

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Műszaki és Informatikai Kar
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Gépészmérnök Tanszék

MÉRGES JANKA

**Demo Kit – Érsebészeti oktatóeszköz
termékmintájának tervezése**

SZAKDOLGOZAT

Pécs, 2023

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
Műszaki és Informatikai Kar
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Gépészmérnök Tanszék
7624 Pécs, Boszorkány út 2.

Szakedolgozat száma:

T100662/FI58544/1

SZAKDOLGOZAT FELADAT

Mérges Janka
hallgató részére

A záróvizsgát megelőzően szakedolgozatot kell benyújtania, amelynek témáját és feladatait az alábbiak szerint határozom meg:

Cím: **Demo Kit** – Érsebészeti oktatóeszköz termékmintájának tervezése

A hallgató feladata a YourAnastomosis érsebészeti oktató termékének szánt termékminta megtervezése. Ennek kivetetelezéséhez alkalmazza a tanulmányai és munkája során megszervzett gépészeti, formatervezői, valamint marketing ismereteit.

A tervezés során fordítson figyelmet a következőkre:

- a piaci szereplők és a termék helyzete,
- a termékminta költséghatékonysága,
- a felhasználói élmény maximalizálása.

Külső konzulens neve: Huszák Marcell
Munkahelye: YourAnastomosis, ME3D-Graft Kft.

Tanszéki konzulens neve: Dr. Vasváry-Nádor Norbert
Munkahelye: PTE-MIK, Gépészmérnök Tanszék
Pécs

Beadási határidő: 2023.01.10.

Pécs, 2023.01.09.


Vasvári Gyula Ferenc
tanszékvezető

A szakdolgozatot átnéztem. A hallgató munkájáról és dolgozatáról véleményemet mellékelem.

Kelt:

.....
külső konzulens

A szakdolgozat beadható.

Kelt:

.....
tanszéki konzulens

A szakdolgozat minősítése

A bíráló (opponens) javaslata:
.....

A tanszéki konzulens javaslata:
.....

Kelt:

.....
tanszéki konzulens

A Záróvizsga Bizottság határozata:

Kelt:

.....
a ZVB elnöke

RÉSZTELJESÍTÉS IGAZOLÁS

30 %-os készültség meglétének igazolása:

Dátum:.....

.....
tanszéki konzulens aláírása

90 %-os készültség meglétének igazolása:

Dátum:.....

.....
tanszéki konzulens aláírása

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott szigorló hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye. A felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Egyéb jelentősebb segítséget nem vettem igénybe.

Az elkészült szakdolgozatban talált eredményeket az egyetem/feladatot kiíró intézmény saját céljaira térítés nélkül felhasználhatja.

Pécs, 2023.01.09.

.....
hallgató aláírása

Tartalmi összefoglaló

A szakdolgozatom során az előrehaladásom és munkám prezentálom egy termékminta tervezéséről, amely a YourAnastomosis érsebészeti oktatóeszközét reprezentálhatja. Ennek során figyelembe vettem a jelenlegi piaci helyzetét az eredeti terméknek és ennek megfelelően pozicionáltam a terveimet. A szakdolgozat határain túl nyúlik a marketing és értékesítési stratégiák feltárása és meghatározása.

A folyamatot a korai vázlatoktól kezdve mutatom be, három koncepció kidolgozásáig, amelyeknek prototípusait bemutattam felhasználóknak és a cég munkatársainak, visszajelzést gyűjtve.

Szintén kiegészítettem információs tartalmakkal a kiterjesztett valóság segítségével. A korábbi munkám és jelenlegi ÚNKP-22-1-es kutatásom során szerzett tudásom segítségével, amelynek témája Érsebészeti helyzetek digitalizációja.

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

Summary of Content

In my thesis I present my progress and work on a product sample design intended for the vascular surgical education tool produced and designed by YourAnastomosis. I take note of the current market situation of the original and place my design accordingly. The scope of this thesis does not explore and define the marketing strategies and sales.

I present my work from the early sketches and concepts to the exploration of three main design concepts, which I have presented to users and employees of the company, gathering feedback from as many sources as I could.

I also implemented informational content with the help of augmented reality. Using my knowledge from my previous work and current ÚNKP-22-1 research on the topic of digitalizing surgical situations.

„SUPPORTED BY THE ÚNKP-22-1 NEW NATIONAL EXCELLENCE PROGRAM
OF THE MINISTRY FOR INNOVATION AND TECHNOLOGY FROM THE
SOURCE OF THE NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION
FUND.”



NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT
AND INNOVATION OFFICE
HUNGARY

ÚNKP
Új Nemzeti
Kiválóság Program

Tartalomjegyzék

Bevezetés	9
Termék bemutatása, technológiák megismerése	11
1. A termék, szolgáltatás	12
1.1. A termék bemutatása.....	12
1.2. Csomagolás, felhasználói élmény	13
1.3. A termék további fontos elemei, jellemzői	15
1.4. Versenytársak.....	16
1.4.1. PocketSuture	17
1.4.2. UpSurgeon	18
1.5. Következtetések	19
2. Alkalmazott technológiák	21
2.1. Lézerszkennelés	21
2.2. Fotogrammetria	23
2.3. Modellezés	27
2.3.1. 3D nyomtatásra alkalmas modell készítés, szimulátor	27
2.3.2. Kiterjesztett valóság, AR	30
2.4. 3D nyomtatás	35
2.5. Stancolás, nyomdai eljárások.....	38
Tervezés, kivitelezés.....	40
1. Célkitűzések	41
1.1. Demo kit.....	41
2. Fizikai termék.....	44
2.1. Szűk környezetet demonstráló 3D nyomtatott modell.....	46
2.2. Térbeli pozíció modell	48
2.3. Sík papír modell	50
2.4. Csomagolás, szállítás	53
2.5. Szűkítés	56
3. Megértést segítő tartalmak	61
3.1. Digitalizációs eljárások	61
3.1.1. Fotogrammetria alkalmazása	62

3.1.2. Ér belső és külső geometriája - forrásanyag	67
3.1.3. Jelenet összeállítás	69
3.1.4. AR katalógus.....	71
3.1.5. Ér belső-külső morfológia illesztés.....	73
3.2. QR füzet	76
Összefoglalás, következtetések, javaslatok	78
Ábrajegyzék	80
Táblázatok.....	82
Irodalomjegyzék	83
Mellékletek	86

Bevezetés

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

Esetspecifikus fizikai szimulátorokkal, kurzusokkal és objektív analízissel szolgálnak, amely megbízható információkkal szolgál, hogy a szakemberek hatékonyan fejleszthessék a finommotoros készségeket, amik elengedhetetlenek a szakmájukban. Az értékelési rendszer 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.

Ezek kapcsán a Pécsi Tudományegyetemen megrendezett Tudományos és Művészeti Diákköri Konferencia 2022 őszi rendezvényén, illetve az együttműködésünk kapcsán szerzett tudásom által támogatva, egy demonstrációs termékcsomag megtervezését tűztem ki célnak. A termék és szolgáltatás, amelyet nyújtanak sokrétű és világszerte igényelt. Bár a belépési költsége sok versenytárhoz képest alacsony a nyújtott értékhez

képest, a vásárlói köre árérzékeny, 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.

A legutóbbi TMDK rendezvényen bemutatott dolgozat eredményei és tanulságai segítségével folytatom a munkám és szakdolgozatom során folytatom a tervezési munkámat a demonstrációs termék kivitelezésének érdekében, illetve teret adva az ÚNKP munkám eredményeinek alkalmazására.

Termék bemutatása, technológiák megismerése

1. A termék, szolgáltatás

1.1. A termék bemutatása

A YourAnastomosis termék és szolgáltatás szinten is nyújt vevőértéket. Az egyik alapvető összetevője az additív gyártástechnológiával (3D nyomtatással) 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 visszajuttathatja 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.



1. ábra YourAnastomosis terméke használatban

forrás: youranastomosis.com

1.2. Csomagolás, felhasználói élmény

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 felcímkézve.



2. ábra Csomagolás, rigid tálcás rendszer

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 ofset papírokból állnak, amelyek egy oldalt UV lakkal rendelkeznek¹. 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 bigelés mentén felveheti a formáját².

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.



3. ábra Szimulátor helye

¹ Simon P. 2008. Előkészítés a késztermék nyomdai kivitelezésére, a kivitelezés ellenőrzése (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest)

² Papp L. 2008. A vágás technológiája (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest)

Jelenleg a felhasználói élmény kicsomagoláskor a következő:

- a szállító doboz akasztó fülét kilazítva nyitható fel, ezen helyezkednek el az azonosítók, illetve a logó és egy matrica, amely jelzi, hogy melyik eset szimulátort tartalmazza.
- a külső dobozon belül a brosúra és levél tartó doboz látszódik legfelül, melyet leemelve egy komplex rigid tálcá rendszer jelenik meg,
- a tálcán összesen 4 doboz számára van hely, melyeken angol nyelvű felület jelzi a tartalmat (eszközök, két cérnát és tűt tartalmazó doboz, illetve az érimitációkat tartalmazó),
- a tálcán opcionálisan elhelyezkedhet a legnagyobb lehetséges eszköz, egy DeBakey fogócsipesz,
- a tálcarendszer szalagok segítségével emelheti le a felhasználó, közvetlenül alatta egy távtartó helyezkedik el, melyen két lyuk segíti a leemelést, így jelenik meg számára a szimulátor,
- a szimulátort távtartótálcák védik, így közvetlen ütközéssel nem találkozhat. Ezen a területen helyezkedik el továbbá a telefontartó doboz, illetve a QR tálcák.

A szimulátor környéke jelentős mennyiségű kitöltetlen térrel rendelkezik. A modell kivétele után asztalra helyezendő, ahol csúszásgátló tappancsok biztosítják a helyzetét. A doboz rendszer legaljában is elhelyezkedik egy emelő lap, amely 0,5 cm-re emeli el a szimulátort a talajtól, azonban a felhasználó számára ez érdektelen.

A szimulátort a csomagolásból kiemelve a felhasználó azonnal képes használni, szállításkor már el van helyezve két műér, amellyel az első varrás el is készíthető.

1.3. 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. A szimulátorok megfelelő használat mellett annyi gyakorlási lehetőséget adnak, amennyit kíván a felhasználó.

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, plusz költséggel járnak. Ezt a folyamatot Bucsa Anna Tudományos és Művészeti Diákköri Konferencián bemutatott munkájában fejt ki részletesen.

Az áramlástanai analízis egy folyamatosan fejlődő, egyre pontosabb eljárás, a belőle nyert 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 kiemelik és felhasználják további fejlesztésekre.

A YourAnastomosis az eredményeket az applikáción és a web platformon keresztül közli, ahol szerepel az értékelés és visszajelzés regisztráción követően. A telefonos alkalmazásban, valamint Hololens-en keresztül kiterjesztett valóság segítségével tekinthetők meg az adott műtéti esetek, amely megerősítik a felhasználókban a szimulátorok valós eredetét, valamint további információkat szolgáltatnak az adott esetben történő elmélyüléshez. A beolvasott szituációban változtatható láthatóságú az erek közvetlen környezete, így akár a telefon képernyőjén keresztül is követhető a beavatkozás. Az applikáció ilyenkor méri a szükséges időt is.

Emellett tartanak kurzusokat, amelyeken a termék és szolgáltatás alkalmazását bemutatják és egyenes visszajelzést is nyújtanak a sebészek számára. A regisztrációs folyamat az eredmények átadásához ekkor is szükséges.

1.4. Versenytársak

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

A sebészeti oktatás bevált módszer cadaverek (holttestek) alkalmazása, azonban ezek költségesek és nehezen beszerezhetőek. Egy ilyen tetem beszerzési ára átlagosan 1900 dollár³, 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 irány.

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. Ezek a termékek önállóan alkotnak teljes értékű produktumot a felhasználók számára. Azzal a céllal választottam ki ezeket a termékeket, hogy a YourAnastomosis demonstrációs terméke az önmaga funkcióival is elhelyezhető legyen a legközelebb álló résztvevőkhöz képest. A Demo Kit nem lesz önálló, ismételttel rendelhető termék, azonban a népszerűsítési feladatát úgy tudja leginkább teljesíteni, ha megállja a helyét bizonyos mértékig.

1.4.1. PocketSuture⁴

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 vizuálisan leolvasható értékelést támogatva. Emellett fonal tűvel 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. Ezek korlátalanul újra rendelhetőek. A csomagban van egy rögzítő elem is, amely a műerek környékét stabilizálja, hasonló mód egy műtői szituációhoz.

³Cathy Newman (2018) *Digital Cadavers are replacing real ones. But should they?* National Geographic hivatalos weblapja [2022.12.28.]

⁴ PocketSuture Hivatalos honlapja [pocketsuture.com 2022.11.18.]

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



4. ábra Egy anasztomózis gyakorló levél

forrás: pocketsuture.com

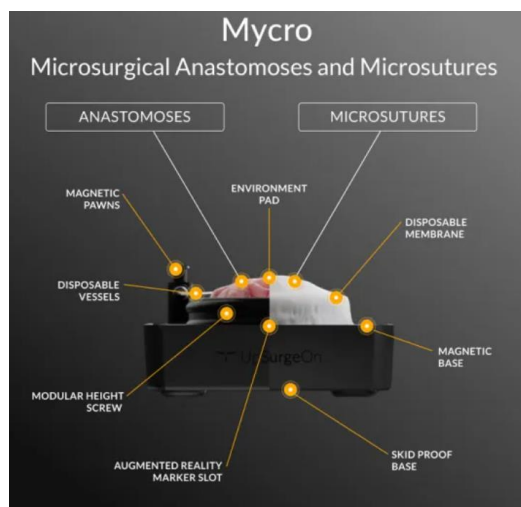
1.4.2. UpSurgeon⁵

Az UpSurgeon agyi mikrovarratokra, anasztomózisokra specializált terméket szolgáltat, amely rendelkezik cserélhető, izom jellegű betétre is akár, számos beavatkozásban segítik a fejlődést, érzékeltetve a különböző felületek által okozott kihívásokat. 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.

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 ingyenes hozzáférést az applikációhoz. 309-379 USD között mozog az ára, a pontos rendeléstől függően. A csomag még nagyító lencsét is tartalmazhat, amely mikrovarratok esetén könnyíti meg a munkát és valamennyi a beavatkozáshoz szükséges sebészeti eszköz is rendelhető.

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

⁵ UpSurgeon Hivatalos honlapja [upsurgeon.com 2022.11.18.]



5. ábra A Mycro Suture termék felépítése

forrás: upsurgeon.com

1.5. Következtetések

A termék legnagyobb versenyelőnye és vevőértéke az objektív visszajelzés, mivel ebben nem rendelkezik versenytárrsal.

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 meg 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.

2. Alkalmazott technológiák

A termék minta elkészítéséhez szeretném azokat az eszközöket alkalmazni, amelyek a 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 alapvető építő eleme 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 lézerszkennер, amely 0.050 mm pontossággal rendelkezik és 1,500,000 mérés/secundum sebességgel mintavételez. A nagy részletesség mellett szín információkat is tartalmaz és mobilis⁶. A szimulátorok valós műtői környezet alapján készülnek, amelyeknek szigorú megkötései vannak, ennek következtében a precízió és a gyorsaság kiemelkedően fontosok.

A morfológia digitalizálása egy Shining3D AutoScan-DS-EX strukturált fény szkennelővel történik, amely elsősorban fogászati használatra készült. Apró, fehér objektumok bemérésére alkalmas.⁷

A háromdimenziós szkennер 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 megmérése használatos módszer. Ennek alkalmazása nagy felületen, gyors ütemben számor LiDar elvű műszerrel térbeli mintázat szerint, lézerszkennelésről beszélhetünk.⁸ Ultraibolya, infravörös vagy a látható

⁶ Creaform 3D hivatalos honlapja (<https://www.creaform3d.com/en>)

⁷ Shining3D hivatalos honlapja (<https://www.shining3ddental.com/>)

⁸ A-B. Mostafa 2014. 3D Laser Scanners' Techniques Overview (International Journal of Science and Research (IJSR)) ISSN (Online): 2319-7064

tartományban működik. Felhasználása széleskörű, elterjedt a fordított mérnöki tevékenységet (Reverse Engineering) igénylő területeken, mint például épület felújításoknál, vagy háromdimenziós animációk gyártása során.

A szkennerek 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 mérések eredményei adott pontokat többször is bemérhetnek, valamint ezeknek az adatoknak az egyesítése, a többlet információ kiszűrése mellett.⁹

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 az 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 hullámhosszának felével. Ez egy gyorsabb eljárás, emellett azonban az eredményként kapott pontfelhő zajosabb is a röppálya idejének távolságmérésével elért.¹⁰

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 látómezejében 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 látómezeje alapján kiszámolható a kameránál elhelyezkedő szög is, így

⁹ Mostafa 2014

¹⁰ Mostafa 2014

minden információ adott a háromszög tulajdonságainak kiszámításához. Ez a módszer precíz (10 mikrométer nagyságrendileg), azonban a hatótávolsága igen kicsit.¹¹¹²

A felület fényelnyelő, valamint fényvisszaverő képessége jelentős hatással van a mérés sikerességére. A visszatükröződő felületek, mint a fémek, valamint a fény átereszítő anyagok, mint a zsiradékok torzult méréseket okozhatnak, amelyeket posztprocesszállással ki kell javítani.¹³

Ilyen hibák lehetnek a térháló folyamatosságának hiánya, elcsúszása és jelentős mértékű eltorzulása.¹⁴

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, újrarahálózni.¹⁵

A lézerszkennerek giroszkóp segítségével képesek lehetnek több térháló összefűzésére is adott felületről.¹⁶

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 mérések¹⁷. Az adott felszínről, tárgyról, területről készített

¹¹ Dr. Tomán H., Dr. Kunkli R. 2015. 3D szkenneléssel előállított pontfelhő és annak feldolgozási lehetőségei

¹² 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.

¹³ Kovács T. 2011. 3D szkennelés kódolt fényvel

¹⁴ Dr. Tomán, Dr. Kunkli 2015

¹⁵ M. Edl, M. Mizerák, J. Trojan 2018. 3D Laser scanners: History and applications (International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN 1339-9640)

¹⁶ Kovács T. 2011.

¹⁷ K. Kraus, P. Waldhausl 1998. Fotogrammetria Alapok és általános módszerek (Tertia kiadó) ISBN 963-85129-9-7

mérőfényképek alapján készülnek el a távolság meghatározások. A szó “fénykép mérést” jelent: foto = fény, gramma = kép, metron = mérés.¹⁸

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.¹⁹

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

A kiértékelési eljárás szerint három kategóriáról beszélhetünk: analóg, analitikus és digitális.²⁰

Analóg eljárás során a mérőgénykép(ek) felvételtkor 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 vetítésugarak egyenleteinek felírásával a metszet pontokat matematikai alapon lehetséges biztosítani. Ezek a módszerek a legpontosabbak.²¹

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.²²

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.

¹⁸ Matula Gy. 2008 A fotogrammetria alapjai (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet) 2241-06 SzT-012-50

¹⁹ Matula 2008

²⁰ Matula 2008.

²¹ Matula 2008.

²² Dr. Jancsó T. 2010. Digitális fotogrammetria (Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar)

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.²³

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

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.²⁴

Az optikai képalkotáshoz gömbfelülettel határolt üvegtesteket, azaz lencsákat alkalmaznak, amelyek a fénytörő tulajdonságainak köszönhetően az egyik oldalon egy pontból kiinduló, a felületére eső fénynyalábokat 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 főpontján halad át) és képalkotó sugárnyalábot (fősugarak összessége).²⁵

A lencse görbülete határozza meg, hogy a lencsének egy, illetve kettő főpontja, fősíkja 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.

²³ Dr. Jancsó 2010.

²⁴ Matula 2008.

²⁵ Dr. Dékány Sándor (1973): Műszaki fényképezés és filmezés. (Műszaki könyv kiadó Budapest)

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.²⁶

A képelemek ezen felül rendelkeznek intenzitás értékkel, amelyek megadják a hozzá rendelt színt, 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 képeknél ez a szürkességi fokozat²⁷. 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.²⁸

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 posztprocesszáls alkalmazásával. A fotogrammetria céljától függően szín korrekciós eljárások, maszkolás, illetve utólagos minőség javításról is lehet szó.

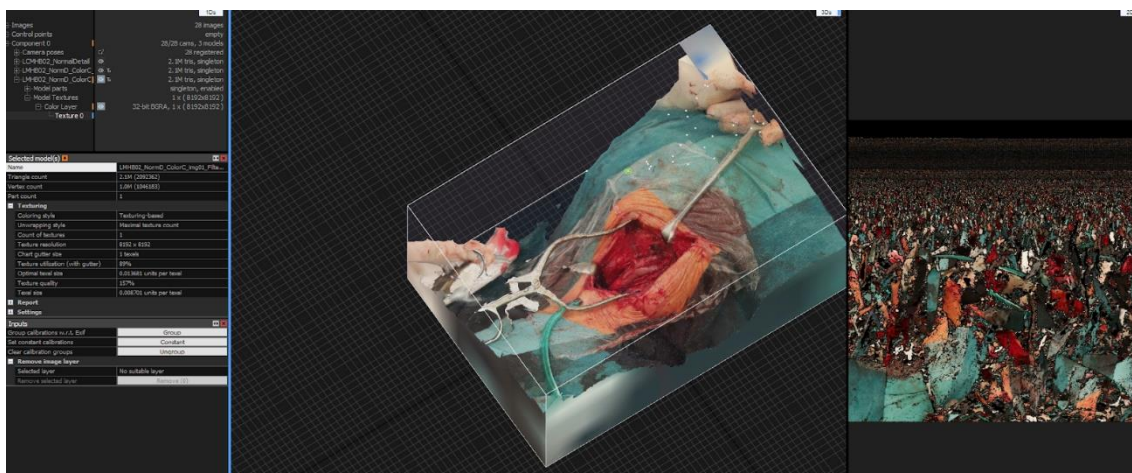
A digitális fényképek feldolgozása elsősorban célszoftverekkel történik. A fotogrammetria elterjedésével napjainkra, ilyen szoftverekből számos rendelkezésre áll, jelentős mennyiségű ingyenes ezek közül. Ennek ellenére magas minőségű eredmény

²⁶ Matula 2008.

²⁷ Abonyi-Tóth A., Farkas Cs., Turzó-Sovák N., Varga P. 2020. Digitális kultúra 6. (Oktatási Hivatal) ISBN 978-615-6256-38-6

²⁸ Matula 2008.

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.



6. ábra RealityCapture, fotogrammetria szoftverrel elkészített domborzat és a hozzá tartozó kép alapú textúra

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 Geomagic-en belül történik, sebész szakemberek segítségével.

2.3.1. 3D nyomtatásra alkalmas modell készítés, szimulátor

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

A két különböző szoftver használatának az 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 elemeit különböző befedési, majd digitális szobrászati eszközökkel szükséges kijavítani. A szimulátoron a feltárás közvetlen környezete, ezt segítő eszközök, az érimitáció 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 hibaforrásokat 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 gráfelmélet, 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.²⁹

Modellező rendszerekből fontos különbséget tenni a manifold és nem-manifold topológiával rendelkező rendszerek között. A korábbi olyan alakzatok modellezésére vonatkozik, amelyek leképezhetőek kétdimenziós ponthalmazokként, az utóbbi

²⁹ Dr. Tomán, Dr. Kunkli 2015.

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.³⁰

Palást modellezés alatt olyan eljárásról beszélünk, amelynek az eredményes véges, zárt burkolatú objektum. A huzalváz modellezés és a felületmodellezés ötvözésével alkot olyan folytonos, véges és zárt palástot, amely lapjait csomópontok által meghatározott élek alkotják. Két fajtája: a poliéderes palást modell (síklapokkal közelíti az objektumot) és valóság-hű palástmodellezés (szabadformájú felületeket is megenged - a számítógép számábrázolási pontossága szab korlátot). A palást modellek fontos tulajdonsága, hogy alkalmas térfogat és tömeg meghatározásra, végeselem módszer elvégzésére, valamint gyártástechnológiában alkalmazott tervezésekhez is.³¹

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 objektumot³².

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 tekinthető³³.

³⁰ Molnár L. 2011. CAD alapjai (Edutus Főiskola)

³¹ Molnár L. 2011.

³² Horváth I. Juhász I. 1996. Számítógéppel segített gépészeti tervezés 1.; (Műszaki Könyvkiadó Budapest)
ISBN: 963-16-1051-9

³³ Molnár L. 2011.

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” nevezzük, a legtöbb megjelenítő nézet nem jelöli a különbséget, azonban a felület viselkedése, illetve ellenőrző műveletek segítségével észrevehető.³⁴

Az élekhez is tulajdonítható manifoldság, ebben 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, illetve eltérő tűrésekkel kellhet tervezni a bepattanó kötések megfelelő működéséhez. 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.³⁵ 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. Egyre elterjedtebb művészeti területeken is, kiállítások élményének növelésére, de akár kifejezetten alkotások eszközeként is. A virtuális valóságtól (VR) a legfontosabb megkülönböztető tulajdonsága, hogy a valós

³⁴ Molnár L. 2011.

³⁵ Kajos. A., Dr. Bányai E. 2011. Az augmented reality jelene és jövője, mint a marketingkommunikáció eszköze MTMT 1726105

teret nem maszkolja ki, hanem felhasználja, mint térbeli elem és a virtuális objektumokkal kiegészítve alkotja a teljes, kívánt képet.^{36 37}

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. Egyes esetekben nem cél tér, hanem cél felület határozható meg, ezzel a jelenet összeállításakor megfelelően kell tervezni és berendezni a környezetet.

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 videójáték-motor pedig a Unity.

A Blender szabad felület modellezésén túl megenged számos funkciót, amely megkönnyíti a kiterjesztett valósághoz alkalmazott jelenetek legyártását. A térháló felépítésének vizsgálata, szín, textúra és felület információk alkalmazása és módosíthatósága mind fontosak, ezeknek együttes és egymásra visszaható használata egy közös szoftveren belül megkönnyíti a tervezés görbülékenységét.

A 3D nyomtatásra előkészített modellek topológiai jellemzőinek alapvetően hasonló követelményei vannak. Azonban kiterjesztett valóság során a valós idejű megjelenítés egy nagy energiaigényű folyamat, számos elem, textúra és fény információ együttes jelenléte nagy számolási igénnyel rendelkezik, amely kihívást jelenthet bizonyos eszközöknek. A céleszköz, megjelenítő szoftver és az alkalmazott videójáték-motor tulajdonságaitól függően eltérhetnek a pontos értékek, de minden esetben fontos, hogy a modellek megjelenítéséhez szükséges erőforrás igény minimalizálva legyen. A cél, hogy a lehető legszélesebb réteg számára elérhető és megjeleníthető jelenetek készüljenek a YourAnastomosis céljainak megfelelően.

³⁶ Matuszka T., Jámbori A., Kocsis Á. 2016. Virtuális és kiterjesztett valóság az ELTE Informatikai Karán

³⁷ Dobján T., Dobjánné A. E. 2018. OKOS MEGOLDÁSOK ÉS KITERJESZTETT VALÓSÁG A TANTERMEKBEN ISSN 2064-8014

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 és fényezéssel 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. Mivel ezek a szoftverek megengedik a testek metszését és ütköztetését is, lehetséges a topológiai problémák elrejtése bizonyos esetekben, ez azonban kerülendő, ugyanis a vizuális „elrejtés” ellenére is erőforrás igény növelő hatása van.

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 topológia elkészülte során figyelembe kell venni, hogy kevés torzulást engedjen meg, illetve az egységileg összetartozó dolgok vizuálisan is és a háló „folyása/íve” szerint is elkülönüljenek. Ez megkönnyíti az esetleges későbbi módosításokat, akár animációkra is alkalmassá teheti.

Ezt követi a kiterítés, másnéven UV térkép készítés. Az U és V arra a kétdimenziós koordináta-rendszer tengelyeire utal, amelyen a térháló síkbeli mása elhelyezkedik. Az UV térképek legszemléletesebb példája a Mikulás alakú csokoládék csomagolása, el lehet úgy is képzelni, hogy egy kétdimenziós felület képzése, amely a megfelelő hajtásokkal egy háromdimenziós modellt képezhet, akár görbületeket is lekövetve, önmetszés nélkül.



7. ábra Nagy poligon számú modell textúra vetítése alacsony poligonszámúra

A felületek textúrái nem lehetnek procedurálisak, fontos, hogy kép alapon, Physically Based Rendering módszerével álljanak rendelkezésre³⁸. Ezek könnyebben tárolhatóak, exportálhatóak és kevesebb erőforrást igényelnek.

A legegyszerűbb módja, hogy az anyagok a kis poligon számú modellre kerüljenek az a textúra vetítés, olyan esetekben, amikor már rendelkezünk egy alap térhálóval, amely tárol megfelelő információt (például fotogrammetriával készült modell). Mivel a térháló jellege, így annak az UV térképe nem feleltethető meg egymással, így az eredeti, a fotogrammetria során összeállított kép alapú textúrák nem használhatóak. A fotogrammetria által alkotott térhálókra kevés befolyása van a felhasználónak, így gyakran érthetetlen, követhetetlen módon végzi el a kiterítést.

³⁸ M. Pharr, W. Jakob, G. Humphreys 2017 Physically Based Rendering from theory to implementation (Morgan Kaufmann Publishers) ISBN: 978-0-12-800-645-0

A vetítés egy „baking” folyamat, tulajdonképpen ráégetik a kis poligonszámú modellre a nagy poligonszámú modell tulajdonságait. Ez működik szín és kiterjedés információkkal is, valamint akár olyan anyag tulajdonságokkal is, mint érdesség (roughness) és csillogás (specular). Ezek mind különböző képként kapcsolódnak a modellhez és együtt alkotnak egy realisztikus anyagot. Amennyiben valahol procedurális anyag használata merül fel, azt is rá lehet égetni ilyen módon, így végeredményként a megfelelő térhálót lefedő anyagrészt képként is megkapjuk.

Egyes fotogrammetria szoftverek, mint a RealityCapture is képes ilyen folyamatokra, limitáltan. El tud végezni automatikus térháló csökkentést és anyagvetítést, még normál térképeket is létrehoz, amely a csökkentés során bekövetkező térbeli részlet hiányt pótolja. Ennek a hátránya, hogy csak háromszögekkel képes dolgozni, amely kevésbé kiszámítható, amennyiben később változtatásokat eszközölnénk rajta, valamint az algoritmusába nem tudunk beleszólni, így nehéz lehet információt visszafejteni. Ez azonban ideális lehet nagyon gyors szemléltetések elvégzéséhez.

A vetítés tökéletlen eredményt adhat, amennyiben a két térháló túl nagy eltérésekkel rendelkezik. Ezt a következőkben is részletezett módszerekkel lehet kijavítani, illetve a 7. ábra mutat egy ilyen eredményt. Látható, hogy foltos, hiányos a felület anyaga és szemmel látható határokon választódnak el egyes textúra részek.

A textúrák jelentős része nagy felbontású telefon felvételekből származik. Fotogrammetria segítségével alapvetően szép eredmények érhetők el, azonban a műtői jelenetek esetén gondot okozhatnak a belógó elemek, például a sebet nyitva tartó eszközök, amelyek eltakarhatnak olyan részleteket a képeken, amelyek egy valós eset körbejárásakor láthatóak lennének. Ezeknek a pótlása mintavételezéssel és manuális festéssel történhet. Erre eszközt biztosít a Blender is, azonban nem erre optimalizált. Az eszközök limitáltak és gyakran felbontásban, minőségben romolhat az kép. Egy másik módja, hogy képszerkesztő programokban egészítjük ki. Amennyiben a térháló megfelelően olvasható és értelmezhető, torzulást nem tartalmazó UV térképpel, kiterítéssel rendelkezik, a kép textúra bármilyen kétdimenziós képeket feldolgozó programban szerkeszthető, kiegészíthető, javítható.

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

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

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

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.³⁹

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.⁴⁰

A 3D nyomtatással történő gyártás lépései hasonlóak más CNC technológiákhoz⁴¹:

- tervezés, 3D modell megalkotása,
- konverzió, exportálás az előkészítő szoftver által felismerhető fájlformátumba,
- gépi kód előállítása (CAM vagy manuális), “szeletetelés”,
- gyártó gép előkészítése,
- megmunkálás, gyártás,
- termék tisztítás, utókezelés.

³⁹ J. Micallef 2015 Timeline of 3D printing design milestones (Apress, Berkeley, CA) Online ISBN 978-1-4842-0946-2

⁴⁰ Huszár I. 2021. Tárgyasult ötletek – 3D nyomtatás és tervezés (BBS-INFO Könyvkiadó és Informatikai KFT.)

⁴¹ Kátai L. 2012. CAD Tankönyv (Typotex Kiadó) ISBN 978-963-279-534-8

Már számos anyaggal lehetséges 3D nyomtatni, azonban a legelterjedtebb, és a szakdolgozatomban 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.⁴²

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.⁴³

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 is⁴⁴.

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

⁴² P. K. Patel 2022. Additive Manufacturing with Medical Applications (Boca Raton) ISBN 9781003301066

⁴³ P. K. Patel 2022.

⁴⁴ A. Bagheri, J. Jin 2019. Photopolimerization in 3D printing (American Chemist Society)

kibocsátó egysége pedig ezt lekövetve, azonnal megdermeszti a megfelelő rétegeket. Az eljárás hátránya a költségen túl, hogy két gyártó uralja a piacát és csak a saját anyagokkal dolgoznak.⁴⁵

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.

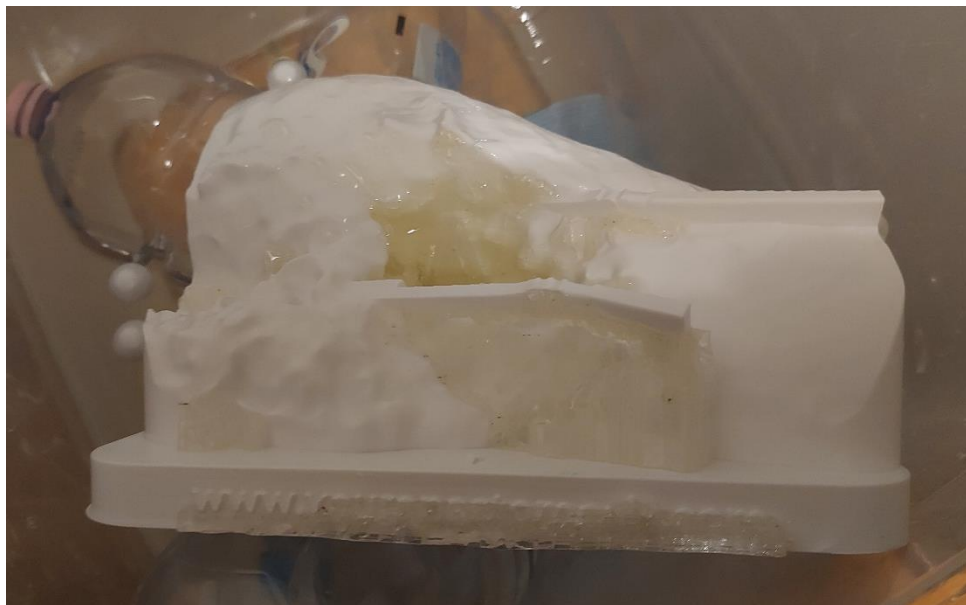
A szeletelőben fontos olyan szempontokat is figyelembe venni, hogy milyen pozícióban a legcélravezetőbb elkészíteni az adott objektumot. Mérlegelni kell a támasztékok elhelyezését, a térbeli elhelyezkedést és a tálcán elfoglalt területet is. A célnak megfelelően kell kitöltést is választani, különböző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

⁴⁵ O. Gülcan, K. Günaydin, A. Tamer 2021. The State of the Art of Material Jetting – A Critical Review (Imperial College London, London)

A vízzel oldható támaszok leszedése időigényesebb, vízben történő oldással kezdődik, amelynek a során akár teljesen is leoldódhat, azonban egy bizonyos idő után kezimunkával 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 részeken. Felgyorsítható a folyamat meleg, nagyjából 35°C-os vízben forgatással, ahol a PLA deformációja még nem indul meg^{46 47}.



8. ábra PLA modell PVA támaszokkal

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.

2.5. Stancolás, nyomdai eljárások

A YourAnastomosis termékének csomagolását egy külső megbízott cég gyártja.

⁴⁶ C. E. Macias, H. Bodugoz-Senturk, O. K. Muratoglu 2013. Quantification of PVA hydrogel dissolution in water and bovine serum

⁴⁷ M. Vert, G. Schwarch, J. Coudane 2006. Present and Future of PLA Polymers

Egyedi stanc szerszámokkal megformázva, befűzve és a szükséges helyeken ragasztva érkezik, a grafikus elemek ofszet nyomtatással felhelyezve. Bár ezeket a technológiákat a prototípusok kapcsán gyakorlatban nem próbálhattam ki, azonban az esetleges felhasználásuk a későbbiekben fontos lehet, illetve a csomagoló elemek tervezése során is fontos volt megismerkednem velük.

A stancolás során egy „mintaformával” (stancformával) vágják formára az adott anyagot, akár csak egy mézeskalács formával, a síkvágás elvét használja. Ideális bonyolult elemek sorozatgyártására, csomagolásokhoz gyakran alkalmazzák.⁴⁸ Mivel felmerülhet az elem részletek hajtásának igénye, erre bígelést alkalmaznak – ez egy fajta hornyolása a papír anyagnak, hogy a hajtás pontosabban és igényesebben történhessen meg. Ez történhet ellenformával vagy a nélkül is akár. Általában a bígelő léniával készül, amely egyszerre végzi el a teljes alakban a bígelést, vagy körkéssel, kézműves termékeknél azonban gyakran akár tompa késsel és egy vonalzóval is helyettesíthető.⁴⁹

⁴⁸ Papp L. 2008. A vágás technológiája (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest)

⁴⁹ Papp 2008.

Tervezés, kivitelezés

1. Célkitűzések

Több tervezési koncepciót, bemutatási módszert és célt is szeretnék a dolgozatom során átgondolni, hogy azokat összehasonlíthassam. A munkát azzal kezdtem, hogy a célokat definiáltam és kategorizáltam a lehetséges tulajdonságokat.

1.1. 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, fonál),
- 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 betöltsen. 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 időhiányból kifolyólag. Ezek a következők:

- AR, amely áramlástan animációt jelenít meg,
- AR tartalom, amely az ér áramlástan 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 centiméter⁵⁰, ennek el kell férnie.

A tervezés során arra is ügyeltem, hogy a Demo Kit ne legyen versenytársa és kiváltója a teljes szimulátor terméknek. Az értékesítés módszerének részletei a szakdolgozatom témáján túl nyúlnak, azonban a YourAnastomosis munkatársaival történő egyeztetés alapján a következő feltételek adóttak, amelyek hatással lehetnek a tervezési döntéseimre:

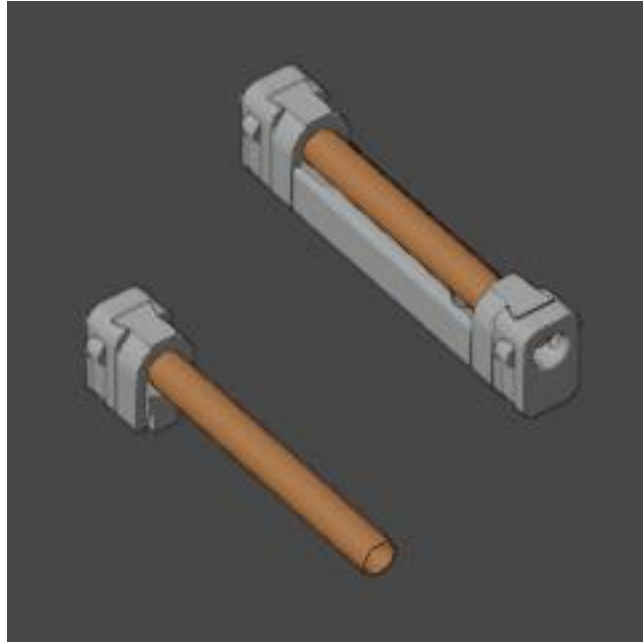
- minden felhasználó számára szükséges a regisztráció, annak érdekében, hogy a kiértékelést megkaphassa,
- a felhasználóhoz köthető demonstrációs termékek mennyisége korlátozásra kerülnek, elkerülve, hogy a szimulátor helyett alkalmazzák.

A lehetőségek között felmerül, hogy egy feliratkozás alapú szolgáltatás kezdeteként történjen a Demo Kit, illetve a szóróanyagként alkalmazása. Ezek a jövőre tekintő opciók azonban csupán arra szolgálnak a munkám során, hogy figyelembe vegyem, mint lehetséges tovább fejlesztési módszer.

Mindezek mellett a fizikai termékminta kialakításának fontos alapja az értartók mérete. Fontos megkülönböztetni a graft és host tartókat, elvükben ugyanúgy rögzítik az erek végét, azonban a graftok csak egy végen. A különböző ér méretekhez eltérő rögzítő egység méret létezik. Amellett döntöttem a konzulensemmel, hogy a legelterjedtebb ér mérethez, a 3 mm belső átmérővel rendelkező erekkel fogok dolgozni, ezek az általános

⁵⁰ Surgical Tools weblap alapján [<https://www.surgicaltools.com/944/debakey-at-vascular-forceps-15cm-2> 2022.11.15.]

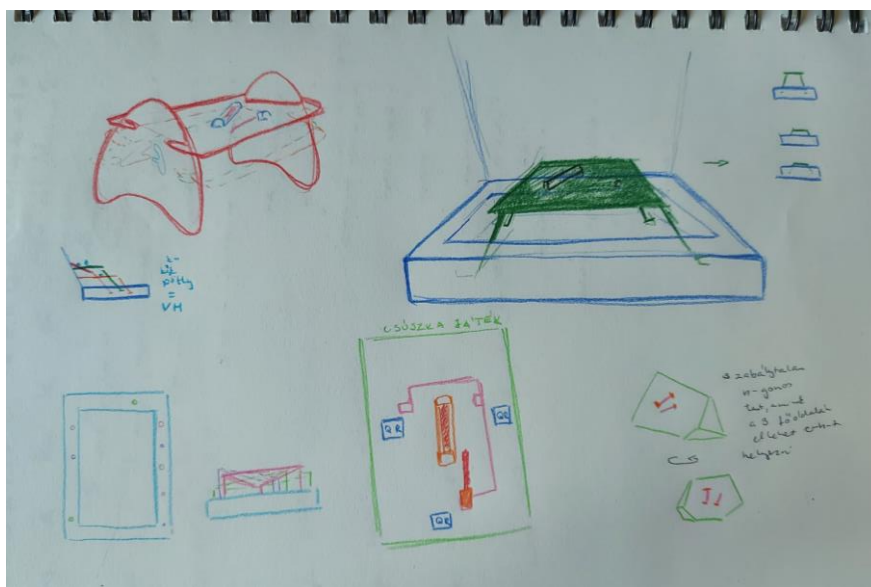
működési elv bemutatására ideálisak, valamint könnyen rendelkezésre állnak. A host erek tartó egysége ebben a méretben 48,4 x 7,6 x 12 mm befoglaló téglatestben helyezhetők el, a graftok pedig 10 x 7,6 x 12 mm méretűben. Ezeket a későbbiekben aszerint fogom hívni, hogy hány végén rögzítik a hozzájuk tartozó eret.



9. ábra Az értartók ábrája, elhelyezett műerekkel

2. Fizikai termék

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



10. ábra Kezdetleges vázlatok

Emellett igyekeztem elkerülni azokat a megoldásokat is, amelyek esetleges géppark növelést vagy új partnert igényelnének a gyártáshoz. A felhasználók számára is szerettem volna, hogy minél egyszerűbb legyen, illetve teljes termékhez közeli, így a mechanikusan mozgatható elemekkel rendelkező koncepciókat elvetettem. A túlzóan játékos és interaktív megoldásokat két okból vetettem el:

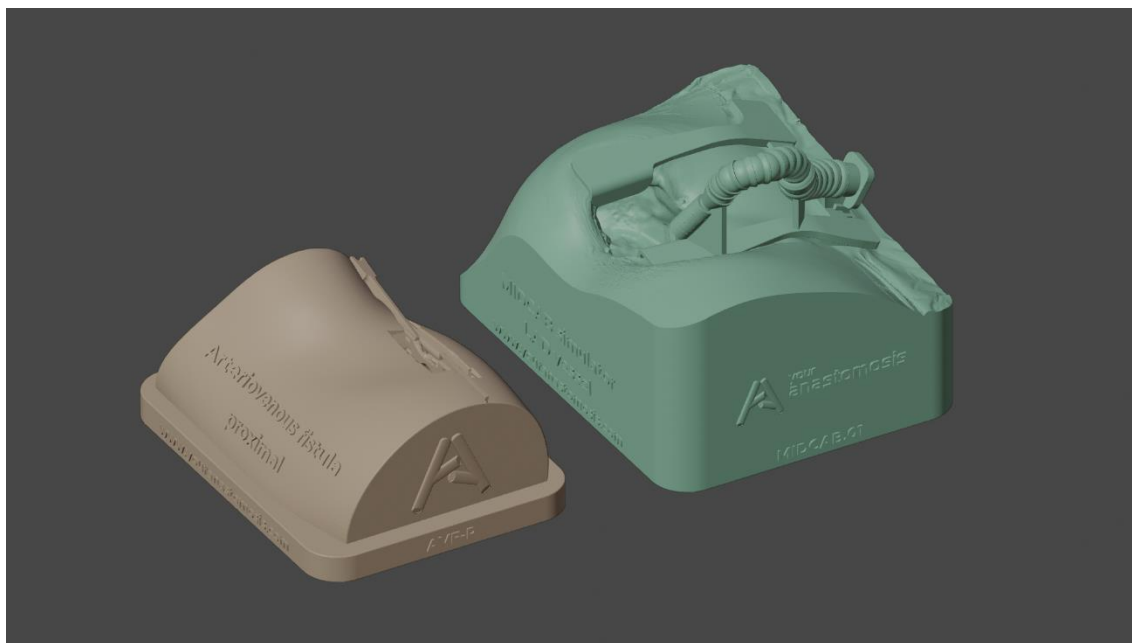
- a termék szakmai validitásáról elvonná a hangsúlyt, félevezető benyomást keltene a célról és hozzáállásról,
- illetve a vásárló elköteleződöttségéhez képest az általa igényelt befektetett energia igény túl magas lenne, eltántoríthatná.

Végül arra jutottam, hogy egy letisztult és funkcionális elemet szeretnék tervezni. A célom, hogy a szimulátor alkalmazásához közeli élményt nyújthassak.

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 kézhelyzeti kihívások átadására, illetve különböző technológiákat és forrásanyagokat alkalmaztam. A teljesen letisztult utilitarista és az egészen dísz tárgyi megjelenést idéző terveket is figyelembe vettem.

A 2022 november 29-én tartott intézményi TMDK konferencia idejéig sikerült tesztelnem egy kis létszámú, diverz háttérű sebész csoporttal (5 fő) lehetőségem volt a kezdetleges verziókat kipróbálni, Dr. Varga Júlia egy tanulmánya keretein belül. A szakdolgozatom során az általuk kapott visszajelzés alapján dolgoztam tovább.

A modellek elkészítéséhez egy MIDCAB (Minimally Invasive Direct Coronary Bypass) és egy AVF-P (Arteriovenous Fistula – Proximal) modellt választottam, amelyek 3 mm-es ereket tartalmaznak. Ennek az az oka, hogy az adott értípuson belül ez a két modell nagy eltérést mutat – a MIDCAB esetek mély feltárásokkal járnak, mg egy AVF műtét a kar felszínéhez közel helyezkedik el.



11. ábra A teljes szimulátorok, MIDCAB és AVF-P

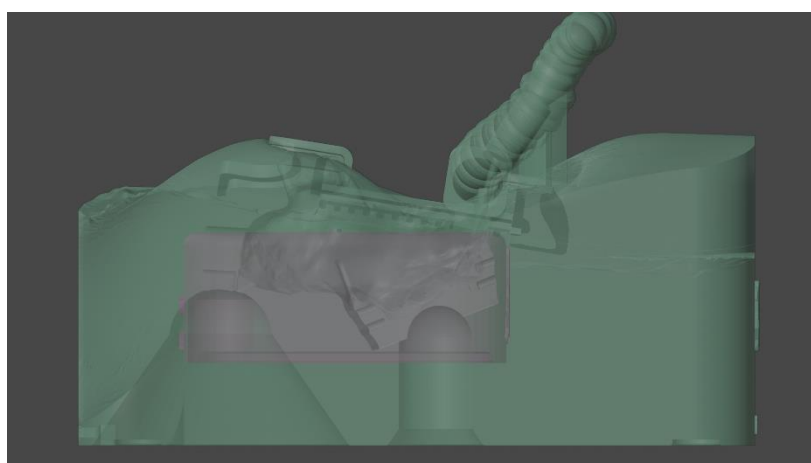
2.1. Szűk környezetet demonstráló 3D nyomtatott modell

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

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.



13. ábra A MIDCAB szimulátor felülnézete, a vágott termékmintával



12. ábra A MIDCAB szimulátor és a termékminta oldalnézete

A modell egy teljes szimulátor kiemelt részlete, amely domborzati információkkal rendelkezik. Egy ilyen egyedi modell elkészítése alapvetően egyszerű, logikai boolean kivonást alkalmazva megtehető, egy megfelelő vágó formával, amely biztosítja a különböző szimulátorok egységességét és elérhető a Blender Asset Library-n belül is. Az értartók azonos módon rögzülnek, bepattanva, illetve alulról kinyomhatók. A tűrés a modellen belül $\pm 0.5\%$ pontossággal van meghatározva a technológiai sajátosságokból következően, a cégnél található Ultimaker S5 Pro Bundle nyomtatónak megfelelően.



14. ábra A 3D nyomtatással elkészült prototípus

A végleges kialakítása alulról rendelkezik egy “szoknyával” a billegést megelőzve, valamint a tapadó korongokat elrejtve, emellett a szimulátorokra jellemző lekerekítés aránnyal rendelkezik. A befoglaló mérete 11*7*4,3 cm.

Ennek a megoldásnak a YourAnastomosis-nál történő kinyomtatása FDM nyomtatással nagyjából 8 óra, 85 g PLA 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.



15. ábra A modell alja, a kiemelő lyukakkal és tapadó korongokkal

Az egyedisége miatt felmerül, hogy a széleskörű szimulátor portfóliónak csak néhány eleme lenne elérhető. Az esztétikai elemei és feliratai a teljes szimulátort idézik, egy fajta díszverziójának is megfelelnek.

2.2. Térbeli pozíció modell

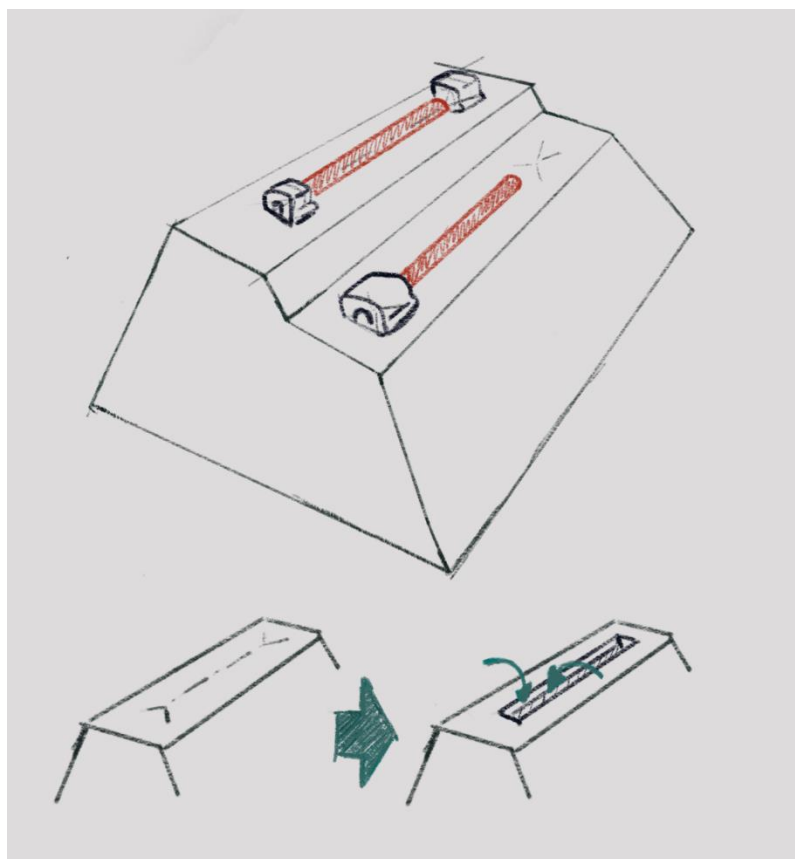


16. ábra Két szimulátor a demonstrációs verziójukkal

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, amely egy 11*7 cm-es téglalapot alkot.

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.

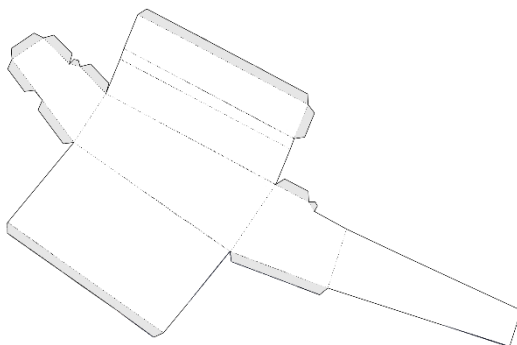


17. ábra A műér pozícióban trartásának működési elve

A legnagyobb hátrány a papír könnyűsége - a belsejében szükséges nehezekeket elhelyezni, avagy valamilyen módon rögzíteni, ugyanis a varrás elvégzéséhez nem biztosít megfelelő ellensúlyt. Erre egy lehetséges megoldás, hogy a Demo Kit doboz csomagolásában stabilan rögzítve helyezkedjen el, esetleg kétoldalú ragasztóval is rögzítve. Illetve új anyagok felfedezése, lézervágott fém, illetve akár 3D nyomtatott szerkezet is szóba jöhet. Fontos szempont ennél a verziónál, hogy minden szimulátor egyedi érheyzettel következik. Ezeknek a szükséges mennyiségben történő gyártása plusz költséget jelenthet. Ennek egy lehetséges feloldása, hogy egy, legfeljebb három esetet ki kell választani, amelyek elégsége, avagy lézervágással megvalósítani őket. A YourAnastomosis folyamatosan bővülő portfóliójához ez illeszkedni tudna. Ezt a vonalat nem tartom célszerűnek, ugyanis a termékminta azok számára szolgál, akik még nem

köteleződtek el a termék iránt, így a széles választék és az esetleges gyártásra történő várési idő nagyobb hátráltatást jelentene, mint előnyt a döntés meghozatalában.

Ez a verzió félúton áll egy funkcionális tárgy és dísz tárgy közt. A valós egészségügyi információnak csak a töredéke jelenik meg, egyfajta „csalíként”. A felhasználó érzékeli a valós környezet hiányát és az érpozíciók által nyújtott specifikusság előnyét.



**18. ábra Teríték rajz az AVF-P
modellhez**

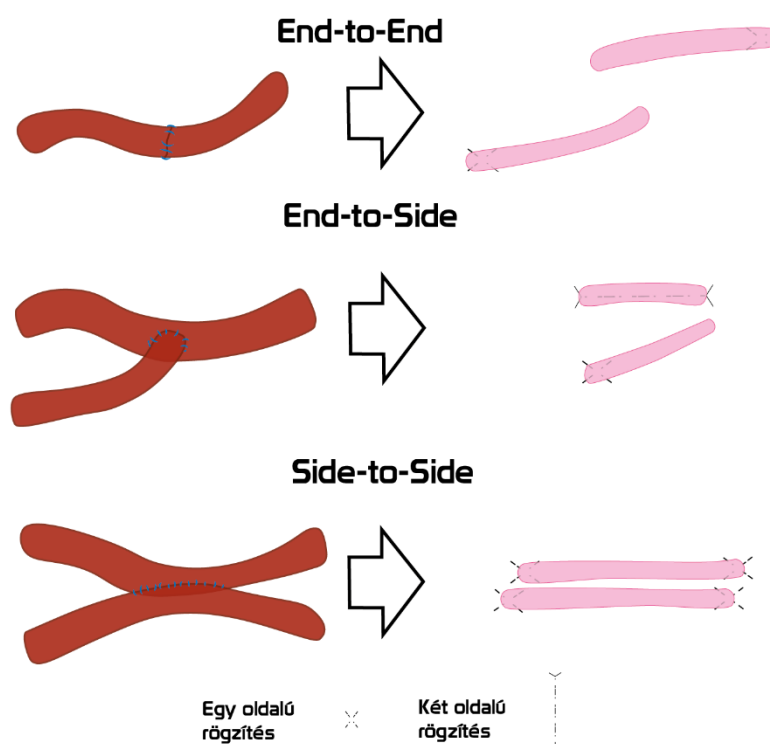
2.3. Sík papír modell

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.

Az érpozíciók levetítése különböző esetekre azonban a gyártási költségeket megemelheti. Így ennél a modellnél eltértem az eset specifikusságtól: az anasztomózisok során három módon kapcsolódhatnak az erek: end-to-end, side-to-side és end-to-side. Ezek arra vonatkoznak, hogy az összekapcsolt erek, milyen módon csatlakoznak – az „end” azt jelenti, hogy egy ér teljes keresztmetszetben elvágott vége csatlakozik, a „side” pedig az ér oldalán megejtett bemetszést jelent. A YourAnastomosis műerein lehetséges bármelyiket gyakorolni, azonban általánosságban elmondható Ezeknek az általános kapcsolódási formáknak a helyzetét helyeztem el végül a doboz felső oldalán.

A következő ábrán jelöltem a három lehetséges kapcsolódási módot, illetve azoknak a leképezését a demonstrációs doboz tetejére. Vörössel ábrázoltam a valós erek varrását reprezentáló elemeket, rózsaszínnel pedig a YourAnastomosis által szolgáltatott műereket. Ezek alatt tűnnek fel a megfelelő rögzítő elemek. Ezeknek a tudatos

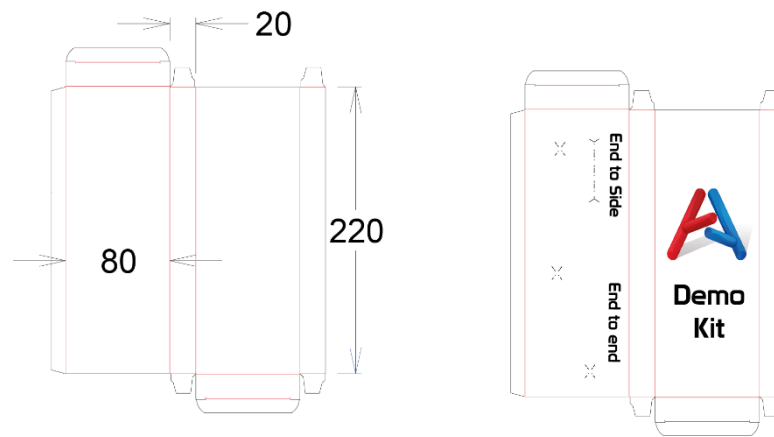
elhelyezésével és megválasztásával az a célom, hogy a felhasználó ne tetszőleges, hanem a pozíció által meghatározott varrást készítse el. Egy ilyen doboz tetején elérhet két lehetséges helyzet is, azonban továbbra is csak egy analízis áll a csomaghoz rendelkezésre, ezzel adva egy lehetőséget adva választásra.



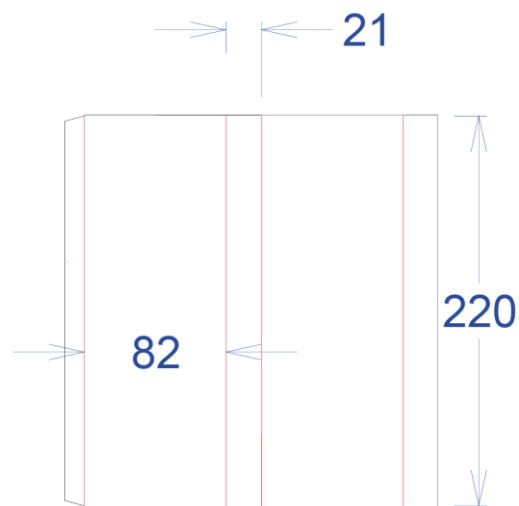
19. ábra A három típus bemutatása és azoknak megjelenése a doboz tetején, illusztráció

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 elér, valamint marad további hely értartók és papír alapú információs anyag elhelyezésére is. A méretéből kifolyólag a korábban alkalmazott becsúsztatós módszerrel akár két műtéti helyzet is imitálható. Ez segítheti az esetek diverzitásának megértését és tisztább képet ad a pozíciókból következő nehézségekről.

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 szalagátfűzést helyeztem el rajta. A stanc rajz a korábbiak kiegészített verziója, elhelyezve rajta a szükséges bemetszés és bígelés jeleit.



20. ábra A belső doboz stancrajza, méretezve bal oldalt, grafikai elemekkel jobb oldalt



21. ábra A borítás stancrajza

A rezidensekkel történő varrások során kiderült, hogy ez a verzió egy varrás kényelmes elvégzéséhez túl könnyűnek bizonyul. Ennek feloldására kétoldalú ragasztóval rendelkezik az értarók pozíciójával ellentétes oldalon.



22. ábra Látványterv

2.4. Csomagolás, szállítás

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.



23. ábra A csomagolás robbantott ábrája

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 nyújt⁵¹.

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

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, „sörölatét” lemezből (500 g/m²-s karton), illetve kasírozva a logó díszíti.



24. ábra A nyomtatott modell elhelyezkedése a csomagolásban

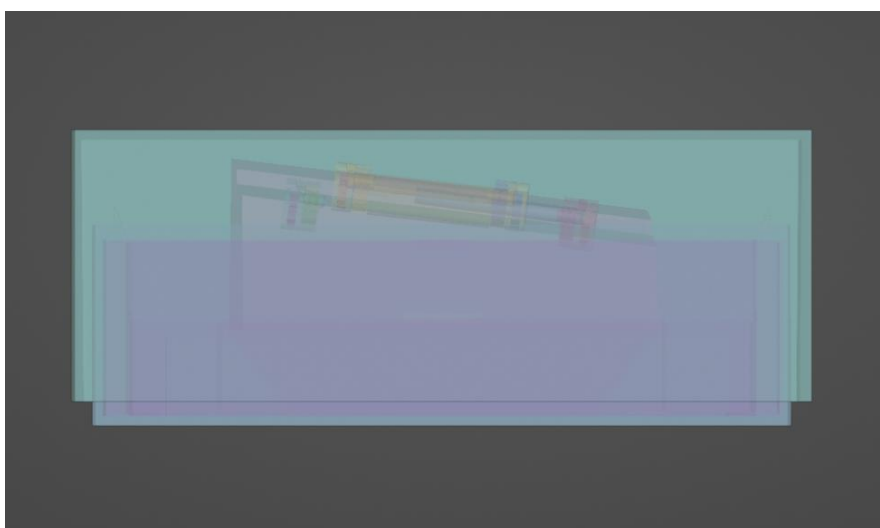
A teljes csomagolás 18*13*8 cm-es verziója a megfelelő távtartó tálcával a 3D nyomtatott és hajtogatott térbeli termékminta tárolására is alkalmas.

⁵¹ C. W. DeJong, K. Klemp, E. Mattie 2021. Dieter Rams 10 Principles of Good Design (Prestel Kiadó)
ISBN: 3791387324



25. ábra A hajtogatott modell a csomagolásban

A csomagolásban minimális a kihasználatlan tér és a tartalma védve van a külső hatásoktól. A felépítése idézi a teljes csomagolást is, amely hasonló elemekből építi fel a tálcarendszert és a szimulátor távtartóját. A felhasználói élmény gördülékenysége érdekében a csomagolásba már az értartókat rögzítve kerül szállításra.



26. ábra Ábra a csomagolás "röntgen" nézetéről

A síkban kiterített termékminta önmagában szállíthatóra készült, kezdetektől teljes csomagolásként tervezve, így ennek további csomagolást nem szántam. Szállíthatóság szempontjából egyesével, akár levélben is megtörténhet, azonban minden nehézség nélkül helyezhető nagy mennyiségben karton dobozba, az elemek sérülése nélkül.

2.5. Szűkítés

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.



27. ábra A bemutatott prototípusok

A kurzus során kizárólag fizikai termék mintát volt alkalmam bemutatni nekik, azonban mind kifejezték a megértést segítő tartalmak értékét.



28. ábra Rezidensek a prototípusok kipróbálása közben

A teszt alkalmára minden termékminta 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 modelltől elmondható, hogy a súly hiánya megnehezítette a műveletet.

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



29. ábra Varrás a 3D nyomtatott prototípusokon

Összességében az derült ki, hogy ötből három ember a Demo Kit-et magával hazavinné kipróbálni, míg a maradék kettő 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. A felhasználók a termék és szolgáltatás egészével, a csomagolást is beleszámítva korábban nem találkoztak, legfeljebb a szimulátorral és elemzéssel. 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 gyakorlati próbákön érzékelhetően nehézséget okozott minden verzióán a könnyedsége, ez kihíváshoz vezetett a varrat elkészítésekör. A papír alapú modellekre ez fokozottan igaz, ezeknek a fejlesztése elengedhetetlenül szükséges. A 3D nyomtatott modellek kapcsán is jelezték, hogy egyfajta rögzíthetőség jó lenne.



30. ábra A különböző verziók

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

A szimulátor minták alkalmasak voltak varratok elkészítésére, azonban a papír modellek nehézséget okoztak súlyuk hiányában. Ennek érdekében alakítottam ki a jelenlegi verziókön a két oldalas ragasztónak elhelyezését, amelyet a felhasználók maguknak helyezhetnek fel.

A legfontosabb tulajdonságait a verziókban, amelyek mérhetőek a következő táblázatban rögzítettem. A MoSCoW-ban meghatározott tulajdonságok egy része ide sorolható.

Sajnos a külső cégnél gyártható Demo Kitek árajánlatait nem tudtam meghatározni.

Az összeszerelési időket kézzel vágott és hajtott prototípusokon teszteltem, ezeknek az apró pontatlanságai azonban az idő megnövekedését jelentették. Ennek az alapanyaga számomra hibás csomagolás elemek voltak a teljes szimulátor csomagolásából, ugyanis ezekkel tudtam az anyag viselkedését a leginkább kipróbálni.

A táblázatban a 3D nyomtatott modell árát a YourAnastomosis-nél történő gyártási ár alapján rögzítettem, mivel az egyedisége az egyik legnagyobb előnye, a nagymennyiségű kiszervezés iránya lehetséges, hogy csak hosszútávon valósulhat meg, így ez a legmegbízhatóbb.

A táblázatban az alapanyag igényt az általam készített prototípusok alapján határoztam meg, az eddig elkészült modell verziókra az adott szimulátorhoz kötött kialakításokban (a 3D nyomtatott és a térbeli pozíciót bemutató hajtogatott papír modell).

	3D nyomtatott modell	Térbeli pozíció modell	Sík papír modell
Anyag	PLA	280 g/m ² ofszet papír	280 g/m ² ofszet papír
Gyártás helye	Helyben, vagy kiszervezve	Kiszervezve	Kiszervezve
Elkészülési idő	8 óra nyomtatás/darab + 8 perc összeállítás/darab	15 perc hajtogatás/darab + 8 perc összeállítás/darab	5 perc összeállítás/darab
Anyag mennyiség/ darab	85 gramm	A/4-es lap	1 db eszköz tartó doboz + egy fedő doboz (nagyjából 2 db A/4-es lap)
Teljes csomag mérete	18*13*8 cm	18*13*8 cm	22*8,2*2,1 cm
Ár/darab	5500 Forint	- ⁵²	-

1. táblázat Gyártással kapcsolatos tulajdonságok táblázatba szedve

A táblázatban továbbá rögzítettem a Demo Kit modellek azon tulajdonságait is, amelyek nem közvetlenül a gyártáshoz kapcsolódnak, azonban objektíven értékelhetőek, és kiegészítettem a tesztek során felmerült legerősebb visszajelzéssel, amely a modellek súlyának, elmozgathatóságának és egy varrat elkészítésének összefüggése. Ezutóbbi egy 1-5-ig terjedő skálán értékelték a résztvevők, ennek megfelelő értékkel vittem fel a táblázatba is.

⁵² A továbbiakban felméréndő

	3D nyomtatott modell	Térbeli pozíció modell	Sík papír modell
Alapvető csomag varráshoz	✓	✓	✓
Papír alapú	✗	✓	✓
Erek relatív pozíciója	Valós	Egyszerűsített	Általános
Kiegészítő információs anyag csatolhatósága	✓	✓	✓
A varrás elvégzésének nehézsége a súly miatt (1 – nem jelentős. 5 – élmény rontó) ⁵³	1	4	5

2. táblázat További tulajdonságok teljesülése

A MoSCoW szerint rangsorolt tulajdonságok egy része megválaszolható „igen/nem” teljesülés szempontjából. Ezeknek a szubjektív értékelése céges szinten történt egy meeting alkalmával, ahol a döntéshozókon túl részt vett egy marketinges kolléga, illetve mérnökök és informatikusok.

A cég munkatársai segítségével azt a döntést hoztam, hogy a sík papír modell, amely már egy létező csomagolást elemet alkalmaz, a célravezető irány. Mivel egy analízis elkészítése költséges és időigényes, így különösen nagy hangsúlyt kap a gyártás és alapanyag költség mérete. Továbbá ez lehetőséget ad olyan nyílt kérdésekre, mint a felhasználás gyors varrások készítésére akár egy verseny keretén belül.

⁵³ A Google Form kitöltés eredményei alapján

3. Megértést segítő tartalmak

A tervezéskor Demo Kit szimulátorok demonstrációs verzióit külön kezeltem, azonban mindegyiknek fontos eleme a különböző kiegészítő tartalmak használata, különösen 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 részletesen.

3.1. 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 kézi lézerszkennerek és egy okos telefon segítségével állítjuk elő a seb helyzetének nyersanyagát. Mivel a beavatkozás 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.

A körülményekhez történő alkalmazkodás elengedhetetlen, jelölő elemeket és szín referenciákat, amelyek ideális esetben adott pozícióban elhelyezhetők, egy műtőben mellőzni kell. Emellett a lézerszkennerek stabil tartása, valamint a telefon által befotózható tér is korlátozva van – a műtői asztal körbesétálása gyakran nem megengedhető idő, így adott pozícióból kell a lehető legnagyobb felületet leterítenie képekkel a rezidensnek. Ez

ahhoz vezethet, hogy egy oldalon jelentősen több kamera állás esik meg, míg a túloldalon hiány merül fel.

A mély beavatkozásoknál ez a probléma eleve kihívást okoz – a páciens és a telefon nem kerülhet túl közel egymáshoz, így gyakran a „belső” információk vagy más szervek takarásában lévő terek nem olvashatók be. Ezeknek a „pótlása” egy szakemberekkel történő, folyamatos konzultációt igénylő feladat.

Mivel egy műtét se reprodukálható, mindig az adott forrásból kell dolgozni, utólagos pótlásra nincs lehetőség.

3.1.1. Fotogrammetria alkalmazása

Ideális célnak kitűzve 40 kép és egy összefüggő lézerszkennelt 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. Ez általánosságban kevésbé részletgazdag eredményt és több manuális feldolgozást jelenthet.

A telefon automata módban készíti el a fényképeket, a helyzethez történő alkalmazkodás és a köztes idő csökkentése érdekében, 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.

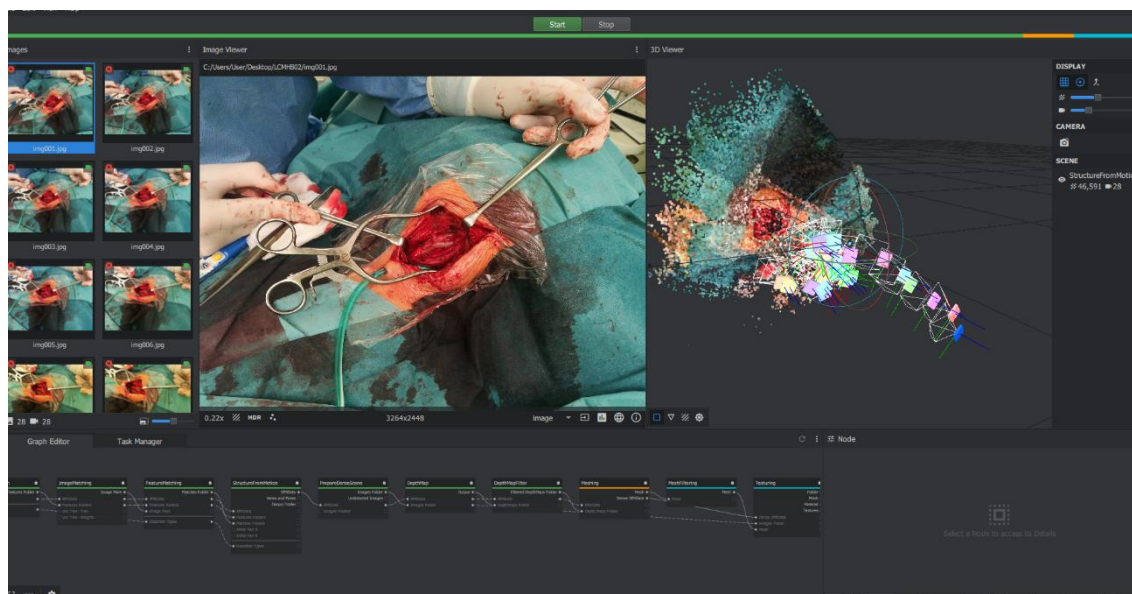
A nyersanyag nem reprodukálható, a teljes élethűség tekintetében minden kézzel, kizárólag általános anatómiai tulajdonságok alapján készült tartalom veszteséget jelez. Az alapanyag maximális kihasználhatóságára érdemes törekedni. Ebben nagy segítség lehet különböző mesterséges intelligenciát alkalmazó szoftverek alkalmazása. A YourAnastomosis lehetőséget biztosított a Topaz Labs szoftverekkel megismerkedésre. Ezek élesség javítás, zajcsökkentés, felbontás növelés és maszkolás folyamatokba integrálhatók, akár az Adobe Lightroom add-on elemeiként. Önálló szoftverként részletesen befolyásolhatók a mesterséges intelligencia műveleti (Gigapixel Ai, Sharpen Ai, Mask Ai, DeNoiseAi), azonban a Topaz Ai ezeket egyesíti, korlátozott befolyásolhatóság érdekében. A tapasztalatom szerint az utóbbival történő munka gyorsabb, azonban az eredmény közel olyan jó, mint a külön-külön folyamatként feljavított képeken. A Topaz Labs szoftverek képesek egyszerre több képpel is

foglalkozni, egyes javítási fázisok lefutási ideje pedig másodpercekben mérhető. Kevés nyersanyag esetén drasztikus minőség növelést eredményezhetnek, a képfeldolgozási folyamatba pedig könnyen integrálhatók.

A képfeldolgozás minden esetben önálló folyamat. Fotogrammetria szempontjából a legrészletesebb eredmény érdekében az árnyékok, visszacsillanások és kéretlen elemek (például a kép hátterében elmozduló személy, amely csak egy fotón jelenik meg) eltüntetése lényeges. Az „ellaposítás” történhet manuálisan, a Lightroom intelligensek képes az adott tulajdonságokat egy adott kép halmazon alkalmazni, akár maszkolás esetén is. Azonban gyors kép módosításokhoz a RealityCapture fotogrammetria szoftver ajánl egy egységesítési folyamatot is, amely során egy etalon képnek megfelelően alakítja a halmaz többi elemét is.

A különösen kéretlen kép elemek közé tartoznak a fém tárgyak is, sok esetben azonban egy seb helyzet fémmel rögzítve van nyitva tartva. Ilyenkor maszkolás és intelligens kitöltés segítségével csökkenthető az információ veszteség.

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

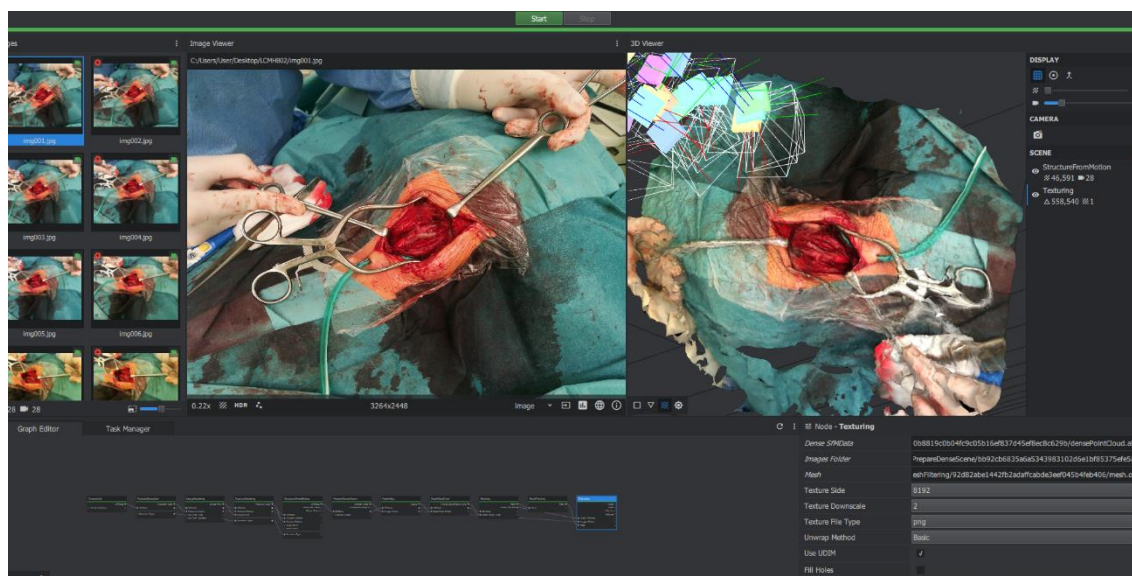


31. ábra Meshroom használat közben

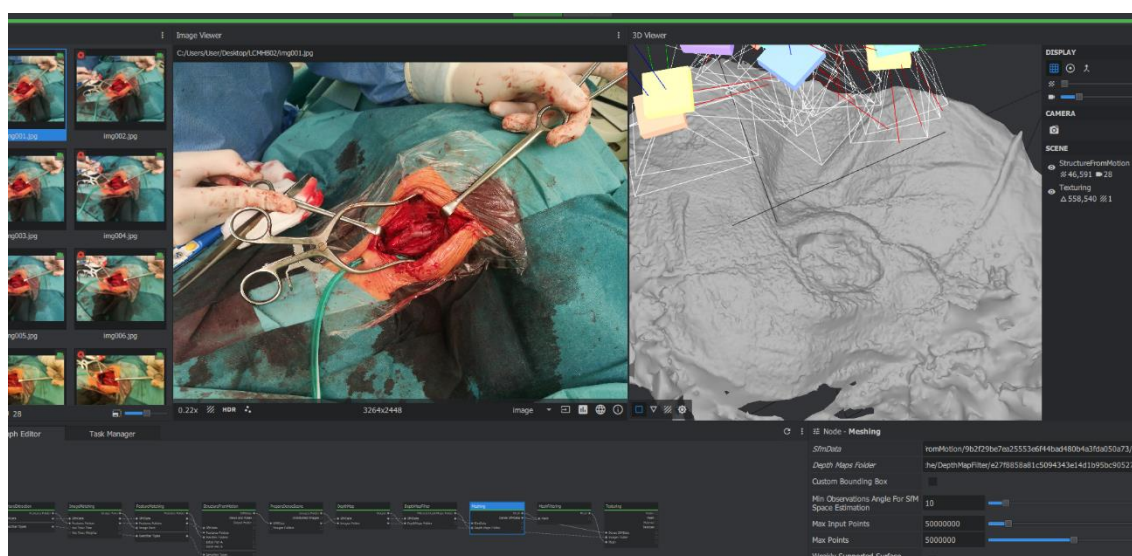
Node rendszerrel vizualizálja a folyamatot, illetve mivel nyílt forráskóddal rendelkezik, megfelelő szakértelemmel ideálisan célra szabható. Az alapvető funkcióival is számos

műveletre képes, azonban a lefutási ideje lassú, valamint informatikában nem járatos felhasználók számára a szabadsága korlátozott.⁵⁴

A végeredmény térhálója nagyságrendileg 500 ezer poligonnal szokott rendelkezni.



32. ábra A meshroom színes eredménye



33. ábra A Meshroom eredménye textúra nélkül

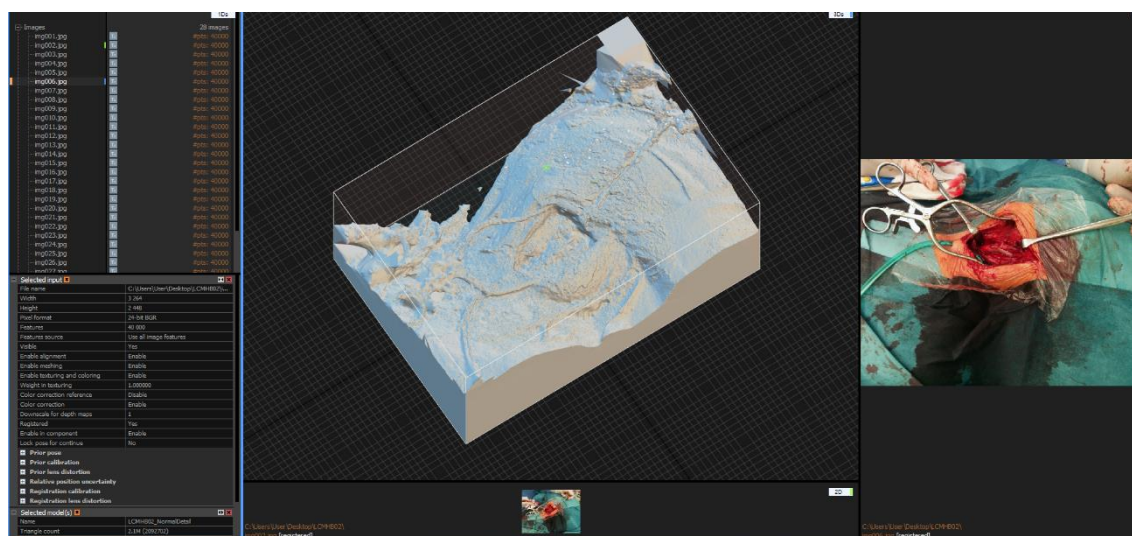
A RealityCapture nevű szoftver egy Pay Per Input rendszerrel rendelkezik, ami azt jelenti, hogy a forrásképek mennyisége alapján kell fizetni egy adott összeget. Mivel több ezer kép feldolgozására tervezték ezt a programot, így az árait is, ennek következtében a

⁵⁴ Alice Vision frame-work készítőjének hivatalos honlapja [<https://alicevision.org> 2022.10.29.]

számunkra rendelkezésre álló képek feldolgozása általában csekély (50 kép feldolgozása 1 USD alatti árral rendelkezik).⁵⁵

A Reality Capture egyik legnagyobb előnye, hogy a geometria befolyásolására és ellenőrzésére számos eszközzel rendelkezik, megnézi, hogy a topológia szempontjából korrekt legyen, vízzártságot is ellenőriz. Befolyásolható a felület és textúra minősége, 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 színtkorrekciós 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.

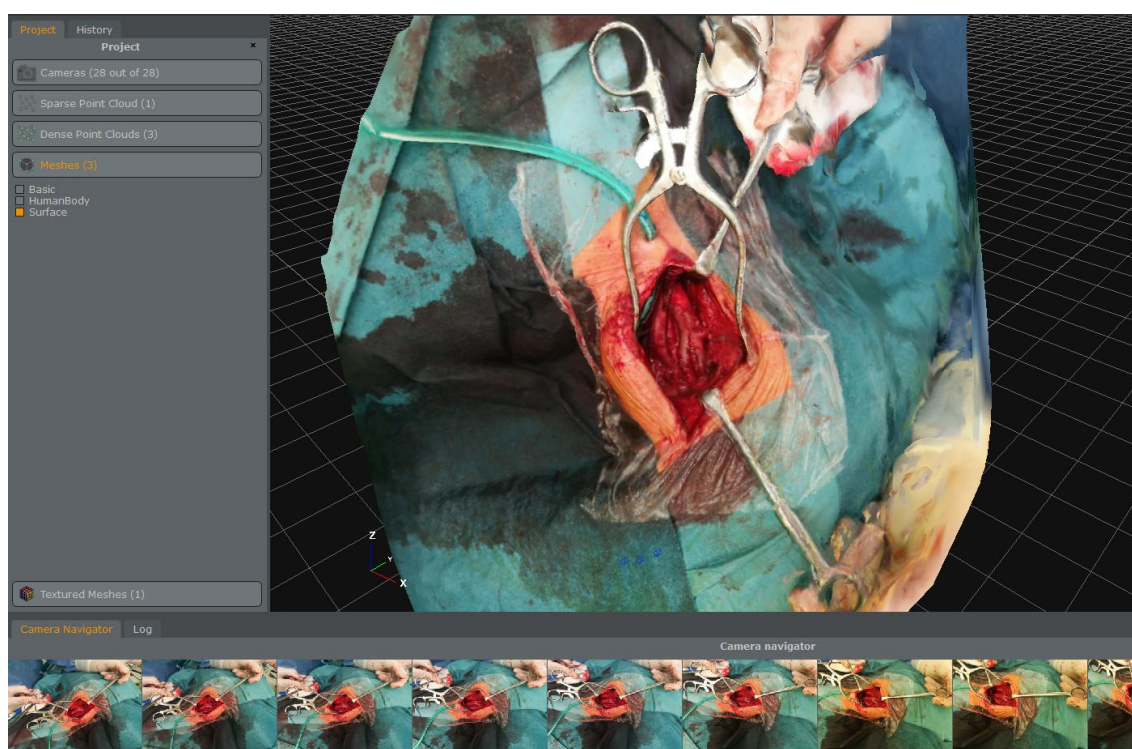


34. ábra A Reality Capture textúra nélküli eredménye

Emellett a megfelelő módon készített lézershátrányos adatokat és az általa elkészült fotogrammetrikus elemek képes összefűzni referencia pontok segítségével, megfelelő átfedés esetén akár egységes felületté. A három pontos illeszkedés történhet RealityCapture-ben vagy a nagyobb befolyásolhatóság érdekében CloudCompare-ben. Sajnos a műtői helyzetek gyakran nem adnak elég lehetőséget ennek az illesztésnek az elvégzésére.

⁵⁵ Reality Capture hivatalos honlapja [capturingreality.com 2022.10.29.]

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 születnek, azonban lehetőséget ad a beállítások további módosítására is⁵⁶.

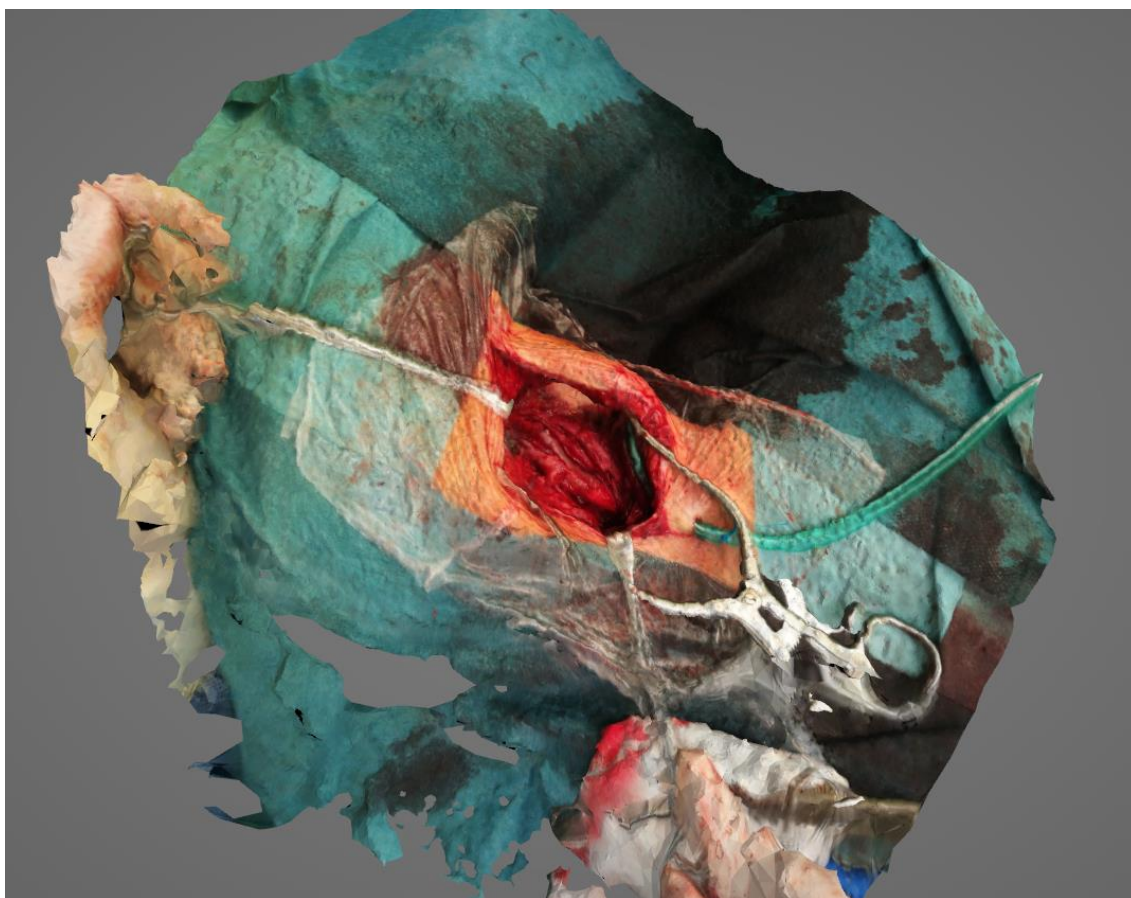


35. ábra A Zephyr3D használat közben

A fotogrammetria szoftverek eredményét egy obj és egy mtl fájlban szükséges exportálni a további alkalmazásokra.

Amennyiben van idő, egy gyors, alapbeállításokkal rendelkező lefutattása a programoknak segít megállapítani, hogy az adott forrásanyagnak az elemeit melyiknek az algoritmusuk képes a legideálisabban feldolgozni. Amennyiben erre nincs idő, általánosan a RealityCapture-t szoktam választani, a térháló befolyásolás előnyei miatt.

⁵⁶ 3D Flow hivatalos honlapja alapján [3dflow.com 2022.10.29.]

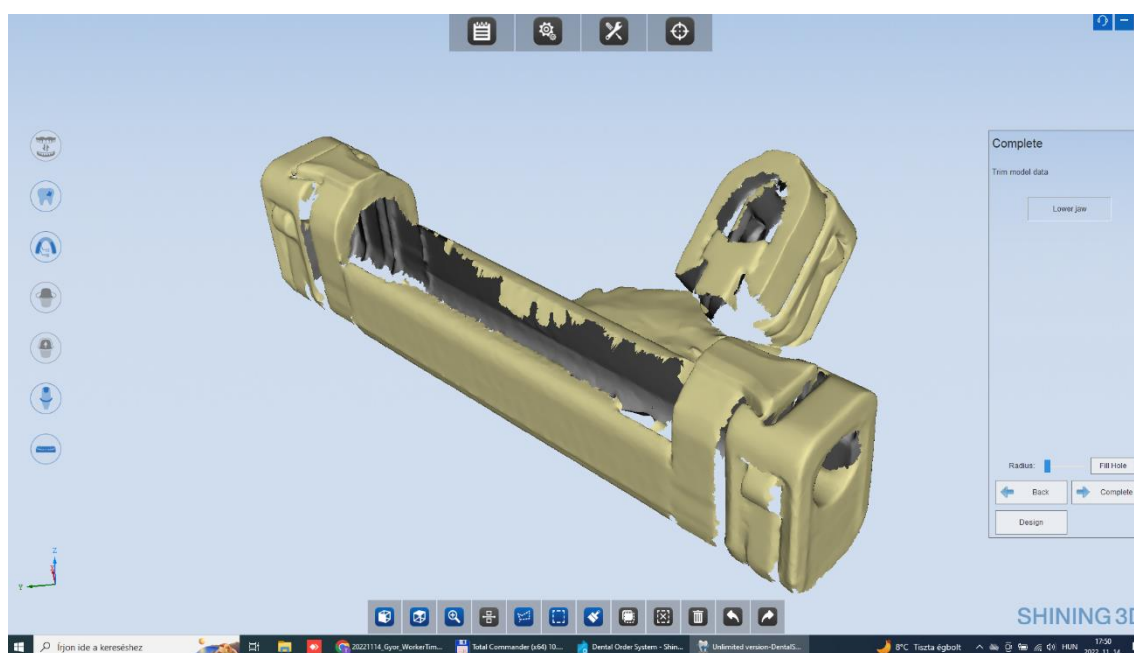


36. ábra Példa exportált eredményre

3.1.2. Ér belső és külső geometriája - forrásanyag

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 áramlástan elemzés is ez alapján készül, illetve a külső felület feldolgozása időigényes folyamat. Ennek az eljárásnak a kialakításában is részt vehettem, annak érdekében, hogy a rendelkezésre álló fotogrammetria és 3D szkennelés eszközparkot a lehető legjobban megismerhessem, valamint annak érdekében, hogy az ér külső geometriáját alkalmazhassam a megértést segítő tartalmak elkészítéséhez is.

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.



37. ábra Példa egy műérre, amely a fehér, műanyag értartóban elhelyezve, felületkezelés nélkül lett beszkenelve

Az ilyen esetekre megoldást szolgáltatnak a szkennerek sprayk. Ezek matt fehér réteggel fedik le a felületet, így elfedve az olyan anyag tulajdonságokat, amelyek a felület beszkennelését hátráltatják, mint például a csillogás vagy fényáteresztés⁵⁷. 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.⁵⁸

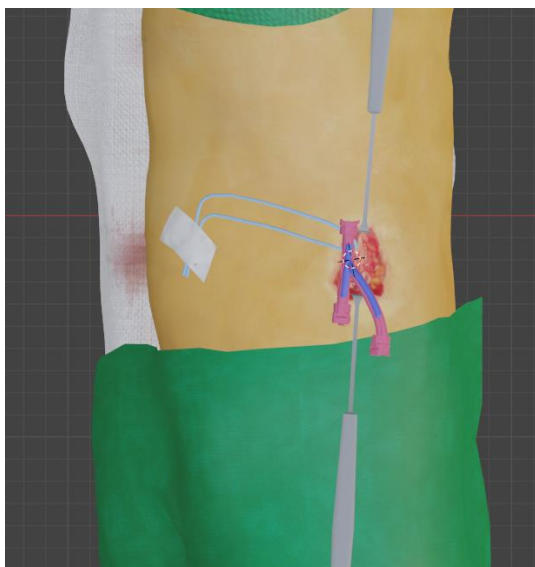
Számukra fontos, hogy a felület változatlan maradjon, lehetséges további információgyűjtés céljából. A technológia kipróbálásához a FabConstruct 3D-szkennerek mattító sprayt (L500) alkalmaztuk, valamint kipróbáltunk egy Centro Chem repedés vizsgáló aeroszolt, mely szintén vékony, matt fehér réteget képez a tárgy felületén. A két spray eredményének összehasonlítása további munkát igényel, azonban ígéretes eredményt mutattak.

⁵⁷ A. V. Burde, D. Ducea, S. Cuc, M. Moldovan, R. S. Campian 2016. Three - dimensional Evaluations of the Coating Thickness of Two Optical Conditioning Scanning Sprays

⁵⁸ 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)

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

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



38. ábra Az AVF-P szimulátoron varrt ér belső és külső geometriája egymás felé illesztve, illetve vizuális segítségként az AR-re készült modell

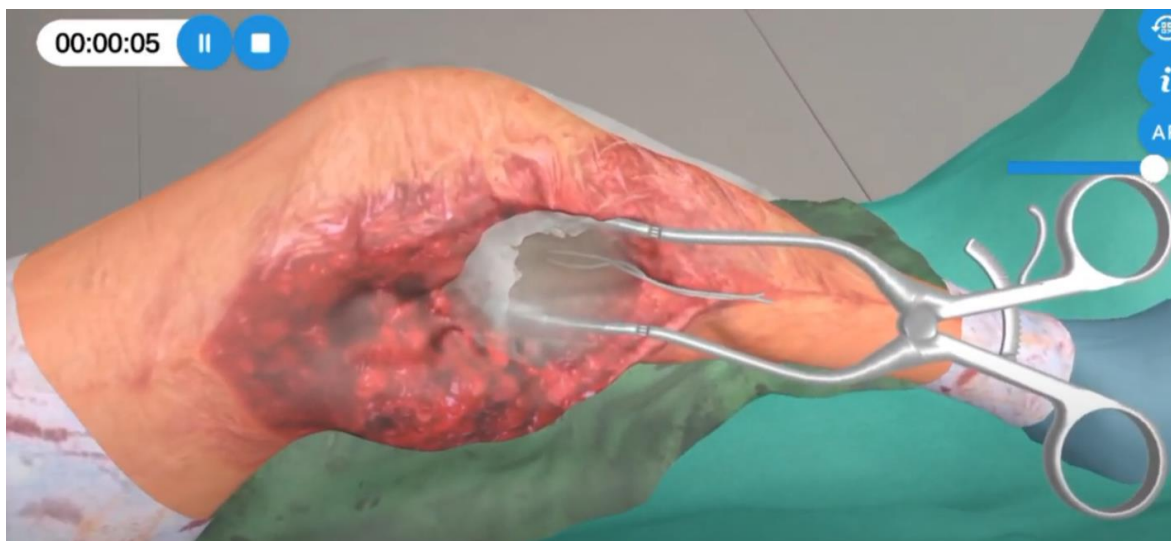
3.1.3. Jelenet összeállítás

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 lézershennelt adat, ezeket összefűzzük. Három pontos illesztés alkalmazva lehet a két felületet a legjobban egymáshoz közelíteni,

segítségünkre van a CloudCompare algoritmus is ilyenkor. A hibák javítása manuálisan történik.



39. ábra Példa applikációban betöltött AR jelenetre

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.

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 kétdimenziós 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 újratopológizálással 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

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.

A jelenlegi előrehaladásomnak megfelelően, illetve az időszűke következtében a kiterjesztett valóság elemek még nem kerültek lefejlesztésre a Unity videójáték-motoron belül. Az egyes modellekhez tartozó már korábban elkészített AR jelenetek a Demo Kit tartalmán is alkalmazhatóak, amely elhelyezi az emberi testen az adott szimulátort.

Az összeállítás és az applikációval történő összekötés is Unity-ben történik.

3.1.4. 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 történhet, amely egy papír alapú információs szóróanyagon kap helyet.

Mivel a nyomtatásra készült modellek rendelkezésre állnak, ezért kizárólag három lépésen szükséges, hogy átessenek:

- topológia optimalizálás és térháló csökkentés,
- textúrázás,
- elrendezés.

A térháló csökkentése részletekre bontva történhet automatizáltan csak. Az organikus és szabályos felületek találkozásait az újratopológizáló algoritmusok nehezen értelmezik és kéretlen eredményt nyújtanak. Érdeemes éles szög váltások mentén, valamint egységileg eltérő területeken (pl. a seb terület leválasztása a retraktorról történő találkozás helyénél) külön kezelni a topológiát, manuálisan meghatározni annak az irányát és úgy illeszteni össze ismételt egységgé.

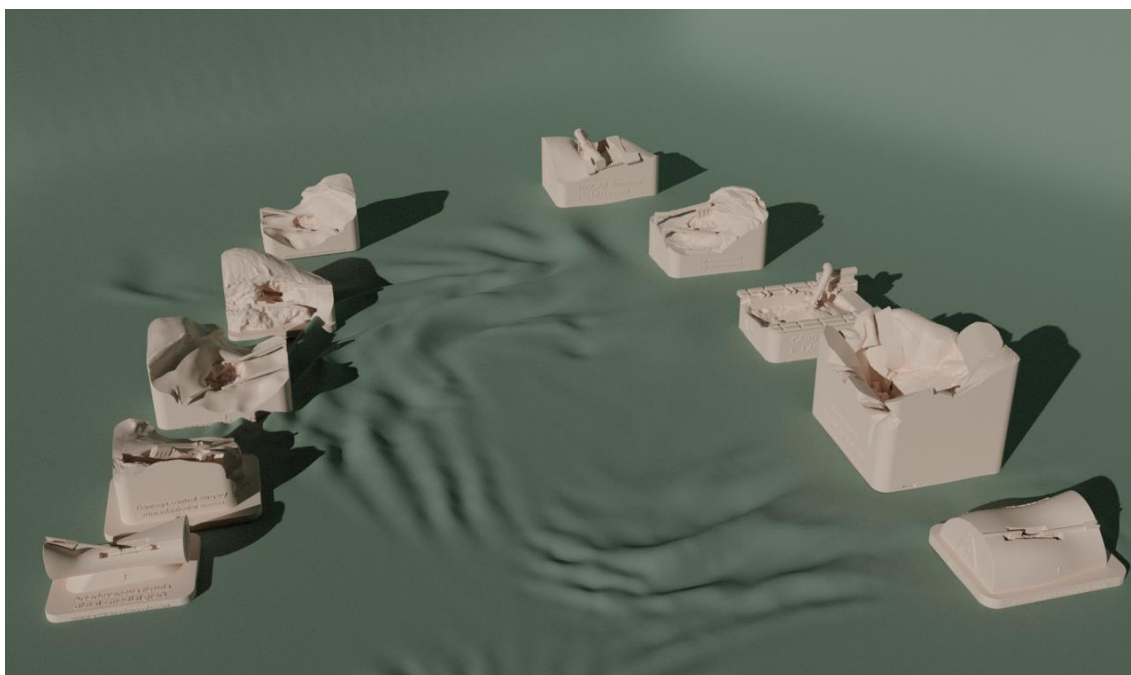
A textúrák továbbra is kép alapon kell, hogy tárolódjanak. A YourAnastomosis szimulátorai mind 3D nyomtatással készülnek, így elégséges egy anyagot megalkotni. Ez történhet manuálisan, de ilyen anyagok elérhetők, akár az interneten is. A legpontosabb

módszer a valós modellekről történő beolvasás lenne egy DSLR kamera és fotogrammetria alkalmazásával, azonban ilyen „seamless” (törés nélkül korlátlan mennyiségben egymás mellé helyezhető) textúrák elkészítése, akár 20-30 munkaórát is igénybe vehet, míg a manuálisan készített, akár festett anyagok megfelelő eredményt adhatnak. Erre a Blenderen és Photoshopon is van lehetőség. Külön nehézséget okozhat a PLA anyag fényvisszaverése és az apró textúra részletek beolvasása.



40. ábra Látványterv

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. Azonban ennek kifejlesztése már fejlesztői készségeket igényel, a termék fejlesztés további szakaszaira tolódik.



41. ábra Az AR katalógus egy lehetséges elrendezése

3.1.5. Ér belső-külső morfológia illesztés

Az ér belső és külső alaktani képét összefűzni két különböző módon lehetséges: az egyik a hagyományos 3 pontos illesztés, amelyet modellező szoftvereken belül lehetséges megcsinálni, akár manuálisan, akár algoritmusok segítségével, a másik pedig az azonos pozícióban történő digitalizálás. Az utóbbi nehézsége, hogy ehhez eset specifikus digitalizáló állványok kellenek, melyek az érimitációkat a megfelelő referencia pontoknál rögzítve tartják, azonban mivel a digitalizálás egy adott műszerrel történik, az összeillesztés könnyebb lesz, hiszen ugyanazon koordinátarendszeren belül kerülnek rögzítésre a térhálók.

Egy szkennelt ér, akár 100 ezres nagyságú poligonszámmal is rendelkezhet. Ennek az újrahálózása egy viszonylag gyors folyamat, a Blender beépített remesh parancsa is elérhet megfelelő hálót amennyiben gyors eredmény kell, azonban ez háromszög hálót eredményez.

Textúra szempontjából az ér külső falára a YourAnastomosis által biztosított textúrát alkalmaztam, amely kifejezetten az öntött artériás ereik számára készült, az anyag tulajdonságainak megfelelően. A belső fal számára egy rózsaszín, egyöntetű műanyagot használtam.

A különböző sorrendben történő megjelenítésekkel is foglalkoztam, annak érdekében, hogy intuitívan kommunikálja a felhasználó felé a modellek tartalmát. Az áramlástanai modellt egyelőre nem sikerült összefűznöm. Ezeknek a megjelenítése egy folyamatos fejlesztés, amiben a Vascular Modelling Toolkit lehet nagy segítségemre a jövőben.

AR jeleneteken belül műtéti helyzetben és a szimulátorban is elhelyezem őket, hogy a felhasználó teljes képet kaphasson, hogy a környezettől a szimulátorig, valamint a varrástól a belső alaktanig és áramlástanai szimulációig hogyan jut el az érimitáció.



42. ábra Az ér külső- és belső geometriája (3D modell), illetve a hozzá tartozó áramlástanai kép

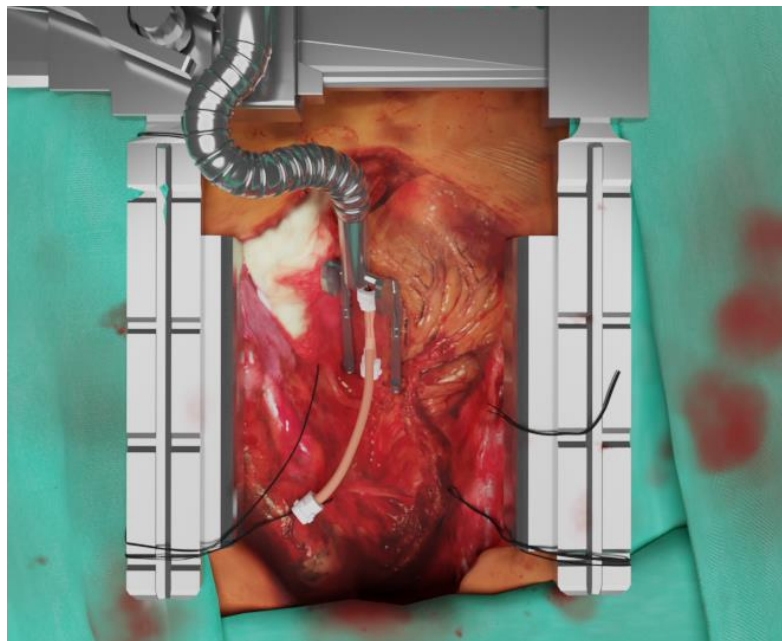


43. ábra Erek lehetséges megjelenése kiterjesztett valóságként

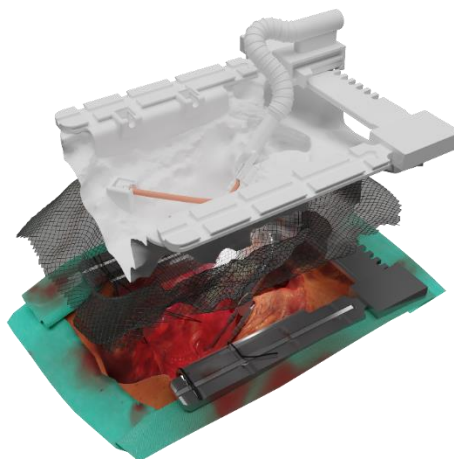
Mivel a Demo Kitek kipróbálásakor nem rendelkezik a felhasználó analízissel, így a személyre szabott ér külseje és belseje számunkra se áll rendelkezésre. A továbbiakban

bemutatásra kerülő QR könyv azonban tartalmazni fog egy példa-eret, amelynek példáján követheti a potenciális vásárló, hogy mi is történik pontosan, illetve a hozzátartozó fájlokat beolvashatja.

Továbbá készítettem olyan jelentet is, ahol az értartó és műér megfigyelhető egy kiterjesztett valóság jelenetben, így az összekapcsoltságot megerősítve, illetve vizuálisan elhelyezni, egy ilyen szabályos eret egy valós műtét digitális másán.



44. ábra A műér és az AR modell elhelyezése



45. ábra További lehetséges jelenet, amely a szimulátort, a térhálót és az AR modellt mutatja

3.2. QR füzet

A YourAnastomosis teljes terméke során az információs tartalmak három módon jutnak el a felhasználóhoz:

- egy brossúra, amely a csomagolás felső felében helyezkedik el,
- a weblap, amely egy QR kód beolvasásával és az interneten keresztül is elérhető
- az AR tartalmak tálcákon elhelyezett QR kódokkal érhetők el, amelyek a szimulátor megfelelő pontján illeszthetők, hogy pontosan illeszkedjenek a felületre.



46. ábra A QR füzet első látványterve

A Demo Kit során ezek az információk is elérhetőek kell, hogy legyenek. Erre a célra egy papír alapú eszközt szerettem volna tervezni.

A célom az volt, hogy a már megtervezett csomagolásokon belül könnyen teret kapjon. Így a magassága szükségszerűen kisebb, mint 2 cm, a szélessége kisebb, mint 8 cm, a hossza pedig az elhelyezkedéstől függ, ennek a felső határa 4 cm, ugyanis a két szimulátor specifikus termékminta csomagolásában ez a legnagyobb lehetségesen elférő hossz.

A füzet tartalma végig vezet a user journey-n (felhasználói folyamaton), onnantól kezdve, hogy az applikációba regisztrálás hogyan történik. Bemutatja a weblap alapvető funkcióit és elérési útvonalat ad QR kódok segítségével. A füzet kiteríthető, egy oldalán grafikus

tartalmakkal és célszavakkal segíti a megértést, illetve írja le a kódon beolvasható tartalmat röviden. Méretéből adódóan az írásbeli tartalmaknak célratorőnek kell lennie, így ennek pontos kialakításához creative-writingban (kreatív írásban) jártas személy segítsége szükséges.

A jelenleg ide fejlesztett tartalmakkal így együtt tartalmaz:

- információt arról, hogy mi a termék funkciója,
- miként működik az analízis és az hogyan jut el a felhasználóhoz,
- a szimulátorról, miként épül fel, a műerek hogyan helyezkednek el benne, cserélhetőségük,
- a műerek külső-belső képét és azoknak a vizuális összecsatolását, egyelőre egy etalon varraton bemutatva,
- valós szimulátorok eseteinek AR jelenete, környező műtővel és nélküle,
- a műerek elhelyezkedése egy valós eseten alapú AR jelenetben.

Ezeknek a pontos kidolgozása további közös fejlesztés lesz, amelyhez szükséges egy grafikus szakértelme. A kötészeti részletek kidolgozása érdekében pedig az adott nyomdával szükséges felvennem a kapcsolatot.



47. ábra A QR füzet végleges látványterve

Összefoglalás, következtetések, javaslatok

A dolgozatom során a Pécsi Tudományegyetem 2022 őszén tartott Tudományos és Művészeti Diákköri Konferencián bemutatott munkámhoz képest úgy érzem sikerült a kitűzött irányokba előre vinnem. A tervezési feladat és a Demo Kit témaköre még csak egy induló löketet kapott, az eddig elvégzett munkám során közelebb kerültem ahhoz, hogy ezen az érsebészeti oktatóeszközön keresztül közelebb juthassak egy valós terméktervezői folyamat megértéséhez. A termékmintának kidolgozása ezen adott produktum értékeiben elmélyített, azonban ezen dolgozva olyan ismereteket szereztem, amelyeket a karrierem során nagymértékben hasznosítani tudok. Mivel az egészségügyi mérnök irány kifejezetten vonzz, így különösen örültem, hogy az egészségügyi szakember jellegzetes világával és igényeivel megismerkedhettem, valamint egy aktívan fejlődő és témába vágó cég csapatát erősíthetem.

A szakdolgozatom egy kiváló kezdet egy iteratív terméktervezési folyamatnak, aminek folyamán megtudtam mik a felhasználók számára a nehézségek és számomra milyen eszközök állnak rendelkezésemre, amikkel segíthetem őket.

A továbbiakban a munkám folytatása érdekében felveszem a kapcsolatot a nyomdával, illetve grafikusokkal, hogy az anyagokat véglegesíteni lehethessen. Annak érdekében, hogy a felhasználók számára gördülékeny lehessen a megértés, további felmérések szükségesek, amelyben visszajelezhettek, melyek azok a részek, amik további tartalmakat igényelnek.

A kiterjesztett valóság elemek kapcsán informatikusokkal és az applikáció fejlesztőkkel szeretnék tovább haladni. Úgy gondolom, hogy az interaktív funkciók beépítése egyszerű lehetőség lenne, amely a felhasználók számára további információkat juttathatna el. A térbeli modellek ikonná tételével lenyíló menük adhatnék meg a rögzített információkat az adott szimulátorokról az AR katalóguson belül, illetve akár a rendelés is történhet egy innen következő menüből. Az áramlástan animációk és oktató anyagok kiterjesztett valóságon keresztüli elérhetősége szintén egy izgalmas irány.

Az általam elkészített prototípusok kifejezetten értékes eredményeket hoztak, kipróbálhattam olyan új technikákat, amelyekre korábban nem volt lehetőségem, valamint a felhasználóktól egyenesen kaphattam visszajelzést.

A dolgozatom során több felmerült termékminta irányt sikerült egy szűk, tesztelhető mennyiségű verzióra szűkítenem, majd a YourAnastomosis munkatársaival egy véglegeset választanom objektív és szubjektív tulajdonságokat figyelembe véve. Ez a verzió kreatívan használja fel a már rendelkezésre álló eszközöket és egészíti ki a felhasználói élményt. A komplex termék és szolgáltatás működése, funkciója és értéke átadható vele, a lehetséges vásárlókhöz pedig könnyen szállítható. Akár konferencia keretében vagy az otthonuk kényelmében megkaphatják vele a vevői érték koncepcióját és a YourAnastomosis által nyújtott előnyöket.



48. ábra Demo Kit prototípusok teszteléskor

Ábrajegyzék

1. ábra:	1. ábra YourAnastomosis terméke használatban	12
2. ábra:	2. ábra Csomagolás, rigid tálcás rendszer	13
3. ábra:	3. ábra Szimulátor helye	14
4. ábra:	4. ábra Egy anasztomózis gyakorló levél.....	18
5. ábra:	5. ábra A Mycro Suture termék felépítése	19
6. ábra:	6. ábra RealityCapture, fotogrammetria szoftverrel elkészített domborzat és a hozzátartozó kép alapú textúra.....	27
7. ábra:	7. ábra Nagy poligon számú modell textúra vetítése alacsony poligonszámúra	33
8. ábra:	8. ábra PLA modell PVA támaszokkal	38
9. ábra:	9. ábra Az értartók ábrája, elhelyezett műerekkel.....	43
10. ábra:	10. ábra Kezdetleges vázlatok.....	44
11. ábra:	11. ábra A teljes szimulátorok, MIDCAB és AVF-P.....	45
12. ábra:	12. ábra A MIDCAB szimulátor és a termékminta oldalnézete	46
13. ábra:	13. ábra A MIDCAB szimulátor felülnézete, a vágott termékmintával.....	46
14. ábra:	14. ábra A 3D nyomtatással elkészült prototípus.....	47
15. ábra:	15. ábra A modell alja, a kiemelő lyukakkal és tapadó korongokkal	47
16. ábra:	16. ábra Két szimulátor a demonstrációs verziójukkal	48
17. ábra:	17. ábra A műér pozícióban tartásának működési elve	49
18. ábra:	18. ábra Teríték rajz az AVF-P modellhez	50
19. ábra:	19. ábra A három típus bemutatása és azoknak megjelenése a doboz tetején, illusztráció.....	51
20. ábra:	20. ábra A belső doboz stancrajza, méretezve bal oldalt, grafikai elemekkel jobb oldalt	52
21. ábra:	21. ábra A borítás stancrajza	52
22. ábra:	22. ábra Látványterv	53
23. ábra:	23. ábra A csomagolás robbantott ábrája	53
24. ábra:	24. ábra A nyomtatott modell elhelyezkedése a csomagolásban.....	54
25. ábra:	25. ábra A hajtogatott modell a csomagolásban	55
26. ábra:	26. ábra Ábra a csomagolás "röntgen" nézetéről	55

27. ábra:	27. ábra A bemutatott prototípusok	56
28. ábra:	28. ábra Rezidensek a prototípusok kipróbálása közben	56
29. ábra:	29. ábra Varrás a 3D nyomtatott prototípusokon.....	57
30. ábra:	30. ábra A különböző verziók.....	58
31. ábra:	31. ábra Meshroom használat közben.....	63
32. ábra:	32. ábra A meshroom színes eredménye.....	64
33. ábra:	33. ábra A Meshroom eredménye textúra nélkül.....	64
34. ábra:	34. ábra A Reality Capture textúra nélküli eredménye.....	65
35. ábra:	35. ábra A Zephyr3D használat közben	66
36. ábra:	36. ábra Példa exportált eredményre.....	67
37. ábra:	37. ábra Példa egy műérre, amely a fehér, műanyag értartóban elhelyezve, felületkezelés nélkül lett beszkenelve	68
38. ábra:	38. ábra Az AVF-P szimulátoron varrt ér belső és külső geometriája egymás felé illesztve, illetve vizuális segítségként az AR-re készült modell	69
39. ábra:	39. ábra Példa applikációban betöltött AR jelenetre.....	70
40. ábra:	40. ábra Látványterv	72
41. ábra:	41. ábra Az AR katalógus egy lehetséges elrendezése	73
42. ábra:	42. ábra Az ér külső- és belső geometriája (3D modell), illetve a hozzátartozó áramlástanai kép	74
43. ábra:	43. ábra Erek lehetséges megjelenése kiterjesztett valósággént	74
44. ábra:	44. ábra A műér és az AR modell elhelyezése.....	75
45. ábra:	45. ábra További lehetséges jelenet, amely a szimulátort, a térhálót és az AR modellt mutatja	75
46. ábra:	46. ábra A QR füzet első látványterve	76
47. ábra:	47. ábra A QR füzet végleges látványterve	77
48. ábra:	48. ábra Demo Kit prototípusok teszteléskor.....	79

Táblázatjegyzék

1. táblázat Gyártással kapcsolatos tulajdonságok táblázatba szedve.....	59
2. táblázat További tulajdonságok teljesülése	60

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*

Cathy Newman (2018) *Digital Cadavers are replacing real ones. But should they?*
National Geographic hivatalos weblapja [2022.12.28.]

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., Jámberi A., Kocsis Á. 2016. *Virtuális és kiterjesztett valóság az ELTE Informatikai Karán*

Dobján T., Dobjánné 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 Furute 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

Mellékletek

Megnevezés	Fájl neve
Demo Kit modellek	Simulators.glb
AR katalógus	Virtual_Catalouge.glb
Végső QR könyv modellek	QR_book_Glued.glb
Műér AR jelenetben	Vessel_In_Scene.glb
Beszkenelt külső és belső érfalak, illszetve	Vessel_Inner_Outer_Visual.glb
A síkbeli Demo Kit	DemoKit_V3_paper_Render_Full_Package.glb
AR vizualizációk	CutOutView_LAD_IM.glb
3D nyomtatni való MIDCAB Demo Kit	DemoKit_V1.2_3Dprint_MIDCAB.stl
Grafikai elemek	Grafika1.png ... Grafika4.png
Stanc rajzok a sík modellhez	SikStanc1.png, SikStanc2.png
Térbeli hajtogatott modellek stancai	DemoKit_V2_paper_MIDCAB01.pdf, DemoKit_V2_paperAVFP.pdf
Felhasznált CFD kép	catalog_cfd_05.png
Látványtervek	Visual1.png ... Visual17.png
Prototípusok	Prototype1.jpg ... Prototype8.jpg
Magyarázó ábra erek találkozásához	erektalalkozasa.png