



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Mérnöki,

Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

DIPLOMAMUNKA

PET-palack újrahasznosító, filamentgyártó gép tervezése 3D nyomtatókhöz

OE-AMK

2024

Hallgató neve: Farkas Bence

Hallgató törzskönyvi száma: T000308/FI12904/A-M



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

2

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Mérnöki Intézet

DIPLOMAMUNKA FELADATLAP

Hallgató neve: Farkas Bence

Diplomamunka száma: SZD2402121242566592

Törzskönyvi száma: T001453/FI12904/A-M

Neptun kódja:

Szak: mechatronikai mérnöki

Specializáció:

A dolgozat címe: PET-palack újrahasznosító, filamentgyártó gép tervezése 3D nyomtatókhöz

A dolgozat címe angolul: Designing of PET Bottle Recycler, Filament Production Machine for 3D Printers

A feladat részletezése:

A 21. század talán legnagyobb kihívása a környezetszennyezés, amire a technológia elővasai mára már nagy erőforrásokat különítenek el, hogy találmányaik ökológiai lábnyoma minél kisebb legyen, ez ugyanis hosszútávon kihatással van a szeretteik életére is. Az eddig megtermelt szemét újrahasznosításának, feldolgozásának fontossága is egyre inkább teret nyer a tudományos közbeszédben, ugyanis erre egyre égetőbb szüksége van az emberiségnek, hogy ne fojtassa bele magát a saját hulladékába. Az egyik ilyen nehezen újrahasznosítható anyag a műanyag, amit használatuk után nem, vagy csak nehezen tudunk újrahasznosítani.

A technológia fejlődésével létrejött a 3D nyomtatás, ami sok új kaput nyitott meg a tervezés és gyártás területén. Polgári felhasználásban ezekkel készíthetünk magunknak különböző műanyag tárgyakat, amiket mi tervezünk meg. Az ehhez használt filament anyag viszont általánosságban véve drága, és műanyaggal terhelni egy így is az összeomlás szélén álló ökoszisztémát nem a legoptimálisabb felhasználás.

Azonban, ha lenne egy olyan gépünk, amely képes műanyagot újrahasznosítva filamentet gyártani, azzal két legyet üthetünk egy csapásra: a kidobásra szánt műanyagot újrahasznosíthatjuk, és felhasználhatjuk a termékeink gyártásához.

A diplomamunkában egy PET-palack újrahasznosító gépet kell terveznie a hallgatónak, ami a műanyag palackokat a 3D nyomtatásban használt filamentté alakítja.

Intézményi konzulens neve: Dr. Udvardy Péter

A kiadott téma elévülési határideje: 2026. 07. 10.

Beadási határidő: 2024. 05. 15.

A diplomamunka: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2024. 03. 20.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2024. 05. 15.

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Mérnöki,
Természettudományi és Szoftvertechnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Székesfehérvár, (hely), 2024.05.08. (dátum)

Farm Ben

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	6
1. BEVEZETÉS	6
2. KÉMIA	9
2.1. Történeti áttekintés	9
2.2. Összetett anyagok	10
2.3. Műanyagok	11
2.4. A műanyagok kémiája	13
2.5. A műanyagok csoportosítása	15
2.6. A PET, mint műanyag, és annak gyártása	17
2.7. Környezeti gondok a PET-használat körül	19
3. A GYÁRTÁS ÉS A GYÁRAK	20
3.1. A gyártás története	20
3.2. Az iparosodás kora.....	21
3.3. A modern gyárak létrejötte	22
3.4. A sorozatgyártás kora	23
3.5. Összegzés.....	26
3.6. A műanyagok káros hatásai, röviden.....	27
3.7. Gondolatok a környezetvédelem és a diplomamunka mérnöki témájának közös metszetén	28
4. KÖRNYEZETTUDATOSSÁG.....	29
4.1. A természetvédelemről röviden.....	29
4.2. Környezetkárosítás- és védelem a kommunizmus alatt.....	31
4.3. Környezetkárosítás- és védelem a nyugati országokban	32
4.4. A fent leírtak összegzése.....	35
4.5. A gyökérok feltárása.....	35
5. GAZDASÁG ÉS POLITIKA	37
5.1. A műanyagok környezeti terhelése a jelenlegi gazdasági rendszerben	37
5.2. Gyárak, vállalkozások, és a szabadpiac összefüggései.....	38
5.3. Vadkapitalista érvek és ellenérvek	40
5.4. A kapitalizmus kritikája a politikai baloldaltól	40
5.5. Technokrácia, mint legújabb céges vallás	42
5.6. Összegzés, következtetés	42
6. IRODALOMKUTATÁS: A 3D NYOMTATÁS	44
6.1. A 3D nyomtatás technológiájának létrejötte.....	45
6.2. 3D nyomtatási típusok	46
6.3. A 3D nyomtatás folyamata	47
6.3. Használt anyagok.....	49
6.4. Az alapanyagok beszerzési lehetőségei	50
6.5. A filamentgyártás irodalma	51

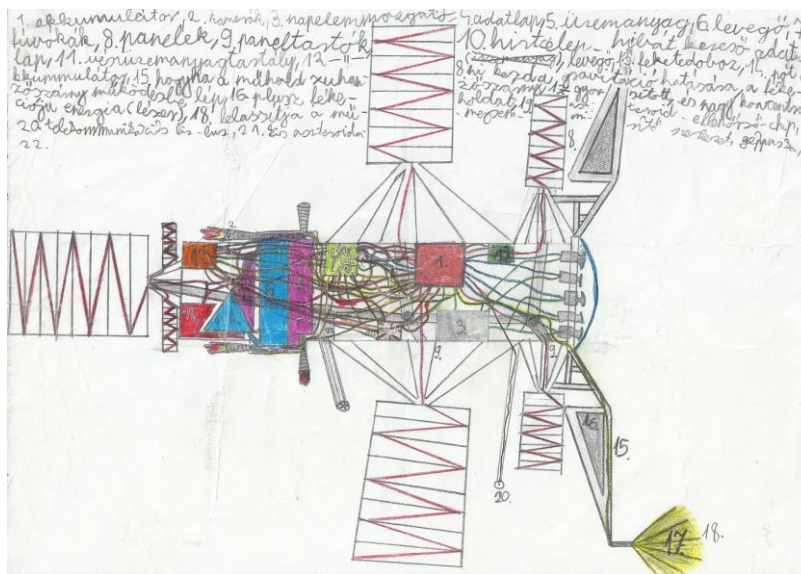
6.6. Filamentgyártás PET-palackból.....	52
6.7. Egyéb PET-filamentgyártó elképzelés.....	53
6.8. Vélemények a legelterjedtebb módszerrel kapcsolatban	54
7. TERVEZÉS	56
7.1. A The Recreator 3D Mk5 Ender 3 rövid bemutatása és leírása.....	56
7.2. A megtérülés változása Walter Reéb felhasználó videója[79] óta	57
7.3. Fejlesztés.....	59
7.4. Az alapanyag rögzítésének módjai	60
7.5. Az alapanyag vágásának/nyírásának módja	63
7.6. Lego-robot motor beiktatása a hajtásokba és annak programozása, alapanyag- tekercs elhelyezése.....	65
7.7. Egyéb fejlesztési-, és megvalósítási ötletek, lehetőségek.....	70
8. ÖSSZEGZÉS	72
8.1. Magyarul	72
8.2. In English.....	73
Köszönetnyilvánítás[87]	76
Ábrajegyzék	77
Felhasznált irodalom és egyéb források.....	79

Absztrakt – A műanyagok és széleskörű használataik megváltoztatták a világunkat, és sorsdöntő lehet, hogy miként kezeljük őket a jövőben. Ma már több technológia is a rendelkezésünkre áll, hogy ezeket újrahasznosítsuk, többek között az is, hogy végtermékként 3D nyomtatóba adagolva makett-, modell-, egyéb szerelvények építésére használjuk. Diplomamunkámban egy ilyen szerkezet tervezésére kerül sor.

1. BEVEZETÉS

Kiskorom óta tartom azt a véleményemet és megállapításomat, hogy azért léptem a gépészet útjára, hogy az általam készített gépek megkönnyítsék a ház körüli munkákat. „Azért jó gépésznek lenni, mert a gépek elvégzik helyetted a munkát.” - efféleképpen gondoltam. Ugyanis mi értelme van valamit órákon keresztül kézi erővel végezni, ha ugyan azt a munkát egy gép sokkal gyorsabban, akár percek alatt is elvégzi, ráadásul pontosabban, és tulajdonképpen a gyártott dolgunk bármikor megismételhető, ugyan azokkal a méretekkel és alakokkal?

Általános iskolás koromban az osztálytársaimmal már metszet-rajzokat készítettünk általunk elképzelt, még nem létező, vagy kevésbé jól megoldott valós gépekről. Emellett mindig is szerettem modellezni és makettezni, ezek miatt végül középiskolai tanulmányaimat már műszaki intézményben végeztem.



1.1.1. kép: Egy, az akkori általános iskolai osztálytársammal készített „tervrajz” egy bolygókutató műholdról.

Már ezek alatt a középiskolai éveim alatt is egyértelművé vált számomra a robotizáció felsőbbrendűsége az operátorok által végzett kézi munkával szemben.



1.1.2. kép: A Székesfehérvári Széchenyi István Két Tanítási nyelvű Szakgimnázium (előtte: Gróf Széchenyi István Műszaki Szakközépiskola). [1]

Szerettem dolgozni az esztergákon, marókon és köszörűkön, de gyorsan világossá vált számomra, hogy amennyiben elsajátítom az úgynevezett G-kódokat, előzetes programozás után jobb, pontosabb terméket tudok gyorsabban legyártani egy számítógépvezérelt, programozható (úgynevezett CNC) esztergán. Ezen állomások robotizálása pedig kiváltja az emberi tényezőt, ami egyszerre drága és pontatlan is, így az ember tehát nem megfelelő a jó gyártáshoz.

BSc-s tanulmányaim alatt előző gondolataim megerősítést nyertek, és így jutottam el ahhoz a gondolathoz, hogy a robotikával kapcsolatban szeretnék dolgozni.

Makettezési szenvedélyem továbbra sem hunyt ki, és tanulmányaim alatt - bár felületesen, de - megismerkedtem a 3D nyomtatással. Felhasználhatóságának sokszínűsége azonnal magához vonzott, és mindenképpen ebben a témakörben szerettem volna a diplomamunkámat elkészíteni.

Ezekkel ellentétben (vagy talán pont ezek miatt) a természetet is nagyon kedvelem. Tisztelem a törvényeit és szeretem a sokszínűségét, és ez mindig arra sarkalt engem, hogy védjem. Továbbá mindig nagy figyelmet fordítottam arra, hogy környezetemet az eredeti állapotában tartsam. Ezek miatt a gondolataim miatt figyelemmel követem a globális éghajlatváltozást, ami nem csak az enyém, de mindannyiunk életére közvetlen kihatással van.

Így jött az az ötlet, hogy a fent említettek ötvözésében egy olyan gépet tervezzek, ami szemétkébe dobható műanyagot alakít át 3D nyomtató által használható filamentté. A diplomamunkában ennek megtervezésére teszek kísérletet.

Az irodalomkutatás során három fő dologra keresek majd válaszokat: a 3D nyomtatás és filamentgyártás mibenlétére, a használt anyagokra és környezetkárosító hatásaira, illetve arra, hogy miért vagyunk rászorítva ezen anyagok használatára és társadalmi vonatkozásaira.

Ennek folyamata, hogy az ötletem születésének gyökérokaitól kiindulva, illetve a 3D nyomtatáshoz és filamentgyártó géphez elérve mutatom be az előzőekben említetteket. Legelőször a műanyagok kémiájának mibenlétével ismertetem meg az olvasót, mert az ebben leírt anyagok lesznek a kulcsok a gyökérok feltárásához.

2. KÉMIA

„A kémia jelenti a határt a szegénység és éhezés, és a gazdag, bővelkedő élet között.” – Robert Brent, kémikus (saját fordítás)

Ebben a fejezetben a 3D nyomtatási technológia kémiai vonatkozásait veszem górcső alá, először a kémiai alapok kifejtésével, majd a technológia által használt anyagokkal.



2.0.1. kép: Egy nagy port kavart Sri Lanka-i kémia tankönyv, a népszerű *Totál szívás* című HBO sorozat egyik szereplőjével a tankönyvborítón. [2]

2.1. Történeti áttekintés

A kémiai folyamatok első felhasználása az ókorra nyúlik vissza, amikor ezeket a folyamatokat a kovácsok arra használták fel, hogy bizonyos hőmérsékleten ötvözzenek különböző anyagokat (általában fémeket), ezáltal szívósabb, keményebb anyagokat hozzanak létre. Ilyen folyamat például a bronzkészítés. Korai szabók is használtak alapvető kémiai reakciókat ahhoz, hogy a ruhák anyagát megfessék.

Az elkövetkező évszázadokban a kémia tudományát már összesítve alkímiaként nevezték, aminek végső célja az arany készítése volt, bár ezt az akkori tudósoknak persze nem sikerült elérniük (ezt a tudomány mai állása szerint már meg tudja tenni az emberiség).

Az alkimisták által készített kódexek tanulmányozásával a 13. században létrejött a kémia tudománya, a 17. századra pedig az alkímia gyakorlatai végleg kihaltak, teret engedve a modern értelemben vett tudományos érvényű kutatásoknak, amelyek alapvetően a kísérletek megfigyelésén és reprodukálhatóságán alapulnak.

1869-ben jött létre a Mengyelejev-tábla, az elemek periódusos rendszere, amely táblázatba rendezi az ember által ismert anyagokat. Az azóta eltelt idő alatt több olyan anyagot is készítettünk, amelyek csak mesterségesen előállíthatók.

2.2. Összetett anyagok

„Az egész több, mint az azt alkotó részeit.” – Arisztotelész, ókori tudós és gondolkodó (saját fordítás)

A fogalom azt jelenti, hogy az anyag, amiről beszélünk, több, mint egy kémiai elemből áll, ugyanakkor beszélhetünk az összetett anyagokról úgy is, mint több anyag együttes használata egymás képességeinek feljavítására anélkül, hogy a két anyagot kémiaiilag ötvöznénk, tehát a két darabot csak fizikailag érintjük, nyomjuk egymáshoz.

„Oldatok: az oldatok oldószerből és oldott anyagból álló összetett anyagok. Az oldódás során az oldószer és az oldott anyag között kapcsolat jön létre. Az oldott anyag és az oldószer aránya csak bizonyos határok között változtatható.

Keverékek: a keverékek fizikai változással szétválaszthatók összetevőikre. Sem vegyjellel, sem képlettel nem jelölhetők, mert összetételük nem állandó. pl.: tengervíz, levegő, cukoroldat, vas + kénpor.” [3]

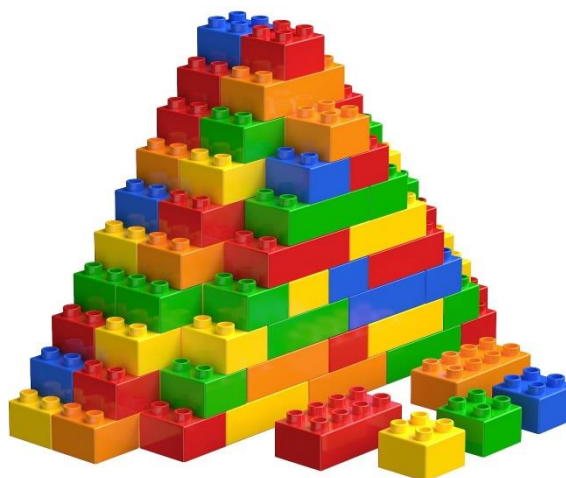
Az összetett anyagok már az emberiség legkorábbi időszakaihoz is visszavezethetők, ha az előbb említett utóbbi megközelítést vesszük alapul. A legkorábbi összetett íjakat időszámításunk előtt 1300-ból is találtak, amelyek a madzagokat, kötegeléseket, fáslikat, csontokat, faanyagokat, és ínakat használtak az íjak építéséhez, hogy azok erősebbek legyenek. Ugyanakkor a modern értelemben vett összetett anyagok fogalma a 20. század végére keltezhető, amikor is az emberiség különböző fém-, és műanyagötveteket talált fel, hogy ezeket az anyagokat megerősítsék és könnyítsék, illetve hogy ezeket később különleges feladatokra, és -körülmények között használják.

Az úgynevezett kevlár, amit elsőként golyóálló mellényekben használtak nagy mennyiségben, egy összetett anyag. Modern harckocsik páncélzatában is található bór-nitrid alkotóelem, hogy megerősítsék azt anélkül, hogy a páncéllemez túledzésével az lepattogzódjon, ha az egység találatot kap (ez az egyik leghíresebb tank, a T-34-es egyik legnagyobb hibája volt [4]). Lopakodó repülőgépek borítása is olyan epoxigyanta, amely láthatatlanná teszi ezeket a repülőgépeket a radarok előtt. Továbbá például volfrám-karbidot használunk fúrószárakban, illetve – érdekesség képpen megemlítve – házassági jegygyűrűkben is.

Az összetett anyagok sokszor nagyon bonyolult és pontos gyártást igényelnek, és bár ezek gyártása költséges, a kapott végtermékek minősége megéri a kiadásokat.

2.3. Műanyagok

„Csak egy szót akarok neked mondani. Csak egy szót: műanyagok.” – Calder Willingham író, a *The Graduate* című művében (saját fordítás)



2.3.1. kép: Polimerből készült játék-építőelemek. [5]

A műanyagok 1860-as évek-beli feltalálásuk óta forradalmasították a termékgyártó ipart. Tudósok a 19. század közepén egy olcsó szintetikus keverék után kutattak, ami helyettesíthetné az addig használt természetes anyagokat, amelyek drágák voltak, és az előállításuk is nehézkesek voltak.

Példának okáért az elefántagyar, mint alapanyag sok termékben fellelhető volt, mint például az evőeszközök, legyezők, zongorabillentyű, billiárdgolyó, *et cetera*. Ez a fajta csont küllemre szép, tapintása kellemes, de nagyon drága lett a természetes állatpopuláció kimerülésével.

Egy műanyag-szerű elegyet, az úgynevezett parkezin 1856-ben állították elő Angliában. „A parkezin nitrocellulóz és alkohol keveréke volt, amely forrón formálható volt, és lehűtve megtartotta alakját.” [6] De az anyag nem volt túl népszerű: gyorsan, kevés használatban eltöltött idő után elkezdett szétpattogni. 1863-ban egy amerikai feltaláló, John Hyatt felfedezett egy módot, miként lehetne ennek az anyagnak a rugalmasságán és időtállóságán javítani. Új találmánya a celluloid lett. A celluloidot először nagy számban a ruházatok gallérjaihoz és mandzsettáihoz használták merevítésként, de gyorsan áttért más területekre is, mint például a fényképezés vagy a filmipar, mert az anyag megfelelő volt arra, hogy fényérzékeny lapként használják.

Az idő előrehaladtával egyre összetettebb műanyagok születtek. Ezek az anyagok már szinte mindenbe beépülnek a ruházattól és bútorzaton át a járműiparig. A modern világ tulajdonképpen erre az anyagra épül. De ennek van egy ára is: a műanyagok nagyon időtálló anyagok, és emiatt nagyon nehéz őket újrahasznosítani anélkül, hogy közben ne okozzunk kárt a környezetben.

2.4. A műanyagok kémiája

„Tekintettel arra, hogy a műanyagok az élet minden területén megtalálhatók, elkerülhetetlen, hogy a legkülönbözőbb iparágakban dolgozó szakemberek kapcsolatba ne kerüljenek velük.” [7] Az előző fejezetben említettek szerint a műanyag mindenhol velünk van, és a mindennapi életünk egyik fő anyaga. A vegyészet a műanyagokat polimerekként nevezi meg, ez az elnevezés többször kerül majd használatra általam is, mivel ez a rendes megnevezése ezeknek az anyagoknak.

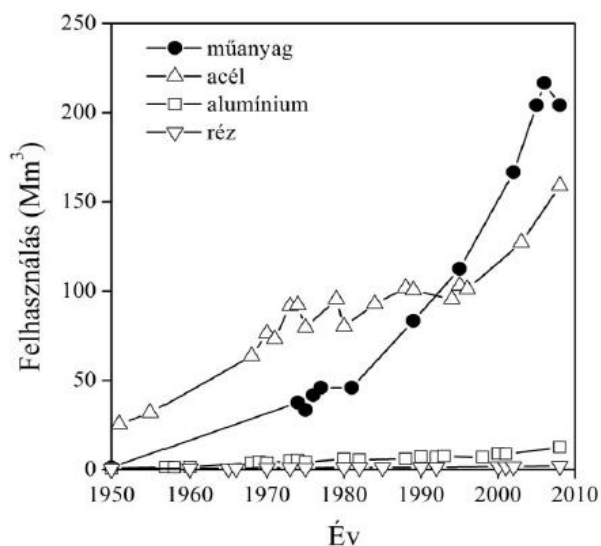
A természetes polimerek (elnevezésükből adódóan nem titkoltan) a természet részét képezik, ilyen például a kaucsuk, amit a prekolumbián maja civilizáció a 11. században már használt a szakrális játékaikhoz készített labdához, viszont a mesterségesen előállított műanyagokhoz sokkal több időt kellett várni.

A polimerek története régebbre nyúlik vissza, mint a tömeges alkalmazásuk a 20. század folyamán. A gumi vulkanizálása 1839-ben történt meg legelőször a Goodyear-nél, és az azt követő évtizedben alakult meg a gumigyártás. [8]

Dátum	Polimer	Feltaláló
1839	gumi vulkanizálás	Goodyear
1870	celluloid	Hyatt
1909	fenolgyanta	Baekeland
1915	szintetikus kaucsuk	Leverkusen
1931	kis sűrűségű polietilén	ICI
1933	poli(metil-metakrilát) (plexi)	Röhm
1937	poliuretán	Bayer
1938	Nylon 66, Nylon 6	Carothers, Schlack
1938	poli(tetrafluor-etilén) (teflon)	Plunkett, DuPont
1939	szilikon polimerek	Hyde
1941	poli(etilén-tereftalát) (PET)	Whinfield, Dickson
1953	nagysűrűségű polietilén	Ziegler
1954	polipropilén	Natta
1958	polikarbonát	GE, Bayer
1974	aromás poliamid (kevlar)	DuPont

2.4.1. táblázat: „1.1. táblázat: A műanyaggyártás fejlődésének néhány fontos lépése” [9]

A 20. század folyamán, amikor kialakult a műanyagok gyártásának és felhasználásának módja, rohamosan kezdett elterjedni a Földön, mint csomagló-, és burkolóanyag.



2.4.2. ábra: „1.1. ábra: Néhány szerkezeti anyag felhasználásának időbeli változása” [10]

Ugyanakkor tisztázni kell pár alapfogalmat, amely szükséges ahhoz, hogy megértsük a műanyagok kémiai értelemben vett mibenlétét, alapfogalmait.

Makromolekula: ismétlődő, azonos építőelemekből felépített molekula. Kiindulási anyaga a monomer, ami tulajdonképpen egyenlő azzal az alpmolekulával, ami egyenlő a teljes egész kémiai tartalmával.

Polimer: az együttesen létező, ismétlődő makromolekulák összessége. Fontos megemlíteni, hogy a polimer kifejezést általában minden, előzőekben említett anyagra használja a szakirodalom, műanyagokról pedig inkább akkor beszélhetünk, ha az adott anyag mesterségesen előállított. [11] Bár én osztom ennek a megállapításnak a tartalmát, de lévén, hogy ennek a diplomamunkának nem a vegyészeti szakkifejezések használatának teljes mértékben való megfelelés a célja, így én továbbra is szinonimaként fogom használni a két fogalmat amellet, hogy tisztában vagyok a fogalmak helyes tartalmával, csupán az egyszerűség kedvéért történik egyszerűsített szóhasználat.

2.5. A műanyagok csoportosítása

„Műanyagok: a nemfémek anyagok közül legelterjedtebbek az iparban. Szerves eredetű, 10^3 - 10^6 számú atomos óriásmolekulákból álló anyagok (makromolekulák), amelyeket természetes nagymolekulák átalakításával, vagy szintetikus úton állítanak elő. Az óriásmolekula (makromolekula) helyett a műanyagokra szokás a polimer elnevezést is használni.” [12]

A műanyagokat két nagy csoportba sorolhatjuk Fenyvessy Tibor, Fuchs Rudolf, Plósz Antal által írt Műszaki táblázatok című könyve által. Most ennek értelmezésével fogunk foglalkozni, hogy megértsük a műanyagok alaptermészetét.

Vannak a természetes alapú műanyagok, amelyek az állati-, és növényi eredetű műanyagok. Állati eredetű az úgynevezett duroplaszt, ami tejfehérjéből állít elő műszarut. Növényi eredetűek az elasztoplastok, mint például a kaucsuk gumi, termoplastok például a cellulózok.

Fontosnak tartom leírni, hogy mit jelentenek ezek az idegen fogalmak: duro-, elasztó-, termoplast. Duroplaszt: hőre keményedő műanyagok; [13] elasztoplast: nyúlékony

műanyagok, amik külső mechanikai behatás után visszatérnek eredeti alakjukhoz; termoplaszt: „Lineáris molekulaláncokból álló, hőre lágyuló polimerek.”[14], tehát hőre lágyuló műanyagok.

A mesterséges (vagy szintetikus) műanyagokat három nagy csoportba sorolja: polimerizációs, polikondenzációs, és poliaddíciós eljárással készült műanyagok.

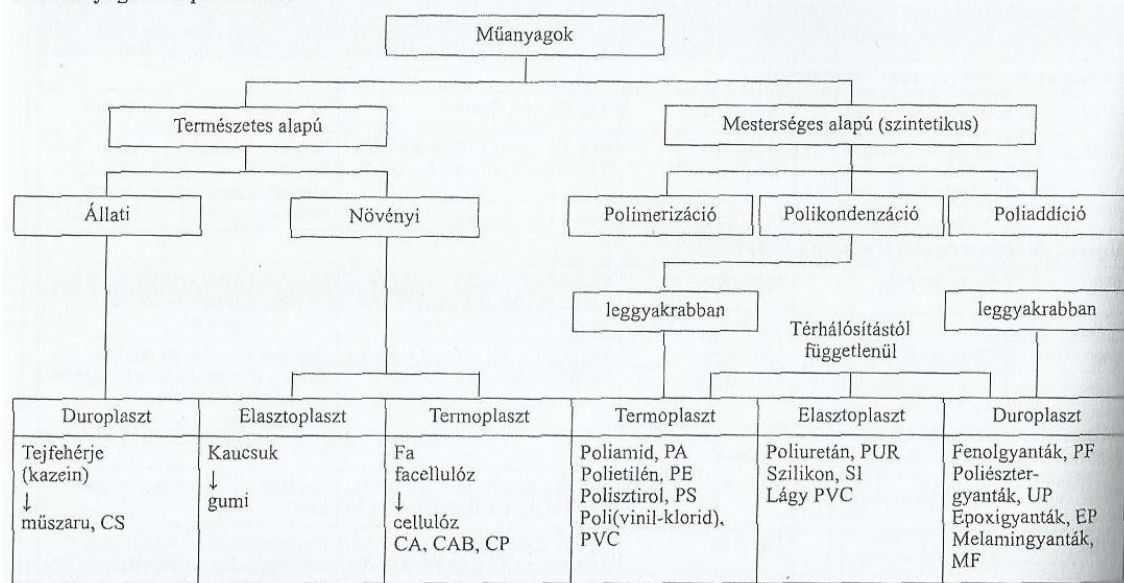
Polimerizáció: „Olyan kémiai reakció, amelyben, valamely telítetlen (kettős kötésű), kis molekulájú (monomer) vegyület azonos molekulái, melléktermék keletkezése nélkül óriásmolekulává egyesülnek.” [15]; leegyszerűsítve: két anyag egyesülése óriásmolekulákban, melléktermék anyag nélkül.

Polikondenzáció: „Egyes monomerekből kismolekulájú melléktermék (például víz vagy metanol) kilépésével is kialakulhat makromolekulájú termék. Egyensúlyi állapotokon keresztül végbemenő kondenzációs reakciók révén így képződnek a polikondenzációs műanyagok.” [16]; értelmezve: ez olyan reakció, miközben kis molekulák melléktermékként távoznak a végtermék/kívánt anyag előállítása közben.

Poliaddíció: „a bi- és polifunkciós vegyületek hidrogéneltolódás közben lejátszódó reakcióját poliaddíciónak nevezzük, a polikondenzációhoz hasonló reakció, de melléktermék keletkezése nélkül. A képződő polimer összetétele megegyezik a kiindulási monomerek összetételével, ebben a polimerizációra hasonlít. A reakció mechanizmusa viszont közel azonos a polikondenzáció mechanizmusával, minden lépésben stabilis, kipreparálható molekulák képződnek. A polimerizációs fok a reakció függvényében fokozatosan nő.” [17].

Ezekben a kategóriákban belül létrejövő termékeket is a termo-, elasztó-, és duroplaszt kategóriákba sorolja a csoportosítási fa. Termoplaszt például a poliamid (PA), polietilén (PE), és polisztirol (PS). Elasztoplaszt például a poliuretán (PUR), szilikon (SI), vagy akár a lágy poli-vinil-klorid (lágy PVC). Duroplaszt anyagnak számítanak a különféle gyanták.

A műanyagok csoportosítása

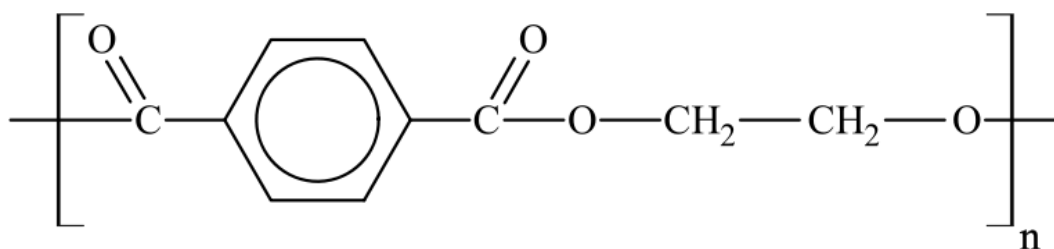


2.5.1. táblázat: „A műanyagok csoportosítása” [18]

2.6. A PET, mint műanyag, és annak gyártása

Most, hogy körüljártuk a műanyagok mibenlétét, térjünk rá arra a konkrét anyagra, amire a diplomamunka épül. Az előző fejezetekben említetten a PET, vagyis a polietiléntereftalát nevű műanyaggal történik majd újrahasznosítási folyamat a későbbi 3D nyomtatáshoz.

A PET egy széleskörben elterjedt és használt, tipikus polimer. A PET a poli(etiléntereftalát) vegyszeti elnevezésének rövidítése, ami a kémiai összetételére utal. Ez a kémiai összetétel a $C_{10}H_8O_4$, tehát 10 szén atom, 8 hidrogén atom és négy oxigén atom alkotja.



2.6.1. ábra: A PET kémiai lánc. [19]

Polimerlánc előállítási módját tekintve a polikondenzációs eljárás alá, illetve a lineárisan hőre lágyuló poliészterek közé tartozik. A telített, hőre lágyuló polimerek csoportján belül a kristályos szerkezetűek közé soroljuk.

Annak ellenére, hogy félkristályos vagy kristályos műanyagok általában nem átlátszóak, a PET mégis lehet az, mivel a kristályrácsa kisebb, mint az emberi szem által látható fény hullámhossza.

Nagyjából $70-75^{\circ}\text{C}$ -on veszti el szilárdságát, ez az úgynevezett kristályosodási hőmérséklet, illetve $210-270^{\circ}\text{C}$ -on olvad. Ezen tulajdonságai miatt könnyen formálható, és míg gyors hűtéssel amorf szerkezetet is felvehet, lassú hűtéssel rendezett alakba is formálhatjuk, szilárd alakjában pedig jó ütésálló képességgel rendelkezik, emellett jó a kémiai ellenállóképessége is, így olajok, savak, lúgok, és szénhidrogének tárolására is kiválóan alkalmas. Emiatt kitűnően használható az iparban például edények, palackok gyártásához. Mivel a mikroorganizmusok és különböző sugárzásoknak jórészt vagy teljes egészében ellenáll, élelmiszersomagolásra is alkalmas.



2.6.2. kép: PET-üvegbe palackozott ásványvíz. [20]

Ezen műanyag üvegek elkészítésekor először kialakítanak egy, a végtermékre emlékeztető alakot az olvadékból, majd ezt egy úgynevezett fröccsfúvós eljárással felfújják. Ahogy az olvadék eléri a fröccsöntő szerszámot, felveszi az alakját. Ezután a műanyag lehűl, és a palack felhasználásra már kvázi alkalmas.

Az itt és az előzőekben említettek szerint kiválóan alkalmas a 3D nyomtatóval való ötvözésére, modellek gyártására. [21] [22]

2.7. Környezeti gondok a PET-használat körül

Ugyanakkor, mivel egy nagyon ellenálló és szívós anyagról van szó, a természetben igen lassan lebomló anyagról beszélünk. A Greenpeace szerint [23] ez az anyag akár fél évszázadon keresztül is velünk maradhat, aminek következményei kihatással lesznek az elkövetkezendő generációkra. A következő részekben erről az aggasztó tényről lesz szó.

3. A GYÁRTÁS ÉS A GYÁRAK

Ahhoz, hogy megértsük a műanyagok nagymértékű felhasználását az iparban, tisztázni kell, hogy mi is az az ipar, mi a feladata, mire épül, és hogy hogyan működik.

A Wikipédia megfogalmazásában: „Az ipar olyan rendszeresen végzett szakmai, speciális irányú tevékenység, amelynek a végén valamilyen piacképes termék áll, és amelyek köre a nagyon egyszerű, kézművességgel előállítható dologtól a nagyon bonyolult, nemzetközi kooperációban készülő rendszerekig terjed.” [24]

Ez azt jelenti, hogy valamilyen alaptőkéből, és különböző energiabefektetésekkel munkát végzünk, ami tevékenységnek a végeredménye a termék (vagy szélesebb körben értelmezve a szolgáltatás).

3.1. A gyártás története

A legelső ilyen tevékenységet végző emberek a fonók és fa-, kőmegmunkáló mesteremberek lehettek még a történetírás előtti időkből, akiknek feladata az ősközösségek ellenállóképességének növelése volt a természet erőivel szemben. Az ókor alsó határánál ezek a mesterek már bonyolultabb feladatokat láttak el, Görögországban pedig őket nevezték „gondolkodó”-knak (phylos/filosz). Az ókori Rómában a fő iparágak a fazekas- és téglagyártás, az üveggyártás, a kohászat, és a húsfeldolgozás voltak. Az ekkor létesült ókori gyárok többek között olajlámpákat, edényeket, és amforákat gyártottak. [25]

Ahogy nőtt a népesség, úgy őt az igény az egyes mesterségek termékeire is, így megjelentek a kezdetleges vállalkozások, a céhek, amelyek jogokat biztosítottak a kereskedőknek és a gyártóknak is. Ekkortól beszélhetünk már a kezdetleges vállalkozásokról.

Az idők folyamán a szerszámkészítési technológia és fejlődés lehetővé tette a modern gépészet megszületését. A gépek széleskörű használata indította el az iparosodás korát, és lehetővé tette a vállalatok számára az addig soha nem látott gyorsaságú növekedést.

3.2. Az iparosodás kora

„Az iparosodásnak csak egy szabálya van, ami a következő: készítsd el a termékedet a lehető legjobb minőségben, a lehető legalacsonyabb költségen, a lehető legmagasabb fizetést adva.” – Henry Ford, iparmágnás (saját fordítás)

Az iparosodás alapvetően azt jelenti, hogy olyan gépeket használunk a gyártási folyamataink során, amelyek drasztikusan növelik a termelékenységünket. Ma a gyártás olyan gyártóegységekben összpontosítódik, amik ötvözik a szaktudással rendelkező dolgozókat az automatizált munkaerővel (robot gyártósorokkal), amik – pozitív gondolkodással élve – a lehető legalacsonyabb pénzübeli értékre terelték a leggyártott termékek árait.

Ez a jelenség forradalmasította az emberek életvitelét is mind pozitív, mind negatív értelemben egyaránt. A gyors gazdasági növekedés, a termelékenység és az alacsony előállítási költség viszonya a gyáróriások tulajdonosait a történelem leggazdagabb embereivé emelte, ugyanakkor ez termelte ki az úgynevezett „kékgalléros” munkásosztályt is, akik a fejlődésben lévő országok modern-kori rabszolgái. Ők általánosságban véve alacsony jövedelemmel és nagyon specializált, leszűkített tudással rendelkeznek, közben a munkáltatók igyekeznek a legolcsóbb munkakörülményeket biztosítani a számukra, tehát számukra a végzett munka együtt jár a kényelmetlenséggel és lehetséges egészségkárosodással is.

A 18. századi Angliában fölemelkedő iparosodás a fejlődés hajtómotorjaként hasznosult, ami a mai napig tartja magát. A gyors, repetitív gyártáson alapuló ipar ugyanakkor soha nem látott környezetszennyezéssel járt együtt, ami mára már kijelenthető, hogy megváltoztatja a Föld ökológiai rendszereit.

3.3. A modern gyárak létrejötte

Az iparosodás tehát magával hozta a gyárak, összeszerelőüzemek, gyártósorok, és az ezekhez energiát termelő létesítmények összességét. Legelőször az az iparág kezdte el nagy mértékben szennyezni a környezetet, ami az ipar legnagyobb hajtóereje volt a világtörténelemben: a fémmegmunkálás és kohászat.

A vasmegmunkálásnak nagyon régre nyúlnak vissza a gyökerei. Az ókor előtti időkben már működtek kovácműhelyek, ahol többek között a mindennapi élethez szükséges szerszámokat és fegyvereket állítottak elő, viszont az emberiség mindig kereste annak a módját, hogy hogyan tudja módosítani a fémek vegyületét a saját szájíze szerint. Ennek fényében jöttek létre a vaskohók az iparosodás ideje alatt.

Ahogy az emberiség vas iránti függősége és igénye egyre nőtt, szükségessé vált a fémek és ötvözőiknek elkülönítése minél pontosabb és olcsóbb elválasztása és elkülönítése. Az öntészet tudományában az a felfedezés történt, hogy szenet, illetve szén-dioxidot hozzáadva az olvadékhoz oxidálni lehet a vasból a szennyezőit, a rozsdás vas esetében az oxigént, így redukálva az anyagot a tiszta formájává. Az olvadékban található salakanyag lesüllyed az olvadék aljára, így elválasztva a tiszta vasat az egyik legveszélyesebb szennyezőjétől. Ezután a vasat tovább ötvözve például acélt is készíthetünk. Sajnálatos dolog, hogy a vasgyártás és kohászat az egyik legszennyezőbb iparág a világon.

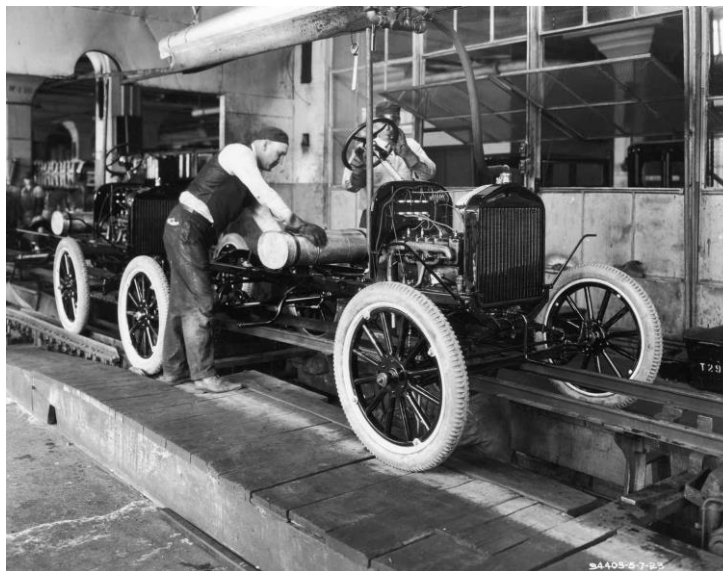
Az iparosodás korában tehát létrejöttek az első gyárak, főként a precíz fémmegmunkálásnak és öntészetnek köszönhetően már olyan szerszámokat és gépeket tudtunk használni, amelyek már képesek voltak teljesen azonos termékeket létrehozni, alacsony költségen és időráfordítással.

Bár az a rendszer, amely egyének szoros együttműködésén alapuló késztermék-előállítását gyakorolt, már az ókori Görögországban is megfigyelhetjük. Ugyanakkor a modern gyárak ennél összetettebbek, és a mai korban a szakosodott munkaerő vagy robotok végzik a munka egy meghatározott, bizonyos lépését. A termelési lépések szakosítása lehetővé tette a korai gyárosok számára, hogy termékeiket gyorsabban és

pontosabban gyárthassák le, mint versenytársaik. Ez az elgondolás vezetett az összeszerelőüzemek világához.

3.4. A sorozatgyártás kora

„Az emberek minden színben kaphatnak T Model-t mindaddig, amíg ez a kívánt szín a fekete.” – Henry Ford, iparmágnás (saját fordítás)



3.4.1. kép: A Ford T-Model-jének gyártósora és annak gyártása futószalagos technológiával. [26]

A tömeggyártás gondolata az első gyárak megjelenésével öltött formát. A gyártás folyamatainak automatizálása nagyban növelte a gyártási képességet, így az előállítási költségeket pedig lecsökkentve. 1913-ban Henry Ford autógyáros egy hentesüzemben töltött látogatása során kapta azt az ötletet, hogy hasonló rendszerekkel a saját autógyárának termelését is felgyorsíthatja. A kocsí egyes alkatrészei külön munkaállomásokon gyártódtak vagy szerelődtek, amik futószalag segítségével jutottak el egyik munkaállomástól a másikig. Minden egyes állomáson a munkásnak csak egy adott feladatra kellett összpontosítania, így nem kellett sok időt tölteni az egyes fázisokkal. Ha a termék tovább épült, az autó részei tovább haladtak a következő állomásra, és így a szalag végén egy késztermék jöhetett le.

Ez az új módszer forradalmasította a gyártás folyamatát: szakembereket igényel folyamataihoz, és az automatizálás bonyolult gépek elkészítését tette lehetővé. Ford gyártási módjai gyorsan terjedtek a világon, így minden, fejlett iparral rendelkező ország átvette gyakorlatát.

Az összeszerelőüzem tehát egy olyan épület vagy gyáregység, ahol a munkások helyben vagy más gyárban előre legyártott alkatrészekből állítanak össze egy bonyolultabb szerelvényt. Általában egy úgynevezett gyártósoron történik a gyártás, ahol egyes, különálló alkatrészek a soron lévő munkások által kerülnek fölszerelésre a leendő késztermékre, ahogy az halad a félig vagy teljesen automatizált soron. Ez a létesítmény sok esetben rendelkezik egy késztermék-raktárral is, ahol az elkészült szerelvényeket tárolják további felhasználásra vagy szállításra.

Ugyan már egy régi ötletről van szó, az összeszerelőüzemek gondolata a kései iparosodás korában vetődtek csak föl. Ezen gyárak összezsúfolása az adott település egyazon régiójába megágyazott az ipari parkok létrejöttének.

Az iparosodás korát lezáróan a gyárak tehát egyre nagyobbak és fejlettebbek lettek, ami ahhoz vezetett, hogy ezek a létesítmények egyre jobban szennyezték a városok levegőjét, talaját, és ivóvíz-készletét. Ez a jelenség a 20. század szélétében-hosszában azt eredményezte, hogy a nagy iparvárosok egyre élhetetlenebbek és egészségtelenebbek lettek.

A városlakók megnyugtatója érdekében erre az egyik megoldás az lett, hogy a gyárakat a város szélére, úgynevezett ipari parkokba telepítették, ahol a legkevesebb szennyezéssel jártak a lakosság szemszögéből, emellett valamelyest növelve a gyárak hatékonyságát is. A szennyezés természetesen ettől még nem szűnt meg, a probléma csupán a szőnyeg alá lett söpörve.



3.4.2. kép: A székesfehérvári ipari park egyik része. [27]

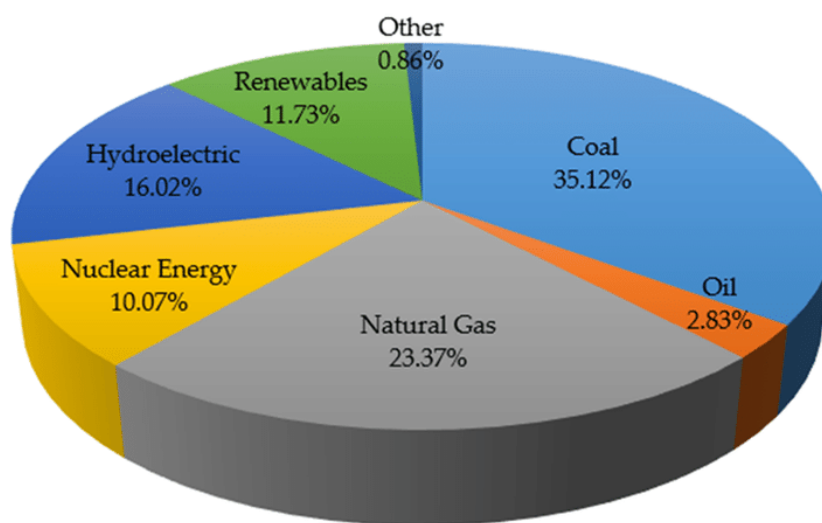
Ezeket az ipari parkokat a várostervezési folyamatok részeként mindig a városok szélére próbálták létesíteni, ugyanakkor ahogyan a város terjeszkedett, sokszor történt meg az, hogy ezek a gyártelepek végül a város egy központi részébe kerültek. Erre nagyon jó példa a székesfehérvári úgynevezett áramgyár, ami annak telepítésekor valóban a város szélén helyezkedett el, de a város terjedése azt eredményezte, hogy a lakóövezet mintegy amőba módjára bekebelezte a telepet.

Ugyan a székesfehérvári erőmű gázüzemű, a legtöbb áramot mégis a fosszilis energiahordozókkal termeljük meg.



3.4.3. kép: Az egykori inotai hőerőmű. [28]

Az erőművek feladata, hogy elektromos áramot állítsanak elő. A világon legelterjedtebb ilyen fajta erőmű a szén-erőmű, ami a szén égésekor keletkező hőenergiát víz hevítésével gőzzé alakítja át, amely nagy nyomású gőzzel turbinalapátokat hajtanak meg, amiknek a tengelye generátorokra van kötve, így a rendszer elektromosságot termel. Ez a módszer egyértelműen több energiát képes létrehozni, mint azt emberi-, vagy állati erő képes lenne. Hátlutője viszont a légkörbe történő nagymértékű, mérgező gázkibocsátás. Ennek ellenére - ahogy az már említve volt - ezek a legelterjedtebb erőművek a világon.



3.4.4. diagram: Diagram a Földön megtermelt elektromos energiának forrásairól. Fontos meglátni, hogy a teljes éves energiatermelésünk 61,32%-át szén-, gáz-, és olajerőművek termelik meg. [29]

3.5. Összegzés

Összefoglalván tehát, az iparnak a feladata termékek vagy szolgáltatások előállítása, mely tevékenység során és után az adott termelőegység pozitív és negatív externáliákat hoz létre.

Pozitív externáliának nevezzük azt a kibocsátást, amelyért a fizetőképes kereslet fizet. Negatív externáliának pedig - az előző gondolatmenetet tovább görgetve - azt nevezzük, amelyért mindenki megfizet. [30] Pontosabb megfogalmazásban: „A közgazdaságtanban

egy gazdasági tevékenységhez kapcsolódó externália (szó szerint „külsőség, kívül(re) eső tényező”) az olyan költség, kár vagy haszon, előny, amely nem a gazdasági tevékenység elsődleges szereplőinél, hanem a tevékenységhez képest külső tényezőnél jelentkezik, és szoros ok-okozati összefüggésben van a szóban forgó gazdasági tevékenységgel.” [31] Ez a megfogalmazás inkább csak azokra a tényezőkre összpontosít, amik másodlagos kibocsátásként értelmezendők.

Bármelyik megfogalmazás legyen a megfelelő, abban mindkettő egyetért, hogy a negatív externália alatt általában a környezetszennyezést értik. Ennek a környezetszennyezésnek legnagyobb szereplője pedig az ipar és annak különböző tevékenységei. A következő részben ennek a tevékenységnek a terhelő tényezőit fogom felvázolni, a műanyagok használatára fókuszálva.

3.6. A műanyagok káros hatásai, röviden

Ahogy azt több itt-, és külhoni lapok is megírták, [32] [33] a szóban forgó PET műanyag létrehozása költséghatékony, de nagyon környezetszennyező művelet.

Ezekben a cikkekben olvashatunk arról is, hogy ezen műanyag tartóedények használatakor káros anyagok oldódnak bele például a vízbe, ha alapesetben a vizespalack alakot és funkciót vesszük. Ezek a vegyianyagok károsítják az emberi egészséget, tönkreteszik a hormonális rendszert, és potenciálisan okoznak rákos megbetegedéseket. Utóbbi betegséghez könnyen hozzájárulhatnak a mikroműanyagok is, amelyek tulajdonképpen egy ilyen műanyag zacskónak vagy palacknak a nagyon apró, mikroszkopikus részei. Ezzel a jelenséggel már a magyar YouTube legnagyobb alakjai is foglalkoztak, [34] amiben többet íziglen is említésre kerül az, hogy a mikroműanyagok mennyire károsak a természetre és az emberre egyaránt. Hiszen a palack hiába bomlik le kisebb alkotóelemeire, a mikroműanyagokra, azok tovább mérgezik a természet állat-, és növényvilágát, amiket persze az ember elfogyaszt, így saját magát mérgezve ezzel.

Mivelhogy a PET súlyosan környezetszennyező anyag, újrahasznosítása bolygó méretű egészségmegővő feladat. Többek közt ezért jött az az ötletem, hogy ezt az anyagot

újrahasznosítva az ipar és magánszemélyek számára egyaránt teremtsék alternatívát ezen palackok felhasználására.

3.7. Gondolatok a környezetvédelem és a diplomamunka mérnöki témájának közös metszetén

Tisztában vagyok azzal, hogy ez a módszer nem fogja megváltani az emberiséget. Valóban, a PET-palackok újrahasznosítása filamentté nem oldja meg a globális klímakatasztrófát. Képletesen leírva ez egy vakvágány, amire a vonatunkkal most azért térünk rá, mert a fő vágány még nincs kész. A világ tudósai jelenleg abban reménykednek, hogy a fő vasútvonalat – ami jelen esetben a műanyagok kivezetése és újrahasznosításának technológiája – előbb fejezzük be és kössük rá vissza a vakvágányunkat, mielőtt a vonat kisiklana. Tehát az, amiről ebben a diplomamunkában szó van igazából egy kísérlet arra, hogy időt nyerjünk ahhoz, hogy kidolgozzuk a megfelelő módszert arra, hogy hogyan tudjuk a műanyagokat forgatni a rendszerben, nem pedig csakis és kizárólag szemétként tekintünk rájuk. Ez a módszer az előzőekben leírtak szerint csupán a már legyártott palackokból egy szűk ipari vagy magánszemély réteg számára ad csak lehetőséget arra, hogy ne a szemétbe dobja az egyébként hulladéknak számító, senkinek nem kellő terméket. Viszont a 2024-es, egész bolygóra kiterjedő helyzetünkben minden ötletet meg kell vizsgálnunk annak érdekében, hogy csökkentsük a lehetséges műanyag-hulladék-termelésünket, aminek a palackok újrahasznosítása a 3D nyomtatáshoz egy eszköze.

Ez a hulladékcsökkentési eszköz ugyan nem oldja meg a mikroműanyagok által okozott problémákat, és az előzőekben ecsetelt kémiai folyamatokban káros anyagokat termelünk a légkörbe, de ezeket az ipar különböző szűrők segítségével már tudja kezelni, így az iparban ez a módszer megvalósítható és környezetkímélő lehet. „Lehet”, mert ehhez természetesen a nagyvállalatok vezetőségének is lehetőséget kell ebbe látnia, nem pedig egy újabb, nem költséghatékony gyártási-, újrahasznosítási módot. Itt a fennálló lehetőség a környezetszennyezés csökkentése, ami - nem győzöm hangsúlyozni – közös érdekünk.

4. KÖRNYEZETTUDATOSSÁG

4.1. A természetvédelemről röviden

A természetvédelemnek több előnye is van, többek közt a tényleges célja, miszerint az ember környezetét meg kell védeni a szennyezéstől, hogy a természet továbbra is lakható legyen, és a légkör továbbra is belélegezhető maradjon. Egy teljesen „zöld” társadalom tovább maradhat egészséges, és az élőhelyét és környezetét olyannak tudja megőrizni a gyermekeinek, ahogyan azt ő kapta, az összes szépségével együtt.

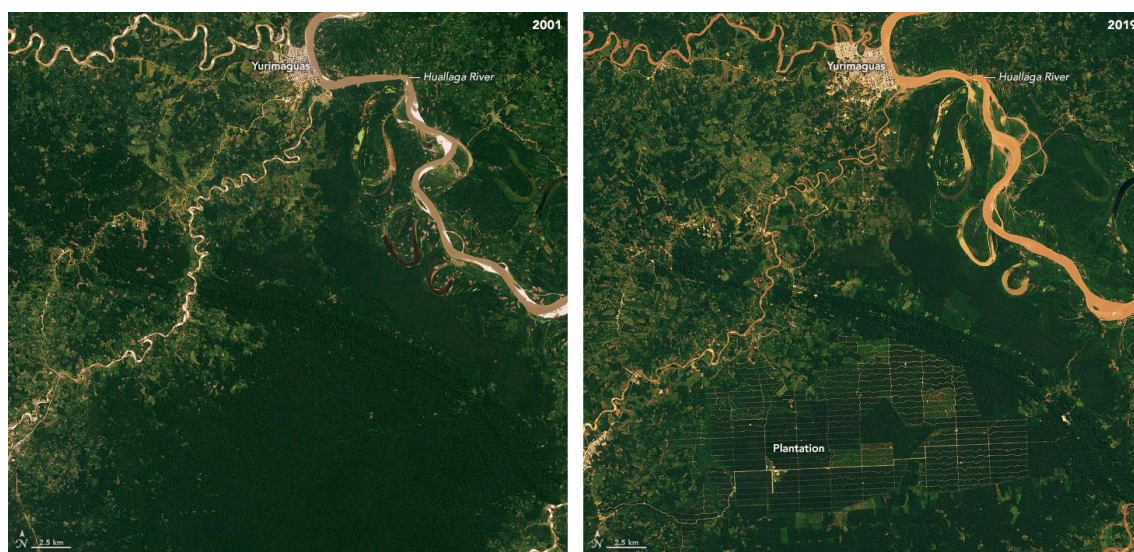
Sajnos ezek a szemlélet béli változások nagyon lassan mennek végbe, ha egyáltalán végbe mennek. Az ezredforduló elején még úgy láthattuk, hogy a legnagyobb és leggazdagabb országok azok, akik próbálnak a környezettudatosság felé orientálódni, és a fejlődő országok azok, ahol az új gyárak nyílnak, mert ezt tekintik a fejlődésük zálogának, viszont ez egy fénytörés: a fejlett országokban sokkal inkább a szolgáltatások iparága terjedt el, míg a termelést kiszervezték a fejlődő országokba, amik továbbra is nagymértékben hozzájárulnak a környezetszennyezéshez. Véleményem szerint akkor fog eljönni a változás, amikor a következmények már mindenki előtt tisztázottak, és az ökológiai katasztrófa már előttünk áll.

A korai 21. században jött létre az úgynevezett „zöld mozgalom”, aminek célja a globális mértéket öltő környezetszennyezés és természetkárosítás hatásainak mérséklése, és jobb esetben a visszafordítása. Szükségessé vált az, hogy az erőforrások felhasználását a bolygó megújulásának termelékenységéhez mérjük, így jött létre a „Túllövés Napja”, ami azt mutatja meg számunkra, hogy az emberiség milyen gyorsan éli föl a Föld energiaforrásait, amennyit a bolygó egy év alatt tud megújítani. [35]

Miközben a természet nagy csodái mindig is csodálat tárgyát képezték, az ember a közvetlen környezetében lévő természetet mindig pusztította. Amikor az ember elérte azt a technológiai színvonalat, hogy gyáraival a tőle távol eső helyeket is szennyezte, egyre égetőbb szükség keletkezett a természet megóvására. Az emberiség mellett élő állat-, és növényvilág megóvása mára már egyértelmű eszköze a saját fajunk túlélésének: ennek egyik eszköze lett a nemzeti parkok létrehozása, amik természetvédelmi területek egy

ország határain belül, ahol a szemetelést a törvény szigorúan bünteti, sok országban pedig tilos ezeken a helyeken a táborozás is. [36] Ezeknek a helyeknek az értelme a természet megóvása a lehető legjobb állapotukban, némely esetben annak fejlesztése is különböző, de helyi növényfajok ültetésekkel és állatfajokkal való benépesítéssel, ezzel megőrizve a hely eredetiségét az utókor számára.

Az egyik legégetőbb szükség egy ilyen terület létrehozására az amerikai földrészen van. Az amazóniai őserdő pusztításának ténye talán már senkinek nem új információ: ezt az esőerdőt, ami a világ egyik legnagyobbja, folyamatosan termelik ki, az erdők helyére pedig monokultúrákat ültetnek. Ennek oka az, hogy az erdő kitermeléséből „létrejövő” faanyagot értékesítik, és az erdő helyére olyan növényfajokat ültetnek, melyek gyorsan nőnek, nagy a világpiaci értékük, és gyorsan kitermelhetőek. Ezek az ültetvények általában nem az erdősítést, inkább a különböző haszonnövények termesztését célozzák meg.



4.1.1. kép: Az őserdő irtását és ültetvénné alakítását figyelhetjük meg a két műholdképen. A baloldali 2001-ből, a jobb oldali 2019-ből való. [37]

Közben a városok növekedésével egyértelműen nőtt a lakossági hulladékkibocsátás is. Ahogyan az egyik szemétkibocsátó hely megtelik, úgy kell nyitni egy másikat a szemét eltüntetéséhez. Ez a környezetünk lassú, de biztos tönkretételéhez vezet. Hogy ennek elejét vegyünk, és megszüntessük ezt a gondot, szükségessé vált a

hulladékok újrahasznosítása úgynevezett újrahasznosító létesítményekben, ahol a hulladék először osztályozva és szétválogatva van, majd az újrahasznosításra alkalmas dolgokat (mint az üveg, a papír, a fém, vagy a műanyagok) külön kiválogatják, hogy azokat visszaforgassák a termékek előállításának és használatának körforgásába. Ezzel a módszerrel a szemét alkotóelemeire bontható, amivel később gyárthatóvá válnak, megszüntetve az örökké csak nagyobbodó környezetszennyezés-problémát, amit a hulladéktermelés jelent.

4.2. Környezetkárosítás- és védelem a kommunizmus alatt

„Ha ételt osztok a szegényeknek, szentnek tartanak. Ha megkérdezem, hogy miért nincs étele a szegényeknek, kommunistának bélyegeznek.” – Dom Hélder Câmara, brazil püspök (saját fordítás)

A kommunizmus egy olyan társadalmi elgondolás, amelyben a gazdasági javak és termelőeszközök az államon keresztül az egész társadalom kezében vannak ahelyett, hogy egyes személyek kezében összpontosulnának. Ebben a rendszerben mindenkinek egyenlőnek kell lennie, osztálykülönbségek nélkül, ahol a munka és annak mennyisége egyenlően van szétosztva a polgárok között attól függően, hogy mennyire van szükség az adott munkára.

Bár ennek a gondolkodásnak az alapjai Platón műveiben is felfedezhetők, a modern kommunizmust mégis Karl Marx *„A tőke”* és *„Kommunista kiáltvány”* című műveiből ismerhetjük meg. Ezekben az írásokban olvashatjuk azokat az elméleteket, miszerint a (jelenlegi) kapitalista rendszerekben a gazdag felsőbb társadalmi rétegek tőkéje és életszínvonala azért gyarapodhat, mert kihasználják a gyámoltalan, gazdasági védekezésre képtelen, szegényebb alsó társadalmi rétegek képviselőit. Amikor ez kiderül és a nyilvánosság elé kerül, a szegényeknek fegyverrel kell ellenállniuk az uralkodó elit ellen egy egyenlő, osztálymentes társadalmat létrehozva a forradalom nyomán. (Ez a gyakorlatban persze soha nem történt így, és mindig elkorruptálódott.)



4.2.1. kép: Az állami tervgazdálkodást és iparosítást népszerűsítő propagandaplakát az 1950-es évekből. [38]

Amikor a kommunista forradalom megdöntötte a cári Orosz Birodalmat, Szovjetországban Sztálin ideje alatt (1922 és 1953 között a Szu. diktátora) a gyors iparosodáshoz és gazdasági növekedéshez több olyan intézkedést fogadott el, amelyek a természetet gyors ütemben kezdték el felélni, ilyen volt az erdőségek rendezett, országos hivatalból történő irtása is. De a párt egyes bizottságai szembementek ezzel, és összefogtak az iparosításért felelős vezetőkkel szemben, és a Szovjetunió erdőségeinek kitermelésének ügyét rábízták az erdővédelmi hivatalra. Ez a belső viszály vezetett az oroszországi természetvédelmi törekvésekhez a 20. század második felében, ami – tekintetbe véve a körülményeket és korabeli helyzetet – viszonylagos nagy sikerrel őrizte meg az anyatermészet épségét.

Az 1980-as évek kutatásai nyomán egyértelműen kijelenthető, hogy a legtöbb esetben a nagymértékű és agresszív iparosítás vezet a környezetszennyezéshez és természetkárosításhoz, amit az általánosságban vett környezet-, és természetvédelmi szervezeteknek kell ellensúlyoznia. [39]

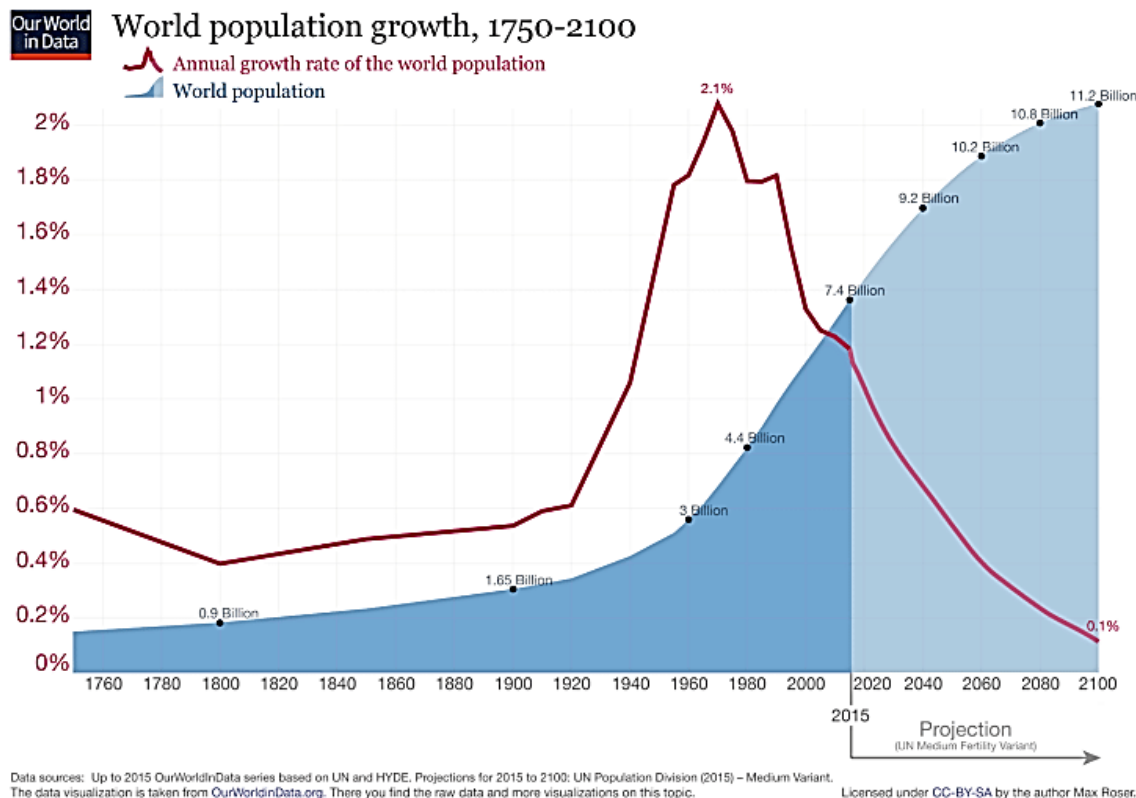
4.3. Környezetkárosítás- és védelem a nyugati országokban

„Bármely társadalom, amely feladja a szabadságát, hogy biztonságot nyerjen, az egyiket sem érdemli meg, és mindkettőt elveszti.” – Benjamin Franklin, az Am. Egy. Áll. egyik alapító atyja (saját fordítás)

A második világháborút lezáróan a kommunizmus és a nyugati liberalizmus nyerte meg az eszmei versenyt, és ezek váltak a következő évtizedek meghatározó ideáivá. A liberalizmus egy politikai eszme, amely az államot egy olyan szervezetként értelmezi, amely az adott államban élő polgárság személyes szabadságjogait és biztonságát szavatolja. Személyes szabadság alatt az egyén szabadságát a valláshoz és véleménynyilvánításához értjük. A modern értelemben vett liberalizmus a 18. században állt fel az akkori államformák és berendezkedések ellenében. Bár sok modern értelmezése van, de elsőként az abszolutista uralkodóktól és udvartartásaiktól próbálta ez az eszme felszabadítani a lakosságot, később pedig ez vált a fasizmus és a kommunizmus közös ellenpontjává.

Kimutatható, hogy a nagy gazdaságok úgy váltak a legnagyobbakká a szabadpiac liberális rendszerében és országaiban, hogy a szén-dioxid kibocsátásukat megnövelték. [40] A szén-dioxid kibocsátás egy mérőszám lehet annak megállapítására tehát, hogy egy társadalom mennyire fejlett, illetve arra is, hogy ez a társadalom mennyire szennyezi a bolygót.

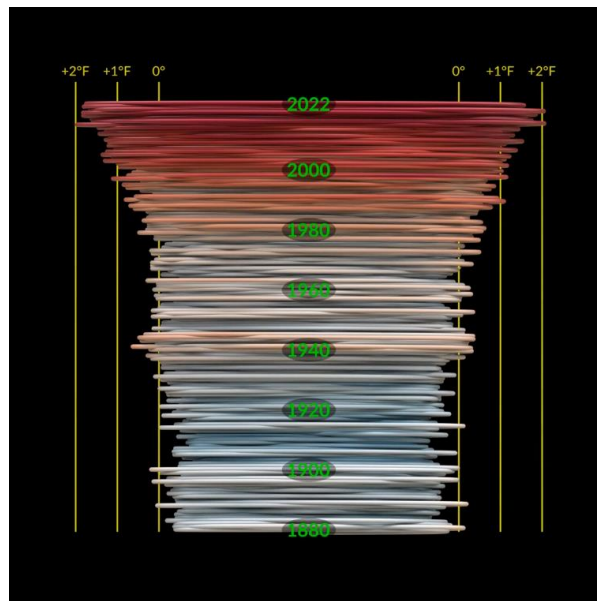
Több kutatás mutat rá arra, hogy a fejlett gazdasággal rendelkező országok a modernebb országok, amelyek fejlettségi szintjüket az iparuk által érték el. Viszont léteznie kell annak a populációnak is, ami az ipar által megtermelt javakat elfogyasztja, így kijelenthető, hogy ezen nagy mértékű termelés egyik mozgatórugója a népesség és ennek robbanásszerű növekedése a 20. század során. [41]



4.3.1. ábra: A Föld népességének éves növekedése (piros) és a Föld népessége az elmúlt 250 évben. Érdekes megfigyelni a robbanás-szerű növekedést a 20. század elején. [42]

Erre válaszul szerveződtek meg olyan egyesületek, amik azt tűzték ki célként, hogy rávegyék a gazdaságot irányító szereplőket a környezetvédelem fontosságára. [43] Sajnos ezek a szervezetek általában nem, vagy csak alig rendelkeznek elégséges hírnévvel és befolyással ahhoz, hogy érdemben tudják befolyásolni a vállalatok gazdasági döntéseit.

Vannak olyan kutatások is, amelyek a technológia fejlődésével párhuzamba hozzák a környezeti szennyezés (ezen kutatások által kimutatott) hullámzását. [44] Tekintetbe véve a NASA örvény-szerű diagramját a változó földi átlaghőmérsékletről, az általam olvasottak alapján ha a környezeti szennyezés nem is egyenletesen növekvő, annyit elmondhatunk, hogy ez a szennyezés egyre aggasztóbb mértékben növeli a Föld hőmérséklet-változását.



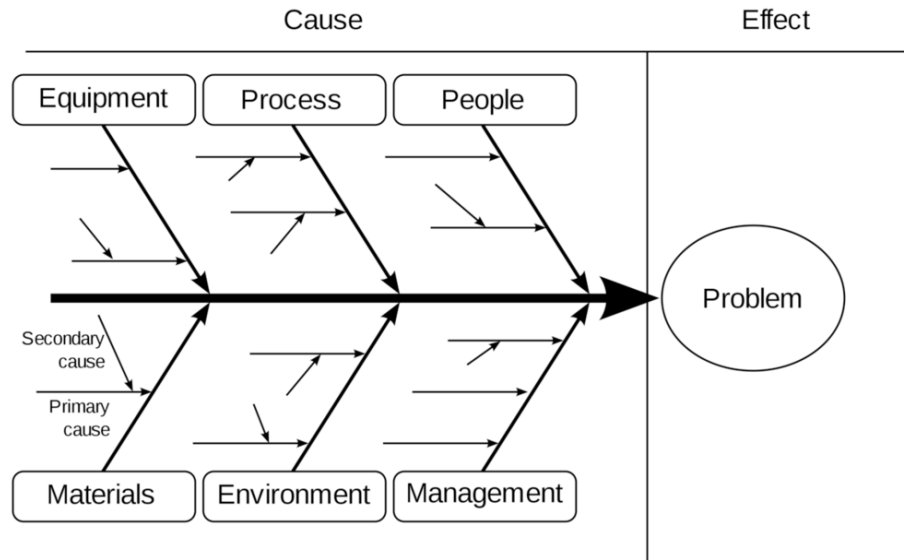
4.3.2. ábra: A NASA ún. klíma-spirálja. [45]

4.4. A fent leírtak összegzése

Összességében kijelenthető, hogy egyik modern, 20. századi eszmerendszer sem tudott megbirkózni az iparosodás által keltett nagymértékű környezetrombolással, és nem tudták ezeket a folyamatokat nem, hogy megfordítani, de megállítani, feltartóztatni sem. Történtek kisebb-nagyobb erőfeszítések a természet és az emberek megóvására, de ezek általánosságban véve csak apró tüneti kezelések voltak akkor, amikor már a baj nagy volt.

4.5. A gyökérok feltárása

A műanyagok széleskörű használatának gyökérokát fogom most feltárni. Ezt ugyan többféleképpen is meg lehetne tenni, akár több gyökérokra is visszavezetve a problémát, mint pl. Isikava halszálka-diagramjának felhasználásával, de én inkább maradnék a hagyományos, egyik lépésből a másikba lépő és kifejtő technikánál.



4.5.1. ábra: Ishikawa halszálka diagramja. [46]

Miért nem tiszteli az ipar a természetet? Azon kívül, hogy az ipar önmagában, tevékenységében, illetve annak melléktermékeiként szennyezi a környezetet, az én meglátásom szerint ez elsősorban gazdaság-kulturális akadály, amit jelenleg a szabadpiac féktelen és végtelen, de örökké fenn-nem tartható versenyhelyzete és a természet erőinek kizsákmányolása teremt.

5. GAZDASÁG ÉS POLITIKA

Miután rátértem a használt anyagokra és ezen anyagok környezetkárosító hatásaira az ipar tevékenységén keresztül, szeretnék egy keveset arról is tájékoztatni, hogy miért alakult úgy a történelem, hogy nekünk ezeket az anyagokat kell most használnunk, illetve ezáltal feltárom az általam talált gyökérokat is.

A Föld jelenlegi gazdasági berendezkedésében számomra a környezettudatosság egyben kapitalizmus-, és iparkritikus hozzáállás is, ezért nehéz ezeket a témákat egy éles határvonallal szétválasztani, és külön-külön beszélni róluk, viszont ebben a részben kísérletet teszek a szabadpiac mibenlétének feltárására. Ehhez mind mai, mind korábbi gondolkodóktól is kölcsönzök idézeteket és személyes meglátásokat.

5.1. A műanyagok környezeti terhelése a jelenlegi gazdasági rendszerben

„Product invented in the early 20th century, reached its peak some 100 years later and whose eradication will be one of the major challenges of the 21st century.” [47] Értelmezési fordításban annyit jelent, hogy a 20. század elején feltalált műanyagokat egy évszázad múltán (tehát jelen korunkban) már ki kell vezetnünk, és helyettesítenünk kell más anyagokkal. De miért vált ez szükségessé?

A ma használt műanyagokról nagy általánosságban el lehet mondani, hogy nem természetes, és nem lebomló anyagokról van szó, így ezek a környezetünkben sokáig, akár hosszú évezredekig is velünk maradhatnak. A világ olajkitermelésének nagyjából 7%-át használja fel műanyagok készítéséhez. [48] Még azok közül a műanyagok közül, amikkel például vizet palackozunk, csupán 30%-uk kerül újrahasznosításra, [49] a maradék az a szeméttelpeken, illetve a természetben, természetes vizeinkben végzi. [50] Évente nagyjából 350.000.000 tonna műanyagot állítunk elő, ebből körül-belül 2 millió tonna kerül az óceánokba. Ugyan a gyártott műanyagok 75%-a olyan anyag, amit újra lehet formálni, [51] ezt a szintű újrahasznosítást az emberiség mégsem gyakorolja.

5.2. Gyárak, vállalkozások, és a szabadpiac összefüggései

De miért lett az emberiség ennyire tekintet nélküli a környezetével és a természettel kapcsolatban? A közvetlen okot a jelenlegi gazdasági berendezkedésünkben látom, ami a kapitalizmus. „A kapitalizmus vagy piacgazdaság lényegét számtalan különböző módon fogalmazták meg az elmúlt évszázadok során. A fogalom jelentése nagyon egyszerűen így foglalható össze: A kapitalizmus alapvetően egy olyan gazdasági rendszer, ahol a termelőeszközök – minden ami jövedelmet termel: a föld, gyárak, szállítási eszközök, stb. – túlnyomó többsége magántulajdonban van. A magánvállalkozások és cégek a szabad piacon versenyeznek egymással. A megtermelt javak és szolgáltatások eloszlásáról a szabad piaci viszonyok döntenek.” [52]

A 20. század végén összeomló keleti blokk egyeduralkodóvá tette a szabadpiacot, mint fő gazdasági berendezkedést. A szabad piac a decentralizált piachoz hasonlít abban az értelemben, hogy az államnak nincs befolyása a termelékenységre vagy az árakra. A „piac láthatatlan keze”, az adás-vétel és kereslet-kínálat függvénye szabályozza az árakat és a termelés nagyságát. Az államnak ebben a rendszerben annyi befolyása van, hogy próbálja ellenőrizni a trösztösödést, korrupciót, és monopóliumhelyzeteket. Állami monopólium például a fegyvergyártás és az energiák allokálása, elosztása a vállalkozások között.

„Vállalkozás, főnév. Egy találékony eszköz, amely egyéni hasznot termel egyéni felelősség nélkül.” – Ambrose Gwinnett Bierce, újságíró (saját fordítás).



5.2.1. kép: Egy snitt a „Wall Street farkasa” című filmből: a főszereplő egy sikeres üzletember, akinek befektetőcége épp magas hozamot hozott. [53]

Bár a vállalatok, mint jogi személyek az ókori Róma kora óta léteznek, de a modern értelemben vett első részvénytársaságok csupán csak a 16. században jöttek létre.

Ezek a vállalkozások több jogi előnnyel is rendelkeznek az átlag állampolgárokkal szemben. Ilyenek például a feljelentés és később perindítás joga (legyenek ezek külsők vagy belsők), vagy egyes esetekben a vállalat felelősségének korlátozása vagy korlátoltsága a befektetőkkel szemben.

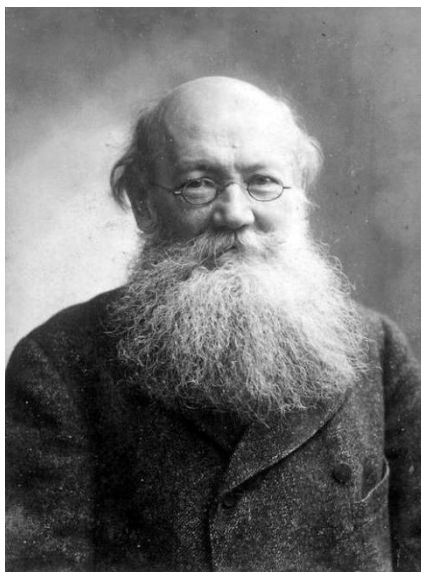
Ahogy egy vállalkozás nő, eljut egy olyan pontra, ahol nagy tőkét kell befektetni ahhoz, hogy tovább tudjon nőni. Erre azért van szükség, mert a stagnáló vállalkozás előbb vagy utóbb csődbe megy, így szükségszerű a folyamatos növekedés. Ezt a növekedéshez szükséges tőkét pedig külső partnerek bevonásával, a vállalkozás „tőzsdére vitelével” lehet könnyen elérni. Ezzel a lehetőséggel a vállalkozás gyorsan nagy tőkéhez tud jutni, miközben a kockázatot ezáltal ráhárítja a részvényeseire, így a cég működésének felelőssége megoszlik, tehát tulajdonképpen ami negatív externália, az nem hárítható át 100%-ban a cégre vagy egyes, a céget alkotó egyénekre.

5.3. Vadkapitalista érvek és ellenérvek

A kapitalizmus egyes hazai teoretikusainak (Ecsenyi Áron, Ecsenyi Szilárd) szellemisége szerint a kapitalizmusnak, vagy az általuk kívánt vadkapitalizmusnak véleményük szerint nem szabadna engedni a környezet-, és természetkárosítást, mert az ellentétes az egyes személyek érdekével. Ugyanakkor, ha az egyes személyek érdeke a kapitalizmus motorja, a tőke, akkor ebben az esetben ez a gondolat már felborul, és az egyén képes lesz szennyezni a környezetét a javak (mint pl. a pénz, így a tőke) felhalmozása érdekében. A tőke, mint a piacgazdaság mozgatórugója, amennyiben – az egész rendszer szellemiségét nézve – csak önmagáért, tehát a nagyobb tőkékért van, akkor ez a rendszer a rendelkezésre álló erőforrások felélésében érdekelt anélkül, hogy a folyamatai által termelt, negatív hatású anyagokkal (a kukába kidobott műanyag zacskó szemét esete) kezdene valamit, emellett pedig az egyre nagyobb tőkével rendelkező egyének pedig (logikusan) a saját érdekeiket, gondolataikat, termékeiket fogják propagálni a társadalom felé, akik ezeket az információkat és behatásokat vagy elfogadják, és együttműködnek a nagyobb tőkével rendelkező társasággal, vagy a pusztulás veszélye fenyegeti őket. Erről a neofeudalizmusba torkolló jelenségről több kritika is született az évek folyamán, néhány eléggé szemléltetően modellezi le ezt a jelenséget, mint Adam Something nevű YouTube tartalomgyártó „Anarcho-Capitalism In Practice” című videója, szimulációja erről az esetről. [54]

5.4. A kapitalizmus kritikája a politikai baloldalról

A szabad verseny kritikáját több oldalról is megfogalmazták már: „*Ne versenyezzetek! A versengés mindig káros a fajokra nézve, és bőven van erőforrásotok elkerülni azt!*” – Pjotr Alekszejevics Kropotkin. [55]



5.4.1. kép: Pjotr Alekszejevics Kropotkin, anarchista filozófus. [56]

Az én értelmezésemben a szerző arról beszél, hogy az ember környezetében mindig elégséges anyagok és környezeti felépítettség áll a rendelkezésére, hogy azt olyan módon használja fel, ami nem káros a természetre, és nem rontja az adott állatfaj (jelen esetben az ember) túlélési esélyeit a jövőre nézve sem. Ezt az elméletet én vallom, és így ezzel egyetemben nekünk, mint emberiségnek, el kell vetnünk a szabadpiac által okozott, nagymértékű, az elnyomáson alapuló, kizsákmányoló magatartást mind embertársainkkal, mint a környezetünkkel, a természettel kapcsolatban.

„Capitalism is a system that by its very nature must expand until it destroys the conditions of its own existence.”, vagyis „A kapitalizmus olyan rendszer, amelynek természeténél fogva addig kell terjeszkednie, amíg el nem pusztítja saját létezésének feltételeit.” – olvasható Arran Gare, *Soviet environmentalism* című művében. [57] A kései Szovjetunióban egyre nagyobb hangsúlyt fektettek a környezetvédelemre. Ennek oka főként az volt, hogy a keleti blokk nem tudott gazdasági-, vagy katonai (a modern értelemben vett birodalmi) világuralomra törni, így több kulturális mozgalom is létrejött, köztük az említett környezettudatosság is, ami a Szovjetunió későbbi felbomlásának békés átmenetét is hivatott volt elősegíteni, egyfajta új erkölcsi iránymutatást adva a népnek arra a zavaros időszakra, amikor az ország már nem lesz képes szuperhatalmi helyzetét fenntartani.

5.5. Technokrácia, mint legújabb céges vallás

A kapitalista rendszerben létesült cégek, gyárak, és azok igazgatói mára már saját hitvallássá tették a technológiát. A technokrata vezetők eszménye klasszikus értelemben a populáció legnagyobb értelemmel rendelkező tagjainak (saját értelmezésükben ezek ők maguk) uralmát jelenti, modern értelemben a legnagyobb techcégek és milliárdosok társadalomra gyakorolt nyomásait, változtatásait, és annak vezetését értjük. Ennek az eszmének a hajtómotorja a technológiai fejlődés és fejlesztés, amit a relatív végtelen tőkével rendelkező techcégek tesznek lehetővé a gyáraik által.

Látszólag ezen jelenlegi rendszer legnagyobb képviselői sem számítanak jobb kimenetelre: Mark Zuckerberg, a Facebook alapítójának és a Meta cégcsoport vezetőjének épül 270 millió dolláros apokalipszis-biztos birtok a Hawaii-szigeteken, derült ki a Wired interjúja alapján. [58] Ebből arra következtethetünk, hogy most már a techmilliárdosok sem bíznak abban, hogy a Föld megmenthető egy következő, a viszonylagos közeljövőben bekövetkező globális katasztrófától és tömeges kihalásról, amit az emberi szennyezés okoz, és amit a technológiának kellene megoldania, ami technológia éllovasai és úttörői ők maguk lennének.

5.6. Összegzés, következtetés

Összességében tehát kijelenthető, hogy a piacgazdaság és a technokrácia intézményei nem csak, hogy nem törődnek a környezetvédelemmel és a természettel, de megjelenésük óta rombolják azt. Így szükségszerű ezeket a rendszereket átalakítani ahhoz, hogy a bolygó a következő évszázadban is lakható legyen.

Vannak olyan tanulmányok is, amelyek kilátásba helyezik a kollektívizmust, mint gazdasági rendszert az ökológiai helyzet megfordítására. [59] Bár érteni vélem a szándékot, de a 20. század bebizonyította számunkra, hogy a szervezeten kollektivisták országok élehetetlenek, így szükségszerű inkább a jövőbe látni, és így felépíteni egy olyan rendszert és társadalmat, amely ezeket a válsághelyzeteket megfelelően tudja kezelni. Annak reményében, hogy az emberiség egy olyan társadalmat épít magának, amely

értékeli az embert, mint legmagasabban működő élő entitást az univerzumban, illetve emellett tiszteli saját környezetét és a természetet is, utópisztikus gondolatokkal kell előállnunk. Ezeknek értelme az, hogy az ember nem a nagyobb termelésért vagy több pénzért létezzen, hanem hogy élvezni tudja saját alkotásait és a természet adta csodákat.

Úgy vélem, hogy ezeknek az új, utópisztikus gondolatoknak, amelyek a technológiát, a természetet, és az embert egyaránt szeretik még azelőtt kell eljönniük és elterjedniük, hogy az emberiség megfojtaná magát mocskában. A most tizenévesek nemzedékében látom azt a potenciált, konfliktust a jelenlegi rendszerekkel szemben, mely később a kellő szellemi energiákat mozgósítva forradalmasítsa a gazdaságot. Addig is, a jelenlegi eszközeinkkel kell harcolnunk a bolygó élővilágának, illetve az emberi civilizáció fennmaradásának érdekében.

6. IRODALOMKUTATÁS: A 3D NYOMTATÁS

Az első fő, műszaki téma a 3D-nyomtatás. Ebben a témakörben részletezem ennek jelentését, kialakulását, jelentőségét, és a technológia valódi mibenlétét.

Az Óbudai Egyetem, lévén egyike Magyarország legnagyobb és legfelszereltebb egyetemeinek, fő szempontként tartja maga előtt a fejlesztést és fejlődést. Ennek a nagyközönség előtt is könnyen látható példái a Lego robotokkal bemutatott kiállítások, a VR-technológia bemutatása, és különböző automatizált és robotizált technológiák szoftveres és hardveres technológiák (robotkarok, automatizált gyártósorok) továbbfejlesztései. Ezen eszközökkel hallgatóit könnyebben meg tudja ismertetni a modern technológiákkal és iparral. A modern technológiákhoz és ipari környezethez tartozik hozzá a 3D nyomtatás. Ennek történetével fogom kezdeni a technológia bemutatását.

A 3D nyomtatás egy úgynevezett additív, tehát anyag hozzáadásával termékek előállítására képes technológia. „A 3D nyomtatásnak többféle technológiája létezik, mint például SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Sintering) és FDM (Fused Deposition Modeling). Az FDM a legelterjedtebb 3D nyomtatási módszer. Ez a technológia műanyag vagy más, hőre olvadó anya-gokat használ a rétegek építéséhez. A hőre olvadó filamentek tekercsről érkeznek, amelyeket az anyag tárolóban helyeznek el a nyomtatóban. Az asztal, ahol a modell kialakul, általában fűtött, hogy megelőzze a deformációt. Az extruder precízen vezérli a filament áramlását, amit a hotend melegít fel adott hőmérsékletre. Majd ezután a fej rétegeket hoz létre és felépíti a modellt. Ennek a technológiának az előnye, hogy az FDM nyomtatási technológia viszonylag alacsony költségű, különböző típusú és színű filamentek használhatók, továbbá az FDM nyomtatók könnyen karbantarthatók, valamint kezelhetők. Mint ahogy sok más dolognak, ennek is vannak hátrányai, amik a nyomtatott objektumokon láthatók. Ezek lehetnek a rétegek nyomai, de elmondható az is róluk, hogy az FDM nyomtatók általában kevésbé precízek, mint más típusú nyomtatók.” [60] A 3D nyomtatás tehát az egyik legforradalmibb technológia a gyártás területén. Képesek vagyunk nagyon pontosan elkészíteni olyan termékeket, amiket hagyományos gyártási technológiákkal nem, vagy csak nagyon

nehézkesen lehetne. [61] Emiatt prototípus-, és különleges szerelvények gyártásához különösen alkalmas. [62]

6.1. A 3D nyomtatás technológiájának létrejötte

Ahhoz, hogy megértsük egy ilyen nyomtató elvi működését, szükséges történelmi kitekintés annak érdekében, hogy a hozzá kapcsolódó nyomtatás fogalma tisztázva legyen.

„Amit a puskapor tett a háborúkkal, azt tette a nyomtatás az emberi elmével.” – Wendell Phillips, bíró (saját fordítás)

A Johannes Gutenberg által feltalált nyomdagép ötlete ugyan nem bonyolult, de mégis nagyon sok kisebb találmánynak kellett megjelennie, hogy létrejöhessen ez a gép. A 15. században egy ilyen nyomtató úgy nézett ki, hogy egy keretes tálcára rátették a betűket, ezeket bekenték tintával, majd rányomták a papírlapra, ezzel gyorsan létre jöhetett egy íromány, amit azonnal közzé lehetett tenni. Bár ez a módszer lényegesen pontosabb „másolás” volt, mint a kézzel írt kódexek világa, a forgódobos nyomdagép megjelenéséig az 1800-as évekig kellett várni. Manapság a számítógép átvette a dokumentumok terjesztését és fizikai másolatait is, hiszen a modern nyomtatók nagy pontossággal tudnak írást és képet megjeleníteni a papíron, a kívánalmak legszélesebb tárházának megfelelően.

De hogy is működik ez ilyen modern nyomtató? Egy közönséges, úgynevezett inkjet/tinta-, vagy festékpátronos nyomtató 4 színnel, a sárgával, a magentával, a kékkel, és a feketével „festi be” a papírlapot úgy, hogy a papír a gépben való haladási irányával merőlegesen kvázi festékszórókat mozgatva. Ezek a festékszórók tulajdonképpen a tintapátronok aljai, amik akkor bocsátanak ki magukból tintát, ha elektromos jelet kapnak. A papírlap több pixelre van osztva, ahol a kinyomtatandó kép színeinek megfelelő arányban keveri össze az előbb említett színeket a nyomtató, így elkészítve a kívánt művet. [63] Tulajdonképpen ez az a nyomtatási módszer, ami miatt a 3D nyomtatást így hívjuk. Maga a 3D nyomtatás fogalma pedig a Massachusetts-i Műszaki Egyetem két

doktoranduszától ered, akik tintasugaras nyomtatót alakítottak át úgy, hogy annak alkalmazásával térbeli, műanyag alakzatokat hozzanak létre.

Az 1950-es években már létrejött a gondolata egy additív gyártás (additive manufacturing, AM) technológiájának. [64]

1971-ben szabadalmaztatták az első nyomtatásos elven működő eljárást, amelynek legyártott végtermékét hevítéses, olvasztásos módszerrel újra fel lehetett használni. [65] A '80-as években több olyan találmány is szabadalmaztatásra került, melyek a modern 3D nyomtatók alapját képezték a műanyagok széleskörű használatának köszönhetően. [66] A '90-es években pedig már a fém szerkezetek 3D nyomtatásával is kísérleteztek és jártak sikerrel. [67]

A 2000-es évek elején az alaptervezet továbbfejlesztése nyomán egyre szélesebb technológia állt a fejlesztők rendelkezésére, a 2010-es években a rá irányuló figyelem hatására pedig erőre kapott. A technológia 21. századi robbanásszerű fejlődését a szabadalmak lejárta és a modern ipar, az ipar 4.0-nak forradalma eredményezte, így létrejöttek azok a gyártók és márkák, amik már relatív olcsóak és magánhasználatra is alkalmasak lettek. [68]

6.2. 3D nyomtatási típusok

Az előzőekben említett sorrendben tehát az SLA, az SLS, és az FDM 3D nyomtatásos technikákat mutatom most be. [69]

Az SLA a Stereolithography rövidítése. A technika lényege, hogy egy folyékony halmazállapotú, úgynevezett fotopolimert, tehát fényre keményedő műanyagot használ alapanyagként az építéshez, amit lézersugarakkal szilárdítanak meg.

Ez a módszer képes nagyon pontos lenni, az elkészített munkadarabokat részletesen lehet vele kidolgozni, de hátránya között ott van az a tény, hogy kizárólag fényre reagáló műanyagokat lehet a folyamat közben alkalmazni.

Az SLS a Selective laser sintering rövidítése, ennél a technikánál felerősített lézersugarakat irányítanak bele egy porral teli edénybe vagy medencébe. Ez a por lehet fémes, polimeres, vagy szemcsés kerámia-alapú, ami port a lézer megolvaszt, így hozván létre szilárd alakokat és testeket.

Általában ezt használják olyan modellek létrehozására, amelyeket nem lehet hagyományos forgácsolási- vagy öntészeti úton előállítani. Különleges anyagok és magas energiaköltség jellemzi.

Az FDM a Fused deposition modelling rövidítése. Lényege, hogy hőre lágyuló műanyagot alkalmazva és azt hevítve egy extrudálási folyamatot követve rétegről-rétegre építi fel a termékünket. Ez a legelterjedtebb módszer mind közül.

A technika azért ennyire elterjedt, mert ez a legolcsóbb és legkönnyebben kezelhetőbb mind a használt anyagokat, mind a nyomtatót ideértve. A technika által készített darabokon meglátszik a rétegződés, de ez utómunkával (polírozás, majd festés) orvosolható.

6.3. A 3D nyomtatás folyamata

Az előzőekben említettek közül az FDM technikára épülő nyomtatókkal kapcsolatos folyamatokat fogom ismertetni.

A 3D nyomtatást tulajdonképpen 4 fázisra lehet osztani: az első a 3D-s számítógépes modell létrehozása, megtervezése, a második ennek a modellnek a 3D nyomtató tulajdonságaihoz igazító szeletelőprogram alkalmazása, a harmadik maga a 3D nyomtatás/építés, majd, ha szükséges, a negyedik lépés a készre munkálás. [70]

„Sose bízz meg egy olyan számítógépben, amelyet nem tudsz kihajítani az ablakon.” – Steve Wozniak, számítógéptervező (saját fordítás)

A számítógép egy olyan eszköz, ami képes ismétlődő aritmetikai vagy logikai funkciókat sokkal gyorsabban végezni, mint az emberi agy.

A legelső számítógépeket alapvetően nehéz és összetett matematikai egyenletek és számítások megoldására tervezték. Charles Babbage brit matematikus készített hasonló gépet a 19. században, amit Analitikus Motornak, angolul „Analytical Engine”-nek nevezett el. A 20. század folyamán több ilyen matematikai számításokra képes számítógépet is építettek, főként hadi célokra, mint például a tengeralattjárókba a torpedó pályájának kiszámítására vagy a bombázó típusú repülőgépekbe, hogy a bombacélzó készülékkel precíziós bombázásokat hajtsanak végre, de a híres Enigma-kódot is egy angol matematikus, Alan Turing által tervezett kvázi számítógép fejtette meg.

Az egyre szélesebb teret nyerő elektronikai kutatások és fejlesztések teret adtak az első digitális számítógép megszületéséhez. Az első teljesen elektronikus számítógép 1946-ban épült, 18 ezer elektroncsőből állt és percenként volt képes volt több száz egyenlet és matematikai probléma kiszámítására. A kezdeti lelkesedések és fejlesztések gyorsan csökkentették ezen gépek méretét úgy, mint növelték azok gyorsaságát és hatékonyságát. Ma a számítógépek az egész világon, az emberek házaiban és zsebében elterjedtek, és az emberiség igényeinek széles skáláját elégítik ki. Ma már létrejött a gondolkodni és fejlődni képes mesterséges intelligencia is, ami eddig nem látott fejlődési potenciált hordoz magában.

A 3D tervezés vonatkozásában a számítógép egy alap, ahol a modellünket elkészítjük. A 3D-s modelleket tervezőszoftverek segítségével készítjük el. [71] Ilyen programok például az AutoCAD, Inventor, FreeCAD, Fusion 360, SketchUp, Solid Edge. Bár ezek közül nem mindegyiket lehet használni minden nyomtatóhoz, de az utóbbi évek fejlesztései már több-kevésbé lehetővé tették ezen tervezők által generált modellek saját, különleges fájljainak használatát is.

Ha megvan a modellünk és rendelkezünk egy 3D nyomtatóval is, akkor a szeletelőprogramot kell felhasználnunk, hogy a meglévő modellünket olyan részekre bontsa, amelyet a nyomtató a műveletei során már kezelni tud. Ezekben a szoftverekben kell beállítani többek közt a nyomtatási tálcá vagy printer fej hőmérsékletét, a gép gyorsaságát, várakozási és hűlési időket.

Ha az előző műveletekkel megvagyunk, a munkadarabunkat nekiállhatjuk kinyomtatni. A nyomtató számítógépe beolvassa a modellt, a szeletelőprogram segítségével rétegekre bontja, majd megkezd a termék nyomtatását a gépbe általában spulnin felcsévélve adagolt műanyag szálból, úgynevezett filamentből. A nyomtatási idő attól függ, hogy mekkora és milyen bonyolultságú termékről beszélünk.

Amennyiben kész van a termékünk, tehát a végleges formáját elnyerve meghűlt, még van lehetőségünk arra, hogy hagyományos anyagleválasztási módszerekkel (reszelés, fűrészelés, köszörülés, polírozás, stb.) finomítsunk az elkészült modellünkön. [70]

6.3. Használt anyagok

A már előzőekben említettek szerint az FDM technológiában használt anyagokat ismertetem.

Felsorolás-szinten a következő anyagokat szoktuk használni a 3D nyomtatásban:

- politejsav (PLA),
- akrilnitril-butadién-sztirol (ABS),
- polietilén (PE),
- polipropilén (PP),
- polikarbonát (PC),
- nejlon (PA),
- polietilén-tereftalát (PET),
- poliéter-éter-keton (PEEK),
- poliéterimid (PEI).

Ezeket az anyagokat három fő osztályba tudjuk sorolni tulajdonságaik és felhasználásaik tükrében: [71]

- A PLA, ABS, PE, és PP anyagok nem túl szívósak és könnyen kopnak, ezért tulajdonképpen inkább dísz tárgy és prototípus-készítésre alkalmasak csupán.

- A PC, PA, és PET anyagok szívósabbak, nehezebben törnek, nagyobb kopásállóság jellemzi őket, így egyfajta tartóelemként is működhetnek, érdemes tehát belőlük már szerkezeti elemeket készíteni.

- A PEEK és PEI anyagok a legtöbb kémiai és fizikai behatásnak ellenállnak, így ezek rendelkeznek a legszéleskörűbb felhasználhatósági potenciállal, ugyanakkor nem lebomló anyagokról beszélünk, és az újrahasznosításuk így körülményes.

Az a három anyag, amit a legtöbbször alkalmaznak a PLA, az ABS, és a PET, ezek közül is a PLA a legelterjedtebb, mivel kiválóan nyomtatható, és általánosságban véve a késztermék megfelel a végfelhasználónak, mint kis igénybevételű szerkezeti elem vagy szimpla dísz tárgy. Az ABS erősebb, ellenállóbb a fizikai és kémiai hatásoknak is, mint a PLA, de gőzei és kipárolgásai miatt ártalmas lehet az egészségre. [72] A PET nehezebben kezelhető a nyomtatás során, és a glikolt tartalmazó PETG pedig könnyen tud felvenni nedvességet a levegőből, de ezek az anyagok még inkább szívósabbak és ellenállóbbak. [73] [74] A későbbiekben a PET-tel fogok többet foglalkozni.

6.4. Az alapanyagok beszerzési lehetőségei

A 3D nyomtatás során használt anyagokat, a spulnira feltekert műanyag alapanyag-szálakat, úgynevezett filamenteket ma már könnyű beszerezni, erre több online üzlet is szakosodott, így nem kell helyben megvennünk az adott anyagot, elég azt online megrendelnünk.

Bár az alapanyag tisztasága magas, az árak hasonlóképpen tükrözi ezt a trendet. Egy tekercs anyag ára ma Magyarországon a húszezertől a hatvanezer forintig terjed attól függően, hogy mit és milyen minőségben és mennyiségben szeretnénk megvásárolni a makettünk elkészítéséhez.

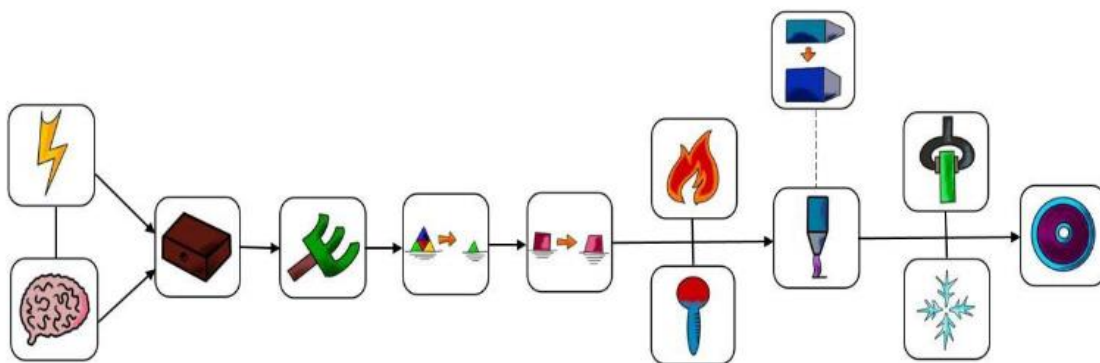
Emellett a használt anyagok tulajdonságait figyelembe véve képesek lehetünk akár saját magunk is előállítani ezeket az anyagokat, így adott a lehetőség arra, hogy egy filamentgyártó gépet tervezzünk – ami természetesen ezen diplomamunka témája és célja.

6.5. A filamentgyártás irodalma

A gyári filamentszálakból épített makettek újrahasznosításának módjaira már született tanulmány. [75] Ebben a tanulmányban a hibás termékeket és leselejtezett filamentszálakat veszik alapjául az újrahasznosításnak a következőképpen: adott egy mikrokontroller, ami vezérli az egész gépet és adagolja be a selejt anyagot egy darálóba. Második lépésként a daráló, miután egyenletesen kis méretűre darabolta az anyagot, adja tovább ezt a darálékot a hevítő egységnek, ami húzásos módszert segítségül hívva extrudálja az anyagot egy megfelelő méretű filamentszállá.

Bár ez a koncepcionális kidolgozás akár megfelelő lehetne az én számomra is, az említett módszer relatív nagy tisztaságú, már használt vagy még fel nem használt és már fel nem használható filamentszálak újrahasznosításával foglalkozik, ami nekem ötletadásként funkcionálhat, de tekintve a használható anyagok sokszínűségét és azok tulajdonságait, illetve – az előzőekben részletezett – PET tulajdonságait figyelemmel tartva nem biztos, hogy számomra ez megfelelő irány ebben a témakörben.

A magyar nyelvű tudományos cikkek világában a kereséseim gyorsan váltak idegennyelvűvé vagy kevésbé tudományossá, mert itthon tevékenyen ezt a témakört látszólag még egyik egyetem sem dolgozta föl. Viszont YouTube videók és Facebook-cikkek formájában már találtam példákat, amik általában ugyan azt az egy koncepciót követik: egy Creality Ender-3 FDM 3D nyomtatót használnak föl, illetve alakítanak át úgy, hogy melegítse és filament szállá formálja a folyamat előző lépésében csíkra vágott műanyagot, továbbá hogy meghajtsa a filament-szálat gyűjtő spulnit.



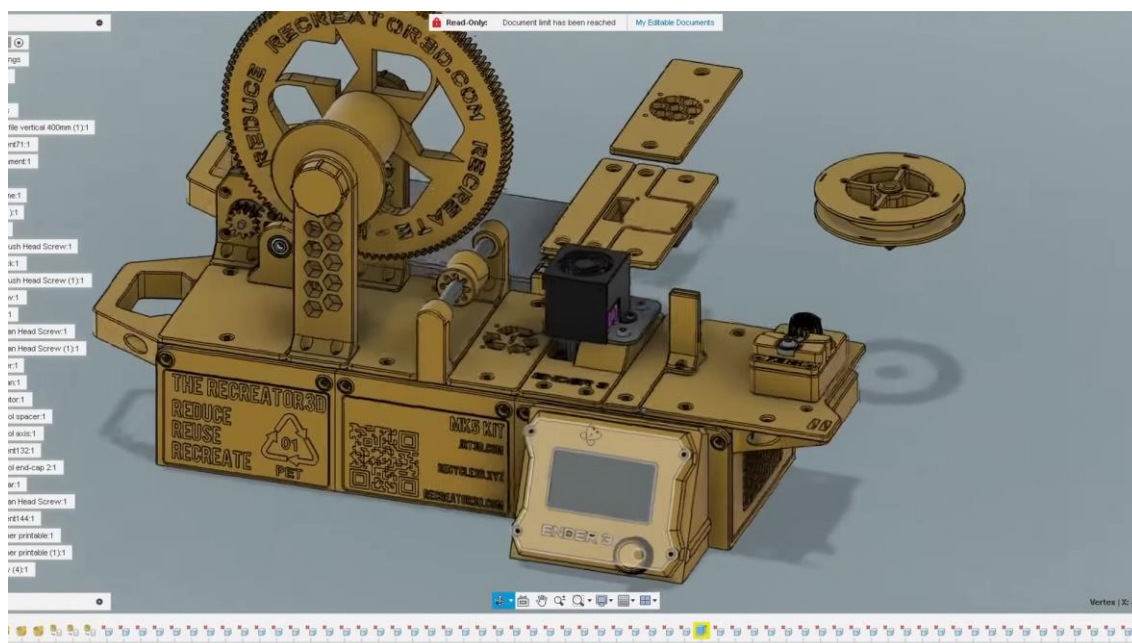
6.5.1. ábra: Az előzőekben említett folyamat jelképes rajza: „6. ábra. A kiválasztott megoldásváltozat” [75]

6.6. Filamentgyártás PET-palackból

Az idegennyelvű források is mind-mind az előbb említett módszert részesítik előnyben és részletezik, de itt már tudományos cikkek formájában is. [76]

A szóban forgó konkrét módszert Recreator 3D-hez lehet visszavezetni. [77] Ez az egyén tervezett meg egy olyan koncepciót, ami használható, és ezt a megtervezett terméket vette át az idegennyelvű környezet és a magyar 3D nyomtatással foglalkozók társaságai is. A termék nem egyben vehető meg, hanem alkatrészeinek 3D-s tervei/modelljei letölthetőek, [78] illetve az összeszerelési útmutató az Ender-3-as nyomtató szétszerelésével együtt.

A koncepció lényege, hogy a régi, kevésbé pontos 3D nyomtatónkat fel tudjuk használni ahhoz, hogy környezetvédelmi-, és gazdasági szempontoknak eleget téve a szemétként dobandó palackokat újrahasznosítsuk az új nyomtatónk által használt PET alapú filamentté. A PET-palackokat a leírás és a gyakorlatok [79], [80] alapján először fel kell hevíteni, hogy felülete egyenletes legyen, illetve le kell vágni annak alját, mert azt a gép nem tudja felhasználni. A palackot ráhúzzuk egy tengelyre, a palack alját pedig megvágjuk, és berakjuk a gép vágórészébe, hogy az folyamatosan tudja majd ezt a műveletet végrehajtani (ez a rész nem automatizált). A műanyag vágatot áthúzzuk a 3D nyomtató adagolóján, amit előzőleg a leírásokban talált hőfokig hevítettünk a nyomtató szoftverével. A fej a hevítés közben cső-alakra „összegyűri” a levágott műanyag-lapot, így kialakítva a filament-szálat. Ezalatt manuálisan húzzuk el a szálát a spulniig, ahol rögzítjük, majd automata húzásra állítjuk a motort. A folyamat végeztével a spulnira feltekert anyagot összegyűjtjük.



6.6.1. ábra: A filamentgyártó gép 3D-s modellje Walter Reéb nevű YouTube felhasználó videójából. [80]

6.7. Egyéb PET-filamentgyártó elképzelés

Ebben a témakörben ez utóbbi teszi ki a legnagyobb bázist, amiből táplálkozni tudok. Kisebb részt foglalnak magukba azok az egyéni vállalatok és építmények, amik nem erre az elgondolásra épülnek, de hasonló hatékonyságot érhetnek el.

Ilyen koncepció például az, ami a műanyag palack vágásából származó műanyagcsíkokat először úgyszint egy spulniba gyűjti, és egy külön, másik fázisban alakítja azokat át. Ez véleményem szerint egy biztonságosabb verzió, tekintve azt, hogy a PET nehezen kezelhető, amikor már kihűlt, mert nagy energiát képes tárolni, ha - itt a filamentünk esetében - kötegbe, spulnira összerakjuk.



6.7.1. kép: Az ebben a részben leírt, már megvalósult filamentgyártó. [81]

6.8. Vélemények a legelterjedtebb módszerrel kapcsolatban

Az említett források beszámolnak arról, hogy a gép megépítése nem túl költséghatékony, és hosszú idő kell a gép építési költségeinek megtérüléséhez. Ezen kívül nem teljesen megfelelő megoldás az, ha a gép egyből a vágás után készíti el a filamentet, mert így több ponton történhet elakadás, bár ha a vágást és a filamentté formálást külön kezeljük, akkor több figyelmet és energiát kell lekötönni egy új gyűjtőspulni megalkotására és kezelésére. Többek között egy ellenérv az is, hogy a szerkezet alapja, a 3D nyomtató már önmagában drága ahhoz, hogy egy ilyen feladatra használjuk. Ezen felül jönnek azok a problémák is, ami az alapanyag, a PET-palack tisztaságát veszi górcső alá: ezek a palackok szennyezettek lehetnek, és sem ez a koncepció, sem az általa bázisként használt 3D nyomtató feje sem kifejezetten szereti a port vagy szennyeződések, illetve ha ezzel az alapanyaggal nyomtatunk később, akkor a szerkezeti problémákhoz is vezethet a későbbiekben, amikor a modellünket már kinyomtattuk.

Ezek szerint kijelenthető, hogy ez a változat nagyobb módosításokra szorul, de egy jó alap, amiből kiindulhatok. A következő fejezetben már a gép tervezése lesz górcső alatt.

7. TERVEZÉS

A gépész ember lusta ember, bár nem a hétköznapi értelemben. A gépész, ha már van egy elfogadható mértékben működő megoldás, inkább a már meglévő megoldást veszi alapul és alkalmazza a saját feladataihoz, illetve ezt fejleszti tovább a saját gondolatai megvalósításához.[79]

Ezzel a gondolattal összhangban fogom ebben a részben megfogalmazni a fejlesztéseimet a filamentgyártó gép témakörében.

7.1. A The Recreator 3D Mk5 Ender 3 rövid bemutatása és leírása

Az előzőekben említettek szerint a The Recreator 3D egy Creality Ender 3 típusú 3D nyomtatóból átalakított filamentgyártó gép, aminek célja, hogy egy tisztább jövőt teremtsen úgy, hogy közben relatív hasznot is ad a felhasználójának.

Ahogy Walter Reéb YouTube-felhasználó videójában is látható,[79] a gép egy pár csapágy segítségével lassan egy csíkra szeleteli a hosszú csavarra ráhúzott PET-palackot, amit az Ender 3 hevítőfeje alakít körkeresztmetszetű anyaggá, amit a gép másik oldalán látható nagy fogaskerék tengelyén elhelyezett spulni gyűjt össze azután, hogy azt rögzítettük rajta. A folyamat inntől kezdve automatizált a palack keskenyebb, nyak alatti részéhez érve viszont a gépet le kell állítanunk, mert az nem képes a túlságosan megdőlt nyersanyagot kezelni.

Felépítését és anyagát tekintve egy főként 3D nyomtatott műanyagból készült szerelvényről beszélünk, amin sok alkatrész és a borítás is az előbb említett anyag. Illetve áll még a 3D nyomtató alkatrészeiből, amik fém keretek, vezetékek, áramkörök, alaplap, illetve szerkezetek, mint a hevítő vagy a külön, golyóscsapágyból áttervezett vágókészülék.

A nyersanyagot, mivelhogy alapvetően kidobásra szánt műanyagról van szó, alaposan ki kell tisztítani, mielőtt használnánk. Illetve hevítéses eljárással (akár hőlégfúvóval) hőkezelnünk kell a műanyag palackot, hogy a felülete egyenletesebbé váljon. Erre azért van szükség, hogy a vágókészülékünk megfelelően, elakadásmentesen tudja vágni az alapanyagunkat.

Amint a csíkra vágott PET-palack áthalad a hevítőfejen, az felveszi a hevítő csőrének alakját, így nem tömör körkeresztmetszetet, gyűrű alakot vesz fel. Ez a késztermékünk, amit a spulnira kell rögzítenünk, hogy az automata funkció az alapanyag elfogyásának idejéig tudja termelni a kívánt filamentet.

A késztermék filament összegyűjtésénél figyelni kell a PET, mint alapanyag azon tulajdonságára, hogy nagyon szívós és strapabíró anyagról beszélvén a spulnira feltekerve energiát tárol. Ha megszüntetjük az anyag feszítését, az egy felcsévél, és hirtelen elengedett laprugóhoz hasonlóan fog viselkedni, így körültekintően kell eljárni a további kezeléseikor. De ezután a filament már kész a további hasznosításra, és használható a 3D nyomtatónkhoz.

7.2. A megtérülés változása Walter Reéb felhasználó videója[79] óta

Walter Reéb YouTube-felhasználó videójában a következő adatot említi (2024. január):

- Energiafogyasztás+filament összköltség saját nyomtatással: ~20'000 HUF
- Nyomtatás és kiszállítatás a JLC3DP vállalkozással: ~90'000 HUF

Ezekből már alapvetően következtethetünk arra, hogy külön céggel kinyomtattatni az alkatrészeket sokkal drágább (az általunk generált saját költségek 4,5-szöröse), mint azt otthon a saját nyomtatónkkal és anyagainkkal magunknak legyártani. Tekintve, hogy belföldön az említett Ender 3-as 3D nyomtató használtan átlagban ~65'000 HUF,[82] még így is megtérülhet a befektetés, hogyha az átalakításra váró nyomtatóval készítjük el az alkatrészeit a majdani filamentgyártónak.

Költségek saját kutatás alapján (2024. május):

- Energiafogyasztás+filament összköltség saját nyomtatással: ~34'000 HUF (saját számítások[83]); vagy $12'450 \text{ HUF}$ anyagköltség + ($168h * 35 \text{ HUF}$ vagy 70 HUF) = $13'185 \text{ HUF}$ vagy $13'921 \text{ HUF}$ [84]
- Nyomtatás és kiszállíttatás a JLC3DP vállalkozással: ~90'000 HUF (változatlan)

Mivel saját kutatásaim alapján az áramfelvételi költség gyakorlatilag elhanyagolható, az összköltség itt főként a felhasznált anyag mennyiségére összpontosít, nyers árakat figyelembe véve, leárazásoktól eltekintve.[83] Az anyagköltséget a már többször említett videó alapján 1,5kg-nak vettem, és felszoroztam az FDM nyomtatókhoz használt ABS filament grammonkénti árával. A kettő összevetéséből arra következtetek, hogy természetesen továbbra is jobban megéri saját magunk legyártani az alkatrészeket, de a költségeink nagyban függnének attól, hogy honnan, és hogyan vásárolunk alapanyagot a nyomtatáshoz.

Zólmay Zénó[84] közreműködésével saját tapasztalatai és kísérletei alapján megalkotott számítások arra engednek következtetni, hogy a tapasztaltabbak fele akkora áron képesek elérni azonos eredményeket.

Az itt említettek alapján a számolás a következőképpen történt: megtörtént a termékek össztömegének lemérése, ez 1425g. Ez – mellékesen megjegyezve – előzetes becslés alapján nagyjából 2 (nagyobb) tekercs filamentnek felel meg. Itt fontos megemlíteni, hogy egyes alkatrészeknek jobb lenne egy sűrűbb építőanyag, illetve a többször említett videóban is elhangzik, hogy egyes alkatrészeket akár ki lehetne hagyni az építésből, középutnak az alkatrészek teljes tömege lett alapul véve, a konstrukció tovább gondolása nélkül.

A nyomtatás alaphangon 160 órát venne igénybe, de nyomtatótól függően ez lehet 170 óra is, így egy közmegegyezésen alapuló középérték a 168 óra lett, mert ezzel könnyű számolni, illetve könnyű elképzelni, vizualizálni is.

Az Ender 3-as nyomtatónak 12 óra alatt nagyjából 1,5kWh a fogyasztása. Ez óránként 0,125kWh, tehát ez 168 óra alatt 21kWh áramfogyasztást jelent.

A lakosság kb. 35HUF/kWh-ban fizet az áramellátásáért, amennyiben nem fogyaszt túl. Ha túlfogyaszt, akkor ez az érték elérheti a 70HUF/KWh-t is.

Az előző két adat, tehát a gép futási ideje, amíg az alkatrészeket kinyomtatja, és az elektromos áram árának képletei a következőképpen néznek ki: $21\text{kWh} * 35\text{HUF} = 735\text{HUF}$; illetve $21\text{kWh} * 70\text{HUF} = 1470\text{HUF}$.

Kijelenthető, hogy a várakkal ellentétben a 3D nyomtatói piac nem, vagy csak elhanyagolható mértékben változott 2024. januárja és májusa között.

Továbbá egyértelmű az is, hogy a tapasztaltabb 3D nyomtatással foglalkozóknak (tapasztalataiknál fogva) több lehetőségük van olcsóbban beszerezni a 3D nyomtatáshoz szükséges filamenteket, mint a tapasztalatlanabb kezdőknek, akik sokszor inkább a legnépszerűbb, legtöbbet hirdetett oldalakról rendelik az alapanyagokat, ahol ezek drágábbak, mint más helyeken.

A videó által sugallatkkal ellentétben pedig semelyik számítás alapján sem jó döntés, ha egy vállalattal nyomtattatunk magunknak alkatrészeket, ha van saját nyomtatónk, és tudunk filamentet szerezni hozzá. Ezt (az előzőekben bemutatottak szerint) mind a januári, mind a májusi számítások alátámasztják.

7.3. Fejlesztés

Amennyiben a filament-termelés lépéseit nézzük a már sokat idézett videóból, a következőkről beszélhetünk: alapanyag előkészítése, alapanyag fixálása, alapanyag vágása, alapanyag olvasztása és áthúzása a hevítőfejen, alapanyag végtermékké formázása, késztermék rögzítése a késztermék-spulnira, a folyamat automatizálása az Ender 3-as kezelőjével.

Én itt most a következő problémákra fogok megoldást keresni: az alapanyag rögzítésének módjai (a PET-palack fentről-lefelé történő nyomása, illetve ezen palack felső, nem vágandó részének stabilizálása), az alapanyag vágásának/nyírásának módja (ipari

szike/sniccer a köszörült csapágyak helyett), a végtermék húzása az Ender 3-as motorjának kiváltásával (Lego-robot motor betervezése a meghajtásba és annak programozása), illetve az előre felvágott alapanyag tekercsre történő befűzése után a szerkezet folyamatának elejének mechanikai átervezése hogy fogadni tudja az új alapanyagot (reel-állvány rátervezése a szerkezetre, Lego-robot motor beiktatása és programozása).

7.4. Az alapanyag rögzítésének módjai

Alapvetően két megoldás jutott eszembe a PET-palack stabilizálására:

- a palack tetejére súlyt helyezni,
- a palackot legalább 3 irányból megtámasztani állványos támaszokkal.

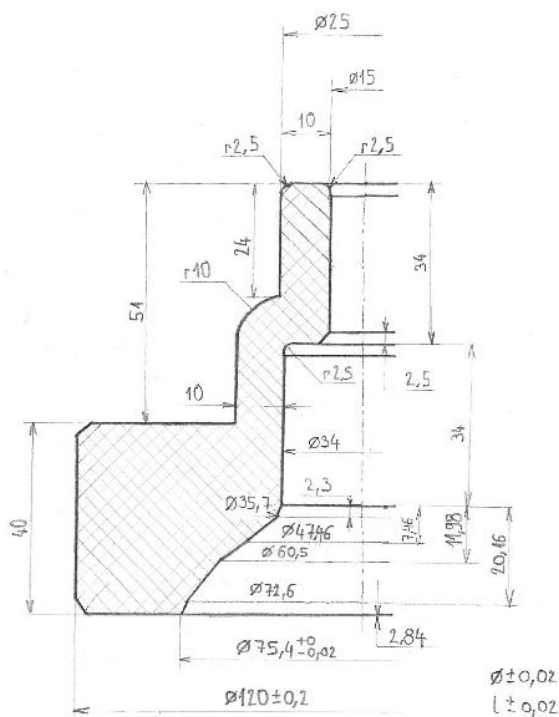
Az első megoldás eléggé primitív, de használható. A második megoldás talán már kevésbé egyszerű, de több kérdést is felvet, például, hogy ez mennyire könnyen szerelhető a gépre, megvannak-e a megfelelő helyek (méretek) ezen oszlopok befogadására, elbírja-e az új terhet a gép borítása, illetve hogy valóban szükség van-e oszlopokra ahhoz, hogy megfelelően rögzítsük a palackot?

Mivel hogy a palack belsején egy csavar fut keresztül, (7.4.1. ábra) ezért kézenfekvő, hogy ezt használjuk fel arra, hogy biztosítsuk a palack helyét. Mivel ez a helyzetrögzítő oszlopnak használt csavar nem akkora, mint a palack szája, így a palack még tud „táncolni” ebben a pontban, amikor a folyamat már automatizáltan megy. Így ez alapvetően egy elégséges megoldás, de ezen szeretnék javítani azzal, hogy egyfajta kupakot, egy súlyt tesztek a palackra, ami súlyt a csavar támaszt meg, mert a súly belső átmérője fél-egy milliméterrel kisebb, mint a csavar menetes részének teljes átmérője.



7.4.1. ábra: A csavar helye a gépen, illetve a ráhúzott PET-palack a kép jobb oldalán látható. [79]

A 7.4.2-es ábra (műszaki rajz) szemlélteti ennek a súlynak a paramétereit, dimenzióit. A tervezéskor egy 2l-es *S Budget Cola* ízű szénsavas üdítőital palackját vettem alapul. Ugyan a palackok alakja különböző, a nyakuk elég hasonló ahhoz, hogy egy olyan súly, mint ami az alábbi ábrán látható, felfeküdjön rá. Amennyiben alakítanunk, finomítanunk kell az eszköz belsejének alakján, ezt megtehetjük smirglivel, dörzspapírral, mert a súly anyaga lehet akár ugyan az a műanyag, mint amivel kinyomtattuk a gép alkatrészeit.



7.4.2. ábra: Az új súly műszaki rajza.

Egy pontosabb módszer lenne a palackot, legalábbis annak tetejét beolvasni egy 3D scannerrel, de ilyennel sem én, sem az ismerőseim körében nem rendelkezik senki.

Az igazán fontos dolog ebben az, hogy a súlynak megfelelő megvezetése legyen, hogy egyenesen tudjon ránehezedni a palack súlypontjának közepére x és y irányban. Ezt a megvezetést a csavar elvégzi, illetve a súly belső átmérője miatt az pedig képes felvenni a palack szájának helyzetét, így irányban tartva a palackot ahhoz, hogy a vágás megfelelően történjen.

Amennyiben elkészült a súly, a csavarra helyezett palack fölé, (ugyancsak rá) a csavarra tesszük a súlyt is, ezáltal megfelelő pozíciót biztosítunk a vágáshoz.

A második megoldás, lévén, hogy összetettebb szerkezet, sokkal több szempontnak kell érvényesülnie a tervezésénél, mint az előbbi megoldásnak.

Nem meghatározott, hogy három vagy négy oszlopból lehetne a legjobban megoldani a palack helyben tartását. A háromnak matematikai alapon elégségesnek kell lennie, a négy

oldalról való megtámasztással viszont akár már egy kisebb munkateret is ki lehetne alakítani a palack körül, ha az oszlopokat vízszintes tartó-, kötőelemekkel egymáshoz rögzítjük.

Rezgések szempontjából nem szerencsés oszlopokat alkalmazni a palack egy helyben tartására, illetve ha ezek az oszlopok (és a szerkezethez rögzítésükhöz használt eszközök, például csavarok) különböző anyagból vannak, mint a gép borítása, ahová ezeket rögzíteni lehet, akkor az a fellépő rezgések hatására lehet, hogy elhasználja a borítást, ahova rögzítettük ezeket a távtartókat.

Fellépő súlyerők szempontjából nem tudni, hogy mit bír ki a gép „teteje”, borítása, így vagy azonos, vagy nagyon hasonló anyagból is rizikós lehet az építkezés, mert ezen tartók talapzata nem lehet túl nagy az alapvetően tapasztalható helyhiány miatt (ami pedig nyilván a kompaktság miatt létezik itt).

Illetve a használt anyagok szempontjából nem tudjuk, hogy például az alumínium miként viselkedne, a műanyagok széles skáláján pedig nem rendelkezek elégséges adattal. Ezek megvizsgálására, tehát hogy mekkora erők és hol lépnek fel, illetve hogy mely anyagok a megfelelőek ezen erők ellensúlyozására először is a géppel kellene rendelkeznem, de ez most sajnos nem opcionális.

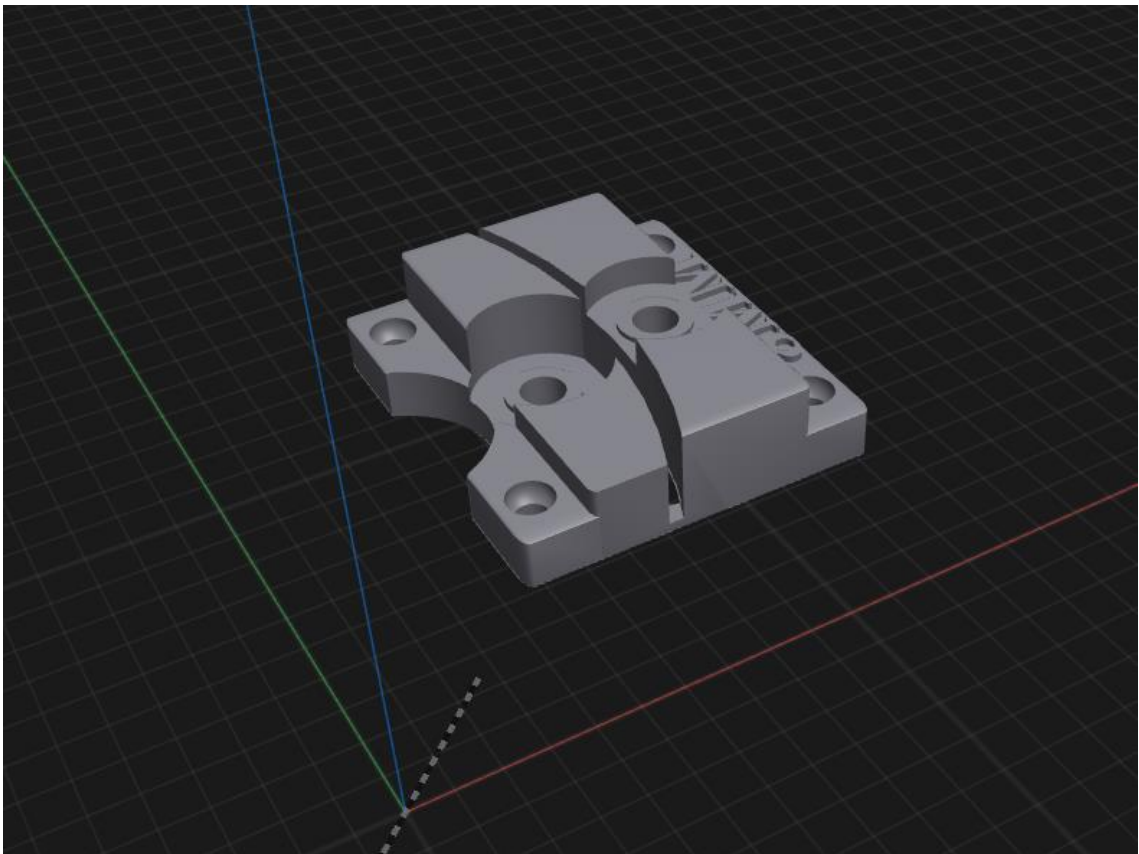
Az előzőekben említett aggályok és hiányosságok miatt úgy döntöttem, hogy ennek a tervezését nem végzem el ebben a diplomamunkában.

7.5. Az alapanyag vágásának/nyírásának módja

A jelenlegi szerkezeten két egymásnak fordított golyóscsapágy élesre csiszolt élei vágják az alapanyagunkat. A két csapágnak üresjáratok is kell annyi surlódásának lenni, hogy ha az egyiket megforgatjuk, az megforgassa a másikat, elakadás nélkül.

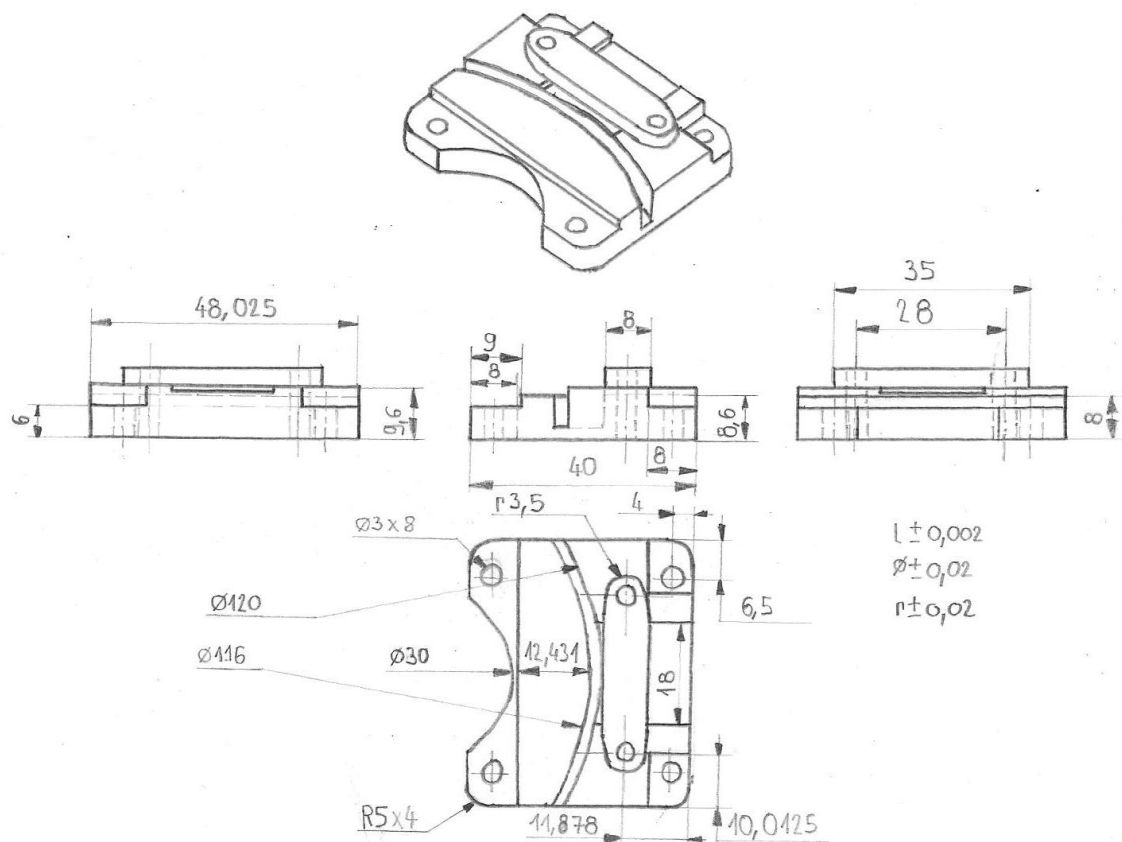
Ez a módszer könnyed vágást tesz lehetővé, de más konstrukciókon[81] a vágást kések/szikék/sniccerk oldják meg.

Alapvetően nem nehéz egy olyan szerkezetet létrehozni, amely a csapágyakat helyettesíti egy szikével. Ezt a szerkezetet (7.5.1. ábra) is a következőképpen lehet átműteni: adott az a műanyag foglalat, ami megvezeti az alapanyagot és bázist biztosít a gördülőcsapágyaknak. Ezt (az előző szerszámok tekintetében) teljesen tömörre készítve, illetve ezt „felszelve” foglalatot biztosíthatunk egy sniccernek.



7.5.1. ábra: A gördülőcsapágyak foglalata.

Mind a szike, mind a kés esetében meg kell tenni az átalakítást. A két eszköz között (tervezési értelemben) érdemben, tehát dimenzionálisan sok különbség nincs. Mindkét esetben tervezni kell egy foglalatot és egy leszorítót, ami egy meghatározott pozícióban tartja a vágóeszközöket. A 7.5.2-es ábrán láthatjuk az új foglalatokat. Ezeket a helyükre 2 darab csavarral[85] rögzítjük.



7.5.2. ábra: Az új foglalat műszaki vázlata.

Bár ez a módszer valószínűleg több surlódással és nagyobb súrlódási ellenállással jár, mint az alapötlet, az utóbbi egy elég drága és macerás megvalósítás, amennyiben ezt a sniccer is képes megoldani.

A „sniccer a kés ellen” – ami egyébként egy borzasztóan rossz akciófilm címe is lehetett volna – témakörében már az előzőekben nyilatkoztam, illetve a későbbiekben is említést teszek.

7.6. Lego-robot motor beiktatása a hajtásokba és annak programozása, alapanyag-tekercs elhelyezése

Alapvetően külön témákként vettem fel a Lego-robot motorral hajtott késztermék-, illetve alapanyag-spulnikat, de a kettőt egyszerre kell vezérelni, hogy az anyag

irányba állítja a műanyag szálát. Megfontolandó tehát, hogy a spulnit függőlegesen helyezzük el, de én most a vízszintes megoldást mutatom be.

A motor pozíciója természetesen a reel-tartó állvány mellett van. Mivel a motor tengelye közvetlenül hajtja meg a tekercset, a motort „a levegőben” kell rögzíteni. A rögzítés a következőképpen történik: adott a motor meghajtókerekének körközéppontja, ebbe az alapanyag-tekercs kereszt-alakú tengelyét helyezzük. A motort nem feltétlenül kell elmozdulás-mentesen rögzíteni a gép felületéhez, de amennyiben a fellépő erők ezt szükségessé teszik, a motoron lévő foglalatokat felhasználva megfelelő magasságban függőleges irányú tartószerkezeteket lehet a foglalatok köré, illetve beleépíteni.

Másodsorban rá kell helyezni egy másik motort is a szerkezetre, az alapanyaggyűjtőhöz.

Az előző esettől eltérően itt nem direktben fogja a motor hajtani a reel-t, hanem fogaskerékes áttételekben, illetve a motort a szerkezet oldalához kell rögzítenünk. Az alapanyag-spulnihoz hasonlóan meg lehet oldani ezt a feladatot is.

A motorok sebességének meghatározásához ismernünk kell az anyag áthaladási sebességét az extruderen. Ezt az információt az újrahasonosító gép alapjául szolgáló 3D nyomtató G-kódjaiból tudjuk kiolvasni. Ez az érték az F300, vagyis 300mm/perc. A reel-jeink átmérője 5,2mm, így ezeknek a spulniknak 1,08853 r/min sebességgel kell forognia.

A Lego Mindstorms EV3 nagyobb motorja, mivel képes 160-170 fordulat/perces sebességgel működni, csökkenteni kell az alapanyagspulni tekintetében. Szerencsére ennek az értéknek az egy százada már elég közel van a kívánt értékhez. Matematikailag 34,5%-os fordulatszám-csökkenést kellene alkalmaznunk, ez viszont már nem megoldható a Lego Mindstorms EV3 motorjával és szoftverével, illetve ekkora különbség az nem bizonyított, hogy mit okoz a hevítő szempontjából, így az egyszerűség kedvéért 1%-os, teljesítménnyel fogok számolni.

A második, anyaggyűjtő reel direktben van rákötve a szerelvény legnagyobb fogaskerekére. Ez a fogaskerék 120 foggal rendelkezik, ez egy 12-es fogaskerékhez csatlakozik, ami kerék 30 foggal hajt meg egy újabb 12 kiosztásos kereket. Amíg az első

fogaskerék 1 fordulatot tesz meg, addig a második 10-et, a harmadik pedig 25-öt. Ebből kiszámítható, hogy a motorunknak 27,213 rpm sebességgel kell forognia.

A Mindstorms EV3 motorjának az elméleti maximális fordulatszáma tehát ~165rpm. A kellő értékből tehát kiszámítható, hogy 16,4929%-ra van matematikailag szükségünk arra, hogy a motort az extrudernek megfelelő sebességgel hajtsuk. Viszont a szoftver nem tud törteket kezelni, így a kerekítés szabályai szerint 17%-ra emelem ezt az értéket a gyűjtőspulni motorjának esetében. A következőkben a motorok programozását írom le:

```
#include <stdio.h>
#include "ev3.h"
#include "ev3_port.h"
#include "ev3_dc.h"

int main( void )
{
    char s[ 256 ], name_port[ 16 ];
    int i;
    uint8_t sn1, sn2, sn_port;
    uint8_t port1 = OUTPUT_B; // Port for the first motor
    uint8_t port2 = OUTPUT_C; // Port for the second motor
    bool running = true;      // Flag to indicate whether motors should continue
    running

    if ( ev3_init() < 1 ) return ( 1 );

    ev3_port_init();

    // Initialize first motor
    sn_port = ev3_search_port( port1, EXT_PORT__NONE_ );
    set_port_mode_inx( sn_port, OUTPUT_DC_MOTOR );
    ev3_dc_init();

    // Initialize second motor
    sn_port = ev3_search_port( port2, EXT_PORT__NONE_ );
    set_port_mode_inx( sn_port, OUTPUT_DC_MOTOR );

    // Find first motor
    if ( ev3_search_dc_plugged_in( port1, EXT_PORT__NONE_, &sn1, 0 ) ) {
        set_dc_duty_cycle_sp( sn1, 1 ); //Setting duty cycle to 1%
        set_dc_ramp_up_sp( sn1, 2000 );
        set_dc_stop_action_inx( sn1, DC_COAST );
    }
```

```

        set_dc_command_inx( sn1, DC_RUN_FOREVER );
    } else {
        //First DC motor is NOT found
    }

    // Find second motor
    if ( ev3_search_dc_plugged_in( port2, EXT_PORT__NONE_, &sn2, 0 )) {
        set_dc_duty_cycle_sp( sn2, 17 ); //Setting duty cycle to 17%
        set_dc_ramp_up_sp( sn2, 2000 );
        set_dc_stop_action_inx( sn2, DC_COAST );
        set_dc_command_inx( sn2, DC_RUN_FOREVER );
    } else {
        //Second DC motor is NOT found
    }

    // Run motors until stopped
    while (running) {
        // If a button is pressed, stop the motors
        if (brick_button_pressed(BUTTON_ID_ENTER)) {
            running = false; // Set the flag to false to exit the loop
        }

        // Sleep for a short interval before checking again
        Sleep(100); // Sleep for 100 milliseconds
    }

    // Stop first motor
    if ( ev3_search_dc_plugged_in( port1, EXT_PORT__NONE_, &sn1, 0 )) {
        set_dc_command_inx( sn1, DC_STOP );
    }

    // Stop second motor
    if ( ev3_search_dc_plugged_in( port2, EXT_PORT__NONE_, &sn2, 0 )) {
        set_dc_command_inx( sn2, DC_STOP );
    }

    // Reset port modes
    set_port_mode_inx( sn_port, OUTPUT_AUTO );

    // Uninitialize the ev3dev-c library
    ev3_uninit();

    return ( 0 );
}

```

7.7. Egyéb fejlesztési-, és megvalósítási ötletek, lehetőségek

Több olyan fejlesztési lehetőség is adott a szerkezeten, amelyet kihagytam a saját ötleteim megtervezéséből.

Ilyenek például a következők (külön még egyszer kiemelve azt, hogy: például):

- 1. borítás létének felülvizsgálata,
- 2. a fogaskerek felépítésének felülvizsgálata,
- 3. PICkit-vezérlő beiktatása a Lego-robot „tégla”-ja helyett,
- 4. erősebb alapanyagvágási technikák és kések használata.

Mind a négy fejlesztés és annak vizsgálata elkészíthető akár egyszerre is, és a kérdések a következők lehetnének:

- 1. van-e statikai-matematikai alapon létjogosultsága; megfelelő-e a vastagsága, megfelelő-e az anyaga?
- 2. mekkora az az anyagmennyiség/vastagság, amennyi elegendő a deformációmentes működéshez; használható-e a küllős kialakítás, és ha igen, mik az előnyei és hátrányai?
- 3. helytakarékoság kérdései; hatékonyság jellemzői; gyorsabban programozható-e; érdemes-e így fölépíteni valamit, vagy inkább a Lego korlátozottságában érdemes-e tovább folytatni az ezzel való gondolkodást?
- 4. milyen, iparban használatos vágóeszközök jöhetnek szóba, melyik a legjobb a PET-palack vágási képesség és szerelhetőség szempontjából?

Ezekkel a kérdésekkel például már el lehet indulni egy, a hallgatók érdeklődését és tudását felmérő versenyen, vagy el lehet indítani egy szakdolgozatot.

Mivel az alapszerkezet nem lett általam megépítve, ez minden további nélkül egy tökéletes alapanyag lehet például egy olyan hallgatónak, aki ezt, vagy ehhez hasonló témát szeretne választani.

Természetesen ehhez neki egy teljesen új dokumentációt kell használnia abban az értelemben, hogy nem lesz elég csak az én diplomamunkámat felhasználni, hanem a szerkezetéről, a szereléséről, illetve a működéséről egy teljes műszaki leírást és fejlesztői dokumentációt kell készítenie a saját munkájában, nem elfelejtve, hogy közben a gépet el is kell készítenie. Továbbá nyilván ehhez sok idő-, és pénzübeli erőforrásra van szükség, tehát talán szakdolgozat-témának már egy kicsit nehéz, de diplomamunkának – úgy gondolom – megfelelő.

Egy forradalmi ötlet és tervezés lehetne az is, ha az irodalomkutatásom alatt feltárt két gépet valaki ötvözné, és létrejönne egy gép, ami először szalagra vágja a palackot, azt tekercsre gyűjti, majd ezt a tekercset lezárva (a szalagot fixálva) a tekercset (automatizálva vagy kézien) mozgatva a gép azt tovább felhasználva gyártaná a filamentet.

Ennek már a megtervezése is bőséges energiát kötne le, véleményem szerint önmagában egy teljes értékű diplomamunka-téma lehetne.

Amennyiben valaki a „nullából” szeretne építkezni, magyarul az alapoktól, saját ötletektől vezérelve akar egy ilyen gépet megtervezni és/vagy felépíteni, az az én értelmezésemben egy feltalálói-tervezői munka, ami bőven túlmutat a BSc-s szakdolgozat, vagy akár az MSc-s diplomamunka követelményein.

Az ehhez tartozó pénzübeli-, idő-, és energiaköltségek már támogatást igényelnek mind szakmai, mind monetáris értelemben. Ezzel egyetemben az egész intézmény rendszerére kiterjedő segítségnyújtási hajlandóság kell akár arra, hogy a hallgató/doktorandusz – amennyiben igényli – kaphasson haladékokat és tanulási kedvezményeket. Ezekre nyilván azért lenne szükség, mert egy ilyen nagyszabású projekt kivitelezéséhez rengeteg erőforrás (fizikai és szellemi egyaránt) szükségeltetik.

Szakdolgozatnak semmiképp, és diplomamunkának is csak nagy háttérsegítséggel tudom ajánlani.

8. ÖSSZEGZÉS

8.1. Magyarul

Nem titkolom, hogy ezzel a munkával több témát is szerettem volna érinteni.

Először is bemutattam az ötletem miértjeinek gyökérokait, amik az egész világra kiterjedő szabadpiaci verseny hatásaira koncentráltak, köztük a társadalmi-, és természeti-, környezeti hatásokra. Ezek közül is az utóbbiakkal foglalkoztam többet, amik az Y és azutáni generációk már most is meghatározó tényezői.

Ezek után megvizsgáltam a már elérhető technológiákat és bemutattam az eddig elkészült terveket.

Tekintettel arra, hogy maga a 3D nyomtatás is egy relatív új technológia, az ezekhez tartozó kiegészítők és segédeszközök listája sem túl hosszú. Témakörünkben, a filament-újrahasznosításban is legtöbbször olyan tervekkel és gépekkel találkozhatunk, amelyek a már legyártott munkadarabok vagy selejtek újrahasznosítását célozzák, tehát tulajdonképpen ugyan abból az anyagból dolgoznak tovább, amivel eddig is operáltak.

A PET-palackok újrahasznosítására a 3D nyomtatás terén viszont már sokkal kevesebben vállalkoznak, és csak elvétve, elrejtve tudunk a témával kapcsolatban magyar nyelvű forrásokat találni, illetve idegennyelvű források is jószerivel csak egy szerkezetre, az Ender 3-as 3D nyomtatóból továbbépített, The Recreator 3D névvel ellátott tervekre, gépre hivatkoznak. Nekem is ebből kellett a továbbiakban dolgoznom.

Többször került kinyilvánításra, hogy egy teljesen új gép tervezése nagyon erőforrás-igényes művelet, ezért maradtam az ismert konstrukciók továbbfejlesztésének ötleténél.

A The Recreator 3D bemutatása után egy prekonceptióval élve vizsgáltam meg a gép megépítésének költségeit, amik alapvetően nem változtak. Ami ebben a témában változhat, illetve aminek ráhatása van a költségekre, az az építő személye, hozzáértése.

Sikerült egy olyan „kupakot” tervezni az alapanyag lefelé nyomására, ami pozícióban tartja azt, megvizsgálva azt a lehetőséget is, hogy egy kvázi keretet vonjunk az alapanyag köré.

Egyszerű módszerekkel ki lettek cserélve a gördülőcsapágyak, helyükre már sniccer-, vagy ipari késpenge illeszthető.

A 3D-s modellek és programkódok tanulmányozása, és elméleti megvalósítások matematikai úton való bizonyításának útján a Lego Mindstorms EV3 nagy motorjainak felhasználásával új meghajtást adtam a szerkezet gyűjtő-, illetve alapanyagspulnijainak.

Felvettem továbbá négy hasonló fejlesztést, és 3 különböző módot, amivel további szakdolgozatok, diplomamunkák, és akár doktori tanulmányok készíthetők a témában.

Zárásképpen pedig visszakanyarodnék az első gondolatokhoz, miszerint „There is no Planet B”: azt a környezetet kell megóvnunk, amit a gondviselés számunkra kijelölt, és mindannyiunknak azokkal az eszközökkel kell érte harcolnunk, amik a rendelkezésünkre állnak – legyen ez akár a szelektív hulladékgyűjtés, a tömegközlekedés használata, vagy példának okáért egy PET-palack újrahasznosító.

8.2. In English

I don't hide the fact that I wanted to touch on several topics with this work.

First of all, I presented the roots of the reasons for my idea, which focused on the effects of the free market competition around the globe, including the social, natural, and environmental effects. Of these, I dealt more with the latter, which are already determining factors of the Y and subsequent generations.

After that, I examined the technologies already available and presented the so far completed designs.

3D printing itself is a relatively new technology, the list of related accessories and aids is not too long either. In our topic, filament recycling, we can often come across designs and machines that aim to recycle already manufactured workpieces or scraps, so they actually continue to work with the same material that they have been operating with so far.

On the other hand, far fewer people undertake the recycling of PET bottles in the field of 3D printing, and we can only find isolated and hidden sources in Hungarian on the subject, and sources in foreign languages are mostly limited and refer to only one machine, The Recreator 3D, built from the Ender 3 3D printer. Because of these I also had to work on this design.

It has been stated several times that the design of a completely new machine is a very resource-intensive operation, which is why I stuck to the idea of further development of known constructions.

After the presentation of The Recreator 3D, I examined the costs of building the machine using a preconception, which basically did not meet with my expectations. What can change in this matter, and what has an impact on the costs, is the personality and competence of the builder.

We managed to design a „cap” for pressing down on the raw material, which keeps it in position, also investigating the possibility of putting a quasi-frame around the raw material.

The rolling bearings were replaced with simple methods, and a snicker or industrial knife blade can be fitted in their place instead.

Through the study of 3D models and program codes and the mathematical proof of theoretical implementations, I gave a new drive to the collection- and raw material pulleys of the structure using the large motors of the Lego’s Mindstorms EV3 kit.

I also suggested four similar developments and 3 different ways in which further theses, diploma theses, and even doctoral studies can be prepared on the subject.

In conclusion, I would like to return to the first thoughts that "There is no Planet B": we must protect the environment that Providence has designated for us, and we all must fight for it with the means at our disposal – be it selective waste collection, using public transport, or for instance a PET bottle recycler.

Köszönetnyilvánítás[87]

Először is szeretnék köszönetet mondani a diplomamunka-konzulensemnek, Dr. Udvardy Péter egyetemi docensnek a téma megtalálásáért és szakmabéli segítségnyújtásaiért, illetve hogy megismerttetett engem az egyetem életében elhíresült hallgatókkal, akik hasonló témában írták szakdolgozatukat.

Másodsorban felsorolás-szinten, illetve a projekt időrendi sorrendjében szeretnék köszönetet nyilvánítani azon oktatóimnak, akik közreműködtek a téma megtalálásában és verifikációjában: Dr. Udvardy Péter egyetemi docens; Takács Éva dékáni hivatalvezető; Dr. Seebauer Márta egyetemi docens, főiskolai tanár; Dr. Széll Károly egyetemi docens, Bráda Csaba Attila mestertanár.

Külön köszönet illeti meg Takács Éva dékáni hivatalvezetőt, akinek javaslatára döntöttem a képzésre való jelentkezésről, illetve az ő munkái inspirálták a diplomamunkám bázistémáját.

Szeretnék rövid köszönetet nyilvánítani Major-Perlaki Andrea tanulmányi irodavezetőnek, amiért intézményi hivatalos ügyekben türelemmel viseltetett irántam és szaktársaim felé egyaránt.

Végezetül, de nem utolsó sorban pedig köszönetet mondok Zólomy Zénó volt ÓE AMK hallgatónak, aki szakmai támaszt nyújtott számomra a műszaki témák kezdetétől a végéig. Tudásával segítette a témában való elmélyülésemet, illetve matematikai-elméleti kérdésekben pedig többször volt forrásom mind az irodalomkutatáskor, mind a fejlesztés fázisaikor.

Ábrajegyzék

Ábrák, műszaki rajzok, képek, és egyéb képalapú szemléltető illusztrációk listája:

- 1.1.1. kép: Egy, az akkori általános iskolai osztálytársammal készített „tervrajz” egy bolygókutató műholdról.
- 1.1.2. kép: A Székesfehérvári Széchenyi István Két Tanítási nyelvű Szakgimnázium (előtte: Gróf Széchenyi István Műszaki Szakközépiskola). [1]
- 2.0.1. kép: Egy nagy port kavart Srí Lanka-i kémia tankönyv, a népszerű *Totál szívás* című HBO sorozat egyik szereplőjével a tankönyvborítón. [2]
- 2.3.1. kép: Polimerből készült játék-építőelemek. [5]
- 2.4.1. táblázat: „1.1. táblázat: A műanyaggyártás fejlődésének néhány fontos lépése” [9]
- 2.4.2. ábra: „1.1. ábra: Néhány szerkezeti anyag felhasználásának időbeli változása” [10]
- 2.5.1. táblázat: „A műanyagok csoportosítása” [18]
- 2.6.1. ábra: A PET kémiai lánc. [19]
- 2.6.2. kép: PET-üvegbe palackozott ásványvíz. [20]
- 3.4.1. kép: A Ford T-Model-jének gyártósora és annak gyártása futószalagos technológiával. [26]
- 3.4.2. kép: A székesfehérvári ipari park egyik része. [27]
- 3.4.3. kép: Az egykori inotai hőerőmű. [28]
- 3.4.4. diagram: Diagram a Földön megtermelt elektromos energiának forrásairól. Fontos meglátni, hogy a teljes éves energiatermelésünk 61,32%-át szén-, gáz-, és olajerőművek termelik meg. [29]
- 4.1.1. kép: Az őserdő irtását és ültetvénné alakítását figyelhetjük meg a két műholdképen. A baloldali 2001-ből, a jobb oldali 2019-ből való. [37]
- 4.2.1. kép: Az állami tervgazdálkodást és iparosítást népszerűsítő kommunista propagandaplakát az 1950-es évekből. [38]
- 4.3.1. ábra: A Föld népességének éves növekedése (piros) és a Föld népessége az elmúlt 250 évben. Érdekes megfigyelni a robbanás-szerű növekedést a 20. század elején. [42]
- 4.3.2. ábra: A NASA ún. klíma-spirálja. [45]
- 4.5.1. ábra: Ishikawa halszálka diagramja. [46]

- 5.2.1. kép: Egy snitt a „*Wall Street farkasa*” című filmből: a főszereplő egy sikeres üzletember, akinek befektetőcége épp magas hozamot hozott. [53]
- 5.4.1. kép: Pjotr Alekszejevics Kropotkin, anarchista filozófus. [56]
- 6.5.1. ábra: Az előzőekben említett folyamat jelképes rajza: „6. ábra. A kiválasztott megoldásváltozat” [75]
- 6.6.1. ábra: A filamentgyártó gép 3D-s modellje Walter Reéb nevű YouTube felhasználó videójából. [80]
- 6.7.1. kép: Az ebben a részben leírt, már megvalósult filamentgyártó. [81]
- 7.4.1. ábra: A csavar helye a gépen, illetve a ráhúzott PET-palack a kép jobb oldalán látható. [79]
- 7.4.2. ábra: Az új súly műszaki rajza.
- 7.5.1. ábra: A gördülőcsapágyak foglalata.
- 7.5.2. ábra: Az új foglalat műszaki vázlata.
- 7.6.1. ábra: Műszaki skicc az új alapanyag-tekercsről és annak tartószerkezetéről.
- 7.6.2. ábra: A Lego-robot motorok programja. [86]

Felhasznált irodalom és egyéb források

[1]: A RADMASTER honlap tulajdona (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Link: <http://epuletgepeszet-szakerto.hu/referenciak/sport-es-oktatasi-intezmeny-epuletgepeszet-referenciak/>

Direkt link: <http://epuletgepeszet-szakerto.hu/wp-content/uploads/2012/11/Sz%C3%A9kesfeh%C3%A9rv%C3%A1r-Grof-Sz%C3%A9chenyi-Istv%C3%A1n-Szakk%C3%B6z%C3%A9piskola-f%C5%B1t%C3%A9s-rekonstrukci%C3%B3.jpg>

[2]: @SanataniGuyy azonosítójú felhasználó képe a Twitter-en/X-en (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Link: <https://twitter.com/SanataniGuyy/status/1619726532846694400>

Direkt link:

https://pbs.twimg.com/media/Fnpsqk_XoA4mwiT?format=jpg&name=medium

[3]: A Tudásbázis (tudasbazis.sulinet.hu) nevű honlap tartalma.

Link: <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/epiteszet/epitoanyagok/az-alapanyagok-alapveto-tulajdonsagai/alapveto-kemiai-tulajdonsagok-az-anyagok-viselkedese-mas-vegylet-aktiv-anyagokkal-szemben>

[4]: LazerPig nevű YouTube-felhasználó videójában elhangzottak alapján.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=CIZ6PFYUM5o>

[5]: Az Amazon nevű online piactér tulajdona (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Link: <https://m.media-amazon.com/images/I/81m0r2s+kHL.jpg>

[6]: A Polaridad cikke és tartalma az A műanyag eredete: pillantás a történetére és előállítására címmel.

Link: <https://polaridad.es/hu/honnan-sz%C3%A1rmazik-a-m%C5%B1anyag/>

[7]: Pukánszky Béla, Móczó János: Műanyagok. ISBN 978-963-279-481-5. 7. oldal, 1. bekezdés.

[8]: Pukánszky Béla, Móczó János: Műanyagok. ISBN 978-963-279-481-5. 5. oldal.

[9]: Pukánszky Béla, Móczó János: Műanyagok. ISBN 978-963-279-481-5. 5. oldal, 1.1. táblázat: A műanyaggyártás fejlődésének néhány fontos lépése.

[10]: Pukánszky Béla, Móczó János: Műanyagok. ISBN 978-963-279-481-5. 6. oldal, 1.1. ábra: Néhány szerkezeti anyag felhasználásának időbeli változása.

[11]: Pukánszky Béla, Móczó János: Műanyagok. ISBN 978-963-279-481-5. 8. oldaltól kezdve.

[12]: Saját, egy Gépgyártástechnikus-technikumi órai jegyzet.

[13]: A Topszótár tartalma, megfogalmazása.

Link: <https://topszotar.hu/idegen-szavak/duroplaszt>

[14]: A vilaglex.hu tartalma, megfogalmazása.

Link: https://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/Termopla_.htm

[15]: Az Idegen szavak gyűjteményé-nek tartalma, megfogalmazása.

Link: <https://idegen-szavak.hu/polimeriz%C3%A1ci%C3%B3>

[16]: A vilaglex.hu tartalma, megfogalmazása.

Link: <http://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/PoliKond.htm>

[17]: A MeRSZ nevű honlap (mersz.hu) tartalma, megfogalmazása.

Link: https://mersz.hu/dokumentum/m133szvt_108/

[18]: Fenyvessy Tibor, Fuchs Rudolf, Plósz Antal: Műszaki táblázatok. ISBN 978 96 3746 973-2. 182. oldal, A műanyagok csoportosítása (táblázat).

[19]: A Wikipédia által használt kép a PET kémiai megjelenítésére.

Link: https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Polyethylene_terephthalate.svg

[20]: A cashmap.hu tulajdona (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Direkt link: <https://cashmap.hu/storage/product/62721953a8de5.jpg>

[21]: Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai (BME). (Az ebben a fejezetben leírtak alapját képezte.)

[22]: A Wikipédia a fejezethez vágó tartalmai a PET-ről. (Az ebben a fejezetben leírtak alapját képezte.)

Link: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Polietil%C3%A9n-tereftal%C3%A1t>

[23]: A greenpeace.org cikke a Legalább egymilliárd PET-palack megy a szemétkébe évente: kötelező újratöltést követel a Greenpeace címmel alapján.

Link: <https://www.greenpeace.org/hungary/sajtokozlemenye/7444/legalabb-egymilliard-pet-palack-megy-a-szemetbe-evente-kotelezo-ujratoltest-kovetel-a-greenpeace/>

[24]: A Wikipédia nevű honlap Ipar című tartalma, megfogalmazása.

Link: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Ipar>

[25]: A factsanddetails.com tartalma alapján.

Link: <https://factsanddetails.com/world/cat56/sub408/entry-6381.html>

[26]: A thoughtco.com tulajdona (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Direkt link:

[https://www.thoughtco.com/thmb/Ys0haYoGtwE1IWTucFrxt2BFOo=/1500x0/filters:no_upscale\(\):max_bytes\(150000\):strip_icc\(\)/fordassemblyline-56b6b8355f9b5829f83428af.jpg](https://www.thoughtco.com/thmb/Ys0haYoGtwE1IWTucFrxt2BFOo=/1500x0/filters:no_upscale():max_bytes(150000):strip_icc()/fordassemblyline-56b6b8355f9b5829f83428af.jpg)

[27]: Az Ikarus Ipari Park Székesfehérvár nevű Facebook-oldal képe (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Link:

<https://www.facebook.com/photo/?fbid=407666204798403&set=a.407666174798406>

[28]: A turistamagazin.hu honlap képe (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Direkt link:

https://www.turistamagazin.hu/media/thumbs/cs/m2/02/csm_20220221_4473-827e806b-5278290.jpg

[29]: A research.net képe (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Direkt link:

<https://www.researchgate.net/publication/357069685/figure/fig1/AS:1101597979484165@1639652833223/World-electricity-generation-mix-by-source.ppm>

[30]: Ecsenyi testvérek (Ecsenyi Áron és Ecsenyi Szilárd) által képviselt libertarianizmus szellemiségének kivonata saját megfogalmazásban.

[31]: Gruber, J.: Public Finance & Public Policy (2018). Illetve a Wikipédia nevű honlap Externália című cikke alapján.

Link: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Extern%C3%A1lia>

[32]: A biobubi nevű honlap Mekkora környezeti terhelést jelent egy műanyag palack? című cikkje alapján.

Link: <https://blog.biobubi.hu/meekkora-kornyezeti-terhelest-jelent-egy-muanyag-palack/>

[33]: A Greenpeace A műanyag káros hatásai, melyekbe sokszor bele sem gondolunk című cikkje alapján.

Link: <https://www.greenpeace.org/hungary/blog/5828/a-muanyag-karos-hatasai-melyekbe-sokszor-bele-sem-gondolunk/>

[34]: A Videómánia nevű YouTube felhasználó (készítő: Dancsó Péter) Ez történik a testeddel, ha műanyagot eszel...  és A műanyag sokkal parább, mint gondolnád!  című videóiban elhangzottak alapján.

Linkek: <https://www.youtube.com/watch?v=Hz51I8m2yYA> és <https://www.youtube.com/watch?v=e9r6yIP8D8s>

[35]: A Geneva Environment Network nevű honlap Earth Overshoot Day című cikkje alapján.

Link: <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/earth-overshoot-day/>

[36]: A Marcello On Tour M.O.T. nevű YouTube felhasználó Kérdezz - felelek az utazással kapcsolatban című videójában elhangzottak alapján.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=I9QfaNk91K0>

[37]: Az Earth Observatory nevű honlap Tracking Amazon Deforestation from Above című cikkje alapján.

Link: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145988/tracking-amazon-deforestation-from-above>

[38]: Nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve.

Link: https://m.blog.hu/ri/ritkanlathatotortenelem/image/plakatok/1951-56/1951_p02.jpg

[39]: Stephen Brain: Stalin's Environmentalism (2010).

Linkek: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-9434.2010.00556.x> és <http://www.jstor.org/stable/20621169>

[40]: Paul Prew: World-Economy Centrality and Carbon Dioxide Emissions: A New Look at the Position in the Capitalist World-System and Environmental Pollution (2010).

Link: <http://jwsr.pitt.edu/ojs/jwsr/article/view/436>

[41]: A World Economic Forum nevű lap Does capitalism have to be bad for the environment? című cikkje alapján.

Link:

https://static1.squarespace.com/static/5e582b6d525bce01a6016637/t/6143614ec4f4557d9a150aa1/1631805782276/Does+capitalism+have+to+be+bad+for+the+environment+_+World+Economic+Forum.pdf

[42]: A ResearchGate nevű honlapon található szabadon felhasználható ábrák egyike.

Link: https://www.researchgate.net/figure/World-population-growth-rate-red-line-and-total-world-population-blue-shaded-area_fig5_337905224

[43]: Murray Weidenbaum: Making the Marketplace Work for the Environment (1991). ISBN 9780429042287.

Link: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429042287-7/making-marketplace-work-environment-murray-weidenbaum?context=ubx>

[44]: Michael J. Lynch: A Marxian Interpretation of the Environmental Kuznets Curve: Global Capitalism and the Rise and Fall (and Rise) of Pollution (2016).

Link: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10455752.2016.1178494>

[45]: A North American Space Agency videójának részlete.

Link: https://climate.nasa.gov/climate_resources/300/video-climate-spiral-1880-2022/

[46]: Az enlaps nevű honlap Isikava diagram-képe (nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve).

Link: <https://enlaps.io/us/guide/ishikawa-diagram.html>

[47]: Philippe Chalmin: The history of plastics: from the Capitol to the Tarpeian Rock (2019).

Link: <https://journals.openedition.org/factsreports/5071#tocto1n2>

[48]: A Vox nevű honlap Big Oil's hopes are pinned on plastics. It won't end well. című cikkje alapján.

Link: <https://www.vox.com/energy-and-environment/21419505/oil-gas-price-plastics-peak-climate-change>

[49]: A One 5 C nevű honlap How oil is used to make plastic című cikkje alapján.

Link: <https://one5c.com/oil-used-to-make-plastic-136931510/>

[50]: Az Our World in Data nevű honlap Plastic Pollution című cikkje alapján.

Link: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>

[51]: A rePurpose nevű honlap Why is most plastic not recycled? című cikkje alapján.

Link: <https://repurpose.global/blog/post/why-is-most-plastic-not-recycled>

[52]: Az xForest nevű honlap Mi a kapitalizmus? Hogyan formálja a bolygót és az embereket? című cikkje alapján.

Link: <https://xforest.hu/kapitalizmus/>

[53]: Nyilvánosan hozzáférhető kép, Google-képkeresés által beszerezve.

Link:

<https://pyxis.nymag.com/v1/imgs/b47/75c/83cf41af948f6261db69ae587d4c57f7b7-14-leonardo-dicaprio-wolf-of-wall-street.2x.rsocial.w600.jpg>

[54]: Az Adam Something nevű YouTube felhasználó Anarcho-Capitalism In Practice című videójában látottak és elhangzottak alapján.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=HTN64g9lA2g>

[55]: Kropotkin Péter: A kölcsönös segítség mint természettörvény (A NEPSZA BUDAPEST, 1924). (Saját fordítás angol nyelvről.)

[56]: A Wikipédia nevű honlap Pjotr Alekszejevics Kropotkin című cikkje alapján.

Linkek: https://hu.wikipedia.org/wiki/Pjotr_Alekszejevics_Kropotkin és https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Peter_Kropotkin_circa_1900.jpg

[57]: Arran Gare: Soviet Environmentalism.

Link: [https://researchbank.swinburne.edu.au/file/5239c97c-8c45-4179-b04c-e9e1c8c317fe/1/PDF%20\(Published%20version\).pdf](https://researchbank.swinburne.edu.au/file/5239c97c-8c45-4179-b04c-e9e1c8c317fe/1/PDF%20(Published%20version).pdf)

[58]: A Wired nevű honlap Inside Mark Zuckerberg's Top-Secret Hawaii Compound című cikkje és interjúja alapján.

Link: <https://www.wired.com/story/mark-zuckerberg-inside-hawaii-compound/>

[59]: Tibor R. Machan: Pollution, Collectivism and Capitalism (2014).

Link: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/jeeh-1991-0104/html>

[60]: Zólmóy Zénó: 3D nyomtatott robotkar fejlesztése (2024; ÓE AMK)

[61]: Gajdács, László és Szűcs, Viktor: A 3D-nyomtatás gyártástechnológiái, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál (2020). ISSN 1417-0604.

Link: <https://real.mtak.hu/123352/>

[62]: A Menedzsment és Controlling Portál nevű honlap A 3D nyomtatás mindenhova benyomul – csak az a kérdés, hogy mikor című cikkje alapján.

Link: <https://www.controllingportal.hu/3d-nyomtatás-mindenhova-benyomul/>

[63]: Mscope nevű YouTube felhasználó How do printers work? (Color Laser Printer & inkjet printer) című videója alapján.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=tDiHTK9nwYw>

[64]: M. Leinster, Things Pass By, in The Earth In Peril (D. Wollheim ed.). Ace Books 1957, USA, List of Ace SF double titles D-205, p.25, story copyright 1945, by Standard Magazines Inc.

[65]: "US3596285A - Liquid metal recorder". Google Patents. Archived from the original on 5 March 2024.

[66]: "3-D Printing Steps into the Spotlight". Upstate Business Journal. 11 April 2013. Archived from the original on 20 December 2019. Retrieved 20 December 2019.

[67]: Prinz, F. B.; Merz, R.; Weiss, Lee (1997). Ikawa, N. (ed.). Building Parts You Could Not Build Before. Proceedings of the 8th International Conference on Production Engineering. London, UK: Chapman & Hall. pp. 40–44.

[68]: Gajdács, László és Szűcs, Viktor: A 3D nyomtatás lehetőségei a repülőgépiparban (2020.).

Link:

https://www.researchgate.net/publication/350461999_A_3D_nyomtatás_lehetosegei_a_repulogepiparban

[69]: Paras Shah, Radu Racasan, Paul Bills: Comparison of different additive manufacturing methods using computed tomography (2016)

Link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214657116300260>

[70]: A Wikipédia nevű honlap 3D nyomtatás című cikke alapján.

Link: https://hu.wikipedia.org/wiki/3D_nyomtat%C3%B3

[71]: A. M. T. Syed, P. K. Elias, B. Amit, B. Susmita, O. Lisa, & C. Charitidis, “Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities,” Materials today, Vol. 1, pp. 1-16, 2017

[71]: Park S, Fu K (Kelvin). Polymer-based filament feedstock for additive manufacturing. Compos Sci Technol. 2021; 213: 108876.

Linkek: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353821002323> és <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108876>

[72]: Kuo C-C, Liu L-C, Teng W-F, Chang H-Y, Chien F-M, Liao S-J, et al. Preparation of starch/acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS) biomass alloys and their feasible evaluation for 3D printing applications. Compos Part B Eng. Elsevier; 2016; 86: 36-9.

Link: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.10.005d>

[73]: Kauffman GB. Book Review of Polymer Data Handbook. ACS Publications; 2010

[74]: A Valio Plastics nevű honlap Mi a különbség az A-PET és a PET-G között? című cikkje alapján.

Link: <http://www.valio-plastics.com/mi-a-kulonbseg-az-a-pet-es-a-pet-g-kozott/>

[75]: Kmetz Barbara, Takács Ágnes Judit: A filament szál újrahasznosítása a 3D nyomtatáshoz (Miskolci Egyetem, 2020.)

Link: https://real.mtak.hu/164565/1/476_doi.pdf

[76]: Prof. V. D. Dhopte, Gaurav S. Parate, Madhur P. Narkhede, Arthav Bhongade: Design and Fabrication of PET Filament Making Machine (2022.). ISSN: 2321-9653.

[77]: A Printables nevű honlapon található The Recreator 3D - MK5Kit : Ender3 - Pultrusion Unit elnevezésű fájlok letöltési helye.

Link: <https://www.printables.com/model/179820>

[78]: A The Recreator 3D nevű kezdeményezés.

Link: <http://recreator3d.com/>

[79]: A Walter Reéb nevű YouTube felhasználó Hulladék PET palackból 3D nyomtató filamentet | The Recreator 3D ♦ Kreáció című videója alapján.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=-PBguaNjin0>

[80]: A CNC Kitchen nevű YouTube felhasználó PET Bottle Recycling: Waste to 3D Printing Filament című videója alapján.

Link: https://www.youtube.com/watch?v=1yIe1Pp_Nrg

[81]: Az UltiMaker Thingiverse honlapon lévő shoaibkhan786 nevű felhasználó PET FILAMENT RECYCLER V 2 WITH BOTTLE CUTTING nevű gépe.

Link: <https://www.thingiverse.com/thing:6220558>

[82]: Rövid, gyors keresés a Google-n.

[83]: A 3D Jake honlapon lévő ajánlatok alapján.

Link: <https://www.3djake.hu/filamentek/abs-filament>

Direkt link a filamenthez: <https://www.3djake.hu/3djake/niceabs-soetetszuerke>

[84]: A 3D nyomtatott robotkar fejlesztése (2024; ÓE AMK) írójának, Zólmay Zénó közreműködésével saját eszközeivel kikísérletezve, illetve számolva.

[85]: KN6039 szabványú, műanyaghoz való csavar.

Link: <https://de.screwwerk.com/en/shop/detail/stp/STP390300120S.html>

[86]: A ChatGPT által nyújtott forrás a programkódhoz.

Link: https://in4lio.github.io/ev3dev-c/dc_8c-example.html

[87]: Az Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Karának munkatársainak nevét a hivatalos honlapról, másolás útján szereztem meg.

Link: <https://amk.uni-obuda.hu/munkatarsak/>