

Sipos Levente Zsigmond

Éhes szem; az életre kelt effekt

*Generatív mozgó részecskeszimulációk,
mint kiterjesztett képgrafikus struktúrák*

Doktori értekezés

Témavezető:

Dr. habil. Somorjai-Kiss Tibor DLA

Társ témavezető:

Dr. habil. Előd Ágnes DLA

Magyar Képzőművészeti Egyetem Doktori Iskola

2025. Budapest

Előszó gyanánt: A grafikus fenomén

2018-ban Milorad Krstić-el fényeltük¹ a *Ruben Brandt, a gyűjtő* című filmet. A fényelési munkafázis során, sokszor maszkok segítségével különítettünk el részleteket. A maszkok ellenőrzésére az operátor át-át kapcsolta a látványt fekete-fehér, erősen kontrasztos maszk nézetbe, ellenőrizendő, hogy helyesen lett leválasztva a célterület. Miloraddal egyszerre hőköltünk hátra, a grafikus jellegű maszk láttán, mintha a kép belső szerkezete tárult volna fel, felismerhetőek voltak az eredeti képelemek, de a maszkok rendszere mintha egy második, addig láthatatlan világot tett volna láthatóvá.

A Magyar Képzőművészeti Egyetemen képgrafikusként végezve számomra a közvetett, dúcra nyomtatott képgrafikai jellegű művekben nem elsősorban a sokszorosíthatóság volt izgalmas, hanem az az összetett struktúra, melyet a dúcon létrehozhattunk különféle fizikai és kémia eljárások során. A dúcon létrehozott struktúrán volt több elem, mely a végleges nyomaton már nem jelent meg, de a nyomtatott kép létrejöttéhez szükséges volt.

Az egyetem elvégzése után találkozáskor az akkoriban tér hódító² digitális képalkotás és a generált képek világával, hasonló rácsodálkozással bámultam a nézetablakban megjelenő drótvázakat, szimulációs pontthalmazokat, melyekkel még a végleges képsorozat generálása előtt dolgoztunk, és a renderelt kép³ valódi szerkezetét mutatta. Nekem ez az absztrakt váz szebb volt, mint a realisztikus leképezés ...

Doktori értekezésem témaválasztását meghatározta e csodálat a „*grafikus fenomén*” meg-elevenedő formái iránt. Az előszóban ez az érzelmi attitűd talán megbocsátható, hiszen közvetett „képépítési” folyamatról lévén szó, az értekezés nagy részében amúgy sem lehetett elkerülni a műszaki terminológia relatív túlsúlyát.

¹ *Color Grading*: a kép egységes világosság, kontraszt és színbeállítása stúdió körülmények között.

² 90-es évek, még alacsony felbontású pixelképek, első 3D programok elterjedése

³ A beállított paraméterek szerint virtuális képet vagy képkockát generál és rögzít a program.

Tartalomjegyzék

Előszó gyanánt: A grafikus fenomén	2
Tézisek / Thesis	4
Absztrakt / Abstract	6
Bevezetés	8
1. A nyomódúc felületek és generált struktúrák kapcsolata	12
1.1. <i>A grafikai nyomódúc felületképzés vizsgálata</i>	14
1.2. <i>Generált struktúrák megjelenése művészi kifejezőeszközként</i>	24
2. Generatív vizuális rendszerek stilizált alkalmazása	35
2.1. <i>A pontfelhő</i>	37
2.2. <i>A részecskeszimuláció, mint vizuális effekt</i>	40
2.3. <i>Mozgóképek és animáció</i>	45
2.4. <i>Particle Art – Evolutionary Art</i>	49
3. A kortárs reprezentáció lehetőségei	54
3.1. <i>Screen: streaming média, webklip, NFT</i>	55
3.2. <i>White Cube: kiállítás és installáció</i>	58
3.3. <i>Eredeti, eredeti másolat, másolat, és az NFT</i>	62
4. Az experimentalizmus művészi lehetőségei és korlátai	64
4.1. <i>Technikai és tudományos kísérletezés a művészetben</i>	66
4.2. <i>Nyitott mű – mozgásban lévő mű – interakció</i>	70
5. Művészi absztrakció és generált kép dilemmája	74
5.1. <i>Absztrakció és effekt a digitális animációban</i>	78
5.2. <i>Statisztika versus kreativitás</i>	81
5.3. <i>Jóslatok</i>	84
6. Összegzés	86
7. Mestermunka ismertetése	88
8. Irodalomjegyzék	99
9. Képek jegyzéke	105

Tézisek / Thesis

- I. A komputer animációs eszköztárban használatos generatív részecskeszimulációs rendszerek limitált és stilizált használata grafikai központú művek létrehozásához, **a képgrafikus esztétikát és alkotómódszert mozgóképes médiumra kiterjesztő alkotói módszernek tekinthető.** Közvetett képépítési folyamatként és a paraméterek teljes kontrolljával **a digitális generatív eszköz is biztosíthatja a művész számára a műalkotás létrehozásához szükséges absztrakciós szintet.**
- II. A generált grafikus alapelemek létrehozásához és irányításához szükséges külső adatforrások tudatos, konceptuális kiválasztásával, illetve a szimuláció futását, mint a mű alapvető szervező erejét használva, így az effekt funkciót meghaladva, **a részecskerendszerek önálló képalkotó tartalmi elemmé alakulhatnak.**
- III. **Az, a szakmai vitákban – a komputer art születésétől egészen a mai napig – visszatérő gondolat, hogy a komputer kreatív alkotótárs lehet, a működési mechanizmusok pontos ismeretében és visszafejtésével cáfolható.** Egy képek generálására képes program komplexitása miatt művészi gyakorlatban is remekül alkalmazható, sokszor kreatív megoldásokat lehetővé tévő eszköz, de társalkotóként semmiképp nem definiálható, mert tudatos alkotói szándékkal és felelősséggel nem rendelkezik.

- I. **The limited and stylized usage of generative particle simulation systems in computer animation tools for the creation of graphic-centred works can be seen as a creative method** that extends the graphic aesthetics and creative methodology of image graphics to the moving image medium. As an indirect image-making process and with the complex controllability of parameters, the digital generative tool **can also provide the artist with the level of abstraction required to create a work of art.**
- II. By consciously and conceptually selecting external data sources necessary for the creation and control of generated graphic base elements, and by using the simulation's operation as the fundamental organizing force of the artwork—thus going beyond the mere effect function—**particle systems can become autonomous, image-generating components with their own conceptual content.**
- III. **The recurring notion in professional debates—from the birth of computer art to the present day—that the computer could be a creative co-author can be refuted through a precise understanding and deconstruction of its operational mechanisms.** Due to the complexity of programs capable of generating images, they can be effectively used in artistic practice and often enable creative solutions. However, they cannot be defined as co-creators, as they lack conscious artistic intention and responsibility.

Absztrakt / Abstract

Értekezésem a művészi absztrakció és generált kép közötti dinamikus, néhol ellentmondásos kapcsolat vizsgálatáról szól. A téziseket alátámasztó technikai, esztétikai és konceptuális érvek körbe érnek.

Először az eszközként használt generált effekt művészi irányíthatósága, stilizálási és absztrahálási lehetősége mellett érvelek, mely elsősorban nem a munkafolyamat felgyorsítását szolgálja, hanem inkább további kreatív döntések elé állítja a művészt.

Az alkotási folyamat során a művész, ismerve az algoritmusok által létrehozott képek esztétikai értékét, alkotói döntéseinek körébe beemeli a generatív folyamatok használatának megfontolását, akár a mű tartalmi szervezését illetően is. Az így készült művekben maga az iteratív⁴ egyenlet válik tartalmi képépítő elemmé. Ezzel a döntéssel a művész csak a közvetett képalkotási lépéseket engedi ki a kezéből, de továbbra is a mű kezdeményezője (alkotója) marad, visszalépve egy kiindulási szabályokat meghatározó és szelektáló szerepbe, ahová sok esetben meghívja a nézőt is.

A technológia fejlődése újabb, addig nem létező látványok létrehozását lehetővé tevő eszközt ad a művész kezébe. A művészetben viszont nem értelmezhető a fejlődés technikai értelemben, az alkotói folyamat minősége független az alkalmazott technológiától. Végül az emberi gondolat és gesztus marad érdekes a generatív műben is.

⁴ Több lépésben történő számítási művelet, ami az előző művelet eredményén ismételten elvégzi ugyanazt a műveletet, ezzel fokozatosan finomítva a végeredményt.

My dissertation explores the dynamic and sometimes contradictory relationship between artistic abstraction and the generated image. The technical, aesthetic, and conceptual arguments supporting the theses form a cohesive whole.

I first argue for the artistic controllability, stylization, and abstraction potential of generated effects used as tools—an approach that does not primarily aim to accelerate the workflow but rather presents the artist with further creative decisions.

During the creative process, the artist—recognizing the aesthetic value of images generated by algorithms—includes the use of generative processes among their artistic choices, even with regard to the structural content of the artwork. In such works, the iterative equation itself becomes a compositional and meaningful visual element. With this decision, the artist relinquishes only the indirect steps of image creation, while remaining the initiator (creator) of the work, stepping into a role that defines and selects the initial rules—often inviting the viewer into this role as well.

The development of technology provides artists with tools to create previously non-existent visual forms. However, progress in art cannot be understood in a purely technical sense—the quality of the creative process is independent of the technology employed. At the end of the day, human thought and gesture remain interesting in any generative work.

Bevezetés

Doktori disszertációmban generatív eszközökkel létrehozott animált, grafika központú műalkotások lehetőségeit vizsgálom, mint a hagyományos képgrafikus struktúrák kiterjesztését, illetve az algoritmusok használatával létrehozott „effekt”⁵ kép-, illetve műtárgyalkotó képességét.

Célom a tárgyalt közvetett képalkotó technikák részletes bemutatásával, hogy rámutassak; e kreatív technikai eszközök használatával a művész képes irányított, akár a véletlent szándékosan felhasználó művészi absztrakció létrehozására. Az első és a második fejezet részletesebb technikai leírásával a módszerek általános hasonlóságát szándékozom bemutatni a felhasználó művész szempontjából. További célom a szakmai pályafutásom alatt tapasztalt művészi és technikai nézőpont közötti ellentét vizsgálata és a lehetséges egyensúly újragondolása.

A tézisek meghatározásánál fontosnak tartottam olyan, időről időre újra felbukkanó dilemmákat felvetni, amelyeket a napi szakmai munkám során én is több esetben feltettem magamnak, és amelyekre személyes gyakorlati tapasztalataim alapján válasz születhetett.

Értelmezésem szerint a „grafikus effekt” és az „önálló képalkotó eszköz” közötti határvonal a helyettesíthetőség vagy elhagyhatóság, illetve más által előre elkészített beállítások direkt használata. Amennyiben egy vizuális hatás elhagyható, vagy cserélhető akkor grafikus effektről beszélünk, ha az mű létrejöttében generatív szerepet játszik, akkor önálló képalkotó eszköz. A beállítások személyre szabott és kreatív használata is az önálló képalkotó szerepet erősítheti.

A generatív eszközökön jelen értekezésben elsősorban a részecskeszimulációs eszközöket értem. A szimuláció mellett többféle típusú algoritmus⁶ alkalmazható generált grafika létrehozására, de a részecskeszimuláció (*particle simulation*) van annyira komplex rendszer, hogy használatával – a természetben megfigyelt fizikai törvényszerűségek alapján generált adatokból – vizuálisan összetett művet hozzunk létre. Látszólagos véletlenszerűsége és nagyfokú automatizmusa megfelelő terepet nyújt az engem foglalkoztató kérdések feltevéséhez, vizsgálatához. Azért is választottam a részecskeszimulációs rendszere-

⁵ Effektus: A szemlélő által érzékelt hatás, melyet a mű hang vagy látványvilága kelt valamilyen technikai lehetőség felhasználásával. <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/e-e-2529E/effektus-2546F/>

⁶ Adott feladat megoldásához használt véges számú lépésből álló utasítás sorozat, aminek az egyes lépései önmagukban is igazoltak és egyértelműek. (Például a pörkölt receptje)

ket, mert bár a legösszetettebb generatív megoldások közé tartozik, a paraméterek megfelelő beállításával és a funkciók redukciójával stilizált grafikus jellegű struktúrák is előállíthatók. Az így készült alkotások komplex és látványos eredményei egyre inkább szignifikáns esztétikai és konceptuális „stílust” képviselnek *Particle Art*⁷ néven hivatkozva, mind az alkalmazott művészeti⁸, mind a kortárs művészeti térben.

Kutatásom kiindulópontja a sokszorosító grafikai nyomódúc előállításának folyamata, a képgrafikus többfokozatú és többretegű képépítés és közvetett képalkotás. Ezután a komputergrafika és generatív komputerművészet kezdetén felmerült ember–gép együttműködést taglaló gondolatokat vizsgálom, ugyanis a kortárs komputergrafikában és művészeti térben ma is hasonló kérdések merültek fel a mesterséges intelligencia képalkotó használatával kapcsolatban. A generált struktúrák megjelenése művészi kifejezőeszközként több olyan művet eredményezett, melyek korai előfutárként már algoritmusokat, véletlenszerű eloszlást, és szimulációt használtak kreatív kompozíciók elérésére, közvetlen hatással a kortárs Particle Art néven hivatkozott stílusra és technikára.

Az idézett műalkotásokat típusok szerint sorolom fel és a típusok említésénél törekszem a teljességre. A műtípusokat a dolgozat szempontjából legrelevánsabb technikai, esztétikai és animációs szempontok alapján választottam meg. Főként olyan monokróm, pontokból és vonalakból építkező generatív kompozíciókra szűkítem a tárgyalt művek körét, melyek már eredetileg egy generatív folyamat pillanatképei, vagy időben kiterjeszthetők animált szekvenciává és kiegészíthetők interaktív irányítással.

A tárgyalt művek nagy részére jellemző a fekete-fehér pontokból és vonalakból felépülő látvány által nyújtott érzéki vonzerő, illetve az absztrakt elemek határozott – sztochasztikus vagy determinisztikus⁹ – vizuális ritmusa. Erre utal értekezésem címe, *Az éhes szem*. A generált grafikai elemek keletkezése időben kiterjedt, és viselkedésük paraméterekkel befolyásolható. Személyre szabásával és kontextusba helyezésével műtárgyalkotó elemmé és eszközzé válik, *az effekt életre kel*.

A második fejezetben bemutatom a részecskerendszerek működését és használatát a művész szempontjából. Hogyan lehet felépíteni egy pontfelhőt? Milyen viselkedési jellem-

⁷ Nem hivatalos irányzat, hanem technikai és esztétikai ernyőfogalom: apró szilárd elemek algoritmikus mozgatásával elért vizuális hatások. Mind digitális és mind analóg művészeti formában előfordulhat.

⁸ Filmekben és sorozatokban használt VFX: víz, füst, tűz, homok, absztrakt elemek, főcímanimációk

⁹ Sztochasztikus: véletlenszerű, statisztikai valószínűségen alapuló, determinisztikus: előre meghatározott. A sztochasztikus folyamatot valószínűségi változók jellemzik, soha nem adja kétszer ugyanazt az eredményt. Míg a determinisztikus folyamat adott kezdőfeltételekkel mindig ugyanazt az eredményt adja.

zőket lehet beállítani általában a szoftverekben? Hogyan érhető el a stilizált leképezés? Milyen eszközökkel lehet grafikus vonalhálózatot generálni, irányítani? Az animációs technikákat és lehetőségeket bemutató fejezetben rámutatok, hogy az absztrakció az időzítésben is fontos szerepet játszik. A manuális technikával nagyon időigényes mozgás generálásban kulcsszerepet játszik a számítógép gyors interpolációs és szimulációs lehetősége. A képgrafikus állóképbe sűrített narratíva mozgásban lévő mű esetén adatbázis logika szerint sorolt, ismétlődő (*loop*) jelenetek idézete lehet. Az evolúciós művészeti projektek esetében a részecskerendszer elhagyva effekt jellegét önálló képalkotó eszköz. A művész a megírt algoritmust szabadon engedi, bizonyos pontokon választással beavatkozhat a folyamatba, de a formák maguktól fejlődnek.

A tárgyalt művek csoportja alapvetően számítógépen keletkezik, de a figyelem megragadásához, a reprezentációhoz valamilyen platform vagy gesztus szükséges. A harmadik fejezetben bemutatom a *Screen* és *White Cube* prezentációs médium és helyszín jellegzetességeit egy-két szignifikáns alkotáson keresztül. A *Live event* élő esemény szintén jelentős formátum, de részletes tárgyalása meghaladja ezen értekezés kereteit. Az új technikai eszközök és médiumok megjelenése által előidézett paradigmaváltás során felmerül az eredeti műtárgy fogalmának változása, melyet a fejezet végén ismertetek.

Az első három fejezet tanulságaival a disszertáció első két tézisének szándékozom alátámasztani, bemutatva a generatív képalkotó eszköz művészi absztrakciós lehetőségeit és az effekt funkciót meghaladó önálló képalkotó szimuláció működését.

Kutatásom során elkerülhetetlenül beleütköztem két egymásból eredő elméleti problémába. Ahogy sok újmédia művészeti installáció, a számítógépes médium művészeti felhasználása is tudományos és technikai kísérletezés eredményeként jöhetett létre. A negyedik fejezetben a művészet és tudomány, illetve a művészet és technika ellentmondásos kapcsolatával foglalkozom és megkísérlem a vizsgált műcsoportot definiálni, mint mozgásban lévő mű, a nyitott mű¹⁰ általános esztétikája keretében.

Végül a technikai fejlődés következtében kiteljesedett közvetett és automatizált képgenerálási folyamat, a generált kép és művészi absztrakció dilemmáját vizsgálom az ötödik fejezetben, egyúttal disszertációm harmadik tézisének igazolom. A sokszorosító technikák közvetett képépítő felületképző eszközkészlete után a generált dinamikus struktúrák előállítására képes számítógép mennyiben tekinthető kreatív alkotótársnak? Mint minden új

¹⁰ A nyitott mű (Eco 1998)

médium, a számítógépes generatív képalkotás, a digitális effektek és szimulációs megoldások megjelenése is művészeti és kreatív paradigmaváltással jár. A mesterséges képalkotás kiteljesedett napjainkban a gépi tanulás által támogatott képalkotó rendszerek megjelenésével és rohamos penetrációjával. Lehet-e kreatív alkotó a gép, vagy „csak” egyre fejlettebb eszközök segítik az emberi alkotást; lehet-e létjogosultsága a *szingularitás*¹¹ a képzőművészetben?

Értekezésemnek nem a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás a fő témája, de a legújabb gépi képalkotó eszközök között kikerülhetetlen az említése. A kutatás alapjául szolgáló hagyományos és digitális generatív technikákkal szemben kevesebb személyes munkatapasztalattal rendelkezem e téren, így a működési analógiákat és elemzéseket elismert forrásmunkákból idézem.

¹¹ Technológiai szingularitás, amikor a mesterséges intelligencia fejlődése olyan mértékben felgyorsul, hogy az emberiség már képtelen irányítani, vagy lépést tartani vele.

1. A nyomódúc felületek és generált struktúrák kapcsolata

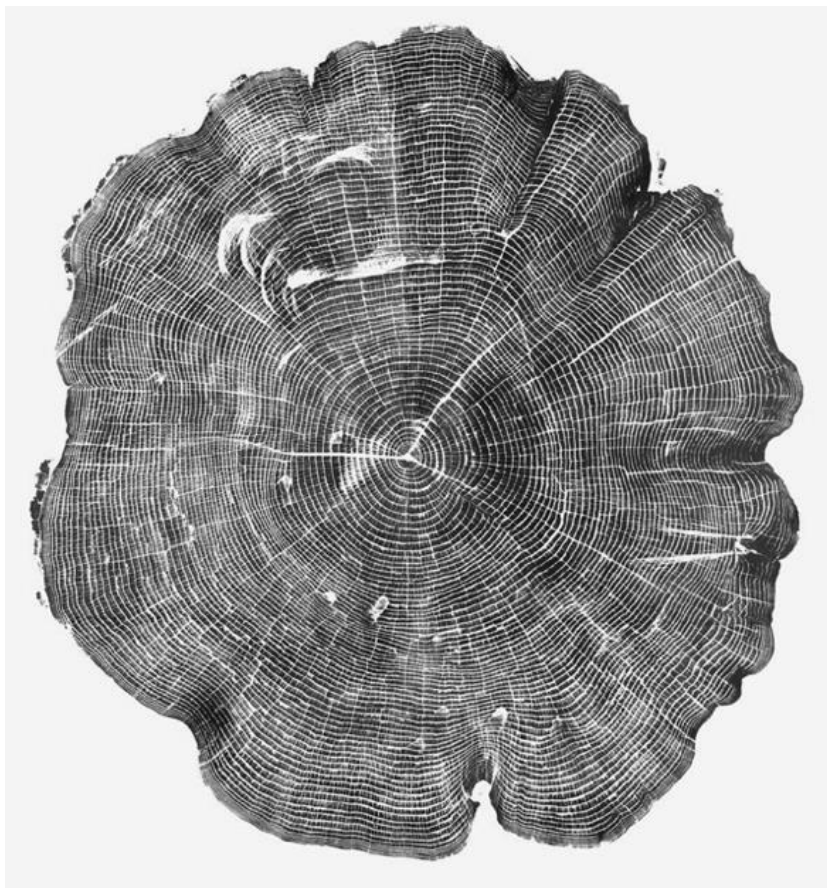
Ahogy más műfajok esetében, az klasszikus analóg grafika fejlődésére is jellemző, hogy a technikai lehetőségek és funkcionális követelmények jelentősen meghatározzák a műfaj keretein belül születő művek tartalmi, formai és esztétikai jellegzetességeit. A grafikának nevezett művek feladata szűkebb értelemben sokáig reprodukív volt: események, műalkotások, épületek művészi feldolgozása és meghatározott számban sokszorosítása a közvetítő médium kézi megmunkálása után lenyomat készítése által. A sokszorosításhoz szükséges nyomó és nemnyomó elemek pontosan reprodukálható szétválasztásához szükséges technikai folyamatok következtében létrejött felületek, jellegzetes esztétikai ismertetőjelekké váltak, melyek a grafika „felszabadulása” után önálló vizuális életre keltek, és akkor is szívesen alkalmazták amikor technikailag már nem volt szükséges, akár a szerzői képgrafikus művekben, akár idézett stílusként alkalmazott műfajokban. Az egyedi képgrafika a sokszorosító és alkalmazott felhasználásokról leválva, felszabadulva a festészet befolyása, illetve a sokszorosítás kényszere alól¹², új médiumokat és prezentációs lehetőségeket fedezhetett fel, megtartva a korábbi technikai követelmények következtében kialakult, immár esztétikai grafikus stílusjegyeket, kiegészítve a mozgás az animáció és az interaktivitás lehetőségével.

A nyomódúc felületek és generált struktúrák között a kapcsolat többrétű;

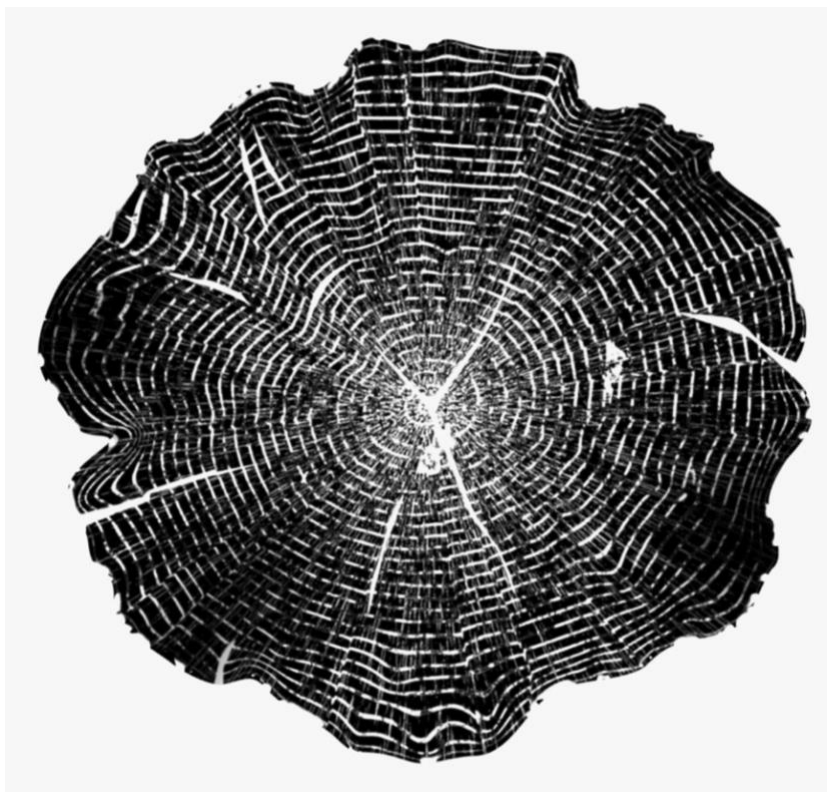
- jellemző a több lépésből álló képépítés és közvetett képalkotás,
- szétszedés és összerakás alkotói folyamata¹³: a képalkotó elemek szétválasztása, majd manipulálás után az önálló képalkotó elemek újra összeállítása reprodukcióhoz, animációhoz,
- a mintázat létrehozása sztochasztikus vagy determinisztikus algoritmusok által leírt generatív eszközökkel történik,
- felületek, tónusok, árnyalatok sokszor pont- és vonalhálózatból épülnek fel,
- markáns az esztétikai rokonság, jellemző a grafikus jellegű vizualitás.

¹² A művészi grafika technikái (Krejča 1985, 11)

¹³ (Manovich, Separate and Reassemble: Generative AI and Media History 2024)



1. Bryan Nash Gill: Ash, relief print from tree cut, 2003



2. Sipos L.: Time, (Gill parafrázis) generated digital animation, still 2014

1.1. A grafikai nyomódúc felületképzés vizsgálata

Tágabb értelemben a grafika (görög eredetű szó – *graphein*) kifejezés írást, rajzolást jelent.¹⁴ A térben látott valóság leképezése kétdimenziós síkban vonalak, pontok és felületek formájában. Szűkebben értelmezve a grafika az eredeti művészi rajz lenyomat készítésére alkalmas átírása, majd reprodukálása meghatározott számú példányban. Technikailag a lenyomat készítése nyomdafesték átvitele a papírra vagy más nyomathordozóra a grafikai eszközökkel létrehozott nyomóformáról. A nyomóforma olyan felület, amelyre a művész rajzát rögzítjük, úgy, hogy nyomó és nem nyomó elemeket hozunk létre a rajz képalkotó elemeivel összhangban. A nyomó elemek festékezés és nyomtatás után a nyomathordozón nyomatot hagynak. A dúc létrehozása után a tulajdonképpeni képalkotó folyamat a nyomtatás. Tehát egyrészt a kép létrehozása közvetett és összetett, inkább nevezhetjük képépítésnek vagy akár különös alkímiának¹⁵, másrészt további példányok nyomtathatók mely lenyomatok filozófiai jelentősége túlmutat a sokszorosítás technikai folyamatán.¹⁶ Bár a lenyomat archeológiája nem tárgya kutatásomnak, a lenyomatra jellemző paradoxon – az eredetiség és a reprodukció közötti feszültség – mind a képgrafika, mind a digitális kópiák reprezentációjában fontos jelenség, és erre később, a reprezentációról szóló fejezetben kitérek.

A nyomódúc előkészítésének és megmunkálásának az eredeti célja a nyomó és nemnyomó elemek szétválasztásával a reprodukciós folyamat biztosítása, azonos vagy közel azonos másolatok nyomtatása. A lenyomatkészítés során a nyomdafesték sorozatos átviteléhez szükséges nyomdúc felületek technikai létrehozásához sok esetben automatizált eljárás szükséges, mely a manuális rajzi megmunkálást felgyorsítja, illetve lehetővé teszi egyéb módon nem létrehozható felületek generálását. A végleges lenyomaton e felületek jellegzetességei alkalmasak lehetnek a nyomtatási technika azonosítására.¹⁷ Vizsgáljuk meg e speciális felületek esztétikai és fizikai jellemzőit és létrejöttük körülményeit, valamint digitálisan generált, animálható parafrázisait.

¹⁴ (Krejča 1985, 11, 12)

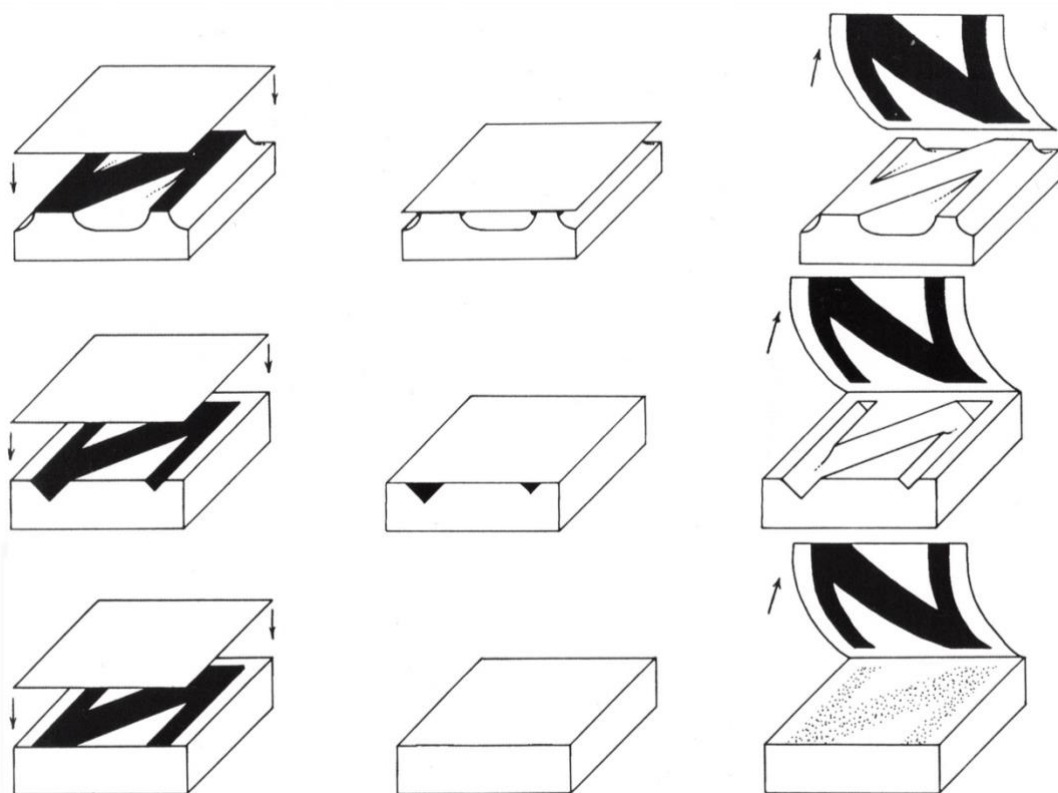
¹⁵ A „TÖBB és EGY” rétegződései, Doktori értekezés (Jónás 2016)

¹⁶ Hasonlóság és érintkezés (Didi-Huberman 2014)

¹⁷ How to Identify Prints (Gascoigne 2004, 10)

A művészi grafikai eljárások csoportosítása különféle szempontok szerint történhet:

- a nyomóforma – más néven dúc – anyaga szerint, például linóleum, fa, kő, gumi, fém, üveg, textil, műanyag. A választott anyag fizikai és kémiai tulajdonságai meghatározzák a létrehozható dúc felületi jellegzetességeit.
- Nyomódúc megmunkálásának módja szerint lehet mechanikai eljárás, mint met-szet, véset, kőkarc, vagy kémiai eljárás, mint maratással készülő karcok, fénykarc, fénynyomás.
- A nyomtatási folyamat módja szerinti osztályozás a legfontosabb, aszerint, hogy hogyan helyezkednek el a nyomóelemek a nem nyomó elemekhez képest: magasnyomás, mélynyomás, síknyomás, szitanyomás.



3. A nyomtatás alapvető módjai: magas, mély és síknyomás (Gascoigne 2004)

A legrégebbi nyomtatási eljárás a *magasnyomás*, mely esetében a dúcra rajzolt kép nyomó elemeit bemélyítve eltávolítják a felület szintjéből, így a nyomó elemek magasabban helyezkednek el, melyeket befestékezve és lenyomtatva létrejön a kép. A nyomtatásnál fordított állású inverz rajz keletkezik. Jellegzetessége, hogy a festéknyomok élesen elválnak, és síkban, nem dombormű-szerűen tapadnak a papírra.

A *mélynyomó* nyomtatási technológia számított sokáig a legmagasabb minőséget nyújtó eljárásnak mivel valódi árnyalatokat képes létrehozni, a festékréteg változó vastagsága hozza létre a nyomathordozón az árnyalatot, nem csak optikai árnyalat és színeképzés történik. Az eljárás során a rajz elemeit mechanikusan vagy maratással mélyítik a felület síkja alá, e mélyedésekbe kerül majd a speciális mélynyomó festék, melyet a magasabban fekvő eredeti felületszintről letörlik. A nyomathordozó papír nagy nyomóerő mellett kiemeli a nyomóelemekben maradt festéket, így jön létre a nyomat. Fiatalabb grafikai eljárásnak számító *síknyomás* – művészi alkalmazása a litográfia¹⁸ – esetében a nyomó és nemnyomó elemek azonos síkban vannak, szétválasztásuk a felület víztaszító és zsírszerető kontra zsírtaszító és vízszerető tulajdonsága alapján történik. Az egész felület hengerrel történő festékezésekor a zsíros nyomhagyó eszközökkel elkészített rajzi nyomóelemek felveszik, míg a benedvesített nemnyomó elemek taszítják a zsíros festéket. A nyomatra a papír, illetve nyomathordozó felületével egy síkban elhelyezkedő, lágy rajzolatú kép jellemző, a nyomó elemek nincsenek bemélyülve ahogy a magasnyomásnál, és a festék sem képez domború formát, mint a mélynyomás esetében.¹⁹

A legkésőbb kialakult nyomtatási eljárás a *szitanyomás* vagy *szérigráfia*²⁰, mely során egy szitaszövet sablon nem fedett részein dörzsölő szerszámmal festéket nyomunk át. A fedő és nem fedő részek létrehozásához változatos technikák alkalmazhatók letakarás, kimosás (*reserve*), kivágás és fényérzékeny rétegek alkalmazásával. A nyomatra jellemző, hogy kis mértékben kidomborodik a nyomatból, a festék egyenletes és nem nyomódik be a papír felülete. A festékvastagság variálható, lehet lazúros vagy akár vastagon pasztózus.

Tehát a művészi képgrafikai felületképzés mintázatai az alkalmazott anyagtól, technikától, nyomtatási módtól függően alakultak ki. Egy egyszerű ceruza pontot vagy vékony vonalat képes hagyni a papíron, és ezekkel az vizuális eszközökkel kell létrehozni az értelmezhető tónusokat, árnyalatokat, felületeket. Hasonlóan a grafikai sokszorosítható felületek létrehozására alkalmas eszközkészlet is meghatározott, sőt limitált. Az eredeti grafikai és a reprodukciós lenyomatkészítés legnagyobb kihívása, hogy a reprodukálási folyamat során, hogyan tudjuk biztosítani az árnyalatot hordozó nyomófelületek konzekvens festékfelvételét és a nyomdafesték hordozóra nyomtatását a lehető leghűbben az

¹⁸ Eredetileg a finom szemcséjű kalciumkarbonát tartalmú litográfiai mészke kémiai tulajdonságain alapul az eljárás, melyet Alois Senefelder fedezett fel elsőként solnhofi mészkeot használva. (Krejča 1985)

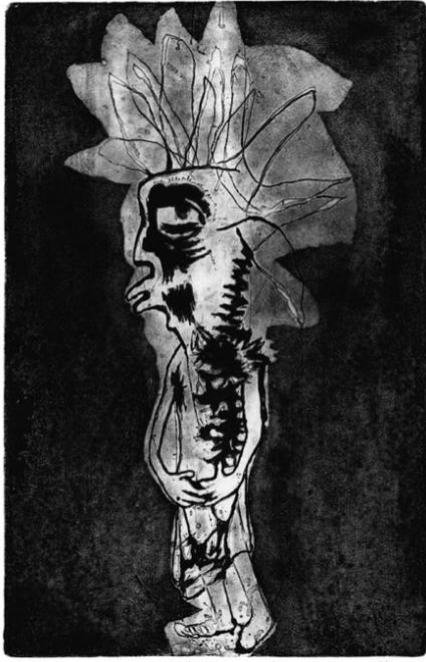
¹⁹ (Krejča 1985, 19, 21, 65, 130, 181, 182)

²⁰ Az eredeti grafikai sokszorosított művek művész általi készítése fotomechanikai eljárás nélkül

eredeti rajzhoz vagy tervhez. A megoldásként alkalmazott véletlenszerű szemcsézettség és rendezett rács, illetve vonalhálózat létrehozása, esztétikai utóélete értekezésem kiindulópontja.

A létrehozható vonalhálót, illetve mintázatot nagymértékben meghatározza, hogy milyen anyagból készül a nyomóforma. A fából vagy linóleumból készült magasnyomó dúc esetében általában a vonalvastagság nagyobb, a létrehozható mintázat felbontása kisebb, mint a mélynyomó rézkarc lemezbe metszhető vonal, illetve mintázatsűrűség. *(6-7.ábra)* Az anyag mechanikai tulajdonságai meghatározzák a megmunkáláshoz használható szerszám által hagyott metszés vagy vésés karakterét, de a lehetőségeken belül választott megmunkálási mód is befolyásolja a létrehozott felület esztétikai tulajdonságait. Litográfia esetén a nyomódúcként alkalmazott mészkő egyenetlen felülete is biztosíthatja a szemcsézettséget. A nyomódúc kémiai tulajdonságaitól függ, hogy vonalakat és mintázatot milyen kémiai folyamattal mélyíthetjük és rögzíthetjük vagy például a síknyomás esetében a nyomó és nemnyomó elemek szétválasztása is így történik. A kémiai maratás alkalmazásával nemcsak felgyorsíthatjuk, könnyebben elvégezhetjük a nyomódúc megmunkálását, de olyan grafika hatásokat is elérhetünk, mely egyéb technikával lehetetlen lenne, ilyen például a lágy alap.

Attól függően, hogy mélynyomó, magasnyomó vagy síknyomó elemeket hozunk létre, a felszedett festék valódi vagy látszólagos tónusokat alkothat; a mélynyomás esetében a bevésett mélyedés függvényében vastagabb illetve vékonyabb festékréteget vehet fel a dúc, így valódi tónus jöhet létre a papíron nyomtatás után, míg magas és síknyomás esetén a festékréteg vastagsága mindig ugyanakkora, a nyomtatott felület mindig teljesen fedő, valódi árnyalatokat nem hoz létre, ehhez különböző sűrűségű és felbontású mintázatot kell létrehozni, melyek optikai illúzióval biztosítják majd a tónusok megjelenítését. A tónusokat apró elemekre bontással és ezek sűrűségének változtatásával éri el a művész, a végső tónus a néző szemében áll össze. A valódi tónusokat nyomtató mélynyomás esetében is szükséges a felület apró elemekre raszterekre, szemcsékre bontása *(4.ábra)*, mivel a nemnyomó elemekről el kell távolítani a felesleges nyomdafestéket, és letörlésekor ezek a szemcsék tartják meg a bemélyedésekben a nyomóelemek által felvett festéket. Hiányuk vagy sérülésük esetén vakfolt keletkezhet, mert így a felesleges festék letörlésekor a sötétnek szánt nyomóelemekből is könnyen eltávolítható a festék. Mindazonáltal létezhet olyan eset amikor a vakfolt létrehozásának szándékos művészi célja van. *(5.ábra)*



4. Sipos L.: Varázsló,
rézkarc, aquatinta, 1994



5. Sipos L.: Kis indián,
rézkarc, direkt vakfolt 1994

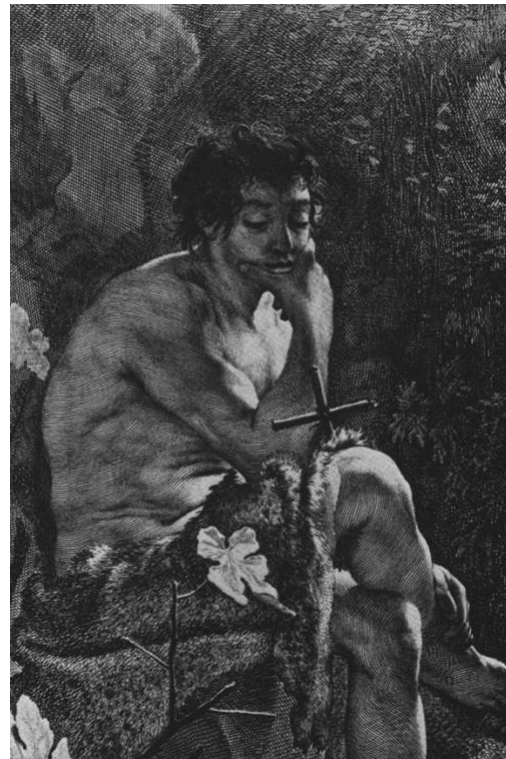
A tónusok és felületek sikeres nyomtatásához szükséges tagolt vonalhálózatok, sztochasztikus és determinisztikus felület-mintázatok szerepe nem korlátozódik a festékfelvétel és átadás funkciójára, önálló esztétikai érték jön létre használatukkal; amellet, hogy biztosítják a nyomó és nem nyomó elemek szétválasztását, a vizuális elemek sűrűsége, iránya, szabályossága, véletlen eloszlása mind technikától független szignifikáns vizuális rendszert hozhat létre. Az alábbi nyomódúc megmunkálási megoldások érdekesek kutatásom szempontjából.

Az szimpla vagy többszörös nyomot hagyó eszközökkel létrehozott *párhuzamos, egymást metsző és formakövető vonalhálózat* vizuális rendszerében a vonalvastagság és a sűrűség váltakozása kelti az árnyalat optikai illúzióját. A formakövető vonalakkal *plasztikussá*²¹ tehető a grafika. (6-7. ábra) Magasnyomás esetében a tónusképzés legfontosabb eszköze a párhuzamos, sűrűbb vagy ritkább vonalhálózat használata, egyben fametszet stílus mai napig legismertebb vizuális jellegzetessége. A megmunkálás nehézsége és az így elérhető részletesség hatással lesz a technika népszerűségére és elterjedésére, például a harántdúc favésés technológia könnyebb megmunkálást és finomabb tónusok elérését tette lehetővé, mint a lapdúc eljárás.

²¹ (Krejča 1985, 28, 32)



6. Ján Lebiš: Ülő akt 1955, Igelovéset (Krejča 1985)

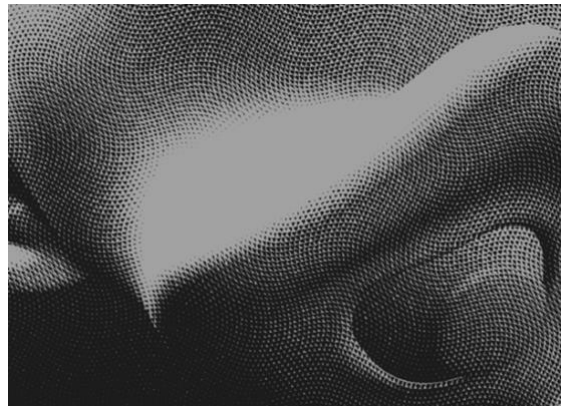


7. Claude Mellan: Keresztelő János, 1629, Rézmetszet (Krejča 1985)

Generatív eszközökkel is népszerű a fa-, rézmetszet és rézkarc stílus imitálása, 2D képmanipuláló programokban *effekt*, 3D programokban *textúra* és *shader*²² használatával (8-9. ábra), mely esetben térben mozgatva a felülettel mozdul a textúra.



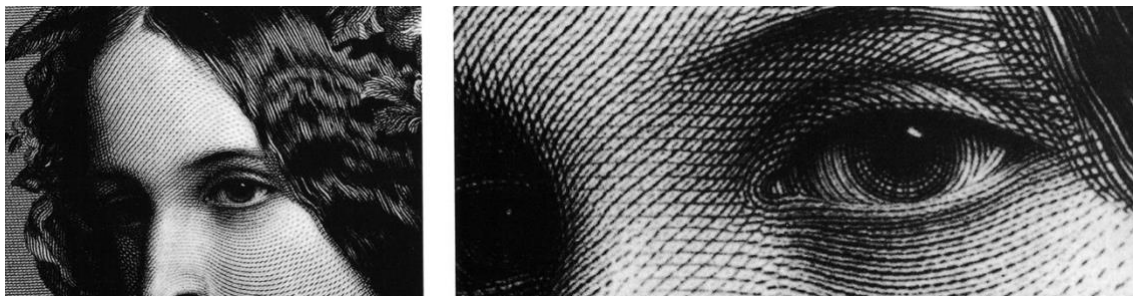
8. Blender hatching shader by Ocean Quigley, 2020



9. Blender engraving shader

²² A shader, a textúra és a material a számítógépes grafikában összefüggő fogalmak. Mind azzal az ún. renderelési eljárással vannak kapcsolatban, ami meghatározza egy számítógéppel készült objektum végső megjelenését. Szoftvertől függően lehetnek rokonértelműek is. De a legszűkebb definíció szerint a material egy paraméterkészlet, a shader egy algoritmus, ami adott fényviszonyokat képes kiszámolni a material-on belül, a textúra pedig kép file formájában tárolt adat. A material-on belül működő shader azokkal a paraméter típusokkal számol, amiket az adott material lehetővé tesz. Ezek a paraméterek lehetnek számok (pl. RGB színkód) vagy képek (textúrák).

A mélynyomás esetében is jellegzetes tónusképző eszköz a vonalhálózat. A rézmetszés folyamata során alkalmazott kések változatos formájúak, és meghatározzák a létrehozott vonal jellegét. A fésűs élű metszőkés egyszerre több vonalat képes metszeni, így használata már tekinthető bizonyos értelemben félautomatikus felületképzésnek, egyszerű vonalgenerálásnak. Leginkább a párhuzamos formakövető vonalakat alkalmazunk, melyek a világos részekben ritkulnak, majd pontsorokká válnak, a sötétebb részekben vastagodnak, majd keresztező vonalkázással mélyülnek el, akárcsak egy tónusos ceruzarajz esetében. Nagyon fontos jellemzője a metszett vonalnak, hogy vékonyan indul, kiszélesedik, majd vékonyan végződik, ezt a profilt begyakorolt lendületes metszéssel lehet elérni.



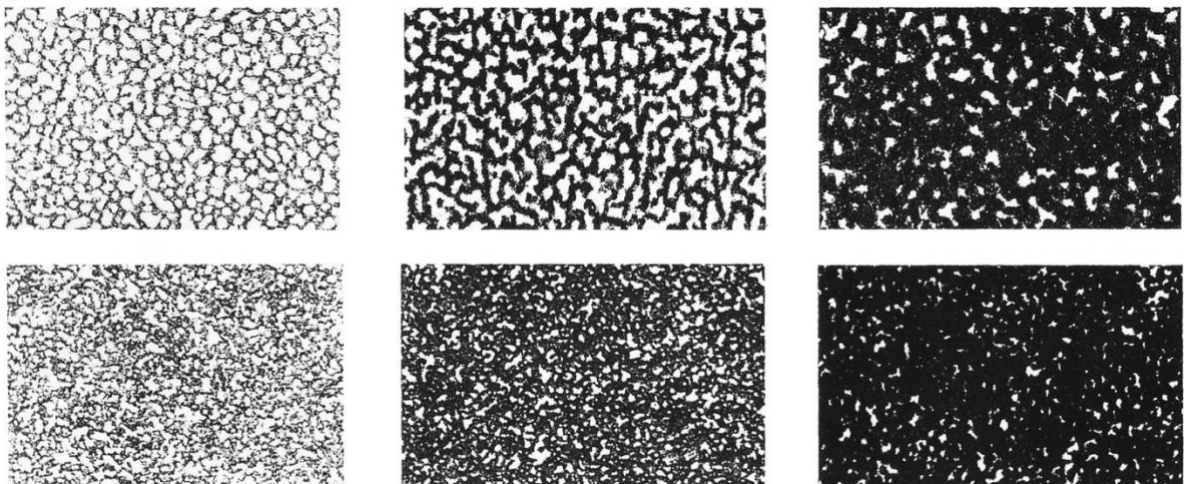
10. Vonalas metszet, (Gascoigne 2004)

Rézkarc nyomólemezzel készítésekor is alapvető, sokat használt eszköz a vonalhálózat, ennél a technikánál saválló rétegbe karcolják, majd megfelelő sav segítségével mélyítik a nyomóelemeket. A nyomólemezt fokozatosan maratják, mindig azonos erővel húzott vonalakat alkalmazva, a vonalak vastagságát az eltérő idejű maratás adja meg. Egy rézkarc valódi tervezést igényel, a maratási időket számba véve, próbamaratásokkal és fegyelmezett gyártási tervvel lehet tökéletes eredményt elérni, cserébe viszont könnyebb megmunkálást és jóval szabadabb vonalvezetést tesz lehetővé.²³ A rézmetszethez hasonlóan a karcokhoz is használhatóak különböző profilú nyomhagyó eszközök, hogy ceruza vagy kréta hatású nyomatot tudjunk előállítani. A technikailag igen egyszerű, egyben nagyon kifejező eszköz, a *hidegtű* használatakor acéltűvel direkt a fém felületbe metsszük a vonalat, és a kétoldalt létrejövő szakállkákat, sorját nem távolítjuk el, mely festéket felvéve a nyomtatáskor bársonyos hatású lágy nyomot hagy. Az említett fésűs élű metszőkés, gördülőtárcsa (rulett) és sajtolóhenger (mulett), a különféle acélgörgők és borzolóeszközök mind félautomata determinisztikus nyom generáló eszközök.

²³ (Krejča 1985, 74, 80-85, 91, 107, 113, 151)

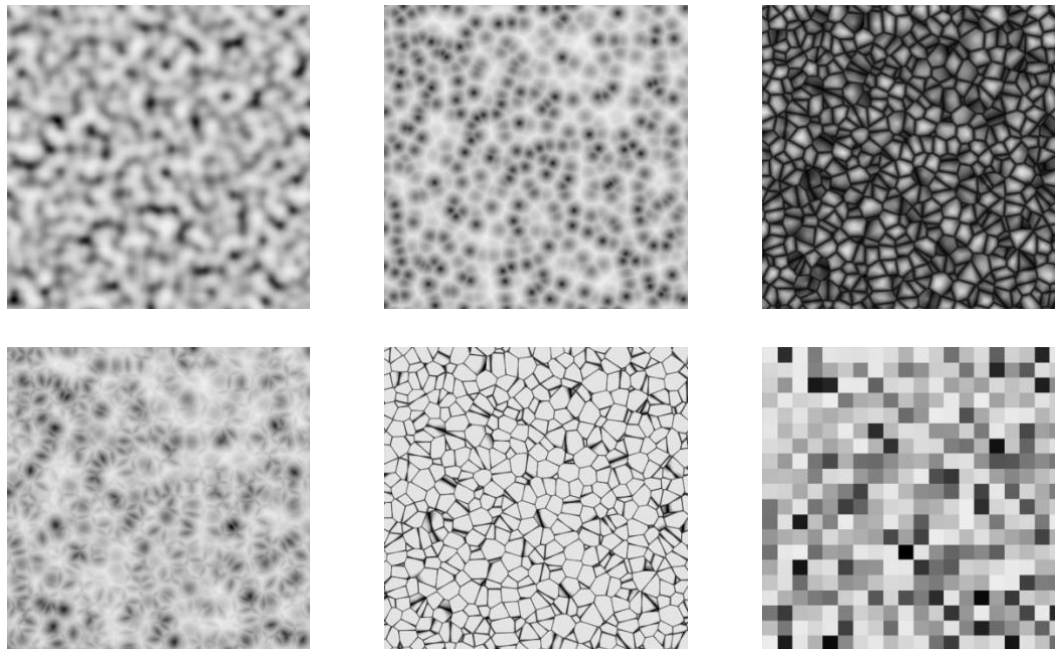
A nyomóelemek *pontozással*, tűvel vagy pontozókalapáccsal is létrehozhatóak a lemezen, ilyenkor a tónusok számtalan pontból épülnek fel. A pontok elhelyezése manuálisan történik, a létrehozandó tónus függvényében sűrűbben vagy ritkábban elhelyezve, de bizonyos irányított véletlenszerűség add a felületnek természetes hatású szemcsézettséget. *Mezzotinto* esetében borzolófésűvel előkészítjük a lemez teljes felületét, majd visszsimítva létrehozuk a tónusokat. A rajz létrehozása fordítva történik, a sötét részekről a világos felé egyre inkább elsimítva a borzolást. Hasonló folyamat a síknyomó litográfia eljárásnál a kaparásos technika, mely során egy egyenletes sötét felületet hozunk létre a kővön, majd visszakaparjuk.

Kutatásom szempontjából a legizgalmasabb technika a tónusok kifinomult előállításához alkalmas szemcsés karc, más néven *aquatinta*, vagy foltmaratás technológia. Az általában összefüggő foltnak, tónusosnak szánt területre saválló aszfaltport visznek fel egyenletesen, melegítéssel ráolvasztják, és maratják. A szemcsék közötti terület tudja a sav mélyíteni, és festékezéskor ezek a mélyedések veszik fel a festéket. A szemcsézettség és a tónusérték a szemcseminőséggel (durva-finom), a maróanyag erősségével, és a maratás hosszával állítható be. Az így létrehozott felületek hatásukban leginkább ceruza satírozott tónusokhoz hasonlítanak. A lemez beporzása kézzel vagy beporzó szekrényben is történhet. Fontos a saválló aszfaltpor vagy gyantareszecskek egyenletes felvitele a felületre a tökéletes hatás érdekében. A szemcsék elhelyezkedése a felületen véletlenszerű, illetve mondható, hogy a művész által meghatározott „irányított véletlen” elvén történik. A porzás folyamata mindenképp érdekes a szimulációs rendszerek szempontjából, a részecskek eloszlását fizikai körülmények befolyásolják, mint forgatás sebessége, páratartalom, légfuvalat, gravitáció, szemcsék nagysága. (11. ábra)



11. Aquatinta mintázatok (Gascoigne 2004)

Digitális eszközökkel az aquatinta szemcsézettséghez hasonló felületeket lehet létrehozni a különböző procedurális algoritmusokkal. (12.ábra)

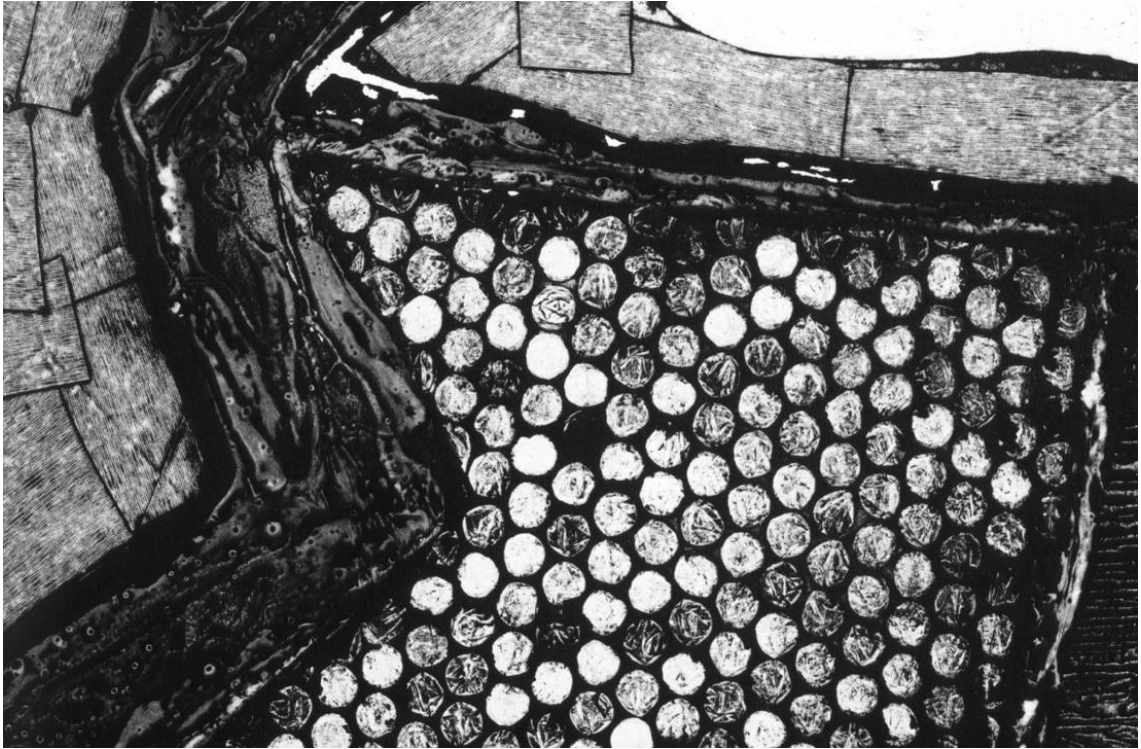


12. Blender textúra algoritmusok: original/voronoi/f1/f2-f1/f2/crackle/cell-noise

Lehetséges más módszerekkel is folthatású szemcsézettség előállítás, különböző szemcsézettségű csiszolópapírok felhasználásával, ilyenkor már egy előre elkészített textúra, a finom vagy durva csiszolópapírmintázat határozza meg a létrejött szemcsézettség tónusát. A szemcsézettség mellett az egy vagy akár több lépéses maratás időtartama határozza meg a létrejövő tónus intenzitását.²⁴

A magas és a mélynyomás kombinációjának számít az ún. *kombinált technika*. Ebben az esetben elsősorban különféle anyagok lemezre hordásával hozzák létre a nyomóelemeket. Festékezéskor nemcsak a magasan fekvő elemeket, hanem a mélynyomáshoz hasonlóan az egész felületet befestékezik, majd a felszínről részben vagy egészben letörlik a festéket szintén a mélynyomáshoz hasonlóan. A különböző anyagokon, illetve mélyedéseikben eltérő mértékben marad meg a festék. Jellegzetes, anyagnyomatra emlékeztető megjelenésük miatt strukturális grafikának is nevezik. A dúcra változatos mintázatú lenyomatot képző anyag rögzíthető, melyek előre meghatározott mintázatukkal szellemes felületek hozhatók létre, akár pukkantó csomagolóanyagra utaló „gömbhálózat”, vagy a bordázott ragasztószalag párhuzamos rézmetszetre emlékeztető vonalhálózata (13.ábra).

²⁴ (Krejča 1985, 113, 120)



13. Sipos L.: A nagy indián, kombinált technika, részlet, 1996

A nyomóelemek kialakításában szinte mindegyik technikában nagy szerepe van a maszkolásnak, rézkarc maratásnál lefedésnek, szerigráfia esetén letakarásos vagy kivágásos technikának nevezik. Ez utóbbi munkafolyamatban nagyon elterjedt az egy képen belüli átnyomás technika, mellyel akár egy textúra, forma ismétlése is gyorsan kivitelezhető,²⁵ előrevetítve a későbbi digitális képmanipuláló szoftverek copy/paste, illetve pattern funkcióit.

Az alkalmazott és képzőművészeti köznyelvben a mai napig hivatkozási alap az eredetileg képgrafikus felületek vizualitása, mint stílus. A digitális illusztrációktól kezdve az utómunka effekteken át egészen a szöveges utasítások alapján képet szintetizáló mesterséges intelligencia képgeneráló programokig találkozhatunk ezekkel a fogalmakkal: fametszet, rézmetszet, rézkarc stílus.

²⁵ (Krejča 1985, 159)

1.2. Generált struktúrák megjelenése művészi kifejezőeszközként

*„In the computer, man has created not just an inanimate tool but an intellectual and active creative partner that, when fully exploited, could be used to produce wholly new art forms and possibly new aesthetic experiences.” A. Michael Noll, Bell Telephone Laboratories*²⁶

A determinisztikus és sztochasztikus eloszlású felületek generatív létrehozására már analóg képalkotó technikák esetében szükség volt technikai szempontból, például a reprodukció esetében nyomtatható felületek létrehozására. Ugyanakkor a véletlen, – vagy előre nehezen kiszámítható, véletlenszerű eredményt produkáló – algoritmusok kreatív alkotói eszközként is felkeltették a művészek figyelmét. Vera Molnár a számítógépes művészet egyik legjelentősebb úttörője a „képzletbeli gép”²⁷ módszerét követve, kezdetben egészen egyszerű algoritmusokkal kísérletezve lépésről lépésre, szabad kézzel rajzolta meg sorozatait, mielőtt személyesen használhatott számítógépet.

Közvetett felületképző algoritmusok és generatív eszközök képalkotó használata a digitális számítógépes grafika és művészet kialakulásával teljesebbé vált ki. A számítógépes képalkotás eredményeire nem véletlenül komputer grafika néven hivatkoztak²⁸, feltételezhető utalásként a létrejött vizuális alkotás másolat jellegére, a közvetett képalkotási folyamatra, illetve a felületek generált jellegére. A felhasználó, a művész, egy előre megírt program vagy algoritmus számára meghatározza a bemeneti értékeket, és a generálás lefutása után – vagy akár közben, amennyiben valós idejű futtatás lehetséges – értékeli a vizuális eredményt. A kortárs generatív részecske-rendszereket használó fényművészeti projekciók, „VJ vizuálok” és kereskedelmi szórakoztatásban használatos particle motion graphics²⁹ effektek előszeretettel idézik a generatív és számítógépes művészet kezdeteinél már felmerülő formai megoldásokat, ezért érdemes megvizsgálni az ebben az időben kialakult irányzatokat és a gépi képalkotó eszközök kreatív használata közben felmerült szempontokat, jóslatokat, kétségeket.

²⁶ Az ember által létrehozott számítógép nem csupán egy élettelen eszköz, hanem egy olyan intellektuális és aktív alkotó partner, melyet – ha teljes mértékben kihasználunk – teljesen új művészeti formák és esztétikai élmények létrehozására lehet használni. (Noll, The digital computer as a creative medium 1967)

²⁷ A művész Philippet-től kölcsönözte a „machine imaginaire” (képzletbeli gép) kifejezést

²⁸ A „computer graphics” kifejezést először a Boeing részlegénél William Fetter és Verne L. Hudson használta, hogy megkülönböztessék számítógéppel készített Boeing Man emberi figura animációt az kézi rajztól. <https://secure.boeingimages.com/archive/William-Fetter-s-Boeing-Man-2F3XC5YCZNC.html>

²⁹ Mozgó grafika: általában 2D vagy 3D térben számítógép által generált mozgó grafikus elemekkel készült időbeli multimédia alkotások összefoglaló neve, nem azonos a narratív film, animációs film fogalmakkal.

A hatvanas évek a kísérletezés és innováció ideje volt, amely létrehozta a számítógépes művészetet és az animáció mai iparágát, egyben az új média művészet kreatív irányzatát.³⁰ E kísérletek fontos eredményei a Kepes György által az MIT-n megalapított *Center for Advanced Visual Studies* (CAVS) és az *Experiments in Arts and Technology* (E.A.T.)³¹ mellett a *Bell Telephone Laboratories* műhelyeiben születtek. A művészi kísérletezésben jelentős szerepet játszott a G.R.A.V. (*Group de recherche d'art visuel*) interdiszciplináris művészcsoporthoz³², és olyan események, mint a *Cybernetic Serendipity* kiállítás 1968-ban, és az 1981-től napjainkig évente megrendezett *Siggraph Art Show*.

A Jasia Reichardt kurátori munkájának eredményeként megvalósult *Cybernetic Serendipity*³³ projekt bemutatta a számítógépes technológia és a kreativitás – képzőművészet, zene, költészet – lehetséges összefonódását, előrevetítve a számítógépes kreativitás korát. A kiállítás fő szekciói a számítógép által generált zenei és mozgókép alkotások, digitális grafikák, és a kibernetikus rendszereket kreatív, művészeti célokra alkalmazó művek voltak. A projekt úttörő szerepet játszott a generatív művészetek bemutatásában, valamint abban, hogy a számítógépeket nemcsak tudományos, hanem esztétikai eszközként is értelmezte. A projekt maga is reflektál arra, hogy a számítógépes művészet akkoriban még nem forradalmasította úgy az alkotóművészetet, mint ahogyan a tudományos világot. Ugyanakkor fontos eredménynek ismeri el, hogy a számítógépek használata olyan embereket is alkotásra ösztönöznek, akik korábban nem foglalkoztak művészettel, ezáltal új kreatív folyamatokat indíthatnak el. Az optimizmus, amely a kiállítást áthatotta, egyfajta kísérleti fázisként mutatta be a számítógépes kreativitást, nem pedig végleges eredményként. A kiállításon nem volt nyilvánvaló, hogy az egyes alkotásokat művészek, tudósok vagy mérnökök készítették, ezáltal teljesen új értelmezési perspektívát tett lehetővé.³⁴

Algoritmusok használata már analóg eszközökkel is lehetséges volt. A sztochasztikus folyamatok modellezésére kifejlesztett *Stochastic Analogue Machine (SAM)*³⁵ analóg rendszer jelentősége abban rejlik, hogy hidat képez a művészet, a tudomány és a technológia között. A mechanikus szerkezetben ahogy golyóscsapályák haladtak át különböző útvonalakon mozgásuk irányát véletlenszerű elemek befolyásolták, így minden egyes

³⁰ (Noll, *The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir* 1994)

³¹ (Szegedy-Maszák 2007)

³² François és Vera Molnar valamint François Morellet alapította 1960-ban.

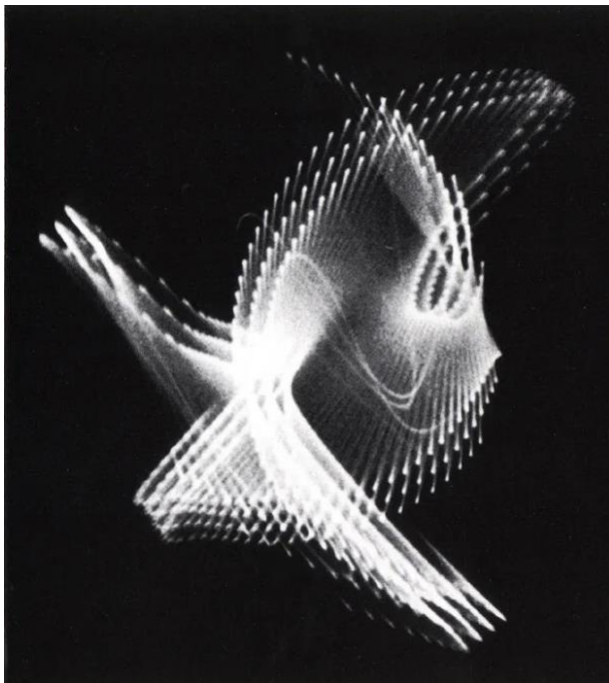
³³ A kiadvány a londoni Institute of Contemporary Arts (ICA) rendezésében 1968-ban létrejött azonos nevű kiállításhoz kapcsolódik.

³⁴ (Reichardt 1968)

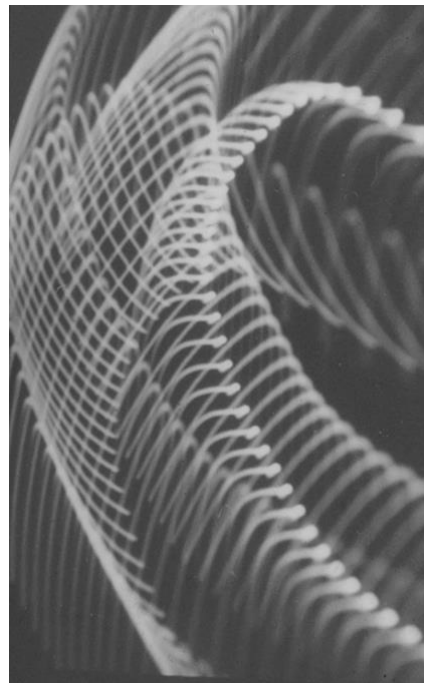
³⁵ Az 1950-es években Stafford Beer fejlesztette ki.

mozgás egyedi volt. Hosszú távon statisztikai szabályosságok rajzolódtak ki. Az analóg eszköz elvei később számítógépes algoritmusokban és generatív művészeti rendszerekben is visszaköszöttek.³⁶

Ben F. Laposky munkái a modern digitális generatív művészet előfutárjainak tekinthetők, bár még nem digitális, hanem analóg folyamatok eredményei.³⁷ „*Oscillons*” (1952) című képein fekete-fehér hullámformák organikus formákat hoznak létre. A képernyőképek forrásául szolgáló monitoron a többek között szinuszhullám-generátorral létrehozott majd további elektronikus áramkörökkel bővített hullámformák folyamatosan átalakulnak. Laposky párhuzamot vont „elektronikus absztrakcióban” használt hullámformák és az analóg számítógépekben használt analóg görbék között.



14. Laposky, Benjamin Francis: *Oscillon Number Four*, 1950



15. Franke, Herbert W.: *Oscillograms*, 1956

Herbert W. Franke 1956/57-ben készült *Oscillogram*³⁸ című nyomatai szintén analóg oszcillográf képernyőt rögzítve készültek. A görbék létrehozásához Franz Raiman épített elemi görbék kirajzolására képes analóg számítási rendszert, mely egy keverőpult segítségével transzformációk és fedések alkalmazásával összetett kompozíciók valós idejű létrehozására volt képes. Kutatásom számára fontos, hogy Laposky és Franke által készített görbék vizualitása és animációja örökzöld feladat a kortárs generatív grafika számára.

³⁶ (Reichardt 1968)

³⁷ (Dreher 2020)

³⁸ <https://www.katevassgalerie.com/print/p/herbert-w-franke-oscillogram>

Akár Processing kód, akár Touchdesigner node programban megtalálhatóak a hasonló görbéket megjelenítő oktatóanyagok, beállítások, publikus vizuálokban is megjelenik az oscillogram-ra jellemző görbe.

A Bell laboratóriumaiban több kutatás folyt a művészet, a zene és az animáció területén. Julesz Béla³⁹ a számítógép és a plotter segítségével készült véletlenszerű pontokból álló sztereó-grammokkal az emberi vizuális észlelést vizsgálta. Egy C. Bosche közreműködésével végzett kísérlet során, egy pseudo-véletlenszám-generátor által létrehozott nyolcad képkör-szeletnyi "zaj" mintázatot hétszer tükröztek, hogy szimmetrikus összképet hozzanak létre. Ez a technika a szimmetria és mintázatok érzékelésének tanulmányozására szolgált.⁴⁰

A. Michael Noll olyan forradalmi fejlesztésekben vett részt, mint a sztereoszkópikus kép, számítógépes holográfia, három és négydimenziós animáció, interaktív sztereoszkópikus kijelzők és beviteli eszközök, és a *3D force-feedback*⁴¹, ami a mai virtuális valóság egyik fő alkotóelemévé vált.⁴² Noll víziója szerint a számítógép nem csupán eszköz, hanem új művészeti médium, mely egyesítheti a különböző művészeti ágakat. Mindamellet, hogy Noll leplezetlen optimizmussal a számítógépet, mint kreatív társalkotót és partnert említi, hangsúlyozza, hogy a számítógép csak egy médium, és a valódi művészeti értéket a tartalom határozza meg. A fejezetet indító idézetből is látható, hogy a korabeli diskurzus kísértetiesen hasonló kérdéseket vet fel, mint amelyek napjainkban a mesterséges intelligencia kreatív képalkotó tulajdonságaival kapcsolatban felmerülnek.

Noll beszédhang vizualizációs kutatása⁴³ során egy téves adatfeldolgozás miatt keletkezett absztrakt ábra hatására kezdett el rendezett és véletlenszerű elemek kombinálásával számítógépes ábrákat alkotni. Az általa alkotott programban egy „fehér zajgenerátor” által elhelyezett pontokat vonalakkal kötötte össze. A pontfelhő létrehozása több mint a transzformációjával történt, egyes minták a véletlenszerű elhelyezkedésért feleltek, mások determinisztikus szabályokat alkalmaztak.⁴⁴ Ez az aprólékos, alapvetően kontrol-

³⁹ Labancz István doktori disszertációjában részletesen bemutatja Julesz Béla munkásságát (Labancz 2020)
⁴⁰ (Cybernetic Serendipity: the computer and the arts 1968)

⁴¹ magyarul talán legjobban háromdimenziós erőhatás-szimuláció-ként fordítható (SL)

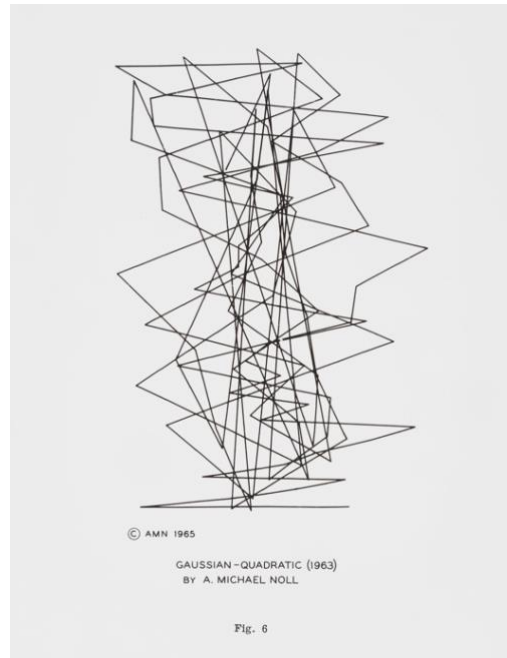
⁴² (Noll, The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir 1994)

⁴³ Noll első ilyen projektje 1961-ben a beszéd alapfrekvenciájának meghatározása volt a beszédhangok vizualizációjának segítségével egy akkoriban új *Stromberg Carlson SC-4020* mikrofilm rajzoló eszközzel. Az 1959-ben gyártott eszköz lehetővé tette, hogy képeket jelenítsenek meg és rögzítsenek.

<https://direct.mit.edu/books/monograph/4043/Peripheral-VisionBell-Labs-the-S-C-4020-and-the>

⁴⁴ (Dreher 2020)

lált, de a kreativitásnak teret adó munkamódszer a második tézisem alátámasztása. A megfelelő képarányú és vonalsűrűségű képek kiválasztása után a különböző véletlenszerű eloszlások művészi hatásának vizsgálati eredményeit Noll a *Patterns by 7090*⁴⁵ című Bell Labs technikai feljegyzésben dokumentálta 1962-ben.



16. A. Michael Noll: *Gaussian-Quadratic*, 1963.
Courtesy of the artist and Victoria and Albert Museum, London

A *Gaussian-Quadratic* (16.ábra) című képet nem a fizikai valóság inspirálta, hanem egy számítási folyamat során véletlenszerű értékek kombinációja előre meghatározott irányokkal és pozíciókkal. A spontán hatás kreatív képet eredményezett, mely utólag Nollt Picasso egy festményére emlékeztette, az absztrakció és a kubizmus kombinációjaként. Ez a mű lett az első regisztrált szerzői joggal védett számítógéppel készített műalkotás. A szerzői jogi hivatal először elutasította a regisztrációt, mivel egy gép generálta a művet, de végül Noll magyarázata után regisztrálták.⁴⁶

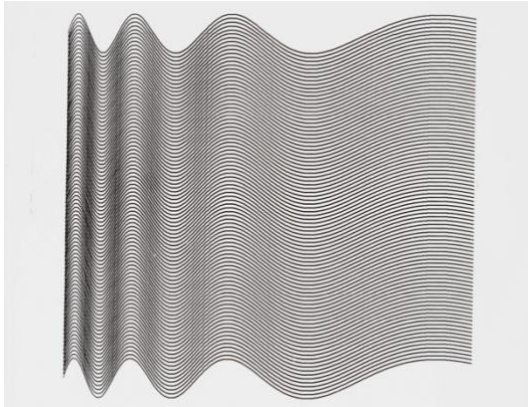
Képzőművészeti alkotások emlékeztető parafrázisának bizonyult a Bridget Riley *Currents* (18.ábra) című festményére reflektáló parallel szinuszos (17.ábra) vizuális rendszere, mely szemléltette, hogy az Op Art irányzat ismétlődő mintázatai könnyen reprodukálhatók matematikai egyenletekkel. A véletlenszerű eloszlások kreatív, művészi hatását pedig legjobban a híres Piet Mondrian kísérlet szemlélteti.⁴⁷

⁴⁵ <http://noll.uscannenberg.org/Art%20Papers/BTL%201962%20Memo.pdf>

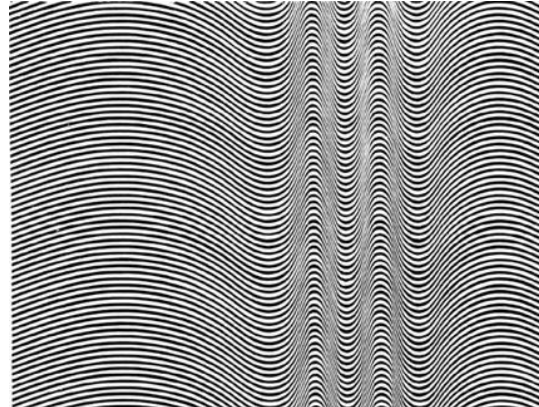
⁴⁶ (Noll, *The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir* 1994)

⁴⁷ (Noll, *The digital computer as a creative medium* 1967)

Noll Mondrian egyik művét (20.ábra) teremtette újra számítógéppel generált álvéletlen⁴⁸ minta (19.ábra) segítségével. Az eredeti és a komputer által generált képet az emberi percepció vizsgálatára használták. A kísérlet során a tesztalanyoknak a két kép azonos méretű xeroxmásolata közül ki kellett választani az eredeti művet. Nagy többség választotta a komputer által generált képet. Úgy látszik a többség a véletlenszerű elrendezést tartotta inkább az emberi kreativitás jellemzőjének, míg a Mondrian festmény rendezett, sávos elrendezése gépiesnek tűnt számukra.



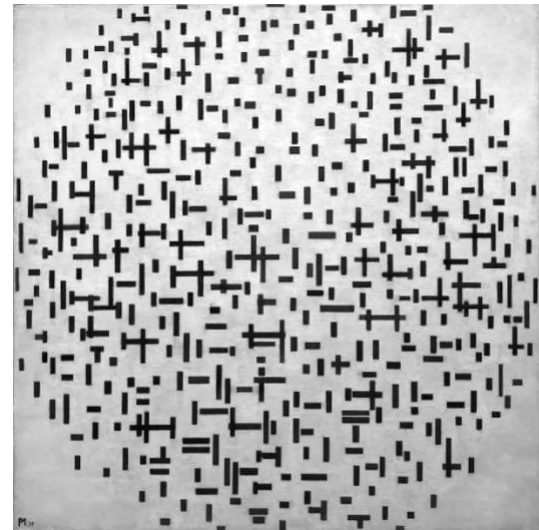
17. A. Michael Noll, *Ninety Parallel Sinusoids with Linearly Increasing Period*, 1964. Courtesy of the artist and Victoria and Albert Museum, London



18. Bridget-Riley: *Current*, szintetikus polimer táblán, 1964, részlet



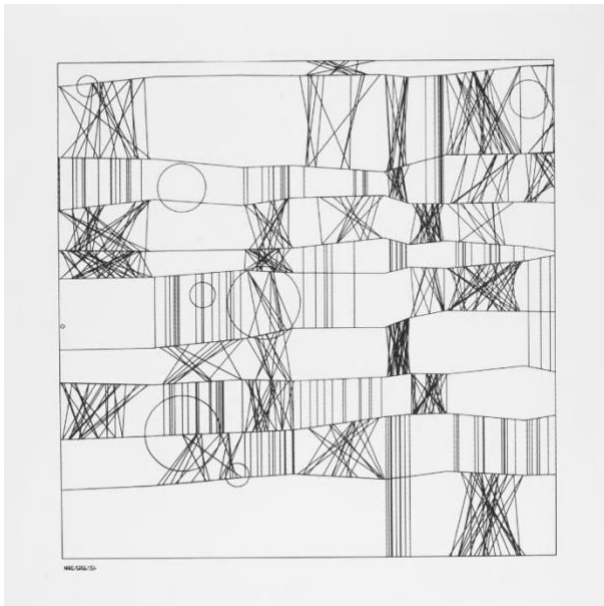
19. A. Michael Noll: *Komputer kompozíció vonalakkal*, 1964. Courtesy of the artist and Victoria and Albert Museum, London



20. Piet Mondrian: *Kompozíció vonalakkal*, 1917, Rijksmuseum Kröller-Müller, Otterloo

⁴⁸ A számítógép pseudo-random számgenerátora segítségével komponálva. Vö. Pseudo-random Number Generator; mivel egy számítógép a természeténél fogva nem képes igaz véletlen generálásra, PRNG-vel szimulálja azt.

A *Stereoscopic projections by digital Computers* projekt keretében, az IBM 7090 számítógépre írt program segítségével sztereoszkópicusan lehetett 3D adatokat megjeleníteni. A 3D adatoknak megfelelően projektált vetületből a mikrofilmrajzoló két ábrát készített, egyet-egyét mindkét szemhez. A hipotetikus négydimenziós objektumok vetített képét és mozgását is leképezte a program, így mozgókép kimenet keletkezett. Noll később a Bell által készített *Incredible Machine* című film főcímének megalkotásához is használta a technikát.⁴⁹ Noll egyik legjelentősebb eredménye a Howard Wise Galériában Jules Bélával 1965-ben megrendezett *Computer-Generated Pictures* című kiállítás volt, amely az első jelentős számítógépes művészeti tárlatok közé tartozott az Egyesült Államokban. A kiállítás ugyan nem hozott anyagi sikert, mégis mérföldkőnek számított a számítógépes művészet történetében.⁵⁰



21. Frieder Nake *Hommage à Paul Klee, 13/9/65 Nr.2*



22. Paul Klee: *Hauptweg und Nebenwege*,
Museum Ludwig, 1929

Noll mellett Frieder Nake és Georg Nees volt az úgynevezett „3N” matematikus és informatikus trió tagja, mely először kutatta a számítógépes művészet lehetőségeit a hatvanas években⁵¹. Nake matematikus és informatikus, többszáz generatív computer grafikát készített 1963 és 69 között. Paul Klee tiszteletére alkotott munkája (21. ábra) az őt kiváló

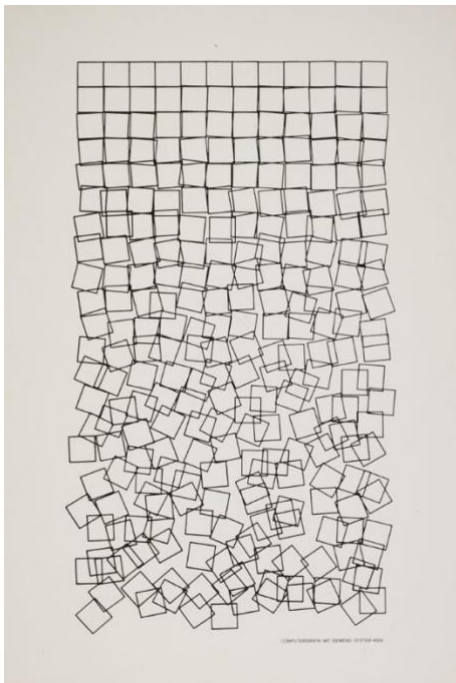
⁴⁹ <https://www.youtube.com/watch?v=S9-HpQUJLIM>. Szintén ebben a filmben látható az első számítógéppel generált computer animáció, melyben egy föld körül keringő szatellit stabilizáló rendszerét szemléltették: Zajac, Edward E.: Gyro gravity gradient attitude control system, film, 1963. Bell Laboratories, Murray Hill/New Jersey.

⁵⁰ (Noll, *The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir* 1994)

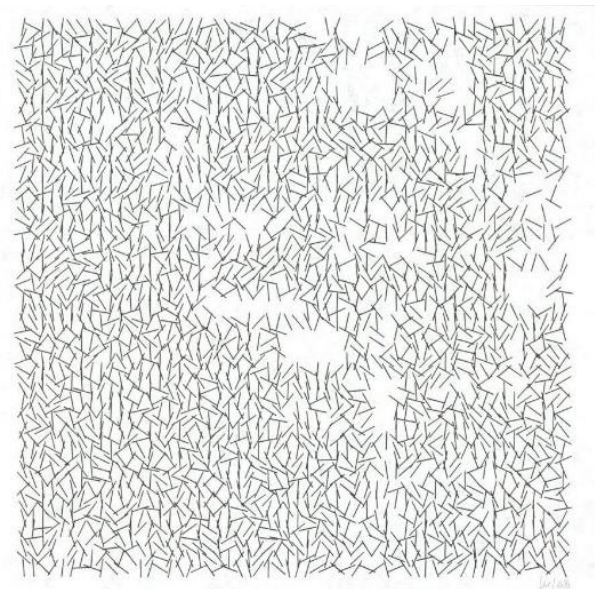
⁵¹ <https://medium.com/the-link-art-blocks/ab-101-historical-figures-in-generative-art-frieder-nake-869a2d536607>

minőségű szitanyomat mellett automata rajzgéppel készült 30-40 példányban, és ezek mindegyikét eredeti példánynak kell tekinteni. A mű nem tekinthető egy adott alkotás algoritmikus leírással történő szimulációjának, Nake számos álvéletlen döntést⁵² hozott az algoritmus emberi beavatkozással módosítva. Ez az alkotói módszer fontos értéke-
zésem első két tézise szempontjából.

Georg Nees az egyik első valóban generatív komputergrafikus művésznek tekinthető. Nees plotterrel készült munkái az esztétikai rend és a véletlenszerűség közötti matematikai kapcsolatot vizsgálták. A „Schotter” (1965) – az egyik első teljesen digitális számítógépes műalkotás – vizuálisan demonstrálja a rendezettség és a káosz közötti átmenetet, amely a generatív művészet egyik alapelve lett.⁵³



23. Georg Nees: *Gravel (Schotter)*, 1968-70



24. Vera Molnar: *Interruptions*, 1969
Black and white plotter drawing

Vera Molnar a generatív művészet képzőművészeti tanulmányokat is végzett úttörője. Alkotói módszere az „ellenőrzött véletlenszerűség” módszerét alkalmazta algoritmusok által generált geometriai kompozíciókban. *Interruption* (24. ábra) című, egyik első számítógéppel készült munkája egy egyszerű vonal iteratív eljárással történt manipulációja, későbbi részecskerendszert használó vizuálok és installációk inspiráló előképe.

⁵² (1) variation in width from break of curve to break of the horizontal bands (2) 'breaking' of the horizontal bands (3) selecting of symbols for each square of a band - no symbol. vertical lines for triangles (4) number of symbols per square (5) position of symbols in the square (6) number of circles (7) position of circles (8) radius of circles. (Reichardt 1968)

⁵³ (Dreher 2020)

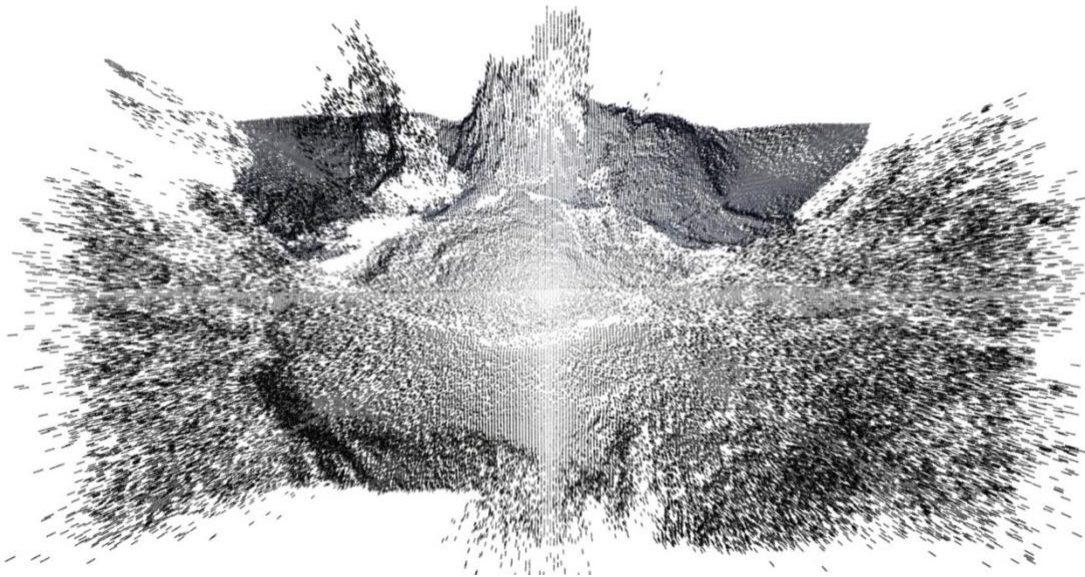
A kortárs motion graphics és VJ vizuálokban népszerű effekttel, mely tetszőleges képet pontfelhővé alakít, már a számítógépes művészet hajnalán kísérleteztek. A Computer Technique Group (CTG)⁵⁴ *Shot Kennedy* című sorozatában John F. Kennedy portréját alakították át különböző matematikai deformációkkal IBM 7090 számítógépen, majd Calcomp 563 plotter segítségével nyomtatták ki. A *Shot Kennedy No. 1* (25. ábra) című kép esetében a program az eredeti fénykép adatait egy pontba –a bal fülre– konvergáló egyenes vonalakká alakította. A *Diffuse Kennedy* (26. ábra) kép esetében rövidebb egyenes vonalakká alakította a kód a fénykép adatait. Ezek a deformációs kódok bármilyen mintára alkalmazhatók, így digitálisan generált effektnek tekinthetők.



25. CTG Group: *Shot Kennedy No. 1*, 1967



26. CTG Group: *Diffuse Kennedy*, 1967

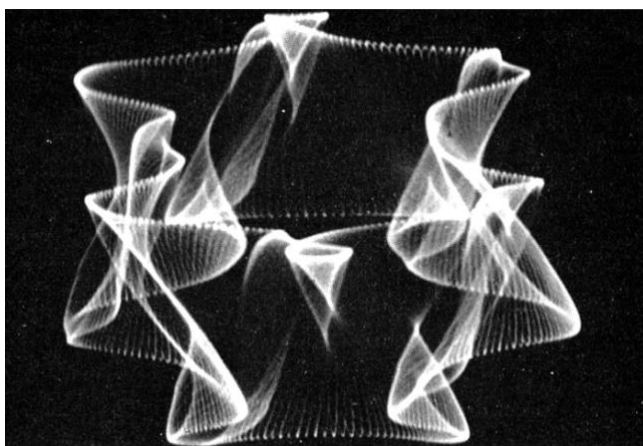


27. Sipos L.: *Winter Resolution*, 2024, Touchdesigner szekvencia

⁵⁴ Haruki Tsuchiya (systems engineer), Masao Komura (product designer), Kunio Yamanaka (aeronautic engineer), Junichiro Kakizaki (electronic engineer), Makoto Ohtake (architectural designer), Koji Fujino (systems engineer), Fujio Niwa (systems engineer)

Kortárs párhuzam: a fényképeket elemeire szedő, majd összerakó képmanipulációk alkalmazására példa egy általam készített kísérleti szekvencia⁵⁵, mely a globális felmelegedés jelenségére reflektál. (27. ábra). A Grossglockner olvadó gleccserét ábrázoló fénykép képpontjait a Touchdesigner program operátorai⁵⁶ zaj hozzáadásával szétszedik majd a transzformáció végrehajtása során újra összeállítják.

Hugh Riddle és Anthony Pritchett *Sidebands* 1968 (28. ábra) című kinetikus művét eredetileg egy tudományos-fantasztikus sorozat főcíméhez tervezték Möbius-szalag generálására, de végül művészeti installációként mutatták be, mert izgalmas grafikus felületeket hozott létre. A Lissajous-féle⁵⁷ oszcillográfiai analóg rendszer által generált kinetikus állóképeken a nagyszámú különböző grafikai formát a hullámformák frekvenciáinak változtatásával érik el. A hullámformákat egy mágnesszalagra rögzítették, így a prezentált mű egy folyamatosan változó, tízpercenként ismétlődő videóinstalláció. A videó médiumként való felhasználása radikális gesztus volt, mert a hagyományos filmkészítéssel ellentétben az analóg videótechnikák lehetőséget adtak az élő manipulációra és azonnali visszacsatolásra.



28. Hugh Riddle-Anthony Pritchett: *Sidebands* 1968



29. Nam June Paik: *Magnet TV*, 1965

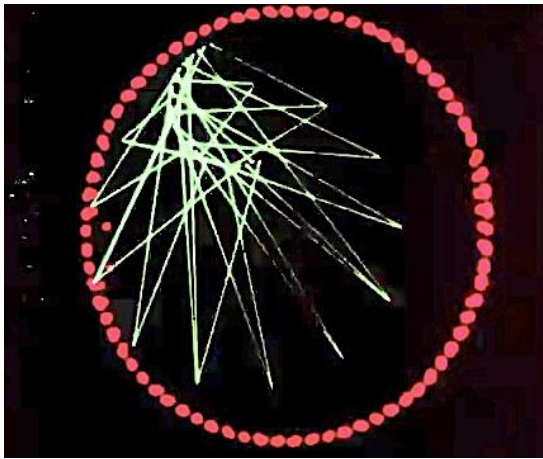
Nam June Paik saját kezűleg módosított tévékészülékeket és videósintetizátorokat használt műveihez. A *Magnet TV* (29. ábra) korai „preparált televízió”, melyen egy ipari mágnes zavarja a televízió elektronikus jeleit, és a sugárzott képet absztrakt formává torzítja. A tévékészülék interaktív szoborrá vált, amelynek képe véletlenszerű eljárásokkal generálódik, és tetszés szerint manipulálható. Olyan azonnali visszacsatolást hozott létre, amelyben a néző cselekedetei közvetlen hatást gyakorolnak a mű formájára és jelentésére.

⁵⁵ <https://vimeo.com/1084718160>

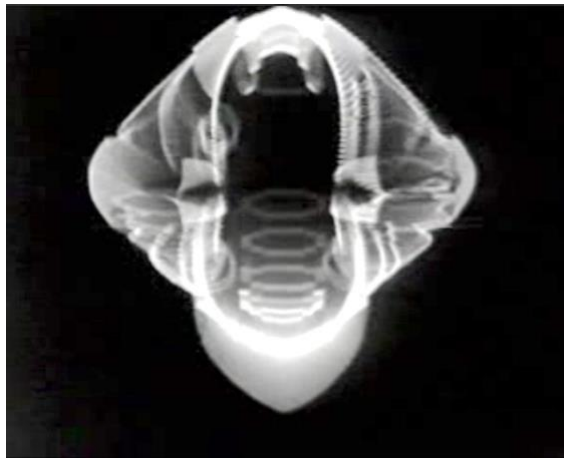
⁵⁶ Crazy Radio alapján <https://youtu.be/M3cGdluGKNQ?feature=shared>

⁵⁷ Lissajous-görbe: egymásra merőleges rezgések által létrehozott görbék

A mozgókép és animációs művészet felfedezte, hogy az algoritmusok által generált rendszerek pillanatképei időben rögzítve és videóra „nyomtatva” összetett vég nélkül alakuló világokat teremthet. John H. Whitney matematikai egyenleteket és változókat használt teljesen új animációs effektek eléréséhez. *Permutations* (1968) című filmje (30.ábra) kísérlet a mozgó grafika (*motion graphics*) strukturális nyelvének kidolgozására. A film különböző pontalakzatokat tartalmaz, amelyeket Whitney az ábécéhez hasonlít, elsősorban zenei analógiák mintájára. A pontalakzatok „szavakká” formálódnak, majd összefüggő mondatstruktúrákba illeszkednek. Az első fázisban Whitney az IBM 2250 grafikus kijelzőn fekete-fehér filmre rögzítette a speciális számítógépes program által generált grafikus mintákat, aztán hagyományos filmkészítési utómunka eljárással meghatározta a képek méretét, színét és elhelyezkedését.⁵⁸



30. John H. Whitney: *Permutations*, 1966



31. Gary Hill: *Videograms*, 1980-81

Gary Hill: *Videograms*⁵⁹ című munkája a költészet és elektronikusan generált absztrakt formák asszociatív kompozíciója. Az üres videó képernyő intuitív modulálása és felvétele az 1970-es évekből származó Rutt/Etra szkennerprocesszorral történt, amely lehetővé teszi az elektronikus formák módosítását a képernyőn. A mű több rövid, számozott szekvenciára oszlik, a beszéd tartalma hétköznapi életből kiragadott töredékekből áll.

A komputergrafika kezdeti művészi kísérletei közül kiragadott példák aktualitását növeli, hogy az idézett grafikus és animációs struktúrák állandó vizuális hivatkozási alapként jelennek meg a kortárs fényművészeti és VJ élő eseményeken.

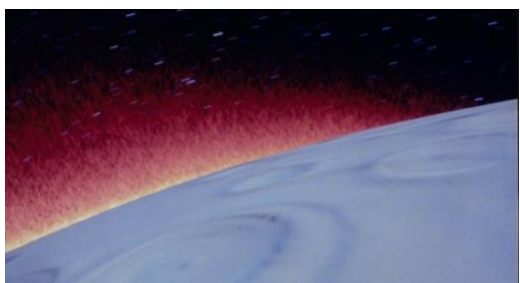
⁵⁸ (Cybernetic Serendipity: the computer and the arts 1968)

⁵⁹ Gary Hill: *Videograms*, 1980-81, Video, B&W/sound, Hardware: Rutt/Etra synthesizer
<https://garyhill.com/work/video/videograms.html>

2. Generatív vizuális rendszerek stilizált alkalmazása

A számítógépes művészet nem csupán újmédia művészet lehetséges technikai eszköztára, hanem a médiaművészet önálló területe és többpólusú fejlődési vonallal rendelkezik.⁶⁰ Egyszerre van jelen a vállalati, fogyasztási termékek világában CGI⁶¹ animáció és videojátékok formájában, és az autonóm művészi szférában, mint generatív művészet, net art vagy interaktív installáció. Bár sokszor úgy tűnik, hogy az alkalmazott és a szerzői művészet céljai, nyelve, kritikai szempontjai teljesen különbözőek, valójában nem egymást kizáró tényezők, hanem egymást kiegészítő fejlemények, amelyek mind hozzájárulnak a „számítógépes esztétika”⁶² formálásához. A számítógépes esztétika pedig bekebelezte a korábbi technikák, médiumok és művészeti irányzatok esztétikáját, majd visszahatott a hagyományos műfajok, technikák esztétikájára.

Algoritmus által generált vizuális rendszereket széles körben alkalmaznak mind alkalmazott, mind képzőművészeti területen. Az első művészeti alkalmazások után, a komputeres teljesítményének növekedése és a felhasználóbarát alkalmazások fejlesztése megteremtette a lehetőséget, hogy immár kereskedelmi produkciókban, a mozifilmes szórakoztató iparban is megjelenjenek a szimulációs megoldások. Az 1982-es *Star Trek II: Khan haragja* című mozifilmben a Genesis device működését bemutató részecskeszimuláció szekvenciát követően sorban jelentek meg az egyre látványosabb és valósághűbb szimulációs megoldások. A 2024-es *Dűne: Második rész* című film a sivatagi homokviharakat létrehozó effektet már-már stilizált nagyon finoman hangolt és redukált színvilágba helyezi, de elsődleges feladata a valósághű megjelenítés.



32. *Star Trek II: Khan haragja*, Genesis device, 1982



33. *Dűne: Második rész*, 2024

⁶⁰ (History of Computer Art 2020)

⁶¹ Computer Generated Imagery: számítógéppel létrehozott képek

⁶² Az esztétika kifejezés használatának a számítástechnikai folyamatok művészi fejlődésére csak akkor értelmezhető, ha jelentése nem korlátozódik a vizuális jelenségekre. A hardverfunkciókat, interfészeket, programokat (szoftverekódot) és számítási folyamatokat a "számítógépes esztétika" összetevőiként kell figyelembe venni. (Thomas Dreher)

Hollywood meghódítása után a technikai fejlődés a fotórealisztikus megoldások tökéletesítése irányában haladt, a kezdetben igencsak műanyag hatású digitális textúrákat egyre organikusabb felületek és mozgások váltották, a valóságtól megkülönböztethetetlen látványvilágot megteremtve. Sajátos módon sokszor a megjelenéskor tökéletesen realisztikus hatású speciális effektek pár év múlva már esetlennek, természetellenesnek tűnnek, leesnek a vászonról. Amellett, hogy fejlődik az utómunka technika a „valóságűségnek”, effektek esztétikai megjelenésének is trendjei vannak. Leggyakrabban a füst, tűz, tenger, víz, por, robbanások, természeti jelenségek, eső, hó, szélvihar és tömegszimulációk elkészítéséhez használnak.

A részecskeszimuláció használata szintén népszerű a komputerjátékokban, de itt már sokszor kevésbé realisztikusan tűnnek fel, a valós idejű játékmenet során nem a rendező határozza meg a beállításokat és nincs vágás, így akár ugyanaz a technika hosszabban, tetszőleges szögből látva már nem ugyanaz a hatás, mint egy szerkesztett filmben.

Ezen értekezés szempontjából a stilizált, grafikus effekt megjelenítési mód, és azon szimulációk érdekesek, ahol, mint önálló tartalom és folyamatirányító algoritmusok befolyásolják a történet, a játékmenet, vagy az interakció lefolyását.

2.1. A pontfelhő

A részecskerendszerek használatának alapvető lépése a pontfelhő (*point cloud*)⁶³ létrehozása, melynek egyes elemeit szimulációval vagy egyéb iterált algoritmusok segítségével módosítjuk, mozgatjuk. A pontfelhő elkülönült pontok halmaza a térben. Ezen pontok mindegyike az x/y/z koordináták és az orientáció mellett tartalmazhat többek közt r/g/b színértékeket, felületi irányokat (*normal*) és meghatározhatnak egy térbeli formát.

A pontfelhő létrehozható a fizikai vagy valamilyen *emergens*⁶⁴ szimuláció első lépéseként, és egyéb iterált egyenlet segítségével. Szimuláció esetén a részecskék keletkezésének szabályait valamilyen természetben létező modell működése alapján határozza meg az adott program. Lehetséges folyamatosan keletkező és megszűnő pontokból álló felhőt, vagy a véges keletkezési folyamat után állandó élettartamú pontthalmazt definiálni. Művészeti vagy hipotetikus felhasználásban ezek a szabályok módosíthatók a kívánt koncepció vagy esztétikai elképzelés szerint. A kiindulási pont meghatározott, a folyamat során, illetve végleges létrejött pontfelhőben az egyes pontok útvonala általában a szimuláció lefutása előtt nem ismert, mivel iteratív folyamat építi fel a pontfelhőt, de az együttes viselkedésük befolyásolható. Gyakorlati alkalmazására több animációs program kínál eszközt.⁶⁵

Fordított irányú folyamatként lehetséges egy már létrehozott 3D objektumháló (*mesh*) *vertex*⁶⁶ típusú elemeit definiálni, mint a felhő pontjait. Az előző folyamattal ellentétben ebben az esetben egészen pontosan tudjuk a felhő egyes pontjainak pozícióját, ezért érdemes ezt a metódus alkalmazni, például egy meghatározott konkrét objektum részecskéiből való felépítéséhez.

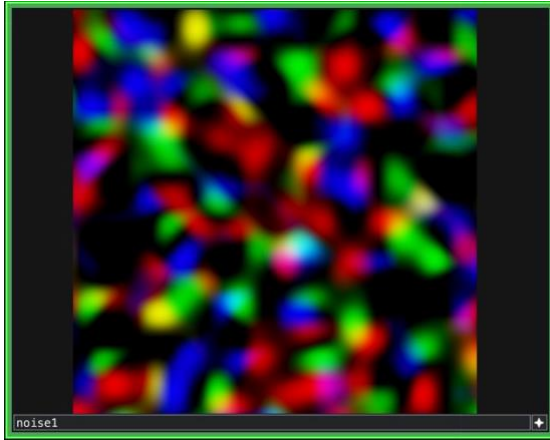
Más típusú adathalmazból is konvertálható pontfelhő, ahol három értéket ki tudunk emelni, erre szemléletes példa egy generált vizuális színes zaj (*noise*) átalakítása pontfelhővé az r/g/b értékek x/y/z koordinátákká megfeleltetésével.

⁶³ <https://www.undet.com/point-cloud-basics/>

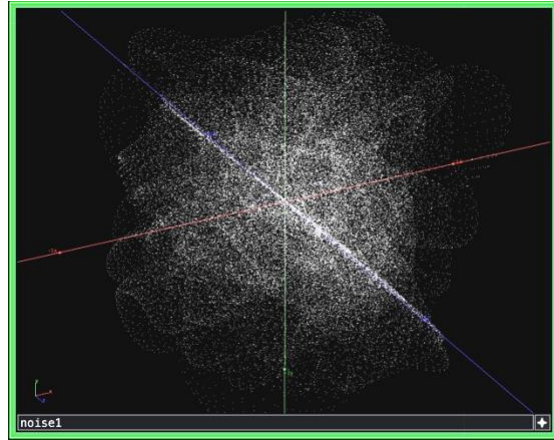
⁶⁴ Bonyolultan összetett mintázatot és viselkedési mintákat felmutató rendszerek egymásra épült valóságrétegekből állnak és minőségi jellemzői különböznek, túlmutatnak az alkotó elemek jellemzőitől. <https://www.templeton.org/news/what-is-emergence>

⁶⁵ Houdini, Blender, Maya, After Effect, Cinema4D, Touchdesigner stb.

⁶⁶ Vertex, többesszámban vertices, csúcspont: ahol egy síkidom oldalai vagy térbeli forma élei találkoznak.



34. Touchdesigner noise node view as image



35. Touchdesigner noise node view as points

Pontfelhő létrehozható és látványos mintázatokba rendezhető tetszőleges témakörben rögzített adatok vizualizációja céljából. Ezen alkalmazások elsődleges célja, hogy az eredetileg nehezen értelmezhető adathalmazból vizuális hálózatot képezve rejtett összefüggéseket, elemezhető mintázatot mutasson meg. Az adatok csoportosítása, a koordinátarendszerek definiálása és az adatfelhő pontokat összekötő élek szabályainak meghatározása komoly kutatómunkát igényel, a végeredményként létrejövő vizualizáció esztétikai értéket képviselhet és hidat képezhet a tudományos elemzés és a művészet között.⁶⁷

Amennyiben valódi térbeli modellt szeretnénk használni alkalmazott építészeti feladathoz vagy egyéb vizualizációhoz, a pontfelhőt létrehozhatjuk létező objektumok, környezet mérésével lézerszkennelő berendezés vagy nagyfelbontású kamerák segítségével. A LiDAR (*Light Detection and Ranging*) olyan távérzékelési technológia, amely lézersugarak alkalmazásával háromdimenziós képet képes alkotni a vizsgált tárgyról, környezetről. Az eszköz nagy pontosságú fényimpulzusokat bocsát ki, majd mérni képes azok visszaverődésének idejét és intenzitását. Az egyes mérési pontok – melyek száma gyakran több tízezer, sőt akár több millió is lehet – együttesen háromdimenziós pontfelhőt alkotnak, amely rendkívül részletes geometriai modellek létrehozását teszi lehetővé. A lézersugár alkalmazása következtében az iparági gyakorlatban és a tudományos szakirodalomban is gyakran a „lézerszkennelés” (*laser scanning*) megnevezéssel találkozunk⁶⁸. A másik módszer a *fotogrammetria* nagy felbontású RGB kamerákkal készített fényképfelvételek felhasználásával teszi lehetővé egy adott objektum vagy terület háromdimenziós ábrázolását. A térbeli rekonstrukció során a felvételek úgy készülnek,

⁶⁷ (Barabási 2021)

⁶⁸ Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3), 68–82. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)

hogy jelentős mértékben átfedjék egymást, valamint különböző nézőpontokból rögzítsék ugyanazt a jelenetet. Ennek köszönhetően a kétdimenziós képekből matematikai algoritmusok segítségével háromdimenziós modell generálható.⁶⁹ A fotogrammetria különösen hatékony módszernek bizonyult a kulturális örökség dokumentálása, a térképezés, valamint az építészeti és topográfiai vizsgálatok során.⁷⁰ Szintén hasznos és hatékony épületfestő produkciók kivitelezése során, az adott épületek térbeli modelljeit felhasználva készítik el a vetített látványos vizuális mozgóképet, mely visszatérő elemként sokszor maguknak a pontoknak a megjelenítésével teszi láthatóvá az épület rejtett szerkezetét.

Meglátásom szerint a pontfelhő, mint vizuális jelenség, – amellet, hogy ezen értekezés írásának idején egyre népszerűbb és dominánsabb mind alkalmazott, mind szerzői művészeti alkotásokban – fontos esztétikai és filozófiai jelenséggel bír. Esztétikai szempontból a pont a legkisebb grafikai jel, a pontfelhő egyenletes szórás esetén grafikus jellegű zajt hoz létre. Kissé erőltetett, de szívemnek kedves képgrafikai analógiával úgy fogalmaznék, hogy az aquatinta kialakításához használt aszfaltpor olyan, mint egy pontfelhő, a porzószekrényben (*simulation zone*) a lapátkerek tekerése futtatja a szimulációt, amikor leülepedett a por a nyomódúcra, melegítéssel ráolvasztjuk a szemcséket és maratjuk, létrejön a szemcsézett felület, mely egyrészt lehetővé teszi a tónus nyomtatását, másrészt a nyomaton a szemnek izgalmas finomabb vagy durvább zajt alkot.

⁶⁹ Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

⁷⁰ Remondino, F., & El-Hakim, S. (2006). Image-based 3D modelling: A review. *The Photogrammetric Record*, 21(115), 269–291. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x>

2.2. A részecskeszimuláció, mint vizuális effekt

A részecskeszimulációt a kreatív iparban olyan vizuális hatások automatizált létrehozására használják, amelyek élő forrásból nem rögzíthetők, vagy manuális megrajzolásuk nagyon sok időt venne igénybe. Ebben az értelemben *Computer-generated Imagery* (CGI)⁷¹ kategóriájába sorolhatók. A filmes és animációs szakmában Visual FX-ként, vizuális effektusként szoktak hivatkozni erre a technikára. Ahogy az elnevezésben is benne van generált képről van szó, így a részecskeszimuláció is generatív képalkotó módszernek tekinthető, de semmiképp nem összetévesztendő a gépi tanulás alapú képfeldolgozással⁷², amely technológia nem tárgya jelen értekezésnek.

A komputergrafikus⁷³ és animációs programokban a *Particle System* – részecskerendszer – egy olyan matematikai szabályok és programozási megoldások által működő generatív rendszer, amelyben több ezer vagy millió apró objektum (részecske) kollektív mozgásából komplex formák alakulnak ki. A felhasználó nem maga építi fel a konstrukciót, hanem a kezdeti paraméterek megadása után magára hagyja a rendszert, amely felépíti és módosítja saját magát. A részecskék alapvető viselkedését különböző elven működő algoritmusok irányíthatják.

Amennyiben természeti jelenségek – füst, tűz, víz, felhők, csillagködök –, vagy valamilyen már előre leírt, működő, illetve feltételezett rendszer szabályait írják le az algoritmusok, úgy szimulációról beszélhetünk. Ezek a szabályok lehetnek a természetben is létező fizikai erők/erőterek; többek között a gravitáció, turbulencia, örvény, széllekek, Lennard-Jones erőhatás, vonzó vagy taszító erőhatások, mágneses erőter. A szimuláció történhet önálló viselkedési modellek, Boid-algoritmusok⁷⁴ és emergens mintázatok⁷⁵ alapján is, melyek elsősorban madárcsapat, tömegek viselkedésének szimulációjához használható. Lehetőség van determináltan vagy véletlenszerűen változó, sőt felhasználói, nézői interaktivitásból következő változó körülmények meghatározására is. Mind az elemi részecskék létrehozásánál, mind az ezt befolyásoló erők meghatározásánál lehetőség van véletlenszerű értékek generálására, így tetszőlegesen absztrakt, különösebb létező vagy

⁷¹ Számítógéppel létrehozott képek

⁷² Artificial Intelligence and Machine Learning based Image Processing
www.design-reuse.com/articles/53213/artificial-intelligence-and-machine-learning-based-image-processing.html

⁷³ E programok célja elsősorban látványos illusztráció létrehozása, nem tudományos igényű vizualizáció.

⁷⁴ Craig Reynolds által kifejlesztett program, mely a madárparajok viselkedését szimulálja.
<https://www.red3d.com/cwr/boids/>

⁷⁵ Megjelenés-tudomány: hogyan alakulnak ki összetett mintázatok önálló egyedek tevékenységéből.
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Emergencia>

szándékolt szabályosság nélküli kompozíciók és mozgások létrehozására.⁷⁶ Amennyiben valamilyen külső adathalmazt adunk meg az algoritmusok bemeneti adataiként, akkor vizualizációról beszélhetünk. A bemenő adatok kreatív és konceptuális megválasztása és kombinációja alkalmas lehet kritikai jelentések közvetítésére, így a vizuális effektből jelentéshordozó képalkotó effekt válhat.

Részecskerendszerek építhetők programkód vagy grafikus felhasználói felület (GUI) használatával. Míg a programkód biztosítja a legnagyobb rugalmasságot és gyorsaságot, addig a grafikus felület hozzáférhetővé teszi a rendszert a nem programozó operátoroknak és főleg a művészek számára amellet, hogy széles körű beavatkozási lehetőséget biztosít a generatív effektek alakításához, kombinálásához. A részecskerendszer kódolásához számos platform áll rendelkezésünkre. Népszerű program a művészek, animátorok, tervezőgrafikusok és webdesignerek számára fejlesztett Processing és a p5.js. A grafikus felhasználói felülettel rendelkező animációs programok nagy részében található részecskeszimuláció készítésére alkalmas megoldás. Ilyen például az Adobe After Effects compositing, SideFx Houdini, Autodesk 3DS Max, Autodesk Maya, Cinema4D, Blender 3D modellező és animációs szoftver, a Unity és Unreal game engine-ek, vagy a Touchdesigner node alapú⁷⁷ vizuális programnyelv. A node (csomópont) alapú szerkesztési rendszer könnyen elsajátítható, mégis végtelen kombinációt biztosíthat. Sok program a könnyen kezelhető grafikus felület mellett programkód beírására is lehetőséget biztosít komplex, a felhasználói felületen keresztül nem megvalósítható hatások létrehozásához. A széleskörű beavatkozási lehetőségek biztosítása azért szükséges, mert az animációs szórakoztatóipari felhasználás során nem feltétlenül a tudományos hitelesség, hanem a látvány, a spektakulum létrehozása és alakítása a cél. A dramaturgia, a kompozíciós megfontolások felülírhatják az algoritmusok által előállított látványt, a művészi alkotási folyamat szükséges része az emberi beavatkozás.

A részecskerendszerekkel való munka során rengeteg elemet kell valós időben mozgatni, ami igencsak számításigényes. Így a munkafolyamat nagy részében a szimulációt csak pontfelhő nézetben látjuk, a végleges tervezett látványt pedig a végső renderfolyamat eredményeképpen kapjuk meg. A jelen értekezés tárgyát képező grafikai központú művek

⁷⁶ Nem elkerülhető természetesen, hogy a látszólagos random értékek előbb-utóbb valamilyen rendszert hozzanak létre.

⁷⁷ Nem destruktív és nemlineáris munkafolyamat: a szerkesztési lépéseket csomópontokból álló folyamatábraként jeleníti meg a program, mely sorrendje illetve a bemenetek és a kimenetek utólag törölhetők, módosíthatók vagy kiegészíthetők. Így drasztikus változtatások és finomhangolások is könnyen elvégezhetők.

létrehozásánál engem elsősorban e pontokkal, illetve vonalakkal létrehozott vázlatnézet érdekel, mind esztétikai, mind filozófiai szempontból.

Amikor részecskékről beszélünk, először létre kell jönniük. Általában valamilyen pontból, felületről, vagy térfogatban keletkeznek megadott kibocsátási gyakoriság szerint. Történhet a kiindulási pontfelhő létrehozása szkennelés útján, amikor fototechnikai úton észlelt távolságok alapján hozzuk létre a létező környezetet virtuális pontok formájában. A pontok látszólag véletlenszerű elszórása is lehetséges. Mind a programon belül létrehozott pontok, mind a szkennelt és digitalizált pontok koordinátái egyenként elérhetőek, így önállóan is mozgathatók. A pontok tulajdonságaik alapján csoportosíthatóak.

Minden egyes újonnan generált pont a következő tulajdonságokkal rendelkezik: kezdeti pozíció, sebesség, irány, méret, szín, átlátszóság, alak, élettartam és textúra. E paraméterek határozzák meg, hogy az egyes részecske mikor jön létre és mennyi ideig létezik, hol található a térben, mekkora méretű, merre és milyen sebességgel halad, milyen színű és átlátszóságú. A szerkesztő felületen általában pontként vagy korongként ábrázolt részecske a végleges képkockán megjeleníthető elmosódott szélű foltként (*halo*) tűz, füst, felhő szimulációhoz, a megadott textúrát megjelenítő 2D *sprite*-ként, vagy akár 3D objektumként (*mesh*). Az objektum bármely komplex animált geometria lehet, például madár, hal, méh. Megfelelő beállításokkal madárrajmozgás vagy egyéb tömegszimuláció készítése lehetséges.⁷⁸

A részecskerendszer több komponensből áll.⁷⁹ Az *emitter* a részecskék létrejöttének forrása, meghatározza, hogy hol és hogyan jönnek létre az egyes elemek. Lehet pont, felület, vagy akár térfogat is. Az *emission* paraméter meghatározza, hogy mennyi részecske keletkezik és milyen időközönként. A *velocity* a kibocsátás sebességét és irányát a *rotation* a forgását dönti el. Különböző fizikai erőterek (*force fields*) hathatnak egyenként vagy az összes részecskékre, melyek mértéke szintén beállítható. A *children* beállításoknál lehetőség van egy létrehozott részecske sokszorosítására, például fűszál helyett fűcsomót, vagy szikra ütközése esetén további szikrákat generálva. A rendszer finomhangolásánál fontos lehetőség, hogy az emitter-ként szolgáló mesh objektum geometriáján kiválasztható mely pontokra (*vertex groups*) legyenek érvényesek a particle system beállításai.

⁷⁸ Blender Particle Systems, <https://docs.blender.org/manual/en/latest/physics/particles/introduction.html>

⁷⁹ Ez a leírás a Blender program működése alapján készült, más programokban elnevezésben eltérő, de működésben hasonló funkciók találhatók. E leírás nem teljeskörű, elsősorban a funkciók lényegét és az elveit szándékozik bemutatni.

Meghatározható a szimulációs modell, mely alapján a számítást végezni szeretnénk. Választható newtoni fizika (szilárd testek ütközése), folyadék (*Fluid Dynamics*) és *Boid*⁸⁰ (rajmozgás) szimuláció, vagy kulcsolt (*keyed*), ha két különböző részecskerendszer között szeretnénk interpolált átmenetet képezni. Ilyen eset lehet például, amikor egy kockatest úgy alakul át gömb objektummá, hogy apró darabokra osztódik, majd a célobjektum pozíciójába érve a kis részecskék immár gömb formában állnak össze. A választott modell szerint változik, hogy mely komponensek használatosak. Folyadék szimuláció esetén más paraméterek vannak. Általában az eredeti objektum lesz a *flow* típusú komponens, amely folyadékká átalakul, és a *liquid domain* tároló térfogata határozza meg azt a teret, amin belül marad a folyadék a szimuláció során. A harmadik fontos komponens az *effector* komponens, mely akadályként viselkedik a folyadék útjában. A *Boid* rendszert limitált mesterséges intelligencia irányítja, amelynek segítségével alapvető viselkedési szabályok definiálhatók.

A részecskerendszer procedurális rendszer, tehát a részecskék helyzetét egy adott időben vagy képkockán csak úgy kapjuk meg, ha végigszámoljuk az előtte lévő képkockákat. Amikor úgy döntünk, hogy a szimuláció megfelelően viselkedik, lehetséges rögzíteni az animációt (*bake*), ilyenkor már nincs szükség minden egyes alkalommal újra számolni a folyamatot. Viszont, ha megváltoztatunk egy paramétert, rögzített animáció már nem követi a változtatást, ezért fel kell oldani.

A statikus *hair* típusú szimuláció speciális, összetett rendszer. Bizonyos paraméterek részecskeszimulációként állíthatók be, mások fizikai szimulációként. Ilyenkor a rendszer nem képkockaként jeleníti meg a részecske számított helyzetét, hanem az útvonal alapján kiszámított kontrollpontokat helyez a térbe, interpolált görbékkel összekötve, statikus vonalakat létrehozva. Elsősorban szálszerű anyagok létrehozására használják, mint például haj, szőr, fű, toll. A struktúra sűrűsége, az egyes szálak alakja, görbületei, vastagsága szabályozható, véletlenszerű szórással és jellemzőkkel természetes hatás érhető el, és szinte minden paramétere animálható. A szálak viselkedését a fizikai modell beállításával, a szálak által alkotott struktúrát és a megjelenés stílusát fizikai paraméterekkel befolyásolhatjuk. A szálak hierarchiába is rendezhetők, ami sarjak növesztését teszi lehetővé. Ezek a szál struktúrák részecskeszimulációként egyedileg vagy csoportosan fésülhetők, hosszabbíthatók vagy rövidíthetők, simítható és vágható a hajsálak

⁸⁰ Reynolds, 1986

kinézete. Azon túl, hogy a szálak hossza, görbülete, vastagsága animálható, a fizikai szimulációs funkció segítségével a hajszálak helyzete és formája követheti a forrásobjektum mozgását. Más fizikai szimulációkhoz hasonlóan a hajrendszerénél is lehetőség van a szálak mozgását befolyásoló ütközések létrehozására.

A realisztikus megjelenést a render adja hozzá a szimulációhoz. Ettől néz ki hajnak vagy fűnek. Ha ezt leválasztjuk róla, akkor marad a szimulációs struktúra, ami egy önálló grafikus értékkel rendelkező vonalhálózat.

2.3. Mozgóképek és animáció

A számítógéppel digitálisan létrehozott művek egyik jelentős előnye, hogy utólag manipulálhatók, mivel a képkockotó elemek már önálló objektumként jönnek létre. Vektor formátumban tárolt adatok esetén a módosítás is igen egyszerű és gyors. A képkockotó elemek időben változó grafikai elemmé alakíthatók, vagyis animálhatók.⁸¹ A generatív struktúrák segítségével készített grafikai művek sok esetben iteratív műveletek kiragadott pillanatképei, így az alkotási folyamat során elérhető és menthető a teljes mozgóképes változat.

A szakmai zsargonban szűkebb értelemben vett animáción a karakteranimációt értjük, ezen belül a képkockaként rajzolt (*frame-by-frame*) mozgatás tekinthető a legigényesebb, és egyben legdrágább technikának. A csontozott (*riggelt*)⁸³ karakterek interpolált mozgatása valamivel gazdaságosabb lehet, de mozgatás előtt megfelelően felépített karakter rig elkészítésére van szükség. A frame-by-frame animáció esetén minden képkockán teljesen előlről kezdjük a rajzot. A 2D vagy 3D csontozott karakterek esetén már egy testrészekből felépített, és mozgatási szabályokkal ellátott szerkezet elemeit mozgatjuk kulcskockák megadásával, melyek között a számítógép interpolációs módszerrel elkészíti a szükséges fázisokat. A képkockaként rajzolt fázisok módszerével érhető el a legnagyobb művészi kontroll és mozgatási absztrakciós szint. Az interpolált mozgatásnál a két kulcsfázis között generált mozgás jellemzői mozgásgörbékkel befolyásolhatók. Bár minél sűrűbben helyezünk el kulcskockákat az idővonalon, annál nagyobb a művészi kontroll, az optimális és értelmezhető interpolált mozgásgörbe minőségének fontos feltétele, hogy csak a feltétlenül szükséges kulcskockákat helyezzük el. Animáció közben mindkét szempontot figyelembe kell venni. A kameramozgatást mind a klasszikus analóg animációs technikában, mind a számítógépes animációban általában interpolált számítás segítségével hozzuk létre. A klasszikus animációs trükkasztalon az operatőr kalkulált mechanikus lépésenként mozgatja a hátteret és képkockaként rögzíti. Digitális nemlineáris munkafolyamat során, az animátor vagy kompozitor⁸⁴ által megadott kezdő és végpont alapján a program kiszámítja és generálja a kameramozgást.

⁸¹ Az animáció módszertani meghatározása: képkockaként filmszalagra rögzített látvány.

A „megelevenítés” és „megelevenedés”, a művészi beavatkozás folyamata formálja műalkotássá. Mozgás (Bartók és Beiber 1993)

⁸³ A riggelés során egy objektumhoz hierarchikus vázat (más néven *skeleton* vagy *armature*) kapcsolunk, mely segítségével az objektumot és részeit egymástól függően mozgatni tudjuk.

⁸⁴ A külön elkészült vizuális elemeket kombinálja, kameramozgást elkészíti, egységes látványt hoz létre. Operatőrnek is nevezik, például a Kecskeméti animációs stúdióban.

Mind technikai, mind esztétikai szempontból meghatározó az animációhoz használt képkockasebesség (*framerate*)⁸⁵ és az, hogy ugyanazon rajzot hány egymásutáni képkockán használjuk. Technikatörténeti okok miatt eltérő lejátszási sebességet használunk a televíziósugárzás, a videó és optikai lejátszók, a streaming szolgáltatók és a filmszínházban vetített formátumok esetében. A moziban általában a legkorábban kialakult fix szabvány szerint 24 fps⁸⁶ sebeséggel nézhetjük a filmeket. Az analóg televízió sugárzás szabványa régióként eltérően főként 25 vagy 30 képkocka volt másodpercenként (*fps*), video formátumoké 23.976-tól egészen 60 fps-ig terjed⁸⁷. A digitális televíziózás és a HDTV formátumok elterjedésével elérhetővé váltak a *High Frame Rate (HFR)*⁸⁸ beállítások, amelyek az általánosan használt értékeknél jóval magasabbak. Sportközvetítéseknél és videójátékoknál fontos, hogy a gyors mozgások ne mosódjanak el (*motion blur* jelenség). Ha nagyon gyors, akár 120 fps-el történt felvételt normál sebességgel játszunk vissza, akkor extrém lassú mégis folyamatos felvételt nyerhetünk. Speciális művészi felhasználására Bill Viola életművében több gyönyörű példát láthatunk.⁸⁹

A filmművészetben több kísérlet történt a HFR elterjesztésére. Legismertebb talán Peter Jackson esete, A Hobbit trilógiáját 48 fps-sel rögzítették és vetítették⁹⁰, de a nézők között felemás sikert aratott, többen elégedetlenségüket fejezték ki a televíziós, illetve videójáték hatású látvány miatt, voltak, akik szédülésre panaszkodtak a moziélmény után. Az analóg televízió sugárzás során az *interlace* technológia segítségével 50, illetve 60 félképet tudtak megjeleníteni⁹¹, így folyamatosabb mozgás látszatát keltették, a számítógépes játékok grafikái pedig a gyors mozgások interakciója miatt szintén 60 vagy akár 120 fps-sel futottak. A képkockasebességnek esztétikai jelentősége van, az eredetileg technikai paraméter a mozgóképes műfaj alapvető stilisztikai jellemzőjévé vált. A televíziós képélmény folyamatosabb, realisztikusabb mozgásokat ad, a számítógépes játékok gyors akciói még folyamatosabb és ráadásul mindenhol éles, rengeteg részletet megmutató vizualitással bombáznak. A filmművészet vizuális nyelve ellenben megőrizte a 24

⁸⁵ <https://www.adobe.com/creativecloud/video/discover/frame-rate.html>

⁸⁶ FPS (frames per second) a framerate, a képkockasebesség mértékegysége

⁸⁷ 23, 976, 24, 25, 29, 97, 30, 50, 59, 94, 60 fps

⁸⁸ <https://landingpage.tella.com/definition/high-frame-rate>

⁸⁹ Bill Viola: *The Quintet of Remembrance 2000, Silent Mountain, 2001*

⁹⁰ <https://www.hollywoodreporter.com/news/general-news/showeast-2012-major-exhibitors-sign-387289/>

⁹¹ A technológia ára az erős szemkínzó vibrálás. 50/60hz frissítésű katódsugárcsőves kijelzőkön optimális, LCD kijelzőkön sokszor fogazott hatás jelentkezik gyorsabb mozgások esetén.

fps-ből adódó *motion blur* hatást, és a mélységélesség lehetőségeivel az elmosás és fókusz kifejező eszközeit. Előremutató lehetőség az eltérő felvételi fps használata jelenetenként.

Hagyományosan a frame-by-frame karakteranimáció kétkockás, de figyelembe kell venni, hogy az esetleges kameramozgás vagy háttérhúzás mindig egykockás, mert az egész képernyő mozgása esetén alacsonyabb képkockasebesség esetén szemet zavaró szaggatott mozgás keletkezne. Viszont így a kétkockás karakteranimáció és az egykockás kameramozgás egymáshoz képest akadozó mozgást eredményezne a kompozit során. Egy fázisrajz felhasználása kettő vagy több egymás utáni képkockán egyébként eredetileg gazdasági szükségszerűség következtében terjedt el, idővel esztétikai jellemzővé is vált: a nem teljesen folyamatos mozgatás az animációs filmek stílusjegye, egyben a felhasznált fázisok kiválasztása és megrajzolása az adott animáció absztrakciós folyamata lett. Interpolált 2D vagy 3D animációk esetében az egykockás animáció könnyen elérhető, hiszen a számítógép számolja ki a fázisokat, a mozgatás jellege és az absztrakciós folyamat viszont megváltozik. Kombinált technikák alkalmazásánál lehetőség szerint szinkronizálni kell a mozgások „felbontását”, hogy konzekvens animációs stílust kapjunk. Ez a szempont minden mozgóképes produkcióra igaz.

Munkafolyamat szempontjából eltérő módszert érdemes alkalmazni egy objektum (karakter, kellék, kamera) vagy valamilyen effekt animálásakor. Frame-by-frame és interpolált karakter, illetve tárgyanimációnál a póztól pőzig (*pose to pose*) módszert alkalmazva megrajzoljuk, vagy kulcskocka (*keyframe*) segítségével meghatározzuk az adott mozgásszakasz kezdő és végpontját. Ezután elkészítjük, vagy a géppel kiszámoltatjuk a köztes fázisokat. Az effekt animációnál, mint – víz, tűz, füst – ez nem lehetséges, nem tudjuk, hogy az iterációval létrejövő mozgásnak pontosan mi is lesz a vége, hiszen mindig az előző kép alapján készül az aktuális képkocka, fázisról fázisra kell haladni. Ez a folyamatos, egymásra épülő mozgatás (*straight ahead*). Jellemző példa, hogy egy futó figura alakját póztól pőzig, de a nyakában lengedező sálát már a folyamatos módszerrel készíti el az animátor; a sál helyzete mindig visszavezethető a figura nyakának mozgására és a sál előző helyzetétől.

A részecskeszimuláció és a generatív, emergens rendszerek animációja folyamatos, egymásra épülő mozgások módszerére épül. Ugyanakkor szükség lehet végrehajtás közben a megadott paraméterek változtatására és kulcskockák létrehozására, hogy maximális kontrollal befolyásolhassuk a látványelemeket. Ilyen esetekben ellenőrizni kell, hogy a

generált mozgásgörbék és a manuálisan kulcsolással létrehozott mozgások nem hatnak-e bizonytalan hatással egymásra.

A karakteranimáció elsődleges feladata a narratív történetmesélés a színjátszás (*acting*) kifejezőeszközeivel. A klasszikus egészestés animációs film, mint a filmművészet egy változata, a „*walk and talk*”⁹² módszerrel képes félóránál is hosszabb ideig fenntartani a figyelmet.

A képgrafika mint alkotói módszer klasszikusan és praktikusán állóképbe sűrítve mesél egy történetet, időben kiterjedt narratív rövidfilmben vagy egészestés filmben alkalmazott stílusként funkcionál és elveszti szuverenitását. Kutatásom és meglátásom szerint szuverén képgrafikus, de mégis mozgásban lévő mű létrehozására megfelelő eszköz lehet az adatbázis logika alapján egymás mellé sorolt vagy ismétlődő (*loop*) jelenetek idézete.

Ahhoz, hogy grafika központú művekben eredményesen használjuk a bemutatott technikákat, a generált iteratív szimulációs effekteket sokszor felül kell írunk manuálisan elhelyezett kulcskockákkal, hogy kézben tartsuk a képi elemek viselkedését, és így elérjük a műalkotás létrehozásához szükséges absztrakciós szintet.

Konceptuális művek esetén maga a generatív folyamat a mű lényege, de ebben az esetben is fontos szerepet játszik a kód létrehozása és elindítása mellett a művész választása, hogy a létrejött grafikák közül melyeket választja ki további iterációra vagy reprezentációra.

⁹² The Animator' Survival Kit (Williams 2002)

2.4. Particle Art – Evolutionary Art

A részecske alapú generatív effektek önálló képalkotó jelentőségének növekedésével elterjedt a Particle Art kifejezés. Az elnevezés használata néhol félrevezető, mert nem feltétlenül részecskerendszerekkel készített generatív művekre utal; sokszor formai vagy strukturális analógiára utal, vagy csak jó hangzása miatt használják. Ettől függetlenül igen szemléletes gyűjtőnév, matematikai és fizikai szabályok szerint működő részecskerendszerek alkalmazásával létrehozott műalkotások, alkotói csoportok⁹³, platformok, számítástechnikai szoftvermegoldások⁹⁴, oktatóvideók⁹⁵ vagy események jelölésére.

Jobban körülírható az *Evolutionary Art* – körülbelül evolúciós művészet –, ami olyan generatív művészeti forma, amelyben az algoritmusok természetes szelekciós folyamatokat modelleznek vizuális formák létrehozásához. A Particle Art-hoz hasonlóan a művész nem manuálisan, lépésről lépésre hozza létre a műalkotást, hanem egy egyenletre vagy egyenletrendszerre bízta a konstrukciót. Míg a Particle Art irányzat a matematikai és fizikai tudományokhoz, addig az Evolutionary Art a biológiai kutatásokhoz. Több művész a sejtek és élőlények biológiai evolúciójának mintájára építi fel jellemzően emergens, önszerveződő művészeti rendszereit. Az algoritmusok által létrehozott képek és formák mutációkon mennek keresztül.⁹⁶ A genetikai algoritmusok Charles Darwin természetes szelekciós elve alapján működnek. Elsőként, egy populáció létrehozásához hasonlóan, a számítógép generál egy kezdeti formakészletet. A mutáció és rekombináció során a formák véletlenszerű változásokon mennek keresztül, majd a szelekciónál a „legeredményesebb” formák tovább öröklődnek, míg a gyengébbek eltűnnek. Végül a folyamat ismétlődik az iteráció során. Az algoritmus idővel egyre komplexebb és kifinomultabb formákat és animációkat eredményez.

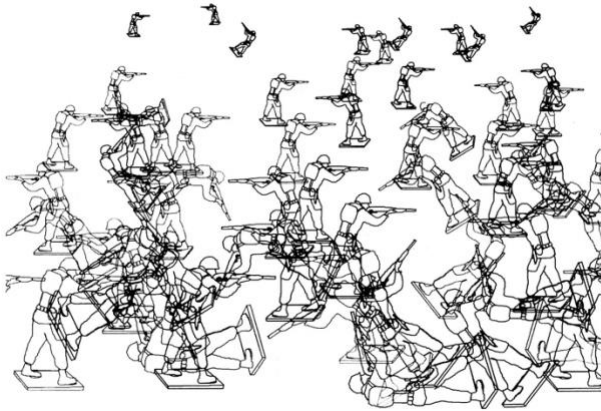
A generatív szekvenciák elszakadnak az időalapú mozgóképre jellemző storyboard felépítéstől. A történet képi dramaturgiáját az algoritmikusan strukturált számítógépes animáció generált képsorozatai biztosítják. Az evolúciós lehetőségeket rejtő animációs programokban a környezeti tényezők befolyásoló hatását a művész vagy a nézők választásával helyettesítik. A művész kiválasztási tevékenysége mellett a nézők interakciója is befolyásolhatja a létrejövő művet.

⁹³ A művészet és a technika metszéspontján: [particle.art](https://www.particlestudio.com/), Art Design Lab: <https://www.particlestudio.com/>

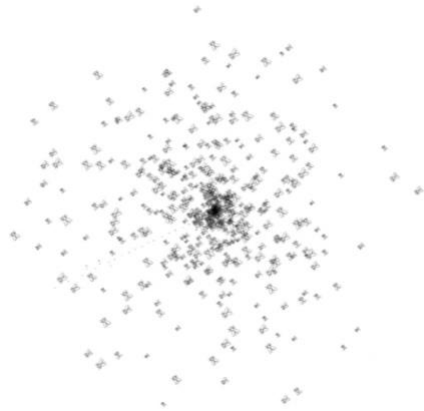
⁹⁴ <https://www.maxon.net/en/cinema-4d/features/x-particles-integration>

⁹⁵ <https://youtu.be/oatC-IyNVLQ?si=bq6bfTHIZdv-jNCJ>

⁹⁶ (Dreher 2020)



36. Charles Csuri and J. Shaffer: *Random war*, 1967
Plotter nyomat



37. Charles Csuri: *Feeding Time*, 1966.
Plotter nyomat

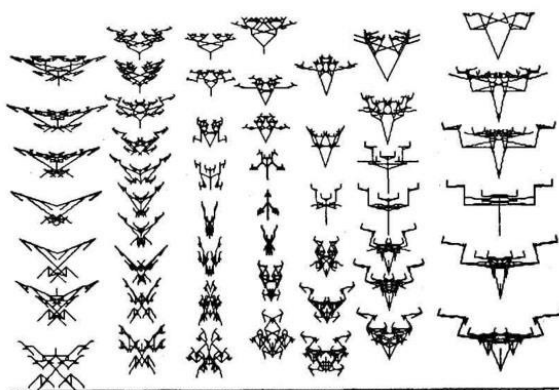
Charles Csuri már egyszerűbb (ál)szimulációra is használta a számítógépet *Random war* című munkájában. (36.ábra) Csuri egy képzeletbeli csatát szimulált, ahol véletlenszám-generátor döntötte el a katonák helyzetét, rangját és sorsát. Nem valódi szimuláció, kevés változóval dolgozott a program és a pseudo-véletlenszám generátor számolta ki a vég-eredményt, de előrevetítette egy valódi háborús szituációra épülő szimuláció lehetőségét. Az *Feeding Time* című műben (37.ábra) minden egyes légy mérete, iránya és leszállási pozíciója szintén véletlenszerűen lett meghatározva.⁹⁷

A biomorf⁹⁸ irányzat számítógépes algoritmusok segítségével, véletlenszerű mutációk és szelekciók révén, természetes formákat hoz létre. Richard Dawkins *The Blind Watchmaker* című művében található evolúciós játék (38.ábra) az egyik első olyan művészeti projekt, amely genetikai algoritmusokat használt. A program egy egyenes fekete vonalakból álló kétdimenziós alakzatot jelenített meg. A vonalak hosszát, helyzetét és szögét egyszerű szabályok és utasítások határozták meg. Az új vonalak hozzáadása vagy eltávolítása új mutációk halmazát kínálta, amelyek közül a felhasználó a képernyőn választhatott. A kiválasztott mutáció ezután egy másik biomorf mutáns generáció alapjául szolgált, ami megint véletlenszerű mutációkat kínált fel választásra. Így a felhasználó iteratív szelekció révén irányíthatta a biomorfok evolúcióját. Ez a folyamat gyakran olyan képeket eredményezett, amelyek valódi élőlényekre, például bogarakra, denevérekre vagy fákra emlékeztettek.⁹⁹

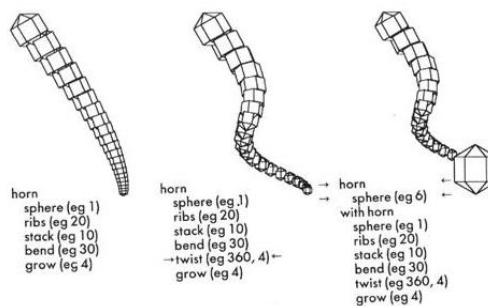
⁹⁷ (Cybernetic Serendipity: the computer and the arts 1968)

⁹⁸ Dawkins átveszi Desmond Morris „biomorf” kifejezését. Morris késői szürrealista festményeinek állatszerű alakjait nevezte így, amelyeken Yves Tanguy hatása volt felfedezhető.

⁹⁹ (Dreher 2020)



38. Richard Dawkins: *The Blind Watchmaker*, 1986, examples of a model for the evolution game (Dawkins: *Watchmaker* 1986, p.70, fig.8)



39. William Latham: *Horns*, structure mutation with the software Mutator (Todd/Latham: *Evolutionary Art* 1992, p.99, fig.5.26).

William Lathan egy szürreális evolúció folyamatát szemléltető *Mutations*¹⁰⁰ projektjéhez a Stephen Todd által fejlesztett *Mutator* nevű szerkezetmutató programot (39.ábra) használta, mely leegyszerűsítette a biomorf formák variációinak előállítását és háromdimenziós navigátor eszközzel lehetővé tette a virtuális objektum mozgását a képtérben. A programban Latham meghatározhatta a szarvakként kombinálható elemek mennyiségét és kombinációs módját. Az elemek variációi csoportokat hoztak létre, melyek véletlenszerű sorrendben jelentek meg. A folyamatos evolúció „génbankokat” hoz létre a kiválasztási fázishoz, és animációk jönnek létre az átalakulások során, melyek életciklusa meghatározza mennyi ideig lesznek láthatók. A korábbi animációkhoz képest a *Mutations* már számos forma komplex kölcsönhatásokkal járó szaporodását és növekedését is magában foglalta.¹⁰¹ Latham „művészkertészként” az emberi szelektáló szerepét töltötte be, és nem vette figyelembe a biológiai feltételeket, így a végeredmény bizonyos értelemben paródiaként hat.

Karl Sims *Particle Dreams*¹⁰² című munkájában részecskerendszereket használt, hogy komplex, organikus mozgásokat és alakzatokat generáljon. A részecskék különböző fizikai erőhatások, például gravitáció, turbulencia és szélmozgás szerint mozognak. A részecskék interakcióba lépnek egymással, így komplex, emergens formák jönnek létre. *Particle Dreams* egyik első példája volt annak, hogy a részecskerendszereket nemcsak realisztikus effektekhez, hanem absztrakt, művészeti célokra is fel lehet használni.

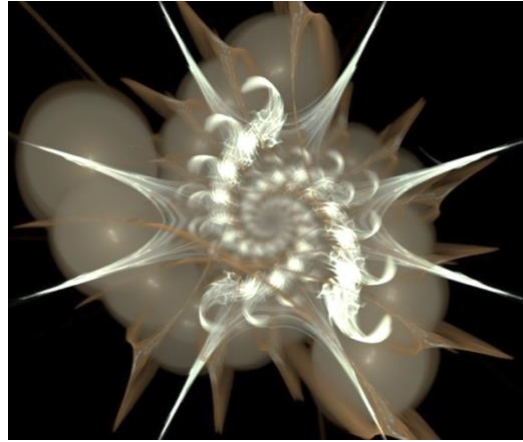
¹⁰⁰ Mutációk, 1992, <https://youtu.be/7sadS5wuOjU?si=OXelwGeMlaFP-0P>

¹⁰¹ (Dreher 2020)

¹⁰² Particle Dreams, 1988, <https://youtu.be/5QEp-oPaQto?si=3m7ck1Cj08jXgeAU>



40. Karl Sims: *PArticle Dreams*, 1988, screenshot



41. Draves, Scott: *Electric Sheep*, 1999.

Scott Draves *Electric Sheep* című projektje egy nyílt forráskódú, kollektív, generatív fraktálapú részecskerendszer, amely több ezer számítógép számítási kapacitását használja új vizuális formák létrehozására. A mű önálló részecskékből építkező, mozgó fraktáلالakzatokat hoz létre. A felhasználók szavazhatnak a generált vizuális mintákra, és az algoritmus a legnépszerűbb mintázatot fejleszti tovább. A rendszer evolúciós elven működik, azaz az újabb generációk az előzőkből fejlődnek ki. A részecskék mozgásmintái folyamatosan változnak és fejlődnek, így az alkotás soha nem ismétlődik pontosan ugyanúgy.¹⁰³ A szelektáló kör az egész közösség, mely így aktívan formálja a vizuális kimenetet.

Az emergencia szintjeit vizsgálva az evolúciós művészet rendszerei nem érik el Gordon Pask kísérletének¹⁰⁴ extrém formáját, mivel céljuk nem a környezeti feltételekhez való alkalmazkodás vagy önátalakulás képességének kifejlesztése. Ehelyett különböző evolúciós állapotok elemeinek keresztezésével, interpoláció útján vizuális struktúrákat hoznak létre, amelyek integrálják a művészek és megfigyelők külső szelekciós döntéseit. Az evolúciós művészetben a program a „rendszer”, a számítási folyamat az „evolúció”, és amikor a szerző vagy megfigyelő kiválaszt egy köztes eredményt, az reakciókat vált ki a rendszer következő evolúciós lépéseiben.

Az evolúciós művészetben a résztvevő választó szerepet tölt be és így bekerül a művészeti forma diskurzusába, azonban soha nem lépi át a külső megfigyelés és a belső szerveződés közötti interfészt. Az evolúciós művészetre így autonóm művészetként tekinthetünk a „kommunikációs rendszer művészetek” keretein belül.

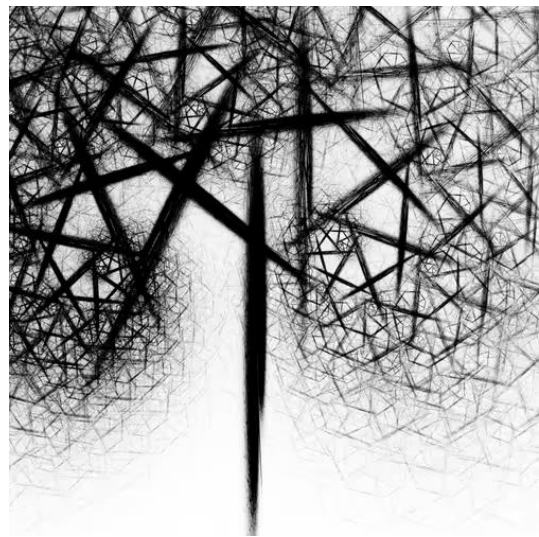
¹⁰³ (Dreher 2020)

¹⁰⁴ Gordon Pask 1956/1957 kísérlete, amelyben vas-szulfid oldatot és elektródákat használtak, és amelyek vasreszelék képződményei hangérzékenyekké váltak. Cariani: *Emergence* 1991

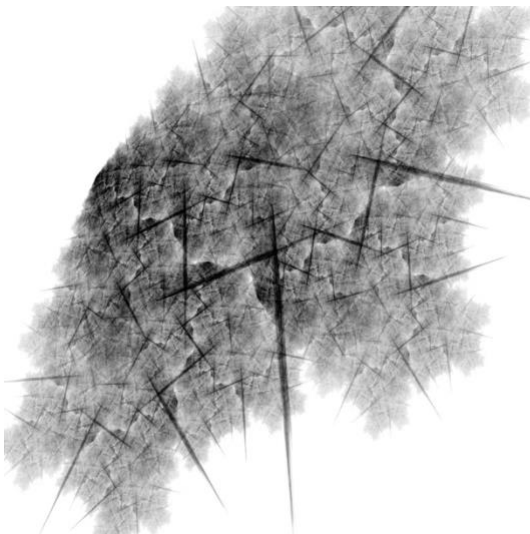
Faa Balázs kortárs magyar képzőművész által kidolgozott grafikus jellegű IFS¹⁰⁵ „rajzok” szemléletes példák lehetnek az iterációval létrehozott evolúciós folyamatra, ahol a program által elkészített képek közül a művész választja ki a fejlődési irányt, és a végleges változatokat. A pontról pontra generált pixelekből felépülő képek iterált függvényrendszer meghatározásával és futtatásával jöttek létre. Az egyes pontokon több transzformációs mátrix is lefuthat súlyozott valószínűséggel.¹⁰⁶ A megfelelően sűrűn generált ponthalmaz vonalakká, formákká áll össze. Az iteráció generátor függvényt az alkotó egyenrangú eszköznek tekinti a tollal, papírral.¹⁰⁷ Faa a generált képeket nyomatként és egyedi műpéldánynak számító NFT műként is prezentálja.



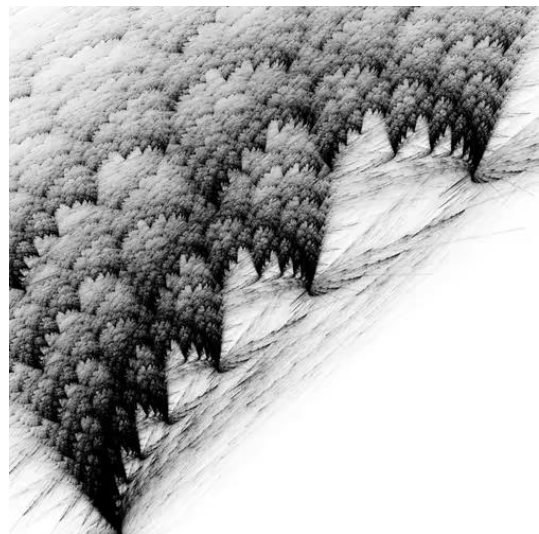
42. Faa Balázs: IFS drawing UA09x, 2022



43. Faa Balázs: IFS drawing OS100, 2022



44. Faa Balázs: IFS Drawing MM15, 2022



45. Faa Balázs: IFS drawing MY21, 2022

¹⁰⁵ Iterated Function System

¹⁰⁶ <https://www.faa.hu/cikk.php?mid=59b067a86fed2208225705>

¹⁰⁷ <https://www.faa.hu/prezentacio.php?mid=UHkZtdlAlH7RiS9jqfJpj9>

3. A kortárs reprezentáció lehetőségei

A klasszikus sokszorosító grafikai képépítés alkímiája nyomódúc(ok)on történik, a reprezentáció elsődleges médiuma a grafikai nyomat, helyszíne általában a kiállítóterem¹⁰⁸. A nyomathordozó legtöbbször papír, például kézzel vagy géppel merített velin, réznyomópapír, bankjegypapír, japánpapír, strukturált kartonok és félkartonok, vagy famentes papír gépi nyomtatáshoz.¹⁰⁹

A fenti analógiával élve a digitális generált mozgóképek keletkezési médiuma a számítógép processzor¹¹⁰ és elsődleges megjelenítő eszköze a monitor. A számítógép és perifériái,¹¹¹ mint médium önmagában nem alkalmasak reprezentációra; szükséges valamilyen platform, gesztus vagy esemény, mely „*törbe csalja a figyelmet*”, mielőtt elenyészne.¹¹² Ugyanaz a mozgókép egy másik platformon teljesen más gesztust jelenthet. Egy Instagramra feltöltött animált effekt, kontextusba helyezve *light art*¹¹³ műként funkcionálhat, egy kiállítási környezetben installált több méter magas nagyfelbontású LED falon.

A Particle Art lehetséges reprezentációs eszközei, médiumai és helyszínei sokféleképpen csoportosíthatóak; lépték szerint növekedve a *Screen*, *White Cube*, és *Live Event* felosztást használtam. A Screen kategória magába foglalja az egyszerűen képernyőn keresztül publikált tartalmat, például streaming filmeket, közösségi média klipeket, komputer- és platform játékokat. A White Cube definiálja a klasszikus és modern kiállítóteret, és bizonyos tekintetben a nyílt téren létrehozott installációkat. A Live Eventnek tekinthetjük a nagyobb közönség részvételével adott időpontban történő happeninget, előadást vagy Vjing koncertet.¹¹⁴

A következőkben képernyőn és kiállítási környezetben reprezentált Particle Art-nak nevezhető műveket mutatok be. A Live event, élő eseménnyel itt külön alfejezetben terjedelmi okok és erősen spektakulár jellege miatt nem térek ki. A részecskeszimuláció és pontfelhő felhasználások tekintetében az élő eseményekhez kötött technikai megoldások között kiemelkednek a térbeli és épületfestő vetítések.¹¹⁵

¹⁰⁸ A képgrafikus művek is felkerülnek a képernyőalapú médiumokra, de az elsődleges médium a nyomat.

¹⁰⁹ (A művészi grafika technikái 1985, 19)

¹¹⁰ CPU vagy GPU

¹¹¹ Képernyő, nyomtató, billentyűzet, egér

¹¹² A fehér kockában. A galériatér ideológiája, (O'Doherty 1986)

¹¹³ fényművészet

¹¹⁴ Sztójánovics Andrea: A vjing mint módszer, DLA értekezés, 2017

¹¹⁵ László Zsolt Bordos: Disasters <https://bordos.eu/katastrofi-en-keskella/>, Colorattack <https://bordos.eu/colorattack-2-0/>

3.1. Screen: streaming média, webklip, NFT

Talán a 2010-es évek végétől egyre több kommersz film vagy filmsorozat főcímében tűnik fel hangsúlyosabb és önazonos szerepben a *state-of-the-art*¹¹⁶ minőségben elkészített részecskeanimáció. A korábban már említett, a cselekményben vizuális effektként megjelenő realisztikus fizikai szimulációkkal¹¹⁷ szemben, e nagy költségvetéssel készült főcímekben felismerhetőek és stilizált főszerepben láthatóak a részecskék, nem valamilyen valódi természeti jelenség megtevesztően hű idézeteként, vagy csupán látványelemként. Úgy is mondhatnánk, hogy a sok statisztaszerep után végre epikus szerepet kaptak.



46. Foundation: Főcímanimáció, AppleTV 2021

Isaac Asimov Alapítvány című trológia filmsorozat adaptációjának a főcímében¹¹⁸ a realisztikus megjelenésű térbeli részecskék önálló szimbolikus szerepet játszanak a főcím dramaturgiájában, a történet alapelemeinek vizuális metaforájaként. A főcím talán érdekesebb jellegzetessége a részecskeanimáció innovatív használata, amely nemcsak látványos, hanem tudatos utalás a sorozat központi koncepciójára. Asimov *pszichohistória* elnevezésű elmélete szerint egy megfigyelő nagyon nehezen tudja leírni egyetlen gázmolekula mozgását, de nagy pontossággal képes előre jelezni a teljes gáztömeg viselkedését.¹¹⁹ Ezen értekezés és a részecskék narratív szerepének szempontjából még figyelemreméltóbb a *Mural of Souls*¹²⁰ koncepciója.

¹¹⁶ Csúcstechnológia, a technika jelenlegi legmagasabb fejlettségi foka

¹¹⁷ <https://metropolis.org.hu/a-pikkely-pixeltol-a-kvantum-vegtelenig>

¹¹⁸ Foundation 2021, Imaginary Forces, <https://youtu.be/VbP3VHRbl5E?si=cfGKGTzb22lmyZV>

¹¹⁹ How Imaginary Forces Laid the 'Foundation' ..., <https://nofilmschool.com/foundation-adobe>

¹²⁰ A lelkek falfestménye, Mackevision

Az „élő” falfestményben a festékpigmentek állandóan frissülő adatforrások alapján önálló mozgással vándorolnak, folyamatosan alakítva a kép tartalmát, egyben tükrözve a filmbeli Birodalom aktuális állapotát.



47. Foundation: Mural of Souls, AppleTV 2021



48. Foundation: Mural of Souls, mozgó pigment részecskék, részlet

A bizánci és Art Deco murális művészet, valamint a volt szovjet propaganda festmények által inspirált interaktív falfestmény nem csupán dekoratív, hanem narratív eszközként funkcionál. Egy lehetséges értelmezés szerint a fiktív filmbeli falfestmény modellje ötvözi az adat-alapú vizualizációt, az emergens részecskerendszerek mintázatait és a gépi tanulás önmagát elemző algoritmusát. A felszíni réteg a hivatalos történelmi események stilizált ábrázolása, hasonlóan a középkori krónikák illusztrációihoz. A matematikai modellek alapján működő rejtett szimulációs réteg a részecskék mikrómozgásaival a birodalom társadalmi dinamikáját szimulálják, előre jelezve a jövő lehetséges útjait. A kritikus önreflexió réteg, mint a falfestmény bizonyos részein megjelenő absztrakt mintázatok a birodalom strukturális gyengeségeire utalnak. A császárnak (művésznek?) lehetősége van módosítani, javítani vagy kitörölni részeket a képen, a részecskék fizikai interakciói, eltávolításuk vagy átrendezésük a történelem manipulálásának metaforái.

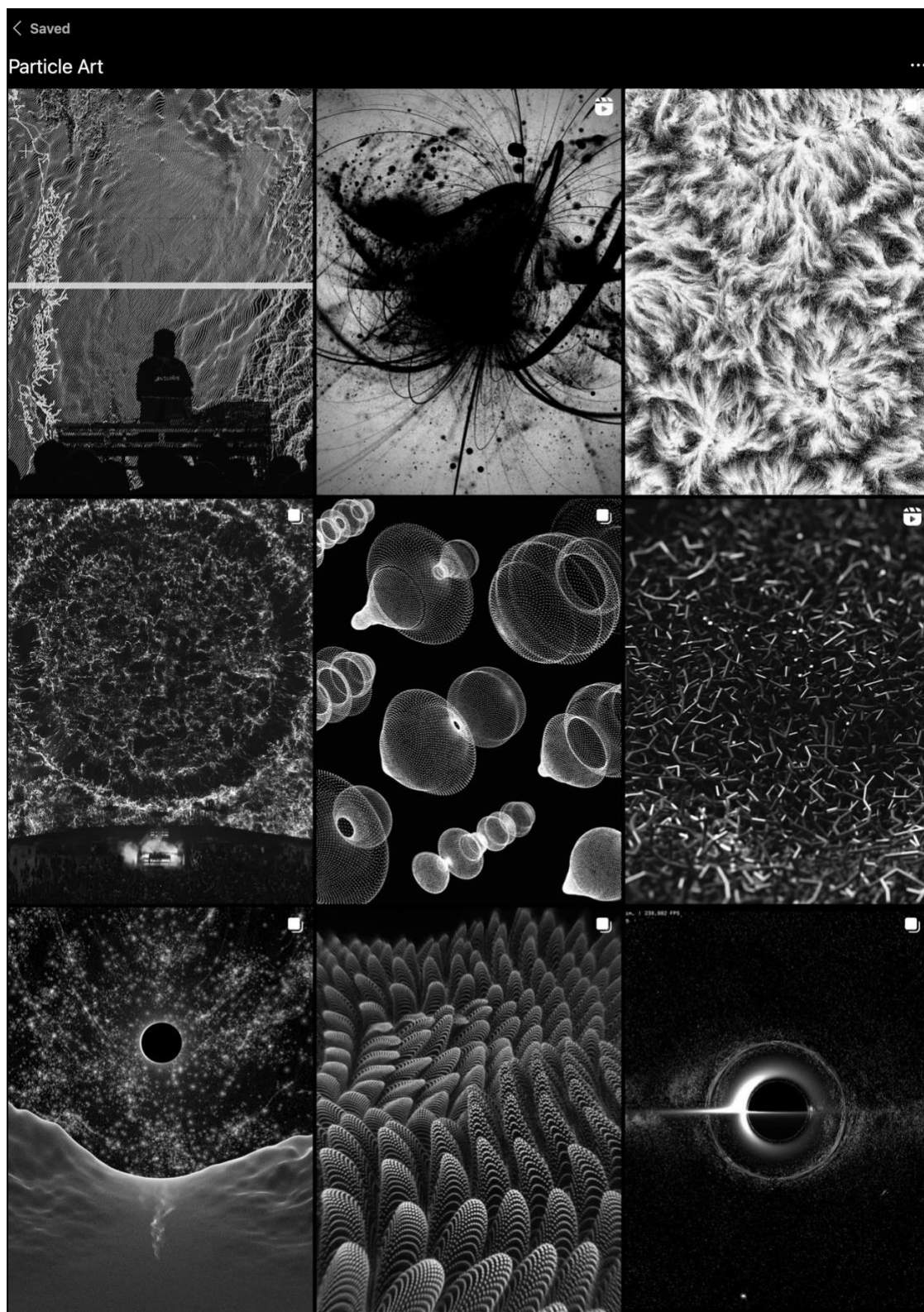
A teljesség igénye nélkül, a szintén stilizált részecskerendszer segítségével készült egyre látványosabb, de különösebb tartalmi kontextust nem közvetítő főcímek, mint a Hatalom Gyűrűi¹²¹, és a Halo¹²² mellett említése méltó a 2015-ös Ex Machina¹²³ című film vége főcíme, melyben a pontok és ezeket összekötő vonalak generált mozgása neurális hálózatok absztrakt parafrázisa, és egyben vizuális utalás a hatvanak évek első analóg és digitális komputergrafikai kísérleteire.

¹²¹ The Rings of Power, 2022, <https://youtu.be/WNOicJVUEZE?si=-odhv8P3unZRGREk>

¹²² Halo, 2022, <https://youtu.be/0QQfSkF86rI?si=K8SATVb17dlv2JWL>

¹²³ Ex Machina, 2015, closing sequence: <https://youtu.be/uRJ-fPAO3Go?si=Wa8X1pWze640G69i>

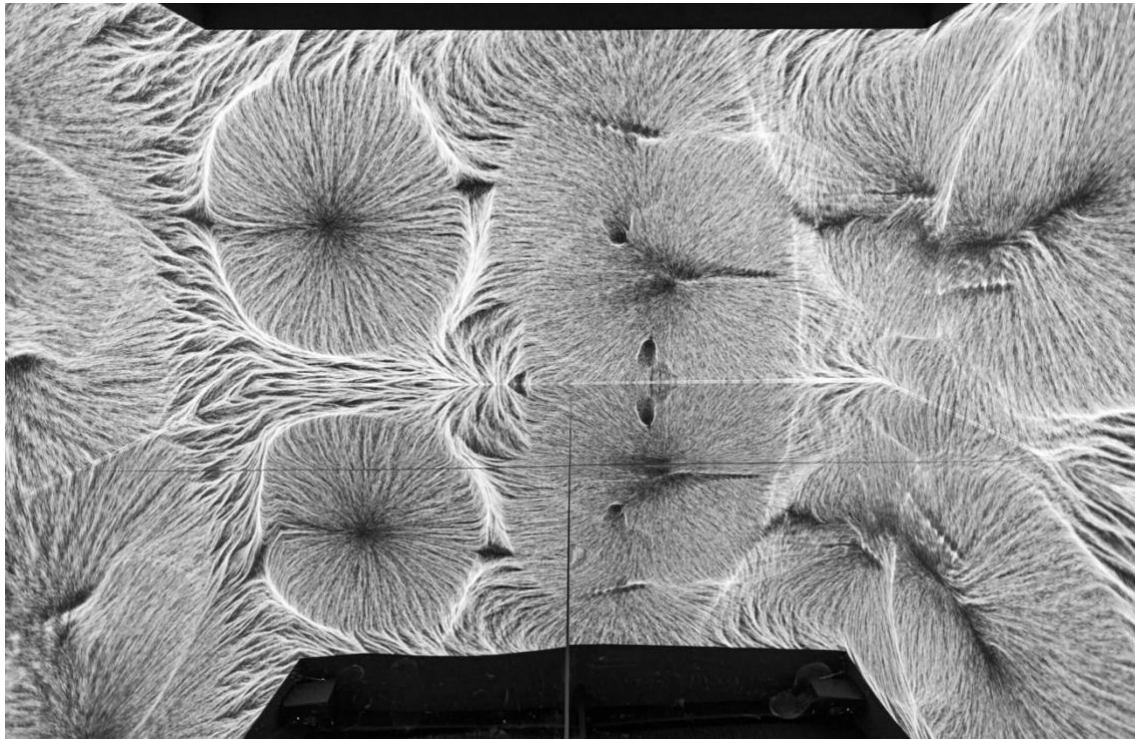
A Particle Art természetesen megjelenik a közösségi médiában is, az Instagram vizuális anyagokra fókuszáló felületén igen látványos gyűjtéseket lehet összeállítani:



49. Instagram particle art gallery, gyűjtés: [_ryoji_ikeda](#), [reinfected.me](#), [fuse_works](#), [claudio_works](#), [barbe_genrative_diary](#), [tonichda](#), [canvas51](#), [polyhop](#), [fuse_works](#)

3.2. *White Cube: kiállítás és installáció*

Képzőművészeti szempontból még mindig a klasszikus kiállítási környezet a legkézenfekvőbb reprezentációs forma. O'Doherty elmélete szerint a tökéletesen semleges térként elgondolt fehér falú modern galéria titokzatos módon képes bármit művészetté változtatni, ami benne van.¹²⁴ Ebben a térben a generált effekt nem szimpla zenei vagy adat vizualizációként jelenik meg, mivel a White Cube egyszerre semleges és egyben mélyen ideologikus tere a szimulációt gesztussá alakítja.



50. Fuse: *Multiverse.unfolded*, 2018, LAM 2023, <https://lam.xyz/artists/fuse/>

Az olasz fuse*¹²⁵ *Multiverse.unfolded*¹²⁶ installációja nem fehér, hanem fekete falú térben látható, alkalmazkodva a megjelenítő médium additív fénykibocsátó természetéhez, ahol az alapállapot a fekete. Az erőteljesen grafikus hatású vetítés generatív formákat és hangokat hoz létre valós időben. A dokumentáció szerint¹²⁷ valós csillagászati adatokból dolgozó algoritmus, Lee Smolin¹²⁸ fizikus spekulatív „multiverzum–elmélete” alapján, a végtelen számú lehetséges univerzum evolúcióját szemlélteti. A tudományosan vitatott elmélet szerint a fekete lyukak kialakulását követő összeomlások mind megvál-

¹²⁴ (O'Doherty 1986)

¹²⁵ <https://fuseworks.it/>

¹²⁶ <https://hun.lam.xyz/muveszek/fuse/>

¹²⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=xNrcgibLb6w>

¹²⁸ <https://leesmolin.com>

toztatják kissé a fizikai törvények egyes paramétereit. Az ezen összeomlásokból születő növekvő számú univerzum mind e „kozmológiai természetes szelekciónak” köszönheti sajátosságait, így a földi élet is más univerzumok végtelen evolúciójának az eredménye.

E projektet részben tekinthető spekulatív adatvizualizációnak, hiszen a szimuláció lefutását befolyásoló paraméterek finom beállításánál az alkotók valódi csillagászati adatokat is felhasználnak. A végeredményt szemlélve viszont nem tudnánk megfejtetni, hogy milyen elmélet alapján generálódnak, és mit is jelentenek pontosan a pontfelhőből álló látványos pixelszőnyegek. A nyitott műről szóló fejezetben (alább) szó lesz az információ és a jelentés kapcsolatáról. Ebben az esetben a művészi kommunikáció és az esztétikai hatás érdekében az információérték és a jelentések gazdagsága jóval fontosabb, mint a jelentés nyilvánvalósága.



51. Fuse: Multiverse, 2018



52. Fuse: Multiverse.echo

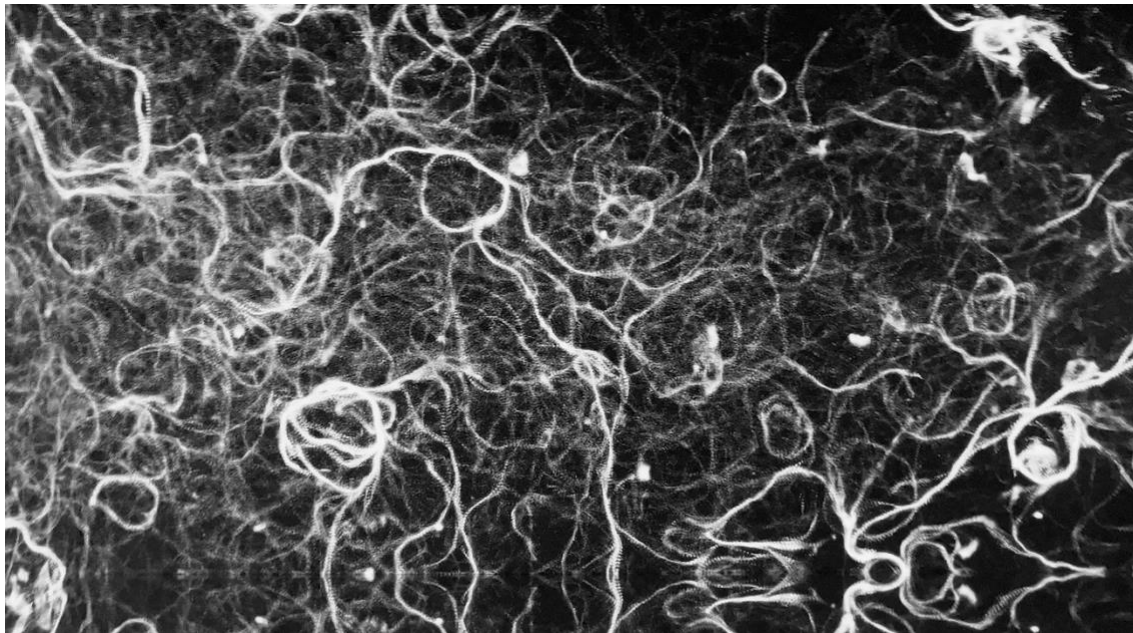
Az eredeti 2018-as *Multiverse* című project a BDC27¹²⁹ esemény keretében került bemutatásra. Egy felszenteletlen parmai templomban, egy 7,5 méter magas függőleges vetítés képét két nagy tükröződő felület terjesztette ki a végtelenbe. A látványt generáló algoritmus soha nem jeleníti meg kétszer teljesen ugyanazt a motívumot, vagy eseményt. Smolin koncepciója alapján az alkotók úgy kódolták a paramétereket, hogy az alapvető elemek létrehozása közben idővel kissé változzanak.¹³⁰ Az új ciklusokban a belső impulzusok hatására bekövetkező apró változások, érzékelhetően eltérő eseményeket és esztétikai megjelenést eredményeznek. Az állandó, eltervezett viselkedésminták és az egységes

¹²⁹ <https://www.bonannidelriocatalog.com/portfolio-items/bdc27-multiverse/>

¹³⁰ <https://www.seditionart.com/magazine/interview-with-fuse-making-meaning-and-the-multiverse>

vizuális megjelenítés mellett a programozók lehetőséget hagytak generatív tendenciáknak, hogy kihasználják a nyitott szabályokat. Az így születő vizuális variációk változásokat hoznak létre az egyébként időben változatlan folyamatba. A variációkat installációs helytől függően egy generatív sávban történt véletlenszerű változások is befolyásolhatták. Ezek a valós időben létrejövő jelek – például a nézők mozgása által generálva – befolyásolták a hangok variációit, melyek viszont hatottak a részecskék mozgására.

A projekt több verzióban valósult meg, ilyen például a *Multiverse.dome*, melyet térbeli kupolára történt vetítéssel valósítottak meg Berlinben¹³¹, vagy a *Multiverse.echo*,¹³² mely hagyományos galériában elhelyezett táblaképek formájában prezentálja a multiverzumokat ábrázoló mozgó digitális festményeket. Nem csak video installációk, hanem nyomatok is készültek a *Growing Universe (S)* projekt keretében, valamint a Fuse kibocsátotta 3D virtuális térben körbe forgatható verzióját megvásárolható NFT műalkotásként¹³³, *Multiverse.solid* néven. 2023-ban eljutott a projekt Budapestre is, a LAM Superluminal című kiállításán is látható volt *Multiverse.unfolded* néven. A padlóra helyezett tükröfelületek itt is kiterjesztették a terem három oldalán futó projekciót a végtelenbe.



53. Fuse: *Multiverse.unfolded*, LAM 2023, a szerző felvétele

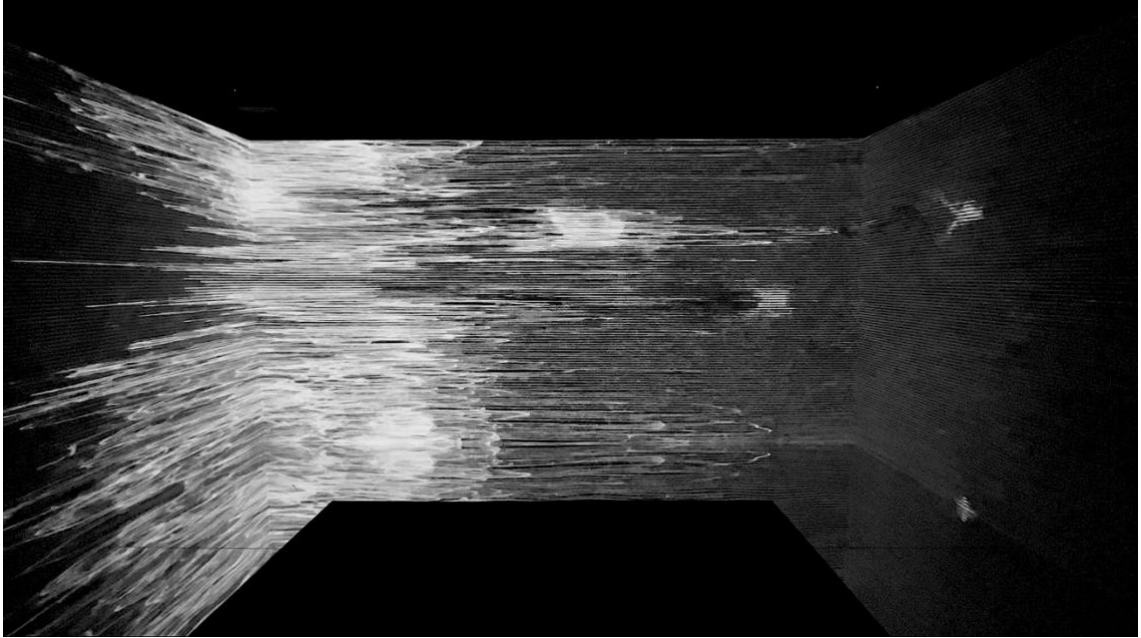
A Multiverse projekt technológia innovációi, köztük a részecskeszimuláció nem csupán eszközként szolgálnak, hanem az alkotás koncepcionális részévé válnak, a technológiai

¹³¹ <https://www.fuseworks.it/artwork/multiverse-dome>

¹³² <https://www.fuseworks.it/artwork/multiverse-echo>

¹³³ <https://objkt.com/tokens/hicetnunc/39948>

komplexitás filozófiai mélységet közvetít. Ez a mű erősen grafikus esztétikai megjelenése mellett alátámasztja értekezésem második tézisét. A grafikus¹³⁴ leképezés megidézi a hagyományos képalkotó technikák, mint a mélynyomásos grafika és a síknyomó litográfia apró szemcsékből tónust képző világát, és részletességben Piranesi nagyszabású, nyomatait juttathatja a néző eszébe.¹³⁵



54. *Multiverse.unfolded*, LAM 2023, a szerző felvétele

Ebben az értekezésben nem térek ki részletesen az egyik legismertebb részecskefizikusi, és mesterséges intelligenciát is használó kortárs médiaművészre, Refik Anadolra. Ennek egyik oka, hogy munkáiban az MI által támogatott képalkotás főszerepet játszik, és ebben az értekezésben – bár szóba kerül többször – nem szándékom a diskurzus fókuszába helyezni a kifejezetten MI használatával létrehozott projekteket. Másik, inkább esztétikai oka, hogy lehetőség szerint szívesebben maradok a grafikus, monokróm jellegű műveknél a kiindulási témához híven. A kiállítási tér reprezentációs fejezetbe így sokkal jobban illett a Fuse bemutatott *Multiverse* projektje, filozofikusabb, talán kevésbé spektakulár jellegű hangvételével.

¹³⁴ Bencsik Barnabás kurátor tárlatvezetés közben elhangzott mondata: „olyan mint egy grafika”

¹³⁵ (Zuh 2023)

3.3. Eredeti, eredeti másolat, másolat, és az NFT

A képzőművészeti alkotások körében kiemelt jelentőségű az eredeti műpéldány meghatározása, mert többnyire az eredeti mű kerül értékesítésre, vagy kiállításra. Digitális környezetben generált, majd szintén digitális médium által prezentált művek esetében is felmerül az eredeti kópia kérdése, és a hosszú távú megőrzés lehetőségének kérdése:

„mi a műtárgy ma, és mit kell megőrizni a jövő számára?”¹³⁶

A manuális és analóg képalkotó technikával készült műalkotások esetében meghatározható az eredeti műpéldány. A művész által vagy felügyeletével korlátozott számban készített, és megfelelően aláírt vagy megjelölt alkotás tekinthető eredetinek.¹³⁷ A művész irányításával, de segédek által készített festmények, szobrok kevésbé értékesek, de még a művész közreműködésével készült alkotásnak tekintjük, általában a művész műhelye megjelöléssel tartják nyilván.

Hagyományos képgrafikai sokszorosító technikákkal egymással majdnem megegyező művésznyomatok készítésére van lehetőség. A kézi nyomtatási eljárásoknál még ugyanarról a nyomóformáról készült nyomatok is különböznek némileg egymástól, a kézzel felvitt festék és kézi erővel létrehozott nyomóerő sosem biztosíthat teljes egyezést. Emiatt minden egyes kézi nyomatot eredeti alkotásként vagy eredeti reprodukcióként értékelünk. A művészi grafikai nyomatok példányszáma korlátozott az alkalmazott technikától függően, és minden nyomat *egyedi grafikának* számít amennyiben megfelel meghatározott feltételeknek. A nyomatok általános maximális példányszáma minden technikánál más (kb. 50/100/200), de a képgrafikus művész általában jóval kevesebb nyomatot készít. A gyűjtők és az eredeti nyomat szempontjából az alacsony sorszámot viselő nyomat az értékesebb. Mivel a bedörzsölés módjától nagyban függ a végeredmény, a festékezést és a nyomtatást a művésznek kell végeznie.¹³⁸ Az *eredeti grafika* a művész rajza, illetve témája alapján, a művész által saját kezűleg kialakított nyomóformáról lehúzott nyomat. Amennyiben nyomdász végzi a nyomtatást a művésznek jelen kell lennie, és saját kezűleg szabályosan hitelesíteni az előzőleg megadott példányszámú nyomatot. Ha a művész nincs jelen a nyomtatáskor *grafikai reprodukcióról* beszélhetünk. *Eredeti reprodukció* esetén az eredeti alkotás alapján manuálisan készített nyomóformáról korlátozott számú

¹³⁶ <https://www.ludwigmuseum.hu/kiallitas/mentes-maskent-mi-marad-az-ujmedia-muveszetbol>

¹³⁷ (Grad-Gyenge és Tímár 2022)

¹³⁸ (Krejča 1985, 11-14, 82)

példány készül kézi nyomtatással. *Reprodukciós grafika* esetén az eredeti műalkotást fotomechanikai úton másolják nyomólemezzre, és ez alapján választják szét a nyomó és nemnyomó elemeket, majd ez eredeti mintához teljes hűséggel gépi úton, nagy példányszámban, nagyüzemi nyomdai eljárással sokszorozítják.

Fotóművészeti analóg alkotások esetén eredeti műpéldány a fényképeszeti negatívról – vagy pozitívról – a művész által készített vagy felügyelt, korlátozott számú, jelöléssel ellátott nagyítás. A digitális fotózás elterjedésével már jóval nehezebb ezt meghatározni, a művész akárhány ugyanolyan minőségű másolatot készíthet. Újabb, egye népszerűbb lehetőség a digitális képekhez ún. *non-fungible token* (NFT)¹³⁹ azonosítót csatolni, mely a művész aláírásához hasonlóan igazolja, hogy a jelölt digitális műalkotás egyedi műpéldány. Egy NFT-ként eladott digitális műtárgy egyedinek számít és később átruházható. Több híres képzőművészeti aukciósház próbálkozott NFT árveréssel.

Az analóg filmek esetében nem számít műtárgynak a celluloid tekercs, mint ahogy a *master* videokazetta sem. Ebben ez esetben a lejátszás körülményeinek meghatározásával érvényesítik a műtárgy eredetiségét. Szigorú szerzői jogi szabályai vannak a videóművészeti alkotások kiállításának. Fizikai adathordozón kell eljuttatni a kiállításra, és az előre meghatározott technikai keretek között bemutatni.¹⁴⁰ A filmek disztribúciója jelszóval védett DCP¹⁴¹ formátumban, általában merevlemez adathordozón történik, bizonyos esetekben a hálózaton történő továbbítás is lehetséges.

Az eredeti műpéldányként elismert alkotásokat lehetőleg eredeti állapotában meg kell őrizni. A kísérletező műveknél a későbbi rekonstrukció már könnyebb, rutinszerű megoldásokat kínálhat a technika fejlődésével. Az újabb és újabb interpretációk során mindig lehetőség van fejlettebb technikai megoldások használatára. Természetesen így változhat az eredeti műpéldány megjelenési formája is, a reprezentáció egyre kevésbé ütközik technikai korlátba. Magát a képi tartalmat azonban nem változtatják sosem, de az interfész finomodik. Felmerül a kérdés, hogy „Az alkalmazott technikai megoldások mennyire tekinthetők az alkotás integráns részének?”¹⁴²

¹³⁹ Nem helyettesíthető token

¹⁴⁰ Dr. Petrányi Zsolt Bill Viola Csend című kiállításáról

<https://open.spotify.com/episode/5Xs2L4Cy5PmaxJ5xQ9UpLm?si=XD5Pw4MQbOMKOZvUYI-2A>

¹⁴¹ Digital Cinema Package

¹⁴² (Szegedy-Maszák 2007)

4. Az experimentalizmus művészi lehetőségei és korlátai

A művészeti gyakorlatban a kísérletezés állandó eszköz, így a tudományos és technikai eszközök átvétele is az experimentális művészet része. A részecskerendszerek képzési lehetőségeit elemezve fontosnak tartom megvizsgálni a művészi alkotó kísérletezést, kiemelt figyelemmel az alkotási folyamat és a technikai, illetve tudományos kutatás viszonyára. Itt egyetértek Thomas Dreher megállapításával, hogy a számítástechnikai folyamatok művészi fejlődését csak úgy vizsgálhatjuk, ha jelentése nem korlátozódik a vizuális jelenségekre. A hardverfunkciókat, interfészeket, programokat és számítási folyamatokat a "számítógépes esztétika" összetevőiként kell figyelembe venni.¹⁴³

Egy Matisse-nak tulajdonított anekdota¹⁴⁴ de-misztifikálja a művészi alkotás folyamatát, szemléltetve, hogy az alkotás során felmerülő váratlan ötletek megragadása, a médium által „csapdába” ejtése nagyon fontos elem a kész műben. Még az oly passzív anyagok és eszközök, mint az ecset, festék, vászon is új ötleteket inspirálhat. Ezen elemek jellemzői, a vászon ellenállása, a festék szagának hatása, mind a kirakósjáték része, a mű elemi összetevőivé válnak, ahogy a művész feltárja és felhasználja a lehetőségeit. A fenti anekdota azt sugallja, hogy a művészi alkotási folyamat valamilyen „programot” igényel, melynek célja magas szinten tartani a kreatív izgalom paraméterét.¹⁴⁵

Az értekezésem kiindulópontját adó képgrafikai felületképzés esetében ez a kreatív játék magasabb szinten zajlik a sokszorosító technika összetett jellege miatt. Az aquatinta porzószelektrénben végbemenő – fizikai körülményektől függő, de beláthatatlansága miatt véletlenszerű – eloszlás, a maratás erőssége és időtartama, a nyomódúc anyagának reakciója, a különböző tónusok rétegződése és a maszkolási folyamat alkímiája bonyolítja és gazdagítja a kirakósjátékot.

Az 1960-as években a komputerek még új médium, így még nem alakultak ki az esztétikai jellemzői, mint a festéknek, ecsetnek, vászonnak. Milyen művészi lehetőségek fejlődhetnek ki egy olyan eszközben, mely maga is folyamatosan fejlődik?

¹⁴³ (Dreher 2020, Introduction)

¹⁴⁴ Az anekdota szerint a művészi alkotás során veszel egy üres vásznat, kicsit bámulod, majd festesz egy élénkpiros korongot, majd vársz, amíg egy hasonlóan izgalmas elemet nem találsz, mint az eredeti piros korong, ha megvan a vászonra festve újra vársz, míg meg nem találsz a következő legalább annyira izgalmas elemet.

¹⁴⁵ (Noll, The digital computer as a creative medium 1967)

A művész, aki hagyományos médium esetében is alapvetően maga kezeli az anyagot, a digitális médiumokban is szeretné a lehető legnagyobb kontroll alatt tartani kreatív folyamatot. A technikai és tudományos fejlődés felgyorsult üteme mellett szüksége lehet a művésznak technikusra vagy tudósra, aki kezeli a képalkotó technikát, gépezetet. A hagyományos képgrafikai sokszorosító technikák esetében is, amennyiben nem a művész csinál mindent, sokszor nyomdász technológus készíti elő a nyomódúcot. A művész saját kézzel elkészíti a rajzot erre a dúcra, majd szintén a technológus maratja ki a lemezt és végzi el a nyomtatást, mely így eredeti grafikának számít, amennyiben a művész felügyelete mellett történik. Ha az eredeti alkotás alapján készül el a nyomóforma, akkor már reprodukcióról beszélünk, tehát a technikai folyamat már nem „inspiráló partnere” a kreatív alkotásnak.¹⁴⁶ Ahogy általában az ecsetet, a festéket és a nyomdafestéket sem a művész készíti, legtöbbször a digitális számítógéppel alkotó művész sem maga írja a programot. Bár kezdetben még nem álltak rendelkezésre felhasználóbarát alkalmazások, amennyiben a művészeknek gondot okozott a mérnöki leírások megértése, akkor együttműködtek egy tudóssal, technikussal. A művészek folyamatosan elsajátították a szükséges tudást, hogy felfedezzék a lehetőségeket, a technikusok pedig kreatív ötletekkel álltak elő, így sokszor egy személyben összeolvadtak e funkciók. Idővel már sokkal inkább felhasználó és művészbárát programok és leírások születtek.¹⁴⁷

A művészetek és a tudomány viszonyában a kezdeti optimizmust mára sokszor szarkazmus és frusztráció váltotta fel. A társadalmi megbecsülést alapul véve ironikusan fogalmazva felépült a tudományok hierarchiája mely csúcsán az egzakt természettudományok, legalján a művészetek, illetve a tudománnyal szövetkezett művészetek (*Art & Science*, *Art & Technology*) állnak.¹⁴⁸

¹⁴⁶ Eredeti reprodukció: eredeti alkotás alapján manuálisan készített nyomóforma korlátozott számban nyomtatva. Reprodukciós grafika: eredeti műalkotásról fotómechanikai úton készített nyomóforma nagy példányszámban nyomtatva. (Krejča 1985)

¹⁴⁷ (The digital computer as a creative medium 1967)

¹⁴⁸ (Beke 2007)

4.1. Technikai és tudományos kísérletezés a művészetben

„The art challenges the technology, and the technology inspires the art.”
(John Lasseter)¹⁴⁹

Az új megtalálásának két módszere a *kísérlet* és az *intuíció*. A hagyományos értelemben vett kísérletezés a művészetben értelmetlen, mert a legitim meghatározás szerint a tudományos kísérlet megismételhető, míg a művészetben éppen a megismételhetetlen az alkotás ismerve. Ezért kerül fókuszba a kutatás, melynek a megismerés a célja. A kutatás során a felmerülő összefüggések száma végtelen, a közvetlen célt elérve, mindig további ismeretlen foltok tűnnek fel. Ebben a relációban a művészet maga a kutatás, mely bármely a tudomány által elhanyagolt, vagy éppen favorizált kérdésben állíthat fel megismerendő célokat. Komoly kihívásnak számít a művészeti kutatásokat elhelyezni az innovációs tevékenységek között, mivel a fejlesztéseknek gyakorlati, legtöbbször anyagi, tárgyi hasznávan, ellenben a művészeti kutatások nem feltétlenül rendelkeznek ilyennel, mert a szellemet építik.¹⁵⁰ A művészet próbál közeledni, aminek háttérében három tényező állhat: a művészeti doktori iskolák megalapítása, versengés a tudás alapú gazdaságban betöltött pozíciókért, és az új-média művészet interdiszciplináris jellegű együttműködési igényei.¹⁵¹ A tudományt a művészet nem érdekli, így a szándék egyirányúnak tűnik.

A tudományos tevékenységnek hangsúlyozottan valamilyen hasznos eredménnyel kell járnia, ezzel szemben a művészet deklaráltan esztétikai értéket képviselő, gyakorlati haszonnal nem rendelkező művek létrehozását hirdeti. A művészeti kutatás technikai újítással fenyegető réme ezért lehet gyanús a hagyományos művészeti intézményrendszereknek. A technológiai alapú művészeti mozgalmak (új-média művészet) nem tagozódtak be a képzőművészeti intézményrendszerek vérkeringésébe.¹⁵² Ennek oka abban kereshető, hogy a technológia alapú művészet magától értetődőnek tekintette az egyedi műtárgy és az egyéni alkotó művész kultusz felszámolását, és értelmetlennek nyilvánította a tökéletes műtárgy fogalmát. Nyitott, sokszor a szerző közvetlen irányítását nélkülöző, a néző részéről aktív befogadást igénylő és feltételező alkotói hozzáállást honosított meg.

¹⁴⁹ „A művészet kihívást jelent a technológia számára, a technológia pedig inspirálja a művészetet.”
<https://fb.watch/AiMK68jKfT/>

¹⁵⁰ (Hantos 2007)

¹⁵¹ (KisPál 2007)

¹⁵² Szegedi Maszák Zoltán előadása, Művészet és kutatás konferencia, 2006, (Szegedy-Maszák 2007)

A fenti inkább negatív értelmezések mellett pozitív hatás az *intuíció* lehetősége. A technikai médium használata miatt a mérnökök munkájának esztétikai következményei lehetnek, míg a művészek kreatív kísérletező tevékenysége olyan területeket tárhat fel, melyeket a mérnökök tudatos, szervezett gondolkodásmódja nem érint. Ilyen a komplex működésből adódó sztochasztikus eredmény, mely művészi szempontból kreatív energiákat adhat.

A művészeti kutatásban tért nyerő vizuális kommunikáció sok esetben hatásosabb, mint a fogalmi. A vizualizáció során alkalmazott tudományos és technikai alapú eszközökkel – mint szimuláció, modellezés, nagyszámú adat elemzése (*Big data*), komplex algoritmusok használata – olyasmí tehető láthatóvá, ami eddig rejtve volt. E rejtett világ esztétikai és fogalmi szempontból felidézi értekezésem vizuális pillérét képző rejtett struktúrát mely a szimulációs megoldások alapjául szolgál. Abban az esetben, ha érvényes, és értelmezhető adatok alapján építjük fel a vizuális struktúrát, a szimuláció lesz a mű váza és lényege és tartalma, minden egyéb vizuális elem pedig az effekt. Az értelmezés során a vizualizáció és a verbalizáció hatékony együttműködésének alapelve a két agyfélteke arányos aktivizálása.¹⁵³

1960-ban Jean Tinguely a *Hommage to New York* happening során egy kinetikus szerkezet 27 perc alatt felépítette és megsemmisítette magát. A művész nem engedett semmiféle beavatkozást a folyamatokba, melyek többször véletlenszerű irányokat vettek. Ez a modern huszadik századi művészet fontos akciójává vált esemény az irányított véletlen felhasználásával létrehozott kísérletnek számít, legalábbis abban a tekintetben, hogy megengedett váratlan eseményeket. A reprodukálhatatlan művészeti kísérletek természet-tudományos szempontból nem tekinthetőek kísérletnek, mivel ezek legfontosabb ismérve a megismételhetőség és ellenőrizhetőség.¹⁵⁴

Az 1970-es oszakai világkiállításra létrehozott *Hatalmas Nagy Tükörkupola*¹⁵⁵ interdiszciplináris vállalkozásként az interaktív médiaművészet előképének tekinthető. Az alkotók

¹⁵³ (Hantos 2007)

¹⁵⁴ (Szegedy-Maszák 2007)

¹⁵⁵ Az E.A.T szervezésében; *Bill Klüver* mérnök a művészek és mérnökök együttműködésének fontos alakja, kortárs avantgárd New York-i művészekkel kapcsolatba kerülve a Fluxus és pop-art irányzatok központi figurája lett. 1966-ban több művésszel létrehozta az *Experiments in Arts and Technology* (E.A.T.) vállalkozást, mely a modern technika és a művészet közötti távolságot próbálta áthidalni. az E.A.T. elutasított minden intézményesülést, az általuk preferált *matching agency* alapján a művész maga keresi meg az ötletéhez leginkább megfelelő technológia szakembert.

és a sajtó nem elsősorban műalkotásként, hanem immerzív környezetként interpretálták, melyben bár a befogadók szubjektív benyomásai megismételhetetlenek, mégis Tinguely művével ellentétben megfelel a tudományos kutatás reprodukálhatóság kritériumának. Ez a művészi kísérlet legjelentősebb eltérése a természettudományostól; míg a természettudományos kísérlet egy előre felépített hipotézist próbál igazolni, addig a művészeti kutatás egy előre nem sejthető szubjektív élmény tapasztalatát teszi elérhetővé.

A művészet és technológia közötti kapcsolat nem új keletű jelenség, talán az egyik legismertebb példa, Leonardo da Vinci mechanikai tudományok iránti érdeklődése. Számos mérnöki vázlata közül több mint ötszáz foglalkozik csak a repülés jelenségével, helikopterek, ejtőernyők, vitorlázórepülők és ember által hajtott repülőgépek vázlatainak, tervrajzainak formájában. Annak ellenére, hogy e légi tanulmányok mind technikai, mind művészeti szempontból roppant érdekesek, nem voltak közvetlen hatással a repülésre. Ellenben számos esetben a művészek által kifejlesztett technológiát közvetlenül alkalmazták a tudomány művészeti célú felhasználásában. Sokszorosító grafikát érintő kiváló példa erre a savak és más maró anyagok felületdíszítési használata. Maratással díszített karneol gyöngy leletek azt mutatják, hogy a kézművesek már az ókorban lúgos anyagot használtak díszítőminták létrehozására.¹⁵⁶ A közép- és dél-amerikai prekolumbián kultúrák is savakat használtak az aranyfelület megmunkálására, Európában pedig a maratás technikáját páncélzatok díszítésének eszközeként fejlesztették tovább. Végül ez a technika Rembrandt nyomatainak magas színvonalú alkotásaiban csúcsosodott ki.

A művészet és a felgyorsult technikai fejlődés kapcsolatával egykorú a félelem, hogy a számítógép helyettesítheti az embert az alkotói folyamatban. A luddita¹⁵⁷ hozzáállás a gépi alkotáshoz az ipari forradalom óta visszatérő attitűd, és a számítógépek feltalálása majd művészi alkalmazása óta jelen van, a kezdeti optimista hozzáállás ellenpontjaként. Napjainkban a mesterséges intelligencia szédítő iramú kreatív felhasználására tett kezdeményezések újra hasonló ellenállást okoznak a művészek körében. Több korábbi digitális technikai megoldásról bebizonyosodott idővel, hogy ugyanolyan kézműves jellegűek lehetnek, mint hagyományos társaik, amennyiben a művész irányítása alatt megtörténik a művészi absztrakció.

¹⁵⁶ Cynthia Goodman: "Art and Technology: Bridging the Gap in the Computer Age" (Youngblood, Noll és Goodman 1982)

¹⁵⁷ eredetileg angol gépromboló mozgalom, tágabb értelemben gépek emberi tevékenységet helyettesítő használatával szemben álló

Amikor egy művészeti projekt még nem kiforrott technikai közreműködéssel valósul meg, akkor mindig fennál a veszély, hogy az eszköz határozza meg a stílust, a technika „láthatóvá” válik. Noll 1982-ben összegezve 15 évvel korábbi tevékenységét, úgy látja, hogy ahhoz, hogy a számítógép valódi művészeti eszközzé váljon, el kell érni azt az állapotot, ahol maga az eszköz háttérbe szorulhat az alkotói folyamat során. Ez csak akkor lehetséges, ha több kreatív személy válik szakértővé ebben a médiumban. Hasonlóan Gene Youngblood¹⁵⁸ szerint a professzionális és amatőr közötti különbség elmosódik majd, mivel mindenki hozzáférhet ugyanazokhoz az eszközökhöz. Az amatőröket nem szabad lenézni; sok esetben ők azok, akik innovatívabb megoldásokkal állnak elő.¹⁵⁹ Ha előre ugrunk 40 évet, látható, hogy a demokratikus hozzáférés a szoftverekhez kulcsfontosságú volt az esztétikai fejlődésben, elsősorban az open source programok segítségével. Sok év alatt felépített közösségek, mint a Blender Community, olyan erőforrással nem rendelkező fiatal művészeknek adott lehetőséget megvalósítani dramaturgiai és esztétikai elképzeléseiket, mint Gints Zilbalodis, aki *Flow*¹⁶⁰ című egészestés animációs filmjével 2025-ben Oscar díjas lett.

A fejezet elején John Lasetter idézett híres techno-optimista mondata egybeesik Noll 1967-es gondolatával, mely szerint a művész és a számítógép közötti szoros interakció egy új, izgalmas művészeti médiumot jelenthet.¹⁶¹ A hangnem elfedi az alapvető ellentmondást: a posztmodern tagadja a művészet fejlődését; művészet változik, de nem fejlődik¹⁶², ezzel szemben a technikában elfogadott és egyértelmű a fejlődés, iránya pozitív, az újabb jobb.¹⁶³ A művészet és a tudományos illetve technológia fejlesztések közti kölcsönös fenntartások visszavezethetők erre az ellentmondásra. A technikai fejlődés egyre gyorsuló üteme az, ami ezt az ellentmondást láthatóvá teszi.

Személyes képzőművészeti és alkalmazott művészeti tapasztalatomban is előfordult, hogy az alkotói és az alkalmazott technológiai esztétika és jelentés szembefordult.

¹⁵⁸ Gene Youngblood nemzetközileg ismert szerző és előadó az elektronikus művészet és technológia területén, a California Institute of the Arts és a California Institute of Technology oktatója. Mr. Youngblood nemzetközi konferenciákat szervezett a televíziózás jövőjéről az U.S.C. Annenberg School of Communications és a The Directors Guild Of America számára. Szerzője az EXPANDED CINEMA (1970), a médiaelmélet és -kritika klasszikus művének, és a The Future of Desire című könyvnek, amely politikai és filozófiai elemzést nyújt a biológia és az elektronikus technológia forradalmairól.

¹⁵⁹ (Youngblood, Noll és Goodman 1982)

¹⁶⁰ <https://flow.movie>

¹⁶¹ (Noll, The digital computer as a creative medium 1967)

¹⁶² (Gombrich 1987)

¹⁶³ (Beke 2007)

4.2. Nyitott mű – mozgásban lévő mű – interakció

Umbert Eco több esszében fejti ki gondolatait, hogy a *Nyitott mű*¹⁶⁴ hogy viszonyul az előadói és befogadói értelmezéshez. A gondolatmenet alapvetően zenei és irodalmi párhuzamokra épül, majd Eco kiterjeszti képzőművészeti alkotásokra is. A generatív művészet filozófiai és esztétikai értelmezése szempontjából tanulságos párhuzamot vonni a generált struktúrák és a nyitott mű, szűkebben a *mozgásban lévő mű* elméletével.

A modern zeneművek egy csoportja¹⁶⁵ eltérő kommunikációt folytat a klasszikus, lezárt szerkezetű, és az előadás során szinte tökéletesen reprodukálható zenei művekhez képest. A nyitott szerkezetű műveket az előadó választásával, más és más szerkezetű művekké alakíthatja, és így az interpretáció során kap az adott előadásra létrejövő formát. Jelen értelmezésben a nyitott jelzőt¹⁶⁶ kézzelfogható értelemben használjuk, befejezetlen művekről beszélünk, melyeket az előadó a szerző által megadott építőkövekből rak össze, így a végleges szerkezet a szerzőtől független. Pousseur szerint¹⁶⁷ „a tudatos szabadság aktusaira” szeretné vezetni az értelmező előadót, melyet így nem köt a szükségszerűség a végleges formát illetően. A nyitott művek ezen szűkebb csoportját, mikor a felhasználó magát a szerkezetet alakítja, *mozgásban lévő mű*veknek nevezzük. Jellemzőjük, hogy megjósolhatatlan, előre nem létrehozott struktúrák létrehozására képesek.¹⁶⁸

A *mozgásban lévő mű* a képzőművészetben is azonosítható. Eco szemléletes példaként említi Alexander Calder fizikailag elmozduló kinetikus szobrait és Bruno Munari interaktív projekcióját, de szintén említhető lenne Charles Csuri véletlenszám generátor és szimulációs algoritmusok segítségével létrehozott műveit, vagy a jelenleg aktív *Fuse* stúdió *Multiverse.unfolded* installációját, melyben a valós időben generált részecskeszimuláció sosem ismétlődik. Bár az esszében az interaktív szó nem hangzik el, *mozgásban lévő mű*nek tekinthetjük az interaktív művészet legjavát.

¹⁶⁴ A nyitott mű (Eco 1998)

¹⁶⁵ Például Karlheinz Stockhausen *Klavierstück XI* darabja, Luciano Berio *Sequenza per flauto solo* műve, Henry Pousseur *Scambi* című kompozíciója, Pierre Boulez *Harmadik Zongoraszonátája*. (Eco 1998)

¹⁶⁶ Az itt használatos „nyitott mű” kifejezés esetében eltekintünk a nyitott és zárt kifejezés szintén alkalmazható tágabb esztétikai használatától, mint műhasználati fogalom, mely szerint az egyébként zárt formátumúnak szánt művek is befogadásakor a befogadó egyéni nézőpontja, érzékenysége és műveltsége szerint eltérő megértési folyamaton megy keresztül, befogadóként különböző rezonanciát és szempontot létrehozva. Ebben az értelemben egy esztétikai szempontból hiteles zárt szerkezetű mű egyben nyitott is – végtelen és megismételhetetlen a befogadói interpretációk lehetősége. (Eco 1998)

¹⁶⁷ „La nuova sensibilità musicale” in: *Incontri Musicali*, 1958, n°2, május, 25.o

¹⁶⁸ (Eco 1998, 87-88)

A mozgás különböző formában jelenhet meg a műben. Lehet statikus, mely a struktúrát érintetlenül hagyja, például mozgásfázisok barlangrajzokon, vagy egy kimerevített mozdulat ábrázolása. Szintén statikus szerkezetnek tekinthetjük, mikor filmes elbeszélés módjára az egymás utáni mozdulatfázisokat soroljuk egymás után, mint a bayeux-i falikárpit, vagy a souillac-i kapu timpanonja. A mozgás másik formája a szerkezetre hat, egyfajta belső élénkség formájában és többértelművé válik. A látvány nem válik meghatározatlanná, csak vibrálóvá, organikusabban a környezethez kapcsolódik, elmossa a forma, fény és háttér merev különválását. A képzőművészetben a futurista és kubista formafelbontási kísérletek további konkrét strukturális mozgáslehetőségeket jelentenek.

Térbeli műfajok például szobrászat már aktív közreműködésre invitálja a nézőt. Alapvetően minden körbejárható mű egy fajta nyitottsággal rendelkezik, hiszen több nézettel rendelkeznek, de itt is megkülönböztethető, hogy az egyes nézetekből mennyire lehet következtetni a többi nézetre, mennyire törekednek egyfajta összkép kialakítására.¹⁶⁹

„Egy nyitott mű teljes egészében felvállalja azt a feladatot, hogy képet adjon a diszkontinuitásról: nem beszél róla, hanem ő maga az. Közvetít a tudomány absztrakt fogalma és érzékenységünk élő anyaga közt: már-már transzcendentális sémaként a világ új aspektusait segít megérteni.” (Eco 1998, 207)

Egy műben minél nagyobb az információmennyiség annál nehezebben kommunikálható, és minél világosabban kommunikál egy üzenet, annál kevésbé informál. A nyitott és mozgásban lévő mű minden változatában mindig műként jelenik meg, nem véletlenszerű elemek halmazaként. Mindenképp személyes alkotásról, a sokféle befogadás ellenére is megőrzi az alkotó egyéni ujjlenyomatát.

Jelentés és információ különböző. Minél egyértelműbb a jelentés, annál inkább rögzített a közlő által kommunikált üzenet struktúrája és annál kevesebb a hordozott információ-halmaz, egyben annál kevésbé beszélhetünk nyitott műről. Viszont minél kevésbé egyértelmű az üzenet, annál nagyobb a közölt információ mennyisége és annál nyitottabb a mű szerkezete. Bizonyos helyzetekben, gyakorlati fontosságú közléseknél a *jelentés* nyilvánvalóságára kell törekedni, és ki kell zárni a félreértéseket és egyéni interpretációkat. A művészi kommunikáció és esztétikai hatás érdekében viszont az információérték, a jelentések eredeti gazdagsága a fontos. Eltérő a hatásmechanizmus a klasszikus művészi forma és a kortárs művészet működése és célja között.

¹⁶⁹ (Eco 1998, 102, 156, 196-229)

Míg az előbbi a konvenciók és hagyományos művészi szimbólumok átvétele mellett, emeli a műélvező részére nyújtott információmennyiséget, és ideiglenesen szembehelyezkedik a redundanciával, valójában végül szentesíti, megerősíti a közérzékenység által elfogadott struktúrákat. Ezzel szemben a kortárs művészeti attitűd számára a mindennapi konvencióval és redundanciával való szembe helyezkedés tűnik fontosabbnak, a valószínűségi törvények használata közben egyben deformálja is azokat, válságot teremtve, kritikus attitűdöt felvállalva. Mindezt azért, hogy információs újdonságot nyújtson a műélvezőnek, így hozzájárulva a művészi hatáshoz.¹⁷⁰ Innentől kezdve a szerző és a hallgató kommunikációjában a konvenciókhoz való ragaszkodás, illetve konvencióktól és a kiszámíthatóságtól való eltérés határozza meg a mű művészi hatását, illetve, hogy egyáltalán még műnek tekinthető.

A fenti gondolatmenet segít meghatározni a két végletet, az egyértelmű, információ-többlettől teljesen mentes redundáns jelentést, ami nem rendelkezik művészi absztrakcióval és nóvummal, illetve a rendezetlenségi maximumot elér *zajt*, ami már nem mű, mert kommunikáció nem jön létre. A mű létrejöttéhez szükséges a rendezettség mini-mum, és a minősítő szándékú ellenjegyzés, például egy zsákvászon bekeretezése. Tehát egy-egy generatív elemet használó képző vagy alkalmazott művészeti alkotásra nyitott, illetve mozgásban lévő műként tekintve sokkal inkább érthetővé és megfoghatóvá válik az adott munka művészi értéke. Könnyebben tetten érhető mikor használják, mint díszítő effektet, mikor lát el adatvizualizációs feladatot, és mikor lesz maga az effekt a művészi absztrakció.

A nyitott mű elmélete – ahogy a számítógép művészi felhasználásától tartó folyamatos kibernetikus kísérletek – a művészet és az interaktivitás egyre jelentősebb kapcsolatára utal. Noll már 1967-ben felveti az igényt, hogy a művész bizonyos esetekben az igen hatékony tudatos irányításon túl, melyet nyomógombokkal, mutató eszközökkel és rajzolt mintákkal végez, a tudatalattijával és érzelmi, élettani állapotával is irányítsa az alkotás folyamatát. Az *interaktív visszacsatolás* lényege, hogy a számítógép elemezve a művész érzelmi állapotát, olyan esztétikai, érzéki környezetet hozna létre, ami optimalizálná a művész állapotát, melyre a számítógép újra reagálna. Erős a kísértés, hogy ezen elképzeléseket pszichedelikus számítógéppel társított tudattágító élményként írjuk le.¹⁷¹

¹⁷⁰ (Eco 1998, 212-213)

¹⁷¹ (Noll, The digital computer as a creative medium 1967)

Tekinthetjük az interaktivitást a számítógépes művészet legfontosabb irányelvének?¹⁷²

A technológia és művészet kapcsolatában az esztétikai folytonosság hiánya figyelhető meg. Zics Brigitta *Transparent Act*¹⁷³ című művében kritikusan viszonyul az interaktív művészet jelenlegi állapotához, amely szerint nem teljesíti azokat az esztétikai és konceptuális ígéretek, amelyeket az alkotók eredetileg megfogalmaztak. Zics elmélete a technológia immateriális megközelítésén alapul. Rámutat, hogy a technológia alapú művészet jelenlegi értelmezése materialista alapon torzít, mivel a technológiát egyszerre kezeli eszközként és médiumként. Az új modell középpontjában az ún. „Transparent Act” áll, mely szerint az interakció esztétikai dimenzióját nem a technológia vagy a fizikai részvétel, hanem az „alkotó-mű-néző” kognitív kapcsolata hozza létre. A tanulmány ezt a modellt a *Mind Cupola*¹⁷⁴ művészeti installációban alkalmazza, amely passzív interaktív rendszeren keresztül generál kognitív visszacsatolást. Az új megközelítés célja az elveszett esztétikai dimenzió visszaállítása, amely hasonló a spirituális élményekhez, és újra értelmezi az interaktivitás esztétikai dimenzióit.

A szerző egy filozófiai keretrendszert is létrehoz, amelyben bevezeti a „transparent medium” fogalmát, és ezt immateriális művészeti élmény közvetítőjeként azonosítja. A „transzparencia” ebben az értelmezésben kettős jelentést hordoz: egyrészt technológiai funkcionalitást biztosít (láthatatlan médiumként), másrészt reflektív módon az esztétikai tapasztalat új értelmezési lehetőségeit kínálja. E megközelítés különösen releváns abban a kontextusban, ahol a művészet az emberi test-tudat interakciójára épül, és a befogadói élményt az érzékszervi-motoros tudás kiterjesztéseként kezeli.

Nem univerzális esztétikai modellt kíván felállítani, hanem olyan keretrendszert ajánl, amely lehetőséget biztosít a technológia alapú művészet filozófiai értelmezésére és gyakorlati alkalmazására. Az „immateriális dimenzió” fogalom az alkotó és a befogadó közötti bensőséges kapcsolat visszaállítására irányul, nem csupán a művészet tárgyi aspektusain keresztül, hanem annak érzékelési és tudati hatásain keresztül is.¹⁷⁵

A zárt mű – nyitott mű – mozgásban lévő mű értelmezési folyamatban az immateriális dimenzió lehet a következő állapot.

¹⁷² (Dreher 2020)

¹⁷³ (Zics 2018)

¹⁷⁴ [THE MIND CUPOLA, Affective Environment 2008](#)

¹⁷⁵ (Zics 2018)

5. Művészi absztrakció és generált kép dilemmája

„What we need is a computer that isn't labour-saving but which increases the work for us to do, that puns (this is McLuhan's idea) as well as Joyce revealing bridges (this is Brown's idea) where we thought there weren't any, turns us (my idea) not 'on' but into artists.”

John Cage, 1966

John Cage szerint¹⁷⁶ a számítógépnek nem elsősorban az emberi munkát elvégző eszköznek kellene lennie, hanem olyannak, ami kiterjeszti a művészi kreativitás lehetőségeit, és így további feladatokat ad a művésznek. A kérdés, hogy pontosan mi is a komputer feladata a kreatív alkotásban, illetve, hogy összetett számításokra képes eszköz segítségével generált kép mennyiben tekinthető műalkotásnak, már az első komputergrafikai számítógépes művészeti kísérletek óta jelen van. Ha összevetjük az akkori bizakodó gondolatokat és kétségeket a jelenlegi laudációval és félelmekkel a mesterséges intelligencia közreműködésével készült képek kapcsán, kísértetiesen hasonló felvetésekkel találkozunk. Az új médiumok megjelenése paradigmaváltást von maga után, átalakíthatja és kibővítheti a kreativitás értelmezését. Doktori kutatásom szorosan kötődik a gépi képalakító eszközök használatához, fontosnak tartom megvizsgálni a művészi absztrakció és a generált kép ellentmondásos kapcsolatát.

A művészi absztrakció tekintetében az első gesztus a tanulmányrajz, ahol egy háromdimenziós képi látványt kell átalakítsunk kétdimenziós rajzzá. A művészi gyakorlatban és oktatásban ezt *absztrakciós folyamatnak* nevezzük. A rajzolni tanuló hallgatóknak megtanítjuk, hogy a folyamatot nem lehet kikerülni, vagyis fényképről másolni, fényképet átrajzolni nem ajánlatos, mert úgy nem történik meg a transzformáció, az absztrakció. E tudás birtokában egy ténylegesen már síkban ábrázolt referencia használata esetén is elvégezhető a transzformációs folyamat.

Ahogy az első fejezetben kifejtettem, a sokszorosító grafikai technikák esetében közvetett alkotói folyamatokról beszélhetünk, melyben manuális rajz mellett nagy szerepet kapnak analóg – vagy akár digitális – technikával generált felületek, az irányított véletlen haszná-

¹⁷⁶ A Year from Monday (Cage 1967, 50): „Nem olyan számítógépre van szükségünk, amely megspórolja a munkát, hanem olyanra, amely inkább megsokszorozza a tennivalót; amely szójátékokkal él (McLuhan gondolata), miközben – Joyce-hoz hasonlóan – ismeretlen hidakat tár föl (Brown elképzelése), és amely – az én elképzelésem szerint – nem egyszerűen »bekapcsol«, hanem művészekké formál minket.” (Perplexity AI segítségével készített fordítás)

lata, és a képépítés rétegenként történik. A nyomódúc kialakításában is megfigyelhető az elemekre bontás és újra kombinálás, melyet Lev Manovich a digitális médiumok fejlődésében kiemelt.¹⁷⁷ Ennek a komplikált alkotói folyamatnak megfelelően az alkotó személyét és az eredetiséget is több szinten határozzák meg. (Eredeti, eredeti másolat, másolat, és az NFT).

A fényképezés és a film felfedezésével a képzőművészet hagyományos dokumentáló feladata megszűnt, és az absztrakciós folyamat megszabadult a realiztikus ábrázolás kényszerétől. Az új médiumok esetében pedig a térből síkba történő transzformációt elvégzi az eszköz, így a művészi alkotó folyamat olyan lehetőségekre fókuszálhat, mint, mélységélesség, fény-árnyék viszony, ritmus és montázs, és a fénykép vagy film viszonya a valósággal. Tehát a vonalat már nem a művész húzza, de a szándék, és valóság és a reprezentáció közötti transzformáció a művész döntése és felelőssége.

A számítógépes művészet születése idején, A. Michael Noll a kreativitást a következőképpen definiálja: amennyiben a számítógépet egy olyan elektronikus eszköznek tekintjük, mely csak a megadott utasításokat képes pontosan és megbízhatóan végrehajtani, nem tekinthetjük kreatív eszköznek. Ha azonban a kreativitást a nem szokványos és az előre nem látható dolgok létrehozásaként határozzuk meg, akkor a komputer, mint kreatív médium tűnik fel. A számítógépek csak gépek, de a másodperc töredéke alatt több millió műveletet képesek elvégezni hihetetlen pontossággal. Programozni lehet őket arra, hogy meghatározott kritériumok alapján gondosan mérlegeljék a különböző alternatívák eredményeit, és ennek megfelelően cselekedjenek; így a számítógépek kezdetleges értelmében intelligenciát mutathatnak. Természetesen mindent, amit a gép tesz, programozni kell, de komplex rendszerek felépítésével szintéziseket javasolhat és nagy sebességgel végrehajtott bonyolult műveletekkel véletlenszerűnek tűnő számokat generálhat, látszólag kiszámíthatatlanul cselekszik és váratlan dolgokat produkál, legalábbis rendelkezik a kreativitás néhány külső attribútumával.¹⁷⁸ Noll elismeri a komputer paradigmaváltó jellegét mint művészeti médium, mert experimentális és emberi léptékkel kiszámíthatatlan eredményei kreatív hatásúak, ugyanakkor hangsúlyozza, hogy a számítógép csak egy médium, és a valódi művészeti értéket a tartalom határozza meg.¹⁷⁹ A kissé ellentmondásos kijelentések jelzik az akkoriban új számítógép médium kezdeti útkereső állapotát.

¹⁷⁷ (Manovich, *Separate and Reassemble: Generative AI and Media History* 2024)

¹⁷⁸ (Noll, *The digital computer as a creative medium* 1967)

¹⁷⁹ (Noll, *The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir* 1994)

A 60-as évek után további logikus technikai fejlődés vezet el a mesterséges intelligencia által generált képig.¹⁸⁰ Ebben a fejlődésben a számítógépes grafika egyik meghatározó tulajdonsága a világ elemeire való bontása és azok újra összerakása. Ez az elv nemcsak a digitális médiumok fejlődésében, hanem az AI által generált művészetben is megfigyelhető. Manovich e folyamatot modern művészeti irányzatokhoz, például a kubizmushoz és a konstruktivizmushoz hasonlítja, amelyek szintén a vizuális világ elemeire való bontásán és azok újra rendezésén alapultak. Az első számítógépes festőprogramok még nem szimuláltak festéktípusokat, ecseteket, textúrákat, de a 90-es években már megjelentek olyan programok melyek képesek voltak e funkciókra. Az első 3D objektumok árnyalásáért (*shading*) felelős algoritmusok¹⁸¹ még nem voltak képesek az anyagok valósághű megjelenítésére, de idővel a fejlesztők létrehozták a haj, ruha, bőr és egyéb anyagok, valamint az árnyékok, átlátszóság, áttetszőség, mélységélesség, a lencse becsillanás (*lens flare*), az elmosódás (*motion blur*), tükröződések, víz, füst, tűz, robbanások és más természeti jelenségek szimulálásához szükséges programkódokat. Ezen kódok nagy része már procedurális és sokszor generatív megoldásokat alkalmazott. A számítógép optimális esetben tökéletesen létrehozta a pontosan leírt vizuális elemet, de összerakáskor az eredmény túl kiszámítható, unalmas, klisészerű lett. Az művészi intuícióra és arányérzékre volt szükség a létrejött képek emberi esztétikai értékének a feljavításához. Az algoritmusokon mindig lehet javítani, hogy egyre jobban hasonlítson valamire, vagy utánozzon egy már létező fogalmat, de ez csak mimika.¹⁸² Az emberi agy értelmezi a vizuális ingereket, kontextust ad nekik. A látás során tapasztalatokra és kulturális ismeretekre is támaszkodunk. Ha jelenleg a digitális médiumok fejlődési csúcsán lévő mesterséges intelligencia képalkotó képességét vizsgáljuk, azt látjuk, hogy nem értelmezi a képeket, csak pixel-mintázatokat elemez. Nem tudja, hogy mit "lát", csak statisztikai mintákat azonosít. Az AI által generált kép nem egy objektum pontos másolata, hanem egy generált vizuális adatstruktúra.

Úgy gondolom, hogy az akkori és mai¹⁸³ számítógépes eszközök és a mai mesterséges intelligenciát használó képalkotó programok elsősorban eszközök, kreatív kísérletezésben nagyon hasznosak az alkotónak, de önálló döntést, művészi értékítéletet nem hoznak,

¹⁸⁰ (Manovich, *Separate and Reassemble: Generative AI and Media History* 2024)

¹⁸¹ Gouraud (1971) és Phong shading (1973)

¹⁸² (Arielli 2021)

¹⁸³ Az értekezésben a 2025 májusában szélesebb körben ingyenesen elérhető generatív eszközökről lehet csak szó, megjósolni nem tudom mit hoz a jövő

és ebben az értelemben nem beszélhetünk kreativitásról. Így Noll kijelentését²⁶ ebben az értelemben vitatom, a számítógép intellektuális és aktív alkotó partnernek nem tekinthető, mivel mint eszköz kezdeményezni nem képes, tehát nem aktív, a válaszokat, generált képeket és egyéb médiumot valójában nem érti, tehát nem intellektuális.

Ez nem jelenti azt, hogy egy gép által adott válaszok, és generált képek ne lennének összetéveszthetők ember által adott válaszokkal, képekkel. Több kísérletet ismerünk az ember és a gép azonosítására. A gondolkodó gépeket az évszázad végére jósoló Alan Turingról elnevezett *Turing teszt*¹⁸⁴ során egy ember és egy gép válaszai alapján azonosítani kell a gépet, anélkül, hogy tudjuk melyik választ melyikük adta. Amellett, hogy nagyban elősegítette a teszt a mesterséges intelligencia kutatását, valójában alkalmatlan az intelligencia megállapítására. Ennek a kísérletnek a már fentebb említett egyszerűsített vizuális változatát végezték el Piet Mondrian *Composition with lines* (20.ábra) című művét felhasználva. A kísérlet során véletlenszerűbbnek tűnő gépi elrendezést jóval többen választották, a rendezettebb elrendezésű eredeti Mondrian mű ezek szerint túl gépiesnek tűnt. A *Lovelace-teszt*¹⁸⁵ szerint egy gép akkor tekinthető kreatívnek, ha olyan művet hoz létre, amelyet az alkotói nem láthattak előre. Kérdéses, hogy a gépi algoritmus valóban új és váratlan dolgokat hoz létre, vagy csak az ember által betáplált adatok variációit készíti el. A váratlan elrendezés mindenképp kreatív helyzetbe hozhatja az alkotót, ahogy már a számítógépes művészet születésénél láthattuk Vera Molnar vagy Georg Nees képein, de maguk a számítógép által végzett számítások nem kreatív döntéseken alapulnak, hanem a program szabályain.

¹⁸⁴ <https://hu.wikipedia.org/wiki/Turing-teszt>

¹⁸⁵ (Manovich, Who is an Artist in AI Era? 2022)

5.1. Absztrakció és effekt a digitális animációban

Az animációs szekvencia¹⁸⁶, illetve film komplex látványvilágának előállítása nagyon munka és időigényes, ezért a szakemberek már a kezdetektől fejlesztették az automatizált megoldásokat, és lehetőség szerint azonnal alkalmazták a State-Of-The-Art analóg majd digitális fejlesztéseket az egyszerű interpolált mozgatótól a szimuláción át a generált, mesterséges intelligencia által támogatott tartalmak előállításáig. Mechanikus rendszereket – például trükk kamera és multiplán kamera¹⁸⁷ – már a digitalizáció előtt használtak a kameramozgások képkockaként történő felvételéhez szükséges mozgások kiszámítására és kivitelezésére, de az operatőrnek még egyenként, lineáris sorrendben kellett exponálni a filmszalagra.

A digitális eszközökkel lehetőség nyílt az interpolált animációra, melynek során a megadott kulcsképek között a számítógép az emberi fázisrajzolásnál sokkal gyorsabban kiszámolja a köztes képeket, ennek ára viszont az alkotói teljes közvetlen irányítás elvesztése, illetve átalakulása: a digitális képalkotó módszerek nagy részében a művész egy általa elkészített vizuális elem, motívum mozgását paraméterek megadásával vezérli, nem közvetlenül képkockaként hozza létre. Ennek azért van jelentősége, mert animációs szempontból a művészi alkotásokra jellemző absztrakciós folyamat a mozgások átírása, redukciója, vagyis absztrakciója során jön létre.

Tehát a digitális megoldásoknak a gyorsabb kivitelezés és az addig nehezen vagy egyáltalán nem megvalósítható hatások – effektek – lehetősége mellett ára is van, a követlen művészi absztrakció eltűnése, illetve átalakulása. Az animációs művészek és szakemberek feladata e művészi absztrakció létrejöttének biztosítása, ami logikusan további irányítási pontok, beavatkozási lehetőségek beépítését jelentik az alkotói folyamatba.

A mozgáson kívül sok vizuális hatás gyorsan és könnyen létrehozható effektek használatával, itt viszont ugyanúgy, ha nem hatványozottan érvényes a művészi absztrakció szerepének kérdése. Az effektek egyedi kombinációjával és egyedi paraméterezésével érhető el olyan hatás, hogy az eredeti effekt kevésbé legyen felismerhető, így közhelyesen sematikus. Mivel egy előre elkészített képi hatást használunk, működésük algoritmusokon és az előre beállított paramétereken alapul, vagyis általános, statisztikai jellegű, így

¹⁸⁶ Időben egymás után lejátszott állóképek sorozata

¹⁸⁷ Mozgóképfőgép rögzítésére alkalmas kamera, mely a kamerától eltérő távolságban elhelyezett rajzokat mozgat eltérő sebességgel térmozgás hatását keltve. https://en.wikipedia.org/wiki/Multiplane_camera

megfelelő eredmény eléréséhez szükséges az emberi intuitív beavatkozás a paraméterek személyre szabásával vagy több effekt kreatív kombinálásával. Rendszeresen előfordul az effektanimációs és kompozitor gyakorlatban, hogy hiába egy-egy nagyszerűen kidolgozott és rengeteg állítható paraméterrel ellátott effekt vagy szimulációs eszköz, az adott jelenetben mégis manuálisan, nem generatív eszközök használatával érjük el a kívánt hatást. Különösen igaz ez nem tipikus, szerzői animációs produkcióknál, ahol szinte minden képkockának önálló műalkotásként is működnie kell. A *Ruben Brandt, a Gyűjtő*¹⁸⁸ egészestés animációs filmben például az egyik belső jelenetében a kinti hóesést nem lehetett szépen generatív eszközzel megoldani, a kameramozgás folyamatosan összeakadt a túl realisztikus hóesést produkáló szimulációval. Végül manuálisan egyben festett hópihé réteget mozgatunk egyszerűen lefelé, így értük el a stilizált grafikai világhoz passzoló mozgást.

A digitális animációs szakma régóta használ „intelligens”¹⁸⁹ eszközöket bizonyos munkafázisok felgyorsítására. Ilyenek a különböző konkrét részfeladatot ellátó eszközök, mint a mozgásokat lekövető *tracker*, részleteket élesen megőrző méretező eszköz (*detail-preserving upscale*), az eredeti felvételen a kijelölt tárgyakat automatikusan leválasztó *keying* eszközök vagy az újabb *content aware-fill*, mely úgy tüntet el tárgyakat az eredeti képről, hogy a kitöltést a környezet alapján generálja. Sok program vagy plugin immár AI¹⁹⁰ algoritmusokat használ, vagy legalábbis úgy hirdetik. Ezen értekezés írása idején a promóciós anyagokban igencsak összemosódik, mi számít AI eszköznek, mi nem. Mindenesetre elővigyázatosan kezelendők ezek az eszközök, de ez ugyanúgy igaz volt a korábbi még nem „AI powered” effektokra is. Ahogy a digitális képen különböző képjavító *gain*, *denoise*, *sharpen* filterek alkalmaztunk, a program értelemszerűen megpróbálta kiegészíteni a képet olyan információkkal, amiket eredetileg nem tartalmaztak. Ez sokszor eredményezett természetellenes hatást, például felerősödtek a digitális képi tömörítésre jellemző hibák (*artifacts*). Az AI eszközök a felmérétezést egyre jobban oldják meg, de még így is sokszor olyan plusz képi elemeket generál, amelyek természetellenesen hatnak az eredeti képhez képest, vagy amit egy emberi manuális festés másképp oldana meg. A kreatív absztrakció tekintetében tehát a gépi generatív eszköz

¹⁸⁸ Milorad Krstić: Ruben Brandt, a gyűjtő, 2018, <https://www.imdb.com/title/tt6241872/>

¹⁸⁹ (Manovich, Who is an Artist in AI Era? 2022)

¹⁹⁰ AI: artificial intelligence, mesterséges intelligencia

sokszor működése alapjául megadott algoritmus és paraméterek keretében sematikus eredményt szül, sokszor pedig hallucinál, nem létező, nem odaillő képi elemeket generál.

A gyakorlatban viszont ezek az ismétlődő és sematikus képalkotó megoldások jó alapot jelenthetnek az emberi intuitív átdolgozáshoz. Az ismétlődő, iteratív folyamatokat gyorsan végrehajtó, így komplex rendszereket pillanatok alatt felépítő és mozgatható képi világok és a komputer működésének komplexitásából adódó véletlenszerű, spontánnak tűnő kreatív ötletek az emberi intuitív kiválasztás és vizuális döntés és lényegre koncentráló szintetizálás következtében tud akár képző akár alkalmazott művészeti alkotássá válni.

Visszatérve a fejezet nyitó gondolatához, a komputergrafika és az animáció kapcsolatának fejlődése során a laikus jellemző vélemény szerint egyre gyorsabban és könnyebben lehet animációs filmet készíteni. Valójában minden eszköz, amely bizonyos munkafázisokat felgyorsít, más téren többletmunkát okoz, ha nem akarunk sematikus, középszerű eredményt kapni. Sajátos módon, akár a legmodernebb technikákat használva, egy egészestés film elkészítése hasonló ideig tarthat, mint hagyományos analóg technikákkal, ha fontos a kreatív, egyéni összehatás. Az paradigmaváltó eszközök új lehetőségeket teremtenek, de korábbi értékeket eltüntetnek, amiket idő és munka újra megtalálni.

A nap végén akár digitális animációs eszközök generálták az animációs filmet, akár kézzel rajzolták végig, az izgalmas kérdés az marad, hogy hol van benne a művészi absztrakció, ami az emberi kezdeményezés és döntés következtében jöhet létre.

5.2. Statisztika versus kreativitás

"Considering all these points, as Pope Francis observes, "the very use of the word 'intelligence'" in connection with AI "can prove misleading" and risks overlooking what is most precious in the human person. In light of this, AI should not be seen as an artificial form of human intelligence but as a product of it." ¹⁹¹

A jelenleg érvényes paradigma szerint az ember által létrehozott eszközök az ember által programozott, betanított tevékenységekre képesek. Amennyiben új képi tartalom létrehozására utasítunk egy komputergrafikai programot, akkor az előzőleg meghatározott minták, algoritmusok és az aktuális bemeneti értékek (változók) szerint végzi el a munkát. A minták és algoritmusok alapvetően sematikus kimeneteit a változók egyéni kombinálásával tudjuk testre szabni az adott produkció igénye szerint.

A szimuláció elvén működő generatív eszközök is így működnek, az általános algoritmus szerint születő vizuális rendszert befolyásolhatjuk a folyamat kezdetén megadott paraméterekkel, illetve a végrehajtás közben változó értékekkel is. Mind az alkalmazott animációs, mind a képzőművészeti alkotói folyamatban szükséges lehet a paraméterek művész általi felülbírálása, hogy a sablonos, átlagos, mondhatni statisztikai eredményt elkerülve létrejöjjön a kreatívnak tekinthető művészi hatás.

A korai mesterséges intelligencia rendszerek esztétikai értékelése egyszerű, klasszikus kompozíciós szabályokon alapult, melyeket a programozók határoztak meg az általuk feltételezett közízlés alapján. A gépi tanulás megjelenésével e rendszerek már nem előre beprogramozott szabályokkal dolgoznak, hanem hatalmas adathalmazokból (*Big Data*) tanulnak.¹⁹² Az egyre fejlettebb neurális hálózatok képesek absztrakt esztétikai mintázatok felismerésére. A rendszer figyel és címkézi az emberek esztétikai döntéseit és ezek alapján előre jelzi, mit találhatunk szépnek. Vagyis a mesterséges képalkotó folyamat statisztikai mintázatokon alapul, nem személyes élményeken, míg az emberi művészet alapja az egyéni élmény és interpretáció.

¹⁹¹ (ANTIQUA ET NOVA Note on the Relationship Between Artificial Intelligence and Human Intelligence 2025): „Mindezeket figyelembe véve, ahogy Ferenc pápa megjegyzi, „maga az »intelligencia« szó használata” a mesterséges intelligenciával kapcsolatban „félrevezetőnek bizonyulhat”, és azt kockáztatjuk, hogy figyelmen kívül hagyjuk azt, ami az emberi személyben a legértékesebb. Ennek fényében az AI-t nem az emberi intelligencia mesterséges formájának, hanem annak termékének kell tekinteni.”

¹⁹² (Arielli 2021)

Az emberi művészek alkotásaikat ok okozati összefüggésrendszerben hozzák létre, míg az algoritmus nem érti az általa létrehozott művek jelentését.¹⁹³ Erre szemléletes példa az az eset, amikor megkértem a DALL-E-t, hogy készítsen képet egy emberről, amint beugrik egy medencébe fametszet stílusban. A kép létrejön, rendben van a kompozíció, szépek a formakövető vonalak, egyetlen probléma, hogy a csobbanás is szerepel a képen, pedig az alak még a levegőben van, ugrás közben. A statisztika alapján minden stimmel, emberi alak, medence, víz, ugrás, csobbanás kipipálva, csak éppen a cselekmény sorrendiségét nem érti az algoritmus. A hibát sajnos kérésre sem tudta kijavítani, a csobbanás az összes további képen ott maradt. A további hibás képekről ráadásul mind azt állította, hogy nem lesz rajta csobbanás.¹⁹⁴

A gépi tanulás során a program mintákat, kapcsolatokat elemez, statisztikai és matematikai számításokat végez, de nem érti az összefüggéseket és nem képes önálló művészeti döntést hozni.¹⁹⁵ Hiába generál Picasso stílusú képet, nem érti, mit jelentett a kubizmus művészeti forradalma. Hiába ír Shakespeare stílusú verset, nem érti a költészet filozófiai összefüggéseit. Az AI segítségével látványos műveket lehet létrehozni, melyeket lehetetlen megkülönböztetni az eredeti művész stílusától, de nincs mögöttük valódi intenció vagy érzelmi összefüggés. Szimulálja az emberi kreativitást, de nem érti, mit csinál. A generatív mesterséges intelligencia működése a digitális média evolúciójának logikus folytatása. A számítógépes grafika alapvető jellemzője, hogy különálló algoritmusokat használ a valóság különböző aspektusainak – formák, anyagok, fények, mozgások – szimulálására, majd ezeket újra egyesíti a renderelés során. A kubizmus és konstruktivizmus alkotói módszerével párhuzamba állítható "szétválasztás és újraegyesítés" logikája alapján különböző művészi technikák és hatások kombinálhatók egyetlen képben. A generatív AI rendszerek ugyanezt a logikát követik, bár eltérő technikai megvalósítással. A neurális hálózatok különböző művészeti technikákat és stílusokat sajátítanak el a betanítás során, amelyeket a felhasználók később kombinálhatnak a kép létrehozó szöveges input megfogalmazásában (*prompt*).¹⁹⁶

¹⁹³ (Manovich, Who is an Artist in AI Era? 2022)

¹⁹⁴ Az AI kognitív folyamataival kapcsolatos filozófiai vonatkozások:
https://www.reddit.com/r/CosmicSkeptic/comments/1ivq2xd/why_cant_chatgpt_draw_a_full_glass_of_water/

¹⁹⁵ (Manovich, AI and Myths of Creativity 2022)

¹⁹⁶ (Manovich, Separate and Reassemble: Generative AI and Media History 2024)

Az eltérő tömörítési eljárás, melyet az emberi művészet és az AI alkalmaz az információ-feldolgozás és adatrögzítés során esztétikai következményeket okoz. Az ember alkotta műalkotások gyakran általános mintákat és egyedi részleteket ötvöznek. Ezzel szemben az AI által alkalmazott statisztikai „kompresszió” elhagyja az egyedi részleteket, mivel az algoritmusok csak a leggyakoribb mintázatokra fókuszálnak.¹⁹⁷ További esztétikai sajátosság, hogy az AI által generált képek gyakran ábrázolják korábbi képek tovább diffundált töredékeit.

Az AI rendszerek alapvetően statisztika alapú felismerési és adatrögzítési folyamatával szemben az emberi kreativitás nem csak adatfeldolgozás, hanem érzések, inspiráció és a kulturális kontextus is formálja. Az emberi művészek tudatosan döntenek arról, hogy mit és miért hoznak létre, hogyan értelmezik a valóságot. Az ókori freskóktól az impresszionizmusig a művészek a valóság egy adott aspektusát ábrázolták, míg a fényképezés feltalálása lehetővé tette a valóság rögzítését. Az animáció és a számítógépes grafika fejlődése újra forradalmasította a képkészítést, lehetővé vált nem létező tájak realisztikus rögzítése. E folyamat legújabb paradigmaváltó eszköze a vizuális AI, ami nem másolja a valóságot, hanem előrejelzéseket készít, a parancsra generált kép nem egy meglévő látvány rögzítése, hanem valószínűségszámítás eredménye.

A mesterséges intelligencia kutatói gyakran használják a „*predikció*” kifejezést a vizuális generatív technikákat leíró publikációikban.¹⁹⁸ Meghatározásuk szerint amikor egy szöveg-kép modell neurális hálózata emberi képek mintázatait tanulmányozza, és új mintázatokat generál, akkor nem másolja a valóságot, hanem megpróbálja megjósolni azokat a képeket, amelyek a legjobban megfelelnek a szöveges bemenetnek. Tehát előrejelzéseket készít. Így egy ilyen kép nem egy adott helyszín vagy tárgy másolata, hanem egy számított lehetőség, egy valószínűségi számítás eredménye. A „prediktív média” megnevezés jól érzékeltetheti a különbséget az emberi történelem során kifejlesztett reprezentációs módszerek és a mesterséges intelligenciával létrehozott vizuális médiaszintetizáló módszerek között.

¹⁹⁷ (Manovich, *Separate and Reassemble: Generative AI and Media History* 2024)

¹⁹⁸ (Manovich, *From Representation to Prediction: Theorizing the AI and Image* 2023)

5.3. Jóslatok

Folytatva az előző fejezetben említett „jósmédia” hasonlatot, anélkül, hogy bármilyen előrejelzésre vállalkoznánk, érdemes felidézni a teljesség igénye nélkül néhány gondolatot, hogyan látták a számítógéppel generált kép és a művészet eljövendő kapcsolatát a korabeli és kortárs szakmai szereplők és gondolkodók.

Noll 1967-es jóslata szerint a művészi élmények erősen individualisták lesznek, művész és nem művész is részese lehet. A mindennapokban egyre kevésbé lesz szükség technikai jártasságra az esztétikai élmények élvezetéhez. A komputer által biztosított interaktív esztétikai élmények kitölthetik a szabadidő jelentős részét. A művész alkotó szerepe megmarad, a vizuális környezet feltételeinek esztétikai kialakítása mellett személyes művészi interakcióit a számítógéppel rögzítheti és megoszthatja. A néző részleges beavatkozási lehetőséget kaphat, de az interaktív előadás általános menete továbbra is a művész tervét követi. A művész a résztvevők érzelmi állapotát is követni tudná és reagálhatna rá, létrehozva a pszichedelikus visszacsatolási hurkot. A korábbi médiumok természetesen nem fognak eltűnni, de mindenképp hatással lesz rájuk az interaktív számítógépes művészet. A tudományos problémákat feldolgozó és megoldó ember-gép kommunikáció fejlesztések a művészetek terén is igen gyümölcsözőnek bizonyulhatnak.¹⁹⁹

Jasia Reichardt az 1968-as *Cybernetic Serendipity* kiadványban Gábor Dénes²⁰⁰ gondolatait idézi, aki szerint a gépek egyszer talán felülmúlhatják az embert kreativitásban, bár jelenleg még hiányzik belőlük a képzelőerő, intuíció és érzelem.²⁰¹

Noll fenti jóslata szinte teljesen megvalósult, de Gábor Dénes a mesterséges intelligencia megvalósításának, sőt a szingularitás lehetőségének felvetésével egyidőben megfogalmazza a gépi intelligencia határait is.

Nagyot ugorva időben Lev Manovich 2022-ben²⁰² kritikusan vizsgálja a mesterséges intelligencia és a kreativitás kapcsolatáról kialakult társadalmi elképzeléseket. Rámutat, hogy a kreativitás fogalma átalakult tisztán művészeti kategóriából gazdasági értékké, és a 21. század egyik uralkodó paradigmájává vált. Jelenlegi művészetfelfogásunk történelmileg meghatározott, és ez korlátozza az AI kulturális lehetőségeinek megértését. A művészetről, művészekről és kreativitásról alkotott elképzeléseink idővel megváltoz-

¹⁹⁹ (Noll, *The digital computer as a creative medium* 1967)

²⁰⁰ Gábor Dénes 1900-1979

²⁰¹ (*Cybernetic Serendipity: the computer and the arts* 1968)

²⁰² (Manovich, *AI and Myths of Creativity* 2022)

nak, az AI és a művészetek közötti kapcsolat gyengülhet vagy akár el is tűnhet, mert a művészet és a kreativitás asszociációja, amelyet ma magától értetődőnek tekintünk viszonylag új találmányok. Megszabadulva a kreativitás romantikus mítoszaitól új utakat fedezhetünk fel az AI kulturális alkalmazásainak felfedezésére. Manovich szerint a mesterséges intelligencia közreműködésével készült képek új vizuális nyelvet teremthetnek, amely túllép az emberi látás és ábrázolás eddigi formáin, de esztétikai értéküket lehetetlen és nem is érdemes a kreativitás fogalmával párhuzamba állítani.²⁰³ Egy olyan világban, ahol az AI korlátlan lehetőségekkel rendelkezik az alkotói folyamatban is, az emberi művészet értéke éppen *korlátozottságában* rejlik – abban, hogy képes mélyen személyes és limitált perspektívából dolgozni.²⁰⁴ Manovich ajánlata szerint a szuperhumán generatív AI által kiterjesztett „szuperkreativitással” szemben, az emberi művészek egy szűk területen dolgozva, a limitált képalkotó eszközöket személyes perspektívából használva tudnak eredeti és autentikus művészetet alkotni.

Tehát a mesterséges intelligencia megjelenése által felvetett kérdések a mindennapi életben segítenek rávilágítani, vagy legalább elgondolkodni, hogy a pusztán látványosságon kívül mi teszi a művészetet művészetté, az embert emberré.

Végezetül érdemes itt idézni Ferenc pápa és a Vatikán integrált látásmódot közvetítő, és Manovics ajánlatával rokon állásfoglalását, az *Antiqua et Nova* útmutatóból.²⁰⁵

AI should be used only as a tool to complement human intelligence rather than replace its richness. Cultivating those aspects of human life that transcend computation is crucial for preserving “an authentic humanity” that “seems to dwell in the midst of our technological culture, almost unnoticed, like a mist seeping gently beneath a closed door.”

Pope Francis

²⁰³ (Manovich, AI and Myths of Creativity 2022)

²⁰⁴ (Manovich, Separate and Reassemble: Generative AI and Media History 2024)

²⁰⁵ (Dicastery For The Doctrine Of The Faith, Dicastery For Culture And Education 2025) A mesterséges intelligenciát csak eszközként szabad használni, hogy kiegészítse az emberi intelligenciát, nem pedig, hogy helyettesítse annak gazdagságát. Az emberi élet azon aspektusainak ápolása, amelyek túlmutatnak a számításokon, döntő fontosságú „a hiteles emberség” megőrzéséhez, amely „úgy tűnik, hogy technológiai kultúránk mélyén lakozik, szinte észrevétlenül, mint egy csukott ajtó alatt finoman beszivárgó köd”.

6. Összegzés

Doktori disszertációm témájához egy engem régóta foglalkoztató intuíció adta az alapötletet. A kutatás során szerencsére igen sok szálon fedeztem fel technikai, esztétikai és filozófiai kapcsolatot a sokszorosító grafikai nyomódúc előállításának folyamata és a generatív eszközökkel létrehozott struktúrák között.

Alapvetően a generatív gépi eszközök művészi felhasználásának létjogosultságát és értékét akartam definiálni. Ahogy kifejtettem az 1960-as évektől használják a művészek ezeket az eszközöket, de a gépi képalkotás és művészi absztrakció kapcsolata még mindig kérdéses, sőt a mesterséges képalkotó intelligenciák megjelenésével, a kérdés újra a figyelem középpontjába került.

Az értekezés során a generatív képalkotás és a részecskeszimulációk készítésének bemutatásával szándékoztam alátámasztani *első tézisem*. Bemutattam, hogy a művésznek mily széleskörű beavatkozási lehetőségei vannak a generálás folyamatába, bizonyítva, hogy a művészi absztrakció létrejöhet digitális, gépi képalkotás esetén is.

A számítógépes művészet kialakulása során a generatív, esetünkben a részecskeszimulációs eszközök sokszor nem csak technikai eszközként szolgáltak egy vágyott esztétikai tartalom létrehozására, hanem a működési folyamat vált a mű koncepciójává. Az inspiráció és az algoritmus megalkotása után a művész elindítja a művet és ettől a ponttól – sokszor a néző közreműködésével – a kiválasztó szerepet végzi, aki néha beavatkozik az algoritmus által megszabott folyamatba. Néhány így működő, korai és kortárs, ún. „részecske–” illetve „evolúciós művészet” jelzővel illelhető projekt ismertetésével támasztottam alá *második tézisem*. Az emergencia szintjeit vizsgálva látható, hogy a választó résztvevő így bekerül a művészeti forma diskurzusába, azonban soha nem lépi át a külső megfigyelés és a belső szerveződés közötti interfészt, így az ilyen műre még autonóm művészetként tekinthetünk.

Kutatásom során két megkerülhetetlen kérdésbe ütköztem: mikor minősíthető a létrejött nagyfokú automatizmussal generált forma és tartalom műalkotásnak, és mennyiben tekinthető a formát létrehozó és immár tartalmi koncepciót is biztosító gép társalkotónak, sőt alkotónak?

A nem klasszikus, nem lezárt szerkezetű művek elemzésében a *nyitott mű*, szűkebben a *mozgásban lévő mű* elmélete segített meghatározni a műalkotás létrejöttének feltételeit.

A személyes attitűd mellett, a jelentés egyértelműségével szemben az információérték és a jelentések eredeti gazdagsága hozza létre a művészi hatást. A műalkotás a művészi nóvummal és absztrakcióval nem rendelkező, redundáns jelentés és a rendezetlenségi maximumot elért zaj között helyezkedik el, a rendezettség minimum létrejöttének feltételével.

A számítógép által generált képek szerzőiségével kapcsolatos dilemmánál érintenem kell a mesterséges intelligencia, mint gépi képgeneráló eszköz szerepét és hatását. Bár a gépi tanulás hatalmas ütemű fejlődése tagadhatatlan és technikailag valószínűleg paradigmaváltó hatása lesz a művészetek területén is, de a művészetekben nehezen értelmezhető a fejlődés fogalma. Az eddig is gépi és generatív eszközöket használó művész szempontjából az MI nem más jelenleg, mint egy újabb kreatív eszköz, amennyiben tudja irányítani a művészi absztrakció létrehozásához. Az átlagfelhasználó és a kísérletező művész számára néha váratlan, ezért kreatívnak tűnő, de statisztikai mintázatokon alapuló működése felfejthető. *Harmadik tézisem* szerint emiatt jelenleg társalkotónak vagy főleg alkotónak nem nevezhető, hiszen nem saját szándékából hozza létre képet, a mű narratíváját, de sokszor a képi dramaturgiát sem érti, a létrejött műért felelősséget nem vállalhat.

A generált képek és a mesterséges képalkotó eszközök dilemmájának végén felsejlik, hogy az emberi elme és lélek több mint statisztikai adatok hatékony és látványos feldolgozása. A felvetett kérdések segítenek elgondolkodni, hogy mi teszi a művészetet művészetté, az embert emberré. A művészet fogalma pedig közmegegyezés szerint az ember által létrehozott alkotásokra vonatkozik, a természetben található jelenségeket nem nevezzük művészetnek. Innen nézve a művészet alanya, tárgya és létrehozója az ember, egy alkotásban számunkra az emberi gondolat érdekes, akármilyen életre kelt effektet, eszközt használ fel alkotás közben.

7. Mestermunka ismertetése

A mestermunka a doktori értekezés illusztrációjaként készült generatív animációs megoldások felhasználásával. A *Ketrec-reflexiók* című, 4×4 osztású mátrixban installált digitális mozgóképek három fő motívumot ábrázolnak. Az intellektuális mozgó tipográfia **idézetek**, az **emberi mozgás** animációi, valamint a poszthumán **természeti táj** generált grafikus metaforái az adott installáció elrendezésétől függően hozzák létre az aktuális **szöveg-kép-mozgás** szövetet. Az elrendezés nem narratív, hanem asszociatív. Az ismétlődő szekvenciák adatbázis logika mentén kerülnek egymás mellé.

A videótábló által felvetett tartalmi összefüggések középpontjában a generált képalkotás, az emberi gesztus digitalizációja, illetve a természeti táj átalakulásának vizualizációja áll.

A formai megoldások az értekezésben tárgyalt részecske effektek és szimulációk alkalmazásával jöttek létre. Kép- illetve tervezőgrafikus felfogású vizuális nyelvet használtam. A plakátszerű és grafikai nyomat jellegű tömör képi fogalmazás megőrzése határozott célom volt.

A mestermunka címe rejtetten a munkában is szereplő John Cage idézetre utal. Az értekezésben is idézett gondolat kiindulásként szolgált kutatásomhoz, így a mestermunka origójának is tekinthető.

A számítógépes technikával komponált, majd generált mozgóképeket digitális képkerekben prezentálok. A kis méretű táblakép formátum limitált méretű grafikus nyomatok kiállítási környezetével von párhuzamot. A képgrafikus struktúrákat a mozgó pixelek életre keltik, és úgy terjesztik ki időben, hogy narratív elbeszélés híján táblakép jellegüket megtartják. A mozgóképet bemutató táblaképek reprezentációjára szemléletes referencia a Fuse *Multiverse.echo* (52. ábra) verziója.

A videókat különböző elrendezésben lehet installálni. A tipográfia, az emberi test és a tájkép kompozíciók különböző elrendezései kiállításonként eltérő értelmezést és kontextust tesznek lehetővé. A modulárisan felépülő szerkezet miatt más elosztásban, sőt részletekben is prezentálható, akár nagyobb méretben, projektoron vagy monitoron vetíthető, ekkor a képgrafikus analógia elvész, helyére például a monumentálisabb VJ mapping felhasználás léphet.

Blender és Touchdesigner programokat használtam a szekvenciák létrehozásához.

A videóabló installációs terve:



55. Sipos L.: Ketrec reflexiók, videó-tabló, 2025

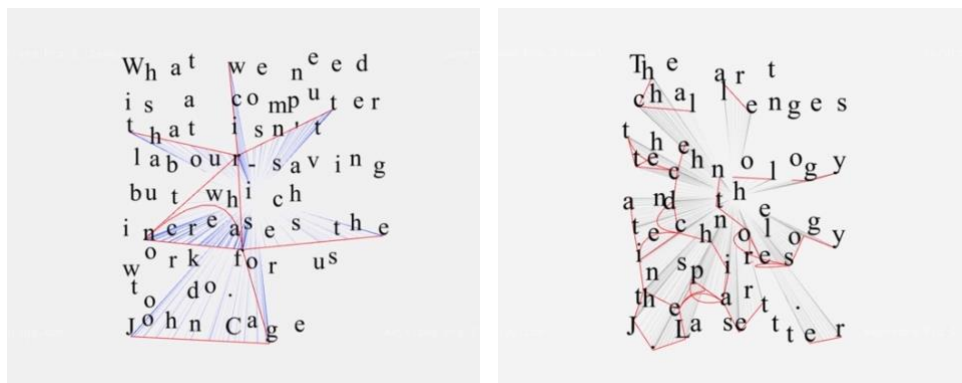
Az elkészült digitális szekvenciák itt nézhetők meg:

<https://vimeo.com/showcase/11711292>

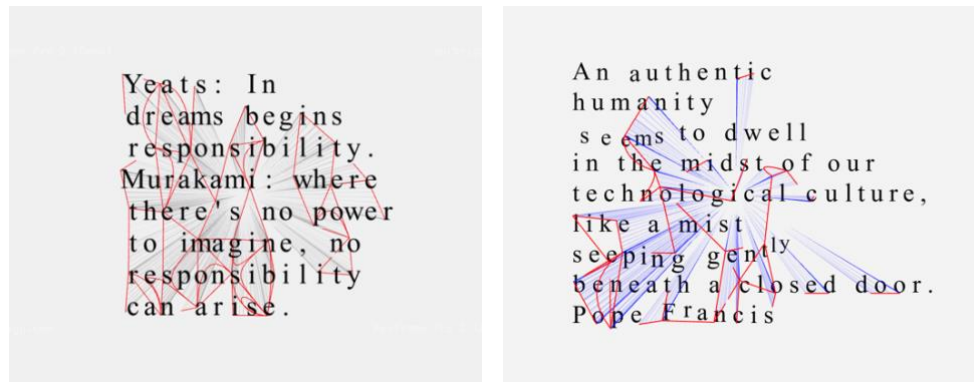
A többcsatornás animált képek önálló motívumai:

Tipográfia: Az értekezés téziseire és fontosabb gondolataira utaló idézeteket mozgó tipográfia mutatja be. A betűk mozgását noise (zaj) algoritmus paraméterei irányítják az idővonalon elhelyezkedő lejátszófej aktuális helyzetének függvényében. Az automatikusan generált mozgásformát manuálisan vezérelt interpolált animáció egészíti ki, illetve írja felül. Második réteggként a betűk bizonyos pontjait generált vonalhálózat köti össze. Az egyes betűk is önálló mozgással és kapcsolatokkal rendelkeznek. Ezek a kapcsolatok véletlenszerű generatív folyamatok eredményei.

A felhasznált idézetek, és az általuk felvázolt gondolati ív a következő:



- *What we need is a computer that isn't labour-saving but which increases the work for us to do. / Nem olyan számítógépre van szükségünk, amely megspórolja a munkát, hanem olyanra, amely inkább megsokszorozza a tennivalót.)* John Cage, 1966. Az értekezésben már idézett gondolat szerint a számítógép elsősorban az általa inspirált és megvalósítható kreatív ötletek miatt érdekes. E gondolat a sablonos, automatikus, és haszonelvű felhasználás kritikája, és alapvetően pozitívan áll a gépi képalkotás lehetőségeihez.
- *The art challenges the technology, and the technology inspires the art. / A művészet kihívást jelent a technológia számára, a technológia pedig inspirálja a művészetet.* John Lasetter, 2011. A sokat idézett techno-optimista gondolat napjaink vizuális kreatív iparának mozgatórugója. Ebben a relációban eredetileg a művészet az emberi kreativitás szinonimája, míg a technológia a gépi eszközöket és megoldásokat képviseli. Ez az egyensúly felborulni látszik, amikor a technológiai eszközök határoznak esztétikai megjelenésről, a művészeti és esztétikai érték statisztikai számítás eredménye lesz.



- *Yeats: In dreams begins responsibility. Murakami: ... where there's no power to imagine, no responsibility can arise. / Yeats: A felelősség az álmoknál kezdődik. Murakami: ahol nincs képzelőerő, ott nem jön létre felelősségérzet.* Yeats (1914) és Murakami (2022) gondolata eredetileg nem mesterséges képalkotó eszközökről szól, hanem embertelen történelmi személyiségekről, mégis az idézetek közé illő aktuális kérdést vet fel a tudat és lélek, illetve a felelősségvállalás kapcsolatáról. Az véleményem, hogy a gépi képalkotás és a mai mesterséges intelligenciának hívtak eszköznek két fontos hiányossága van, hogy valódi intelligencia és alkotótárs legyen: önálló akaratból kezdeményezés, és felelősségvállalás. Az álmok kapcsán pedig felmerül Philip K. Dick kérdése: Álmodnak-e az androidok elektronikus bárányokkal?
- *An authentic humanity seems to dwell in the midst of our technological culture like a mist seeping gently beneath a closed door. / Úgy tűnik, hogy technológiai kultúránk közepén rejtőzik a hiteles emberség (...), mint a csukott ajtó alatt finoman beszivárgó köd ...)* Pope Francis, 2015/2025. Ferenc pápa és a Vatikán több, nem elsősorban a hívő közösségnek, hanem egyetemes emberi hallgatóságnak publikált tanulmányában foglalkozik a mesterséges intelligencia kérdésével. Az idézett költői megállapítás, hasonlóan Lev Manovich az értekezésben is említett gondolatához, kiáll az emberi lélek és gondolat egyedi, megismételhetetlen, utánozhatatlan értéke mellett. Így a mestermunka gondolati íve körbeér.

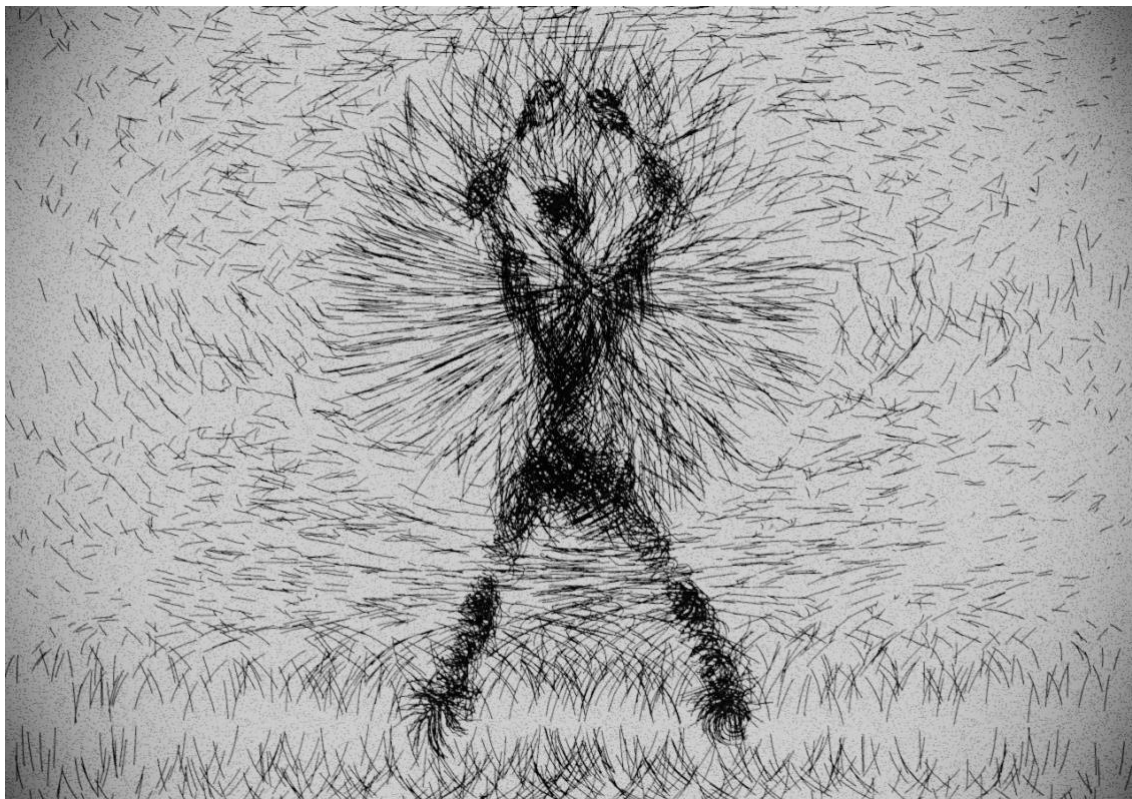
Mozdulatok: Képzeltbeli grafikus térben játszódó, ismétlődő emberi mozdulatok által elmesélt mikro jeleneteket mutatnak be a tablóvideók következő csoportja. Az értekezés és a mestermunka koncepciójának megfelelően a gépi képalkotással létrehozott struktúrákat digitalizált emberi gesztusok és manuálisan létrehozott animációs kulcsok mozdtítják meg. Bár a mozgás kiterjeszti a képgrafika kifejező eszközeit, a narratív történetmesélést elkerülve a jelenetek lényegüket tekintve állóképek maradnak. Fontosabb szerepet kap a mozgások és a különböző életre kelt grafikus elemek interakciója. Így az időben változó generált effekt a mű képi dramaturgiáját alakítja.

Az emberi alakot használó szekvenciákhoz technikai szempontból egyedileg felépített figurát fejlesztettem ki. A csontozott, mozgatásra kész karakternek egyszerre kellett alkalmasnak lenni a digitalizált mozgásminták fogadására, és a manuális karakteranimációra, majd ezek más programba történő exportálására. Ezen felül a csontváznak mozgatnia kellett a részecskerendszert, melyet a végleges renderelt animációban láthatunk. Ez az alapkarakter Blender programban lett felépítve, mely exportálható Touchdesigner programba. Ezt a két programot használtam a videók leképezésére.

A Blenderben generált jelenetekben a csontozás által irányított részecskerendszer különböző erőhatásoknak engedelmessé grafikus struktúrát hoz létre, mely egy hasonló technikával létrehozott generált „firkával” lép interakcióba. A Touchdesigner szoftverben szerkesztett szekvenciák esetében a pontfelhő és vonalhálózat alkotta táncoló és járó humán alakok véletlenszerű interakcióba lépnek a környezettel.

A figura mozgásmintái több forrásból származnak, a manuálisan létrehozott karakter animációk mellett *motion capture* technológiával rögzített mozdulatok szerkesztéséből és keveréséből születtek. A saját felvételeket NLA (non-linear animation) szerkesztéssel szabadon felhasználható mozgásmintákkal kevertem.

A nyolc digitális mozdulat animációból egy-egy állókép látható a következő oldalakon.



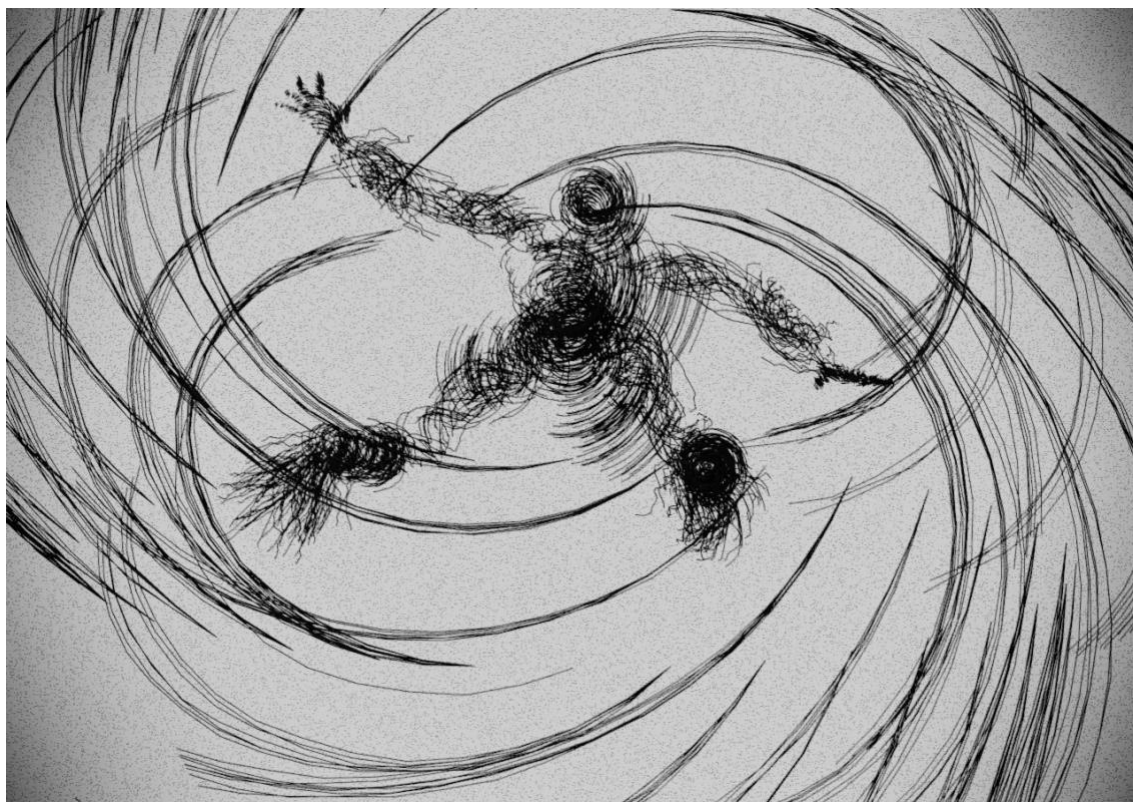
56. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Gyakorlat, 2025, pillanatkép



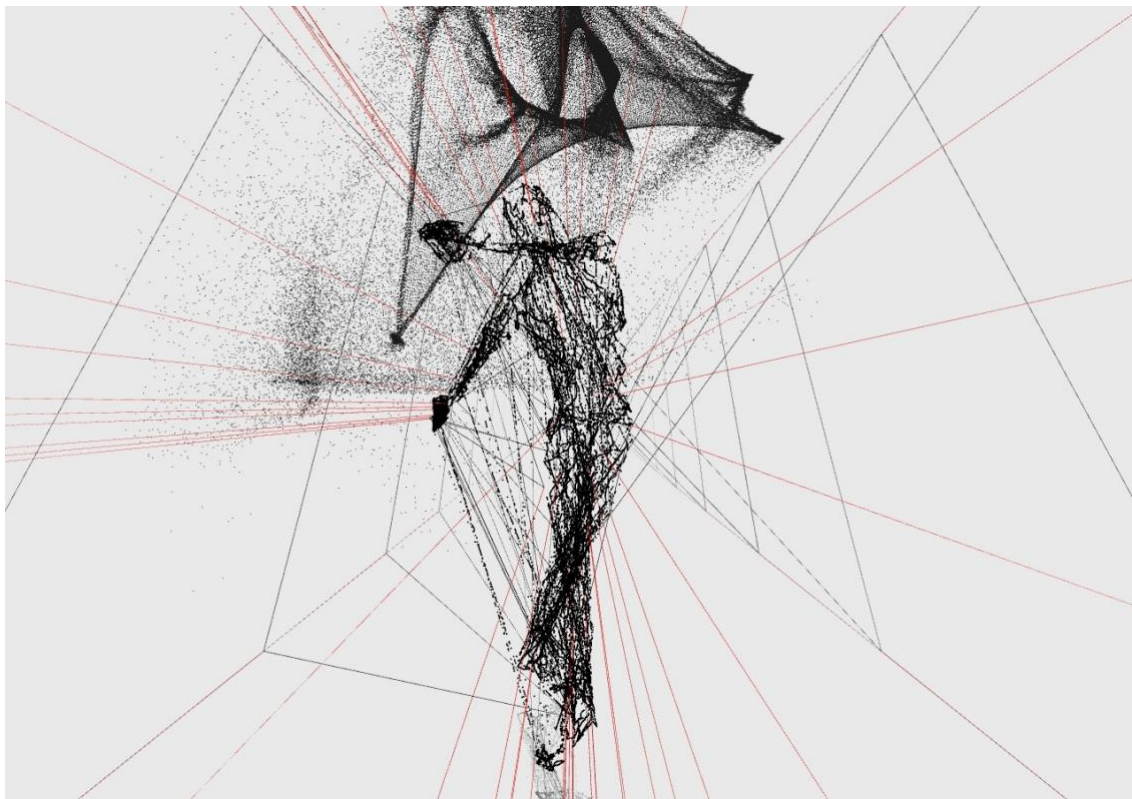
57. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Brék, 2025, pillanatkép



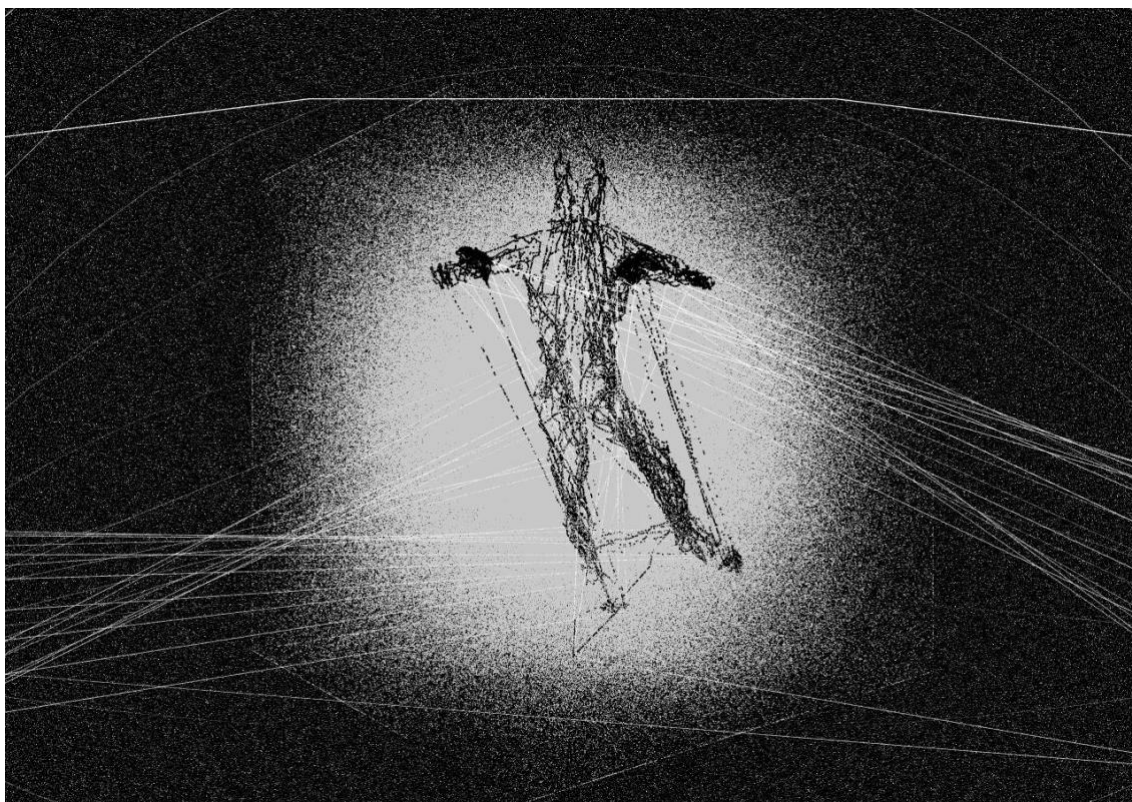
58. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Walking Dead, 2022, pillanatkép



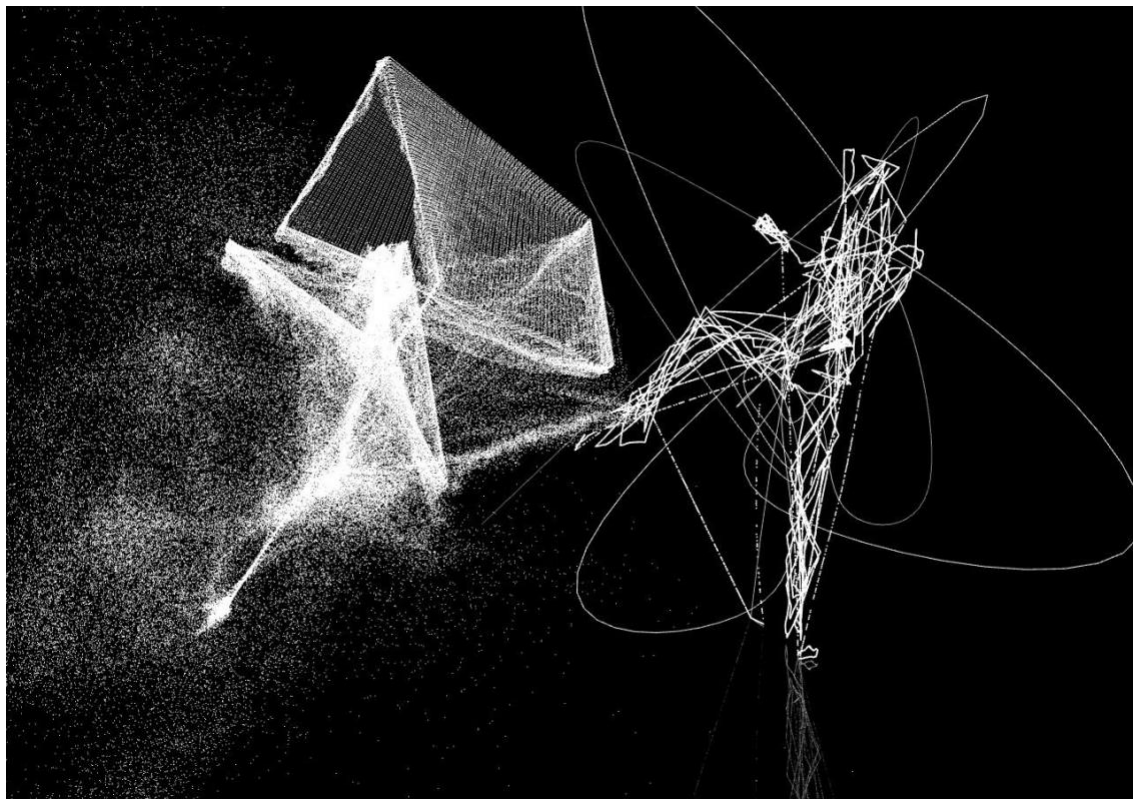
59. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Szabadesés, 2025, pillanatkép



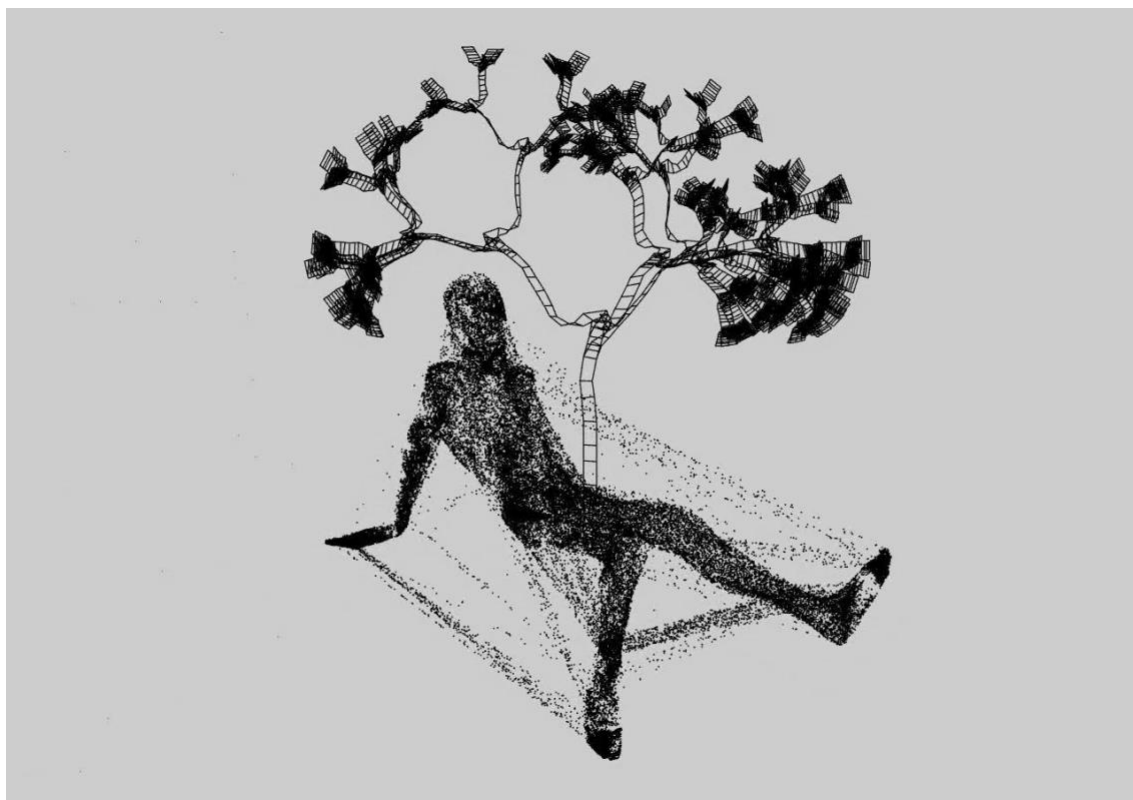
60. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Jazzlépés, 2025, pillanatkép



61. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Levitáció, 2025, pillanatkép

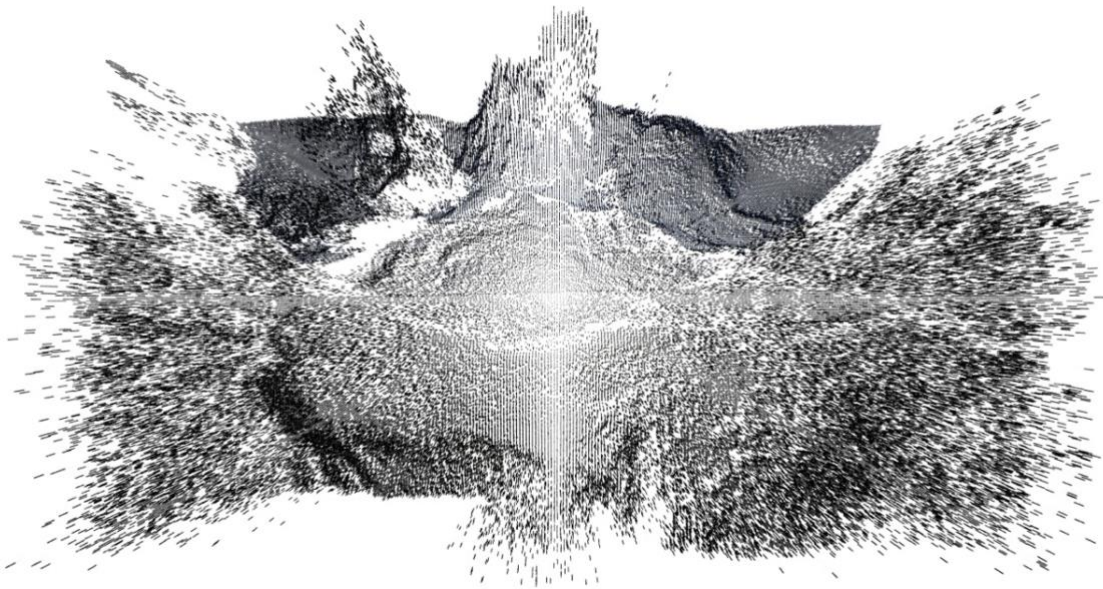


62. Sipos L.: *Ketrec reflexiók*, Pontera, 2025, pillanatkép



63. Sipos L.: *Ketrec reflexiók*, Evolúció, 2025, pillanatkép

Tájképek: A harmadik motívumban a monokróm pontok és vonalak alkotta poszthumán tájképek elemeikre bomlanak, majd újjáépülnek. Az általam bejárt tájakról készült fotográfia és mozgóképek rétegeket egyedileg szerkesztett algoritmusok térbeli pontokra bontják, és grafikus jellegű felületet képeznek. A térbeli pontokat zaj algoritmusok manipulálják, és ismétlődő animációkat hoznak létre. A mozgásokat manuálisan létrehozott animációs görbék korrigálják. A mozgó digitális grafikák egyes stádiumaiban az eredeti motívum kivehető, de az átalakulás során absztrakt, felismerhetetlen pontfelhővé alakul. A pontfelhővé alakulás rámutat, hogy a klímaváltozás hatásai miatt az addig megismertnek vélt természet újra kiszámíthatatlanná vált.²⁰⁶ Paradox módon épp a természet megismerését lehetővé tevő tudományos és ipari fejlődés következménye az entrópia növekedése.



64. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Großglockner/Winter resolution, 2024, pillanatkép

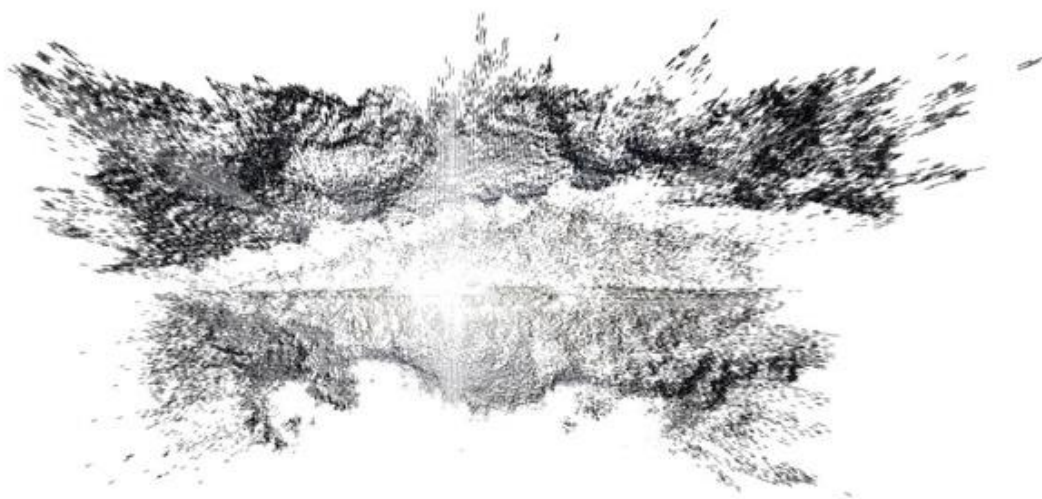
A Großglockner hegycsúcs közelében található Pasterze nevű gleccser drámaian zsugorodott a globális felmelegedés hatására. 1852 óta a térfogata kevesebb mint a felére csökkent.²⁰⁷ Utazásaim során jártam a gleccseren 1990-ben, majd 2024-ben is, személyesen tapasztalva a változást. Az utóbbi alkalommal készült fényképet használtam fel ehhez a széteső tájképhez. (27.ábra) A következő oldalon látható másik három helyszín az olasz Lendinuso tengerpartja, a Tiszapart Köteleknél, és az Egyesült Államokban található Joshua Tree nemzeti park sziklái.

²⁰⁶ (Élőhely - Természet és tájkonstrukciók – Katalógus 2025)

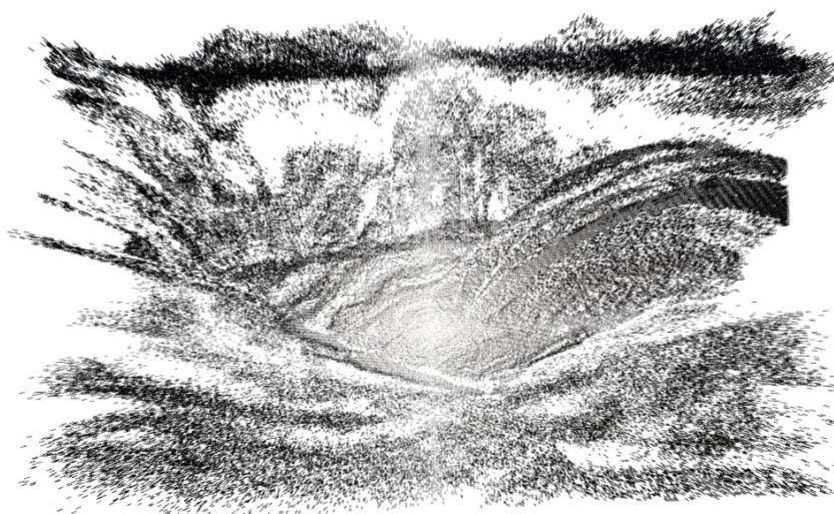
²⁰⁷ Klaus J. Bayr, Dorothy K. Hall: The Recessions of the Pasterze Glacier https://web.archive.org/web/20161108133410/http://www.easternsnow.org/proceedings/2009/bayr_hall.pdf, Pasterze Glacier, Austria - Earth Timelapse: <https://youtu.be/IdJCp-McJik?si=HKRkLdbgU2erxmMV>



65. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Lendinuso, 2025



66. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Tiszapart, 2025



67. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Joshua Tree, 2025

8. Irodalomjegyzék

- Dreher, Thomas. 2020. *History of Computer Art*. Morrisville: Lulu Press, Inc.
http://iasl.uni-muenchen.de/links/GCA_Indexe.html.
- Eco, Umberto. 1998. *A Nyitott mű*. Budapest: Európa kiadó.
- Szegedy-Maszák, Zoltán. 2007. „Experimentalizmus a médiaművészetben.” In *Művészet és kutatás*. Budapest: MKE.
- Noll, A. Michael. 1967. "The digital computer as a creative medium." *IEEE Spectrum*, October 10: 80–95.
- . 1994. "The Beginnings of Computer Art in the United States: A Memoir." *JSTOR*.
<https://www.jstor.org/stable/1575947>.
- Didi-Huberman, Georges. 2014. *Hasonlóság és érintkezés: A lenyomat archeológiája, anakronizmusa és modernsége*. Budapest: Budapesti Kommunikációs és Üzleti Főiskola.
- Krejča, Aleš. 1985. *A művészi grafika technikái*. Corvina.
- Reichardt, Jasia, ed. 1968. *Cybernetic Serendipity: the computer and the arts*. London: Published by Studio International, https://monoskop.org/Cybernetic_Serendipity.
- Zics, Brigitta. 2018. *The Transparent Act*. Budapest: C3 and Intermedia Department, Hungarian University of Fine Arts.
- Beke, László. 2007. „Konstruktőrök és fejlesztők a művészetben és a tudományban.” In *Művészet és kutatás*. Budapest: MKE.
- Hantos, Károly. 2007. „Kutatásmódszertani relációk a művészeti és tudományos tevékenységekben.” In *Művészet és kutatás*. Budapest: MKE.
- KisPál, Szabolcs. 2007. „Technodeterminizmus és művészi képzelet.” In *Művészet és kutatás*. Budapest: MKE.
- Youngblood, Gene, A. Michael Noll, és Cynthia Goodman. 1982. *SIGGRAPH '82 ART SHOW*. Boston, Massachusetts: ACM Siggraph, <https://archive.org/details/ETC0820>.

- Gascoigne, Bamber. 2004. *How to Identify Prints, A Complete Guide to Manual and Mechanical Processes from Woodcut to Ink Jet*. London: Thames & Hudson, 2nd edition (May 17, 2004).
- Labancz, István. 2020. „Textúra - Doktori értekezés.” *Ismétlődő képi struktúrák a „számítógépek korának” művészetében. Rajzolat és mintázat kapcsolata a videoművészetben és a virtuális térben*. Budapest: Magyar Képzőművészeti Egyetem, Doktori Iskola.
- Barabási, Albert-László. 2021. *Rejtett mintázatok - A hálózati gondolkodás nyelve - BarabásiLab*. Open Books.
- Williams, Richard. 2002. *The Animator's Survival Kit*. Faber & Faber; 2nd edition (January 7, 2002).
- Bartók, István, és Edit Beiber. 1993. *Mozgás - Az animáció tankönyve*. Budapest: Pannónia Film Vállalat.
- Cage, John. 1967. *A Year from Monday*. Middletown: Wesleyan University Press.
- Manovich, Lev. 2024. „Separate and Reassemble: Generative AI and Media History.” In *Artificial Aesthetics*. <https://manovich.net/content/04-projects/175-artificial-aesthetics/manovich-artificial-aesthetics-ch7.pdf>.
- Manovich, Lev. 2022. "Who is an Artist in AI Era?" In *Artificial Aesthetics*. https://manovich.net/content/04-projects/175-artificial-aesthetics/artificial_aesthetics.chapter_2.pdf.
- Manovich, Lev. 2022. „AI and Myths of Creativity.” In *Artificial Aesthetics*. https://manovich.net/content/04-projects/175-artificial-aesthetics/artificial_aesthetics.chapter_4.pdf.
- Manovich, Lev. 2023. “From Representation to Prediction: Theorizing the AI and Image.” In *Artificial Aesthetics: Generative AI, Art and Visual Media*, by Lev Manovich and Emanuele Arielli.
- Arielli, Emanuele. 2021. "Even an AI Could Do That." In *Artificial Aesthetics*. https://manovich.net/content/04-projects/175-artificial-aesthetics/artificial_aesthetics.chapter_1.pdf.

- Dicastery For The Doctrine Of The Faith, Dicastery For Culture And Education. 2025. „ANTIQUA ET NOVA Note on the Relationship Between Artificial Intelligence and Human Intelligence .” *vatican.va*. január 14. Hozzáférés dátuma: 2025. május 12.
https://www.vatican.va/roman_curia/congregations/cfaith/documents/rc_ddf_doc_20250128_antiqua-et-nova_en.html#.
- Jónás, Péter. 2016. „A „TÖBB és EGY” rétegződései, Doktori értekezés.” *A grafikai nyomhagyás, mint a közvetett képalkotói folyamat eleme, lehetőségei a kortárs képzőművészetben és a művészetpedagógiában*. Moholy-Nagy Művészeti Egyetem, Doktori Iskola.
- Grad-Gyenge, Anikó, és Adrienn Tímár. 2022. *Képzőművészet szerzői jogi lencsén át*. Budapest: MMA MMKI.
- Gombrich, Ernst H. 1987. *Művészet és fejlődés*. Budapest: Corvina.
- O'Doherty, Brian. 1986. *Inside The White Cube: The Ideology of the Gallery Space*. San Francisco: The Lapis Press.
- Zuh, Deodáth. 2023. „Felöltöztetett fény, Superluminal.” *Új Művészet* (11-12): 11. oldal.
- Manovich, Lev, and Emanuele Arielli. 2024. *Artificial Aesthetics: Generative AI, Art and Visual Media*. <https://manovich.net/index.php/projects/artificial-aesthetics>.
- Fehér, Dávid, Katalin Harangozó, Anna Zsófia Kovács, Sára Major, Márton Orosz, Zsolt Petrányi, és Linda Alexandra Tarr. 2025. *Élőhely - Természet és tájkonstrukciók – Katalógus*. Budapest: Szépművészeti Múzeum – Magyar Nemzeti Galéria.

További online források *(mind ellenőrizve: 2025.06.18.)*

<https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/e-e-2529E/effektus-2546F/>

<https://secure.boeingimages.com/archive/William-Fetter-s-Boeing-Man-2F3XC5YCZNC.html>

<https://www.katevassgalerie.com/print/p/herbert-w-franke-oscillogram>

<https://direct.mit.edu/books/monograph/4043/Peripheral-VisionBell-Labs-the-S-C-4020-and-the>

<http://noll.uscannenber.org/Art%20Papers/BTL%201962%20Memo.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=S9-HpQUJLIM>

<https://medium.com/the-link-art-blocks/ab-101-historical-figures-in-generative-art-frieder-nake-869a2d536607>

<https://vimeo.com/1084718160>

<https://youtu.be/M3cGdluGKNQ?feature=shared>

<https://garyhill.com/work/video/videograms.html>

<https://www.undet.com/point-cloud-basics/>

<https://www.templeton.org/news/what-is-emergence>

[https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

<https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x>

www.design-reuse.com/articles/53213/artificial-intelligence-and-machine-learning-based-image-processing.html

<https://www.red3d.com/cwr/boids/>

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Emergencia>

<https://docs.blender.org/manual/en/latest/physics/particles/introduction.html>

<https://www.adobe.com/creativecloud/video/discover/frame-rate.html>

<https://landingpage.tella.com/definition/high-frame-rate>

[https://www.metmuseum.org/art/collection/search/492174,](https://www.metmuseum.org/art/collection/search/492174)

<https://tba21.org/silent-mountain>

<https://www.hollywoodreporter.com/news/general-news/showeast-2012-major-exhibitors-sign-387289/>

<https://www.particlestudio.com/>

<https://www.maxon.net/en/cinema-4d/features/x-particles-integration>

<https://youtu.be/oatC-IyNVLQ?si=bq6btTHlZdv-jNCJ>

https://youtu.be/7sadS5wuOjU?si=OXelwGeMIaFP-0P_

<https://youtu.be/5QEp-oPaQto?si=3m7ck1Cj08jXgeAU>

<https://www.faa.hu/cikk.php?mid=59b067a86fed2208225705>

<https://www.faa.hu/prezentacio.php?mid=UHkZtdlAlH7RiS9jqfJpj9>

<https://bordos.eu/katastrofien-keskella/>

<https://bordos.eu/colorattack-2-0/>

<https://metropolis.org.hu/a-pikkely-pixeltol-a-kvantum-vegtelenig>

<https://youtu.be/VbP3VHRb15E?si=cfGKGTzb22IrnyZV>

<https://nofilmschool.com/foundation-adobe>

<https://youtu.be/WNOicJVUEZE?si=-odhv8P3unZRGREk>

<https://youtu.be/0QQfSkF86rI?si=K8SATVb17dlv2JWL>

<https://youtu.be/uRJ-fPAO3Go?si=Wa8X1pWze640G69i>

<https://fuseworks.it/>

<https://hun.lam.xyz/muveszek/fuse/>

<https://www.youtube.com/watch?v=xNrcgibLb6w>

<https://leesmolin.com>

<https://www.bonannidelriocatalog.com/portfolio-items/bdc27-multiverse/>

<https://www.seditionart.com/magazine/interview-with-fuse-making-meaning-and-the-multiverse>

<https://www.fuseworks.it/artwork/multiverse-dome>

<https://www.fuseworks.it/artwork/multiverse-echo>

<https://objkt.com/tokens/hicetnunc/39948>

<https://www.ludwigmuseum.hu/kiallitas/mentes-maskent-mi-marad-az-ujmedia-muveszetbol>

<https://open.spotify.com/episode/5Xs2L4Cy5PmaxJ5xQ9UpLm?si=XD5Pwd4MQbOMKOZvUYI-2A>

<https://fb.watch/yMINrHeYbR/>

<https://flow.movie>

[THE MIND CUPOLA, Affective Environment 2008](#)

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Turing-teszt>

https://en.wikipedia.org/wiki/Multiplane_camera

<https://www.imdb.com/title/tt6241872/>

https://www.reddit.com/r/CosmicSkeptic/comments/livq2xd/why_cant_chatgpt_draw_a_full_glass_of_wine/

https://web.archive.org/web/20161108133410/http://www.easternsnow.org/proceedings/2009/bayr_hall.pdf

<https://youtu.be/IdJCp-McJik?si=HKRkLdbgU2erxmMV>

9. Képek jegyzéke

1. Bryan Nash Gill: Ash, relief print from tree cut, 2003	13
2. Sipos L.: Time, (Gill parafrázis) generated digital animation, still 2014	13
3. A nyomtatás alapvető módjai: magas, mély és síknyomás (Gascoigne 2004)	15
4. Sipos L.: Varázsló, rézkarc, aquatinta, 1994	18
5. Sipos L.: Kis indián, rézkarc, direkt vakfolt 1994	18
6. Ján Lebiš: Űlő akt 1955, Igelovés (Krejča 1985)	19
7. Claude Mellan: Keresztelő János, 1629, Rézmetszet (Krejča 1985)	19
8. Blender hatching shader by Ocean Quigley, 2020	19
9. Blender engraving shader	19
10. Vonalas metszet, (Gascoigne 2004)	20
11. Aquatinta mintázatok (Gascoigne 2004)	21
12. Blender textúra algoritmusok: original/voronoif1/f2-f1/f2/crackle/cell-noise	22
13. Sipos L.: A nagy indián, kombinált technika, részlet, 1996	23
14. Laposky, Benjamin Francis: Oscillon Number Four, 1950	26
15. Franke, Herbert W.: Oscillograms, 1956	26
16. A. Michael Noll: Gaussian-Quadratic, 1963. Courtesy of the artist and Victoria and Albert Museum, London	28
17. A. Michael Noll, Ninety Parallel Sinusoids with Linearly Increasing Period, 1964. Courtesy of the artist and Victoria and Albert Museum, London	29
18. Bridget-Riley: Current, szintetikus polimer táblán, 1964, részlet	29
19. A. Michael Noll: Komputer kompozíció vonalakkal, 1964. Courtesy of the artist and Victoria and Albert Museum, London	29
20. Piet Mondrian: Kompozíció vonalakkal, 1917, Rijksmuseum Kröller-Müller, Otterloo	29

21. Frieder Nake Hommage à Paul Klee, 13/9/65 Nr.2	30
22. Paul Klee: Hauptweg und Nebenwege, Museum Ludwig, 1929	30
23. Georg Nees: Gravel (Schotter), 1968-70.....	31
24. Vera Molnar: Interruptions, 1969 Black and white plotter drawing	31
25. CTG Group: Shot Kennedy No. 1, 1967	32
26. CTG Group: Diffuse Kennedy, 1967	32
27. Sipos L.: Winter Resolution, 2024, Touchdesigner szekvencia.....	32
28. Hugh Riddle-Anthony Pritchett: Sidebands 1968	33
29. Nam June Paik: Magnet TV, 1965	33
30. John H. Whitney: Permutations, 1966	34
31. Gary Hill: Videograms, 1980-81.....	34
32. Star Trek II: Khan haragja, Genesis device, 1982.....	35
33. Dűne: Második rész, 2024.....	35
34. Touchdesigner noise node view as image	38
35. Touchdesigner noise node view as points	38
36. Charles Csuri and J. Shaffer: Random war, 1967 Plotter nyomat.....	50
37. Charles Csuri: Feeding Time, 1966. Plotter nyomat.....	50
38. Richard Dawkins: The Blind Watchmaker, 1986, examples of a model for the evolution game (Dawkins: Watchmaker 1986, p.70, fig.8)	51
39. William Latham: Horns, structure mutation with the software Mutator (Todd/Latham: Evolutionary Art 1992, p.99, fig.5.26).	51
40. Karl Sims: PArticle Dreams, 1988, screenshot	52
41. Draves, Scott: Electric Sheep, 1999.	52
42. Faa Balázs: IFS drawing UA09x, 2022.....	53
43. Faa Balázs: IFS drawing OS100, 2022	53

44. Faa Balázs: IFS Drawing MM15, 2022	53
45. Faa Balázs: IFS drawing MY21, 2022.....	53
46. Foundation: Főcímanimáció, AppleTV 2021	55
47. Foundation: Mural of Souls, AppleTV 2021	56
48. Foundation: Mural of Souls, mozgó pigment részecskék, részlet	56
49. Instagram particle art gallery, gyűjtés: _ryoji_ikeda, reinfected.me, fuse_works, claude_works, barbe_genrative_diary, tonichda, canvas51, polyhop, fuse_works	57
50. Fuse: Multiverse.unfolded, 2018, LAM 2023, https://lam.xyz/artists/fuse/	58
51. Fuse: Multiverse, 2018	59
52. Fuse: Multiverse.echo	59
53. Fuse: Multiverse.unfolded, LAM 2023, a szerző felvétele.....	60
54. Multiverse.unfolded, LAM 2023, a szerző felvétele	61
55. Sipos L.: Ketrec reflexiók, videó-tabló, 2025.....	89
56. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Gyakorlat, 2025, pillanatkép	93
57. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Brék, 2025, pillanatkép	93
58. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Walking Dead, 2022, pillanatkép	94
59. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Szabadesés, 2025, pillanatkép	94
60. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Jazzlépés, 2025, pillanatkép	95
61. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Levitáció, 2025, pillanatkép	95
62. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Pontera, 2025, pillanatkép	96
63. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Evolúció, 2025, pillanatkép.....	96
64. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Großglockner/Winter resolution, 2024, pillanatkép.....	97
65. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Lendinuso, 2025	98
66. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Tiszapart, 2025	98
67. Sipos L.: Ketrec reflexiók, Joshua Tree, 2025.....	98

