

# EME parabola pro pásmo 1296MHz

## OK1UGA a OK1CU

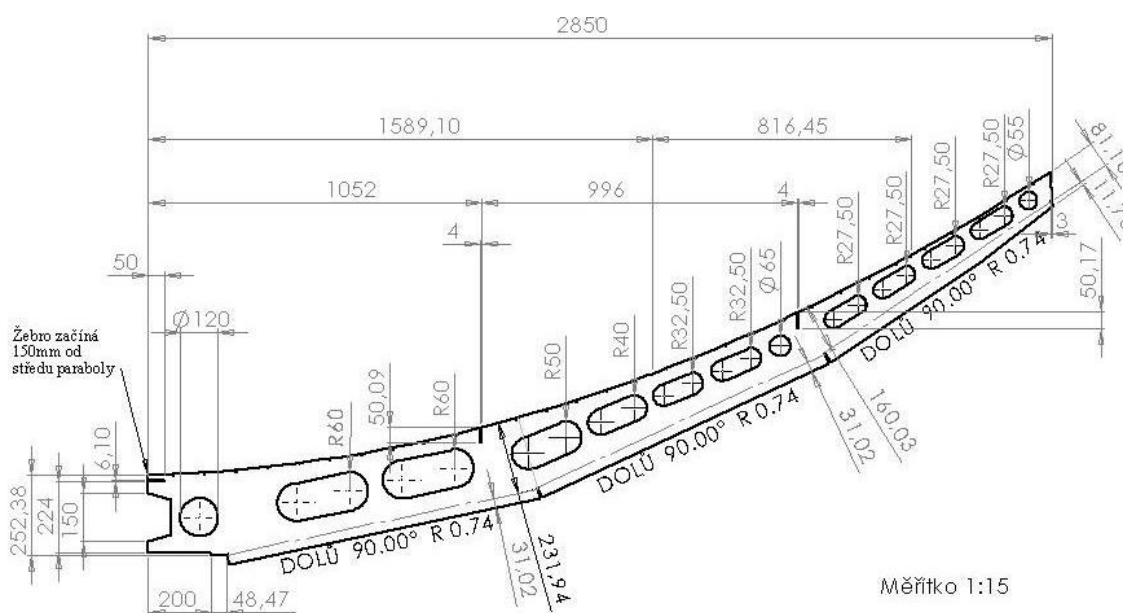
Se Slávkem OK1CU již řadu let provozujeme EME v pásmu 144MHz. V roce 2017 Slávek přišel s myšlenkou že by to chtělo něco nového. Po delších debatách jsme se shodli že se pustíme do stavby EME pracoviště pro pásmo 23cm. Začal jsem zjišťovat možnosti a rozhlížel se po internetu abych viděl jak to dělají jiní. Dohodli jsme se, že je v našich možnostech postavit parabolu o průměru 6m. Původně jsme uvažovali o offsetové anténě, už jsem měl zrcadlo zčásti namalované. Nakonec jsme se ale zalekli nevyzkoušené konstrukce a rozhodli se pro středovou parabolu.

### Konstrukce paraboly:

Nejprve bylo nutné stanovit parametry paraboly. Protože jsem chtěl použít Septum feed podle Zdeňka OK1DFC zvolil jsem  $F/D = 0,39$ . Pro výpočet profilu žebér jsem použil jednoduchý prográmeček Parabola.exe.

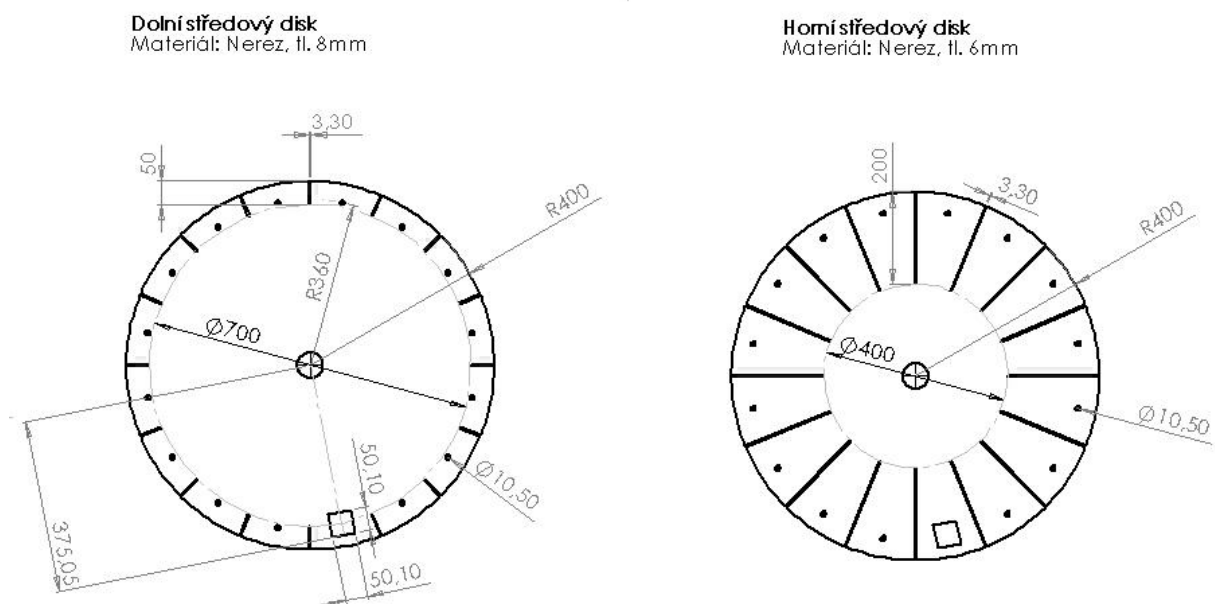
Ten je ke stažení např tady : <https://parabola-calculator.software.informer.com/2.0/>

Pak jsem pro jistotu profil vypočítaný tímto programem ověřil ručním výpočtem a hodnoty souhlasily, takže jsem se mohl pustit do malování výkresové dokumentace. Nejprve jsme ale museli udělat zásadní rozhodnutí jak vyrobit žebra. Obvykle se vyrábí z jeklů naohýbaných a svařených ve formě. Mě se ale zalíbila konstrukce OK3RM který pro své paraboly použil žebra vypálena na laseru. Tím je zajištěna dokonalá přesnost profilu paraboly. Dohodli jsme se se Slávkem že se necháme inspirovat touto konstrukcí. Další rozhodnutí které padlo bylo to, že celou parabolu nebudeme montovat ale svaříme ji do jednoho kompaktního celku což výrazně zvýší tuhost celé paraboly.

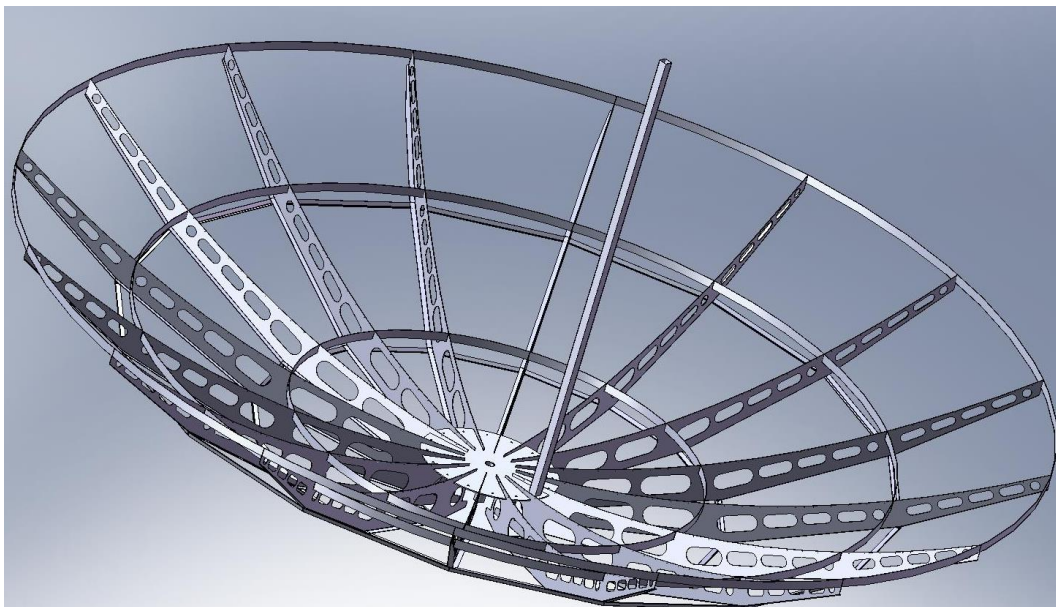


Na obrázku je vidět ideový výkres žebra. Míry profilu paraboly nejsou pro přehlednost uvedeny, do laseru šel přímo výkres žebra ve formátu DXF. Protože se tabule nerezového plechu vyrábějí v délce 3m bylo nutné žebro rozdělit na 2 části které se potom svařily dohromady. Žebra jsme vypálili z nerezového plechu tloušťky 3mm.

Jednotlivá žebra se potom nastrkají do zářezů ve středovém kotouči se kterým se provaří do kompaktního celku. Pro zvýšení tuhosti žeber je spodní část protažená do oušek ohnutých o 90°. Po ohnutí se zářezy v ouškách provaří a tak po celé délce žebra vznikne kompaktní 3cm široký ohyb. Střed paraboly tvoří 2 kotouče spojené dohromady středovou trubkou která má na okrajích vytočená osazení která přesně vymezují vzdálenost kotoučů od sebe. Celé je to svařené do jednoho celku. Kotouče jsou vypálené z nerezového plechu. V kotoučích jsou vypálené zářezy do kterých zapadají jednotlivá žebra. Tak se celá parabola sestaví jako stavebnice a nakonec se provaří dohromady.

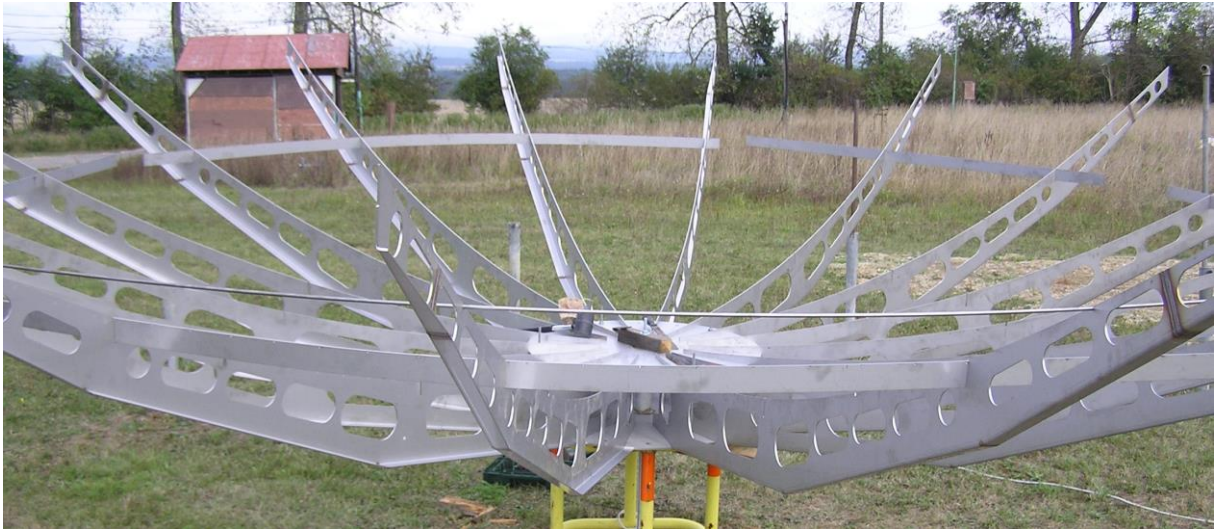


Jak se to celé bude sestavovat dohromady vidíme na sestavě z CADu:



Nesmírně důležité jsou 3 kruhové pásy nasunuté do zářezů v žebrech. Ty zásadním způsobem celou konstrukci zpevní. Navíc jsou ze spodní strany přivařené další zpevňovací pásy. Když se to celé sestaví a svaří dohromady vznikne nesmírně tuhá konstrukce celé paraboly se kterou nehne ani nejsilnější vítr. Do čtvercového otvoru ve středovém disku se nasune nerezový jekl který ponese ozařovač.

Jak jsme sestavovali parabolu:



Parabolu nám svařil Slávkův kamarád který měl k dispozici kvalitní svářečku s TIGem.



Protože jsme parabolu svařeli venku obávali jsme se že nám bude při svaření vítr odfukovat argon. Proto jsme kolem paraboly vytvořili zástěny které měly parabolu před větrem

ochránit. Nakonec jsme ale měli štěstí a během sváření bylo naprosté bezvětří, takže podmínky byly ideální.



Tím jsme měli hotové těleso paraboly. To bylo nutné vyplést pletivem. Použili jsme pozinkované pletivo na voliéry s oky 10x10mm. Lepší by bylo pletivo nerezové, ale dalších cca 30 000kč už by byl takový výdaj že jsme couvli a pořídili pletivo pozinkované. Pletivo se vyrábí v maximální šířce 1m, ale konce žeber jsou od sebe vzdálené víc než 1m. Proto jsme pletivo nastříhali tak, že vznikaly vždy mezi 2ma segmenty prázdné trojúhelníčky, které jsme potom vyplnili trojúhelníkovými odstřížky pletiva.



Parabola po zvednutí na stožár:



### **Konstrukce stožáru a systému otáčení:**

Původně jsme chtěli kopírovat konstrukci Marka OK2DL. Pak se mi ale podařilo získat masivní převodovky vhodné pro azimut i elevaci a tak jsem celou konstrukci přehodnotil. Převodovka nemohla být na špičce stožáru protože by ji boční síly patrně rozlomily. Proto jsem vymyslel konstrukci kdy je převodovka azimutu umístěna u paty stožáru a otočná trubka na které nese parabolu je umístěna mimo střed stožáru. Nad převodovkou je ocelová plotna která nese mohutné patní ložisko a na vrcholku stožáru je axiální kluzné ložisko které vede otočnou trubku a zachycuje boční síly. Na vrcholku otočné trubky je přivařená příčná trubka na kterou se nasadí sklopný systém zajišťující elevaci. Dlouho jsem si lámal hlavu nad tím jak udělat elevační rotátor s převodovkou která nemá průchozí díru. Nakonec mě napadla spásná

myšlenka že vlastně může stát hřídel a otáčet se těleso převodovky. Při takovém uspořádání jsem mohl upevnit převodovku na bok sklopného mechanismu. Hřídel převodovky je pevně spojen s příčnou trubkou a těleso převodovky se sklopným mechanismem. Stožár je vyroben



z masivního I profilu. Spřátelený statik se kterým jsme konstrukci stožáru konzultovali nám poradil abychom dovnitř I profilu navařili ještě vyztužovací příčky. To má zvýšit pevnost stožáru v krutu. V patě a na vrcholu stožáru jsou přivařené čtvercové desky s otvory pro šrouby a řada trojúhelníkových výztuh.

Spodní deskou je stožár přišroubován k fundamentu v zemi který je zalitý betonem. Pokud si dobře pamatuji je pod parabolou asi 6 kubíků betonu.



V horní desce je přivařený ocelový kroužek který tvoří horní axiální ložisko ve kterém se otáčí nosná trubka. Toto ložisko zachycuje boční síly vzniklé působením větru která se opře do paraboly.

Otočná trubka dole sedí na mohutném patním kuličkovém ložisku které zachycuje váhu celého otočného systému včetně paraboly. S převodovkou je otočná trubka spojena masivní třecí spojkou vyrobené z podélně rozříznuté trubky. Patní ložisko a převodovka jsou usazeny na mohutných ocelových plotnách přivařených ke stožáru.

Sklopný mechanismus tvoří kostka posvářená z U profilů. Na čele mechanismu je přivařena deska ke které se přišroubuje parabola.



Na bocích elevační kostky jsou přišroubované ložiskové domky. V nich jsou mohutná válečková ložiska. Těmi procházejí čepy zasunuté dovnitř příčné trubky se kterou jsou sešroubované dlouhými pevnostními šrouby. Tyto čepy nesou celou váhu systému a zachytávají i veškeré boční síly. Na jedné straně je k čepu přivařena příruba pro spojení s hřídelí převodovky, na druhé je v čepu závit pro osu pružné spojky na čidlo elevace.

Do prostředních zadních U profilů se pak přišroubovala ramena protiváhy. Na koncích ramen protiváhy je zátěž cca 60kg která vyvažuje váhu paraboly. Díky tomu lze elevaci otáčet velmi malou silou.

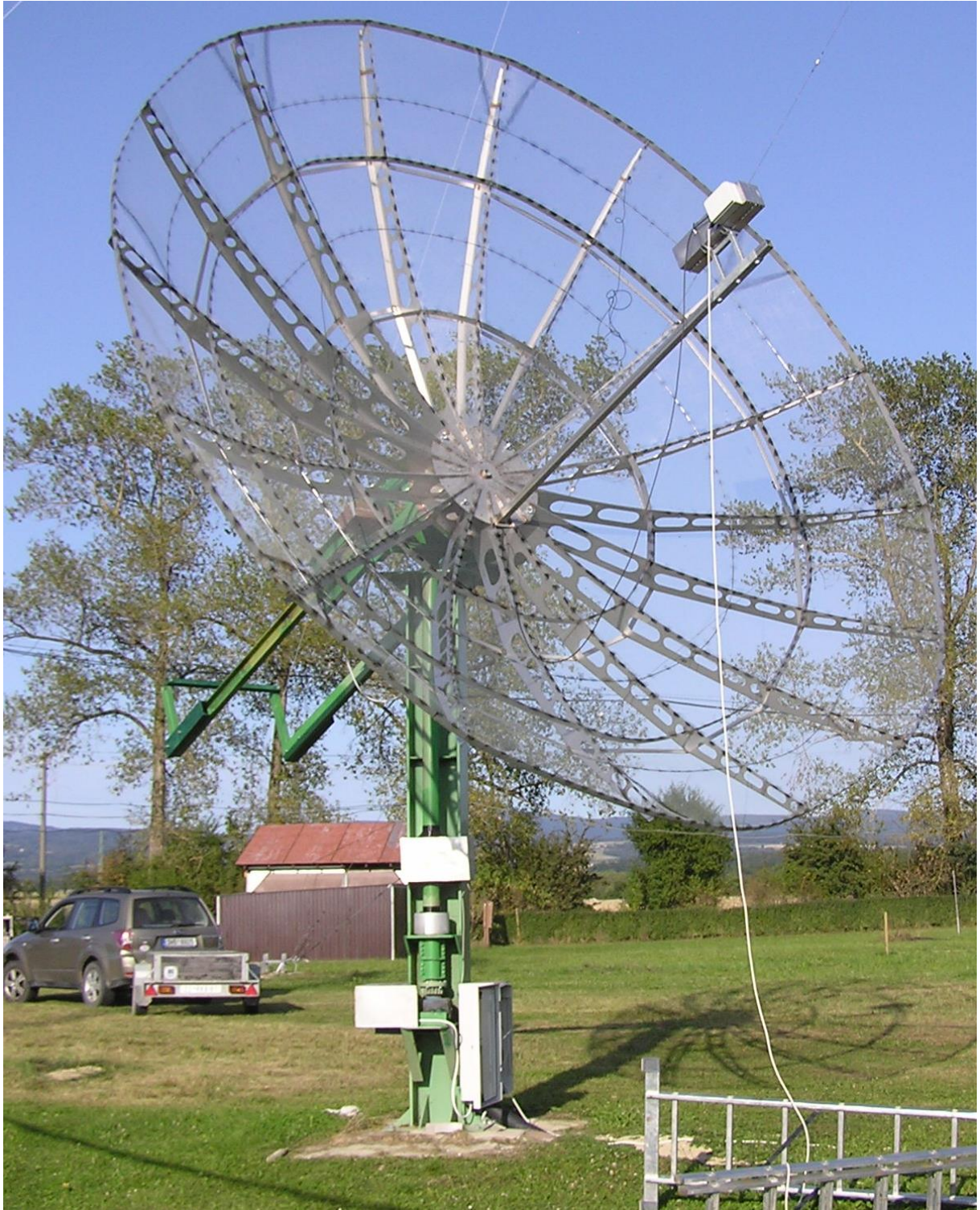


Pro otáčení systému v azimutu i elevaci používám stejnosměrné motorky pouhých 60W. Použil jsem 60W stejnosměrné motorky na 24V se šnekovou převodovkou. Tyto motorky lze za přijatelné ceny koupit na e-bay nebo Aliexpressu. K motorkům jsou připojeny šnekové převodovky, které dále redukuje otáčky. Výstup této převodovky je přes pružnou spojku spojen s výstupní masivní šnekovou převodovkou která již otáčí azimutem

nebo elevací. Otáčka v azimutu o 360° trvá řádově 15 minut, otočení elevace o 90° asi 7 minut. Na obrázku vidíme mechanické provedení převodu azimutu. Malá převodovka je přišroubovaná k nosnému U profilu přivařenému ke stožáru. Motor je k malé převodovce připojen přes mezikus vytištěný na 3D tiskárně. Uvnitř je hřídelka která spojuje výstup z motoru s malou převodovkou. Převod elevace je řešen velmi podobně.

Bohužel až po montáži jsem zjistil že vůle v hlavních převodovkách je cca 2°. Při otáčení rukou se zdálo že tam je vůle minimální. Toto zjištění mě docela vyděsilo, ale nakonec se ukázalo že to v praxi skoro vůbec nevádí. Celá sestava má značnou setrvačnost a v klidu má tendenci ustálit se ve středové poloze vůle. I při poryvech větru díky setrvačnosti systému motory stíhají odchylky natočení vyrovnávat takže jsem v provozu nepozoroval výpadky síly signálu. Jediný problém který při poryvech větru nastává je ten, že v ovládacím systému OK2TPQ reaguje ochrana proti výpadku otáčení. Při silných poryvech větru tak je potřeba občas anulovat vypadlou ochranu. Je to nepříjemné ale dá se s tím žít.







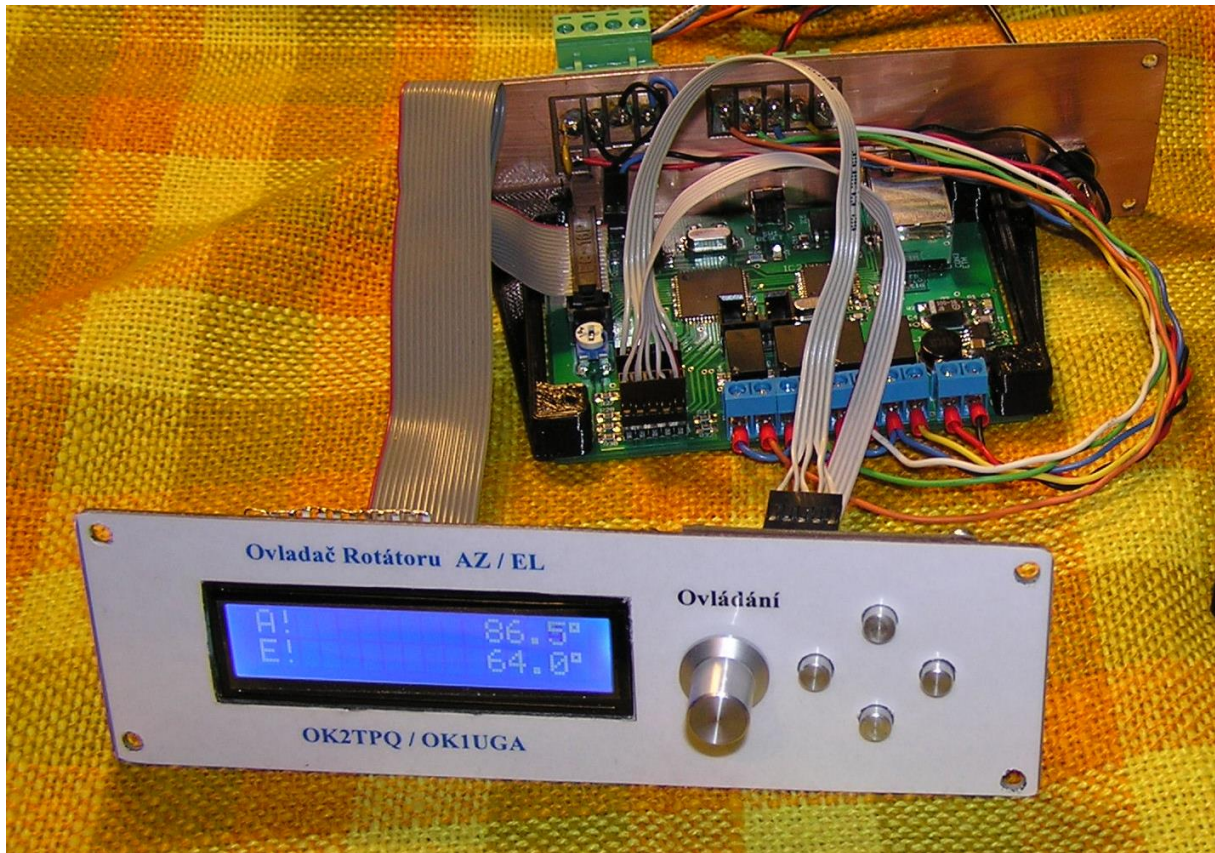
### **System ovládání elevace a azimutu:**

Po dobrých zkušenostech se systémem od OK2TPQ který používám u 2m antény jsem stejný systém použil i pro řízení paraboly. Pouze jsem použil novější verzi systému, která už není ovládána přes RS232 ale po síti. Rovněž jsem použil přesnější čidla. U 2m antény mám stará 10bit čidla která dokáží polohovat anténu s přesností cca  $0,5^\circ$ . Pro Parabolu jsem ale použil poslední verzi čidel s 14bit obvodem AS5048. U tohoto obvodu výrobce udává v ideálním případě přesnost až  $0,05^\circ$ . Realita ovšem bude výrazně horší. Neumím přesně ověřit skutečnou přesnost čidel. V provozu ale rozhodně nemám s přesností nastavení azimutu a elevace sebemenší problémy.

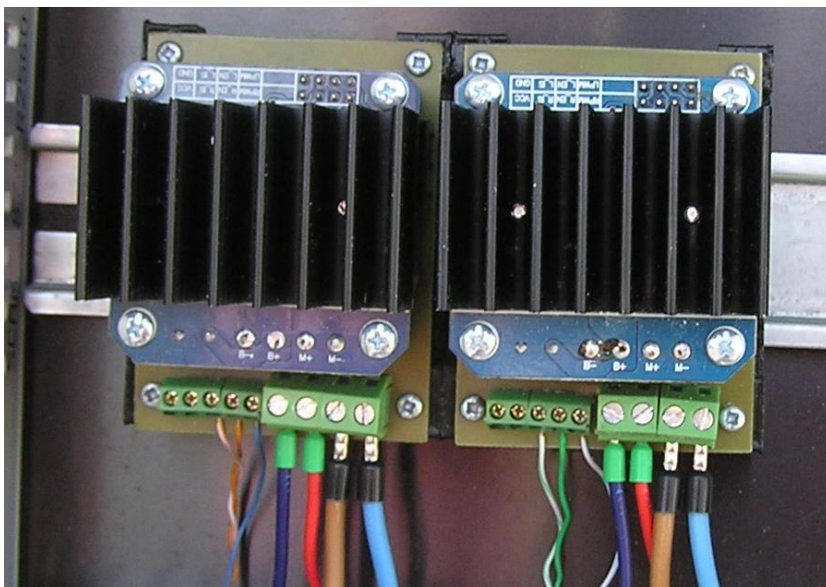
Odkaz na WEB OK2TPQ: <https://ok2tpq.pavera.cz/cs/node/51>

Řídící jednotka není jednoduchá konstrukce, ale kromě jedné mé vlastní chyby fungovala na první zapojení. Moje chyba spočívala v tom, že jsem použitý stabilizátor napětí zablokoval místo tantalovými kondenzátory předepsanými autorem zablokoval keramickými kondenzátory s extrémně

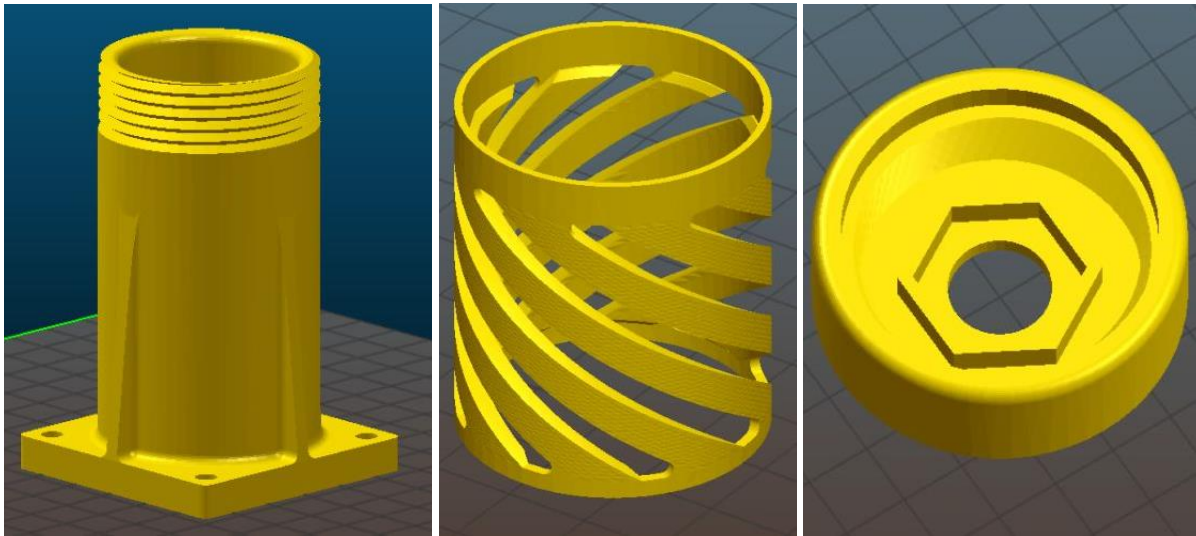
nízkým ESR. V této konfiguraci se ale stabilizátor rozkmital a zařízení proto nefungovalo. Po výměně kondenzátorů vše fungovalo jak má. Takže po mě nezopakujte tuto chybu 😊.



Výstupem z řídicí jednotky jsou malá signálová relé. Proto bylo nutné pro spínání motorů použít mohutnější spínač. Původně jsem chtěl ovládat rychlost otáčení při rozjezdu a zastavování. Proto jsem vyvinul jednotku která měla PWM regulaci motory řídit. Jako výkonový prvek jsem použil řídicí moduly z Číny zakoupené na e-bay a PWM řízení obstarávala jednotka s procesorem ATMEGA 8. Nakonec se ale ukázalo že řízení otáček je zbytečné a proto jsem program upravil tak že moduly pouze spínají napájení pro motory.



Čidla jsou s řídicí jednotkou propojena sběrníci RS485. K propojení jsou použity běžné UTP kabely. OK2TPQ použil pro čidla pouzdra vytočená z duralu. Já jsem pro čidla navrhl pouzdra tištěná na 3D tiskárně.



Základ tvoří pouzdro čidla. V jeho spodní části je otvor pro hřídelku s magnetem v čele a vnitřní ploše čidla je vytištěno osazení pro ložisko. Použil jsem ložiska ze starého pevného disku. Ty vedou hřídelku s magnetem přesně proti středu obvodu AS5048. Elektronika čidla je na kruhové DPS s obvodem AS5048 přesně uprostřed. To by mělo být dodrženo s tolerancí do cca 0,2mm. DPS je zasazena do vybrání v tělese čidla které ji přesně vystředí. Bohužel v DPS nejsou žádné upevňovací otvory. OK2TPQ DPS zajišťoval červíkem zavrtnutým do boku duralového pouzdra. Já jsem DPS do jejího lože přitisknul tištěnou pružinou. To se ale neukázalo jako nejlepší nápad protože pružina po dvou letech přestala pružit a nebylo jisté že bude deska dokonale přitisknuta do svého lože. Proto jsem později místo této pružiny použil pružinu ocelovou vyzískanou ze staré kopírky. Celé pouzdro je uzavřené šroubovacím víkem s otvorem pro kabelovou průchodku.



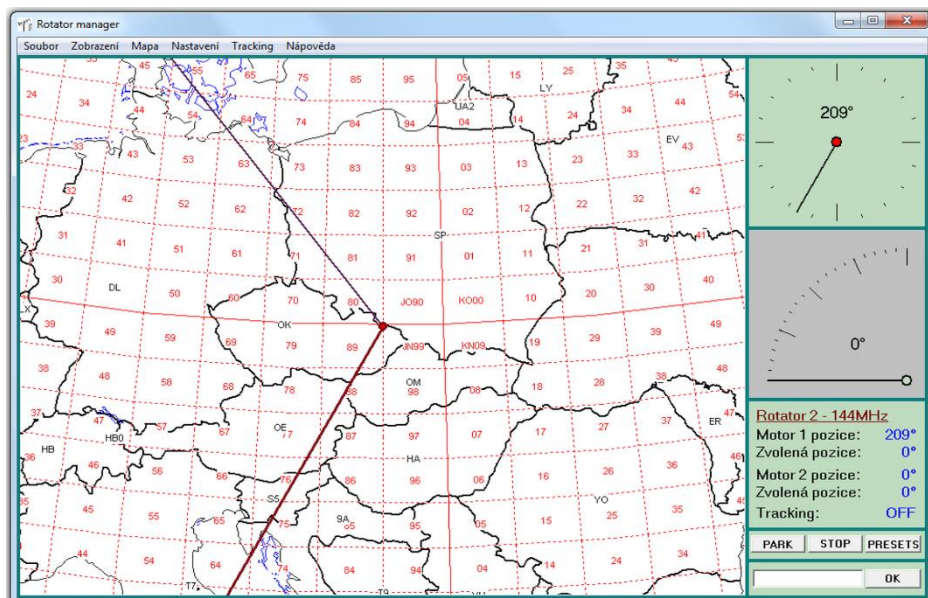
U elevace není s upevněním čidla problém. Pouzdro čidla je připevněno na elevační kostce a hřídelka je přes pružnou spojku spojena s horizontálním ramenem otočné trubky. Vše je pevně spojeno a není zde možnost nějaké nestability ve spojení čidla s mechanikou otáčení.

Horší situace je se snímáním azimutu. Není možnost čidlo spojit přímo s otočnou trubkou protože hlavní převodovka není průchozí a nelze tak umístit čidlo pod převodovku. Po dobrých zkušenostech s řetězovým převodem u 2m antény jsem se rozhodl použít rovněž řetězový převod.



Na otočné trubce bylo před nasunutím do patního ložiska nasazeno řetězové kolo. Obě řetězová kola mi kamarád vypálil z 3mm nerezového plechu. Řetězové kolo je na trubce upevněno pomocí dělené příruby vytištěné na 3D tiskárně. Čidlo je připevněno na pružném pásku z 3mm nerezového plechu který svou pružností zajišťuje stálé napětí řetězu. K pásku je přišroubován držák vytištěný 3D tiskárnou který drží 2 ložiskové domky mezi kterými je na hřídelce řetězové kolo čidla. S hřídelkou je přes pružnou spojku spojena hřídelka čidla. Toto řešení zatím funguje dokonale a nemám žádné problémy s přesným směřováním.

OK2TPQ k celému systému napsal SW kterým se vše ovládá. Do ovládací desky i čidel se na začátku nahrají odpovídající Botloadery a pak už se nahrání firmware i veškeré upgrade provádí pomocí SW z PC. Z něj se rovněž provádí veškeré konfigurace celého zařízení.



Anténu je možno ovládat buď tlačítky, otočným voličem nebo programem z PC. Při EME spojeních samozřejmě systém automaticky sleduje měsíc. Velké okno s mapou lze vypnout takže program nezabere na obrazovce tolik

místa. Řídící jednotka může pracovat buď samostatně, nebo je ovládána z uvedeného SW. Řídící jednotka je připojena do počítačové sítě, takže je snadno použitelná i pro remote. Poslední verze systému už k natáčení na měsíc nepotřebuje PC, ale řídí si ho sama.

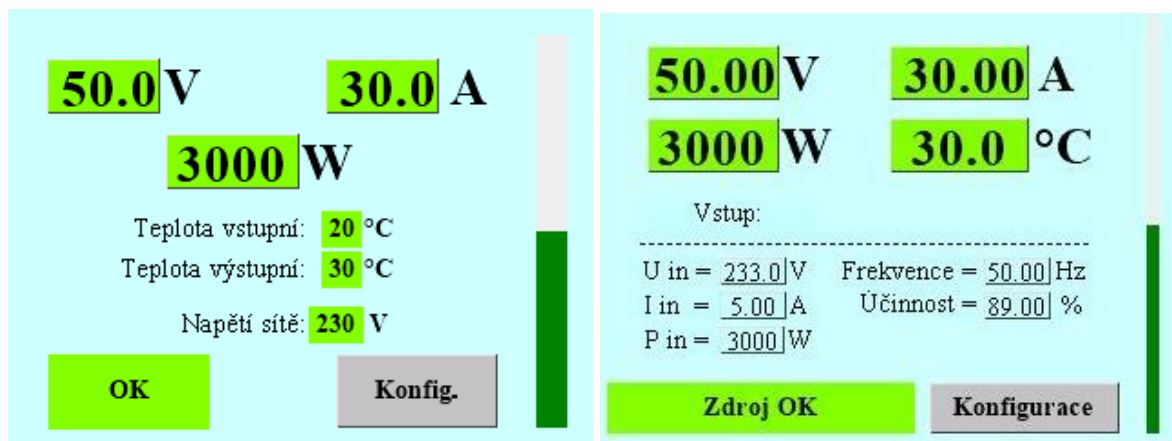
### Koncový stupeň a jeho monitoring:

Protože i ty nejlepší koaxiální kabely mají na 23cm poměrně vysoký útlum je nutné aby byl koncový stupeň co nejlépe ozařovači. Vzhledem k jeho velikosti a váze jsem ho umístil dozadu za parabolu. Propojení mezi PA a ozařovačem musí být co nejkratší. I na krátkém a velmi tlustém kabelu ztrácíme drazo vyrobený výkon. Umístění PA u paraboly ovšem přináší celou řadu problémů. Pochopitelně chceme mít co nejlepší představu o stavu PA a jeho zdroje.

Můj původní plán byl vyrobit PA se dvěma moduly podle W6PQL. Výkon takového PA měl být kolem 1kW. Bohužel při ožívání modulů jsem zjistil že jeden z nich nefunguje správně. Stejněsměrně fungoval, klidový proud šel nastavit ale vstup nešel doladit a PA limitoval již někde kolem 200W výkonu. Po zkušenostech s tím jak parabola funguje i s výkonem 50W jsem se "přikrčil" a mám v současnosti v PA jenom jeden modul. Místo na chladiči pro druhý modul jsem využil pro chlazení vnitřku skříně Peltierovým článkem. O tom ale později.

Nemá smysl abych popisoval vlastní moduly PA. W6PQL je a jejich nastavení popsal velmi dobře. Pokud je modul v pořádku funguje vše přesně tak jak popsal. Já se zaměřím na to, co byl v této konstrukci můj vlastní přínos. Tím je vzdálené monitorování stavu PA a zdroje 50V pomocí CAN sběrnice. Vše to začalo tím, že se mi dostaly do rukou 2 typy výkonných zdrojů 53,5V / 3000W. Oba zdroje lze ovládat a monitorovat pomocí CAN sběrnice. Sice mám

signály že není problém napájet tranzistory použité v modulech PA napětím 53,5V ale přesto jsem se obával použití těchto zdrojů bez úprav. Vloni na jaře jsem byl kvůli kovidu uzavřen v Liberci a nemohl jsem pracovat na ničem důležitějším. A tak jsem postupně vyvinul zařízení pro ovládání a monitorování stavu těchto zdrojů. Jedná se o zdroje FlatPack 2 a Huawei R4850G2. Já jsem nakonec u PA použil zdroj R4850G2. Umím u něj monitorovat všechny důležité parametry a měnit výstupní napětí a proudové omezení. Zdroj je nahoře u PA a UTP kabelem je CAN sběrnice přivedena do VKV baráčku do ovládací skříňky kde jsou došlá data vyhodnocena a zobrazena na 2,8" barevném dotekovém displeji.



Na obrázcích jsou snímky displeje zdroje Flatpack i Huawei R4850G2. Na displeji máme kompletní sadu údajů o zdroji které nám poskytují perfektní představu o stavu zdroje. Dokumentace k ovládací desce i potřebný software do procesoru a displeje je na mých stránkách.

Po úspěchu se zdroji jsem si řekl proč CAN sběrnici nepoužít i pro monitoring PA ? Proto jsem vyvinul řídicí desku PA, která snímá všechny potřebné parametry PA.

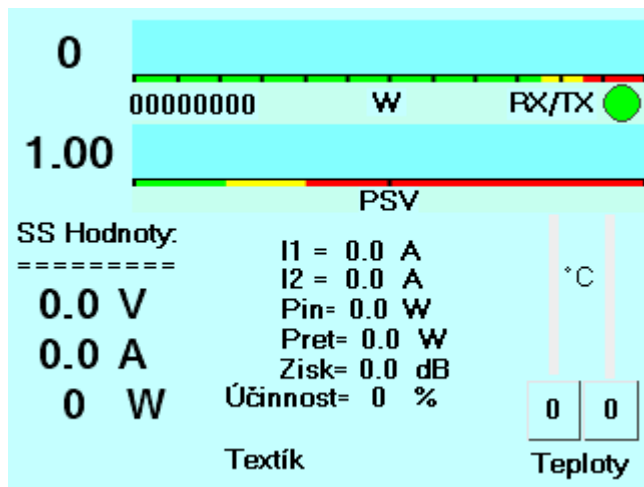
Měří Tyto údaje:

- 1) Proud obou modulů PA (teď je použit jen jeden vstup)
- 2) Napětí PA
- 3) Vstupní výkon
- 4) Výstupní výkon
- 5) Odražený výkon
- 6) Teplotu v mědi pod tranzistorem
- 7) Teplotu ve skříní (vstup měl původně měřit druhý modul)
- 8) Monitoruje stav signálu PTT

Naměřené hodnoty jednotka vyhodnocuje a v případě nějakého poruchového stavu velmi rychle odkličuje PA. Pak nedovolí zaklíčování PA dokud TRX nepřepne na příjem. Všechny naměřené hodnoty odesílá pomocí CAN sběrnice do monitorovací jednotky. Kromě toho jednotka ještě řídí pomocí PWM výstupu ventilátory.

Dole ve VKV boudě je opět monitorovací jednotka stejná jako ta kterou jsem již použil u zdrojů. Jen software procesoru a Displeje je jiný. Monitorovací jednotka přijme surová

naměřená data zaslaná po CAN sběrnici. Vyhodnotí je, vypočítá z nich skutečné hodnoty a zobrazí na displeji.



Na obrázku vidíme displej monitoru PA tak jak ho mám ve vývojovém prostředí Displeje Nextion. V době kdy píšou tyto řádky ještě není vývoj dokončen a čeká mě ještě pár úprav. Měl jsem velké problémy s měřením výkonů. V jednotce měření výkonů používám 3x logaritmický detektor s MAX4003. Měl jsem velké problémy se stabilitou naměřených údajů. Teď už se mi ale zřejmě příčinu podařilo odhalit a při posledním vysílání vše fungovalo správně. Možná časem i tuto jednotku zveřejním. Nejprve si ale musím být jistý že již opravdu funguje jak má.



Poslední zajímavost která snad stojí za zmínku je vyřešení chlazení vnitřku skříně. Vnitřek skříně je vyhříván jednak vlastním PA a navíc odpadním teplem ze zdroje který PA napájí. Když se do skříně ještě opře slunce je nepochybné že by teplota uvnitř dosahovala velmi



rychle nepřijatelně vysokých teplot. Původně jsem uvažoval o ventilátorech které by skrz skříň proháněly vzduch a ochlazovaly ho tak. Měl jsem však obavy z vlhkého vzduchu který bych vháněl do skříňe. Potom co mi na chladiči zbylo místo po druhém PA modulu mě napadlo jiné řešení. Kdysi jsem získal 48V / 100W Peltierův článek z vyřazené ledničky které používáme na lokomotivách. Peltierův článek jsem připevnil teplou stranou na chladič a na chladnou stranu jsem umístil velký chladič původně z PC s ventilátorem. Peltierův článek spínám termostatem. Při zvýšení teploty nad nastavenou teplotu článek začne chladit chladič uvnitř skříňe a teplo z druhé strany Peltieru je odváděno chladičem PA. Chlad z vnitřního chladiče je vyfukován ventilátorem do prostoru skříňe který tak účinně ochlazuje a udržuje teplotu na přijatelné hodnotě.

### **Zdroje informací:**

- 1) PA 1296MHz - [https://www.w6pgl.com/high\\_power\\_amplifier\\_for\\_1296.htm](https://www.w6pgl.com/high_power_amplifier_for_1296.htm)
- 2) Popis stavby na mých stránkách <http://ok1uga.nagano.cz/emegth23.htm>
- 3) Ovládání zdrojů CAN sběrnicí <http://ok1uga.nagano.cz/zdroje50.htm>
- 4) Stránky OK2TPQ <https://ok2tpq.pavera.cz/cs/node/2>