



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar  
Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet



OE-BGK  
2022.

Hallgató neve: Petrusán Anna  
Hallgató törzskönyvi száma: T008675/FI12904/B



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem  
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar  
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

## SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Petrusán Anna

Szakedolgozat száma: SZD22060114437449

Törzskönyvi száma: T008675/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - géptervezés

A dolgozat címe: Elektromágneses sugárzást csökkentő burkolat tervezése

A dolgozat címe angolul: Design of a cover that reduces electromagnetic radiation

A feladat részletezése:

1. Az elektromágneses sugárzás hatása, irodalmi összefoglaló
2. A burkolattal szembeni követelmények bemutatása
3. Burkolat tervezése
4. Anyagválasztás és ellenőrzés
5. Költségszámítás az acélburkolatra és a szálerezősítésű kompozit burkolatra

Intézményi konzulens neve: Dr. Kovács Tünde Anna

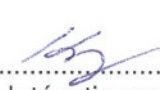
A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 24.



  
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: \*2022. 12. 15.



belső konzulens

  
külső konzulens



## HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Petrusán Anna** / [REDACTED] hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022. december 15.

hallgató aláírása

## Tartalomjegyzék

|       |                                                                                      |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | BEVEZETÉS .....                                                                      | 6  |
| 2.    | AZ ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS HATÁSA/MEGELŐZÉSE.....                                   | 7  |
| 2.1   | Az elektromágneses mező bemutatása.....                                              | 7  |
| 2.1.1 | Természetes források .....                                                           | 8  |
| 2.1.2 | Ember alkotta források.....                                                          | 8  |
| 2.1.3 | Alacsony frekvenciájú elektromágneses (EM) források.....                             | 8  |
| 2.1.4 | Magas frekvenciájú elektromágneses források.....                                     | 8  |
| 2.2   | Az elektromágneses sugárzás hatásai emberre nézve .....                              | 9  |
| 2.3   | Az árnyékolás mechanizmusa (Elektromágneses árnyékolás hatékonyságának leírása)..... | 10 |
| 2.4   | A Faraday-kalitka ismertetése.....                                                   | 11 |
| 2.5   | Mi az az elektromágneses interferencia (EMI)? .....                                  | 11 |
| 2.5.1 | Az EMI elkerülése nyomtatott áramkör esetében.....                                   | 12 |
| 2.5.2 | Az EMI elkerülésére szolgáló burkolat kialakítása .....                              | 13 |
| 3.    | A BURKOLATTAL SZEMBENI KÖVETELMÉNYEK BEMUTATÁSA .....                                | 16 |
| 3.1   | Az elektromágneses árnyékolás különböző típusai.....                                 | 16 |
| 3.2   | Elektromágneses árnyékolás kompozitokkal .....                                       | 17 |
| 3.3   | Szén anyagok és kompozitjaik .....                                                   | 18 |
| 3.4   | Mátrix anyagok .....                                                                 | 19 |
| 3.5   | Kompozit tesztelése EMI árnyékoláshoz .....                                          | 20 |
| 3.5.1 | A kísérlet eredményei .....                                                          | 23 |
| 4.    | ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁST CSÖKKENTŐ BERENDEZÉS MEGTERVEZÉSE .....                    | 24 |
| 4.1   | A koncepció felállítása .....                                                        | 24 |
| 4.2   | Burkolat megtervezése szénszálas kompozitból .....                                   | 25 |
| 4.2.1 | A szénszálas kompozit burkolaton végzett szimulációk.....                            | 26 |
| 4.3   | A burkolat megtervezése acélból .....                                                | 28 |
| 4.3.1 | Az acél burkolaton végzett szimulációk .....                                         | 29 |
| 4.4   | Rajz készítése a tervezésről.....                                                    | 30 |

|       |                                                                                 |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.    | ANYAGVÁLASZTÁS ÉS ELLENŐRZÉS.....                                               | 31 |
| 5.1   | A kompozitburkolat tulajdonságai .....                                          | 31 |
| 5.2   | Az acélburkolat tulajdonságai .....                                             | 32 |
| 5.3   | A tervezett burkolatok összehasonlítása .....                                   | 33 |
| 6.    | KÖLTSÉGSZÁMÍTÁS AZ ACÉLBURKOLATRA ÉS A SZÁLERŐSÍTŐ<br>KOMPOZIT BURKOLATRA ..... | 36 |
| 6.1   | Az acél burkolat anyag költsége .....                                           | 36 |
| 6.1.1 | Az acél burkolat gyártási eljárásának költségvizsgálata.....                    | 36 |
| 6.1.2 | Az acélburkolat galvanizálása .....                                             | 38 |
| 6.2   | A szálerősítő kompozit burkolat költsége .....                                  | 40 |
| 6.2.1 | Polimer-mátrix kompozitok feldolgozása.....                                     | 40 |
| 6.2.2 | Kompozit gyártása vákuumos formázással.....                                     | 41 |
| 6.3   | Az anyag és az eljárás költségének összehasonlítása.....                        | 43 |
| 7.    | ÖSSZEFOGLALÁS .....                                                             | 45 |
| 8.    | SUMMARY IN ENGLISH .....                                                        | 47 |
| 9.    | FELHASZNÁLT IRODALOM.....                                                       | 49 |

## 1. BEVEZETÉS

A fejlődő világ előrehaladtával egyre nagyobb szerepet töltenek be az újabbnál újabb technológiák, és az ezekhez használatos anyagok ki- vagy továbbfejlesztése. A kutatásom főbb témája a kompozit anyag és ennek felhasználása, ami szintén az évek során nőtte ki magát. A kompozit anyag számos nagyon jó tulajdonsággal rendelkezik, típusától függően. Éppen emiatt is keltette fel olyannyira az érdeklődésemet.

Amennyiben visszatekintünk a történelem során, hogy hogyan is jött létre a kompozit, akkor láhatjuk, hogy az egyiptomiaknak már az 1500-as években felkeltette az érdeklődésüket az, hogyha két különböző anyagot kombinálnak, akkor egy erős és egy tartós összetett anyagot kapnak. Ezután a fejlődésnek köszönhetően az 1900-as években már növényeket használtak és ehhez állati eredetű gyantákat a ragasztáshoz [1].

Manapság már annyira kifejlesztette magát, hogy a legtöbb iparágban -leginkább az autóiparban és a repülőiparban- nagy népszerűséggel használják, hiszen rendkívül szilárd és könnyű anyagról beszélünk. A fogyasztó társadalom miatt egyre inkább megnövekszik a környezetszennyezés, és ennek a káros hatásai. E tekintetben is nagyon hasznos a kompozit anyagok felhasználása. A dolgozatom másik fő témájában az elektromágneses sugárzás hatásait szeretném bemutatni. Az emberek körül vannak véve számtalan olyan berendezéssel ami elektromágneses sugárzást bocsájt ki magából. Ezeket a berendezéseket az emberek és az eszközök védelme érdekében védeni kell különböző típusú burkolatokkal a sugárzás ellen.

A szakdolgozatom célja, hogy a fent említett témakörökből kellő irodalomkutatást végezve egy Faraday-kalitka elvén működő kompozit anyagból készült burkolatot tervezek, amibe el lesz helyezve egy nyomtatott áramkör. Így, ha egy elektromos járműbe kerül kellő képpen lesz védve az elektromágneses sugárzástól.

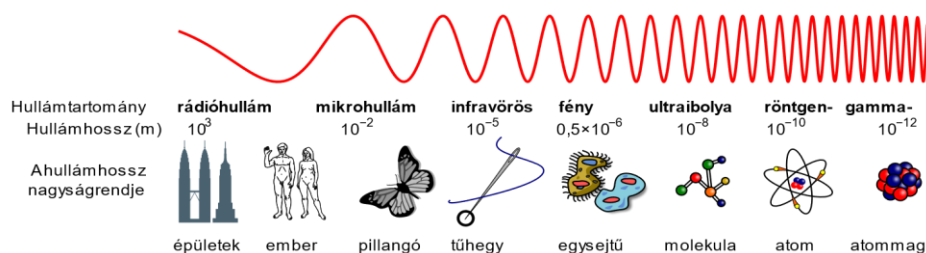
Ahhoz, hogy megbizonyosodjak arról, hogy a kompozit burkolatom használatának nagyobb előnyei vannak, így tervezni fogok egy acélburkolatot is, aminek segítségével össze tudom hasonlítani a két berendezést. Az utolsó témakörben egy program segítségével költségszámítást hajtok végre a burkolatok anyagainak áráról és gyártásáról. Így lesz az összehasonlításom teljes körű, majd ebből fogok tudni levonni egy következtetést, hogy melyik használata lesz ajánlottabb.

## 2. AZ ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS HATÁSA/MEGELŐZÉSE

### 2.1 Az elektromágneses mező bemutatása

Az elektromágnesesség a fizika egyik ága, amely az elektromos és a mágneses mezők közötti kölcsönhatásokat vizsgálja. Minden anyagnak van elektromos töltése, amely lehet pozitív, negatív vagy nulla.

Ezek az elektromos erők összetartják az atomokat. Megfelelő körülmények között az egymással kölcsönhatásban lévő elektromos és mágneses mezők folyamatosan képesek létrehozni és fenntartani egymást. Ez elektromágneses mezőt hoz létre, amely az elektromágneses energia vagy sugárzás hullámait továbbítja az űrbe. Ennek a sugárzásnak az intenzitását a frekvenciája határozza meg. Ezek a frekvenciák alkotják az úgynevezett elektromágneses spektrumot [2].



2.1. ábra: Elektromágneses spektrum [3]

A 2.1-es ábrán is látható, hogy a spektrum közepén a látható fény található. Ilyen például a csillag, TV vagy a számítógép képernyőjének kibocsátott fénye. A spektrum többi részén pedig a láthatatlan hullámok vannak. Az egyik része hosszú és alacsony frekvenciájú rádióhullámokat (televízió és rádiójelek), mikrohullámokat és infravörös hullámokat sugároz.

A másik része viszont rövid és magas frekvenciájú hullámhosszokat sugároz, mint például: az ultraibolya, röntgen vagy a gamma sugárzás. Az alacsony frekvenciájú hullámoktól eltérően ezek a hullámok áthaladhatnak az emberi testen, így hasznosak lehetnek orvosi alkalmazásban [2].

Összeségében az elektromágnesesség alkalmazása mára már az emberek életébe ékelődött, így szinte nélkülözhetetlenné vált bolygónkon.

### **2.1.1 Természetes források**

Az elektromágneses mező természetes forrásai közé tartozik pl. a villám, az eső és a zivatar. Akárcsak ha megnézzük az iránytű működését, láthatjuk, hogy az iránytű tűje a föld természetes mágneses mezeje miatt, északi, déli, nyugati és keleti irányba tájolja [4].

### **2.1.2 Ember alkotta források**

Természetesen nem csak a fentiekben említett természeti forrásból keletkező elektromágneses mezők léteznek, van ugyanis számos ember által alkotott is. A modern társadalmunknak köszönhetően egyre nagyobb teret kapnak az elektromossággal működő berendezések, ilyen például a számítógép, telefon, vagy akár a konyhai berendezések is. Ennek köszönhetően, ezeknek a használata az emberek mindennapi életében nélkülözhetetlenné váltak és ezáltal hihetetlenül megnövekszik az emberi forrás által generált elektromágnesesség. TV antennák, rádióállomások, radarok mind magas frekvenciát továbbítanak. A kórházakban is megtalálhatóak ezek az ember alkotta források, mint például diagnosztikai gépek vagy képalkotási berendezések. Ezek a technikák a képalkotáshoz elektromágneses hullámokat generálnak és így lehetőség van akár az emberi testet belülről is megtekinteni [4].

### **2.1.3 Alacsony frekvenciájú elektromágneses (EM) források**

Léteznek alacsony és magas frekvenciájú elektromágneses források. Az alacsony frekvenciájú elektromágneses mező frekvenciatartománya 1 és 300 Hz között van. Alacsony frekvenciájú EM forrásnak tekinthető az ember által alkotott vezetékek vagy elektronikus berendezések, például lakásban használt elektronikus eszközök [4].

### **2.1.4 Magas frekvenciájú elektromágneses források**

Magas frekvenciájú EM forrásokról beszélhetünk rádiófrekvenciás hullámok esetén. Ezek frekvenciatartománya 100KHz és 300GHz között helyezkedik el. Rádióállomások, radarok vagy TV-k magas frekvenciájú elektromágneses jeleket sugároznak [4].

## 2.2 Az elektromágneses sugárzás hatásai emberre nézve

Az elektromágneses sugárzás a mai világban meglehetősen nagy része az életünknek, főleg az utóbbi évtizedekben. Az EM sugárzást másképpen elektroszmognak is nevezik, ami a társadalomban igen fontos szerepet tölt be és a környezetben mindenhol megtalálható.

Példaképpen, mesterségesen létrehozott elektromágneses sugárforrások lehetnek a TV-k, rádiók, számítógépek, radarok, katonai radarok, elektromos vezetékek, mobiltelefonok vagy éppen háztartási berendezések (2.2-es ábra).

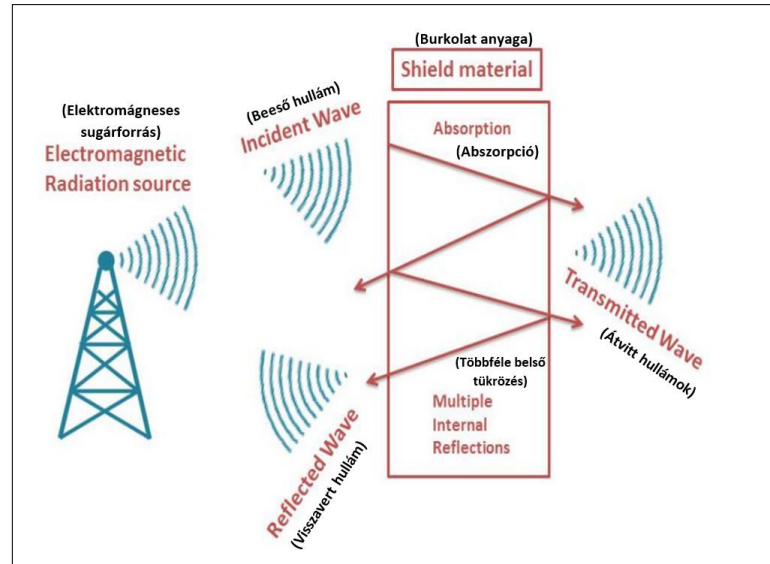


2.2. ábra: Az embert körülvevő EM sugárzás [5]

Persze ezeknek az elektromágneses hatása különböző lehet. Van ami az ember számára különösen veszélyes, ha hosszú ideig tartózkodik egy adott helyen, de van amivel együtt él, és olyan csekély elektromágneses sugárzást kap az emberi test, hogy nincs különösen egészségkárosító hatása. Az emberi test érzékeny ha nagymértékben éri elektromágneses sugárzás, különösen igaz ez a hosszútávon ért sugárzásra, mely akár egészségkárosító hatású is lehet. Az élettani hatások között lehetnek: idegrendszeri, szív- és érrendszeri vagy bőrgyógyászati problémák.

Például, ha huzamosabb ideig tartózkodik egy ember egy nagy teljesítményű radar létesítmény mellett, akkor elképzelhető, hogy a sugárzás veszélyes lehet. Ennek elkerülésének a legegyszerűbb módja, ha rövid ideig tartózkodik az adott területen, távolságot tart, és valamiféle védelmet biztosít számára. (Ezek a területek általában ember számára nem elérhetőek és el vannak kerítve).

### 2.3 Az árnyékolás mechanizmusa (Elektromágneses árnyékolás hatékonyságának leírása)



2.3. ábra: Elektromágneses burkolatok mechanizmusa [14]

Az elektromágneses interferencia hatékonyságát az elektromágneses hullám beeső és átvitt energiájának arányaként fejezik ki decibelben (a 2.3-as ábra ezt szemlélteti is) [6].

$$SE [dB] = 10 \log \left( \frac{P_{beeső}}{P_{átvitt}} \right) = 20 \log \left( \frac{E_{beeső}}{E_{átvitt}} \right) = 20 \log \left( \frac{H_{beeső}}{H_{átvitt}} \right)$$

A teljes árnyékolás logaritmikusan fejezhető ki, a képletben szereplő  $[P_{beeső}, E_{beeső}, H_{beeső}]$ , és a  $[P_{átvitt}, E_{átvitt}, H_{átvitt}]$  a bejövő és a továbbítandó elektromágneses hullámok teljesítménye.

Mikor az elektromágnesesség érintkezik az anyaggal, akkor abszorpció, reflexió és a többszörös visszaverődés egy időben történik. Ezt három tényező határozza meg [6].

$$SE [dB] = SE_R + SE_A + SE_M$$

$SE$  = Az árnyékolás hatékonysága

$SE_A$  = Árnyékolás abszorpcióval

$SE_R$  = Árnyékozás reflexióval

$SE_M$  = A többszörös belső tükröződés miatti árnyékolás

## 2.4 A Faraday-kalitka ismertetése

A 19. században feltalált Faraday-kalitka, egy védődoboz, amely segítséget nyújt az elektromágneses sugárzás ellen. A világ számos területén használnak Faraday-kalitkát, például kórházakban is, ezek mind ugyanazt az elvet követik.

A Faraday-kalitka feltalálása Michael Faraday brit tudós nevéhez fűződik, ez Benjamin Franklin előző feltalálásának a tovább gondolása. Abban a kialakított ketrecben, amit Faraday alkotott nem észlelt elektromosságot, csak a föliában, mert ez tudta vezetni az elektromosságot, ami körülvette a szobát [7].

Ez a fajta ketrec bármilyen anyagú lehet ami tud elektromágnesességet vezetni, például drótháló, fémfólia vagy fémlemez. Alakját tekintve lehet, gömb, henger vagy szögletes, ami lehet akár nagyon kicsi vagy rendkívül nagyméretű. Egészen bonyolult kialakítás is készülhet belőle, de akár rendkívül egyszerű módja is lehet, hogy Faraday-kalitka készüljön el, például, ha egy telefon műanyagba van becsomagolva, majd ez alufóliával van beburkolva, akkor készen is van egy Faraday-doboz [7].

Elektromágnesességet elnyomó berendezés a konyhában is egész egyszerűen megtalálható, ez a mikrohullámú sütő. Az orvoslásban használatos MRI gépek is Faraday-kalitkát használnak, hogy a rádióhullámok ne jussanak a helységekbe.

A járműveknél is igen hasonlóképpen működik, hiszen, ha villám csapna az autóba, akkor az autó külseje megvédené a benne ülő embereket, mert vezeti az áramot és az elektromosság a talajba jut a gumibroncsokon keresztül [7].

## 2.5 Mi az az elektromágneses interferencia (EMI)?

A dolgozatomban egyik központi témája az elektromágneses interferencia, mely ebben a fejezetben kerül bővebb bemutatásra.

Az elektromágneses interferencia egy olyan nem várt vagy nem kívánt zaj, zöreje az áramkörben, ami külsőleg érkezik. Ez a fajta interferencia az egész működést is leállíthatja. Akár emberi tényező is okozhatja ezt a körülmény meghibásodást vagy külső zajt. Ugyanakkor a hiba elhárítása és javítása gyengíti az elektromágneses interferencia hatását [8].

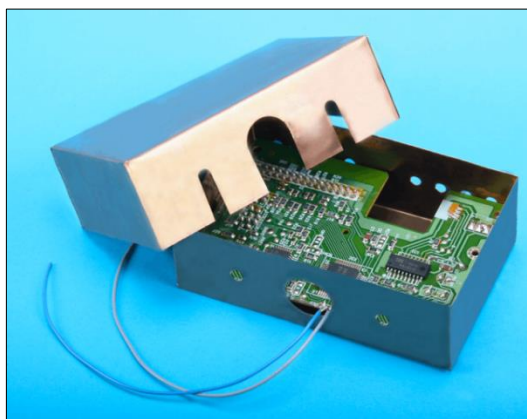
Amikor egy új terméket fejlesztenek már a kezdeti fázisban figyelni kell a sugárzás mértékére. Pont emiatt, sok esetben az elektromágneses interferencia problémája nem

oldódik meg könnyen, így például egy nyomtatott áramkör esetében védőborítást kell alkalmazni, mint egy Faraday kalitka. Egy olyan burkolatot, ami megvédi a külső tényezőktől, a kábelekkel közösen.

### 2.5.1 Az EMI elkerülése nyomtatott áramkör esetében

A nyomtatott áramkörök az elektronikus alkatrészek egyik legfontosabb része, olyan kártyák, amelyek elektronikus alkatrészeket kötnek össze. Számítalan felhasználási módja van különböző területeken, ilyenek például az orvosi eszközök (pl.: CT), LED-ek, kommunikációs eszközök (pl.: okostelefon, tablet, rádió), járművek, illetve további számos szektorban is [9].

Ha túlzottan sok az elektromágneses interferencia az meghibásodáshoz vezethet a terméken. A nyomtatott áramkör tervezőinek figyelembe kell venni az elektromágneses kompatibilitás szabályait is, ezzel is minél inkább lecsökkenteni az elektromágneses zavarok lehetőségét. A legfontosabb lépés a nyomtatott áramkör tervezésében az alapsík, mert ennek helyes megtervezésével jelentősen csökkenthető az interferencia. Ugyanakkor az áramkör egyes alkatrészei elektromágneses zavart okozhatnak, a tervezésétől függetlenül. Ezért fontos egy kiválóan árnyékoló burkolat tervezése, ami kizárja vagy minimálisra csökkenti az elektromágneses zajokat [10].



2.4. ábra: Védőburkolat kialakítása nyomtatott áramkörhöz. [11]

Az a típusú védelem ami a 2.4-es ábrán is látható, az egyik legelterjedtebb módszer az elektromágneses interferencia megelőzésére.

### 2.5.2 Az EMI elkerülésére szolgáló burkolat kialakítása

A nyomtatott áramkör részeit úgy fejlesztik ki, hogy az elektromágneses sugárzástól úgy legyen védve, hogy ne legyen szükséges az egész alkatrészt burkolattal ellátni, csak bizonyos részeit. Az elektromágneses sugárzást védő burkolatok könnyen elérhető szabványos méretben, amennyiben egy könnyen legyártható és elterjedt típusú dobozra van szükség [12].

Mint a fentiekben említett védőburkolat meggátolja az elektromágneses interferenciát, és eközben a CE jogi követelményeknek is megfelelnek. Ezek a fajta borítások gazdaságos megoldást nyújtanak, hiszen nem igazán tekinthető hosszadalmas vagy időigényes fejlesztésnek. Az árnyékolások nagyon jól használhatóak magas sugárzással rendelkező eszközökhöz, ennek köszönhetően széles körben terjedtek el a világban.

Ezeknél az árnyékolt burkolatokhoz meg kell vizsgálni milyen elvárások vehetők figyelembe, mint például az anyagválasztás. Eredetileg az elektromágneses burkolatok anyaga horganyzott acél és alumínium. Manapság ezeknek a borítások nagyrésze ezekből az anyagokból jön létre. Majd megformáltak egy speciális anyagot, amelynek neve „6800 Amucor Shield” [11].

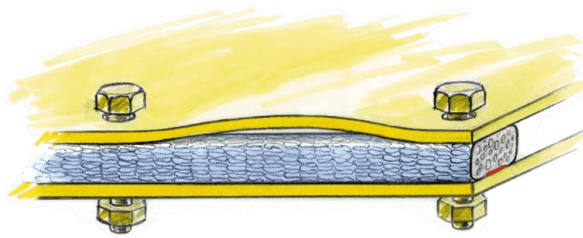


2.5. ábra: Alumínium ház 6800 Amucor Shield anyagból [11]

Ez a fajta anyag a 2.5-ös ábrán is látható, rendkívül erős kitűnően hatékony mint burkolat és gond nélkül felszerelhető [13]. Pont az ilyen tulajdonságai miatt használják manapság ezt a fajta megoldást, viszont ugyanakkor léteznek különböző féle burkolatok, amik különböző előnyökkel rendelkeznek.

Amire még fontos kitérni a burkolattal szembeni követelményekben az az anyagvastagság. Minél vastagabb a burkolat annál nagyobb mértékű frekvencia

védelemre képes. Itt szemrevételezhetünk pár példát mikor milyen vastagú burkolatokat alkalmaznak. Az a típusú borítás, ami csupán 0,1 mm vastag az elégséges 1MHz feletti frekvenciákkal szembeni hatásos árnyékoláshoz. Viszont ott vannak még a katonai létesítményeknél használt eszközök, aminél már 6 mm-es falvastagsággal szükséges megépíteni a burkolatot. Ezen felül figyelni kell a burkolat nyílására is. Magas frekvenciák esetén, mint például 5 kHz felett már fokozottan figyelni kell a kisebb hézagokra a nyílásokon, mert ezek különösen érzékenyek lehetnek. Minél nagyobb a frekvencia annál inkább figyelni kell ezeknek a hézagoknak az elkerülésére [11]. Magas frekvencia esetén, a hézagokat érdemes elkerülni. A 2.6-os ábrán látható erre egy példa is, hogy milyen hézagok alakulhatnak ki ilyen esetekben.

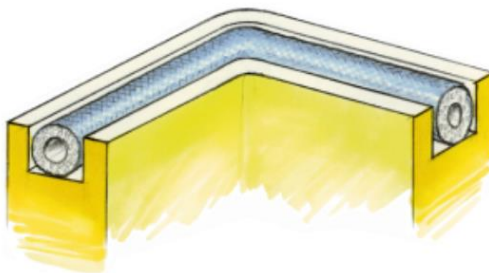


2.6. ábra: Hézagok kialakulása [11]

A megfelelő kialakításhoz több szempontot is figyelembe kell venni:

- Merevség
- Távolságok a rögzítések között
- Igénybe vett anyagok
- Használat gyakorisága (Szükséges e zsanér alkalmazása?) [11].

**A burkolatok tömítésének kialakítása:**

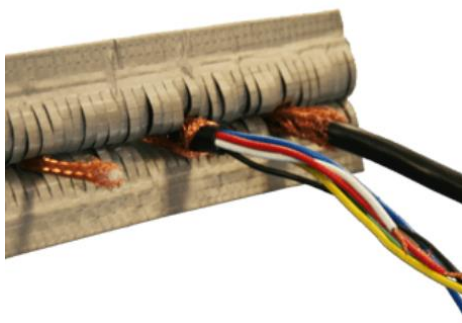


2.7. ábra: O-profilos vezető gumis tömítés [11]

Ezt az O-profilos típusú tömítést (2.7-es ábra) akkor használják, amikor kicsi tömítés szükséges és fontos a vízállóság [11].

#### **A burkolat kábeleinek védelme:**

Ahhoz, hogy a sugárzást el tudja kerülni a burkolat a táp és a jelkábeleket is védeni kell. Védő csövekkel vagy egy anyaggal való körbekötéssel biztosítható a védelmük [11].



*2.8. ábra: A kábelek védelme fémhuzallal [11]*

A 2.8-as ábrán ez a fajta „cső” egy üreges fonott fémhuzal, amin keresztül megy a kábel, és így biztosítva van. Ezen kívül még nagyon sok fajta kábelbiztosítási módszer létezik.

### 3. A BURKOLATTAL SZEMBENI KÖVETELMÉNYEK BEMUTATÁSA

#### 3.1 Az elektromágneses árnyékolás különböző típusai

Ha túlzott elektromágneses hullám éri a készüléket az hatást gyakorolhat a készülék teljesítményére is. Az egyre elterjedtebb elektronikus eszközöket követően egyre nagyobb és egyre több elektromágneses interferencia jön létre. Mivel ezek az eszközök nagyobb teret kaptak, így megnőtt a kereslet az elektromágneses zavarok kiküszöbölésére. A huszonegyedik században sajnos már nem lehet opció a készülékek használatának csökkentése ezért más megoldást kell keresni.

Az elmúlt években már elterjedtek a különböző elektromágneses árnyékolási típusok kutatása majd ezeknek a megtervezése. Így akár egyszerűen is kiküszöbölhető ez a nemkívánt jelenség [4]. Erre a legjobb opció a védőburkolat, ami csökkenti az EMI hullámokat.

Manapság leginkább fémeket, vékony lemezeket használnak árnyékolásra a nagyon magas vezetőképességük miatt, a lenti 3.1-es táblázatban ez látható is, ami a járművekben igen hasznos lehet [6].

3.1. táblázat: A fémek elektromos vezetőképessége [6]

| Anyag     | Vezetőképesség [S/m] |
|-----------|----------------------|
| Ezüst     | $5.9 \times 10^7$    |
| Alumínium | $3.5 \times 10^7$    |
| Vas       | $1 \times 10^7$      |
| Réz       | $5.8 \times 10^7$    |
| Arany     | $4.1 \times 10^7$    |
| Nikkel    | $1.43 \times 10^7$   |

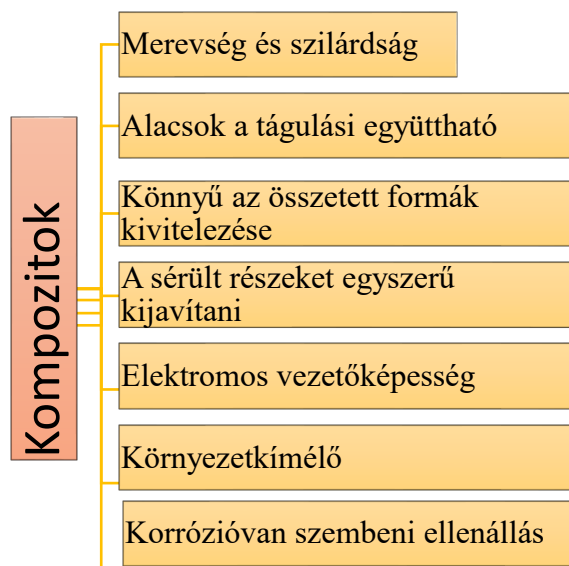
Ugyanakkor fémeket használni elektromágneses interferencia kiküszöbölésére vagy minimalizálására, viszonylag drága (anyagtól függően), rugalmatlan és kicsi a korrózióval szembeni ellenállása. A fémeken kívül még széles körben elterjedtek a polimer nanokompozitok, szénszálak kompozitok, elasztomer nanokompozitok vagy a hőre lágyuló habok a vezetőképességük miatt. Ezek a könnyű és rugalmas szerkezetek abszorpciós tulajdonságokkal is rendelkeznek, így ezzel csökkenthetik az

elektromágneses szennyezést és környezetbarát is [14]. Ilyen típusú árnyékolás széles körben van elterjedve a járművekben, repülőkhöz vagy akár az űrhajókban.

Egyre több kutatás és publikáció foglalkozik az elektromágneses árnyékolás különféle típusaival, és ennek mechanizmusaival [4].

### 3.2 Elektromágneses árnyékolás kompozitokkal

Ahhoz, hogy megakadályozható legyen az eszközök meghibásodása, egy olyan pajzsot szükséges tervezni, amelyről az elektromágneses hullám visszaverődik ezzel is megóvható a termék. A megfelelő elektromágneses interferencia árnyékolóanyag blokkolja elnyeléssel az összes bejövő elektromágneses hullámot, tehát nem tud átjutni vagy visszaverődni a burkolaton. Ahhoz, hogy elektromágneses árnyékolás biztosítva legyen nagy vezetőképességű anyagot kell választani mely könnyű, költséghatékony, rugalmas és kicsi sűrűséggel rendelkezik, ezek közül az egyik legelterjedtebb a szénszálas kompozit [15][4].



3.1. ábra: A kompozitok előnyei [saját kép] [16]

### 3.3 Szén anyagok és kompozitjaik

A leghasznosabbnak a szénszálas kompozitok bizonyultak elektromágneses sugárzás árnyékolására, így igen elterjedtek lettek. Számos kiemelkedő egyéni tulajdonsága van, mint például, nem nehéz, környezetkímélő, rugalmas, és az acéllal ellentétben kicsi a sűrűsége, mind ezek mellett nagyon jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. A lentiekben meg szeretnék említeni néhány alkalmas szénanyagot ami kiváló EMI árnyékoló, ilyen anyag például a grafén, grafitszál, szén nanocsövek, egyéb szénformák, hibrid kompozitok és szénszál-erősítésű műanyag (CFRP), majd az ehhez szükséges mátrix anyagok [6].

#### **Grafén:**

A grafén nagyon jól teljesít elektromágneses interferencia árnyékolása során, hiszen nagyon jó korrózió álló, rendkívül jó a vezetőképessége és igen könnyen lehet feldolgozni [6]. A grafén egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy méhsejt-rácsban helyezkedik el. Ha megvizsgálunk egy  $1\text{ m}^2$ -es grafénlapot, akkor látható, hogy csupán  $0,0077\text{ g}$ -os, viszont a teherbírása sokkal nagyobb, elérheti a  $4\text{ kg}$ -ot is akár. Vagyis könnyű, igen vékony és nagyon erős. Közkedvelt a nagy hőállósága és elektromos vezetőképessége miatt is.

A grafén segítségével rendkívül erős kompozit készíthető. Társítani lehet akár, polimerekhez, kerámiákhoz vagy fémekhez is. Sok területen hasznosítható a grafén jó tulajdonsága, például az orvosi eszközöknél vagy akár az űrkutatásban [7].

#### **Szén nanocsövek:**

A szén nanoanyagok részecskékből és szálakból tevődnek össze, melyeknek a mérete nem több mint  $100\text{ nanométer}$ . Árnyékoló anyagként kiválóan felhasználhatóak a nanoanyagok, különösen a szén nanocsövek (CNT), ezek a szén allotróp formája, szénmolekulákban. Roppant egyedi tulajdonságokkal rendelkezik, hiszen nagy a szilárdsága és nagyon eredményes hővezető képességekkel bír. Alkalmazási területei a következők: optikai átlátszó képernyők rétegeinek tervezésénél vagy nanohullámos képernyők tervezésénél [15]. Az optimális árnyékoló anyagnak az abszorpció által blokkolja a beeső elektromágneses hullámokat. Alacsony sűrűséggel és erős mechanikai tulajdonsággal, valamint nagyszerű vezetőképességgel rendelkezik. Éppen ezek miatt a

tulajdonságai miatt a szén nanocsöveket széleskörűen tanulmányozzák, hogy miként lehet elektromágneses interferencia árnyékolásra használni [6].

#### **Szénszál (Szénszál-erősítésű műanyag CFRP):**

A szénszálaknak nagyon alacsony a sűrűségük és nagy a szilárdságuk, éppen ezért is olyan elterjedt. Ennek a fajta kompozitnak minimum a 90%-a tartalmaz szenet. Ez a szénszál amorf szén és grafitot tartalmaz többek között. A rugalmassági modulus 35 és 800 GPa közé esik, típusától függően. A fentiekben már említett szén nanocsöveket arra is használják, hogy megerősítsék a kompozitot [18].

A szénszál könnyűsége és elektromágneses vezetőképessége miatt kiváló az elektromágneses interferencia árnyékolásához [6]. A kompozit száalai nagyon erősek, mert hosszirányú az elhelyezkedésük, és nagyon kicsi a keresztmetszetük, körülbelül 0,01 mm átmérőjű [18]. Viszont, ha a szénszálaknak nem szabályos a keresztmetszetük, hanem szabálytalan, akkor még inkább hatékony az elektromágneses sugárzás árnyékolására [6].

### **3.4 Mátrix anyagok**

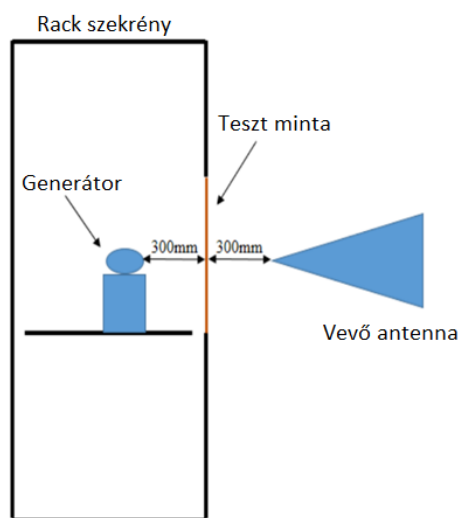
A mátrix funkciói a kompozitban az, hogy a mátrix támassza meg a helyükön a szálakat, így ezek nagyrészt elbírnak a terhelést. Fontos szerepe még, hogy védje a szálakat a hibáktól, sérülésektől, illetve ha repedés keletkezne a kompoziton akkor a mátrix lassítja ennek tovább terjedését [18].

Anyagait tekintve lehetnek polimer, kerámia vagy szén. A polimer mátrix terjedt el a leginkább, azt hasznosítani tudják akár a repülőgépiparban is. A kerámia mátrixokat nagyon magas hőmérsékletű környezetben hasznosítják.

A tervezett burkolatom számára a legalkalmasabb mátrix anyag az epoxigyanta, hiszen jól teljesítenek nagyon magas hőmérsékleten is, ami akár a 120°C-ot is elérheti [19]. Ez a tervezésem során nagyon hatékony is lehet, mert fontos a nagy hőállóság.

### 3.5 Kompozit tesztelése EMI árnyékoláshoz

„Mariam Shbanah – Developing a mesh for electromagnetic shielding” című korábbi kísérletének részeként különböző anyagok elektromágneses sugárzás elleni árnyékolás hatásait vizsgálta. Ez a kísérlet is szintén a Faraday-kalitka elvén működik. Az anyagok árnyékolási hatékonyságának vizsgálata 320 MHz és 960 MHz közötti frekvenciatartományon történik [20].



3.2. ábra: A kísérlet során használt eszközök [20]

A kísérlet során különböző típusú anyagok lettek tesztelve, 3 típusú szénszál, acéllemez, üvegszál és rézszálalás kompozit. Vizsgálatra került még az is, hogy árnyékolás nélkül milyen hatás lehet elérni [20].

A mérések során vevőként Rohde & Schwarz spektrumanalizátort, és jelforrásként Eurofins BP01 generátort használt fel. Maga a jelforrás a doboz belsejében van, a vevő pedig kívül helyezkedik el. Majd a rajzon lévő koncepció után lett megvalósítva a kísérlet (3.2-es ábra). Látható, hogy a védőszekrényen található egy ablak, ezen keresztül lettek tesztelve a különböző anyagok elektromágneses árnyékolási hatékonysága [20].

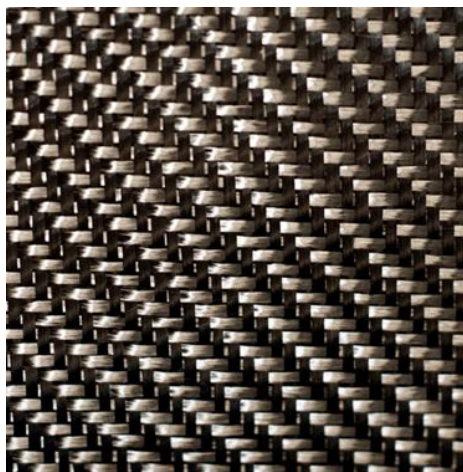
#### A kísérlet során használt anyagok:

A kísérlet során többféle anyagot kell megvizsgálni. A cél egy olyan anyag megtalálása, amely könnyebb, mint az acéllemez, de hasonló vagy jobb EMI árnyékolási tulajdonságokkal rendelkezik. Az anyagok mindegyike lap formájú, de az anyagtól függően eltérő vastagsággal rendelkeznek (3.2-es táblázat) [20].

3.2. táblázat: A kísérlet során felhasznált anyagok [20]

| Anyag         | Vastagság [mm]    |
|---------------|-------------------|
| Acél          | 3                 |
| Rézsál        | 2,5               |
| Szénszál I.   | 0,3               |
| Szénszál II.  | 0,25              |
| Szénszál III. | 0,3               |
| Üvegszál      | Nem meghatározott |

A szénszál különbségei a mintában lévő négyzetek méretében vannak. A szénszálas kompozit használata nagy népszerűségnek örvend, éppen ezért kísérleteztek több mintájú szénszállal, és ezeknek előnyeit felhasználva. A két legnépszerűbb szövési minta a sávoly és a zsák szövés. A kompozit alkalmazási területétől függ, hogy a felhasználó milyen szövésű szénszálas kompozitot használ fel, hogy jó legyen a szilárdsága, merevsége és tömege [21].



3.3. ábra: Sávoly mintájú szénszál. Szénszál I. [21]

A 3.3-as ábrán 2x2 mintázatú szövés látható, ezt sávoly szövésnek nevezik, ez a szénszál fordul elő a leggyakrabban. A minta két egymást követő láncon keresztül jön létre, így átlós mintázat keletkezik [21]. A sávoly mintájú szénszál használatának hátránya, hogy nem olyan erős, mint a zsákszövés mintájú szénszál [20].



3.4. ábra: Zsákszövés mintájú szénszál. Szénszál II.-III. [21]

A 3.4-es ábrán látható mintájú szénszálat zsákszövéses mintának nevezik, ez 1x1-es mintában helyezkedik el, sakktáblaszerűen, így rácsszerű mintát hoz létre. Ez egy fokkal szorosabb és finomabb megjelenésű, mint a sávolszövéses szénszálnak. Nagyon kis különbség van a két szövés között és ezek nehezen észrevehetőek [21].

A II. és III. szénszál típus közötti különbség a mintában lévő furatok felülete, ahol a II-es típusú szénszál négyzet kb.  $2400 \text{ mm}^2$ , és a III.-as típusú szénszál  $3114 \text{ mm}^2$  [20].

A furatméret különbsége azt jelenti, hogy a kétféle szénszál eltérő árnyékolási tulajdonságokkal rendelkezik [20].

#### Ezen szénszálak további fontos értékei:

A tesztelés során végzett szénszálminták tulajdonságai a 3.3-as táblázatban tekinthető meg.

3.3. táblázat: A szénszálak tulajdonságai [20]

|               | Permeabilitás<br>[H/m] | Relatív<br>Permeabilitás | Ellenállás<br>[ $\Omega\text{cm}$ ] | Vastagság<br>[mm] | Tömeg<br>[g] |
|---------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|
| Szénszál I.   | 0.05                   | 39789                    | 1                                   | 0.3               | 2.6052       |
| Szénszál II.  | 0.04                   | 31831                    | 1.5                                 | 0.25              | 3.2659       |
| Szénszál III. | 0.045                  | 35810                    | 2                                   | 0.3               | 3.1778       |

### 3.5.1 A kísérlet eredményei

A kísérlet eredménye a következőképpen néz ki:

*3.4. táblázat: Az anyagok több frekvenciatartományon vizsgálva [20]*

|                     | Mért teljesítmény [dBm] |           |                |                 |                  |          |          |
|---------------------|-------------------------|-----------|----------------|-----------------|------------------|----------|----------|
| Frekvencia<br>[MHz] | Árnyékolás<br>nélkül    | Acéllemez | Szénszál<br>I. | Szénszál<br>II. | Szénszál<br>III. | Rézlemez | Üvegszál |
| 320                 | -20                     | -78.4     | -90            | -68.1           | -70.2            | -89.4    | -19.9    |
| 400                 | -32.4                   | -91.8     | -83.6          | -82.2           | -81.4            | -85.2    | -33.2    |
| 480                 | -37.4                   | -81.3     | -78.4          | -80.8           | -78.2            | -90.7    | -38      |
| 560                 | -27.7                   | -85.5     | -84.4          | -76.9           | -78              | -80.5    | -26.8    |
| 640                 | -27.6                   | -62.6     | -77.6          | -77.8           | -76              | -81      | -28.8    |
| 720                 | -29.6                   | -69.7     | -91            |                 | -91.5            | -78.5    | -30.1    |
| 800                 | -29.7                   | -78.1     | -77.4          | -77             | -79.1            | -95.6    | -29.8    |
| 880                 | -33.5                   | -63       | -95.5          | -81.9           | -77.2            | -91.3    | -30.1    |
| 960                 | -32                     | -78.8     |                | -81.2           | -75.7            | -89.9    | -32.4    |

Ebből a 3.4-es táblázatból világossá válik, hogy az üvegszál nem alkalmas EMI-árnyékolásra, mivel ugyanazokat az értékeket mutatják egy üvegszálból készült árnyékolásnál, mint árnyékolás nélkül. A réz-, acél- és szénszál a legtöbb frekvencián hasonló.

A kísérlet után megállapítható, hogy a legkiemelkedőbben a szénszál szerepelt az adott frekvenciatartományon, ugyanakkor a réz is nagyon hatékornak bizonyult. Az üvegszál viszont nagyon jó erősítőanyag, de a frekvenciatartományban nem jó az elektromágneses sugárzás árnyékolásához. A szénszál és a réz könnyebb, mint az acéllemez és hatékonyabb az EMI elkerüléséhez. Így ezek az anyagok kiválóak lehetnek a Faraday-kalitkához és az általam tervezett burkolat anyagához is [20].

## 4. ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁST CSÖKKENTŐ BERENDEZÉS MEGTERVEZÉSE

### 4.1 A koncepció felállítása

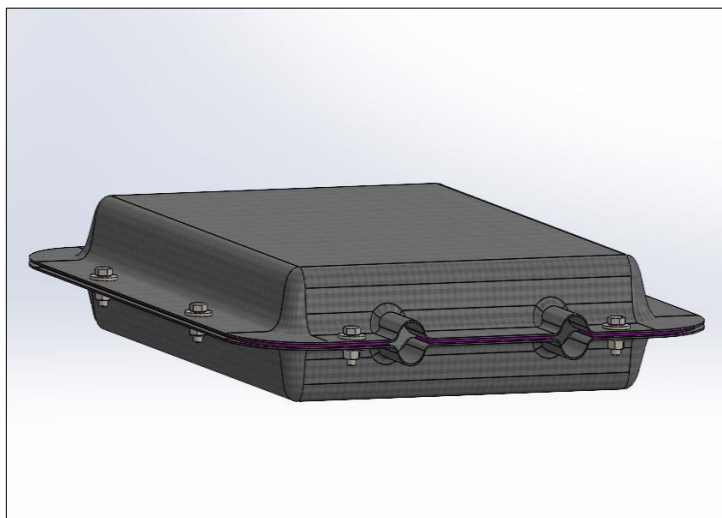
Tervezésem kezdetekor több koncepció is felmerült bennem, hogy hogyan lehetne a legjobban kivitelezni azt, hogy a nyomtatott áramkört biztonságban el lehessen helyezni egy árnyékoló burkolatban az elektromágneses sugárzás ellen. Kezdetben még papíron vázoltam fel a tervezést amíg meg nem valósult egy eredményes koncepció. Ezután már elkezdtem nagyban gondolkodni, ehhez a Solidworks 2022-es 3D tervezőprogram volt a segítségemre, amit a tanulmányaim során sajátítottam el. Ez a program lehetőséget nyújt bármilyen bonyolult vagy éppen roppant egyszerű kiviteli alkatrész megtervezéséhez, majd ezek összeszereléséhez. A programban számos különböző anyaggal lehet dolgozni, és ezek tulajdonságai alapján kiválaszthatom a számomra megfelelő anyagot tervezésem során. Miután megtervezem a számomra alkalmas alakot, ezt össze is lehet szerelni különbözőképpen. A Solidworks program abban is segítséget nyújt, hogy a végelelem modellezzünk, így szimulációkat lehet vele végrehajtani. A végelelem módszert leginkább gépészmérnökök használják, mechanikai számítások elvégzésére. Ez a fajta módszer nagyban a kézi számításokat helyettesíti. Meg lehet vizsgálni milyen erős a szerkezet vagy akár, hogy bizonyos súly hatására mennyire deformálódik. A burkolatom tervezése során ezeket a program nyújtotta lehetőségeket használtam ki.

A célkitűzésem a koncepcióm felállítása során az volt, hogy egyszerű szerkezetet tervezek, ne legyen bonyolult a felhasználó számára. Könnyen legyártható és költséghatékony legyen. Legyen megfelelő méretű és olyannyira összetett, hogy könnyen el lehessen helyezni benne a nyomtatott áramkör. Nem tervezek a burkolaton „furcsa” kiálló részeket, amik nem hasznosak az alkalmazásuk során. Fontos a biztonságra is figyelni, hiszen kompozit gyártása során kialakulhatnak éles sarkok ezért nagyobb lekerekítéseket alkalmazok. A burkolat kompozitból készül el és a gyártás során alakadó formát kell alkalmazni, ezt figyelembe véve tervezem meg a dobozt. Két félből áll össze, így könnyen szerelhető, illetve, ha a védőburkolat egyik fele megromcsolódik akkor könnyen cserélhető. Ezáltal a karbantartás és a tisztítás is egyszerűbb lesz szennyeződések lerakódása során. Éppen ezért is csavarokkal szeretném rögzíteni a két

felet, így egyszerű összerakni vagy szétszedni, ezzel ellentétben például ragasztással már bonyolultabb lenne mindez. A doboz egyik oldalán hagyok egy kis szabad részt, hogy a kábelek elhelyezhetőek lehessenek. A 3. pont kísérlete során kijelenthető, hogy 1 mm falvastagság éppen elegendő lesz ahhoz, hogy kellően jól teljesítsen a burkolat az elektromágneses interferencia árnyékolásában.

#### 4.2 Burkolat megtervezése szénszálas kompozitból

Az elméletben eltervezett koncepció után megrajzoltam a fentiekben említett Solidworks programban. Tervezésem során az elektromágneses árnyékoló dobozt szénszálas kompozitból készítettem.

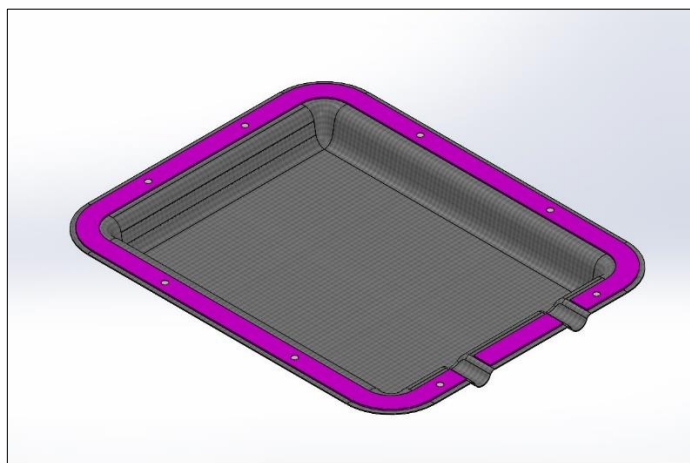


4.1. ábra EMI árnyékoló doboz kompozitból [saját kép]

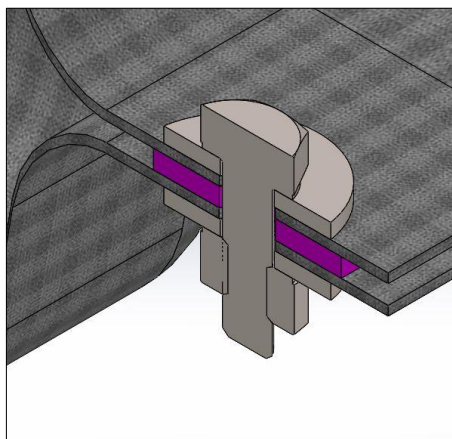
A burkolat két szénszálas kompozit fedélből készült, amelyek együtt egy dobozt alkotnak (4.1-es ábra). Az általam tervezett dobozban elegendő hely lesz egy nyomtatott áramkör elhelyezésére, amely árnyékolt lesz az elektromágneses interferenciától. Az árnyékoló doboz méretét tekintve szabványos nyomtatott áramkörhöz lett tervezve. Ennek mérete 228,6 x 304,8 mm.

A doboznak két hozzáférési nyílása van, az áramközhöz vezető kábelek számára.

Tervezésem során figyelembe vettem, hogy a szénszálas kompozit könnyen eltávolítható legyen a formából gyártásakor. A kialakításon belül nincsenek 80 foknál nagyobb szögek, mely szintén lehetővé teszi a szénszál formázása során a könnyű eltávolítást.



4.2. ábra Gumszalag [saját kép]



4.3. ábra: M6-os csavar [saját kép]

A két szénszálas fedél között egy gumszalag található, amely lezárja az esetleges réseket, kivéve azt a helyet, ahol a kábel hozzáférési nyílásai találhatók. Ez a gumszalag a fedél egyik oldalára fel lesz ragasztva (4.2-es ábra). Így minimálisra csökkenti annak az esélyét, hogy elektromágneses interferencia jölessen létre, vagy egyéb nemkívánatos dolgok elkerülésére is használatos, például víz vagy szennyeződés.

A doboz M6-os csavarokkal van rögzítve, ami a 4.3-as ábrán található.

Gumihoz az „általános gumi” opciót választottam a Solidworks tervező programban, a kötőelemekhez pedig a sima szénacélt.

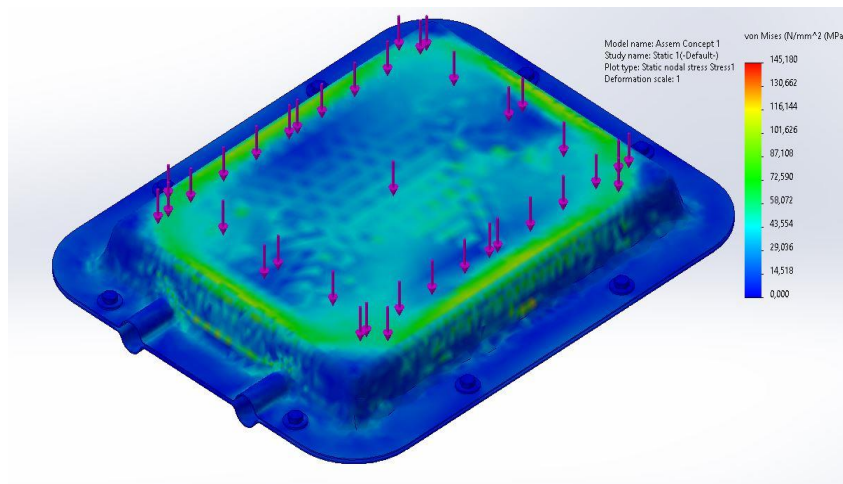
#### 4.2.1 A szénszálas kompozit burkolaton végzett szimulációk

Az árnyékoló burkolat anyaga szénszálas kompozit és ennek anyagtulajdonságait használtam fel a későbbiekben.

## 4.1. táblázat: Anyagtulajdonságok [18]

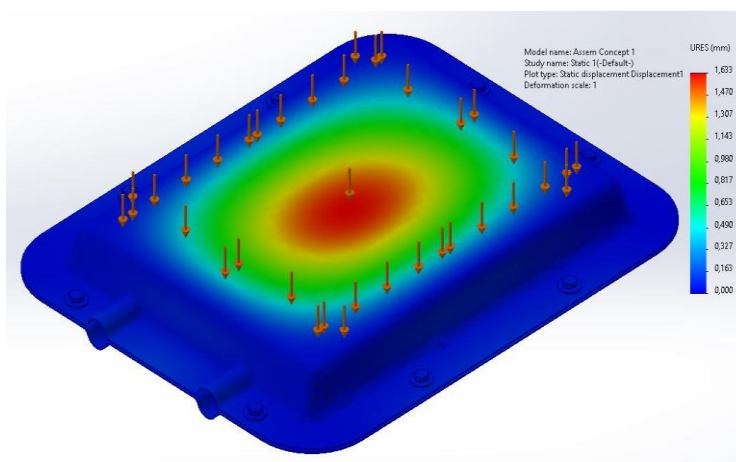
| Az erősítőszálak jellemző tulajdonságai |                         |                            |                              |                 |
|-----------------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|
| Típus                                   | Szakítószilárdság (MPa) | Rugalmassági modulus (Gpa) | Sűrűség (kg/m <sup>3</sup> ) | Relatív költség |
| <b>Szén:</b>                            |                         |                            |                              |                 |
| Nagy szilárdságú                        | 3000                    | 275                        | 1900                         | Alacsony        |
| Nagy modulus                            | 2000                    | 415                        | 1900                         | Alacsony        |
| <b>Üveg:</b>                            |                         |                            |                              |                 |
| E-típus                                 | 3500                    | 73                         | 2480                         | Legalacsonyabb  |
| S-típus                                 | 4600                    | 85                         | 2540                         | Legalacsonyabb  |

Ezekkel a tulajdonságokkal (4.1-es táblázat) tudtam Solidworks-ben szimulációt végezni. Először is egy statikus terhelés szimulációt végeztem el a burkolaton.



4.4. ábra: Statikus terhelés szimuláció [saját kép]

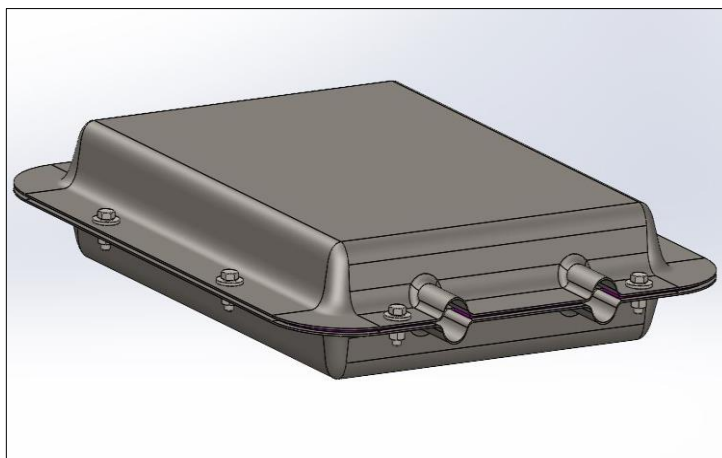
Az első eredmény az eszköz belsejében fellépő feszültség. A doboz felső részére 600 N terhelés lett helyezve, míg a modellt az alsó felületén van rögzítve (4.4.-es ábra). A képen látható, hogy a maximális feszültség a modellben körülbelül 130 MPa. Látható, hogy a doboz szélein éri a legnagyobb feszültség. Viszont közel sem éri el a szénszál maximális szakítószilárdságát, ami 3 GPa körül van. Ez azt jelenti, hogy a doboznak nem okoz gondot elviselni a 600 N terhelést, ami egyébként is ritka.



4.5. ábra: Deformáció terhelés esetén [saját kép]

A második szimuláción az látható (4.5-ös ábra), hogy 600 N terhelés esetén mennyit deformálódik, azaz mennyire hajlik be a burkolat teteje amire a terhelés lett helyezve. A maximális deformáció 1,633 mm, ha a felső felületet éri ez a terhelés. Ez elfogadható a doboz használatánál, mert ritkán lesz 600 N terhelés a dobozon, és emellett nem okoz gondot a nyomtatott áramkörnek sem.

#### 4.3 A burkolat megtervezése acélból



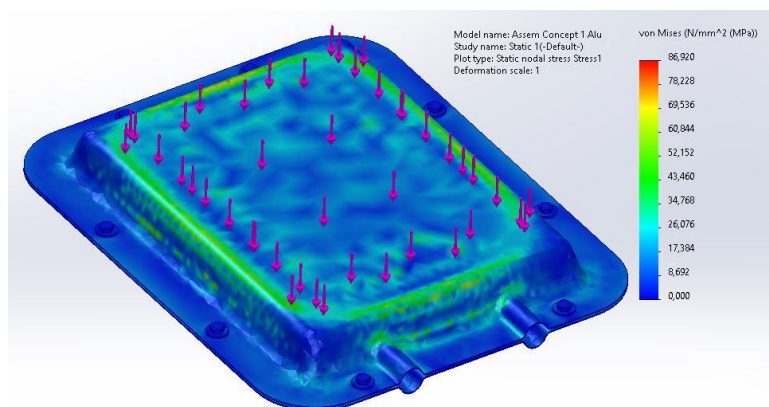
4.6. ábra: Acélból készült védőburkolat [saját kép]

Miután megterveztem szénszálas kompozitból a burkolatot, ugyanezekkel a méretekkel SolidWorks 3D programmal megterveztem acélból is (4.6-os ábra), hogy később össze tudjam hasonlítani őket, majd le lehessen vonni ebből konklúziókat.

Az előző koncepcióhoz hasonlóan ezt a dobozt is 8 db M6-os csavarral rögzítettem, és gumiból készült tömítést használtam a nagyobb védelem érdekében.

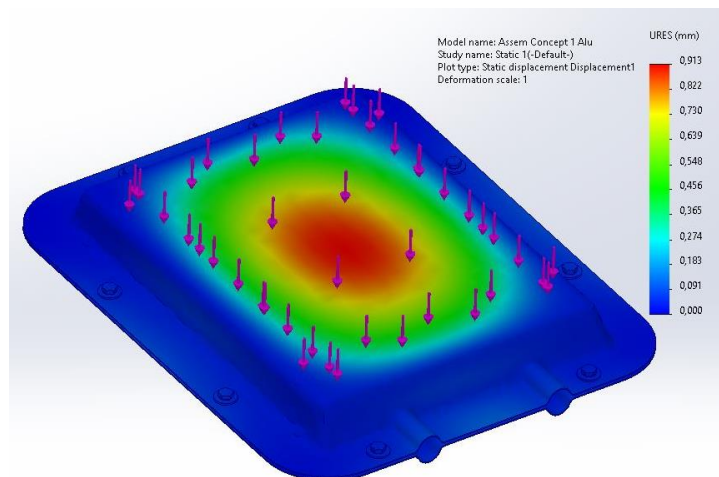
### 4.3.1 Az acél burkolaton végzett szimulációk

A megtervezés során szimulációkat végeztem a burkolaton a fentiekhez hasonlóan. A szimulációhoz úgy fogtam hozzá, hogy először is a doboz alját lerögzítettem és a doboz tetejére gyakoroltam hatást.



4.7. ábra: Statikus terhelés szimuláció [saját kép]

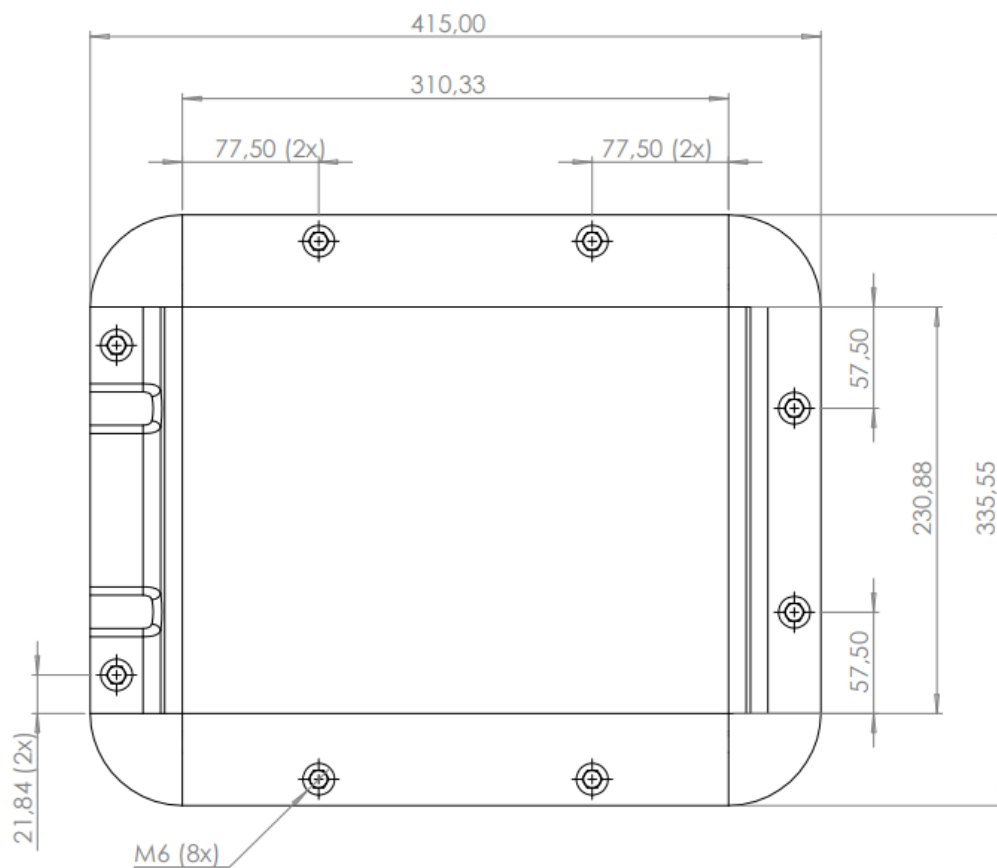
Látható a 4.7-es ábrán, hogy a 600N terhelés során a maximális feszültség az acél burkolat felületén 86,92 Mpa körül van, ami itt sem éri el az acél szakítószilárdságát.



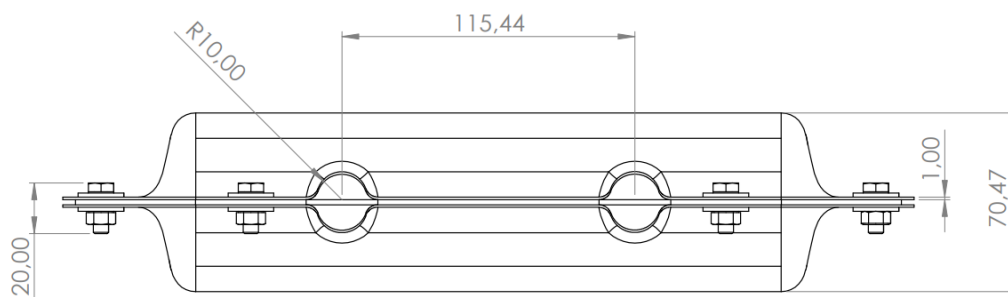
4.8. ábra: Deformáció terhelés esetén [saját kép]

A 600N terhelés során a fedél deformációja maximálisan 0,91 mm (4.8-as ábra), ami a burkolat közepét éri leginkább. Ez elfogadható, mert mindkét anyag esetén minimális deformáció keletkezik a burkolat tetején, így a nyomtatott áramkörnek elegendő helye lesz így is.

#### 4.4 Rajz készítése a tervezésről



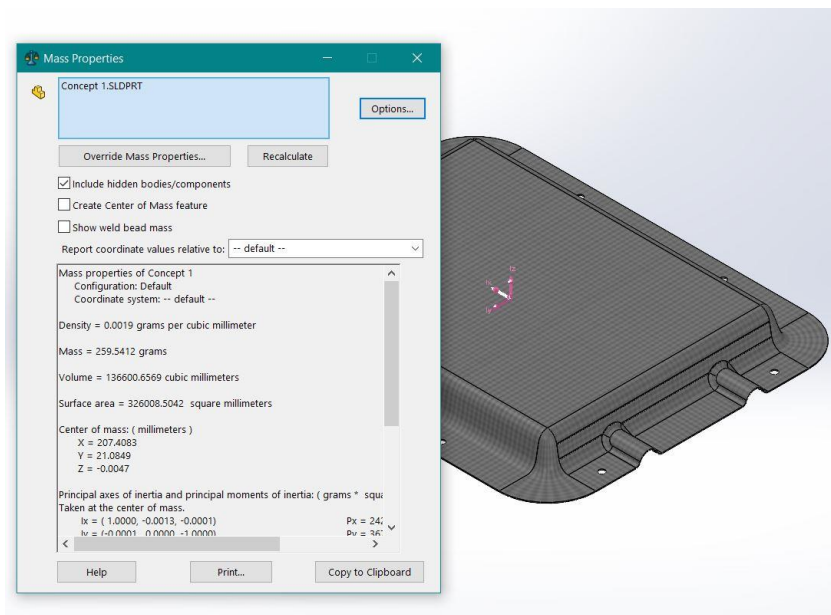
4.9.ábra: Felülnézeti rajz a burkolatról [saját kép]



4.10. ábra: Elölnézeti rajz a burkolatról [saját kép]

## 5. ANYAGVÁLASZTÁS ÉS ELLENŐRZÉS

### 5.1 A kompozitburkolat tulajdonságai



5.1. ábra: A kompozitburkolat anyagtulajdonságai [saját kép]

Tervezésem során nagy szilárdságú szénszálas kompozitot választottam burkolatom anyagaként, hogy megfelelően szolgáljon az elektromágneses interferencia ellen.

Az 5.1-es ábrán pontosan látszik, hogy a Solidworks 3D tervező program kiszámolta az anyag tulajdonságait.

Az anyag sűrűsége:  $0,0019 \frac{g}{mm^3}$

Az anyag térfogata:  $136.600,66 \text{ mm}^3$

Az anyag felszíni területe:  $326.008,5 \text{ mm}^2$

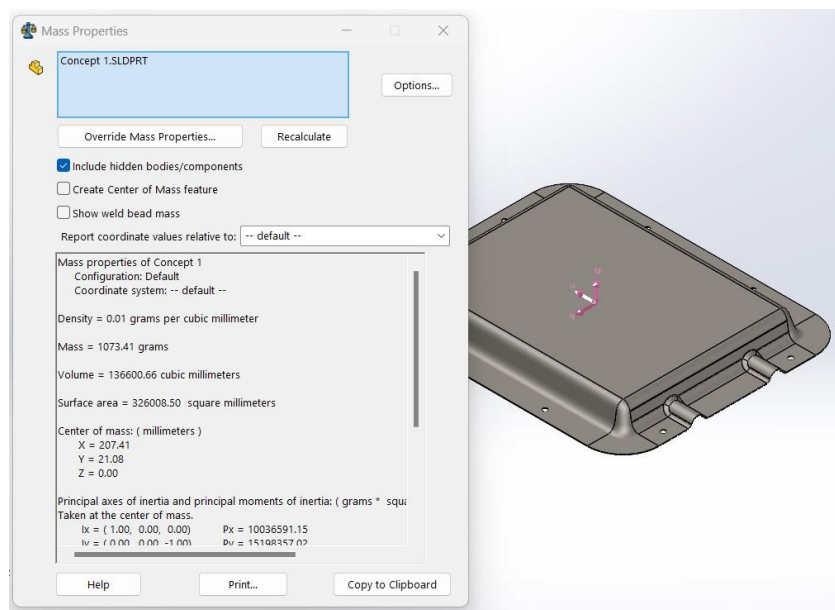
Tömege: 259,54 g

Az anyagválasztás során figyelembe vettem a 3. pontban kitárgyalt kiváló vezetőképes anyagok tulajdonságait, hiszen a kompozit burkolat számára ez a legfontosabb. Számomra legalkalmasabb kompozit a szénszálas kompozit (CFRP), amelynek nagy a merevsége és szilárdsága. Az epoxi mátrixban lévő szálak biztosítják a burkolat számára a legjobb teljesítményt. A szénszálas kompozitnál a szálakban keletkezik a mechanikai

terhelés és a mátrix adja át a terhelést a szálak számára, ezáltal lesz kellően rugalmas, szívós és könnyen védve lesz az egyéb szennyeződésektől [18].

A kompozit burkolat sűrűsége nagyon kicsi és nagyon könnyű, ami igen kedvező.

## 5.2 Az acélburkolat tulajdonságai



5.2. ábra: Az acélburkolat tulajdonságai [saját kép]

Az acél burkolatom főbb tulajdonságai a Solidworks 3D tervező program szerint a következők (5.2-es ábra):

Az anyag sűrűsége:  $0,01 \frac{g}{mm^3}$

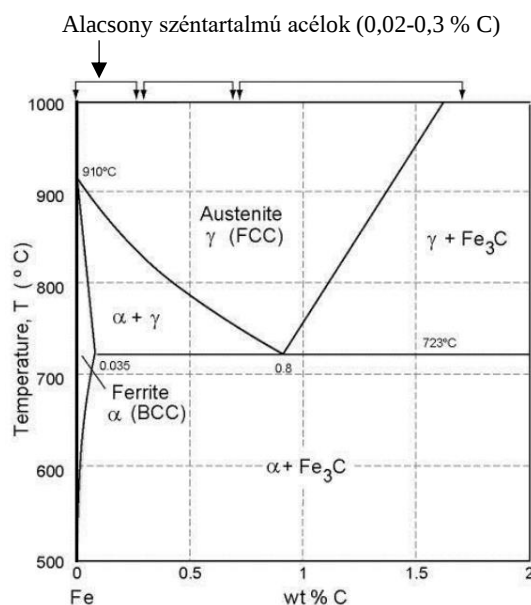
Az anyag térfogata:  $136.600,66 \text{ mm}^3$

Az anyag feszíni területe:  $326.008,5 \text{ mm}^2$

Tömege: 1073,41 g

Az általam választott acél burkolat típusa alacsony széntartalmú acél melynek anyaga S235. A kutatások során azért esett a választásom erre a típusú ötvözetre, mert igen jó a megmunkálhatósága, jó korrózióálló és kiválóan hegeszthető. Igen közkedvelt a repülőgépiparban az üzemanyagvezetékben, vagy egyéb szállításra alkalmas tartályokban. Az alacsony széntartalmú acél elektromos vezetőképessége kiemelkedően teljesít. A szénacélok vas ötvözetek mangánnal, nikkellel, szilíciummal és szénnel rendelkeznek. Ez a típus rendelkezik a legkevesebb széntartalommal, kevesebb mint 0,3%.

Ezek az anyagok aránylag puhák és a szerkezeti fémek közül ez a legolcsóbb. Közkezvelten használják I szelvényekhez, acélvázaz épületekhez, vagy akár a hajóiparban is használatos [18].



5.3. ábra: A Granta EduPack programban elérhető fázisdiagram ábra [22]

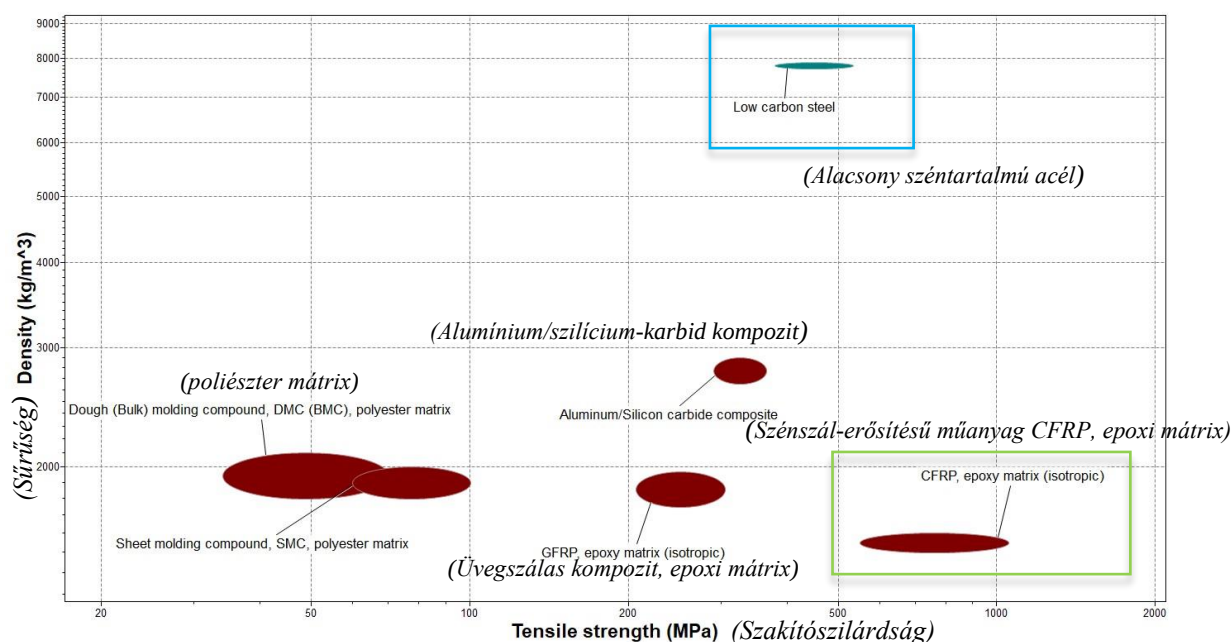
Az alacsony széntartalmú acélok vas (Fe) ötvözetek 0,02-0,3% széntartalommal (C) rendelkeznek, az 5.3-as ábrán tekinthető meg ennek a fázisdiagramja.

### 5.3 A tervezett burkolatok összehasonlítása

Ha csak a burkolat anyag tulajdonságait vizsgálom meg, akkor az 5.1-es táblázat szerint következőt tapasztalhatjuk:

5.1. táblázat: A burkolat anyagtulajdonságainak összehasonlítása [saját kép]

| Név:                     | Szénszálas kompozit | Alacsony széntartalmú acél (S235) | Mértékegység         |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Fizikai tulajdonságok    |                     |                                   |                      |
| Sűrűség                  | 1900                | 7800-7820                         | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Mechanikai tulajdonságok |                     |                                   |                      |
| Szakítószilárdság        | 2000-3000           | 379-532                           | [MPa]                |
| Rugalmassági modulus     | 275-415             | 200-220                           | [Gpa]                |



5.4. ábra: Az alacsony széntartalmú acél és a kompozit összehasonlítása [saját kép]

Az általam készített diagram alapján (5.4-es ábra) jól látható, hogy az doboz megtervezése után használt acél anyagnak (kék téglalap) sokkal nagyobb a sűrűsége mint kompozit dobozhoz használt szénszálak kompozitnak (zöld téglalap), viszont a szakítószilárdsága a szénszálak kompozitnak sokkal nagyobb, és ez azt jelenti, hogy sokkal erősebb lesz használat során. A diagramból leolvasható, hogy a szénszál-erősítésű műanyag epoxi mátrixsal rendelkezik a legnagyobb szilárdsággal a többivel ellentétben, ezért is esett erre az anyagra a választásom. A kompozit anyagból készült doboz sokkal nagyobb terhet bír el, mint a S235-ös acélból készült doboz. A Solidworks 2022-es tervezőprogram által megvizsgált szimuláció alapján egészen egyszerűen kimutatható, hogy az 1 mm-es falvastagsággal rendelkező szénszálak kompozit védőburkolat sokkal előnyösebb lesz, hiszen amellett, hogy nagyon erős az anyag, kicsi a sűrűsége és ezáltal sokkal könnyebb lesz, mint az acél védőburkolat. A súlycsökkentés is nagyon fontos, főleg ha elektromos járművekbe van behelyezve, ahol nagy a valószínűsége, hogy nem csak 1 darab elektromágneses interferenciától védő burkolatot helyeznek el, hanem akár többet is. Összegezve így egy jelentős súlytól szabadulhatnak meg a járművek. Ezek mellett még a kompozit anyagból készült burkolat igen környezetkímélő mert a gyártása során nem keletkezik környezetszennyező anyag.

5.2. táblázat: A vizsgált anyagok tulajdonságainak összehasonlítása [saját kép]

| Név:                       | Szénszálas kompozit | Alacsony széntartalmú acél (S235) | Mértékegység          |
|----------------------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Burkolat sűrűsége          | 0,0019              | 0,01                              | [kg/mm <sup>3</sup> ] |
| Burkolat tömege            | 259,54              | 1073,41                           | g                     |
| Burkolat felszíni területe | 326.008,5           | 326.008,5                         | mm <sup>2</sup>       |
| Burkolat térfogata         | 136.600,66          | 136.600,66                        | mm <sup>3</sup>       |
| Maximális feszültség       | 130                 | 86,92                             | MPa                   |
| Maximális deformáció       | 1,63                | 0,91                              | mm                    |

**Sűrűség:**

A szénszál sűrűsége sokkal kisebb, mint az acél (S235) burkolaté. Észrevehető még az 5.2-es táblázat során, hogy az acélból készült termék sokkal nehezebb lesz, mint a szénszálból készült burkolat. A kisebb tömeg kedvez a termék szállításának és nagyüzemi kezelésének, valamint segít csökkenteni az üzemanyag-fogyasztást járműbe szerelve.

**Szakítószilárdság:**

Az szakítószilárdság értéke jóval magasabb a szénszálnál, mint az acélnál. Ez azt jelenti, hogy egy szénszálból készült termék szilárdabb, mint az acélból készült.

Ez azért fontos, mert a termék jobban megvédi a dobozt a fizikai sérülésektől, ha szénszálas kompozitból van elkészítve. A végeelem módszerrel végzett szimuláció során is észrevehető, hogy a maximális feszültség, ami ébred az acél felületen az 86,92 MPa, és az anyag szakítószilárdsága 379-532 MPa között van. A kompozit dobozon végzett szimuláció során 600N terheléssel 130 MPa a maximális feszültség, ami ébred, viszont a szénszálas kompozit szakítószilárdsága jóval nagyobb, mint az acélé, ez 3000 MPa körül van.

**Termelés:**

Mindkét anyag előállítása hasonló lesz a bonyolult forma miatt. Ez több eljárással is kivitelezhető, de talán a legelterjedtebb a mélyhúzás, a szénszálat pedig préseléssel vagy vákuumformázással készítik általában. Ez azt jelenti, hogy az alkatrész negatív változatát kell elkészíteni, hogy ennek a formáját használni lehessen.

## **6. KÖLTSÉGSZÁMÍTÁS AZ ACÉLBURKOLATRA ÉS A SZÁLERŐSÍTŐ KOMPOZIT BURKOLATRA**

A költségszámítás folyamatát a Granta EduPack nevű program segítségével hajtottam végre. A Granta EduPack egyfajta tárház, adatbázis, ami anyaginformációkat és eljárási módszereket tartalmaz, valamint, hogy ezeket az anyag és eljárástípusokat hogyan választhatjuk ki. Az 5.4-es ábrán lévő diagramban részletesebben kifejti, hogy mire is képes a program, ha különböző típusú anyagokat hasonlítunk össze. Ez a program leginkább hallgatókra lett tervezve, hogy kellő információhoz jussanak a tanulmányaik során. A Granta EduPack program legnagyobb előnyei: széleskörű adatbázissal rendelkezik az anyagok és ezek folyamataival kapcsolatban, nagyon hatékony vizualizációs eszközöket mutat be és interaktív [22].

### **6.1 Az acél burkolat anyag költsége**

Elsősorban az általam kiválasztott anyagok költségét vizsgálom meg. A világon a legelterjedt védőburkolat az elektromágneses interferencia elkerülésére alumíniumból vagy acélból készül, így először ennek a típusnak vizsgálom meg a költségeit.

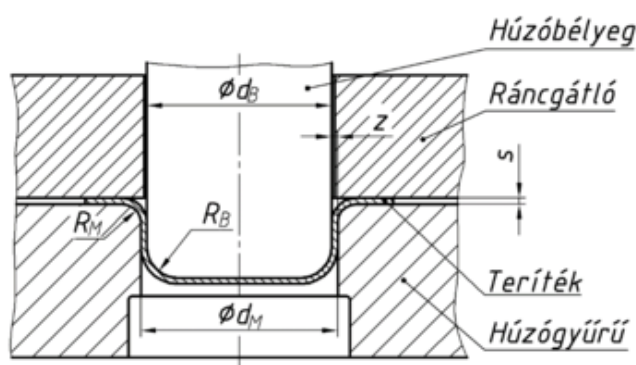
Az acél burkolat anyaga (S235), ami nagyon közkedvelt acél anyag, és a világ számos területén használatos. Akár rozsdamentes acél is felhasználható a burkolat számára, viszont a költsége sokkal nagyobb lesz, és ezért a választott anyagom az alacsony széntartalmú acélt, ami később galvanizálva lesz.

Ez a típusú acél (S235) anyagának a költsége: 0,629 – 0,662 EUR/kg. Ha ebből egy átlagot veszek akkor az ára 0,6455 EUR/kg, a továbbiakban ezzel az árral fogok számolni. A megtervezett acél dobozom tömege, ami ezesetben az csak a burkolat fele, hiszen majd csavarokkal lesz egymáshoz rögzítve, 1073,41 g, viszont ha burkolat egészet nézem, akkor a felhasznált doboz tömege 2146,82 g a csavarok és a gumiszalag nélkül. A szükséges tömeggel és az acél átlag árával számolva, 2146,82 g acél 1,56 EUR-ba kerül.

#### **6.1.1 Az acél burkolat gyártási eljárásának költségvizsgálata**

A fémből készült termékek mindenhol megtalálhatóak és körül vesznek bennünket a mindennapi élet során. Ezek különböző eljárással készülnek, attól függően, hogy mire

lesz felhasználva az adott fém. A tervezett burkolatom számára választott acél megmunkálási eljárásnak a mélyhúzást tartottam a legmegfelelőbbnek, hiszen mindamellet, hogy széles körben elterjedt eljárás, még az egyik legfontosabb fémmegmunkálási folyamat. A tervezés során használt lekerekítések kedvezőek lesznek a gyártás során. Ezzel az eljárással készülnek akár az edények, serpenyők, étel-italtartályok vagy üzemanyag-tartályok.



6.1. ábra: A mélyhúzás folyamata [25]

A mélyhúzása során a nyersdarabból (terítéknek is nevezik) ami egy sík lemez, egy üreges test készül el. Ahhoz, hogy ez létrejöjjön, ezt a terítéket az úgynevezett húzóbélyeg és a húzógyűrű közé helyezik, ezek kialakítják a megfelelő alakot a felhasználónak, (a 6.1-es ábrán látható a folyamat). A húzóbélyeg a lemez belső, a húzógyűrű a lemez külső átmérőjét adja meg a húzás során. Ha a mélyhúzás során a lemez ráncolódna akkor egy ráncfogóval leszorítják. Ez a 6.1-es ábrán látható is, hogy hogyan működik. Általában hidegen alakítják, csak nagyon ritka esetben melegen [18].

A költség számítás során több tényezőt is számításba kell venni, mivel a mélyhúzással kialakított burkolatoknak tömeggyártás esetén a költségük sokkal kedvezőbb, mintha csak egy darab lenne legyártva. Lépésről lépésre meg kell vizsgálni mikor tekinthető gazdaságosnak a gyártás. Egy termék gyártási költsége sok tényezőtől függ, az alkatrész elkészítéséhez használt berendezés költségétől, a szerszámok költségétől és a munkabértől. A költségek eltérőek lehetnek a különböző eljárások során. Ezekből a költségekből a 6.1-es táblázatban látható is, hogy típusától függően milyen intenzitású: kicsi, közepes vagy magas.

6.1. táblázat: A költségek intenzitása [saját kép]

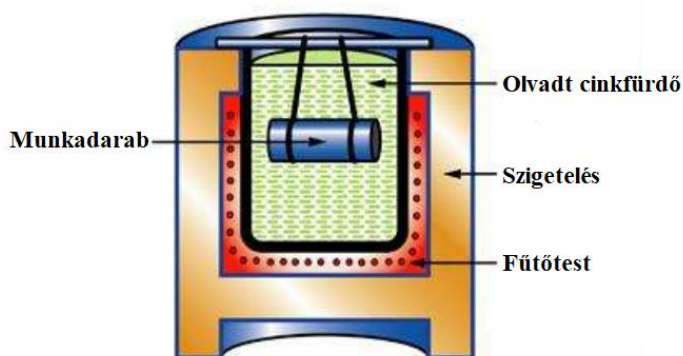
|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Relatív szerszámköltség       | közepes              |
| A berendezés relatív költsége | közepes              |
| Munkaintenzitás               | alacsony             |
| Gazdaságos tételméret         | 1000-10 <sup>8</sup> |

A táblázatból kiolvasható, hogy nem egy túl drága eljárásról van szó, és akkor éri meg gazdaságilag legyártani a tételeket, ha több mint 1000db-ról van szó.

A számításom során most csak 1 db esetén vizsgálom meg a burkolat költségét. És mindezeket összevetve a relatív költség 1 db tétel esetén 10,1 – 25,5 EUR/kg közé tehető, nyilván azért ekkora a különbség a gyártási költségben, mert attól függ hol és kivel lesz legyártva az alkatrészt. Ha itt is átlagot veszek a költségből, akkor átlagosan 1 db acélburkolatot 17,8 EUR/kg-ból készítik el. A közel 2,146 kg-os burkolattal számolva az összköltség 38,2 EUR lesz 1 db esetén. Természetesen tömeggyártás során ez az érték csökkenne.

### 6.1.2 Az acélburkolat galvanizálása

Miután mélyhúzással le lett gyártva az acélburkolat 2 fele, amit később csavarok fognak rögzíteni, még galvanizálást kell alkalmazni.



6.2. ábra: A Granta EduPack programban elérhető galvanizálás folyamat ábra [22]

A galvanizálás során a fém munkadarabot alacsony olvadáspontú fémekkel vonják be, ahogy a 6.2-es ábrán is, a legelterjedtebb a cinkbevonat. A munkadarabról először is egy

lúgos fürdőben leoldják a zsírt, majd folyékony olvadt cinkfürdőbe merítik, ezzel korrózióállóvá válik a termék. A cinkfürdőben folyamatos vékony réteget képezve vonják be a munkadarabot miközben az olvadt fém elegyedik a termék felületével. Miután mindenhol egyenletes vastagság alakul ki az alkatrészen, kiemelik a fürdőből és lehűtik. Az eljárás során bármilyen méretű és alakú lehet a munkadarab, akkor is megoldható az galvanizálási folyamat. A galvanizálást hasonlónak lehet mondani a festéssel, viszont az előbbi sokkal nagyobb védelmet nyújt a termék számára. Ha bármiféle hiba vagy karc lenne a felületen akkor nem az acél sérül, hanem a cink korrodál, ezzel is nagyobb védelmet biztosítva, ami akár 30-40 évig is kitart terméktől függően. A hosszútávú korrózióállósága mellett karbantartást nem igényel a felhasznált alkatrész, ezt az eljárást évek óta használják az acélok védelme, kopásállóság és jó hővezetés érdekében [23]. A költségvetését tekintve, 1 db burkolat gyártása esetén kétszer kell alkalmazni galvanizálást, a burkolat két felén. Mint ahogy a mélyhúzás során itt is számításba veszek néhány tényezőt a költségekről, majd ennek intenzitásairól (6.2-es táblázat).

6.2. táblázat: A költségek intenzitása [saját kép]

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| Relatív szerszámköltség       | alacsony |
| A berendezés relatív költsége | közepes  |
| Munkaintenzitás               | alacsony |

A galvanizálás nem drága, viszont kissé energiaigényes. A bevonatok sorozatgyártában is elvégezhetőek. A többi bevonatos módszerrel ellentétben a galvanizálás nagyon olcsó és hosszabb ideig is nyújt védelmet. Valamint a sérülések és a különböző hibák ellen is kiválóan véd [23].

A mélyhúzás után a galvanizált alkatrész egyik felének a felszíni területe  $326.008,5 \text{ mm}^2$  ami  $0,326 \text{ m}^2$ , az egész burkolat területe amit galvanizálni kell az  $0,652 \text{ m}^2$ .

Az  $1 \text{ m}^2$  acél galvanizálásának az ára 1 db burkolat gyártása esetén 18,94 EUR [24]. A szükséges  $\text{m}^2$ -el számolva,  $0,652 \text{ m}^2$  alacsony széntartalmú acél galvanizálása a szerszámköltség és a berendezés használatának költségével együtt 12,35 EUR.

## 6.2 A szálerősítő kompozit burkolat költsége

Mostanában egyre elterjedtebbek lettek a kompozitok használata több iparágban is, hiszen rengeteg jó tulajdonsággal rendelkeznek. Nagy a merevségük és a szilárdáguk, és ezek számításba vétele után esett a választásom a szénszál-erősítésű kompozitra (CFRP), mert ez a típusú kompozit mind közül az egyik legjobb. Valamint kitűnő az elektromágneses vezetőképessége, tehát a tervezett burkolat számára tökéletes anyagválasztás.

A 6.3-as táblázatban látható néhány érdekes tulajdonsága a szénszálak kompozitnak, miszerint nagyon jól bírja a magas hőmérsékletet 450 °C-ig. És különböző légkörben is kiválóan teljesít.

6.3. táblázat: A szálerősítő kompozit viselkedése [saját kép]

|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Gyúlékonyság             | Lassan égő   |
| Ipari légkör             | Kiváló       |
| Tengeri légkör           | Kiváló       |
| UV sugárzás<br>(napfény) | Jó           |
| Tűrése 150 °C-ig         | Kiváló       |
| Tűrése 250 °C-ig         | Korlátozott  |
| Tűrése 450 °C felett     | Nem ajánlott |

Árát tekintve nem a legolcsóbb kompozit közé sorolható, viszont az anyagtulajdonságai miatt kiváló az EMI árnyékolóképesége. A kompozit védőburkolat elkészítéséhez 2-szer 259,54 g-ra lesz szükség. A szénszálak kompozitnak mátrix anyaggal együtt az ára 34,3 – 38,1 EUR/kg-ra tehető, természetesen forgalmazótól függően. Ebből az árból átlagot vonva 1 kg szénszálak kompozit 36,2 EUR-ba kerül. A felhasznált burkolat tömege összesen 519,08 g (ami az acél burkolat negyedével felel meg), a csavarok és a gumiszalag nélkül. A szükséges tömeggel számolva, a kicsivel több mint fél kg kompozit ára 18,78 EUR.

### 6.2.1 Polimer-mátrix kompozitok feldolgozása

A szénszálak kompozit szerkezetek sajátos technológiát igényelnek, hogy az iparban fel tudják használni. Ezek a típusú kompozitok gyártása során több lépést kell elvégezni és több időt is vesz igénybe más anyagok gyártásával szemben, éppen emiatt is a költsége

kissé drága is lehet. A gyártásuk során fontos, hogy megfelelően biztonsági és környezetvédelmi szempontból is, ezért egy olyan eljárás típust kell alkalmazni, ami munkavédelmi és környezetvédelmi szempontból is megfelelő [18].

### 6.2.2 Kompozit gyártása vákuumos formázással

Ennél a típusú folyamatnál az előimpregnált szálakból és polimer mátrixból készült kompozit anyagot egy hozzá kialakított formába helyezik, ezek általában alumíniumból készülnek, és ezzel felveszik a forma alakját. A burkolat méretének megfelelő, szálorientációjú részt levágnak a tekercsből, majd egymásra helyezik és kézzel vagy gép segítségével. Hogy az anyagnak jó tapadása és formálhatósága legyen, egy rugalmas polimer fóliával lefedik a kompozitot a szénszál és a gyanta ráhelyezése után, majd a széleit lezárják buborékmentesen. Ezt egy cső segítségével (ami a fólia alá van helyezve) egy gép kiszívja a zsákban lévő levegőt és vákuum keletkezik. [18]. Ez a folyamat a 6.3-as és 6.4-es ábrán látható.



6.3. ábra: Vákuumos formázás a fólia felhelyezése után [saját kép]



6.4. ábra: Vákuumos formázás végeredménye [saját kép]

Végezetül vagy egy légkeverékes kemencébe, vagy egy fűtött nyomástartó berendezésbe (autoklávba) helyezik, ez nem minden esetben szükséges. Amikor kemencébe vagy az autoklávba helyezték a formát akkor a hőmérséklet szabályozottan emelkedik, amíg el nem éri a neki kiszabott hőmérsékletet a megkeményedéshez. A kikeményedési folyamat a gyanta típusától függ, de általában 30 perctől több óráig is eltarthat. A vákuumzsákos eljárás talán legnagyobb előnye, hogy mivel vákuum jön létre, így kevesebb lesz annak az esélye, hogy buborék képződik vagy üreges lesz. Viszont ugyanakkor néhány hátránya is van, például szükséges minden formát külön testre szabni és az alkatrész méretét befolyásolhatja a forma mérete [18].

Az alkatrész kialakításához ez a legalkalmasabb kompozitfeldolgozási eljárás, hiszen itt egyedileg kialakítható a forma, aminek alakjára készül el a kompozit. Nagyon erős lesz ezáltal és nagyobb az esély a kompozit gyártása során felmerülő hibák kiküszöbölésére. A folyamat nagyon környezetkímélő, és tiszta. Mivel az eljárás során a munkadarab teljesen le van zárva, így nem lesz sem egészségkárosító sem környezetszennyező hatása. A költségvetését tekintve, 1 db burkolat gyártása esetén kétszer kell alkalmazni vákuumos eljárást, a burkolat két felén. Mint ahogy a mélyhúzás során itt is számításba kell venni néhány tényezőt a költségekről, majd ennek intenzitásairól. A 6.4-es táblázatból leolvasható, hogy nem túl sok szerszámot igényel és ezáltal a költségük sem lesz túl magas. A berendezés költsége és a munkaidő már valamivel több lesz hiszen itt a berendezés több órát vesz igénybe tömegétől függően a kikeményedés miatt.

Vákuum formázás során 1-20 mm vastagságú szénszálas kompozit készíthető. Gazdaságilag kissé lényegtelen, hogy milyen tételszámban van legyártva a burkolat, ennél az eljárásnál kis tételszám esetén is gazdaságos lehet.

6.4. táblázat: A költségek intenzitása [saját kép]

|                                      |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| <i>Relatív szerszámköltség</i>       | <i>alacsony</i> |
| <i>A berendezés relatív költsége</i> | <i>közepes</i>  |
| <i>Munkaintenzitás</i>               | <i>közepes</i>  |
| <i>Gazdaságos tételméret</i>         | <i>10-500</i>   |

A költségszámítás során megint csak 1 db burkolat eljárását vizsgáltam meg. A relatív költség 1 db tétel legyártása során 90 EUR/óra. 1 óra alatt körülbelül 0,2 -0,5 kg készül el. A kompozitburkolat összesen 519,08 g ami kicsivel több mint fél kg. Ezáltal körülbelül 1 órára lesz szükség. Ebben a 90 EUR-ban benne vagy a munkaköltség és berendezés működtetése is. Tömeggyártás során ez az ár valamivel lecsökkenne, de ez nem túlzott jelentőséggel bír.

### 6.3 Az anyag és az eljárás költségének összehasonlítása

6.5. táblázat: A burkolatok anyagköltségei [saját kép]

| Név:        | Kompozit burkolat   | Acélburkolat                      | M6-os csavar (8db) +lapos alátét +csavaranya | Gumiszalag |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|------------|
| Anyag:      | Szénszálas kompozit | S235 (alacsony széntartalmú acél) | C45E                                         | Gumi       |
| Ár/db [EUR] | 18,78               | 1,56                              | 2,3                                          | 6,1        |
| Ár/db [Ft]  | 7512                | 624                               | 920                                          | 2440       |

6.6. táblázat: Az eljárások költségei [saját kép]

| Név:        | Vákuumos formázás   | Mélyhúzás                         | Galvanizálás                      |
|-------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Anyag:      | Szénszálas kompozit | S235 (alacsony széntartalmú acél) | S235 (alacsony széntartalmú acél) |
| Ár/db [EUR] | 90                  | 38,2                              | 12,35                             |
| Ár/db [Ft]  | 36.000              | 15.280                            | 4940                              |

A 6.5-ös és a 6.6-os táblázatokban láthatóak a költségeknek az összesítése. Mindkét burkolatot 1 db legyártása esetén vizsgáltam meg. Összesen az acéllemeznek, az acéllemez mélyhúzásának, a galvanizálásának, 8db M6-os hatlapfejű csavarnak, 8db hatlapú csavaranyának, 8 db laposlátétnek és egy burkolathoz mért gumiszalag ára 24.204 Ft. Ugyanezt a költségszámítást elvégeztem a kompozitburkolat esetén. Ezesetben is minden alkatrészrel együtt a kompozit anyagnak, a vákuumformázásnak, 8db M6-os hatlapfejű csavarnak, 8db csavaranyának, 8db laposlátétnek és gumiszalagnak az ára összesen 46.872 Ft. A költségszámításom csak egy körülbelüli ár, természetesen a költségek változhatnak az évek során, amit számos tényező is befolyásolhat, valamint gyártótól függően is változhat.

Látható, hogy a kompozit burkolatnak az ára majdnem duplaannyi, viszont a fentiekben kifejtett kompozit előnyös tulajdonságai miatt nagyban hozzájárulnak ahhoz, hogy a vevő a kompozitból készült árnyékoló burkolatot válassza az elektromágneses interferencia elkerülése érdekében. Hiszen az acélburkolathoz viszonyítva a tömege csupán negyedannyi lesz, és a sűrűsége sokkal kisebb. Emellett még a szakítószilárdsága sokkal nagyobb mint az acélburkolaté, így nagy terhet is képes elbírní. Ha elektromos járműbe van behelyezve az árnyékoló berendezés, akkor ezek a tulajdonságok rendkívül fontosak lesznek a burkolat anyagának kiválasztásakor.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatom bevezető részében bemutatam az elektromágneses mezőket és ennek forrásait, az elektromágneses sugárzás hatásait az emberre és a környezetre nézve, majd az árnyékolás mechanizmusát és hatékonyságát.

A következő részben a Faraday-kalitkát ismertettem, hiszen ezen az elven alapszik az elektromágneses interferencia árnyékoló burkolatok előállítása, és ugyanitt részletesen kifejtettem ennek felépítését. Ez nagy segítséget jelentett számomra a végleges koncepcióm felállításában. Ahogy a bevezetésben bemutatam, a dolgozatom célja egy elektromágneses sugárzást csökkentő berendezés tervezése. Ezek a berendezések általában acél vagy alumínium anyagból készülnek, viszont dolgozatom során azt mutatom be részletesen, hogy más anyagokból is készülhetnek ugyanolyan vagy jobb elektromágneses árnyékoló képességgel rendelkező burkolatok.

A harmadik pontban különböző anyagok tulajdonságait szemléltetem, ezek közül is leginkább a kompozit anyagokra fókuszáltam, hiszen számos kutatás számol be arról, hogy mennyire kiválóan alkalmazható az elektromágneses interferencia árnyékolására. Miután különböző kompozitok ismeretére tettem szert, bátran választhattam a burkolatom anyagaként a szénszál-erősítésű műanyag kompozitot. Ennek az anyagnak a korábban említett számos kiváló tulajdonságai mellett, az egyik legjobb az elektromágneses vezetőképessége, ezért is esett választásom a későbbiekben erre az anyagra.

Ezután ismertettem Mariam Shbanah korábbi kísérletét, mely során különböző anyagokat vizsgált meg az elektromágneses interferencia árnyékoló képességükről és bebizonyította, hogy a szénszálak kompozit milyen hatékony az EMI árnyékolásban, még akkor is ha az anyagvastagság kevesebb mint 1 mm.

A dolgozat további témakörében már kellő ismeretek után elkezdhettem a burkolatom megtervezését. Ennél a pontnál célszerűbbnek találtam, hogy ne csak egy burkolatot tervezek szénszálak kompozitból, hanem acéllemezből is, hiszen Mariam Shbanah kísérlete során az acéllemezt is vizsgálta, így kellően le tudtam vonni egy konklúziót.

A tervezés során több szempontot is megvizsgáltam, ilyenek a burkolat anyagainak fizikai és mechanikai tulajdonságai. Ezek után szimuláció során teszteltem a burkolatok felületét, hogy 600N terhelés során hogyan viselkednek. A szimuláció során az vonható le következtetésképpen, hogy ekkora terhelés mellett a kompozit anyag jobban teljesített.

Tervezésem után az utolsó fejezetben költségszámítást hajtottam végre, ami után le tudtam vonni a megfelelő következtetéseket. Az acélburkolat mélyhúzással, a kompozitburkolat vákuumformázással készült.

A költségek kiértékelése során azt állíthatom, hogy a kompozitburkolat ára drágább egy vevő számára, mint az acél, viszont a kompozit kiváló tulajdonságai miatt kijelenthető, hogy ebből az anyagból készült burkolat hatékonyabb. A kompozitból készült burkolat tömege az acélburkolat egynegyedének felel meg, korrózióállóbb és az alkalmazásuk során akár jóval hosszabb lehet a burkolat élettartama az acélburkolatéhoz képest.

## 8. SUMMARY IN ENGLISH

In the introduction part of my thesis, I presented electromagnetic fields and their sources, the effects of electromagnetic radiation on humans and the environment, and then the working and effectiveness of shielding.

After that, I described the Faraday cage, since the production of electromagnetic interference shielding enclosures is based on this principle, and I explained its construction in detail here. This helped me a lot to make my final concept of the shield. As I presented in the introduction, the purpose of my thesis is to design a device that reduces electromagnetic radiation. These devices are usually made from steel or aluminum, but during my research other kind of materials can have the same or better electromagnetic shielding ability.

In the third chapter, I show the properties of different materials, here I mostly focused on composite materials, there are a lot of studies that talk about composites as a material for EMI shielding. After researching of the different kind of composites, I choose the carbon fiber reinforced polymers composite as the material for my cover. In addition to the many excellent properties of this material mentioned earlier, one of the best is the electromagnetic conductivity, which is why I later chose this material.

Then I consulted a study conducted by Mariam Shbanah's previous experiment, she tested different materials for their electromagnetic shielding ability and proved how effective carbon fiber composite is in EMI shielding, even if the material thickness is less than 1 mm.

I was able to start designing my cover after having sufficient knowledge about the earlier topics of the thesis. At this point, I design not only a cover made of carbon fiber composite, also from steel sheet, so I could compare the material and draw a conclusion from it.

During the design, I examined several aspects, such as the physical and mechanical properties of the covering materials. After that, I tested the surface of the covers during a simulation to see how they behave under a load of 600N. During the simulation, it can be concluded that the composite material performed better under this load.

After my design, I performed a cost calculation in the last chapter. The steel cover was made by deep drawing, the composite cover by vacuum forming.

When evaluating the costs, I found out that the price of the composite cover is more expensive for a customer than steel, but due to the excellent properties of the composite, it can be stated that the cover made of this material is more efficient. The mass of the box made of composite corresponds to a quarter of the steel box, it is more resistant to corrosion and during their application the life cycle of the box can be much longer compared to that of the steel box.

## 9. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] <https://hu.eferrit.com/a-kompozitok-toertenete/>

(Online megnyitva: 2022.12.01.)

[2] [http://abyss.uoregon.edu/~js/21st\\_century\\_science/lectures/lec04.html](http://abyss.uoregon.edu/~js/21st_century_science/lectures/lec04.html)

(Online megnyitva: 2022.09.30.)

[3] [https://eta.bibl.u-szeged.hu/2173/2/az\\_elektromgneses\\_spektrum.html](https://eta.bibl.u-szeged.hu/2173/2/az_elektromgneses_spektrum.html)

(Online megnyitva: 2022.10.02.)

[4] Maciej Jaroszewski, Sabu Thomas, Ajay V. Rane - Advanced Materials for Electromagnetic Shielding - 2019 - John Wiley & Sons, Inc. - United States of America - 3, 36-38.old.

[5] <https://xforest.hu/elektroszmog/>

(Online megnyitva: 2022.10.02.)

[6] Shivam Gupta, Nyan-Hwa Tai - Carbon materials and their composites for electromagnetic interference shielding effectiveness in X-band - Department of Materials Science and Engineering, National Tsing Hua University, No. 101, Sec. 2 Guang-Fu Rd, Hsinchu, 30013, Taiwan – 2019 - 160-164, 174-175. old.

[7] <https://www.livescience.com/what-is-a-faraday-cage>

(Online megnyitva: 2022.10.06.)

[8] <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/electromagnetic-interference>

(Online megnyitva: 2022.10.11.)

[9] <https://emsginc.com/resources/10-common-pcb-applications/>

(Online megnyitva: 2022.10.16.)

[10] <https://www.mclpcb.com/blog/pcb-electromagnetic-issues/>

(Online megnyitva: 2022.10.16.)

[11] [https://hollandshielding.com/EMI-shielding-theory-applications?gclid=EAIaIQobChMI7aia4ZjS-QIVxuzVCh3NSQ5YEAAiAAEgLX4vD\\_BwE](https://hollandshielding.com/EMI-shielding-theory-applications?gclid=EAIaIQobChMI7aia4ZjS-QIVxuzVCh3NSQ5YEAAiAAEgLX4vD_BwE)

(Online megnyitva: 2022.09.20.)

[12] [https://hollandshielding.com/Clip-on-PCB-shielding-system?gclid=CjwKCAjw-LZBhB4EiwA76YzOTJFYpCd7b5GgdnokomgZBxpNEM3ndmXP2JSPMthBodCJemmPTW6ihoCsQ0QAvD\\_BwE](https://hollandshielding.com/Clip-on-PCB-shielding-system?gclid=CjwKCAjw-LZBhB4EiwA76YzOTJFYpCd7b5GgdnokomgZBxpNEM3ndmXP2JSPMthBodCJemmPTW6ihoCsQ0QAvD_BwE)

(Online megnyitva: 2022.09.20.)

[13] [https://hollandshielding.com/content/Filemanager/6800-Amucor-shield-Technical-datasheet.pdf\\_October-20-2016-1114am.pdf](https://hollandshielding.com/content/Filemanager/6800-Amucor-shield-Technical-datasheet.pdf_October-20-2016-1114am.pdf)

(Online megnyitva: 2022.09.20.)

[14] Avinash R. Pai, Nizam Puthiyaveetil, Azeez, Binumol Thankan, Nandakumar Gopakumar, Maciej Jaroszewski, Claudio Paoloni, Nandakumar Kalarikkal, Sabu Thomas - Recent Progress in Electromagnetic Interference Shielding Performance of Porous Polymer Nanocomposites – India, Poland, UK – 25 May 2022

(Online megnyitva: 2022.10.11.)

[15] SALVATORE CELOZZI, RODOLFO ARANEO, GIAMPIERO LOVAT - Electromagnetic Shielding - Published by John Wiley & Sons, Inc., - Electrical Engineering Department “La Sapienza” University Rome, Italy – 2008 – 36-37. old.

[16] <https://www.intechopen.com/chapters/72636>

(Online megnyitva: 2022.11.03.)

[17] <https://www.graphene-info.com/graphene-composites>

(Online megnyitva: 2022.11.03.)

[18] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, K. S. Vijay Sekar - Manufacturing Engineering and Technology - Pearson Education - Illinois Institute of Technology, The University of Notre Dame, SSN College of Engineering, Chennai, India - 2014 - ISBN 978-0-13-312874-1 – 215-222, 411-417, 519-522. old.

[19] <https://www.compositesworld.com/articles/the-matrix>

(Online megnyitva: 2022.11.04.)

[20] Mariam Shbanah1, Zoltán Nyikes, Tünde Anna Kovács, Enikő Bitay - DEVELOPING A MESH FOR ELECTROMAGNETIC SHIELDING - Doctoral School on Materials Sciences and Technologies, Milton Friedman University, Óbuda University Bánki Donát Faculty of Mechanical and Safety Engineering, Sapientia Hungarian University of Transylvania - 2022

[21] <https://www.motovationusa.com/plain-vs-twill-carbon-fiber.html>

(Online megnyitva: 2022.11.17.)

[22] <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>

(Online megnyitva: 2022.11.18.)

[23] <https://galvanizeit.org/inspection-course/galvanizing-process>

(Online megnyitva: 2022.11.19.)

[24] [https://www.azz.com/featured\\_stories/hot-dip-galvanized-steel-offers-superior-initial-and-long-term-economic-advantages/](https://www.azz.com/featured_stories/hot-dip-galvanized-steel-offers-superior-initial-and-long-term-economic-advantages/)

(Online megnyitva: 2022.11.19.)

[25] [https://mersz.hu/dokumentum/m410kaaj\\_59/](https://mersz.hu/dokumentum/m410kaaj_59/)

(Online megnyitva: 2022.11.16.)