

TARTU ÜLIKOOLI VILJANDI KULTUURIAKADEEMIA

Kunstide ja tehnoloogia õpetaja õppekava MA

Triinu Roosvalt

**3D printimise kasutuselevõttu toetavad õppematerjalid üldhariduskooli
tehnoloogiaõpetuse II ja III kooliastmes**

Magistritöö

Juhendaja: PhD Mart Soobik

Viljandi 2026

RESÜMEE

Magistritöö eesmärk oli koostada põhikooli tehnoloogiaõpetuse II ja III kooliastmele õppekavaga kooskõlas olevad 3D printimise õppematerjalid ning uurida nende rakendatavust koolipraktikas, et toetada tehnoloogiaõpetuse õpetajaid 3D printimise süsteemsel ja eesmärgipärasel õpetamisel. Praktilise suunitlusega arendusuuringus kasutati arendusprotsessi kirjeldava raamistikuna ADDIE mudelit. Andmeallikateks olid uurijapäevik, õppematerjalide osaline katsetamine töö autori poolt tehnoloogiaõpetuse tundides ning kolme ekspertõpetaja tagasiside. Töö tulemusena valmisid II ja III kooliastmele kolme paaristunni tunnikavad, tunnislaudid, videojuhised ja õpetajat toetavad lisamaterjalid. Tulemused näitavad, et 3D printimise õppematerjalide rakendatavust toetavad ajakohased ja ülesandepõhised juhised, hästi korraldatud failide haldamine ja printimise töökorraldus ning õpetajale suunatud tehniline ja metoodiline tugi. Samuti ilmnes, et materjalide edukas kasutamine sõltub kooli tehnilisest taristust ja töökorraldusest.

Märksõnad: 3D printimine, tehnoloogiaõpetus, disainmõtlemine, disainiprotsess, õppematerjalid

ABSTRACT

The aim of this master's thesis was to develop curriculum-aligned 3D printing instructional materials for the second and third stages of basic school technology education and to investigate their applicability in school practice, in order to support technology education teachers in the systematic and purposeful teaching of 3D printing. The study was conducted as a practice-oriented development study, using the ADDIE model as a framework for describing the development process. The data sources included a research diary, partial testing of the instructional materials in technology education lessons conducted by the author, and feedback from three expert teachers. As a result of the thesis, lesson plans for three double lessons, lesson slides, video tutorials, and supporting materials for teachers were developed for both the second and third stages of basic school. The results show that the applicability of 3D printing instructional materials is supported by up-to-date and task-based instructions, well-organised file management and printing workflow, as well as technical and methodological support for teachers. The findings also indicate that the successful use of the materials depends on the school's technical infrastructure and work organisation.

Keywords: 3D printing, technology education, design thinking, design process, instructional materials.

SISUKORD

Sissejuhatus.....	4
1. Teoreetilised lähtekohad	6
1.1 Tehnoloogiaõpetus põhikoolis ning seosed STEM/STEAM õppega.....	6
1.2 Disainmõtlemine ja disainiprotsess tehnoloogiaõpetuses.....	8
1.3 3D printimine tehnoloogiaõpetuses	9
2. Õppematerjalide arendamine	11
2.1 Analüüs	12
2.2 Disain	13
2.3 Arendamine	14
2.4 Rakendamine.....	16
2.5 Hindamine.....	19
3. Uurimismetoodika.....	19
3.1 Andmeallikad	20
3.2 Valim ja uurimuse läbiviimine	21
3.3 Andmete analüüs	22
3.4 Uurimuse eetika ja piirangud	23
4. Tulemused.....	24
4.1 Juhendite ajakohasus ja ülesandepõhisus.....	24
4.2 Standardiseeritud töövoog ja digipädevuste areng	24
4.3 Erinev lähenemine kooliastmeti.....	25
4.4 Metoodiline ja korralduslik tugi õpetajatele	25
4.5 Tehnilise taristu mõju õppematerjali tõhusale kasutatavusele	26
4.6 Ekspertide hinnang õppematerjalide tugevustele ja arendusvajadustele	27
Arutelu	27
Allikad.....	31
LISAD.....	34
Lisa 1. Ekspertõpetajate küsimustik	34
Lisa 2. II kooliastme paaristundide tunnikavad, slaidid, õppevideod ja hindamismudel	36
Lisa 3. III kooliastme paaristundide tunnikavad, slaidid, õppevideod ja hindamismudel ...	50
Lisa 4. Juhend õppematerjali kasutamiseks	68
Lisa 5. Abimaterjal õpetajale - disainiprotsess	69
Lisa 6. Näidisvideo õpilaste tööde printimisest ja foto printeriruumist.....	72
Lisa 7. Fotod õpilaste tehtud töödest	73
Lihtlitsents.....	74

Sissejuhatus

3D printimine on kujunenud oluliseks tehnoloogiaks, mida rakendatakse paljudes valdkondades, sealhulgas tootmises, inseneerias, meditsiinis ja hariduses (Ford & Minshall, 2019). Hariduses ei tähenda 3D printimine üksnes uue arvjuhitava seadme kasutamist, vaid võimalust siduda eluliste probleemide lahendamine, 3D modelleerimine, prototüüpimine ja ideede arendamine reaalse füüsilise esemega (Pearson & Dubé, 2022). Eesmärgistatult kavandatud 3D printimist käsitlevad õpitegevused võivad toetada õppijate ruumilise mõtlemise ja loovuse arengut, üldist õpimotivatsiooni ja praktiliste lahenduste loomise kasvu (Huang & Wang, 2022).

Et 3D printimise võimalused hariduses realiseeruksid, on vaja süsteemset lähenemist. 3D printimise kasutusele võtmine eeldab lisaks vajalike seadmete olemasolule ka õpetajatele arusaadavat meetodilist tuge. Ilma tööprotsessi toetavate juhiste ja praktiliste lahendusteta jääb tehnoloogia kasutamine sageli juhuslikuks või sõltub õpetaja varasemast kogemusest (Assante et al., 2020). 3D printimise kasutuselevõttu võivad piirata õpetajate ebapiisav ettevalmistus, ajapuudus, tehnilised tõrked ja raskused lõimida uuemaid tehnoloogiaid juba kasutusel olevatesse tunnimaterjalidesse (Pearson & Dubé, 2022; Branko et al., 2023). Õpetajakoolitust käsitlev kirjanduse ülevaade, mis põhines ERICu, Web of Science'i, Scopuse ja IEEE Xplore'i andmebaasidest leitud uuringutel, kinnitab samuti, et 3D modelleerimise ja printimise edukas kasutamine eeldab lisaks tehnilistele oskustele ka pedagoogilist raamistikku (Tejera et al., 2025).

Eesti koolide digitehnoloogilise arengu aluseks võib lugeda 1990. aastatel käivitatud Tiigrihüppe programmi, mille eesmärk oli luua Eesti üldhariduskoolidesse eeldused digivahendite laialdasemaks õppetöös kasutamiseks. Selle saavutamiseks hangiti programmitegevuste kaudu koolidele arvutid ja tehti koolidele kättesaadavaks internetiühendus. Hilisemates etappides laienes projekti tähelepanu ka õpetajate digipädevuste arendamisele ja digitaalsete õppematerjalide loomisele ja kasutamisele. (HARNO, s.a) Selline areng on loonud eeldused ka uuemate tehnoloogiate, sealhulgas 3D printimise, jõudmiseks Eesti koolidesse, kuid loodud tehnoloogilise taristu olemasolu üksi ei taga veel selle pedagoogiliselt sisukat rakendamist (Runnel et al., 2009).

Käesolev magistritöö on suunatud Eesti põhikooli tehnoloogiaõpetuse konteksti. STEM/STEAM käsitlusi kasutatakse töös laiemate teoreetiliste taustana ning 3D printimist käsitletakse tehnoloogiaõpetuse osana, mille kaudu on võimalik toetada STEM/STEAM

õppele omaseid tegevusi nagu mõõtmine, kavandamine, insenerlik lähenemine probleemide lahendamisele, disainiprotsessi järgimine ja loov lahenduste arendamine.

Tehnoloogia valdkonna eesmärk, Eesti põhikooli riiklikus õppekavas (PRÕK), on kujundada õpilastes eakohane valdkonnapädevus, mis hõlmab materjalide ja töövahendite teadlikku kasutamist, tööprotsessi kavandamist, praktilist tegutsemist, probleemilahendust ning tehtud valikute mõtestamist ja põhjendamist (PRÕK, 2023). 3D printimine pakub võimaluse tehnoloogiaõpetuses siduda nüüdisaegse digitehnoloogia praktilise ja loova õppetegevusega, mis toetab õppekavast tulenevat “ideest teostuseni” põhimõtet. Samas ei taga tehnoloogia sobivus õppekavaga iseenesest selle süsteemset rakendumist õppetöös. Eesti tehnoloogiaõpetuse õpikeskkonda käsitlev uurimus toob välja, et nüüdisaegsete vahendite kasutamine ja kaasaegsete tehnoloogiate õpilastele õpetamine sõltub õpikeskkonnast ja selle järjepidevast arendamisest (Soobik, 2013).

Kuigi 3D printimise õpetamiseks on internetis kättesaadavad mitmesugused materjalid, on need sageli hajusad, erineva ülesehitusega ning keskenduvad pigem tehnilistele juhistele kui õppetöö didaktilisele kavandamisele (Assante et al., 2020). Samal ajal osutavad uurimused, et 3D printimise sisukas rakendamine õppetöös eeldab õpetajalt lisaks tehnilistele oskustele ka pedagoogilist raamistikku ja metoodilist tuge, mis seoks õppetegevused tehnoloogia õpieesmärkide ja õppesisuga (Pearson & Dubé, 2022; Tejera et al., 2025).

Käesoleva magistritöö **uurimisprobleem** seisneb selles, et 3D printimise õpetamiseks põhikooli tehnoloogiaõpetuses on vaja terviklikke õppematerjale, mis toetaksid nii õppekava eesmärkide saavutamist, õpetaja metoodilist tööd kui ka praktilist töökorraldust klassiruumis.

Töö **eesmärk** on koostada põhikooli tehnoloogiaõpetuse II ja III kooliastmele õppekavaga kooskõlas olevad 3D printimise õppematerjalid ning uurida nende rakendatavust koolipraktikas, et toetada tehnoloogiaõpetuse õpetajaid 3D printimise süsteemsel ja eesmärgipärasel õpetamisel.

Sellest eesmärgist lähtuvalt on sõnastatud järgmised **uurimisküsimused**:

1. Milliseid õppekava ja tehnoloogiaõpetuse eesmärkidega kooskõlas olevaid õppematerjale on vaja 3D printimise õpetamiseks põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuses?
2. Kuidas hindavad ekspertõpetajad loodud 3D printimise õppematerjalide vastavust õppekavale, didaktilist sobivust ja praktilist rakendatavust ning milliseid parandusettepanekuid nad teevad?

1. Teoreetilised lähtekohad

1.1 Tehnoloogiaõpetus põhikoolis ning seosed STEM/STEAM õppega

Tehnoloogiaõpetus on õppeaine, mis ühendab teistes õppeainetes omandatud teadmised ja oskused ja võimaldab need läbi praktiliste projektide tervikuks vormistada. Põhikooli riikliku õppekava osana on tehnoloogiaõpetuse õppeaine eesmärk arendada õpilaste tehnoloogilist kirjaoskust, loovust, probleemilahendusoskust ja praktilisi toimetulekuoskusi. Samuti õpetatakse leidma seoseid igapäevaeluga ning suunatakse praktilisi oskusi igapäevases elus rakendama. Tehnoloogia valdkonna õppeainete, milleks on tööõpetus, tehnoloogia ning käsitöö ja kodundus, kaudu kujundatakse arusaam, et tehnoloogilised valikud mõjutavad nii inimest kui ka keskkonda. Õppeprotsess on terviklik ja lähtub põhimõttest “ideest teostuseni”. (PRÕK, 2023)

Tehnoloogiaõpetuse eripära seisneb praktilise töö ja vaimse mõttetöö ühendamises. Õppimine toimub aktiivse tegevuse kaudu, kus õpilane on avastaja ning õpetaja roll on juhendada ja suunata eesmärgipärase tegevuseni (Tamm, s.a.). Käelise- ja intellektuaalse tegevuse ühendamisel õppetöös toetatakse uurivat, aktiivset ja koostöist õppimist. Teoreetilise ja praktilise osa vaheldumine toetab ühtaegu ka õpilase üldist arengut, ennastjuhtivaks õppijaks kujunemist ning elukestvate õppele iseloomulike hoiakute kujunemist. (PRÕK, 2023)

Tehnoloogiaõpetuse II kooliastme õpitulemused seavad fookusesse baasoskuste arendamise ja juhendatud tööprotsessi, kus õpilane tunneb tööks sobilikke materjale ja nende omadusi, valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid ning materjale, kasutab ohutult õigeid töövõtteid, planeerib õpetaja juhendamisel tööprotsessi ning kavandab jõukohaseid esemeid üksi või rühmas ja oskab sealjuures kasutada videojuhendit. Õppekava rõhutab ka, et õpilane esitleb valminud tööd ning analüüsib ja põhjendab tööprotsessi valikuid, vajadusel digivahendeid kasutades. (PRÕK, Lisa 7, 2023)

III kooliastme õpitulemused laiendavad samu põhimõtteid iseseisvama planeerimise ja põhjendatuse suunas. Õpilane planeerib iseseisvalt või rühmas terviklikku tööprotsessi, kasutab sobilikke materjale ja töövahendeid eesmärgipäraselt, järgib tööohutuse nõudeid, arvestab keskkonnahoiu ja ressursside säästliku kasutamise põhimõtteid ning leiab loovaid lahendusi iseseisvalt või rühmas töötades. Õppekava rõhutab ühtlasi, et õpilane esitleb, analüüsib ja põhjendab tööprotsessis tehtud valikuid ning annab konstruktiivset tagasisidet enda ja kaaslaste tööle. (PRÕK. Lisa 7, 2023)

Rahvusvahelistes tehnoloogiaharidust puudutavates käsitlustes seostatakse tehnoloogiaõpetust üha enam inseneeria, disainiprotsessi ja STEM/STEAM õppega. Soomes läbi viidud uuringust selgub, et ka sealne riiklik õppekava vajaks täpsemat lahti kirjutamist tehnoloogiaõppe üldeesmärkide ja inseneeriametodite osas (Metsärinne et al., 2024).

3D printimine sobitub hästi sellesse arengusuunda, võimaldades ühendada erinevaid oskusi ja teadmisi. Thibaut jt (2018) käsitlevad integreeritud STEM õppe olulisemate tunnustena valdkondade lõimimist, probleemikeskset ja uurimuslikku õppimist, disainipõhist tööprotsessi ning koostööd. Käesolevas töös kasutatakse seda käsitlust tehnoloogiaõpetuse lõimingu võimaluse mõtestamiseks. STEAM lähenemine lisab sellele loovuse ja kasutajakeskse mõtlemise mõõtme (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019). Käesolevas töös käsitletakse STEM/STEAM õpet siiski tehnoloogiaõpetuse õpetamist toetava taustana, mitte eraldi uurimisobjektina. See tähendab, et õppematerjalid on suunatud tehnoloogiaõpetuse õpetajale, kuid nende ülesehitus võib toetada ka laiemat lõimingut matemaatika, loodusteaduste, inseneeria ja kunsti valdkondadega.

Selline töökorraldus haakub õppija aktiivset rolli rõhutava nüüdisaegse õpikäsitlusega (Tamm, s.a.). 3D printimisega seotud ülesannetes ei piirdu õppija valmis juhiste järgimisega, vaid osaleb probleemi sõnastamises, ideede väljatöötamises, mudelite digitaalses modelleerimises, prototüüpide loomises ja tulemuse hindamises. Õpetajate seas läbi viidud uuring näitab, et 3D modelleerimist ja 3D printimist tajutakse vahendina, mis võimaldab õppijal tegutseda uurija, looja ja hindaja rollis. Samuti nähakse selles võimalust muuta õppetöö praktilisemaks, tähenduslikumaks ja tulemuslikumaks (Anđić et al., 2023).

Samas ei kujune 3D printimise lõimimine õppetöösse iseenesest. Õpetajakoolituse uuringud näitavad, et 3D modelleerimist ja 3D printimist ei saa käsitleda üksnes tehnilise oskusena. Õpetajal on vaja mõista, kuidas siduda tarkvara ja seadme kasutamine aine eesmärkide, õppeülesannete ülesehituse ning hindamisega (Tejera et al., 2025). Digivahendi hariduslik väärtus sõltub sellest kui hästi see on õppe eesmärkide, ülesannete ja tagasisidestamisega seotud. 3D printimise puhul tähendab see, et 3D printeri kasutamine peab toetama õppesisu ja tööprotsesside mõistmist, mitte olema tunnis muudest tegevustest eraldiseisev tehniline tegevus (UNESCO, 2023). Sellest tulenevalt ei piisa 3D printimise kasutamiseks üksnes seadme olemasolust, vaid vaja on ka selgelt struktureeritud õppetegevusi ja õppematerjale, mis aitavad õpetajal need siduda tehnoloogiaõpetuse õpieesmärkide ja õppesisuga.

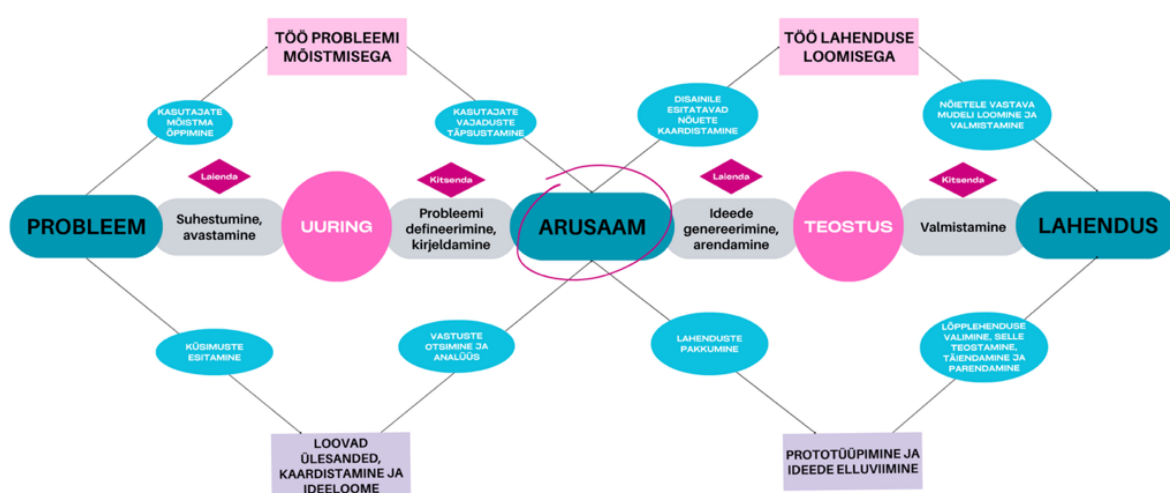
1.2 Disainimõtlemine ja disainiprotsess tehnoloogiaõpetuses

Disainimõtlemine ja disainiprotsess pakuvad tehnoloogiaõpetuses raamistikku, mille abil siduda probleemi mõistmine, ideede arendamine, kavandamine, prototüüpimine, toote valmistamine ja hindamine terviklikuks õppeprotsessiks.

Nüüdisaegse õpikäsituse järgi on õppimine aktiivne, koostööne ja eesmärgistatud protsess, kus õppija võtab oma tegevuse eest vastutuse ning õpetaja roll on suunata ja toetada õppija arengut (Tamm, s.a.). Disainiprotsess võimaldab seda põhimõtet tehnoloogiaõpetuses rakendada, sest õppija liigub probleemi mõistmisest lahenduse kavandamise ja valmistamiseni ning hindab seejärel oma tööprotsessi ja tulemust. Selline lähenemine toetab tehnoloogiaõpetuse õppekavast tulenevat „ideest teostuseni“ põhimõtet (PRÕK, 2023).

Käesolevas töös kasutatakse õppematerjalide kavandamisel topelt teemanti mudelist kohandatud disainiprotsessi mudelit (vt joonis 1). Briti Disaininõukogu topelt teemanti mudel kirjeldab disainiprotsessi kahe järjestikuse avardumise ja koondumise etapina. Esmalt uuritakse ning täpsustatakse probleemi, seejärel arendatakse ja katsetatakse lahendusvõimalusi. (Design Council, s.a.)

Joonis 1. Disainiprotsessi mudel, kaastanud Triinu Roosvalt



3D printimise õpetamisel on selline raamistik oluline, sest see aitab vältida olukorda, kus õppetegevus piirdub üksnes valmis mudeli allalaadimisega ja väljaprintimisega. Disainiprotsess võimaldab siduda 3D printimise tehnilise poole õppija jaoks tähendusliku

ülesandega. Selline tööprotsess toetab nii tehnoloogilise kirjaoskuse arengut, probleemilahendamise oskust kui ka oskust oma valikuid põhjendada.

Käesolevas magistritöös käsitletakse disainmõtlemist raamistikuna, mille abil loodud 3D printimise õppematerjale struktureerida. Disainiprotsess aitab õppematerjalides ühendada tehnoloogiaõpetuse õppekava eesmärgid, õppija aktiivse rolli ning 3D printimise praktilised võimalused.

1.3 3D printimine tehnoloogiaõpetuses

3D printimine on tehnoloogia, mille puhul füüsiline ese valmistatakse digitaalse mudeli alusel kiht-kihi haaval materjali lisades. Lisandtootmise eelis seisneb selles, et digitaalset mudelit saab kasutada füüsilise prototüübi või eseme valmistamiseks ning see võimaldab valmistada ka keerukama geomeetriaga detaile, millede valmistamine näiteks materjali eemaldavatel meetoditel võib olla keerukam. (Gibson et al., 2015; Ngo et al., 2018) Üldhariduskoolides on oluline käsitleda 3D printimist süsteemselt, väärtustades probleemipõhist õppimist ning muutes kogu valmistamise protsessi veelgi enam mõtestatumaks.

3D printimise tehnoloogiate areng algas 1980. aastatel, mil kujunesid välja mitmed tänapäevalgi kasutatavad lisandtootmise põhimõtted. Üheks oluliseks arengusuunaks oli stereolitograafia ehk SLA tehnoloogia, mille puhul vedel fotopolümeervaik kõvastatakse valguse toimel kihtide kaupa. Charles W. Hulli stereolitograafiat kirjeldavat patenti peetakse üheks 3D printimise arengu oluliseks tähiseks (Hull, 1986). Teiseks oluliseks arengusuunaks kujunes FDM tehnoloogia, mille puhul plastmaterjal sulatatakse ning kantakse düüsi kaudu kihthaaval prinditavale pinnale. S. Scott Crumpi FDM tehnoloogiatega seotud patendid aitasid kaasa selle tehnoloogia laiemale tuntusele (Crump, 1984) ning FDM printerite odavnemine ja lihtsam kasutatavus muutsid 3D printimise hiljem kättesaadavamaks ka hariduses ning kodu- ja hobikasutuses (Gibson et al., 2015).

Tänapäeval kasutatakse 3D printimises paljusid tehnoloogiaid, mis erinevad peamiselt kasutatava materjali, tööprotsesside ja seadmete tehnilise keerukuse poolest (Gibson et al., 2015). Üldhariduskoolides on kõige sagedamini kasutusel FDM tehnoloogial põhinevaid printereid, sest need seadmed on võrreldes mitmete teiste lahendusega soodsamad ja laiemalt kättesaadavamad ning nende tööprotsess on õppijale visuaalselt hästi jälgitav (Ngo et al., 2018). Eelnevalt nimetatud eeliste tõttu sobib FDM tehnoloogia hästi 3D modelleerimise, prototüüpimise ja praktiliste tööprotsesside õpetamiseks.

Vaigu- ja metalliprintimine on samuti tehnoloogiliselt olulised 3D printimise tehnoloogiad, kuid põhikooli kontekstis jäävad need pigem keerukaks, sest nende tehnoloogiate puhul kasutatavad seadmed ja materjalid on kõrgema hinnaga ning töökorraldus ja järel töötlus on keerukam, mis teevad nende kasutamise tülikaks. Samuti kehtivad nende puhul ka rangemad ohutusnõuded. (Gibson et al., 2015)

Põhikooli tehnoloogiaõpetuse kontekstis on 3D printimise väärtus eelkõige selles, et see võimaldab siduda digitaalse modelleerimise, mõõtmise, teadmised materjalidest, seadmete tööpõhimõtted, prototüüpimise ja tööprotsessi analüüsi üheks tervikuks. Seetõttu ei peaks hariduslikus kontekstis 3D printimist käsitlema üksnes uue seadme kasutamise õppimisena vaid vahendina, mis toetab probleemide lahendamist, ideede kavandamist ja lahenduste järk-järgulist täiustamist. Selle mõtestatud rakendamine eeldab, et õppetegevused on õpetaja poolt teadlikult kavandatud ning toetavad õpilase arusaama digitaalse kavandi, kasutatava materjali, arvjuhitava seadme ja valmistamisprotsessi omavahelistest (Ford & Minshall, 2019). Õppimise seisukohalt muutub 3D printimine väärtuslikuks siis, kui see on seotud selgete õpieesmärkide ja sisuliselt põhjendatud ülesannetega (Pearson & Dubé, 2022).

Taiwani põhikooli õpilastele loodud disainisuunitlusega kursuse näitel toodi välja, et 3D modelleerimise ja 3D printimisega seotud tegevused võivad toetada õpilaste visuaalse kavandamise oskusi, loovat lähenemist ülesannetele ning huvi õppetegevute vastu (Huang & Wang, 2022). Fokides & Lagopati (2024) ülevaade osutab, et 3D printerite kasutamine algklassides ja põhikoolis võib anda õppijale hea praktilise kokkupuute digitaalse kavandamise, katsetamise ja probleemide lahendamisega ning seeläbi täiendada klassikalist ja tavapärast õpikogemust.

Tehnoloogiaõpetuse tundides on 3D printimine eriti väärtuslik siis, kui see toob nähtavale kogu tootearenduse ahela. Sellisel juhul ei piirdu õpilane üksnes tarkvara tehnilise omandamisega, vaid seob omavahel disainiprotsessi etapid. Selline terviklik tööprotsess haakub põhikooli tehnoloogiaõpetuse põhimõttega liikuda oma tööga ideest teostuseni ning toetab õpilase aktiivset rolli õppijana (PRÕK, 2023).

Koolikeskkonnas on 3D printimise kasutamisel oluline pöörata tähelepanu ka tööohutusele ja töökorraldusele. FDM printerite kasutamisel tuleb arvestada kuumade osadega, näiteks düüsi ja alusplaadiga, samuti liikuvate mehhanismide ning ruumi ventilatsiooniga. Lisaks kaasneb 3D printimisega materjalikulu ja printimisjääke, näiteks tugistruktuure, ebaõnnestunud printe ja filamentide vahetamisel tekkivaid jääke. Seetõttu on tehnoloogiaõpetuses oluline käsitleda 3D printimist ka säästliku tegutsemise vaates. See tähendab, et printimist tuleb kavandada läbimõeldult, kontrollida mudeli mõõtmeid ja

prinditavust enne töö alustamist ning vähendada ebaõnnestunud katsetuste hulka (Gibson et al., 2015).

3D printimise kasutuselevõtul on siiski ka mitmeid takistusi. Varasemad uurimused seovad 3D printimise kasutuselevõtu raskusi õpetajate ettevalmistuse, ajakasutuse oskuste, tehniliste tõrgete, kaasnevate kulude ja metoodiliste materjalide puudusega (Assante et al., 2020; Pearson & Dubé, 2022; Branko et al., 2023). Lisaks tehnilistele oskustele vajavad õpetajad metoodilist tuge, mis aitaks 3D printimise tegevusi siduda õppekava, õpitulemuste, hindamise ja tööprotsessi analüüsiga (Tejera et al., 2025). UNESCO (2023) rõhutab samuti, et digitehnoloogia muutub õppimist toetavaks siis, kui see on sisuliselt lõimitud õpetamisse, õppimisse ja hindamisse ning kui õpetajatel on olemas praktiline ettevalmistus ja järjepidev tugi.

Sellest tulenevalt on tehnoloogiaõpetuse kontekstis oluline koostada õppematerjale, mis ei keskendu üksnes printeri kasutamisele või tarkvara tehnilistele juhistele, vaid toetavad terviklikku õppeprotsessi. Sellised õppematerjalid peaksid aitama õpetajal kavandada tegevusi, milles õpilane mõistab probleemi, loob digitaalse mudeli, valmistab prototüübi, katsetab lahendust ning analüüsib oma tööprotsessi ja tulemust. Käesolevas magistritöös loodavad õppematerjalid lähtuvad sellest vajadusest ning on suunatud põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuse tundides kasutamiseks.

2. Õppematerjalide arendamine

Käesolev magistritöö on praktilise suunitlusega arendusuuring, mille keskmes on põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuse tundides kasutatavate 3D modelleerimise ja 3D printimise õppematerjalide loomine, katsetamine ning ekspertõpetajate tagasiside ja uurijapäeviku sissekannete põhjal hindamine. Arendustöö tulemusel valmis õppematerjalide komplekt, mis on esitatud töö lisades ning mille originaalid on koondatud Google Drive'i kausta kooliastmete kaupa. Eraldi kaustades on esitatud II ja III kooliastme õppematerjalid. Mõlema kooliastme jaoks koostati kolme paaristunni tunnikavad ja tunnis kasutatavad slaidid. Tunnislaididel on esitatud ka autori poolt koostatud õppevideote juurde juhatavad lingid.

Materjalide eesmärk ei olnud pakkuda üksnes tehnilisi juhiseid 3D printeri või modelleerimistarkvara kasutamiseks, vaid luua terviklik raamistik, mis toetab õpetajat 3D printimise lõimimisel tehnoloogiaõpetuse tundidesse, õpieesmärkide saavutamist, disainiprotsessi süsteemset läbimist ja praktilist töökorraldust. Materjalide juurde lisati

abistav info õpetajale disainiprotsessi kohta (vt lisa 5), juhend klasside ja üldise töövoo haldamiseks Tinkercad keskkonnas, printimise protsessi ilmestav video ning valik fotosid materjalide loomise perioodil valminud õpilastöödest.

Õppematerjalide arendusprotsessi kirjeldamisel lähtuti ADDIE mudelist, mis võimaldas õppematerjalide väljatöötamist käsitleda etappidena, milleks on analüüs, disain, arendamine, rakendamine ja hindamine (Molenda, 2003). Materjalide loomine, katsetamine ja parandamine toimusid paralleelselt ning õppematerjalide lõplik tulem kujunes töö käigus uurijapäevikusse tehtud tähelepanekute ja ekspertõpetajate tagasiside põhjal.

2.1 Analüüs

Analüüsietapis kaardistati olemasolevaid 3D modelleerimise ja printimise õppematerjale ning hinnati nende sobivust põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuse kontekstis. Analüüsi käigus pöörati tähelepanu sellele, kas materjalid oleksid eakohased, tehniliselt ajakohased, seotud tehnoloogiaõpetuse õpieesmärkidega ning õpetaja jaoks praktiliselt kasutatavad.

Olemasolevate materjalide võrdlemisel ilmnes, et 3D printimise õpetamiseks leidub küll mitmesuguseid veebipõhiseid juhendeid ja videoõpetusi, kuid nende kasutamine koolitunnis ei ole alati lihtne. (vt Tabel 1) Osa materjale keskendub üksnes tehnilistele tövõtetele ega ava õppetegevuse didaktilist eesmärki. Teine probleem on materjalide ajakohasus. Näiteks Tinkercad'i keskkond on ajas muutunud ning varasemad videojuhised ei vastanud täielikult praegusele kasutajaliidesele.

Tabel 1. Analüüsitud programmide ja õppematerjalide ülevaade

Analüüsitud programm või materjal	Tugevused	Kitsaskohad
Tinkercad	Veebipõhine programm, alustavale õppijale jõukohane, võimaldab õpilasel töötada õpetaja loodud klassis, õpilasel pole vaja sisestada isikuandmeid, salvestab tööd automaatselt.	Keerukate mudelite puhul on võimalused piiratud.
SolidEdge, Fusion 360, AutoCAD, OnShape	Sobivad edasijõudnutele ja sobivad hästi Tinkercad'ist üle minemiseks.	Alustavale õppijale ajamahukad ja tehniliselt keerukad õppida. Vajavad rohkem arvutiressursi ning õpetajalt põhjalikumat ettevalmistust.
ProgeTiigri keskkonnad ja 3D printimise materjalid	Süsteemne hariduskonteksti sobiv keskkond materjalide jagamiseks.	Osa juhendid vajavad ajakohastamist seoses

		tarkvarakeskkondade muutumisega.
Ingrid Maadvere Tinkercad videomaterjalid	Selge sõnastusega ja aeglasel tempos videod.	Tinkercad videojuhendid vajavad kaasajastamist.
Nutikas Insener materjalid YouTube kanalil	Selged juhised, õpetajal hea diktsioon, põnevad projektid. Tehnoloogiaõpetuse tundides hästi kasutatavad projektid.	Sisaldavad peamiselt videojuhiseid. Puudub terviklik tunnikäik ja õpilastele suunatud printimise töövoog juhend.

Analüüsi tulemusel sõnastati õppematerjalide arendamise kolm põhinõuet:

- Esiteks peavad juhised olema ajakohased.
- Teiseks peavad need olema lühikesed ja keskenduma ühele konkreetsele tövõttele või ülesandele korraga.
- Kolmandaks peab 3D modelleerimise ja printimise töövoog olema klassi tasandil standardiseeritud, et vältida failide nimetamisel, liigutamisel ja printima saatmisel tekkivat segadust.

Analüüsi etapis ilmnis, et õpetaja koormuse vähendamiseks ei piisa üksikute tööjuhiste loomisest. Vajalik on terviklahendus, mis ühendab tunni eesmärgid, samm - sammulised juhised ja läbimõeldud tegevused. Seetõttu käsitleti õppematerjalide arendamisel 3D printimist mitte üksiku tehnilise oskusena, vaid tervikliku tööprotsessina. Õpilane peab mõistma, kuidas digitaalne mudel liigub modelleerimiskeskonnast printimistarkvarasse ja sealt edasi printerisse. Selline lähenemine toetab nii tehnoloogilise kirjaoskuse kui ka üldiste digipädevuste arengut.

2.2 Disain

Disainietapis jaotati õppematerjalid kahe kooliastme vajadusi arvestava tervikuna. II kooliastme materjalides keskenduti baasoskustele: Tinkercadi keskkonda sisenemine, lihtsamate geomeetriliste kujundite kasutamine, mudeli mõõtmete muutmine, lihtsa eseme modelleerimine, faili eksportimine ning printimiseks ettevalmistamise põhimõtted. III kooliastme materjalides on suurem rõhk disainiprotsessil, kasutajavajaduse mõtestamisel, funktsionaalsema eseme kavandamisel, prototüüpimisel ning tehtud valikute põhjendamisel. Selline jaotus lähtub põhikooli tehnoloogiaõpetuse õpitulemuste järkjärgulisest arengust, kus II kooliastmes on suurem rõhk juhendatud tööprotsessil ja III kooliastmes iseseisvama kavandamisel ning oma valikute põhjendamisel (PRÕK, 2023).

Õppematerjalide ülesehitus kavandati nii, et õpilane liiguks juhendatud tövõtelt järkjärgult iseseisvama probleemi lahendamise suunas. II kooliastmes on oluline, et ülesanne

oleks selgelt piiritletud ja tööprotsess õpilasele nähtav. Näiteks lihtsa järjehoidja või võtmehoidja modelleerimine võimaldab harjutada mõõtmist, kujundite kombineerimist, teksti või graafilise elemendi lisamist ning faili eksportimist. III kooliastmes võimaldab hoiustuslahenduse või muu funktsionaalse eseme kavandamise siduda disainiprotsessi etappidega, milleks on vajaduse märkamine ja ideede kogumine, lahenduse kavandamine, prototüüpimine, valmistamine ja ka töö analüüsimine.

Disainietapis otsustati mudelite loomiseks kasutada Tinkercadi, sest see on veebipõhine, alustavale õppijale jõukohane ja intuitiivne ja koolis lihtsasti kasutatav. Tinkercadi eelis on ka võimalus luua õpetaja juhitud klassikeskkond, mis vähendab õpilaste isikuandmete kasutamise vajadust ning lihtsustab õpilaste tööde haldamist. See valik võimaldas õppematerjalides keskenduda eelkõige tehnoloogiaõpetuse sisulistele eesmärkidele ja tööprotsessi mõtestamisele, mitte keeruka tarkvara omandamisele.

Õppematerjalide disainis arvestati paaristunni formaadiga, mis on tehnoloogiaõpetuse õppeaines levinud. Kuna tehnoloogiaõpetuse tundides on aeg piiratud ning 3D printimine võib tehniliselt keerukama tööprotsessi tõttu olla ajamahukas, oli oluline jaotada tegevused selgeteks etappideks. Slaidikavad kavandati tunni struktuuri hoidmiseks ning videojuhised lisati õigete kasutuskohdade juurde, et õpilased saaksid vajaduse korral juhust uuesti vaadata ega sõltuks igas tööetapis üksnes õpetaja suulisest selgitusest. Lisaks saab õpetaja tunnislaide jagada nendele õpilastele, kes puudumise või aeglasema töötempo tõttu vajavad võimalust materjale iseseisvalt järele vaadata.

2.3 Arendamine

Arendusetapp oli töö kõige mahukam osa. Selles etapis loodi videojuhised Tinkercadi ja Bambu Studio kasutamiseks, slaidikavad tundide läbiviimiseks, töölehed ning juhend õpetajale Tinkercadis klassi loomiseks ja haldamiseks ning disainiprotsessi paremaks mõistmiseks. II kooliastme õppematerjalid on esitatud lisas 2 ja III kooliastme õppematerjalid lisas 3. Õpetajat toetavad lisamaterjalid on esitatud lisades 4 ja 5. II kooliastmele valmisid videojuhised, mis käsitlevad Tinkercadi keskkonda sisenemist, lihtsa võtmehoidja modelleerimist, .stl faili eksportimist, graafika importimist ja kasutamist Tinkercadis oma 3D mudeli ilmestamiseks ning faili printima saatmist Bambu Studios. III kooliastmele koostati keerukama modelleerimise ja printimise seadetega seotud juhendid nagu näiteks *extrude sketch*, *revolve sketch* ja *scribble* tööriista kasutamise kohta. Valminud õppematerjalide ülevaade on toodud allpool järgnevas tabelist (vt Tabel 2).

Videojuhiste loomine toimus kogu õppematerjali arendusprotsessi vältel. Esialgsed videojuhised olid pikemad, sisaldades endas mitut töövõtet korraga. Katsetamise käigus ilmnas, et õpilastel on lihtsam töötada lühemate videomaterjaliga. Seetõttu salvestati juhendid korduvalt uuesti ning nende sisu püüti piiritleda teemade osas kitsamalt. Kogu videote salvestamise ja monteerimise protsess teostati hea heliisolatsiooniga kodukontoris. Videojuhiste salvestamisel kasutati MacBook Pro sülearvuti ekraanisalvestust. Salvestatud videomaterjal korrastati iMovie programmis, kus eemaldati ebaolulised või korduvad video osad, vajadusel kiirendati pikemaid tegevuslõike ning lisati kõikide videote algusesse pealkirjakaadrid, kus toodi välja video teema ja autor. Videojuhiste koostamisel peeti oluliseks, et juhend oleks lühike, selge, õpilasele ka iseseisvalt jälgitav ning seotud tunnis käsitletava konkreetse tööetapiga. Ilmnas, et videojuhise loomine on väga ajamahukas, sest lisaks praktiliste tegevuste läbimõeldud esitamisele tuli arvestada ka suuliste selgituste selguse, salvestamise tempo ja hilisema montaažiga.

Lisaks digitaalsetele materjalidele valmistati näidisesemed, mis aitasid muuta 3D printimise protsessi õpilastele nähtavaks ja arusaadavamaks. Proovitundides kasutati erineva täidise (infill) füüsiliselt välja printitud näidiseid, et arutleda õpilastega struktuuride tugevuse, materjalikulu ja funktsionaalsuse seoste üle. Õpetaja vaates on oluline ka see, et kõik materjalid koondati ühte jagatud Google Drive'i kausta, kus eristati II ja III kooliastme paaritundide sisu. Õpetajale teeb see materjalidele ligipääsu mugavaks ja lihtsaks. Kaustadesse lisati ka õpetajat toetavad lisamaterjalid. Kaustades olevad materjalid on välja toodud töö lisades 2-7.

Arendusprotsess ei kulgenud lineaarselt. Materjalide loomine, läbi proovimine ja parandamine toimusid paralleelselt. Seetõttu kujunesid uurijapäevikusse tehtud märkmed arendusprotsessi oluliseks osaks. Uurijapäeviku abil dokumenteeriti, millised juhised töötasid, kus tekkis õpilastel segadus, milliseid juhendeid oli vaja lühendada või ümber sõnastada ning millised korralduslikud detailid mõjutasid tunni tempot.

Tabel 2. Valminud õppematerjalide ülevaade

Materjali liik	Sisu	Eesmärk
Tunnikavad	II kooliastme kolme paaristunni ja III kooliastme kolme paaristunni kavad.	Toetada õpetajal tunniks ettevalmistamist ja anda tundidele selge ülesehitus.
Tunnislaidid	II kooliastme kolme paaristunni ja III kooliastme kolme paaristunni slaidid koos teoreetilise materjali ning õppevideote juurde juhatavate linkidega.	Hoida tunni struktuuri ja suunata tööprotsessi etappide kaupa. Toetada tehniliste töövõtete omandamist. Võimaldada materjalide jagamist ka puuduvatele või aeglasemas tempos õppivatele õpilastele.

Videojuhised	Tinkercadi juhendid ja Bambu Studios printima saatmise juhendid. Videojuhiste lingid on lisatud tunnislaididele vastava tööetapi juurde.	Võimaldada õpilastele töövõtteid juhiste järgi korrata ning toetada õpetajat teema või oskuste omandamisel.
Õpetaja juhendmaterjalid	Tinkercad'is klassi loomise ja haldamise juhised ning disainiprotsessi kohta täiendav materjal.	Vähendada õpetaja tehnilist ja metoodilist ebakindlust.
Näidisesemed ja fotod	Õpilastööde ja sisumustrite näidised ning printimise protsessi näitlikustavad materjalid.	Toetada arusaama 3D printimise tulemustest, <i>infill</i> võimalustest ja üldistest piirangutest.

2.4 Rakendamine

Rakendamise etapis katsetati õppematerjalide osi autori põhitöökohas, kus ta töötab tehnoloogiaõpetuse õpetajana ning hiljem kohandatult ka kahes teises Eesti põhikoolis. Katsetused võimaldasid jälgida, kuidas loodud juhendid, tunnislaidid ja töövoog toimivad erinevate tehniliste tingimuste ja klassikoosseisude korral. Kuna 3D printerite kasutamine õppetöös oli autori põhitöökohal alles kujunemas andis see võimaluse jälgida, millised tehnilised ja korralduslikud tingimused mõjutavad õppematerjalide rakendatavust koolikeskkonnas.

Proovitunnid näitasid, et 3D printimise õppimine ei sõltu ainult juhendi kvaliteedist, vaid samavõrd kogu tehnilisest ja organisatoorsest töövoost. Töö autoril kujunes oma õpilastega töötades välja kooli tasandil kokku lepitud 3D printimise töökorraldus. Õpilased modelleerisid oma mudelid Tinkercadis, nimetasid oma failid kokkulepitud süsteemi järgi, eksportisid failid .stl vormingus, saatsid failid oma kooli e-posti kontolt kooli tehnoloogiaõpetuse e-posti aadressile. Seejärel avati failid printerite juures olevates arvutites tehnoloogiaõpetuse postkastist, laaditi alla ning saadeti Bambu Studio keskkonna kaudu printima. Tehnoloogiaõpetuse e-posti aadressi ühendamine Bambu Studio kontoga võimaldas koondada töövoogu ainepõhisesse keskkonda, et mitte siduda printimist ühe õpetaja kontoga.

Selline töökorraldus täitis ka laiemat õpieesmärki. Õpilased pidid failid korrektselt nimetama, Tinkercadist välja eksportima, saatma e-kirja korrektselt õigele aadressile, võttes selle eest täieliku vastutuse ja veendudes, et nende töö oleks hiljem lihtsasti leitav. Näidisvideo Rapla Vesiroosi Kooli printeriruumis töötavatest printeritest on leitav lisas 6 ja näidised õpilaste tehtud töödest on toodud lisas 7. Katsetused näitasid, et kui failidega töötamise süsteem ei ole selgelt kokku lepitud, siis õpetaja koormus tunnis suureneb.

Rakendamise käigus ilmnas ka seadmepargi ja klassiruumi töökorralduse mõju. Arvutiklassis toimusid modelleerimistunnid sujuvamalt, sest õpetajal oli võimalik Veyon Master programmi abil jälgida õpilaste ekraane, suunata õpilasi õpetaja arvutist ning

vajadusel kiirelt sekkuda. Tehnoloogiaõpetuse õppeklassi kasutamiseks laenutatud Chromebook'ide või sülearvutitega tundides oli modelleerimine aeganõudvam, eriti juhul, kui seadmetel puudusid hiired. Samuti oli õpetajal keerulisem jälgida õpilaste tööjärge. Üldiste digioskuste, e-posti kasutamise ja failide manustamise probleemid võtsid kõik rohkem aega.

Katsetused praktikakoolis ja väikeses maakonnakoolis kinnitasid autori kodukoolis kujunenud järeldusi. Seal, kus puudus kindel ainepõhine e-posti aadressi kasutamise võimalus ja sellega seotud printimise süsteem, muutus failide edastamine ajamahukamaks ning tekitas õpilastes rohkem segadust. Samas näitasid need tunnid, et õppematerjale on võimalik siiski kasutada ka väljaspool autori töökohta, kui õpetaja kohandab tunnikava vastavalt oma koolis olemasolevatele seadmetele, õpilaste arvule ja ette antud ajaraamile. Kokkuvõte uurijapäevikusse kantud tähelepanekutest on leitav alljärgnevas tabelis (vt Tabel 3).

Tabel 3. Uurijapäeviku tähelepanekute kokkuvõte

Periood, kontekst, klassid	Õnnestumised	Raskused
November 2025: mudelite modelleerimine avalikult kättesaadavate juhendite järgi. Esimesed proovid viidi läbi väikeklassidega III kooliastmes (8. ja 9. väikeklass, kes polnud 3D printimisega kokku puutunud). Failide koondamiseks loodi Google Drive'i kaust. Õpilased saatsid failid printimiseks õpetaja meilile. Arvjuhitavate seadmete ruumis oli valmis kasutamiseks 2 BambuLab'i 3D printerit ja 1 arvutikoht.	Olemasolevad materjalid võimaldasid alustada 3D modelleerimisega ning selgus, millist tuge õpilased failide haldamisel vajavad.	Kasutatud Tinkercad'i videomaterjalide vanus oli 8 - 15 aastat. Tinkercad on ajas nii palju muutunud, et õpilastel tekkis segadust tööriistade kasutamisega. Tundides puudus korrektne teoreetiline raam. Katsetused olid kaoatilised, õpilaste töötempo oli ebaühtlane. Tinkercad'i sisse logimiseks tegime õpilastele koolikontodega kasutajad, mille paroolide nad kippusid unustama. Õpetajal puudus hea ülevaade õpilaste töödest. Palju segadust failide nimetamise, eksportimise ja saatmisega. Printima saatmisel pidi õpetaja palju sekkuma (ise faile otsima ja õigesse kohta ümber tõstma).
Jaanuar 2026: Autori poolt loodud esialgsete videojuhendite ja slaidikavade testimine 7. klassidega (3 paralleeli). Selleks ajaks oli loodud koostöös kooli IT toega tehnoloogia õppeaine e-post ja see oli ühendatud Bambu Studio kontoga. Ühe arvutikoha asemel oli arvjuhitavate seadmete ruumi loodud printeritega tööks 2 arvutiga varustatud töökohta ja 3 printerit.	Arvutiklassis läbi viidud modelleerimise tunnid kulgesid sujuvamalt. Õpetaja arvutisse paigaldatud Veyon Master programm võimaldas õpetajal õpilaste tööd efektiivselt jälgida ning vajadusel õpilase arvutisse sisenedes sekkuda ning tähelepanu haaramiseks arvutid lukustada ja hiljem taas avada. Tinkercadi sisse logimiseks õpetaja poolt loodud klassikoodide ja paroolide	Chromebookidega oli modelleerimine ebamugavam, sest seadmetel puudusid hiired. Laenutatud seadmetega ei saa kasutada Veyon Master programmi, mistõttu tuli õpetajal rohkem klassis ringi liikuda ning modelleerimisele kulus rohkem aega. Paljudele õpilastele oli e-kirja saatmine ja faili manustamine keeruline.

Modelleerimistunnid toimusid vastavalt võimalustele arvutiklassis või tehnoloogiaklassis laenutatud Chromebookidega.	kasutamine andis õpetajale . parema ülevaate õpilaste töödest.	
Jaauari II pool ja veebruar 2026: Autori poolt loodud täiendatud videojuhendite ja slaidikavade tunnis katsetamine 7. klassidega (3 paralleeli, teise poolaasta grupid)	BambuStudios printimise juhendi kirjalik versioon toetas õpilaste iseseisvat tegutsemist mudelite printi saatmisel. Failide nimetamine ja eksportimine muutus sujuvamaks.	Endiselt esines mõningaid probleeme e-kirjade saatmisega (eriti failide manustamisega).
Aprill 2026: Põhipraktika raames rakendati II kooliastme veidi kohandatud esimese paaristunni materjali praktikakooli 6. klassides (3 paralleeli). Tunnikava kohandati nii, et sissejuhatava video osa lühendati poole võrra ning asuti kiiremini modelleerima, et jõuda paaristunni lõpus ka võtmehoidjate printimiseni. Tehnoloogia klassi olid laenutatud sülearvutid. Kuna praktikakoolis puudus töökorras 3D printer, siis kasutati õppetöö läbiviimiseks autori isiklikku BambuLab A1 printerit.	Õppematerjale oli võimalik kasutada ka teise kooli kontekstis ja 6. klassi õpilastega. Kohandatud tunnikava võimaldas mahtuda paaristunni ajaraami.	Sülearvutitel puudusid hiired, mistõttu modelleerimine võttis rohkem aega. Failide saatmine praktikandi (töö autor) isiklikule meilile tekitas segadust ja aeglustas tunni kulgu. Piiratud aja tõttu ei saanud õpilased ise töid printimisse saata, vaid jälgisid õpetaja tegevust. Järeldada saab, et töövoog peaks olema seotud kooli või ainepõhise kontoga ning seadmepark peab toetama õpilaste iseseisvat tegutsemist. Õpilaste suur arv gruppis (14) oli ka tunni läbiviimise seisukohast raskendav tegur.
Mai 2026: Külalistund väikses maakonnakoolis. Selle kooli õpetaja kutsus töö autorit ise oma kooli näidistundi tegema, kuna seal koolis on ka huvi tehnoloogia klassi kaasajastada. 6. klass. Kasutati sama tunnikava, mis põhipraktika koolis. Sujuvama töö saavutamiseks saadeti ette ülesanne, et kõik õpilased kontrollivad üle, et teavad oma emaili paroole ja oskavad selle kaudu kirja saata.	Sellel koolil olid tehnoloogia klassi laenutatavatel arvutitel hiired kaasas, mistõttu oli modelleerimine lihtsam kui varasemate gruppidega, kes töötasid laenutatud sülearvutitega, millel puudus hiir. Meilide saatmine oli sujuvam. Head töö rütmi ja koostööd toetas grupi väiksus (8 õpillast). Õpetajana jõudsin hästi kõigini.	Õpilased ise ei saanud faile printerisse töösse saata. Jälgisid õpetaja tööd ekraanilt. Huviga jälgisid printeri tööd.

Eelnevale tuginedes ilmnes mitu praktilist järeldust. Esiteks peavad videojuhised olema lühikesed ja keskenduma ühele oskusele korraga. Teiseks vajab 3D printimise tund õpilaste jaoks kiiret võimalust tekkinud vigade parandamiseks, mistõttu peaks tehnoloogiaõpetuse klassis olema vähemalt mõni vabas kasutuses olev arvuti või sülearvuti koos hiirega. Kolmandaks tuleb õpetajale pakkuda selget korralduslikku raami tundide läbiviimiseks.

Autori põhitöökohal kujunes õppematerjalide katsetamise käigus õpilastega koos välja süsteemne 3D printimise töövoog. Ühtne töövoog muutis protsessi õpilaste jaoks selgemaks ja vähendas õpetaja sekkumise vajadust. Samal ajal harjutasid õpilased faili nimetamist, e-kirja saatmist, faili leidmist ja printimiseks ettevalmistamist. Teiste koolide kogemus näitas,

et kokkulepitud töövoos puudumisel kulus failide edastamisele rohkem aega ja tekkis rohkem segadust. Seetõttu võib järeldada, et 3D printimise õppematerjalide tõhus kasutamine eeldab koolis selgelt kokkulepitud töökorraldust, mis toetab lisaks tehnilise protsessi õnnestumisele ka õpilaste digipädevuste arengut.

2.5 Hindamine

Hindamise etapp toimus kahel tasandil. Esmalt hinnati õppematerjale autori õpetamispraktikas uurijapäevikusse tehtud tähelepanekute põhjal. Teiseks koguti õppematerjalidele ekspertõpetajate tagasisidet avatud vastustega küsimustiku abil. Tagasiside võimaldas hinnata, kuivõrd loodud materjalid on õppekavaga kooskõlas, eakohased, õpetaja jaoks arusaadavad ning praktiliselt kasutatavad. Hindamise eesmärk ei olnud anda õppematerjalidele lõplikku hinnangut, vaid tuvastada tugevused, kitsaskohad ja edasised arendusvajadused.

3. Uurimismetoodika

Käesolev magistritöö on praktilise suunitlusega arendusuuring, mille eesmärk on koostada põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuse jaoks 3D printimise kasutuselevõttu toetavad õppematerjalid ning hinnata nende rakendatavust koolipraktikas. Arendusuuring sobib töö metoodiliseks raamiks, sest selle uurimisviisi puhul seotakse haridusliku lahenduse loomine selle katsetamise ja analüüsimisega tegelikus õpikeskkonnas (The Design-Based Research Collective, 2003). Käesolevas töös tähendab see, et uurimisprotsessi keskmes ei ole üksnes tehniline 3D printimise õpetamine, vaid sellise õppematerjalide komplekti väljatöötamine, mis oleks kasutatav Eesti üldhariduskooli tehnoloogiaõpetuse tundides.

Arendusuuringu puhul on oluline, et loodavat lahendust ei käsitletaks eraldatuna selle kasutuskontekstist. Disainipõhine uurimine võimaldab siduda praktilise sekkumise, selle katsetamise ja analüüsi ning toetab hariduslike lahenduste arendamist tegelikus kasutuskeskkonnas (Wang & Hannafin, 2005). Sellest lähtudes arvestati käesolevas töös õppematerjalide loomisel põhikooli riiklikku õppekava, tehnoloogiaõpetuse õppeaine eripära, 3D printimise töökorraldust klassiruumis ning õppematerjalide osalisel katsetamisel ilmnunud tähelepanekuid.

Arendusuuringule on iseloomulik järk - järguline ja korduv arendusprotsess, mis käesolevas töös väljendub selles, et õppematerjale ei koostatud kohe tervikliku valmislahendusena vaid nende sisu kujunes olemasolevate materjalide analüüsi, autori

tundides tehtud katsetuste, uurijapäeviku tähelepanekute ja ekspertõpetajate tagasisidele toetudes (Wang & Hannafin, 2005; (Easterday et al., 2018).

Töö kvalitatiivse uuringu osa lähtub vajadusest mõista õppematerjalide kasutatavust loomulikus õpikeskkonnas. Õunapuu (2014) toob kvalitatiivse uurimistöö tunnustena esile uurimise loomulikes tingimustes, mitteamvuliste andmetega töötamise ning huvi uuritavate nähtuste tähenduste ja kirjelduste vastu. Käesolevas töös on kvalitatiivne lähenemine sobiv, sest uuritakse, kuidas loodud õppematerjalid toimivad tehnoloogiaõpetuse tundides, millised probleemid nende kasutamisel ilmnevad ning milliseid muudatusi on vaja teha.

Uurimisobjektiks on põhikooli II ja III kooliastmele loodav 3D printimise õppematerjalide komplekt, millesse kuuluvad tunnikavad, slaidiesitlused, autori loodud videojuhised ning õpetajale mõeldud lisamaterjalid. Õppematerjalide arendamisel kasutatakse ADDIE mudeli etappe (analüüs, disain, arendamine, rakendamine ja hindamine) (Molenda, 2003). ADDIE mudelit kasutatakse käesolevas töös arendusprotsessi kirjeldava raamistikuna, mitte eraldiseisva uurimismeetodina.

Käesoleva töö uurimisküsimused on järgmised:

1. Milliseid õppekava ja tehnoloogiaõpetuse eesmärkidega kooskõlas olevaid õppematerjale on vaja 3D printimise õpetamiseks põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuses?
2. Kuidas hindavad ekspertõpetajad loodud 3D printimise õppematerjalide vastavust õppekavale, didaktilist sobivust ja praktilist rakendatavust ning milliseid parandusettepanekuid nad teevad?

Esimene uurimisküsimus on seotud õppematerjalide arendusprotsessiga ning tugineb eelkõige autori õpetamispraktikale ja uurijapäevikule. Teine uurimisküsimus keskendub loodud materjalide hindamisele ekspertõpetajate tagasiside põhjal.

3.1 Andmeallikad

Käesolevas töös kasutati kahte põhilist andmeallikat. Esimene andmeallikas on uurijapäevik, mida peeti õppematerjalide loomise ja proovitundide läbiviimise käigus. Uurijapäevikusse märgiti tähelepanekud selle kohta, millised juhised olid õpilastele arusaadavad, millistes tööetappides tekkis raskusi, millised tehnilised või korralduslikud asjaolud mõjutasid tunni kulgu ning milliseid muudatusi oli vaja õppematerjalides teha. Kvalitatiivses uurimistöös kasutatakse uurimise perioodil tehtud märkmeid ja teisi tekstilisi andmeid selleks, et uuritavat nähtust selle tegelikus kontekstis mõista (Õunapuu, 2014).

Teine andmeallikas oli ekspertõpetajatelt kogutud tagasiside loodud õppematerjalidele. Ekspertõpetajatele saadeti tutvumiseks 3D printimise õppematerjalid ning tagasiside koguti Google Forms keskkonnas koostatud avatud vastustega küsimustiku abil. Küsimustikke kasutatakse uurimisprobleemi lahendamiseks vajalike andmete kogumisel ning avatud vastused võimaldavad koguda kirjeldusi, arvamusi ja hinnanguid (Õunapuu, 2014).

Ekspertõpetajate tagasiside kaasamine on arendusuuringu seisukohalt oluline, sest loodud lahendust tuleb hinnata selle kasutajate ja kasutuskonteksti vaates. Arendusuuringus ei piirduta lahenduse loomisega, vaid hinnatakse selle toimimist ning kasutatakse saadud infot lahenduse edasiseks parendamiseks (Wang & Hannafin, 2005). Käesolevas töös võimaldab ekspertõpetajate tagasiside võrrelda autori enda õpetamispraktikast saadud tähelepanekuid ekspertõpetajate hinnangutega.

3.2 Valim ja uurimuse läbiviimine

Õppematerjalide osaline katsetamine toimus Rapla Vesiroosi Koolis, kus töö autor töötab tehnoloogiaõpetuse õpetajana. Koolis võeti 3D printerid õppetöös kasutusele 2025. aasta lõpus, mistõttu võimaldas see keskkond uurida õppematerjalide toimimist olukorras, kus 3D printimise töökorraldus oli alles kujunemas. Materjale katsetati II ja III kooliastme õpilastega tehnoloogiaõpetuse tundides. Lisaks kasutati õppematerjale kohandatud kujul autori poolt põhipraktika raames praktikaasutuses ning ühes väikeses maakonnakoolis läbiviidud külalistunnis. Need kogemused võimaldasid võrrelda, kuidas töövoog toimib erinevates koolikeskkondades.

Ekspertõpetajate valim moodustati eesmärgipärase valimina. Õunapuu (2014) järgi valib uurija eesmärgipärase valimi puhul uuritavad kindlate kriteeriumide alusel, lähtudes oma teadmistest ja uurimuse eesmärgist. Käesolevas töös on selline valim sobiv, sest õppematerjalide hindamiseks on vaja kaasata õpetajad, kellel on tehnoloogiaõpetuse õpetamise ja 3D tehnoloogiate kasutamise kogemus ning kes oskavad hinnata materjalide sobivust põhikooli II ja III kooliastmes. Ekspertid valiti kriteeriumite alusel välja Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liidu liikmete seast.

Küsimustik, mis on toodud töö lisas 1, saadeti kaheksale ekspertõpetajale. Tagasisidet andis kolm eksperti. Vastajate õpetamiskogemus tehnoloogiaõpetuses oli 7, 10 ja 44 aastat. Kaks vastajat õpetasid nii II kui ka III kooliastmes ning üks vastaja III kooliastmes. 3D printimise õpetamise kogemuse osas olid eksperdid teineteisest erineva kogemusega. Selline

valim võimaldas koguda tagasisidet nii 3D printimisega osas väiksema kogemusega kui ka kogenuma kasutaja vaates.

Uurimuse läbiviimine toimus kahes etapis. Esimeses etapis koostati õppematerjalid ning katsetati nende osi autori poolt tehnoloogiaõpetuse tundides. Selle etapi käigus tehti uurijapäevikusse märkmeid õppematerjalide arusaadavuse, töövoo, tehniliste probleemide ja parendusvajaduste kohta. Teises etapis edastati õppematerjalid ekspertõpetajatele ning koguti nende kohta tagasisidet Google Forms küsimustiku abil. Ekspertide vastuseid analüüsiti üldistatud kujul ja neid kasutati õppematerjalide rakendatavuse hindamiseks ning parendusettepanekute sõnastamiseks.

3.3 Andmete analüüs

Uurijapäeviku ja ekspertõpetajate tagasiside analüüsimiseks kasutati kvalitatiivset sisuanalüüsi. Sisuanalüüs võimaldab tekstis sisalduvat teavet süstemaatiliselt esile tuua ja uurimisküsimustega seostada (Õunapuu, 2014). Käesolevas töös sobib kvalitatiivne sisuanalüüs kasutamiseks seetõttu, et andmestik koosneb peamiselt kirjalikest tähelepanekutest, hinnangutest ja ettepanekutest ning eesmärk oli välja tuua korduvad tähelepanekud ja õppematerjalide kasutatavust mõjutavad teemad.

Analüüs algas uurijapäeviku sissekannete ja ekspertide vastuste korduva läbilugemisega. Esmalt eristati tähenduslikud üksused, mis kirjeldasid õppematerjalide tugevusi, kitsaskohti või parendusvajadusi. Seejärel koondati sarnase sisuga tähelepanekud kategooriatesse. Uurijapäeviku ja ekspertõpetajate vastuste põhjal kujunesid peamisteks kategooriateks juhiste ajakohasus, töövoo selgus, kooliastmete erinevad vajadused, õpetajale suunatud metoodiline ja korralduslik tugi ning tehnilise seadmepargi mõju õppematerjalide kasutatavusele.

Ekspertide vastuste analüüsimisel ei olnud eesmärk välja tuua statistilisi näitajaid, sest vastajate arv oli väike ja küsimustik sisaldas valdavalt avatud vastuseid. Kvantitatiivseid taustaküsimusi kasutati vastajate profiili kirjeldamiseks, kuid tulemuste põhiosa esitatakse temaatilise kvalitatiivse analüüsina. Analüüsi käigus võrreldi ekspertide hinnanguid uurijapäevikust ilmnenu tähelepanekutega, et eristada, millised järeldused tulenesid autori enda õpetamispraktikast ja millised leidsid kinnitust ka ekspertide tagasisides.

3.4 Uurimuse eetika ja piirangud

Ekspertõpetajate tagasiside kogumisel lähtuti vabatahtliku osalemise, informeeritud nõusoleku ja konfidentsiaalsuse põhimõtetest. Ekspertidele saadetud kirjas selgitati uurimuse eesmärki, õppematerjalide hindamise ülesannet ning seda, et tagasisidet kasutatakse magistritöös anonüümselt ja õppematerjalide arendamise eesmärgil. Seega lähtuti tagasiside kogumisel informeeritud nõusoleku põhimõttest (Tartu Ülikooli Eetikakeskus, 2023).

Ekspertõpetajate vastuseid kasutatakse töös üldistatud kujul. Uurimuse läbiviimisel ei koguta ega avaldata ekspertõpetajate nimesid, töökohti ega muid andmeid, mis võimaldaksid vastajaid tuvastada. Selline lähenemine on vajalik, sest vastajatel peab olema võimalus anda õppematerjalidele ausat ja sisulist tagasisidet.

Uurijapäeviku kasutamisel arvestatakse, et tegemist on uurija enda õpetamispraktikast lähtuva andmestikuga. Selle tugevuseks on vahetu ligipääs õppematerjalide kasutamise tegelikele olukordadele. Samas tuleb arvestada, et uurija on käesolevas töös korraga õppematerjalide looja, õpetaja ja andmete tõlgendaja. Seetõttu esitatakse analüüsis tähelepanekud võimalikult konkreetset ning seotakse need õppematerjalide arendamise käigus ilmnunud olukordadega.

Uurimuse piiranguna tuleb arvestada, et õppematerjalide osaline katsetamine toimus peamiselt ühe kooli kontekstis. Seetõttu võivad tulemused olla mõjutatud konkreetse kooli tehnilisest taristust, õpilaste varasematest kogemustest, kasutatavatest printeritest ja töökorraldusest. Kuigi lisakatsetused praktikakoolis ja väikeses maakonnakoolis toetasid autori oma töö raames tehtud tähelepanekuid, ei võimalda need tulemusi üldistada kõigile Eesti põhikoolidele. Samas annavad need praktilist teavet selle kohta, milliseid tingimusi tuleb 3D printimise õppematerjalide kasutusele võtmisel arvestada.

Teiseks piiranguks on ekspertõpetajate väike arv. Kolme eksperdi vastused võimaldavad koguda sisukat tagasisidet kogenud õpetajatelt, kuid ei anna alust teha statistilisi üldistusi kõigi Eesti tehnoloogiaõpetuse õpetajate kohta. Käesoleva töö eesmärk ei ole siiski mõõta õppematerjalide mõju suure valimi põhjal, vaid hinnata loodud materjalide rakendatavust ja saada põhjendatud parendusettepanekuid.

Kolmandaks piiranguks on III kooliastme õppematerjalide katsetamise väike maht. Kuna disainiprotsessipõhised ülesanded on ajamahukamad, ei jõutud kõiki III kooliastmele kavandatud tegevusi täies mahus läbi proovida. Seetõttu on ekspertõpetajate tagasisidel üsna oluline roll just III kooliastme materjalide sobivuse ja edasiarendamise hindamisel.

4. Tulemused

Tulemuste peatükk koondab õppematerjalide arendamise, osalise katsetamise ja ekspertõpetajate tagasiside põhjal kujunenud järeldused. Tulemused on esitatud temaatiliste kategooriatena, mis seostuvad töö uurimisküsimustega ning näitavad, millised tingimused toetavad 3D printimise õppematerjalide kasutatavust põhikooli tehnoloogiaõpetuses.

4.1 Juhendite ajakohasus ja ülesandepõhisus

Õppematerjalide katsetamine näitas, et paremini toimisid juhised, mis vastasid oma sisult praeguse programmi vaatele ning keskendusid ühele konkreetsele töövõttele. Liiga mahukad videojuhised vähendasid õpilasel fookust ning õpetaja peab suure osa tunnist kulutama täiendavale selgitamisele. Samuti tõstis õpetaja koormust esimeste katsetuste perioodil vananenud sisuga videote kasutamine. Lühike ülesandepõhine videojuhis võimaldas õpilasel täpselt vajalikku töövõtet korrata ning sobis paremini ka eri tempos tegutsevate lastega töötamisel.

Ekspertide tagasiside kinnitas juhiste selguse olulisust. Esile toodi, et juhendid on arusaadavad ja etapid on näidetega selgitatud. Samas soovitati mõnel juhul lisada slaidide ja videote kõrvale ka samm - sammulisi prinditavaid juhendeid või kontrollnimekirju, mille järgi saaks õpilane vajaduse korral tööjärge hoida. Sellest võib järeldada, et videojuhised ja slaidid võiksid olla toetatud lühikeste töölehtedega, eriti nende õpilaste jaoks, kes vajavad tööprotsessi jälgimisel rohkem tuge.

4.2 Standardiseeritud töövoog ja digipädevuste areng

Õppematerjalide katsetamise käigus ilmnes, et 3D printimise õpetamine eeldab selget ja korduvat töövoogu. Mudeli loomine, loodud failile nime andmine, faili eksportimine, selle saatmine ja hiljem printimiseks ettevalmistamine peavad olema õpilasele arusaadavad ning klassis ühtselt kokku lepitud. Kui töövoog on ebamäärane, tekivad praktilised probleemid. Faile ei leita üles, printimistarkvaras avatakse valed failid ja kulub liiga palju aega üksikute õpilaste tehniliste vigade lahendamisele.

Autori tundides välja kujunenud failidega töötamise süsteem toetas õpilaste digipädevuste arengut ja vastutustunnet, sest õpilane pidi oma faili ise õigesti nimetama, e- kirja korrektselt saatma ning veenduma, et töö on hiljem printima saatmiseks leitav.

Ekspertide vastused toetasid arusaama, et 3D printimine peab olema seotud tervikliku tööprotsessiga. Õppekavaga kooskõla hindamisel nimetati positiivsena CAD programmi kasutamist, arvjuhitava seadmega töötamist ja failihaldust. Samuti toodi toetavana välja disainiprotsessi kirjeldav abimaterjal õpetajale ja 3D printimise kirjalik juhend.

Seega on tehnoloogiaõpetuse tundides oluline kogu protsessi läbimõeldud korraldus, mis aitab vähendada tehnilisi takistusi, toetab õpilaste iseseisvust ning muudab 3D printimise õppematerjalide kasutamise õpetaja jaoks sujuvamaks.

4.3 Erinev lähenemine kooliastmeti

Materjalide katsetamine kinnitas, et II ja III kooliastme jaoks ei ole otstarbekas kasutada sama õppeülesande loogikat. II kooliastmes vajavad õpilased rohkem juhendatud tegevusi, lühemaid samme ning selgelt piiritletud ülesandeid, mille kaudu omandada baasoskused. III kooliastmes on otstarbekam anda õppijatele enam autonoomiat ja siduda 3D printimine probleemilahendusliku ülesandega, mis eeldab disainiprotsessi etappidest selgemalt kinni pidamist (kasutajavajaduse mõtestamist, prototüüpimist ja oma valikute põhjendamist).

Kooliastmete vaheline didaktiline lähenemine ei erine üksnes tehnilise raskusastme muutmises. Oluline on ka see, millist tüüpi mõtlemist ja vastutust õppijalt oodatakse.

Ekspertide tagasiside kinnitas, et materjalid on üldjoontes eakohased ja jõukohased. Tinkercadist alustamist peeti sobivaks, kuid vanemates klassides soovitati edasijõudnud õpilastele pakkuda võimalust liikuda keerukamate programmide juurde. Samuti toodi välja, et ülesanded on eakohased ja huvitavad ning õpetaja juhendamise korral on nende raskusaste sobiv.

Sellest võib järeldada, et loodud materjalide kooliastmeline jaotus on põhjendatud. Samas võiks III kooliastme edasiarenduses pakkuda edasijõudnud õpilastele valikulisi lisaülesandeid või keerukama tarkvara kasutamise võimalust.

4.4 Metoodiline ja korralduslik tugi õpetajatele

Arendusprotsessi ja ekspertide tagasiside põhjal ilmnes, et 3D printimise õppematerjali kasutatavus ei sõltu ainult õpilasele suunatud juhistest. Sama oluline on õpetajale suunatud metoodiline ja korralduslik tugi. Õpetaja peab mõistma, kuidas tund üles ehitada, kuidas õpilaste töid hallata, kuidas printimise järjekorda korraldada ning mida teha tehniliste tõrgete või ajapuuduse korral.

Ekspertide vastused näitasid, et õpetajale suunatud juhendmaterjalid ja videojuhised annavad alustavale õpetajale tuge. Positiivsena toodi esile, et materjalid on praktilised, äratavad huvi ja annavad õpetajale võimaluse teemaga alustada. Samas soovitati lisada slaidide juurde õpetajale mõeldud juhiseid, mida igale slaidile juurde rääkida, et anda varasema 3D printimise õpetamise kogemusega õpetajale rohkem enesekindlust teemadega alustamisel.

Seetõttu võiks õppematerjale edasi arendades lisada slaididele õpetajale mõeldud märkmed, milles on kirjas iga slaidi eesmärk, soovituslik selgitus ja võimalikud küsimused õpilastega koos arutamiseks.

4.5 Tehnilise taristu mõju õppematerjali tõhusale kasutatavusele

Uurijapäeviku põhjal selgus, et tehnilise masinapargi valmisolek mõjutab õppimise kvaliteeti rohkem, kui esmapilgul arvata võiks. Kui tehnoloogiaklassis ei ole võimalik printimisel avastatud vigu kohe parandada, katkeb töövoog ning õppija motivatsioon võib langeda ja õpetaja koormus tõuseb. Seetõttu osutus oluliseks tähelepanek, et tehnoloogiaklassis peaks olema vähemalt mõni sülearvuti kiireteks parandusteks ja muudatusteks.

Samuti ilmnes, et printerite kasutamine peab olema kooli poolt hallatav, mitte seotud ühe õpetaja isikliku kontoga. Eraldi tehnoloogia e-posti aadress ja selle sidumine printimiskeskonnaga osutus praktiliseks lahenduseks, sest see võimaldas välja arendada süsteemi, mida saavad sama tööloogika järgi töötades kasutada ka teised õpetajad. Tunni kulgu mõjutasid arvutite kättesaadavus (broneerimissüsteemid), kasutatavate printerite töökindlus, printimistarkvara olemasolu, õpilaste ligipääs modelleerimiskeskondadele ning isegi hiirte olemasolu sülearvutite juures.

Ekspertide vastustes nimetati sujuva kasutamise eeldustena arvutiklassi või arvutite olemasolu, sobivat tarkvara, printerite kättesaadavust ja piisavat aega. Samuti rõhutati, et suurema klassi puhul võib kõigi tööde printimine olla ajamahukas ning, et printereid võiks olla rohkem kui üks. Praktiliste takistustena nimetati ligipääsu arvutiklassile, broneerimisvõimaluste piiratust, õpilaste kooli e-posti konto olemasolu, ruumipuudust, printeri puudumist või vähest arvu, rahalisi piiranguid ja juhtkonna vähest tuge.

Vastused näitavad, et 3D printimise rakendamine ei ole üksnes tehnoloogiaõpetuse õpetaja metoodiline otsus, vaid sõltub kooli tehnilistest ja korralduslikest tingimustest. Seetõttu võiks õppematerjalide juurde kuuluda ka selge kirjeldus minimaalsetest või soovituslikest vahenditest ja muudest tehnilistest detailidest 3D printimisega alustamisel.

4.6 Ekspertide hinnang õppematerjalide tugevustele ja arendusvajadustele

Ekspertide üldhinnang õppematerjalidele oli valdavalt positiivne. Tugevustena nimetati juhendmaterjalide, õppevideote ja pildimaterjalide olemasolu, disainiprotsessi selget käsitlemist ning materjalide konkreetset. Toodi esile, et materjalide komplekt tekitab huvi ja annab õpetajale võimaluse teemaga alustada.

Arendusvajadustena ilmnesid eelkõige kolm suunda. Esiteks vajavad materjalid õpetajale suunatud lisaselgitusi, eriti juhul, kui õpetajal ei ole varasemat 3D printimise kogemust. Teiseks tuleks lisada või täpsustada tehnilisi eeldusi: millist arvutiparki, tarkvara, printerite arvu, ruumi ja ajakava materjalide kasutamine eeldab. Kolmandaks võiks materjalide juurde lisada diferentseerimise võimalused, näiteks lisaülesanded kiirematele õpilastele ja lihtsamad kontrollnimekirjad neile, kes vajavad rohkem juhendamist.

Ekspertide vastuste põhjal saab välja tuua ka laiemad ettepanekud 3D printimise õpetamise toetamiseks Eesti üldhariduskoolides. Nimetati rahastuse leidmise vajadust, õpetajates huvi äratamist, praktiliste näidistundide pakkumist, üleriigilise võistluse või projektikonkursi korraldamist ning koolijuhtide huvi suurendamist. Need ettepanekud osutavad, et õppematerjalide kasutuselevõttu toetavad lisaks materjalide kvaliteedile ka koolipidaja otsused, õpetajate koolitusvõimaluste olemasolu ja 3D printimise nähtavaks muutmine õpilastele ning õpetajatele.

Arutelu

Käesoleva töö tulemused näitavad, et 3D printimise õppematerjalide väärtus seisneb eelkõige nende terviklikkuses. 3D printimise õpetamine ei tähenda ainult modelleerimisprogrammide või printeri kasutamise õpetamist, vaid kogu tööprotsessi kavandamist, mis sisaldab probleemi mõistmist, lahenduse disainimist, digitaalse mudeli loomist, failide korrektset haldamist, printimiseks ettevalmistamist ning valminud tööde analüüsimist. Selline lähenemine seostub tehnoloogiaõpetuse põhimõttega liikuda ideest teostuseni ning toetab õppija aktiivset rolli (PRÕK, 2023).

Tulemused näitavad, et 3D printimise rakendamine tehnoloogiaõpetuses ei sõltu ainult seadme olemasolust, vaid õppematerjali didaktilisest ülesehitusest, töövoo selgusest ning õpetaja metoodilisest toest. See järeldus haakub rahvusvahelise kirjandusega, kus rõhutatakse, et 3D modelleerimise ja printimise tõhus lõimimine eeldab ühtaegu tehnoloogiliste, pedagoogiliste ja ainealaste teadmiste ühendamist ning realistlikku tuge õpetajale (Tejera et al., 2025).

Töö tulemused kinnitavad ka UNESCO (2023) tähelepanekut, et tehnoloogia toetab õppimist siis, kui see on seotud sisulise õppetegevusega ja kui õpetajal on kasutada piisavalt tugistruktuure. Käesolevas arendusuuringus väljendus see eelkõige vajaduses hoida videojuhised lühikesed, siduda need konkreetse ülesandega, kujundada klassi jaoks selge failide haldamise süsteem ning pakkuda õpetajale kasutamiseks tunnikonspekte, slaidikavasid ja toetavaid lisamaterjale.

Tehnoloogiaõpetuse vaates on oluline, et loodud materjalid ei taandaks 3D printimist eraldiseisvaks digioskuseks. Õppematerjalide ülesehitus seob 3D modelleerimise ja 3D printimise disainiprotsessi etappidega, milleks on probleemi märkamine ja uurimine, lahenduste välja pakkumine, kavandamine ja prototüüpimine, tööprotsessis tehtud valikute põhjendamine ning reflekteerimine. Sellises raamistikus saab 3D printimine toetada tehnoloogiapädevuse, loovuse ja probleemilahenduoskuse arengut.

Töö tulemused osutavad ka tehnilise taristu rollile. Kui koolis puuduvad sobivad arvutid, 3D printerid, vajalik tarkvara ja selle juurde süsteemselt loodud töökorraldus, on õppematerjalide kasutamine raskendatud isegi siis, kui materjalid ise on sisuliselt sobivad. Seetõttu peaks õppematerjalide lõplik komplekt sisaldama lisaks tunnikavadele ja juhistele ka soovituslikku töökorralduse kirjeldust ning minimaalsete vajaminevate vahendite ja lahenduste loetelu. See aitaks õpetajal enne tundide läbiviimist hinnata, kas kooli tehniline ja ajaline ressurss toetab kavandatud tegevusi.

Autori hinnangul on 3D printimise käsitlemine tehnoloogiaõpetuses uuesti aktuaalne ja vajalik. Üheks põhjuseks võib pidada seda, et 3D printerid, modelleerimistarkvarad ja nendega töötamine on muutunud koolide jaoks kättesaadavamaks, kasutajasõbralikumaks ning õpilastega töötamiseks sobivamaks kui varasematel perioodidel. Seetõttu ei näi peamine väljakutse seisnevat üksnes uute tunnikavade või ideede puudumises, vaid pigem selles, kuidas juba loodud või loodavaid õppematerjale õpetajateni viia ning kuidas muuta need hõlpsasti leitavaks, kohandatavaks ja klassiruumis kasutatavaks. Käesoleva töö tulemused osutavad samuti, et materjali praktiline väärtus avaldub alles siis, kui see on seotud selge töökorralduse, tehnilise valmisoleku ja õpetajale suunatud toega.

Edasistes uurimustes võiks seetõttu keskenduda õppematerjalide leviku ja jagamise keskkondadele. Näiteks oleks võimalik uurida, milliseid õppematerjalide keskkondi tehnoloogiaõpetuse õpetajad praegu kasutavad, milliseid lahendusi nad 3D printimise õpetamise puhul kõige enam vajavad ning millised tingimused toetaksid materjalide süsteemsemat jagamist ja kasutuselevõttu. Nii võiks 3D printimise õpetamise arendamine

liikuda üksikute materjalide loomiselt edasi nende teadlikuma levitamise ja kasutajatest lähtuva süstematiseerimise suunas.

Kokkuvõtvalt näitavad töö tulemused, et 3D printimise süsteemsem kasutuselevõtt tehnoloogiaõpetuses eeldab lisaks seadmete olemasolule ka õpetajat toetavaid, õppekavaga seotud ja praktiliselt kasutatavaid õppematerjale. Loodud õppematerjalid toetavad II ja III kooliastmes 3D modelleerimise, disainiprotsessi ja printimise töövoo mõtestatud õpetamist, kuid nende tõhus rakendamine sõltub ka kooli tehnilisest valmisolekust, läbimõeldud töökorraldusest ja materjalide edasisest jagamisest õpetajate kogukonnas.

Tänuõnad

Soovin tänada oma magistritöö juhendajat Mart Soobikut toetuse ja juhendamise eest magistritöö kirjutamise perioodil. Tänan ekspertõpetajaid, kes leidsid võimaluse ja aja, et anda loodud õppematerjalidele väärtuslikku tagasisidet.

Südamlikud tänud kogu minu armsale perele igakülgse toetuse ja kannatlikkuse eest õpingute ajal ning magistritöö valmimise perioodil.

Autorsuse kinnitus

Kinnitan, et olen koostanud ise käesoleva lõputöö ning toonud korrektselt välja teiste autorite ja toetajate panuse. Töö on koostatud lähtudes Tartu Ülikooli Viljandi kultuuriakadeemia lõputöö nõuetest ning on kooskõlas heade akadeemiliste tavadega.

Triinu Roosvalt /allkirjastatud digitaalselt/

14.05.2026

Allikad

- Andić, B., Ulbrich, E., Dana-Picard, T. (Noah), Cvjetičanin, S., Petrović, F., Lavicza, Z., & Maričić, M. (2023). A Phenomenography Study of STEM Teachers' Conceptions of Using Three-Dimensional Modeling and Printing (3DMP) in Teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 32(1), 45–60. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10005-0>
- Assante, D., Cennamo, G. M., & Placidi, L. (2020). *3D Printing in Education: An European perspective*. 1133–1138. <https://doi.org/10.1109/EDUCON45650.2020.9125311>
- Branko, A., Šorgo, A., Helm, C., Weinhandl, R., & Lang, V. (2023). Exploring Factors Affecting Elementary School Teachers' Adoption of 3D Printers In Teaching. *TechTrends*, 67(6), 990–1006. <https://doi.org/10.1007/s11528-023-00909-y>
- Crump, S. S. (1984). *S. Scott Crump Inventions, Patents and Patent Applications—Justia Patents Search*. <https://patents.justia.com/inventor/s-scott-crump?page=3>
- Designcouncil. (s.a.). *The Double Diamond—Design Council*. Salvstatud 29. märts 2026 <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/>
- Easterday, M. W., Rees Lewis, D. G., & Gerber, E. M. (2018). The logic of design research. *Learning: Research and Practice*, 4(2), 131–160. <https://doi.org/10.1080/23735082.2017.1286367>
- Fokides, E., & Lagopati, G. (2024). The Utilization of 3D Printers by Elementary-Aged Learners: A Scoping Review. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 23, 006. <https://doi.org/10.28945/5288>
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131–150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- HARNO. (2025, juuni 16). *Tiigrihupe Pluss ehk õpetajalt õpetajale—Hariduse tehnoloogiakompass*. Hariduse tehnoloogiakompass. <https://kompass.harno.ee/tiigrihupe/>
- Huang, C.-Y., & Wang, J. C. (2022). Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model

- course. *Computers & Education*, 187, 104553.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104553>
- Hull, C. (1986). 03-11-1986: Chuck Hull was granted a patent for stereolithography.
<https://www.3dprintingjournal.com/p/03-11-1986-chuck-hull-was-granted>
- Metsärinne, M., Salonen, A., Kallio, M., Virta, K., & Hilmola, A. (2024). Outlining technical craft as technology and engineering education in Finnish school craft. *International Journal of Technology and Design Education*, 35(4), 1345–1373.
<https://doi.org/10.1007/s10798-024-09950-1>
- Molenda, M. (2003). In search of the elusive ADDIE model. *Performance Improvement*, 42, 34–36. <https://doi.org/10.1002/pfi.4930420508>
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- Pearson, H. A., & Dubé, A. K. (2022). 3D printing as an educational technology: Theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. *Education and Information Technologies*, 27(3), 3037–3064. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7>
- Pearson, H., & Dube, A. (2022). 3D printing as an educational technology: Theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. *Education and Information Technologies*, 27. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7>
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43.
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- PRÕK. (2023). *Põhikooli riiklik õppekava–Riigi Teataja*.
<https://www.riigiteataja.ee/akt/110082024002>
- PRÕK, Lisa 7. (s.a.). Salvestatud 28. märts 2026
https://www.riigiteataja.ee/akt/lisa/1100/8202/4002/18m_pohi_lisa7.pdf#
- Runnel, P., Pruulmann-Vengerfeldt, P., & Reinsalu, K. (2009). The Estonian Tiger Leap from Post-Communism to the Information Society: From Policy to Practice. *Journal of Baltic Studies*, 40(1), 29–51. <https://doi.org/10.1080/01629770902722245>
- Soobik, M. (2013). Physical Learning Environment and its Suitability to the Objectives of Technology Education. *Journal of Technology Education*, 25(1).

- Tamm, A. (s.a.). 3. *Nüüdisaegse õpikäsituse põhiprintsiibid – Nüüdisaegne õpikäsitus*. Salvestatud 21. jaanuar 2026 <https://sisu.ut.ee/opikasitus/nuudisaegse-opikasituse-pohiprintsiibid/>
- Tartu Ülikooli Eetikakeskus. (2023, märts 4). *Hea teadustava* | Tartu Ülikool. <https://eetika.ee/et/sisu/hea-teadustava>
- Tejera, M., Galiç, S., & Lavicza, Z. (2025). 3D Modelling and Printing in Teacher Education: A Systematic Literature Review. *Journal for STEM Education Research*. <https://doi.org/10.1007/s41979-025-00147-2>
- The Design-Based Research Collective. (2003). Design-Based Research: An Emerging Paradigm for Educational Inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- UNESCO. (2023). *Barriers and supports for technology integration: Views from teachers*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386070.locale=enVV2011_m1_lisa7_2025.pdf#. (s.a.). Salvestatud 21. jaanuar 2026 https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1231/2202/5006/VV2011_m1_lisa7_2025.pdf#
- Wang, F., & Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5–23. <https://doi.org/10.1007/BF02504682>
- Õunapuu, L. (2014). *Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes*. Tartu: Ülikooli Kirjastus. Külastatud aadressil: <https://dspace.ut.ee/server/api/core/bitstreams/3538e168-6012-4e90-8484-4bb59be8b14a/content>

LISAD

Lisa 1. Ekspertõpetajate küsimustik

Ekspert hinnang - 3D printimise õppematerjalid üldhariduskooli II ja III kooliastmele

Altäh, et olete nõustunud hindama minu poolt loodud 3D printimise teemalist õppematerjali II ja III kooliastmele. Küsimused on avatud vastustega. Palun tooge vastates konkreetseid näiteid (näiteks tunnietapp, slaid, video nimi). Kõik vastused on anonüümsed ja neid kasutatakse vaid magistrirõõ raames läbiviidava uuringu eesmärgil.

* Viitab kohustuslikule küsimusele

1. Taustainfo

1. 1.1. Teie õpetamiskogemus tehnoloogiaõpetuses (aastates) *

2. 1.2. Millistes kooliastmetes õpetate tehnoloogiaõpetust? *

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ II kooliastmes
☐ III kooliastmes
☐ II ja III kooliastmes
☐ Muu:
—

3. 1.3. Kui suur on Teie kogemus 3D printimise õpetamisega *

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ puudub
☐ vähene
☐ regulaarne
☐ Muu:
—

2. Vastavus õppekavale ja sobivus tehnoloogiaõpetuse ainetundidesse

4. 2.1. Millisel määral on Teie hinnangul loodud materjalid kooskõlas tehnoloogiaõpetuse eesmärkide ja õpitulemustega II ja III kooliastmes? Palun tooge 2 - 3 konkreetset näidet, mis on väga hästi kooskõlas ja mis vajab täpsustamist. *

5. 2.2. Kas II kooliastme ja III kooliastme ülesanded on ea- ja jõukohased? Mis osad on liiga lihtsad/keerulised ning kas ja kuidas soovitate raskusastet reguleerida? *

6. 2.3. Kui selgelt on disainiprotsessi etapid materjalides nähtavad ja arusaadavad õppijale? Millises etapis vajaks materjal Teie hinnangul rohkem juhendeid või tööriistu? *

7. 2.4. Kui realistlik on Teie hinnangul materjalide läbimise ajakava tavapärasel koolitunnis (paaristunnid 2x45 min)? Kus võib tekkida Teie hinnangul kõige suurem ajarisk ja kuidas seda lahendada? *

8. 2.5. Kas hindamine toetab Teie hinnangul õpiesmärkide saavutamist? Mida peaks hindamises muutma või juurde lisama? *

3. Täiendused ja soovitused

9. 3.1. Millised tingimused (seadmed, ruum, arvutid, printerite arv, ajakava jne) peavad Teie hinnangul olema täidetud, et neid materjale saaks sujuvalt kasutada? *

10. 3.2. Millised on Teie hinnangul suurimad praktilised takistused 3D printimise tundide läbiviimisel? Palun pakkuge iga takistuse juurde vähemalt üks lahendus, mida saaks materjalidesse lisada. *

11. 3.3. Kas õpetajale suunatud juhendmaterjalid ja videojuhised annavad Teie hinnangul piisava toe õpetajale, kes pole varem 3D printimise tunde läbi viinud? Mida soovitaksite materjalidesse lisada? *

12. 3.4. Mis muudaks Teie hinnangul selle õppematerjali selliseks, et õpetajad üle Eesti tahaksid ja saaksid seda kasutada? *

13. 3.5. Palun kirjutage 3 konkreetset muudatust või täiendust, mis Teie arvates suurendaksid kõige rohkem materjalide kasutatavust ja aitaksid 3D printimisega seotud õpet Eesti üldhariduskoolides toetada. *

4. Üldhinnang

14. 4.1. Mis on Teie hinnangul selle õppematerjali 2 tugevust ja 2 nõrkust (lühidalt, kuid konkreetsete näidetega)? *

5. Muud tähelepanekud

15. Kas on midagi olulist, mis jäi eelnevates küsimustes küsimata? Palun lisage oma mõtted siia:

Lisa 2. II kooliastme paaristundide tunnikavad, slaidid, õppevideod ja hindamismudel

Tunnikava (1. paaristund)

Teema: Sissejuhatus 3D printimisse ja esimese 3D mudeli loomine (võtmehoidja)

Kestus: 2 × 45 min

Tunni eesmärk: Õpilane saab esmase kokkupuute/arusaama 3D printimisest ning loob Tinkercad keskkonnas oma esimese lihtsa 3D mudeli.

Õpitulemused: Õpilane:

- selgitab lihtsustatult 3D printimise põhimõtteid
- nimetab erinevaid tehnoloogiaid ja nende kasutusvaldkondi
- kasutab digitehnoloogilisi vahendeid 3D mudeli loomiseks
- loob lihtsa 3D mudeli (võtmehoidja)
- osaleb arutelus ja väljendab oma ideid

(Seos teemaplokkidega: disainmõtlemine, arvjuhitavad tööpingid)

Mõisted: 3D printimine, FDM/FFF, mudel, modelleerimine, prototüüp, filament, kiht-kihiline tootmine (additive manufacturing)

Eeltegevused õpetajale:

- kontrollib arvutite toimimist ja interneti olemasolu
- valmistada ette Tinkercad konto, klassid, klassile ülesannete kaustad

Tinkercad konto ja klasside loomise juhendvideo: <https://youtu.be/usNjRwnOADI>

- Tutvub slaididega ja veendub, et slaide saab õpilastele tunnis kuvada
- Kontrollida üle 3D printer (tehniline pool ja filamentide olemasolu)
- varub õpilastele klassi märkmete ja visandite tegemiseks paberit

Kujundatavad üldpädevused:

- Digipädevus: 3D modelleerimine
- Õpipädevus: info kogumine ja analüüs (video + arutelu)
- Suhtluspädevus: paarisarutelu

Hindamine:

Õpetaja jälgib õpilaste osalemist aruteludes, osalemist praktilises tööprotsess, kontrollib valminud mudeleid.

Tunni fookus ei ole täiuslik tulemus, vaid:

- disainiprotsessi mõistmine
- katsetamine
- esimese positiivse kogemuse loomine

Tunni käik:

Aeg	Tunni osa	Õpetaja tegevus	Õpilaste tegevus
I paaristund			
3 min	Sissejuhatus	Tutvustab tunni teemat ja eesmärgi (kasutab tunni struktuuri toetamiseks slaidiesitust)	Kuulavad, seostavad varasemate teadmistega
8 min	Uue teema avamine	Selgitab 3D printimise olemust ja tehnoloogiaid (slaidid)	Kuulavad, esitavad küsimusi
24 min	Video + märkmed	Suunab videot vaatama ja annab juhised märkmete tegemiseks	Vaatavad videot, teevad märkmeid
10 min	Kokkuvõte	Kuulab õpilaste mõtteid ja ideid, täpsustab arusaamu	Arutlevad paaris, jagavad mõtteid, osalevad ühises arutelus.
II paaristund			
5 min	Ohutus	Selgitab 3D printeri ohutusreegleid	Kuulavad, küsivad
10 min	Tinkercad tutvustus	Näitab keskkonda ja põhitööriistu. Video vaatamine ja individuaalne juhendamine.	Jälgivad ja proovivad
25 min	Praktiline töö	Juhendab võtmehoidja modelleerimist	Loovad oma mudeli
5 min	Kokkuvõte	Annab tagasisidet, suunab lõpetama	Salvestavad töö, jagavad kogemust

3D printimine Sissejuhatus

Triinu Roosvalt
2026

Mis on 3D printimine?

3D printimine on kolmemõõtmelise mudeli valmistamine kiht-kihilt materjali lisades (additive manufacturing). Printimiseks on vajalik digitaalselt loodud 3D mudel.

Erinevad tehnoloogiad

SLA tehnoloogia (vaiguprintimine)

- Vedel vaik on anumaski
- UV valguse toimele kõvastatakse kiht-kihilt vaiku
- Tulemus on väga sile ja detailne
- Ei vaja lisatugesid
- Vajab peale printimist järel töötlust



Foto: lemona.ee

Erinevad tehnoloogiad

SLS tehnoloogia (metalliprintimine)

- Metallipulber laotatakse kihtidena
- Laser keevitab igas kihis vajalikud kohad
- Pulber toetab eset
- Saab printida väga tugevaid detaile
- Sageasti kasutusel lennunduses ja meditsiinis



Foto: prolab.taltech.ee

Erinevad tehnoloogiad

FDM/FFF tehnoloogia
(plastikfilamentidega printimine)

- Materjal sulatatakse
- Printer lisab kiht-kihilt sulatatud materjali
- Kihtidest tekib kolmemõõtmeline ese
- Soodne lahendus
- Hea prototüüpide loomiseks



Foto: pood.3dkoda.com

Sissejuhatav video

Vaatame videot ja teeme märkmeid.

Kirjuta või joonista video vaatamise ajal paberile:

- uusi teadmisi ja üllatavaid fakte
- infot mis jäi segaseks
- asju, mida soovid ise kindlasti proovida

Sissejuhatav video Bambu Lab näitel:

<https://www.youtube.com/watch?v=f94CnIQ0eq4>

Arutelu paarides

Jaguneme paaridesse ja jagame kaaslastele, mida sain teada

- Kas sa panid tähele(näiteks sellist infot)?
- Kas said ka nii aru, et
- Soovin juhtida tähelepanu
- Jaga kaaslasega ka oma varasemat kogemust seoses 3D printimisega.

Ohutusreeglid 3D printeriga töötades

- Kuumad osad- düüs ja alusplaat printimise ajal kuumenevad

PÕLETUSE OHT!

- Liikuvad osad- töötava printeri lähedusse/sisse ei pane midagi

OHT VIGASTUSTELE!

- Ventilatsioon- ruum peab olema hästi õhutatud

KEMIKAALIDE SISSE HINGAMISE OHT!

3D mudeli loomine

Selleks, et 3D printeriga printida vajame digitaalselt modelleeritud 3D mudelit.

Kasutame modelleerimiseks Tinkercad keskkonda.

Video - Tinkercadi sisse logimine klassikoodiga:

<https://youtu.be/NIUHMgjIif4>

Esimene lihtne 3D mudel

Modelleerime täna oma esimese lihtsa 3D mudeli, milleks on võtmehoidja.

Vaatame ära alljärgneva video ja asume oma mudeleid looma.

Video – Sissejuhatus Tinkercadi ja võtmehoidja:

<https://youtu.be/qnLf0odZRU0>

Võtmehoidja modelleerimine

- **Kasuta baaskujundeid** (kuup, silinder, täht, süda)
- Tee silindri abil võtmehoidjale **auk**
- **Kasuta** oma töös **teksti** või üksikuid tähti
- **Grupeeri** töö
- Teosta tööle **vahekontroll**
- Tinkercad salvestab töö automaatselt
- Tööd saad edaspidi jätkata kui valid mudeli juures "Tinker this"

Slaididel olevad, autori poolt loodud, õppevideod:

Tinkercadi sisse logimine klassikoodiga: <https://youtu.be/NIUHMgjIif4>

Sissejuhatus Tinkercadi ja võtmehoidja: <https://youtu.be/qnLf0odZRU0>

Tunnikava (2. paaristund)

Teema: 3D mudeli printimine ja uue toote disainimine (järjehoidja)

Kestus: 2 × 45 min

Tunni eesmärk:

Õpilane õpib valmistama 3D printimiseks sobivat faili, käivitama printimisprotsessi ning rakendab disainmõtlemise mudelit uue toote (järjehoidja) kavandamisel.

Õpitulemused:

Õpilane:

- elgitab 3D printimise protsessi
- valmistab ette mudeli printimiseks
- mõistab G-koodi rolli
- kasutab juhendamisel 3D printimise tarkvara
- rakendab disainiprotsessi etappe uue toote loomisel
- visandab ja põhjendab oma ideid

Mõisted: .stl fail, slicer, G-kood, kihi paksus(layer height), filament, printimisplaat/alusplaat

Eeltegevused õpetajale:

- kontrollida Bambu Studio toimimist
- kontrollida printeri valmisolekut
- panna valmis/avada videod ja slaidid

Kujundatavad üldpädevused:

- Digipädevus: slicer tarkvara kasutamine
- Õpipädevus: uue info rakendamine (.stl faili printima saatmine)
- Suhtluspädevus: ideede jagamine kaasõppijatega

Hindamine:

Õpetaja jälgib õpilaste osalemist arutelus ja ideeloomes, aktiivset visandamist. Annab tegevustele tagasisidet.

Tunni keskmes on disainiprotsessi teadlik kasutamine ja praktilist oskuste areng.

Tunni käik:

Aeg	Tunni osa	Õpetaja tegevus	Õpilaste tegevus
I paaristund			
5 min	Sissejuhatus	Seob eelmise tunniga (mudel valmis, mis edasi?)	Kuulavad, meenutavad, seostavad varasemate teadmistega
10 min	.stl fail	Näitab videot, kuidas mudel eksportida ja saata. Juhendab individuaalselt.	Ekspordivad oma töö
15 min	Printimise tutvustus	Selgitab printimise protsessi ja tarkvara loogikat. Juhendab seadistusi.	Kuulavad, vaatavad, teevad kordamööda praktiliselt läbi.
15 min	Printimise saatmine	On pigem vaatleja rollis, laseb õpilastel tegutseda, jälgib tööohutust.	Käivitavad printimise protsessi. Vaatavad printeri tööd.
II paaristund			
10 min	Disainiprotsessi mudeli etappide meenutamine	Näitab mudelit ja seob etappidega	Osalevad arutelus
10 min	Probleemi avamine	Suunab küsimustega (kellele? milleks?)	Mõtlevad, arutlevad
15 min	Ideede loomine	Juhendab ajurünnakut ja visandamist	Loovad ideid, visandavad
10 min	Kokkuvõte	Annab suuna järgmiseks tunniks	Esitlevad vabas vormis oma ideid.

Praktiline 3D printimine ja disainiprotsessi mudel

Triinu Roosvalt
2026

Printerile arusaadava faili loomine

Tänases tunnis saame teada, kuidas printida oma modelleeritud 3D mudelid.

Esiteks vaatame, kuidas salvestada .stl faili ja seda tehnoloogia klassi e-posti aadressile saata.

Video - .stl fail ja selle saatmine:

<https://youtu.be/BBslnrR4fDI>

BambuStudios faili avamine ja printimine

Kui oleme oma mudelitest .stl failid alla laadinud, saame tööd saata printima.

Video- BambuStudios mudeli printimine:

<https://youtu.be/okedlq-P9eE> 

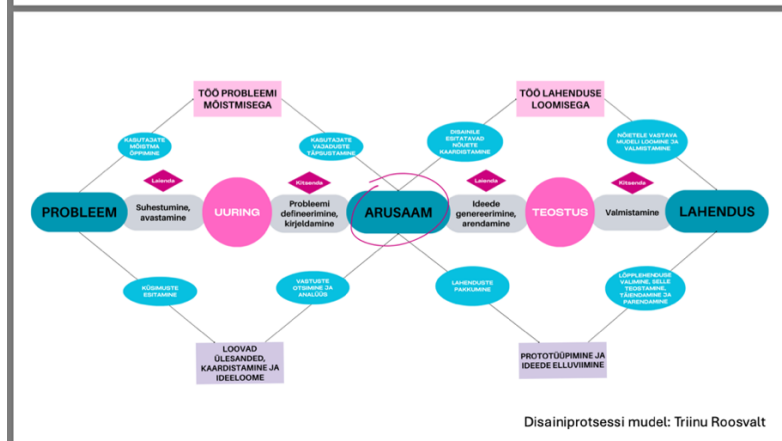
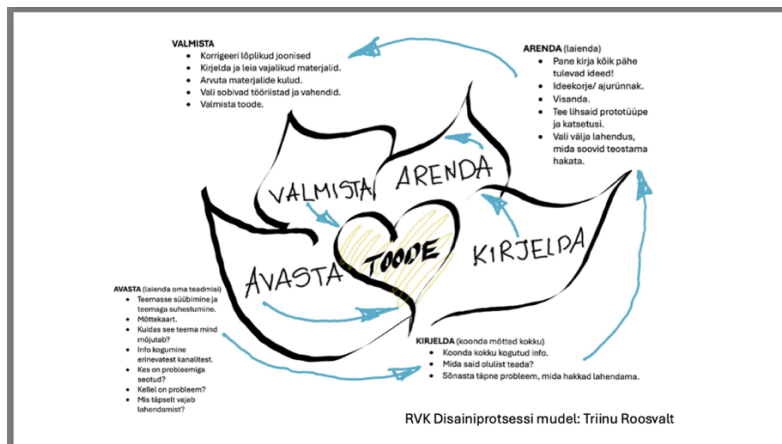
(3D printerite töö vaatlemine)

Uue mudeli disain

Järgmiseks on meie ülesanne luua **raamatule järjehoidja**. Selleks, et disainid hästi õnnestuksid, planeerime nende loomist läbi disainiprotsessi mudeli.

Tuletame meelde, **millistest etappidest disainiprotsess koosneb**.

Kaardistame, millised teadmised on meil lahenduse loomiseks juba olemas ja mida on vaja veel juurde uurida.



Kaardista andmeid/ pane kirja/ joonista

- **Kellele** lood järjehoidja? (Endale, sõbrale, emale, väiksele õele, 3.c klassi õpilasele, vanaisale, matemaatika õpetajale?)
- Mis on tema **huvid**? Mis võiks olla järjehoidja temaatika?
- **Milliseid funktsioone** peaks järjehoidja täitma? (Kas hoidma järge? Aitama lugedes rida hoida? Või veel midagi?)
- **Visanda** tekkinud mõtteid paberile

Võta kõik kirja saanud mõtted ja joonised järgmisse tundi kaasa!

Slaididel olevad, autori poolt loodud, õppevideod:

.stl faili salvestamine ja saatmine: <https://youtu.be/BBslnrR4fDI>

BambuStudios mudeli printimine: <https://youtu.be/okedlq-P9eE>

Kirjalik juhend – esimene print BambuStudios

Esimene print BambuStudios

Juhendmaterjal on koostatud Bambu Lab Academy õppematerjalide baasil.

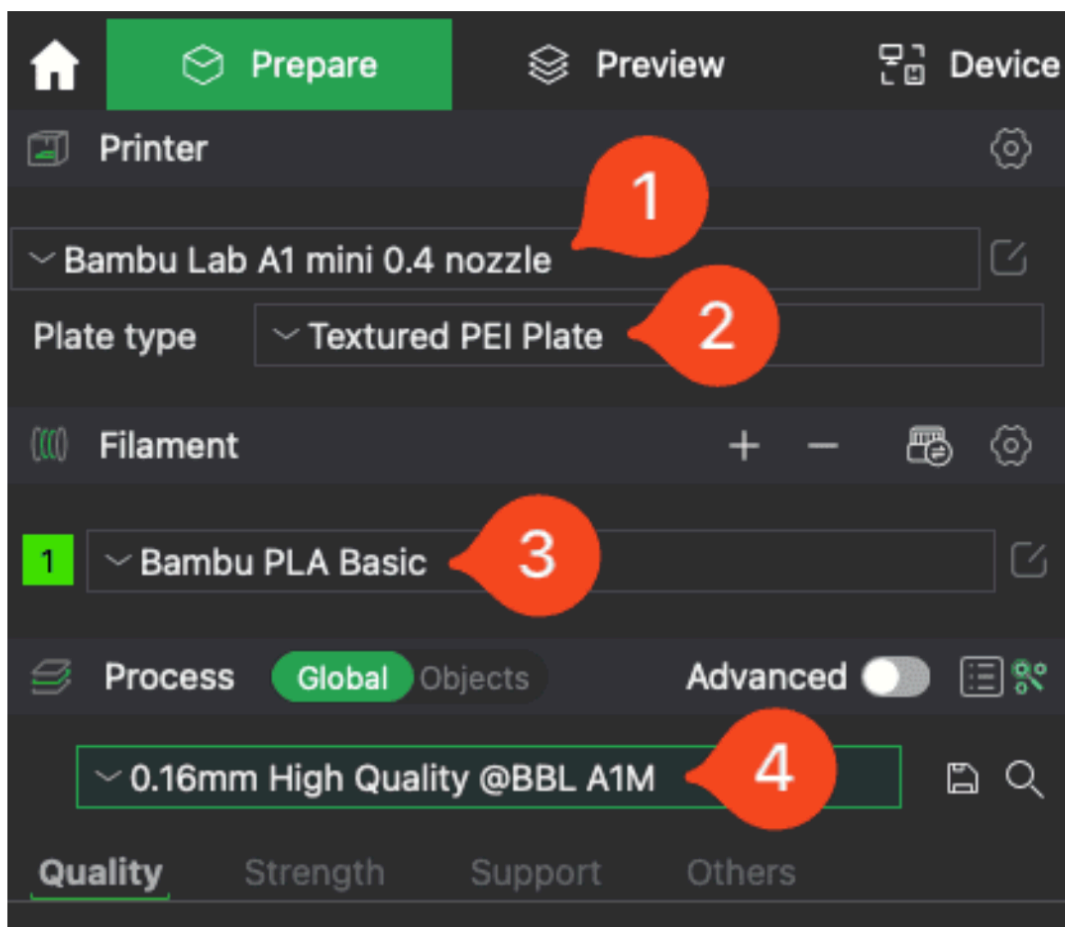
Allikas: <https://bambulab.com/en/support/academy>

- Lae alla printimiseks vajalik .stl fail oma loodud mudelist
- Ava BambuStudio keskkond

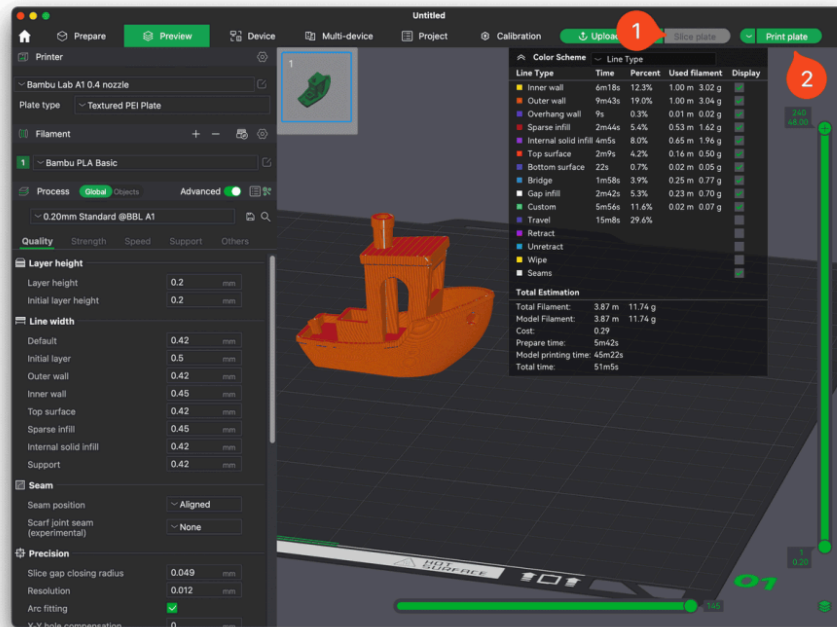
Bambu Studio tarkvaral on palju seadistusvõimalusi, mis võimaldavad sul täpselt määrata, kuidas printimine toimuma hakkab.

Sinu tehtud valikute järgi koostab programm G-koodi, mis lisatakse viilutatamise(slicer) faili ning saadetakse printerisse.

- 1) Vali printer, millega soovid mudelit printida, ning sobiv düüsi (nozzle) suurus (vaikimisi on 0,4 mm).
- 2) Vali printimisplaat (build plate), mis sobib kasutatava materjaliga.
- 3) Vali materjali/filamendi tüüp ja värv.
- 4) Vali kihi kõrgus (layer height). Väiksem kihi kõrgus annab detailsema tulemuse, kuid pikendab printimise aega.

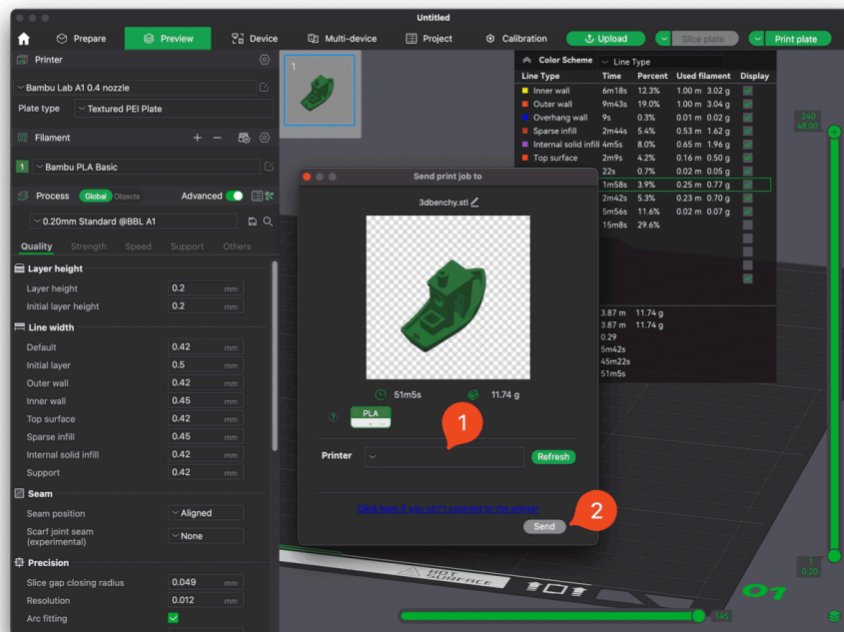


- 1) Kui kõik on valmis, klõpsa nuppu **Slice plate** (viiluta). Algab faili ettevalmistamine ja programm koostab **.gcode** faili, millest saab aru printer.
Viilutamisprogramm (slicer) kuvab seejärel teabe selle kohta, kui kaua mudeli printimine aega võtab, kui palju filamenti kulub ja muud täpsemad andmed.
- 2) Mudeli saatmiseks printerisse ja printimise alustamiseks klõpsa nuppu **Print plate**.



Avaneb uus aken:

- 1) Vali nimekirjast printer.
- 2) Klõpsa nuppu **Send (saada)**.



Tunnikava (3. paaristund)

Teema: Järjehoidja modelleerimine

Kestus: 2 × 45 min

Tunni eesmärk:

Õpilane modelleerib Tinkercad keskkonnas iseseisvalt oma disainitud järjehoidja, lähtudes kasutaja vajadustest ja disainiprotsessi etappidest.

Õpitulemused:

Õpilane:

- rakendab disainiprotsessi mudelit praktilises ülesandes
- loob digitaalse 3D mudeli vastavalt kavandile
- arvestab kasutaja vajadustega disaini loomisel
- kasutab modelleerimistarkvara eesmärgipäraselt

Mõisted: kasutajaprofiil, disaininõuded, vektorgraafika

Kujundatavad üldpädevused:

- Digipädevus: 3D modelleerimine
- Õpipädevus: varasema info rakendamine
- Enesemääratluspädevus: oma valikute tegemine
- Loovus ja ettevõtlikkus: isiklik disainilahendus

Hindamine:

Õpetaja hindab mudeli vastavust ideele, tööprotsessis osalemist ja iseseisvust, disaini läbimõeldust (kasutaja arvestamine).

Tunni fookus ei ole täiuslik tulemus, vaid disainiprotsessi mõistmine

Tunni käik:

Aeg	Tunni osa	Õpetaja tegevus	Õpilaste tegevus
I paaristund			
5 min	Sissejuhatus	Seob tunni eelmise tunniga	Meenutavad oma ideid
10 min	Kasutaja profiil	Suunab analüüsimise kellele ja milleks.	Täpsustavad oma ideid
10 min	Disainietapp	Suunab videot vaatama ja annab juhised märkmete tegemiseks	Vaatavad videot, teevad märkmeid
20 min	Modelleerimise alustamine	Näitab video abil töö alustamist	Alustavad modelleerimisega
II paaristund			
5 min	Tunni fookus	Tuletab meelde eesmärgi (valmiv mudel)	Seavad eesmärgi
10 min	Iseseisev töö	Juhendab individuaalselt	Modelleerivad järjehoidjat
25 min	Täiendamine	Näitab vektorgraafika lisamise võimalust. On abiks printeri juures.	Katsetavad lisavõimalusi Kes saab valmis saadab faili printima.
5 min	Kokkuvõte	Suunab refleksioonile	Hindavad oma tööd

Slaidid (3. paarstund)

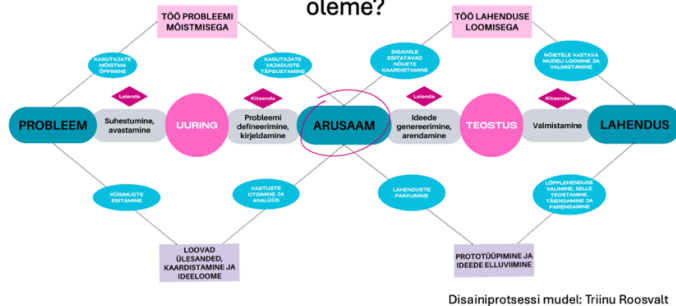
Järjehoidja modelleerimine

Triinu Roosvalt
2026

Kasutaja profiili loomine ja lõplikud disainiotsused

- Vaatame üle eelmises tunnis tehtud **märkmed ja visandid**
- Paneme paika oma järjehoidja **kasutaja profiili**
- Vaatame ära esimese juhendava **video järjehoidja modelleerimisest** ja alustame oma disaini loomist
- Disaini ilmestamiseks vaatame ka teist videot vektorfaili lisamisest ja loome oma mudelile iseloomu

Arutleme, millisesse disainietappi me nüüd jõudnud oleme?



Video – Järjehoidja modelleerimine:

<https://youtu.be/yfwO6Tgjbgbg>

Video – Vektorgraafika lisamine:

<https://youtu.be/LR6tNiiJFUE>

Slaididel olevad, autori poolt loodud, õppevideod:

Järjehoidja modelleerimine: <https://youtu.be/yfwO6Tgjbgbg>

Vektorgraafika lisamine: <https://youtu.be/LR6tNiiJFUE>

Hindamismudel II koolastmele

Hindamismudel (II kooliaste)

Hindamine põhineb **protsessil** (kuidas õpilane mõtleb ja tegutseb, kuidas kasutab disainmõtlemise protsessi ja digivahendeid), **tulemuse kvaliteedil** (idee ja mudeli arendus) ja **eneseanalüüsil** (refleksioon).

Kogu protsessi vältal jagab õpetaja sõnalist tagasisidet tuues välja tugevusi ja arenduskohti.

Lõpptulemus ei ole ainus hindamise alus, oluline on disainiprotsessi läbimine.

HINDAMISKRITEERIUMID		
Probleemi mõistmine ja idee (AVASTA ja KIRJELDA etapid)		
Hinne	Kirjeldus	Tulemus
5 (väga hea)	Õpilane on selgelt sõnastanud, kellele toode on mõeldud ja miks, idee on läbimõeldud.	
4 (hea)	Õpilane on osaliselt selgitanud kasutajat ja eesmärki.	
3 (rahuldav)	Idee on olemas, kuid kasutaja või eesmärk on ebaselge.	
2 (vajab arendamist)	Puudub selge idee või seos kasutajaga.	
1 (mitteilmunud)	- (seda lahtrit järgnevatel jaotistes välja ei tooda)	
Idee loomine ja kavandamine (ARENDA etapp)		
5 (väga hea)	Mitmekülgsed ideed, visand olemas, tehtud on teadlik valik.	
4 (hea)	Ideed on arendatud, visand või mõtted olemas.	
3 (rahuldav)	Üks lihtne idee, vähene arendus.	
2 (vajab arendamist)	Ideeloome puudulik või juhuslik.	
Digitaalne teostus (Tinkercadis modelleerimine)		
5 (väga hea)	Mudel on korrektne, funktsionaalne ja loov. Kasutatud on erinevaid töövõtteid.	
4 (hea)	Mudel on toimiv ja arusaadav.	
3 (rahuldav)	Mudel lihtne, mõningate vigadega.	
2 (vajab arendamist)	Mudel puudulik või ei vasta eesmärgile.	
Tehniline arusaam (BambuStudio keskkond ja failide liigutamine)		
5 (väga hea)	Õpilane mõistab printimise protsessi ja oskab selgitada (nt .stl, slicer). Iseseisev failide nimetamisel, salvestamisel, saatmisel, allalaadimisel, avamisel.	
4 (hea)	Saab aru põhimõtetest. Vajab vähest juhendamist ja meeldetuletusi.	
3 (rahuldav)	Osamine arusaam, pidevalt vajab abi failidega.	
2 (vajab arendamist)	Puudub arusaam	
Tööprotsess ja kaasatus		
5 (väga hea)	Töötab iseseisvalt, küsib, katsetab, aitab vajadusel teisi.	
4 (hea)	Töötab järjepidevalt.	
3 (rahuldav)	Vajab suunamist.	
2 (vajab arendamist)	Passiivne või ei osale.	
Refleksioon (eneseanalüüs)		
5 (väga hea)	Oskab selgitada oma valikuid ja hinnata tulemust.	
4 (hea)	Kirjeldab oma tööd.	
3 (rahuldav)	Lühike või pealiskaudne.	
2 (vajab arendamist)	Ei oska analüüsida.	

Lisa 3. III kooliastme paaristundide tunnikavad, slaidid, õppevideod ja hindamismudel

Tunnikava (1. paarstund)

Teema: Disaini lähteülesanne ja esimesed prototüübid

Kestus: 2 × 45 min

Tunni eesmärk:

Õpilane sõnastab disaini lähteülesande, analüüsib reaalse keskkonna probleemi ning alustab lahenduse loomist läbi disainiprotsessi, uurides, ideestades ja prototüüpides.

Õpitulemused:

Õpilane:

- analüüsib keskkonnas esinevaid probleemkohti
- sõnastab disaini lähteülesande ja disainile esitatavad nõuded
- töötab meeskonnas
- loob ja visualiseerib ideid (visandid)
- kasutab erinevaid materjale ja tehnoloogiaid ideede katsetamiseks (prototüübid)

Eeltegevused õpetajale:

- kogub kokku ja paneb valmis prototüüpimise materjalid (papp, teip, vahtmaterjal, plast jne)
- avada slaidid ja varuda võimalusel näidiseid
- planeerida rühmade moodustamine
- paneb valmis pabereid, pliiatseid, markereid

Kujundatavad üldpädevused:

- Suhtluspädevus (rühmatöö ja arutelu)
- Õpipädevus (info kogumine ja analüüs)
- Ettevõtlikkuspädevus (probleemide märkamine ja lahendamine)
- Loovus (ideede genereerimine, kiire ja oskuslik prototüüpimine)

Tunni käik:

Aeg	Tunni osa	Õpetaja tegevus	Õpilaste tegevus
I paaristund			
5 min	Sissejuhatus	Selgitab tunni eesmärgi (päris probleemi lahendamine)	Kuulavad, häälestuvad
10 min	Disainiprotsessi meenutamine	Suunab meenutama ja arutama (individuaalne ja paaris töö)	Kirjutavad, arutlevad
10 min	DP Mudeli täiendamine	Täidab koos skeemi ja selgitab etappe	Osalevad, täiendavad
15 min	Probleemi otsimine (UURING)	Suunab vaatlema klassi/kooli keskkonda	Vaatlevad, koguvad ideid
5 min	Jagamine	Kogub probleemid kokku	Esitlevad ideid ja tekkinud mõtteid
II paaristund			
5 min	Probleemi valik	Aitab sõnastada lähteülesande	Valivad probleemi
10 min	ARUSAAM	Suunab täpsustama: mis on probleem, kellele?	Analüüsivad
5 min	Rühmatöö	Moodustab rühmad ja annab juhised	Moodustavad rühmad
20 min	Ideeloome	Suunab visandamist ja ideede genereerimist, prototüüpimist	Loovad ideid, teevad kiireid prototüüpe.
5 min	Kokkuvõte	Juhib arutelu	Jagavad ideid

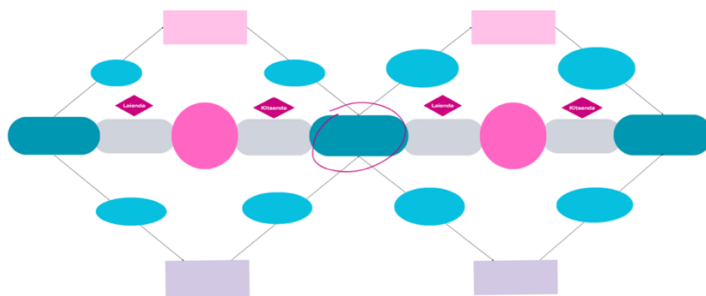
Disaini lähteülesanne

Triinu Roosvalt
2026

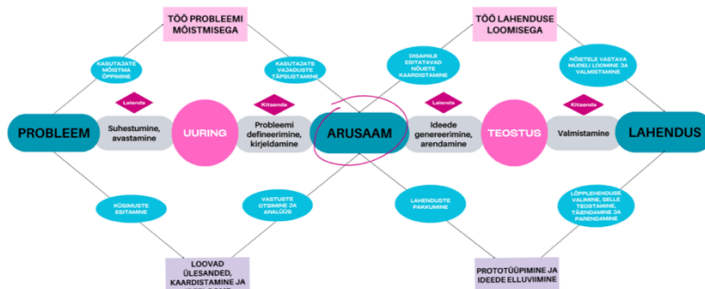
Disainiprotsessi mudel

- Kasutame täna õpistrateegiana **meenutamist**
- **Meenuta alustuseks ise**, millistest etappidest ja osadest koosneb disainiprotsess, mida oleme varasemalt tehnoloogiaõpetuse tundides kasutanud (pane mõtteid kirja)
- Kui oled mõtted kirja saanud, **jaga infot kõrval istuva õpilasega**

Täidame koos



Vaatame üle, kui palju oli meeles ja täiendame



Disaini lähteülesanne ja UURING

- **Asume otsima loovaid lahendusi töövahendite hoiustamiseks**
- **Mõttele ja arutle**, kuidas om töövahendid organiseeritud kodusel kirjutuslaual. Kas miski vajaks paremat lahendust?
- **Vaata ringi** tehnoloogiaõpetuse klassis. Kas kõik töövahendid on mugavalt paigutatud?
- Kas oled märganud **parandamist vajavaid olukordi** mujal **koolimajas**?
- **Kirjuta, pildista, joonista kõik mõtted üles!**

ARUSAAM

- Mis probleemi asume lahendama?
- Mis täpselt vajab lahendust?
- Mõtete sarnasuse alusel jaguneme gruppidesse (2-3 õpilast grupis)

Töö gruppides

- Töötatakse erinevate teemadega
- Erinevad grupid võivad lahendusi otsida ka samale probleemile, aga igalt grupilt oodatakse omanäolisi ja erinevaid lahendusi
- Visandid ja mõtted paberile
- Tööjaotus gruppides

Teostus - prototüüpimine

Kiirete prototüüpide loomine

Vahendid prototüüpimiseks:

- papp,
- paberteip,
- grilltikud, puitmaterjalide jäägikasti leiud,
- plastiku jäägid, pudelid ja topsid,
- vahuplaadid (vana pakendi jäägid), mullikile jne

Kui mõte ei hakka liikuma...

Näidiseid ja mõtteid ühest lahenduskäigust

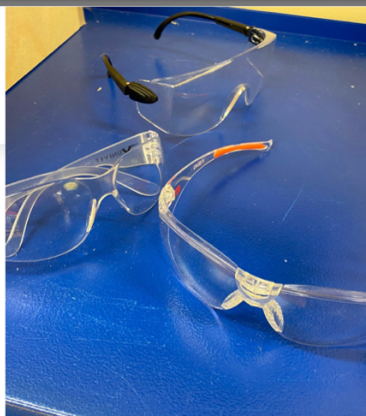
PROBLEEM

- Kaitseprillid on kastis hunnikus
- Kraabivad omavahel
- Lähevad omavahel sassi
- Koguvad tolmu
- Paha võtta sealt

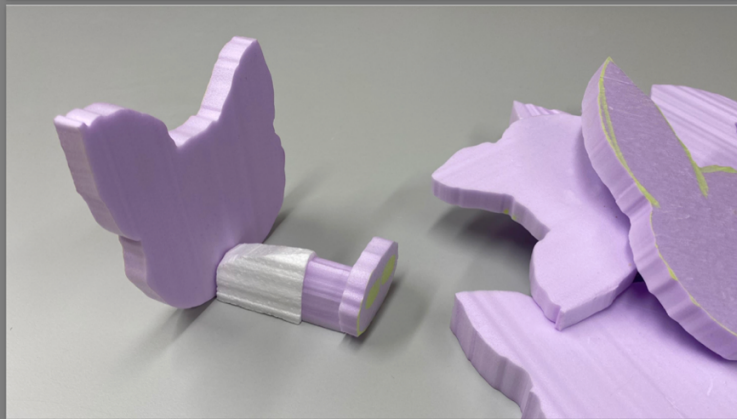


ARUSAAM

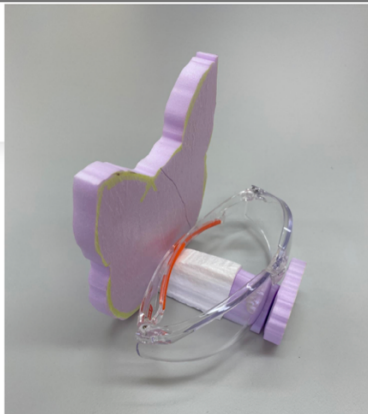
- Prillid võiksid olla kuidagi eraldi
- Kena peaks olema
- Seinapind on kasutamata
- Tolmu eest on vaja kaitsta
- Peame arvestama erinevate prillikujudega



Töö lahenduse loomisega - prototüpimine



- Loomade kujulised nagid
- Värvilised ja toredad
- Nina peale toetuvad prillid
- Paneme need ritta ja ehitame hiljem vineerist kapi ümber
- Teeme kapile hiljem läbipaistvad uksed ka



Prototüüpide joonestamine ja printimine

- Proovimiseks võib osadena ka printida
- Kasutame hõredamat infill mustrit ja suuremat kihi paksust (extra draft-BambuStudios)
- Katsetame prototüüpe erinevate prillidega



Video – Kaitseprillidele nagi modelleerimine Tinkercad keskkonnas

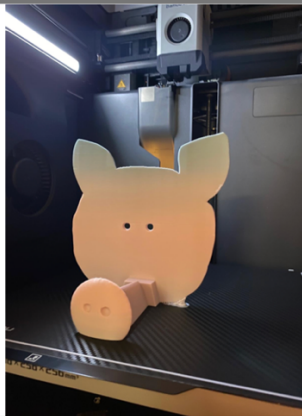
Tööriistad: **Extrude sketch, Revolve sketch, Scribble:**

<https://youtu.be/eoPRdRTY5dk>

Oma lahenduste loomisel saad kasutada samu tööriistu, uuri videost ja tee märkmeid kuidas need tööriistad töötavad.

LAHENDUS

- Silma-avade kaudu same kinnitada nagi kapi tagaseinale. Kruvid on siis nagu silmad.
- Nina osa on üsna pikk, et sobiks erinevatele prillidele
- Prillide keskosa kandva osa jätame kõigil samad, aga teeme erinevaid loomi
- Hea, et pole suuri tugesid vaja printimisel
- Edaspidi ehitame kapi ja kinnitame nagid kapi sisse



Slaididel olev, autori poolt loodud, õppevideo:

Extrude sketch, Revolve sketch, Scribble kasutamine: <https://youtu.be/eoPRdRTY5dk>

Tunnikava (2. paaristund)

Teema: 3D printimise materjalid ja töö oma projektiga

Kestus: 2 × 45 min

Tunni eesmärk:

Õpilane mõistab erinevate 3D printimise materjalide omadusi ning oskab teha valikuid oma disainilahenduse teostamiseks.

Õpitulemused:

Õpilane:

- analüüsib materjalide omadusi ja sobivust erinevateks töödeks
- mõistab 3D printimise tehnilisi parameetreid (materjal, düüs, alusplaat)
- seostab disainiotsuseid tehniliste võimalustega
- kasutab digivahendeid (Tinkercad) mudeli loomiseks ja arendamiseks

Eeltegevused õpetajale:

- valmistada ette erinevad filamendid (võimalusel näidised)
- avada slaidid
- ette valmistada “tulnuka mängu” juhised
- kontrollida Tinkercadi kasutusvalmidust/broneerida arvutiklass või sülearvutid klassi

Kujundatavad üldpädevused:

- Tehnoloogiapädevus (materjalide tundmine)
- (Kriitiline) mõtlemine (valikute põhjendamine)
- Õpipädevus (seoste loomine)
- Ettevõtlikkuspädevus (aktiivne osalemine ja kaasa mõtlemine)

Tunni käik:

Aeg	Tunni osa	Õpetaja tegevus	Õpilaste tegevus
I paaristund			
5 min	Sissejuhatus	Seob eelmise tunniga	Kuulavad
20 min	Materjalide tähendus ja mäng “Tulnukas”	Selgitab materjalide rolli disainis ja juhendab mängu	Arutlevad, osalevad
5 min	3D materjalid	Tutvustab PLA, PETG, TPU omadusi	Teevad märkmeid/ jätavad meelde
5 min	Tehnilised valikud	Selgitab alusplaadid ja düüsid	Kuulavad, küsivad
10 min	Seostamine oma projektiga	Suunab küsima. Milline materjal sinu lahendusele sobiks? Ja miks?	Teevad järeldusi
II paaristund			
45 min	Tinkercadis modelleerimine	Juhendab mudelite modelleerimist ja näitab vajadusel näidisvideot	Töötavad oma mudeliga, küsivad kui vaja

3D printimine Materjalid

Triinu Roosvalt
2026

Materjalid meie ümber

Materjal on midagi, mis ümbritseb meid kõikjal. Igal sammul, pilgul, hingetõmbel ja isegi neelatusel võime kogeda materjalide mõju. Nad soojendavad või jahutavad meid, nad on pehmed või torgivad, lõhnavad ja maitsevad. Materjalidel on lõputu hulk omadusi, mis kõik määravad ära nende kasutusvaldkonna. Nad peavad olema veekindlad, hügieenilised, õhulised, kerged, tugevad, kergelt vormitavad, jäigad ja elastsed ning kõike seda sageli ühekorraga. Materjalitööstus areneb täna peaaegu sama kiirelt kui elektroonika. On leiutatud n-ö targad materjalid, millel on juba mälu, nad võtavad ise inimese järgi kuju ning näiteks tekstiil võib valguse mõjul tiheneda või hõreneda. Rääkimata meditsiinitööstuses toimuvast. See on aga inimese fantaasia piire ning võimalusi tohutult avardanud.

Materjalid meie ümber

Kõigele sellele lisaks on materjal võtmesõnaks, kuidas me ennast ümbritsevas keskkonnas tunneme. Materjalivalik muudab selle meie jaoks kas turvaliseks ja hubaseks või külmaks ja ebasõbralikuks. Pole sugugi ükskõik, mis pinna peal inimene paljajalu kõnnib, mis materjali vahel ta õõsel puhkab või kuhu ta oma kohvitassi heleda kõlksuga asetab.

Materjal

lauab, lõhnab, maitseb, soojendab, jahutab, kaitseb, varjab ja palju muud.

Millest on kõik need asjad tehtud?

Meil kõigil on hulk asju. Neid on piisavalt suur hulk, et kõik ei tule esimese hooga meeldegi. Kuid kui sageli me peatume mõtisklema, mis materjalist need tehtud on?

Kas see on ainuke ja parim materjal?

Kas see võiks olla ka mingi teine materjal?

Kas see on veekindel materjal?

Kas see üldsegi peab olema veekindel materjal?

Mis on kõik need omadused, mis iseloomustavad head materjali?

Mängime mängu ”Kuidas seletada tulnukale tavalisi asju?”

Üks meist on tulnukas, ta on esimest korda maa peal ja tahab teada, kuidas meil siin elu käib. Mis on need esemed mida ta näeb, mille jaoks need on ja mis materjalist need on? Vajadusel võib tulnukale jooistada ka pilte, et mis ja kus.

Tulnukas võib näiteks küsida(teised vastavad):

- Mis asi see on? Mille jaoks?
- Miks se just selline on?
- Millest see tehtud on ?
- Miks just sellest?
- Kas võiks olla ka millestki muust?
- Miks?
- jne

Järgmisena räägime, millised on peamised materjalid, mida 3D printimise juures kasutame.

Peamised 3D printimise materjalid / filamendid

PLA Potüülimhape

PLA on tööstuslikult biolagunev, taimsel toormel põhinev materjal, mida kasutatakse 3D printimisel sageli. Seda on lihtne kasutada ja selle lõhn on nõrk.

Sobib paljudeks töödeks. Näiteks prototüüpide, dekoratiivesemete ja õppeprojektide valmistamiseks.

PLA nakkub pinnaga hästi ja printib madalamatel temperatuuridel (umbes **210–220 °C**).

PLA on kuumuse suhtes tundlikum, kui mõned teised materjalid. See tähendab, et kõrgema ümbritseva temperatuuri juures võib see pehmeneda. Näiteks võib PLAst prinditud mudel kuuma suvepäeval õue jäetuna pehmeneda ja kuju muuta.

Peamised 3D printimise materjalid / filamendid

PLA

Lisaks tavalisele PLAle on olemas sellest ka erinevad variandid, mis erinevad teineteisest pinnaviimistluse või muude visuaalsete omaduste poolest.



PLA Silk(siidine), Matte(matt), Glow(helendav), CF(carbon fiber) Foto: Pambu Lab

Peamised 3D printimise materjalid / filamendid

PETG

Polüetüleen-
tereftalaatglükool

PETG on tugev, vastupidav ja veidi painduv materjal.

Hea keemilise vastupidavuse ja löögikindluse tõttu kasutatakse sageli funktsionaalsete detailide, anumate ja mehaaniliste osade valmistamiseks.

Printimine toimub temperatuuridel (umbes **240–250 °C**).

Üks PETG eelis on võrreldes PLAgas selle parem kuumataluvus. See tähendab, et seda saab kasutada soojemates keskkondades ilma, et oleks ohtu, et see nii kiirelt pehmeneks.

Peamised 3D printimise materjalid / filamendid

TPU

termoplastne
polüuretaan

Pehme ja painduv materjal

Kasutatakse sageli näiteks telefonikorpuste, tihendite ja sulgurite valmistamiseks.

Kuigi TPUD saab printida suhteliselt lihtsalt, võib see vajada seadistuste täpsemat kohandamist. Näiteks tuleb ummistuste vältimiseks ja ühtlase materjalivoolu tagamiseks sageli vähendada printimiskiirust ja tagasitõmmet (retraction).

TPU imab kiiresti niiskust. See võib põhjustada halba printimiskvaliteeti ja muuta materjali hapramaks. Seetõttu on väga oluline hoida TPUD kuivas keskkonnas ning kuivatada see enne printimise alustamist, et saada võimalikult ühtlane ja hea tulemus.

Materjalide kuivatamine

Paljud 3D printimise materjalid on hügroσκοopsed, mis tähendab, et need imavad õhust niiskust. Kui filament sisaldab liiga palju niiskust, siis võib see põhjustada erinevaid printimisvigu. Näiteks mullitamist (bubbling), lekkimist (oozing), halba kihtide omavahelist nakkumist (layer adhesion), niidistumist (stringing) ja karedat pinda.

Filamentis olev niiskus muutub otsikus (hotend) auruks ja see põhjustabki ebaühtlast materjalivoolu (extrusion) ning seetõttu ka printimisvigu.

Filamenti saab kuivatada spetsiaalse seadme – filamenti kuivatiga. See seade soojendab filamentit ja eemaldab sinna kogunenud niiskuse. Pärast kuivatamist on soovitatav hoida filamentit niiskuse eest kaitstuna. Näiteks suletud kotis või õhukindlas tihendiga karbis.

3D printerite alusplaadid

Kuigi filamendi valik on 3D printimisel väga oluline, mängib sama suurt rolli ka alusplaat, millele printimine toimub.

Erinevad materjalid käituvad erinevalt ning vajavad sobivat pinda, et tagada hea nakkumine ja kvaliteetne tulemus.

Õige alusplaadi valimine aitab vältida probleeme ja muudab printimise lihtsamaks.

BambuLab 3D printerite alusplaadid

Alusplaat	Omadused	Millal kasutada	Eelised	Puudused/ tähelepanekud	Puhastamine
Textured PEI Plate	Tekstuuri pind aitab mudelit hästi kinni püsida.	Suuremate detailide puhul või siis, kui materjal kipub kõverduma.	Väga hea nakkumine, print tuleb jahtudes kergesti lahti, vastupidav.	Alumine pind jääb tekstuuriga, mitte täiesti sile.	Soe vesi ja nõudepesuvahend
Smooth PEI Plate	Sile pind annab mudeli alumisele küljele siledama viimistuse.	Kui on vaja väga täpse mõõdu, sileda alumise pinnaga detaile.	Väga sile ja korrektne alumine pind, sobib täpsust nõudvatele mudelitele.	Mõne materjali puhul võib olla vaja liimi nakkumise parandamiseks.	Hoida puhas ja rasvavaba, järgida tootja puhastusjuhiseid.
Cool Plate SuperTack	Väga tugeva nakkumisega pind, töötab hästi ka madalal temperatuuril.	Kui printid PLA või PETG-ga ja soovid väga head nakkumist ilma kõrge alusplaadi temperatuurita.	Väga tugev nakkumine, energiasäästlik, vastupidav kate.	Atsetooni ja IPA kasutamist tuleb vältida, et pinda mitte kahjustada.	Soe vesi ja nõudepesuvahend
3D Effect Plate	Annab mudeli esimesele kihile erilise visuaalse efekti.	Kui soovid mudeli alumisele pinnale dekoratiivset või erilise mustriga viimistust.	Huvitav visuaalne tulemus, sobib hästi PLA ja TPU jaoks.	Ei soovitata kasutada paljude teiste filamentidega. Liimi ei tohi kasutada. Kattekiht on kulumine materjal.	Soe vesi ja nõudepesuvahend

Pilte erinevatest alusplaatidest:



Fotod: Bambu Lab

Düüsid

Lisaks filamentidele ja alusplaatidele mängib 3D-printimisel olulist rolli ka düüs.

Düüs määrab, kui peenelt ja kui kiiresti materjal printerist välja tuleb, mis omakorda mõjutab mudeli detailsust, tugevust ja printimisaega.



Printimine erinevate düüsidega. Foto: Bambu Lab

Düüside võrdlustabel

Düüs	Detailide kvaliteet	Printimiskiirus	Tugevus	Ummistumise oht	Müüal kasutada
0,2 mm	Väga kõrge (väga detailne)	Väga aeglane	Hea	Suur	Väga väikeste ja detailsete mudelite jaoks
0,4 mm	Keskmine/ heas tasakaalus	Keskmine	Hea	Keskmine	lgapäevaseks kasutamiseks ja enamiku mudelite jaoks
0,6 mm	Vähem detailne	Kiire	Väga hea	Väike	Suuremate ja tugevamate detailide jaoks
0,8 mm	Madal (vähe detaile)	Väga kiire	Tugev	Pigem väike	Suurte ja massiivsete mudelite jaoks

Düüsid

Materjal	Sobivad materjalid	Eelised	Puudused
Roostevaba teras (Stainless Steel)	PLA, PETG, TPU	Hea tava kasutuseks	Kulub kiiremini abrasiivsete materjalidega
Karastatud teras (Hardened Steel)	Kõik filamendid (sh süsinik- ja klaaskiud)	Väga vastupidav ja kulumiskindel	Kallim



Stainless Steel



Hardened Steel

Erinevast materjalist düüsid. Foto: Bambu Lab

Töö oma mudelitega Tinkercad keskkonnas

Allikad:

Sissejuhatav osa materjalidest meie ümber ja UFO mäng:
Merike Rehepapp, (2012). Disainispikker. *Tööraamat õpetajale disaini õpetamiseks*.

3D printimise materjalid:
Bambu Lab Academy - <https://bambulab.com/en/support/academy>

Tunnikava (3. paaristund)

Teema: 3D printimise seadistused, mudeli asend, toed ja täited

Kestus: 2 × 45 min

Tunni eesmärk:

Õpilane mõistab ja rakendab 3D printimise olulisi seadistusi (mudeli asend, toed, täited), et parandada oma mudeli kvaliteeti, tugevust ja printimise efektiivsust.

Õpitulemused:

Õpilane:

- põhjendab mudeli asendi ja tehniliste seadistuste valikut
- mõistab tuge, täidete ja seinte paksuse mõju
- kasutab 3D printimise tarkvara (Bambu Studio)

Eeltegevused õpetajale:

- avada slaidid ja videolink
- kontrollida BambuStudio tarkvara toimimist ja internetiühendust
- võimalusel valmistada ette näidiseid (erinevalt prinditud)

Kujundatavad üldpädevused:

- Tehnoloogiapädevus (printimise seadistused)
- Õpipädevus (katsetamine ja järeldused)
- Ettevõtlikkus (lahenduse täiustamine)

Tunni käik:

Aeg	Tunni osa	Õpetaja tegevus	Õpilaste tegevus
I paaristund			
5 min	Sissejuhatus	Seob eelmise tunniga	Kuulavad
30 min	Materjalide tähendus ja mäng "Tulnukas"	Selgitab orientatsiooni mõju, wall loops mõju, tutvustab infill mustreid ja tihedust (slaidid)	Kuulavad, vaatavad, osalevad aruteludes.
10 min	Kokkuvõtte ja seostamine oma projektiga	Toob välja põhireeglid	Teevad järeldusi ja märkmeid
II paaristund			
45 min	Praktiline töö oma mudelitega	Juhendab jooksvalt ja näitab vajadusel videoid	Kohandavad oma mudelit, küsivad kui vaja, prindivad prototüüpe

3D printimine Mudeli asend, toed ja täited

Triinu Roosvalt
2026

Modelleeritud mudeli asend 3D printimisel

- 3D mudeli asend ehk orientatsioon 3D printimisel väga oluline. Õige orientatsioon aitab saavutada parema printimiskvaliteedi ja vähendada tugimaterjali (support) kulu.
- Hästi valitud asend aitab vähendada üleulatuvaid osi (overhang). Suured horisontaalselt eemale ulatuvad osad vajavad printimisel tugesid. Kui paigutada mudeli nii, et selliseid kohti on vähem, kulub vähem materjali ja ka printimine võtab vähem aega.
- Mõnel juhul võib asend määrata ka selle, kui palju on vaja peale printimist järelviimistlust (post-processing). Pinnad, mis tugimaterjaliga kokku puutuvad, võivad jääda karedamad. Seetõttu on mõistlik paigutada mudel nii, et tugesid ei oleks nähtavatel või olulistel pindadel.
- Lisaks mõjutab mudeli asend ka detaili tugevust. Kui kihid (layers) on paigutatud õigesti, peab detail paremini vastu sellele mõjuvatele jõududele.

Mudeli asend

Pildil on mudel paigutatud sellises asendis, mis põhjustab ebaühtlast printimiskvaliteeti. Mudeli alla tekib mitmesse kohta tugimaterjali. Selline asend võib jätta peale tuge eemaldamist mudelile jälgi. Samuti võib olla keeruline tugesid eemaldada.

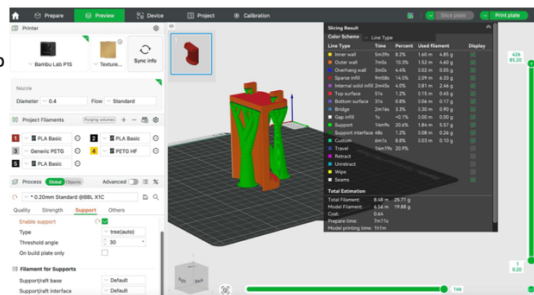


Foto: Triinu Roosvalt

Mudeli asend

Kui mudel on õigesti paigutatud, kulub tugimaterjali vähem ning printimiskvaliteet paraneb märgatavalt. Tugesid lisatakse vaid väikesele osale mudelist, mistõttu on neid lihtsam eemaldada. Samuti on printimise detailsus oluliselt parem.

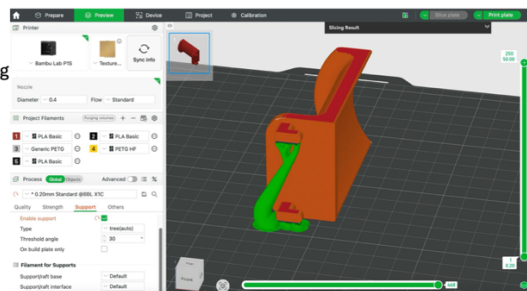


Foto: Triinu Roosvalt

Seinte paksus - Wall loops

Bambu Studios on olemas seadistus **Wall Loops**, (asub **Strength** alajaotuse all), mis aitab kujundada mudeli väliskesta.

Saad ise määrata, kui paksud on mudeli välisseinad.

Mida rohkem seinakihte (wall loops) seda paksem ja tugevam on mudeli välimine pind.

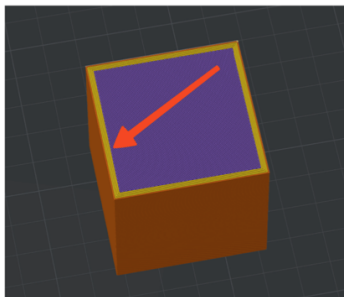


Foto: Bambu Lab

Seinte paksus - Wall loops

Välisseinale määratud kihtide arvu suurendamine võib muuta 3D printitud detaili oluliselt tugevamaks, sageli isegi tõhusamalt kui ainult täite tiheduse (infill density) suurendamine.

Eriti kasulik on seina kihte suurendada detailide puhul, mis peavad taluma suuremat mehaanilist koormust või lööke.

Hea reegel tavaliste printide puhul, mis ei pea olema ekstra tugevad, on kasutada 2-3 seinakihti (wall loops). 0,4 mm düüsiga printides annab see mudelile umbes 1,2 mm paksuse välisseina.

Täited (infill)

- Täitemustri valik mõjutab mudeli tugevust, kaalu ja printimisaega.
- Erinevad mustrid sobivad erinevate tööde jaoks, seetõttu tasub valida muster vastavalt sellele, millist tulemust soovid saada.

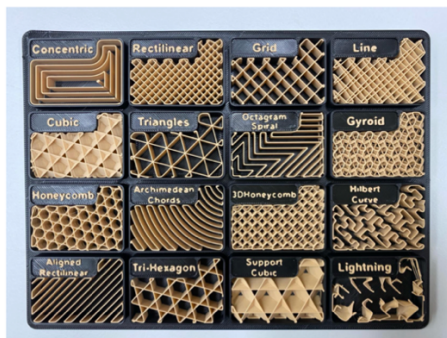


Foto: Triinu Roosvalt

Täited (infill)

Täitemuster Eelised

- | | |
|------------------|---|
| Grid | Kiire printida, hea valik enamikeks printideks. |
| Honeycomb | Hea tugevuse ja kaalu suhtega. |
| Gyroid | Väga hea tugevuse ja kaalu suhtega, ühtlane tugi. |
| Triangle | Lihtne ja tugev tugi. |

Kasutamine

- Mudelid, mis ei vaja väga suurt tugevust.
- Kui on vaja tugevamat, kuid siiski kerget detaili.
- Funktsionaalsed detailid ja tugevamad mudelid.
- Kui on vaja jäigemast sisemist struktuuri.

Täited (infill)

Valitud täite tihedus mõjutab:

- tugevust
- kaalu
- Printimisaega

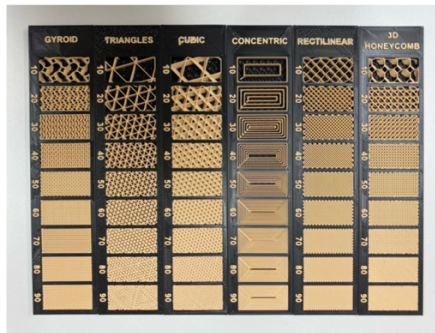


Foto: Triinu Roosvalt

Video - BambuStudio keskkonnas täidete ja tugede lisamine,
muud seadistused:

<https://youtu.be/BUBJsz3aGGY>

Materjali koostamisel on lisaks autori materjalidele kasutatud

Bambu Lab Academy materjale, mis asuvad siin:

<https://bambulab.com/en/support/academy>

Slaididel olev, autori poolt loodud, õppevideo:

BambuStudios täidete ja tugede lisamine, muud seadistused: <https://youtu.be/BUBJsz3aGGY>

Hindamismudel III kooliastmele

Hindamismudel (II kooliaste)

Hindamine põhineb **protsessil** (kuidas õpilane mõtleb ja tegutseb, kuidas kasutab disainmõtlemise protsessi ja erinevaid digivahendeid), **tulemuse kvaliteedil** (idee ja mudeli arendus) ja **eneseanalüüsil** (refleksioon).

Kogu protsessi vältal jagab õpetaja ka sõnalist tagasisidet, tuues välja tugevusi ja arenduskohti. Lõpptulemus ei ole ainus hindamise alus, oluline on disainiprotsessi läbimine.

HINDAMISKRITEERIUMID		
Probleemi analüüs ja lähteülesanne		
Hinne	Kirjeldus	Tulemus
5 (väga hea)	Probleem on selgelt sõnastatud, arvestab kasutajat ja konteksti.	
4 (hea)	Probleem sõnastatud, kuid analüüs osaline.	
3 (rahuldav)	Probleem olemas, kuid pealiskaudne.	
2 (vajab arendamist)	Probleem ebaselge või puudub.	
1 (mitteilmunud)	- (seda lahtrit järgnevates jaotistes välja ei tooda)	
Idee loome ja lahenduse kavandamine		
5 (väga hea)	Mitmekesised ideed, põhjendatud valik, visandid olemas.	
4 (hea)	Idee arendatud ja valitud.	
3 (rahuldav)	Üks lihtne idee, arendus vähene.	
2 (vajab arendamist)	Ideeloome puudulik või juhuslik.	
Materjalide ja tehniliste valikute põhjendus		
5 (väga hea)	Valib materjalid ja vajalikud seadistused teadlikult ning põhjendab tehtud valikuid.	
4 (hea)	Valik tehtud ja osaliselt põhjendatud.	
3 (rahuldav)	Valik tehtud, kuid põhjendus nõrk.	
2 (vajab arendamist)	Valik juhuslik.	
Digitaalne teostus (Tinkercad mudel)		
5 (väga hea)	Täpne, funktsionaalne ja läbimõeldud mudel, hästi teostatud.	
4 (hea)	Mudel toimib ja vastab ideele.	
3 (rahuldav)	Mudel lihtne või modelleerimisvigadega.	
2 (vajab arendamist)	Mudel puudulik.	
Tööprotsess ja koostöö		
5 (väga hea)	Aktiivne, iseseisev, panustab ka rühmatöösse.	
4 (hea)	Osaleb ja töötab kaasa.	
3 (rahuldav)	Vajab suunamist.	
2 (vajab arendamist)	Passiivne.	
Refleksioon (eneseanalüüs)		
5 (väga hea)	Analüüsib oma tööd ja valikuid.	
4 (hea)	Kirjeldab oma tööd.	
3 (rahuldav)	Lühike või pealiskaudne.	
2 (vajab arendamist)	Ei oska analüüsida/ puudub.	

Lisa 4. Juhend õppematerjali kasutamiseks

Juhend õppematerjali kasutamiseks

Käesolev õppematerjal on loodud põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuse tundide jaoks ning keskendub 3D printimise ja disainiprotsessi rakendamisele. Mõlema kooliastme materjalid koosnevad kolmest järjestikusest paaristunnist.

Õppetegevuste üles ehitamisel on aluseks võetud disainimõtlemise loogika. Õpilased liiguvad õpetaja juhendamisel samm-sammult läbi etappide, kus nad esmalt tutvuvad temaga ja koguvad infot, seejärel sõnastavad probleemi, loovad ideid ning lõpuks viivad oma lahendused ellu. Õppematerjalis sisalduvate videote eesmärk ei ole suunata õpilasi täpselt ühesuguseid lahendusi looma, vaid teemade edenedes lisatakse juurde erinevate tööriistade kasutamise võimalusi. Samuti täiendatakse järk-järgult üldteadmisi 3D printimisest.

Materjalid on koostatud püüdlusega, et need toetaksid aktiivset ja õppijakeskset õpet. Tunnid sisaldavad arutelusid, praktilisi ülesandeid, rühmatööd ning digivahendite kasutamist.

Õpetaja roll on suunata protsessi, esitada küsimusi ja toetada õpilaste iseseisvat mõtlemist. Materjali kasutamisel on oluline arvestada, et tegemist on paindliku materjaliga. Klasside erinev tase, tempo ja huvid võivad nõuda tegevuste kohandamist. Vajadusel võib näiteks muuta tegevuste järjekorda, pikendada või lühendada arutelu ja praktilise töö aega. Eriti oluline on jätta piisavalt aega loovaks katsetamiseks ja prototüüpimiseks, kuna just selles etapis kujuneb kõige paremini õpilaste arusaam disainiprotsessist.

Materjal ei eelda selle ranget järgimist, vaid toimib juhisenähtena, mida õpetaja saab kohandada vastavalt oma klassi vajadustele ja õppekeskkonnale.

Lisa 5. Abimaterjal õpetajale - disainiprotsess

Kokkuvõtvalt disainiprotsessist

Abimaterjal õpetajale

Disainiprotsessi kasutamine tehnoloogiaõpetuses aitab muuta tunni teadlikuks loomeprotsessiks. Disainiprotsessi kasutuselevõtu korral ei alusta õpilane kohe toote valmistamist, vaid õpib enne mõtestama, kellele toodet tehakse, miks seda vaja on, milliseid võimalusi on lahendusteks olemas ja kuidas ideed samm-sammult teostatavaks mudeliks arendada. Selline lähenemine sobib hästi tehnoloogiaõpetuse ainekava loogikaga, kus rõhutatakse õppimise protsessis liikumist ideest tootenä. Samuti loovat probleemilahendust, praktilisi tegevusi, eneserefleksiooni ning nüüdisaegsete tehnoloogiliste vahendite kasutamist. Õppeprotsessi kirjeldustes on samuti rõhutatud, et õpilane on aktiivne avastaja ja õpetaja roll on õppimise suunamine, valikute toetamine ja tagasisidestamine.

Kui õpetaja ei ole disainiprotsessi mudelit varem teadlikult kasutanud, tasub alustada väga lihtsast põhimõttest. Disainiprotsess on teekond ideest valmis lahenduseni. Õpilastele ei pea seda esitlema keerulise teooriana, vaid mõtteviisina, et enne toote valmistamist tuleb aru saada probleemist, mõelda erinevatele võimalustele, valida lahendus ja alles seejärel see teostada. Õpilasi on vaja suunata mõistma disainiprotsessi vajalikkust, et nad oskaks probleemi märgata ja sõnastada, ideid genereerida, neid analüüsida, prototüüpi luua ja lõpuks oma lahendust esitleda. Samuti on tehnoloogiaõpetuse õppesisus välja toodud arvjuhtimisega tööpingid, sealhulgas 3D printer, ning et õpilane teeb vahet erinevatel arvjuhtimisega tööpinkidel ja koostab lihtsamaid jooniseid.

Õpetaja jaoks on oluline mõista, et disainiprotsessi ei pea käsitlema eraldi teemana ainult ühe tunni alguses. Seda võiks kasutada kogu õppeprotsessi raamistikuna. Näiteks 3D printimise õppematerjali esimese paaristunni puhul, kus õpilased tutvuvad 3D printimise olemusega, vaatavad videot, arutlevad paarides, õpivad ohutusreegleid ning loovad Tinkercadis esimese lihtsa võtmehoidja mudeli, toimub tegelikult juba mitu disainiprotsessi sammu korraga.

Õpilased avastavad uut teemat, koguvad infot, seostavad nähtut oma varasema kogemusega ja hakkavad seejärel arendama esimest lahendust.

Disainiprotsessi avamiseks tunnis tasub õpetajal rääkida õpilastega kõigepealt sellest, et kõik ümbritsevad esemed on kellegi poolt loodud mingit vajadust silmas pidades. Heaks sissejuhatavaks küsimuseks sobib näiteks, miks on üldse võtmehoidjat vaja või miks üks järjehoidja võiks olla parem kui teine? Sellised küsimused aitavad õpilastel mõista, et disain ei tähenda ainult ilu või kaunistust, vaid lahenduse loomist mingile kindlale vajadusele.

Võtmehoidja ülesandes võib õpetaja juhtida tähelepanu sellele, et võtmehoidja peab aitama võtmed üles leida, eristada neid teistest võtmetest, olla piisavalt tugev, piisavalt kerge ja kasutajale meeldiv. Järjehoidja näites võib arutleda ka selle üle, kas järjehoidja ülesanne on ainult järke hoida või võiks see aidata ka rida jälgida, olla kindel konkreetsele inimesele või väljendada tema huvisid. Selliste küsimuste kaudu hakkavad õpilased ise jõudma arusaamani, et enne mudeli tegemist tuleb mõista kasutajat ja eesmärki.

AVASTAMISE etappi võiks õpetaja selgitada kui teemasse sisse minemist. Selles faasis ei otsita veel ühte õiget vastust, vaid püütakse võimalikult palju märgata, küsida ja infot koguda. Õpetaja võib öelda, et selles etapis ollakse nagu uurijad. Vaadatakse, kuulatakse, pannakse tähele, tehakse märkmeid ja püütakse aru saada, mis on päriselt oluline. 3D printimise sissejuhatavas tunnis on selleks sobivaks tegevuseks video vaatamine ja märkmete tegemine, kus õpilasi suunatakse kirjutama üles uusi teadmisi, üllatavaid fakte, segaseks jäänud kohti ja

asju, mida nad ise tahaksid proovida. Pärast seda toimuv paarisarutelu aitab avastamise etappi süvendada, sest õpilane sõnastab kuuldu oma sõnadega ja kuuleb ka kaaslaste tähelepanekuid. Nii muutub info kogumine aktiivseks õppimiseks, mitte ainult kuulamiseks. KIRJELDAMISE etapp tähendab kogutud info kokkuvõtmist ja probleemi täpsustamist. See on koht, kus õpetaja saab aidata õpilasel liikuda üldistest mõtetest konkreetsema ülesande suunas. Kui õpilane ütleb, et ta teeb lihtsalt ühe laheda järjehoidja, võib õpetaja suunata last edasi mõtlema küsides, kellele see mõeldud on, mis teeb selle lahenduse just selle inimese jaoks heaks või millist probleemi sellega täpselt lahendatakse? Sellised küsimused aitavad õppida oma probleemi paremini sõnastama.

ARENDAMISE etapp on õpetaja jaoks see koht, kus tuleks teadlikult vältida liiga kiiret hindamist. Õpilane peab saama ideid vabalt pakkuda, visandada, proovida/prototüüpida ja ka eksida. Õpetaja võiks siin rõhutada, et alguses ei pea kohe teadma, milline idee on parim. Võib kasutada ajurünnakut, mõttekaarti, kiireid visandeid või lühikesi paarisarutelusid. Järjehoidja ülesandes aitab õpetaja õpilastel mõelda nii funktsiooni kui välimuse peale. Mõne õpilase idee võib olla väga praktiline ja lihtne, teise oma dekoratiivsem või kasutajakesksem. Oluline on, et õpilane õpi ideid/lahendusi sõnastama neid omavahel võrdlema ja valikuid tegema.

VALMISTAMISE etappi jõudes on eriti tähtis, et õpetaja ei jäta muljet, nagu nüüd algaks ainult tehniline töö. Ka modelleerimine Tinkercadis ja printimiseks ettevalmistamine Bambu Studios on osa disainiprotsessist. See on koht, kus idee muudetakse reaalseks mudeliks ja kontrollitakse, kas valitud lahendus ka päriselt toimib. Bambu Studios printi ette valmistades erinevate valikute tegemine on õpetajale väga hea koht selgitamiseks, et ka siin tehakse disainiotsuseid. Näiteks väiksem kihi kõrgus annab detailsema tulemuse, aga pikendab printimisaega. Kiire prototüübi printimiseks on vaja teha hoopis teistsuguseid valikuid. Õpilased saavad seeläbi aru, et tehnoloogiaõpetuses ei ole arvjuhitava tööpingi abil toote valmistamine kunagi ainult nupule vajutamine, vaid ikka ka valikute tegemine ja tehtud valikute mõju mõistmine.

Õpetaja jaoks on kasulik sõnastada õpilastele ka see, et disainiprotsess ei ole alati sirgjooneline. Sageli tuleb mõne sammu juurde tagasi minna. Näiteks kui Tinkercadis loodud auk osutub printimiseks liiga väikeseks, kui mudel jääb liiga õhuke või kui valitud kuju ei ole kasutaja jaoks praktiline, siis ei tähenda see ebaõnnestumist, vaid loomulikku osa protsessist. Õpilastele tasub öelda, et disainer ka ei tee alati kohe esimese korraga täiuslikku lahendust. Hea disain sünnib parandamise, katsetamise ja täpsustamise kaudu. See aitab kujundada positiivset suhtumist õppimisse ja vähendab hirmu eksimise ees.

Neile õpetajatele, kes pole disainiprotsessi seni teadlikult kasutanud, võib kõige suurem muutus olla õpetajarolli mõtestamises. Disainiprotsessi mudeliga töötades ei ole õpetaja ainult sammude etteütleja, vaid eelkõige küsimuste esitaja, suunaja ja mõtlemise käivitaja. Õpetaja ülesanne on aidata õpilasel oma ideid täpsustada, valikuid põhjendada ja märgata, kas loodav toode päriselt vastab seatud eesmärgile. Selle asemel et küsida ainult, kas sul on mudel valmis, võiks õpetaja küsida, kellele see mõeldud on, mis teeb selle lahenduse sobivaks, mida sa peaksid muutma, et see paremini töötaks või milline sinu algne idee on selles mudelis alles jäänud? Sellised küsimused toetavad õpilase õpipädevust, suhtluspädevust, ettevõtlikkust ja digipädevust.

Disainiprotsessi teadlik kasutamine toetab hästi ka nüüdisaegset õpikäsitust, sest õpilane ei ole passiivne juhiste täitja, vaid aktiivne looja, kes kogub infot, teeb valikuid, loob lahendusi, katsetab ning reflekteerib. See sobitub tehnoloogiaõpetuse ainekava põhimõttega, mille järgi tuleb rõhku panna loovale ja innovaatilisele tegevusele, õpilase originaalsete ideede katsetamisele ning oskusele kasutada nüüdisaegseid materjale, tööriistu ja vahendeid. 3D printimise ja Tinkercadi keskkonna kasutamine on siinjuures väga loomulik osa tervikust.

Sest nende vahendite kasutamine ei ole eesmärk omaette, vaid nende abil saab õpilane oma mõtted nähtavaks ja teostatavaks muuta.

Kokkuvõttes tähendab õpetaja jaoks see seda, et tundidesse tekib rohkem sisulist arutelu, rohkem põhjendatud valikuid ja rohkem teadlikku seost selle vahel, mida ja miks tehakse. Nii muutub tehnoloogiaõpetuse ainetund õpilase jaoks mitte ainult käeliste oskuste harjutamise kohaks, vaid ka kohaks, kus õpitakse probleeme lahendama loovalt, eesmärgipäraselt ja kasutaja vajadusi arvesse võttes.

Lisa 6. Näidisvideo õpilaste tööde printimisest ja foto printeriruumist

Näidisvideo printerite tööst Rapla Vesiroosi Koolis: https://youtu.be/SqQX6_eX0FY



Foto ja video: Triinu Roosvalt

Lisa 7. Fotod õpilaste tehtud töödest



Fotokollaažid: Triinu Roosvalt

Lihtlitsents

Mina, Triinu Roosvalt ,

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

3D printimise kasutuselevõttu toetavad õppematerjalid üldhariduskooli tehnoloogiaõpetuse II ja III kooliastmes ,

mille juhendaja on Mart Soobik ,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada Tartu Ülikooli digitaalarhiivi kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;

annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;

olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Triinu Roosvalt
14.05.2026