



PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITY OF PÉCS

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

ÉRSEBÉSZETI OKTATÓ ESZKÖZ TERMÉKMINTÁJÁNAK TERVEZÉSE

Szerző:

Mérger Janka

Ipari termék- és formatervező mérnök
BSc. szak, IV. évf.

Konzulensek:

Dr. Gasz Balázs

Vendégoktató

Huszák Marcell

Terméktervező mérnök

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-22-1 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁGI
PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT
SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

**DEMO KIT – ÉRSEBÉSZETI OKTATÓ
ESZKÖZ TERMÉKMINTÁJÁNAK
TERVEZÉSE**

**DEMO KIT – PRODUCT SAMPLE DESIGN FOR A VASCULAR
SURGICAL EDUCATIONAL TOOL**

Mérgecs Janka

Konzulensek:

Dr. Gasz Balázs

Huszák Marcell

Kézirat lezárva: 2022. november 23.

Abstract

For thousands of years, surgical training has been relying on the empirical knowledge of great masters of the field. Living in the age of information technologies, it's time for a change. High tech solutions for practitioners are usually costly and hard to reach for the average professional.

Which is why YourAnastomosis aims to democratize data driven learning with affordable, yet high quality tools and services. They offer case specific simulators mimicking particular cases of anastomosis with dummy vessels, which can be analyzed with principles of fluid mechanics and be categorized by its morphological properties. This offers a great representation of true-to-life situations, helping in refining the fine skills needed to execute such precise actions. With the accurate and comparable results, the learning curve improves significantly, meaning that in the long term the life quality of patients will see a drastic increase.

Healthcare centres and professionals are price sensitive and conscious customers, oftentimes needing to see things for themselves. For such a complex product, this can mean a challenge when going international. This is why I have been given the task of designing a sample product which can help professionals familiarize themselves with YourAnastomosis and promote them with ease. For this, I will use my research related to my ÚNKP-22-1 scholarship regarding digitalization techniques of vascular surgeries.

Keywords: sample; design; augmented reality

Kivonat

A sebészeti oktatás sokáig szakértők empirikus tudására támaszkodott. Az információs világban eljött az idő, hogy ez megváltozzon, azonban korszerű megoldásokhoz hozzájutni költséges és nehéz a szakemberek számára.

Ezért a YourAnastomosis munkatársai azt a célt tűzték ki, hogy az adatvezérelt sebészeti oktatást elérhetővé teszik a termékük segítségével. Esetspecifikus szimulátorokat szolgáltatnak, amelyek eredményét áramlástan és morfológiai szempontok szerint értékelik. Ezzel lehetőséget adva a szükséges finommotoros készségek elsajátítására. A mérhető eredmények segítik a tanulási görbe javulását, hosszútávon növelve a páciensek életminőségét.

Az egészségügyi központok és szakemberek érzékeny és tudatos vásárlók. Egy ilyen összetett áru esetén ez kihívást jelent a nemzetközi piacra kerüléskor. Így kaptam azt a feladatot, hogy egy termékmintát tervezek, amelynek segítségével a YourAnastomosis által nyújtott értékek könnyen népszerűsíthetők és tulajdonságaik átadhatóak. Ehhez alkalmazni fogom az az ÚNKP-22-1-es kutatási munkám eredményeit is, amely érsebészeti helyzetek digitalizációjával foglalkozik.

Kulcsszavak: termékminta; tervezés; kiterjesztett valóság

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM ÚNKP-22-1 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.



INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI
MINISZTERIUM



Új Nemzeti
Kiválóság Program

Tartalomjegyzék

1	Bevezető	5
2	Elemzés	7
2.1	Lézerszkennelés	8
2.2	Fotogrammetria	10
2.3	Modellezés	13
2.3.1	3D nyomtatásra alkalmas modell készítés, szimulátor	14
2.3.2	Kiterjesztett valóság, AR	17
2.4	3D nyomtatás	19
2.5	Csomagolás	23
2.6	A termék további fontos elemei, jellemzői	24
3	Versenytárs elemzés	25
3.1	Versenytársak	25
3.1.1	PocketSuture	26
3.1.2	UpSurgeon	26
3.2	Következtetések	27
4	Célkitűzések	28
4.1	Demo Kit	28
5	Tervezés	29
5.1	Digitalizációs eljárások	29
5.1.1	Fotogrammetria szoftverek	30
5.1.2	Ér belső és külső geometriája	32
5.1.3	Jelenet összeállítás	33
5.2	Demo kit	35
5.2.1	3D nyomtatott geometriai részlet	35
5.2.2	Térbeli papír modell	36

5.2.3	Síkbeli papír modell	38
5.2.4	Kit doboz	39
5.2.5	AR támogatás	40
5.2.5.1	AR katalógus	41
5.2.5.2	Ér belső-külső morfológia	42
6	Eredmények	43
7	Összefoglalás	45
7.1	Jövőbeli irányok	46
8	Köszönetnyilvánítás	47
9	Irodalomjegyzék	48
10	Nyilatkozat	51

Ábrajegyzék

1. ábra YourAnastomosis terméke használatban	7
2. ábra A teljes termék csomagolása	14
3. ábra 3D nyomtatás elvi rajza	19
4. ábra Példa helyes modell elhelyezésre a nyomtató térben	21
5. ábra Jelenlegi csomagolás egy tálcája	23
6. ábra Egy anasztomózis gyakorló levél	26
7. ábra A Mycro Suture termék felépítése	26
8. ábra Meshroom által előállított geometria	30
9. ábra Reality Capture által előállított geometria és textúra	31
10. ábra Egyszerűsített geometria és a hozzá tartozó textúra	31
11. ábra Zephyr3d eredmények	32
12. ábra Összevarrt ér levújva szkennel sprayvel	32
13. ábra Külső geometria rögzítésének folyamata	33
14. ábra Szkennelt külső- és belső geometria, egymásmellé helyezve	33
15. ábra AR jelenet sebe, textúra kiterítése és textúra bekötése	34
16. ábra Kezdeti vázlatok	35
17. ábra Kinyomtatott Demo Kit modellek, MIDCAB.01 szimulátorhoz	35
18. ábra Látványtervek AVF-P és MIDCAB.01 szimulátorokról és a hozzájuk tartozó termékmintáról	36
19. ábra AVF-P teríték rajza	37
20. ábra Térbeli papír termékminta és a rajta elkészült varrat	37
21. ábra Vázlat az értartók elhelyezésének elvéről	38
22. ábra Sík papír termék minta próba verziója, AVF-P és MIDCAB.01 modellhez	38
23. ábra Látványterv, AVF-P és MIDCAB.01 modellhez	39
24. ábra Demo Kit csomagolás robbantott ábrája	39
25. ábra 3D nyomtatott (bal) és hajtogatott (jobb) koncepció csomagolása	40
26. ábra Példa betöltött jelenetre szimulátor felett, az átláthatóság a beavatkozás közvetlen környezetében tetszés szerint szabályozva	41
27. ábra AR katalógus látvány terve	41
28. ábra Ér geometriák elhelyezve műtési AR jelenetben és szimulátoron	42
29. ábra A prototípusok együtt	43

30. ábra A térbeli papír modelleken történő varrás	43
31. ábra Nyomtatott modelleken történő varrás	44
32. ábra A felhasználók visszajelzései	44
33. ábra Összefoglaló a termékminták tulajdonságairól és a felhasználói élményről	45

1 Bevezető

A sebészeti oktatás jelene világszinten széles skálán mozog. Míg vannak lehetőségek, amelyek csúcstechnológiás eszközökkel adnak esélyt a gyakorlásra, ezek közel sem olyan elérhetőek, mint amekkora a szükség az előrelépésre. A YourAnastmosis célja ennek a feloldása.

Esetspecifikus fizikai szimulátorokkal, kurzusokkal és objektív analízissel szolgálnak, amely megbízható információkkal szolgál, hogy a szakemberek hatékonyan fejleszthessék a finommotoros készségeket, amik elengedhetetlenek a szakmájukban. A céljuk a sebészeti oktatás demokratizálása és elérhetővé tétele, amellett hogy a lehető legkevesebb információ vesszen el egy valós műtési szituációból. Az analízisük elfogulatlan mérőszámot ad a beavatkozás sikerességéről, a visszajelzést adatvezéreltté teszi és mérhető skálával jellemzi a tanulási görbét.

Korábban a Pécsi Tudományegyetem Tudományos és Művészeti Diákköri Konferenciája keretein belül Fehér Lucával közösen mutattuk be a fejlesztési munkánkat, amelyben a terméket támogattuk meg kiterjesztett valósággal. Ennek eredményeként már Hololensen, de akár egy hétköznapi okos telefonon keresztül is további többlet információval szolgálhatunk, így a gyakorló sebészek elmélyedhetnek a műtői szituációban, így a tanulási folyamat hatékonyságát növelve.

Az előadott kutatói munkánkkal kiérdemeltük a karon megrendezett konferencia gépészeti szekciójának első helyezését, illetve jelölést az Országos Tudományos Diákköri Konferenciára. Azonban ez csak a bevezetés volt számunkra a témakörbe. A sebészeti helyzetekről készülő fotogrammetria, lézerszkennelés elvégzésével és feldolgozásával kapcsolatban megpályáztam és elnyertem az Új Nemzeti Kiválósági Program (ÚNKP-22-1 pályázati kódszámú) ösztöndíjat, “Érsebészeti helyzetek digitalizációja” kutatási címmel. A témám fő irányultsága az adatfeldolgozási folyamat gördülékenységének, hatékonyságának a javítása, standardizálható módszertanok kialakítása. Ezen kutatói tevékenységnek eredményei eme dolgozaton belül is teret kapnak.

A tudományos diákköri munkám során a YourAnastmosis, illetve az együttműködésünk kapcsán szerzett tudásom által támogatva, egy demonstrációs termékcsomag megtervezését tűztam ki célnak. A termék és szolgáltatás, amelyet nyújtanak sokrétű és világszerte igényelt. Bár a belépési költsége sok versenytárshoz képest alacsony a nyújtott értékhez képest, a

vásárlói köre érzékeny, illetve tudatos döntéshozó, fontos számukra felmérni, hogy mennyire megbízható és értékes egy ilyen szimulátor.

Azonban egy ilyen csomag esetspecifikusságából adódóan nagy méretű és számos kiegészítővel rendelkezik, a szállítása nagy odafigyelést igényel. A célom, hogy egy olyan termékmintát készítsek, amely egy teljes fizikai szimulátor hiányában is átadja a termék és szolgáltatás lényegi megértéséhez szükséges információkat, amelyek elengedhetetlenek a befektetésről történő döntés meghozásához.

2 Elemzés

A YourAnastomosis termék és szolgáltatás szinten is nyújt vevőértéket. Az egyik alapvető összetevője az additív gyártástechnológiával készült esetspecifikus szimulátor. Ez valós műtői környezetből származó adatokon alapszik, a beavatkozás közvetlen fizikai környezetét megadja, illetve ebben rögzíthetők az érimitációk, amelyeken gyakorolni lehet. Miután elvégzi a szükséges varrást a gyakorló, a szilikon ereket kiemelheti a szimulátorból és postára adva vissza juttathatja további feldolgozásra, a helyére pedig rögzíthető a következő gyakorló ereket. A feldolgozás során az ér belső morfológiáját feltárják és ez alapján áramlástan szimulációt futtatnak rajta. A vér sodrásának jellegét, illetve a morfológiai tulajdonságokat, így meghatározva adatot gyűjtenek ki és objektív visszajelzést szolgáltatnak.

Emellett kurzusokat is szolgáltatnak, valamint mesterséges intelligencia prediktív rendszer kialakításán dolgoznak, az analízisek folyamatos fejlesztésének érdekében. Az esetek széles skálája elérhető, amely további fejlődési lehetőségeket nyújt a szakemberek számára.

A termék minta elkészítéséhez szeretném azokat az eszközöket alkalmazni, amelyek a



1. ábra YourAnastomosis terméke használatban

forrás: youranastomosis.com

termék gyártása során is alkalmazottak. Ez lehetővé teszi, hogy egy demonstrációs csomagot könnyen, elérhető erőforrásokból elő lehessen állítani igény szerint, a géppark bővítése nélkül.

A következőkben ezeket a folyamatokat fogom kifejteni, nyersanyagtól a végtermék felé haladva, így bemutatva a termék és szolgáltatás rétegeit.

2.1 Lézerszkennelés

A lézerszkennelt adat az egyik alapja a YourAnastomosis termékének és szolgáltatásának. A szimulátorok kialakításának folyamata is ezen alapszik, valamint a későbbiekben, a morfológiát is hasonló technológia segítségével állítjuk elő.

A műtői helyzetek alkalmazott eszköz egy Creaform 3D Go!Scan Spark lézerszkennel, amely 0.050 mm pontossággal rendelkezik és 1,500,000 mérés/secundum sebességgel mintavételez. A nagy részletesség mellett szín információkat is tartalmaz és mobilis¹. A szimulátorok valós műtői környezet alapján készülnek, amelyeknek szigorú megkövetései vannak, ennek következtében a precízió és a gyorsaság kiemelkedően fontosak.

A morfológia digitalizálása egy Shining3D AutoScan-DS-EX strukturált fény szkennelővel történik, amely elsősorban fogászati használatra készült. Apró, fehér objektumok bemérésére alkalmas.²

A háromdimenziós szkennel technikák az érintkezés mentes leképzés csoportjába, azon belül az aktív technológiák közé tartozik. A lézerszkennelés alapja a LIDAR (Light Detection and Ranging) avagy lézer alapú távérzékelés, amely egy kibocsátó eszköz és egy visszaverő felület közötti távolság megmérésére használatos módszer. Ennek alkalmazása nagy felületen, gyors ütemben számos LiDar elvű műszerrel térbeli mintázat szerint, lézerszkennelésről beszélhetünk.³ Ultraibolya, infravörös vagy a látható tartományban működik. Felhasználása széleskörű, elterjedt a fordított mérnöki tevékenységet (Reverse Engineering) igénylő területeken, mint például épület felújításoknál, vagy három dimenziós animációk gyártása során.

A szkennel az adott objektumról, felületről több, különböző pozícióból készít képet és méri fel a távolságot a pontosság érdekében. Ebből következik az a nehézség, hogy az eltérő

¹ Creaform 3D hivatalos honlapja (<https://www.creaform3d.com/en>)

² Shining3D hivatalos honlapja (<https://www.shining3ddental.com/>)

³ A-B. Mostafa 2014. 3D Laser Scanners' Techniques Overview (International Journal of Science and Research (IJSR)) ISSN (Online): 2319-7064

mérések eredményei adott pontokat többször is bemérhetnek, valamint ezeknek az adatoknak az egyesítése, a többlet információ kiszűrése mellett.⁴

Három technológiával működhetnek, illetve ezek vegyítésével továbbá: a röppálya idejének mérésével, fáziseltolódás mérésével, valamint háromszögeléssel.

A röppálya idejének távolságmérője azt figyeli, hogy mennyi idő alatt teszi meg a fény a felület és a érzékelő eszköz között. Ennek az eljárásnak a pontossága nagyban függ az időmérő pontosságától. Előnye, hogy nagy távolságoknál is alkalmazható.

A fáziseltolódás elvű szkennerek azon alapszanak, hogy összehasonlítják a fáziseltolódását a visszavert lézerfényének egy irányadóval. Hasonlóan működik, mint a röppálya idejét vizsgáló szkennerek elve, azonban finomabb a távolság érzékelése. Egy moduláció által mérhető legnagyobb hatótávolság megegyezik azon moduláció hullámhosszána felével. Ez egy gyorsabb eljárás, emellett azonban az eredményként kapott pontfelhő zajosabb is a röppálya idejének távolságmérésével elért.⁵

Háromszögelésnél szintén lézer fény segítségével tapogatja le a felületet a szkennerek. Ennek a folyamán a fény csíkot a felületre irányítják és egy kamera segítségével felméri az elhelyezkedését a lézer fény által okozott pontnak. Attól függően, hogy ez a lézer pont hol helyezkedik el, a kamera látómezőjében is eltérő pozícióban jelenik meg. Így alakul ki a három "csúcspontja" a mérési módszernek: a kamera, a lézerfény kibocsátó és a lézer pont. A kamera és a fény kibocsátó távolsága adott, valamint az utóbbinál elhelyezkedő szög is. A kamera látómezője alapján kiszámolható a kameránál elhelyezkedő szög is, így minden információ adott a háromszög tulajdonságainak kiszámításához. Ez a módszer precíz (10 mikrométer nagyságrendileg), azonban a hatótávolsága igen kicsit.⁶⁷

A felület fényelnyelő, valamint fényvisszaverő képessége jelentős hatással van a mérés sikerességére. A visszatükröződő felületek, mint a fémek, valamint a fény áteresztő anyagok, mint a zsiradékok torzult méréseket okozhatnak, amelyeket posztprocesszállással ki kell javítani.⁸

⁴ Mostafa 2014

⁵ Mostafa 2014

⁶ Dr. Tomán H., Dr. Kunkli R. 2015. 3D szkenneléssel előállított pontfelhő és annak feldolgozási lehetőségei

⁷ Papp I., Tomán H. Kunkli R. Zichar M. 2015 Alkalmazott informatika a fogorvosképzésben (Neumann János Számítógép-tudományi Társaság) ISBN 978-615-5036-10-1 26-32. old.

⁸ Kovács T. 2011. 3D szkennelés kódolt fénnel

Ilyen hibák lehetnek a térháló folyamatosságának hiánya, elcsúszása és jelentős mértékű eltorzulása.⁹

A térháló megalkotása háromszögeléssel történik, a hálót a szomszédosnak vélt pontok összekötésével és így háromszög felületek kialakításával alkotja meg, úgy hogy ezek a keletkezett egységek legfeljebb egy élben vagy egy csúcsban találkozzanak, önmetszéstelkerülve. Ez azonban rendezetlen és a mintavételezésnek megfelelő pontosságú. A kezelése gyakran erőforrásigényes, emiatt szükséges feldolgozni, a térháló topológiáját a későbbi céloknak megfelelően átalakítani, újjahálózni.¹⁰

A lézerszkennerek giroszkóp segítségével képesek lehetnek több térháló összefűzésére is adott felületről.¹¹

2.2 Fotogrammetria

A fotogrammetria annak a tudománya, hogy valós információt nyerjünk ki térbeli alakzatokról, többek közt felvételek, mérések és fotografikus nyersanyagok segítségével. Tehát a digitális térbeli információt “utólag” fejtik vissza, a felülettől térben kötetlen módon történnek meg a mérések¹². Az adott felszínről, tárgyról, területről készített mérőfényképek alapján készülnek el a távolság meghatározások. A szó “fénykép mérést” jelent: foto = fény, gramma = kép, metron = mérés.¹³

Az objektumra vonatkozó információkat két halmazba sorolhatjuk: kvantitatív információk, amelyek mérhetőek, ilyen például az alak, térfogat, távolság; vagy tematikus, amely minőségi, információkat tartalmaznak, mint az objektum színe, anyaga. Fontos lehet bemeneti képek értelmezése, az ezzel foglalkozó tudományágát a fotogrammetriának fotointerpretációnak hívjuk.¹⁴

⁹ Dr. Tomán, Dr. Kunkli 2015

¹⁰ M. Edl, M. Mizerák, J. Trojan 2018. 3D Laser scanners: History and applications (International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN 1339-9640)

¹¹ Kovács T. 2011.

¹² K. Kraus, P. Waldhausl 1998. Fotogrammetria Alapok és általános módszerek (Tertia kiadó) ISBN 963-85129-9-7

¹³ Matula Gy. 2008 A fotogrammetria alapjai (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet) 2241-06 SzT-012-50

¹⁴ Matula 2008

A felvétel helye szerint a fotogrammetria lehet földi, légi vagy űr. A szakdolgozatomban kizárólag földi fotogrammetriával foglalkozom, mivel érsebészeti műtők közege, valamint a beavatkozás közvetlen környezete kerül feldolgozásra.

A kiértékelési eljárás szerint három kategóriáról beszélhetünk: analóg, analitikus és digitális.¹⁵

Analóg eljárás során a mérőgénykép(ek) felvételi helyzetét kell visszaállítani és ezen méréseket végezni optikai sugarak, sugárnyalábok alkalmazásával.

Analitikus eljárások esetén az analóg képen mért kép koordináták és a valós objektum geodéziai koordinátái között a kapcsolat kizárólag matematikai. A vetítősugarak egyenleteinek felírásával a metszet pontokat matematikai alapon lehetséges biztosítani. Ezek a módszerek a legpontosabbak.¹⁶

A digitális eljárásokhoz a képe digitális formátumban szükségesek, hogy rendelkezésre álljanak. A képelemek és a valós térbeli pontok között szintén matematikai kapcsolat létezik.

A fotogrammetria elsődleges felhasználása a földmérésben van, azonban széles körben alkalmazható eredményt szolgál.¹⁷

Számos tudomány területet ötvöző ág: a térbeli pontok vetítése képre, a mérések elvégzése matematikai és geometriai szabályokat alkalmaz, optikai eszközök alkalmazásával, illetve a fotográfiai eljárások ismerete is szükséges.

A fényképek esszenciálisan a leképezett tárgy vetítési középpontjával létrehozott centrális vetülete. Az egyes előállított képeket egy vetítési sugár adja ki, amely a tárgy megfelelő pontjára valamint a vetítési középpontra illeszkedik. Amennyiben ez az utóbbi pont a leképezendő felület és a képsík közé esik negatív kép lesz a művelet eredménye, ahhoz hogy pozitív kép legyen az eredmény, a képsíknak szükséges a másik kettő között elhelyezkedni.¹⁸

Fontos figyelembe venni, hogy a méretbeli tulajdonságait a leképezés eltorzíthatja. A vetítés jellemzőit ismerve a pontos méretek visszafejthetők.

¹⁵ Matula 2008.

¹⁶ Matula 2008.

¹⁷ Dr. Jancsó T. 2010. Digitális fotogrammetria (Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar)

¹⁸ Dr. Jancsó 2010.

Az egyik legfontosabb matematikai folyamata a fotogrammetriának két koordináta-rendszer közötti kapcsolat megteremtése. Ehhez sík- vagy térbeli transzformációkat kell alkalmazni, illetve ismerni kell a valós, térbeli pontok és a képi pontok kapcsolatát.¹⁹

Az optikai képalkotáshoz gömbfelülettel határolt üvegtesteket, azaz lencsákat alkalmaznak, amelyek a fénytörő tulajdonságainak köszönhetően az egyik oldalon egy pontból kiinduló, a felületére eső fény nyalábokat megtöri, úgy hogy a másik oldalon azok ismét egy pontban egyesülnek, így létrehozva a képét az adott pontnak. Megkülönböztetünk sugárnyalábot (a fénysugarak összessége, amely egy pontot létrehoz), fősugarat (a sugárnyaláb azon egy sugara, amely a lencse úgynevezett főtárcsáján halad át) és képalkotó sugárnyalábot (fősugarak összessége).²⁰

A lencse görbülete határozza meg, hogy a lencsének egy, illetve kettő főtárcsája van.

A fotogrammetriához felhasznált képi információk többsége hagyományos fotográfiai eljárással áll elő, a digitális kamerák és így a digitális képek is egyre jelentősebben fordulnak elő. Beszélhetünk fekete-fehér fényképezésről, színes fényképezésről, ezen belül hagyományos, valamint színes infra (hamis infra) fényképezésről, ezek mellett pedig a digitális fényképezésről.

Mivel digitális fényképekkel dolgozunk a YourAnastomosis-nál, ezért erről fogok a következőkben részletesebben írni, ezen belül is a közvetlen, digitális kamerával történő eljárásról.

Ez az eljárás lehetőséget ad a képsíkon szereplő információ számszerű adatként történő rögzítésére. Ez az eljárás alapvetően nagyobb pontosságot ad. A digitális kép megfeleltethető egy kétdimenziós mátrixnak hagyományosan $g(i,j)$ G mátrixnak nevezik. A képi pontokat felváltja a pixel (picture element) fogalma, ezek helyzete a középpontjukkal van rögzítve a kép-koordináta rendszerben. A sor és oszlop száma határozza meg, ennek köszönhetően a pixelek azonosítása jól automatizálható, a méréseket így megkönnyítve.²¹

A képelemek ezen felül rendelkeznek intenzitás értékkel, amelyek megadják a hozzá rendelt szint, vagy árnyalatot. Az erre használt értékkészlet eltérő lehet, azonban a leggyakoribb a 0-255-ig terjedő skála, ahol a 0 a fekete, a 255 a fehér színnel egyeztethető. Fekete-fehér

¹⁹ Matula 2008.

²⁰ Dr. Dékány Sándor (1973): Műszaki fényképezés és filmezés. (Műszaki könyv kiadó Budapest)

²¹ Matula 2008.

képeknél ez a szűrkeségi fokozat²². Színes képek esetén három spektrális sáv határoz meg egyet, ilyenkor szükséges rögzíteni az ezekhez tartozó mátrixot is.

A digitális képeknél fontos szempont a felbontás is. Minél kisebb képelemek alkotnak egy adott méretű képet, annál jobb annak a felbontása, annál több a rendelkezésre álló információ mennyisége, ennek megfelelően a tárolás és kezelés is több igénybevételt jelent.

A torzulást a digitális képek is elszenvedik a képek leképzése során, emellett az érzékelő elemek elhelyezkedésére és egyes alkotó elemek (szilíciumlapkák) hőtágulására is érzékeny szerkezetek a digitális fotografikus eszközök.²³

A kiértékelés során fontos figyelembe venni az alkalmazott digitális kamera beállításait, ennek segítségével a természetes, illetve mesterséges fények befolyásoló hatása is csökkenthető, valamint az értékelés pontossága növelhető posztprocesszálas alkalmazásával. A fotogrammetria céljától függően szín korrekciós eljárások, maszkolás, illetve utólagos minőség javításról is lehet szó.

A digitális fényképek feldolgozása elsősorban célszoftverekkel történik. A fotogrammetria elterjedésével napjainkra, ilyen szoftverekből számos rendelkezésre áll, jelentős mennyiségű ingyenes ezek közül. Ennek ellenére magas minőségű eredmény érhető el a használatuk során, mely alkalmas további, akár ipari alkalmazásra is. Ezeknek a szoftvereknek az alkalmazását a tervezési rész során fogom részletezni, illetve bemutatni több hatékony eljárási módszert, amely megsegíti az érsebészeti helyzetek digitalizálását.

2.3 Modellezés

Modellezés szinten két egymásra hatással lévő folyamatról beszélhetünk a YourAnastomosis termékek esetében. Az egyik során a fizikai szimulátor áll elő, a másik pedig kiterjesztett valóságra alkalmas jelenettel végződik. Fontos, hogy mindkét eredmény a valós szituációt a legteljesebb mértékben tükrözze, azonban eltérő technológiai követelményekkel rendelkeznek, amelyek nehézséget okozhatnak.

A kiindulás a szkennelt felület megkreálása, valamint az erek pozíciójának a megjelölése. Ez Geomagicen belül történik.

²² Abonyi-Tóth A., Farkas Cs., Turzó-Sovák N., Varga P. 2020. Digitális kultúra 6. (Oktatási Hivatal) ISBN 978-615-6256-38-6

²³ Matula 2008.

2.3.1 3D nyomtatásra alkalmas modell készítés, szimulátor

A nyersanyagokból a valós felületet leginkább imitáló, 3D nyomtatásra alkalmas, nagy geometriai pontossággal rendelkező szimulátor előállítását elsősorban Blender-ben történik, az erek rögzítésére használt szerkezet, a vessel holder, pedig Fusion360-ban. Szín információt egyáltalán nem tartalmaz.



2. ábra A teljes termék csomagolása
forrás: youranastomosis.com

Ennek oka, hogy két különböző igényt szükséges teljesíteni. Az erek rögzítése bepattanó kötésekkel történik, igen kis méretben, valamint a skálázhatóság érdekében igényli a parametrikus tervezés által nyújtott előnyöket, amelyre a mérnöki CAD szoftverek képesek csak. Ezzel ellenben a nagy geometriai pontossággal rendelkező, organikus felületet imitáló modell elkészítéséhez szükséges felület manipuláló eszközökhöz a mesh, azaz térháló modellezés a megfelelő irány, valamint a lézerszkennelés és a fotogrammetria eredménye is ilyen módon feldolgozható a legkönnyebben. A lézerszkennelés, valamint fotogrammetria eredménye hibás térháló elemeket különböző befedési, majd digitális szobrászati eszközökkel szükséges kijavítani.

A szimulátoron a feltárás közvetlen környezete, ezt segítő eszközök, a vessel holder és az azt segítő rögzítések helyezkednek el. A YourAnastomosis átlagos belső ér-átmérőket

alkalmaz leggyakrabban, azonban indokolt esetekben anatómiailag helyes ereket is készít, amelyek fixálási módja eltérhet. Ezeknek a gyártásáról a későbbiekben írok.

A szimulátorok úgy készülnek el, hogy additív gyártástechnológiára alkalmasak legyenek, valamint a csomagolás és szállítás szempontjából se jelentsenek kihívást.

Ahhoz, hogy egy digitális modell alkalmas legyen additív gyártási eljárásra több feltételnek is teljesülnie szükséges. A 3D modellező programok nagy szabadságot engednek meg, így könnyen előfordulhat, hogy egy virtuális objektum megfelelőnek tűnik, azonban a térháló integritása sérült, avagy hiányos. Ezeket a hiba forrásokat fontos ismerni, annak érdekében, hogy elkerülhetőek legyenek, illetve kijavíthatóak. Mivel a nyersanyag lézerszkennelt és fotogrammetriából előálló felületek, így fontos a térháló hibák okának és megoldásának a témájával is foglalkozni.

A legfontosabb tulajdonsága egy modellnek a tömörsége. Ez a koncepció elsőre igen könnyűnek tűnik, azonban a modellező szoftverek által megengedett szabadságnak és komplexitásának következményeképpen számos dologra figyelni kell. Egy tömör test a háromdimenziós térnek egy jól meghatározott tartománya, megkülönböztetünk pontokat, amelyeket belsők, külsők, vagy határpontok. A pontokat összekötő élek és az így kialakuló térháló tulajdonságait a gráf elmélet, a topológia segítségével a legcélravezetőbb vizsgálni. A 3D szkennerek és fotogrammetrikus eljárások is ennek elvén készítik el a térhálókat. A pontok csúcsnak, az élek utaknak felelnek meg.²⁴

Modellező rendszerekből fontos különbséget tenni a manifold és nem-manifold topológiával rendelkező rendszerek között. A korábbi olyan alakzatok modellezésére onatkozik, amelyek leképezhetőek kétdimenziós ponthalmazokként, az utóbbi értelemszerűen ennek az ellentett tulajdonsága. A 3D nyomtatás szempontjából ez, a manifold jelleg egy alapvető tulajdonság, amely feltétele annak, hogy megvalósítható legyen egy adott virtuális objektum. Ezen belül beszélhetünk nem teljesértékű modellekről (például huzalváz- vagy felület modell), valamint teljesértékű modellekről (ilyenek a test- és palást modellek). Ez utóbbi tulajdonság megint csak elengedhetetlen egy térbeli pontrendszer megfelelő mértékű meghatározottságához.²⁵

Palást modellezés alatt olyan eljárásról beszélünk, amelynek az eredményes véges, zárt burkolatú objektum. A huzalváz modellezés és a felületmodellezés ötvöztetésével alkot olyan

²⁴ Dr. Tomán, Dr. Kunkli 2015.

²⁵ Molnár L. 2011. CAD alapjai (Edutus Főiskola)

folytonos, véges és zárt palástot, amely lapjait csomópontok által meghatározott élek alkotják. Két fajtája: a poliéderez palást modell (sík lapokkal közelíti az objektumot) és valósághű palástmodellezés (szabadformájú felületeket is megenged - a számítógép számábrázolási pontossága szab korlátot). A palást modellek fontos tulajdonsága, hogy alkalmas térfogat és tömeg meghatározásra, végelem módszer elvégzésére, valamint gyártástechnológiában alkalmazott tervezésekhez is.²⁶

A test-, avagy térfogat modellezés a virtuális tárgyakat véges, zárt, reguláris ponthalmazként rögzíti. A modell teljes leírást tartalmaz, a felépítő alapegységek tulajdonságairól és ezek kapcsolatairól is. Jellemző előállítási műveletei a kompozíciós műveletek, amelyekkel halmazelmélet kapcsán megismerkedhettünk: összeadás/egyesítés, kivonás/különbség, közös rész képzés és összeragasztás. A testmodellezés kiinduló elemei az úgynevezett testprimitívek. Ezek lehetnek előredefiniáltak vagy a felhasználó által létrehozottak, a leggyakoribb primitívek a hasáb, ék, henger, kúp, tórusz és gömb. Ezek transzformálása, manipulálása és halmazműveletek megfelelő sorrendű elvégzése eredményezi a kész objektumot²⁷.

A testmodellezés feltételezi, hogy merev testet alkot az objektum, az általa elfoglalt teret pedig homogénen tölti ki. A kiterjedése véges, számítógépes megjelenítése érdekében, illetve merevtest-szerű mozgásokat tekintve zárt halmaznak tekinthető²⁸.

A Blender térháló modellező eszköztára nagy szabadságot megenged, azonban rendelkezik a modellek topológiáját és tömörségét ellenőrző eszközökkel, illetve ezek kijavítására alkalmas műveletekkel.

A tömörségen túl, fontos, hogy ne legyenek olyan oldallapok, amelyek nem részei egy tömör testnek és nem rendelkeznek valós vastagsággal. Mivel egyes felületekhez két oldalához tartozik irányultság, ezeknek a megfordulása is gondot okozhat. Ezeket egy felület "normáljának" nevezik, a legtöbb megjelenítő nézet nem jelöli a különbséget, azonban a felület viselkedése, illetve ellenőrző műveletek segítségével észrevehető.²⁹

²⁶ Molnár L. 2011.

²⁷ Horváth I. Juhász I. 1996. Számítógéppel segített gépészeti tervezés 1.; (Műszaki Könyvkiadó Budapest) ISBN: 963-16-1051-9

²⁸ Molnár L. 2011.

²⁹ Molnár L. 2011.

Az élekhez is tulajdonítható manifoldság, ebbe az esetben manifoldnak nevezzük azt a két pont által meghatározott élet, amelyben kettőnél több felület találkozik. Ez a topológiai hiba valószerűtlenné teszi a térhálót.

Fontos figyelembe venni, hogy egyes geometriák nem nyomtathatóak bizonyos 3D nyomtató eljárásokkal és gépekkel. Ezek a modellek fizikai részletességét korlátozzák, így a tervezés során érdemes figyelembe venni a gyártáskor alkalmazott eszköz tulajdonságait.

2.3.2 Kiterjesztett valóság, AR

A kiterjesztett valóság, avagy AR (Augmented Reality) a valós környezet kibővítésére utal, virtuális elemekkel egy közvetítő eszközön keresztül. Ez az eszköz lehet egy speciális, erre a célra kifejlesztett szemüveg, de akár egy okostelefon kamerája is.³⁰ A virtuális tárgyak beépülése a környezetbe valós idejű, így lehetőség van interaktívvá tenni a digitális elemek megjelenését. Felhasználása széleskörű, oktatóanyagoktól orvosi diagnosztikai számos területen előfordul. A virtuális valóságtól (VR) a legfontosabb megkülönböztető tulajdonsága, hogy a valós teret nem maszkolja ki, hanem felhasználja, mint térbeli elem és a virtuális objektumokkal kiegészítve alkotja a teljes, kívánt képet.^{31 32}

Modellezés szempontjából itt egy fontos alapvető tényező a virtuális és a valós tér kapcsolata. Fontos, hogy figyelembe legyen véve a cél tér kialakítása és határai, így nem adott modell objektumokban kell dolgozni, hanem “jelenetekben”, avagy “scene-ekben”. Egy jelenet általában tartalmaz minden virtuális objektumot, amely alkalmazva lesz a virtuális valóság valamely rétegén, avagy olyan információt, amely rámutat ezekre.

A feldolgozás során történik egy modellezés rész, valamint egy előkészítés. A modellezés történhet alkalmas CAD programban, azonban már egyre elterjedtebbek azok a videójáték motorok, amelyek ezt a feladatot is képesek ellátni. A YourAnastomosis-nál az elsődleges modellező szoftver a Blender, az alkalmazott videojáték-motor pedig a Unity.

A Blender szabad felület modellezésén túl megenged számos funkciót, amely megkönnyíti a kiterjesztett valósághoz alkalmazott jelenetek legyártását. A térháló felépítésének

³⁰ Kajos. A., Dr. Bányai E. 2011. Az augmented reality jelene és jövője, mint a marketingkommunikáció eszköze MTMT 1726105

³¹ Matuszka T., Jámbori A., Kocsis Á. 2016. Virtuális és kiterjesztett valóság az ELTE Informatikai Karán

³² Dobján T., Dobjánné A. E. 2018. OKOS MEGOLDÁSOK ÉS KITERJESZTETT VALÓSÁG A TANTERMEKBEN ISSN 2064-8014

vizsgálata, szín, textúra és felület információk alkalmazása és módosíthatósága mind fontosak.

A 3D nyomtatásra előkészített modellek topológiai jellemzőinek alapvetően hasonló követelményei vannak. Azonban kiterjesztett valóság során a valós idejű megjelenítés egy nagy energiaigényű folyamat. A céleszköz és megjelenítő szoftver tulajdonságaitól függően eltérhetnek a pontos értékek, de minden esetben fontos, hogy a modellek megjelenítéséhez szükséges erőforrás igény minimalizálva legyen.

Az erőforrás korlátoknak megfelelően a térháló felbontását, részletességét gyakran csökkenteni kell. A legtöbb térháló háromszögeléssel definiálja a felületeket, hiszen három pont szükséges egy sík definiálásához. A legtöbb modellező program azonban támogatja a sokszögek alkalmazását is egy felület meghatározásához. Ezeknek a tudatos alkalmazása jelentősen csökkentheti a tárolni szükséges információ mennyiséget. Célszerű négyszögek alkalmazása, különböző felület felosztással kapcsolatos műveletek ugyanis ezeken adják a legkiszámíthatóbb és kívánt eredményt. Azonban sokszögek alkalmazhatóak olyan hard surface felületek esetén, amelyek teljesen síkban, lekerekítés és letörés nélkül találkoznak a csatlakozó palásthöz, például egy henger esetén.

A topológia újradefiniálása és csökkentése segítségével az elkészült jelenetet ötvenezer poligon környékén szükséges tartani a YourAnastomosis céljainak megfelelően. Mivel a fotogrammetria és a lézerszkennelés eredménye általában egy több millió poligonszámú térháló, ezért ez egy kiemelten fontos feladat. Fontos figyelni arra, hogy mely térbeli információk pótolhatóak utólag optikai tulajdonságok csatolásával, például a textúrák segítségével.

A felületek textúrái nem lehetnek procedurálisak, fontos, hogy kép alapon, Physically Based Rendering módszerével álljanak rendelkezésre³³. Ezek könnyebben tárolhatóak, exportálhatóak és kevesebb erőforrást igényelnek.

Elengedhetetlen, hogy a valós méreteknek, térbeli pozícióknak megfelelően legyen egy jelenet berendezve kiterjesztett valóságban történő alkalmazás céljára. Fontos szempont,

³³ M. Pharr, W. Jakob, G. Humphreys 2017 Physically Based Rendering from theory to implementation (Morgan Kaufmann Publishers) ISBN: 978-0-12-800-645-0

hogy a szimulátorhoz egy tálcán elhelyezett QR kód köti az AR-t, így ennek a figyelembevételével kell pozicionálni a digitális objektumokat.

A kiterjesztett valóság elemeinek előállításáról, a műtői környezet digitalizálásáról a tervezési folyamat kifejtése során fogok részletesen írni.

2.4 3D nyomtatás

A műanyag 3D nyomtatás technológiájának elsődleges alkalmazása a rapid prototyping, azaz gyors prototípus gyártás. Additív gyártástechnológia, amely során az általában polimer alapanyag megfelelő felvitelét, kiterjedését és megszilárdulását CAD vagy 3D modell alapján egy számítógép vezérli. A YourAnastomosis számára a legnagyobb előnye az egyedi gyártás, hiszen számos, jelentős mértékben eltérő esetről készülnek a szimulátorok.

A koncepciója az 1940-es évekig visszavezethető, de csak az 1980-es években valósultak meg az első additív gyártó felszerelések és anyagok.³⁴

A háromdimenziós tárgy megalkotása rétegek egymásra helyezésével képződik, ellentétben a szubtraktív eljárásokkal, mint például a forgácsolás, ahol egy kiinduló próbatestről a felesleg lefejtésével készül el a végtermék. A 3D nyomtatás a CNC technológiákhoz (Computer Numerical Control eljárások) tartozik alapvetően.³⁵



3. ábra 3D nyomtatás elvi rajza
forrás: <https://docplayer.hu/164169030-A-3d-nyomtat-as-alapjai.html>

A 3D nyomtatással történő gyártás lépései hasonlóak más CNC technológiákhoz³⁶:

- tervezés, 3D modell megalkotása,
- konverzió, exportálás az előkészítő szoftver által felismerhető fájlformátumba,

³⁴ J. Micallef 2015 Timeline of 3D printing design milestones (Apress, Berkeley, CA) Online ISBN 978-1-4842-0946-2

³⁵ Huszár I. 2021. Tárgyasult ötletek – 3D nyomtatás és tervezés (BBS-INFO Könyvkiadó és Informatikai KFT.)

³⁶ Kátai L. 2012. CAD Tankönyv (Typotex Kiadó) ISBN 978-963-279-534-8

- gépi kód előállítás (CAM vagy manuális), “szeletelés”,
- gyártó gép előkészítése,
- megmunkálás, gyártás,
- termék tisztítás, utókezelés.

Már számos anyaggal lehetséges 3D nyomtatni, azonban a legelterjedtebb, és a szakdolgozatom témájában leginkább releváns, a műanyag nyomtatás. A polimereket több fajta eljárással is lehet nyomtatni, ezek közül a legelterjedtebbek az FDM, SLS és SLA nyomtatók.

Az FDM a Fused Deposition Modelling kifejezést rövidíti, ez egy szálhúzásos eljárás, aminek során a feltekercselt műanyag huzalt, a filamentet, olvasztva “rajzolja” a nyomtatófej a megfelelő szeleteket, keresztmetszeteket egymásra építkezve. A nyomtatófej, más néven extruder, általában X-Y síkban képes elmozdulni, a Z irányú haladást a nyomtató tálca végzi. A leggyakrabban felhasznált anyaga a PLA és ABS, valamint ezeknek az anyagoknak a módosulatai. Az eljárás végterméke általában nem sima felületű, a rétegek élesen látszódnak, utókezeléssel ezen enyhíthetünk.³⁷

Az SLS nyomtatás a Selective Laser Sintering rövidítése, ez egy por alapú, szinterezést alkalmazó eljárás. Precíz, sima felületek gyártására képes, festékek folyamatos keverésével akár színezett végtermék előállítására is képes, azonban költséges eljárás. Műanyagok nyomtatásához a nyomtató kamrában lévő port az olvadási hőmérséklet alatti hőfokon tartja és egy lézer segítségével a megfelelő úton haladva olvasztja meg az egyes rétegeket, így alkotva meg az objektumot.³⁸

Az SLA, azaz műgyanta nyomtatás eredményezi a legszebb felületű, legrészletesebb eredményt általában a hobbi szinten is elérhető eljárások közül. Ez az eljárás fotopolimerizációként is ismert. A sztereolitográfias nyomtatás során a folyékony műgyantát rétegről rétegre szilárdítják meg UV fény segítségével. Lézerdióda vagy egy projektor fénye világítja meg az adott réteget. Szintén egy drága eljárás, azonban mára mérg megjelentek asztali gépek is³⁹.

³⁷ P. K. Patel 2022. Additive Manufacturing with Medical Applications (Boca Raton) ISBN 9781003301066

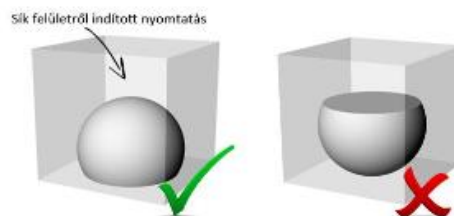
³⁸ P. K. Patel 2022.

³⁹ A. Bagheri, J. Jin 2019. Photopolimerization in 3D printing (American Chemist Society)

A Material Jetting, vagy ismertebb nevén PolyJet nyomtatási eljárást is fontos megemlíteni. Kiemelkedő minőségű, gyors, több, széles skálájú anyag és szín együttes alkalmazására képes, ezzel az eljárással csak ipari nyomtatókat készítenek azonban a költségessége miatt. Fotoérzékeny polimereket “lövell”, apró rezin cseppeket fúj egymásra, hasonló módon, mint a kétdimenziós jet nyomtatás eljárások. Az UV fény kibocsátó egysége pedig ezt lekövetve, azonnal megdermeszti a megfelelő rétegeket. Az eljárás hátránya a költségén túl, hogy két gyártó uralja a piacát és csak a saját anyagokkal dolgoznak.⁴⁰

A polimer 3D nyomtatás alapanyaga minden esetben hőre lágyuló műanyag, az anyagok vegyítésével pedig a kívánt tulajdonságok széles skálája elérhető: akár áttetszőség, vízben oldhatóság, lebomló képesség, rugalmasság, szilárdság.

A 3D modellek előkészítő folyamatát szeletelésnek nevezzük. Ilyenkor a modell fájlunkat, általában .stl formátumot alkalmazva, a nyomtató által értelmezhető G kóddá alakítjuk. Vékony szeleteket készít a modell térbeli kiterjedéséről a szoftver és ez alapján meghatározza az extruder útját, valamint a beállított réteg magasságnak megfelelően a tálcán Z irányú mozgását. Számos beállítás elérhető a szeletelő programokon belül, amellyel a végtermék tulajdonságait a célnak megfelelően befolyásolhatjuk. Minőség és a nyomtatással töltött idő itt optimalizálható.



4. ábra Példa helyes modell elhelyezésre a nyomtató térben
forrás: <https://docplayer.hu/164169030-A-3d-nyomtatás-alapjai.html>

A szeletelőben fontos olyan szempontokat is figyelembe venni, hogy milyen pozícióban a legcélravezetőbb elkészíteni az adott objektumot. Mérlegelni kell a támasztékok elhelyezését, a térbeli elhelyezkedést és a tálcán elfoglalt területet is. A célnak megfelelően

⁴⁰ O. Gülcan, K. Günaydin, A. Tamer 2021. The State of the Art of Material Jetting – A Critical Review (Imperial College London, London)

kell kitöltést is választani, különböző minták és kiterjedésekből a számunkra legideálisabbat alkalmazni.

Továbbá itt vehetjük figyelembe, hogy a vetemedést milyen módon kerülhetjük el és biztosíthatjuk az objektum megfelelő ragadását a tálcához, amellyel a nyomtatási soráni problémákat tudjuk minimalizálni.

A nyomtatás elkészülte után a tárgyat gyakran meg kell tisztítani, a támasztékokat eltávolítani, illetve a felületet kezelni. A támasztékok viszonylag könnyen eltávolítható stabilizáló struktúrák, készülhetnek az objektummal azonos anyagból, vagy ha van lehetőség, akkor vízzel vagy egyéb oldószerrel, lúggal oldható megoldások is léteznek. Az előbbi esetben egyszerűen letörhetőek kézzel, csipesszel, de figyelni kell az értékes felület épen tartására. SLS nyomtatás esetén a por nyújtja a támaszt, ettől szükséges megtisztítani a felületeket, SLA nyomtatás esetén pedig gyanta struktúrák adnak stabilitást, amelyek apró pontokban találkoznak csak a felülettel, könnyen törhetőek.

A vízzel oldható támaszok leszedése időigényesebb, vízben történő oldással kezdődik, amelynek a során akár teljesen is leoldódhat, azonban egy bizonyos idő után kézimunkával is leszedhető a maradék. Ez az eljárás a felületben egyáltalán nem okoz kárt, de mint minden támasz, ennek az eltávolítása is nehézségekkel járhat kicsi, nehezen elérhető részekben. Felgyorsítható a folyamat meleg, nagyjából 35°C-os vízben forgatással, ahol a PLA deformációja még nem indul meg^{41 42}.

A felületeket igény szerint csiszolni, lakkozni, festeni lehet, illetve akár edzésre és egyéb kémiai kezelésekre is sor kerülhet.

FDM nyomtatáshoz a YourAnastomosis elsősorban PLA-t használ, támasz anyaga lehet önmaga vagy PVA is, amely vízben oldódik. Ezek használata olcsó, könnyen formálhatóak és a szaguk neutrális, így zárt térben jól alkalmazhatóak. A szerkezeti tulajdonságaik a felhasználás jellegéből adódóan nem igényelnek különleges jellemzőket.

⁴¹ C. E. Macias, H. Bodugoz-Senturk, O. K. Muratoglu 2013. Quantification of PVA hydrogel dissolution in water and bovine serum

⁴² M. Vert, G. Schwarch, J. Coudane 2006. Present and Future of PLA Polymers

2.5 Csomagolás

Egy adott termék csomag elemeivel kapcsolatban a vásárlók kérhetnek eltérést, azonban bizonyos elemek mindegyikben szerepelnek:

- az esetspecifikus 3D nyomtatott szimulátor,
- az ehhez tartozó erek, ér tartók, összeszerelve és a kívánt mennyiségben,
- a beavatkozáshoz szükséges eszköz csomag,
- brosúra, katalógus, dossziéban,
- QR kód: telefonhoz, Hololens-hez, illetve egy redukált, Hololens-hez készült jelenetről,
- tripod, a telefon rögzítéséhez, az AR jelenet megtekinthetősége érdekében,
- levél, amelyben visszaküldhetőek az elkészült varratok, előre felcímkezve.



5. ábra Jelenlegi csomagolás egy tálcája

Jelenleg a termék több emeletes rigid doboz csomagolásban kerül szállításra, amelyen belül a törékeny alkatrészek megóvására szintén rigid tálcarendszer szolgál. Az eltérő szimulátorokhoz különböző eszköz készletek tartoznak, illetve a befoglaló méreteik is eltérhetnek, azonban egy univerzális doboz rendszer tartozik jelenleg mindegyikhez.

A doboz rendszernek keretet adó elem egy hullámkarton tároló, matt fóliával, kasírozva 180 g/m²-s papírral, kétoldalas ragasztó papírral duplózva a szükséges helyeken.

A papír tálcák 280 g/m² keménységű ofszet papírokból állnak, amelyek egy oldalt UV lakkal rendelkeznek⁴³. Ennek köszönhetően garantált a mérettartása és a nyomtatott elemek színének élénksége. Stancolással készülnek, tehát egy stancrajz alapján vágják körbe a megfelelő kiterítést, amely meghajtva a bígélés mentén felveheti a formáját⁴⁴. (Papp, 2008)

⁴³ Simon P. 2008. Előkészítés a késztermék nyomdai kivitelezésére, a kivitelezés ellenőrzése (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intéze, Budapest)

⁴⁴ Papp L. .2008. A vágás technológiája (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intéze, Budapest)

Bizonyos elemek fekete szalaggal átfűzve készülnek, ennek célja, hogy a tálcák pontosan csúszhassanak egymásba és mégis könnyen kivehetőek legyenek.

Grafikai megjelenés szintjén letisztult, minden tartó doboz tartalmazza a benne található elemek nevét, illetve a YourAnastomosis logót, amely a kizárólagos színes eleme a csomagolásnak.

2.6 A termék további fontos elemei, jellemzői

Fontos tulajdonságai közé tartozik az értartónak a kivehetősége, így elég csupán azt kiemelni és a felcímezett levélben visszajuttatni az elemzés érdekében.

Az erek szilikon öntéssel készülnek el, adott belső átmérő szerint értékelve. Jelentős részük úgy nevezett “hamis ér”, egy átlagos átmérőnek megfelelően készül el, a kialakítása általános. Anyagtulajdonságban hasonlóak, nyúlás és szakadás szempontjából a viselkedésük imitálja a valós erek viselkedését, 10-25 Shore A keménységgel rendelkeznek, attól függően, hogy artériáról vagy vénáról van szó. Anatómiailag helyes erek is készülnek orvosi szegmentálást alkalmazva, valós ereknek megfelelően készültek el geometriájukban, illetve tapintásukban is ezt imitálják, haptikusak. Mivel ez az eljárás hosszadalmas és erőforrás igényes, ezért nem minden esethez létezik ilyen jelenleg, illetve a felhasználóknak kérniük kell ezeket.

Az áramlástani analízis egy folyamatosan fejlődő, egyre pontosabb eljárás, a belőlényert információt pedig arra alkalmazzák, hogy a kiértékelési folyamatot még effektívebbé tegyék. Mesterséges intelligencia segítségével keresik a módszertant, hogy akár a varrat külső geometriája alapján következtetéseket vonhassanak le a beavatkozás sikerességéről. A morfológiai tulajdonságokat szintén kielemezik és felhasználják további fejlesztésekre.

A YourAnastomosis az eredményeket az applikáción és a web platformon keresztül közli, ahol szerepel az értékelés és visszajelzés.

Emellett tartanak kurzusokat, amelyeken a termék és szolgáltatás alkalmazását bemutatják és egyenes visszajelzést is nyújtanak a sebészek számára.

3 Versenytárs elemzés

A YourAnastomosis hazai és nemzetközi piacokon is szerepel. Két kiemelkedő vásárlói értéket nyújtanak: az esetspecifikus szimulátorok, amelyek teljesen valós környezetet adnak a varrásnak, valamint az objektív kiértékelés és visszajelzés.

A sebészeti oktatás bevált módszer cadaverek alkalmazása, azonban ezek költségesek és nehezen beszerezhetőek. Egy ilyen tetem beszerzési ára átlagosan 1900 dollár, valamint a tartósításra alkalmazott miatt jelenlévő formaldehiddel szuszpendált környezet káros. A hagyományos cadaverek leváltására az igény már régóta létezik, azonban az emberi anatómia jellegzetességeinek a technológiája egy jelenleg is folyamatosan fejlődő irány⁴⁵.

Alkalmaznak digitális cadavereket demonstrációs célokra, azonban ezek csak limitáltan tudják megteremteni a valós környezet érzetét.

Fontos megjegyezni, hogy a YourAnastomosis érsebészeti oktatással foglalkozik, azonban folyamatos fejlesztések folynak, hogy hasonló jelleggel további egészségügyi területek oktatását támogassák, megfelelő szimulátorokkal, tartalmakkal, valamint objektív visszajelzéssel. Ezeket versenytárs szinten nem fogom elemezni, azonban a demonstrációs termék koncepciójának feltérképezésénél figyelembe fogom venni.

3.1 Versenytársak

A YourAnastomosis erek áramlástanai feldolgozásának terén egyedülállónak tekinthető. A piacon elérhető megoldások közül jelenleg csak olyan termékek ismertek és elérhetőek, amelyek a nyomásesést és szivárgást vizsgálnak művér segítségével. Így analízis, morfológiai és objektív visszajelzés terén vezetik az érsebészeti oktatást segítő eszközök piacát.

Anasztomózis gyakorlására alkalmas termékekből több is van, két versenytárs azonban kiemelkedik. Ezek a PocketSuture és az UpSurgeon, mindkettő könnyen és széles körben elérhető terméket biztosítanak, amellyel helyhez kötés nélkül gyakorolhatnak a sebészek.

⁴⁵ C. Newman 2018. Digital cadavers are replacing real ones. But should they? (National Geographic) [https://www.nationalgeographic.com/science/article/digital-cadavers-are-replacing-real-ones-but-should-they-future-medicine 2022.11.16.]

3.1.1 PocketSuture⁴⁶

A Pocket Microsurgery Kit kompakt, elegáns hordozóval jár és tartalmaz átlátszó műereket a lehetséges anasztomózis fajták gyakorlására (side-to-side, end-to-side, end-to-end). A műerek egy négyzetrácsos lap előtt vizsgálhatók a pontosabb, ám kizárólag vizuális értékelést támogatva. Emellett fonal tűvel



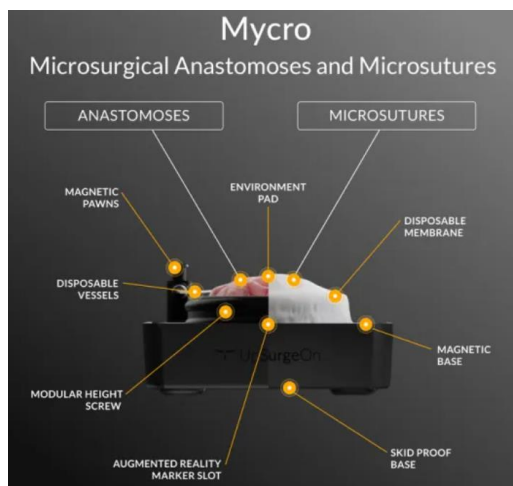
6. ábra Egy anasztomózis gyakorló levél
forrás: pocketsuture.com

és állvány is tartozik a csomaghoz, amelyre tetszőleges okos telefon erősíthető fel, hogy a beavatkozásra rá lehessen a kamera funkción nagyítani, így a gyakorlás bárhol történhet. Egy ilyen csomag 189.99 USD jelenleg, az anasztomózis levelek önmagukban 14.50 USD árral rendelkeznek.

Vékonyfalú, átlátszó szilikon ereket tartalmaznak, valamint oktató videók is elérhetők.

3.1.2 UpSurgeon⁴⁷

Az UpSurgeon agyi mikro varratokra, anasztomózisokra specializált terméket szolgáltat, amely rendelkezik cserélhető, izom jellegű betétre is akár, számos beavatkozásban segítik a fejlődést. A termékei bérlelhető és vásárolhatóan is elérhetőek. Emellett művér segítségével szivárgásra is tesztelhető. Az applikációjukon keresztül lépésről lépésre végig vezetnek egy beavatkozáson, valamint tartalmaz VR tartalmat is.



7. ábra A Mycro Suture termék felépítése
forrás: upsurgeon.com

A két membrános felület mellett, 2 méretben két-két ér, a beavatkozáshoz szükséges eszközök, agy és izom párna és két fecskendő, műérrel található a csomagban. Biztosít

⁴⁶ PocketSuture Hivatalos honlapja [pocketsuture.com 2022.11.18.]

⁴⁷ UpSurgeon Hivatalos honlapja [upsurgeon.com 2022.11.18.]

ingyenes hozzáférést az applikációhoz. 309-379 USD között mozog az ára, a pontos rendeléstől függően.

A környezetet bizonyos mértékig imitálja, azonban a fizikai korlátokat csak digitális modellekkel kommunikálja.

3.2 Következtetések

A termék legnagyobb versenyelőnye és vevőértéke az objektív visszajelzés. Mivel ebben nem rendelkezik versenytárral.

A másik legértékesebb tulajdonsága, hogy valós műtéti szituációkat imitál, amelyik igazi esetnek megfelelően készültek el. Ezzel megadva a fizikai környezetet a gyakorlásra, kiegészítve AR tartalommal, amely tovább segíti az elmélyülést és további információt nyújt. Az esetek diverzitása további fontos tulajdonság.

Fontos figyelembe venni, hogy a célközönség egészségügyi szakemberekből áll, akik számára az áramlástani információk nem feltétlen kézenfekvők, illetve jelenleg az értékelést az ér belső morfológiájával kapják még a felhasználók. Ezt fontos vizuálisan lekommunikálni, hogy a varratok külső tulajdonságaival összekapcsolhassák.

Összességében elmondható, hogy fontos, hogy a demonstrációs termék az objektív visszajelzést, valós helyzeteket emelje ki. A kiterjesztett valóság jelenleg egy kommunikációs eszköz lényegében, így a megjelenése a termék megértésére is alkalmas. Ezek mellett figyelembe kell venni, hogy a cél közönség könnyen, további segítség nélkül megértést kapjon az értékelés mérhetőségének alapját, hogy a felhasználói bizalom elmélyülhessen.

Elengedhetetlen, hogy a termékminta a versenytársak termékei árát ne haladja meg, lehetőleg 150-200 USD-nél álljon meg a felső határa, analízissel együtt. A Demo Kit funkciójában nagyon hasonló az UpSurgeon és PocketSuture csomagjai, ezért ezekhez képest szükséges elhelyezni. Mivel ez nem válthatja fel a teljes szimulátorral kiegészült terméket, így a gyakorló erek cserélhetősége bár fontos, hogy megjelenjen, nem tulajdonsága demonstrációs szolgáltatás szinten.

4 Célkitűzések

Több tervezési koncepciót, bemutatási módszert és célt is szeretnék a dolgozatom során átgondolni, hogy azokat összehasonlíthassam.

4.1 Demo Kit

A YourAnastomosis számára egy kézzel fogható termékmintát szeretnék készíteni, amely kiegészül egyéb információs tartalmakkal, az elvontabb tulajdonságok közvetítésére. A Demo Kittől elvárt tulajdonságokat és feltételeket a MoSCoW módszer segítségével kategorizálom. Ennek a rendszernek a célja, hogy a lehetséges jellemzők és elvárások fontosság szerint legyenek csoportosítva, így a tervezés és az eredmény értékelése könnyebben kivitelezhető.

Az elsődleges kategória a Must have - azok az elvárások, amelyek nélkül nem teljesülhet a projekt, illetve a termék képtelen betölteni a célját. Ezek ebben az esetben:

- tartalmazzon egy alapvető csomagot a beavatkozás elvégzéséhez (csipesz, tű, olló, szike/penge, fonal),
- AR tartalom, amely segíti a megértést,
- felhasználói élmény tükrözze a minőséget,
- emelje ki, hogy objektív visszajelzést szolgáltat (versenyelőny),
- kompakt méret - legfeljebb A5 alapterületű.

A második kategória a Should have - azok a tulajdonságok, amelyek jelentős értéket képesek szolgáltatni és előnyösek, hogy a termék a célját megfelelően betöltse. Számomra ezek:

- AR tartalom, amely az ér belső geometriáját megjeleníti,
- megoldás, amely papírt alkalmaz (költséghatékonyság, elérhetőség, eldobhatóság miatt),
- erek pozícióban történő rögzítésének megoldása,
- a vásárlói ár legfeljebb 200 USD,
- AR katalógus.

A harmadik kategória a Could have - ezek az elemek, jellemzők bár pozitívumok, de bizonyos korlátok miatt valószínűtlen, hogy sikeresen kivitelezhetőek legyenek, például idő hiányból kifolyólag. Ezek a következők:

- AR, amely áramlástani animációt jelenít meg,
- AR tartalom, amely az ér áramlástani képét jeleníti meg,

- AR, amely az ér külső geometriáját jeleníti meg.

A negyedik kategória, a Won't have - minden, ami nem valósulhat meg, akár erőforráshiányból kifolyólag. Ilyen:

- anatómiailag helyes ereket demonstráló verzió,
- teljes eszköz készlet.

Fontos figyelembe venni, hogy a legnagyobb szállítandó eszköz, a DeBakey csipesz legkisebb lehetséges hossza 15 centiméter⁴⁸, ennek el kell férnie.

5 Tervezés

A tervezéskor Demo Kit szimulátorok demonstrációs verzióit külön kezeltem, azonban mindegyiknek fontos eleme a kiterjesztett valóság. Ennek célja, hogy a termékben ne foglaljanak el sok helyet papír alapú információs eszközök, a felhasználó megismerkedjen ezzel az aspektusával is a szolgáltatásnak, illetve interaktív módon kapjon képet arról, hogy milyen eredményekre számíthat.

Mivel számos eset van termék és a demonstrációs csomag tartalma a kiterjesztett valóság effektív előállíthatóságán múlik, fontos kialakítani egy olyan eljárást, amely standard, követhető lépésekből áll, valamint befektetett erőforrásnak megfelelően hozza a legvalószínűbb eredményt.

A korábbi Tudományos és Művészeti Diákköri munkám során Fehér Lucával már megismerkedtünk a kiterjesztett valóság tartalom előállításának lépéseivel, azonban a folyamat fejlesztése folyamatos mindkettőnk számára. Az eljárás standardizálásáról és skálázhatóvá tételéről az ÚNKP-22-1 munkámban és előadásomban fogok beszámolni, valamint a szakdolgozatom során is nagyobb teret nyer.

5.1 Digitalizációs eljárások

Fontos kiemelni, hogy a jelenetek digitalizálása valós környezetben készül. Ez a felhasználó számára biztosítja a hiteles információ halmazt. Azonban ez komoly kihívást jelent információ nyerés szempontjából.

A műtői környezetbe bejutható eszközök limitáltak, jelenleg egy lézerszkennert és egy okos telefon segítségével állítjuk elő a seb helyzetének nyersanyagát. Mivel a beavatkozás

⁴⁸ Surgical Tools weblap alapján [<https://www.surgicaltools.com/944/debakey-at-vascular-forceps-15cm-2022.11.15>.]

zavartalansága és a páciens biztonsága a legfontosabb egy ilyen szituációban, a feltérképezésre kevés idő van, illetve az eszközök szabadság foka is korlátozott. Ennek következtében a kapott források széles skálán mozognak.

5.1.1 Fotogrammetria szoftverek

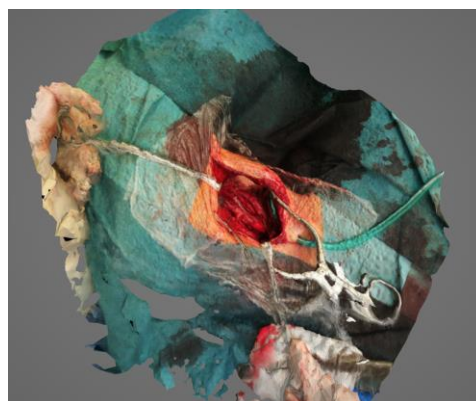
Ideális célnak kitűzve 40 kép és egy lézershírtelt felület előállítása van rögzítve, azonban sok esetben ezek nem tudnak teljesülni. A legrosszabb esetben kizárólag képi információ áll rendelkezésre, ilyenkor csak fotogrammetriára hagyatkozva születik meg a szimulátor és a kiterjesztett valóság tartalma is.

A telefon automata módban készíti el a fényképeket, így szükséges lehet ezeket szerkeszteni, a fehéregyensúlyt kijavítani, élesíteni a képen, valamint a kontrasztot megfelelően beállítani. Erre alkalmas a GIMP, valamint az Adobe Lightroom nevű szoftver is.

Fotogrammetriára három bevált szoftvert alkalmazunk: Meshroom, RealityCapture és Zephyr3D.

Az ingyenes fotogrammetria szoftverek közül a legismertebb és közkedveltebb a Meshroom.

Node rendszerrel vizualizálja a folyamatot, illetve mivel nyílt forráskóddal rendelkezik, megfelelő szakértelemmel ideálisan célra szabható. Az alapvető funkcióival is számos műveletre képes, azonban a lefutási ideje lassú, valamint informatikában nem járatos felhasználók számára a szabadsága korlátozott.⁴⁹



8. ábra Meshroom által előállított geometria

A Reality Capture egy Pay Per Input rendszerrel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy a forrásképek mennyisége alapján kell fizetni egy adott összeget. Mivel több ezer kép feldolgozására tervezték a szoftvert, így az árait is, ennek következtében a számunkra rendelkezésre álló képek feldolgozása általában csekély (50 kép feldolgozása 1 USD alatti árral rendelkezik).⁵⁰

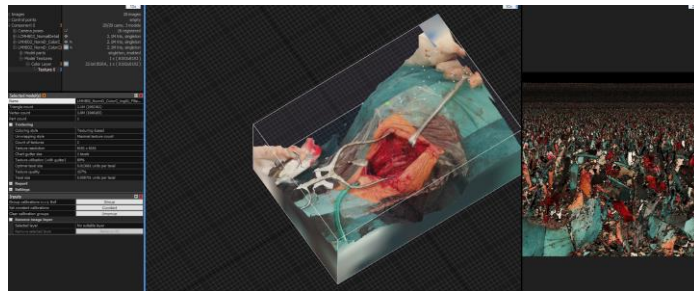
A Reality Capture egyik legnagyobb előnye, hogy a geometria befolyásolására és ellenőrzésére számos eszközzel rendelkezik. Befolyásolható a felület és textúra minősége,

⁴⁹ Alice Vision, a frame-work készítőjének hivatalos honlapja [<https://alicevision.org> 2022.10.29.]

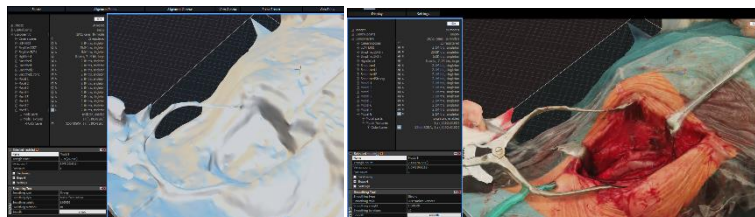
⁵⁰ Reality Capture hivatalos honlapja [capturingreality.com 2022.10.29.]

illetve a térháló csökkentésére képes, normál és diffúzió térkép elkészítésével együtt. A felületi zajok kiszűrését képes simítani, a mesh hibákat felismerni és kijavítani.

A képek feldolgozására rendelkezik beépített színekorrekciós eszközzel és maszkolással. A korábbi működési elve, hogy elég egy képet manuálisan javítani, a Reality Capture ezt etalonként alkalmazva az összes többi szín és fény információját hozzáköti és igazítja. Nem minden esetben a legmegfelelőbb módon a valóságnak, azonban a befektetett idő arányában igényes eredményt készít.



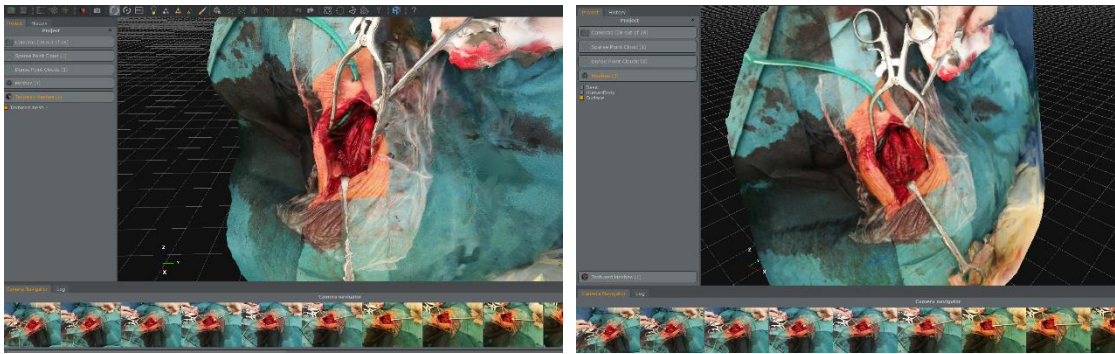
9. ábra Reality Capture által előállított geometria és textúra



10. ábra Egyszerűsített geometria és a hozzátartozó textúra

A Zephyr3D 50 kép alatt ingyenes fotogrammetrikus modellt állít elő. Képes a forrásképek elemzésére, valamint számos előbeállított lehetőséggel rendelkezik, amelyek adott céloknak megfelelő általános beállításokat tartalmaznak. Ezek használatával is szép eredmények születtek, azonban lehetőséget ad a beállítások további módosítására is⁵¹.

⁵¹ 3D Flow hivatalos honlapja alapján [3dflow.com 2022.10.29.]



11. ábra Zephyr3d eredmények

5.1.2 Ér belső és külső geometriája

A megértés egyik sarkalatos pontja az elkészült varrat geometriájának az összekötése a belső morfológiával a szakemberek számára. Jelenleg csupán az utóbbit kapják meg a felhasználók, az áramlástani elemzés is ez alapján készül, illetve a külső felület feldolgozása időigényes folyamat.

Az ér belső geometriájának kinyerése fogászatban is alkalmazott digitalizációs módszerekkel készül. A külső geometria az ér imitáció színéből kifolyólag az alkalmazott fogászati szkennerek számára nehezen felismerhető, a kapott információ hiányos.

Az ilyen esetekre megoldást szolgálnak a szkennerek sprayk. Ezek matt fehér réteggel fedik le a felületet, így elfedve az olyan anyag tulajdonságokat, amelyek a felület beszkenyelését hátráltatják, mint például a csillogás vagy fényáteresztés⁵². Általában finom por alapúak, amelyek el tudnak szublimálni idővel, azonban ha nem szükséges az eredeti állapot visszaállása és költséghatékonyabb, egy alapozó festék réteg is megfelelő lehet, amely véglegesen fent marad.⁵³



12. ábra Összevarrt ér levújva szkennerek sprayvel

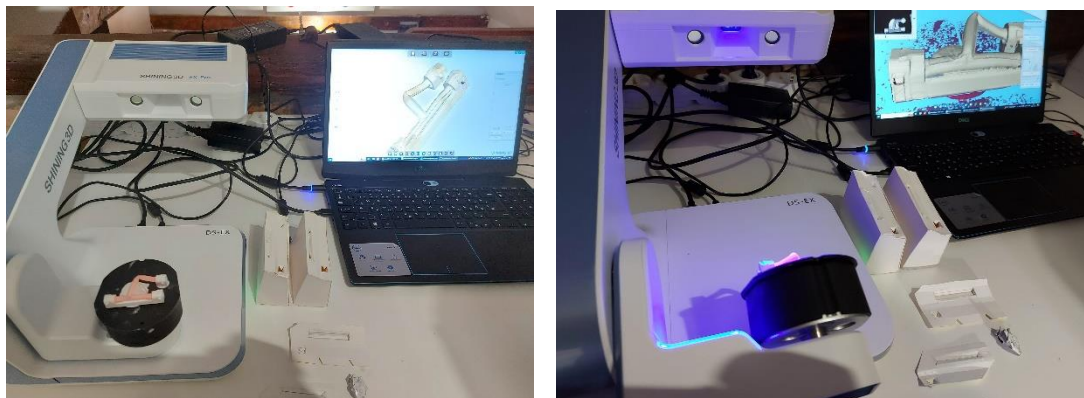
Számukra fontos, hogy a felület változatlan maradjon, lehetséges további információ gyűjtés céljából. A technológia kipróbálásához a FabConstruct 3D-szkennerek mattító sprayt (L500)

⁵² A. V. Burde, D. Dudea, S. Cuc, M. Moldovan, R. S. Campian 2016. Three - dimensional Evaluations of the Coating Thickness of Two Optical Conditioning Scanning Sprays

⁵³ B. Valinasab, M. Rukosuyev, J. K. Lee, J. Ko 2015 Improvement of Optical 3D Scanner Performance Using Atomization-Based Spray Coating (Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers)

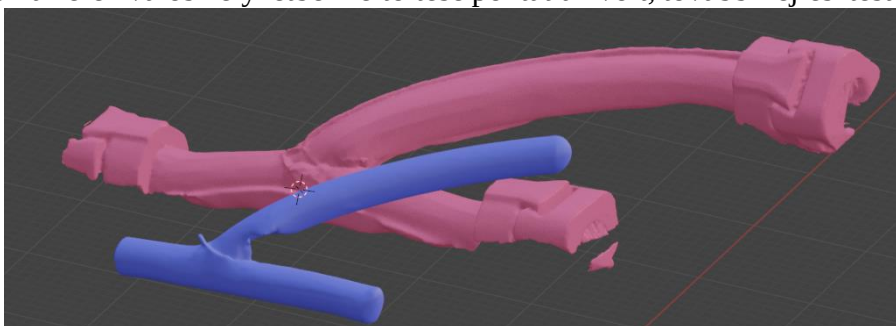
alkalmaztuk, valamint kipróbáltunk egy Centro Chem repedés vizsgáló aeroszolt, mely szintén vékony, matt fehér réteget képez a tárgy felületén. A két spray eredményének összehasonlítása további munkát igényel, azonban ígéretes eredményt mutattak.

A FabConstruct terméke 0,2 mm-nél kisebb finom részleteket nem érzékel a részecske méretekből kifolyólag, a felületet vízzel és kefével szükséges eltávolítani.



13. ábra Külső geometria rögzítésének folyamata

Ezeknek a segítségével már előállítható olyan térháló, amely megfelel további feldolgozásra. A próbák során az erek valós helyzetben feltöltése pontatlan volt, további fejlesztést igényel.



14. ábra Szkennelt külső- és belső geometria, egymásmellé helyezve

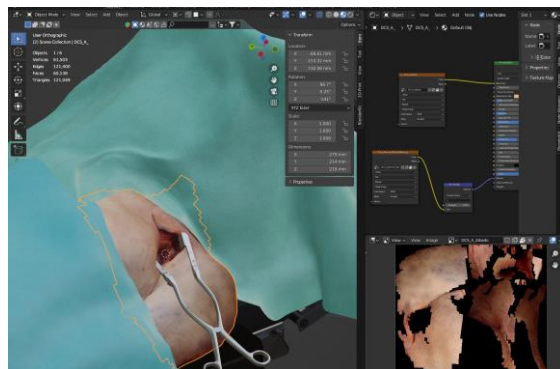
5.1.3 Jelenet összeállítás

Az AR jelenetek a YourAnastomosis termékekben 3 verzióban készítjük el. Ennek oka, hogy a cél eszköz kapacitása jelentős mértékig meghatározza a megjeleníthető információ mennyiségét és jellegét. Közös tulajdonságuk az azonos műtéti szituáció, amely állítható mértékben áttetsző a seb közvetlen környezetében, így akár a technológián keresztül is szemmel követhető a beavatkozás.

Telefonon keresztül az applikáció segítségével történik az AR jelenet megjelenítése, emellett Hololens-re tervezünk egy magas és egy alacsonyabb tartalmú jelenetet. Ezekben az eltérés a környezetben megjelenő tárgyakban van.

Miután elkészült a fotogrammetria és esetleg a lézerszkenn, ezeket összefűzzük. Három pontos illesztés alkalmazva lehet a két felületet a legjobban egymáshoz közelíteni. A hibák javítása manuálisan történik.

Az így kialakult egy felületet a kiterjesztett valóság céljára szükséges csökkenteni. Az applikáció és az okos eszközök követelményeinek megfelelően azt van meghatározva, hogy az asztal, leterítés, eszközök és a feltárás összesen 50 000 poligon környékén legyenek, valamint képalapú textúrákat használjanak csak, tehát PBR anyagokról beszélhetünk.



15. ábra AR jelenet sebe, textúra kiterítése és textúra bekötése

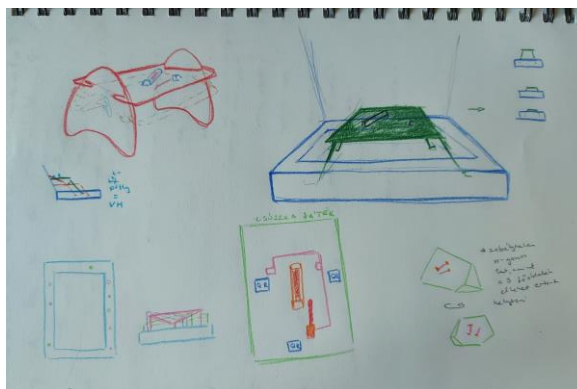
A különböző fizikai felületi tulajdonságokat dedikált "térképeken" tárolja el a fájl. Ilyenek például az érdesség, csillogás, "normálok" (az egyes pixelek térbeli viszonya a környezettel). Ennek segítségével olyan térbeli információkat is megtarthatunk, amelyek a térhálón nem jelennek meg, további részleteket adva a megjelenésnek úgy, hogy az a modellt tartalmazó fájl méreteit ne növelje jelentős mértékig.

Ezek a térképek egyes pixelekhez vannak kötve, követelmény, hogy a térhálónak két dimenziós kiterítése is létezzen. Az ehhez tartozó koordináta rendszerből következően ez az adott modell UV térképeként ismert. Ennek a megfelelő élek mentén történő felszabása biztosítja, hogy torzításmentesen kerüljenek fel a textúra információk a felületre, illetve könnyen importálhatóak legyenek egyéb programokba. A felülethez kötésük node, azaz csomópont jellegű rendszerben történik, amely akár további finomításokat is megenged, mint a skála állítása, színek korrigálása.

A csökkentett poligonháló manuális újratopologizálással és segédprogramokkal is történhet (pl. InstantMeshes). A hagyományos eljárás hosszú időt vesz igénybe, azonban pontosan leköveti a térháló irányváltásait, ennek segítségével több információt tarthat meg.

5.2 Demo kit

A Demo Kit-ek tervezésekor elsősorban a fizikai szimulátor imitálása, eszközök elhelyezése, valamint a megértést segítő papír és AR alapú tartalom megtervezése volt. Fontos, hogy értékesítéskor mindegyik verzió lehetőséget ad egy-egy varrás elvégzésére és ahhoz analízisre. Ennek érdekében mindegyikhez szükséges a regisztráció a YourAnastomosis valamely felületén, hogy az eredmények továbbíthatóak legyenek.



16. ábra Kezdeti vázlatok

A korai vázlatok során játékos, interaktív megoldásokban gondolkodtam, azonban a felhasználói kör szokásait és igényeit figyelembe véve ez a termék hátrányára lehet.

A fizikai szimulátor demonstrációs változatát három verzióban készítettem el kezdetlegesen. Szerettem volna felmérni, hogy a geometriai információ csökkentése milyen hatással van a felhasználói élményre, a kézhetlyezeti kihívások átadására, illetve különböző technológiákat és forrásanyagokat alkalmaztam. Egyelőre a több esetet bemutató lehetőségeket nem vettem figyelembe.

5.2.1 3D nyomtatott geometriai részlet

Fentről lefelé indultam el részletek terén. A 3D nyomtatás a legköltségesebb gyártási eljárás, így ezt kizárólag akkor érdemes alkalmazni, ha hozzáadott értéket is gyártunk. Szerkezetileg stabil, akár többször is használható varrás elvégzésére.



17. ábra Kinyomtatott Demo Kit modellek, MIDCAB.01 szimulátorhoz

Az egyedisége a jelenlegi formában kizárólag egy modell bemutatását engedi, így a termékkatalógus diverzitását be kell mutatni egyéb módon, amely céljára egy úgy nevezett AR katalógust fogok kialakítani. Ez csökkenti a szükséges csomagolandó információ hordozó mennyiségét, illetve képet ad a felhasználónak a szimulátorok teljes kinézetét illetően.

A végleges kialakítása alulról rendelkezik egy “szoknyával” a billegést megelőzve, valamint a tapadó korongokat elrejtve, emellett a szimulátorokra jellemző lekerekítés aránnyal rendelkezik.

Ennek a megoldásnak a YourAnastomis-nál történő kinyomtatása FDM nyomtatással nagyjából 8 óra, 85 g filamentet használ fel, összköltsége darabonként 5500 forint összesítve. Kiszervezés esetén egy prototípus legyártása 30 euró, 25 darab rendelése esetén azonban lemegy 12 euróig is akár.

5.2.2 Térbeli papír modell

A Demo Kit következő lehetséges lépcsőfokán az erek relatív térbeli pozíciójára helyeztem a hangsúlyt. Minden egyéb felületi információt elvetettem, csupán a támasztékként szükséges kialakítást tartottam meg.



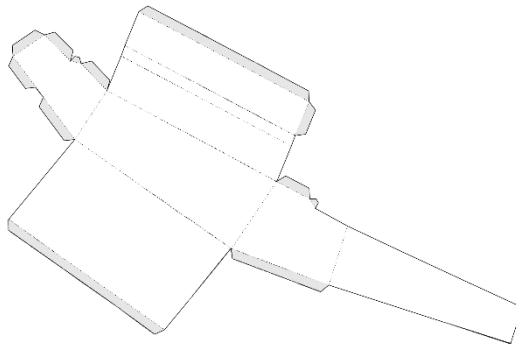
18. ábra Látványtervek AVF-P és MIDCAB.01 szimulátorokról és a hozzájuk tartozó termékmintáról

Ezt a kialakítást a költséghatékonyság érdekében papír alapanyaggal készítettem el. Ennek nagy előnye, hogy a versenytársakkal és a teljes szimulátorral nem igyekszik felvenni a

versenyt minőségben, a felhasználó felé egyértelműen lekommunikálja a hiányérzetet, illetve annak a feloldását.

Az értartók fogadására maga a papír szerkezet van kialakítva, perforálás mentén lehajtva a megfelelő méretű füleket stabil helyzetben rögzítik és tartanak ellen a lecsúszást meggátolva.

A legnagyobb hátrány a papír könnyűsége - a belsejében szükséges nehezéket elhelyezni avagy valamilyen módon rögzíteni, ugyanis a varrás elvégzéséhez nem biztosít megfelelő ellensúlyt. Erre egy lehetséges megoldás, hogy a Demo Kit doboz csomagolásában stabilan



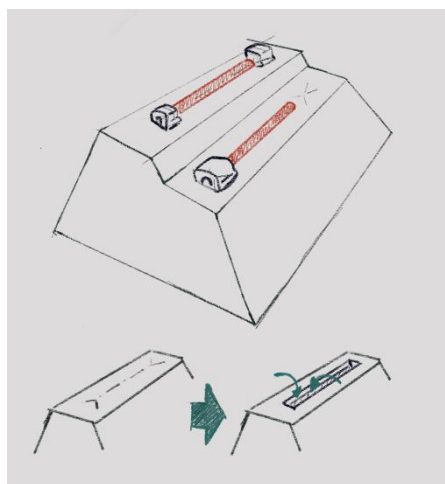
19. ábra AVF-P teríték rajza

rögzítve helyezkedjen el, esetleg kétoldalú ragasztóval is rögzítve. Illetve új anyagok felfedezése, lézervágott fém, illetve akár 3D nyomtatott szerkezet is szóba jöhet.

Továbbá jelenleg ragasztást igényel, a későbbiekben oldható papír kötéseket is érdemes megvizsgálni, ezek összeállítása kevesebb munkát igényel.



20. ábra Térbeli papír termékminta és a rajta elkészült varrat



21. ábra Vázlat az értartók elhelyezésének elvéről

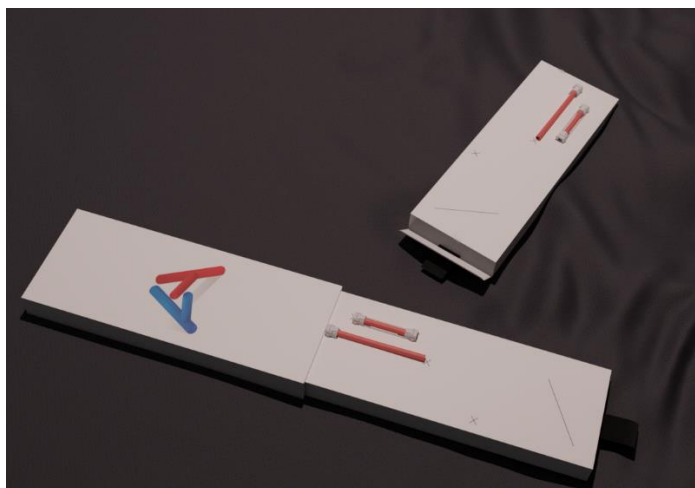
5.2.3 Síkbeli papír modell

Végző soron egészen leegyszerűsítettem az erek műtéti helyzetét, síkra vetítve határoztam meg a helyzetüket. Ez az információhiány a PocketSuture termékét idézi, azzal az eltéréssel, hogy az erek relatív pozíciója jelentősebb eltérést mutat.



22. ábra Sík papír termék minta próba verzőja, AVF-P és MIDCAB.01 modellhez

Ennél a verziónál úgy gondoltam, hogy a legegyszerűbb a jelenlegi csomagolás elemét felhasználni: az eszközöket tartalmazó 22*8*2 cm-es dobozban minden alapvető eszköz elfér, valamint marad további hely értartók és papír alapú információs anyag elhelyezésére is. A méretéből kifolyólag a korábban alkalmazott becsúsztatós módszerrel akár két műtéti helyzet szimulátora is imitálható. Ez segítheti az esetek diverzitásának megértését és tisztább képet ad a pozíciókból következő nehézségekről.



23. ábra Látványterv, AVF-P és MIDCAB.01 modellhez

Annak érdekében, hogy szállítható legyen csupán egy védő csomagoló elemmel szükséges kiegészíteni. Egy négy oldalról rácsúszó karton lemezre gondoltam, amelyen kasírozva megjelenik a YourAnastomosis logója. A könnyű nyithatóság érdekében szalagátfüzést helyeztem el rajta. Ezeken kívül az eredeti stancrajz helytálló, csupán bigelést szükséges elhelyezni a felületén, illetve kívánt grafikai elemekkel ellátni.

5.2.4 Kit doboz

A teljes demonstrációs doboz összeállításánál azt tartottam elsődleges szempontként, hogy a felhasználó számára minőséget és letisztultságot sugározzon. A termék egészének csomagolása is ezek alapján készült.

Dieter Rams tíz dizájn elvét követve olyan összkoncepciót szeretnék megalkotni, amely egyszerű, a figyelmet nem tereli el a termék demonstrációs céljairól, azonban magas minőségű felhasználói élményt nyújt⁵⁴.

A térbeli papír és 3D nyomtatott termékminta esetén is a csomagoló doboz aljába helyeztem el az eszköz tartó dobozt, mely 15*8*2 cm-es, megfelelő a szükséges eszközök méreteinek, illetve 2 további értartó számára elég helyet biztosítva.

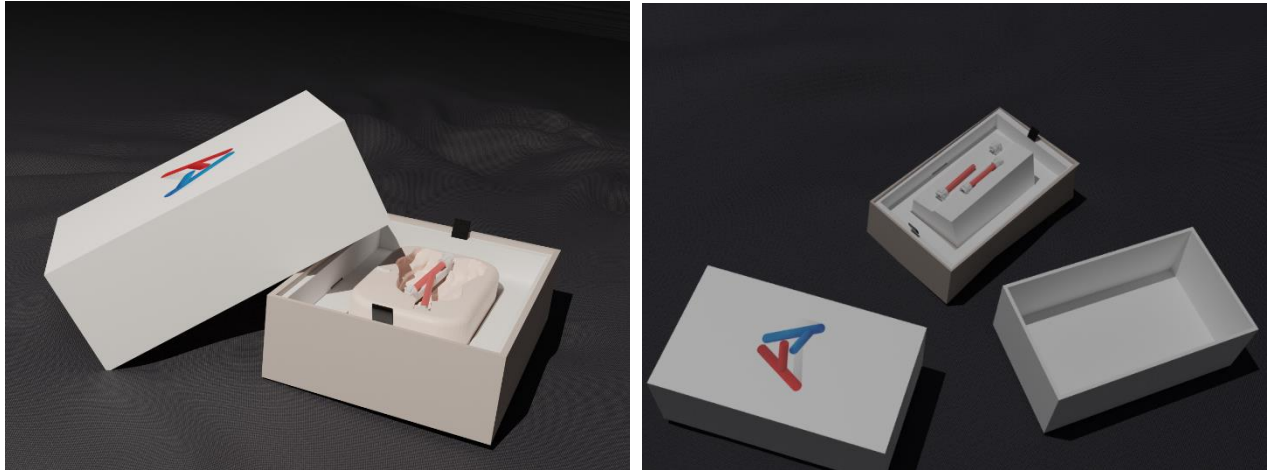


24. ábra Demo Kit csomagolás robbantott ábrája

⁵⁴ C. W. DeJong, K. Klemp, E. Mattie 2021. Dieter Rams 10 Principles of Good Design (Prestel Kiadó) ISBN: 3791387324

Erre egy távtartó elem készül, egy hajtott papír, amely oldalsó ütközőként szolgál, így védve a doboz tartalmát. Az alsó támasztást az eszköz tartó doboz végzi. A távtartó tálcában szerepel a szimulátor modellje, az így összeállt felet pedig egy fedő takarja, „söralátét” lemezből (500 g/m²-s karton), illetve kasírozva a logó díszíti.

A teljes csomagolás 18*13*8 cm-es verziója a megfelelő távtartó tálcával a 3D nyomtatott és hajtogatott térbeli termékminta tárolására is alkalmas.



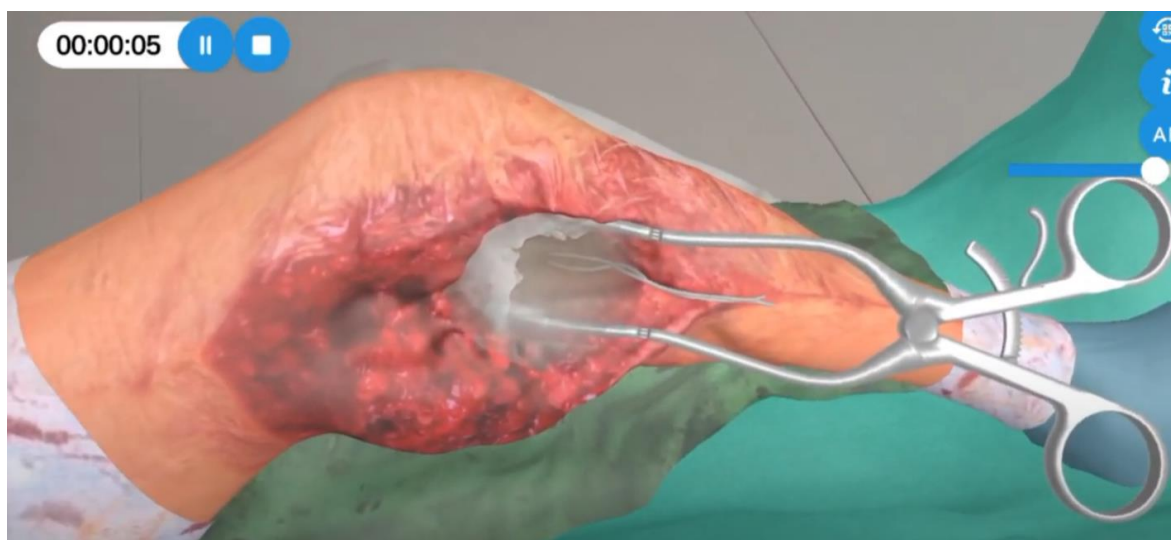
25. ábra 3D nyomtatott (bal) és hajtogatott (jobb) koncepció csomagolása

A síkban kiterített termékminta önmagában szállíthatóra készült, kezdetektől teljes csomagolásként tervezve, így ennek további csomagolást nem szántam.

5.2.5 AR támogatás

A szimulátorokat a teljes termék kapcsán kiterjesztett valóság egészíti ki. Így ezt a technológiát alkalmazva szeretném további jelenetek segítségével megtámogatni a szolgáltatás elvontabb elemeinek megértését.

Az ÚNKP-22-1-es kutatási munkám előrehaladtával a termékminta ezen része is bővülni fog. A jelenlegi előrehaladásomnak megfelelően, illetve az időszűke következtében a kiterjesztett valóság elemek még nem kerültek lefejlesztésre.



26. ábra Példa betöltött jelenetre szimulátor felett, az átláthatóság a beavatkozás közvetlen környezetében tetszés szerint szabályozva

Az egyes modellekhez tartozó már korábban elkészített AR jelenetek a Demo Kit tartalmán is alkalmazhatóak, amely elhelyezi az emberi testen az adott szimulátort.

5.2.5.1 AR katalógus

Az esetspecifikus szimulátorok diverzitását egy katalógus jellegű jelenettel mutatja be a Demo Kit: a szobában szertenézve az aktuális szimulátorok helyezkednének el, így körbejárva megvizsgálhatóak.

A beolvasás QR kóddal fog történni, amely egy papír alapú információs szóróanyagon kap helyet.

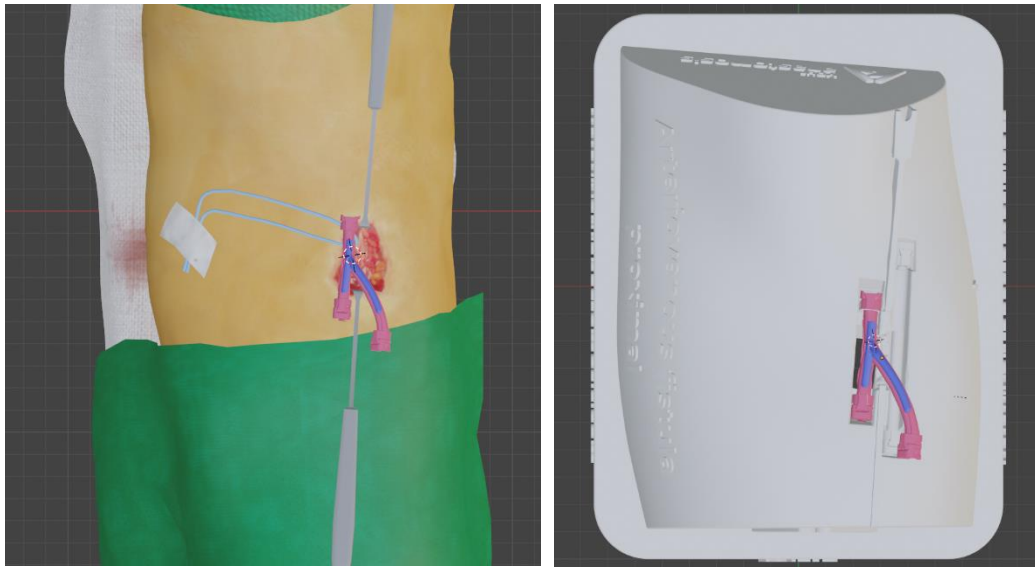


27. ábra AR katalógus látvány terve

Az AR katalógus interaktív-sága jövőbeli fejlesztési irány lehet. Például egyes modellek megérintésével az adott beavatkozásról rendelkezésre álló információk, illetve a szimulátor és szolgáltatás ára is elérhető lehet.

5.2.5.2 Ér belső-külső morfológia

Az ér belső és külső alaktani képét összefűzni azután lehetséges miután rendelkezésre áll egy módszer, amelynek segítségével az ereket a helyzetnek megfelelő pozícióban lehetséges digitalizálni. Ehhez megfelelő szkennelő állvány kialakítások és a szkennerek sprayk további tesztelése szükséges.



28. ábra Ér geometriák elhelyezve műtéti AR jelenetben és szimulátoron

Amennyiben ezek rendelkezésre állnak, AR jeleneteken belül műtéti helyzetben és a szimulátorban is el szeretném helyezni őket, hogy a felhasználó teljes képet kaphasson, hogy a környezettől a szimulátorig, valamint a varrástól a belső alaktanig és áramlástanig szimulációig hogyan jut el az érimítáció.

6 Eredmények



29. ábra A prototípusok együtt

A Demo Kit szimulátorokat lehetőségem volt Dr. Varga Júlia egy kurzusán bemutatni és kipróbálni öt gyakorló sebésszel a hat résztvevőből. Eltérő sebészeti területről jöttek, illetve különböző mértékig ismerték a YourAnastomosis termék és szolgáltatás csomagát.

A teszt alkalmára minden verzióból 2-2 darabot készítettem és a rezidensek szabadon dönthettek, hogy melyiken próbálják ki a varrást. A legnépszerűbb a 3D nyomtatott volt, amelyhez két különböző dizájnú modellt alkalmaztam.

A térbeli papír modellek egyike varrás közben megszakadt, illetve minden papír modellről elmondható, hogy a súly hiánya megnehezítette a műveletet.

A véleményeiket Google Form formájában rögzítettem, valamint kötetlen beszélgetésben érdeklődtem.

Összességében az derült ki, hogy ötből három ember a Demo Kit-et magával hazavinné kipróbálni, míg a maradék kettő



30. ábra A térbeli papír modelleken történő varrás

akár adott helyszínen is kézhez venné és rögtön kipróbálná abban az adott szituációban, ahol találkozna vele (példaképp konferencia volt megemlítve). A résztvevők mindegyike értékesnek és megértést segítőnek találta az általa kiválasztott demonstrációs variációt, illetve kifizetne érte pénzt, feltéve, hogy a varratok kiértékelését is tartalmazza az ár.



31. ábra Nyomtatott modelleken történő varrás

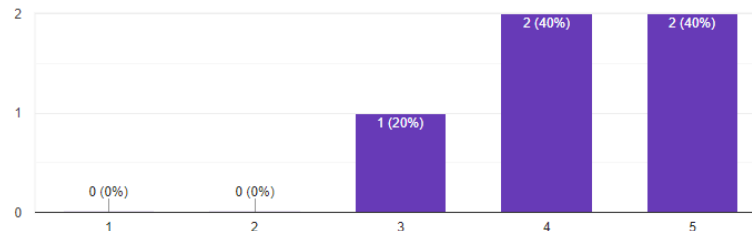
A felhasználók a termék és szolgáltatás egészével korábban nem találkoztak. Az egyelőre ismert szolgáltatások közül a legértékesebbnek tekintett a gyakorlási lehetőségek számra, a következő a szimulátor nyújtotta térbeli korlátok imitálása, míg végül az erek belső faláról készült morfológiai kép volt. A kiértékelést és pontszámot még nem kapták meg.

A teljes szimulátort értékesebbnek tekintették mindannyian, azonban eltérő mértékben. Ennek a szórása feltehetőleg betudható az eltérő tapasztalati és szakirányi háttérnek.

A Demo Kit a teljes szimulátor apró részét tartalmazza. Mennyire tartja értékesebbnek a szimulátort?

[Másolás](#)

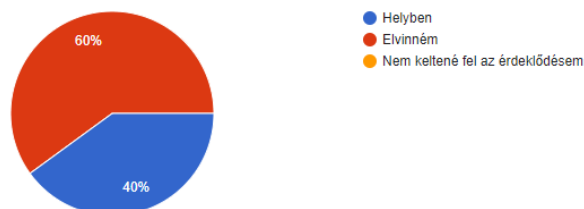
5 válasz



Ha kapna ilyen például konferencián, akkor Ön hazavinné kipróbálni vagy helyben varrná?

[Másolás](#)

5 válasz



32. ábra A felhasználók visszajelzései

A gyakorlati próbákön érzékelhetően nehézséget okozott minden verziónál a könnyedsége, ez nehézségekhez vezetett a varrat elkészítésekor. A papír alapú modellekre ez fokozottan

igaz, ezeknek a fejlesztése elengedhetetlenül szükséges. A 3D nyomtatott modellek kapcsán is jelezték, hogy egyfajta rögzíthetőség jó lenne.

Az AR tartalom kizárólag műtői jelenet szinten készült lefejlesztésre és applikációba illesztésre a mérés idejéig. Egy felhasználó szintén felhozta a figyelmet a hasonló jellegű támogató, koncepció magyarázó tartalom szükségességére.

7 Összefoglalás

A dolgozat során megismerkedtem a jövőben használandó technológiákkal és három fizikai modell koncepcióját is kiviteleztem prototípus szinten. Ezeket öt sebész kipróbálta és visszajelzést szolgáltatott a további fejlesztések megsegítésére.

A szimulátor minták alkalmasak voltak varratok elkészítésére, azonban a papír modellek nehézséget okoztak súlyuk hiányában.

A Kit csomagolás képes tartalmazni a szükséges eszközöket, további szóróanyagot és a kitűzött méretnek megfelelően kis méretű minden esetben.

	3D nyomtatott modell	Térbeli papír modell	Sík papír modell
Anyag	PLA	280 g/m ² ofszet papír	280 g/m ² ofszet papír
Elkészülési idő	8 óra/darab	15 perc/darab	Nincs szerelési ideje a termék mintának
Anyag mennyiség/ darab	85 gramm	A/4-es lap	1 db eszköz tartó doboz + egy fedő doboz (nagyjából 2 db A/4-es lap)
Ár/darab	5500 Forint	- ⁵⁵	-
A varrás elvégzésének nehézsége a súly miatt (1 – nem jelentős. 5 – élmény rontó) ⁵⁶	1	4	5

33. ábra Összefoglaló a termékminták tulajdonságairól és a felhasználói élményről

⁵⁵ A továbbiakban felméréndő

⁵⁶ A Google Form kitöltés eredményei alapján

7.1 Jövőbeli irányok

A három különböző fizikai demonstrációs termék egyikét sem tartom lezártnak. Ki fogok próbálni további lehetséges alapanyagokat, valamint módot keresni, hogy egy termékminta több szimulátor helyzetének prezentálására is képes legyen.

A továbbiakban célom a Demo Kit várható költségeit felmérni a kialakult csomagokra, valamint további szakemberekkel konzultálni a felhasználói élményről, valamint a további megértést segítő tartalmak kidolgozásáról.

A kialakult koncepciók legnagyobb hiányossága az objektív visszajelzésről történő tájékoztatás integrálása, az áramlástan és morfológiai információk bekötésének hiánya, módjuk kiforratlansága.

A kiterjesztett valóság jelenetek lefejlesztése, a digitalizációs folyamat gördülékenysége is fontos előrelépés lesz. Az elkészült jelenetek információ átadó képességét is tesztelni szükséges.

A munkám folytatásáról a szakdolgozatomon, valamint az ÚNKP-22-1-es kutatásom során fogok beszámolni.

8 Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a YourAnastomosis csapatának a mindennemű támogatását. Kiemelten Dr. Varga Júliának, amiért lehetőséget kaptam az általa tartott kurzus alkalmával felhasználókkal beszélni és kipróbálni az ötleteimet.

A Pécsi Tudományegyetem Tudományos és Művészeti Diákköri Tanácsának köszönöm, hogy lehetőséget kaphattam a tevékenységem bemutatására és előadására.

Továbbá köszönöm lelkes konzulensemnek, Huszák Marcellnek, aki fáradhatatlanul segítette a munkám előrehaladását.

9 Irodalomjegyzék

Creaform 3D hivatalos honlapja [<https://www.creaform3d.com/en>]

Shining3D hivatalos honlapja [<https://www.shining3ddental.com/>)]

A-B. Mostafa 2014. *3D Laser Scanners' Techniques Overview* (International Journal of Science and Research (IJSR)) ISSN (Online): 2319-7064

Dr. Tomán H., Dr. Kunkli R. 2015. *3D szkenneléssel előállított pontfelhő és annak feldolgozási lehetőségei*

Papp I., Tomán H. Kunkli R. Zichar M. 2015. *Alkalmazott informatika a fogorvosképzésben* (Neumann János Számítógép-tudományi Társaság) ISBN 978-615-5036-10-1 26-32. old.

Kovács T. 2011. 3D szkennelés kódolt fénnnyel

M. Edl, M. Mizerák, J. Trojan 2018. *3D Laser scanners: History and applications* (International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN 1339-9640)

K. Kraus, P. Waldhausl 1998. *Fotogrammetria Alapok és általános módszerek* (Tertia kiadó) ISBN 963-85129-9-7

Matula Gy. 2008. *A fotogrammetria alapjai* (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet) 2241-06 SzT-012-50

Dr. Jancsó T. 2010. *Digitális fotogrammetria* (Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar)

Dr. Dékány Sándor (1973): *Műszaki fényképezés és filmezés* (Műszaki könyv kiadó Budapest)

Abonyi-Tóth A., Farkas Cs., Turzó-Sovák N., Varga P. 2020. *Digitális kultúra 6.* (Oktatási Hivatal) ISBN 978-615-6256-38-6

Molnár L. 2011. *CAD alapjai* (Edutus Főiskola)

Horváth I. Juhász I. 1996. *Számítógéppel segített gépészeti tervezés 1.;* (Műszaki Könyvkiadó Budapest) ISBN: 963-16-1051-9

Kajos. A., Dr. Bányai E. 2011. *Az augmented reality jelene és jövője, mint a marketingkommunikáció eszköze* MTMT 1726105

Matuszka T., Jámbori A., Kocsis Á. 2016. *Virtuális és kiterjesztett valóság az ELTE Informatikai Karán*

Dobján T., Dobjáné A. E. 2018. *OKOS MEGOLDÁSOK ÉS KITERJESZTETT VALÓSÁG A TANTERMEKBEN* ISSN 2064-8014

M. Pharr, W. Jakob, G. Humphreys 2017. *Physically Based Rendering from theory to implementation* (Morgan Kaufmann Publishers) ISBN: 978-0-12-800-645-0

J. Micallef 2015. *Timeline of 3D printing design milestones* (Apress, Berkeley, CA) Online ISBN 978-1-4842-0946-2

Huszár I. 2021. *Tárgyasult ötletek – 3D nyomtatás és tervezés* (BBS-INFO Könyvkiadó és Informatikai KFT.)

Kátai L. 2012. *CAD Tankönyv* (Typotex Kiadó) ISBN 978-963-279-534-8

P. K. Patel 2022. *Additive Manufacturing with Medical Applications* (Boca Raton) ISBN 9781003301066

A. Bagheri, J. Jin 2019. *Photopolimerization in 3D printing* (American Chemist Society)

O. Gülcan, K. Günaydin, A. Tamer 2021. *The State of the Art of Material Jetting – A Critical Review* (Imperial College London, London)

C. E. Macias, H. Bodugoz-Senturk, O. K. Muratoglu 2013. *Quantification of PVA hydrogel dissolution in water and bovine serum*

M. Vert, G. Schwarch, J. Coudane 2006. *Present and Future of PLA Polymers*

Simon P. 2008. *Előkészítés a késztermék nyomdai kivitelezésére, a kivitelezés ellenőrzése* (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intéze, Budapest)

Papp L. .2008. *A vágás technológiája* (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intéze, Budapest)

C. Newman 2018. *Digital cadavers are replacing real ones. But should they?* (National Geographic) [<https://www.nationalgeographic.com/science/article/digital-cadavers-are-replacing-real-ones-but-should-they-future-medicine> 2022.11.16.]

PocketSuture Hivatalos honlapja [pocketsuture.com 2022.11.18.]

UpSurgeon Hivatalos honlapja [upsurgeon.com 2022.11.18.]

Surgical Tools weblap alapján [https://www.surgicaltools.com/944/debakey-at-vascular-forceps-15cm-2 2022.11.15.]

Alice Vision,a frame-work készítőjének hivatalos honlapja [https://alicevision.org 2022.10.29.]

Reality Capture hivatalos honlapja [capturingreality.com 2022.10.29.]

3D Flow hivatalos honlapja alapján [3dflow.com 2022.10.29.]

A. V. Burde, D. Dudea, S. Cuc, M. Moldovan, R. S. Campian 2016. *Three - dimensional Evaluations of the Coating Thickness of Two Optical Conditioning Scanning Sprays*

B. Valinasab, M. Rukosuyev, J. K. Lee, J. Ko 2015 *Improvement of Optical 3D Scanner Performance Using Atomization-Based Spray Coating* (Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers)

C. W. DeJong, K. Klemp, E. Mattie 2021. *Dieter Rams - 10 Principles of Good Design* (Prestel Kiadó) ISBN: 3791387324

10 Nyilatkozat

Én, Mérges Janka, aláírásommal nyilatkozom arról, hogy a dolgozat a saját munkám, a felhasznált irodalmat felelősségteljesen kezeltem és a munkámra vonatkozó jogszabályokat betartottam.

Pécs, 2022.11.19.

A handwritten signature in black ink, reading "Mérges Janka". The script is cursive and fluid, with the first name "Mérges" and the last name "Janka" clearly distinguishable.