

# BME Suborbitals

SRAD Helix Telemetry antenna - Assembly

*Funk Gábor*

March 2026

## Revision History

Ver.	Date	Author	Change Description
0.1	2026. március 1.	Funk Gábor	Initial Design Phase
1.0	2026. április 16.	Funk Gábor	V1

## Tartalomjegyzék

<b>1. General ismertető az antennáról</b>	<b>3</b>
<b>2. Free-Space Path Loss Formula</b>	<b>4</b>
<b>3. Link Budget</b>	<b>4</b>
<b>4. Számított adatok, döntések indoklása</b>	<b>4</b>
<b>5. Fizikai interfészek</b>	<b>5</b>
<b>6. Gyártás előtti validálások</b>	<b>6</b>
<b>7. Anyagok a gyártáshoz</b>	<b>7</b>
7.1. Szükséges eszközök . . . . .	7
7.2. A spacerek gyártása . . . . .	7
7.3. Megrendelendő anyagok . . . . .	8
<b>8. Impedance matching</b>	<b>9</b>
<b>9. Az antenna gyártása V1</b>	<b>9</b>
9.1. 3D nyomtatott alaplap elkészítése . . . . .	9
9.2. 3D nyomtatott PVC tartó elkészítése . . . . .	10
9.3. A reflektor előkészítése A . . . . .	12
9.4. A reflektor előkészítése B . . . . .	13
9.5. A 3D nyomtatott rézhuzal tartók elkészítése . . . . .	14
9.6. A központi struktúra elkészítése . . . . .	15
9.7. A helix huzal előkészítése . . . . .	21
9.8. A helix huzal rögzítése . . . . .	22
9.9. A koaxiális kábel+insulator telepítése . . . . .	26
9.10. A kábelek rögzítése . . . . .	30
<b>10. Utó-optimalizációk</b>	<b>32</b>
<b>11. Az antenna összeszerelése V2</b>	<b>32</b>
11.1. A struktúra összeszerelése . . . . .	35
11.2. Fizikai ellenőrzés, egyszerű validáció . . . . .	36
<b>12. Korlátok és problémák</b>	<b>36</b>
<b>13. Tesztelés és validáció</b>	<b>37</b>
13.1. Long range teszt - 2026. 05. 15. . . . .	39
13.1.1. Optimális irányultság . . . . .	40
13.1.2. Műszaki megfigyelések . . . . .	42
13.1.3. Lessons learned . . . . .	42
13.1.4. Következtetések . . . . .	43
<b>14. Utómunkálatok és Fine-tuning</b>	<b>43</b>
<b>15. Aftermath</b>	<b>43</b>

## 1. General ismertető az antennáról

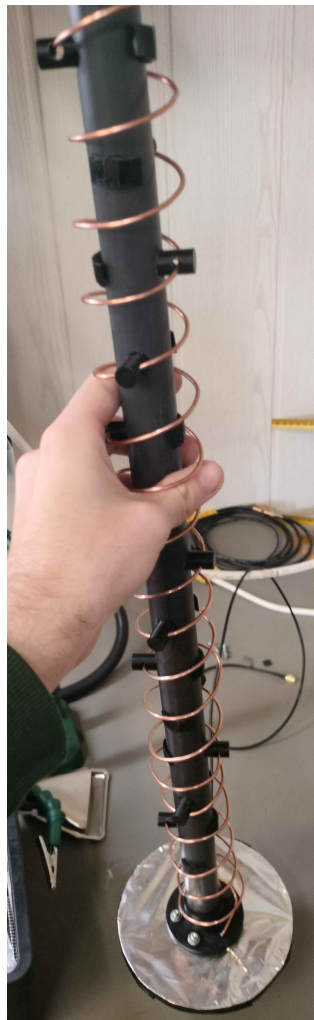
### Kivonat

A Helix antenna 2 fő részből áll: spirális huzalból és a reflektorból. A reflektor egy fémlemez, amely egyben ground-ként is szolgál. Elsődleges szerepe az antenna sugárzási karakterisztikáinak javítása azáltal, hogy visszaveri a spirál által kisugárzott elektromágneses hullámokat, előre irányítja és javítja a teljesítményt. A spirális vezeték egy koaxiális kábelhez csatlakozik, és egy SMA csatlakozón keresztül továbbítja a jelet. Egy szigetelő rész gondoskodik arról, hogy a csavarvonal és a reflektor ne csatlakozzon sehova. A kábel árnyékolását (földelést) a reflektor fémrészéhez kell csatlakoztatni.

Ez a megvalósítás egy PVC csövet és néhány 3D nyomtatott rögzítőt használ a megfelelő spirális huzaljellemzők megőrzéséhez. A PVC cső globális árbocként fog szolgálni, amelynek viselnie kell az összes feszültséget.

A dokumentáció tartalmaz egy "B terv" megvalósítást is, amelyet egy elég nagy 3D nyomtató segítségével lehetett volna megcsinálni, de ezt egyelőre még sose lett legyártva.

Az antenna RHCP, ami azt jelenti, hogy a sugárzás felé óramutató járással megegyező módon kell a helix huzalt feltekerni. (A reflektor felé nézve)



1. ábra. A gyártás utáni végeredmény.

## 2. Free-Space Path Loss Formula

Lásd: tervezési dokumentáció.

## 3. Link Budget

Lásd: tervezési dokumentáció.

Mivel a számított szabadter-útveszteség körülbelül 114 dB, az antennaerősítés (és/vagy további adási teljesítmény) szükséges a kapcsolat lezárásához. (Azonban az 5 km az abszolút maximális hatótáv, így használati esetben bőven elég lesz.)

## 4. Számított adatok, döntések indoklása

A számításokat 5 km-es rálátással és 2,4 GHz-es specifikációkkal végezzük, de legfeljebb 3,8 km-es rálátásra lesz szükségünk normál működés közben.

Ahhoz, hogy az antenna normálisan működjön, szabad rálátásra (Line Of Sight) is szükségünk van. Ez azt jelenti, hogy fa vagy épület nem akadályozza a vonalat.

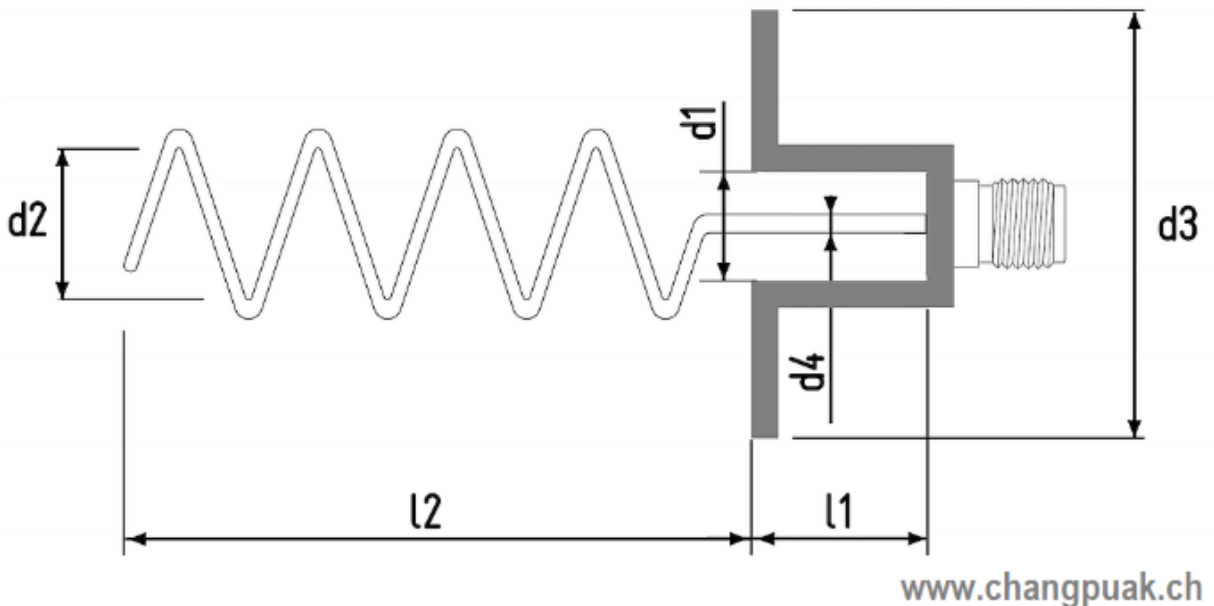
A küldő antenna alapján 18 dB-es erősítésnek elégnek kell lennie az antennáknak. (50mW -al tápolva)

Egy hasznos oldal, amely közelítő képet adott a helix antenna további méreteiről:

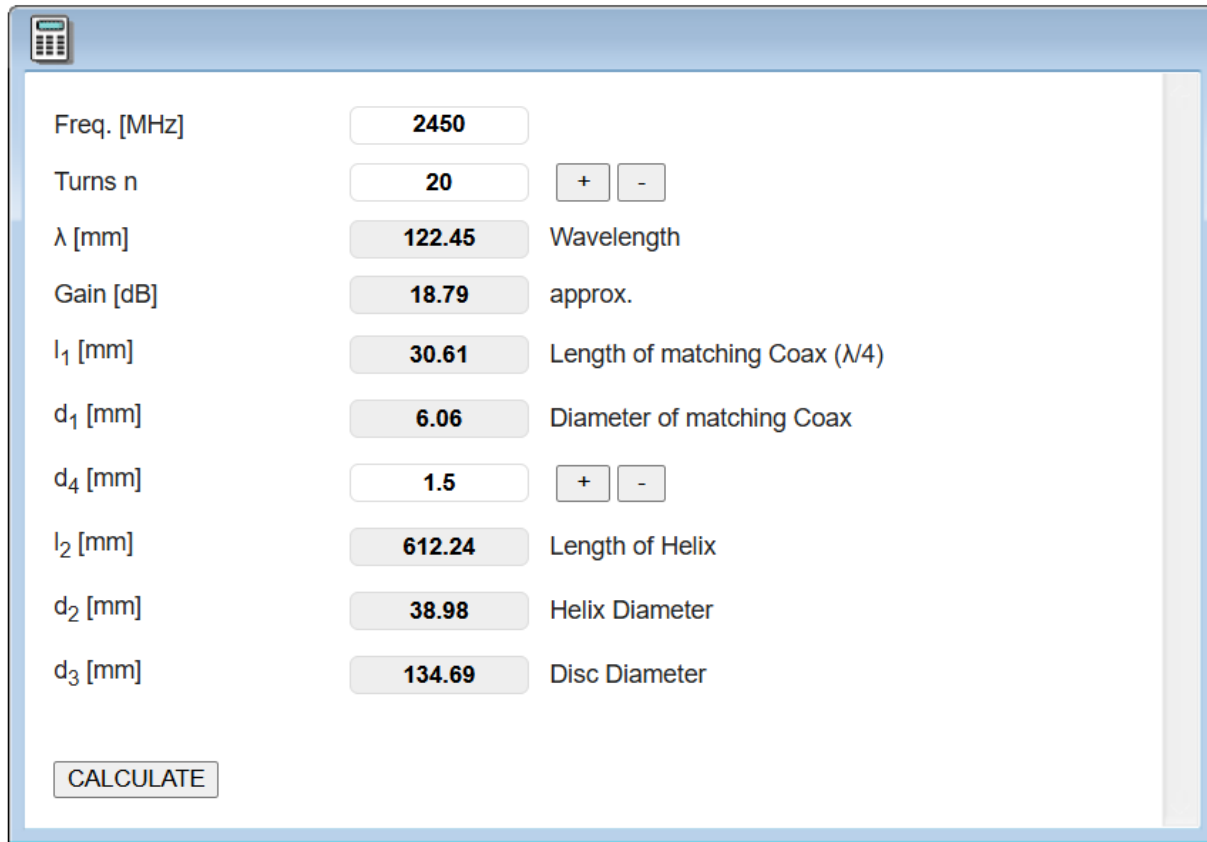
<https://www.changpuak.ch/electronics/...>

Azt is érdemes megjegyezni, hogy az antenna sugárzási alapminta-érvényesítéshez ezt az oldalt használtam:

<https://afghangoat.hu/antenna/simulation.html>



2. ábra. Antenna blueprint.



Freq. [MHz]	<b>2450</b>	
Turns n	<b>20</b>	<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/>
$\lambda$ [mm]	<b>122.45</b>	Wavelength
Gain [dBi]	<b>18.79</b>	approx.
$l_1$ [mm]	<b>30.61</b>	Length of matching Coax ( $\lambda/4$ )
$d_1$ [mm]	<b>6.06</b>	Diameter of matching Coax
$d_4$ [mm]	<b>1.5</b>	<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/>
$l_2$ [mm]	<b>612.24</b>	Length of Helix
$d_2$ [mm]	<b>38.98</b>	Helix Diameter
$d_3$ [mm]	<b>134.69</b>	Disc Diameter

3. ábra. Antenna szimulátor eredmény.

A kép alapján az értékek számszerűen:

Frekvencia: 2450 MHz (2,4 GHz)

$n = 20$  fordulat

Erősítés = 18,79 dBi

Az illeszkedő coax hossza  $l_1 = 30,61$  [ $\lambda/4$ ]

A megfelelő koaxiális átmérő  $d_1 = 6,06$  mm

Párna átmérő  $d_4 = 1,5$  mm (változható)

Csavarhossz  $l_2 = 612,24$  mm (62,5 cm)

Helix átmérő  $38,98 = 39$  mm

Reflektor átmérő  $d_3 = 134,7$  mm

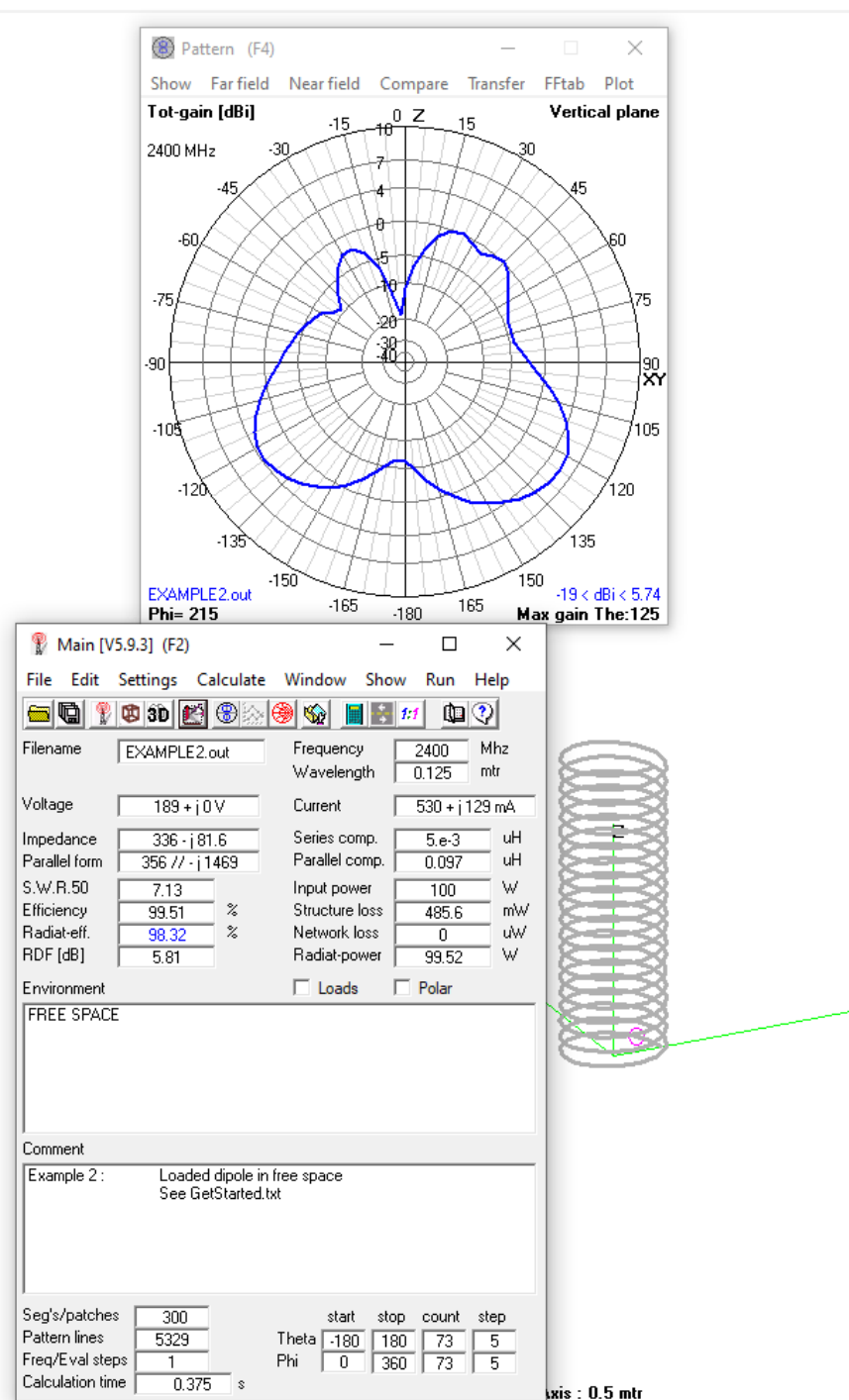
A 3d nyomtatott reflektorpárna sugara = 67,85 mm

## 5. Fizikai interfészek

Az antenna egy SMA female coax csatlakozóval lesz ellátva, amellyel egy SMA male interfészre lehet rákötni.

## 6. Gyártás előtti validálások

A 4nec2 szimulátor szoftvert használtam, hogy bepillantást nyerjek a közelítő sugárzási mintázatba. Fontos megjegyezni, hogy ez nem egy pontos validálás, viszont mérnöki fejvel elfogadható pontosságot ad.



4. ábra. A 4nec2 által megjelenített sugárzási minta.

## 7. Anyagok a gyártáshoz

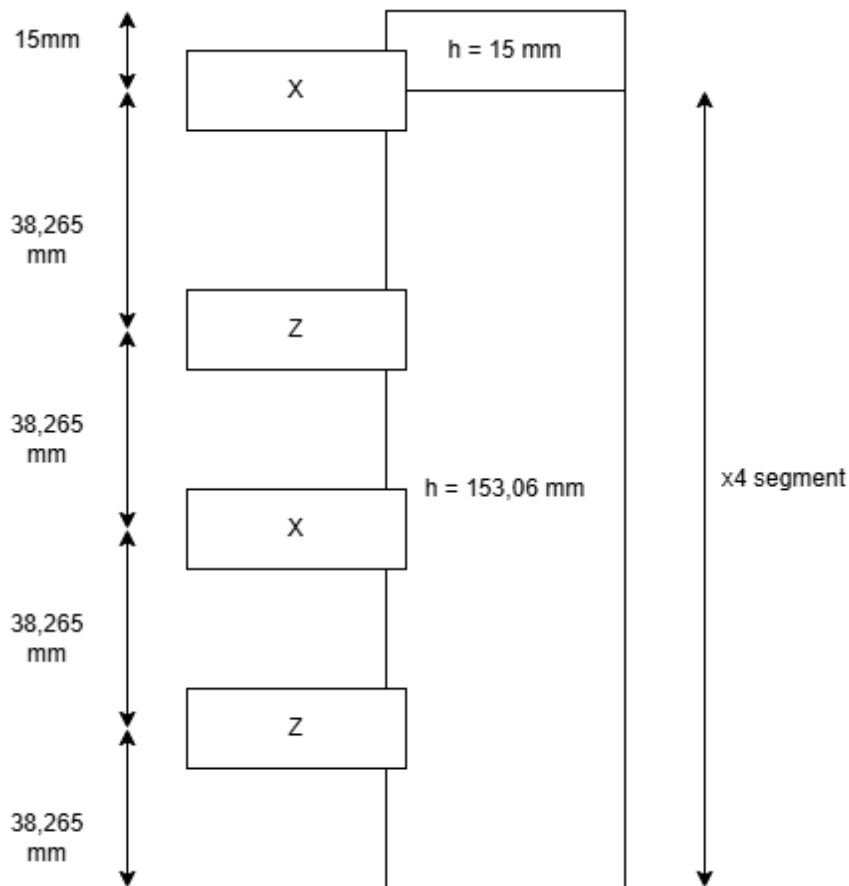
1. A vezetőhöz (spirálhuzalhoz) egy 2-3 mm átmérőjű rézkábel elegendő anyag. A 2 mm-nél vékonyabb vezetékeket általában kerülni kell. Ehhez 3 méternyi anyagot használtam fel. Ezt a saját számító programommal lehet kiszámítani:  
[https://afghangoat.hu/antenna/helix\\_wire\\_calc.html](https://afghangoat.hu/antenna/helix_wire_calc.html)
2. Reflektorlemezhez olcsósága miatt előnyben kell részesíteni az alumíniumlapot. A vastagságának is nagyobbnak kell lennie egy milliméternél.
3. A tartószerkezet nem tartalmazhat fémeket. Emiatt egy PVC csövet választottam a közepére, mivel ez a legstabilabb, de könnyű és a legkönnyebb vele dolgozni.
4. Koaxiális kábel és SMA csatlakozó is szükséges.
5. 10 vagy 20 3D nyomtatott egyedi rögzítő a V1-hez. 2 3D nyomtatott keresztszerű állvány és 4 oszlop a V2-hez.
6. Nylon szigetelő.
7. Szuper ragasztó, vagy nagyon tartós ragasztó.
8. A bélésapír is hasznos lehet a spirális huzalfordulatok közötti távolság nyomon követésére.

### 7.1. Szükséges eszközök

1. Forrasztópáka
2. Fúrógép
3. Fúró
4. Vonalzó vagy mérőszalag
5. Flex tape (erős ragasztószalag, nem minden esetben szükséges)
6. Fogó
7. Szorítók (csipeszek/bilincsek)
8. Vágószerszámok

### 7.2. A spacerek gyártása

Vonalzó segítségével rajzolj vonalakat egy magas papírra  $M$  térközzel. Ahol  $M$  a fordulatok közötti távolság. Később ez a papír felhasználható a fordulatok pontosságának és a távolságuk mérésére.



5. ábra. Fontos, hogy a furatok így legyenek megcsinálva.

Mivel 20 fordulásra terveztem és 612.24mm lesz a helix antenna effektív nagysága (dead-space-t kivéve még), akkor a helix menetek közötti hely 30,612 mm lesz. A feszítés viszont úgy lesz, hogy 1 egész és 0.25 fordulatonként lesz, így az 38,265 mm-ente lesz. Ehhez érdemes lenne egy 3D nyomtatott segéd alkatrészt csinálni, ami segít abba, hogy a lyukak amiket fúrni kell és a menet feltekerése szabályos lesz. Legrosszabb esetben papír, körző és vonalzó kell hozzá. Ezzel számítva 16 db 3D nyomtatott segéd fogó pöcök kell.

### 7.3. Megrendelendő anyagok

A terv dokumentációval ellentétben, itt csak az SRAD telemetria vevő helix antennához elengedhetetlen külső anyagok vannak felsorolva.

Az anyagok neve, listája, mennyisége és forrása a gyártás segítése érdekében:



Rész	Description / Size	Source	Ár (HUF)
Coaxial cable SMA	5m SMA Male–Female coax cable (x3)	<a href="#">Link</a>	2332 Ft
SMA connector	SMA Male crimp connector (RG-58/LMR195)	<a href="#">Link</a>	726 Ft
Aluminium sheet	300×150×1mm aluminium plate (cut to size)	<a href="#">Link</a>	7022 Ft
PVC pipe	25mm rigid PVC pipe (support structure)	<a href="#">Link</a>	840 Ft
Copper wire 2.5 mm	Helical wire	<a href="#">Link</a>	1240 Ft

1. táblázat. antenna / helix project main materials

## 8. Impedance matching

A helix antennának az impedanciája 140  $\Omega$  körül mozog. Én (későbbiekben taglalom a gyártást) ezt úgy oldottam meg, hogy a kábel shield erét egyenesen hosszabban megbontottam és úgy forrasztottuk, hogy az messze fusson a feed pointtól.

A fontosabb rész, hogy ahogy a kábel feljön, még 1mm se tellt el de amint feljött a kábel a feed pointból az egyből hozzáferrasztottam a helix elem start pontjához ami csupán pár mm-re van a reflektortól. Ez és egy másik véletlen dolog vezet az impedancia illesztéshez. Az, hogy ha fektetem az antennát horizontálisan akkor a koax kábel a reflektor síkjával párhuzamosan megy egy ideig, ami stripline illesztőként viselkedik. Ez a kapacitív hatás lehúzza 140  $\Omega$ -ról 50  $\Omega$  irányba.

Ez is a szerencsén múlt, de a sors iróniája, hogy ez is pont jól jött ki.

## 9. Az antenna gyártása V1

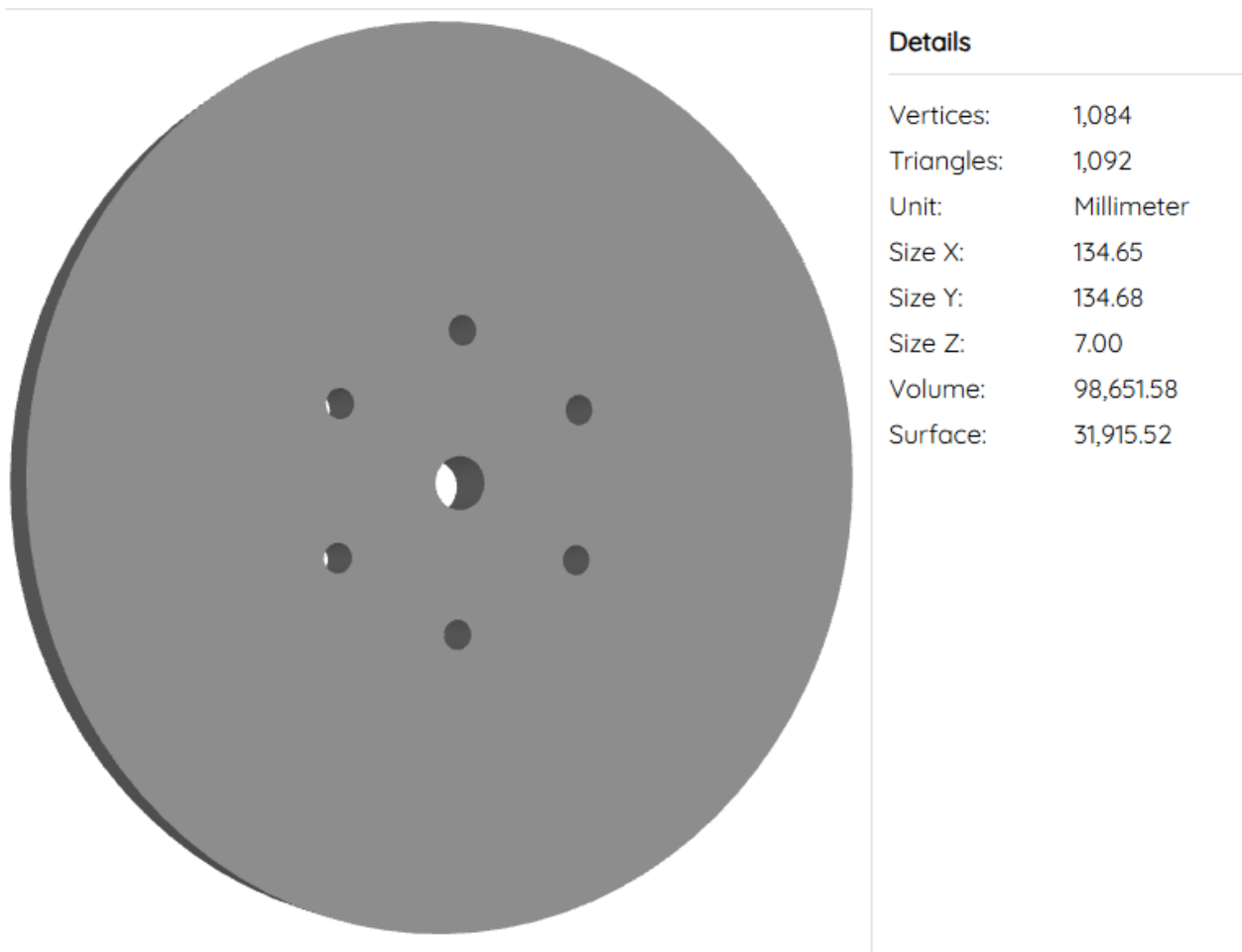
Az antenna gyártását fontos, hogy olyan sorrendben kell végrehajtani, amilyen sorrendben itt fel van sorolva.

Az alábbiak a műveletek sorrendjében követendő lépések:

Amennyiben van alumínium lap, ami 2mm-nél vastagabb, a "A reflektor előkészítése B" követendő, másképpen az "A reflektor előkészítése A" szekció követendő.

### 9.1. 3D nyomtatott alaplap elkészítése

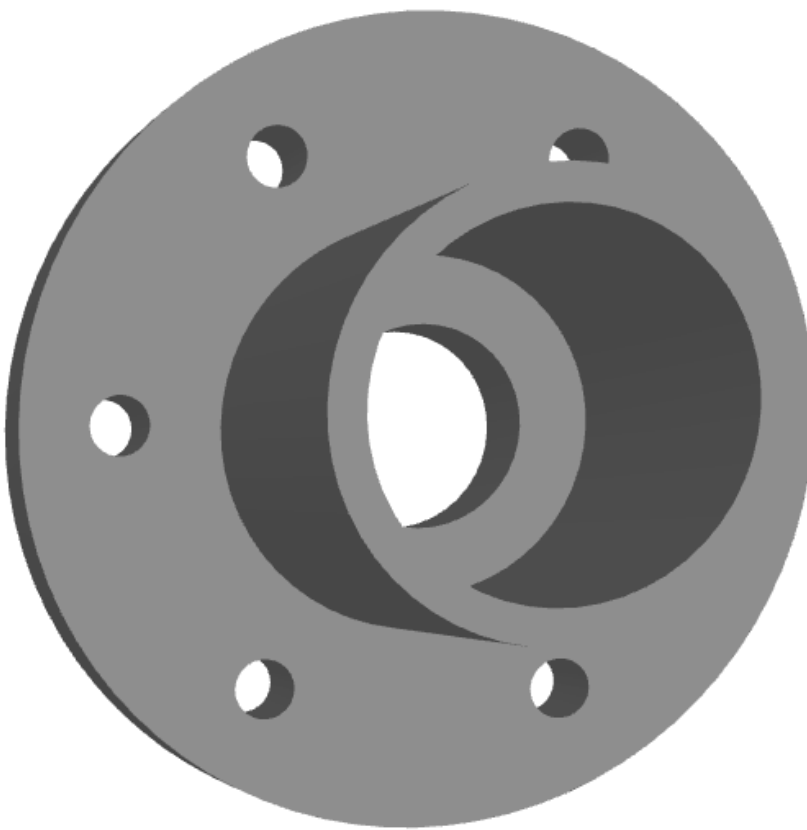
A 3D alaplap egy lyukas korong továbbfejlesztése, amely képes 6 db lapos fejű csavarral 2 komponenshez kapcsolódni: az alu laphoz, amennyiben az van használva és a PVC cső struktúra tartó elemhez.



6. ábra. A reflektor alaplappja.

## 9.2. 3D nyomtatott PVC tartó elkészítése

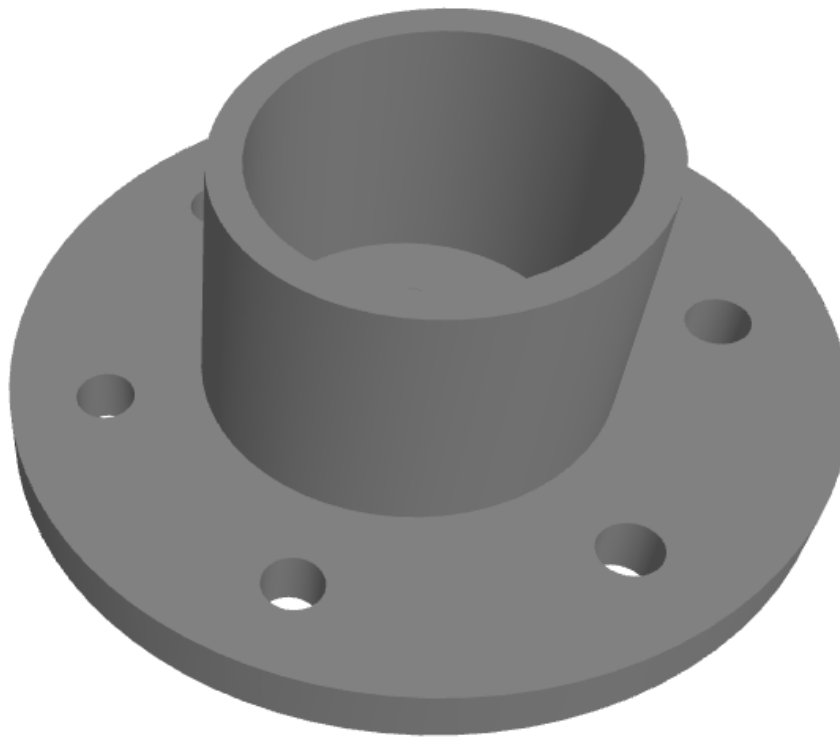
Ez az elem azt a célt szolgálja, hogy a PVC csövet értelmesen rá lehessen szerelni és erősíteni az alaplappra. Ez tartalmaz 7 lyukat: 1 db-ot a réz huzal és koax csatlakozásnak, 6 db-ot pedig a csavaroknak, amikkel majd rá lehet csavarozni az alaplappra. Ennek a tetején van egy tartó is, amibe a PVC csövet bele lehet fixálni, vagy ragasztani. Az oldalán ennek a tartónak van 2 lyuk, ami abba segít, hogy kényelmesen el lehessen kezdeni felfűzni a rézhuzalt és a fázist + menet spacing-et meg lehessen tartani.



#### Details

Vertices:	1,548
Triangles:	1,552
Unit:	Millimeter
Size X:	59.98
Size Y:	59.99
Size Z:	25.00
Volume:	17,084.69
Surface:	10,162.39

7. ábra. A reflektor lába: nézet 1.



#### Details

Vertices:	1,548
Triangles:	1,552
Unit:	Millimeter
Size X:	59.98
Size Y:	59.99
Size Z:	25.00
Volume:	17,084.69
Surface:	10,162.39

8. ábra. A reflektor lába: nézet 2.

### 9.3. A reflektor előkészítése A

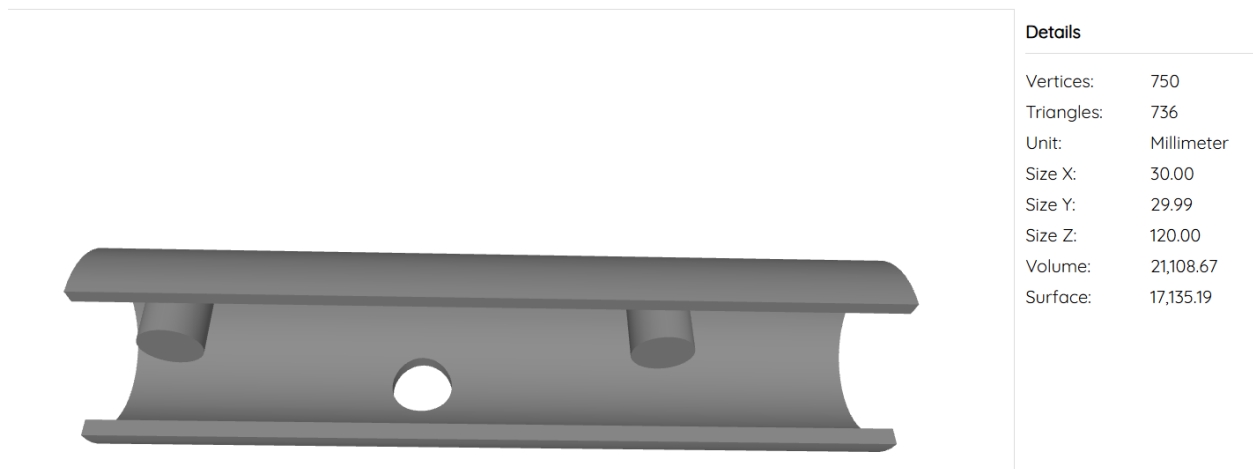
Ebben az esetben aluminium fóliát lehet használni a szükséges RF eléréséért, viszont ehhez kell egy 3D nyomtatott alaplappal, ami itt nem csak extra egyensúlyt ad, hanem konkrétan azért lesz még felelős, hogy az alufólia ne veszítse el az alakját és sima maradjon.

1. Egy, a lehető legvastagabb alufóliából vágjunk ki egy kocka lapot, melynek szélei legalább 140 mm vastag. Ez azért kell, mert majd rá kell illeszteni a 3D nyomtatott alaplappal felső részére, amelynek átmérője 137.5 mm + még alul meg kell ragasztani.
2. Bugyoláljuk körbe az alaplappal ezzel a fóliával.
3. Rögzítsük össze a lap alján a fóliát olyan módon, hogy ragasszuk cellux ragasztóval össze az áttellenes oldalról lelógó fóliát, ezzel rákötve az alaplappra.
4. Végül ollóval vagy késsel vagy valami nagyon pontos eszközzel szúrjunk lyukat az alu lap közepére. (Kép lejjebb) A reflektor közepén egy 8 mm átmérőjű furat található a koaxiális kábel számára. A szerkezeti stabilitás és a szigetelés javítására szalagot fogunk használni.
5. Vágjunk még 6 másik lyukat is a csavarok helyére. Itt mindegy RF szempontból, hogy a csavarok hozzáérnek-e az alulaphoz, csak ne érjenek hozzá a rézhuzalhoz.

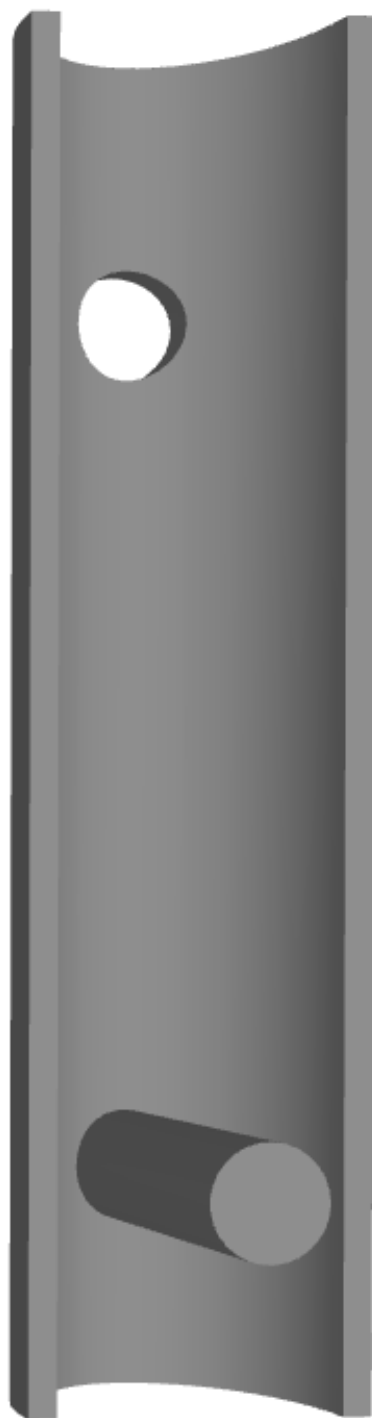
A kép a központi struktúra rögzítésénél látható.

#### 9.4. A reflektor előkészítése B

1. Vágjunk ki egy alumíniumlemezről egy kör alakú reflektort, amelynek átmérője 137.5 mm.
2. Simítsuk le az éles széleket, hogy elkerüljük a sérüléseket vagy a vezeték károsodását.
3. Fúrjunk egy központi lyukat a reflektorba, amely lehetővé teszi a PVC tartócsőre történő rögzítést, valamint a koaxiális kábel átvezetését.
4. A lyukak kiszámolására létre lettek hozva modellek, melyek segítenek a lyukak helyének meghatározásába:



9. ábra. Azonos oldali guide.



### Details

Vertices:	646
Triangles:	632
Unit:	Millimeter
Size X:	30.00
Size Y:	120.00
Size Z:	27.00
Volume:	14,651.76
Surface:	11,861.79

10. ábra. Ellentétes oldali guide.

5. Ez a lyuk legyen 8mm átmérőjű, hogy a coax kábel kényelmesen beférjen majd.

### 9.5. A 3D nyomtatott rézhuzal tartók elkészítése

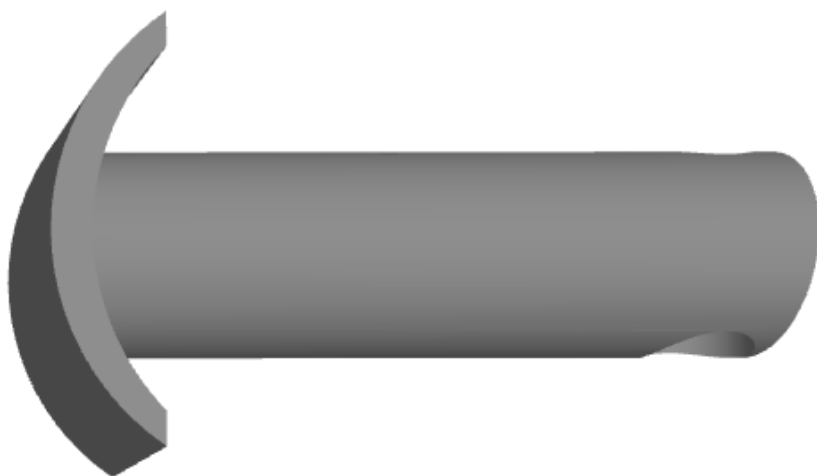
A jelenlegi terv szerint 16 db-ot kell kinyomtatni.



#### Details

Vertices:	556
Triangles:	538
Unit:	Millimeter
Size X:	20.71
Size Y:	10.00
Size Z:	36.50
Volume:	2,876.73
Surface:	1,717.27

11. ábra. 3Ds pöcök oldalnézet.



#### Details

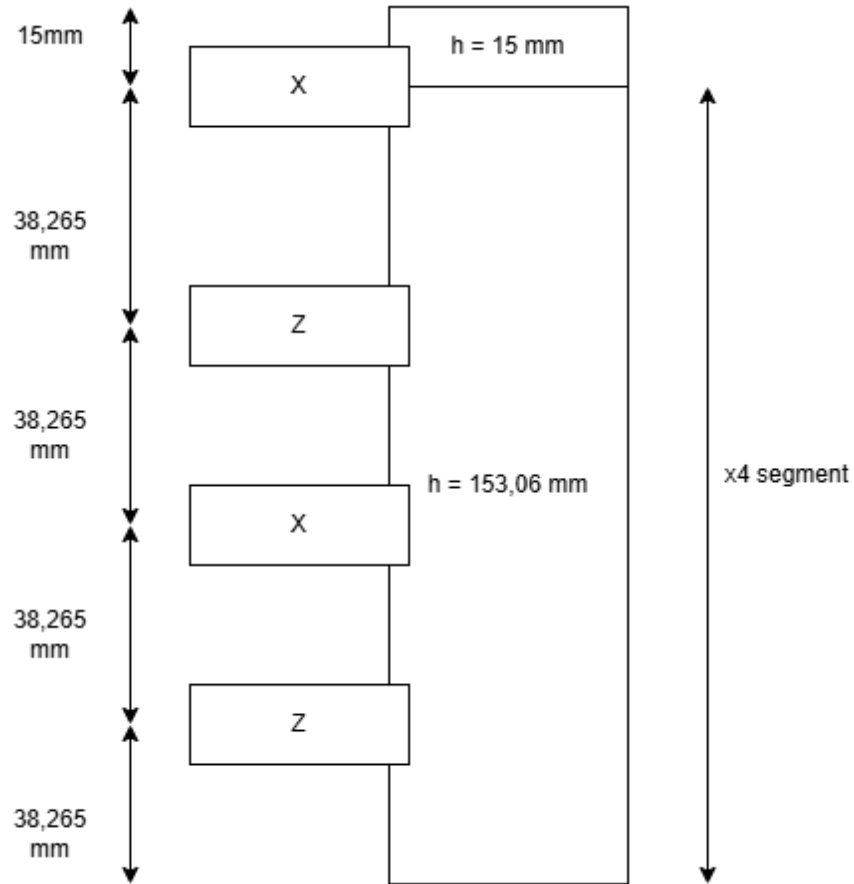
Vertices:	556
Triangles:	538
Unit:	Millimeter
Size X:	20.71
Size Y:	10.00
Size Z:	36.50
Volume:	2,876.73
Surface:	1,717.27

12. ábra. 3Ds pöcök felülnézet.

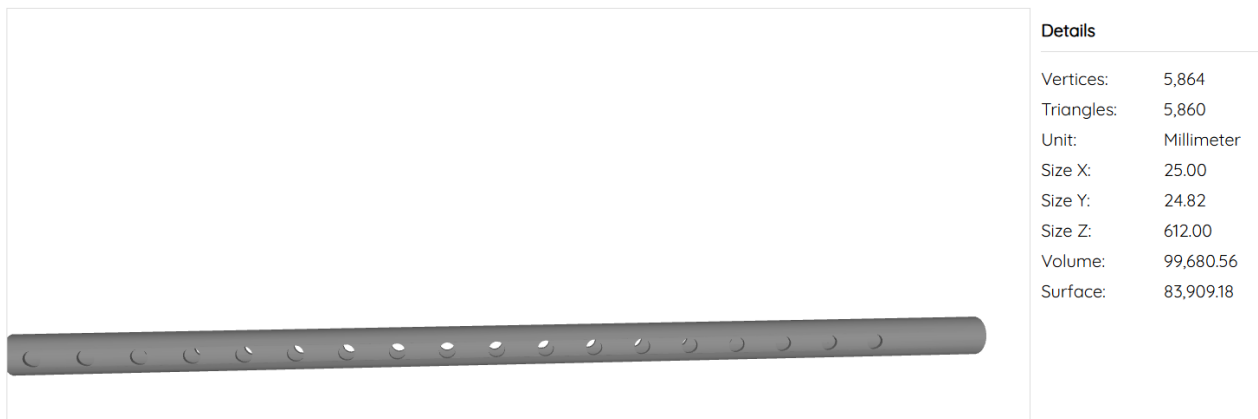
Egy 5mm-es lyuk van ezeken, amin fel lehet vezetni a rézhuzalt. 1+0.25 mentenként fut át a huzal rajtuk.

### 9.6. A központi struktúra elkészítése

1. Rögzítsük a PVC csövet függőlegesen a munkaterületen, ügyelve arra, hogy stabil legyen.
2. Egy fúrógéppel fúrjunk 8.0mm átmérőjű lyukakat a PVC cső oldalára ilyen módon:



13. ábra. Fontos, hogy a furatok így legyenek megcsinálva.



14. ábra. A cső + fűrt lyukak.

Az X és Z tengely a képen 2 tetszőleges egymásra merőleges tengelyt jelent. Itt az a fontos, hogy PVC csőben legyenek lyukak, amiben majd később a tartó segéd-3D-nyomtatott elemeket bele lehet ragasztani. Ezeket a lyukakat teljes egészében fúrjuk át. (A cső mind a két oldalán!)

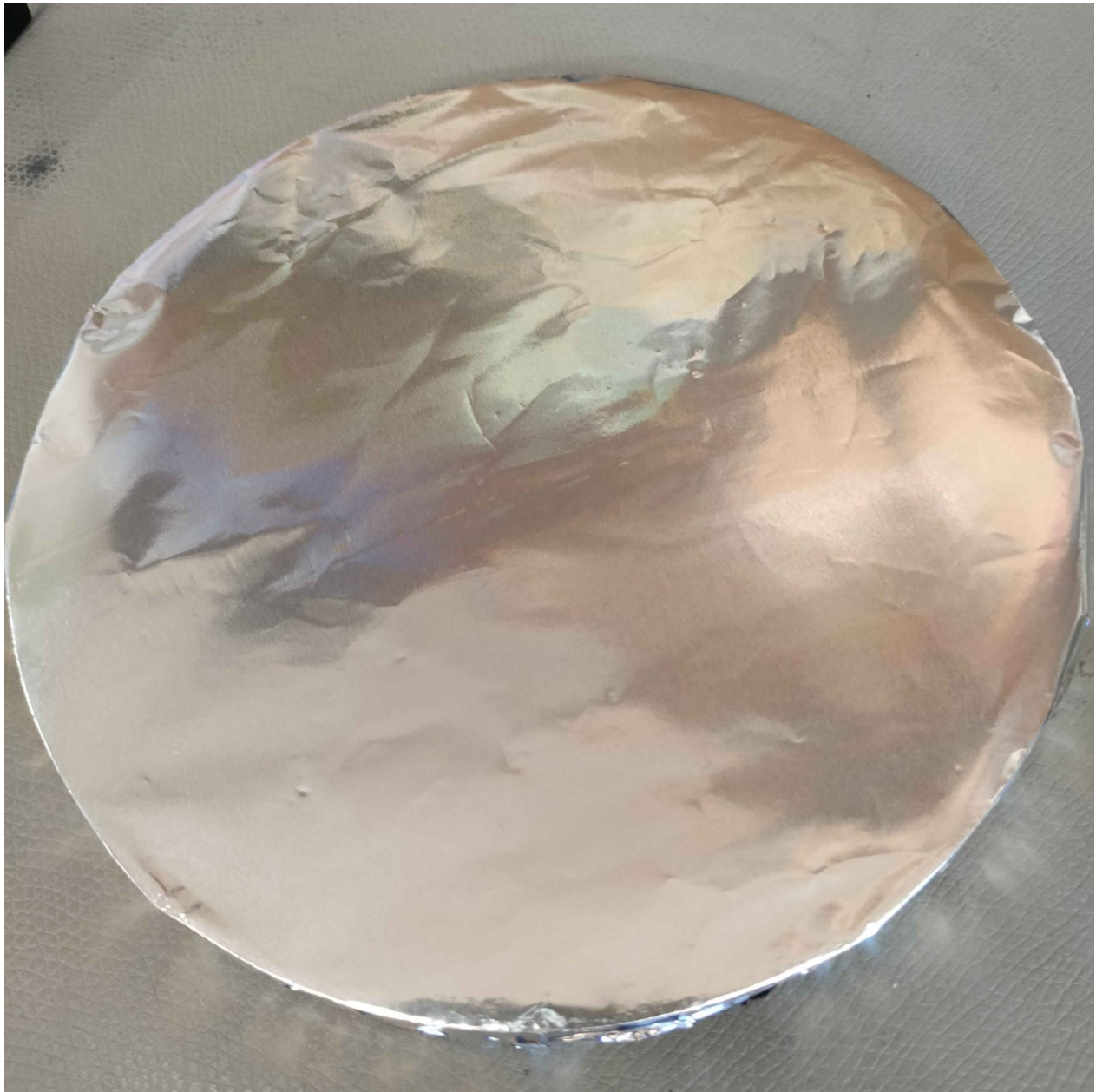


A lyukak közötti távolság a középpontjuktól számolandó.

3. Rögzítsük a reflektorlemez a PVC cső alján, a cső tengelyéhez középre igazítva.
4. Győződjünk meg arról, hogy a PVC cső merőleges a reflektor felületére; ez fog a helix központi tengelyeként szolgálni.
5. Egy 15 cm-es extra üres teret is kell hagyni a PVC cső tetején.



15. ábra. 1. lépés: Lap előre helyezése.



16. ábra. 2. lépés: A reflektor rögzítése vagy alulap felszerelése.





17. ábra. 3. lépés: Alufólia esetén a lap aljának stabilizálása flex tape-el.



18. ábra. 4. lépés: Lyukak kifúrása és csavarok behelyezése.

Fontos, hogy nagyon pontosan alulról legfeljebb akkora lyukakat fúrjunk amekkora a lyuk a 3D nyomtatott elemen. 1 nagy feed lyuk és 6 db csavar lyuk kell.





19. ábra. 5. lépés: Oszlop fogó becsavározása. Opcionálisan szigetelő szallaggal be lehet az oldal részt fedni, hogy kopásállóbb legyen.

### 9.7. A helix huzal előkészítése

1. Mérjük ki a teljes helix hosszát: 625 mm (62.5 cm).
2. Vágjunk le egy darab rézhuzalt, amely valamivel hosszabb mint 625 mm, hogy legyen elegendő a rögzítéshez és a csatlakoztatáshoz.
3. Határozzuk meg a menetek számát ( $n = 20$ ) és a helix átmérőjét ( 40 mm).
4. Jelöljük meg a PVC csövön az egyes menetek helyét úgy, hogy a 625 mm hossz mentén 20 egyenletesen elosztott menet legyen.

Mivel a műhelyben egy nagyon vékony réz szál van, fontosnak tartom leírni, hogy amíg a rézszál vastagsága megüti a 0.05mm-t addig RF gondok nem lesznek viszont a réz szál lényegesebben jobban és hamarabb fog törni. Ezért érdemes egy 2.5mm-es vastagságú rézszállal próbálkozni inkább. Ha azzal próbálkozna az ember, hogy össze tekerje vagy valamilyen módon összefonja a vékony szálat egy vastaggá, mondjon le róla. Teljesen elrontaná a gain-t.

Kerüljük a rézhuzal törését is. Ha a rézhuzal megtört, ne próbáljuk meg összeragasztani vagy összeforrasztani. Egy forrasztás hely vagy egy rossz ragasztás (jól ragasztani valószínűleg nem fog az ember, ha csak nem profi) nagyon le tudja vinni a gain-t. A 2 kivétel a rézhuzal ragasztására és forrasztására a koax csatlakozás alul, ahol forrasztani kell és a teteje, ahova érdemes, de nem kötelező felragasztani a rézhuzalt stabilitásért.

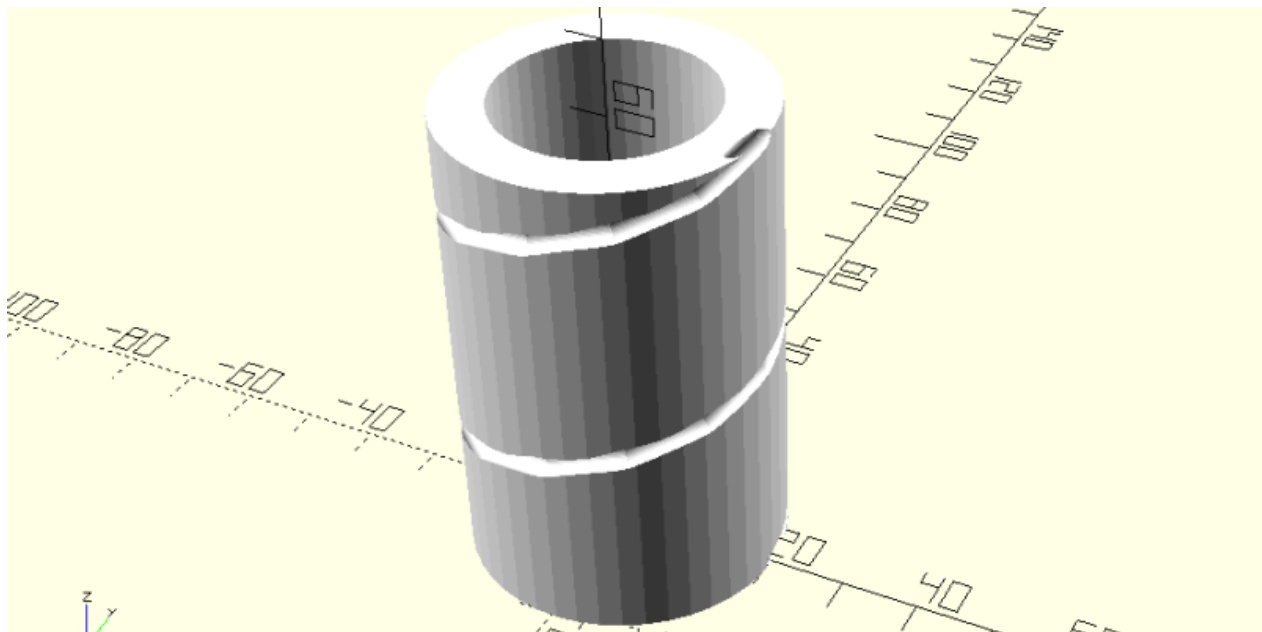
(Egy menet közötti távolság: 31.25 mm)

## 9.8. A helix huzal rögzítése

1. Rögzítsük a helix huzal kezdetét a betáplálási pontnál, a reflektor közelében.
2. Tekerjük a huzalt egyenletesen a PVC cső köré, megtartva a 40 mm átmérőt és a menetek közötti 31.25 mm távolságot. Itt azt is értem, hogy a már előtte beleillesztett 3D nyomtatott elemek lyukán át kell vezetni felfele a rézszálat. Fontos, hogy RHCP legyen a felvezetés módszere. Ez azt jelenti, hogy a sugárzás felé óramutató járással megegyező módon kell a helix huzalt feltekerni. Ez azt jelenti, hogy felülről nézve az óramutató járással ellentétes mozgást ír le a helix huzal telepítése, hogy ha alulról felülre tekerjük fel.

Itt érdemes megjegyezni, hogy a helix alakká alakítás és annak a felfűzése nem egy triviális feladat, mivel a 2mm vastag rézhuzalt már kézzel nehéz törésmentesen hajlítani.

Én erre egy 3D segédmodellt készítettem, amellyel alakba lehet tekerni a rézhuzalt:



20. ábra. Helix mold.

Érdemes még a 20 menetet a "levegőbe" feltekerni ennek az elemnek a segítségével és csak később felvezetni a rúdra. Ezek után bele lehet tűzni a tartó elemeket a rúd és alulról

felvezetni a helix huzalt:



21. ábra. A felvezetett réz huzal.

A felvezetett rézhuzalt kicsi, ragasztható 3D nyomott elemekkel rögzítjük:



22. ábra. Rögzítő elem 1. nézet.

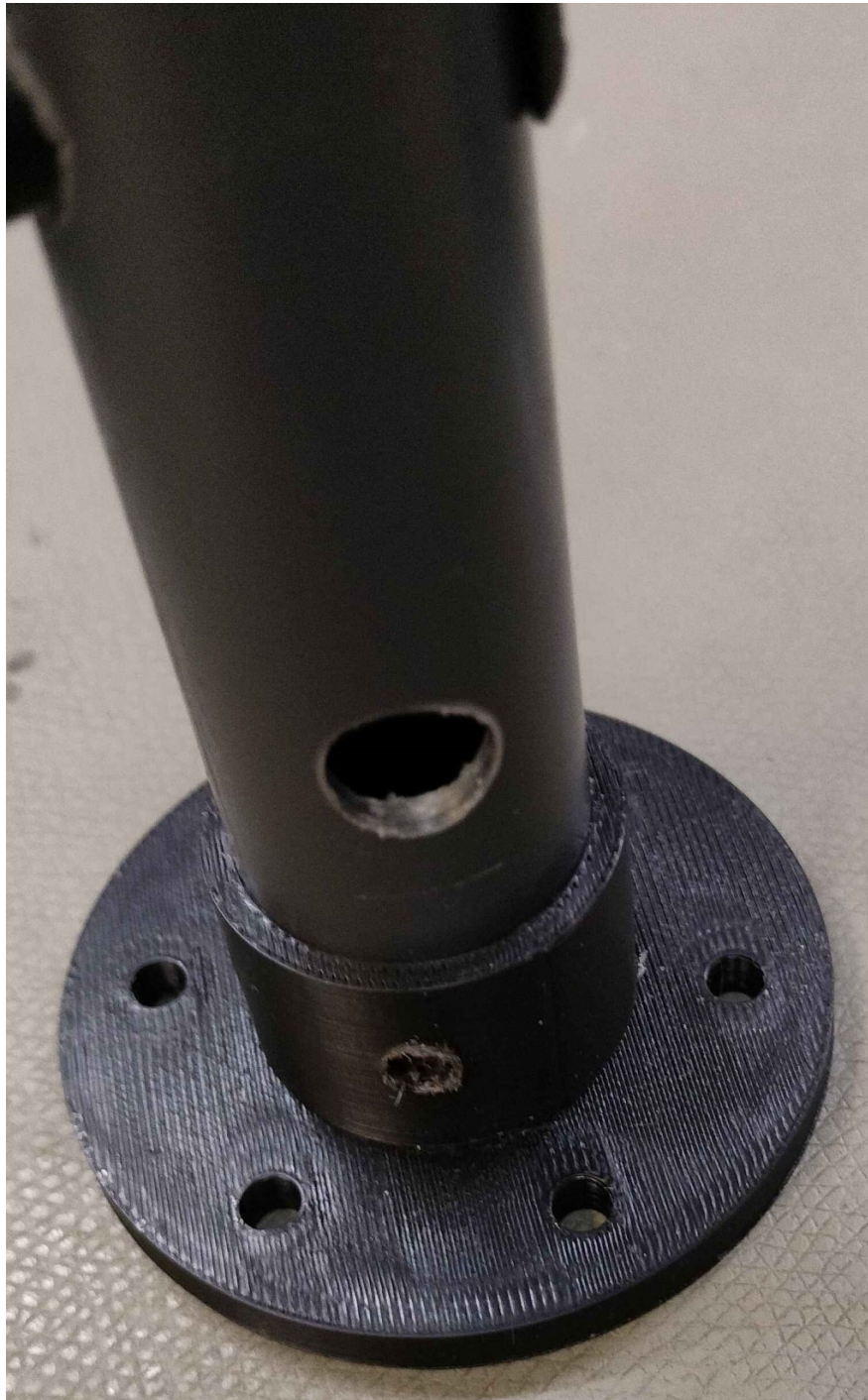


23. ábra. Rögzítő elem 2. nézet.

A helix huzalt ezeknek a lyukain kell átveze. A cső az egyik oldalukon megfogja az elemeket, ott érdemes lehet ragasztással rögzíteni, de ez opcionális mert anélkül is elég stabil a helix struktúra. (A helix alakzat is ad valamennyi stabilitást)

Itt fontos megjegyezni, hogy oda is kell majd forrasztani a coax kábelhez a rézhuzalt, ami pedig a cső belsejében van. Ehhez egy olyan lyukon lehet bevezetni a helix huzal maradékát, ami legalul van a feed hole felett. (Ezért is jó, hogy alulról tekertük fel a helix-et, így a maradékot le tudjuk vágni majd, ha kell és nem kell mérni):





24. ábra. A feed hole shortcut.

A fázishoz fontos, hogy a coax hosszát jól igazítsuk. Itt lehet választani, hogy a kicsi vagy nagy lyukon vezetjük át a rézszálat a jobb hossz igazítás érdekében.

3. Szükség esetén használjunk nem vezető rögzítőelemeket vagy ragasztót a huzal helyben tartására. (Én használtam 16 db rögzítő elemet, ahogy a képen is látszik)
4. A helix végét opcionálisan rögzítsük a PVC cső tetején. Mivel én egy 2mm vastag rész huzalt

használtam így én a tetejét nem rögzítettem, mert ez a vastagság már alaktartó.

5. Ha a helix rézhuzal nem olyan vastag, akkor érdemes egy feltekerő 3D nyomtatott widgetet használni. (Ehhez lentebb fog egy kép látszani.)

Az RHCP fontos, mivel ha nem jó módon tekerjük fel a huzalt, akkor 20-30dB veszteség is lehet a gain-től, ami konkrétan használhatatlanná tenné az antennát. (A másik mód az LHCP, ahol az óramutató járásában tekernénk fel a rézhuzalt, ezt kérik kerülni.)

### 9.9. A koaxiális kábel+insulator telepítése

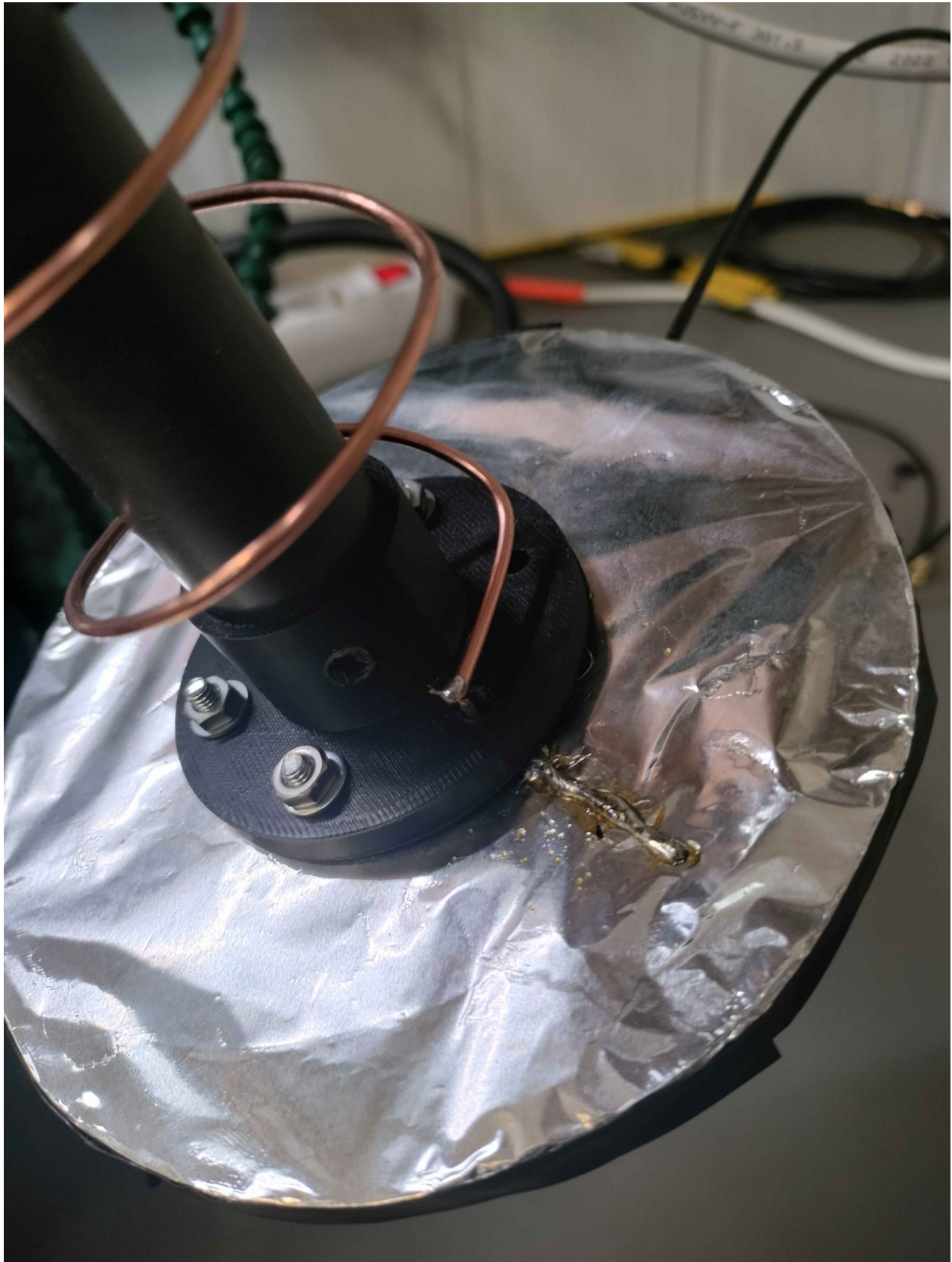
Itt több megoldás is van. Használhatjuk a feed hole-t, viszont azzal az a probléma, hogy borzasztó forrasztani. A másik probléma, hogy az optimális hélix csatlakozás olyan, hogy a koax kábel és a helix középső ere már egyből az 1. menet kezdésénél kéne, hogy kezdődjön. Másik esetben lesz valamennyi gain loss, de az bizonyos konstrukcióknál tud kényelmesebb lenni (rendes alu lap esetén).

Először a koax egyik oldalát csupaszítsuk le és blankoljuk le 1cm-t a legkülső részéből. Az ott talált shield réz szálakat tekerjük össze egy oldalra, ezt kell beforrasztani az antenna reflektorába (hogy alul vagy felül csináljuk az mindegy RF szempontból). Ezek után egy fél cm-en bontsuk meg a középső eret, majd azt is fonjuk fel. Fontos, hogy az erek ne érintkezzenek, mert az az egész antennát elrontja.

A következő lépések elvégzésének megkönnyítésének érdekében érdemes szét szerelni az egész antennát modulokra (pl: csövet, talpat külön).

Vannak lejjebb képek a gyártásról, hogy ha a szöveg nem lenne elég körülíró.

1. Használjunk egy legalább 31.25 mm hosszú ( $\lambda/4$ ) koaxiális kábelt az antenna betáplálásához.
2. A fent írt megbontás után óvatosan csupaszítsuk le a koax kábelt valamelyik lyukon (érdemes olyat választani, ahol egyből tud a helix menetével érintkezni majd a középső ér), majd csatlakoztassuk az árnyékolást a reflektorlemezhez. Forrasszuk rá azt, majd rakjuk rá a központi oszlop tartóját. (Könnyebb, ha a tartóba már be van állítva a cső)
3. A középső ér nézzen felfelé és forrasszuk rá a helix menetére.
4. A betáplálási pontnál szigetelő szalaggal fedjük le a feed egészét. Ha 2-3mm-el még sikerül lefedni a lap tetején/alját az se baj. A tetején azért kerüljük a teljes lefedést vagy amennyit csak lehet. Az alján abban az esetben, ha az alufóliás megoldást csináljuk, akkor célszerű le szigszalagozni az egész alját, csak azért, hogy a kábel véletlen se csatlakozzon ahhoz. De ha van a kábelnek szigetelő borítása, az is elég. Ezt csak megemlítettem.
5. Biztosítsunk stabil elektromos kapcsolatot, miközben a mechanikai stabilitás is megmarad. Ezt forrasztással könnyű megcsinálni, ha a rézkábel nem olyan vékony. Ha a kábel nem tűnik stabilnak eléggé, oda lehet szigszalagozni az alaplap aljához.

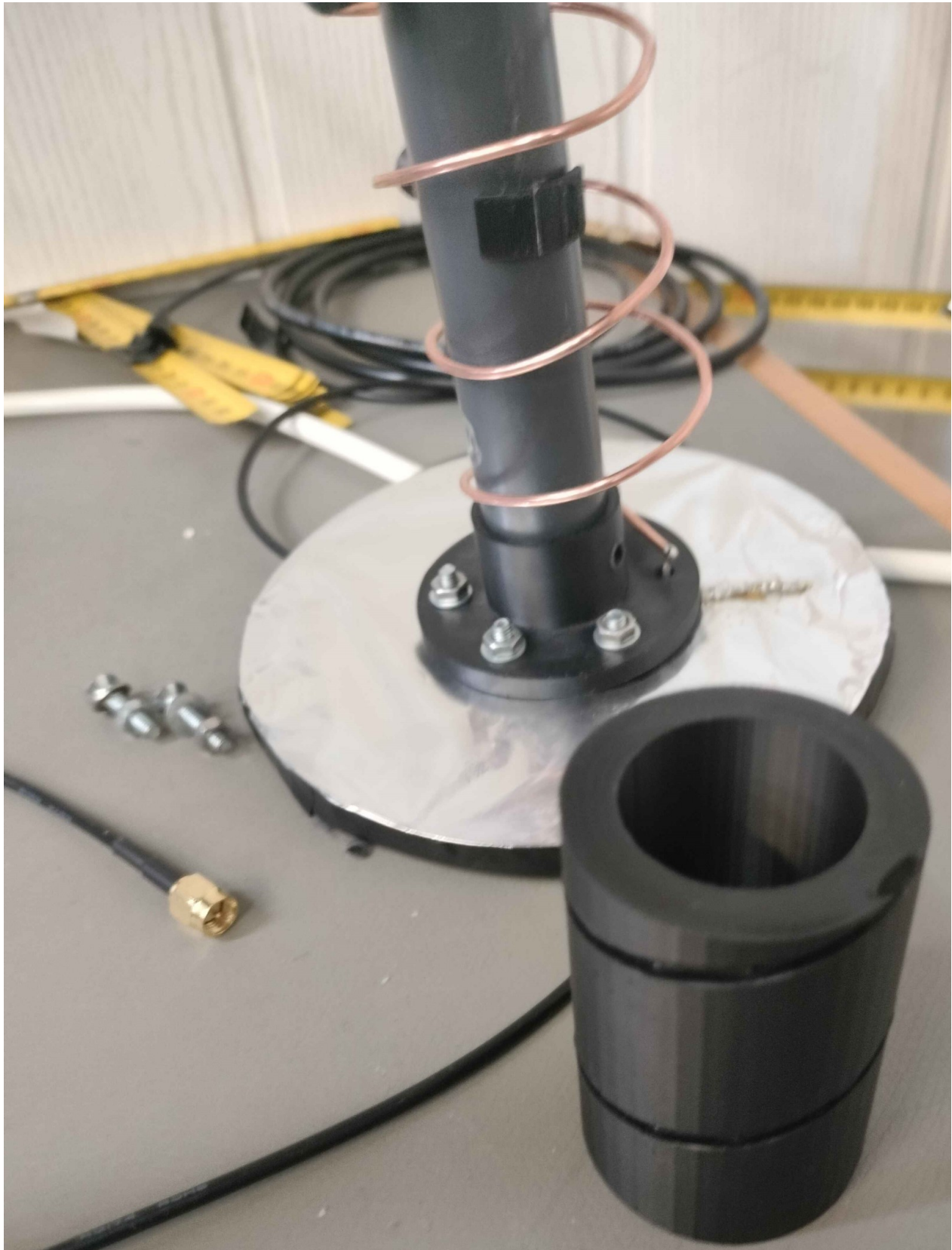


25. ábra. Koax kábel forrasztási nyoma a reflektoron és a helix meneten.





26. ábra. Koax kábel befűzve az egyik lyukba. (Én egy RG174 coax-ot használtam.)

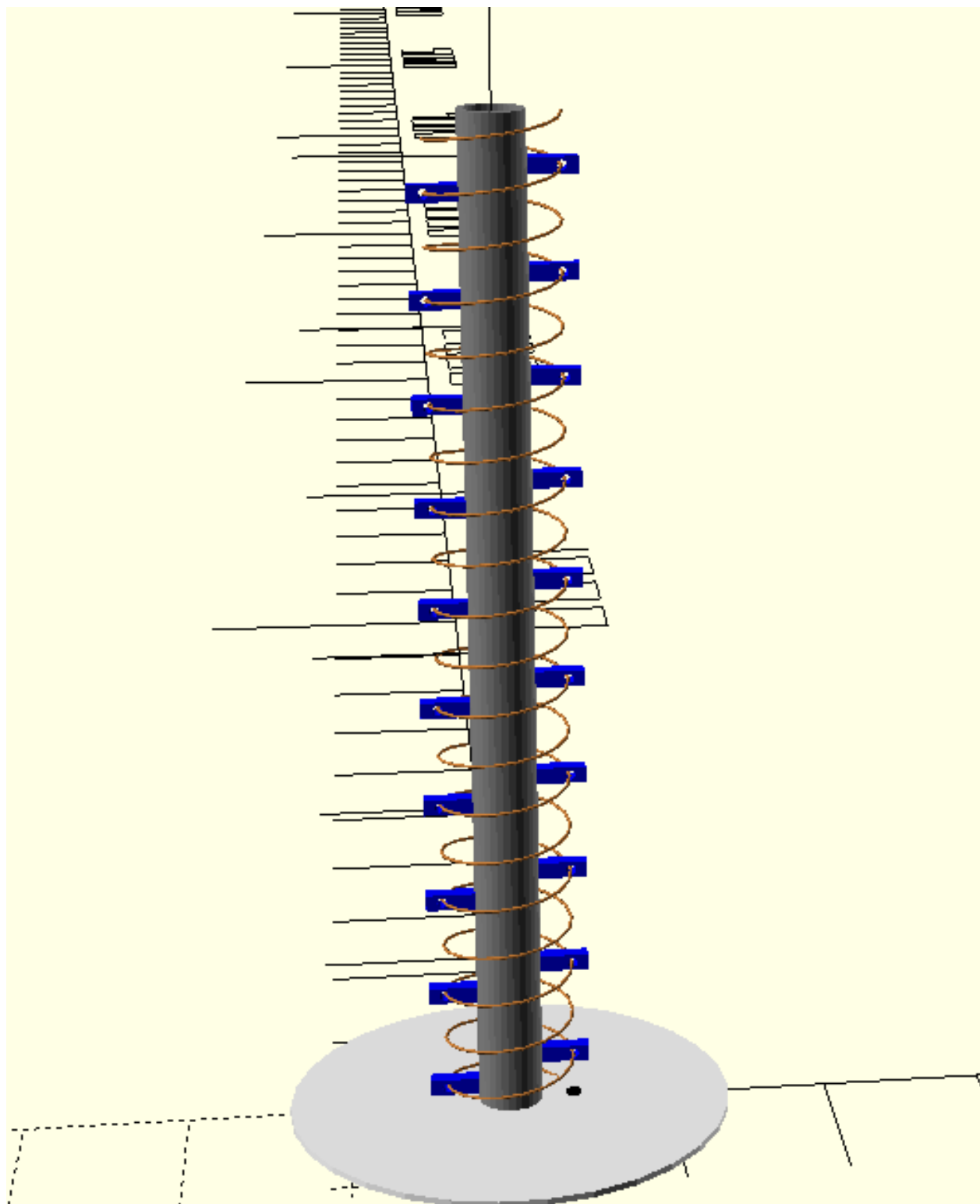


27. ábra. Lehetséges, hogy a helix első pár menete elcsúszik a felfűzés után. Ezt utólag kézzel és csípőfogóval érdemes jó helyre igazítani. Itt a képen kicsit oldalra van csúszva.

### 9.10. A kábelek rögzítése

A fő ötletem az, hogy 16 darab 3D nyomtatott rögzítőelemet használjunk a réz szál köztes rögzítésére, amelyek egyenletes távolságban tartják a huzalt anélkül, hogy erősen hozzáérnének a PVC csőhöz. Ezeket az elemeket a PVC csőhöz lehet ragasztani. Emellett erős epoxi ragasztó is használható a rögzítőelemek stabil felhelyezésére, viszont a gyártási tapasztalat alapján a ragasztót ki lehet hagyni, mert a helix struktúra is ad elég nagy stabilitást és szerelhetőség szempontjából is jobb, ha nincs ragasztva.

1. A helix réz huzal felső része egyszerűen a csőhöz hajlítható. Ez nem ideális, de nagyon egyszerű megoldás. Alternatívaként kisebb kábelkötegelők is használhatók a helix huzal rögzítésére, ha lyukakat fúrunk a PVC csőbe, de véleményem szerint ez elég körülményes. (A végleges furatos 3D nyomtatott támaszos terv eléggé sokat segít az antenna közbenső struktúrában)
2. A huzal rögzítése a betáplálási pontnál nehézkes. Közvetlen fém–fém kapcsolat NEM lehet jelen. Szigszallaggal le kell fedni az alulap vagy fólia azon részeit, aminek van akár egy kis esélye is, hogy érintkezzenek.
3. Fúrunk egy kis lyukat a PVC csőbe. A lyuk mérete legyen akkora, hogy a rézszál majd ki tudjon menni rajta és elkezdhesse a felfutását.
4. (A szigetelő a reflektorhoz ragasztással is rögzíthető.)
5. Hajlítsuk meg a helix huzal kezdetét úgy, hogy egy kis hurkot képezzen. Ezt a hurkot csúsztassuk rá a szigetelőre (mintha egy kulcsot akasztanánk egy kampóra).
6. A huzalt vezessük ki a tartó aljánál, majd forrasszuk a koaxiális kábelhez.
7. A huzal ekkor már mechanikailag rögzítve van. Ezután a koax központi erét a helix huzalhoz kell forrasztani.
8. Itt megemlíteném, hogy a kábelnek még az is segít, ha valamilyen módon oda van erősítve az alaplap aljához. Ez lehet szigetelő szallag is. Opcionálisan ki lehet próbálni, hogy már a lapon felül, ahol rögzítve van a PVC cső, oda be szigszallagozni, bár ezt nem próbáltam még ki.



28. ábra. A huzal rögzítése 3D nyomtatott elemekkel.

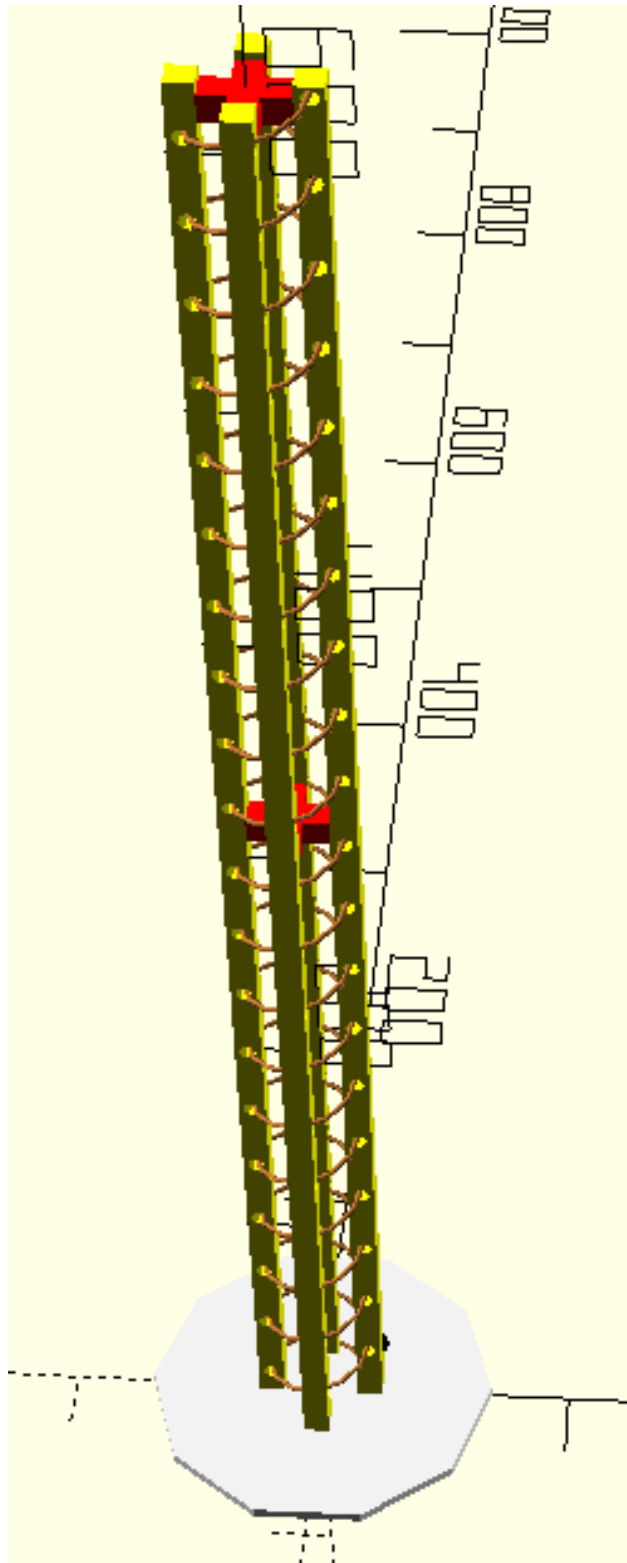
## 10. Utó-optimalizációk

Az antenna alsó helix menetei lehet, hogy nem jó sugarúak/el vannak tolva. Ezt már kézzel és csípőfogóval a legegyszerűbb korrigálni, illetve ha instabil a koax csatlakozás, akkor érdemes szigetelő szallaggal alulra beszallagozni.

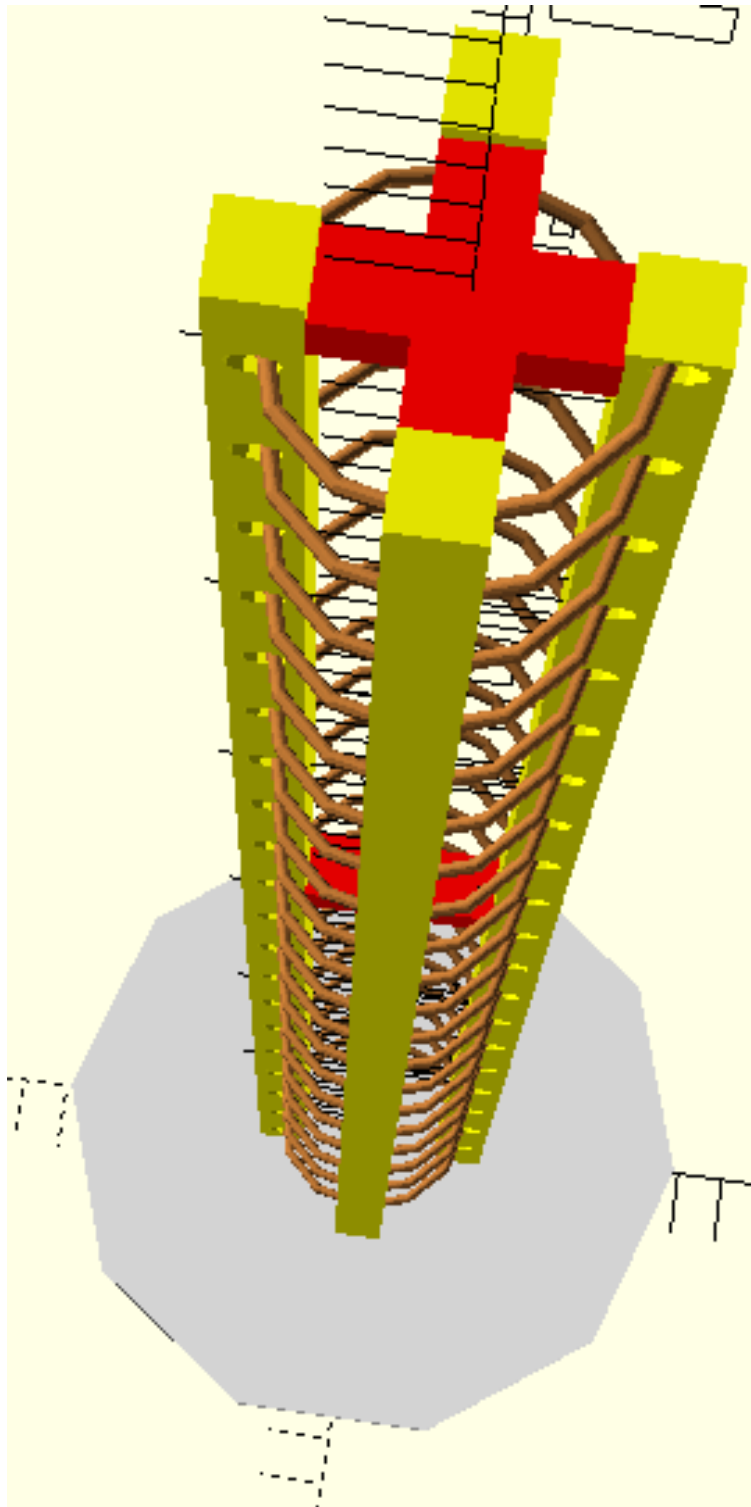
## 11. Az antenna összeszerelése V2

Egy még jobb megoldás 4 oszlop és 2 merevítő használata, amit elég nagy 3D nyomtató hiányában nem készítettünk el:





29. ábra. Az antenna szerkezetét 4 darab 3D nyomtatott oszloppal tartjuk.



30. ábra. A szerkezet stabilitását két kereszt alakú merevítő növeli.

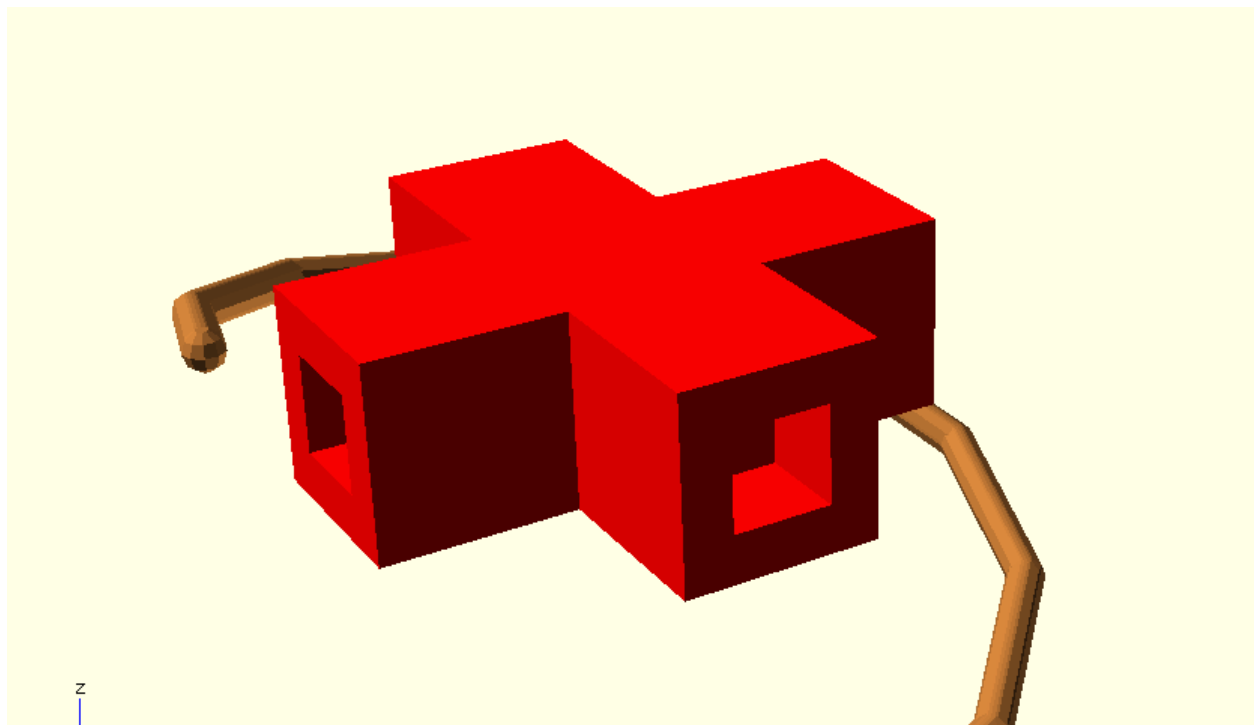
Az összeszerelési folyamat hasonló a V1 verzióhoz, de a PVC cső helyett egy egyedi 3D nyomtatott struktúrát használunk.

### 11.1. A struktúra összeszerelése

A merevítők furatokkal rendelkeznek, amelyek ragasztással együtt további stabilitást biztosítanak.



31. ábra. A negatív furatok láthatók.



32. ábra. A pozitív távtartó helyek láthatók.

Az elemeket enyhén túlméretezett illesztéssel terveztük, így kisebb 3D nyomtatási pontatlanságok is tolerálhatók.

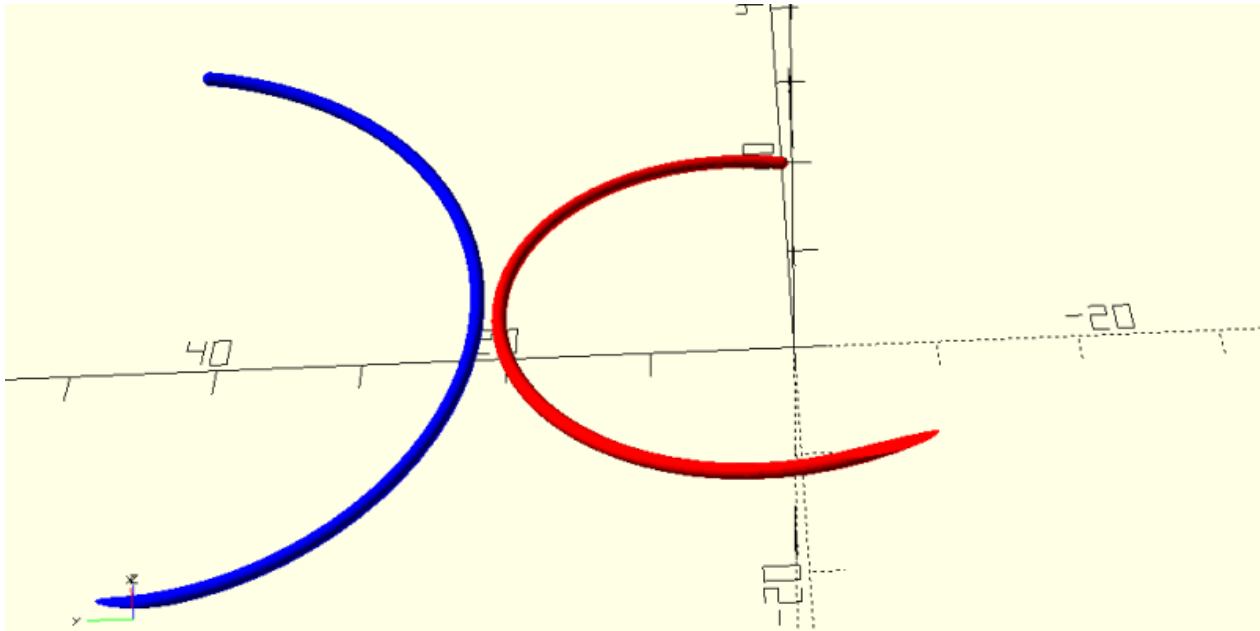
### 11.2. Fizikai ellenőrzés, egyszerű validáció

1. Ellenőrizzük, hogy minden menet egyenletes-e és a helix átmérője konzisztens-e.
2. Győződjünk meg arról, hogy a helix merőleges a reflektorlemezre.
3. Ellenőrizzük, hogy a koaxiális betáplálás megfelelően illesztett és stabilan rögzített-e.
4. Opcionálisan teszteljük az antennát hálózatanalizátorral vagy SWR mérővel, hogy megerősítsük a megfelelő rezonanciát 2.4 GHz-en.

## 12. Korlátok és problémák

1. A 20–30 mm külső átmérőjű PVC cső ideális.
2. A gyártás szűk keresztmetszete a menetek közötti egyenletes távolság lesz. Egy fa sablont vagy 3D nyomtatott segédeszközt (Helix Winding Jig) érdemes készíteni vagy beszerezni. Alternatívaként a 3D nyomtatott rögzítőelemeim is használhatók.
3. A reflektorlemez és a helix huzal kivételével kerülni kell minden fémtömeget az antenna közelében.
4. A kábel árnyékolását (föld) a reflektor fém részéhez kell csatlakoztatni.
5. A vevő számítógépnek legalább 3 USB dongle kompatibilis porttal kell rendelkeznie.

6. Legfeljebb 250 milliwatt teljesítmény elegendő.

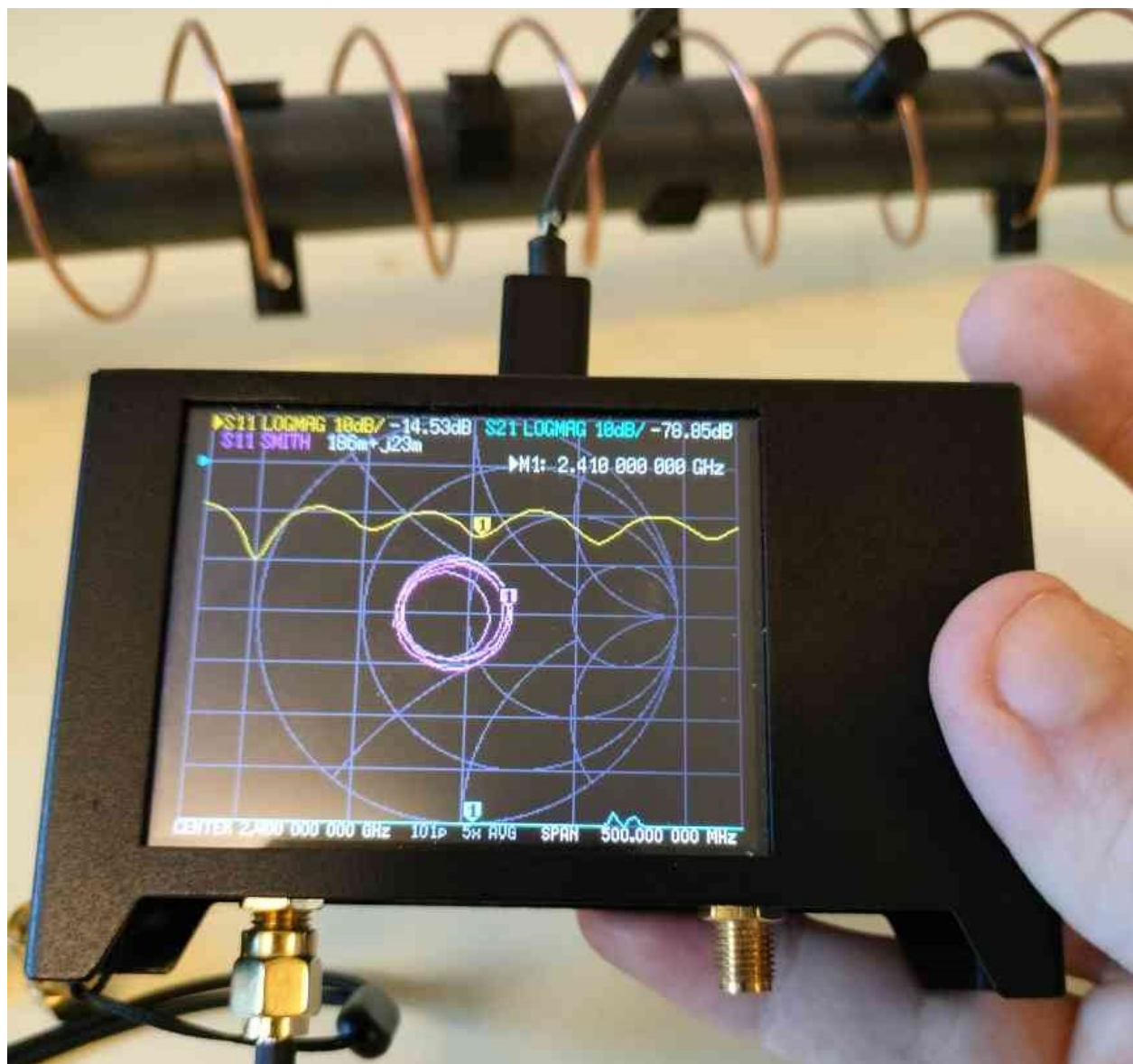


33. ábra. Egy 3D nyomtatható segédsablon. Külön kell kinyomtatni és összeragasztani. (A 3D rögzítőelemek miatt már nem feltétlenül szükséges.)

### 13. Tesztelés és validáció

Az alábbi teszteléseket érdemes elvégezni az antennánál.

1. Anyagtesztelés: multiméterrel ellenőrizni kell a helix huzal folytonosságát, valamint a reflektor és a föld közötti kapcsolatot (a reflektor nem érhet hozzá a rézhuzalhoz közvetlenül). A HVT tesztelés itt előnyös lehet, mert az RF validáció így könnyebb.
2. Rövid hatótávolságú tesztekkel kell végezni a hosszú hatótávolságú tesztek előtt.
3. Hosszú hatótávolságú tesztekkel az előző két teszt után kell végezni. Látótávolsági tesztekkel kell végezni 3 km, 4 km és 5 km távolságból. Emellett az iránytűrési szöget is meg kell határozni, valamint a maximális szögeltérést. A kültéri jelvesztést is mérni kell.
4. A műhelyben lévő NanoVNA-val kimérés. Ez megadta az antenna karakterisztikáját.



34. ábra. A VNA kimérés eredménye. Látszik, hogy van 2.4Ghz-nél logmag függvény bemenés és még más pontokon in. Ez azért van, mert nincs a legszabályosabban a helix elem felfűzve.

### 13.1. Long range teszt - 2026. 05. 15.



35. ábra. Kép a long range teszt területéről.



A long range teszt célja az, hogy megbizonyosodjunk, hogy az antenna valóban tud adni/venni egy fix távon belül.

A long range teszt helyszíne Áporka volt a nagy mezők miatt, ami biztosította a tiszta rálátást az adóra a vevő szempontjából.

A tesztre ezt a helixet, egy 433-as COTS és egy rubber ducky-t hoztunk, viszont később ezekkel voltak problémák. Eredetileg egy 1km és egy 3km-es tesztet terveztünk de végül 1,3km-en teszteltünk egyedül.

A teszthez készült külön jegyzőkönyv, melybe a többi antenna mérési eredmények is jobban taglalva vannak.

#### **13.1.1. Optimális irányultság**

A mérés során megállapítást nyert, hogy az antenna akkor nyújtja a maximális teljesítményt, ha a koaxiális bemenethez képest az óramutató járásával ellentétes irányban (CCW) 90 fokkal elforgatva használjuk.





36. ábra. Látszik, hogy a földhöz viszonyítva melyik részének kell lefele néznie az antennának amennyiben oldalról veszünk.

Konfiguráció	Távolság	RSSI	SNR	Státusz
Optimális (90° CCW)	1,3 km	-5 dBm	-25-30 dB	Sikeres
Horizontális +10°	1,3 km	Stabil	-25-30 dB	Sikeres
Horizontális -10°	1,3 km	Stabil	-25-30 dB	Sikeres
Vertikális +10°	1,3 km	Stabil	-25-30 dB	Sikeres
Vertikális -10°	1,3 km	Stabil	-25-30 dB	Sikeres

2. táblázat. Mérési eredmények összefoglalása

### 13.1.2. Műszaki megfigyelések

- **Irányítottság:** Az antenna nyílásszöge mind horizontális, mind vertikális síkban körülbelül  $\pm 10^\circ$ -os tartományban biztosít tiszta vételt. Ez összesen egy kb.  $20^\circ$ -os kúpot jelent.
- **Polarizáció:** Az adó oldalon végzett 360 fokos forgatás nem eredményezett változást a jelerősségekben. Ez igazolja a Helix antenna körpolarizált (CP) jellegét, amely hatékonyan szűri ki az orientációból adódó jelvesztéseket.
- **Hatótáv:** Az 1,3 km-es távolságon mért -5 dBm RSSI érték jelentős tartalékot (link margin) feltételez, ami lehetővé teszi a hatótávolság további növelését.

### 13.1.3. Lessons learned

A long range teszt nagyon sok helyen nem volt optimális. Voltak funkcionális és kényelmi hiányok és problémák is.

1. A 433-as rubber ducky helyett a 868-as lett elhozva.
2. A 433-as COTS yagi csatlakozója nem lett helyesen ráillesztve így az se működött.
3. Nem volt előre checklist, csak minimális.
4. Úgy indultunk el, hogy tudtuk, hogy legalább az egyik antenna nem megy. Ilyenkor jobb lett volna abort-ot jelenteni és inkább megjavítani az antennát teszt helyett.
5. Nem mértük be, hogy mennyi idő lesz a teszt. Nem is biztos, hogy lett volna idő a 3km-t is megnézni.
6. A tesztelés kényelmetlen és fárasztó volt mert nem hoztunk antenna rögzítéseket és állványokat.
7. A földön kellett mindent csinálni mert nem hoztunk asztalt. Egy asztal vagy szék mindenképpen kellett volna a kényelem és rend érdekében.
8. Feleslegesen messzire kellett utazni, az oda-vissza út is sok volt (1,5 óra). Értelmesebb lett volna Budapesten belül csinálni.
9. Kellott volna ételt hozni. (Inkább engem érintett)
10. Eredetileg egy short range tesztet is terveztünk, hogy még az utazás előtt megbizonyosodjunk arról, hogy az antennák legalább minimálisan működnek. Ennek elhagyása súlyos hibákat eredményezett. A 433-as antennák problémái is kiderültek volna hamarabb.

#### 13.1.4. Következtetések

A DIY Helix antenna az elvártaknak megfelelően teljesített. Az 1,3 km-es távolságon mért stabil SNR és RSSI értékek alkalmassá teszik az eszközt a BME Suborbitals projektjeiben való alkalmazásra, különösen olyan esetekben, ahol a vevőoldali követés (tracking) megoldott a  $\pm 10^\circ$ -os nyílásszögön belül.

### 14. Utómunkálatok és Fine-tuning

A helix antenna alja nem volt circullárisan a legszabályosabb, így azt még csípőfogóval utólag meg kellett hajlítani.

A sok menet miatt elég irányított volt az antenna. Ha nem zavar, hogy nem vesz olyan messziről az antenna akkor le lehet vágni belőle és akkor nagyobb lesz a nyílásszöge.

### 15. Aftermath

1. Szerencse volt, de pontosan annyi rézhuzalt vettünk, hogy elég legyen. Ezt később érdemes nem a sorsra bízni, mert megüthettük volna a bokánkat.
2. Mivel nem állt rendelkezésre alumíniumlemez, egy 3D nyomtatott struktúrát készítettünk, amelyet alumíniumfóliával vontunk be. Ez kevésbé merev, viszont könnyebb szerkezetet eredményez.

### Hivatkozások

- [1] Helix antenna kiszámoló online,  
[https://www.changpuak.ch/electronics/calc\\_12a.php](https://www.changpuak.ch/electronics/calc_12a.php)
- [2] Saját helix pattern approximáló programom,  
<https://afghangoat.hu/antenna/simulation.html>
- [3] Saját helix anyag számoló programom,  
[https://afghangoat.hu/antenna/helix\\_wire\\_calc.html](https://afghangoat.hu/antenna/helix_wire_calc.html)
- [4] DIY helix antenna tippek,  
<https://sgcderek.github.io/tools/helix-calc.html>