

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
GÉP- ÉS TERMÉKTERVEZÉS TANSZÉK



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA
DOLGOZAT

PRÁTH BENCE:

Újrahasznosított 3D nyomtatási alapanyag gyártósor kutatása és
fejlesztése

Témavezető:

Dr. Gotthard Viktor
egyetemi adjunktus

Budapest, 2023 november 5.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	1
1.1. Célkitűzések.....	1
1.2. A feladat szükségessége.....	1
2. Szakirodalmi áttekintés	2
2.1. Az újrahasznosítás, a 3D nyomtatás és ezek metszete.....	2
2.2. Műanyag újrahasznosítás folyamata	7
3. A gyártástechnológiai folyamat	17
4. Követelményjegyzék.....	19
5. Funkcióstruktúra.....	20
6. Az előkészítési szakasz előtervezése.....	21
6.1. Az előkészítési szakasz fázisai és megoldási lehetőségük.....	21
6.2. Előkészítési szakasz megoldási lehetőségei.....	26
6.3. Előkészítési szakasz koncepcióképzés.....	26
7. Az extrudálás szakasz előtervezése.....	30
7.1. Az extrudálás fázisai és megoldási lehetőségük	30
7.2. Megoldási lehetőségek kombinálása.....	46
7.3. Extruder rendszer koncepció képzés.....	48
8. Koncepciók kiértékelése	51
8.1. Előkészítési szakasz kiértékelése	52
8.2. Extrudáló rendszer kiértékelése	52
9. Kísérleti terv	54
9.1. A 3-as teszt.....	54
9.2. A reciklálási teszt.....	55
10. ÖSSZEFOGLALÁS, KONKLÚZIÓK	57
11. Felhasznált irodalom	58

1. BEVEZETÉS

1.1. Célkitűzések

A cél egy olyan gyártósor létrehozása, amely képes hulladék műanyagból a 3D nyomtatók számára felhasználható alapanyagot készíteni. A gyártósornak teljesen automatizálnak kell lennie, emberi beavatkozásra csak a hulladék betöltésénél és a végtermék begyűjtésénél legyen szükség, de opcionálisan lehessen minden munkafolyamat végén a félkész alapanyagot is ki-gyűjteni.

Elsődleges cél, hogy ez a gyártósor kielégítse a megbízó cég (G-MAX Europe Kft) többi projektjéhez használt 3D nyomtatók alapanyag igényét, ez egy kisüzemi berendezést jelent.

Emellett a cég együttműködésben áll a PET-kupa csapatával, amely egy szervezet és céljuk, hogy megtisztítsák Magyarország folyóit a hulladék műanyagoktól miközben a fiatalokat megismertetik az újrahasznosítással és annak hatékonyságával. Ők is érdekeltek ebben a projektben, azáltal, hogy az összegyűjtött hulladékból újrafelhasználható 3D nyomtatási alapanyagot készítsenek, amiből a gyerekeknek tudnak használati tárgyakat 3D nyomtatni, ezzel is bemutatva az újrahasznosítás lehetőségeit.

1.2. A feladat szükségessége

Újrahasznosított műanyagból előállított filament (ún. re-filament) már kapható, de egyáltalán nem ez a népszerűbb választása a vásárlóknak, különösen, mivel jóval drágább ugyanabból az alapanyagból a nem újrahasznosított (ún. primer filament) változatánál. Emellett a piacon kapható filament gyártó berendezés, akár egyéni felhasználásra is, de ezek egyike sem készül elsősorban újrahasznosított műanyagból, illetve olyan gyártósor sem kapható, amely az újrahasznosítás első lépésétől az utolsóig, minden fázist elvégezne.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A következő fejezetekben röviden bemutatom a különféle polimereket, ezek felhasználását, illetve újrahasznosításukat. Kitérek a legfontosabb tudnivalókra a 3D nyomtatással kapcsolatban és a két terület metszetére, majd a gyártósort alkotó fő berendezésekről ejtek néhány lényeges szót.

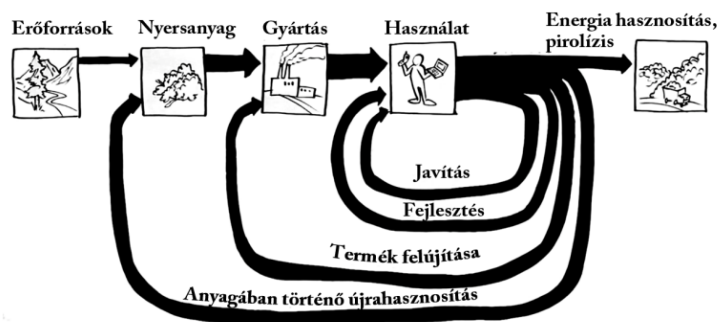
2.1. Az újrahasznosítás, a 3D nyomtatás és ezek metszete

A műanyagok a polimerek egy fajtája, amely egy hosszú láncú molekula, amely monomereknek nevezett ismétlődő egységekből áll. A műanyagok monomerjei jellemzően petrokémiai forrásokból, például nyersolajból vagy földgázból származnak, és a polimerizációnak nevezett folyamat során kémiaiilag összekapcsolódnak, így nagy makromolekulákat alkotnak. A műanyag sajátos tulajdonságai a felhasznált monomerek típusától és az alkalmazott feldolgozási technikáktól függenek.

2.1.1. POLIMEREK, MŰANYAG SZENNYEZÉS ÉS ÚJRAHASZNOSÍTÁS

A műanyagok használata széleskörben elterjedt. Ebből készülnek csomagolóanyagaink, felhasználja az építő-, és gépjárműipar, elektronikai és orvosi eszközöket gyártunk belőle, illetve ruhák és játékok mellett rengeteg féle fogyasztási cikket. Ilyen mértékű felhasználás mellett nem meglepő, hogy a műanyag hulladék a második leggyakrabban keletkező hulladék típus.

Cél: lerakás elkerülése



1. ábra Körkörös gazdaság sematikus ábrája

A műanyagok jelentősen környezetszennyezők, mivel hosszú időn át bomlanak le és káros vegyi anyagokat bocsájtanak ki. Az óceánokat különösen érinti a műanyag szennyezés, mivel a műanyag hulladék darabok bejutnak a vízi ökoszisztémába, veszélyeztetve a tengeri életet, mivel az állatok lenyelik vagy beleakadnak a műanyagba. Emellett a műanyagok globális felmelegedéshez is hozzájárulnak, mivel a gyártásuk és lebontásuk során nagy mennyiségű üvegházhatású gázokat bocsájtanak ki.

Ennek a projektnek a célja, hogy egy megfelelő gyártósor tervezésével az anyagában történő újrahasznosítást elérhetőbbé tegye kisüzemek és magánszemélyek számára is.

2.1.2. MIT JELENT A 3D NYOMTATÁS?

A 3D nyomtató digitális modellekből háromdimenziós tárgyak alkotására képes eszköz. Jelenlegi fő alkalmazásterülete a gyors prototípuskészítés (rapid prototyping, RP) és a hobbi szintű használat, de a technológia fejlődésével ipari és orvosi alkalmazásra is lehetőség nyílt már. A 3D nyomtató additív gyártási eljárás, vagyis anyag hozzáadásával, például vékony rétegek egymásra rakásával készít tárgyakat, szemben a hagyományos megmunkálással, melynek során nagyobb nyers darabból választják le a felesleges anyagot, és a megmaradó rész lesz a késztermék. Amióta a 3D nyomtatás előtérbe került, az additív gyártás ellentétéleként a hagyományos eljárást szubtraktív gyártásnak is szokták nevezni. A 3D nyomtatás egyike a 21. század forradalmian új technológiáinak. [1]

2.1.3. 3D-NYOMTATÁSI TECHNOLÓGIÁK

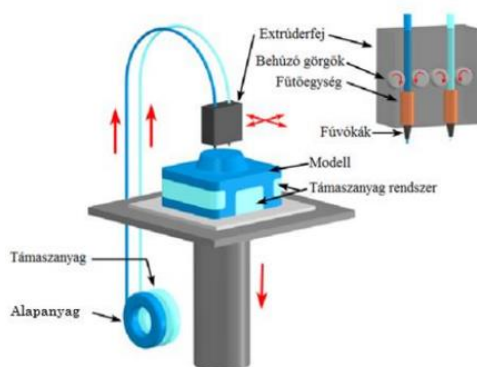
Ebben a fejezetben a 3D nyomtatási technológiákat veszem sorra és mutatom be a fontosabb jellemzőiket. [2]

Szálhúzásos nyomtatás (FDM)

Az FDM eljárás során a hőre lágyuló alapanyagot felmelegítik és egy fűvőkán keresztül rétegekben felhordják a nyomtató tárgyasztalára, majd egymásra. Az egyes újabban felhordott rétegek mindig hozzátapadnak az előzőhöz és megszilárdulnak.

<u>Előny</u>	<u>Hátrány</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Jó ár-érték arány • Csendes működés • Széleskörű anyagválaszték • Egyszerű használat 	<ul style="list-style-type: none"> • Alacsony pontosság (100-300 mikron) • Gyenge felületi minőség • Utólagos megmunkálást igényel

1. táblázat Szálhúzásos nyomtatás előnyei és hátrányai



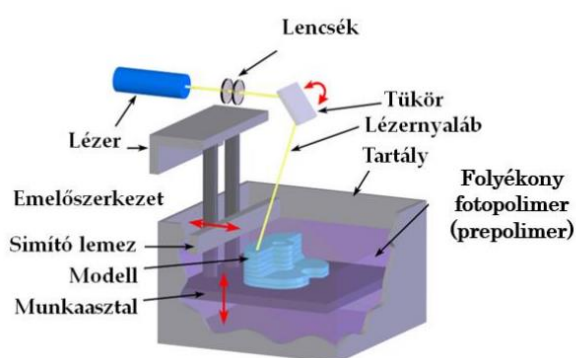
2. ábra FDM nyomtató felépítésének elvi ábrája

Sztereolitográfias nyomtatás (SLA)

SLA nyomtatás során a nyomtatási területet fényre szilárduló, fotopolimer műgyantával töltik fel, majd egy lézer segítségével rétegről rétegre megkötik azt, amíg a kívánt tárgy elkészül.

<u>Előny</u>	<u>Hátrány</u>
<ul style="list-style-type: none">• Modell pontosság $\pm 0,045$ mm,• Kiváló felületi minőség• A gyanta tartalmazhat akár töltő-erősítőanyagokat is• A térhálósítatlan gyanta újrahasznosítható	<ul style="list-style-type: none">• Támaszanyag használata szükséges• Drága alapanyag és berendezés• Költséges üzemeltetés• Szükség van utótérhálósításra

II. táblázat Sztereolitográfias nyomtatás előnyei és hátrányai



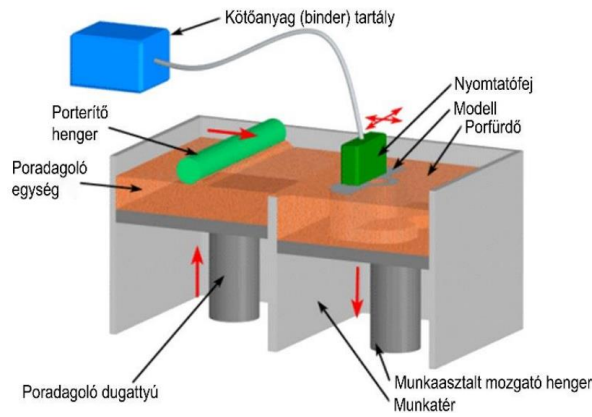
3. ábra SLA nyomtató felépítésének elvi ábrája

Binder jetting

Ezzel az eljárással az egyes rétegeket finom por alapanyagból építik. A port egy festékkel kevert ragasztóanyaggal kötik meg.

<u>Előny</u>	<u>Hátrány</u>
<ul style="list-style-type: none">• Támaszanyag könnyen eltávolítható• Jó ár-érték arány• Pontossága $\pm 0,05$ mm, az egyik legpontosabb eljárás• 16-30 μm-es építési rétegvastagság• 0,6 mm-es minimális bordavastagság	<ul style="list-style-type: none">• Időigényesebb gyártás a nagy pontosság miatt,• A berendezés, valamint az alapanyag drága

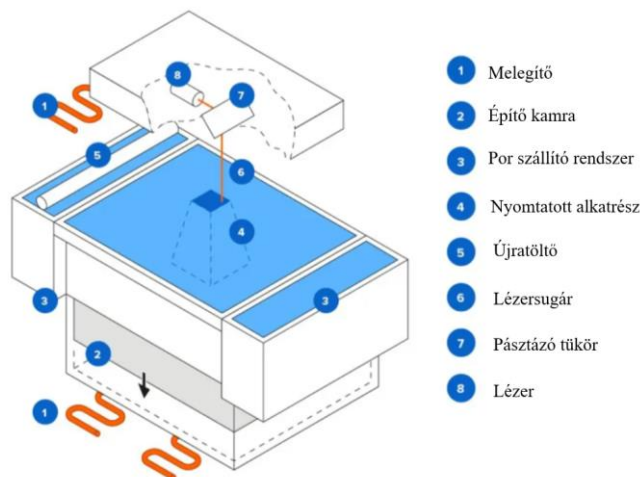
III. táblázat Binder jetting nyomtatás előnyei és hátrányai



4. ábra BINDER jetting nyomtató felépítésének elvi ábrája

Szelektív lézer szinterezés (SLS)

Az SLS nyomtatás szintén por alapanyagot használ az építésre, amelyet a készülék először a kívánt rétegvastagságban elterít, amit egy lézersugárral rétegenként először megolvasztanak, aztán megszilárdítanak. Amint egy réteg elkészül, a nyomtatóállvány egy rétegnivel lejjebb kerül, majd a gép felhordja a következőt. Ez addig ismétlődik, amíg a tárgy elkészül.



5. ábra SLS nyomtató felépítésének elvi ábrája

<u>Előny</u>	<u>Hátrány</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Nagyon erős és tartós nyomtatások készíthetők. • Nagy tervezési szabadság a geometriában. 	<ul style="list-style-type: none"> • Drága gépek és alapanyagok. • Magas hőmérsékletű környezet szükséges a nyomtatáshoz.

IV. táblázat Szelektív lézer szinterezés előnyei és hátrányai

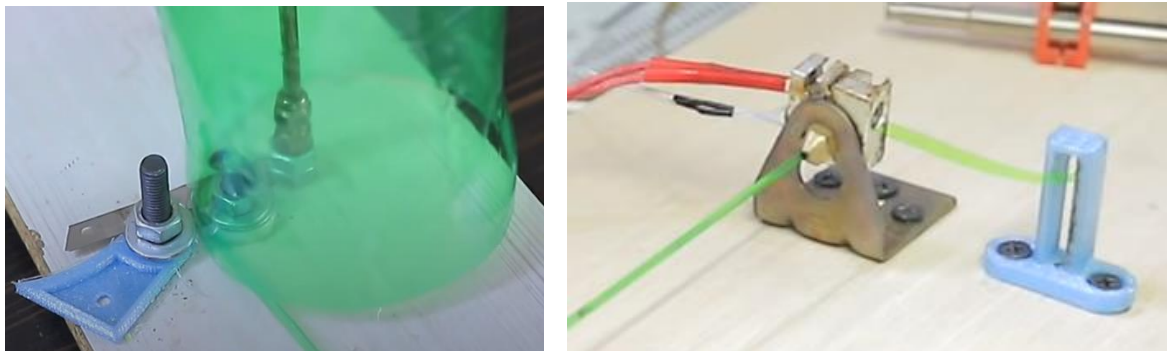
2.1.4. MI A 3D NYOMTATÁS ÉS AZ ÚJRAHASZNOSÍTÁS METSZETE?

Újrahasznosítás szempontjából a szálhúzásos nyomtatás a legkedvezőbb, mivel ez esetben plusz adalékanyag nélkül újrahasznosítható a műanyag hulladék, illetve az alapanyagai a mindennapi életben is gyakran használt polimerek. A 3D nyomtatásban leggyakrabban használt

anyagok a PLA, az ABS és a PETG, de ezen felül rengeteg anyag áll rendelkezésre, a rugalmastól kezdve, a különböző polimerekig, de akár fém filament is. Ezek nagyrésze azonban különlegesen a 3D nyomtatáshoz lett kifejlesztve.

Az újrahasznosításnál azonban csak azok az anyagok állnak rendelkezésre, amelyek a háztartási vagy gyártásközi hulladékot képezik, így ennek megfelelően csak ilyen anyagokat használhatunk fel a filament készítéshez. A legtöbbet felhasznált műanyagok a PET, a PE, a PVC és a PP, bár ezek nem a legnépszerűbb filament alapanyagok, lehetséges és szoktak is filamentet készíteni belőlük.

Legelterjedtebben az újrahasznosítás a 3D nyomtatásban két technológia formájában jelenik meg. Az első a PET palackok újrahasznosítása. A módszer alapja, hogy a flakont megtisztítás után egy vágó berendezéssel zsinórszerűre vágják (6. ábra), majd a zsinór egy fűtött fűvőkán megy keresztül így az megolvad és a 3D nyomtató számára felhasználható méretben és kivitelben megfelelő filamentként jelenik meg. [5]



6. ábra PET palackból zsinór vágása és a zsinór olvasztása

Ez a módszer a végtermék minőségének állandóságát tekintve nem túl jól szerepel. Ennek ellenére az otthon készített filament gyártó berendezések közül az egyik legelterjedtebb, ugyanis az elkészítése kis anyagi ráfordítást és hozzáértést igényel. A PET újrahasznosításának egyik gyakorlatban is jól használható módszere, ugyanis a PET extruderrel való újrahasznosítása során a molekula láncok nagy mechanikai terhelésnek vannak kitéve, így a filament minősége romlik, ebben a módszerben azonban az anyagot csak hőterhelés éri, így kedvezőbb az eredmény.

A másik technológia az üzemszerű filament gyártással megegyező elveken alapul, csak kisebb kivitelben. Ebből kifolyólag, megvalósítása sokkal bonyolultabb, drágább az előzőhöz képest, azonban a végtermék minősége sokkal egységesebb és több alapanyag esetén is alkalmazható. Ilyen berendezések, már kaphatóak is, viszont az áruk arányaiban nagyon magas.



7. ábra Egy asztali filament extruder

Alapvetően elmondható, hogy a 3D nyomatókkal rendelkezőket érdekli az otthon előállítható filament. Azonban az érdeklődés fő oka, nem a környezetbarátság vagy védelem, hanem a filament árának minimalizálása.

2.2. Műanyag újrahasznosítás folyamata

Az előző irodalomkutatás eredménye arra vezetett, hogy a műanyagok újrahasznosítása jelenleg szinte kizárólagosan a FDM technológiával érhető el, mivel ezek alapanyagául szolgálhatnak a háztartási és a gyártásközi hulladékok. Ezért ebben a fejezetben azt kutatom, hogy az iparban, nagy mennyiségben ezt hogyan végzik, milyen gépeket, milyen módszereket használnak annak érdekében, hogy ehhez hasonlót valósítsanak meg. [3]

Az alábbi ábrán látszódik szemantikusan egy műanyag újrahasznosító gyártósor szakaszai.



8. ábra Az újrahasznosító gyártósor általános szakaszai

A következőkben be fogom mutatni az egyes gépek felépítését, lehetséges működési elveit és szerepét a gyártósorban.

2.2.1. MŰANYAG ELVÁLASZTÁSI LEHETŐSÉGEK

Magától értetődő, hogy a műanyagok újrahasznosítása során azokat nem szeretnénk különböző hulladékokkal keverni, mint például fa, papír vagy fém, azonban az egyes műanyag-típusokat is el kell különítenünk a folyamat során, hiszen a legtöbb polimer nem kompatibilis egymással.

Szelektív hulladékgyűjtés esetén a háztartási hulladékokat a felhasználók válogatják külön, ez abban merül ki, hogy a műanyagot, a papírtól, a fémtől, az üvegtől és a kommunális hulladéktól külön szemetesbe teszik, ami nem elegendő az újrafeldolgozáshoz, de jó kezdet ahhoz, hogy a műanyagokat már csak típusuk szerint kelljen válogatni. Ennek elvégzése történhet automatizált rendszerrel vagy kézi válogatással.

A gyártásközi hulladék az, amikor az egyes gyártók a keletkezett hibás termékeket vagy feleslegeket gyűjtik külön. Ebben az esetben a hulladék anyaga ismert és válogatott, így az újrahasznosítása is könnyebb.

2.2.2. ELŐKÉSZÍTÉS

A műanyag hulladékokat a gyártás szempontjából megfelelő állapotba kell hozni. Mivel a hulladékok mérete és alakja változó, ami kezelésüket nehezebbé teszi, így célszerű valamilyen fizikai előkészítést végezni. A megfelelő előkezelési műveletekkel, például aprítással, tömörítéssel vagy darabolással, tisztítással és mosással, a reciklálási művelet hatékonyabbá válik.

2.2.2.1. Hulladék méretének csökkentése

Az aprítás célja, hogy csökkentsük a szemcseméretet a könnyebb hulladékkezelés érdekében, emellett a többkomponensű termékek megbontása és a komponensek különválasztásának lehetővé tétele. Az aprítás technológiája lehet mechanikus, termikus vagy ezek ötvözete úgynevezett kriogén aprítás. Illetve a műveletek lehetnek száraz vagy nedves eljárások.

Az aprításnál fontos, hogy a gép táplálása egyenletes legyen, így elkerülhető a berendezés lökésszerű terhelése. Ezt leggyakrabban markolós munkagéppel közvetlenül vagy konténerekből szállítószalagokkal végzik, előbbi anyagáram szempontjából kedvező, míg utóbbi a terhelés szempontjából.

Hulladék aprításakor fontos figyelembe venni a hulladék típusát, nedvességét, méretét és keménységét. Az aprítás különböző módszerekkel végezhető, például vágással vagy ütéssel. Vágás esetén a berendezésben forgó vágótárcsák vagy nyírotárcsák segítenek. Ez általában durvább és nagyobb méretű aprítékot eredményez. Ütéssel aprításnál pedig különböző kalapácsok vagy marótárcsák fogai csökkentik a hulladék méretét az ütés és forgás hatására. Egy- és többtengelyes darálók is használhatók ütéssel aprításhoz, ahol a tengelyeken lévő négyzetes fogak kismértékben kiemelkednek a tárcsák síkjából.

Az aprítóberendezéseket sebességük alapján két csoportra lehet osztani: gyors és lassú aprítógépek. A gyorsak közé tartoznak a vágóollók, kalapácsos törők és vágómalom. A lassúak közé sorolhatók különböző malom típusok, forgótárcsás nyíró-aprítógépek, kalapácsos ütőművek és shredderek.

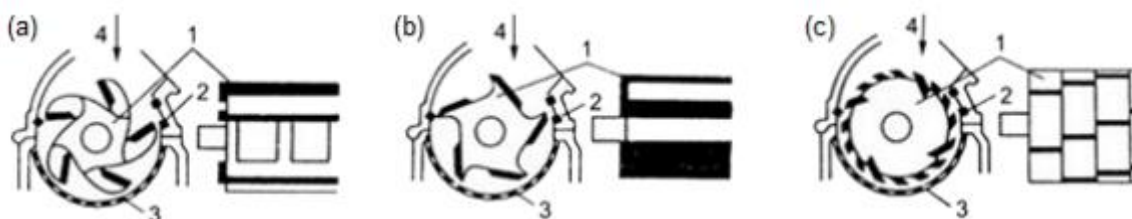
Az aprítás szintjei a következők:

- Durva aprítás és törés: a képződő szemcseméret 100-200 mm között van.
- Közepes méretű aprítás és darabolás: a szemcseméret 20-100 mm között van.
- Finom aprítás és darálás: a képződő szemcseméret 1-20 mm között van.
- Ultrafinom őrlés: a kapott szemcseméret átlagos átmérője kisebb, mint 1 mm

A hulladék méretétől függően szükség lehet több lépéses aprításra annak érdekében, hogy elérjük a kívánt szemcseméretet, de néhány aprítási eljárásnál szükség van nedves vagy vizes környezetben történő működésre is. Az ideális szemcseméret az aprított műanyag hulladék számára általában 1-20 mm között van, hogy azt később könnyen lehessen újrahasznosítani.

Egy-, és többtengelyes vágómalmok, darálók

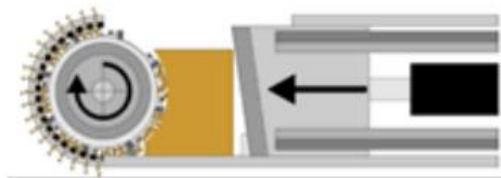
Vágómalmokat tipikusan szálas, rugalmas és viszkoelasztikus anyagok esetében alkalmaznak, így az eljárás kiválóan alkalmas a műanyag hulladék finomaprítására és őrlésére. A vágómalmok, darálók lehetnek függőleges-, vagy vízszintes tengelyűek. A hulladék méretének csökkentése az aprítóberendezésben a fellépő vágó, illetve nyíróerők következtében valósul meg a darálótérben, ahol a beérkező anyagáram aprítása a tengelyen lévő forgó késekkel és a darálótér falán fixen rögzített, álló késekkel történik. Az aprítási folyamat addig tart, amíg a hulladék mérete lecsökken a berendezés rostáján lévő nyílások méretére, amely után az aprított hulladék a berendezés alján lévő gyűjtőtérbe esik. Speciális forgókéses vágómalmokban egymástól lépcsőzetesen, adott távolságban eltolv vágópengék segítségével közel egységes méretű darálék előállítása valósítható meg az előkészítés során. A tengelyen lévő forgókéses kis szögben döntöttek az álló késekhez képest, azonban irányuk ellentétes. A kialakítás biztosítja a darálóban az állandó vágási távolságot, amely távolság a kések mozgásával állítható.



9. ábra Vágómalmok kialakítása, oldal- és felülnézetben: (a) nyitott forgórészes-, (b) zárt forgórészes és (c) lépcsőzetes kialakítású forgókéses vágómalom. A vágómalmok részei: (1) forgó tengely és mozgó kések, (2) rögzített állókéses, (3) rosta, (4) anyag betáplálása

Az egytengelyes darálókkal kifejezetten nagy tömörségű, darabos műanyag hulladék, például préselt műanyag bálák és extrudált műanyag csövek apríthatók fel. A berendezés egyik oldalát a tengely és a rajta elhelyezkedő vágószerszámok alkotják. A másik oldalon a vezérelhető előtoló egység található, amely a berendezésbe betáplált hulladékot a tengely irányába

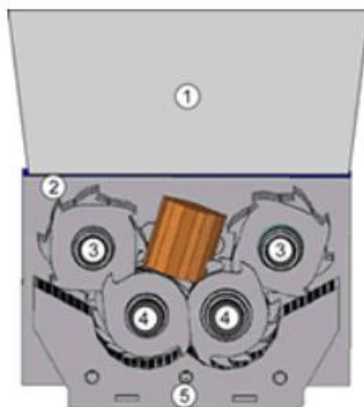
nyomja előre, végül az aprítás a tengelyen lévő forgó vágókések által valósul meg a kívánt méretre. Amennyiben az aprítási művelet során a tengelyen túl nagy feszültség ébred, az előtoló egység visszahúzódik, így a betáplált hulladék eltávolodik a késektől, majd a túlterhelés megszűnése után ismételten a tengely irányába tolja a hulladékot. Ezáltal a berendezések szerkezeti károsodása megelőzhető.



10. ábra Egytengelyes daráló sematikus ábrája

Egy-, és többtengelyes shredderek

A kalapácsos törő aprítógépek, vagy shredderek használhatóak ipari és háztartási műanyag hulladék feldolgozására. Ezek a gépek strapabíróak és sokoldalúak. Tudnak durva törését, finom aprítást és őrlést is megvalósítani. A kalapácsos törők kis kiálló négyzetes fogakkal csökkentik a hulladék méretét. Az ilyen gépek erőteljesen és komplex erőhatásokkal hatnak a hulladékra, ütésekkel, húzásokkal, nyírással és csavarással. Lehetnek egy- vagy többtengelyűek, ahol a tengelyek közötti forgó és fix tárcsák között történik az aprítás. Ha a gép túlterhődik vagy blokkolódik, visszafelé forognak egy rövid ideig, hogy megelőzzék a kárt. A működési elv a 11. ábra látható.



11. ábra Négytengelyes shredder felépítése: (1) adagolótölcsér, (2) aprítótér, (3) felső adagoló, (4) alsó adagoló, (5) furatos rosta

A shredder darálók előnye, hogy lassan forognak a tárcsák egymással szemben, és az aprító erő fordított arányban van a tengelyek gyorsaságával, ez eltér a vágómalmoktól. Ezek a gépek nagyon hatékonyak, és sok hulladékot képesek előkészíteni. Az alacsony fordulatszám miatt kevesebb zaj keletkezik a műanyag hulladék aprításakor, mint a vágómalmoknál.

Kriogén aprítás

A kriogén aprítás során a méretcsökkentést alacsony hőmérsékleten végzik, például -100°C alatt, ez lehetővé teszi az elasztomerek könnyebb aprítását. Ehhez folyékony nitrogént vezetnek az aprítótérbe. Az eljárás drága, de hatékony. Fő alkalmazási területe a többkomponensű textilek és gumik aprítása.

Vizes aprítás

A vizes aprítás során a mosás és az anyagméret csökkentés egyidejűleg történik. A víz több szerepet is ellát a folyamatban. Elsősorban megelőzi a szennyezők megtapadását a szemcsék felületén és a berendezésben, illetve hűti a késeket, ezzel növel élettartamukat. A víznek köszönhetően a szemcsék nem tapadnak össze és nem jelentkezik termikus degradáció sem. Hátránya azonban, az darálékot további felhasználás előtt szárítani kell, illetve a víz a folyamatot követően veszélyes hulladéknak minősül és ennek megfelelően kell vele eljárni.

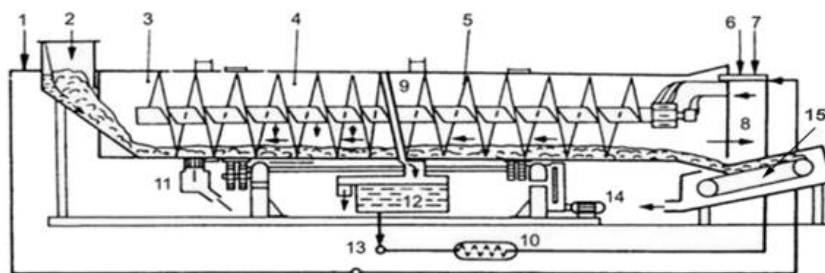
2.2.2.2. Rostálás

A rostálás célja a hulladék méret szerinti csoportosítása, hogy eltávolítsa a túl nagy vagy túl finom anyagokat, és így könnyebb legyen feldolgozni. Emellett segít eltávolítani a fémeket és más szennyeződések a szitákon keresztül. Ebben a fázisban általában dobrostákat vagy vibrációs rostákat használnak. Az előbbieket különösen elválasztásra és tisztításra szolgálnak, míg az utóbbiak méret szerinti osztályozásra.

2.2.2.3. Mosás, tisztítás

Ha a műanyag hulladék sok porral vagy szennyeződéssel van bevonva, akkor szükség lehet előzetes tisztításra és mosásra a feldolgozás előtt. Általában vizet használnak a hulladék mosására, de erősebb szennyeződés esetén akár lúgos oldatot vagy szerves oldószert is bevetnek. A tisztítással a hulladék felületéről eltávolítják a szennyeződések, amelyek a folyadékba kerülnek diszperzió vagy emulzió formájában. A hatékonyságot lehet növelni a hőmérséklet növelésével és különféle kémiai adalékokkal, például vízlágyítóval vagy nedvesítőszerrel. A tisztítás után a nedves közeg regenerálásra szorul a hulladékfeldolgozás során. A tisztított, de még nedves műanyag hulladékot szárítani kell, hogy eltávolítsák a felületén megtapadt nedveséget, és minőségi terméket lehessen előállítani. Mivel a tisztítás és szárítás jelentős költségeket ró a hulladék előkészítésére, ipari körülmények között csak akkor alkalmazzák, ha indokolt. Általában folyamatos csőmosó berendezéseket használnak a műanyag hulladékok tisztítására. Az anyag először a berendezés fő mosózónájába kerül, ahol a víz és kémiai adalékok segítségével eltávolítják a felületi szennyeződések. Ezután az anyagot áthelyezik a tisztított zónába, majd az öblítőzónába. A berendezés végén lehetőség van gőz- és forróvízes kezelésre a

baktériumok minimalizálása érdekében. A tisztított hulladékot szállítószalagokkal távolítják el a mosógépből.



14. ábra: Folyamatos csőmosó, szennyezett műanyag hulladék tisztítására

2.2.2.4. Műanyagok egymástól való szétválogatása

A válogatás során viszonylag egyszerű megkülönböztetni a gyártósoron keletkezett hulladékot, a csomagolási hulladékot és a végfelhasználónál keletkezett hulladékot. Azonban a végfelhasználóktól begyűjtött hulladékok szétválogatása egyes műanyag típusok szerint már komoly problémát okoz. A használt műanyagok nagy része kommunális hulladékgyűjtőkbe kerül és a lakosság csak kis része válogatja műanyag típus szerint. Mivel a legtöbb műanyag nem kompatibilis egymással újrahasznosítás tekintetében ezért valamilyen módon el kell különíteni az azonosakat.

A műanyagok anyag-típusonkénti szétválogatása jelenleg még csak elterjedőben van, a következőkben a válogatás módszereit mutatom be röviden.

Manuális válogatás

Bár ma már egyre inkább automatizáltak a műanyag hulladék szétválogatási technológiák, a kézi előválogatás továbbra is fontos szerepet játszik a legtöbb esetben. A manuális válogatást segítik a műanyag termékeken elhelyezett jelzések, amelyek a műanyag típusára utalnak.

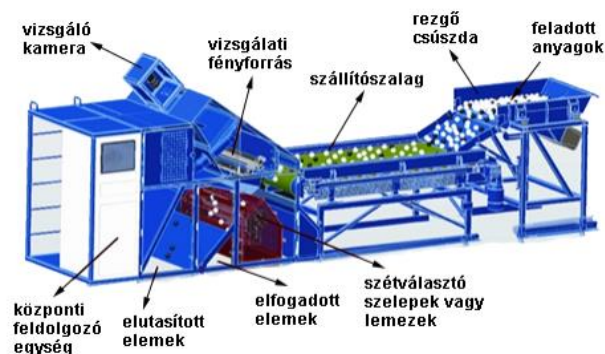


12. ábra A műanyagok alapanyagára utaló jelzések a termékeken

Spektroszkópiai válogatás

A műanyag hulladék szétválogatásának egyik kézenfekvő módszere a spektroszkópiai eljárások segítségével támogatott válogatás. Ebben az eljárásban a vizsgálati fényforrás lehet optikai fény, infravörös vagy akár röntgensugárzás. A módszer során kihasználják az anyagok

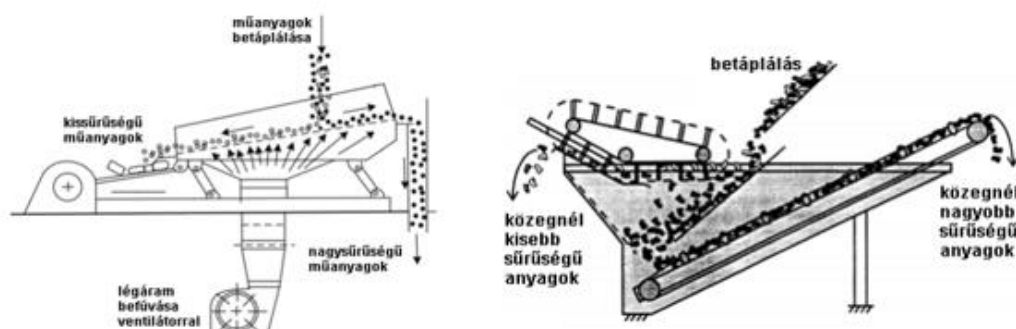
azon tulajdonságát, hogy eltérő anyagcsoportú hulladékok esetében más hullámhosszú vagy frekvenciájú fényt nyelnek el és vernek vissza, mint a többi anyag típus.



13. ábra Spektroszkópiai válogatás

Sűrűségkülönbségen alapuló válogatás

Gyakran alkalmaznak egy egyszerű gravitációs elválasztási módszert az előválogatás részeként, amely a sűrűségkülönbségen alapul. Ebben a módszerben az ismert sűrűségű közegben a hulladék egy része a közeg felszínén lebeg, mivel kisebb a sűrűsége, míg a nehezebb műanyagok a közeg aljára süllyednek. Ez a módszer lehet száraz, légáramlásos, vagy nedves (víz vagy emulzió) közeg használatával történő elválasztás.



14. ábra Sűrűségkülönbségen alapuló válogatás sematikus ábrája

További módszerek lehetnek, a Mageneto- hidrosztatikus szétválasztás, ami szintén sűrűség különbségen alapul vagy a műanyagok sűrűségéből származó elektrosztatikus erőket kihasználó szétválasztás is.

2.2.3. SZÁRÍTÁS

2.2.3.1. A szárítás szükségessége

A műanyagokra általánosságban jellemző a hidrolízis [7] (a hidrolízis - a görög hydro- [víz] és lysis [leválás] szavakból) általában a kémiai kötéseknek a vízmolekulák addíciója általi felhasadását jelenti. A hidrolízis az a kémiai folyamat, amelynek során egy vízmolekula beépül az anyagba - ez az extrudáció során negatív hatással van az elkészült filament tulajdonságaira.

Ennek elkerülése végett célszerű a műanyagból eltávolítani a folyadékot, ezáltal minimalizálva a hidrolízis okozta negatív hatásokat.

2.2.3.2. *Anyagok szárítása*

Néhány apoláros műanyag, mint a PE, PP és PS kivételével a hőre lágyuló műanyagok döntő többségét feldolgozásuk előtt ki kell szárítani.

A szárítás nélkül számos felületi hibát tartalmazó polimereket általában elegendő 0,05–0,1%-os nedvességtartalomig kiszárítani. A hidrolízisre hajlamos műanyagokat azonban általában 0,02% vagy esetleg még alacsonyabb, esetenként 0,005% értékig kell szárítani. A szükséges szárítás mértéke nemcsak az alapanyagtól, hanem a feldolgozás módjától és a feldolgozási paramétereiktől is függ, például a profílextrúzióval feldolgozott műanyagokat jobban ki kell szárítani, mint a fröccsöntötteket.

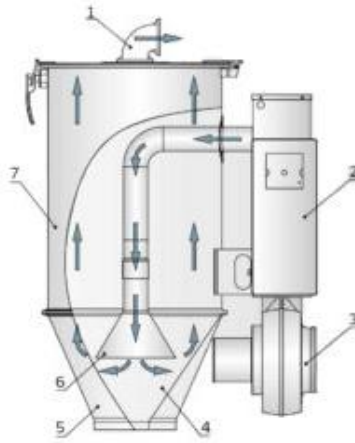
Egy már kiszárított műanyag képes az újra benedvesedésre, ezért célszerű vagy légmentesen tárolni, vagy azonnal felhasználni. [8]

2.2.3.3. *Szárítási körülmények*

A szárítást a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten kell elvégezni energiatakarékosság és az anyag oxidatív károsodásának elkerülése érdekében.

Speciális szárítást igényel a PET és a PLA (ez utóbbi is poliészter). Ezek ugyanis az amorf fázisból még jóval kristályos olvadáspontjuk alatti hőmérsékleten kristályosodni kezdenek. A PET üvegesedési hőmérséklete 70–75 °C, efelett az anyag meglágyul, kristályosodni viszont csak a 110-150 °C-os tartományban fog. Ezért a hőmérséklet emelésekor a meglágyult granulátumok összetapadnak. A PET megfelelő szárításához általában 135–165 °C, néha még magasabb hőmérséklet szükséges, ezért az átkristályosodás folyamán az összetapadás elkerülése érdekében állandó keverésre van szükség. [8]

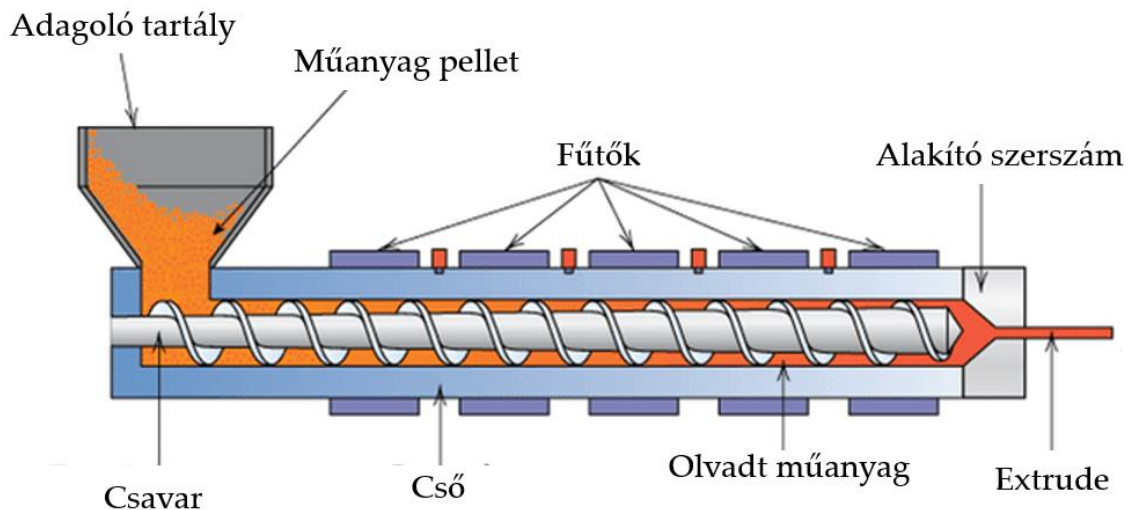
A szárítás legelterjedtebb módja a műanyag iparban a forrólevegő-szárítók használata, amelyek a környezeti levegőt felszívják, a fűtőelemmel felmelegítik, majd a szárítandó műanyag pelletekkel töltött tartályon keresztül vezetik azt. A forró levegő felveszi a nedvességet a pelletekből és kivezeti azt a tartályból, így a műanyag a tartályban kiszárad.



15. ábra Forrólevegős szárító sematikus ábrája: (1) légheszívócső, (2) vezérlő dobot, (3) fűvő, (4) belső tartály, (5) külső tartály, (6) lefelé fújó cső, (7) tartály

2.2.4. MŰANYAG EXTRUDÁLÁS

A következőkben a filament gyártás lelkét, az extrudálást fogom leírni. A 16. ábra mutatja az extruder belső felépítését és a működéséhez szükséges legfontosabb alkatrészeket.



16. ábra Az extruder belső felépítése

A gravitáció segítségével használva a műanyag pelletek az adagoló tartályból a forgó extrudercsigával ellátott csőbe kerülnek. A csiga forgása és az első szakasza, a behúzó zóna a műanyagot előrehaladásra kényszeríti a fűtött csőben. Ahogyan a műanyag előre mozog a csiga átmérője csökken, ez a kompressziós zóna, ami a műanyagot egy kisebb területre kényszeríti. A nyomás és a forgás kombinációjából adódóan súrlódás lép fel, amely további hőt képez, ez az úgynevezett nyírófűtés, az ebből és a fűtőkből származó hő megolvasztja a műanyagot és kellő nyomást hoz létre ahhoz, hogy a műanyagot a szerszámon áttolja. Mire a műanyag a homogenizáló zónába ér, azaz a csiga végéhez, már teljesen össze lesz keverve és az alakító

szerszámnak megfelelő hőmérséklettel és nyomással rendelkeznek. Az alakítószerszámon áthaladva az anyag felveszi a kívánt formát. Ezen az általában kör keresztmetszetű szerszámon áramlik ki az olvadt műanyag, amit vizes kádban vagy levegő áramoltatás segítségével hűtenek és szilárdítanak meg. A végterméket felhasználástól függően darabolják vagy tekercselik.



17. ábra Az extrudercsiga felépítése és szakaszai

A felső kép mutatja a háromzónás extrudercsiga legáltalánosabb alakját, azonban a geometriája és a menetek elhelyezése vagy sűrűsége változhat a felhasznált anyag és kívánt végtermék függvényében.

Nagyobb ipari felhasználások során gyakori az ikercsigás extruder használata, ami két egymással szemben forgó háromzónás extrudercsigát jelent. Ez növeli gép végtermék kibocsátását és jobb keverést is biztosít.



18. ábra Ikercsiga felépítése és szakaszai

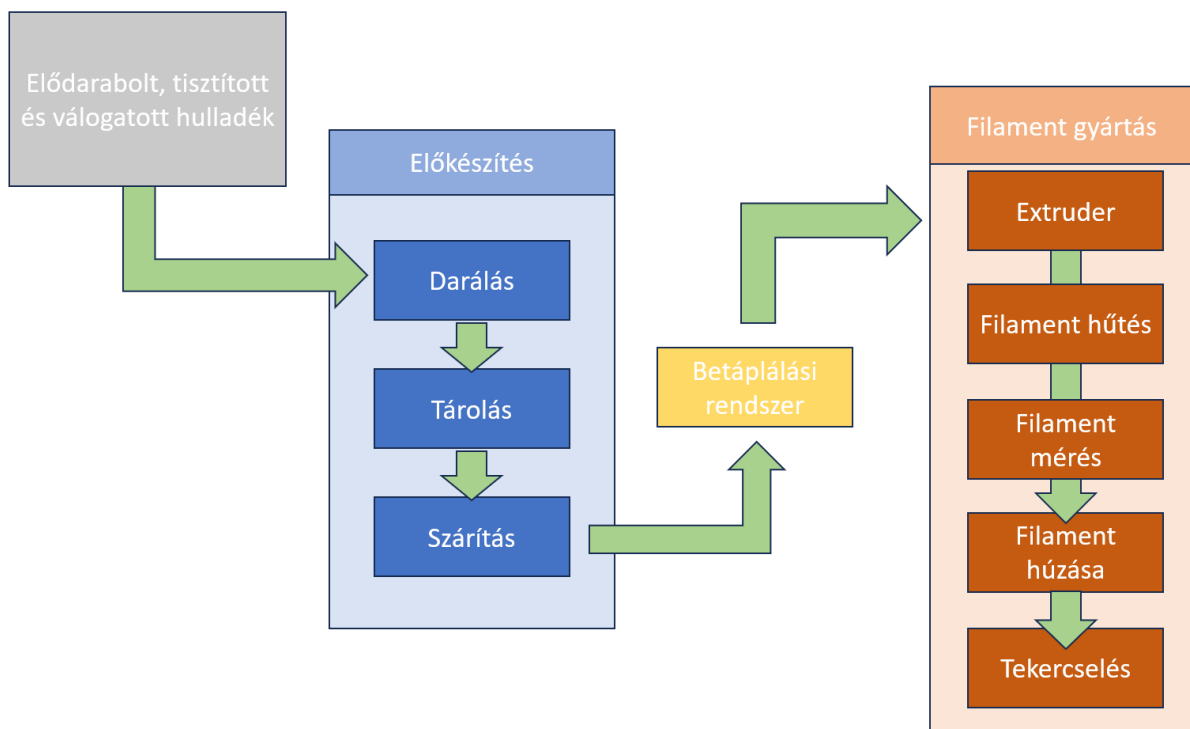
Az extrudereknél különösen fontos az egyes paraméterek állíthatósága. A csavar forgási sebessége és az egyes fűtőelemek hőmérséklete nagyban befolyásolják a végeredmény minőségét, ezt szem előtt kell tartani a tervezés során. Kellő hőmérsékletet kell elérni a műanyag megolvasztásához, azonban el kell kerülni a túl magas hőmérsékletet is, mert ez az anyag degradációjához vezethet.

3. A GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI FOLYAMAT

Az irodalomkutatás megmutatta, hogy milyen körülmények között történik a műanyagok újrahasznosítása ipari szinten. A projekt célja nem nagyipari, hanem egy kisüzemi vagy magánfelhasználásra megvalósítható újrahasznosított filament gyártó berendezés tervezése, ezért a következő változtatásokat kell alkalmaznunk.

Az újrahasznosító gyártósorok jelenlegi legnagyobb kihívása a darált formába került műanyagok alapanyag szerinti szétválasztása. Az erre alkalmas berendezések nagy gyorsasággal dolgoznak, óriási méretűek és drágák. Így ez nem képezi részét a projektnek. Hasonló megfontolás alapján a darált műanyag mosását is el kell kerülni, tekintve, hogy az alkalmazott víz veszélyes hulladékként kell kezelni, ami nem egyezik a gyártósor alkalmazásának körülményeivel, emellett a szerkezet méretét is nagy mértékben növelné. Az előbb leírtak alapján tehát fontos meghatározni, hogy milyen hulladékok kerülhetnek a gyártósorba feldolgozásra. A daráló befogadóképességének megfelelő méretű, tisztított és alapanyagukban ismert és válogatott hulladékok kerülhetnek csak feldolgozásra.

A hulladékok alapvetően két forrásból érkehetnek, háztartási-, és gyártásközi hulladékként, az előbbi megkötések mindkét esetben igazak, de főként a háztartási hulladékokra jellemző, hogy szennyezettek, ismeretlen és kevert anyagúak.



19. ábra A gyártósor funkcionális felépítésének sematikus ábrája

Az ábrán látható a gyártósor funkcionális felépítésének sematikus ábrázolása. Az előírásoknak megfelelő hulladék az előkészítési szakaszba kerül, ahol műanyagok méretének egységesítése céljából a darálóba kerülnek. A meghatározott méretű daralékokat vagy tároljuk vagy közvetlenül felhasználjuk. Utóbbi esetben a szárítóba kerülnek, ahol a levegő nedvességéből származó vizet eltávolítjuk az anyagból, a kedvezőbb felhasználás és végtermék érdekében. A szárítást a filament gyártás követi, amely az extrudálástól a tekerceslésig tart. Az extruderben megolvadt műanyagot egy húzórendszer segítségével áthúzzuk egy hűtési-, és egy mérésizónán. A lehűlt, alakot vett és megfelelő pontosságú filamentet végül tekercesekre tekerjük.

A tervezés során szétválasztottam az előbb említett két csoportot, azaz egységet. A szétválasztás alapja, hogy az egyes egységeken belül kapcsolat és hatás is fennáll a gépek között, míg a két főegység között csak kapcsolat. Ezért először az előkészítési szakaszt, mint külön egységet tervezem meg, amit összekötök a külön megtervezett extrudáló egységgel.

4. KÖVETELMÉNYJEGYZÉK

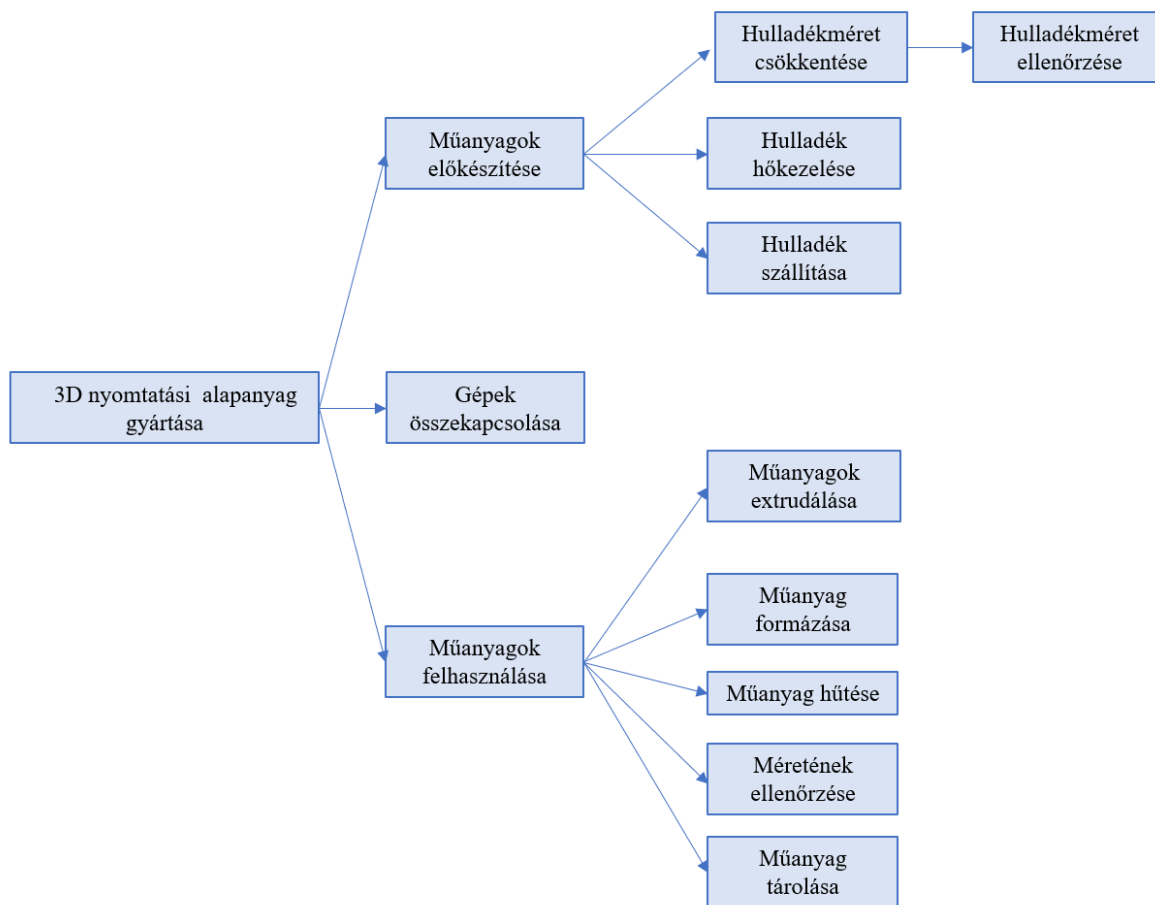
A feladatkiírás, a célkitűzés és az irodalomkutatás eredményeképpen össze tudtam állítani a teljes gyártósorral szembeni követelményjegyzéket, melyet az V. táblázatban fogaltam össze.

Követelmény megnevezése	Adat/érték	Minősítés/súly	Forrás	Megjegyzés
Geometria				
A teljes gyártósor mérete	max. 5x2x1 m	Ksz/8		
Bementi hulladék mérete	max. 200x200x200 mm	Ka	Feladat kiírás	
Darálék mérete	4-5 mm	Ksz/10		Extruder számára feldolgozható
Gyártott filament mérete	Ø1.75/2.5 mm	Ka		Szabványos filament méretek
Kinematika				
Beadagolási sebesség	min. 5 kg/óra	Ksz/8		Egyenletes adagolás
Darálási sebesség	min. 5 kg/óra	Ksz/8		A daráló előre dolgozhat
Száritási sebesség	min. 5 kg/óra	Ksz/8		Előre dolgozása nem javasolt
Extrudálási sebesség	5 kg/óra	Ka	Feladat kiírás	
Húzási/ tekerцselési sebesség	5 kg/óra	Ka	Feladat kiírás	
Erők				
Gyártósor teljes tömege	max 450 [kg]	Ksz/8		Becsült érték
Energia				
Száritási hőmérséklet	130-150 °C	Ka		PET kristályosodási hőmérséklete
Hűtővíz hőmérséklete	20-22 °C	Ksz/10		
Energia szükséglet	230 [V]	Ka	Feladat kiírás	
Anyag				
Bemeneti anyag minősége	Elődarabolt, válogatott, tisztított	Ka	Feladat kiírás	
Kimeneti anyag minősége	Szálhúzott, mérethelyes, tekerцselt filament	Ka	Feladat kiírás	
Feldogozandó anyag(ok)	PET, PLA, ABS, stb.	Ka	Feladat kiírás	3D nyomtatásra alkalmas polimerek
Jel				
Állapot jelző	Fényjelzés: bekapcsolt, készenléti állapot	Ksz/10		
Biztonság				
Darálás	Benyúlás elleni védelem	Ksz/10		
Extrudálás	Forró extrudercső és olvadék megfogása elleni védelem	Ksz/10		
Ergonómia				
Kiszolgálás	Emberi beavatkozás csak betáplálásnál és a végterméknél	Ka	Feladat kiírás	
Kényelem	Az emberi kiszolgálás ne legyen túl magasan	Ksz/6		
Gyártás				
Gyártott mennyiség	Egyedi gyártásra alkalmas	Ka	Feladat kiírás	
Karbantartás				
Tisztítás	Minden alapanyag váltás során szükséges	Ka		Ne keveredjenek a műanyagok
Költség				
Előállítási költség	10 000 000 Ft	Ka	Feladat kiírás	
Határidő				
Tervezési határidő	2023.12.08	Ka	Feladat kiírás	

V. táblázat gyártósorral szembeni követelményjegyzék

5. FUNKCIÓSTRUKTÚRA

Ennek a fejezetnek a célja, hogy bemutassam a koncepcióképzést megelőző folyamatot: a funkcióelemzést. Első lépésként meghatároztam a gyártósor fő funkcióját, amely a 3D nyomtatási alapanyag gyártása, majd ezt rész- és elemifunkciók bontottam, az alapján, hogy a gyártósornak milyen funkciókat kell teljesítenie és milyen igényeket kell kielégítenie a cél elérése érdekében. Az így kapott eredményeket egy hierarchikus funkcióstruktúrában foglaltam össze, amelyet a 20. ábra mutat be.



20. ábra Hierarchikus funkcióstruktúra

A következőkben a lényeges funkciókra kerestem koncepcionális megoldási lehetőségeket a Zwicky-féle morfológiai mátrix segítségével, ezt mutatom be a továbbiakban.

6. AZ ELŐKÉSZÍTÉSI SZAKASZ ELŐTERVEZÉSE

6.1. Az előkészítési szakasz fázisai és megoldási lehetőségek

6.1.1. GYÁRTÓSOR BETÁPLÁLÁSA

A gyártósor betáplálása során a hulladékot az aprítást végző gépbe kell juttatni. Azt várjuk el a feladatot ellátó operátortól vagy berendezéstől, hogy egyenletesen adagolja a műanyag hulladékot, ezzel biztosítva az aprítógép optimális üzemelését.

1. Megoldás: Kézi adagolás

A gyártási folyamatot minden esetben valamilyen emberi beavatkozás indítja el, legyen ez a szemétkonténer csatlakoztatása a gyártósorhoz vagy jelen esetben az aprítógépbe való hulladék táplálás. A megoldás hátránya, hogy a kívánt egyenletes táplálási sebesség elérése érdekében a munkát végző operátornak a gyártósor működése alatt folyamatosan kell adagolnia a hulladékot. Vagy ha nagyobb adagokban teszi bele a műanyagot akkor meg lesz terhelve a gép.

2. Megoldás: Szállítoszalag

Ebben a megoldásban az operátor a hulladékot a szállítoszalagra teríti, egyenletesen. A szalag sebessége úgy van meghatározva, hogy az aprítógép ideális terhelésének megfelelő sebességben ejtse bele a hulladékot.

3. Megoldás: Rezgő szállító

Az előző megoldás egy továbbfejlesztett változata, ebben az esetben a hulladék egyenletes elosztásával sem kell foglalkozni a gépkezelőnek, csupán az szállító elejére helyezni a hulladékot, aminek mozgatását és egyenletes elosztását az asztal rezgése biztosítja.

4. Megoldás: Görgős szállító

A görgős szállítók az iparban széleskörűen használt anyagmozgató rendszerek alapvető elemei. Egyszerű, de hatékony megoldást kínálnak az áruk és anyagok egyik pontról a másikkra történő könnyű és hatékony szállítására. Alapvetően hengeres görgők sorozatát használva a görgős szállítoszalagokat úgy tervezték, hogy egyszerűsítsék a nehéz, szabálytalan alakú vagy különböző méretű tárgyak mozgását.

5. Megoldás: Ferde lamellás szállító

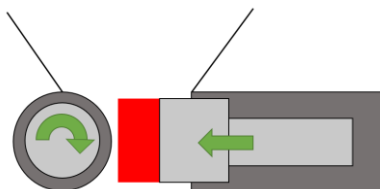
A lamellás szállítoszalagok lamellákat vagy lemezeket használnak a tárgyak rögzített útvonalon történő mozgatására, ami lehetővé teszi, hogy meredekebb szögben is képesek legyenek szállításra, így ez a megoldás is képes talajszintről végezni a szállítást.

6.1.2. HULLADÉKMÉRET CSÖKKENTÉS

A hulladékméret csökkentésének célja, hogy a különböző alakú és méretű hulladékokat nagyjából egységes méretűre csökkentsük. Az extruder működtetéséhez fontos, hogy a felhasznált alapanyag mérete kellően kicsi legyen, illetve a végtermék tulajdonságainak állandóságának feltétele, hogy azonos maximális befoglaló méretűek legyenek. Olyan aprító módszert keresek, amely képes a kívánt méretet kellő pontossággal elérni.

1. Megoldás: Egytengelyes darálók

A darálást végző vágószerszámok a forgó tengelyen vannak elhelyezve, amire a hidraulikus vezérelt előtoló nyomja az anyagot. A folyamat addig tart míg a vágószerszám mögötti réseken nem távozik az aprított anyag, ezzel garantálva, hogy a kívántnál nagyobb műanyagdarab nem maradt.

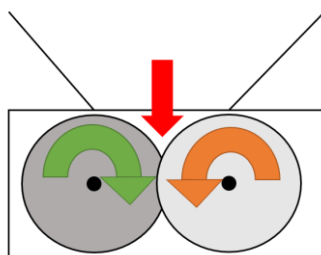


21. ábra Egytengelyes daráló sematikus ábrája

Előnye a szerkezetnek, hogy nagyon tömör és szívós anyagokat is képes ledarálni és kialakításának köszönhetően a darálék méretének ellenőrzése sem szükséges. Hátránya, hogy az előtoló vezérléséhez hidraulika szükséges.

2. Megoldás: Két- vagy többtengelyes kalapácsos aprítógépek

A két- vagy többtengelyes darálók esetén a zúzást az egymással szemben forgó tárcsákon kialakított kések végzik, melyek egymás terébe átérnek, de nem érintkeznek, így ami a munkatérbe kerül, csak a késeken keresztül juthat tovább.



22. ábra Kéttengelyes daráló sematikus ábrája

Ez egy nagyon effektív és megbízható módja a darásnak, gyorsan képes meghatározott méretűre aprítani a hulladékot.

6.1.3. HULLADÉKMÉRET ELLENŐRZÉS

Ahogy az irodalomkutatás is mutatta, az extruderbe bizonyos méretnél nagyobb darabok nem kerülhetnek, ennek biztosítására szükséges egy szitáló, szűrő- vagy egy ellenőrző rendszer.

1. Megoldás: Szita

A darabok válogatása méret alapján egy olyan szitával történne, amelynek a hálósűrűsége az extruder számára megengedett legnagyobb alapanyag mérettel egyezik meg, így azok a műanyag szemcsék, amelyek átmennek a szűrőn felhasználásra kerülhetnek, míg amelyek nem, azokat további aprításnak kell alávetni, de semmiképpen sem szabad beengedni a gépbe.



23. ábra Szita méret ellenőrző sematikus ábrája

Előnye a megoldásnak, hogy egyszerű, automatizálható rendszer, ami gyorsan és megbízhatóan különíti el a jó méretűt a rossztól.

2. Megoldás: Ellenőrzés kihagyása

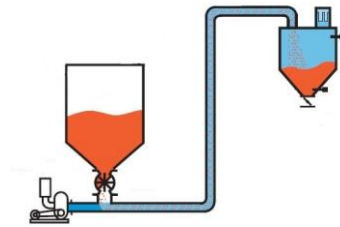
Vannak olyan berendezések, amelyek beépített rostákkal vagy szűrőkkel rendelkeznek, ilyen például a vágómalom felépítése. Ebben az esetben nem szükséges egy külön állomás, ahol a darálék méretét ellenőrizzük, mivel a gép kizárólag olyan anyagot bocsát ki magából, ami a méretbeli követelményeknek megfelel.

6.1.4. SZÁLLÍTÁS A SZÁRÍTÓHOZ

A darálóból valamilyen módszerrel a szárítóba kell juttatni a műanyagot. Mivel a darálék kis méretű és egységes, az előzőektől eltérő módszereket is alkalmazhatunk.

1. Megoldás: Pneumatikus szállító

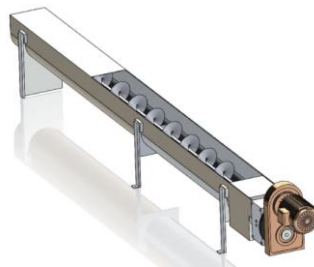
A pneumatikus szállítók levegő áramoltatásával végzik el a szállítást. A levegő mozgását előidézheti vákuum-, vagy fújó rendszer, a szállítás irányától függően. A hulladék táplálásához nem rendelkeznek kellő erővel az ilyen rendszerek, azonban a darálék kellően kicsi ahhoz, hogy levegő magával tudja szállítani.



24. ábra Pneumatikus szárító sematikus ábrája

2. Megoldás: Csigás szállító

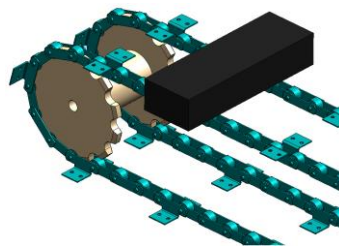
A csigaszállítók egy forgó spirális csigalapot használnak a szemcsés vagy porszerű anyagok mozgatására.



25. ábra Csigás szállító sematikus ábrája

3. Megoldás: Láncos szállítás

A szárítás egyik módszere a kemencés megoldás (lásd köv. fejj.) ebben az esetben a darált műanyagot valamilyen tárolóban kell a kemencébe bejuttatni, vagyis egy hőálló szállítórendszer szükséges, amely vízszintes mozgást végez. Erre tökéletes megoldás a láncos szállítás.



26. ábra Láncos szállítás sematikus ábrája

4. Megoldás: Rezgő szállító

Az előző megoldáshoz hasonlóan, ebben az esetben is vízszintes mozgást valósítunk meg és hőt kell kibírnia, azonban a lap kialakításának köszönhetően nincs szükség tálcákra és a rezgéseknek köszönhetően a magas hőmérsékleten a darálékok sem tapadnak össze.



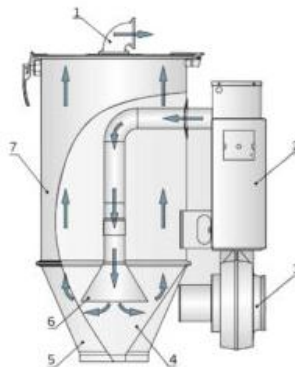
27. ábra Rezgő szállító sematikus ábrája

6.1.5. HULLADÉK HŐKEZELÉSE

A feldolgozni kívánt műanyagokat hőkezelnéi szükséges annak érdekében, hogy kellőképpen kiszáradjanak, ezzel biztosítva a végtermék tulajdonságainak állandóságát.

1. Megoldás: Forró levegős szárító

Az eljárás működési leve, hogy felmelegítjük a levegőt, amelynek így csökken a nedveségtartalma, amikor ezt a levegőt a műanyaggal vegyítjük, a száraz levegő felveszi a polimerben elraktározott vízmolekulákat ezáltal szárítva azt. A folyamat során a műanyagokat folyamatosan mozgásban tartjuk az összeragadás elkerülése érdekében.



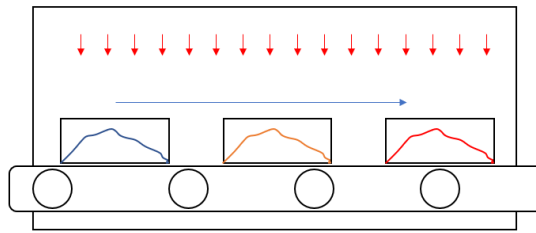
28. ábra Forró levegős szárító sematikus ábrája

Az ilyen gépek kialakítása lehetővé teszi, hogy egyben hoppernek is használjuk, vagyis a szárítóból közvetlenül kerülhet az alapanyag a feldolgozó gépbe.

Nagyon elterjedt eljárás a polimer feldolgozóiparban, nagy hőmérséklet érhető el a szerkezetekben. Hátránya, hogy a szárítás ciklusokban történik, vagyis a soron következő gép adagolása szakaszos.

2. Megoldás: Mikrohullámú szárító

Ebben a megoldásban az aprított műanyag folyamatos sebességgel halad át egy mikrohullámokkal melegített gépen, valamilyen rázás vagy forgatás kíséretében, annak érdekében, hogy ne tapadjanak össze a darabkák.



29. ábra Mikrohullámmal történő szárítás sematikus ábrája

Előnye a megoldásnak, hogy az előzőtől eltérően, nem kell megvárni amíg egy teljes szárítás véget ér, a rendszer folyamatosan, kisebb adagokban szolgáltatja a szárított alapanyagot. Hátránya, hogy mivel a kemence valamilyen szinten nyitott, nagyobb a vesztesége és az alapanyag jobban ki van téve a levegő nedvességének.

3. Megoldás: Kemence

A darált műanyagokat egy zárt kemencében is tárolhatjuk, melyben a kellő hőmérsékletnek köszönhetően a műanyag kiszárad. Hátránya, azonban, hogy gyártósorba nehéz integrálni, teljes zártságának köszönhetően.

6.1.6. EXTRUDER TÁPLÁLÁSA

A szárítóból kikerülő nedvességet nem tartalmazó aprított műanyagot az extruderbe kell táplálni. Erre a már előzőleg felsorolt megoldások közül alkalmas a pneumatikus és a csigás szállítás is, azonban olyan megoldás is születhet, ahol a szárító közvetlenül kapcsolódik az extruderhez.

6.2. Előkészítési szakasz megoldási lehetőségei






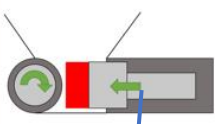
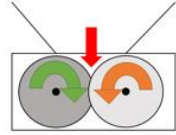
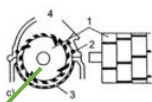

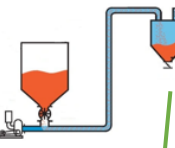

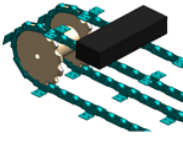


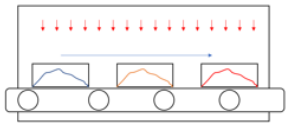

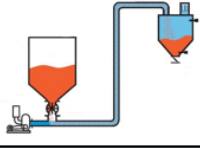
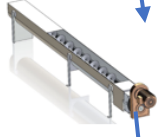
Az előzőekben bemutatam, hogy az előkészítési szakasz egyes funkcióinak milyen megoldási lehetőségei vannak. Ezeket a VI. táblázatban foglaltam össze, amelynek segítségével több, a célt megvalósítani képes koncepciót hoztam létre.

6.3. Előkészítési szakasz koncepcióképzés

A következőkben az egyes funkciókra javasolt koncepciókat kombináltam és hoztam létre a követelményeknek megfelelő megoldási javaslatokat. A morfológiai mátrixban szemléltettem a három megoldási javaslatomat, amelyeket különböző színű nyilakkal kötöttem össze a könnyebb megkülönböztetés érdekében.

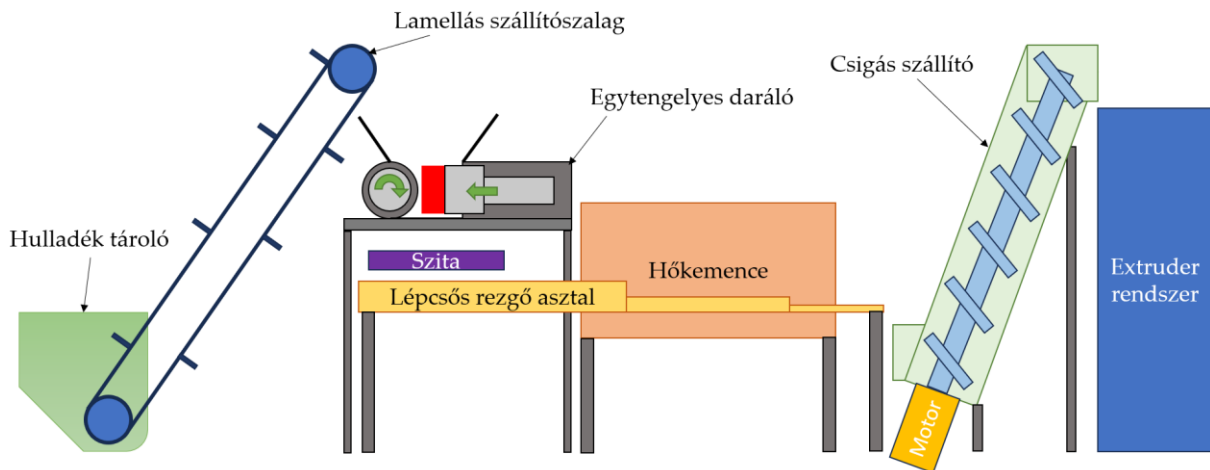
A koncepcióképzés során két megoldást hoztam létre. Az automatizálást és a gyártósor felépítést a leginkább a kiválasztott hőkezelés befolyásolja. Mivel a kemence használata

nehezen integrálható ezzel megoldást nem is készítettem, ellenben a másik két gépnek az előneire támaszkodva hoztam létre a két megoldási koncepciómat.

Főfunkció	megoldás1.	megoldás2.	megoldás3.	megoldás4.	megoldás5.
Betáplálás	Kézi 	Szállítószalag 	Rezgő szállító 	Görgős szállítószalag 	Lamelás szállítószalag 
Hulladék méret csökkentés	Egytengelyes daráló 	Többtengelyes sírvedder 	Egytengelyes vágómalom 		
Méret ellenőrzés	Szita 	Nem szükséges			
Szállítás	Pneumatikus szállító 	Csigás szállító 	Lánctalp szállító 	Rezgő szállító 	
Szárítás	Forrólevegős 	Mikrohullámú szárító 		Kemence 	
Extruder táplálás	Közvetlen X	Pneumatikus szállítás 	Csigás szállító 		
Extruder rendszer	<h1>Extrudáló rendszer</h1>				

VI. táblázat Előkészítési szakasz morfológiai mátrixa

1. Konceptió: Kék útvonal



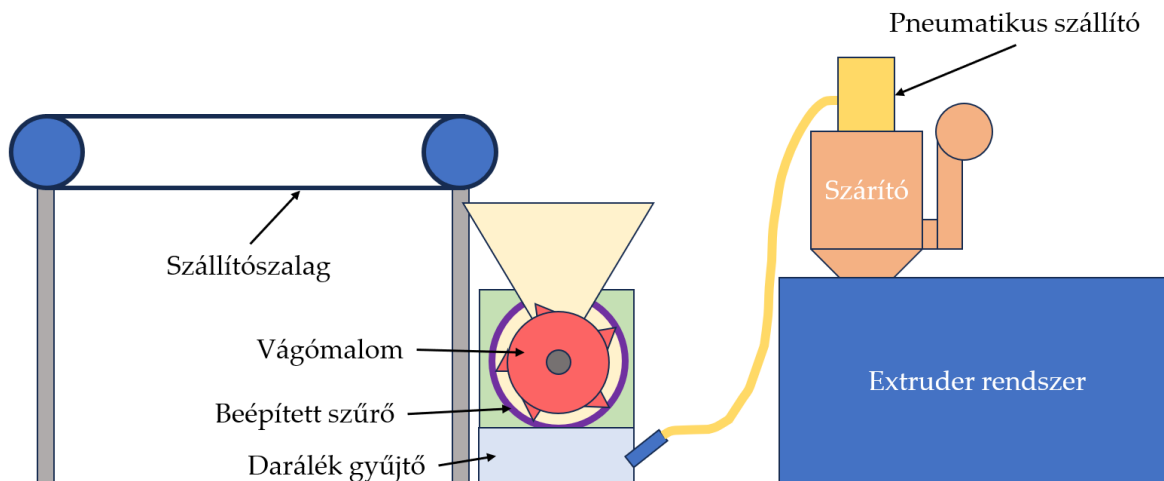
30. ábra Az előkészítési szakasz első koncepciójának sematikus ábrája

A hulladéktárolóba helyezett előre darabolt, tisztított és válogatott háztartási hulladékot a lamellás szállítószalag egyenletes elosztással szállítja az egytengelyes daráló felé. A daralóból távozó törmelék a szitára kerül, amely a rezgőasztallal együtt rezeg, így biztosítva, hogy a szita sűrűségénél kisebb elemek áthulljanak rajta. A megfelelő méretű hulladék a lépcsős rezgőasztalra kerül, amely keresztül szállítja a kemencén. Az asztal sebessége úgy van beállítva, hogy a rezgésnek köszönhetően haladva, a daralék kellő időt töltsön a kemencében, majd a csigás szállítóba hullik. A csiga segítségével az anyagot az extrudáló rendszer bemeneti magasságába emeljük és egyenletesen adagoljuk.

Fontos megemlíteni, hogy ebben a koncepcióban a kulcs az egyenletes sebesség, minden rendszernek ugyanabban az ütemben kell dolgoznia, különben a folyamat akadozna. Vagyis az egyes gépek nem tudnak előre dolgozni, mindegyiknek minden időben üzemben kell lennie.

Hátránya megoldásnak, hogy bonyolult, összetett a vezérlése és olyan megoldásokat is tartalmaz, amelyek az iparban nem elterjedtek, így alkalmazásuk további vizsgálatot igényelne. Emellett viszonylag magas, több nehéz gépet kell magasra emelni az összeszerelés során.

2. Konceptió: Zöld útvonal



31. ábra Az előkészítési szakasz második koncepciójának sematikus ábrája

Ebben a koncepcióban az előkészített hulladékot egy szállítószalagra helyezük el, egyenletesen elosztva. A szalag sebessége úgy van meghatározva, hogy az anyagáram meg egyezzen a vágómalom optimális terhelésével. A kések felaprítják a műanyagot. A vágómalomok előnye, hogy beépített szűrővel rendelkeznek, vagyis a gépből csak olyan méretű darálék távozhat, amely a meghatározott méretnek megfelel. Mivel utólagos ellenőrzésre nincs szükség az aprított műanyag közvetlenül egy gyűjtőbe kerül, ahol várja a sorát, hogy felhasználásra kerüljön. A szárítót és a tárolót egy pneumatikus szállító köti össze. A forrólevegős szárító ciklusokban dolgozik, melyben kivonja a nedvességet az anyagból, majd azt közvetlenül juttatja az extruder rendszerbe.

Előnye a megoldásnak, hogy egyszerű felépítésű és rugalmasan alkalmazható. A gyártósor üzemelése során nem szükséges minden gépnek azonos sebességgel üzemelnie. A gyorsabb daráló előre dolgozhat, míg a lassabb extrúzió történik.

7. AZ EXTRUDÁLÁS SZAKASZ ELŐTERVEZÉSE

7.1. Az extrudálás fázisai és megoldási lehetőségek

7.1.1. EXTRUDER

Az extrudálás alapvetően abból áll, hogy a szilárd polimert az extruderben egy forgó csiga segítségével szállítják, a szilárd anyagot megolvasztják, az olvadékot homogenizálják és egy szerszámon keresztül átnyomják.

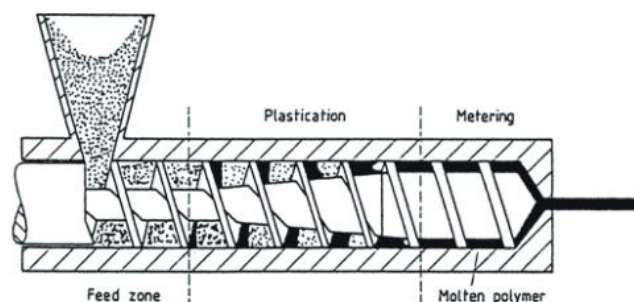
1. Megoldás: Egycsiga

Különböző polimerek feldolgozáshoz, különböző geometriájú csigát alkalmaznak, de a legáltalánosabban használt az egy darab háromzónás csiga, melynek zónái a behúzási, a kompressziós és a homogenizáló zóna.

Behúzási zóna: ez a csiga első és egyben leghosszabb szakasza, melynek célja, hogy az adagolóból a szilárd polimereket előre szállítsa és tömörítse azokat. Ebben a zónában a hőbevitel minimális, elsősorban a műanyag lágyítására összpontosít a könnyebb szállítás érdekében.

Kompressziós zóna: a behúzási zónát követi és pufferként szolgál a homogenizáló zóna előtt. Ebben a zónában a műanyag további melegítésen és keverésen megy keresztül, előkészítve azt a homogenizáló zónára. A hőmérséklet fokozatosan emelkedik, ami segít az anyag homogenizálásában és a maradék nedvesség vagy illékony anyagok eltávolításában.

Homogenizáló zóna: a csiga utolsó szakasza, amely az extruderszerszámhoz legközelebb helyezkedik el. Ez felelős a kívánt nyomás eléréséhez, hogy az olvadt műanyagot a szerszámon keresztül a kívánt formába nyomja. Ebben a zónában a hőmérsékletet gondosan szabályozzák és a feldolgozandó anyagnak megfelelő szinten tartják. A műanyagot tovább olvasztják, keverik és nyomás alá helyezik, miközben ezen a szakaszon keresztül halad.



32. ábra Háromzónás extrudercsiga belső felépítése

A háromzónás extrudálócsga elsődleges célja a műanyag hőmérsékletének és anyagtulajdonságainak pontos szabályozása az extrudálási folyamat során. A különböző hőmérséklet-profilokkal rendelkező külön zónák révén az extrudálási folyamat optimalizálható a

feldolgozandó anyagra. Ez a szabályozás segít megelőzni az olyan problémákat, mint a túlmelegedés, a bomlás vagy az olvadék gyenge homogenitása.

Az egyes zónák hőmérsékletének szabályozása jellemzően elektromos fűtőberendezésekkel történik, és a csiga kialakítása biztosítja, hogy az anyagot folyamatosan keverik, megolvasztják és továbbítják a behúzási zónából a szerszámba. Ez lehetővé teszi az egyenletes és kiváló minőségű extrudálási eredményeket.

A háromzónás csiga előnyei:

- Egyszerűség: Az egycsigás extruderek általában egyszerűbb kialakításúak, ami költségghatékonyabbá és könnyebben karbantarthatóvá teheti őket.
- Sokoldalúság: Az anyagok széles skáláját tudják kezelni, különösen az olyan gyakori hőre lágyuló műanyagokat, mint a PLA és az ABS.
- Energiahatékonyság: Az egycsigás extruderek gyakran kevesebb energiát fogyasztanak az ikercsigákhoz képest, így energiatakarékosabbak.
- Alacsonyabb költségek: Ezek az extruderek jellemzően megfizethetőbbek a beszerzés és a karbantartás szempontjából, ami előnyös lehet a kisebb méretű műveletek esetében.

A háromzónás csiga hátrányai:

- Korlátozott feldolgozás: Nem biztos, hogy alkalmasak olyan anyagokhoz, amelyek bonyolultabb keverést igényelnek, vagy erősen töltött vagy speciális keverékekhez.
- Alacsonyabb keverési képesség: Korlátozott keverési képességgel rendelkezhetnek, ami bizonyos esetekben befolyásolhatja az anyag homogenitását.
- Csökkentett teljesítmény: Bizonyos esetekben az egycsigás extrudereknek alacsonyabb lehet a kimeneti teljesítményük az ikercsigákhoz képest.
- Bizonyos anyagok esetében kevésbé hatékonyak: Bizonyos anyagok feldolgozásakor, különösen a magas viszkozitású vagy adalékanyagokat tartalmazó anyagok esetében előfordulhat, hogy az egycsigás extruderek nem teljesítenek olyan hatékonyan.

2. Megoldás: Ikercsiga

Az ikercsigás megoldás szintúgy három zónával rendelkezik, azonban nem egy, hanem két egymással szemben forgó csiga végzi a munkát, amely több alkalmazási lehetőséget tesz lehetővé.

Előnyök:

- Továbbfejlesztett keverés: Az ikercsigás extruder kiválóan keveri és diszpergálja az adalékanyagokat és töltőanyagokat, így ideális az anyagok széles skálájához, beleértve a magas töltésű keverékeket is.
- Nagy teljesítmény: Az egycsigás csigákhoz képest nagyobb teljesítményt tudnak elérni, ami előnyös lehet nagyüzemi gyártás esetén.
- Sokoldalúság: Sokféle anyagot képesek feldolgozni, beleértve a kihívást jelentő reológiai tulajdonságokkal rendelkezőket is.
- Jobb hőmérséklet-szabályozás: Az ikercsigák jobb hőmérséklet-szabályozást biztosítanak az extrudálási folyamat során, csökkentve az anyagromlás kockázatát.

Hátrányok:

- Komplexitás: A kétcsigás extrudereket bonyolultabb és drágább megvásárolni és karbantartani.
- Energiafogyasztás: A nagyobb mechanikai összetettség és a nagyobb energiaigény miatt általában több energiát fogyasztanak.
- Speciális szakértelem: Az ikercsigás extruderek üzemeltetése és karbantartása több speciális tudást és készséget igényelhet.
- Túlkeveredés: Bizonyos esetekben az ikercsigák túlkeverhetik az anyagokat, ami bizonyos alkalmazásoknál nem kívánatos.

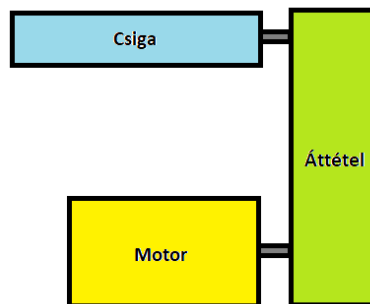
A választás alapja:

Az egycsigás és az ikercsigás extruder közötti választás a gyártási sebességtől, a feldolgozni kívánt anyagoktól és a költségvetésétől függ. A kisebb léptékű műveletek vagy a közönséges hőre lágyuló műanyagokkal dolgozók számára elegendőek lehetnek az egycsigás extruderek, míg az összetettebb vagy nagyobb léptékű műveletek számára előnyösek lehetnek az ikercsigás extruderek képességei.

7.1.2. MOTOR ELHELYEZÉSE

A csiga meghajtásához nagy erőre van szükség, kis fordulatszámon, annak érdekében, hogy a szállított anyagot a kellő mértékben megolvasszuk. A forgást egy AC motor biztosítja, amelynek sebességét nagymértékben csökkentjük. A motor elhelyezése olyan szempontból lényeges, hogy különböző átteleknek és helykihasználási opciókat tesznek lehetővé vagy lehetlenné.

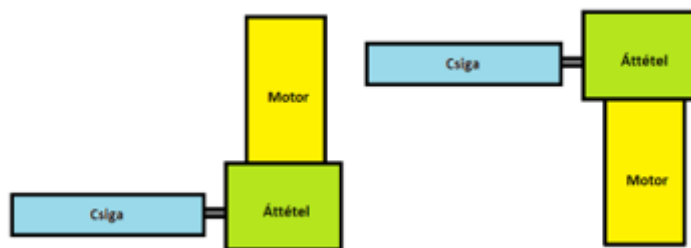
1. Megoldás: U alak



33. ábra Az U alakú elrendezés sematikus ábrája

Előnye ennek a megoldásnak, hogy lehetőséget ad a szíj- vagy lánchajtásos áttétel megvalósítására, illetve az extruder csigának a kezelés szempontjából érdemes testmagasságban lennie, így alatta holt tér van, amely ezzel az elrendezéssel kihasználásra kerül. Hátránya, hogy nagyobb helyigénnyel és kevesebb elhelyezési lehetőséggel rendelkezik, mint a többi megoldás.

2. Megoldás: L-alak



34. ábra Az L-alakú elrendezés sematikus ábrája

A L-alakú elrendezés fogaskerekes átételek esetén célszerűek, kisebb hely igényel rendelkeznek, mint az előző megoldás, ami a teljes berendezés méretét csökkentheti.

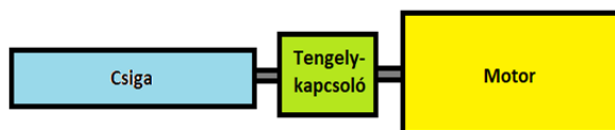
3. Megoldás: Vertikális elrendezés



35. ábra Vertikális elrendezés sematikus ábrája

A vertikális elrendezés abban az esetben a legkedvezőbb, ha a motor kimeneti fordulatszáma megegyezik a csigáéval, de nem csak ebben az esetben alkalmazható. A vertikális kiterjedését növeli a berendezésnek, viszont nagy mértékben csökkentheti a lineáris kiterjedést és lehetőséget nyit egyszerűen megvalósítható elrendezések alkalmazására.

4. Megoldás: Lineáris elrendezés



36. ábra A Lineáris elrendezés sematikus ábrája

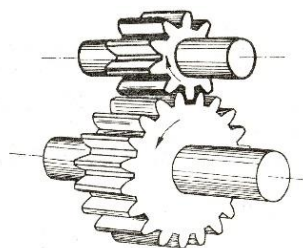
A lineáris elrendezés abban az esetben a legkedvezőbb, ha a motor kimeneti fordulatszáma megegyezik a csigáéval, de nem csak ebben az esetben alkalmazható. A lineáris kiterjedését növeli a berendezésnek, viszont egyszerűen megvalósítható megoldás.

7.1.3. ÁTTÉTEL TÍPUSOK

A következő fejezetben három áttétel típust mutatunk be, amelyek alapvető szerepet játszanak a mechanikai rendszerek tervezésében és működésében. Az áttételek olyan eszközök, amelyek lehetővé teszik az erők és mozgások hatékony átadását és módosítását, és mérnöki alkalmazásokban rendkívül fontosak. Mindhárom áttétel típusnak sajátos jellemzői, előnyei és hátrányai vannak, és a következő ezeket fogom ismertetni.

1. Megoldás: Fogaskerék-hajtás

A fogaskerék-hajtás olyan mechanikus erőátviteli rendszer, amely egymásba kapcsolt fogaskerekeket használ a forgó tengelyek közötti teljesítmény és mozgás átvitelére. Általában különböző alkalmazásokban alkalmazzák a forgómozgás sebességének, nyomatékának vagy irányának megváltoztatására.



37. ábra Fogaskerék-hajtás sematikus ábrája

Előnyök:

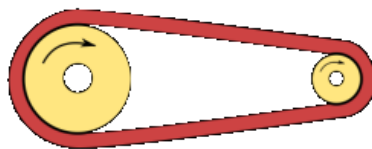
- Nagy pontosság: A fogaskerekes meghajtók pontos és állandó sebesség- és nyomatékátvitelt biztosítanak.
- Nagy teherbírás: Nagy terhelést bírnak el, és nagy nyomatékú alkalmazásokhoz alkalmasak.
- Hosszú élettartam: Tartósak és hosszú élettartamúak, minimális karbantartás mellett.
- Kétirányú működés: Mindkét irányban képesek erőt továbbítani.

Hátrányok:

- Zaj és rezgés: A fogaskerékhajtások zajosak lehetnek és rezgést generálhatnak, ez különösen nagy sebességű alkalmazások során érvényes.
- Kenés szükséges: A megfelelő kenés elengedhetetlen a fogaskerekek zavartalan működéséhez.
- Korlátozott ütéselnyelés: A fogaskerekek nem képesek olyan hatékonyan elnyelni az ütések és rezgések, mint a szíjak.
- Bonyolultabb kialakítás: A fogaskerékhajtások tervezése és összeszerelése összetettebb és drágább lehet, mint a szíjhajtásoké.

2. Megoldás: Szíjhajtás

A szíjhajtás olyan mechanikus erőátviteli rendszer, amely rugalmas, jellemzően gumiból vagy megerősített anyagból készült szíjakat használ a forgó tengelyek közötti mozgás és teljesítmény átvitelére.



38. ábra szíjhajtás sematikus ábrája

Előnyök:

- Csendes működés: A szíjhajtások csendesen működnek, így olyan alkalmazásokhoz is alkalmasak, ahol a zajvédelem fontos szempont.
- Alacsony karbantartási igény: A szíjak általában kevesebb karbantartást igényelnek a láncokhoz képest.
- Költséghatékony: A szíjhajtások gyakran költséghatékonyabbak, mint a lánc- vagy fogaskerékhajtások.
- Ütéselnyelés: A szíjak képesek elnyelni az ütések és rezgések, megvédve a csatlakoztatott alkatrészeket.

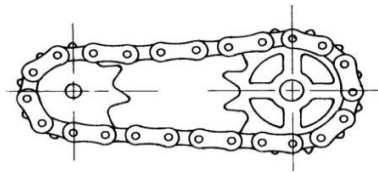
Hátrányok:

- Korlátozott terhelhetőség: A szíjak nem alkalmasak nagy terhelésekhez vagy nagy nyomatékú alkalmazásokhoz.

- Csúszás: A szíjak megcsúszhatnak nagy terhelés alatt vagy ha nem megfelelően vannak megfeszítve.
- Kevésbé hatékony: A lánc- és fogaskerékajtásokhoz képest kevésbé hatékonyak az erőátvitelben.
- Korlátozott sebességtartomány: A szíjak nem feltétlenül alkalmasak nagy sebességű alkalmazásokhoz.

3. Megoldás: Láncajtás

A láncajtás olyan mechanikus erőátviteli rendszer, amely összekapcsolt láncszemekből álló láncot használ a forgó tengelyek közötti teljesítmény- és mozgásátvitelhez. A láncajtásokat tartósságuk és nagy teljesítményátviteli képességük miatt széles körben használják.



39. ábra Láncajtás sematikus ábrája

Előnyök:

- Nagy hatékonyság: Így olyan alkalmazásokhoz alkalmas, ahol az erőátvitel kritikus.
- Nagy teherbírás: A láncok nagy terhelést bírnak el, és általában nehézszerkezetekben és ipari berendezésekben használják őket.
- Tartós: A láncok tartósságukról és kopásállóságukról ismertek.
- Pontos sebességszabályozás: A láncajtások a különböző méretű láncok rendeltetésre állásának köszönhetően pontos sebességszabályozást biztosítanak.

Hátrányok:

- Zaj és rezgés: A láncajtások zajjal és rezgéssel járhatnak működés közben.
- Kenés szükséges: A láncok rendszeres kenést igényelnek a kopás és a súrlódás csökkentése érdekében.
- Karbantartás: Időszakos karbantartást igényelhetnek, mint például a feszítés beállítása és a kenés.
- Telepítés bonyolultsága: A láncajtás beállítása bonyolultabb lehet a szíjhajtásokhoz képest.

7.1.4. FŰVÓKA

A szerszám célja, hogy a beépített hálós szűrővel megakadályozza, hogy a szennyeződések bejussanak a szálba, amely eltömíthetik a 3D nyomtató fűvókáját, emellett az ellennyomást is létrehoz, amely összekeveri a színező- vagy keverékanyagot az alapanyaggal. Ez valamilyen szintű teljesítménycsökkenést is eredményez, de meglehetően indokolt. A hálót egy törőlemeznek nevezett elem tart, amely egy furatokkal ellátott lemez.



40. ábra Fúvóka belső felépítése és alkatrészei

Érdekes módon az olvadt műanyag képes emlékezni az utolsó mozgására, ha törőlemezen nem lenne a szerszámon a csiga forgásának megfelelően csavarodva jönne ki a műanyag, viszont ez az alkatrész arra kényszeríti az olvadt műanyagot, hogy átmenjenek az egyenes furatokon így a végtermék is hasonlóképpen mozog. Különböző méretű szerszámok kaphatóak, melyekben a kimeneti nyílás hossza változik. A hosszabb cső nagyobb extrúziós sebességet igényel, kialakításából adódóan hosszabb ideig egyenesíti ki az olvadt műanyagot, így növeli a kimeneti termék minőségét, azonban ez növeli az ellenállást a csőben így nagyobb nyomatókat is igényel a berendezés.

7.1.5. HŰTÉS

Az extrudálásnak köszönhetően a szerszámból kiáramló polimer magas hőmérsékletű és képlékeny. Annak érdekében, hogy a kész termék alakja ne változzon és hogy tekerceselhető legyen, le kell hűteni.

1. Megoldás: Vizes tartály

A hűtés megoldható tartályban történő vízűtéssel, amelybe folyamatosan keringtetjük a vizet, a forró műanyag hűlés közben melegíti a vizet, melyet leeresztünk és hideg vízzel pótlunk. A megoldás tartalmazhat több egymás követő tartályt is különböző hőmérsékletű vízzel az egyenletesebb hűtés érdekében.



41. ábra Vizes tartállyal való hűtés sematikus ábrája

Előnyök:

- Hatékony hőelvonás: A víz nagy hőkapacitással rendelkezik, így nagyon hatékonyan távolítja el a hőt a munkadarabból. Gyorsan le tudja hűteni a forró műanyagokat, javítva a ciklusidőt és a termelékenységet.

- Hőmérsékletszabályozás: A vízűtő rendszerek pontos hőmérséklet-szabályozást biztosíthatnak, ami kritikus fontosságú a műanyag-feldolgozás során a termékminőség egyenletes fenntartásához.
- Energiahatékonyság: A vízűtési rendszerek gyakran energiahatékonyabbak a léghűtéshez képest, mivel a víz több hőt képes elvezetni egységnyi energiára vetítve.
- Csökkentett zajszint: A vízűtési rendszerek általában halkabbak, mint a léghűtési rendszerek, ami kényelmesebb munkakörnyezetet teremt a kezelők számára.
- Kompakt berendezések: A vízűtéses berendezések kompaktabbak lehetnek, és kevesebb helyet foglalnak el, mint a nagy léghűtési rendszerek.

Hátrányok:

- Kezdeti beállítási költségek: A vízűtési rendszerek telepítésének költségei, beleértve a szivattyúkat, a csővezetékeket és a hűtőkészülékeket, viszonylag magasak lehetnek.
- Karbantartás: A vízűtési rendszerek rendszeres karbantartást igényelnek a vízkőlerakódás, a korrózió és a szennyeződések megelőzése érdekében.
- Szivárgásveszély: A vízűtési rendszer szivárgása károsíthatja a berendezéseket és biztonsági kockázatot jelenthet.

2. Megoldás: Álló levegő

Ez azt jelentené, hogy nem használunk semmilyen hűtést, ami ekkora hőmérsékleten nem javasolt.

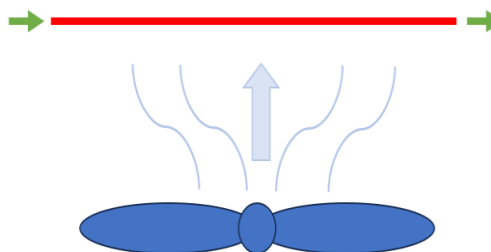


42. ábra Álló levegővel való hűtés sematikus ábrája

A távolság, amin lehűlne a kész termék, túl hosszú gépet eredményezne.

3. Megoldás: Áramoltatott levegő

A léghűtés egy olyan módszer, amelyet a hő elvezetésére használnak. Azáltal, hogy a hőforrás vagy a berendezés fölött levegőt keringetnek, hogy csökkentsék annak hőmérsékletét.



43. ábra Áramoltatott levegővel való hűtés sematikus ábrája

Előnyök:

- Alacsonyabb kezdeti költségek: A léghűtéses rendszerek kezdeti beállítása általában olcsóbb, mint a vízhűtéses rendszereké.
- Alacsony karbantartási igény: A léghűtéses rendszerek kevesebb karbantartást igényelnek, mivel nem jelentkezik ugyanolyan problémák a vízkőlerakódással vagy a korrózióval kapcsolatban, mint a vízhűtéses rendszereknél.
- Egyszerűség: A léghűtéses rendszereket könnyebb telepíteni, és általában kevesebb infrastruktúrát igényelnek.

Hátrányok:

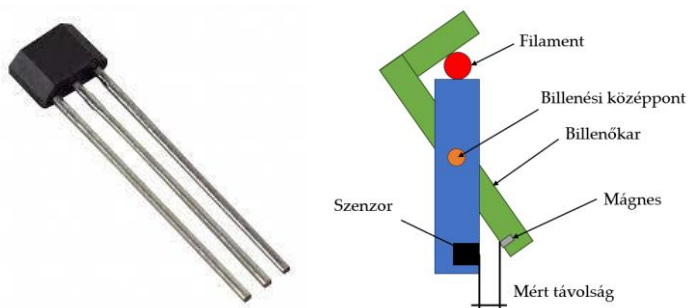
- Kevésbé hatékony: A léghűtés általában kevésbé hatékony a hő gyors elvezetésében a műanyag-feldolgozó berendezésekből, ami növelheti a ciklusidőt.
- Korlátozott hőmérséklet-szabályozás: A léghűtés nem biztosítja a műanyag-feldolgozási alkalmazásokhoz szükséges pontos hőmérséklet-szabályozást.
- Csökkentett termelékenység: A lassabb hűtési idők csökkenthetik a teljes gyártási teljesítményt, ami hatással van a termelékenységre és a hatékonyságra.
- Zaj és levegőminőség: A nagy léghűtési rendszerek zajt és légörvényeket okozhatnak, amelyek befolyásolhatják a munkakörnyezetet és a dolgozók levegőminőségét.

7.1.6. MÉRŐ EGYSÉG

Az extruderből kiáramló polimernek alakot adtunk és lehűtöttük, ebben a fázisban szükséges megmérni az elkészült filament átmérőjét, amelynek ismeretében változtathatunk a beállításokon. A következő lehetséges megoldások mind távolság mérésre alkalmas műszerek, így ezek felhasználásához valamilyen mechanikus segédeszközzel van szükség.

1. Megoldás: Mágnes alapú mérés

A Hall effektuson alapuló távolságmérők elektronikus komponensek, amelyek képesek detektálni a szenzor környékén a mágneses teret és annak erősségének megfelelő áramerősséget bocsátanak ki.



44. ábra Hall effektus szenzor és beépítésének sematikus ábrája

A szenzor alkalmazása során a filamentet egy olyan mechanizmuson húzzuk át, amely a szál vastagságával arányos mértékben billen meg. A billenőkar végén egy mágnes van

elhelyezve, aminek távolságát érzékeli az álló részben lévő hall effektus szenzor. A szerkezet kismértékű előfeszítési erővel rendelkezik, de ez nem befolyásolja a filament alakját, mert a hűtési szakaszban már teljesen megszilárdult az anyag.

Előnyök:

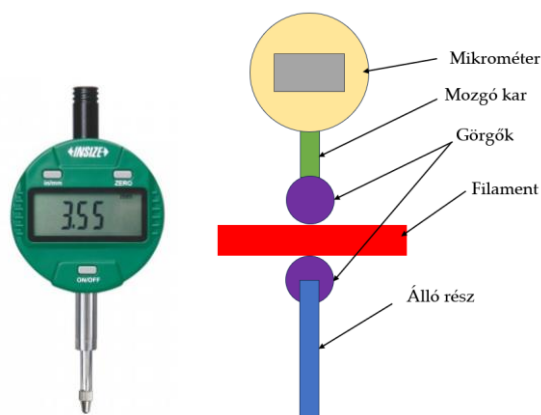
- Érintésmentes érzékelés: Nem szükséges fizikai érintkezés, ami alkalmassá teszi őket különböző alkalmazásokhoz.
- Nagy pontosság: A Hall-effektus érzékelők pontos és lineáris mágneses mezők mérését biztosítják.
- Sokoldalúság: Alkalmazások széles skáláján használhatók, beleértve a sebesség-, áram-, közelség- és helyzetérzékelést.
- Megbízhatóság: Hosszú távú stabilitásukról és következetes teljesítményükről ismertek.
- Alacsony energiafogyasztás: Ideális alacsony fogyasztású és elemmel működő alkalmazásokhoz.
- Gyors reagálás: A Hall-érzékelők gyors válaszidővel rendelkeznek.
- Porvédettek: A por és a szennyeződések kevésbé befolyásolják őket.

Hátrányok:

- Költség: A kiváló minőségű érzékelők viszonylag drágák lehetnek. (Nagyon változó)
- Mágneses interferencia: A külső mágneses mezők befolyásolhatják a pontosságot.
- Hőmérsékletérzékenység: Egyes érzékelők érzékenyek a hőmérséklet-változásokra.
- Mágneses mezőkre korlátozott: Mágneses mező mérésére specializálódtak.
- Bonyolult jelkondicionálás: A kimenet további feldolgozást igényelhet.
- Méretbeli korlátok: Egyes érzékelők nem elég kompaktnak bizonyos alkalmazásokhoz.

2. Megoldás: Digitális óra

A mikrométer egy precíziós mérőeszköz, amelyet kis távolságok vagy méretek nagy pontosságú mérésére használnak. Működése azon az elven alapul, hogy egy pontosan menetes orsó segítségével egy kalibrált csavar mozgását vezérli egy tárgy hosszának vagy vastagságának meghatározásához.



45. ábra Mikrométer és beépítésének sematikus ábrája

A mikrométer alkalmazása során a filamentet két görgő között húzzuk át, melyből az alsó áll, a felső pedig vertikális irányban mozog. A mozgás nagysága arányos a filament vastagságával. Az előzőhöz hasonlóan, az előfeszítési erő ebben az esetben sem befolyásolja a filament alakját vagy méretét.

Előnyök:

- Nagy pontosság: A digitális mikrométerek nagyon nagy pontossággal mérik a tárgyak méreteit, így nélkülözhetetlenek olyan alkalmazásokban, ahol a pontosság kritikus fontosságú.
- Könnyű használat: Felhasználóbarátok, és nem igényelnek speciális képzést a működtetésükhöz.
- Megismételhető mérések: A digitális mikrométerek megismételhető méréseket biztosítanak, csökkentve a kezelői hibákat és biztosítva a következetességet.
- Tartós: Jellemzően jól megépítettek és ellenállnak az ipari környezetnek.

Hátrányok:

- Érintésérzékelés: A digitális mikrométerek a tárgy fizikai érintkezésére támaszkodnak, ami kopáshoz vagy az érzékeny vagy kényes anyagok károsodásához vezethet.
- Korlátozott hatótávolság: Elsősorban kis méretek mérésére alkalmasak, és nem feltétlenül alkalmasak nagyobb tárgyak vagy nagy távolságok mérésére.

3. Megoldás: Lézeres mérés

A lézeres érzékelők azon az elven működnek, hogy lézersugarat bocsátanak ki, és mérik azt az időt, amely alatt a lézerfény eljut egy tárgyhoz, majd visszatér az érzékelőhöz. Ennek a körbejárási időnek a pontos mérése lehetővé teszi, hogy az érzékelő nagy pontossággal meghatározza a tárgy távolságát vagy helyzetét.



46. ábra Lézeres távolságmérő

Előnyök:

- Érintésmentes és nagy hatótávolságú érzékelés: A lézeres érzékelők fizikai érintkezés nélkül képesek távolságot mérni vagy tárgyakat érzékelni. Ideálisak nagy hatótávolságú alkalmazásokhoz.
- Nagy pontosság és felbontás: A lézeres érzékelők nagyon pontos és nagy felbontású távolság- vagy helyzetmérést képesek biztosítani.
- Gyorsaság és pontosság: A lézeres érzékelők gyors méréseket képesek biztosítani, így alkalmasak nagy sebességű alkalmazásokhoz.

Hátrányok:

- **Költség:** A kiváló minőségű lézeres érzékelők drágák lehetnek, különösen a precíziós alkalmazásokban használtak.
- **Korlátozott teljesítmény zord körülmények között:** A lézeres érzékelők kedvezőtlen környezeti körülmények között, például poros környezetben nem feltétlenül teljesítenek jól.
- **Biztonsági aggályok:** Egyes lézeres érzékelők potenciálisan káros lézersugárzást bocsátanak ki, ezért bizonyos alkalmazásokban biztonsági intézkedésekre és óvintézkedésekre van szükség.
- **Bonyolult beállítás:** A lézeres érzékelő típusától függően az érzékelő beállítása és kalibrálása összetett lehet, és szakértelmet igényel.

7.1.7. HÚZÓ RENDSZER

A filament végső méretének meghatározásában az egyik legnagyobb szerepet a húzórendszer tölti be. Attól függően, hogy milyen sebességgel húzzuk a még meleg filamentet változik az átmérője, a lassabb húzás vastagabb, a gyorsabb vékonyabb terméket eredményez. A következőkben azt fogom tárgyalni, hogy milyen módszereket alkalmazhatunk a húzásra.

1. Megoldás: Gravitációs

A legegyszerűbb megoldás, hogy a filamentet hagyjuk a saját súlya alatt húzódni. Azáltal, hogy mennyit engedjük esni a filamentet mielőtt tekerceseljük szabályozhatjuk, hogy mekkora erő hat rá.



47. ábra Gravitációs húzórendszer sematikus ábrája

Előnyei:

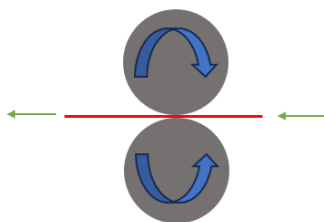
- **Egyszerű és olcsó:** nem igényel gyakorlatilag semmilyen plusz elemet ennek a megvalósítása.

Hátránya:

- **Gyengén szabályozható.** A húzó erő inkább tapasztalati úton határozható meg.
- **Állandóság nem garantálható.**
- **Korlátozza a konstrukciót:** csak vertikális elhelyezésű gyártásnál lehetséges és csak áramoltatott levegő hűtése mellett.

2. Megoldás: Vezetés

A kész filamentet egy megforgatott görgőpár segítségével húzzuk. A görgők felülete kellően érdes annak érdekében, hogy megmarkolják a szálát, de nem annyira, hogy kárt tegyenek benne.



48. ábra Vezetéses húzórendszer sematikus ábrája

Előnye:

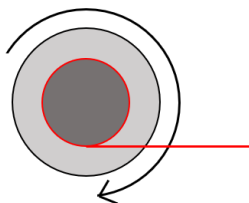
- Könnyen szabályozható: a görgőpár forgási sebességével egyidejűleg szabályozzuk a húzási sebességet is, ami megbízható és állandó erővel hat.
- Nyitott konstrukciós lehetőség: lineáris és vertikális elrendezésben is használható.

Hátránya:

- Költségesebb a többi megoldáshoz képest.

3. Megoldás: Húzás tekerccseléssel

A végterméket egy tekercsre fogjuk feltekercselni, amit ehhez forgatni kell. A forgásból származó erőt felhasználhatjuk, hogy húzóerőként szolgáljon a filament számára.



49. ábra Tekercseléses húzórendszer sematikus ábrája

Előnye:

- Kevesebb alkatrész, könnyeb konstrukció.

Hátránya:

- A még nem kalibrált filamentet is fel kell tekerni, vagyis már első körben egy selejtes tekerccsel kezdünk.
- Mivel a tekerccselő biztosítja az erőt, amíg tekerccsváltás történik a gyártás megszakad.

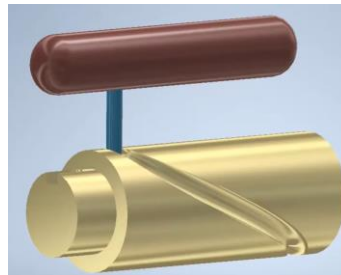
7.1.8. TEKERCSELÉS

A tekerccselés során egy forgó tekercsre kell a filamentet úgy feltekerni, hogy az egyenletesen legyen elosztva. A cél, hogy olyan megoldásokat keressek, amely képes az egy vonalban

érkező filamentet a tekercs szélességében homogénan szétosztani. A tekerceselési sebesség azal együtt csökken, ahogy a tekercs egyre megtelik, így a tekerceselő sebességének jól szabályozhatónak kell lennie. Erre a feladatra egy léptetőmotor kiváló lehetőséget ad, azonban a forgó mozgás nem megfelelő a feladatra, így olyan mechanizmusokat kerestem, amelyek ezt a problémát orvosolják.

1. Megoldás: Henger bütykös mechanizmus

A bütyök egy vezérpályát tartalmazó hengeres tárgy, amely egy követőre nyomódik, lineáris mozgást okozva. Ahogy a bütyök forog, a követő a bütyök alakjára reagálva mozog, lineáris elmozdulást vagy mozgást generálva. Sematikus ábrája a következő képen látható.



50. ábra Henger bütykös mechanizmus sematikus ábrája

Előnyök:

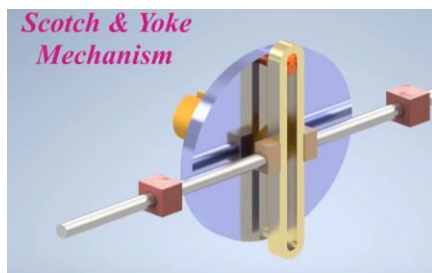
- Pontos mozgásvezérlés: A bütyökprofil alakításával pontos és megismételhető mozgásvezérlést biztosít.
- Sima és folyamatos mozgás: A generált mozgás sima és folyamatos lehet.
- Kompakt kialakítás: A bütykös mechanizmusok viszonylag kompaktnak lehetnek, így alkalmasak a korlátozott helyigényű alkalmazásokhoz.

Hátrányok:

- Korlátozott sokoldalúság: A bütyökprofil rögzített, így kevésbé alkalmazkodik a mozgásigények változásaihoz.
- Korlátozott sebességszabályozás: Nem feltétlenül alkalmas nagy sebességű alkalmazásokhoz.
- Bonyolult kialakítás: A bütyökprofilok tervezése összetett lehet, és speciális tudást igényelhet.

2. Megoldás: Kulisszás mechanizmus

A kulisszás egy olyan mechanizmus, amely egy kör alakú korongot használ egy horony-nal és egy oda-vissza mozgó rúddal, amely a horonyhoz csatlakozik. Ahogy az forgattyútarcsa forog, lineáris mozgást ad a rúdnak. A következő képen látható a sematikus ábrája.



51. ábra Kulisszás mechanizmus sematikus ábrája

Előnyök:

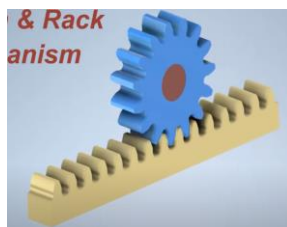
- Egyszerű és robusztus: A kulisszás mechanizmus egyszerű és megbízható kialakítás.
- Nagy erőátvitel: Nagy erők hatékony átvitelére képes.
- Alkalmas a reciprokáló mozgáshoz: Általában olyan alkalmazásokhoz használják, amelyekben előre-hátra lineáris mozgásra van szükség.

Hátrányok:

- Korlátozott sebességszabályozás: Nem feltétlenül ideális nagy sebességű alkalmazásokhoz.
- Mechanikai kopás: Az igáskar csúszó mozgása kopáshoz és karbantartási problémákhoz vezethet.

3. Megoldás: Fogaskerék és fogasléc mechanizmus

Ebben a mechanizmusban egy fogaskerék egy forgó tengelyhez csatlakozik, és egy fogasléchez kapcsolódik. Amikor a fogaskerék forog, a fogaslécet lineáris mozgásra készíti. A szerkezet sematikus ábrája a következő képen látható.



52. ábra Fogaskerék és fogasléc mechanizmus sematikus ábrája

Előnyök:

- Nagy pontosság: A fogaskerék- és fogasléces mechanizmus nagy pontosságot és precizitást biztosít a lineáris mozgásban.
- Sima mozgás: Sima és folyamatos mozgást biztosít.
- Könnyen vezérelhető: Viszonylag könnyen vezérelhető, és alkalmas nagy sebességű alkalmazásokhoz.

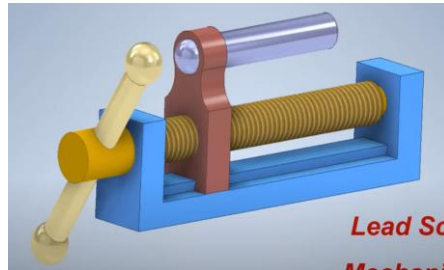
Hátrányok:

- Hátszélre hajlamos: A holtjáték egyes megvalósításoknál problémát jelenthet, ami befolyásolja a pontosságot.

- Kenés és karbantartás: Rendszeres kenést és karbantartást igényelhet a kopás megelőzése és a zavartalan működés biztosítása érdekében.

4. Megoldás: Vezetőcsavaros mechanizmus

A csavar egy menetes tengelyből és egy anyából áll. A csavar forgatásakor lineáris mozgás jön létre, mivel az anya a menetes tengely mentén mozog. A következő képen látható a sematikus ábrája.



53. ábra Vezetőcsavaros mechanizmus sematikus ábrája

Előnyök:

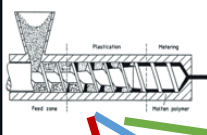
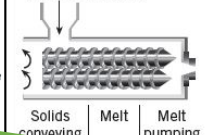

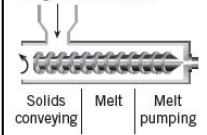
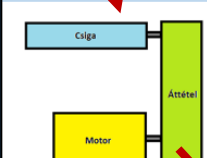

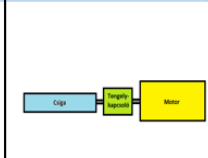
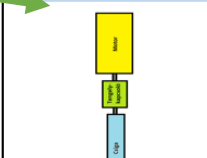
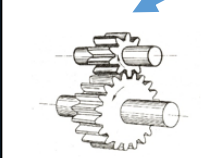
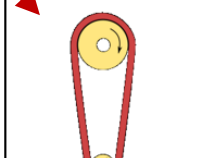
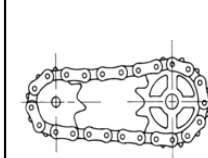
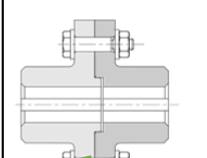


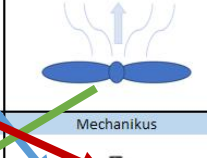
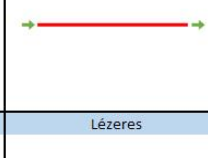



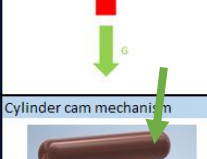
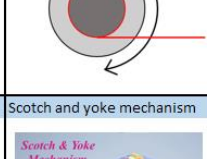
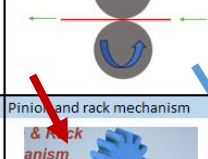




- Nagy pontosság: Az vezetőcsavarok a lineáris mozgásvezérlésben a pontosságukról ismertek.
- Nagy teherbírás: Nagy terhelést képesek kezelni, így alkalmasak nagy igénybevételű alkalmazásokhoz.
- Önbiztosítás: A hajtócsavarok további fékező mechanizmusok nélkül képesek megtartani a pozíciójukat.

Hátrányok:

- Korlátozott sebesség: Más mechanizmusokhoz képest általában lassabbak.
- Hatékonyság: Az ólomcsavaros mechanizmusok hatékonysága alacsonyabb lehet más lineáris mozgásmechanizmusokhoz, például a golyócsavarokhoz képest.

7.2. Megoldási lehetőségek kombinálása

Az előzőekben bemutattam az extruder rendszer egyes funkcióinak milyen megoldási lehetőségei vannak. Ezeket a VII. táblázatban foglaltam össze, melynek segítségével több, a célt megvalósítani képes koncepciót hoztam létre.

Főfunkció	megoldás1.	megoldás2.	megoldás3.	megoldás4.
Csiga	3 zónás Single 	Twin Twin Screw Extruder  Solids conveying Melt Melt pumping	Auger 	Egy zónás Single Single Screw Extruder  Solids conveying Melt Melt pumping
Motor elhelyezés	Újnak 	Lalak 	linearis 	Vertikális 
Áttétel	Fogaskerék 	Szj 	lánc 	Tengelykapcsoló 
Nozzel	Standard Nozzle 			
Hűtés	víz tartály 	frakcionált levegő 	Nincs 	
Mérés	Elektronikus 	Mechanikus 	Lézeres 	
Húzó rendszer	Gravitáció 	Húzás és tekerés 	Vezetés 	
Tekerés	Cylinder cam mechanism 	Scotch and yoke mechanism 	Pinion and rack mechanism 	Lead screw mechanism 

VII. táblázat Extruder rendszer morfológiai mátrixa

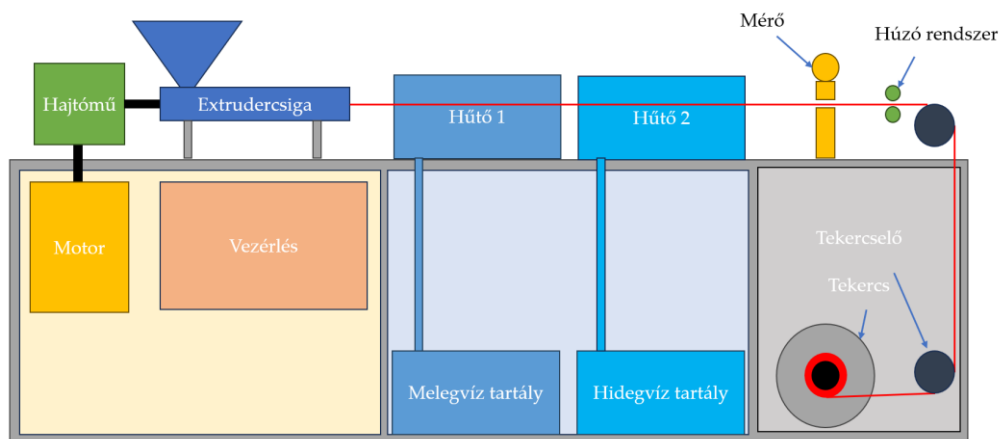
7.3. Extruder rendszer koncepció képzés

Ebben a fejezetben a morfológiai mátrix alapján összeállított koncepciókat mutatom be. Három koncepciót dolgoztam ki. Minden fő funkcióból egy megoldást választottam és kombináltam a többi fő funkció leginkább illeszkedő megoldásaival. Az egyes koncepciókat a színes nyilakat követve lehet áttekinteni.

Az összes megoldás opcióra jellemző, hogy háromfázisú egycsigás extrúdercsigát alkalmazunk, köszönhetően annak, hogy jó minőségű végterméket képes előállítani, változatos anyagokból. Ezen felül az összes konstrukció rendelkezik a vezetékes húzó rendszerrel, mert ez egy egyszerűen megvalósítható, rugalmasan használható és vezérelhető egység, amely tökéletesen látja el a feladatát.

7.3.1. AZ ELSŐ KONCEPCIÓ

Az első koncepciót a kék nyilakat követve kaptam meg.



54. ábra Extruder rendszer első koncepció megoldásának sematikus ábrája

A fogaskerekes megoldás során a csiga hajtását egy hajtóművel csatlakoztatott motor végzi. A darált és szárított hulladékot egy tölcseren keresztül töltjük a csiga behúzási zónájába, az extruderre merőlegesen. A megolvadt műanyagot több különböző hőmérsékletű vizes tartályon keresztül húzzuk, az egyenletes lehűlés érdekében. A tartályokban a vizet folyamatosan hűn tartjuk és szivattyú segítségével áramoltatjuk. A végső alakját elért terméket egy digitális mérőórával felszerelt rendszerrel ellenőrizzük, amely az adatokat egy számítógépbe táplálja, ami a filamenthúzó motor sebességét szabályozza. Ezt követően a filamentet tekercseljük, ahol a filament egyenletes elosztásáért egy vezetőorsós megoldás a felelős.

Előnye:

- A fogaskerekekkel felszerelt hajtómű nagy erőátvitelre is képes, ami lehetővé teszi a koncepciót nagy mennyiségű filament gyártására.

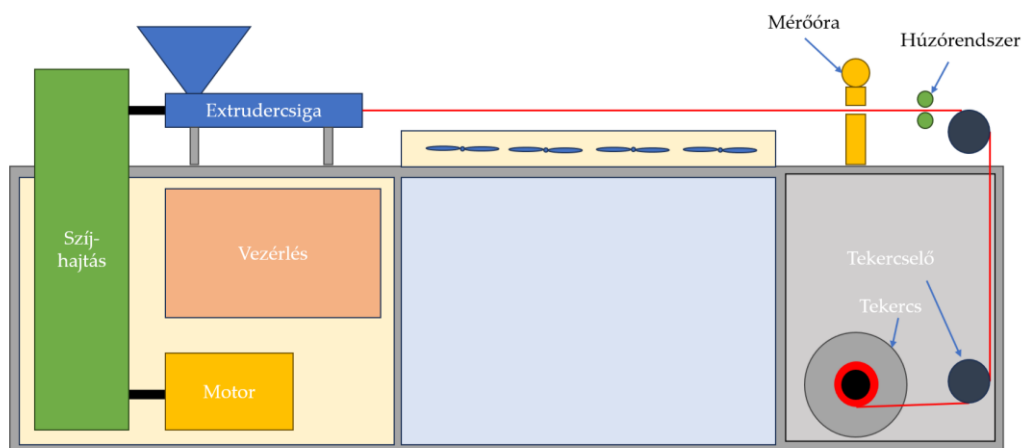
- A többlépcsős hűtésnek és húzórendszernek köszönhetően jól kontrolálható a filament átmérője és minősége.
- Halk üzemelés.

Hátránya:

- A koncepciók közül ez a legkomplexebb és legdrágább megoldás.

7.3.2. A MÁSODIK KONCEPCIÓ

A második koncepciót a morfológiai mátrixban a piros útvonal követésével kapjuk meg.



55. ábra Extruder rendszer második koncepció megoldásának sematikus ábrája

A csiga hajtását egy szíjhajtáson keresztül megvalósított áttétel biztosítja. Az alapanyag táplálása az előző megoldáshoz hasonlóan történik, mint ahogy a filament húzórendszer is meg-
egyezik. Az extruderből távozó forró műanyag lehűtése ventilátorok segítségével történik, ami-
nek a végén a teljesen megszilárdult filamentet egy digitális mérőóra segítségével ellenőrizzük
a méretét, majd tekercseljük a kész terméket, egy henger bütykös mechanizmus segítségével.

Előnye:

- Közepes termelékenység hozható létre közepes ár mellett.
- A szíjhajtás több helyet foglal el, mint a fogaskerék-hajtómű, de olcsóbb és az adott ter-
heléseket ugyanúgy át tudja vinni.
- A szerkezet egyik legdrágább eleme az extruder csiga, amely védve van ennek a megol-
dásnak köszönhetően műanyag elakadás esetén.

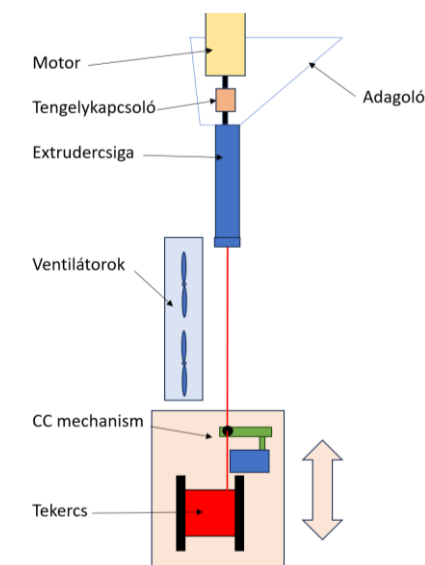
Hátránya:

- A léghűtés bár kedvező, hogy kisebb terhelési sokkot okoz a műanyagnak, kevésbé kont-
rolálható, mint a vízhűtés.

7.3.3. A HARMADIK KONCEPCIÓ

A harmadik koncepciót a zöld nyilakat követve kapjuk meg, ez a vertikális elrendezésű
megoldás. Különlegessége a többi megoldáshoz képest, ahogyan neve is mutatja, hogy az

extrudercsiga vertikálisan van elhelyezve, a többi horizontális megoldástól eltérően. Ez azonban utat ad pár olyan megoldásnak, amelyekre az előzőeknél nem volt lehetőség.



56. ábra Extruder rendszer harmadik koncepció megoldásának sematikus ábrája

Eltérően az előző két koncepciótól, a csigába való műanyag adagolás nem a behúzási zóna közepében arra merőlegesen, hanem a csiga kezdeténél történik azzal párhuzamosan. Ennek köszönhetően a műanyag és a csigát hajtó motor egymástól elkülönítve, de egy térben helyezkednek el. Az elrendezésnek köszönhetően az extruderből távozó filament alakját megőrizve és a saját súlyánál fogva fog nyúlik. Melynek során, ventilátorokkal mozgatott levegőáramlatban hűl. A nyúlás az szabályozza, hogy mikor fogjuk meddig engedjük esni a filamentet. Az esés végén a tekerceselést egy Henger bütykös mechanizmus végez, amely egy nagyon egyszerű kialakítás, viszont a hajtómotor egyirányú forgatásával is elérhető a két irányú lineáris mozgás. Végül a végterméket egy forgó tekercsre tekerjük.

Előnye:

- A koncepció legnagyobb előnye az árban van, a felhasznált megoldások hatékonyak, de olcsó opciók a többihez képest, emellett a helyigénye is jóval alacsonyabb.
- Egyéni felhasználásra tökéletes koncepció, viszont hátrányai is vannak.
- Még olcsóbb lehet a megoldás, ha a csiga nem 3 zónás, hanem egy sima fafűró, nagy menetemelkedéssel.

Hátrányok:

- Az etetőzóna és a motor interakciójának köszönhetően csak kisméretű motor jöhet szóba, ami korlátozza a kiviteli sebességet.
- A ventilátoros hűtés viszonylag zajos és kevésbé szabályozható, mint a vízhűtés.
- A henger bütykös mechanizmus mozgási sebessége nem teljesen egyenletes így a tekerceselés bár használható, nem lehet tökéletes.

8. KONCEPCIÓK KIÉRTÉKELÉSE

Bemutattam az elkészült koncepciókat, előnyeikkel és hátrányaikkal egyaránt, a következőkben számszerű értékelést fogok alkalmazni annak érdekében, hogy a legideálisabb koncepciót válasszam ki.

A számbeli kiértékelés módja a következő. Minden koncepciót egy egytől-ötig terjedő skálán értékelek, minden szempont szerint, ahol az egy a legrosszabb és az öt a legjobb értéket jelenti. A pontokhoz tartozó értéket a VIII. táblázat és a X. táblázat mutatja. Az egyes szempontok súlyozási tényezőt kapnak egytől tízig, annak függvényében, hogy a szempont mennyire lényeges a többihez képest. A végső értékelésben az egyes szempontokra kapott értékeket összeszorzom a szemponthoz tartozó súlyozás értékkel, majd összesítem a pontokat. A legtöbb pontot elérő konstrukció kerül megvalósításra.

Meghatároztam a cég elvárásainak megfelelő követelményeket, aminek a gépeknek ideális esetben meg kell felelnie.

	1	2	3	4	5
Termelékenység	Alig teljesíti a követelményeket	Kevés tartalék van	Teljesíti a követelményeket	Kellő tartalék van	Akár nagyobb teljesítményre is képes lenne
Költség	Nagyon drága	Drága	Megfizethető	Olcsó	Nagyon olcsó
Bonyolultság	Bonyolult		Közepes bonyolultság		Egyszerű
Integrálhatóság	Egyféleképpen integrálható	Nehezen integrálható	Integrálható	Könnyen integrálható	Sokféle képpen és egyszerűen integrálható
Végtermék minősége	Éppen megfelelő végtermék	Változó végtermék		Jól szabályozható végtermék	Kiváló végtermék

VIII. táblázat Előkészítő szakasz követelményeinek pontozási rendszere

- Termelékenység: Olyan koncepciót keresünk, amely képes az előírt teljesítményt elérni, illetve ideális esetben a koncepció lehetőséget ad a tovább fejlesztésre.
- Költség: A projekt céljai között van, hogy a piacon kapható megoldásokkal versenyképes gép jöjjön létre.
- Bonyolultság: A gyártósor ideális esetben egyszerű legyen, minél kevesebb külön egységből álljon, a könnyebb automatizálás érdekében.
- Integrálhatóság: Az előkészítési szakasznak kompatibilisnek kell lennie az alapanyag betáplálásra szolgáló- és az extruder rendszerrel.
- Végtermék minősége: Az extruderbe csak az előírtaknak megfelelő méretű és nedvességtartalmú alapanyag kerülhet, ennek biztosítása kulcsfontosságú.

Az egyes követelményekhez fontosságuk szerint súlyozási tényezőt rendeltem.

Szempont	Súlyozás
Termelékenység	6
Költség	7
Bonyolultság	6
Integrálhatóság	8
Végtermék minősége	10

IX. táblázat Értékelési szempontok súlyozási értékei

8.1. Előkészítési szakasz kiértékelése

Az előzőeket figyelembe véve végeztem el a koncepciók rangsorolását, melyet a táblázatban foglaltam össze.

Szempont	Forró levegő	Mikrohull.	Súlyozás	Forró levegő	Mikrohull.
Termelékenység	4	5	6	24	30
Költség	4	2	7	28	14
Bonyolultság	5	3	8	40	24
Integrálhatóság	4	4	9	36	36
Végtermék minősége	5	4	10	50	40
Összeg	22	18		178	144
Sorrend súlyozás nélkül	1	2			
Sorrend súlyozással				1	2

X. táblázat Előkészítési szakasz koncepciók pontozása

Az értékelés alapján a forrólevegős megoldás bizonyult megfelelőbbnek, így ezzel a koncepcióval haladok tovább.

8.2. Extrudáló rendszer kiértékelése

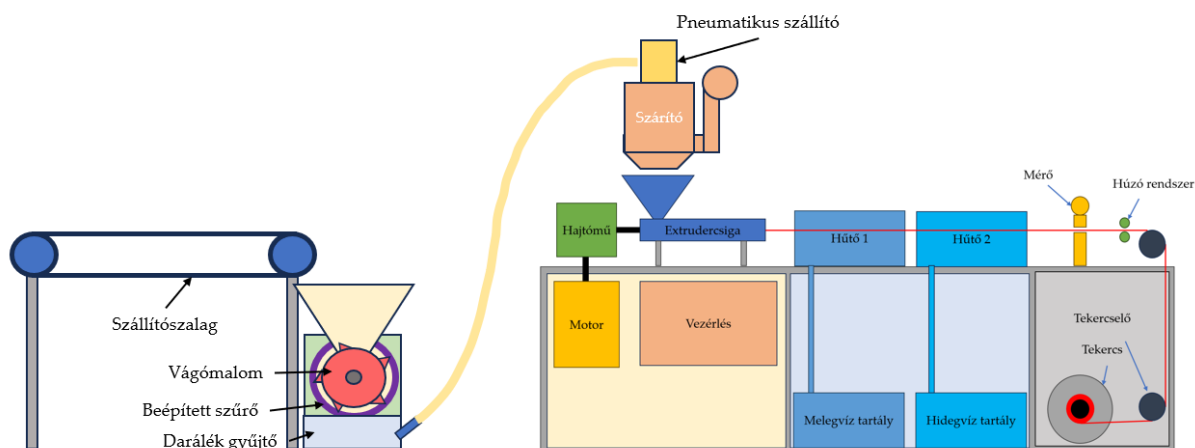
Az előzőeket figyelembe véve végeztem el a koncepciók rangsorolását, amelyet a XI. táblázatban foglaltam össze.

Szempont	Színhajtás	Víz tank	Vertikális	Súlyozás	Színhajtás	Víz tank	Vertikális
Teljesítmény	4	5	3	6	24	30	18
Költség	3	2	4	7	21	14	28
Méret és súly	3	4	5	6	18	24	30
Integrálhatóság	4	4	2	9	36	36	18
Végtermék minősége	4	5	2	10	40	50	20
Összeg	18	20	16		139	154	114
Sorrend súlyozás nélkül	2	1	3				
Sorrend súlyozással					2	1	3

XI. táblázat Extrudáló rendszer koncepciók pontozása

Az értékelés eredményeképpen megkaptam, hogy a víztartályos megoldás a legcélszerűbb választás.

A koncepciók összehasonlításának eredményeképpen megkaptam, hogy az előkészítési szakaszt a forrólevegős megoldással végezzük, az extrudálási szakaszt pedig a víztankos megoldással. A két egység a forrólevegős szárítónak köszönhetően, közvetlenül összekapcsolható, ugyanis a szárító szárítás után adagolóként tud funkcionálni az extruder számára. Ennek megvalósítását a 57. ábra mutatja.



57. ábra A gyártósor teljes sematikus ábrája

A gyártósor egyes elemeit kereskedelmi tételekből választom, míg a többit tervezem. A szállítószalag, a daráló, a pneumatikus szállító és a forrólevegős szárító nagyon elterjedt eszközök, különböző méretben és teljesítményben is elérhetőek, azonban az extrudáló rendszerrel szemben állított követelmények nagyon specifikusak, így ennek megtervezése célszerű. Ezen felül tervezésre kerül egy váz, amely az egész gyártósort magában foglalja és annak alapját képezi.

Egység	Kereskedelmi tétel / Tervezés
Szállító szalag	Kereskedelmi tétel
Daráló	Kereskedelmi tétel
Pneumatikus szállító	Kereskedelmi tétel
Forrólevegős szárító	Kereskedelmi tétel
Extruder	Tervezés
Hűtés rendszer	Tervezés
Mérő rendszer	Kereskedelmi tétel
Húzó rendszer	Tervezés
Tekercselés	Tervezés

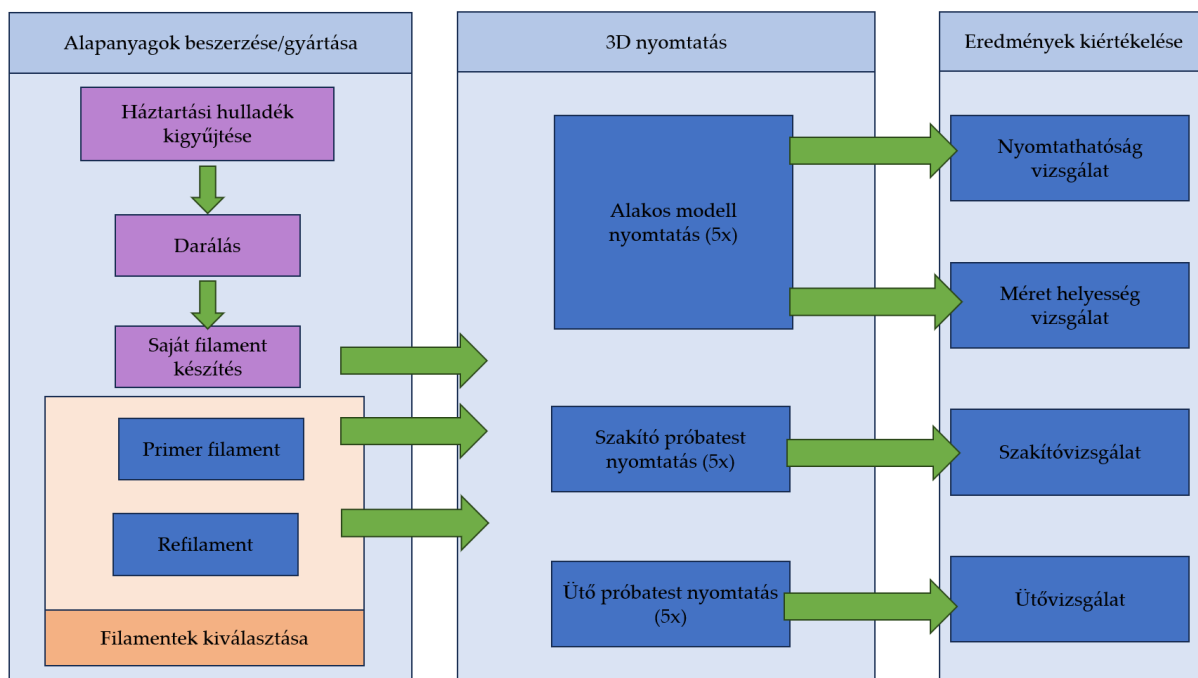
XII. táblázat Gyártósor egységeinek tervezése vagy beszerzése

9. KISÉRLETI TERV

A kísérletek célja a többféle módon előállított, ugyanazon alapanyagból 3D nyomtatott tesztarabok és termékek összevetése. Ezen felül még a többszörös újrahasznosítás hatásának vizsgálata.

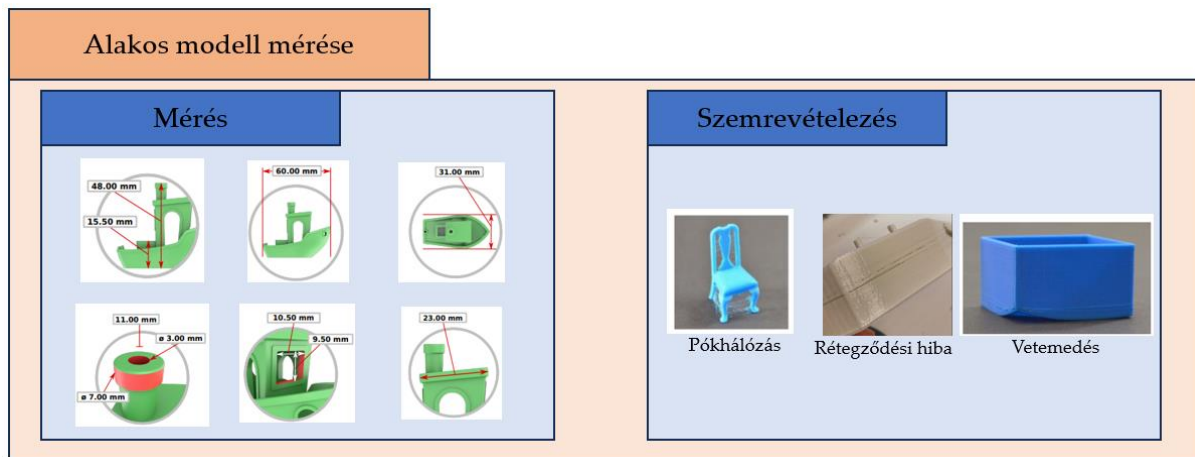
9.1. A 3-as teszt

A 3-as teszt kísérlet során, egy kiválasztott polimer anyagból filament prezentálása három formában: primer filament, ami elsőre felhasznált polimert jelent, refilament, ami a forgalomban kapható újrahasznosított műanyagból készült filament, és általunk gyártott filament, aminek alapanyaga a háztartási hulladékok. Mindezekkel próbatestek 3D nyomtatása majd tesztelése és bonyolultabb 3D-alak nyomtatása majd értékelése és összevetése. A kísérletet több újrahasznosításra alkalmas anyaggal is elvégezzük. A legjobban szereplő anyaggal elvégezzük a reciklálás tesztet.



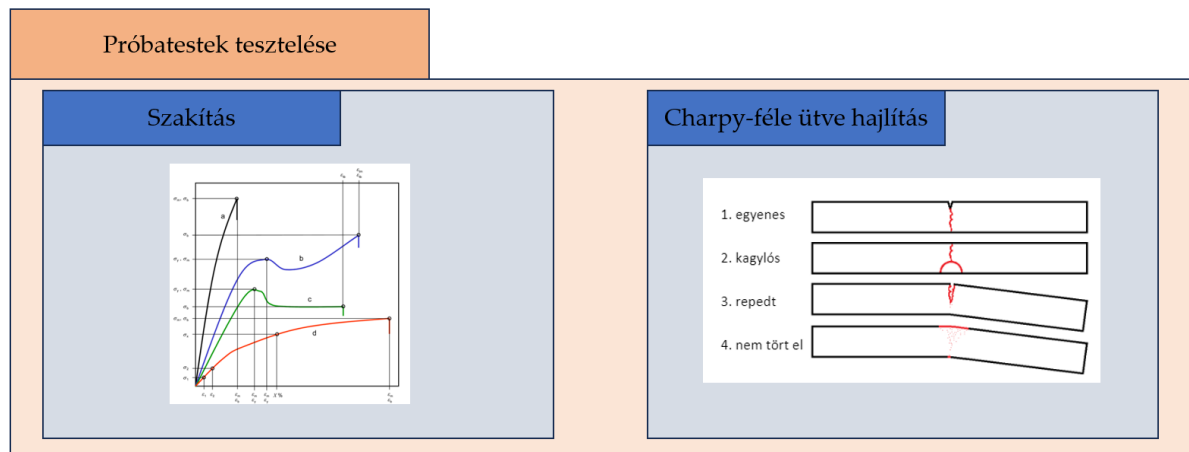
58. ábra A 3-as teszt folyamatának sematikus ábrája

Az eredmények kiértékelését a 59. ábra és a 60. ábra mutatja. A különböző filamentek összehasonlítását számszerűen végezzük. A nyomtatott alakos modell méreteit összevetjük a névleges méretekkel, az attól való eltérés függvényében egy szám értéket rendelünk hozzá. A szemrevételezés során a hibák meglétével és súlyosságával arányosan pontot határozunk meg.



59. ábra Az alakos modell kiértékelésének szempontjai

Ezt követően az elvégzett szakító és ütőmunka eredményei alapján kialakult sorrendből pontot rendelünk az egyes anyagokhoz. A pontok összegzésével megkapjuk az anyagok megfelelésségének sorrendjét.

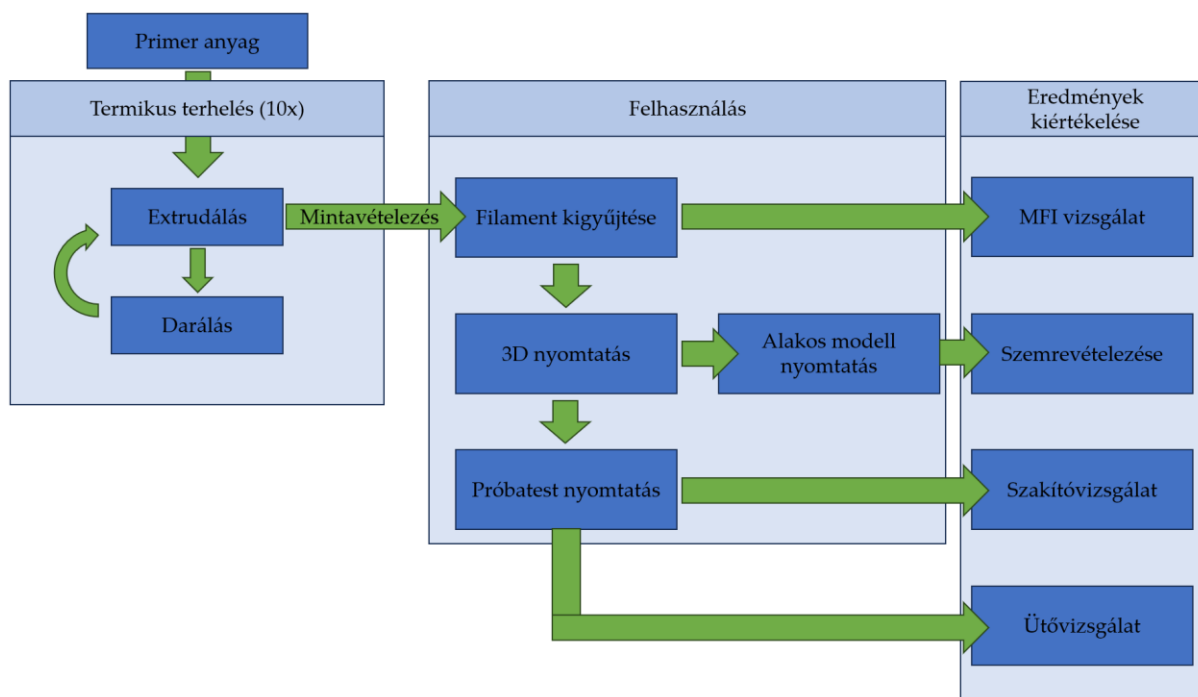


60. ábra A próbatetek eredményeinek értékelése

9.2. A reciklálási teszt

A *reciklálási* teszt során a primer anyagot termikus terhelésnek tesszük ki, ez azt jelenti, hogy megolvasztjuk a műanyagot, majd extrudálással filamentet készítünk belőle. Az így kapott filamentet újra feldolgozzuk, amely ennek aprítását és újbóli extrudálását jelenti. Ezzel azt érzük el, hogy a folyamatos hőközlés és mechanikus igénybevételeknek köszönhetően a polimer molekulái töredeznek, ami a végtermék minőségét rontja, ezzel szimulálva az újrahasznosításból származó elhasználódást. Tíz alkalommal ismétljük meg a folyamatot miközben az első, negyedik, hetedik és tizedik körből félreteszünk a filamentből, hogy további vizsgálatokat végezzünk.

A négy minta filamentet először MFI vizsgálatnak vetjük alá, ami a hőre lágyuló polimerek ömledékek folyási tulajdonságainak, reológiai viselkedésének megismeréséül szolgál. Majd 3D nyomtatást végzünk a filamentekkel. Először egy olyan alakos modellt nyomtatunk ki, amely kellő geometriai bonyolultsággal rendelkezik ahhoz, hogy képet kapjunk a filament gyakorlati alkalmazási lehetőségeiről, majd próbatesteket nyomtatunk az elkövetkező ütő és szakító vizsgálatokhoz.



61. ábra A reciklálás teszt folyamatának sematikus ábrája

A gyártósor célja, hogy műszaki alkalmazásra felhasználható filamentet gyártson, így fontos, hogy az újrahasznosított műanyag mechanikai tulajdonságai csak kis mértékben csökkenjenek, ennek ellenőrzéseképpen a próbatesteket szakítás és ütés vizsgálatokkal tesztelünk.

A kísérlettől elvárt eredmény, hogy választ kapjunk arra, hogy az újrahasznosított filament megfelelő mechanikai és kémia tulajdonságokkal rendelkezik-e ahhoz, hogy műszaki felhasználásra kerüljön, illetve, hogy meghatározzuk az vizsgált polimerek újrahasználhatóságának számát.

A kísérletek a TDK beadási idejéig még nem valósult meg, így jelen dolgozatnak nem része az eredmények tárgyalása, viszont a készülő diplomatervnek már fontos részét fogja képezni.

10. ÖSSZEFOGLALÁS, KONKLÚZIÓK

Célom egy olyan gyártósor tervezése volt, amely hulladék műanyagból állít elő 3D nyomtatás alapanyagául szolgáló terméket.

Az irodalomkutatás során megvizsgáltam a műanyagfelhasználást, az újrahasznosítást és a 3D nyomtatók típusait. Megkerestem ezen témáknak a metszetét, majd megállapítottam, hogy az újrahasznosítás szempontjából a FDM típusú nyomtatók kínálják a legjobb lehetőséget, tekintve, hogy sokféle, más területeken is gyakran használt alapanyagokból is képesek dolgozni.

A gyártósort két fő egységre bontottam. Az első egység a hulladék előkészítésért felelős, melynek bemenete a hulladék műanyag és kimenete az extrudálásra alkalmas előgyártmány. A második szakasz az előkészített anyag felhasználva állít elő filamentet.

Az újrahasznosítás területén végzett irodalomkutatás alapján meghatároztam, hogy milyen berendezésekre van és milyen berendezésekre nincs szükség, illetve, hogy milyen funkciókat kell ellátnia a gyártósornak a kívánt termék megvalósítása érdekében. Az egyes funkciókra elvi megoldásokat kerestem, amelyekből a Zwicky-féle morfológiai mátrix segítségével lehetséges koncepciókat hoztam létre. A könnyebb nyomon követhetőség és kombinálhatóság érdekében az előkészítési és az extrudálási szakaszt külön kezeltem.

Meghatároztam a gyártósorral szemben állított követelményeket, amelyek alapján egy súlyozott pontozási rendszer segítségével kiválasztottam a feladat szempontjából legoptimálisabb megoldást. Végül a két szakaszt egyesítettem, így elkészült az újrahasznosító gyártósor végső megoldási koncepciója.

A következőkben, a diplomatervem során szeretném a gyártósor tervezését teljesen megvalósítani, a szükséges gépeket kiválasztani vagy megtervezni, majd integrálni azokat. Kísérleteket is szeretnék végezni annak érdekében, hogy megvizsgáljam, hogy a háztartási hulladékok milyen minőségű filament gyártható és azokból milyen 3D-nyomtatott termékeket lehet előállítani.

11. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] https://hu.wikipedia.org/wiki/3D_nyomtat%C3%B3
- [2] <https://www.cnc.hu/2020/05/minden-amit-a-3d-nyomtatásról-tudni-kell/>
- [3] Ronkay F. - Dobrovsky K. - Toldy A.: Műanyagok újrahasznosítása, Printer Kiadó, Budapest, 2014
- [4] <https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%9Aújrahasznos%C3%ADt%C3%A1s>
- [5] <https://brancskozosseg.hu/technologia-innovacio/refilamer-a-zold-3d-nyomtatásért>
- [6] <https://www.3devo.com/filament-makers>
- [7] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Hidrol%C3%ADzis>
- [8] <https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2015/01/muanyag-alapanyagok-szaritasa-09.pdf>
- [9] Nicholas P. Chironis: Mechanisms & mechanical devices source-book, McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.
- [10] G. Pahl - W. Beitz: A gépvezetés elmélete és gyakorlata, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [11] Karlheinz Roth: Tervezés katalógussal, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988.
- [12] Buzás L. Mechanizmusok elmélete, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [13] Dr. Gotthard Viktor: Moduláris felépítésű gyártósorok tervezésének elmélete és gyakorlata, PhD értekezés BME, Budapest, 2002
- [14] Hervay P. Gyártórendszerek a gépészetben, Skandi-Wald Kiadó, Budapest, 2003
- [15] Dr. Terplán Z. Mechanizmusok, Tankönyvkiadó, Budapest, 1962.