



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Kompozit alkatrész gyártása

OE-BGK
2022.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Balogh Viktor
T008438/FI12904/B



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

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

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Balogh Viktor

Szakedolgozat száma: SZD22052513066071

Törzskönyvi száma: T008438/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Kompozit alkatrész gyártása

A dolgozat címe angolul: Manufacturing of a composit material part

A feladat részletezése:

1. Mutassa be a kompozit alkatrészek gyártásának lehetőségeit!
2. Elemesse a kijelölt alkatrészt gyárthatósági szempontból, válasszon megfelelő gyártási eljárást!
3. Tervezze meg az alkatrész gyártását!
4. Végezzen költség elemzést!

Intézményi konzulens neve: Dr. Mikó Balázs

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 21.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom.

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Budapest, 20. 22. 12. 05.

Balogh Viktória
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	5
2.	Kompozit anyagok és gyártási lehetőségeik	6
2.1	Szálerősítő anyagok	7
2.2	Mátrix anyagok	13
2.3	Gyártási eljárások	16
3.	Kijelölt alkatrész gyártásának bemutatása	25
3.1	Választott alkatrész bemutatása	25
3.2	A polisztirol forma elkészítésének folyamata	26
3.3	Szilikon forma elkészítése	28
3.4	Forma legyártása forgácsolással	29
4.	A laminálás folyamata és tapasztalatai	36
4.1	Tapasztalatok	40
5.	Az alkatrész elkészítésének becsült költsége	41
6.	Összefoglalás	43
7.	Summary	45
8.	Felhasznált irodalom	46
9.	Köszönetnyilvánítás	47
10.	Mellékletek	48

1. Bevezetés

A mai modern világban egyre nagyobb és nagyobb teret nyernek a különféle kompozit anyagok. Jelen vannak mind a hétköznapi életünket meghatározó tárgyakban, mind az autóiparban, a repülőgép iparban, a hajóiparban, sportszerek gyártásában mind pedig az építőiparban.

Dolgozatomban szeretnék rávilágítani mennyire sokrétűek, lehetnek a különféle kompozitok, kezdve néhány anyag és gyártási módszer bemutatásával, majd a kiválasztott alkatrésznek optimális eljárás kiválasztásával, végezetül pedig a konkrét alkatrész gyártási folyamatának bemutatásával, amit le is gyártok és gyártási folyamat során adódó akadályokból, nehézségekből következtetéseket vonok le. Ezeken felül pedig a forma legyártásának egy másik lehetőségét is bemutatom, majd egy költségbecslést végzek az adott alkatrész legyártásáról. Úgy vélem a következtetéseim hasznosnak bizonyulnak majd számomra, ha legközelebb szembe találkozok a laminálás folyamatával.

Az elvégzett kísérletek bepillantást engednek a kompozit alkatrész gyártási folyamatába, valamint a költségbecslés egy jó közelítést ad, hogy milyen költségekre számíthat aki esetleg otthoni környezetben szeretne gyártani valamit kompozitból.

2. Kompozit anyagok és gyártási lehetőségeik

A kompozit anyagok valójában két anyag együtteseként érik el a kívánt tulajdonságokat, legyen az mechanikai, kémiai vagy fizikai. Ez a két anyag a szál és a mátrix anyagok, míg a szál anyagok felelősek a merevségért és a keménységért, addig a mátrix anyag felelős a szál anyagok összetartásáért és a terhelések egyenletes elosztásáért. A kompozitok használatának számos előnye van, melyek közül talán a legfőbb a súlycsökkentés, ez annak köszönhető, hogy mind a szál anyag mind a mátrix anyagok alacsony sűrűséggel rendelkeznek. További előnyük, hogy korrózióállóak, ezt a tulajdonságukat a mátrixnak köszönhetik, ami megvédi a szálakat a külső környezeti hatásoktól. Kompozitok használatával jelentős alkatrész-szám csökkenés is elérhető, mivel rendkívül sok formában állíthatók elő, ez költségcsökkentésre is lehetőséget biztosít, az összeszerelés kiváltása, illetve a raktározásra fordított kiadások csökkenése ellensúlyozza a megnövekedett anyagköltségeket. [1]

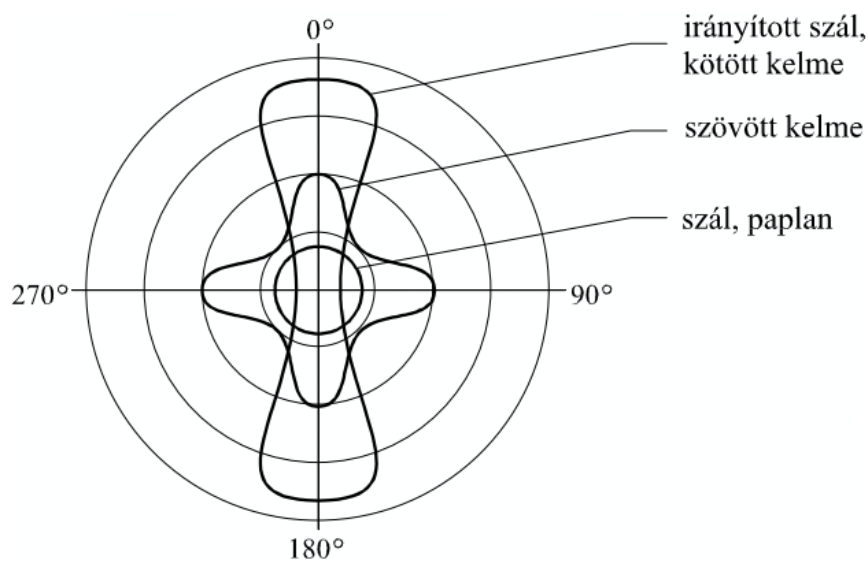
A különféle szálanyagokat különböző formákban lehet kereskedelmi forgalomban megvásárolni (1. ábra), ezek lehetnek egy dimenziós, úgynevezett roving vagy köteg formájúak. Lehetnek kétdimenziósok is, ezek általában a paplan vagy szövetanyagok, illetve előfordulnak a rétegvastagság irányába is erősített rendszerek.



1. ábra Szálerősítő anyagok különféle formái, balról jobbra haladva: roving szál, szövött kelme, Parabeam 3D-s üvegszövet

Minél inkább egy irányba orientáljuk, a szálakat az adott irányba annál inkább megnőnek a mechanikai tulajdonságok, a paplanok a sík minden irányába tartalmaznak szálakat ezért itt minden irányba egyformák a tulajdonságok. A szálerősítő anyagok

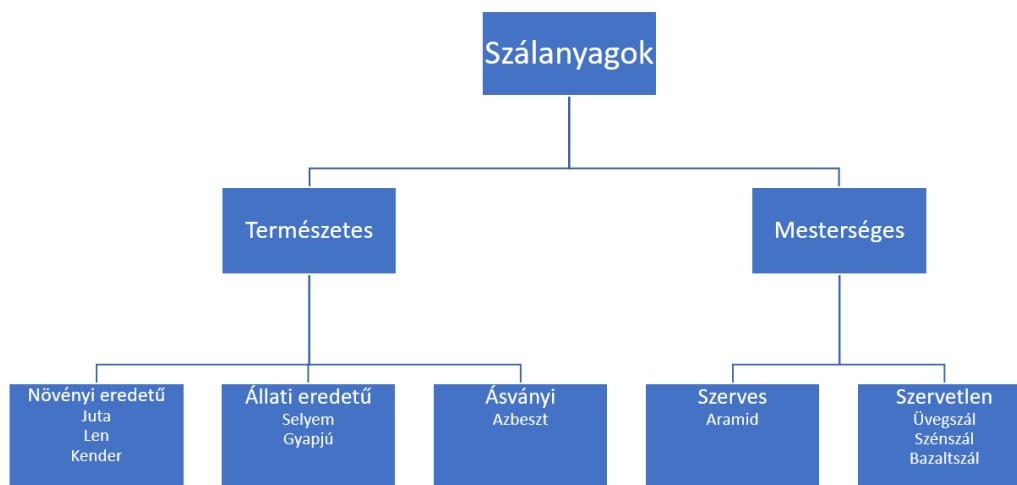
mechanika tulajdonságait polárdiagram szemlélteti (2. ábra). Az alább látható diagramból kiolvasható, hogy az egy irányba orientált (unidirekcionális) anyagoknak az adott irányultságba jobbak a tulajdonságai, míg a kétirányú anyagoknak (bidirekcionális) a sík két kiterjedése irányába vannak tulajdonságai, azonban ezek mind kisebbek, mint az unidirekcionálisnak. Az ennél is több irányba kiterjedő erősítést tartalmazó anyagok (multidirekcionális) a sík minden irányába rendelkeznek a kívánt tulajdonságokkal viszont ezek összességében kedvezőtlenebbek, mint az előző kettőnél.



2. ábra Különféle kiserelési formák tulajdonságai polárdiagramban ábrázolva [2]

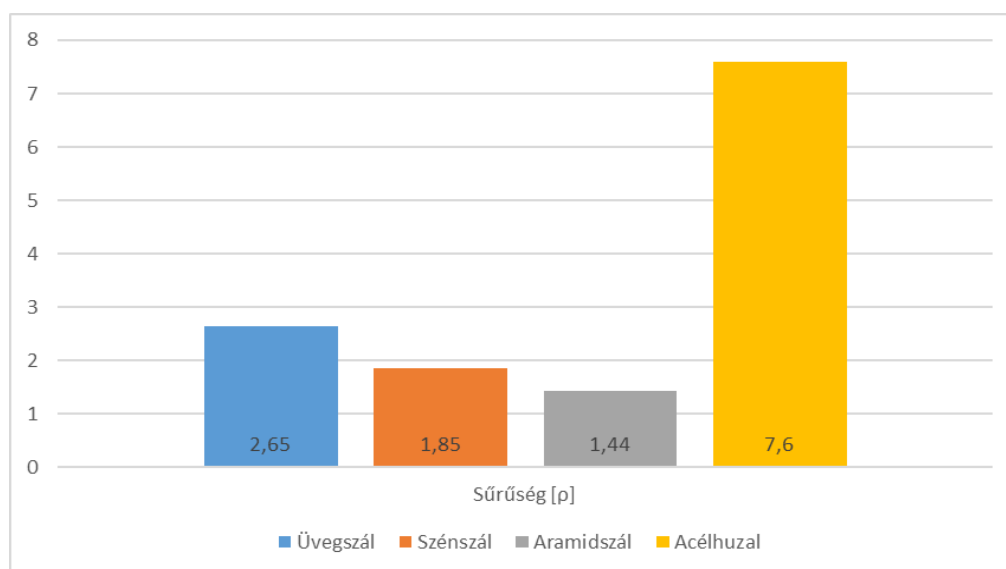
2.1 Szálerősítő anyagok

Megkülönböztetünk természetes és mesterséges szálakat, a természetes szálak lehetnek növényi eredetűek (juta, len, kender), állati eredetűek (selyem, gyapjú) vagy ásványiak (azbeszt). A mesterségesen előállított szálak lehetnek szervesek vagy szervetlenek, a szerves szálanyagok közé soroljuk az aramidot (Kevlar) és a polietilént, míg a szervetlenek közé tartoznak az üvegszálak, szénszálak, kerámia- és bazaltszálak (3. ábra).

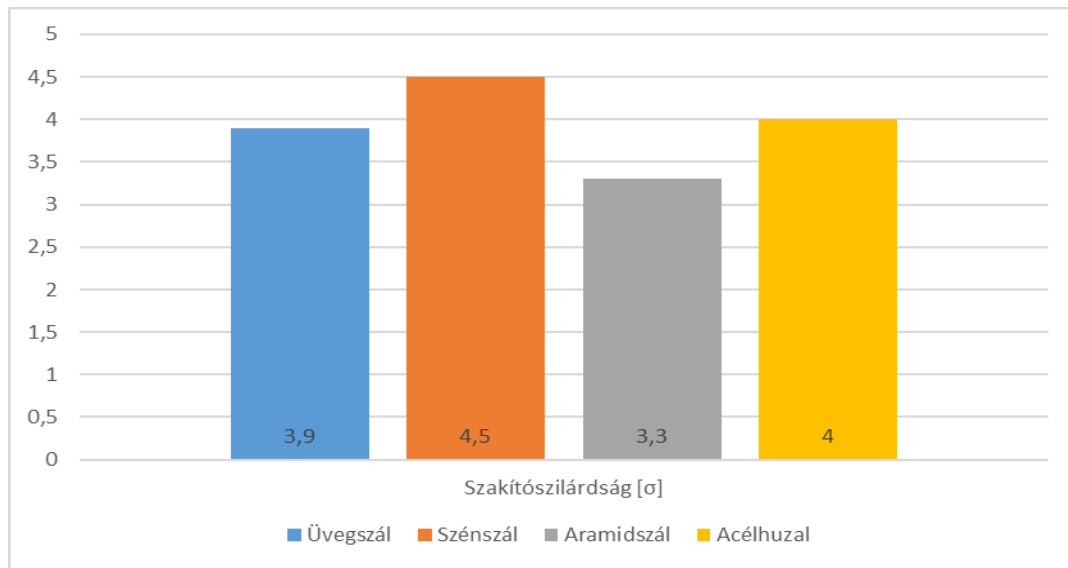


3. ábra Szálerősítő anyagok osztályozása

Az alábbi diagrammokban néhány szálanyag mechanikai tulajdonságai láthatóak, megfigyelhetjük, hogy míg sűrűségük sokkal kisebb az acélhuzalénál addig mechanikai tulajdonságaik közel megegyeznek az acélhuzaléval. (4. ábra), (5. ábra).



4. ábra Néhány szálanyag sűrűsége az acélhuzaléval összehasonlítva [2]

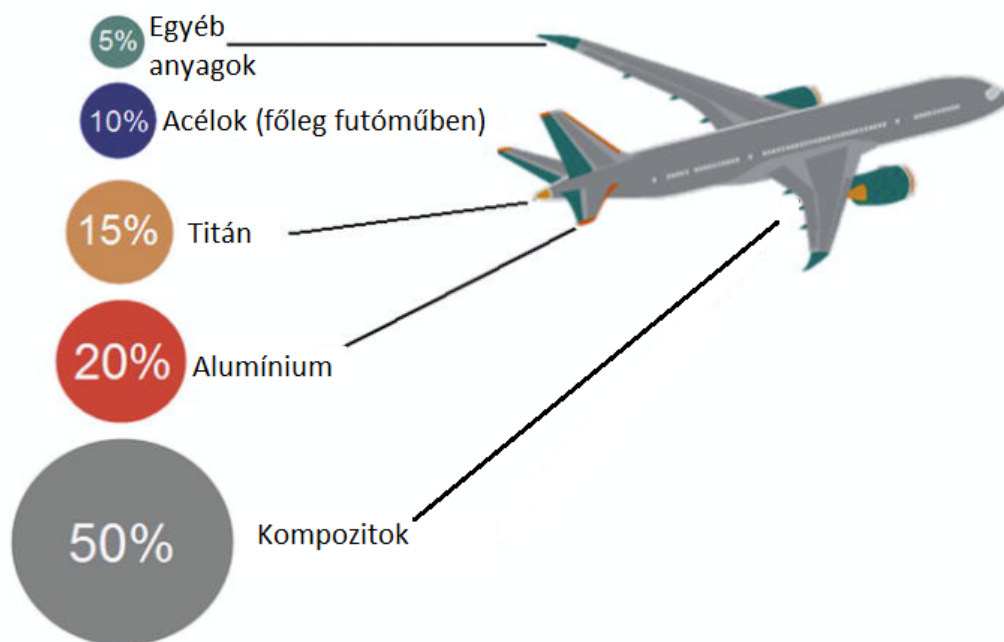


5. ábra Néhány szálanyag szakítószilárdsága az acélhuzalével összehasonlítva [2]

Az **üvegszál** a leggyakoribb szálerősítő anyagok közé tartozik, egyik legnagyobb előnyük a kedvező árak, a magas szakítószilárdság, illetve kopásállóság és a kitűnő vegyszer ellenállóság, illetve szigetelőképeség. Hátrányaik azonban a relatíve alacsony rugalmassági modulusz, a többi szálanyaghoz képest magas sűrűség, a fáradásból vezető károsodás elleni ellenálló képesség és a nagy keménység, emiatt az üvegszálak vágásához speciális vágóeszköz szükséges. Az üvegszál majdnem minden kiserelési formában megtalálható, legyen az folytonos roving szál, szövet, darabolt szálak vagy paplan. A leggyakrabban használt üvegszál az úgynevezett E-típus. Az üvegszálak legnagyobb felhasználói a repülőipar, autóipar, energia ipar és a hajóipar. Az egyik legnagyobb felhasználója ezen kompozitoknak a repülőgépipar, ezen anyagokból készülnek a beltérben található csomagtartó dobozok, a műszer panelek, a belső válaszfalak, valamint a földi kiszolgáló járművek is nagyrészt ezen anyagokat hasznosítják. Napjainkban, az autóiparban az üvegszálak anyagok használatának fő előnyei az acélokhoz szemben a korrózióállóság, a kémiai ellenálló képesség és legfőképpen a súlycsökkentés, ami a szigorú emissziós normák szempontjából fontos, mivel ezen anyagok használatával jelentős fogyasztáscsökkentés érhető el. A modern autóknál ilyen kompozitokból készülnek a szerkezeti funkcióval nem vagy kevésbé rendelkező, de nagyméretű panelek, mint például, a lökhárítók, motorháztetők, ajtók és ajtók. A nagy kopásállóságuk miatt továbbá használatosak az ékszerekben is ahol az

üvegszálak a gumiba ágyazva segítik elő a szíj tartósságát. Valamint üvegszálakat használnak a gumik erősítésére is ahol ennek köszönhetően nagyobb a gumi ellenállósága. [3]. Az üvegszálás kompozitok használata igen népszerű a hajók készítésénél, ahol kisebb- közepes csónakok teste ezen anyagból készül, úttörőnek számítanak ebben a szegmensben a gyorsasági hajók. Ezen iparban a fő szempontjai az üvegszálak használatának az alacsony költségek, a könnyű súly, egyszerű gyárthatóság, valamint az ütésállóság. [4]. A szélerőművek lapátjai is főként üvegszálás anyagokból készülnek ezzel is elősegítve a súlycsökkentést és így a gazdaságosabb üzemeltetést.

A **szénszál** talán az egyik legkiemelkedőbb tulajdonságokkal rendelkező szálerősítő anyag, az üveg szálak minden pozitív tulajdonságával rendelkezik és kiküszöböli azok negatív tulajdonságait is, egyetlen nagyobb hátránya az üvegszálakhoz képest jóval magasabb ára. Szénszálat főleg olyan iparágak használnak, ahol nagy hangsúlyt kell fektetni a súlycsökkentésre az egyik ilyen a repülőgépipar ahol mind a polgári mind a katonai repülőgépek külső paneljei ezen anyagból készülnek. Az alábbi képen egy Boeing 787 anyaghasználata látható, megfigyelhető, hogy a kompozitok annyi százalékát teszik ki a felhasznált anyagoknak, mint az összes többi anyag együttesen (6. ábra). Amíg acélból vagy alumíniumból több alkatrész szükségeltetne egy részegység felépítéséhez, addig a kompozit alkatrészeket szint bármilyen formába készíthetnek, ezáltal jóval alacsonyabb a szerelésre fordított idő. Valamint a szénszálás kompozit alkatrészek alacsony súlyából fakadóan 20%-os súlycsökkenés érhető el egy alumínium panelekből épített géppel szemben, ezáltal fogyasztáscsökkenés is elérhető, így csökkenthetők mind a gyártás mind az üzemeltetés költségei.



6. ábra Különféle anyagok használata százalékban a Boeing 787 repülőgépnél [3]

A profi sporteszközök szintén nagyrészt szén-szál kompozitokból készülnek, legyenek azok kerékpár vázok, golfütők, hoki- vagy teniszütők. Ebben a szegmensben szintén az alacsony súly a fő szempont anélkül, hogy a kívánt mechanikai tulajdonságokat feláldoznák.

A 45 méternél hosszabb szélerőmű lapátoknál, már az üvegszál váz mellett egy karbonszálból készült belső merevítőrudat is használnak, hogy meggátolják a hosszú lapát kihajlását, de alacsonyan tartásuk a súlyt. [5]

Az autóiparban főleg a nagyteljesítményű autókban használnak szén-szál kompozitokat, mivel egy normál személyautónál igen magas többletköltségeket jelentene az olcsóbb üvegszálakkal szemben. A sportautókban azonban igen széleskörben alkalmazzák, egyik leggyakoribb felhasználója ennek a technológiának a McLaren ahol az autók önhordó váza készül szén-szál kompozitból, biztosítva ezzel az alacsony súlyt és a magas szintű merevséget. A Koenigsegg pedig az autói felhíjait készíti ezen anyagból, minimalizálva ezzel a rugózatlan tömeget, garantálva ezzel a jobb kezelhetőséget. (7. ábra)



7. ábra A McLaren szénszálvas váza és a Koenigsegg szénszálvas felni

Az **aramid** (aromás-poliamid) szálak rendkívül jó energia elnyelő képességgel rendelkeznek, vágás-, illetve lángállóak ami miatt rendkívül jól használhatók védelmi célokra, azonban hátrányuk, hogy rendkívül érzékenyek a környezeti hatásokra, mint például a nedvesség vagy az UV sugárzás, illetve alacsony a nyomószilárdságuk. Szövet formában készíthetnek belőle vágásbiztos kesztyűket, illetve tűzálló ruházatot. Kompozit formában főleg golyóálló mellényekben, védősisakokban, pajzsokban használják. Továbbá az amerikai M1 Abrams tank páncélzata is Kevlar szendvics szerkezetű, ahol két acél panel között elősegíti a remek energia elnyelést, az AH-64 harci helikopter, pedig a rotor lapátjaiban Nomexet használnak, a jó rezgés elnyelő képessége miatt (8. ábra), ami a Kevlaron kívül egy másik aramid fajta.

A Kevlart szénszállal kombinálva is szokták használni, hogy mégjobb tulajdonságokat érjen el az adott kompozit, ilyen anyagot használnak profi kajakok készítésére. [6]



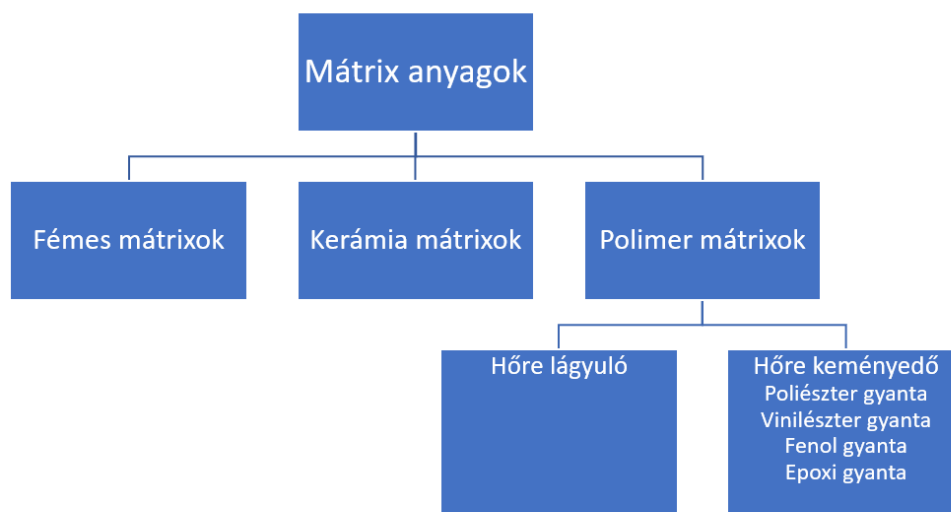
8. ábra A kikapó élnél látható sárga méhsejt szerkezet, a Nomex a merevséget szolgálja, de ezzel együtt rendkívül könnyű

A **bazalt szál** egy viszonylagosan új szálanyag, 1985-ben kezdték el először gyártani a Szovjetunióban, először a védelmi szektor alkalmazta az ebből készült kompozitok, azonban eleinte nagyon silány minőségük voltak és a szálak előállítása túl nagy energia igényvel járt. Az 1990-es évekre sikerült kidolgozniuk egy újabb, modernebb előállítási eljárást, ami sokkal energia takarékosabb volt. A bazalt szálakra tekinthetünk az üvegszálak és szénszálak helyettesítőjeként is bizonyos területeken, mivel mechanikai tulajdonságai jobbak az üvegszálakénál és áruk kedvezőbb a szénszálakénál. [7]

Használatuk az építőiparban nagy előrelépést jelent, egyik felhasználási formája az bazalt szál kompozitból készült „betonvas”, aminek az általában alkalmazott acélnál háromszor kisebb a súlya és két és félszer nagyobb a szakítószilárdsága. Továbbá bazalt szálakat használnak a fékbetétekben is a régi azbeszt helyett, aminek eredményeképpen két-háromszor hosszabb lehet egy betét élettartama, magasabb a működési hőmérséklet tartománya, illetve környezet barát. [8]

2.2 Mátrix anyagok

A **mátrix anyagok** feladata, hogy összetartsák és megvédjék a szálakat a környezeti hatásoktól. Valamint meghatározzák bizonyos tulajdonságait az elkészített alkatrésznek, úgy mint a kémia ellenálló képesség, kopásállóság, hőmérsékleti határok, szilárdság. A mátrix anyagok lehetnek fémes, kerámia vagy polimer mátrixok, a legelterjedtebben alkalmazottak a polimer mátrixok. Polimer mátrixokon belül léteznek hőre keményedő és hőre lágyuló mátrixok. A hőre lágyuló mátrixok eredetileg szilárd halmazállapotúak, az alkatrész készítése során felmelegítik a mátrixok, hogy lágy állapotba kerüljön, hűlés során újra visszakeményedik. Ezen anyagokon belül nem megy végbe kémiai változás a feldolgozásuk során, így bármikor újra lágy állapotba hozhatóak. A másik fatája a polimer mátrixoknak a hőre keményedő anyagok, ezen anyagok ha egyszer már szilárd halmazállapota kerültek térhalós szerkezetet hoznak létre és nem hozhatók újra az eredeti folyadék állapotukba, a polimer mátrixok közül ezen anyagok az elterjedtebbek. Hőre keményedő mátrixokon belül léteznek poliészter-, vinilészter-, fenol- és epoxi gyanták. (9. ábra) [1]



9. ábra Mátrix anyagok csoportosítása

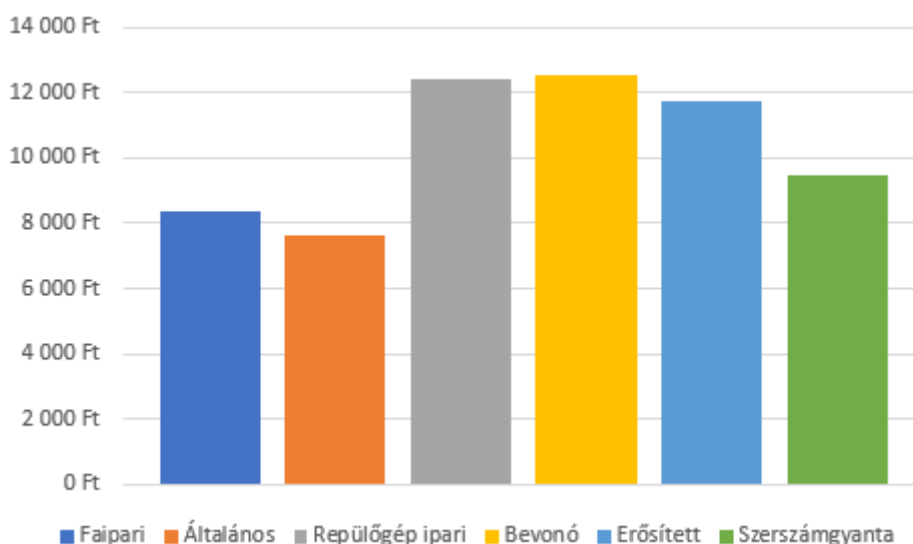
A **poliészter gyanta** az egyik legkedvezőbb ár/érték aránnyal rendelkező gyanta a piacon, ezért a legelterjedtebb is. A poliészter egy alacsony viszkozitású gyanta amelyhez, katalizátort adnak, hogy meginduljon a térhálósodási folyamat, ez általában sztirol. A térhálósodás sebessége függ a hozzáadott katalizátor mennyiségétől, a folyamat exoterm ezért hőtermeléssel jár. A folyamat során a gyanta akár 100-120 °C-ig felhevülhet. Térhálósodás után egy átlátszó felületet ad, rendkívül jó az UV-állósága, a poliészter gyantából készült kompozitok akár 30 évig is állják a környezeti hatásokat. Az évek során azonban bizonyos fajta degradáció előfordulhat, ez sárgás elszíneződésben mutatkozik meg és a szilárdság bizonyos fokú elvesztésével jár.

A poliészter gyanták különösen ellenállók a különféle kémiai hatásokkal szemben, különböző korrózióálló tartályokat és csöveket készíthetnek belőlük. Savas környezetekben azonban a nem ajánlatos poliészter gyantához üvegszálakat használni, mivel egyes savak, mint például a hidrofluoridsav feloldhatják az üvegszálakat. [1]

A **vinilészter gyanták** árban poliészterek felett vannak, azonban tulajdonságaik is jobbak azokénál. Magas hő- és vegyszer-állóság, valamint kitűnő mechanikai tulajdonságok jellemzik őket. Ezen tulajdonságaik miatt főleg üvegszálazás hajótestek készítésénél, illetve javításánál használják. Továbbá a vinilésztert is ipari tartályok és

csövek készítésére használják, a korrózióállóságuk miatt. Ezen gyanták használatánál is szükséges a katalizátor használata, hogy megkezdődjön a térhálósodás.

Az **epoxi gyanták** felhasználása igen széleskörű nagyon kedvező tulajdonságaik végett, jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek, magas a korrózió állásuk, jó elektromos szigetelők, hosszú polcidejűek, illetve nem szenvednek akkora mértékű zsugorodást mint az egyéb gyanták. Az epoxi gyantáknak egyszerűbb a térhálósodásuk. Az epoxik egyik legfőbb alkalmazási területe a repülőgép ipar, lamináló anyagként használják a gépek vázaihoz illetve rakétákhoz. Használatos továbbá méhsejt szerkezetek ragasztóanyagaként is. Prototípus gyártásnál is kiválóan alkalmazható ősminták előállítására. Az epoxi gyanta majdnem az összes gyártási módnál használatos, száltekerceslésnél, pulltrúzionál, nyomásos formázásnál, prepreg módszernél, vákuum infúzióánál, illetve természetesen kézi laminálásnál. Az epoxi gyanták ára egyenes arányos a tulajdonságaik szintjével. [9] (10. ábra)



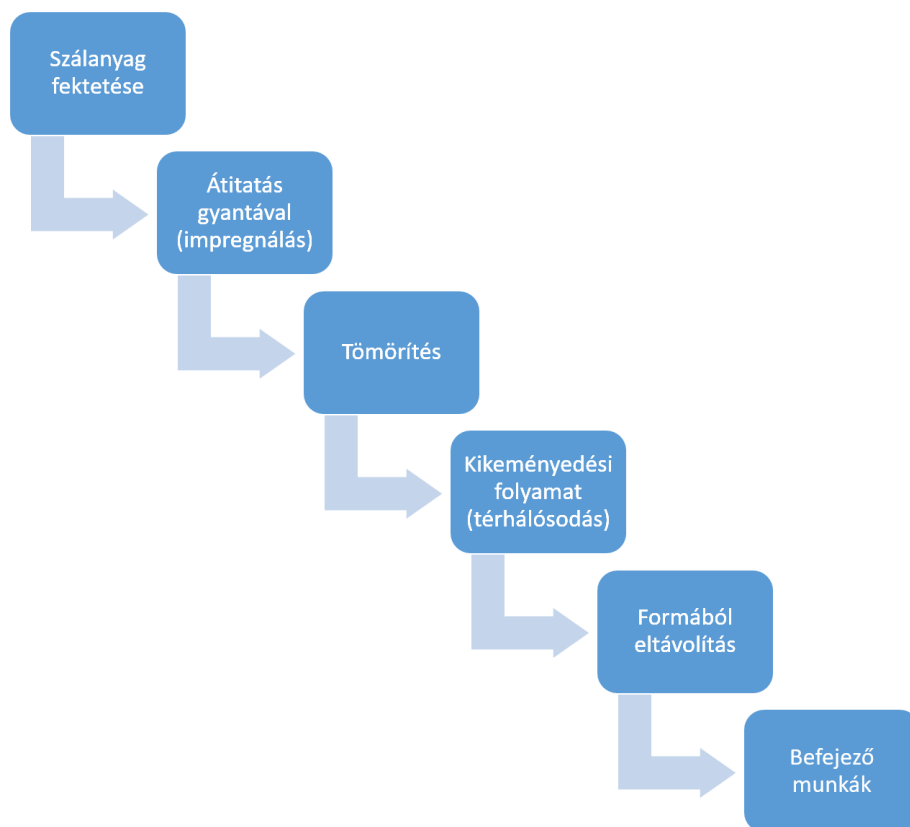
10. ábra Különböző epoxi gyanták árai egymáshoz viszonyítva

A **fenol gyanták** voltak az első szintetikus előállított gyanták. Fenol gyantát főleg olyan területeken használnak, ahol előírás a lángállóság, mivel ezek megfelelnek a követelményeknek, a magas hő stabilitásuk. További előnyös tulajdonságaik az alacsony sűrűség, alacsony hővezető képesség és kémiai ellenállóképesség. Ezen

tulajdonságaik miatt használatosak még szellőztető rendszerekben, vízalatti csővezetékben, valamint tömegközlekedési eszközök gyártásánál. [10]

2.3 Gyártási eljárások

A kompozit alkatrészeket rendkívül sokféleképpen lehet legyártani, azonban mindegyik gyártási módnak megvannak maga határai, mint például, a költséghatékonyság vagy, hogy az adott eljárással készített alkatrész mennyire tölthet be szerkezeti szerepet, az adott eljárás. Költséghatékonyság szempontjából érdemes figyelembe venni a gyártás volumenét és sebességét. Egy kompozit alkatrész gyártása több lépésből áll, amelyek a következők, szálerősítő anyag, legyen az bármilyen kiserelési forma, fektetése a kívánt orientációba, a választott gyantával való átítatás, az átítatott szálerősítő „tömörítése”, ezáltal a légbuborékok, illetve a felesleges gyanta kihajtása az impregnált szálakból, kikeményedési szakasz alkatrész eltávolítása az ősmintából (formából), befejező munkálatok, például kilógó maradék szálak levágása. (11. ábra) [1]



11. ábra Kompozit alkatrész elkészítésének lépései

A legelterjedtebb és talán legegyszerűbb gyártási eljárás a **kézi a laminálás**. Ezen eljárás egyszerűségét az adja, hogy nincs szükség külön speciális gépekre vagy szerszámokra, csupán az alapanyagokra, esetleg gelcoatra, de ez nem kötelező, ecsetre vagy festő hengerre, mérőedényekre és egy formára, amire laminálunk. A forma (ősminta) lehet negatív vagy pozitív, ezt annak függvényében kell megválasztani, hogy az elkészült alkatrész melyik felének kell, hogy esztétikai szerepet betöltsön, mindig a forma felőli oldal lesz a szebb. Ezen persze utólagos megmunkálással, mint például polírozás változtathatunk, ha az alkatrész díszítőelem funkciót is el kell, lásson. Az ősmintát többféle anyagból is el lehet készíteni annak a függvényében, hogy az adott alkatrész sorozatgyártott lesz-e vagy csak prototípus. Ha sorozatgyártását szeretnénk az adott alkatrésznek érdemes valamilyen fémből elkészíteni a formát, azonban, ha csak prototípus gyártást szeretnénk a költségek és az idő csökkentésének érdekében el lehet készíteni a formát polisztirolból is. [1]

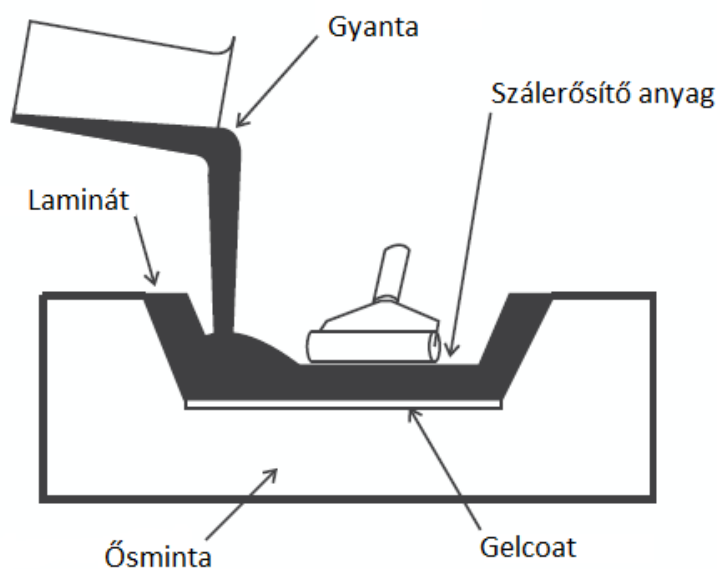
Az alkatrész készítésének első lépése, ha alkalmazzuk, a gelcoat réteg felhordása, ez védelmet biztosít a felületnek, ha nem használunk gelcoatot egy vékony gyanta réteget viszünk fel a felületre és ebbe fektetjük bele az szálerősítő anyagot, majd erre is egy gyantaréteget viszünk fel, ezen lépéseket addig ismételjük amíg el nem érjük a kívánt rétegvastagságot (12. ábra). A szálerősítő anyag fektetésekor érdemes figyelni a szálak orientációjára. Mindig ügyeljünk arra hogy, a következő réteg erősítő anyag mindig azzal a gyantával itatódjon át először amibe belefektetjük és csak utána hordjuk fel rá a következő réteg gyantát, elkerülve ezzel a zárványok keletkezését. Miután elértük a kívánt vastagságot egy sima felületű hengerrel légtelenítés céljából hengereljük át, ez segít a felesleges gyanta kihajtásában is. A térhálósodáshoz nincs szükség semmilyen speciális kemencére vagy egyéb berendezésre, ez szobahőmérsékleten történik. [11]

A kézi laminálás előnyei a következők:

- Kiforrott, elterjedt eljárás.
- Alacsony előállítási költségek.
- Szinte bármilyen szálerősítő és gyanta felhasználható.
- Komplex alkatrészek is előállíthatók.

A negatívumai pedig a következők:

- Az elkészített alkatrész minősége függ a készítő gyakorlatától.
- Az eljáráshoz ajánlott gyanták károsabbak az egészségre.
- Nyitott eljárás, sztirol emisszióval jár, ezért jól szellőző helyen alkalmazható csak.
- Alacsony termelékenység.
- Hosszú száradási idő.



12. ábra Kézi laminálás elvi vázlata [1]

Kézi laminálással rendkívül sokféle alkatrész gyártható, például szélturbinák lapátjai, hajótestek, sportszerek, medencék vagy tartályok.

A **prepreg eljárás** nagyban hasonlít a kézi lamináláshoz azzal a különbséggel, hogy a szálerősítő anyag már előre át van itatva a gyantával (pre-impregnált= prepreg), illetve ez az eljárás költségesebb mivel szükség van hozzá vákuumkemencére vagy autoklávrá. Ennél az eljárásnál már az sem mindegy, hogy az ősmintát milyen anyagból készítjük, mivel a térhálósodás magas hőmérsékleten történik ajánlott vagy fémből, vagy valamilyen más kompozitból elkészíteni az ősmintát, azonban, ha kompozit formát

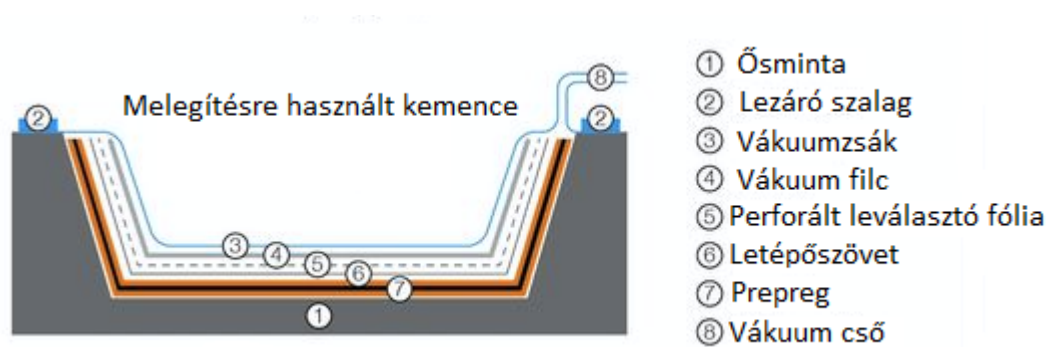
használunk, oda kell figyelni, hogy annak elkészítésekor olyan gyantát alkalmazzunk, ami hőálló. A prepreg anyagot különböző hosszúságú tekercsekben árusítják, előnyük, hogy egyszerű fagyasztással akár hónapokig is tárolhatók anélkül, hogy megindulna a térhálósodási folyamat. Az alkatrész bonyolultságától függően átvihetjük a kontúrokat a prepregre és a kisebb darabokat kivágva beleillesztjük a formába. A réteg felvitele után vákuum segítségével tömörítjük, majd felvisszük az újabb réteget. A kívánt rétegvastagság elérése után vákuumzsákba helyezünk vákuumfilccel, ami a levegő áramoltatásában segít, valamint letépőszövevel és perforált leválasztófóliával amik az eltávolítást és a gyanta áramoltatást segítik elő (13. ábra). Ezután vákuumkemencébe tesszük és a prepreg gyártója által meghatározott folyamat szerint hevítjük. A formából való leválasztás után az élek levágása szükséges mivel ennél az eljárásnál igazán élesek maradnak. [12]

A prepreg eljárás előnyei a következők:

- Magas száltartalom.
- Egyenletes gyanta eloszlás.
- Automatizálható.

Az eljárás hátrányai:

- Költséges, mivel vákuumkemencére vagy autoklávra van szükség.
- Hosszú térhálósodási idő.
- Az elkészített darabnak csak a forma felőli oldala lesz sima.



13. ábra Prepreg eljárás elvi vázlata [13]

Prepreg eljárással akár nagy igénybevételeknek kitett alkatrészek is készíthetők, például drónok burkolata, versenyautók alkatrészei, motorok váza, verseny hajók váza, sílécek

vagy snowboardok, de az eljárás alkalmazható tömeggyártott termékek esetében is, például csónakok burkolata, tömegközlekedési eszközök egyes alkatrészei, kisebb repülőgépek alkatrészei.

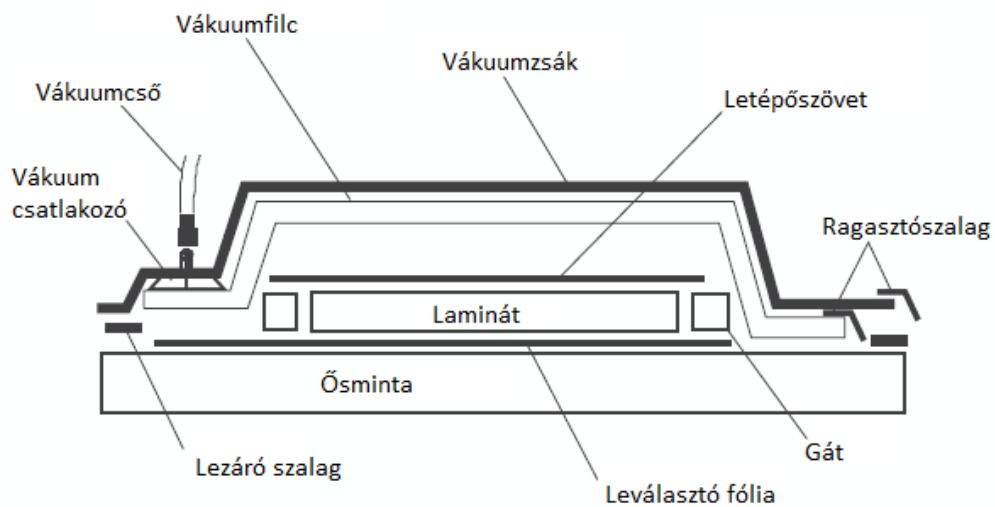
A **vákuumzsákos eljárás** a kézi laminálás és a prepreg eljárás „ötvöztetéseként” írható le. Alapanyagai megegyeznek a prepregével, de itt sima szálerősítő anyagot használnak. Lépései egyeznek a kézi laminálással, viszont az utolsó réteg laminálása után vákuumzsákba helyezik az darabot, a mintából szabad felére letépőszövetet tesznek erre pedig vákuumfilcet, aminek ennél az eljárásnál a levegő áramoltatásán kívül szerepe a felesleges gyanta felszívása is. Szükséges továbbá egy vákuum szivattyú is, ami a térhálósodás során végig körülbelül -0,8 bar nyomáson tartja a darabot (14. ábra). Ennél az eljárásnál a maganyag kiválasztásának a szempontja a nyomásállóság, tehát hab anyagot, például különböző polisztirolt vagy poliuretánt nem használhatunk mivel a vákuum összeroppantaná. A gyanta kiválasztásánál érdemes odafigyelni, hogy epoxi vagy fenol gyantát válasszunk, ugyanis a poliészter és a vinilészter gyantáknak magas a sztirol emissziója ami a vákuum miatt nagy mennyiségben távozik a gyantából és rontja a darab tulajdonságait. Szálerősítő anyagok közül szinte bármit használhatunk, ugyanis a vákuum miatt még ezek is képesek jól átítatódni. [14] A vákuumzsákos eljárással nagy méretű termékek is előállíthatók, ugyanis nincs feltétlen szükség kemencére a térhálósodáshoz.

A vákuumzsákos eljárás előnyei:

- Magas száltartalom.
- Nincs sztirol emisszió a környezetbe.
- A laminát jobban átítatódik.
- Reprodukálható minőség.

Az eljárás hátrányai:

- Extra költségek a kézi lamináláshoz képest.
- Odafigyelést igénylő alapanyag megválasztás.



14. ábra Vákuumzsákos eljárás elvi vázlata [1]

Az **RTM (Resin Transfer Molding)** eljárás során a száraz szál erősítő anyagot a formába helyezik, ezt akár elő is formázhatják, ezzel elősegítve a bonyolultabb geometriák elkészítését. Ezen eljárásnál szükség van a pozitív és a negatív formára is, miután behelyezték az erősítő anyagot a két felet összezárják és elkezdik beleszivattyúzni a gyantát és a katalizátort, (15. ábra) majd amikor teljesen megtelt a forma felfűtik, hogy elősegítsék a térhálósodást, a folyamat végbemenetelével szétnyitják a szerszámot és eltávolítják belőle a darabot, majd a széleinél eltávolítják a felesleges gyantát. Az RTM egyik változata, amikor vákuum segítségével eltávolítják a levegőt a formából, ezzel elősegítve a gyanta egyenletesebb eloszlását, elkerülve a zárványok keletkezését, ennek az eljárásnak a neve VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)

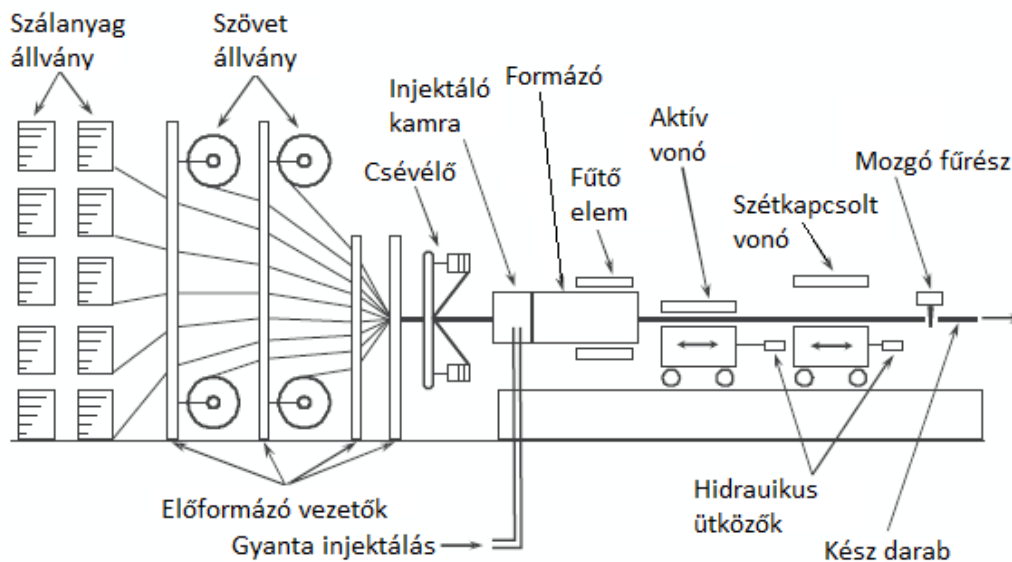
Az RTM eljárás előnyei:

- Magas szál tartalom.
- Az elkészült darab egészen állandó mechanikai tulajdonságok.
- Az elkészült darab mindkét fele sima.
- Nincs környezeti sztirol emisszió.

Az eljárás hátrányai:

- Sok felesleg gyanta az elkészült darab szélein.
- Magas elkészítési költségek.

- Ha formázó állandó fűtésével megnövekednek a költségek.
- Csak nagy volumenű termelésben gazdaságos.
- Csak állandó keresztmetszetű darabok készíthetők.



16. ábra Pulltrúzió elvi vázlata [1]

A **száltekerceselés** egy a pulltrúzióhoz hasonló automata eljárás, állandó keresztmetszetű profilok előállítására alkalmazzák, ám ennél az eljárásnál ezek a keresztmetszetek kizárólag kör vagy ovális alakúak lehetnek. Száltekerceselésnél is ugyanúgy szálakat alkalmaznak erősítő anyagként, ám itt a szövet helyett esetenként keskeny szalagokat. Az állványokról adagolt szálerősítő anyagot egy fésűn keresztül egybe igazítják majd előfeszítő hengereken keresztül egy gyantafürdőbe vezetik, ezt követően egy oda-vissza mozgó vezetőszenven keresztül tekerceslik fel egy forgó tengelyre (17. ábra). Amint elérték a kívánt falvastagságot az elkészült darabot leveszik a gépről és egy kemencében térhálósítják. Ha a beállítási és kész darab levételi időktől eltekintünk, az eljárás átlagos sebessége 0,6-1,2 m/s.

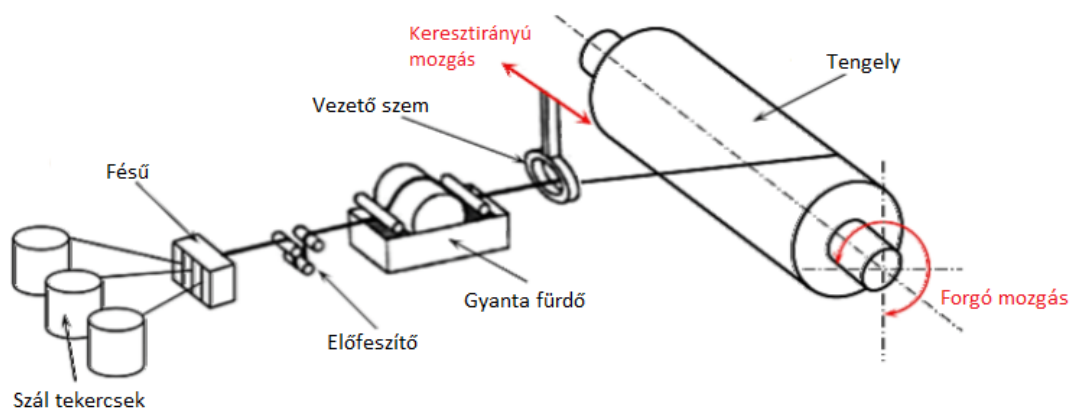
A száltekerceselés előnyei:

- Alacsony munkaszükséglet, mivel csak a gép beállításához és a kész darab levételéhez szükség munkaerő.
- Gazdaságos eljárás.

- Jól szabályozható gyanta tartalom.

Az eljárás negatívumai:

- Korlátolt a gyártható darabok keresztmetszete.
- A termék felülete utómegmunkálást igényel.



17. ábra Száltekercselés elvi vázlata [18]

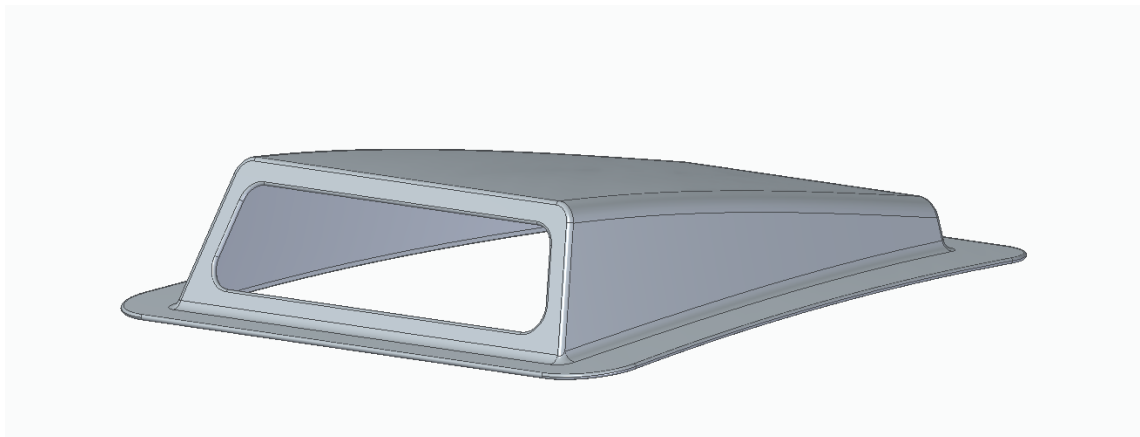
3. Kijelölt alkatrész gyártásának bemutatása

Ebben a részben az általam kiválasztott alkatrész CAD tervezését és gyártását mutatom be, illetve a projekt lépésit ismertetem. Mivel felmerült a lehetőség, hogy az alkatrész valójában le legyen gyártva, ezért a kézi laminálás eljárását fogom bemutatni egészen a forma tervezésétől a gyártásáig. Az egyszerűség és a költséghatékonyság kedvéért a formát XPS polisztirolból fogom elkészíteni, mivel ennek sűrűsége jóval nagyobb, mint a nála olcsóbb EPS polisztiroloké. Továbbá számítógépes EdgeCAM szimulációval be fogom mutatni, hogy miként lehetne NECURON anyagból marás segítségével elkészíteni. A dolgozat végén egy költségbecslést fogok végezni, melyben figyelembe veszem az elkészítésbe ölt mérnökörákat és az anyagköltségeket, továbbá összehasonlítást fogok végezni, hogy mekkora különbség lenne az elkészítés költségében, ha más szálerősítő anyagot és más gyantát használnánk.

A projekt első lépése az alkatrész megtervezése, ezután a következő lépés, hogy megvizsgáljam, hogyan lehetne a legköltséghatékonyabb módon elkészíteni a pozitív formát. Majd következik ennek a megvalósítása, ezután pedig a negatív forma előállítása következik, utolsó lépésben pedig maga az alkatrész elkészítése laminálással.

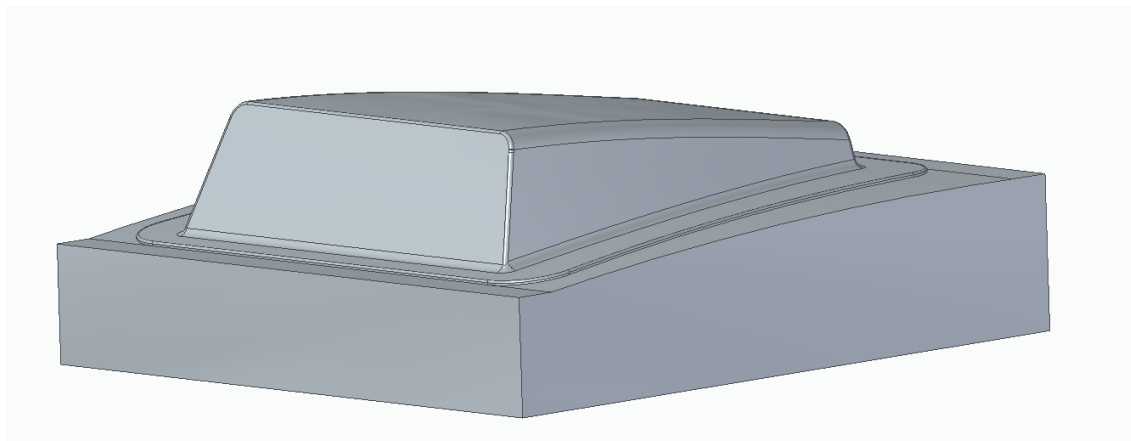
3.1 Választott alkatrész bemutatása

A kiválasztott alkatrészem egy autó légbeömlő, ezt modelleztem le Solid Edge segítségével (18. ábra), ezután, mivel nincs szerkezeti funkciója és csak az elkészítési eljárás jobb bemutatása végett lesz legyártva, tettem rá egy 1:2 léptékű méretarányt.



18. ábra Légbeömlő modellje

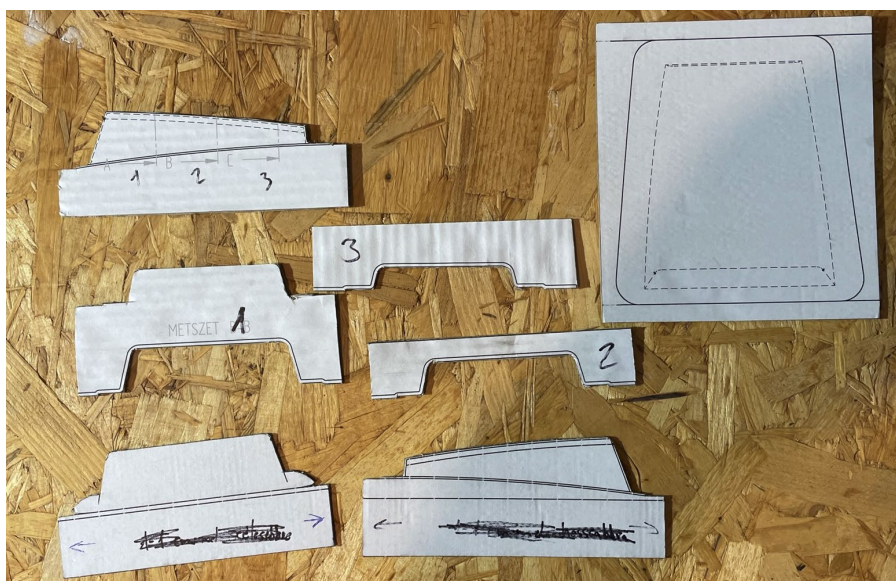
Az alkatrészen található első és alsó nyílások befedésre kerültek, mivel laminálással nem lehetne elkészíteni őket, ezek utólag lesznek kivágva a már elkészült alkatrészen. Mivel az alkatrésznek a negatívjába lesz laminálva, ami a pozitív formából lesz szilikonból elkészítve, ezért egy szigetre lett helyezve és így lett a polisztirolból kimunkálva (19. ábra). A végső alkatrész méretei: 165 mm x 150 mm x 60 mm.



19. ábra A forma végleges modellje

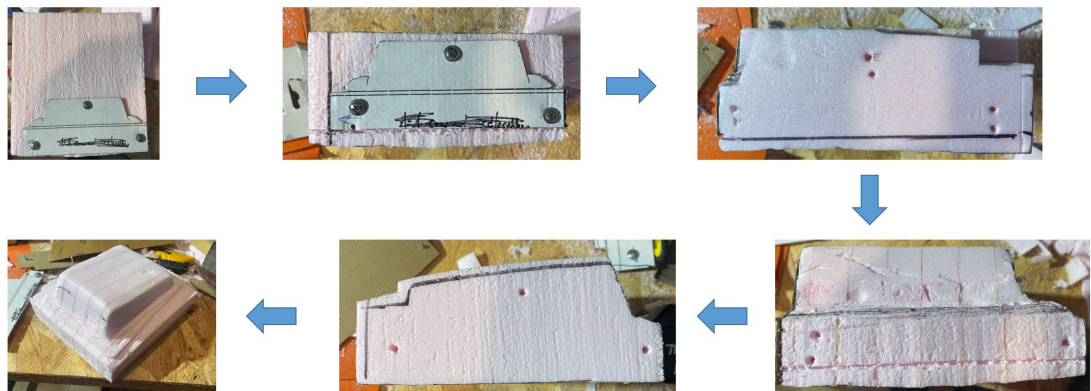
3.2 A polisztirol forma elkészítésének folyamata

Első lépésben a modellből Solid Edgeben rajzot készítettem az alkatrész különböző nézeteit kinyomtattam (20. ábra), hogy legyen mi mentén kimunkálni a formát.



20. ábra A forma kinyomtatott nézetei és metszetei

A rajzon továbbá berajzoltam, hogy a 20 mm szélességű rétegek, hogyan fogják felépíteni a formát. A formámat 20 mm vastagságú XPS polisztirolból készítettem el, ez egy extrudált polisztirol lap, aminek a nagyobb sűrűsége és szilárdsága, az EPS „Hungarocell” polisztirollal szemben tette alkalmassá a forma elkészítésére. Ez tulajdonképpen egy habosított polisztirol, mely zárt cellaszerkezettel rendelkezik, ez lehetővé teszi, hogy csak minimális mértékben vegyen fel vizet a környezetből, így nem kellett aggódnom amiatt, hogy a szilikon túlságosan beszívárogná a formába ezzel megnehezítve a leválasztást vagy tönkretéve a formát. A táblából 200 mm x 200 mm nagyságú négyzeteket vágtam ki és ezeket ragasztottam össze, a ragasztó megválasztásakor ügyeltem, hogy olyat válasszak, ami nem károsítja a polisztirolt, egy poliuretán ragasztóra esett a választásom, mivel ez szilárulásakor habosodik és így a rétegek között esetlegesen lévő hézagokat kitölti. A rétegekre miután egybe kötöttem felrögzítettem a nyomtatott sablonokat és körbe nagyoltam őket. Első lépésben a teljes magasságot fűrészelt le ráhagyással, majd első lépésben az egyik oldalt és az előlnézetet készítettem el, ezután a forma másik oldalát és végül a hátulját munkáltam ki (21. ábra).



21. ábra A forma elkészítésének folyamata

Az elkészítés során több eszközt kipróbáltam, hogy mivel lehetne a leghatékonyabban és legegyszerűbben leválasztani. A nagyobb darabok leválasztására kézi fafűrész kiválóan alkalmas volt, azonban a finomabb formákhoz már más után kellett nézmem. A törhető pengéjű késsel már lehetett volna, formázni azonban ez megakad az anyagban, illetve nagyobb erőfeszítéssel jár, és ha megugrik balesetveszélyes is lehet. Végül a multigéppel történő megmunkálás bizonyosodott a legalkalmasabbnak, ezzel egy vágófej segítségével a felületeket ki tudtam munkálni és a nagyobb egybefüggő részeket, mint például az alkatrész teteje egy csiszolófej segítségével készre tudtam munkálni. A kisebb részleteknél a befejezést kézi csiszolással végeztem, P60-as csiszolópapírral. A kísérletezésem azt az eredményt adták, hogy a 60-as és a 120-as szemcsesűrűségű papírok közül a 60-as az alkalmasabb, mivel jelen esetben nem hagy annyival rosszabb felületet, viszont a 120-as szemcsesűrűségű csiszolópapír hamarabb eltömődik.

3.3 Szilikon forma elkészítése

Első lépésben a formán lévő hézagok és hibák gyurmával kitöltésre kerültek, mivel ezek megmutatkoznának a szilikon a formán is. Majd a forma körbe lett véve egy fallal, amely műanyag darabokból lett méretre vágva.

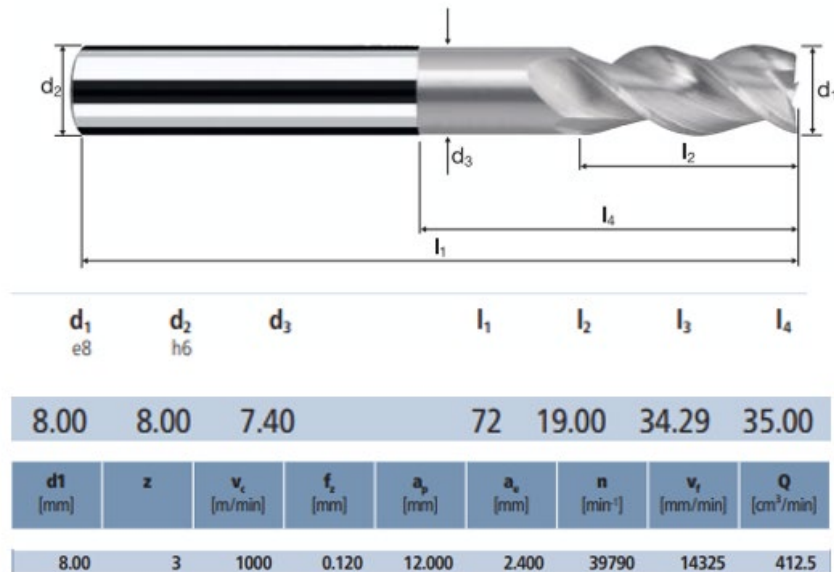
Ezután, a szilikon esetleges szivárgását megelőzendő a polisztirolforma és a fal találkozásánál, illetve a fal négy sarka gyurmával ki lett tömítve. Az alkalmazott szilikon a T-Silox kft. OXAM V1-es szilikonja, ez egy fokozott hőállósággal rendelkező, vasoxiddal kevert szilikon gumi, az alkalmazott katalizátor pedig a hozzá való OXAM katalizátor. A katalizátor és a szilikon keverési aránya 5%, ehhez lett még hozzáadva OXOL 350 szilikon olaj, ami a szilikon sűrűségét hívatott csökkenteni. Körülbelül 7dl szilikon került felhasználásra, ehhez lett keverve 35 ml katalizátor (22. ábra). Ezután a forma kitöltésre került és keményedni lett hagyva.



22. ábra A forma kijavítása és körbe falazása illetve a szilikon öntése

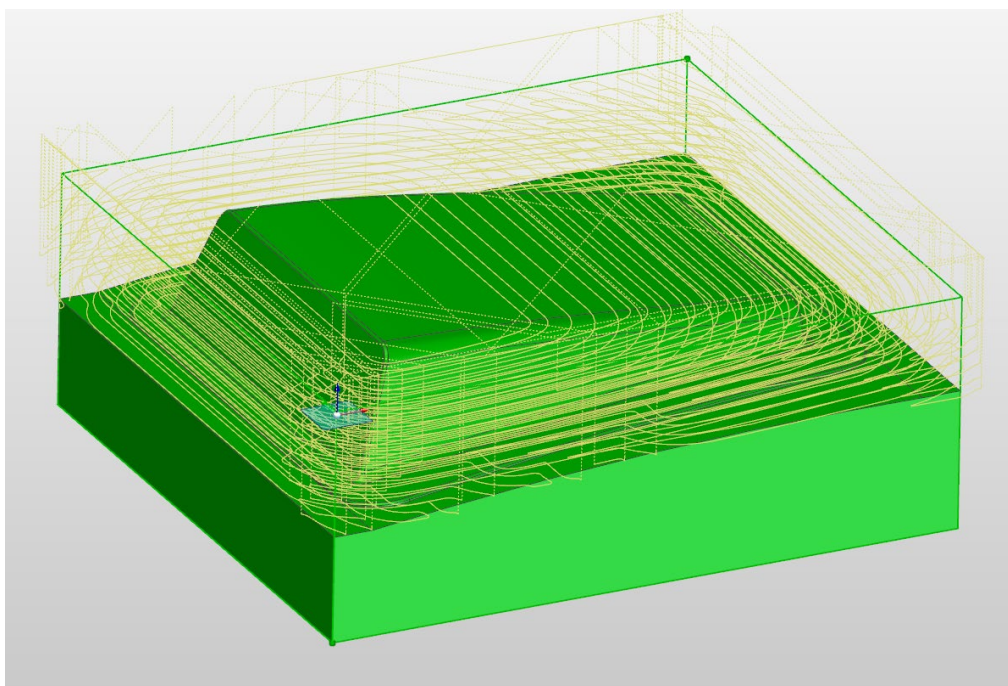
3.4 Forma legyártása forgácsolással

Ebben a fejezetben a pozitív forma legyártásának szimulációját fogom bemutatni EdgeCAM program segítségével. A kiválasztott anyag a NECOMER cég NECURON 651 típusú anyag, ez egy kifejezetten modellek készítésére szánt polimer mátrixú anyag, mivel számomra ebből készülné még egy negatív forma, ezért úgy vélem megfelelő választás, az anyag sűrűsége $0,7 \text{ g/cm}^3$. A választott NECURON kapható 60 mm vastagságú szabvány méretben, a formám is 60 mm magas, de mivel a NECURON táblákat síkra marják ezért a pont méreten lévő magasság megengedhető. A megmunkálás első lépése a nagyolás, ehhez egy 8mm átmérőjű szármarót választottam (23. ábra), ami kifejezetten műanyagok marására javasolt. A számolások részletesen a mellékletben (1. sz. melléklet) található.

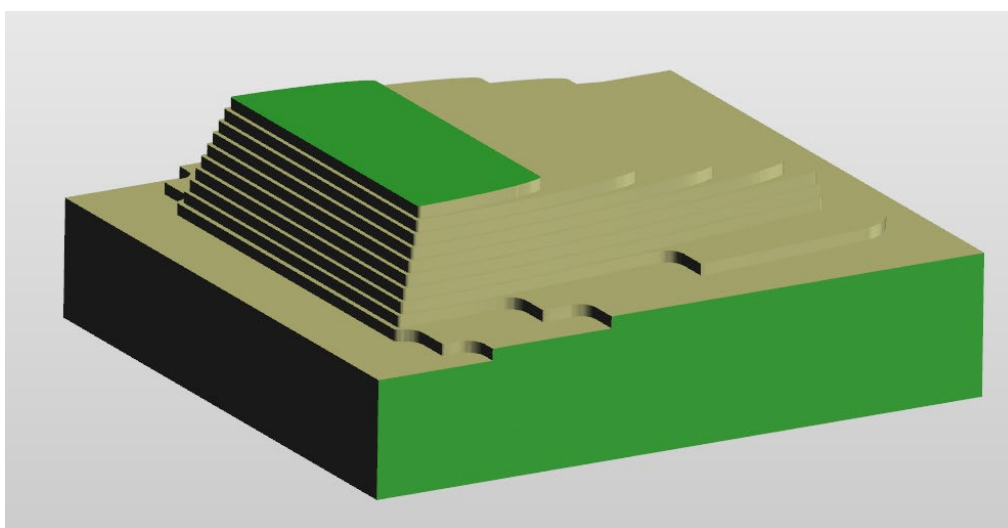


23. ábra A nagyoló szerszám

A fogásmélységnek 3 mm-t találtam alkalmasnak, a NECURON anyag miatt lehetne ez az érték magasabb is azonban szerettem volna, ha már a nagyolásnál a forma látható valamelyest és ne a gömbmaró terhelődjön a nagy fogások miatt. A katalógus a szerszámhoz 39.000 1/min fordulatszámot ajánl, azonban ezt túl magasnak találtam és visszavettem 12.000 1/min-re. Így az újraszámolt forgácsolósebesség 301 m/min lett. A fogankénti előtolásnál a katalógus értéket vettem alapul, ebből számoltam előtolást, aminek az értéke 0,36 mm. Ezután kiszámoltam az előtoló sebességet, ami 4.380 mm/min. A nagyolás szerszámpályáját (24. ábra) és szimulációját (25. ábra) az alábbi ábrák szemléltetik.

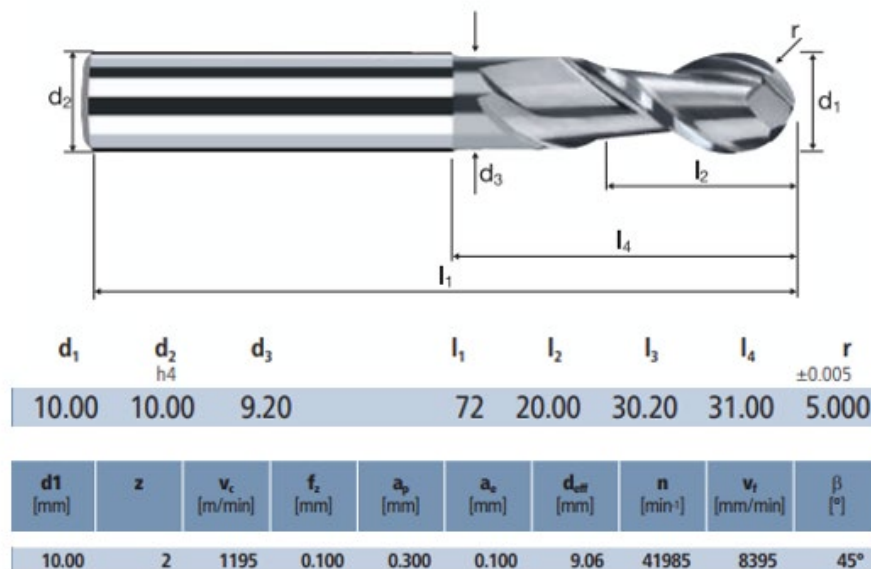


24. ábra A nagyolás szerszámpályája



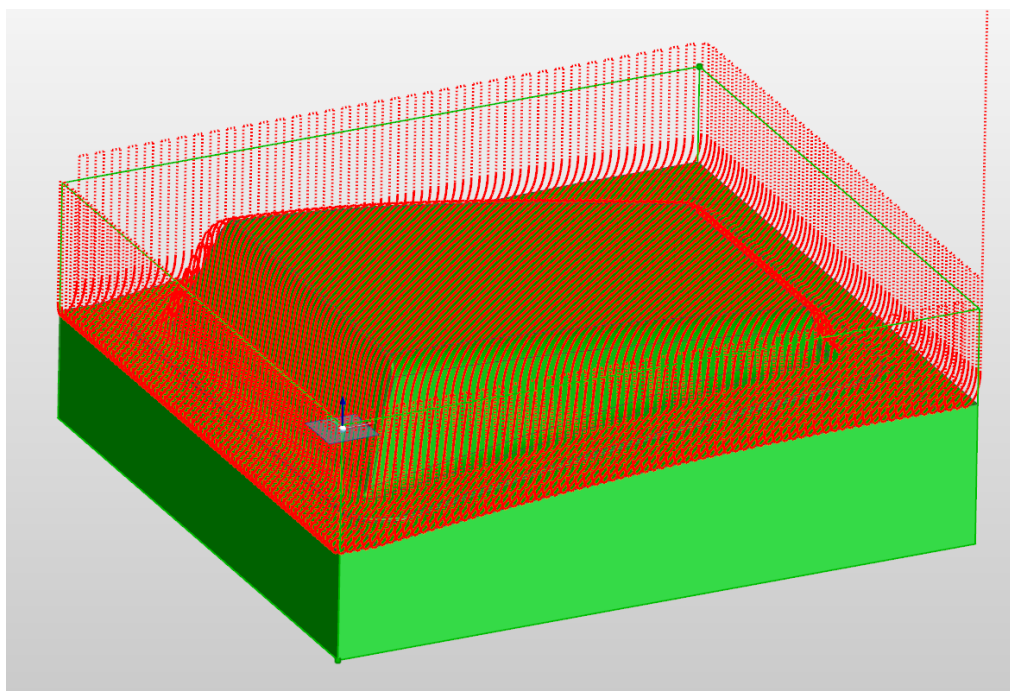
25. ábra A nagyolás szimulációja

A megmunkálás második lépése egy párhuzamosan láncolt maróciklus. Ehhez egy 10 mm (26. ábra) átmérőjű gömbvégű marót választottam. A megmunkálásnál a 15%-os oldallépést alkalmaztam, ami lehetővé teszi, hogy sima felületet kapjak. Továbbá a megmunkálás szögét 45° -ra állítottam be, enélkül az oldalsó felületek megmunkálása hiányos lenne és utómunkálást igényelné.

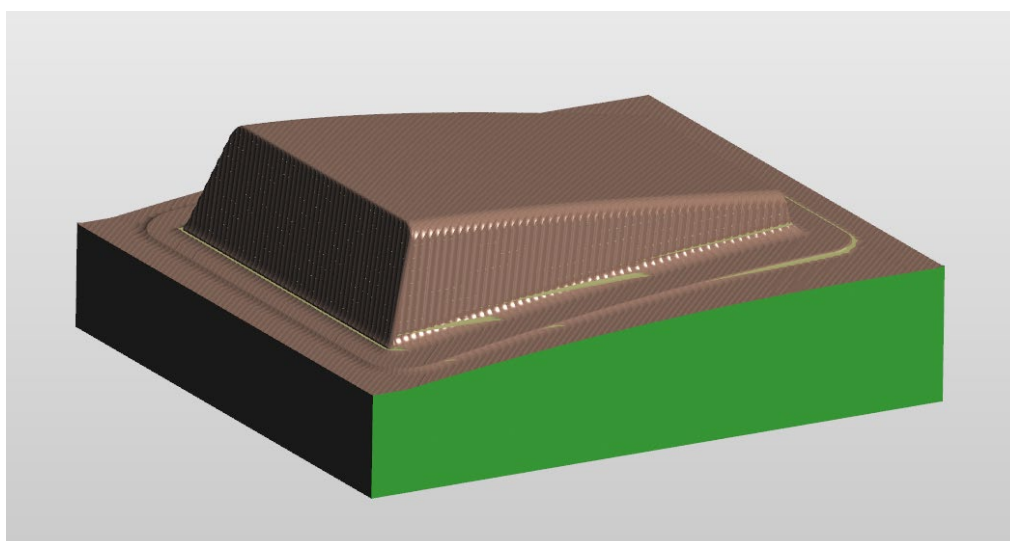


26. ábra A választott 10mm-es gömbvégű marú

Ennél a marónál a katalógus 42.000 1/min fordulatszámot és 1200 m/min forgácsoló sebességet javasol. A fordulatszámot 11.000 1/min-re módosítottam és az így kapott forgácsolósebesség 345 m/min. A fogankénti előtolásnál itt is a katalógus adatot vettem alapul, ebből kiszámolva az előtolás értéke 0,2 mm. Ezután a kiszámolt előtoló sebesség értéke, pedig 2200 mm/min. A párhuzamosan láncolt maróciklus szerszámpályáját (27. ábra) és szimulációját (28. ábra) az alábbi ábrák szemléltetik.

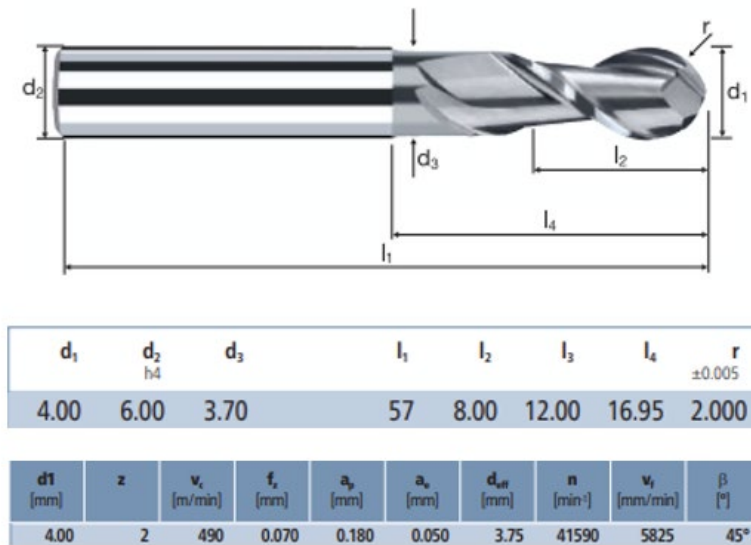


27. ábra A párhuzamosan láncolt füleletmaró ciklus szerszámpályája



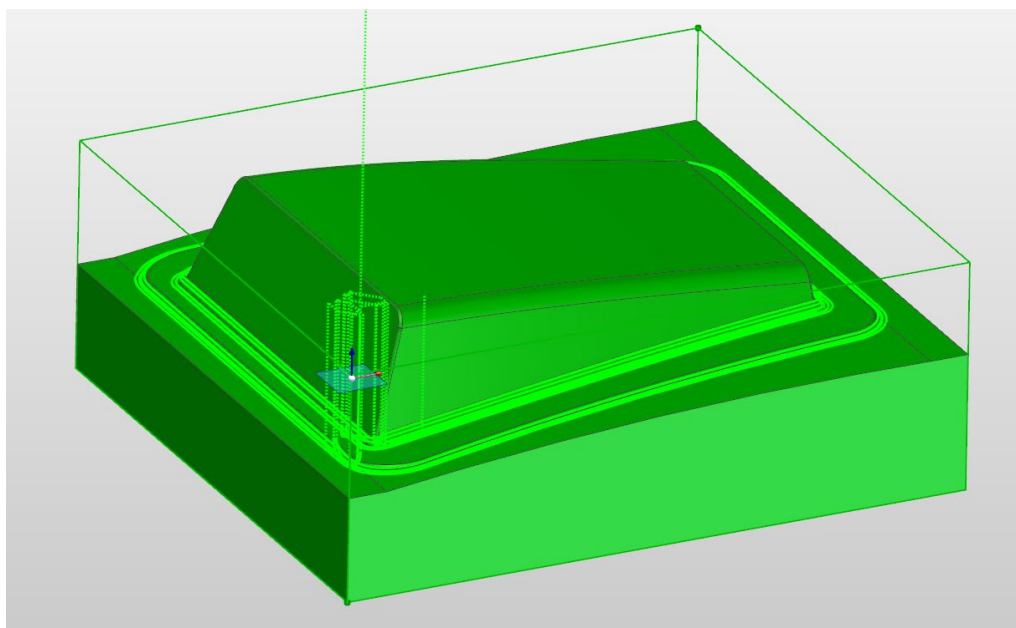
28. ábra A párhuzamosan láncolt füleletmaró ciklus szimulációja

A megmunkálás harmadik és egyben utolsó lépése egy maradékanyag simítás, amire azért van szükség, mert a 10 mm-es szármaró a belső sarkok megmunkálásához túl nagy volt. Erre a ciklusra a választott szerszámom egy 4mm átmérőjű gömbvégű maró (29. ábra). Ennél a műveletnél az oldal lépés 25%-os.

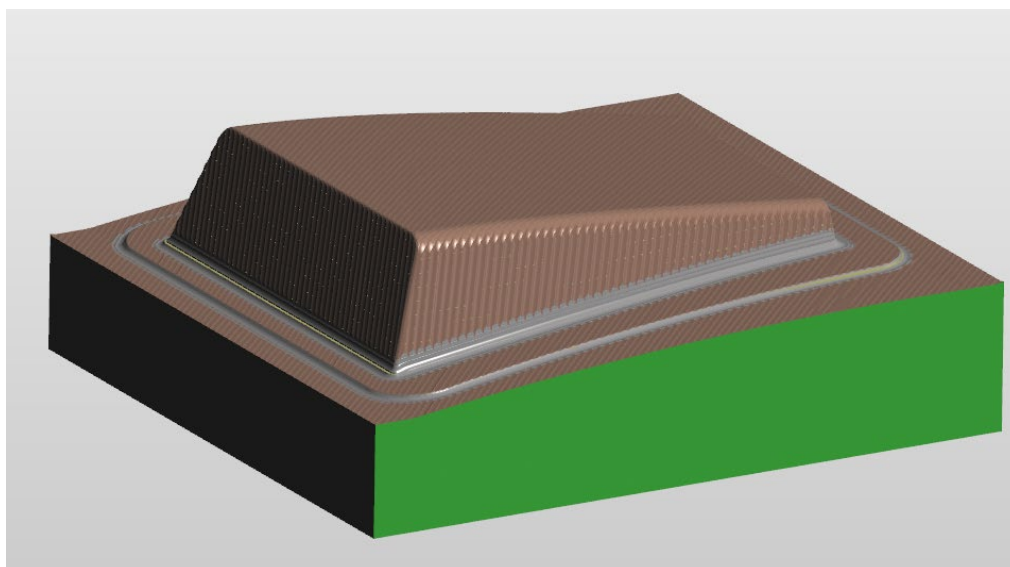


29. ábra A választott 4mm-es gömbvégű maró

A 4 mm-es gömbvégű marónál a katalógus által javasolt fordulatszám 41.590 1/min, amit levettem 15.000 1/min-re, az így kiszámolt forgácsoló sebesség 188 m/min. A fogankénti előtolásnál megfelelőnek találtam a katalógus által megadott 0,07 mm értéket, ebből a kiszámolt előtolás értéke 0,14mm. Ezután kiszámoltam a előtoló sebességet, melynek értéke 2100 mm/min lett. A maradékanyag simító maróciklus szerszámpályáját (30. ábra) és szimulációját (31. ábra) az alábbi ábrák szemléltetik.



30. ábra A maradékanyag simító maróciklus szerszámpályája



31. ábra A maradékanyag simító maróciklus szimulációja

Az alábbi táblázatban (1. táblázat) összegzés és jobb átláthatóság céljából kigyűjtöttem a forgácsolási adatokat, valamint a ciklusok elkészítésének az idejét és a táblázat végén az egyéb mellékidők figyelembevételével összegzem őket.

1. táblázat A forgácsolási adatok összesítése és a forma elkészítéséhez szükséges idő

	1. művelet	2. művelet	3. művelet	
D_c [mm]	8	10	4	
n [1/min]	12.000	11.000	15.000	
z	3	2	2	
f_z [mm]	0,12	0,1	0,07	
v_c [m/min]	301	345	188	
f [mm]	0,36	0,2	0,14	Elkészítéshez szükséges idő:
v_f [mm/min]	4380	2200	2100	
t_g [sec]	205	593	137	950 sec= 15 min
t_{szersz} [sec]	5	5	5	50 sec

4. A laminálás folyamata és tapasztalatai

A forma a megkötött szilikonról könnyen lejtött, azonban azt a következtetést le kellett, hogy vonjam, hogy a polisztirol valóban csak prototípusgyártásnál alkalmazható mivel nem ad tökéletes felületet a szilikonnak, egy mart forma kevesebb előkészülettel járt volna (32. ábra). Illetve autóiipari filler használatával megelőzhető lett volna, hogy a szilikon beszívárogjon a polisztirol rétegei közé. A filler egy általában kétkomponensű hibajavító kitt, ami száradás után csiszolható és ezáltal formázható felületet hoz létre.



32. ábra A szétválasztott szilikon- és polisztirolforma

A szilikon forma megtisztítása után következett a gyanta bekeverése. Az alkalmazott gyanta a Kalita Kft. Crystic 2 poliészter gyantája, ez egy kimondottan lamináláshoz ajánlott gyanta. A katalizátor pedig a hozzá tartozó Curox M302. A gyantához a gyártó a kimért mennyiség 1-3%-át ajánlja a katalizátorból hozzákeverni. Első lépésben 50g gyanta került bekeverésre, amihez hozzá lett adagolva 1g katalizátor. A felhasznált szálerősítő anyag egy 275 g/ m² súlyú, 2x2-es sávolszövésű üvegszövet volt. Az első kísérlet során egy körülbelül 200 mm x200 mm-es nagyságú szövetdarab lett a gyantával előnedvesített formába behelyezve, azonban már ennél a lépésnél látszott, hogy ez nem megfelelő, mivel az éleknél nem feküdt fel a szövet rendesen (33. ábra). Ezután körülbelül 2 óra száradási idő után el lett távolítva a már kikeményedett szövet a formából.



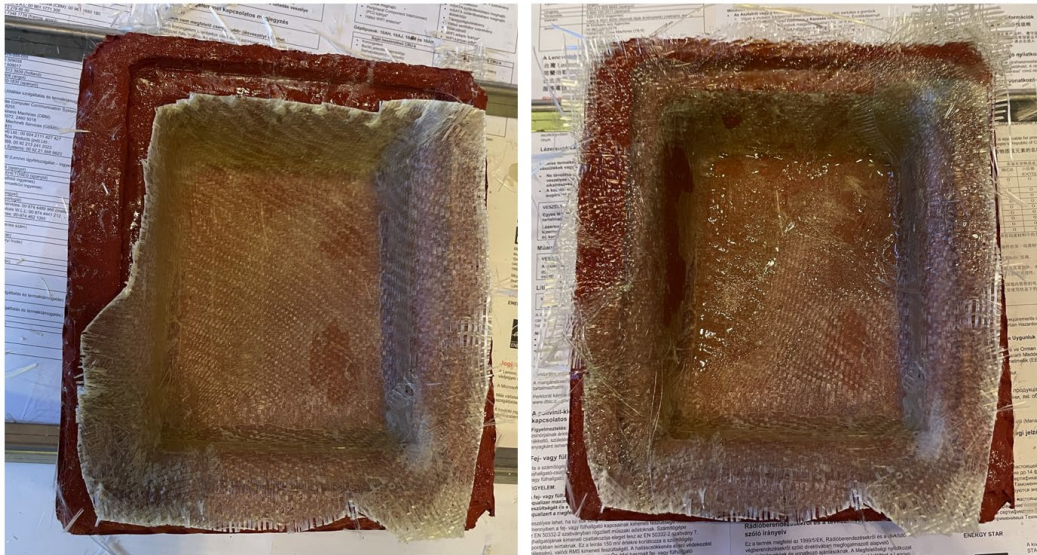
33. ábra Az első kísérlet

A második kísérletnél az első hibáiból tanulva az üvegszövet darab négy sarka be lett vágva és ezáltal jobban bele tudott feküdni a formába (34. ábra). Az első kísérletnél az 50 g gyanta soknak bizonyult, ezért a másodikhoz csak 25 g lett keverve, ami tökéletesen elég volt, ehhez



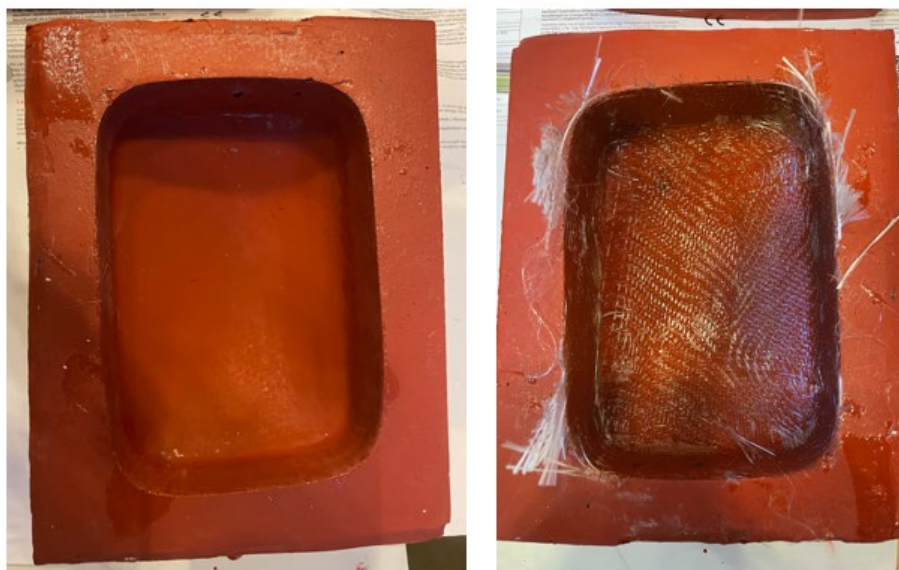
34. ábra A második kísérlet

Ezután az első réteg szövet át lett itatva gyantával és egy második réteg lett belelaminálva, de ezúttal nem egy darab nagyobb szövetből, hanem keskenyebb csíkokból. Teljes kikeményedés után a még mindig elálló élek vissza lettek vágva és csíkokból újra laminálva (35. ábra).



35. ábra A visszavágott és újra laminált darab

A harmadik kísérlet keretében pedig egy olyan szilikon formába lett laminálva, aminek nincsenek éles visszahajlásai, hanem finomabb rádiuszok jellemzik. Ebben a kísérletben 25 g gyanta lett felhasználva. Ez a szilikon forma egy autó visszapillantótükör házának a formája, amibe ezúttal csak keskenyebb csíkokból lett laminálva (36. ábra).



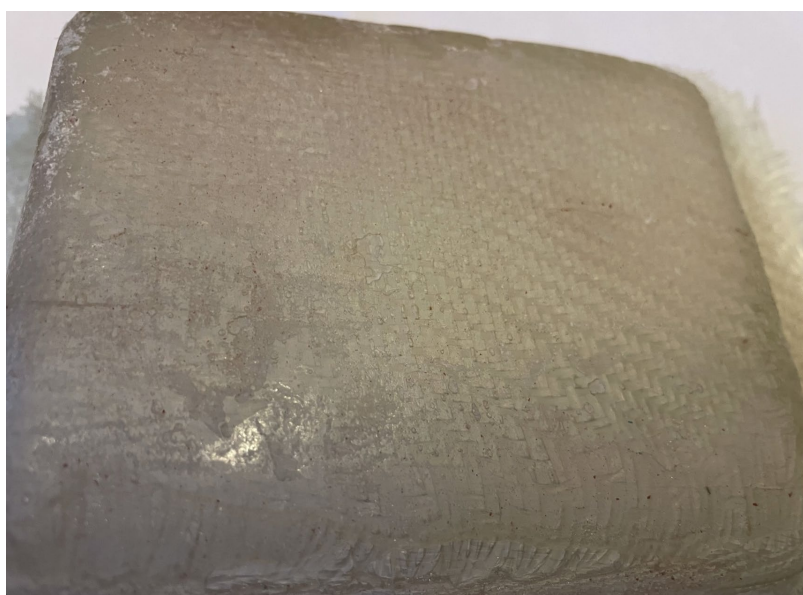
36. ábra Az autó visszapillantótükör ház formája és laminálása

A laminált darab kikeményedése után utómunka lett végezve rajta. A szilikon forma belső felülete nem volt tökéletes ezért a laminált darabon is meglátszottak a hibák. (37. ábra). 600-as, 1200-as és 2000-es szemcseméretű csiszolópapírral lett alakítva rajta.



37. ábra Laminált darab felülete

A csiszolást követően a darab felülete sokkal simább lett, azonban a laminálás során zárványok keletkeztek a gyantában amire így fény derült, illetve a gyanta nem fedte mindenhol tökéletes az üvegszövetet (38. ábra).



38. ábra A laminált darab felülete csiszolás után

4.1 Tapasztalatok

- A projekt során sok hasznos tapasztalattal gazdagodtam, kezdve a legelsővel, ami a polisztirol formát illeti, ez az anyag csak a prototípus gyártásnál használható, mivel az ebből készített szilikonforma nem ad teljesen jó felületet. Ez kiküszöbölhető lenne filler használatával, ami száradás után csiszolható lenne és védené is a polisztirolt, amitől ezáltal lehetővé válna a forma többszöri használata.
- A szilikon öntésekor a legfontosabb dolog amire érdemes odafigyelni, a megfelelő anyag kiválasztása, ha olyan formát szeretnénk készíteni, ami később magas hőnek lehet kitéve, akkor olyan szilikont kell választani, ami ezt bírja, ha nincs hőterhelés a legérdekesebb dolog amire figyelmet kell fordítani a költséghatékonyság.
- A legfontosabb tapasztalatokat a laminálás során szereztem. Az egyik dolog amire érdemes odafigyelni, hogy a szálerősítő anyag megválasztása, az esetemben a választott anyag egy 275 g/m^2 -es üvegszövet volt. Ez a formánál kisebb problémát okozott mivel a vastagsága miatt az éles szögben találkozó éleknél nem feküdt fel tökéletesen, ez némileg kiküszöbölhető volt azzal, hogy a laminálandó darab anyagnak a négy sarkánál bevágást csinálunk és így jobban igazítható az anyag.
- A harmadik kísérletben a visszapillantótükör ház laminálásnál az oldalak nem szögben, hanem egy nagyobb rádiuszban találkoznak így ott ilyen probléma nem állt elő.
- Az első két kísérletben szereplő formánál, a vákuumzsákos eljárás tökéletes eredményt adott volna mivel így a vákuum miatt az éleknél nem tudott volna visszahajolni a szövet.

5. Az alkatrész elkészítésének becsült költsége

Az alkatrész elkészítésének anyagfelhasználása nem volt számottevő, ugyanakkor, nem szabad megfeledkezni arról sem, hogy a felhasznált alapanyagok csak egész kiszemelésekben, például: 1 kg, 1 m² kaphatók. Erről egy prototípus legyártásánál sosem szabad megfeledkezni, ugyanakkor egy cégnél az iparban ezeket a költségeket be tudják építeni a végső termék értékesítési árába. Az alább látható táblázatokban összegeztem a költségeket az elkészítési folyamat lépéseinek elkülönítésével. A polisztirolforma elkészítésénél a felhasznált szerszám gép költségét nem veszem figyelembe, mert egy már a projekt előtt is meglévő eszköz. Két költség táblázatot készítettem, az elsőben (2. táblázat) a polisztirolból előállított formával számoltam, a másodikban (3. táblázat) pedig a CNC géppel megmunkált NECURON forma költségei találhatók. A második esetben azonban már kell számolnunk élőmunka költséggel is, mivel a program elkészítése időt vesz igénybe, továbbá a gépnek is van egy költsége. Minden alább felsorolt költség, közvetlen költségnek tekinthető, mivel fellépésük pillanatában tudható, hogy milyen mértékben érinti a termék teljes költségét.

2. táblázat Kézzel készített forma költségei

Anyag megnevezése	Mennyiségi egység:	Felhasznált menny.:	Anyag költsége [Ft]:
Polisztirol forma elkészítése			
XPS polisztirol	m ²	0,28	850
Ragasztó	ml	10	400
Szilikon forma elkészítése			
OXAM V1 szilikon	l	0,7	5250
OXAM katalizátor	ml	35	350
OXOL 350 olaj	l	0,1	500
Laminált darab elkészítése			
Üvegszövet	m ²	0,25	400
Poliészter gyanta	kg	0,1	280
Katalizátor	ml	10	400
Összköltség:			8430 Ft

3. táblázat Forgácsolással előállított forma költségei

Anyag/szolgáltatás megnevezése	Mennyiségi egysége	Felhasznált menny.:	Költség [Ft]:
Modell elkészítése			
Modellezés	h	1,5	12.000
CAM program elkészítése			
CAM programozás	h	2	16.500
NECURON forma elkészítése			
NECURON anyag	cm ³	1,5	15.000
Gépdíj	h	0,25	8000
Szilikon forma elkészítése			
OXAM V1 szilikon	l	0,7	5250
OXAM katalizátor	ml	35	350
OXOL 350 olaj	l	0,1	500
Laminált darab elkészítése			
Üvegszövet	m ²	0,25	400
Poliészter gyanta	kg	0,1	280
Katalizátor	ml	10	400
Összköltség:			43.680 Ft

6. Összefoglalás

A szakdolgozatom célja az volt, hogy nagyobb bemutassam a kompozitok világát, illetve, hogyan készíthetünk belőlük alkatrészeket. A bemutatott laminálási eljárással akár otthoni műhelykörnyezetben is készíthetünk ilyen alkatrészeket. Természetesen a kísérletek során a gyártó által javasolt munkavédelmi előírásokat, mint például a megfelelő szellőztetés biztosítása, védőfelszerelések (védőszemüveg, maszk, kesztyű) viselése, végig be lettek tartva.

Mivel a kompozitok egy új terület volt számomra, ezért első lépés a megfelelő irodalmak felkutatása volt, úgy vélem ez megfelelő elméleti háttérrel adott. A dolgozat felépítése során megpróbáltam a különféle szálerősítő- és mátrixanyagokat, valamint az gyártási módokat gyakorlati szempontból megközelíteni.

A forgácsolással elkészített forma leszimulálásával célom, pedig az volt, hogy megmutassam, miképp lehet egy tartós, többször felhasználható formát létrehozni, a választott NECURON anyagot kifejezetten ezen alkalmazásai módra fejlesztették ki.

A forma legyártása során törekedtem az egyszerűsége és a költséghatékonyságra, ugyanez az elv végigkísérte a laminálás folyamatát is. A választott üvegszövet és poliészter gyanta mind költséghatékonyak voltak. Természetesen lehetett volna választani drágább szövetet, illetve gyantát is, de mivel funkcionalitása a választott darabomnak csak a gyártási eljárás szemléltetése volt ezért ezt felesleges lett volna. A dolgozat végén található költségbecslés jól szemlélteti, hogy milyen költségekkel találkozhat az, aki ki szeretné próbálni magát a laminálásban.

Azt azonban mindképp érdemes megjegyezni, hogy sem első, sem pedig második próbálkozásra nem szabad tökéletes eredményekre számítani. A kísérletek során egyre szebb és szebb lett a készített darab. A forma készítése és a laminálás során felmerülő problémákból levonható következtetések nagy haszonnal voltak számomra, mivel a következő forma készítéskor vagy lamináláskor ezekre már tudom, hogy oda kell figyeljek és egy jobb munkadarabot tudjak készíteni.

A világban a kompozitoknak az iparban igen jelentős szerepük van, szinte mindenhol jelen vannak és a jövőben egyre több és több helyen fognak felbukkanni és újabb iparágakat meghódítani. Tulajdonságaik akár az acélokéval is megegyezhetnek,

azonban költségeik néhány iparág számára még magasak és nem térül meg az alkalmazásuk.

7. Summary

In my thesis my goal has been to shed a light on the colourful world of composites and to show how a part can be made. With the presented manufacturing process composite parts can even be made in a home workshop environment. The necessary safety precautions have to be taken and was of course taken, during the work process.

The world of composites have been a new field for me and the first step have been the search of the necessary literature. During the structuring of my thesis I tried to show the different fiber reinforcements and resins from a practical standpoint.

With the simulation of the manufacturing process, my goal have been to show how a durable and reusable form could be made, the chosen NECURON material is especially developed for this use case.

During the manufacturing of the form I paid close attention to the cost effectiveness, I followed through with this principle during the process of laminating too. A simple and cost effective glass fiber cloth and polyester resin had been chosen. I could have chosen more expensive fiber reinforcement and resin, but given that my parts functionality was only to give an insight to the manufacturing process. I have found these two materials satisfactory and I deemed the more expensive ones unnecessary. The cost estimation in the end of my thesis, shows what costs could be expected if someone decides to try themselves out in this field.

The most important thing to take note of is that the end results won't be satisfactory neither on the first try nor on the second. During my tries, the laminated product became better and better. The problems I have encountered during the process of manufacturing the form and during the laminating itself were with great gain for me. I have gathered experience from them and the next time, I encounter any of these processes, I will know what to look out for.

In the outside world composites have significant role, they are present in almost all fields of the industry and in the future they will show up in more and more places. Their properties are able to match even the properties of steel, for some industries the biggest restraint is that their price is high and the return of investment in them is slow.

8. Felhasznált irodalom

- [1] Ever J. Barbero: Introduction to Composite Materials Design. CRC Press. Florida. 2018
- [2] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Hőre keményedő polimer mátrixú kompozitok. 2015. http://www.pt.bme.hu/segedletek/a5_kompozitok_v6.pdf
- [3] The Different Uses of Fiberglass in the Automotive Industry. <https://www.ennomotive.com/fiberglass-automotive-industry/>
- [4] Vincenzo M. Sglavo: Advances in Glass Science and Technology. IntechOpen. London. 2018
- [5] Uses for Carbon Fiber. <https://www.thoughtco.com/uses-of-carbon-fiber-820394>
- [6] Aramid & Kevlar Composites. <http://www.dexcraft.com/articles/aramids/aramid-kevlar-composites/>
- [7] Verónica San-Miguel, Juan Pedro Fernández. A Review on Basalt Fiber Composites and Their Applications in Clean Energy Sector and Power Grids. Basel. 2022. 10. 04. https://www.mdpi.com/2073-4360/14/12/2376?type=check_update&version=2
- [8] Basalt fiber application. <https://basfiber.com/application>
- [9] What is epoxy resin used in? <https://www.thoughtco.com/what-is-epoxy-resin-820372>
- [10] Ru Ming Wang, Shui-Rong Zheng, Ya-Ping Zheng: Polymer Matrix Composites and Technology. Woodhead Publishing. Cambridge. 2011
- [11] Kézi laminálás <https://novia.hu/ismerteto/kezi-laminalas/>
- [12] Pre-preg feldolgozás <https://novia.hu/ismerteto/pre-preg-feldolgozas/>
- [13] Thermoplastic Prepreg <https://www.ecc-fabrics.com/products/thermoplastic-prepreg.html>
- [14] Vákuumzsákos eljárás <https://novia.hu/ismerteto/vakuumzsakos-eljaras/>
- [15] RTM <https://novia.hu/ismerteto/rtm/>
- [16] Pultrusion: The basics <https://www.compositesworld.com/articles/pultrusion-the-basics>
- [17] Száltekercselés <https://novia.hu/ismerteto/szaltkerceles/>
- [18] Schematic diagram of filament winding technique https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-filament-winding-technique_fig1_330410624

9. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet Dr. Mikó Balázs Tanár Úrnak, aki konzulensemként hozzájárult a szakdolgozatom elkészüléséhez, illetve szabadidejéből áldozva lehetővé tette, hogy a bemutatott alkatrész valójában is elkészüljön.

Illetve hálával tartozom a családomnak is, akik lehetővé tették a tovább tanulást számomra és támogattak egyetemi tanulmányaim során.

10. Mellékletek

1. sz. melléklet: Technológiai számítások

- 1. művelet: Nagyolás

$$Dc_1 = 8 \text{ mm}$$

$$n_1 = 12.000 \text{ 1/min}$$

$$z_1 = 3$$

$$fz_1 = 0,12 \text{ mm}$$

$$vc_1 = \frac{Dc_1 \times \pi \times n_1}{1000} = \frac{8 \text{ mm} \times \pi \times 12.000 \text{ 1/min}}{1000} = 301 \text{ m/min}$$

$$f_1 = fz_1 \times z_1 = 0,12 \text{ mm} \times 3 = 0,36 \text{ mm}$$

$$vf_1 = f_1 \times n_1 = 0,36 \text{ mm} \times 12.000 \text{ 1/min} = 4380 \text{ mm/min}$$

- 2. művelet: Párhuzamosan láncolt maróciklus

$$Dc_2 = 10 \text{ mm}$$

$$n_2 = 11.000 \text{ 1/min}$$

$$z_2 = 2$$

$$fz_2 = 0,1 \text{ mm}$$

$$vc_2 = \frac{Dc_2 \times \pi \times n_2}{1000} = \frac{10 \text{ mm} \times \pi \times 11.000 \text{ 1/min}}{1000} = 345 \text{ m/min}$$

$$f_2 = fz_2 \times z_2 = 0,1 \text{ mm} \times 2 = 0,2 \text{ mm}$$

$$vf_2 = f_2 \times n_2 = 0,2 \text{ mm} \times 11.000 \text{ 1/min} = 2200 \text{ mm/min}$$

- 3.művelet: Maradékanyag simító ciklus

$$Dc_3 = 4 \text{ mm}$$

$$n_3 = 15.000 \text{ 1/min}$$

$$z_3 = 2$$

$$fz_3 = 0,07 \text{ mm}$$

$$vc_3 = \frac{Dc_3 \times \pi \times n_3}{1000} = \frac{4 \text{ mm} \times \pi \times 15.000 \text{ 1/min}}{1000} = 188 \text{ m/min}$$

$$f_3 = fz_3 \times z_3 = 0,07 \text{ mm} \times 2 = 0,14 \text{ mm}$$

$$vf_3 = f_3 \times n_3 = 0,14 \text{ mm} \times 15.000 \text{ 1/min} = 2100 \text{ mm/min}$$

ahol:

Dc - a szerszám átmérője [mm]

n - a fordulatszám [1/min]

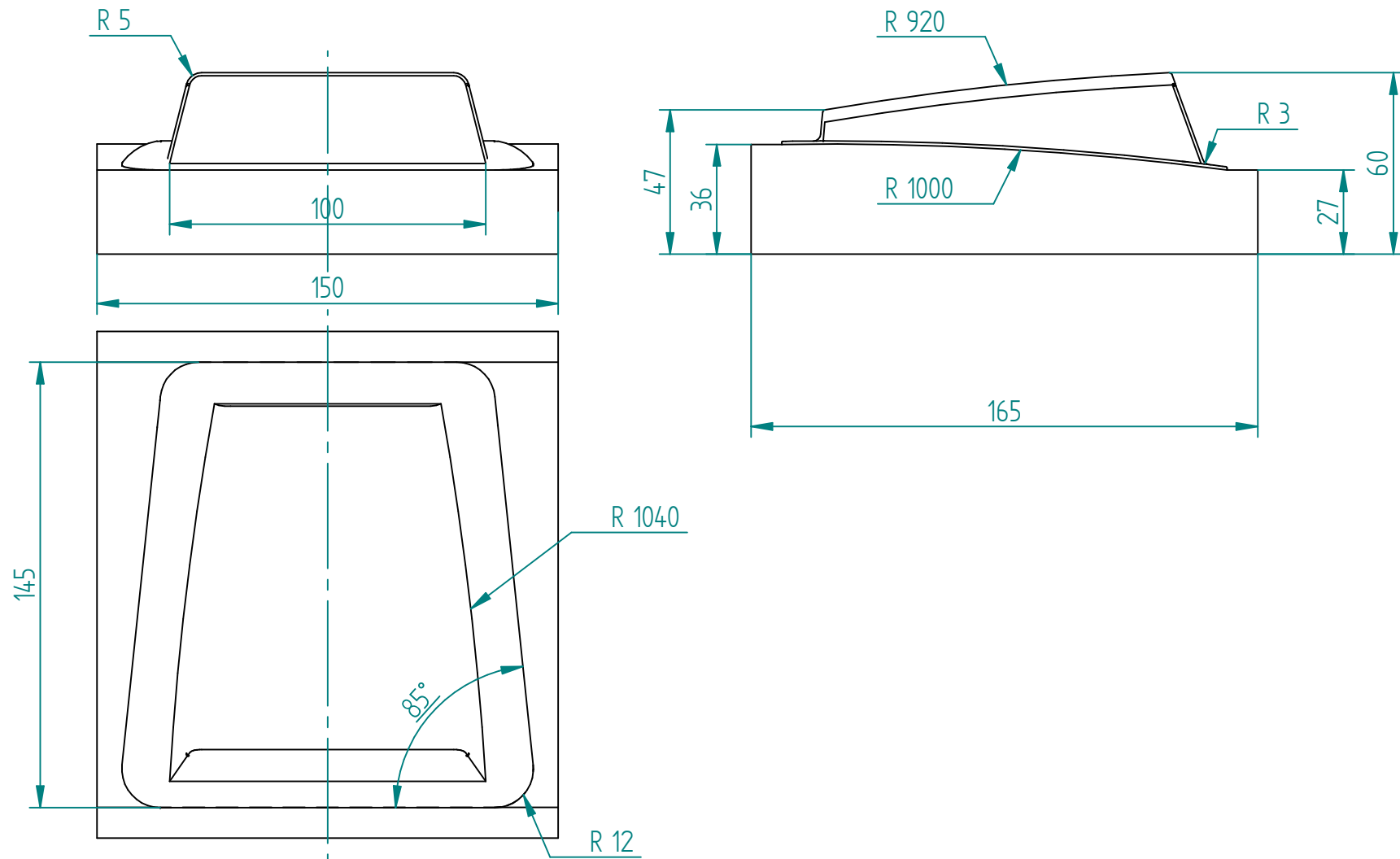
z - a szerszám fogainak száma

f_z - a fogankénti előtolás [mm]

v_c - a forgácsoló sebesség [m/min]

f - az előtolás [mm]

vf - az előtoló sebesség [mm/min]



Készítette: Balogh Viktor	Megnevezés: Légbeömlő forma	Méret- arány: 1:2	OE BGK Gépészeti és Technológiai Intézet
Dátum: 2022.11.26.		Vet.mód:	Rajzszám:
Ellenőrizte:	Anyag: NECURON 651		CBNE-22-101

SOLID EDGE ACADEMIC COPY