr závitu	[mm]
d_3	vnitřní průměr závitu	[mm]
d_s	střední průměr lanovnice	[mm]
d_t	vnitřní průměr táhla	[mm]
d_v	nejmenší výpočtový průměr šroubu	[mm]
e	přirozený základ logaritmu	[-]
f_z	součinitel tření na závitu šroubu	[-]
h	zvolená výška matice	[mm]
h_{min}	minimální výška matice	[mm]
i	převodový poměr převodovky GPLE-80-2S-32	[-]
k_l	bezpečnost lana	[-]
k_s	statická bezpečnost šroubu	[-]
k_{st}	statická bezpečnost táhla	[-]

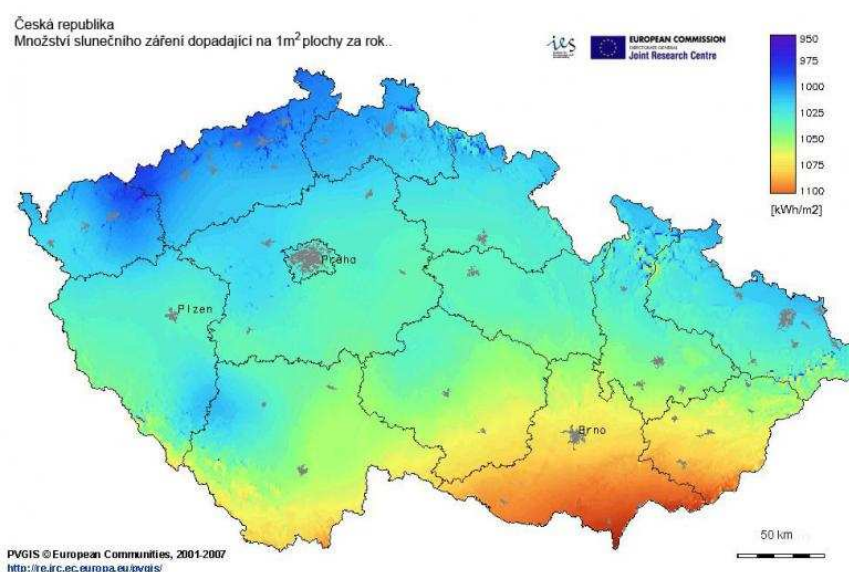
l	výpočtová délka panelů	[m]
n	součet mezer a okrajů panelů	[-]
n_l	počet lan	[-]
n_s	otáčky servomotoru	[s ⁻¹]
p_d	dovolený tlak bronzu	[MPa]
q_b	základní dynamický tlak větru	[Pa]
q_p	maximální dynamický tlak větru	[Pa]
q_s	dovolené zatížení sněhem	[Pa]
q_v	spojité zatížení větrem	[Pa]
q_{va}	axiální spojité zatížení větrem	[Pa]
q_{vmax}	maximální zatížení větrem	[Pa]
t_s	doba sklopení nosné části	[s]
v	rychlost větru	[m.s ⁻¹]
w	tlak větru	[Pa]
w_e, w_{e1}, w_{e2}	vnější tlak větru	[Pa]
x_1, x_3, x_4, x_5, x_6	délkové úseky	[mm]
α	úhel naklopení	[°]
α_o	úhel opásání	[rad]
α_s	úhel profilu šroubu	[°]
β	pomocný úhel	[°]
φ'	redukovaný třecí úhel	[°]
μ_p	součinitel tření mezi pojezdem a ramenem	[-]
μ_v	součinitel tření mezi lanem a lanovnicí	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
σ_{ot}	ohybové napětí v táhle	[MPa]
σ_{red}	redukované napětí ve šroubu	[MPa]
σ_{redt}	redukované napětí v táhle	[MPa]
σ_t	tahové napětí ve šroubu	[MPa]
σ_{tt}	tahové napětí v táhle	[MPa]
τ_k	krutové napětí ve šroubu	[MPa]
τ_{kt}	krutové napětí v táhle	[MPa]
ψ	úhel stoupání závitů	[°]

Úvod

V dnešní době zažívají solární elektrárny významný rozvoj díky evropským a státním dotacím. Zároveň dochází k nezadržitelnému úbytku neobnovitelných zdrojů energie, čímž se zvyšuje zájem o obnovitelné zdroje, mezi které patří i solární energie. Právě kvůli zvýšenému zájmu o solární panely roste i jejich technologická úroveň. Došlo jak ke zvýšení účinnosti panelů, tak i ke snížení pořizovacích nákladů. A nejen to, již dnes se pracuje na technologiích, které budou schopny více než stonásobně snížit výrobní náklady, což s sebou přinese i vyšší zájem o ně. Zároveň se zájmem po panelech bude růst i poptávka po konstrukcích, na které se budou upevňovat.

Přeměna energie ze slunečních paprsků na elektrickou energii se provádí pomocí vnitřního fotoelektrického jevu, jehož podstatu jako první popsal Albert Einstein. Zjednodušeně lze fotovoltaický panel považovat za diodu s P-N přechodem. Jakmile sluneční paprsky dopadnou na tuto diodu, začnou se uvolňovat záporné elektrony a na přechodu P-N se začne vytvářet napětí. Po připojení spotřebiče začne obvodem protékat elektrický proud.

Fotoelektrický jev je neúčinnější dopadají-li paprsky kolmo na funkční plochu panelů. Proto se využívá polohovacích zařízení, které jsou schopny přizpůsobovat polohu panelů nejvyšší intenzitě záření. Mapa slunečního záření ukazuje, že Česká republika je vhodná pro stavbu solárních elektráren, především jižnější oblasti.



Obr. 1. Mapa slunečního záření [6]

1 Současný stav fotovoltaických systémů

1.1 Fotovoltaické panely

FV panely 1. generace

Tyto panely využívají k vytvoření PN přechodu křemíkové desky. Jejich účinnost se dnes běžně pohybuje okolo 20%. V současné době jsou nejrozšířenější (odhaduje se okolo 90%). Jejich nevýhodou jsou vysoké výrobní náklady, především kvůli použití již zmíněného křemíku. [5]

FV panely 2. generace

Byly vytvořeny především kvůli snížení výrobních nákladů. Využívají stejný princip jako panely první generace, ale používají až tisícinásobně tenčí křemíkovou vrstvu. To má významný vliv na cenu, avšak oproti první generace klesá účinnost přibližně na polovinu. Místo křemíku se používají i další materiály jako například karbid germánia nebo směsi mědi india, selenu a dalších. Tato generace umožnila, v závislosti na flexibilitě podkladu, tvarování panelů. [5]

FV panely 3. generace

V současné době jsou ve vývoji, proto se zatím nevyužívají ve větší míře. Zde je hlavním cílem zvýšení účinnosti panelů. Velké naděje jsou vkládány do nanotechnologií a biotechnologií. Tato generace umožní výroby vícevrstevných panelů (několik ultratenkých vrstev na sobě). V případě biotechnologií jde především o výrazné snížení pořizovacích cen, kdy k výrobě nebude využíván křemík, ale bakterie, které reagují na sluneční záření. [5]

Pracuje se také na hmotě, kterou bude možno nastříkat na libovolnou plochu. Tato technologie má v současnosti velmi malou účinnost, ovšem do budoucna se počítá s jejím zvýšením.

Přehled FV panelů na trhu

V následující tabulce je seznam dostupných panelů na trhu. Ve sloupci Typ (model) se za xx(xxx) dosazuje výkon panelů.

Typ (model)	Výrobce	Rozměry [mm]			Výkon [Wp]	Hm. [kg]
		délka	šířka	výška		
PSxxM-12/D	Phonosolar	1195	541	35	75-90 po 5	8
PSxxxM-24/F	Phonosolar	1580	808	35	160-190 po 5	15
PSxxxM-20/U	Phonosolar	1640	992	45	210-240 po 5	22
PSxxP-12/D	Phonosolar	1195	541	35	75-90 po 5	8
PSxxxP-24/F	Phonosolar	1580	808	35	160-190 po 5	15
PSxxxP-20/U	Phonosolar	1640	992	45	210-240 po 5	22
YLxxxP-29b-1	Yingli solar	1650	990	50	210-235 po 5	19,8
230 SOLAR PANEL	Sunpower	1559	798	46	230	15
305 SOLAR PANEL	Sunpower	1559	1046	46	305	24
SST-xxx/60P	CEEG solární panely	1640	990	50	200-230 po 5	20
SST-xxx/72P	CEEG solární panely	1956	990	50	245-280 po 5	23,7
SST-xxx/72M	CEEG solární panely	1580	808	35(50)	155-175 po 5	15,6 (16,1)
SST-SE xxx/72M	CEEG solární panely	1580	808	50	180-195 po 5	16
SST-SE xxx/60M	CEEG solární panely	1640	990	50	205-250 po 5	20
SST-SE xxx/72M	CEEG solární panely	1956	990	50	255-300 po 5	23,7
SCHOTT POLY xxx	SCHOTT solar	1620	810	50	165-175 po 5	15,5
SCHOTT POLY xxx	SCHOTT solar	1685	993	50	210,217,225	23
SLK60P6L	SILIKEN solutions	1640	990	40	205-240 po 5	19
SLK60M6L	SILIKEN solutions	1640	990	40	205-240 po 5	19

Tab. 1. Nabídka solárních panelů na českém trhu

1.2 Konstrukce

Konstrukce používáme pro zvýšení výkonu solárních panelů. Dělíme je do tří skupin.

Pevné

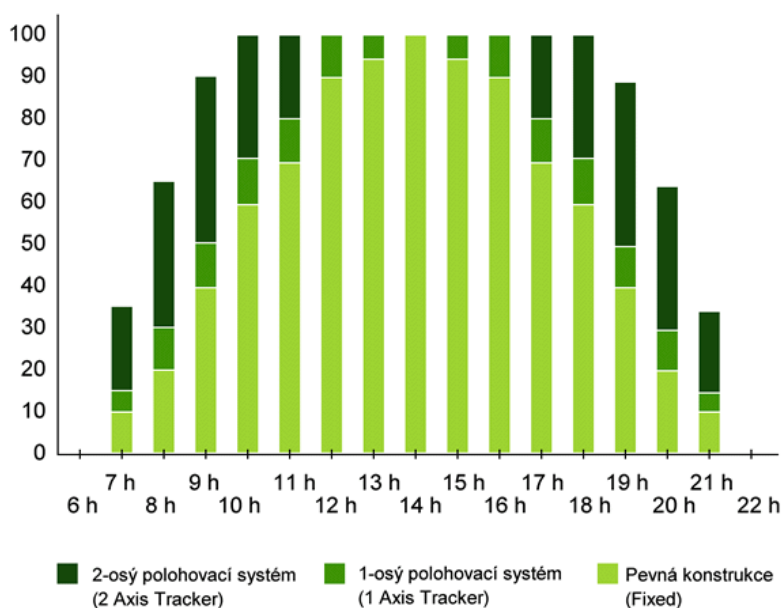
Asi nejčastěji používané konstrukce, u kterých není možné polohu panelů jakkoliv měnit. Jsou oblíbené především pro své nízké pořizovací náklady a nulovou údržbu. Nejčastěji se vyrábějí z hliníkových profilů, ocelových profilů a také ze dřeva. Do této kategorie spadají i pevné střešní konstrukce.

Jednoosé polohovací

U těchto konstrukcí lze měnit pouze náklon panelů. Využívají jak manuálního, tak i automatického (elektrického) pohonu. Jejich nevýhodou je především pořizovací cena, která je u automaticky poháněných konstrukcí přibližně poloviční než u 2-osé polohovací konstrukce. Navýšení výkonu je však asi 10-15%.

Dvouosé polohovací

Umožňují měnit jak náklon panelů tak i jejich orientaci (azimut). Jsou často používané u rozsáhlých solárních elektráren. Existuje velké množství konstrukčních řešení, které umožňují připevnění několika kusů panelů až po více než sto panelů. Zvyšují výkon panelů o 30-40%.



Obr. 2. Vliv konstrukcí na výkon panelů [9]

Nabídka dvouosých polohovacích konstrukcí na trhu

V této části se zmíním pouze o konstrukcích společnosti Phonosolar. Popis dalších konstrukcí je v příloze.

Konstrukce společnosti Phonosolar

Typ sledovače (trackeru)		Dvouosý tracker (3.2kw)	Dvouosý tracker (6.9kw)
Model		D 16	D 30
Špičkový výkon		až 3,9 kWp	až 7,2 kWp
Plocha panelů		23m ²	49m ²
Maximální zátěžitelnost		500kg	800kg
Hmotnost zařízení		600kg	1,100kg
Azimut	Druh pohonu	šnekový převod (válcová ložiska)	šnekový převod (válcová ložiska)
	Horizontální rozsah pohybu	0~240°	0~240°
	Motor	3,000rpm (120w / dc24v) (poměr 68,526 : 1 @ 0,043 rpm)	3,000rpm (120w / dc24v) (poměr 62,694 : 1 @ 0,047 rpm)
Náklon	Druh pohonu	lineární pohon	lineární pohon
	Vertikální rozsah pohybu	0~70°	0~70°
	Motor	3,000rpm (120w / dc24v) (poměr 288 : 1 @ 10,4 rpm)	3,000rpm (120w / dc24v) (poměr 288 : 1 @ 10,4 rpm)
Mastná spotřeba		250w (max. 75wh/den)	250w (max. 60wh/den)
Materiál konstrukce		Pozinkovaná ocel	
Způsob sledování slunce		uzavřený regulační obvod (solární snímač s měřením v reálném čase)	
Druh senzoru		snímač s fotodiodami	
Přesnost sledování		± 1° při použití běžného pv snímače / ± 0.1° při použití snímače pro koncentrátorové systémy (cpv)	
Minimální světelnost pro umožnění sledování		3,000 luxů	
Řídící jednotka		10 tlačítek: (automatický/manualní režim), (pohyb východní/západní/jižní/severní), (vkládání čísel pomocí dvou tlačítek / esc / enter)	
Volitelné příslušenství		systém monitoringu, snímač okolní teploty, snímač rychlosti větru, snímač náklonu,...	
Max. rychlost větru	Běžný provoz	14m/s (50km/h)	
	Bezpečnostní režim (náklon 0°)	35m/s (126km/h)	
	Konstantní úhel 45°	25m/s (90km/h)	
Bezpečnostní režim		automatické natočení do horizontální pozice v následujících případech: 1) světelnost pod 3,000 lux po dobu > 2 hodiny / 2) nadlimitní hodnoty ze snímačů	

Obr. 3. Parametry konstrukcí společnosti Phonosolar [9]



Obr. 4. Konstrukce D16 – pohled zepředu [9]



Obr. 5. Konstrukce D16 – pohled zezadu [9]

Konstrukce společnosti Pesos

Sunflex SF40

- Příloha A

Konstrukce společnosti EGE

ST2/8000

- Příloha B

2 Stanovení okrajových podmínek

V této kapitole se budu zabývat okrajovými podmínkami a ujasněním zadání. Jako první jsem si vytvořil požadavkový list, následně jsem určil rozložení panelů a potřebné rozměry a nakonec jsem sestavil obecné situace zatížení, které budu používat při pevnostních kontrolách.

2.1 Požadavkový list

	Požadavek	Podm./Př.
1	umístit min. 12 panelů 1640x992x45	podmínka
2	univerzálnost - konstrukce pro více typů panelů	přání
3	nízká hmotnost (do 750kg)	přání
4	použití co nejvíce normalizovaných dílů	přání
5	nízké pořizovací náklady	podmínka
6	dvouosá polohovací konstrukce	podmínka
7	odolnost vůči silnému větru	podmínka
8	odolnost vůči sněhu	podmínka
9	snadná montáž	přání
10	snadná přeprava	podmínka
11	nízké provozní náklady	podmínka
12	odolnost vůči těžkým klimatickým podmínkám (voda, zima, horko)	podmínka
13	dlouhá životnost (20 let)	podmínka
14	minimální údržba	přání

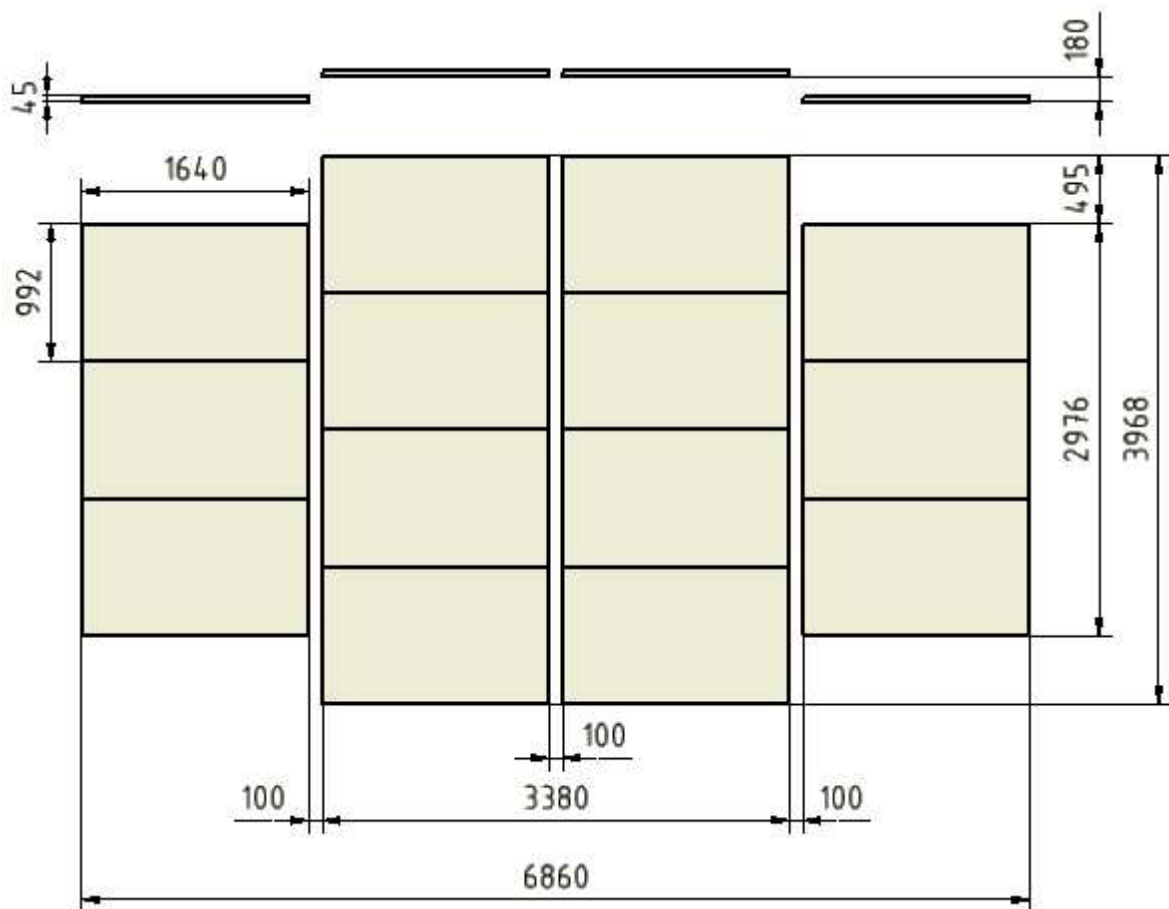
Tab. 2. Požadavkový list

2.3 Návrh počtu a rozmístění panelů

V následující tabulce jsou hlavní rozměry panelů a počet kusů, které bude konstrukce schopna nést. Bylo počítáno s maximální plochou 24m². Maximální dovolená výška panelu je 50mm. Na obr. 6. je zakresleno rozložení panelů 1640x992x45. Zbylé rozložení panelů je v příloze C.

rozměr panelů [mm]		počet panelů	plocha [m ²]
délka	šířka		
1580	808	18	23,0
1640	992	14	22,8
1650	990	14	22,9
1559	798	18	22,4
1559	1046	14	22,8
1640	990	14	22,7
1956	990	12	23,2
1620	810	18	23,6
1685	993	14	23,4

Tab. 3. Určení počtu panelů



Obr. 6. Rozložení panelů 1640x992x45

2.2 Všeobecné namáhání konstrukcí

Konstrukce jsou namáhány těmito vlivy:

- vlastní tíhou
- větrem
- sněhem

Namáhání vlastní tíhou

Vzhledem k posunutí těžiště, způsobuje ohybový moment a vzpěr.

Namáhání větrem

Je v čase proměnlivé, předem nepředvídatelné. Toto namáhání zohledňuje evropská norma ČSN EN 1991-1-4. Norma je ale velmi složitá. Přesnější je použití programů pro simulaci účinků větru (např. Fluent). Alternativou pro zjednodušení výpočtu je počítat s přibližnými hodnotami a tyto hodnoty zohlednit vyšším součinitelem bezpečnosti. Třecí účinky lze v tomto případě zanedbat, protože vítr obtéká pouze hladké materiály (ocel, sklo, hliník). Součinitel tření mezi větrem a těmito materiály je 0,01. [4]

Pro stanovení přibližného zatížení větrem lze použít následující postup:

Stanovení základního dynamického tlaku:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (1)$$

q_b ...základní dynamický tlak vzduchu	[Pa]
ρ ...hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
v ...rychlost větru	[m.s ⁻¹]

Výpočet maximálního dynamického tlaku:

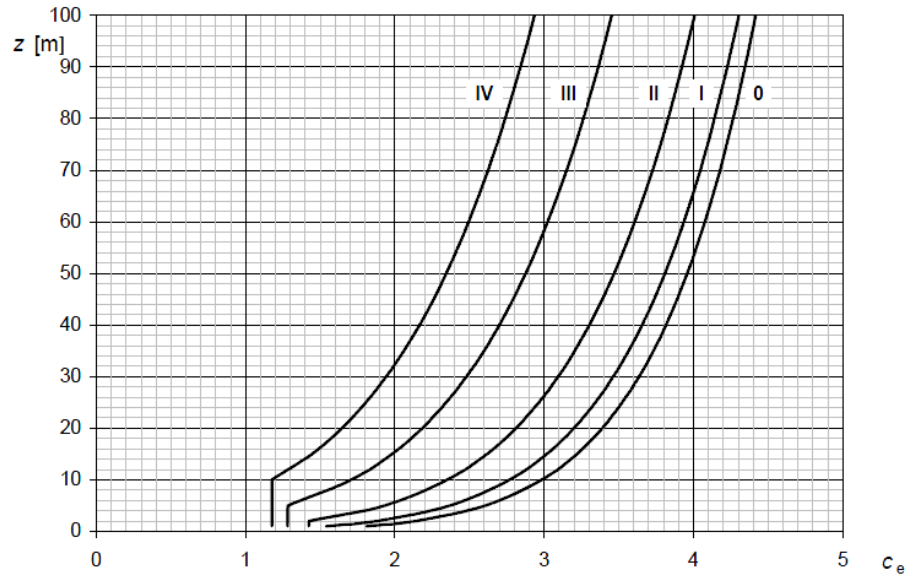
$$q_p = c_e \cdot q_b \quad (2)$$

q_p ...maximální dynamický tlak	[Pa]
c_e ...součinitel expozice, vychází z výšky konstrukce a terénu, ve kterém se nachází (viz. obr.8)	[-]

Kategorie terénu
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážek
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m

Obr. 7. Kategorie terénu [4]

Z následujícího grafu lze získat přibližný součinitel expozice:



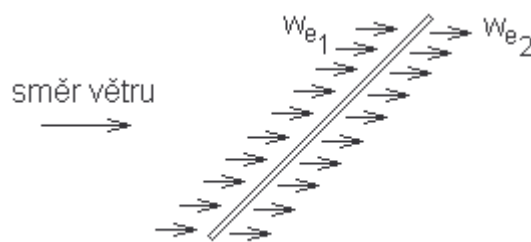
Obr. 8. Graf pro určení součinitele expozice [4]

Výška mnou navržené konstrukce je 5m. Předpokládám s umístěním kdekoliv v Evropě (tedy kategorie terénu 0).

$$c_e=2,6$$

Určení tlaku působícího na plochu:

Předpoklad: Tlak na návětrnou plochu w_{e1} je stejný jako podtlak (sání) působící na závětrnou plochu (w_{e2})=> celkový tlak na plochu $w=2 \cdot w_e$.



Obr. 9. Působení větru

$$w_e = w_{e1} = w_{e2} = q_p \cdot c_{pe} \quad (3)$$

w_e ...vnější tlak větru	[Pa]
w_{e1} ...tlak větru na návětrné straně	[Pa]
w_{e2} ...sání větru na závětrné straně	[Pa]
c_{pe} ...součinitel vnějšího tlaku	[-]

Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} je nejnepriznivější v případě, že vítr působí na svislou plochu. Pro působení kolmo na svislou plochu je $c_{pe}=0,8$. Ve skutečnosti bude sklon panelů nanejvýš 70° . [4]

Ukázka výpočtu pro rychlost větru $v=5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 5^2 = 15,625\text{Pa} \quad (4)$$

$$q_p = c_e \cdot q_b = 2,6 \cdot 15,625 = 40,635\text{Pa} \quad (5)$$

$$w_e = q_b \cdot c_{pe} = 15,625 \cdot 0,8 = 12,5\text{Pa} \quad (6)$$

$$w = 2 \cdot w_e = 2 \cdot 12,5 = 25\text{Pa} \quad (7)$$

Další tlaky větru jsou zpracovány v tabulce. Norma, ze které jsem vycházel je především určena pro stavby. V jejich případě je nutné zajistit dlouhodobou bezpečnost, tudíž i celý výpočet v sobě zahrnuje dostatečnou bezpečnost, proto budu nadále počítat pouze s hodnotami v tabulce a budu zanedbávat třecí síly a síly působící na malé plochy konstrukce. Z tabulky je patrné, že konstrukce bude v nejnepriznivějším případě namáhána 977Pa . Pro zjednodušení budu počítat s 1000Pa .

Namáhání sněhem

Způsobuje tlak (vzpěr) a ohyb. Lze ho eliminovat skloněním panelů v době, kdy sněží.

v	w	sklon panelů [°]																																			
		70	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0
1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
2	10	10	10	9	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	0	0	
3	23	22	22	21	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	15	14	14	13	12	12	11	10	10	9	8	7	6	6	5	4	3	2	2	1	0
4	42	39	39	38	37	37	36	35	34	34	33	32	31	30	29	28	27	26	24	23	22	21	20	18	17	16	14	13	11	10	9	7	6	4	3	1	0
5	65	61	60	59	58	57	56	55	54	53	51	50	48	47	45	43	42	40	38	36	34	33	31	28	26	24	22	20	18	16	14	11	9	7	5	2	0
6	94	88	87	86	84	83	81	79	78	76	74	72	70	67	65	63	60	58	55	52	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23	19	16	13	10	7	3	0
7	127	120	118	116	115	112	110	108	106	103	100	98	95	92	88	85	82	78	75	71	68	64	60	56	52	48	44	39	35	31	26	22	18	13	9	4	0
8	166	156	154	152	150	147	144	141	138	135	131	127	124	120	116	111	107	102	98	93	88	83	78	73	68	62	57	51	46	40	35	29	23	17	12	6	0
9	211	198	195	192	189	186	182	179	175	170	166	161	157	151	146	141	135	130	124	118	112	105	99	92	86	79	72	65	58	51	44	37	29	22	15	7	0
10	260	244	241	238	234	230	225	220	216	210	205	199	193	187	181	174	167	160	153	145	138	130	122	114	106	97	89	80	72	63	54	45	36	27	18	9	0
11	315	296	292	287	283	278	272	267	261	255	248	241	234	226	219	211	202	194	185	176	167	157	148	138	128	118	108	97	87	76	65	55	44	33	22	11	0
12	374	352	347	342	337	331	324	318	310	303	295	287	278	269	260	251	241	231	220	209	198	187	176	164	152	140	128	116	103	91	78	65	52	39	26	13	0
13	439	413	407	401	395	388	381	373	364	355	346	337	327	316	305	294	282	271	258	246	233	220	206	193	179	165	150	136	121	106	91	76	61	46	31	15	0
14	510	479	472	466	458	450	441	432	422	412	402	390	379	367	354	341	328	314	300	285	270	255	239	223	207	191	174	157	140	123	106	88	71	53	36	18	0
15	585	550	542	534	526	517	507	496	485	473	461	448	435	421	406	391	376	360	344	327	310	293	275	256	238	219	200	181	161	142	122	102	81	61	41	20	0
16	666	625	617	608	598	588	576	564	552	538	524	510	495	479	462	445	428	410	391	372	353	333	312	292	271	249	228	206	183	161	138	116	93	70	46	23	0
17	751	706	697	686	675	663	651	637	623	608	592	576	558	541	522	503	483	463	442	420	398	376	353	329	306	281	257	232	207	182	156	130	105	79	52	26	0
18	842	792	781	770	757	744	730	714	698	682	664	645	626	606	585	564	541	519	495	471	446	421	395	369	343	316	288	260	232	204	175	146	117	88	59	29	0
19	939	882	870	857	844	829	813	796	778	759	740	719	698	675	652	628	603	578	552	525	497	469	441	411	382	352	321	290	259	227	195	163	131	98	65	33	0
20	1040	977	964	950	935	918	901	882	862	841	820	797	773	748	722	696	668	640	611	582	551	520	488	456	423	390	356	321	287	252	216	181	145	109	73	36	0
21	1147	1077	1063	1047	1031	1012	993	972	951	928	904	878	852	825	796	767	737	706	674	641	608	573	538	503	466	430	392	354	316	277	238	199	160	120	80	40	0
22	1258	1183	1167	1150	1131	1111	1090	1067	1043	1018	992	964	935	905	874	842	809	775	740	704	667	629	591	552	512	471	430	389	347	304	262	219	175	132	88	44	0
23	1375	1292	1275	1256	1236	1214	1191	1166	1140	1113	1084	1054	1022	989	955	920	884	847	808	769	729	688	646	603	559	515	470	425	379	333	286	239	191	144	96	48	0
24	1498	1407	1389	1368	1346	1322	1297	1270	1242	1212	1180	1147	1113	1077	1040	1002	963	922	880	837	794	749	703	657	609	561	512	463	413	362	311	260	208	157	104	52	0
25	1625	1527	1507	1485	1461	1435	1407	1378	1347	1315	1281	1245	1208	1169	1129	1087	1045	1000	955	909	861	813	763	712	661	609	556	502	448	393	338	282	226	170	113	57	0
26	1758	1652	1630	1606	1580	1552	1522	1491	1457	1422	1385	1346	1306	1264	1221	1176	1130	1082	1033	983	931	879	825	770	715	658	601	543	484	425	365	305	245	184	123	61	0
27	1895	1781	1757	1732	1704	1674	1641	1607	1571	1533	1494	1452	1409	1363	1317	1268	1218	1167	1114	1060	1004	948	890	831	771	710	648	586	522	459	394	329	264	198	132	66	0
28	2038	1915	1890	1862	1832	1800	1765	1729	1690	1649	1606	1562	1515	1466	1416	1364	1310	1255	1198	1140	1080	1019	957	894	829	764	697	630	562	493	424	354	284	213	142	71	0
29	2187	2055	2027	1998	1965	1931	1894	1854	1813	1769	1723	1675	1625	1573	1519	1463	1406	1346	1285	1223	1159	1093	1027	959	889	819	748	676	603	529	455	380	304	229	153	76	0
30	2340	2199	2170	2138	2103	2066	2026	1984	1940	1893	1844	1793	1739	1683	1626	1566	1504	1441	1375	1309	1240	1170	1099	1026	952	877	800	723	645	566	487	406	326	245	163	82	0
31	2499	2348	2317	2283	2246	2206	2164	2119	2071	2021	1969	1914	1857	1797	1736	1672	1606	1538	1469	1397	1324	1249	1173	1095	1016	936	855	772	689	604	519	434	348	261	174	87	0
32	2662	2502	2469	2432	2393	2351	2306	2258	2207	2154	2098	2040	1979	1915	1849	1781	1711	1639	1565	1489	1411	1331	1250	1167	1083	997	911	823	734	644	554	462	371	278	186	93	0
33	2831	2661	2625	2587	2545	2500	2452	2401	2347	2291	2231	2169	2104	2037	1967	1895	1820	1743	1664	1583	1500	1416	1329	1241	1152	1061	968	875	780	685	589	492	394	296	198	99	0
34	3006	2824	2787	2746	2701	2654	2603	2549	2492	2432	2368	2302	2234	2162	2088	2011	1932	1850	1767	1681	1593	1503	1411	1318	1222	1126	1028	929	828	727	625	522	418	314	210	105	0
35	3185	2993	2953	2910	2863	2812	2758	2701	2640	2577	2510	2440	2367	2291	2212	2131	2047	1961	1872	1781	1688	1593	1495	1396	1295	1193	1089	984	878	771	662	553	443	333	222	111	0

Oblast provozu trackeru
 Oblast dovoleného provozu trackeru
 Oblast provozu stahovacího systému
 Oblast extrémního zatížení

Tab. 4. Vliv větru v závislosti na jeho rychlosti a sklonu panelů

2.4 Návrh nejnepriznivějších zatížení

Existují dvě následující návrhové situace:

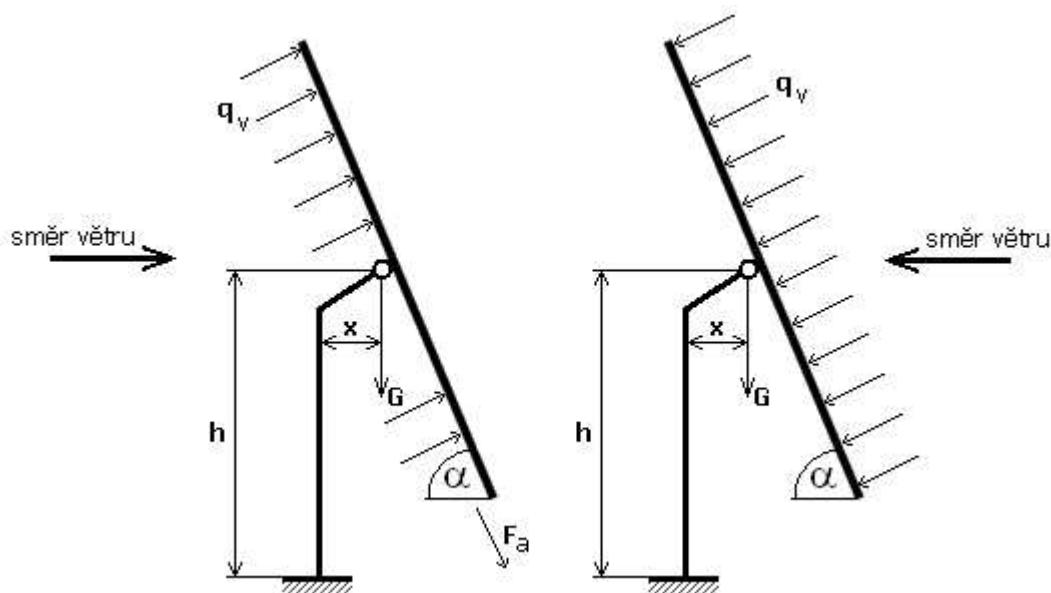
Namáhání větrem a tíhou nosné části

Směr větru na zadní stranu panelů (obr. 10. vlevo)

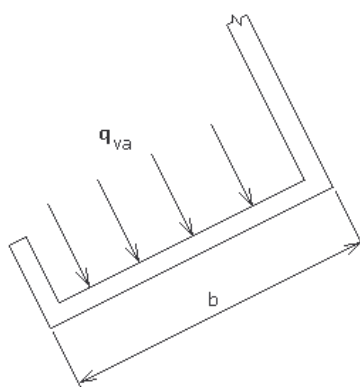
Při tomto zatížení vzniká spojitě zatížení q_v a axiální síla F_a . Tato síla vzniká jako důsledek tvaru zadní strany panelů. Přibližný výpočet je proveden v (8).

Směr větru na přední stranu panelů (obr. 10. vpravo)

Při tomto zatížení vzniká pouze spojitě zatížení q_v od působícího větru ($q_v=1000\text{N/m}^2$)



Obr. 10. Namáhání větrem na zadní stranu (vlevo) , namáhání větrem na přední stranu (vpravo)



Obr. 11. Přídavné zatížení zadní strany panelů

V rámci bezpečnosti volím:

- q_{va} stejně velké jako q_v ($q_v=1000\text{N/m}^2$)
- vnitřní výšku panelu stejně velkou jako vnější maximální výšku ($b=50\text{mm}$)
- délku l jako maximální šířku panelů (viz. příloha rozložení panelů na konstrukci)
- počet zatížených ploch jako součet mezer mezi panely a vnějších okrajů ($n=6$)

$$F_a = q_v \cdot S_1$$

$$F_a = q_v \cdot b \cdot l \cdot n$$

$$F_a = 1000 \cdot 0,05 \cdot 8 \cdot 6$$

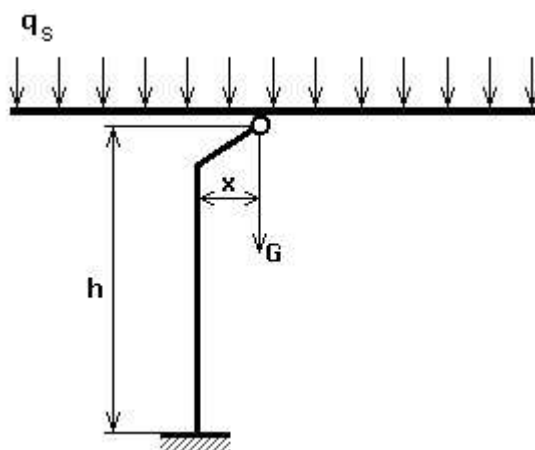
$$F_a = 2400\text{N}$$

(8)

F_a ...axiální síla od větru	[N]
q_v ...spojité zatížení větrem	[Pa]
b ...výpočtová délka panelů	[m]
l ...výpočtová délka panelů	[m]
n ...počet panelů	[-]

Namáhání vlastní tíhou konstrukce a sněhem

Dovolené zatížení sněhem volím stejně velké jako u střech domů, $q_s=500\text{N/m}^2$.



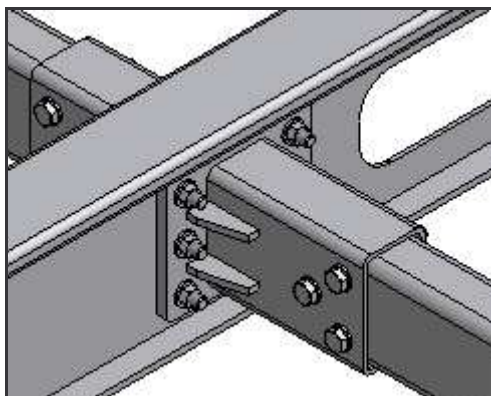
Obr. 12. Zatížení sněhem

3 Popis konstrukce

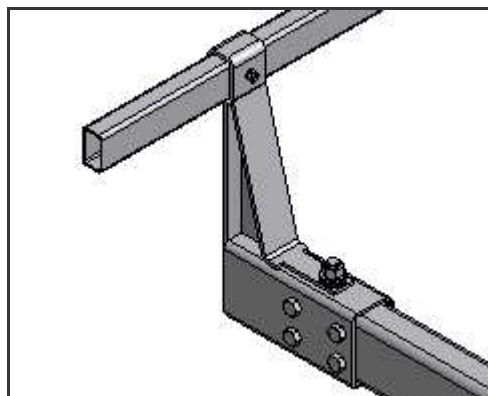
3.1 Nosná část

Hlavní nosnou částí celého trackeru (polohovacího zařízení) je sloup složený ze dvou částí, mezi kterými je umístěn pohon. Spodní část sloupu je přišroubována k betonovému podkladu. K vrchní části je šrouby připevněna osa se vzpěrami a navařenými deskami s otvory pro čepy.

Nosnou část panelů tvoří pevná šroubovaná konstrukce složená ze čtyř pojezdových ramen a čtyř normalizovaných tenkostěnných profilů. Tyto části spojují spojky (obr.13.). Na koncích tenkostěnných profilů jsou umístěny koncovky (obr.14), kterými prochází příčky. Příčky slouží k připojení profilů s panely.



Obr. 13. Spojka



Obr. 14. Koncovka

Na pojezdových ramenech se pohybuje pojezdová část s přišroubovanými pojezdy. O pohon stahování se stará elektromotor s lanovnicí. Lana prochází lanovnicí a kladkou a jsou pevně připojeny k pojezdové části. V případě, že jsou panely stažené je činná plocha přibližně poloviční (v závislosti na použitých panelech) a tím pádem více odolná působení větru. Stažení panelů lze využít i v zimním období, kdy skloněná plocha zabraňuje hromadění sněhu a zároveň je tato poloha opět odolná nepříznivě silnému větru.

Ve střední části nosné konstrukce se nachází informační mechanismus, který slouží k připevnění např. indikátoru intenzity slunečního záření, snímače rychlosti větru apod..

Naklápěcí zařízení je tvořeno trapézovým šroubem, maticí a táhlem a pohon zajišťuje planetová převodovka s motorem.

3.2 Elektronika

Každá konstrukce musí obsahovat základní elektroniku, která se nachází ve skříni a nejčastěji se montuje buď přímo na nosný sloup nebo na betonový podstavec. Mozkem celé konstrukce je programovatelná procesorová jednotka, která se stará o shromažďování informací o klimatických podmínkách a aktuální poloze panelů, vysílá řídicí signály do driverů, které ovládají motory a kontroluje výkon panelů. Dále jsou ve skříni umístěny již zmíněné drivery, jsou nutné kvůli vysílání ovládacích impulzů do motoru v závislosti na signálech z řídicí jednotky. Dalšími nezbytnými částmi jsou transformátor, usměrňovače, regulátory napětí a další elektronika.

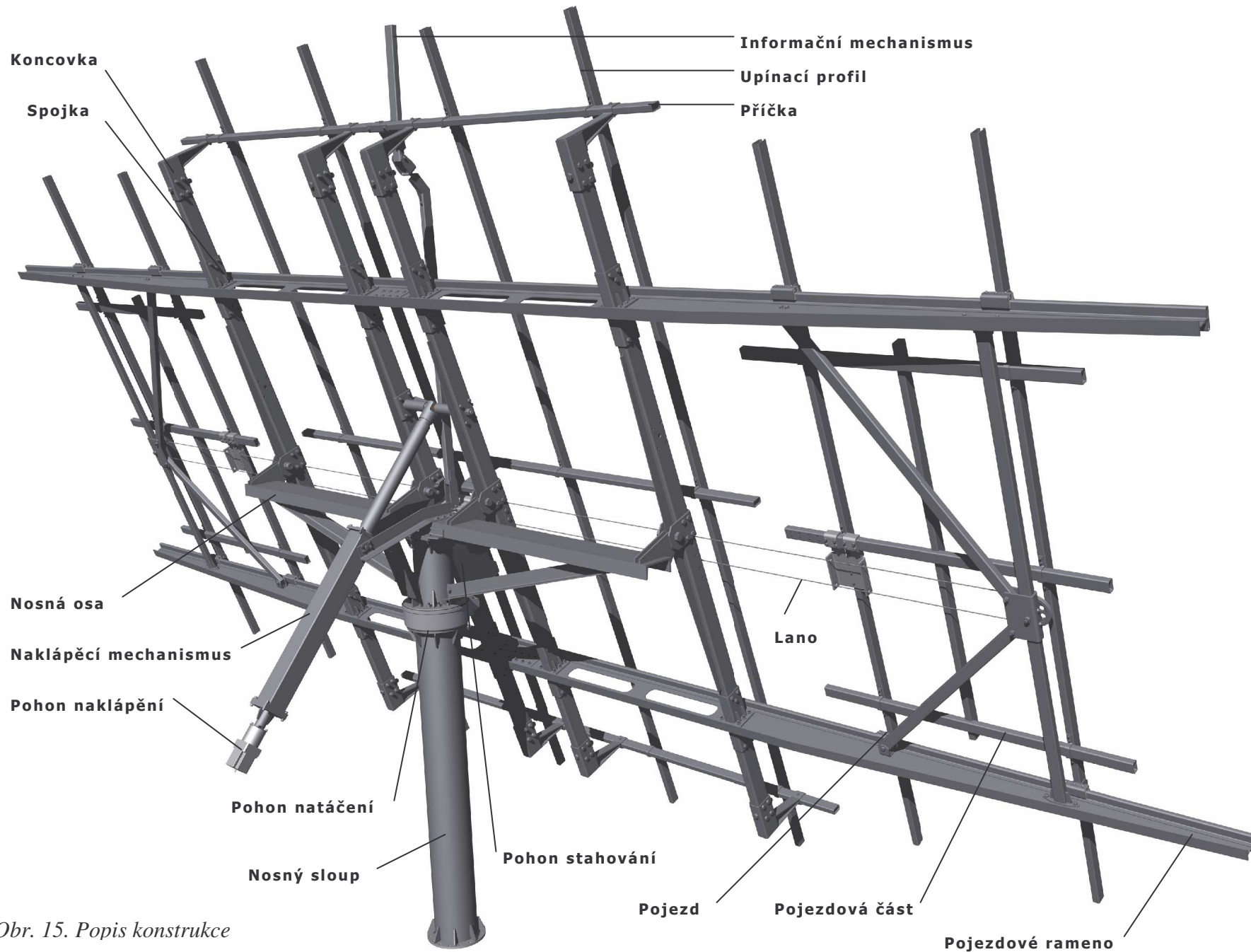
Solární panely vytvářejí stejnosměrné napětí, které je nevhodné pro dodávku do elektrické sítě, proto je potřeba použít střídač, který přemění napětí na střídavé. V případě větších solárních parků je výhodné mít centrální rozvodnu, zajišťující jak dodávku, tak odběr energie.

Elektroniku spolu s panely je potřeba ochránit proti přetížení a zkratům.

3.3 Principy sledování

Sledování polohy slunce lze realizovat následujícími způsoby:

- pomocí senzorů sledujících nejvyšší intenzitu záření
- pomocí astronomické polohy slunce
- individuální naprogramování



Obr. 15. Popis konstrukce

4 Kontrolní výpočty a parametry konstrukčních skupin

Vzhledem k rozsahu práce, provedu pevnostní kontrolu pouze u vybraných dílů. Další výpočty byly provedeny v konstrukčním cvičení.

4.1 Sloup

Provedu výpočet pro nejnepříznivější zatížení sloupu a to namáhání větrem na zadní stranu panelů. Konstrukce bude tedy namáhána silou F_1 , F_a a tíhou konstrukce a panelů G . Působení sil je znázorněno na obr. 16.(vlevo). Síly jsou následně rozloženy do kolmých směrů a na obr.16.(vpravo) jsou umístěny výslednice F_2 a F_3 .

$$F_1 = q_v \cdot S = 1000 \cdot 24 = 24000\text{N} \quad (9)$$

S ...celková plocha panelů [m²]

$$F_{1x} = F_1 \cdot \sin \alpha = 24000 \cdot \sin 70^\circ = 22552\text{N} \quad (10)$$

F_{1x} ...horizontální složka síly F_1 [N]

F_1 ...síla od větru [N]

α ...úhel naklopení [°]

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos \alpha = 24000 \cdot \cos 70^\circ = 8208\text{N} \quad (11)$$

F_{1y} ...vertikální složka síly F_1 [N]

$$F_{ax} = F_a \cdot \cos \alpha = 2400 \cdot \cos 70^\circ = 821\text{N} \quad (12)$$

F_{ax} ...horizontální složka síly F_a [N]

$$F_{ay} = F_a \cdot \sin \alpha = 2400 \cdot \sin 70^\circ = 2255\text{N} \quad (13)$$

F_{ay} ...vertikální složka síly F_a [N]

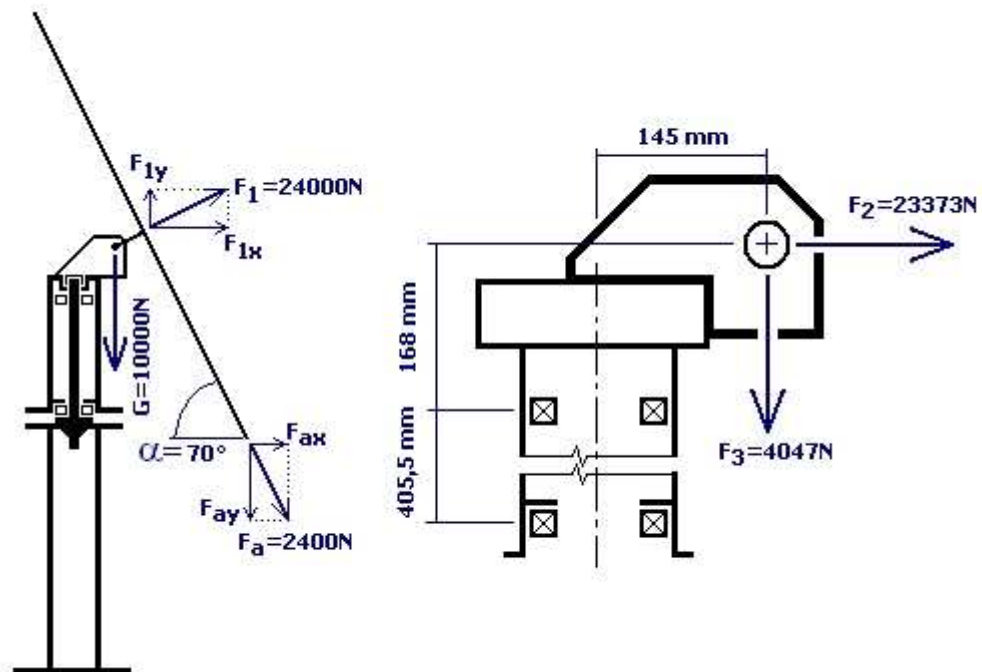
$$F_2 = F_{1x} + F_{ax} = 22553 + 821 = 23373\text{N} \quad (14)$$

F_2 ...výslednice sil [N]

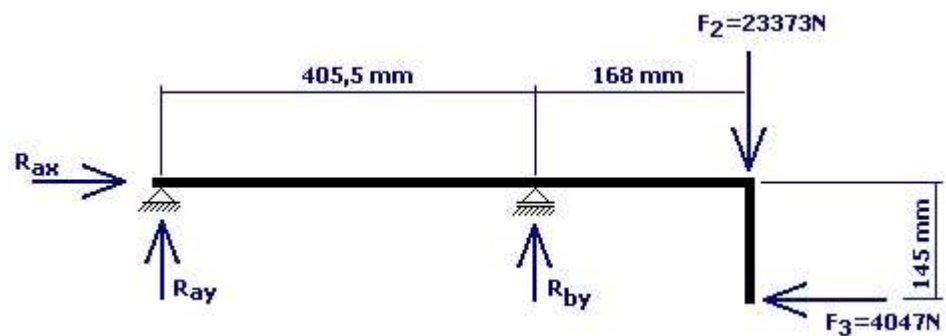
$$F_3 = G - F_{1y} + F_{ay} = 10000 - 8208 + 2255 = 4047\text{N} \quad (15)$$

F_3 ...výslednice sil [N]

G ...tíha konstrukce [N]



Obr.16. Působení sil na sloup(vlevo), výslednice v kolmých směrech(vpravo)



Obr. 17. Působení sil na vrchní část sloupu

$$\begin{aligned} \Sigma F_{ix} &= 0 \\ R_{ax} - F_3 &= 0 \Rightarrow R_{ax} = F_3 = 4047\text{N} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_{iy} &= 0 \\ R_{ay} + R_{by} - F_2 &= 0 \Rightarrow R_{ay} = F_2 - R_{by} = 23373 - 34504 = -11131\text{N} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\Sigma M_{iA} = 0$$

$$R_{by} \cdot 405,5 - F_2 \cdot (405,5 + 168) - F_3 \cdot 145 = 0 \quad (18)$$

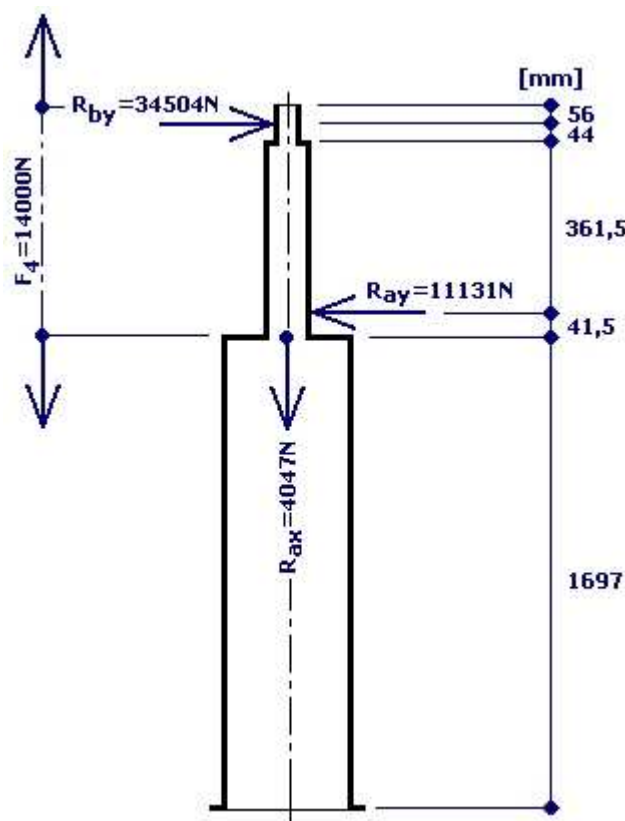
$$R_{by} = \frac{F_2 \cdot (405,5 + 168) + F_3 \cdot 145}{405,5} = \frac{23373 \cdot 573,5 + 4047 \cdot 145}{405,5} = 34504\text{N}$$

Tímto výpočtem jsem získal síly působící na spodní sloup (obr.18.). Navíc je úzká část sloupu namáhána silou od předpětí vyvozenou utažením matice. Tato síla je $F_0=8000\text{N}$. Je však potřeba brát v potaz působení větru, který „nadzvedává“ nosnou část konstrukce a tuto sílu přičíst k síle předpětí F_0 .

$$F_4 = F_0 + F_{1y} - F_{ay} = 8000 + 8208 - 2255 = 13953 \cong 14000\text{N} \quad (19)$$

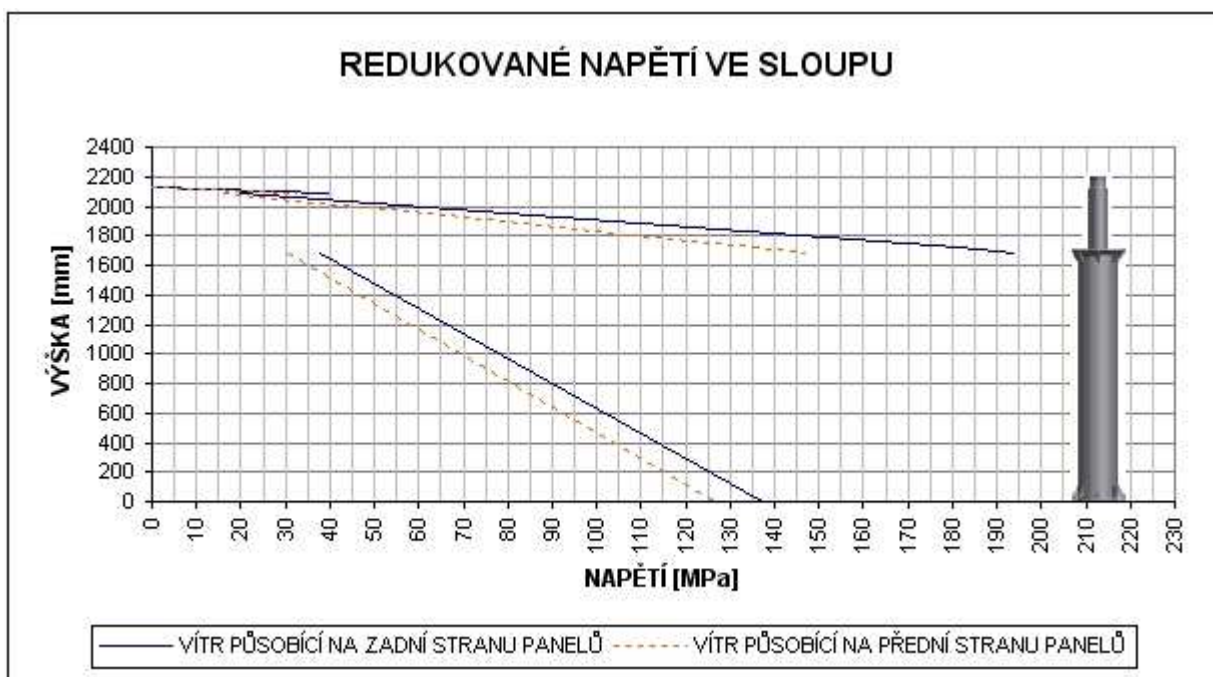
F_4 ...tahová síla ve sloupu [N]

F_0 ...předepínací síla [N]



Obr. 18. Síly působící na spodní část sloupu

Jako poslední krok výpočtu sloupu jsem vytvořil graf redukovaného napětí sloupu (obr. 19.). Na ose „y“ je výška sloupu a na ose „x“ je redukované napětí, přičemž maximální hodnota 230MPa v tomto případě značí dovolené napětí s bezpečností 1,5. V grafu je navíc doplněna křivka pro působení větru na přední stranu panelů.



Obr. 19. Redukované napětí ve spodním sloupu

4.2 Pohon natáčení

Rozhodl jsem se použít třífázový stejnosměrný krokový motor společnosti Leadshine Technology, model 863S68H. Následující parametry jsou udávány výrobcem, ale závisí na použitém driveru. Motor má standardizovanou přírubu NEMA34.

rozlíšení [°]	kroučící moment [Mk]	proud fází [A]	hmotnost [kg]	rozměry [mm]			
				výška	šířka	délka	hřídel
1,6	6,78	5	3,8	85	85	127	Ø14 - L34

Tab. 5. Parametry motoru 863S68H [12]

Důvody výběru:

- malé rozměry
- silný kroučící moment
- funkčnost za teplot -10 až +50 °C
- možnost regulace otáček(kroučícího momentu)
- dlouhá bezúdržbová životnost
- jemné krokování
- nízká cena

Motor není možné ponechat nezakrytý jako je tomu na obrázku a zároveň je nutné zajistit funkčnost i za nižších teplot, proto bude nutné zakrytí termoizolačním, voděodolným materiálem.

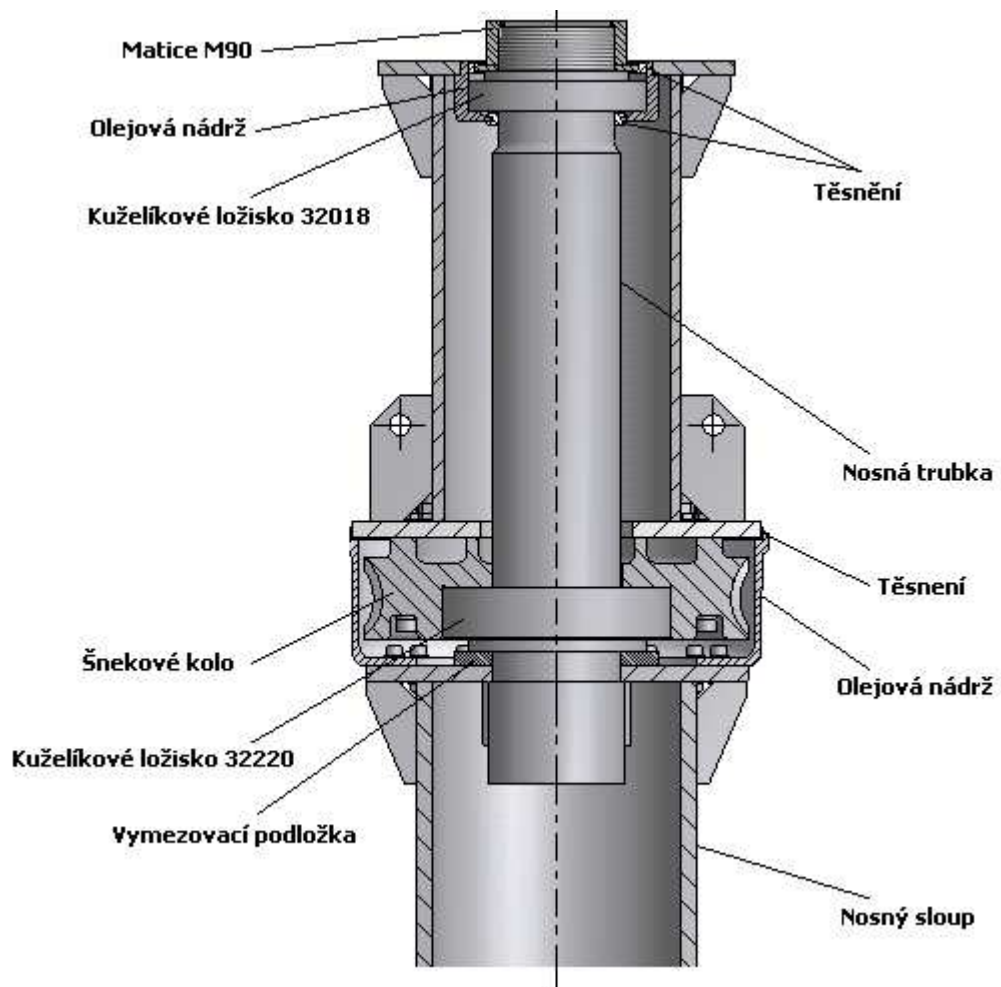
K převodu jsem použil šnekové soukolí. Výpočet jsem realizoval v programu MITcalc. Soukolí je navrženo tak, aby zaručilo jak statickou tak i dynamickou samosvornost. Kompletní výpis z programu MITcalc v příloze D. [18]

Parametr	Jednotky	SNEK	KOLO
modul ozubení	[mm]	3,15	
počet zubů	[-]	1	90
normálový úhel zaběru	[°]	20	20
průměr roztečné kružnice	[mm]	78,813	283,7267
průměr hlavové kružnice	[mm]	85,113	287,487
osová vzdálenost	[mm]	180	
délka šneku/šířka kola	[mm]	51,66	63,84
jednotkové posunutí	[-]	-0,4031	-
materiál	[-]	12051 povrchově kalená po boku	šedá litina EN-GJS-400-15
účinnost soukolí	[-]	0,4947	
samosvornost	statická	ano	
	dynamická	ano	
koeficient bezpečnosti	opotřebení	99	
	zadírání	4,8	
	průhyb	57,44	
	únavový lom	20,04	

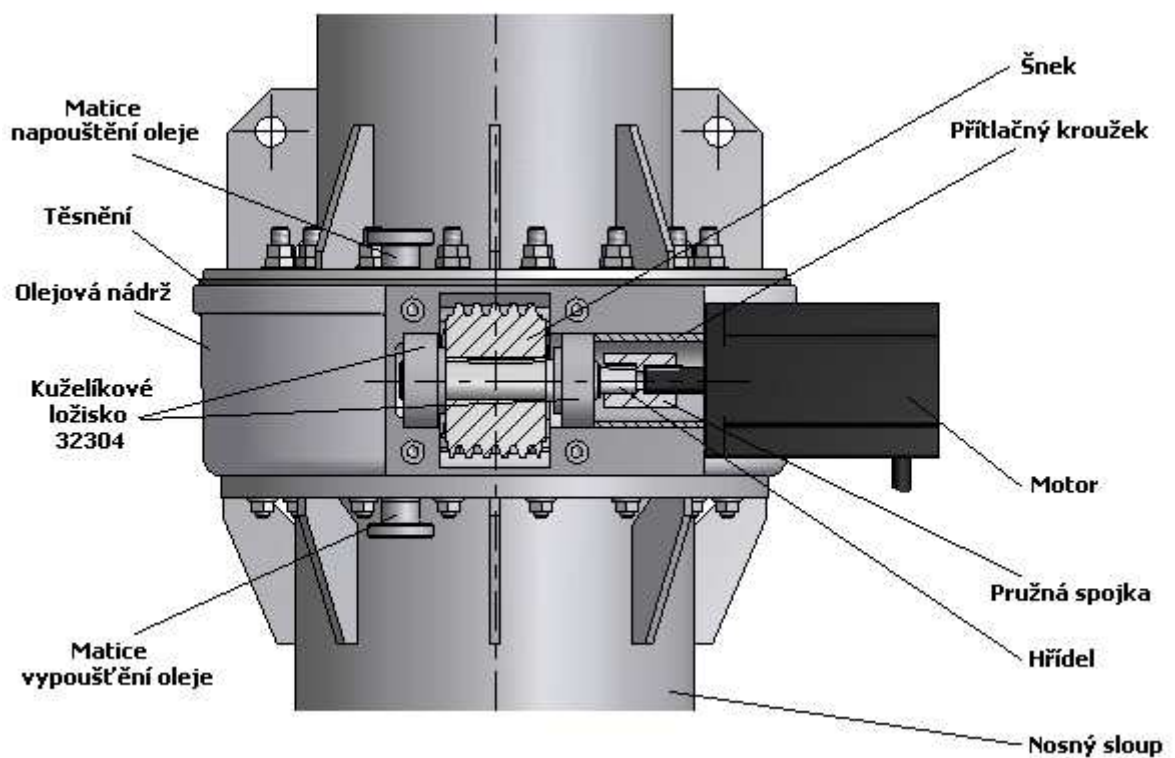
Tab. 6. Parametry šnekového soukolí

Uložení převodu

Šnekové kolo je pevně připojeno k vrchnímu sloupu a položeno na kuželíkovém ložisku, které je nasunuto na spodní části sloupu. Vrchní část sloupu je dotlačována ke spodní části maticí. Mezi oběma částmi sloupu je umístěna olejová nádrž, sloužící zároveň jako skříň pro uložení šneku. Ten je nasunut na hřídeli s kuželíkovými ložisky.



Obr. 20. Uložení šnekového kola



Obr. 21. Uložení šneku

Volba olejové náplně

Zvolil jsem olej AGIP Blasias S150. Tento převodový olej je vhodný pro mazání silně zatížených šnekových převodů a kluzných a valivých ložisek. Má vynikající tepelnou a oxidační stabilitu.

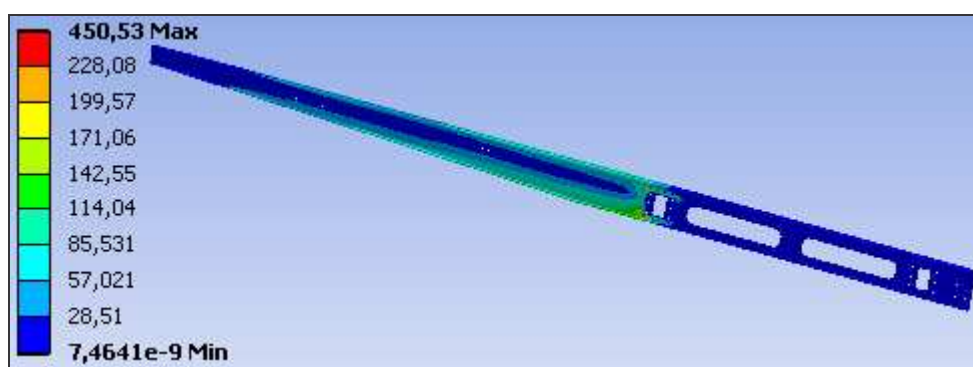
Kinematická viskozita [mm ² /s]		Bod tuhnutí [°C]	Bod vzplanutí [°C]	ISO-VG třída
40°C	100°C			
152	24,6	-36	240	150

Tab. 7. Vlastnosti oleje AGIP Blasias S150 [11]

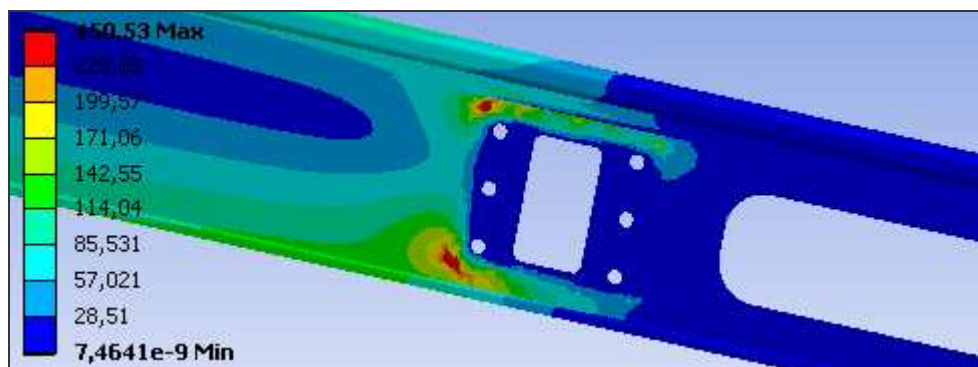
4.3 Pojezdové rameno

Je vyrobeno ze čtyř částí a svařeno. Pojezdová část je tvořena ohýbaným plechem přivařeným k desce bodovými svary. Spodní část je zesílena ohýbaným obdélníkovým profilem, přivařeným k desce oboustranným přerušovaným koutovým svarem. Celé rameno je navrženo tak, aby byla co nejvíce zjednodušena výroba a montáž.

Podle analýzy MKP dochází v místech připojení spojek k velkému nárůstu napětí. Jde ale pouze o chybu v zadání, neboť jsem jako plochu vetknutí (fixed support) použil obdélník s ostrými hranami a právě tyto hrany zkreslují výsledné napětí. Pokud by v tomto místě docházelo skutečně k nežádoucímu napětí, byly by nejvíce namáhány vystouplé části. Dále v této analýze nejsou připojeny výztuhy, které podstatně zmenšují deformace a tím i napětí.



obr. 22. Rameno po provedené analýze MKP

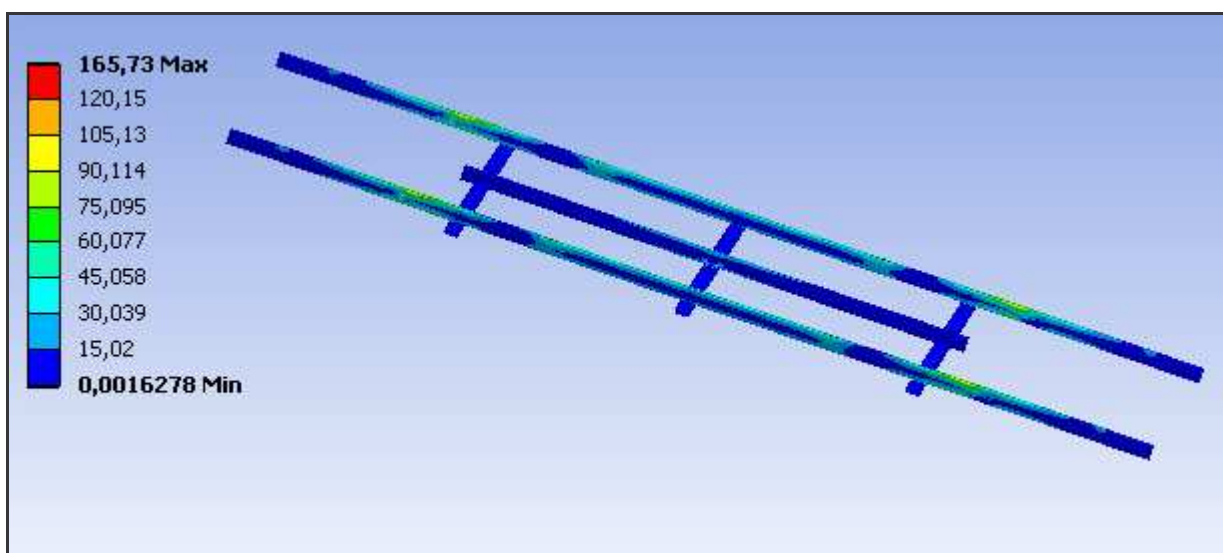


Obr. 23. Pohled na nejvíce namáhané místo

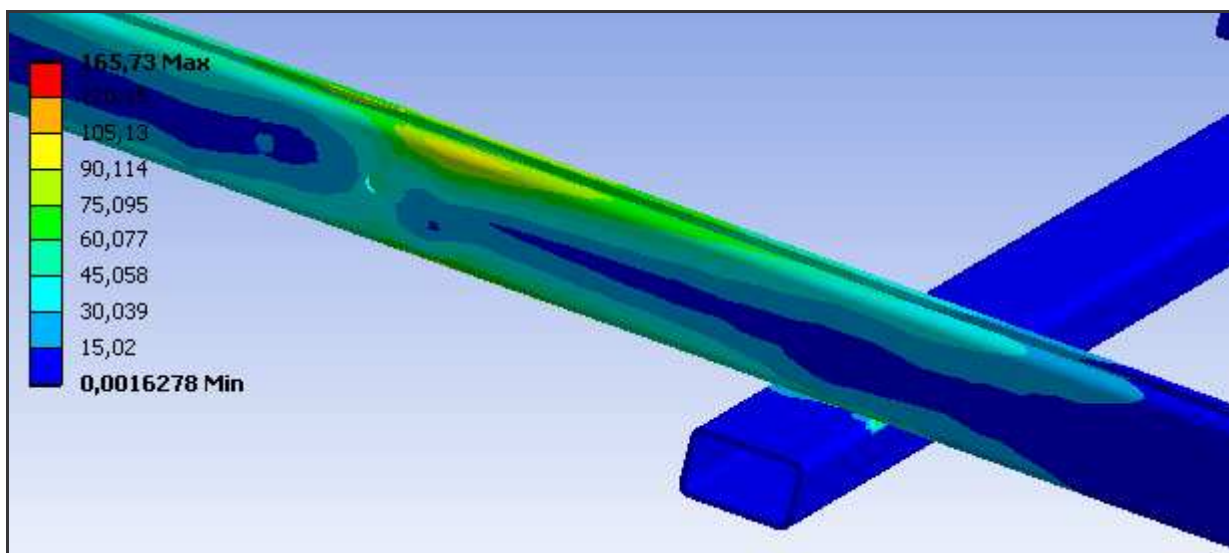
4.4 Pojezdová část

Je umístěna na obou stranách konstrukce a slouží k upevnění tří až čtyř panelů (podle jejich rozměrů, max. 6m²). K této části jsou připevněny kluzné posuvy, které se pohybují po pojezdovém rameni. Skládá se ze dvou upínacích tyčí a svařovaného středu, který zvyšuje tuhost a zabraňuje vzpříčení při pohybu. Tyto části jsou k sobě připojeny tvarovanými sponami se šrouby. Dále je tento celek vybaven upínacím systémem pro lano.

Pevnostní analýza pojezdové části



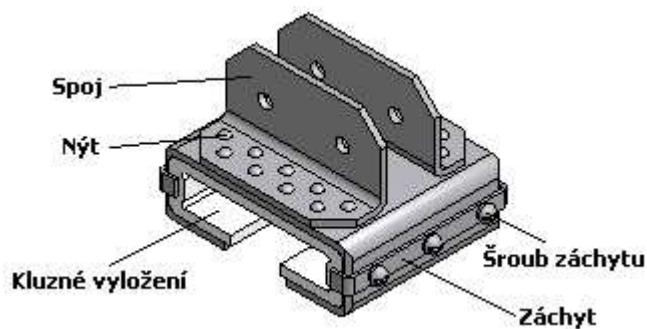
Obr. 24. Pojezdová část po analýze MKP



Obr. 25. Pohled na nejvíce namáhané místo (připojení pojezdu)

4.5 Pojezd

Slouží ke snížení tření mezi pojezdovým ramenem a pojezdovou částí. Skládá se ze tří ohýbaných plechů, které jsou k sobě přinýtovány. Materiál kluzného vyložení jsem zvolil speciální plast ZEDEX 100K. Tento materiál má vynikající kluzné vlastnosti a odolnost vůči opotřebení. Posuv dále obsahuje záchyty, které brání vysunutí vedení.



Obr. 26. Popis částí pojezdu

Vlastnosti materiálu ZEDEX 100K

- pohlcuje rázy
- tlumí vibrace
- nízké opotřebení
- široký rozsah pracovních teplot
- nízký součinitel tření
- nízká cena
- polotovary se vyrábí protlačováním

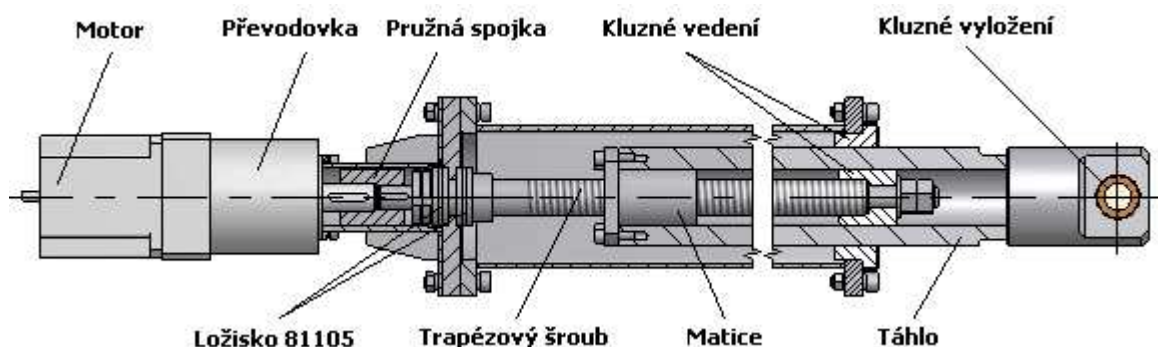
Pevnost [MPa]			Modul pružnosti v tahu [MPa]	Tažnost [%]	Součinitel tření [-]	
tah	tlak	ohyb			za klidu	za pohybu
65	82,5	85	2500	60	0,2	0,12

Tab. 8. Mechanické vlastnosti materiálu ZEDEX 100K [10]

Uvedený součinitel tření je pouze orientační, protože závisí na více faktorech, jako je tlak mezi kluznými plochami, druh mazání (za sucha, mazáno vodou, mazáno olejem) a provozní teplota.

4.6 Naklápěcí mechanismus

Hlavní částí je na místě se otáčející šroub a posouvající se matice připojená k táhlu. Použil jsem trapézový šroub se závitem Tr26x5 s upravenými konci. Šroub je zatížen tahem od tíhy konstrukce, proto nemůže dojít ke vzpěru.



Obr. 27. Popis částí naklápěcího mechanismu

Silový rozbor

Na šroub působí tíha konstrukce G a axiální síla F_a (8). Vzhledem k tomu, že vítr se rovnoměrně rozprostře po celé ploše, nevznikají v ideálním případě žádné další síly od působení větru. Pro dosažení rovnováhy je potřeba vyvodit sílu F_7 v místě uložení táhla. Provedu ukázkový výpočet pro úhel naklonění 70° . Úhel β jsem získal změřením v modelu.

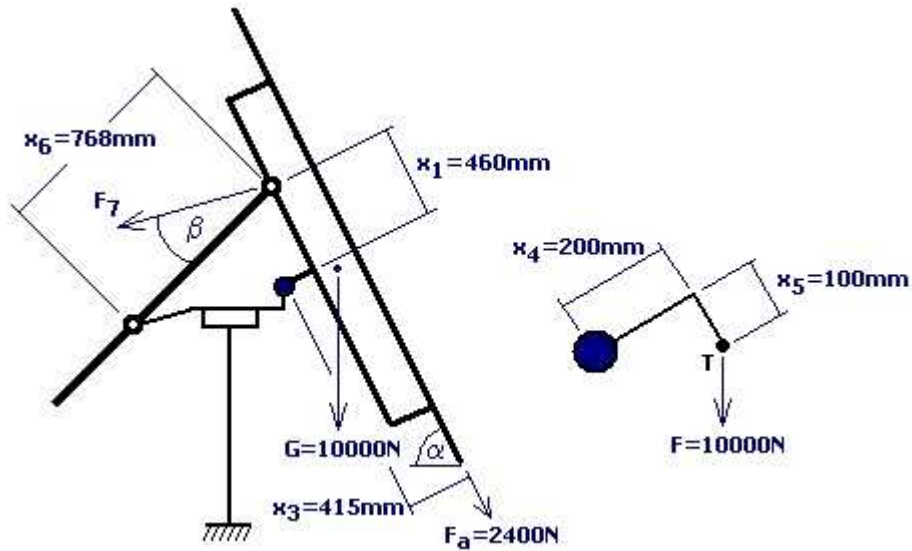
$$\alpha = 70^\circ, \beta = 38^\circ$$

$$F_7 \cdot x_1 = G \cdot (x_4 \cdot \cos 20^\circ + x_5 \cdot \cos 70^\circ) + F_a \cdot x_3$$

$$F_7 = \frac{10000 \cdot (200 \cdot \cos 20^\circ + 100 \cdot \cos 70^\circ) + 2400 \cdot 415}{460} \quad (20)$$

$$F_7 = 6994\text{N}$$

kde F_7 ...síla v čepu táhla [N]
 β ...pomocný úhel [°]
 x_1, x_3, x_4, x_5 ...déłkové úseky [mm]



Obr. 28. Silový rozbor

Výpočet ovládací síly šroubu a kontrola šroubu

Zvolil jsem si závit TR26x5 z oceli. Materiál matice volím bronz. Součinitel tření za sucha na závitu $f_z=0,2$ [2].

$$d_2 = 23,5\text{mm}$$

$$d_3 = 20,5\text{mm}$$

$$P = 5\text{mm}$$

$$\alpha_s = 30^\circ$$

$$F_o = F_7 \cdot \cos \beta = 6994 \cdot \cos 38^\circ = 5511\text{N} \cong 6000\text{N} \quad (21)$$

F_o ...ovládací síla šroubu [N]

$$\varphi' = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \arctg \frac{0,2}{\cos \frac{30}{2}} = 11,7^\circ \quad (22)$$

φ' ...redukováný třecí úhel [N]

f_z ...součinitel tření na závitu šroubu [N]

$$\psi = \arctg \frac{p}{\pi \cdot d_2} = \arctg \frac{5}{\pi \cdot 23,5} = 3,87^\circ \quad (23)$$

ψ ...úhel stoupání závitu [°]

d_2 ...střední průměr závitu [mm]

Výpočet potřebného momentu pohonu

$$M_k = F_o \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2} = 6000 \cdot \operatorname{tg}(11,7 + 3,87) \cdot \frac{23,5}{2} = 19644 \text{ Nmm} = 20 \text{ Nm} \quad (24)$$

M_k ...kroučící moment [Nmm]

Pro zajištění funkce volím zvýšení potřebného kroučícího momentu na 40Nm.

Pevnostní kontrola šroubu

Šroub je namáhán tahem a krutem. Nejmenší průřez šroubu je v místě nasazení pružné spojky. Toto místo je navíc oslabeno drážkou pro pero. Výpočtový průměr $d_v=14,1$ mm.

$$\sigma_t = \frac{F_o}{\pi \cdot \frac{d_v^2}{4}} = \frac{6000}{\pi \cdot \frac{14,1^2}{4}} = 38,4 \text{ MPa} \quad (25)$$

σ_t ...tahové napětí ve šroubu [MPa]

d_v ...nejmenší výpočtový průměr šroubu [mm]

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi}{16} \cdot d_v^3} = \frac{40000}{\frac{\pi}{16} \cdot 14,1^3} = 72,7 \text{ MPa} \quad (26)$$

τ_k ...krutové napětí ve šroubu [MPa]

W_k ...modul průřezu šroubu v krutu [mm³]

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{38,4^2 + 3 \cdot 72,7^2} = 131,6 \text{ MPa} \quad (27)$$

σ_{red} ...redukované napětí ve šroubu [MPa]

Materiál šroubu volím S355 (Re=355MPa)

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{\text{red}}} = \frac{355}{131,6} = 2,7 \quad (28)$$

k_s ...statická bezpečnost šroubu [MPa]

Re...mez pružnosti šroubu [MPa]

Výška matice

$H_1=2,5\text{mm}$ [1], $p_D=15\text{MPa}$ [2]

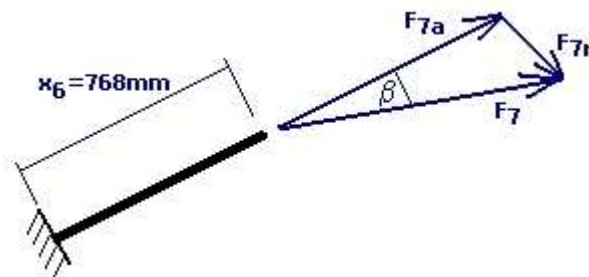
$$h_{\min} = \frac{F_o \cdot P}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D} = \frac{6000 \cdot 5}{\pi \cdot 23,5 \cdot 2,5 \cdot 15} = 11\text{mm} \quad (29)$$

h_{\min} ...minimální výška matice	[mm]
P...stoupání závitu	[°]
H_1 ...nosná hloubka závitu	[mm]
p_d ...dovolený tlak bronzu	[MPa]

Z konstrukčních důvodů volím $h=50\text{mm}$

Pevnostní kontrola táhla

Táhlo je namáháno tahem, ohybem a krutem. Provedu výpočet při úhlu naklonění panelů 70° . Jelikož během naklápění dochází ke změnám parametrů výpočtu, vypracoval jsem graf průběhu namáhání táhla. Tento graf potvrdil předpoklad, že k největšímu namáhání dochází v horní poloze táhla (při naklonění 70°). V rámci zjednodušení budu považovat jeden konec táhla za vetknutý. Materiál táhla volím S355 ($R_{et}=355\text{MPa}$).



Obr. 29. Zatížení táhla

$$F_7 = 6994\text{N}$$

$$\beta = 38^\circ$$

$$F_{7a} = F_7 \cdot \cos \beta = 6994 \cdot \cos 38^\circ = 5511\text{N} \quad (30)$$

F_{7a} ...axiální složka síly F_7 [N]

$$F_{7r} = F_7 \cdot \sin \beta = 6994 \cdot \sin 38^\circ = 4306\text{N} \quad (31)$$

F_{7r} ...radiální složka síly F_7 [N]

Táhlo je vyrobené z trubky o vnějším průměru $D_t=70\text{mm}$ a vnitřním průměru $d_t=40\text{mm}$.

Tahové namáhání

$$\sigma_{tt} = \frac{F_{7a}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_t^2 - d_t^2)} = \frac{5511}{\frac{\pi}{4} \cdot (70^2 - 40^2)} = 2,1\text{MPa} \quad (32)$$

σ_{tt} ...tahové napětí v táhle [MPa]

D_t ...vnější průměr táhla [mm]

d_t ...vnitřní průměr táhla [mm]

Ohybové namáhání

$$\sigma_{ot} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_{7r} \cdot x_6}{\frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_t^4 - d_t^4}{D_t} \right)} = \frac{4306 \cdot 768}{\frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{70^4 - 40^4}{70} \right)} = 110\text{MPa} \quad (33)$$

σ_{ot} ...ohybové napětí táhla [MPa]

M_o ...ohybový moment táhla [Nmm]

x_6 ...délkový úsek [mm]

W_o ...modul průřezu táhla v ohybu [mm^3]

Krutové namáhání

$$\tau_{kt} = \frac{M_k}{W_{kt}} = \frac{M_k}{\frac{\pi}{16} \cdot \left(\frac{D_t^4 - d_t^4}{D_t} \right)} = \frac{40000}{\frac{\pi}{16} \cdot \left(\frac{70^4 - 40^4}{70} \right)} = 0,7\text{MPa} \quad (34)$$

τ_{kt} ...krutové napětí v táhle [MPa]

W_{kt} ...modul průřezu táhla v krutu [mm^3]

Redukované napětí a bezpečnost

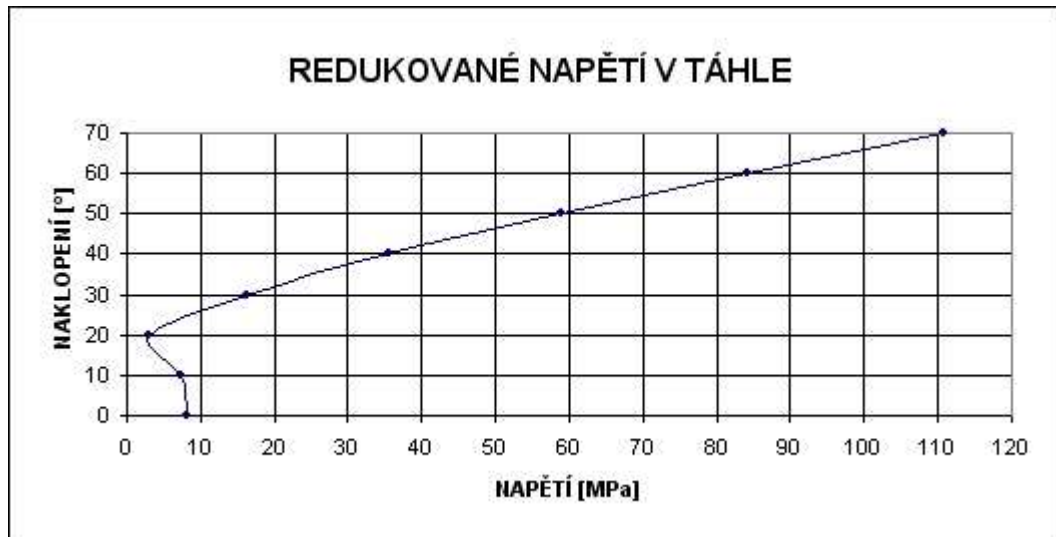
$$\sigma_{redt} = \sqrt{(\sigma_{tt} + \sigma_{ot})^2 + 3 \cdot \tau_{kt}^2} = \sqrt{(2,1 + 110)^2 + 3 \cdot 0,7^2} = 112\text{MPa} \quad (35)$$

σ_{redt} ...redukované napětí v táhle [MPa]

$$k_{st} = \frac{R_{et}}{\sigma_{redt}} = \frac{355}{112} = 3,2 \quad (36)$$

k_{st} ...statická bezpečnost táhla [-]

R_{et} ...mez pružnosti táhla [MPa]



Obr. 30. Redukované napětí v táhle

4.7 Pohon naklápění

Po dlouhé úvaze a hledání vhodného řešení jsem se rozhodl pro použití servomotoru. Servomotory mají narozdíl od krokových motorů nižší kroutící moment, ale dokáží ho držet i za vysokých otáček. Rozhodl jsem se použít servomotor od společnosti Nanotec, model DB87 S01-S.

Výkon [W]	Napětí [V]	Proud [A]		Kroutící moment [Nm]		Otáčky [min ⁻¹]
		jmenovitý	špičkový	jmenovitý	špičkový	
200	48	6,25	17,95	0,7	2,1	3000

Tab. 9. Parametry servomotoru DB87 S01-S [13]

Důvody výběru

- malé rozměry
- jemné krokování
- dlouhá bezúdržbová životnost
- nízká cena
- trvalý kroutící moment i za vysokých otáček

- vynikající regulace otáček
- v případě nutnosti možné zvýšení momentu na trojnásobek

Volba převodovky

Rozhodl jsem se použít planetovou převodovku společnosti Nanotec, model GPLE-80-2S-32. Pro převodovku tohoto výrobce jsem se rozhodl především kvůli kompatibilitě s vybraným servomotorem. Výrobce zaručuje bezúdržbový provoz až do 30000 hodin, což je několiknásobně více, než bude převodovka ve skutečnosti v provozu. Převodovka má jedinou nevýhodu a tou je její poněkud vyšší cena.

Převodový poměr [-]	Max. Mk [Nm]	Účinnost [%]	Hmotnost [kg]	Vůle [']
32	120	94	2,6	max 14

Tab. 10. Parametry převodovky [14]

Důvody výběru

- kompaktní rozměry
- dlouhá bezúdržbová životnost
- vysoká účinnost
- vhodná pro polohovací aplikace
- nízká hmotnost
- jednoduchá montáž

Výpočet doby sklopení

Zdvih šroubu Z=520mm

$$t_s = \frac{Z \cdot i}{P \cdot n_s} = \frac{520 \cdot 32}{5 \cdot 50} = 66,6s \quad (37)$$

t_s ...doba sklopení nosné části

Z...zdvih šroubu

i...převodový poměr převodovky GPLE-80-2S-32 [-]

n_s ...otáčky servomotoru [s^{-1}]

4.8 Stahovací zařízení

Slouží k zasunování a vysunování bočních panelů čímž zvyšuje odolnost konstrukce v extrémních situacích. Rozhodoval jsem se mezi několika způsoby, které blíže popíšu a zmíním se o důvodech právě zvoleného zařízení.

Lanový buben a tažné pružiny

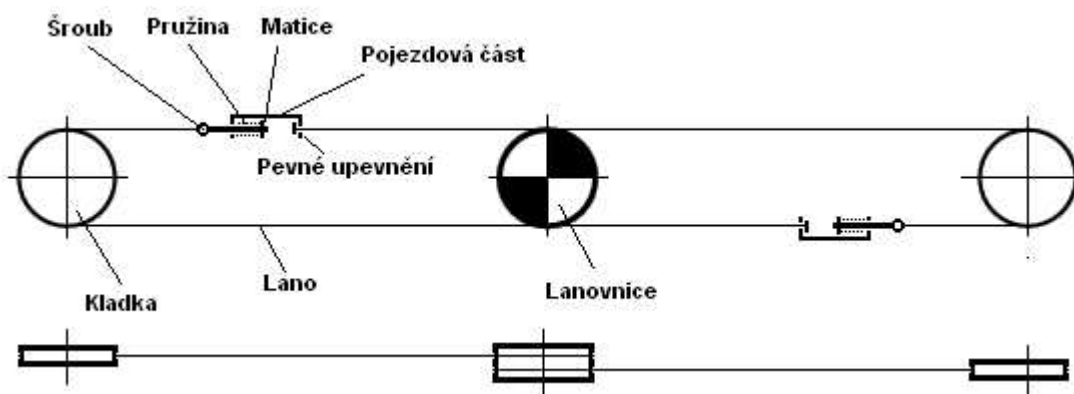
Vysunování probíhá pomocí bubnu, které přes kladku navíjí lano. Zasunování provádí tažné pružiny. Výhodou tohoto způsobu je velmi rychlé zasunutí panelů, například při nárazovém větru. Bohužel pružiny by musely umožňovat natažení přibližně do dvou metrů a jejich průměr by byl přes 100mm s průměrem drátu 6mm. Dále by při zatažení docházelo k velkým rázům a hrozilo by poškození jak zařízení, tak panelů.

Pohybový šroub

Spolehlivé zařízení s dlouhou životností. Bylo by nutné použít více pohonů a délka šroubů by byla přes 3m. Právě z důvodu dlouhých šroubů by jejich otáčení muselo být pomalé a doba zatažení by se tak zvýšila.

Převíjené lano

Rozhodl jsem se pro použití „nekonečného“ lana převíjeného přes lanovnici a kladku. Toto řešení je nejjednodušší možné a navíc umožňuje použít jediný elektromotor pro pohon obou větví. Lana jsem umístil tak, aby nedocházelo k namáhání motoru radiální silou. Materiál lanovnice a kladek volím litinu. Dále volím pro každou větev jedno lano o průměru 4mm, pletené ze 114 drátů. Toto lano jsem zvolil kvůli střední ohebnosti a vysoké únosnosti. Materiál lana je ocel o pevnosti 1770MPa ($F_u=9905N$) [1]. Lano je pevně spojeno s pojezdovou částí, kde je zároveň nastavována napínací síla.



Obr. 31. Schéma stahovacího systému

Výpočet ovládací síly v laně

Lano bude schopno zatáhnout panely i za extrémního větru, proto budu počítat se zatížením větru $q_{vmax}=2500Pa$. Pojezdová část umožňuje upevnění max. $6m^2$ panelů.

$$F_{ol} = q_{vmax} \cdot S_{max} \cdot \mu_p = 2500 \cdot 6 \cdot 0,2 = 3000N \quad (38)$$

F_{ol} ...ovládací síla lana	[N]
q_{vmax} ...maximální zatížení větrem	[Pa]
S_{max} ...maximální plocha panelů na pojezdové části	[m ²]
μ_p ...součinitel tření mezi pojezdem a ramenem	[-]

Výpočet napínací síly

Vycházím ze vzorce pro vláknové tření. Součinitel tření mezi ocelí a litinou je 0,2-0,3 [1]. Volím $\mu_v=0,25$. Napínací sílu budu vyvozovat nástrojovou pružinou.

$$F_{nap} = \frac{F_{ol} \cdot 1,2}{e^{\mu_v \cdot \alpha} - 1} = \frac{3000 \cdot 1,2}{e^{0,25 \cdot \pi} - 1} = 3025N \quad (39)$$

F_{nap} ...napínací síla lana	[N]
e...přirozený základ logaritmu	[-]
μ_v ...součinitel tření mezi lanem a lanovnicí	[-]
α_o ...úhel opásání	[rad]

Kontrola únosnosti lana

$$k_l = \frac{n_l \cdot F_u}{F_{ol} + F_{nap}} = \frac{1 \cdot 9905}{3000 + 3025} = 1,64 \quad (40)$$

k_l ...bezpečnost lana	[-]
n_l ...počet lan	[-]
F_u ...únosnost lana	[N]

Pokud by došlo k přetržení lana, nebyly by nijak ohroženy životy ani majetek, proto je výsledná bezpečnost dostatečná.

Volba elektromotoru

Počítá se pouze s ovládací silou, která působí na středním průměru lanovnice. Střední průměr lanovnice jsem zvolil 120mm.

$$M_{ke} = F_{ol} \cdot \frac{d_s}{2} = 3000 \cdot \frac{120}{2} = 180000\text{Nmm} = 180\text{Nm} \quad (41)$$

M_{ke} ...potřebný kroutící moment elektromotoru [Nm]
 d_s ...střední průměr lanovnice [mm]

Motor pohání obě větve, proto je potřebný moment dvojnásobný. Vzhledem ke ztrátám v čepech kladek a v ohybu lana, navýším potřebný moment elektromotoru o 15%.
 Celkem tedy 414Nm.

Zvolil jsem asynchronní elektromotor společnosti ATB, model AF90L/4D-11. Převodovku volím od firmy Transtecno, model 90L4-60-B5.

Výkon [kW]	Kroutící moment [Nm]	Otáčky [min ⁻¹]
1,5	424	23

Tab. 11. Parametry elektromotoru s převodovkou [15][16]

Zvolený motor splňuje požadavky na kroutící moment. Rozhodoval jsem se zda nepoužít elektromotor s nižším výkonem, nakonec jsem vybral tento především kvůli rychlosti s jakou dojde k zatažení panelů. V případě panelů s největší šířkou 2m dojde k zatažení přibližně za 15s. Na druhou stranu, pokud bychom měli rozsáhlý solární park, bylo by vhodné použít méně výkonných elektromotorů kvůli snížení nároků na elektrické rozvody. Ačkoliv jsem to netestoval, myslím si, že lze použít více motorů od různých výrobců, aniž by došlo k zásahu do konstrukce, byla by pouze potřeba vyrobit konzolu nebo upravit stávající.

4.9 Informační mechanismus

Slouží k připevnění senzorů a bezpečnostních zařízení. Je zkonstruován tak, aby byl při jakémkoliv úhlu naklonění ve vertikální poloze. Původně měl být použit vysoký sloup(snímač rychlosti větru by měl být umístěn výše, než je nejvyšší bod konstrukce), ten by ale neodolal silnému větru.

K tomuto mechanismu lze připojit následující příslušenství

- snímač intenzity slunečního záření
- měřič rychlosti větru

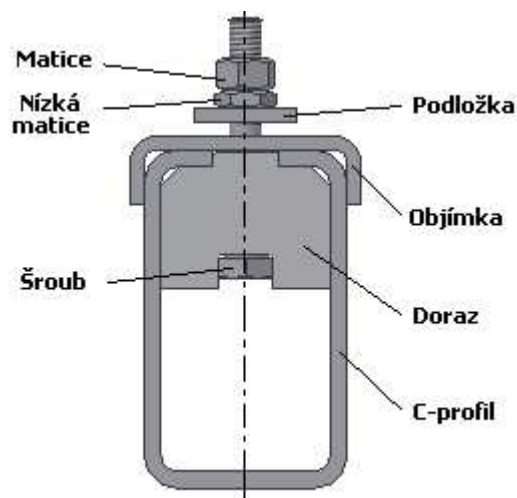
- snímač směru větru
- bezpečnostní světlo
- siréna



Obr. 32. Informační mechanismus (bez příslušenství)

4.10 Upevnění panelů ke konstrukci

Navrhl jsem jednoduché úchyty, které umožňují upnutí libovolných panelů, aniž by bylo nutné použít pomocných technologií např. vrtání. Tyto úchyty se připevní k panelům, poté se zasunou do profilu, pootočí a dotáhnou. Použil jsem šrouby M5 se šestihlannou hlavou, pevnost 8.8.



Obr. 33. Úchyt panelů

5 Závěr

Podářilo se mi navrhnout univerzální polohovací konstrukci, vhodnou pro upevnění až 24m² panelů. Celá konstrukce je snadno přepravitelná a smontovatelná. Je tvořena především z upravených normalizovaných dílů, čímž klesají náklady na výrobu. Při volbě pohonných systémů jsem kladl především důraz na co nejmenší údržbu a na přijatelnou cenu. Jako antikorozi ochranu jsem zvolil zinkování všech částí, které mohou přijít do kontaktu s vodou, u některých míst doporučuji navíc použít antikorozi nátěr. Pro odlišení se od konkurence jsem konstrukci opatřil stahovacím zařízením. Konstrukci je však možno provozovat i bez tohoto zařízení.

Maximální plocha panelů		24m ²
Hmotnost konstrukce		1000 kg
Nosnost konstrukce		400 kg
Rozsah natáčení		0° - 300°
Rozsah naklápění		0° - 70°
Pohon natáčení	motor	krokový
	převodovka	šneková
Pohon naklápění	motor	servomotor
	převodovka	planetová
Pohon stahování	motor	asynchronní
	převodovka	šneková
Materiál konstrukce		pozinkovaná ocel
Provozní podmínky	vítr	max 20m/s(72km/hod)
	okolní teplota	20°C až 50°C

Tab. 12. Parametry konstrukce

6 Seznam použité literatury

- [1] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Třetí doplněné vydání. Úvaly : ALBRA, 2006. 913 s. ISBN 80-7361-033-7
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře : Části spojovací*. Ostrava : VŠB-TU, 2008. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8
- [3] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře : Části pohonů strojů*. Ostrava : VŠB-TU, 2008. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1- Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha : Český normalizační institut, Duben 2007. 129 s
- [5] *Solar energy PCE* [online]. 2010 [cit. 2010-05-19]. Princip fotovoltaiky. Dostupné z WWW: <<http://solar-elektrarna.cz/index.php/princip-fotovoltaiky.html>>
- [6] *SVP solar* [online]. c2010 [cit. 2010-05-19]. Mapa slunečního záření ČR. Dostupné z WWW: <<http://www.panely-solarni.cz/mapa-zareni.htm>>
- [7] *EGE, spol. s r.o.* [online]. c2010 [cit. 2010-05-19]. Solární trackery. Dostupné z WWW: <<http://www.ege.cz/index.php?docid=291><=CZ>
- [8] *ISolar* [online]. c2009 [cit. 2010-05-19]. Polohovací jednotky SunFlex SF40. Dostupné z WWW: <<http://www.isolar.cz/polohovaci-jednotky-pro-solarni-panely-sunflex---sf-40.html>>
- [9] *Phonosolar* [online]. c2010 [cit. 2010-05-19]. Polohovací systémy(Trackery). Dostupné z WWW: <<http://www.phonosolar.cz/velkoobchod/polohovaci-systemy-trackery/>>.
- [10] *Wolko-plast* [online]. C2010 [cit. 2010-05-20]. ZEDEX 100. Dostupné z WWW: <<http://www.wolkoplast.cz/cs/material-zedex/1-zedex-100/>>.

- [11] *AGIP Blasia S* [online]. Praha : AGIP Česká republika-divize olejů, 12.10.2005 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.csmaziva.cz/produktove_listy/prumyslove/AGIP-BLASIA-S.pdf>.
- [12] *Leadshine technology* [online]. c2009 [cit. 2010-05-20]. 863S series. Dostupné z WWW: <http://www.leadshine.com/Show_Product.asp?id=182&Class_Name=863S Series&B_id=1>.
- [13] *Nanotec* [online]. c2010 [cit. 2010-05-20]. Stepper motor - DB87 - Nanotec. Dostupné z WWW: <http://en.nanotec.com/servomotor_db87.html>.
- [14] *Nanotec* [online]. c2010 [cit. 2010-05-20]. Precision GPLE80 planetary gearing . Dostupné z WWW: <http://en.nanotec.com/planetary_gear_gple80.html>.
- [15] *ATB* [online]. 2010 [cit. 2010-05-20]. ATB motor-konfigurator. Dostupné z WWW: <<http://atb.idream.at/v10/datasheet.php?sess=bbfb17dcaa3cea00d6e3e15e02091fc0>>.
- [16] Transtecno. *E_CM_21ott09_Web* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009 [cit. 2010-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.raveo.cz/sites/default/files/transtecno/E_CM_21ott09_Web.pdf>.
- [17] *Pesos-solární produkty* [online]. c2009 [cit. 2010-05-21]. Polohovací jednotky SunFlex. Dostupné z WWW: <<http://www.cz-elektronika.cz/produkty/polohovaci-jednotky-sunflex/>>.
- [18] *Mitcalc* [online]. c2009 [cit. 2010-05-21]. Mechanical, Industrial and Technical Calculations for many CAD systems. Dostupné z WWW: <http://www.mitcalc.com/index_cz.htm>.

7 Seznam příloh

Příloha A – Popis konstrukce SunFlex SF40

Příloha B – Popis konstrukce ST2/8000

Příloha C – Rozložení panelů

Příloha D – Kompletní výpis parametrů ozubení z programu MITcalc

Příloha E – Celkový pohled na konstrukci 1

Příloha F – Celkový pohled na konstrukci 2

Příloha G – Výkres sestavy konstrukce - č.v.: 0-FOU024-10-01.00

Příloha H – Výrobní výkres šroubu – č.v.: 3-FOU024-10-02.01

Příloha I – Výkres svařence pojezdového ramene - č.v.: 3-FOU024-10-03.00

Příloha J – nosič CD s následujícím obsahem:

- bakalářská práce s přílohami
- 3D model konstrukce
- poster