



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

NÁVRH POHONU NATÁČENÍ MONITOROVACÍ PARABOLY

MOTION DRIVE RECORDING OF MONITORING DISHES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL BRADA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK PROKEŠ

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Brada

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Návrh pohonu natáčení monitorovací paraboly

v anglickém jazyce:

Motion drive recording of monitoring dishes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je výběr a návrh pohonné jednotky pro nastavení přesného azimutu a elevace monitorovací paraboly, která je součástí meteorologické stanice.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (Konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Forma bakalářské práce: průvodní zpráva, technická dokumentace

Typ práce: konstrukční

Účel zadání: pro potřeby průmyslu

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E., MISCHKE, Ch. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. Překlad 7. vydání (McGraw Hill 2004), 2008, 1300 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Prokeš

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí pohonné jednotky pro nastavení přesného azimutu a elevace meteorologického radaru. Úvodní část je věnována základnímu popisu funkce meteorologického radaru. Druhá část se zabývá výběrem a návrhem vhodné varianty pohonné jednotky. Poslední část je věnována výpočtu momentových charakteristik užitých motorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Meteorologický radar, pohonná jednotka, krokový motor

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with construction of drive unit for setup accurate azimuth and elevation of weather radar. This thesis is consist of several parts. First part describes function of weather radar. Second part deals with construction of convenient variant of drive unit. The last part is about calculation tortur of used stepper motors.

KEY WORDS

Weather radar, drive unit, stepper motor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRADA, M. *Návrh pohonu natáčení monitorovací paraboly*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Prokeš.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych velmi rád poděkoval všem těm, jenž mi byli podporou při tvorbě mé bakalářské práce, zvláště pak svému vedoucímu Ing. Františku Prokešovi, který mi byl cenným a konstruktivním rádčem. Také bych velmi rád poděkoval svým rodičům, kteří mne podporovali při mém bakalářském studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod odborným dohledem Ing. Františka Prokeše, s využitím uvedené literatury.

V Brně 24. května 2010

.....
Michal Brada

OBSAH

ABSTRAKT	5
KLÍČOVÁ SLOVA	5
ABSTRACT	5
KEY WORDS	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	5
PODĚKOVÁNÍ	7
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	9
OBSAH	11
ÚVOD	12
1 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE	13
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1 Meteorologické radary	14
2.2 Elektrické pohony	15
2.2.1 Rozdělení elektrických pohonů [9]	16
2.2.2 Elektrické pohony s krokovými motory	16
2.2.3 Zařízení pro snímání polohy	16
3 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	18
3.1 Varianta 1	18
3.2 Varianta 2	18
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VARIANTY 2	19
4.1 Konstrukční řešení pohonu elevace	19
4.1.1 Rám pohonu elevace paraboly	19
4.1.2 Uložení hřídele příruby	19
4.1.3 Prvky pro nastavení a snímání elevace paraboly	20
4.2 Konstrukční řešení pohonu nastavení azimutu	21
4.2.1 Uložení plošiny radaru	21
4.2.2 Kroužkový sběrač	22
4.2.3 Pohon	22
5 KONTROLA PARAMETRŮ MOTORŮ	24
5.2 Výpočet potřebného momentu motoru nastavení elevace	24
5.2.1 Výpočet momentu setrvačnosti paraboly a protizávaží	24
5.2.2 Výpočet momentu motoru	24
5.2 Výpočet potřebného momentu motoru nastavení azimutu	25
5.2.1 Výpočet momentu setrvačnosti plošiny	25
5.2.2 Výpočet zrychlení plošiny	25
5.2.3 Výpočet momentu motoru	25
6 ZÁVĚR	27
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	28
8 SEZNAM OBRÁZKŮ	30
9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	31
10 SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH	32

ÚVOD

Lidské počínání bylo vždy úzce spojeno s vývojem počasí na naší planetě. Od samého počátku se tedy lidé snažili predikovat jeho vývoj. Nejprve prostým pozorováním a zkušeností, které si předávali ve formě pranostik. V pozdější době, s rozvojem vědy a techniky, pomocí meteorologických přístrojů.

Dnešní dobu si již nedokáže představit bez detailní předpovědi počasí; mnoho lidských činností je na této předpovědi existenční závislých. Například letecká doprava v podobě, jak ji známe dnes, by bez detailních meteorologických údajů nebyla možná. Kdo by se odvážil nastoupit do letadla, které by mířilo vstříc silné bouřce, která by mohla let vážně ohrozit?

Jedním z podoborů meteorologie je hydrometeorologie. Hydrometeorologie je nauka o srážkách a o koloběhu vody v atmosféře [2]. Zkoumá přenos energie a vody mezi zemí a atmosférou, zabývá se předpovědí výskytů povodní a jinými činnostmi. V České republice se hydrometeorologií, ale i meteorologií všeobecně, zabývá dominantně Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Historie toho ústavu sahá do období První republiky, přesněji [7]. Jedním ze zařízení, které v tomto ústavu využívají, je meteorologický radar. Tento jim slouží k určování intenzity a rozložení srážek v atmosféře a přispívá tak ke zpřesnění vývoje počasí na území naší republiky.

Meteorologický radar, resp. jeho pohonná jednotka, je předmětem této bakalářské práce. Pohonná jednotka slouží na radaru k přesnému nastavení elevace (náklonu) paraboly a nastavení azimutu (natočení) plošiny radaru. Předmětem této práce bude taktéž nastínit funkci meteorologického radaru a vhodně shrnout informace o funkci a konstrukci elektrických pohonů a využít je při konstrukci vlastní varianty pohonné jednotky.



Obr. 1 Meteorologický radar a meteorologická stanice, Slovinsko [15]

1 FORMULACE ŘEŠENÉHO PROBLÉMU A CÍLE PRÁCE

1

Cílem této bakalářské práce je navrhnout vhodnou pohonnou jednotku pro přesné nastavení azimutu a elevace paraboly meteorologického radaru, který je součástí meteorologické stanice. Druhotným cílem této práce je vhodným způsobem shrnout současný stav poznání v oblasti meteorologických radarů.

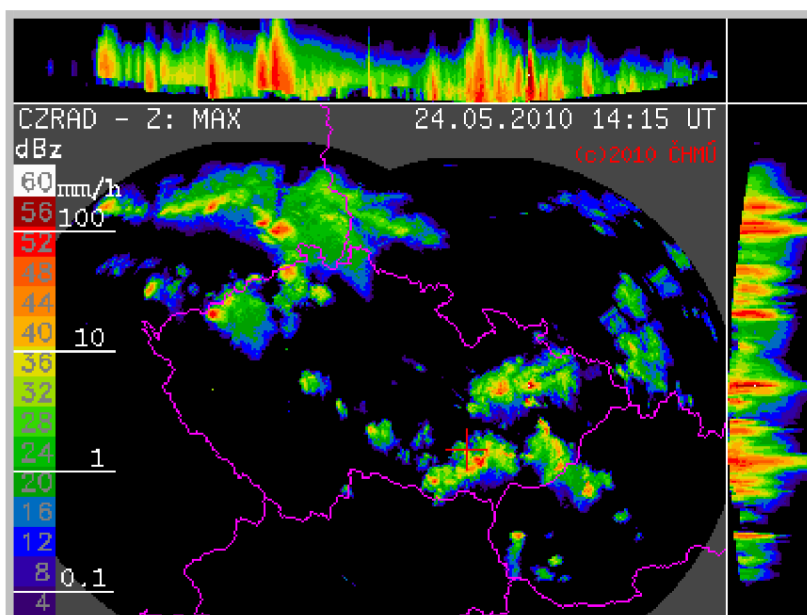
Aby mohla navržená pohonná jednotka plnit svou funkci, byla spolehlivá a měla dlouhou životnost, jsou na ni kladeny především tyto požadavky:

- nastavení azimutu v rozsahu $0-360^\circ \pm 0,6^\circ$
- možnost sektorového snímání/kontinuálního snímání rychlostí otáčení plošiny radaru 3 min^{-1}
- nastavení elevace paraboly v rozsahu $0-91^\circ \pm 0,6^\circ$
- odolnost konstrukce a pohonných zařízení vůči povětrnostním vlivům (déšť, nárazový vítr, prašnost, mráz)
- bezúdržbový provoz

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Meteorologické radary

Meteorologický radar je speciální typ radiolokátoru, neboli radaru, sloužící k určování rozložení a intenzity srážek v části atmosféry nazývané troposféra. Tyto srážky mohou být dešťové, sněhové aj. Díky svému velkému dosahu (dokáží pokrýt kruhovou oblast o poloměru stovek kilometrů), relativně velké přesnosti a rychlosti získání srážkových dat, vhodně doplňují data získaná z meteorologických družic a pozemních stanic. A přispívají tak ke zpřesnění předpovědí počasí pro danou oblast v daném časovém období. Výstupem z meteorologického radaru je mapa, na které je zobrazena intenzita srážek v dané oblasti.



Obr. 2 Mapa s rozložením a intenzitou srážek na území ČR [7]

Princip činnosti tohoto radaru je založen schopnosti výše uvedených typů srážek odrážet radiové vlny. Vysokofrekvenční generátor generuje krátké pulsy s okamžitým výkonem v řádech stovek kilowattů, které jsou usměrněny a vysílány parabolickou anténou. Část z nich se odrazí od meteorologických (srážkové částice) i nemeteorologických cílů (letadla, terénní nerovnosti aj.) a vrátí se zpět k parabole radaru, která je usměrní do vysokofrekvenčního přijímače. Na základě množství přijatého výkonu v čase, nastavení azimutu a elevace, je vypočítána intenzita srážek a jejich rozložení. Intenzita srážek je vypočítána z tzv. radiolokační odrazivosti, kterou lze vypočítat z okamžitého přijatého výkonu. Pro okamžitý přijatý výkon platí tento vztah

$$P_r = P_t \left(\frac{Z}{R^2} \right)$$

kde

- P_r je okamžitý přijatý výkon
 P_1 je konstanta radaru
 Z je radiolokační odrazivost
 R je vzdálenost cíle

Z tohoto vztahu tedy můžeme určit radiolokační odrazivost, ze které poté dalším přepočtem zjistíme intenzitu srážek, která je pro nás podstatná. Tedy

$$Z = a(I)^b$$

kde

- Z je radiolokační odrazivost
 I je intenzita srážek
 a, b jsou experimentálně zjištěné konstanty závislé na parametrech radaru

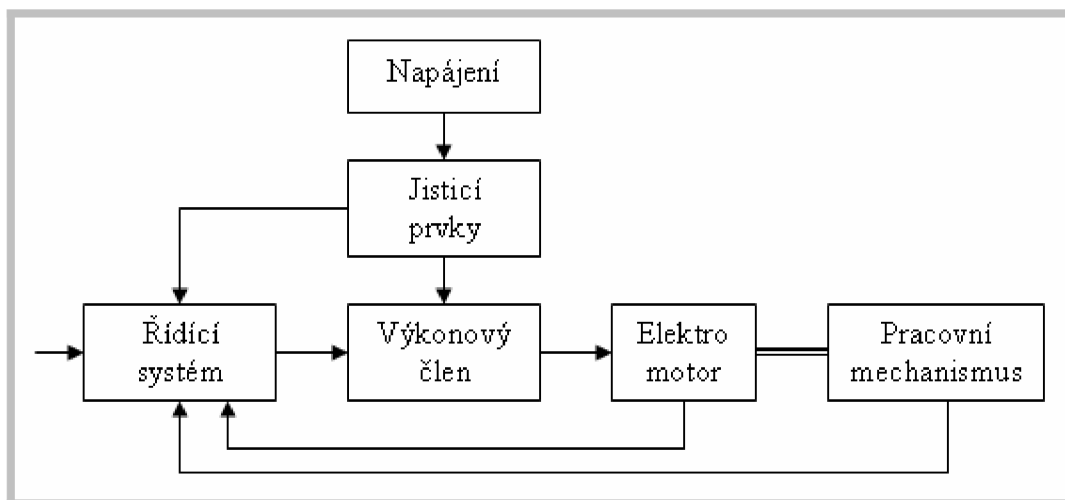
Z výše uvedených vztahů vyplývá, že existuje poměrně propracovaný matematický model rozložení srážek v troposféře.

2.2 Elektrické pohony

2.2

Slovem elektrický pohon označujeme zařízení pro ovlivnění mechanického pohybu [3]. V elektrickém pohonu se tedy přeměňuje jeden druh energie (elektrická energie), na druhý druh energie (mechanická energie). Elektrický pohon je systém složený z několika subsystémů. S napájecí sítí je spojen pomocí *jisticích členů*, které chrání stroj, ale také okolní síť, před přetížením. K jisticím prvkům jsou taktéž připojeny různé odrušovací filtry, které eliminují negativní vlastnosti pohonů.

Hlavní část pohonu tvoří *akční člen*, který je tvořen elektromotorem. Tento je výkonově spínán pomocí *výkonových spínacích členů* (např. frekvenčních měničů u asynchronních strojů) a řízen pomocí *řídícího systému*, který může být tvořen např. programovatelnými automaty a nebo PC.



Obr. 3 Schéma elektrického pohonu

2.2.1 Rozdělení elektrických pohonů [9]

Elektrické pohony dělíme podle mnoha kritérií. Těmi nejdůležitějšími jsou:

- druh pohybu, který pohon vykonává,
- stupeň říditelnosti,
- druh řízení,
- typ elektromotoru
 - stejnoměrný motor
 - asynchronní motor
 - synchronní motor
 - krokový motor

2.2.2 Elektrické pohony s krokovými motory

Krokový motor je takový motor, jehož pohyb není spojitý. Této jeho vlastnosti se využívá u zařízení, které vyžadují nespojitý pohyb vždy o určitý úhel natočení a poté v dané poloze setrvat. Nevýhodou těchto motorů je stálý odběr elektrického proudu (z důvodu setrvání v dané poloze) a nevýhodný poměr výkon/hmotnost, resp. krouticí moment/hmotnost. Dalším omezením je rychlost otáčení, která nebývá vysoká.

Princip činnosti je založen na průchodu elektrického proudu statoru motoru, který je tvořen cívkami, ve kterých vznikne magnetické pole, jež přitáhne magnet rotoru. Cívek je ve statoru několik a vhodným spínáním můžeme dosáhnout jemného otáčení rotoru.



Obr. 4 Stator a rotor krokového motoru

2.2.3 Zařízení pro snímání polohy

Aby mohly elektrické pohony správně plnit svou funkci, potřebuje řídicí systém dostávat informace o momentálním stavu řízeného pohonu. K tomu jsou využívány snímače mechanických a elektrických veličin. Jedna z podstatných mechanických veličin, která nás u pohonu zajímá, je poloha. V případě zařízení s rotačním pohybem mluvíme o tzn. natočení.

Pro snímání natočení se v dnešní době hojně využívají impulsní snímače polohy, ale také snímače na bázi elektromagnetické indukce. V dřívějších dobách to

byly například snímače na principu potenciometrů, u kterých se v závislosti na úhlu natočení mění odpor.

Impulsní snímače pracují na principu přerušování světelného toku mezi zdroje světelného záření a fotocitlivým prvkem. Zdrojem světla bývá LED, fotocitlivým prvkem pak fotodioda a nebo fotoodpor. Přerušování je realizováno pomocí desky s otvory. Poté dochází v závislosti na rotaci prvku k přerušování a vzniku signálu, který je vyhodnocován. Impulsní snímače dělíme do dvou základních skupin:

- inkrementální,
- absolutní.

Výhodou absolutních snímačů je jejich schopnost „pamatovat“ si polohu i po přerušení napájení. Nevýhodou pak vyšší cena, oproti snímačům inkrementálním.

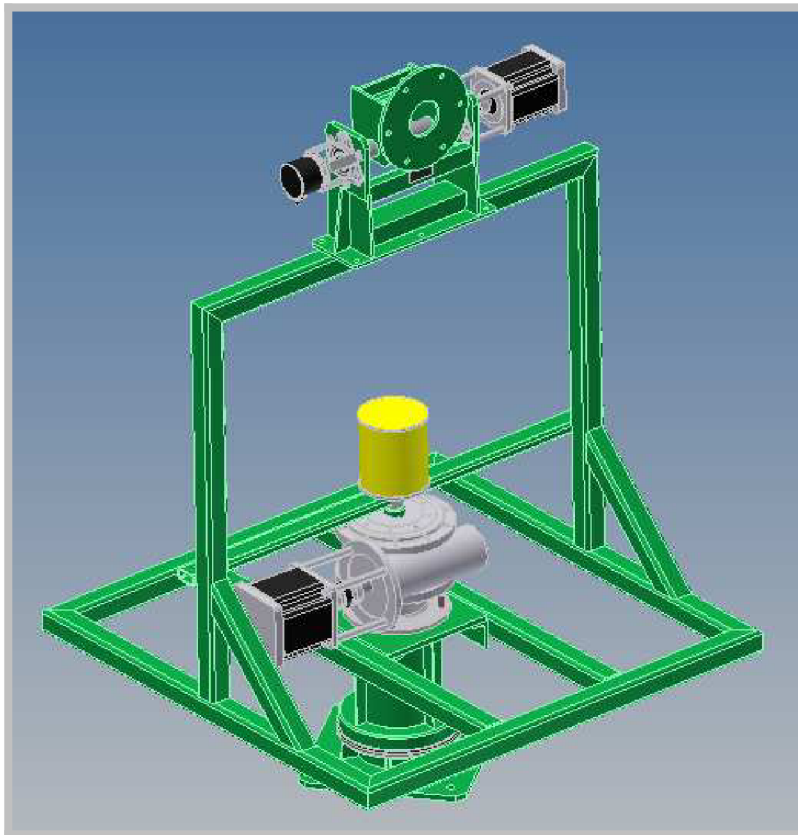
3 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

3.1 Varianta 1

Pro nastavení optimální elevace a azimutu jsou použity převodové motory s třífázovými asynchronními motory. Rychlost a smysl otáčení těchto asynchronních motorů je regulován pomocí frekvenčních měničů, které jsou řízeny pomocí PLC modulů. Pro zjištění azimutu a nastavení elevace paraboly jsou použity absolutní snímače natočení. Nevýhodou této varianty je hmotnost pohonných jednotek, výhodou pak nižší cena.

3.2 Varianta 2

V případě Varianty 2 jsou pro nastavení přesného azimutu a elevace použity krokové motory. Tyto umožňují přesné úhlové nastavení. Řídící jednotka, která je k motorům dodávána, umožňuje u krokových motorů provádět tzv. mikrokrokování a zvýšit tak přesnost nastavení nad požadovanou. Neboť by mohlo u této varianty dojít k tzv. přeskočení kroku, je pohonná jednotka vybavena snímačem natočení. Samozřejmostí této varianty je odolnost vůči povětrnostním vlivům a dlouhá životnost. Tato varianta bude dále více rozebrána. Jednotlivé prvky konstrukce budou detailně popsány.



Obr. 5 Varianta 2

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VARIANTY 2

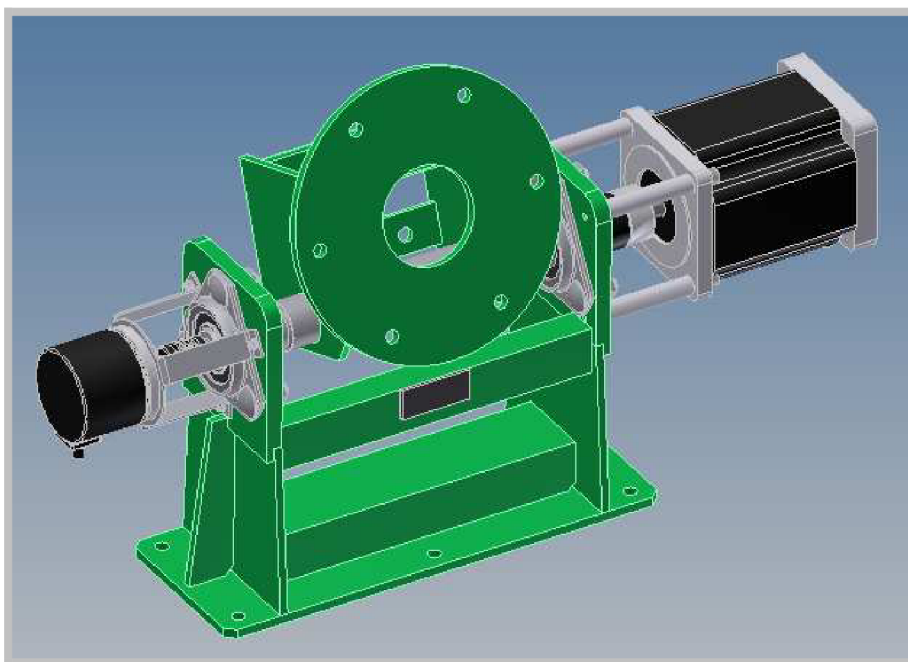
4

Model vybrané varianty byl vytvořen v 3D parametrickém modeláři Autodesk Inventor 2009, který je velmi vhodný pro výukové účely.

4.1 Konstrukční řešení pohonu elevace

4.1

Sestava pohonu elevace je složena z několika částí. Hlavní část tvoří rám, k němuž jsou připevněny domečky ložisek SKF PFD52. K rámu je dále připevněn krokový motor SX34-2570P od společnosti Microcom a absolutní snímač natočení ARC415/12PB.



Obr. 6 Model pohonu elevace

4.1.1 Rám pohonu elevace paraboly

4.1.1

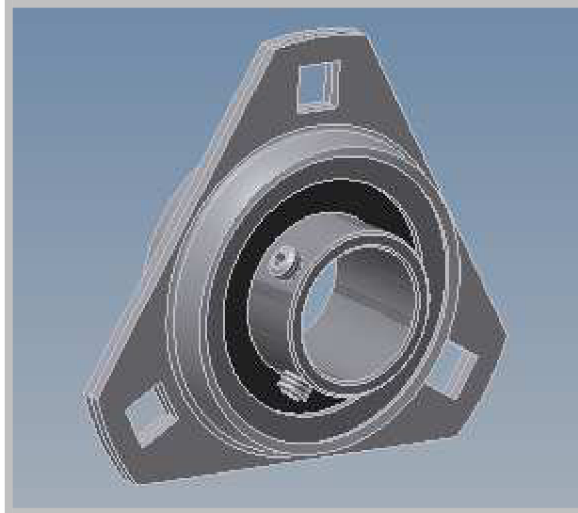
Rám pohonu elevace paraboly je svařen z hutních polotovarů. Konstrukce je záměrně předimenzována – z důvodu zvýšení tuhosti konstrukce. Díky zvýšené tuhosti nedochází k pružným deformacím vlivem působení větru a tepelným deformacím. Spojník mezi přírubami levého a pravého ložiska netvoří jen výztuhu, ale také mechanický doraz příruby paraboly. Proto je opatřen samolepicí pryžovou fólií od společnosti Rubena. Rám je opatřen antikorozním nátěrem COLORLAK Synorex Primer S-2000 a vrchní barvou COLORLAK Univerzal SU2012 (zelená pastelová).

4.1.2 Uložení hřídele příruby

4.1.2

K uložení hřídele příruby jsou použity přírubové ložiskové jednotky od společnosti SKF. Tyto jsou vyrobeny z lisovaného plechu, který je opatřen antikorozní úpravou, do něhož jsou vloženy ložiska YAR 205-2RF. Ložiska jsou opatřena krytem s těsněním a vyplněny plastickým mazivem SKF LGMT2, u kterého výrobce garantuje

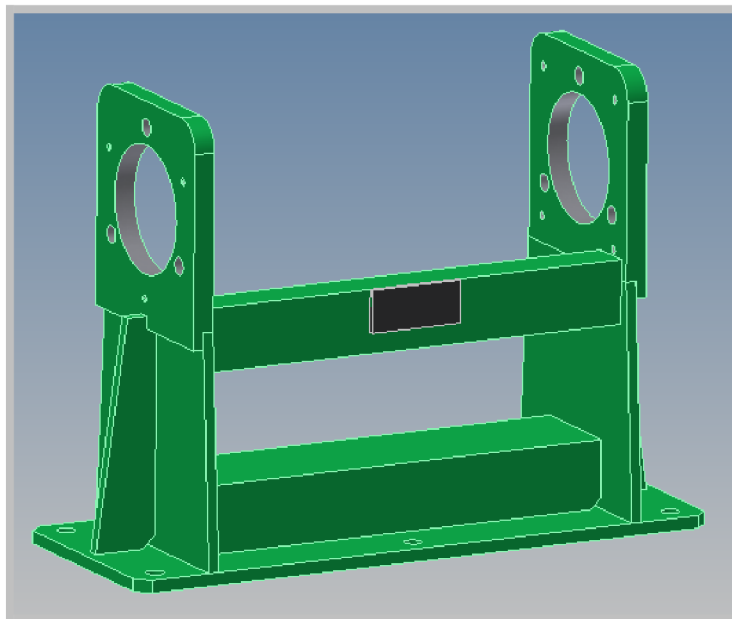
životnost po celou dobu životnosti ložiska. Rozsah pracovních teplot pro toto ložisko je -50 °C až $+140\text{ °C}$ [10]. Splňuje tedy podmínku odolnosti vůči sníženým teplotám. Z pevnostního hlediska je ložisko naddimenzováno. Toto je dáno konstrukčním uspořádáním.



Obr. 7 Ložisko uložení hřídele příruby

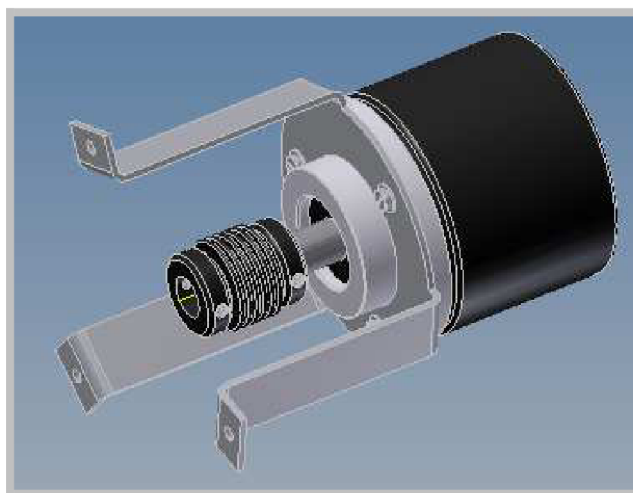
4.1.3 Prvky pro nastavení a snímání elevace paraboly

Pro nastavení přesné elevace je použit krokový motor SX34-2570P od společnosti Microcom, s.r.o., který, s dodávanou řídicí jednotkou, umožňuje dosáhnout až 3200 mikrokroků na otočku, s přesností $\pm 0,1\text{ °}$ [11]. Tato přesnost je dostačující. Aby nedocházelo k „přeskakování“ nastaveného úhlu, byl zvolen krokový motor s momentem vyšším, než je potřebný. Hřídel krokového motoru je opatřen těsněním, které dovoluje provoz v prašném a vlhkém prostředí.



Obr. 8 Svařenec rámu pohonu elevace

Ke snímání natočení paraboly je použit absolutní snímač ARC415/12PB od společnosti Larm, a.s. [12]. Výhodnou absolutního snímače natočení je schopnost „pamatovat“ si natočení i po přerušení dodávek elektrického proudu. Snímač je taktéž opatřen ochranou proti působení povětrnostních vlivů. Mezi hřídelem snímače a nosným hřídelem je vložen pružný distanční člen, který kompenzuje případné nesouososti.



Obr. 9 Absolutní snímač natočení

4.2 Konstrukční řešení pohonu nastavení azimutu

4.2

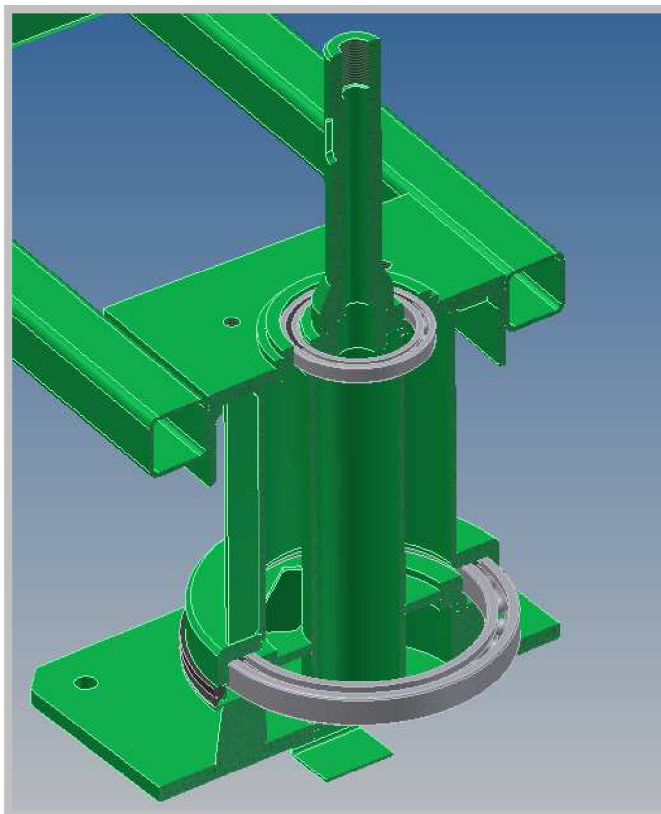
Pohon pro nastavení přesné elevace je součástí většího konstrukčního celku, který je reprezentován plošinou radaru. K této plošině je připevněno uložení, dále pak pohonná jednotka, sběrač elektrického proudu, pohon nastavení elevace. V případě kompletního návrhu meteorologického radaru, by zde byla umístěna i řídicí elektronika.

4.2.1 Uložení plošiny radaru

4.2.1

Uložení plošiny radaru je realizováno pomocí trubkové konstrukce, ve které jsou umístěna kuličková ložiska od společnosti SKF. Spodní ložisko SKF 61828-2RZ [14] přenáší axiální sílu, která je vyvozena působením gravitačního zrychlení na konstrukci plošiny. Horní ložisko SKF 61813-2RZ slouží ke stabilizaci plošiny a k přenášení radiální síly, která vzniká působením větru. Obě tato ložiska jsou opatřena krytem s těsněním a vyplněny stejným plastickým mazivem, jako ložiska uložení pohonu nastavení elevace (viz kapitola 4.1.2).

Ložiska není potřeba kontrolovat vzhledem k dynamické únosnosti, neboť pohyb, který vykonávají, neprobíhá kontinuálně a probíhá při velmi nízkých rychlostech. Kontrola jejich statické únosnosti taktéž není potřeba, neboť jsou naddimenzována z konstrukčních důvodů.



Obr. 10 Uložení plošiny radaru

Základna uložená je opatřena otvory pro přišroubování k betonovým základům. Hlavním prvkem je zde dutý hřídel, který prochází třífázový vodič napájení ke kroužkovému sběrači.

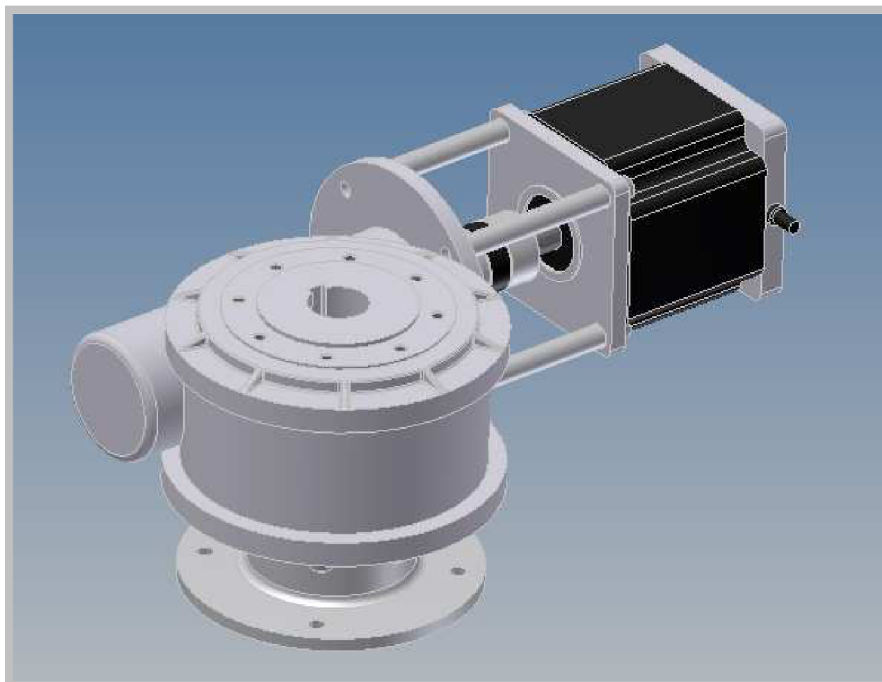
4.2.2 Kroužkový sběrač

Neboť se jedná o točivou konstrukci, která je napájena externím zdroje elektrického napětí, je potřeba do ní přivést elektrický proud. Toto je zrealizováno pomocí kroužkového sběrače od společnosti ALFO. Vybraný sběrač disponuje 5 sběracími elementy pro zapojení třífázového vodiče.

4.2.3 Pohon

K pohonu je užita kombinace krokového motoru od společnosti Micronet a šnekové převodovky od společnosti TOS Znojmo. Tato kombinace je použita ze dvou důvodů:

- díky šnekovému převodu není potřeba krokový motor s tak velkým kroutícím momentem
- šneková převodovka je samosvorná a proto zabraňuje „přeskočení“ krokového motoru například při působení větru.



Obr. 11 Pohonná jednotka pro nastavení azimutu

5 KONTROLA PARAMETRŮ MOTORŮ

5.2 Výpočet potřebného momentu motoru nastavení elevace

5.2.1 Výpočet momentu setrvačnosti paraboly a protizávaží

Neboť neznáme přesnou geometrii paraboly, která bude umístěna na radaru, budeme ji při výpočtu momentu setrvačnosti považovat za hmotný bod na rameni. Pro vyvážení paraboly je použito protizávaží, které taktéž bude považováno za hmotný bod.

Dáno: $m_p = 15 \text{ kg}$
 $m_z = 15 \text{ kg}$
 $R_p = 0,3 \text{ m}$
 $R_z = 0,3 \text{ m}$

$$I_{s1} = m_p R_p^2 + m_z R_z^2 = 15 \text{ kg} \cdot (0,3 \text{ m})^2 + 15 \text{ kg} \cdot (0,3 \text{ m})^2 = 2,7 \text{ kgm}^2$$

Kde: I_{s1} [kgm²] moment setrvačnosti paraboly a protizávaží
 m_p [kg] hmotnost paraboly
 m_z [kg] hmotnost protizávaží
 R_p [m] rameno hmotnosti paraboly
 R_z [m] rameno hmotnosti protizávaží

5.2.2 Výpočet momentu motoru

Moment motoru musí být dostatečný k překonání nejen setrvačných sil, ale také k překonání ztrát v ložiscích a momentu vyvolaného působením větru.

Dáno: $I_{s1} = 2,7 \text{ kgm}^2$
 $\Delta\eta = 0,02$
 $\alpha_{s1} = 1 \text{ rads}^{-2}$
 $k_v = 0,5$

$$M_1 = I_{s1} \alpha_{s1} (1 + \Delta\eta + k_v) = 2,7 \text{ kgm}^2 \cdot 1 \text{ rads}^{-2} \cdot (1 + 0,02 + 0,5) = 4,104 \text{ Nm}$$

Kde: I_{s1} [kgm²] moment setrvačnosti paraboly a protizávaží
 $\Delta\eta$ [1] ztráty v ložiscích
 k_v [1] koeficient zohledňující vliv větru
 M_1 [N·m] požadovaný minimální moment motoru paraboly

Zvolený krokový motor SX34-2570P dosahuje momentu až 7 Nm [12], což je více než požadovaných 4,1 Nm. Motor byl tedy zvolen správně.

5.2 Výpočet potřebného momentu motoru nastavení azimutu

5.2

5.2.1 Výpočet momentu setrvačnosti plošiny

5.2.1

Plošina radaru má čtvercový půdorys, hmotu na plošině považujeme za rovnoměrně rozloženou.

Dáno: $m_v = 100 \text{ kg}$
 $m_s = 92 \text{ kg}$
 $x = 1 \text{ m}$

$$I_{s2} = (m_v + m_s) a^2 = (100 \text{ kg} + 92 \text{ kg}) \cdot (1 \text{ m})^2 = 192 \text{ kgm}^2$$

Kde: I_{s2} [kgm²] moment setrvačnosti plošiny
 m_v [kg] hmotnost pohonů a elektrických zařízení
 m_s [kg] hmotnost svařované konstrukce, zjištěno z modelu
 x [m] délka strany plošiny, zjištěno z modelu

5.2.2 Výpočet zrychlení plošiny

5.2.2

Dáno: $n_p = 3 \text{ min}^{-1}$
 $\Delta t = 0,25 \text{ s}$

$$\alpha_2 = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega_p - 0}{\Delta t} = \frac{2\pi n_p}{60 \Delta t} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 3 \text{ min}^{-1}}{60 \cdot 0,25 \text{ s}} = 1,25 \text{ rads}^{-2}$$

Kde: α_{s2} [rads⁻²] úhlové zrychlení plošiny
 Δt [s] doba urychlování plošiny (tato hodnota je volena)
 ω_p [rads⁻¹] úhlová rychlost plošiny
 n_p [min⁻¹] počet otáček plošiny

5.2.3 Výpočet momentu motoru

5.2.3

Moment motoru musí být dostatečný k překonání nejen setrvačných sil, ale také k překonání ztrát v ložiscích a ztrát ve šnekové převodovce. A taktéž musí být dostatečný k překonání momentu větru.

Dáno: $I_{s2} = 192 \text{ kgm}^2$
 $\Delta \eta = 0,02$
 $\Delta \eta_s = 0,44$
 $k_v = 0,5$
 $\alpha_{s2} = 1,25 \text{ rads}^{-2}$
 $u_2 = 30$

$$M_2 = \frac{I_{s2}}{u_2} \alpha_2 (1 + \Delta\eta + \Delta\eta_s + k_v) =$$
$$= \frac{192 \text{kgm}^2}{30} \cdot 1,25 \text{rads}^{-2} \cdot (1 + 0,02 + 0,44 + 0,5) = 15 \text{Nm}$$

Kde:	I_{s2}	[kgm ²]	moment setrvačnosti plošiny
	$\Delta\eta$	[1]	ztráty v ložiskách
	$\Delta\eta_s$	[1]	ztráty ve šnekové převodovce
	k_v	[1]	koeficient zohledňující vliv větru
	α_{s2}	[rads ⁻²]	úhlové zrychlení plošiny
	u_2	[1]	převodový poměr šnekové převodovky
	M_2	[Nm]	požadovaný minimální moment motoru plošiny

Zvolený krokový motor SX42-6525P dosahuje momentu až 25 Nm [12], což je více než požadovaných 15 Nm. Motor byl tedy zvolen správně.

6 ZÁVĚR

Předmětem této práce bylo navrhnout vhodnou pohonnou jednotku, která by splňovala všechny vstupní kritéria. Kromě funkčních kritérií, to bylo taktéž kritérium spolehlivosti zařízení v nepříznivých klimatických podmínkách. Tohoto cíle bylo dosaženo vybráním prvků, jenž jsou odolné vůči působení vlhkosti, prašnosti aj. Řešení bylo vytvoření s pomocí znalostí, které jsou uvedeny v řešební části tohoto bakalářského projektu, a které shrnují současný stav poznání v oblastech konstrukce pohonů a jejich řízení.

Jak již bylo uvedeno výše, vytvořená konstrukce představuje jednu z možných variant řešení. Produkce meteorologických radarů probíhá v kusových (popř. malosériových) sériích, proto je každý radar unikátní.

Meteorologické radary budou hrát vždy nenahraditelnou roli na poli předpovědi počasí, protože dokáží s poměrně velkou přesností určit míru srážek v atmosféře. Při využití s výkonnými výpočetními jednotkami a komplexním softwarem předpovídají a budou předpovídat vývoj například povodní, které páchají nesmírné škody na majetku a zdraví.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HAMMER, Miloš. *Elektrotechnika a elektronika : Přednášky*. Vyd. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 134 s. ISBN 80-214-3334-5
- [2] KRAUS, Jiří. *Nový akademický slovník cizích slov*. Vyd. 1. Praha : Academia, 2005. 879 s. ISBN 80-200-1351-2
- [3] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fyzika : Mechanika*. Brno : VUITUM, 2006. 328 s
- [4] SHIGLEY, J. E., MISCHKE, Ch. R., BUDYNAS, R. G. *Konstruování strojních součástí*. Překlad 7. vydání (McGraw Hill 2004), 2008, 1300 s.
- [5] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, PROKEŠ, František. *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. 203 s. ISBN: 80-7204-535-8
- [6] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Vyd. 1. Úvaly : ALBRA, 2003. 866 s. ISBN 80-86490-74-2
- [7] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2009-12-08 [cit. 2010-05-15]. Historie ústavu. Dostupné z WWW: <<http://www.chmi.cz/info/hist.html>>
- [8] KRÁČMAR, Jan. ČHMÚ : Oddělení radarových měření [online]. 27. 11. 2002 [cit. 2010-05-20]. Meteorologické radiolokátory. Dostupné z WWW: <<http://www.chmi.cz/meteo/rad/index.html>>
- [9] JON, Václav. *Elektrický pohon zkušebního pracoviště* [online]. Brno : Vysoké učení technické, 2008. 60 s. Bakalářská práce. VUT v Brně, FEKT. Dostupné z WWW: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=10468>
- [10] SKF – LGMT2 Datasheet. [online] [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <http://www.mapro.skf.com/pub/pds/LGMT2_datasheet_e.pdf>
- [11] Microcom, s.r.o. – Hybridní dvoufázové krokové motory řady SX. [online] [cit. 2010-05-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.microcon.cz/pdf2009/13-19.pdf>>
- [12] Larm, a.s. – Absolutní rotační snímače. [online] [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.larm.cz/CZ/katalogy/snimace/ABSOLUTNI%20SNIMACE%20ARC4xx.pdf>>

- [13] Larm, a.s. – Absolutní rotační snímače. [online] [cit. 2010-05-05]. Dostupné z WWW:
<<http://www.larm.cz/CZ/katalogy/snimace/ABSOLUTNI%20SNIMACE%20ARC4xx.pdf>>
- [14] SKF – Kuličková ložiska. [online] [cit. 2010-05-05]. Dostupné z WWW:
<<http://www.skf.com/files/515051.pdf>>

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Meteorologický radar a meteorologická stanice, Slovinsko	12
Obr. 2 Mapa s rozložením a intenzitou srážek na území ČR	14
Obr. 3 Schéma elektrického pohonu	15
Obr. 4 Stator a rotor krokového motoru	16
Obr. 5 Varianta 2	18
Obr. 6 Model pohonu elevace	19
Obr. 7 Ložisko uložení hřídele příruby	20
Obr. 8 Svařenec rámu pohonu elevace	20
Obr. 9 Absolutní snímač natočení	21
Obr. 10 Uložení plošiny radaru	22
Obr. 11 Pohonná jednotka pro nastavení azimutu	23

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

α_{s1}	[rads ⁻²]	úhlové zrychlení paraboly
α_{s2}	[rads ⁻²]	úhlové zrychlení plošiny
$\Delta\eta$	[1]	ztráty v ložiskách
$\Delta\eta_s$	[1]	ztráty ve šnekové převodovce
Δt	[s]	doba urychlování plošiny
ω_p	[rads ⁻¹]	úhlová rychlost plošiny
I_{s1}	[kgm ²]	moment setrvačnosti paraboly a protizávaží
I_{s2}	[kgm ²]	moment setrvačnosti plošiny
k_v	[1]	koefficient zohledňující vliv větru
M_1	[N·m]	požadovaný minimální moment motoru paraboly
M_2	[Nm]	požadovaný minimální moment motoru plošiny
m_p	[kg]	hmotnost paraboly
m_s	[kg]	hmotnost svařované konstrukce
m_v	[kg]	hmotnost pohonů a elektrických zařízení
m_z	[kg]	hmotnost protizávaží
n_p	[min ⁻¹]	počet otáček plošiny
R_p	[m]	rameno hmotnosti paraboly
R_z	[m]	rameno hmotnosti protizávaží
u_2	[1]	převodový poměr šnekové převodovky
x	[m]	délka strany plošiny

10 SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH

2-A3-1/00 METEO RADAR
2-A3-1/01 POHON ELEVACE

Výkres sestavy
Výkres sestavy