

## 3D nyomtatott COVID-19 vírus maszkok gyártásának optimalizálása

Balogh Bence

Miskolci Egyetem, Anyagszerkeztani és Anyagtechnológiai Intézet, PhD hallgató,  
metben@uni-miskolc.hu

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, Tudományos munkatárs,  
bence.balogh@bayzoltan.hu

### Összefoglaló

Az általános és orvosi 3D nyomtatás fejlődése az elmúlt tíz évben felülmúlta a képzeletet és rengeteg problémára nyújtott olyan megoldást, amik korábban nem léteztek. Kezdetben korlátozott gyakorlati értékkel bírt a 3D nyomtatás, de ahogy fejlődött a technika és nőtt a felhasználóik tábora úgy nyert befogadást különböző területeken és iparágakban, mint például gépipar, autóipar, katonai termelés és az egészségügy. Ez a sokszínűség lenyűgöző, de közös erőfeszítések szükségesek kollektív igények kielégítésének érdekében. Ezért ebben a kialakult COVID-19 (koronavírus) helyzetben, a 3D nyomtatás lelkes rajongóinak, a hobbistáknak és a különböző professzionális additív gyártással foglalkozó gyáraknak és laboroknak is össze kellett fogni, hogy megoldást találjanak az egyéni védőfelszerelések kritikus hiányára, globális szinten. Ennek a cikknek az a célja, hogy bemutassa a legjobban sikerült hiánypótló maszk tervekhez, amiket 3D nyomtatás segítségével el lehet készíteni, illetve rálátást adjon ezek elkészítésére és a paraméterek beállítására pár példán keresztül [1], [6-10].

### Kulcsszavak

3D nyomtatás, COVID-19, additív gyártás, gyártás optimalizálás

### 1. Copper3D arcmaszk

A 3D nyomtatóanyagokat gyártó Copper3D létrehozott egy nyílt forráskódú n95 típusú maszkot (1. ábra), aminek az STL fájltát közzétette online, így kinyomtatható és felhasználható a COVID-19-es vírus ellen. A „Hack The Pandemic” elnevezésű indítványozás globális mértékű és az tűzte ki célul, hogy mozgósítson minden gyártót, labort, céged, személyt, szolgáltatást, aki rendelkezik 3D nyomtatóval, hogy készítsenek ilyen és ehhez hasonló maszkokat, mivel a klasszikus maszkok hiánya jelentős terhet okoz a kórházak és egészségügyi szakemberek számára. Vannak, akik számára nehéz

megbizonyosodni a „NanoHack” elnevezésű maszk hasznosságáról és valódi védelméről, azonban a vállalat állítása szerint több tudós támogatta a projektet és komoly kutatások előzték meg a közzétételt, majd szabadalmi bejelentést is nyújtottak be rá. A Copper3D új szereplő az orvostudomány területén, de már így is különböző érdekes termékekkel rendelkezik, beleértve a réz nanorészecskékre épülő antibakteriális anyagokat, amik arra utalnak, hogy hatékony megoldásokkal rendelkezhetnek.

Jelenleg igazán felkapott téma a 3D nyomtatott maszkot használata és hogy milyen védelmet képesek szolgáltatni. Az N95-ös maszkot úgy tervezték, hogy légzésvédelmet nyújtson a viselője számára és 95%-os szűrési hatékonysággal védekezzen a levegőben terjedő részecskékkal szemben a megfelelő szűrő alkalmazása esetén. Így egy nyomtatott maszk lehetővé teszi a szennyeződés kockázatának csökkentését és hatékonyabb, mint az eldobható maszkok (amik jelen helyzetben is készlethiányosak), hiszen a műanyag könnyebben tisztítható. A 3D nyomtatás segíthet ebben a helyzetben, azonban fokozott figyelmet kell fordítani ezek használatára, hiszen egy krízis helyzetben születtek a tervek és a gyártásuk sem szabványos felügyelet mellett megy végbe. Mindenki más és más típusú nyomtatón is elkészítheti változatos anyagokból, amik bevizsgálás nélkül baktérium gyűjtő göcöket is létrehozhatnak bizonyos nyomtatási hibák által vagy



1. ábra. Copper3D N95 maszk [4]

nyomtatási rétegek között, így ajánlott a fokozott odafigyelés és a gyakori tisztítás. Viszont ebben a sürgősségi helyzetben, ezen kockázatok tudatában is egy élhető alternatíva a maszk hiány pótlására [2-4], [6-10].

### 1.1. Prusa Research arcpajzs

A hagyományos maszk tervek mellett helyett kapott az úgynevezett „arc pajzs” is, amik érdemes kombinálva viselni szájmazskkal a kiterjesztett védelem érdekében. Ezen a területen a cseh „Prusa Research” cég állt elő a leghamarabb egy innovatív ötlettel, amivel gyorsan lehet 3D nyomtatni arc pajzs befogó elemet. A weboldalukon megosztották a kutatási út néhány részletét, ami a következő:

„A kutatásunkban olyan védőfelszerelést szeretnénk volna létrehozni, amelyet biztonságosan tudunk gyártani, így az orvosi szakemberek számára szóló arcvédőkre koncentráltunk. A médiából értesültünk, hogy az orvosoknak nagy szükségük van valamilyen arc védelemre a fogyó maszkok mellett. Igaz az interneten már voltak kezdeti prototípusok arc pajzs tervek, így ezt vettük kiindulási pontnak, és



**2. ábra. Arcpajzsok gyártása a Prusa nyomtató farmon**

próbáltunk úgy alakítani, hogy könnyebb és gyorsabb legyen a 3D nyomtatás érdekében. Ne legyen szükség alátámasztásokra és minél többet lehessen elhelyezni egy nyomtatási felületen. Tehát azonnal elkezdtünk dolgozni rajta, mert úgy gondoltuk, hogy fontos védelmet szolgáltatni azok számára, akik a mi egészségünkért, életünkért küzdenek nap mint nap. A létrehozott pajzsok megvédik a szemünket és az arcunkat a betegek köhögésétől és tüsszentésétől. Három nap alatt több tucat prototípuson mentünk át és kétszer voltunk validálni a terveinket a Cseh Egészségügyi Minisztériumban. A 3D nyomtató farmunknak köszönhetően, ami talán a legnagyobbak mondható a világon több mint 500 nyomtató egységgel, képesek voltunk 800 darab arcpajzsot nyomtatni egyetlen nap alatt (2.

ábra). Még ilyen mértékű gyártás mellett sem volt teljes kapacitásában erre a projektre fordítva a farm, megközelítőleg a gépek ötöde dolgozott ezen. A szűk keresztmetszetet a lézervágó gépünk jelentette, amivel a pajzsokat készítettük a 3D nyomtatott befogó elemekhez. Amennyiben ez a metszet kikerülne a képből, akkor 4000 darab is gyártható lenne egy napon belül. Egy ilyen védőfelszerelés elkészítéséhez szükséges anyag kevesebb mint 1 USD. Kezdetben 10.000 db-ot adományoztunk a Cseh Egészségügyi Minisztérium számára. Így megbizonyosodtunk róla, hogy ez a terv biztonságosan nyomtatható otthoni körülmények között is, azok számára, akik szeretnének segíteni a kisebb helyi közösségeiken. [5]”

### 2. Nyomtatáshoz alkalmazott szoftver

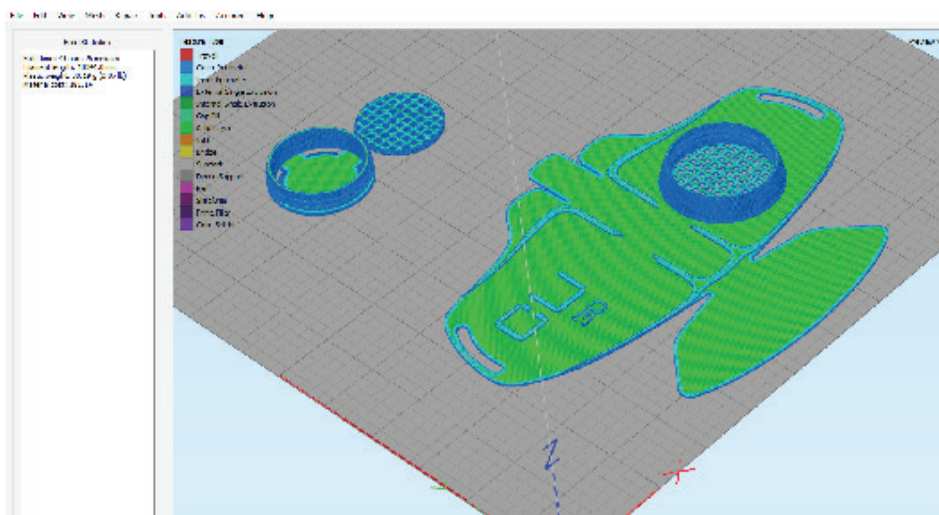
A CAD szoftverekben elkészített modellek után meg kell tervezni magát a nyomtatást is egy erre alkalmas programban, aminek a végkimenetele egy a gép számára értelmezhető g-kód sorozat. Több ilyen szoftver is létezik, ami alkalmas a feladatra, vannak amik ingyenesek és nyílt forráskóddal rendelkeznek és vannak kereskedelmi forgalomban kapható szoftverek is. A teljesség igénye nélkül például a következő programok, amik a legismertebbek: Cura, Simplify3D, Slic3r, OctoPrint, Prusa Slicer, IdeaMaker és a Repetier.

Több éves hobbi szintű 3D nyomtatási múltam alatt több 3D nyomtatót is építettem és tartok karban jelenleg is. Több kisebb projektet valósítottam már meg sikeresen és mindig keresem a további kihívásokat. A fentebb megismert probléma alapján úgy gondoltam, hogy saját kutatásom alapján én is szeretnék kísérletezni ezen a téren és valamilyen módon hozzájárulni a jelenleg kialakult helyzet átvészelésére. Úgy tapasztaltam, hogy a maszkok gyártása nagy hangsúlyt kap most és szükség van minden hobbi és professzionális additív gyártástechnológiában jártas emebbre. Kezdetben a Cura, majd későbbiekben a Simplify3D szoftver használtam, így ezen keresztül fogom bemutatni az általam tesztelt és kipróbált, a maszkok nyomtatásához szükséges tervezési paramétereket.

#### 2.1. N95-ös maszk nyomtatási paraméterei

A krízishelyzetre való tekintettel, nagyon fontos, hogy rövid időn belül sok, de kielégítő minőségű arcmaszkot tudjunk létrehozni. Amennyiben az N95-ös maszkra, a lehető legjobb felbontási beállításokat alkalmazom (3. ábra), ami azt jelenti, hogy





**3. ábra. Legjobb felbontás nyomtatási előnézete**

a standard 0.4 mm átmérőjű fűvókán, 25%-os kitöltési szintet, 0,1mm-es rétegvastagságot, 6-6 alsó és felső réteget, 4 körvonalat alkalmazunk rácsoz kitöltési mintával, 210 °C fűvóka és 60°C asztal hőmérséklet mellett, dinamikus hűtéssel, ami 1-7. rétegig 0-90% hűtési teljesítmény növekedéssel jár és 70mm/s általános nyomtatási sebességet veszünk alapul, akkor a program előzetes kalkulációja alapján 4 óra 25 perc lenne a teljes nyomtatási idő, ami nem felel meg a valós nyomtatási időnek, mert nem veszi alapul a valós gyorsulási és lassulási mozgásokat és a súrlódásokat, így ez a művelet, akár 6 óra is lehet egy darab modell elkészítésére. A modell így ~30g alapanyagot venne igénybe, aminek az alapanyagköltsége (elhanyagolva minden más felmerülő költséget) ~200 Ft körül alakul. Ezekkel a beállításokkal kiváló felületi minőség érhető el és a két menetes alkatrész könnyen összeszerelhető, a tűrések megfelelőek. Azonban ezen a módon a produktivitás szintje igazán alacsony, ha minden automatikusan működne, nem lenne szükség hűlési időre, a kész darab eltávolítására, akkor egy nap alatt 4db gyártását lehetne megvalósítani (a kutatási számításokhoz jelenleg nem vesszük figyelembe, hogy akár több azonos modell is elférhet ugyanazon a nyomtatási tárgyasztalon).

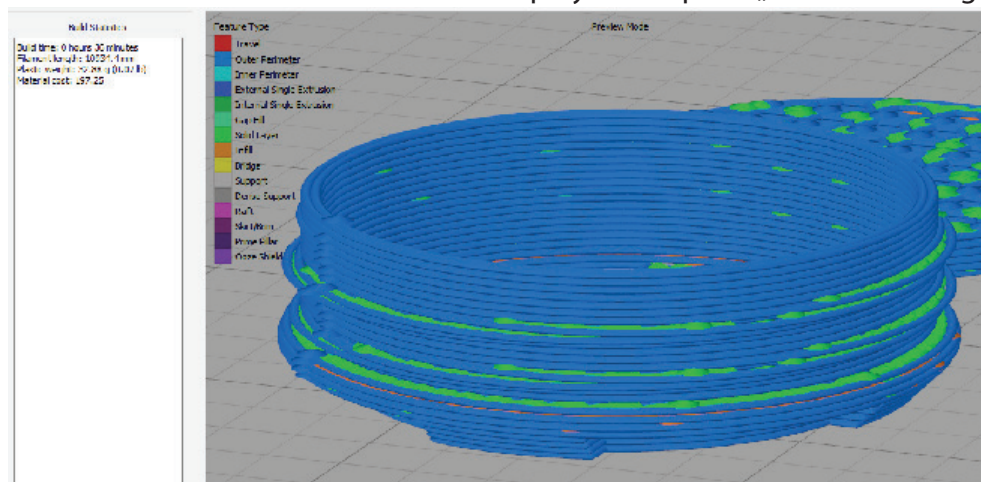
A 0.4-es fűvóka másik végét vizsgálva, azonos sebesség és hőmérsékleti paraméterek mellett, de 0.3mm-es rétegvastagság és 3-3-3-as TBO mellett (Top layer, Bottom layer, Outline – Felső-, Alsó rétegek,

Körvonal) a modell felépítésének a kalkulált ideje 1 óra 36 percre csökken, ami valós időben megközelítőleg két és fél óra. Ezen paraméterek mellett, nem jelentkezik a kitöltési tényező a teljes felületen, csak a szűrő elemnél, mert az alsó és felső 3 réteg lefedi a teljes modell vastagságát a többi részen. A felületi minőség elfogadható, azonban a nyomtatott menetek tűrése romlik és nehezebb az összeszerelés.

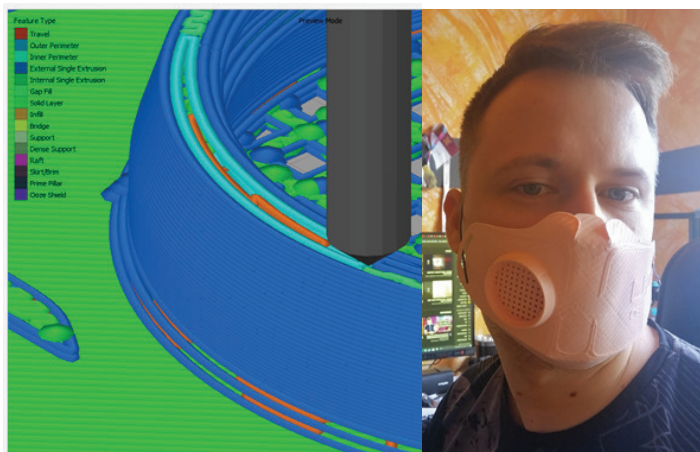
Következő lépésben a 0.4-es fűvókát 0.6-osra cseréljük, ahol csak az extrém végletet vizsgál-

juk, majd levonjuk a következtetéseket. 1-1-1 TBO is elég a 0.6-os fűvóka mellett, hogy kellő merevséget érzünk el. Így a teljes nyomtatási idő 36 percre csökken, ami valós idő szerint már csak 1 óra. Viszont az időért cserébe jelentősen romlott a felületi minőség és a menet már használhatatlanná válik ebben a formában (4. ábra).

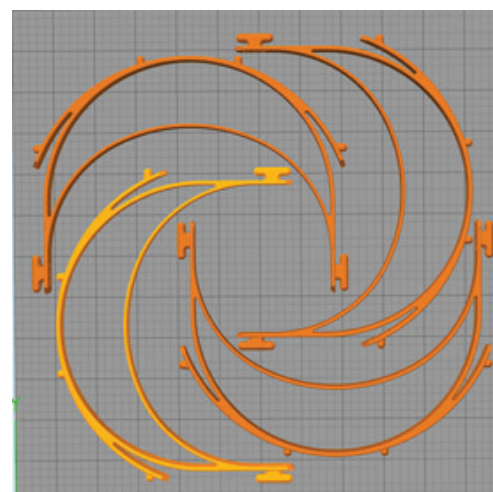
Tehát a menetes részek használhatóságának az érdekében, azokon a részeken szükséges egy finomabb felbontás alkalmazása. A korábbi tapasztalatokat felhasználva, megtartjuk a 0.6-os fűvókát, mert a menetes részen kívül kielégítő minőség érhető el vele gyors idő alatt. A modell három elemből áll, a maszk, a szűrőbetét pozícionáló és a szűrőfedélből. Ezeket érdemes külön folyamatként kezelni, hogy ne különböző beállításokat lehessen rájuk alkalmazni egy nyomtatáson belül. Így a két kisebb alkatrész és a maszk szétválasztása már egy lehetőség a változó vezérlésre, azonban a maszkhoz tartozó menetes rész még mindig nincs elkülönítve. Ennek érdekében a Simplify3D beépített „Variable Settings



**4. ábra. 0.6-os fűvóka, hibás menet**



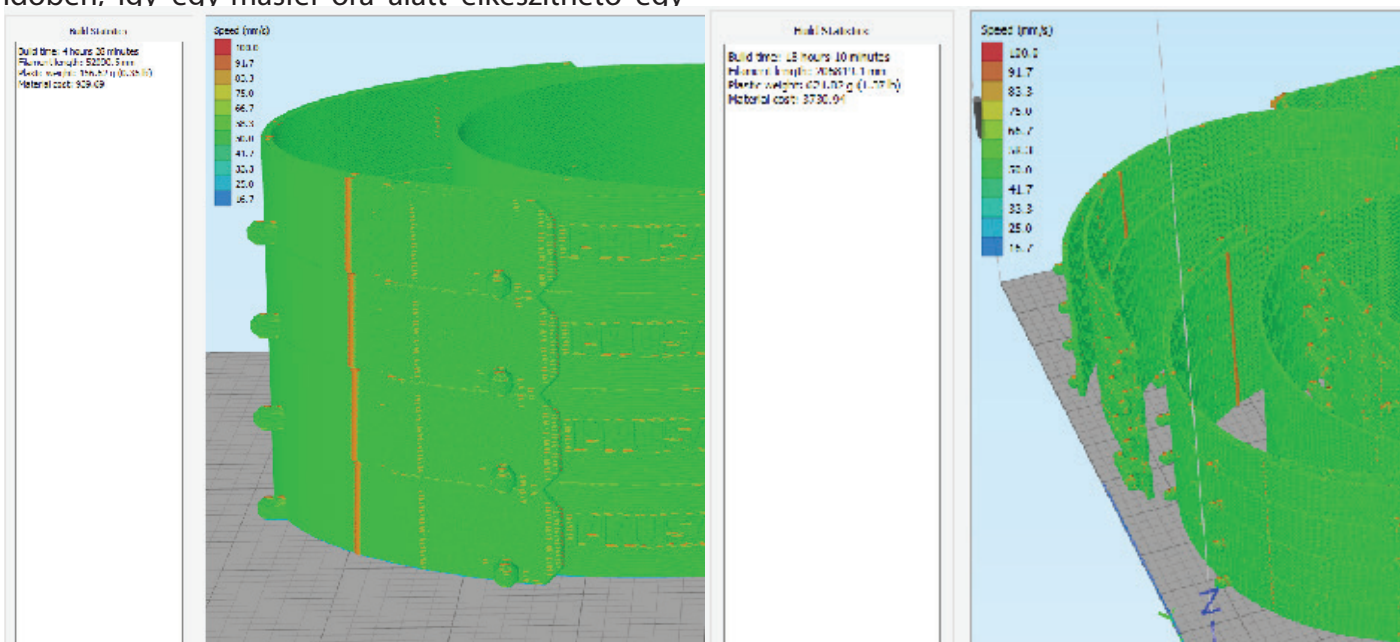
5. ábra. Kombinált beállítások (bal), elkészült prototípus a beállításokkal (jobb)



6. ábra. 300x300-as területen horizontális elrendezés

Wizard” (Változó beállítások varázsló) menüpontot hívjuk elő, ahol a modellt 1.85 mm magasságban elmetsszük és két alfolyamatra bontjuk. Nullától 1.85 mm magasságig 0.4 mm-es rétegvastagságot és 1-2-1 TBO-t alkalmazunk 17%-os rácsos kitöltés és 215 °C hőmérséklet mellett, hogy az alsó rétegek egy szinte tükörsima felületet adjanak. 1.85 mm-től a modell teljes magasságáig pedig, 0.2-es rétegvastagságot és 1-1-2 TBO-t alkalmazunk és kikapcsoljuk a retraction (visszahúzás) beállításokat, hogy ne képződjön varrat a meneten belül, mivel 0.6-os fűvókánál a képződő varrat jelentős geometriai akadályt tud képezni egy menetszálon (5. ábra bal). Az elkülönített alkatrészekben 0.25 mm-es rétegvastagságot és 1-1-1-es TBO-t alkalmazunk. Szekvenciális nyomtatási móddal a relatív nyomtatási idő 1 óra és a 0.6-os fűvóka miatt kevesebb az eltérés a valós időben, így egy-egy másfél óra alatt elkészíthető egy

modell, ami kielégítő tulajdonságokkal rendelkezik. A maszkot elkészítés után, hővel formára kell hajtogatni a különböző emberi fejtípusokhoz, kényelmi preferenciákhoz. A belső felület tükör sima, így könnyen tisztítható és tisztán tartható, a szűrő betéttel kombinálva csökkenthető a kibocsátott cseppek és baktériumok terjedésének az esélye. Mivel a belső felületen egy olyan sima síkot kapunk, ahol nem áll fent a rétegek közötti „árok” így nem keletkezik baktériumgyűjtő rész a kész modellen, így a PLA is megfelelő polimer lehet az ilyen típusú maszkot gyártására., azonban a szűrőnél fokozottan ügyelni kell a tisztántartásra. Az N95-ös modell bármilyen polimerből elkészíthető, azonban az anyagot árát és a nyomtathatóságot figyelembevéve, a PLA megfelelő választásnak bizonyul (5. ábra jobb) [6-10].



7. ábra. Halmozásos elrendezés (4db -bal, 16db -jobb)



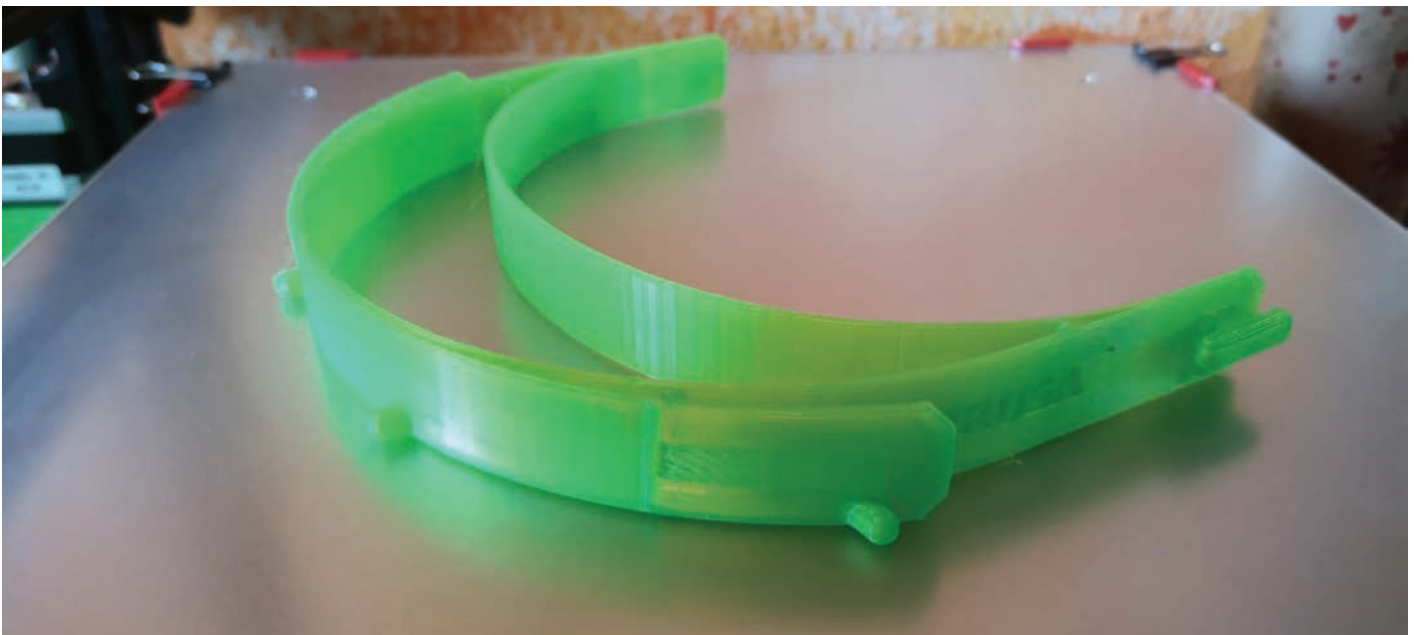
## 2.2. Arcpajzs befogó termelékenység növelése

Esetemben a vizsgált nyomtatási terület a Creality CR10-S típusú nyomtató esetében 300x300 mm. A Prusa féle arc pajzs elemből erre a területre négy darabot lehet elhelyezni, ahogy a 6. ábra is mutatja. Az előző típusú maszk nyomtatásánál használt 0.6 mm-es fúvókát megtartva, azonban az extrúziós szélességet növelve, ennek a modellnek az esetében 0,72 mm-es fektetett anyagszélességet tudunk elérni. A rétegvastagság 0,25 mm, a TBO pedig 2-1-1. A modellek kitöltése rács mintával történik 25%-ban. A hőmérséklet ebben az esetben 215/60 °C fúvóka/tárgyasztal tekintetében, dinamikus hűtés mellett. A nyomtatási sebesség pedig 60 mm/s. A megadott paraméterek mellett a relatív nyomtatási idő 5 óra 13 perc, és 155g anyag szükséges 4 ilyen elem elkészítéséhez, ami anyagköltségben 1000 Ft körül alakul. Beláthatjuk, hogy a 6. ábra szerinti elrendezésben a nyomtatófejnek szinte be kell járnia a teljes nyomtatási területet, ami jelentősen növeli az idő tényezőt. Érdemes a horizontális elrendezés helyett vertikális irányban úgynevezett „stacking” (halmozásos) módszerrel elhelyezni a modelljeinket.

Minden beállítás megtartása mellett, ilyen módon 4 óra 28 percre csökken a kalkulált nyomtatási idő, amivel így az egy darabra eső idő szinte egy órára csökken (7. ábra bal). Kombinálva a horizontális és vertikális elrendezéseket, 16 darab modell (7. ábra jobb) is elhelyezhető a használt nyomtatási platformon, amivel egy 18 órás megszakítás nélküli folyamat hozható létre, ilyen módon nem keletkezik

hoidó, ahol el kell távolítani a kész modelleket, illetve egyéb utómunkákat kéne végrehajtani. Tehát megállapítható, hogy ilyen eljárással növelhető a termelékenység. A kész termék PLA-ból nem olyan rugalmas és fokozott igénybevétel mellett, akár el is törhet. A durva rétegvastagság alkalmazása miatt, maradnak olyan részek a modellen, ami potenciális baktérium gyűjtő pont lehet, főleg a homlokon való elhelyezésből kiindulva. A könnyű nyomtathatóságot szemelőtt tartva, érdemesebb lehet a PLA helyett a PETG használata, ami kellő rugalmasságot biztosítana a modell számára. Az ABS és egyéb műszakibb polimerek sokkal érzékenyebbek vetemedésre vagy sebességre. Amennyiben felületnövelő módszereket kell alkalmazni a vetemedés elkerülésének az érdekében, az szintén egy idő növelő tényező.

A COVID-19 vírus ideje alatt kialakult védőfelszerelések hiánya mellett, minden innovatív megoldás komoly segítséget jelenthet. Lehet, hogy a PLA-ból készült maszkok nem rendelkeznek a legmegfelelőbb tulajdonságokkal (8. ábra), azonban még így is tartósabbak, mint egy papír maszk és a barátságos nyomtatási feltételei mellett, kifejezetten gyorsan és egyszerűen lehet prototípusokat és késztermékeket gyártani egyaránt.



8. ábra. Prusa arc pajzs PLA-ból nyomtatva