Kõrgem Kunstikool Pallas

Meedia- ja Reklaamidisaini osakond

Installatsioon “Juhuslikud osakesed”

Lõputöö

Lovisa Luka Hiiop

Juhendajad: prof Raivo Kelomees, PhD

Mart Männik

Tartu 2026

SISUKORD

MÕISTED 2
SISSEJUHATUS 6
1. JUHUSLIKKUS 8
1.1 Juhuslikkus filosoofias 8
1.2 Stohhastilised protsessid ja tõenäosus 9
1.3 Emergents 10
1.4 Juhuslikkuse visualiseerimine arvutigraafikas 11
2. INSTALLATSIOON 13
2.1 Kontseptsioon 13
2.2 Visuaali loomine 13
2.2.1 TouchDesigner 13
2.2.2 Teose kompositsioon 15
2.3 Tehniline lahendus 16
3. INTERAKTIIVNE KUNST AVALIKUS RUUMIS 18
KOKKUVÕTE 19
SUMMARY 21
KASUTATUD ALLIKAD 23
LISAD 25
Lisa 1. Installatsiooni fotomaterjal 25
Lisa 2. Installatsiooni videomaterjal 28

MÕISTED

Algoritm - täpne formaliseeritud eeskirjade kogum kindlat tüüpi ülesannete lahendamiseks, lahenduseeskiri. (EKI 2009)

ASCII - Ameerika Informatsioonivahetuse Standardkood. 128-tähemärgiline keelemärkide tabel, mis sisaldab inglisekeelseid tähemärke, numbreid, keelemärke ja klaviatuuri funktsioone. (Vikipeedia)

Dedutseerima - üldisest üksikut või erilist tuletama, üldise põhjal üksikjuhu kohta järeldama. (EKI 2009)

Determinism - õpetus kõigi sündmuste ja nähtuste objektiivsest põhjuslikust tingitusest filosoofias. (EKI 2009)

Diskreetne (füüsikas ja matemaatikas) - mittepidev, lõplike vahemikega eraldatud üksikväärtusi omav. (EKI 2009)

Emergents - lihtsate alaosade tekitatud isetekkeline keerulisem korrapära. (Vikipeedia)

Fraktal - enesesarnane kujund või nähtus, mille struktuur eri tasemetel või suurendusastmetel on sarnane tervikkujundiga. (Vikipeedia)

Genotüüp - organismi pärilikkustegurite kogum bioloogias. (EKI 2009)

GPU - graafikaprotsessor, 3D- ja 2D-graafika visualiseerimiseks ja kiirendamiseks kohandatud mikroprotsessor. (Vikipeedia)

Infrapunakiirgus - spektri punase otsa taha jääv, nähtava valgusega ning raadiolainetega piirnev kiirgus. (EKI 2009)

Instancing - geomeetria korduv kopeerimine arvutigraafikas. (Vikipeedia)

Interaktiivne - vastastikmõjuline, vastastikusel mõjul või suhtlusel põhinev. (EKI 2009)

Interpolatsioon - matemaatikas funktsiooni vahepealsete väärtuste leidmine tema antud väärtuste alusel. (EKI 2009)

Iseorganiseerumine - protsess, mille puhul algselt korrastamata süsteemi osade vahelistest lokaalsetest vastastikmõjudest tekib üldine kord. (Vikipeedia)

Kinect - Microsofti puldita välisseadmete komplekt (mängukonsoolide jaoks), mille abil kasutaja saab juhtimiseks ja suhtlemiseks kasutada kehaliigutusi, häält ning esemete ja piltide näitamist. (Vikipeedia)

Klinamen - aatomite ettearvamatu liikumine Epikurose õpetuses. (Vikipeedia)

Kvalitatiivne - omaduslik, kvaliteeti puutuv, sellega seostuv. (EKI 2009)

Kvantitatiivne - koguseline, hulgasse ja suurusesse puutuv, kvantiteediga seostuv. (EKI 2009)

Komposiitimine - erinevatest allikatest visuaalsete elementide üheks pildiks kombineerimine arvutigraafikas. (Vikipeedia)

Metafüüsika - filosoofia osa, mis püüab selgitada kogu olemise põhialuseid ning algupära ja reaalse kogemuse piire ületavaid probleeme. (EKI 2009)

Morfeerumine - sujuv üleminek ühest kujundist või pildist teiseks arvutigraafikas. (Vikipeedia)

Morfogenees - bioloogias organismi ning tema elundite (vormi)teke ning areng. (EKI 2009)

Multimeedia - kombineeritult korraga mitmes vormis (heli, teksti, graafika ja videona), enamasti interaktiivselt esitatud teave või teos. (EKI 2009)

Määramatuse printsiip - Werner Heisenbergi poolt 1927. aastal tõestatud tõsiasi kvantmehaanikas, et on olemas teatud osakeste füüsikaliste suuruste paarid, mis ei saa olla samaaegselt kuitahes täpselt määratud. (Vikipeedia)

Mürafunktsioon - juhusliku ja struktureerimata mustri loomiseks kasutatav matemaatiline eeskiri, mis seab suuruse x igale väärtusele vastavusse suuruse y kindla väärtuse. (Vikipeedia)

Parameeter - mingit nähtust, eset, seadet vm. iseloomustav suurus. (EKI 2009)

Reaktsiooni-difusiooni mudel - füüsikalistele nähtustele vastav matemaatiline mudel, mis kirjeldab ühe või mitme keemilise aine kontsentratsiooni muutust ruumis ja ajas. (Vikipeedia)

Primitiiv - lihtsaim geomeetriline vorm arvutigraafikas. (Vikipeedia)

Protseduuriline müra - koodipõhiselt matemaatiliste funktsioonide abil loodud müra arvutigraafikas. (Perlin 2010)

Pseudojuhuslik - võltsjuhuslik. (EKI 2009)

Simpleks - lihtsaim võimalik kujund dimensioonis. (Vikipeedia)

Simuleerima - matkima, imiteerima, jäljendavalt modelleerima. (EKI 2009)

Skript - käskude jada infotehnoloogias. (Vikipeedia)

Stohhastiline protsess - juhusest sõltuv, juhuslik protsess. (EKI 2009)

Sõlmepõhine programm - tarkvara või süsteem, kus loogika ja töövoog on üles ehitatud sõlmedest (ingl *nodes*) ja nendevahelistest ühendustest. (Devopedia 2020)

Sünaps – närvirakkudevaheline puutekoht, mille kaudu kandub erutus ühelt rakult teisele. (EKI 2009)

Tagasisideahel - süsteemi väljundi toime suunatakse sisendile. (Vikipeedia)

XML - standardne üldotstarbeline märgistuskeel, mille eesmärk on struktureeritud info jagamine infosüsteemide vahel. (Vikipeedia)

SISSEJUHATUS

Leibniz on öelnud: “Meie maailmas on võimalikult suurim kord ühendatud suurima võimaliku mitmekesisusega” (Saarinen 2007). Sellega võib nõustuda, vaadeldes tähelepanelikult ümbritsevat keskkonda. Inimene õpib ikka loodusest, kus kõik toimib justkui iseenesest ja igale probleemile leidub optimaalne lahendus. Enamasti saab need universaalsed tarkused taandada matemaatikale: kuidas ehitada tugevaid struktuure, kuidas mahutada väikesele pinnale võimalikult palju, kuidas jõuda kõige otsemat teed pidi ühest kohast teise. On ilmne, et kehtivad seadused, mida kõik olev järgib (vähemalt kui uskuda, et vihm sajab alla, mitte üles.)

Korrapärale vastandub kaos, juhuslikkus, mis teeb asja huvitavaks. See loob võimaluse millekski uueks ja ootamatuks. Elusolendite genotüübis toimuvad aeg-ajalt mutatsioonid, et positiivse muutuse korral saaks tekkida kasulik kohastumus (Johnson 2001). Antihaprus (raskuste kiuste arenemine ja paremaks muutumine) eraldab elusat ja orgaanilist, näiteks inimkeha, kõigest sellest, mis on inertne ja habras (Taleb 2013).

Juhused kujundavad meid skaalal, mida on raske hoomata. Alates sellest, millises geograafilises punktis me sünnime, kuni selleni, kelle kõrvale bussis istuma satume. Nendest tähelepanekutest ajendatuna tekkis minus soov juhuslikkuse teemat sügavamalt uurida ja läbi kunstiteose mõtestada. Idee realiseerus projektsioonipõhise interaktiivse installatsioonina Tartu linnaruumis. Juhuslikkuse aspekt ilmnes mitmel tasandil. Visuaali loomisel kasutasin matemaatilisi mürafunktsioone, installatsioon oli interaktiivne, sisu osaliselt reaalajas komponeeritud ning kohalolijate kombinatsioon ettearvamatu. “Millised on need punktid, kus üks üksik mälu võib leida hetkeks ühendusteed teiste mäludega (mis ei pruugi enam eksisteerida samas linnas või samas aegruumis), nii et linn, mis suudab olla vaid olevikuline, muutub korraga ajaliselt hajusamaks, minevik ja tulevik ei murdu enam teravnurga all, õhus virvendavad korraks kadunud inimesed, tunded, seosed ning tundmatuseni muutunud maastik nende ümber? (Kaus 2006)” Minu eesmärk oli luua just selline puutepunkt, hetk ajas, kus tunnetada kohalolu ja kogukonda.

Töö esimeses osas avan juhuslikkuse filosoofilist ja teaduslikku tausta ning annan ülevaate, kuidas seda arvutigraafikas simuleeritakse. Seejärel tutvustan oma tööprotsessi, alustades visuaali loomisest ja lõpetades installeerimisega. Viimaks panen teose konteksti kirjutades interaktiivsest kunstist avalikus ruumis.

1. JUHUSLIKKUS

1.1 Juhuslikkus filosoofias

Juhuslikkust võib võtta kui ettearvamatust, kuid kas see on vaid järjekordne takerdumine inimmõistuse piiridesse? Nagu on öelnud füüsik Harald Keres: “Juhuslikuks loeme nähtust, mida me ei oska ette näha, mis tuleb ootamatult, mis on ilma seesmise loogika ja seaduspärasuseta. Kuid see võib ju olla puhtinimlik kriteerium. (2009)” Protagorase ideede kohaselt on inimlik arusaamine vältimatult subjektiivne ja üldkehtiv teadmine võimatu. Spinoza seevastu uskus, et sügavam mõistmine on võimalik, kui näha juhuslikkuse taha ja tabada juhuslikkuse poolt varjatud paratamatust. (Saarinen 2007)

Kui vaadata filosoofia ajalukku, siis võib näha, et paljud suured mõtlejad kalduvad oma vaadetega determinismi. Aristoteles: “Kõigis on tendents liikuda oma liigi ideaalvormi suunas; olles tegelikud pürivad nad oma täiusliku vormi poole. Nii on iga olev pidevas käärimises võimalikust tegelikuks, iga isend vastavalt oma vormile. Kogu tegelikkust juhib hiiglaslik eesmärgipärasus.” Spinoza: “Maailm on deterministlik: kõigel on oma põhjus ja seletus - mitte miski ei toimu muul moel kui terviku kaudu ja suhtes tervikuga, terviku dikteeritud viisil.” Leibniz: “Iga isiksuse individuaalne mõiste sisaldab alatiseks kõik selle, mis temaga kunagi juhtub. Mitte miski ei juhtu, ilma et oleks võimalik põhjendada, miks see juhtus nii, nagu juhtus, ega mingil muul viisil.” (Saarinen 2007)

Siiski leidub neid, kes on püüdnud determinismi raamidest välja murda. Esimeste seas Vana-Kreeka filosoof Epikuros, kes mõtiskles aatomite liikumise üle ja võttis kasutusele mõiste *klinamen*, mis iseloomustab osakeste põrkumiseks vajalikku juhuslikkust (Prigogine 2023). Talle järgnesid Blaise Pascal, üks tõenäosusteooria rajajaid; Friedrich Nietzsche, kes deklareeris, et Jumal on surnud ja lõi kõikuma usu absoluutsest tõest; jt. (Oystein 2017; Saarinen 2007) 20. sajandil tõestas Werner Heisenberg määramatuse printsiibi kvantmehhaanikas ja teadusfilosoof Ilya Prigogine andis olulise panuse füüsikaseaduste ümbertõlgendamisse, tuues sisse tõenäosuse aspekti. (Hilgevoord 2016; Prigogine 2023) “Klassikaline teadus andis eesõiguse korrale ja stabiilsusele, kuid meie näeme kõigil vaatlustasandeil fluktuatsioonide ja

ebastabilsuse esmajärgulist rolli. Sündmusi tuleb kirjeldada võimalikkustena, selle asemel, et teha neist deterministlike seaduste dedutseeritavad ja ettenähtavad tagajärjed.” (Prigogine 2023) Ka prantsuse filosoofi Henri Bergsoni arvates on reaalsus dünaamiline ning pidevas muutumises: “Elu on suur jõud, mis alati säilitab oma vabaduse, püüab leida uusi väljendusi trotsides mateeriat. Ei ole kindlat eesmärki, impulss eksisteerib, kuid ei või teada, kuidas see realiseerub.” (Russell 1912)

Laiahaardelisemalt on juhuslikkust käsitlenud Ameerika teadlane ja filosoof Charles Sanders Peirce. Ta ei nõustunud vaadetega, mis ei jätnud ruumi uudsusele. Peirce uskus, et me elame universumis, kus tõenäosus ja statistika läbivad kõiki eluvaldkondi. Looduses manifesteeruvad tõeline potentsiaal, tõeline vabadus, tõeline loovus. Kosmoloogilisest seisukohast on universum juhuslikkusest alguse saanud evolutsiooniprotsessis, kus toimub areng järjest suurema korra poole. Ta uskus, et universumi heterogeensus ei saa tekkida puhtalt seadusest, vaid on absoluutse spontaanse juhuslikkuse väljendus. Peirce ainult ei kõrvuta juhust ja seadust, vaid näeb juhust esmasena. Seadus ilmneb juhuslikkusest (vt emergents ptk 1.3). Raamatus “Teaduslik metafüüsika” näitas ta, et puhtalt kvantitatiivsed mehaanilised seadused on seotud läbinisti kvantitatiivsete muutustega, mis ei anna võimalust kvalitatiivseks mitmekesisuseks. Seal, kus esineb mitmekesisus, peab valitsema juhuse ülemvõim. Kvalitatiivse mitmekesisuse eksistents universumis oli Peirce’i jaoks üks tähtsamaid argumente tunnistamaks juhuslikkuse fundamentaalsust maailmas. (Ratnikov 2025)

1.2 Stohhastilised protsessid ja tõenäosus

Kus iial on juttu juhusest, seal räägitakse ka tõenäosusest. Juhuslikkus on tõenäosuse pöördväärtus – mida suurem juhuslikkus, seda väiksem tõenäosus. (Keres 2009) Stohhastilised ehk juhuslikud protsessid on tõenäosusel põhinevad matemaatilised mudelid juhuslikkuse elementi sisaldavate süsteemide kirjeldamiseks. Sinna alla kuuluvad kõikvõimalikud nähtused mikro- ja makromaailmas. Näiteks turbulents, ilmastiku muutused, valkude transport rakkudes, närviimpulsi levimine, ajutalitlus, elusolend kui tervik, ökosüsteem, majandus, inimühiskond,

tehisintellekt, bioloogiliselt evolutsioneeruvad populatsioonid, mitmesugused sotsiaalsed süsteemid (nt rändlindude või kalade parved), aktsiaturud jne (Kalda 2005). Stohhastilised protsessid jagunevad diskreetseteks (nt Markovi ahel) ja pidevateks (nt Browni liikumine, mille abil saab simuleerida osakeste pidevat korrapäratut liikumist vedelikes ja gaasides). Erinevus seisneb selles, kas aega käsitletakse eraldiseisvate hetkede või katkematu kulgemisena. (GeeksforGeeks 2025) Juhuslikkuse matemaatiline esitamine võimaldab paremini mõista ja kirjeldada ümbritsevat maailma, teha ennustusi, hinnata riske, koostada statistikat ja luua simulatsioone nii teaduslikel kui kunstilistel eesmärkidel.

1.3 Emergents

Huvitav fenomen on juhuslikkusest iseorganiseerumise teel ilmnevad korrapärased struktuurid. Emergents on nähtus, kus madalamal tasemel seatud lihtne reegel loob organiseeritud keerukuse kõrgemal tasandil. (Johnson 2001) Termini võttis esmakordselt kasutusele 19. sajandi keskel inglise psühholoog ja filosoof George Henry Lewes. (Pearson 2011)

Klassikaline näide on sipelgakoloonia – kaootilisena näiv, kuid selgelt määratletud ja sidusa käitumisega organism, mida saab jälgida kahel erineval skaalal. Kui uurime sipelgaid eraldiseisvatena, näeme, et igal ühel neist on oma vajadused, mis määravad nende käitumise üksiku putukana. Kuid kui uurime koloonia kollektiivset käitumist, võib täheldada suuremat süsteemsust ja korda. Tähelepanuväärne on see, et ilmnev struktuur ei kujune mingi tsentraalse kavatsuse tulemusel, vaid on indiviidide kollektiivse omakasupüüdliku käitumisviisi kõrvalsaadus. Need lokaalsed toimingud, mis mikrotasandil näivad tähtsusetud, loovad keerulise ja kohanemisvõimelise struktuuri makrotasandil. (Pearson 2011)

Emergentsed süsteemid on imetlusväärselt vastupidavad. Osake üksi on liiga tähtsusetu, seega on tervikut raske mõjutada või rünnata. (Pearson 2011) Emergentseks võib pidada ka meie immuunsüsteemi. Teadmine, kuidas haigustekitajad ära tunda ja nendega toime tulla peitub rakkudes, mitte ajus. (Johnson 2001) Neuroteaduse valdkonnast pärineb teooria, et teadvus ise võib olla näide emergentsusest - makrotasandil tervik, mis moodustub meie närvisüsteemis

vallanduvate sünapside mikrointeraktsioonidest. Arusaam tervikust, mis on suurem kui selle osade summa, pärineb juba Aristoteleselt. (Pearson 2011)

Mustrite teket emergentsi teel on uurinud inglane Alan Turing, kes kirjutas 1952. aastal morfogeneesi teemal põhjapaneva artikli. Ta näitas, kuidas bioloogiline vorm võib tekkida lihtsate keemiliste reaktsioonide tulemusel. Tänapäeval on võimalik neid protsesse matemaatiliselt reaktsiooni-difusiooni mudeli abil simuleerida. (Johnson 2001)

1.4 Juhuslikkuse visualiseerimine arvutigraafikas

Arvutigraafikas läheb juhuslikkust vaja, et tekitada loomulikku variatsiooni. Looduses mehhaanilist korrapära ja ideaalset vormi ei leidu. Selleks, et jäljendada maastikku, erinevaid pinnatekstuure, pilvi, laineid jne, kasutatakse protseduurilist müra (ingl *procedural noise*). Peamiselt rakendatakse seda võtet 3D-keskkondade loomisel filmitööstuses ja arvutimängudes. (Perlin 2010)

Huvitav on see, et arvutigraafikas ei ole juhuslikkus nii juhuslik, kui võib paista. Kuigi näiteks fraktalitel on looduses potentsiaal lõputult jätkuda, saab seda elektroonikaga ainult simuleerida. Kui anda arvutile käsklus midagi lõpmatult korrata, jätkab ta tsüklit, kuni käsklus katkestatakse või arvuti välja lülitatakse. Kuna arvuti ei tule toime lõpmatuse mõistega, on protseduuriline müra pseudojuhuslik. See tähendab, et see põhineb deterministlikel algoritmidel. Sama algväärtuse (ingl *seed*) korral saadakse sama tulemus. (Pearson 2011)

Protseduurilise müra peamine eelis on see, et see võimaldab lisada keerulisi detaile, kasutades vähest mälumahtu ja tööjõudu. Protseduuriline tähendabki seda, et suurte infohulkade töötlemise asemel (nt pildi pikslite väärtuste analüüsimine) toimub protsess arvutis koodipõhiselt matemaatiliste funktsioonide abil. Samuti saab parameetreid muutes genereerida ühe müra baasil palju erinevaid mustreid. (Perlin 2010)

Erinevad mürafunktsioonid:

1. Gradientmüra (ingl *lattice gradient noise*) - sõrestiku juhuslike täisarvulise väärtusega punktide vahel interpoleeritakse (hinnatakse) vahepealsed väärtused. Siia alla kuuluvad näiteks Perlini müra ja simpleksmüra.

2. Väärtusmüra (ingl *explicit noise*) - müra väärtused on eelnevalt välja arvutatud ja talletatud. Siia alla kuulub näiteks anisotroopne müra.

3. Hõre konvolutsioonmüra (ingl *sparse convolution noise*) - leitakse juhuslikult paigutatud punktide mõjuväljade summa. Siia alla kuuluvad näiteks punktmüra ja Gabori müra. (Perlin 2010)

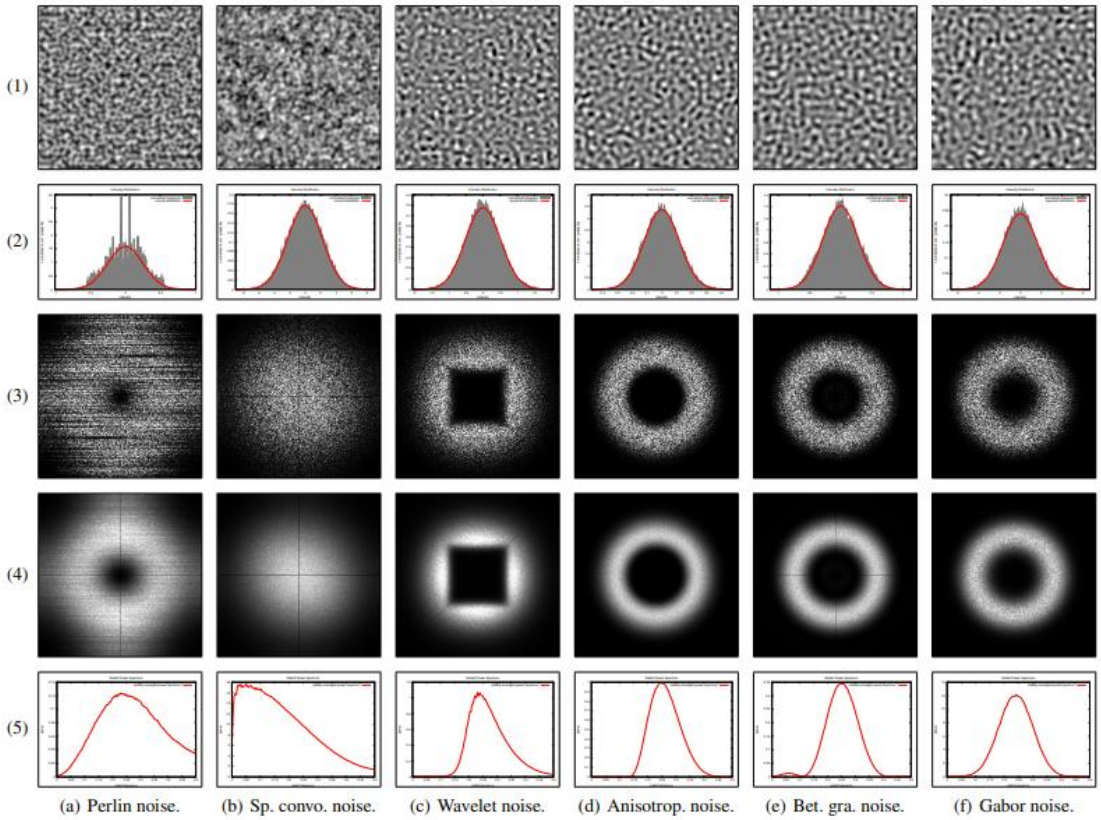


Figure 12: *Analysis of procedural noise functions. (a) Perlin noise. (b) Sparse convolution noise. (c) Wavelet noise. (d) Anisotropic noise. (e) Better gradient noise. (f) Gabor noise. (1) Noise. (2) Amplitude distribution. (3) Periodogram. (4) Power spectrum estimate. (5) Radially averaged power spectrum estimate. (Figure based on [LLDD09a], ©ACM, 2009.)*

Joonis 1. Erinevad mürafunktsioonid. ACM

2. INSTALLATSIOON

2.1 Kontseptsioon

Projektsioonipõhine interaktiivne linnaruumiinstallatsioon “Juhuslikud osakesed”. Teose sisu on tõdemus, et on ainukordne õnn, et just meie just siin ja praegu oleme. Inimesed, kes meid ümbritsevad, kohad, mis on meile armsad. Mis on see tõenäosus, et see kõik just nii on läinud? Sidemed, mida oleme elu jooksul loonud, kogemused, mida saanud – meid seob õhkõrn, kuid katkematu niit. Eesmärk on väärtustada kogukonda, tuues fookusesse inimsuhete ja reaalsete kohtumiste olulisuse.

Lauri Sommer on kirjutanud: “Põhjamaalane elab pärast pimedate, kylmade ja sompus päevade järel kerkivas valguses läbi mingi positiivse vapustuse. Teised inimesed, kes ka kergemalt käivad, on äkki rohkem sõprade moodi. … Meelekergus on seisund, kus maailm saab inimesele jälle tasapisi tähenduslikuks, vajalikuks, kõnekaks. … Ta lepib endaga, paneb oma isiku veidikeseks kõrvale ja vaatab maailmale pisut teisiti. … Inimosake, kes oma eluloo ja arvamuste kinnistavad markerid unustab, saab aimata tervikut.” (2008) “Linn on nagu üksikute läbipõimitud sõlmpunktide konstellatsioon” (Pae 2010).

Mind paeluvad eriti interaktiivsed ja ruumilised lahendused, sest usun, et kui teos pääseb ekraanilt füüsilisse maailma, loob see uue tasandi, kus inimene saab sellega sügavamalt suhestuda. Juhuslikkuse ja täiuslike kokkusattumuste ilu visualiseerimiseks kasutasin osakeste simuleerimise võtteid TouchDesigner programmis.

2.2 Visuaali loomine

2.2.1 TouchDesigner

TouchDesigner on sõlmepõhine (ingl *node-based*) arvutiprogramm, mis on mõeldud reaalaegse ja interaktiivse multimeedia genereerimiseks. Selle loojad on Greg Hermanovic, Rob Bairos ja Jarrett Smith, kes asutasid 2000. aastal tarkvaraettevõte Derivative. TouchDesigner põhineb

Houdini 4.1 lähtekoodil ja on selle edasiarendus reaalaegseks. Esimene põlvkond, versioonid 007–017, anti välja aastatel 2002–2007. Täiendatud TouchDesigner 077 beetaversioon uue kasutajaliidesega sai avalikkusele kättesaadavaks 2008. aastal. (Derivative 2026)

TouchDesigneri funktsionaalsused:

- interaktiivsete lahenduste loomine (sisendiks võivad olla liikumine, heli, video, sensorid, võrguandmed jne.)
- reaalajas töötlemine
- mitme seadme samaaegne kontrollimine (mitu ekraani, kõlarid, projektor, laser, Kinect jne.)
- dünaamilise graafika loomine
- heli visualiseerimine ja pildiga sünkroniseerimine
- 3D-stseenid ja animatsioon
- koodi kirjutamine (The node institute 2026)

TouchDesigneri projekt koosneb omavahel ühendatud sõlmedest ehk operaatoritest, mis moodustavad töövooahela. Sõlmed on jaotatud seitsmesse värvide alusel eristatavasse perekonda. Omavahel saab otse ühendada vaid sama perekonna operaatoreid, vastasel juhul tuleb informatsiooni viidata.

Operaatorite perekonnad:

COMPs – komponendid – objektikomponendid (3D-objektid), paneelikomponendid (2D-kasutajaliidese elemendid) ja muud komponenditüübid. Komponendid sisaldavad teisi operaatoreid.

TOPs – tekstuurioperaatorid – kõik 2D-pildiga seotud operatsioonid.

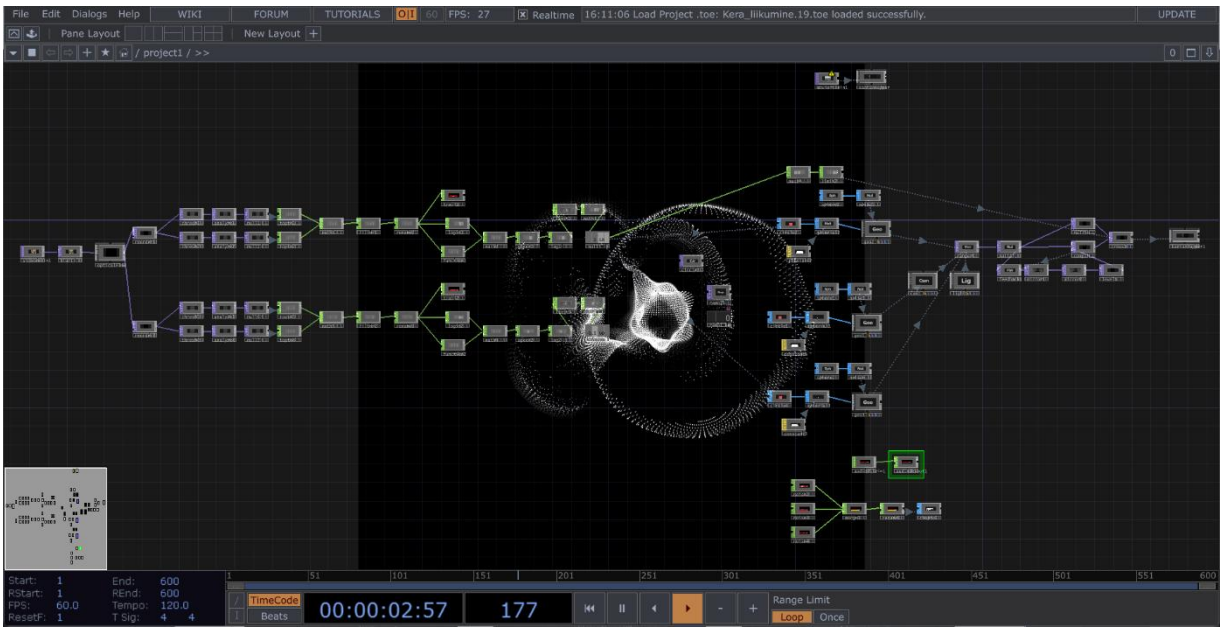
CHOPs – kanalioperaatorid – liikumine, heli, animatsioon ja juhtsignaalid.

POPs – punktioperaatorid – 3D-punktid, primitiivid, hulknurgad, punktipilved, osakesed ning GPU-põhised andmetöötlused.

DATs – andmeoperaatorid – ASCII tekst lihttekstina, skriptid, XMLi või tabelitena organiseeritud andmed.

MATs – materjalioperaatorid – materjalid ja varjutajad (ingl *shader*).

SOPs – pinnaoperaatorid – vanema põlvkonna 3D-punktid, hulknurgad ja muud 3D-primitiivid. (TouchDesigner by Derivative 2026)



Joonis 2. Näide töövooahelast TouchDesigner programmis, visuaal “Embryo”. Lovisa Luka Hiiop

2.2.2 Teose kompositsioon

Installatsiooni “Juhuslikud osakesed” visuaalne osa koosnes neljast erinevast TouchDesigneri projektist, mida sain jooksvalt vahetada ja mille parameetreid reaalajas muuta. Esteetiliselt

järgisin ühtset minimalistlikku joont, luues kompositsioone väikestest valgetest osakestest mustal taustal. Kohapeal tekkis mõjuv paralleel ümbritseva tähistaevaga.

“Geometry”

Kasutasin ajas morfeeruvat geomeetriat ja *instancing* tehnikat (igasse geomeetria punkti asetatakse teine geomeetriline objekt, minu näites pisike valge ruut). Juhuslikkuse tekitamiseks mõjutasin korrapärast struktuuri helilaine vibratsioonidega.

“Organic growth”

Kasutasin kahte omavahel komposiiditud 3D-simpleksmüra ja tagasisideahelat (ingl *feedback loop*), mille tulemusel ilmnesid orgaaniliselt kasvavad vormid. Osakesed lõin punktioperaatorite abil.

“Embryo”

Kasutasin jällegi *instancing* tehnikat, kuid seekord mõjutasin geomeetriat hõreda müraga (ingl *sparse noise*). Interaktiivse elemendina oli võimalik visuaali Kinecti ees liikudes suunata.

“Us here and now”

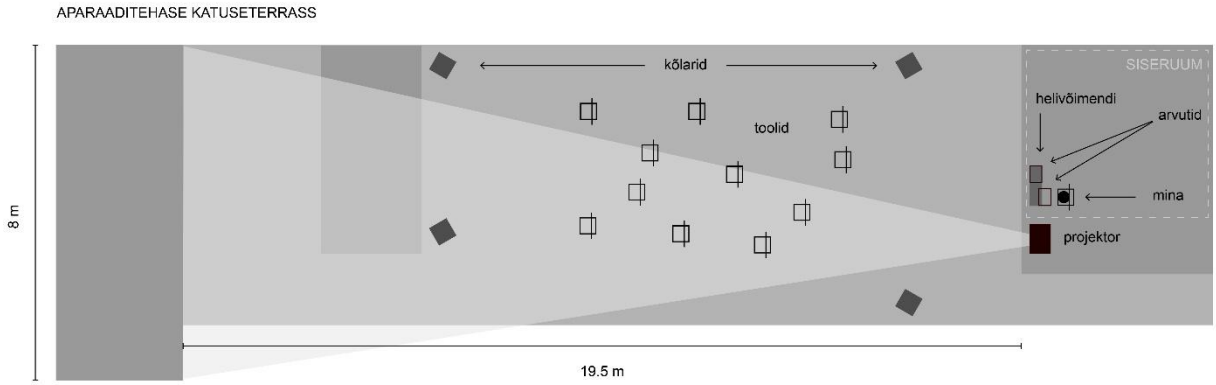
Kasutasin Kinecti infrapunafunktsiooni punktioperaatoritest pildi loomiseks. Kaamerast saadud informatsioon oli seinal projektsioonina nähtav. Vahel olid interakteeruja käed vms äratuntavad, kuid vahel mõjutasin abstraktsema tulemuse saavutamiseks visuaali simpleksmüraga.

2.3 Tehniline lahendus

Installatsiooni “Juhuslikud osakesed” sai näha 10. aprillil Galeriide öö raames Aparaaditehase katuseterrassil kell 21.00 – 23.00. Sündmusest on jäädvustatud pildi- ja videomaterjal (vt Lisad 1 ja 2). Katuselt käis läbi ligikaudu 150 inimest, kuid visuaal oli vaadeldav ka sisehoovist.

Pildi seinale projitseerimiseks asetasin 20 000-luumenise valgustugevusega projektori vastasoleva hooneosa katusele. Kasutasin Epson PU2220B 20k laserprojektorit, mille ühendasin vooluallika ja arvutiga, mille kaudu käis visuaali kontrollimine.

Teise arvutiga ühendasin helisüsteemi. Installatsiooni jaoks komponeeris muusika Tõnis Kristian Koppel. Ruumilise efekti saavutamiseks kasutasin heli iga nelja kanali jaoks eraldi kõlarit, mille paigutasin terrassi nurkadesse (vt joonis 3).



Joonis 3. Installatsiooni skeem. Lovisa Luka Hiiop

3. INTERAKTIIVNE KUNST AVALIKUS RUUMIS

Interaktiivse kunsti tuum on osaluspõhine tegevus ja tähenduse koosloome. Hästi läbimõeldud kunstiteos võimaldab luua samas kohas uudse ruumikogemuse ning selle kogejal keskkonnaga mitmekülgsemalt suhestuda. (He, Wu, Gyergyak, 2021) Kohaspetsiifilise liikuva graafika puhul mõjutavad teos ja ruum teineteist. Ruum oma eripäradega annab lisaväärtust, muutes tulemuse mõjuvamaks ja tähenduslikumaks. (Stone, Wahlin 2008) Installatsioon omakorda tugevdab inimeste ja keskkonna sidet. Kaasates inimesi ja tõstes nende huvi ümbritseva vastu, soodustab linnaruumikunst omavahelist koostööd ja suhtlust (He, Wu, Gyergyak, 2021).

Digitaliseerunud maailmas võib aina enam täheldada koosolemist ilma ühiskogemuseta, kus füüsiline lähedus eksisteerib kõrvuti emotsionaalse distantseeritusega. Sellega kaasneb sotsiaalse interaktsiooni harvenemine avalikus ruumis, mis täidab aina enam transiidifunktsiooni, samal ajal kui selle tähtsus kohtumispaigana väheneb. Interaktiivne installatsioon katkestab digitaalse isoleerituse ja suunab osaleja passiivse vaatleja positsioonilt aktiivse panustaja rolli. (Ma 2026)

Interaktiivsed lahendused kasutavad tehnoloogiat, et vabaneda fikseeritud narratiividest ja anda ruumi võimalikkusele (Sun 2025). “Indeterministlik kunstipraktika on suunatud juhusele, määratlematusele, avatusele, variantide paljususele, generatiivsusele, permutatiivsele. Algoritmilist, masinalikku ja indeterministlikku praktikat ühendavaks teguriks on teatavatest autorlikest, tahtega seotud, intensionaalsetest kavatsustest loobumine.” (Kelomees 2009) Teos sünnib tänu kollektiivsele kohalolule. Kogukond ei ole pelgalt indiviidide summa, vaid väärtus omaette. (Ma 2026)

KOKKUVÕTE

Juhuslikkus on väga lai ja sügav teema, mida oli huvitav uurida. Keskendusin seda tehes oma installatsiooni seisukohalt olulistele aspektidele.

Töö esimeses osas andsin teose sisu avamiseks ülevaate tähelepanuväärsetest mõttearendustest filosoofia ajaloos. Juhuslikkuse üle on mõtiskletud juba ammu enne mind ja püütud panna sõnadesse selle olemust ning kohta universumis. Inimese soov asju süvitsi mõista on viinud ratsionaalsete selgituste otsimiseni matemaatilisel teel. Tõenäosusteooria ja stohhastiliste protsesside abil saame juhuslikke sündmusi ette ennustada ja oma teadmistest kasu lõigata. Samuti puudutasin emergentsi fenomeni, mis selgitab iseenesliku korra tekkimist suurtes kaootilistes hulkades ja on tihedalt seotud mustrite ilmnemisega looduses. Töö praktilisest osast lähtuvalt näitasin, kuidas juhuslikkust arvutigraafikas mürafunktsioonide abil visualiseeritakse.

Teises osas avasin põhjalikumalt installatsiooni kontseptsiooni. Seejärel tutvustasin põgusalt programmi TouchDesigner tööpõhimõtteid. Andsin ülevaate valminud teose kompositsioonist ja seostest juhuslikkusega ning kirjeldasin tehnilist lahendust 10. aprillil toimunud üritusel Aparaaditehase katuseterrassil Tartus. Lõpetuseks selgitasin, kuidas interaktiivne kunst avalikus kohas mitmekesistab linnaruumi ning tugevdab kohalikku kogukonda.

Leidsin seda tööd kirjutades palju inspireerivat kirjanduslikku materjali ja avardasin teemakohaseid teadmisi. Tulevikus tahaksin veel põhjalikumalt uurida emergentsi ilminguid, see on midagi, mis mind oma universaalsusega paelub. Olen väga tänulik Aparaaditehase kultuuriplatvormile, et sain võimaluse praktilise osa sellisel skaalal teostada. See oli hindamatu kogemus, mille käigus arendasin organisatoorseid oskuseid, tehnilisi teadmisi, õppisin oma ideed sõnastama ja teistele arusaadavaks tegema, projekti eelarvestama, läbirääkimisi pidama, üritust sotsiaalmeedias reklaamima ja julgelt mõtlema.

Mul on hea meel, et nii tagasisideküsitluse kui isiklike pöördumiste põhjal läks installatsioon inimestele korda ja puudutas nii mõndagi sügavamal tasandil. Tundsin tänulikkust

iga kohalolu üle ja rõõmu, et mind ümbritseb nii tugev ja kandev võrgustik. “Mind painas kiusatus kõneleda linnadest läbi kohtumiste ja hetkede; nendest õrnadest ja õnnelikest linnadest, mis kehastuvad meie peas ja ületavad igasugused aja ja ruumireeglid.” (Pae 2010) Tartu jääb ikka südamesse.

SUMMARY

This thesis discusses the topic of randomness in the context of interactive projection-based installation in public space. The artwork stems from a feeling of appreciation. The people that surround us, the places we hold close to our hearts – what is the probability of everything turning out this way? The aim is to value community by bringing the importance of human relationships and real encounters into focus.

In the theoretical part, I delve more deeply into the theme of randomness. Firstly, I bring out some of the ideas of great philosophers, focusing on those who thought outside the box of determinism. Secondly, I explain what kind of mathematical mechanisms have been invented to rationalize randomness. Probability and stochastic processes are used to predict uncertain events and model complicated systems such as turbulence, changes of weather, brain functions, living organisms, ecosystem, economy, society, the evolution of populations, stock market, and so on. Thirdly, I introduce the phenomenon of emergence – order appearing in big chaotic collectives through self-organization. The classic example is an ant colony, but the same principles can be observed when looking at cities and other natural occurrences. It is also tightly related to pattern formation, a concept studied and further developed by Alan Turing in the 1950s. Lastly, I show how randomness is generated in computer graphics using deterministic noise functions.

In the practical part, I start by explaining the concept of the installation. This is followed by an overview of the basic functionalities and working principles of TouchDesigner, the program I used for creating the visuals. After that, I describe the composition of the artwork. Each of the four segments has an element of randomness in it, either through the application of noise functions, sound vibrations, or interactivity. Moreover, the visual was partly generated and controlled in real time. Lastly, I give the details about the technical setup of the installation. It was shown on the rooftop of Aparaaditehas on the 10th of April 2026 from 21.00 - 23.00. For the projection, a 20 000-lumen Epson PU2220B 20k laser projector was used, and for the spatial sound composed by Tõnis Kristian Koppel, four speakers (one for each channel) were placed in the corners of the terrace.

The thesis concludes with a chapter about the importance of interactive art in public space. It highlights how this type of intervention connects people more deeply with their surrounding environment and strengthens the sense of community by guiding participants from passive observation toward active cooperation.

KASUTATUD ALLIKAD

Derivative. (2026). *About derivative*. https://derivative.ca/about-derivative (vaadatud 16.04.2026).

Devopedia. (2020). *Dataflow programming*. https://devopedia.org/dataflow-programming?utm_source=chatgpt.com (vaadatud 30.04.2026).

EKI. (2009). *Eesti keele seletav sõnaraamat*. https://arhiiv.eki.ee/dict/ekss/ (vaadatud 30.04.2026).

He, H. Wu, M. Gyergyak, J. (2021). *Intervention and renewal − Interpretation of installation art in urban public space*. Akadémiai Kiadó. https://akjournals.com/view/journals/606/16/3/article-p139.xml

Hilgevoord, J. (2016). *The Uncertainty Principle*. https://plato.stanford.edu/entries/qt-uncertainty/

Johnson, S. (2001). *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software*. New York: Scribner.

Kaus, J. (2006). Linn ja mälu. - *Joint Space*. Tallinn: Positium.

Kelomees, R. (2009). *Loomemasinad ja indeterministlik kunstipraktika*. https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:104120/162201/page/9

Ma, J. (2026). *Reconstructing The Campfire in The Digital Age: An Empirical Study of Collective Interactive Fields in Public Interactive Installations*. https://www.researchgate.net/publication/403311535_Reconstructing_The_Campfire_in_The_Digital_Age_An_Empirical_Study_of_Collective_Interactive_Fields_in_Public_Interactive_Installations

Oystein, O. (2017). *Pascal and the Invention of Probability Theory*. https://www.ms.uky.edu/~dmu228/ma320/pascal_invention_probability.pdf

Pae, K. (2010). Linnad meie peas. - Tomberg, J. (toim.), *Linnaruumi arhitektoonika: vihik*. Tartu: Bookmill.

Pearson, M. (2011). *Generative Art: A Practical Guide Using Processing*. New York: Manning.

Perlin, K. Lagae, A. Lefebvre, S. Cook, R. DeRose, T. Drettakis, G. Ebert, D. Lewis, J. Zwicker, M. (2010). *A Survey of Procedural Noise Functions*. https://www.cs.umd.edu/~zwicker/publications/SurveyProceduralNoise-CGF10.pdf

Prigogine, I. (2023). *Tõsikindluse lõpp: aeg, kaos ja uued loodusseadused*. Tallinn: Postimees Kirjastus.

Ratnikov, V. (2025). *Carles Sanders Peirce and the place of chaos in the new world order*.

file:///C:/Users/Lovisa/Downloads/Charles_Sanders_Peirce_and_the_Plac.pdf

Russell, B. (1912). *The philosophy of Bergson. The Monist*. http://www.jstor.org/stable/27900381

Saarinen, E. (2007). *Filosoofia ajalugu tipult tipule*. Tallinn: Avita.

Sommer, L. (2008). Märkmeid teadvusemuutustest. - Tomberg, J. (toim.), *Võimalikud maailmad: vihik*. Tartu: Bookmill.

Stone, R. B., & Wahlin, L. (2018). *The Theory and Practice of Motion Design: Critical Perspectives and Professional Practice*. New York: Routledge.

Sun, Y. (2025). *Narrative Possibilities and Spatial Construction in Interactive Installation Art*. https://www.researchgate.net/publication/404371454_Narrative_Possibilities_and_Spatial_Construction_in_Interactive_Installation_Art

Taleb, N. (2013). *Antihabras*. Tallinn: EKSA.

The node institute. (2026). *Introduction to Visual Programming with TouchDesigner*. https://thenodeinstitute.org/courses/introduction-to-visual-programming-with-touchdesigner/ (16.04.2026).

TouchDesigner by Derivative. (2026). *Operators*. https://docs.derivative.ca/ (vaadatud 16.04.2026).

Vikipeedia. https://et.wikipedia.org/ (vaadatud 30.04.2026).

Joonis 1

https://www.cs.umd.edu/~zwicker/publications/SurveyProceduralNoise-CGF10.pdf

LISAD

Lisa 1. Installatsiooni fotomaterjal



Foto: Katariina Torm



Foto: Katariina Torm

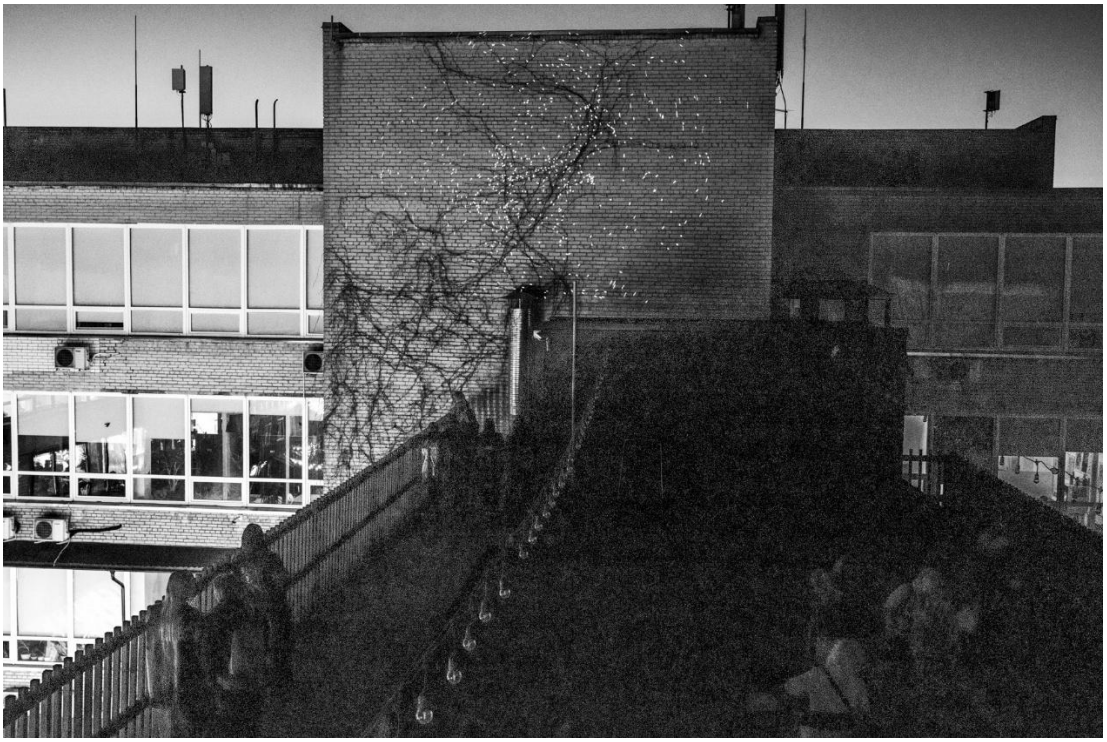


Foto: Katariina Torm

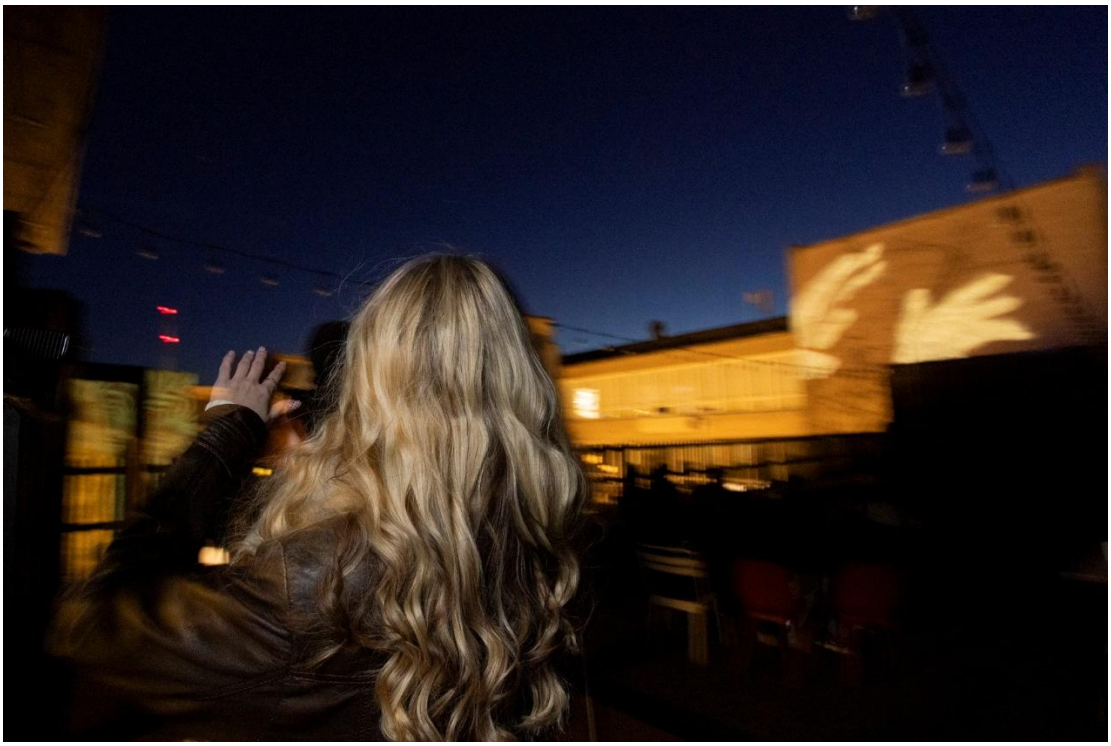


Foto: Katariina Torm



Foto: Mana Kaasik



Foto: Arvo Säilev

Lisa 2. Installatsiooni videomaterjal

https://youtu.be/BHFpKpmJhgc