

Tartu ülikool
Humanitaarteadused ja kunstid
Viljandi kultuuriakadeemia
Õppekava: Kunstide ja tehnoloogia õpetaja õppekava

Martin Raudmäe
3D modelleerimise ja printimise teemaline õppematerjal
põhikooli III kooliastmele
Magistritöö

Juhendaja: Nooremlektor Renno Raudmäe

Viljandi 2021

Resümee

3D modelleerimise ja printimise teemaline õppematerjal põhikooli III kooliastmele

Magistritöö eesmärgiks oli koostada põhikooli kolmandale kooliastmele 3D modelleerimise ja printimise teemaline õppematerjal. Eriti praegusel perioodil, kus paljud koolid peavad viibima distantsõppel ning õpilastega kokku saamine on piiratud, näen vajadust digitaalse õppematerjali järele. Õppematerjal on mõeldud 8. klassi tehnoloogiaõpetuse õpilastele. Uurimistöö käigus sai välja selgitatud hetkeolukord Eesti põhikoolides antud teemal ning sellest lähtuvalt paika pandud õppematerjali sisu. Valmis õppematerjal sai läbi proovitud ühe Eesti põhikooli 8. klassi õpilastega ning tagasisidest lähtuvalt täiendatud. Peale katsetamist sai õppematerjali tutvustatud neljale modelleerimise spetsialistile ning veelkord korrigeeritud. Lõplik versioon vastas tehnoloogiaõpetuse “Disain ja Joonestamine” osa nõuetele ja mahule.

Märksõnad: Tehnoloogiaõpetus, Disain ja joonestamine, 3D modelleerimine ja printimine

Summary

3D modeling and printing for middle school students of the III school level

The purpose of my research was to create studying material about 3D modeling and printing for basic school students of the III school level. Especially now, when most of our schools are closed and meeting with students is complicated there is a need for digital study material. The material is created for 8th grade students, who study Technology. Before the creation of my material I created a survey to find out the current status in our schools regarding 3D modeling and printing. The material is created based on the result of the survey. The first version of the material was tested on 8th grade students in a random middle school. Then it was improved based on the feedback. After that the material was introduced to 4 experts on that subject and once again improved. The final result was a fine fit for the “Design and drafting” part of the Technology study.

Tags : Technology, Design and drafting, 3D modeling and printing

Sisukord

Resümee.....	1
Summary.....	2
Sisukord.....	3
1. Sissejuhatus.....	5
2. Lühendid.....	7
3. 3D Modelleerimisest.....	8
4. 3D Printimisest.....	10
5. 3D printimine ja modelleerimine Rahvusvaheliselt.....	12
Õppematerjali loomisest.....	14
6.1 Vajadus õppematerjali järele.....	14
6.2 Õppematerjali koostamise põhimõtted.....	16
6.3 Uurimuse eesmärk.....	21
7. Metoodika.....	22
7.1 Valim.....	23
7.1.1 Eelküsitlus.....	23
7.1.2 Õppematerjal.....	24
7.1.3 Mõõtevahend ja protseduur.....	24
7.1.4 Eelküsitlus.....	25
7.1.5 Õppematerjal.....	25
7.2 Tulemused.....	26
7.2.1 Eelküsitlus.....	26
7.2.2 Ekspertide hinnang.....	27
7.2.3 Õpilaste tagasiside.....	30
8. Arutelu.....	34
9. Tänusõnad.....	38
10. Kasutatud kirjandus.....	39
Lisa 1. ÕPPEMATERJAL.....	43
I osa. Modelleerimine Solid Edge programmiga.....	44
II osa. MUDELAUTO DETAILIDE LOOMINE.....	61
III osa. MUDELAUTO DETAILIDE ÜHENDAMINE.....	67
IV osa. 3D PRINTIMINE.....	71

Lõpetuseks.....	76
Täiendavat lugemist.....	77
Lisa 2. Eelküsitlus.....	90
Lisa 3. Tagasiside küsitlus.....	94
Lihtlitsents.....	97

1. Sissejuhatus

Tänapäeval oleme peaaegu igal pool ümbritsetud tehnoloogiast. Olgu see töökohal, kodus või kuhugi sõites. Alati on meie läheduses tehnoloogia poolt valmistatud esemeid. Need, kes tehnoloogiat ei kasuta, jätavad kasutamata võimaluse olla targem, efektiivsem ja paindlikum. Tehnoloogia on peaaegu nagu kuldvits - see, mida kunagi tehti tundide, päevade või kuudega, (Ausner)saab tänapäeval mõnel puhul tehtud sekunditega (K. Ausner, 2019).

Vastavalt prognoosidele hakkavad lähiaastatel kaduma pooled töökohad arenenud majandusega riikides arvuti poolt juhitud seadmete tõttu (CEDEFOP, 2018) ja (OECD, 2017) ([Tabel.1](#)). Seega pean ülimalt oluliseks põhikooli õpilaste kõrgeid teadmisi tänapäeva tehnoloogiate teemal. Tehnoloogia on lai mõiste ning sinna alla kuulub palju valdkondi. Eelkõige näen vajadust õpetada arvuti poolt juhitud seadmeid nagu CNC-pingid, 3D printerid ning robot mehhanismid. Teemad, mida soovin kasutada enda õppes ning mis Eesti põhikoolides on käsil: 3D printimine ja modelleerimine, Arduino arendusplatvormid, Robootika.

Et teemas mitte liiga laiali valguda, koostan ma oma õppematerjali 3D printimise ja modelleerimise teemal.

Materjal saab olema eelkõige suunatud põhikooli III kooliastmele täitmaks riikliku õppekava õpitulemusi nagu: kasutab ressursse keskkonda säästvalt ning jätkusuutlikult; genereerib ideid, rakendab neid loovalt tooteid luues ja täiustades ning mõistab iseenda osaluse tähtsust tehnoloogiat kasutades; mõistab tehnoloogilise protsessi ajal asetleidvaid muutusi ning oskab neid selgitada ja põhjendada; analüüsib toote valmistamise protsessi ning sünteesib uusi teadmisi (Põhikooli riiklik õppekava 2011).

Iga aasta tuleb välja uusi ja paremaid 3D printereid ning materjale, millega printida. Ainuüksi viimase 10 aasta jooksul on prinditud sõiduauto, elumaja, erinevaid toite ja isegi inimese neer. (Lonjon, 2017) Erinevate prognooside järgi on see tehnoloogia endiselt tõusu lainel. Aastal 2020. kasvas 3D printimise tööstus 7,5 %. (Pollock E. 2021) ning nõudlus 3D printerite järele tõuseb 2 korda. . COVID-19 tagajärjel jäi 3D printerite kasutamine trend kas samaks või suurenes. (3D Hubs raport 2021).

Kuid enne õppematerjali valmistamist on vaja saada ülevaade hetkeolukorrast Eesti põhikoolides. Selleks koostasın küsitluse 3D printimise ja modelleerimise kohta, mis oli suunatud Eesti tehnoloogiaõpetuse õpetajatele. Küsitluse abil tegin selgeks, kui paljudes koolides on printer, kui palju seda kasutatakse ning kui suur on huvi ja vajadus eestikeelse õppematerjali järele.

Sellest tulenevalt soovin oma magistrıtööd tehes leida vastuse järgnevatele küsimustele :

1. Kas minu plaanıtav õppematerjal on põhikooli tehnoloogiaõpetuse III kooliastme õppesisuga? Mis punkte ma täita soovin?
2. Kas plaanin oma õppematerjali jagada ka teiste õpetajatega ning kas võtan nende soove ja arvamusi arvesse?
3. Kas mu õppematerjali koostamine on plaanıtud ühekordse tegevusena või plaanin ma koostada tulevikus materjale ning neid omavahel lõimida?
4. Mille abil määrad õige jõukohasuse õppematerjalile?
5. Mis formaadis õppematerjali plaanid luua?

Hilisemas tagasisides soovin õpilastelt teada, kummast oli rohkem kasu. Kas tekstist või videost. Või töötab kõige paremini kombinatsioon neist mõlemast.

Küsitlusest selgus, et minu valıtud teema on aktuaalne, sest Eesti põhikoolides on olemas 3D printerid, kuid puudub eestikeelne õppematerjal, et paremini seadme abil õpet läbi viia.

Sellest tulenevalt on minu magistrıtöö eesmärgiks on luua põhikooli III kooliastmele sobilik õppematerjal “3D modelleerimine ja printimine” teemal.

2. Lühendid

Nr.	Lühend	Tähendus	Tõlge
1.	CEDEFOP	European centre for the Development of vocational training	Euroopa kutsehariduse arenduskeskus
2.	OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsioon
3.	CAD	Computer Aided Design	Arvuti abil loodud disain
4.	IGES	Initial Graphics Exchange Specification	Algse graafika vahetuse spetsifikatsioon
5.	STEP	Standard for the Exchange of Product Data	Standardne andmevahetuse fail
6.	FDM	Fused Deposition Modeling	Plastmass traadi sulatamine
7.	SLS	Selective Laser Sintering	Valikuline laser paagutamine
8.	STEM	science, technology, engineering and mathematics	Teadus, tehnoloogia, inseneeria ja matemaatika

Tabel 1. Lühendid

3. 3D Modelleerimisest

3D modelleerimine tähendab virtuaalse kolmemõõtmelise objekti loomist. Tänapäeval on see tehtud lihtsaks tänu virtuaalse tehnoloogia arengule ja laiale levikule. On olemas palju programme, kus on võimalik kujundeid modelleerida.

3D modelleerimise idee oli olemas ammu enne, kui leiutati arvutid. Esialgsed ideed on pärit geomeetria leiutamise aegadest - 3 sajand e.k.r. Euclid nimelise matemaatiku poolt. Ta on tuntud kui geomeetria leiutaja. (J J O'Connor, 1999).

Aastal 1600 andis matemaatik, nimega Rene Descartes maailmale koordineeritud geomeetria. Täpsemalt leiutas ta koordinaatteljestiku, mille abil liita algebra ja geomeetria. See võimaldas täpsemalt määrata kaugusi ja asukohti (G.Hatfield; 2014) 18 sajandi keskel leiutas Inglise matemaatik James Joseph Sylvester maatriks matemaatika. See on aluseks kõigis tänapäeva arvuti poolt loodud kujutistel, kus on näha peegeldust või valguse moonutust (I.Prus 2016).

1960ndatel said kättesaadavaks esimesed CAD programmid ([Tabel 1](#)). Kõige suurema läbimurde valdkonnas saavutas Ivan Sutherland. Ta valmistas programmi nimega “Sketchpad” , mida peetakse tänapäeva CAD süsteemide esiisaks. Selle programmi abil avastati, et 3D modelleerimine pole mõeldud mitte vaid inseneridele vaid ka disaineritele ja kunstnikele. Sellel ajal kasutasid programmi kõige rohkem autotootjad.

Kiire arengu ja konkurentsi tõttu hakkasid 1970ndatel aastatel ettevõtted pakkuma automaatse disaini ja joonestamise süsteeme. See tähendab, et programmid oskasid ise arvutada vajaliku materjali kogust, teha 3D objektidest jooniseid või arvutada välja puuduolevaid mõõde. 1971. aastal loodud programm ADAM oli üks selline programm. See programm oli mõeldud töötama võimalikult paljude arvutite peal. Seetõttu toimus tohutu hüpe CAD programmide leviku ja kättesaadavuse osas (L. Caudill; 2012).

Samal ajal prooviti ülikoolis leida uudsemaid ja efektiivsemaid meetode 3D kujundite visualiseerimiseks. Utah osariigis leiutati kaks varjutamise süsteemi Gouraud ja Phong. Need tehnoloogiad kiirendasid protsessi lihtsustades arvuti algorütme ning tuues esile parema kujutise valguse ja varjutamise suhtes.

1981. aastal tulid kasutusele esimesed koduarvutid. Selle abil levisid CAD süsteemid väga kiiresti massidesse. Eriti autotööstustes ning muudes inseneeria valdkondades. Märkimisväärne tarkvara oli 1983. aastal Siemensi poolt loodud UniSolids tarkvara. Hiljem samal aastal tuli välja 2D süsteem AutoCAD. See programm on kasutusel ka tänapäeval (D. Scott-Leslie; 2019)

1990ndate alguses oli CAD tarkvara juba väga laialdaselt levinud ning kõrgele tasemele välja arendatud. Tarkvara oli kergesti kättesaadav nii professionaalidele kui ka lihtsalt huvilistele. Siinkohal hakati rohkem rõhuma kasutajasõbralikkust ja kiirust. Enne kasutuses olnud IGES failid hakkasid asenduma STEP faili formaatidega, mida CAD programmid oskasid paremini lugeda ([Tabel 1](#)). Tiheda konkurentsi tõttu langesid ka programmide hinnad, mis muutsid programmid veel paremini kättesaadavaks. Tuntumad programmid olid AutoCAD ja SolidWorks, mis on kasutusel ka tänapäeval (M. Bozdoc 2003).

1994. aastal ilmus välja tasuta tarkvara nimega Blender. Huvilised said selle internetist tasuta alla laadida ja selle abil modelleerida. Peale Blenderi programmi ilmus veel palju tasuta CAD tarkvara ning suur huvi kasv ja interneti areng tõid meid lõpuks siia, kus me tänapäeval oleme. Modelleerimine 3D printimise eesmärgil.

4. 3D Printimisest

3D printimine on praeguseks 40 aastat vana. Teekond esimesest printerist tänapäevase seadmeni on olnud pikk ja täis katsetusi, avastusi ning ka ebaõnnestumisi.

Teadaolevalt ehitati esimene 3D printer aastal 1981. Jaapanis. Hideo Kodama Nagoya instituudist ehitab seadme, mis suudab kihtide haaval valmistada fotopolümeerist eset. Rahastamise probleemide tõttu ei jõudnud Hideo Kodama õigeks ajaks oma leiutisele patenti saada ning tema seade suurtesse massidesse ei jõudnud (D. Goldberg; 2018).

1984. aastal tegi noor teadlane Alain le Méhauté geomeetrilised võrrandid, millega tema kolleegid nõus polnud. Et tõestada oma võrrandi õigsust, kutsus ta appi Olivier de Wiite. Peale mõnda katsetamist tutvustasid nad oma ideed Jean-Claude Andrele. Kolme peale suutsid nad ehitada seadme, mis tänapäeva mõistes oleks 3D printer. Esimene prinditud objekt oli keerdtrepp. Nad said patendi, kuid kuna projekt ei saanud vähese huvi pärast piisavalt finantseeringut, pidid nad selle katkestama (C. Lonjon; 2017).

Peaaegu samaaegselt tegeles taolise leiutisega ka üks ameeriklane. 1984. aastal tuli Colorados Charles Hull'il idee seoses UV-kiirgusega. Talle anti väike labor katsetamiseks ning peale mitut kuud oli ta edukas. Kuna tema leiutise vastu tundis huvi ka meditsiinitööstus, oli tema leiutis väga edukas.

1988 aastal leiutas Carl Deckard SLS tehnoloogia. ([Tabel 1](#)). Tema eesmärk oli kaotada 3D printimises liigsed lülid ja lihtsustada protsessi. Selle tehnoloogia puhul sulatab suure võimsusega laser toormaterjali üles ning arvuti viib materjali CAD programmi abil soovitud koha peale. Protsess toimub õhukeste kihtide haaval, et materjal voolama ei hakkaks. (A.B. Varotsis; 2021).

1988. aastal leiutati ka FDM tehnoloogia ([Tabel 1](#)). Leiutajaks oli Scott Crump. Tema idee oli printimise protsess automaatseks muuta. Kui liimipüstol panna xyz suunas liikuva roboti külge, mida saab arvutiga juhtida, peaks olema võimalik tuua arvutis valmistatud kujundeid füüsilisse maailma. Peale kolme aastat katsetamisi ja oma seadme täiendamisi valmis esimese FDM tehnoloogial töötav 3D printeri. Seda tehnoloogiat kasutavad 50 % tänapäeva printeritest (D. Goldberg; 2018).

1999. aastal siirdati inimesele esimene 3D prinditud organ. Teadlased Wake Forest instituudis printisid inimese põie. Põie väliskiht oli kaetud patsiendi enda rakkudega, et organism võõrkeha vastu võtaks. Aastal 2002 õnnestus sama tehnikaga valmistada ka neer ning 2008 inimese jäse, mis koosnes paljudest väikestest ja keerulistest detailidest.

2005. aastal leiutas inglane Dr Adrian Bowyer printeri, mis suudab iseennast printida. See tähendab, et printer prindib detailide haaval valmis uue printeri. See avastus tegi printerite kättesaadavuse suuremaks ja hinna madalamaks.

2011. aastal valmis esimene 3D prinditud auto. Need autod on ka tänapäeval müügil ning vastavalt mudelile maksavad 8000 € - 40 000 €.

Tänapäevaks on 3D printerite hinnad võrreldes algusega mõistlikule hinnale ning prinditud esemed on väga täpsed. Näiteks Prusa I3 võib saada 236€ eest ning üks rull PLA materjali maksab 20-25€. Samuti on materjali valik laienenud nii kaugemale, et on võimalik printida väga paindlikke materjale kuni kulla ja hõbedani välja. Southamptoni Ülikoolis valmistati 3D prinditud ja töötav mehitamata lennuk ning peaaegu igapäevaselt valmib kuskil maailmas 3D prinditud maja. Samuti on olemas restoranid, mis serveerivad 3D prinditud toite.

Arstiteaduses arendatakse välja robotkäsi ning inimese luid. Samuti on olemas väikest mõõtu printereid, mis suudavad inimese juuksekarvast väiksemaid detaile valmistada. (D. Price).

5. 3D printimine ja modelleerimine Rahvusvaheliselt

Parema ülevaate saamiseks antud teemal otsustasin uurida, mida tehakse rahvusvaheliselt 3D modelleerimise ja printimise valdkonnas. Võrreldes põhikooliga tegeletakse selle teemaga tunduvalt rohkem keskkoolis ja ülikoolis. Kuid on ka loodud modelleerimisprogramme noorematele nagu näiteks TinkerCAD, 3D Slash, Magica Voxel (L. Ortiz, 2020).

Inglismaal läbi viidud uuringus selgub, et põhikoolis kasutatakse 3D printimist kõige rohkem matemaatika aines geomeetriliste kujundite teemal. Leiti, et nooremana kokkupuutumisel 3D printimise tarkvaraga annab õpilastele tulevikus rohkem julgust selle teemaga tegeleda. Printimine aitab õpilastel paremini kujundeid õppida, kuid veel rohkem hindavad õpilased oskust modelleerida ja printida enda loodud kujundeid (P. McGahern, F. Bosch, D. Poli; 2015).

Printimisega kaasneb aga ka probleeme. Levinumad probleemid on tarkvara keerulisus õpilastele, õpetajate oskamatus juhendamisel, probleemid printeri materjaliga, ajakulu ning printimise maksumus (S.C. Meyer; 2019).

Florida Ülikoolis koostati valikkursus põhikooli õpilastele. 90 minutilise koolituse käigus õppisid õpilased oma nimesilti arvutis modelleerima ning hiljem printima. Kursusel osales 110 õpilast, kellest 35 ütlesid, et see mõjutas nende tulevast karjäärivalikut (M. Diller, S.I. Segalewitz; 2017) ,

Georgia Tehnoloogiainstituut viis läbi 2 nädalase suvelaagri inseneeria ja disaini teemal. Tagasiside selle kohta oli õpilastelt väga hea. Laager oli mõeldud nii põhi- kui keskkooli õpilastele. Tagasisides selgus, et põhikooli lapsed said palju julgust ning enesekindlust just vanemate lastega koos töötades ning neid jälgides. Taolisi laagreid on viidud veel läbi ning tagasisidest on selgunud, et inseneeria kohta on suurem huvi poistel (Q. Brown, J.D. Burge; 2014) ning kuigi kvalitatiivsed tulemused olid laagris osalenutel paremad siis mitmes laagris jäid õpilaste kvantitatiivsed näitajad samaks.

Vermontis toimub iga aasta 3D printimise võistlus, mis on mõeldud lastele vanuses 11-18. Võistluse eesmärk on valida oma kodukandist ajalooline hoone ning proovida grupina sellest 3D kujund teha. Osalejaid oli nii põhikoolist kui keskkoolist. Õpilased olid vanuse järgi

jagatud kahte gruppi ning tulemusi omavahel ei võrreldud. Kuid osalus oli mõlemas vanusegrupis suur ning tulemused head (B. Alexander; 2018).

Antud teemat uurides sattusin aina rohkem STEM ([Tabel 1.](#)) teemalistele artiklitele. STEM pädevuste arendamisele põhikoolis on hakatud aina rohkem rõhku panema ka Eestis. 2018. aastal on loodud õppematerjal “STEM kasutamise juhised”. Juhan Liivi nimeline Alatskivi kooli 7 klassi õpilased ehitasid projektõppena 2020. aastal raketi, mis pidi võimalikult kõrgele lendama (Alatskivi kooli koduleht, 2020) Samuti on tõlgitud mitmeid võõrkeelseid juhendeid STEM projektidele algklassidele (Mydrawingblog). 3D printimine hõlmab STEM pädevuste arendamise puhul suuresti inseneeria ja tehnoloogia valdkondi.

Kokkuvõtvalt on teistes riikides 3D printimine ja modelleerimine rohkem kasutusel ülikoolides vastavatel erialadel (Inseneeria ja disainimine). Tehakse küll valikkursusi ning laagreid, et nooremates õpilastes huvi äratada, kuid need on rohkem suunatud keskkooli õpilastele. Taoline on olukord ka eestis. Tehnoloogiaõpetuse riiklikus õppekavas pole 3D printerit mainitud. Samuti pole mainitud robotikat ega arduino arendusplaate (Põhikooli riiklik õppekava” lisa 7). Kuid tehnoloogiaõpetuse magistriõpe ülikoolis õpetab neid teemasid tudengitele eesmärgiga, et õpetajad neid põhikoolides edasi õpetaks. Samuti on Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liidu kodulehel näidistöid eelnevalt mainitud teemadest. Minu õppematerjali eesmärk pole kedagi oma tulevast eriala valima vaid laiendada silmaringi ning äratada pisut huvi modelleerimise vastu. Programmid, mida Eestis kasutatakse on aga samad, mis mujal (TinkerCAD, SketchUP, Solid Edge).

Ka Eesti tehnoloogiaõpetus liigub suunas rohkem kaasata ainesse inseneeriat ning virtuaalset disaini. Igal aastal korraldatakse võistlusi ja konkursse (Nutikad õpilastööd; virtuaalnäitused), et motiveerida õpilasi looma uusi ja huvitavaid praktilisi töid (Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liidu koduleht).

6. Õppematerjali loomisest

6.1 Vajadus õppematerjali järele

Praegune olukord riigis ei võimalda läbi viia kontaktõpet. Isegi kui koolid avatakse, peab alati olema valmis olukorraks, kus uksed taas suletakse. 2020 aastal olid koolid distantsõppel 15.03 - 04.06. Samuti 06.12 - 18.12. See on ligikaudu 50 % kogu õppeperioodist. Seetõttu suureneb vajadus digitaalse õppematerjali järele. Digitaalse õppematerjali koostamist ning kasutamist toetavad ka paljud sihtasutused nagu näiteks HITSA (Hariduse ja infotehnoloogia sihtasutus). Enda õppematerjali koostamisel lähtutakse LORI-i mudelist. Selle abil sain olla kindel, et õppematerjal oleks sobiv õpilastele kasutamiseks.

Kuna 3D printimist on võimalik teha ainult kontakt õppes, saab mu õppematerjal olema osaliselt võimalik läbida distants õppel.

1. õppimist toetav – materjal vastab sihtrühma vajadustele, on sobivas mahus ning peab olema sõnastatud õpitulemused;
2. sisult kvaliteetne – materjal on keeleliselt ja ainealaselt korrektne;
3. motiveeriv – materjal on õppija jaoks kaasav, arvestab õppija eelteadmistega ning toetab õpioskuste arendamist;
4. kohandatav – sobib kasutada erinevates õpi olukordades ning erineva taustaga õppijate suhtes;
5. interaktiivne – õppijal on võimalik ise juhtida materjali kasutamist ning saada tagasisidet;
6. autori õigusi järgiv – õppematerjal järgib autoriõiguse seadust;
7. kasutajasõbralik – materjal on visuaalselt korralik, intuitiivselt navigeeritav ja sobib ka erivajadustega õppijale;
8. tehniliselt korrektne ja ühilduv – materjali on võimalik kasutada levinumate operatsioonisüsteemide, tarkvara ja seadmetega;
9. leitav – õppematerjal on avalikustatud ja varustatud metaandmetega.

(HITSA Kvaliteedi töörühm 2014-2015)

Mitmed põhikooli õpetajad kasutavad tunni läbiviimisel enda eelnevaid kogemusi ning vajadusel otsivad internetist abi. Kuid kirjalikku õppematerjali või õppevideot selle kohta väga palju ei leia. Otsides eestikeelset õppevideot, mis kasutaks programmi Solid Edge, leidsin Urmas Puhvestovi õppevideod aastast 2012. Täna (aastaks 2021) on Solid Edge programmi funktsionaalsus ja kasutajaliides väga palju muutunud. Seetõttu näen vajadust uute videote järele.

Samuti ei leidnud ma õppematerjali teemal “3D prinditud mudelauto”, millest plaanin teha enda õppematerjali ühe osa. Valisin selle teema, sest sellega seoses saab õppematerjalis tutvustada ka mõningaid elektroonikakomponente, millest plaanin teha õppematerjali tulevikus. Selle praktilise töö abil saab neid õppematerjale omavahel lõimida.

Digitaalse õppevaraga saab valida õppimise aega, kohta, kohandada õppeaine raskusastet ja õppimise tempot.

Lisaks eeltoodule selgus läbiviidud eelküsitlusest, et mitmed põhikooli õpetajad kasutavad ingliskeelset õppematerjali, mille enda jaoks nii öelda “käigu pealt” ümber kohandavad. Seda enam näen vajadust eestikeelse süsteemse ja kindla struktuuriga õppematerjali järele. Siis ei peaks õpetaja internetist endale otsima võõrkeelset õppematerjali ning seda kohandama.

6.2 Õppematerjali koostamise põhimõtted

Enne õppematerjali loomist vajavad mitmed küsimused vastamist ning protsessid läbiviimist. Vaja on teha uuring, et kindlaks teha juba olemasolev materjal ning mille järgi on vajadust. Kas õppematerjali koostan nullist ise või seon olemasoleva materjali ühte dokumenti? Kellele on materjal mõeldud ning mis teadmised on tehnoloogiaõpetuse õpetajatel hetkel selles valdkonnas? Kui paljud õpetajad sellest teemast üldse huvitatud on? Kas minu loodud materjali on võimalik Eesti põhikoolides kasutada?

Õppematerjali loomisel on olemas 5 põhilist etapi (E.Krull; 2019)

1. **Analüüs** - Analüüsitakse vajadusi, sihtrühma (õppijaid), sisu ja võimalusi (aeg, raha ja oskused) ning seatakse raamid sellele, mida hakatakse tegema.
2. **Kavandamine** - Sõnastatakse eesmärk ja õpitulemused, valitakse õpitulemuste saavutamiseks sobivad õpetamismeetodid, koostatakse õppematerjali ja selle sisu struktuur ning õppeprotsessi kava, valitakse kasutatava meedia tüübid.
3. **Väljatöötamine** - Sisaldab endas sisu loomist, tehnilist teostust ja testimist. Tulemiks on valmis ja avalikustatud õppematerjal, mis on varustatud metaandmetega.
4. **Kasutamine** - Õppematerjali kasutatakse õppija iseseisvalt või juhendatud õppeprotsessis.
5. **Hindamine** toimub tavapäraselt käsikäes õppematerjali kasutamise etapiga ja selle eesmärk on saada ideid õppematerjali parendamiseks.

Analüüsi etapis tegin selgeks info, mida mul õppematerjali koostamise jaoks vaja on. Sellest lähtuvalt koostasın küsimustiku Eesti tehnoloogiaõpetuse õpetajatele ning mõtlesin läbi küsitluse läbiviimise etapi. Lisaks tegin õpilastega suheldes kindlaks, et õpilaste huvi ning vajadus tänapäevaseid tehnoloogiaid õppida on suur. Enda eelneva kogemuse baasil tean, et I ja II kooliastme õpilaste jaoks võib jääda modelleerimine (3D printimise puhul) või programmeerimine (Arduino arendusplatvormide puhul) keeruliseks. Siinkohal otsustasin, et õppematerjal valmib III kooliastmele. Raamistikku paika panemiseks otsustasin keskenduda ainult 3D modelleerimisele ja printimisele. Hilisem uuring Eesti põhikoolides kinnitas, et tegin õige valiku.

Kavandamise etapis seadsin konkreetsemad eesmärgid. Mu töö eesmärk välja selgitada 3D printimise hetkeolukord Eesti põhikoolides ning sellest lähtuvalt luua õppematerjal. Täna olukorda ning enda õpilaste eeliseid analüüsid näen vajadust õppematerjali järele, mille abil saab õpetada vähemalt osaliselt distantsilt.

Eesti infotehnoloogia sihtasutuse arvates, peaks õppematerjal olema :

Taaskasutatav - õppematerjali saavad kasutada erinevad sihtrühmad mitmesuguste õppeainete raames sõltumata ajast ja kohast. Taaskasutatavust toetab olulisel määral tehniline universaalsus ehk levinumate tehniliste standardite järgimine.

Õppematerjali esimesed 2 osa said vormistatud selliselt, et õpilased saavad selle abil õppida distantsil. Ülesanded on lihtsad ja konkreetse ning õppematerjali katsetamine tõestas, et ka õpilased, kellel puuduvad algteadmised antud teemal, saavad ülesannetega hakkama.

Terviklik – õppematerjali on ühe konkreetse teema omandamiseks loodud õppematerjal, mis sisaldab minimaalselt välisseoseid, aitab saavutada ning kontrollida õpiväljundite saavutamist. õppematerjali terviklikkus hoolitseb selle eest, et õppematerjal sisaldab eneses kogu vajalikku materjali ning tagab selle parema kestvuse ajas. Ekspertide hinnangul on minu õppematerjal terviklik. Kogu teema saab selgeks õppida ühe materjali abil ning lisa informatsiooni pole vaja mujalt otsida. Hilisem õppematerjali täiendamine tõi ka konkreetsemalt välja teema sisu ning soovitud tulemused.

Õppimist toetav – õppematerjali toetab oma sisult ja ülesehituselt õpiväljundite saavutamist, olles juhendav, illustreeritud, interaktiivne, tagasisidet andev ja erinevate õpistiilidega õppijatele iseseisvaks läbimiseks sobiv. Minu õppematerjali sisu ja ülesehitus on hästi struktureeritud ning toetab õpiväljundite saavutamist. Juhendid on samuti selged ning illustreerivad pildid on juures. Kas see materjal erinevatele õpistiilidele sobib, on siiski ebaselge. Auditivse õppija jaoks pole kirjalik õppematerjal sobiv, kuna ta vajab avatud arutlust ning kuulamist, mida saab pakkuda ainult kontakt õpe.

Ühilduv – õppematerjali on tehnilistele standarditele vastav ja seda on võimalik kasutada levinumate operatsioonisüsteemide ning tarkvaradega, olenemata kasutatavast õpikeskkonnast. Valmis tehtud õppematerjal on PDF formaadis, mida kasutavad väga paljud õppejõud Eestis. Valmis tehtud 3D mudel on vormistatud STL formaati. Seda kasutavad

enamus 3D printereid maailmas. Seega ühindub valmis tehtud fail vajadusel ka teiste 3D printeritega, mida juhendis pole.

Sellest lähtuvalt näen, et minu õppematerjal peab sisaldama praktilisi ülesandeid koos vajalike piltide või videotega nende sooritamiseks. Videod annaksid parema võimaluse teemat õpetada ka distantsilt. Tähtis on õppematerjali abil selgeks teha modelleerimise põhitõed ning hiljem anda neile võimalus neid kasutada praktilise omanäolise eseme valmistamisel. *“Disaini funktsioon on disainida funktsioone”* (Commeren;2019).

Väljatöötamisel panin paika teemad, mida õppematerjal sisaldada võiks. Küsimustiku tulemusi ning isiklike kogemusi arvestades otsustasin, et programm millega modelleerimist õpetada on Solid Edge. Selle programmi võimalused ning kasutajasõbralikkus on minu õppematerjali kriteeriumitele sobiv. Siit edasi pidin paika panema teemad, mida programmi abil õpetada.

Tähtis on liikuda samm haaval lihtsamatest kujunditest raskemateni. Kuni lõpuks oskab õpilane ise oma paberil kavandatud eset arvutis modelleerida. Õppematerjali koostades peab arvesse võtma riikliku õppekava. Minu loodud õppematerjal kuulub disaini ja joonestamise osa juurde.

III kooliastmesse kuuluvad põhikooli 7-9 klassid. Riikliku õppekava järgi on tehnoloogia õpetuse tunnid nendes klassides jagunenud järgmiselt :

7. klass - 70 koolitundi, millest 20-25 % hõlmab teemat “Disain ja joonestamine” - vähemalt 14 tundi.

8. klass - 70 koolitundi, millest 20-25 % hõlmab teemat “Disain ja joonestamine” vähemalt 14 tundi.

9. klass - 35 koolitundi, millest 20-25 % hõlmab teemat “Disain ja joonestamine” vähemalt 7 tundi.

Kuna 7. klassi jaoks võib see materjal veel liiga keeruline olla ning 9 klassi jaoks võib materjali maht liiga suur olla otsustasin õppematerjali koostada põhikooli 8. klassile. Riigis kehtiva eriolukorra tõttu pean koostama materjali nii, et õpilane seda iseseisvalt kodus saaks kasutada (esimese kolme osa õppimine toimus 8-26 Märts, mil Eesti riigis oli välja kuulutatud üleriiklik distantsõpe) .

Õppematerjali koostades peab arvesse võtma ka riikliku õppekava. Disaini ja Joonestamise õpitulemustest soovin oma õppematerjaliga täita järgmisi :

- 1) planeerib ülesande ja disainib toote ning esitleb seda arvutiga
 - 2) lahendab probleemülesandeid
 - 3) teab ja kasutab toodete erinevaid viimistluse võimalusi
 - 4) teab ja kasutab pinnakatete omadusi ja kasutusvõimalusi
 - 5) arvestab ergonoomia ja ornamentika põhireegleid ning oskab neid töös rakendada
 - 6) loeb skeeme, lihtsat kooste- ja ehitusjoonist
 - 7) joonestab jõukohast tehnilist joonist, vormistab ja esitleb joonist või skeemi
- (Põhikooli riiklik õppekava 2012)

Kasutamise etapis saadan õppematerjali ühe Eesti Põhikooli 8 klassi tehnoloogiaõpetuse õpilastele. Õpilasi kokku on 43 ning nad jagunevad 4 paralleelklassi. Materjal koosneb neljast etapist, millest 3 on võimalik juhendite ning õppevideote abil õpilasel kodus läbida.

1. etapis õpib õpilane lihtsamad Solid Edge käsklused selgeks ning kohaneb programmiga. Etapis on kokku 11 harjutust, mille abil õpilane saab selgeks modelleerimise põhitõed ning levinumad käsklused. Selles peatükis on ülesanded lühikesed ja konkreetsed. Iga ülesande jaoks on vaja kasutada ühte kindlat käsku. See tähendab, et kujundeid ja käsklusi ei pea omavahel kombineerima või lõimima. Etapi eesmärk on luua õpilasel baasteadmised, mille abil ta saab aru järgmises peatükis tehtud kujundite loomise protsessist. Ülesanded lähevad lihtsamast keerulisemaks.
2. etapis saab õpilane enda uusi teadmisi kasutada iseseisvamalt. Etapi eesmärgiks on valmis teha mudelauto detailid. Siin peavad õpilased kasutama palju enda fantaasiat ning disaini eelistusi jäädes siiski teatud piiridesse. Õpilased kasutavad iseseisvalt eelnevalt õpitud käsklusi. Nad õpivad eset disainima, võttes arvesse teatud piiranguid (mootori mõõdud, jõu ülekande mahutamine auto külge, elektroonika sobivus jne). Selle peatüki läbimise eelduseks on arusaamine esimesest peatükist. Ilma eelnevate teadmisteta pole seda peatükki võimalik läbida.
3. etapis ehitavad õpilased virtuaalselt oma auto valmis. Eelmises etapis loodud detailid

ühendatakse omavahel virtuaalselt ning kontrollitakse üle detailide omavaheline sobivus (kere ja põhi oleks sama pikad ja laiad, ratta avad sobivad võlliga, detailid on omavahel proportsioonis). Seda peatükki on keeruline läbi viia distantis õppe perioodil, sest see vajab avatud arutlust ning võimaluse korral ka füüsiliste näidiste kasutamist. Katsetamise etapis selgus, et õpilased saaksid selle etapi paremini läbida klassiruumis koos otsese juhendamisega. Selles etapis saavad õpilased ka ühe arvestusliku hinde enda mudelauto koostejoonise eest.

4. etapp on auto detailide printimine ning ühendamine. Kuna 43 õpilase tööde printimine on aeganõudev, toimub see etapp paralleelselt teiste tegevustega. Iga tunni algul saab üks õpilane enda detailid printima panna ning tegeleda järgmiste ülesannetega. Kui 3 etapis on töö hästi tehtud, ei tohiks siin etapis raskusi enam ette tulla. Pean tähtsaks, et õpilane oleks printimise protsessi kaasatud ning prindiks oma detailid ise. Õppematerjali katsetamise perioodil seda etappi õpilastega teha ei saanud, kuna kõik õpilased viibisid distantis õppel. Selle etapi tegid läbi ainult eksperdid ning materjali täiendati vastavalt nende kommentaaridele. Kuigi eelmised etapid läbinud õpilased sooviksid ka selle etapi läbi teha, jääb selle etapi katsetamine õpilastega hilisemasse tulevikku.

Paralleelselt õppematerjali kasutamisega toimus ka õppematerjali **hindamine**. Saatsin enda õppematerjali kahele 3D printimise ja modelleerimise eksperdile ning palusin neil anda omapoolne hinnang minu õppematerjalile. Samuti toimus pidev täiendamine õppematerjali esmase kasutamise ajal 8. klassiga. Enne tööga alustamist palusin õpilastel endale stuudiumisse kirjutada, kui midagi jääb õppematerjalis segaseks või jääb töö seisma tehniliste takistuste pärast. Seejärel kontrollisin ülesande sõnastust ning parandasin seda.

Selle töö tulemusena said mitmed punktid korrigeeritud. Samuti selgus mitu viga jooniste koostamisel, mis tulid nähtavale alles peale esemete printimist ning omavahel ühendamist.

Kui kogu materjal oli õpilaste poolt läbi töödeldud ning selleks ette antud aeg oli läbi, saatsin neile küsimustiku tagasiside jaoks. Peale selle täitmist analüüsisin tulemusi ning viisin sisse veel vajalikud täiendused. Suurem rõhk täienduste puhul oli siiski ekspertide hinnangul. Õpilaste tagasiside oli vajalik rohkem selleks, et teada saada õppematerjali struktuuri arusaadavust, selgitada lihtsad ja rasked osad välja ning üldist huvi teema vastu.

6.3 Uurimuse eesmärk

3D modelleerimine ja printimine on uudne teema ning uurimused prognoosivad selle valdkonnale helget tulevikku (Wohler'i raport 2021; 3D Hubs'i raport, 2021). Seega pean oluliseks selle teema kaasamist Eesti põhikooli tehnoloogiaõpetuse õppekavasse. Et minu loodud õppematerjalist kasu oleks, viin läbi 2 küsitlust.

Eelküsitluse, mille abil soovin kindlaks teha hetke olukorra Eesti põhikoolides 3D printimise ja modelleerimise osas. Küsitlus on mõeldud tehnoloogiaõpetuse õpetajatele ning selle eesmärk on saada tagasisidet tegev õpetajatelt. Soovin kindlaks teha enim kasutatavad 3D printerid Eesti põhikoolides, levinumad modelleerimisprogrammid ning kõige rohkem tehtavad praktilised tööd.

Eelküsitlusest saadud andmete põhjal valminud õppematerjali lasen katsetada kahel eksperdil. Selle abil soovin saada ekspertide tagasisidet, mille abil täiendada ja parandada enda õppematerjali enne katsetamist. Erinevalt õpilastest oskavad eksperdid anda oma kogemuste abil hinnangut ja kriitikat õppematerjalile. Soovin selle läbi viia enne õpilastega õppematerjali katsetamist, sest see aitab korrigeerida potentsiaalsed vead õppematerjalist.

Õpilaste tagasiside küsitluse, mille abil soovin õpilastelt tagasisidet saada õppematerjali kohta peale katsetamist. Küsitluse eesmärgiks on kindlaks teha keerulisemad osad õppematerjalis ning saada infot, kuidas antud teemat õpilastele paremini selgeks teha. Samuti soovin teada saada, kui suur on õpilaste huvi selle teema kohta nende eelistusi tehnoloogiaõpetuse aine teemade osas.

7. Metoodika

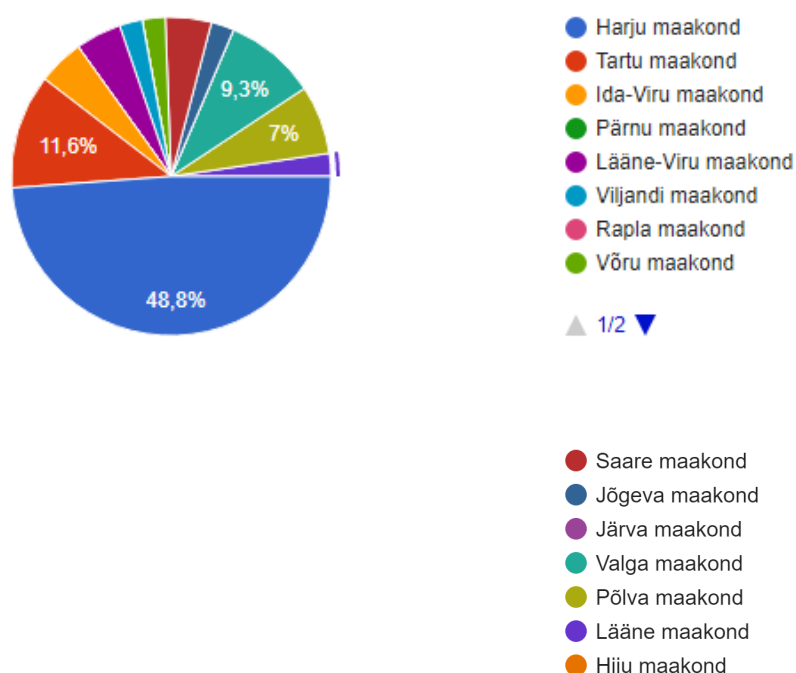
Magistritöö eesmärgiks oli uurida hetke olukorda 3D printimises Eesti põhikoolides ning sellest lähtuvalt luua õppematerjal põhikooli III kooliastmele. Et soovitud tulemuseni jõuda, oli vaja läbi teha järgnevad etapid :

1. Luua küsimustik vajalike küsimustega ning saata see Eesti Tehnoloogia õpetajatele.
2. Analüüsida küsimustiku tulemusi ning sellest lähtuvalt paika panna õppematerjali struktuur ja teemad.
3. Koostada õppematerjal ning kasutada seda õppetöös. Võtta õpilastelt tagasisidet.
4. Õppematerjal anda hindamiseks ekspertidele
5. Täiendada vastavalt 3. ja 4. punkti tulemustele.

7.1 Valim

7.1.1 Eelküsitlus

Küsimustiku valimi moodustasid Eesti tehnoloogiaõpetajad. Küsitlus saadeti laiali läbi Eesti Tehnoloogiakasvatuse liidu ning läbi Eesti Tööõpetajate Seltsi. Kõikidel liikmetel oli kahe nädala jooksul võimalus vastata küsimustikule. See oli parim viis saada ühendust üle Eesti olevate õpetajatega ning teada saada nende arvamus. Eestis on tehnoloogiaõpetajaid umbes 300. Küsimustikule vastasid 43. Seega moodustab mu valimi 14,3 % Eesti Tehnoloogia õpetajatest. Paljude küsimuste juures oli jäetud vabalt kirjutatavaid variante, et õpetajad saaksid täpsustada ja laiemalt rääkida enda kogemustest modelleerimisel ja printimisel. Üldiselt olid vastanud õpetajad abivalmis ning jagasid mulle väga head ja vajalikku infot enda õppematerjali jaoks. Maakonniti vastas kõige rohkem õpetajaid Harjumaalt (21). (Joon 1)



Joon 1. Vastanud õpetajad maakonniti

7.1.2 Õppematerjal

Õppematerjali valimi moodustasid ühe Eesti põhikooli 8. klassi tehnoloogiaõpetuse õpilased ning täiendatud versiooni 2 liikmeline ekspertide grupp. Ekspertide grupi moodustasid teema vastu huvi tundvad tehnoloogiaõpetuse õpetajad. Nende arvamusi ja soovitusi võtsin arvesse peale õppematerjali esmast kasutamist, et enda tööd täiendada. Õpilastele sai tagasiside jaoks tehtud küsimustik, et teada saada kas see teema neile meeldis ning kui hästi nad teemast aru said.

7.1.3 Mõõtevahend ja protseduur

Valisin eesmärgist lähtuvalt andmekogumise meetodiks küsitluse. Küsitluse koostas ise ning valmis küsitlust katsetasin lõputöö juhendaja peal. Proovisin küsitluse hoida võimalikult lühikese ja konkreetse, sest vastused, mis ma teada tahtsin olid konkreetsed.

Näiteks levinum programm, mida kasutatakse modelleerimisel. Kooliaste, kus printerit kõige rohkem kasutatakse jne.

Otsustasin küsitluse läbi viia interneti teel, sest näost näkku ei saaks ma iga maakonna õpetajatega suhelda ning kõikidel õpetajatel pole oma telefoni numbreid internetis üleval. Interneti abil saan ka kõige laiemast vastajate grupi ning andme töötlemisel on mul juba digitaalne materjal, mida pole vaja ümber kirjutada.

Platvormina kasutasin “Google vormid” keskkonda. See on kasutajasõbralik ning tasuta keskkond, mille abil saab väga lihtsalt küsimusi vormistada, neid jagada ning tulemusi hiljem analüüsida.

7.1.4 Eelküsitlus

Kui küsitlus oli valmis ning kooskõlastatud, saatsin selle seltsi juhtide kaudu huvigrupile ning ootasin 2 nädalat vastuseid (1-14. veebruar). Küsitlus koosnes 10 küsimusest, millest 9 oli valikuvariantidega ning ühes oli vaja vastus kirjutada (Küsimus nr .8).

Kokkuvõttes sain 15 Eesti maakonnast vastused 11 maakonnast. Kokku vastas küsitlusele 43 õpetajat Eesti Põhikoolidest. Nende tulemuste abil analüüsisin hetke olukorda Eesti Põhikoolides 3D printimise ja modelleerimise osas. ([Lisa 3](#))

7.1.5 Õppematerjal

Õppematerjali valim olid ühe Eesti Põhikooli 8 klassi õpilased. Vahenditeks olid pidev suhtlemine tööprotsessi käigus Stuudiumi kaudu ning hilisem tagasiside küsitlus. Küsitlus koosnes kümnest küsimusest, mis olid põhiliselt viie punkti skaalal hinnangu andmine õppematerjalile. Küsimused olid rõhutatud huvi ning materjalist arusaamise välja selgitamisele.

Õppematerjali katsetamise käigus toimus ka pidev suhtlus õpilastega ning vajadusel õppematerjali täiendamine. Õpilased said 4 nädalase perioodi jooksul iga nädal kätte ühe osa

õppematerjalist, mille abil nad pidid iseseisvalt kodus tegema vastava osa juurde kuuluvad ülesanded. Oma valmis ülesanded laadisid nad üles stuudiumi keskkonda, kus õpetaja töid hinnata ja tagasisidestada sai. Kui ülesanded ei laekunud õigeaegselt, sai õpilane hinnetelehele hüüumärgi, mis hiljem muutus negatiivseks hindeks.

Katsetamise toimus distantsoõppe perioodil, mistõttu ei saanud õpilastega katsetada IV osa õppematerjalist. Seetõttu oli eesmärgiks, et õpilased suudaksid iseseisvalt teha kodus valmis esimesed kolm. Kolmanda osa lõpuks peaks õpilane oskama valmistada mudelauto koostejoonist. Selle eest said nad ühe arvestusliku hinde nende enda disainitud mudelauto joonise eest.

7.2 Tulemused

7.2.1 Eelküsitlus

Esimesena sain teada tulemused õppematerjali eelküsitluse kohta.

Küsimusele, kas nende koolis on olemas 3D printer, vastasid üle poolte vastanutest jah.

See tähendab, et üle poolte vastanud õpetajatest saavad minu koostatud õppematerjali kasutada. See on piisavalt, et jätkata enda valitud õppematerjali teemaga.

Pooled vastanud õpetajatest kasutavad printerina Prusa i3-e ning $\frac{1}{2}$ kasutavad MakerBoti. Kuna kool, kus töötan kasutab printerina MakerBot-i ning teiste koolide külastamine on hetke olukorras piiratud, otsustasin õppematerjalis kasutada siiski MakerBot-i. Võimalusel täiendan tulevikus oma õppematerjali ning teen mitme printeriga printimise kohta juhendid.

Hiljem uurides printereid, mis turul liikvel on avastasin, et Prusa i3-e hetkel Eestis kättesaadav pole. Lehtedel nagu www.byroomaailm.ee ning www.shoppa.ee on printer küll müügis, kuid laost otsas. Kontrollisin olukorda Jaanuaris 2021. ning Mais 2021. ning Prusa i3 printerit lattu juurde pole tulnud. Seega võib öelda, et eel küsitluse tulemuste kõige populaarsem printer (Prusa i3) pole enam Eestis müügil.

Enamus vastanud tehnoloogiaõpetuse õpetajatest juba kasutavad või sooviksid kasutada oma õppetöös 3D printerit. See kinnitab mu väidet lõputöö teema aktuaalsuse kohta.

Üle poolte vastanud tehnoloogiaõpetuse õpetajatest tunnevad, et eestikeelsed õppematerjali selle teema kohta pole piisavalt. See on tähtis punkt, mis kinnitab minu magistritöö teema aktuaalsust ning vajadust. Vastuste seas käis ka läbi probleem “Materjal on hajutatud”. See näitab vajadust ühe kindla kogumiku järele, mida kasutada.

Üle poolte vastanud tehnoloogiaõpetuse õpetajatest kasutab suuremal või väiksemal määral 3D printerit oma õppetöös. Nendest 32,5 % vähe, 17,5 palju ning 2,5 % väga palju. See protsent võib suureneda, kui ilmub rohkem eestikeelset õppematerjali.

Kolmveerand vastanud tehnoloogiaõpetuse õpetajatest tunnevad, et nende õpilaste huvi 3D printerite vastu on kas keskmine või sellest suurem. See on hea info, sest kui õpilastel on antud teema vastu huvi, on seda kergem õpetada.

Üle poolte vastanud tehnoloogiaõpetuse õpetajatest kasutavad 3D printerit põhikooli III kooliastmes. Veerand vastanutest kasutab printerit II kooliastmes. See kinnitab mu huvigrupi valikut, milleks on III kooliaste.

36 % vastanud tehnoloogiaõpetuse õpetajatest kasutab modelleerimise tarkvara TinkerCAD ning 28 % Solid Edge programmi. Valisin enda õppematerjali tarkvaraks siiski Solid Edge, sest seal on tunduvalt rohkem võimalusi ning disaini ja joonestamise poole pealt on see programm õpetlikum.

Nende andmete baasil hakkasin ma tegema enda õppematerjali esimest versiooni. Selleks sain kasutada tehnikat ning seadmeid, mis on olemas koolis, kus ma töotan. Otsustasin seda katsetada 8. klassi õpilaste peal ning seejärel küsida nende käest tagasisidet. Kuna katsetamine jääb riigis oleva eriolukorra tõttu distantsõppe perioodi, pean arvestama materjali koostades, et materjali oleks võimalik iseseisvalt õppida. Katsetamine toimus perioodil 8-26. Märts.

Hüpotees sai kinnitust. Eesti koolides on vaja 3D modelleerimise ja printimise õppematerjali.

7.2.2 Ekspertide hinnang

Kui esimene versioon õppematerjalist sai valmis, lasin enda õppematerjali katsetada kahel eksperdil, kellel on suur kogemus 3D printimise ja disainimise valdkonnas. Nad läbisid omas tempos kõik 4 etappi ning selle käigus tegid märkmeid, mida soovitaksid teha teistmoodi. Selle käigus tulid välja mitmed vead, mis tänu ekspertide soovitustele said likvideeritud enne materjali õpilastega katsetamist. Põhjus, miks probleemid ilmnesisid ekspertide katsetamise käigus, on sest katsetasin ise õppematerjali samaaegselt. See oli tingitud soovist printida detaile samaaegselt mitme printeriga. Kui ühel printeril tekkis probleem ning teisel mitte, on lihtsam tuvastada viga. Ühe detaili printimise käigus toimus detaili kaardumine. Teine printer suutis detaili printida ilma vigadeta. Võrdlesime printeri parameetreid ning ruumi tingimusi. Selgus, et ruumi niiskus oli kaardumise puhul suurem. proovisin detaili uuesti printida, kuid suunasin seekord soojapuhuri printeri suunas. Tulemus oli parem. Katsetasin detaili printimist veelkord, kuid asetasin soojapuhuri printeri kõrvale selliselt, et soe õhk ei puhu otseselt printerile. Siis oli tulemus kõige parem. Samuti sai katsetatud printimist lahtise või kinnise aknaga, erinevate temperatuuride ning õhuniiskustega. Nende parameetrite muutustele oli eriti tundlik MakerBot Replicator. Ekspertidega arutades leidsime, et põhjuseks on põhjaplaadi soojenduse puudus. Kui printeril on olemas põhja soojendus, saavad prinditud kihid kuivada ning jahtuda aeglasemalt ning ühtlase tempoga. See tagab tugevama ühenduse erinevate kihtide vahel ning vähendab prinditud detaili tundlikkust välis teguritele.

IV osa õpilastega läbi viia ei saanud. Kuna mu soov oli, et õpilased ise oma modelleeritud detailid printima paneksid, polnud see riigis kehtiva eriolukorra tõttu võimalik. Seega lükkasin selle osa katsetamise õpilaste peal tulevikku. Spetsialistidelt tagasisidet saades palusin neil disainitud detailid välja printida ning hinnata nende korrektsust ning disaini. Samuti palusin neilt soovitusi, mida nemad teeksid teisiti.

Mootori ja ratta võlli vaheline jõuülekanne toimub rihmaga kahe ratta abil. Selle jaoks on tehtud auto põhja sisse ava, kuhu ratas kinnitada. Ava disainimisel pole aga arvesse võetud rihma enda liikumisteed. Rihm kinnitub küll hästi rataste külge, kuid järsu nurga tõttu käib ta liikudes vastu auto põhja. Selle tulemusena puruneb ta lõpuks mootori liikumisel. Samuti võiks olla ava laiem, sest rattal pole nii head liikumisruumi, kui võiks.

Mootorile kinnituva jõuülekande ratta puhul polnud arvestatud mootori kaugust põhjast. Kui ratas on kinnitatud mootori külge, ei ole võimalik mootorit kinnitada auto põhja külge, sest ratas on liiga suur.

Jõuülekande rataste servad on liiga madalad. Kui tekib olukord, et ratas peaks sõitmise ajal hetkeks kinni jääma, võib rihm end rataste pealt minema visata. Samuti võiksid servad olla paksemad. Hetkel olev 1 mm paksus paindub kergest ning võib ära murduda auto laiali ning kokku monteerimise.

Auto mõõtmete puhul on küll arvesse võetud elektroonika komponentide mõõtmeid, kuid nende mahutamine auto sisse on väga raske ning kui tulevikus oleks vaja vahetada patareid, peab tõenäoliselt ka teisi elektroonika komponente paigast liigutama.

Mudelauto käivitamine ning välja lülitamine on disaini mõttes keeruline. Auto tagaosas paikneb lüliti. Et seda tööle panna, peab auto üles tõstma ning kui ta maha panna, sõidab auto üpris kiiresti minema. Auto sõidab, kuni ta takistuse otsa sõidab ning rattad liiguvad ikkagi edasi. See võib põhjustada defekte auto kerel, elektroonika paigast liikumist või mootori riket.

Õppematerjalis pole skeemi või joonist elektroonika kohta. Isegi kui õpilane kõik komponendid endale hangib, ei oska ta neid õppematerjali abil monteerida, sest juhend puudub.

Et need probleemid lahendada, võtsin detailid Solid Edge programmis uuesti lahti ning viisin sisse mitmed muudatused. Muudatused viidi sisse enne õppematerjali õpilastega läbi töötlemist. See oli võimalik tänu õigeke katsetamise järjekorrale. Kui oleksin katsetanud materjali enne eksperte õpilastega, oleks printimisel tekkinud probleeme.

Kaotasin auto kere ning põhja küljest kõik elektroonika jaoks mõeldud pesad ja avad ning suurendasin auto jõuülekande mehhanismi jaoks mõeldud läbivat soont. See võimaldab mootori asukohta muuta vastavalt rihma mõõtudele. Samuti annab see juurde ruumi jõuülekande ratastele. Kuna soon on piisavalt pikk mõlema ratta jaoks, ei pea muutma rataste läbimõõte väiksemaks. Samuti tegin auto tagumisse otsa ava juhtme jaoks. Mootori kahe

juhtme külge kinnitub nüüd juhe, mis tuleb kerest välja ning rohkem elektroonikat kere sees pole.

Jõuülekande ratastel on nüüd kõrgem ja paksem serv. See on võimalik tänu eelmises punktis tehtud muudatustele. Nüüd püsib rihm kindlamalt rataste küljes.

Kogu autost eemaldatud elektroonika jaoks disainisin auto puldi. Auto kerest väljuv juhe siseneb puldi põhjast ning kinnitub patarei pesa külge. Pluss juhtme vahele on ka lisatud lüliti, mis kinnitub samuti puldi külge. Puldi mõõtmete juures on arvesse võetud lüliti asukohta ning patarei vahetamise võimalust. See võimaldab maas liikuvat autot sisse ja välja lülitada ilma autot üles tõstmata ning puldi ja auto vaheline juhe ei lase autol kasutajast kaugele sõita.

Õppematerjalile on lisatud TinkerCAD keskkonnas loodud elektroonikaskeem, kuhu on lisatud kõik auto küljes olevad komponendid ning viis, kuidas nad omavahel ühendatud on.

7.2.3 Õpilaste tagasiside

Õpilastel oli aega õppematerjal koos juures olevate ülesannetega läbida 4 nädalat. Õppematerjali õppimine toimus individuaalselt distantsõppe ajal (01.03.21 - 02.04.21).

17 õpilast suutsid materjali iseseisvalt läbi lugeda ning kõik ülesanded õigeaks ajaks esitada.

18 õpilasel jäi õppematerjal erinevatel põhjustel pooleli (vajadus täpsema juhendamise järele).

8 õpilast ei saanud õppematerjaliga kodustes tingimustes tegeleda ning tegid õpetaja poolt antud alternatiivseid ülesandeid (tehnilised probleemid ning vajadus suurema toe järele).

Ülesanded ei laekunud kõik õigeaegselt ning oli õpilasi, kes tehniliste raskuste pärast ei saanud kodus ülesandeid teha. Kui õpilane ise andis probleemist teada, andis õpetaja õpilasele alternatiivse ülesande, mille eest õpilane hinde sai. Kui töö jäi õigeaegselt esitamata, sai õpilane hinnetelehele hüüumärgi, mis hiljem muutus negatiivseks hindeks.

Paljud õpilased võtsid õpetajaga ühendust alles siis, kui nägid enda hinnete seas negatiivset hinnet. Siiski suutis suurem osa (ligikaudu $\frac{3}{4}$ õpilastest) tööd esitada õigeaegselt ning ilma suuremate vigadeta. Esimene ja teine nädal sujusid suhteliselt sarnaselt ning õppematerjali esimese poole katsetamist võib pidada edukaks. ([Lisa 1. Osa I ja II](#)).

Kolmandal nädalal tekkis rohkematel õpilastel raskusi. Kuna siin peatükis ei olnud enam õpetaja poolt etteantud mõõtmeid ja käsklusi, pidid õpilased rohkem oma fantaasiat ning ruumilist kujutlusvõimet kasutama. Selle peatüki eesmärk on valmis luua ese, mida järgmises peatükis ka prindime. Seetõttu oli erinevalt eelmistest peatükkidest selles rohkem nõudeid ja kriteeriume kasutusel, mis mitu õpilast segadusse ajas. Kontakt õppes oleks saanud kasutada füüsilisel kujul näidiseid ning rääkida nende kaudu läbi punktid, mida arvestama peab. Kuid ainult tekstilise materjaliga jäi see peatükk mitmele keeruliseks. ([Lisa 1. Osa III](#)).

Peale õppematerjali testimist vastasid õpilased tagasiside küsitlusele, mis koosneb kümnest küsimusest. Samuti suhtlesin valitud õpilastega otse, et saada täpsemaid põhjendusi vastuste kohta.

Küsimustiku usaldusväärsuse tagasin sellega, et vastata said ainult need isikud, kellele link on saadetud. Hiljem õpilaste ja küsitlusele vastanute arvu kontrollides, klappisid numbrid.

Ligikaudu pooled õpilastest arvasid, et õppematerjal on neile sobival tasemel ning sama palju arvas, et õppematerjal on kas raske või liiga raske. Arvamus, et õppematerjal on liiga raske on tingitud osaliselt vajadusest parema juhendamise järele, mida saab pakkuda kontaktõppes. See selgus õpilastega suhtlemise käigus. Kahe õpilase arvates oli õppematerjal liiga lihtne.

Umbes $\frac{2}{3}$ õpilastest arvas, et õppevideotele oleks juurde vaja ka teksti, et ei peaks kordamööda lahti tegema teksti ja video faile. $\frac{1}{3}$ õpilasi arvas, et videotele pole teksti juurde vaja ning 2 õpilast tegid oma ülesanded ära ainult kirjaliku materjali abil.

Küsimusele “Kui väga mind see teema huvitas?” andsid õpilased viie punkti skaalal järgmised hinnangud:

hinde “5” - 7 õpilast

hinde “4” - 9 õpilast

hinde “3” - 10 õpilast

hinde “2” - 6 õpilast

hinde “1” - 3 õpilast

See näitab huvi 3D printimise ja modelleerimise vastu, kuna ligi $\frac{3}{4}$ õpilastest andsid teemale hinnangu 3 või kõrgem. Arvesse tuleb võtta ka, et see oli õpilaste esmane kokkupuude Solid Edge programmiga ning nad läbisid seda iseseisvalt. On põhjust arvata, et sama materjali läbimine kontaktõppes võib anda veel paremad tulemused.

Ühe õpilase küsimus stuudiumist :

“Kas me teeme sellest puldiauto või teeme seda lihtsalt arvutis? Võiks teha päris autod ka.

Kasvõi siis järgmisel kooliaastal.”

Kõige kergemaks osaks õppematerjalis pidasid õpilased harjutusi 1-6 ([Lisad : Õppematerjal](#)) sest seal oli iga käskluse jaoks eraldi ülesanne koos detailse juhendiga. Kui hilisemates ülesannetes oli vaja neid samu käsklusi omavahel kombineerida, läksid ülesanded õpilaste jaoks keerulisemaks.

Kõige raskemaks osaks õppematerjalis pidasid õpilased III peatükki, milleks oli “Mudelauto modelleerimine”. See oli peatükk, kus õpilased pidid I ja II peatüki teadmiste abil oma enda disainitud auto valmis modelleerima.

Siit võib järeldada, et õppematerjal on hästi koostatud, sest kõige lihtsam on I peatükk ning raskem III peatükk. See näitab, et ülesanded lähevad lihtsamast raskemaks. IV peatükk jäi eriolukorra tõttu õpilastel läbi tegemata.

$\frac{2}{3}$ õpilastest sooviksid kindlasti Solid Edge programmi kasutada kontakttunnis ning iseseisvalt midagi valmistada. $\frac{2}{3}$ soovivad seda võibolla teha ning $\frac{1}{3}$ pigem mitte. “Võibolla” vastanud õpilaste üks põhjus on, et nad ei tunne ennast selle programmiga kindlalt ning kardavad, et ei saaks iseseisvalt hakkama.

Üle poolte õpilaste arvates on videotest rohkem kasu kui kirjalikust õppematerjalist. $\frac{2}{3}$ õpilastest arvab, et mõlemat on vaja. Sellest tulenevalt näen, et kui õppematerjali on tulevikus vaja veel distantsõppe ajal kasutada, on videotele vaja peale rääkida abistavat teksti.

Küsimusele “Kui palju kulus sul kokku aega, et kogu õppematerjal läbi töödelda ning mudelauto koostejoonis valmistada?” oli palju erinevaid vastuseid. Mitu õpilast ei osanud öelda, kuna tegid iga päev natuke ning ei vaadanud kella. Samuti jäi mitmel õpilasel töö pooleli. Kuid kõige populaarsem vastus oli 4-5 tundi. See on 8-10 koolitundi, mis ajaliselt mõttes sobib minu plaanitud mahuga. Arvestama peab ka seda, et IV peatükk jäi hetkel aja mõõtmisest välja.

$\frac{2}{3}$ õpilastest arvas, et Tehnoloogia tunnis võiks teha nii praktilisi puidu/metalli töid kui ka arvutis modelleerimist. $\frac{1}{3}$ sooviks teha ainult modelleerimist ning $\frac{1}{3}$ ainult puidu/metalli töid.

Küsimusele “Kui selgeks sa Solid Edge programmi teema lõpetuseks said?” andsid õpilased viie punkti skaalal järgmised hinnangud :

hinde “5” - 3 õpilast

hinde “4” - 11 õpilast

hinde “3” - 13 õpilast

hinde “2” - 4 õpilast

hinde “1” - 4 õpilast

Enamus õpilasi hindasid oma teadmisi hindegas 3 või rohkem. See on hea näitaja arvestades, et teema oli nende jaoks uus.

Tagasisidest selgus, et õppematerjali on distantsõppe jaoks vaja täiendada. I ja II osa on distantsõppe jaoks piisaval tasemel. III osa on iseseisvaks õppimiseks liiga keeruline ning IV osa saab teha ainult kontakt õppena. Kuid õppematerjal polnud algselt mõeldudki distantsõppe jaoks.

Õpilased arvavad, et kui III osa õppida kontakt õppes koos pideva juhendamisega, saaksid nad sellega hakkama.

Kui sama materjali on tulevikus uuesti vaja kasutada distantsõppes, peaks lisama videotele juurde juhendid ning III ja IV osa asemele mõtlema teistsugused ülesanded.

Kokkuvõtvalt võiks veel lisada, et need õpilased, kes kontakt tundides vajavad rohkem tuge ning jäävad tihtipeale tunnis teistest maha, vajasisid ka distantsõppe ajal rohkem abi. Või jätsid oma ülesanded esitamata. Õpilastel, kes on käinud 3D Printimise huviringis või on kuidagi teisiti kokku puutunud 3D modelleerimisega olid tulemused kõige paremad. Paljude õpilaste jaoks oli ka probleem liiga kiire tempo. Enamasti esitasid need õpilased oma töö siiski hilinemisega ära.

IV osa õppematerjalist katsetasid ainult eksperdid. Ekspertide katsetamine toimus enne õpilastele õppematerjali tutvustamist. See oli hea järjekord, sest mitmed disainivead said tänu sellele likvideeritud. Sellest oli täpsemalt juttu eelmises peatükis ([Ekspertide hinnang](#)).

8. Arutelu

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada 3D printimise hetkeolukord Eesti põhikoolides ning sellest lähtuvalt luua õppematerjal. Selleks loodi küsimustik tehnoloogiaõpetuse Õpetajatele, et uurida vajadust õppematerjali järele; loodi õppematerjal ning katsetati valminud materjali põhikooli õpilaste ja ekspertide peal. Hiljem tehti parandusi õppematerjalis vastavalt tagasisidele.

Rahvusvahelisi uuringuid lugedes selgus, et 3D modelleerimist ja printimist õpetatakse rohkem keskkoolis ning ülikoolis. Keskkoolis valikkursusena ning ülikoolis teemaga sobivatel erialadel.

Eelküsitluses osalesid “Tehnoloogiakasvatuse liidu” ning “Eesti Tööõpetajate Seltsi” liikmed. Sellest tulenevalt tehti selgeks teema aktuaalsus, levinumad 3D printerid, levinumad programmid, levinumad ülesanded ning huvigrupid, kellele õppematerjal mõeldaks.

Õppematerjali katsetamine toimus distantsõppe perioodil. Digitaalse õppevaraga saab valida õppimise aega, kohta, kohandada õppeaine raskusastet ja õppimise tempot. (A.Villems; 2015). Kuna õpilased katsetasid õppematerjali iseseisvalt kodus, oli tähtis koostada väga täpsed juhendid, mida õpilane jälgida saaks. Sellepärast tehti lisaks kirjalikule materjalile ka õppevideod. Tagasisidest selgus, et õppevideotest oli palju abi. Üle poolte õpilastest tegid ülesanded ära just videote abil. Kuid tunti, et videotel oleks võinud juurde rääkida teksti, et paremini tegevustest aru saada.

Valmis õppematerjali katsetasid ühe Eesti Põhikooli 8. klassi õpilased, kes tutvusid õppematerjaliga ning lahendasid juures olevad ülesanded distantsõppe perioodil. Peale 4 nädalast õppematerjali katsetamist võeti õpilastelt tagasisidet ning täiendati õppematerjali vastavalt sellele. Üldine tagasiside näitas huvi modelleerimise vastu ning ette antud raskusaste oli sobiv või pisut raske. See on tingitud ka distants õppest.

Paralleelselt õpilastega katsetasid õppematerjali ka 2 eksperti, kes printisid õppematerjali abiga koostatud esemed välja ning kontrollisid nende omavahelist kokkusobivust ning korrektsust. Õppematerjali täiendati vastavalt tagasisidele. Parandatud sai jooniseid ning

mõne juhendi sõnastust. Peale parandusi oli ekspertide hinnangul õppematerjal sobilik, et õpetada 3D printimist ning modelleerimist põhikooli III kooliastmes. *Kõrge ruumilise kujutlusvõimega õpilastel on sellist tööd üpris lihtne teha, sest neil on head kognitiivsed oskused* (T.Huk; 2006).

Õpilaste motivatsiooni tööd kaasa teha oleks tõstnud ka see, kui nad oleksid näinud valmis näidist, mis töötab selliselt nagu õppematerjalis kirjeldatud. Ekspertide õppematerjali testimise käigus valmisid küll autod ning nendest tehti pilte ning videoid, kuid õpilane õpib paremini, kui saab näidiseid ise näha ning katsetada. Kuigi juhendid olid enamuse õpilaste arvates selged, oli õpilasi, kes ei saanud aru, et kui kontaktõpe taas algab, plaanime nende loodud failid välja printida. Paljudele neist oleks rohkem sobinud disainida kontakt õppes arutluse ja katsetamise käigus. *Mitte ainult motivatsioon ei aita noorte tegevustele kaasa, vaid tegevused ise motiveerivad noori. Nende kaasamine ja arvamuste küsimine annab neile võimaluse end teostada, mis paneb neid uskuma, et nad on võimekad ja saavad igas olukorras hakkama* (E. Daniels; 2004).

Õpilaste tagasisidest selgus, et teema on aktuaalne ning raskusaste on nende jaoks sobival tasemel. Kuna aga õppematerjal polnud algselt mõeldud distantsõppel kasutamiseks, oli õpilasi, kellel tekkis õppimisel raskusi. Programm, millega modelleerimine toimus (Solid Edge) oli mahukas ning ei töötanud kõigis arvutites. Samuti ei osanud osad õpilased seda enda arvutisse seadistada. Need õpilased käisid ülesandeid koolis tegemas või said alternatiivse ülesande. Suurem osa õpilasi said siiski oma ülesannetega kodustes tingimustes hakkama.

Õppematerjali tugev külg oli, et viidi läbi eeluurimise õppematerjali vajaduse järele ning hiljem võeti tagasisidet nii ekspertidelt, kui ka õpilastelt. Selle tulemusena valmisid väga lihtsalt järgitavad juhendid ning õpilaste jaoks huvitavad ülesanded.

Nõrgaks küljeks võib pidada, et õppematerjali katsetamise periood oli paljude õpilaste jaoks liiga lühike. Klassides on kiiremaid õppijaid ning aeglasemaid. 4 nädalat kogu materjali läbi töötamiseks oli aeglasemate õpilaste jaoks liiga lühike aeg. Kuna teema oli nende jaoks uus ning juhendamine oli raskendatud, ei saanud nad oma tööga õigeaks ajaks valmis.

Kokkuvõtvalt ütleks, et õppematerjal on sobiv põhikooli III kooliastmele, et õpetada disaini ja joonestamise osaõpet. Õppematerjali on võimalik õpetada distantis õppes kuid pigem on see sobilik kontakt õppeks. Kuigi õpilaste tagasiside oli üldiselt hea, oli siiski mõningaid õpilasi, kes ei saanud ülesandest aru ning ei tundnud huvi selle vastu. Põhjuseid selleks on eriolukorra tõttu raske välja uurida.

Õppematerjali saab alati täiendada ja kohendada vastavalt klassile. See õppematerjal annab õpetajale hea näite, mida võiks õpetada kuid jätab piisavalt ruumi, et lisada siia oma ideid. Näen, et see õppematerjal on vaid üks kild õppematerjali kogumist, mis tulevikus võiks valmida.

Töö käigus sain vastused enda poolt seatud uurimisküsimustele.

Kas minu plaanitav õppematerjal on põhikooli tehnoloogiaõpetuse III kooliastme õppesisuga? Mis punkte ma täita soovin?

Tehnilist taipu arendavate ja probleemülesannete lahendamine, Toodete disainimine arvutiga, Joonise vormistamine ja esitlemine; Leppelisused ja tähised tehnilistel joonistel ristlõiked ja lõiked; koostejoonis.

Kas plaanin oma õppematerjali jagada ka teiste õpetajatega ning kas võtan nende soove ja arvamusi arvesse?

Plaanin koostada õppematerjali Eesti tehnoloogiaõpetajate eelistest lähtuvalt kuid võtan selle käigus arvesse ka isiklike kogemusi ning eelistusi. Et saada võimalikult laialdase otstarbe enda materjalile pean selgeks tegema, mis modelleerimise programmi kõige rohkem kasutatakse. Samuti mis on kõige levinumad 3D printerid eesti koolides ning mis esemeid koolides kõige rohkem prinditakse. Selle info soovin teada saada küsimustiku analüüsi tulemusel.

Kas mu õppematerjali koostamine on plaanitud ühekordse tegevusena või plaanin ma koostada tulevikus materjale ning neid omavahel lõimida?

Plaanin materjali koostada ka tulevikus. Seega on mõistlik juba praeguse materjali koostamisel arvesse võtta lõimingut. Võimalusel toon enda materjali sisse juba osaliselt elektroonika komponente, et viidata tulevikus koostatud materjalis praegusele ning lõpuks koostada õppematerjalide komplekt.

Mille abil määrad õige jõukohasuse õppematerjalile?

Kui õppematerjal on liiga lihtne, ei pruugi õpilasel olla motivatsiooni teemat läbida. Sama on ka liiga raske õppematerjaliga.

Õige taseme teen kindlaks hilisema tagasiside abil. Õpilastele koostatud küsimustikus peab olema punkt, kus õpilane saab öelda kui jõukohane see ülesanne tema jaoks oli.

Õpilased hindasid õppematerjali raskustaset hindegas "sobival tasemel" või "Pigem raske", mis on minu jaoks sobiv.

Mis formaadis õppematerjali plaanid luua?

Plaanin teha katsetuse. Koostan illustreerivate piltidega teksti dokumendi, millele on juurde kirjutatud samm-sammult juhised teatud töö tegemiseks

Teen igast samm-sammult juhendist ka video, kuhu pole teksti juurde räägitud.

Kui selline õppematerjal sobib, plaanin teha vajalikest teemadest veel samas formaadis õppematerjale.

Isiklikult sain ma väga hea kogemuse õppematerjali koostamise osas. Õppematerjali katsetamine toimus distantsõppe perioodil. Kuigi õppematerjali katsetamine ning tagasiside saamine oli selle tõttu keeruline, sain oma ülesandega hakkama ning enda seatud eesmärgid täidetud. Magistritöö "3D modelleerimise ja printimise teemaline õppematerjal põhikooli III kooliastmele" käigus sain palju ideid, mida soovin rakendada tulevaste õppematerjalide koostamisel. Kuigi õppematerjal on aktuaalne ning sobival tasemel III põhikooli astmele näen siiski vajadust koostada õppematerjal II põhikooli astmele. See tagaks tugevad algetadmised antud teemal ning parema suutlikkuse õppida õppematerjali iseseisvalt juhuks, kui selleks veel vajadust peaks tulema.

Samuti soovin koostada tulevikus õppematerjali elektroonika teemal. Õpilastega arutluse käigus selgus, et õppematerjalis olev elektroonika osa jäi mõnede õpilastele segaseks. Sellest lähtuvalt näen vajadust täpsemate juhendite ning praktiliste tööde kohta antud teemal.

9. Tänu sõnad

Tänu kõiki, kes mind aitasid selle töö käigus. Tänu oma perekonda, kes andsid mulle alati aega, et enda tööga tegeleda. Tänu oma sõpru, kes minu ideid kuulasid ning võimalusel täiendasid. Tänu enda lõputöö juhendajat, kes väga hoolikalt minu magistritöösse süvenes ning tagasisidestas. Tänu väga enda õpilasi, kes õppematerjali abil modelleerimist õppisid ning aitasid mul seda muuta paremaks. Suur tänu ka ekspertidele, kes kriitilise pilguga minu juhendid läbi vaatasid ning konstruktiivset kriitikat andsid.

10. Kasutatud kirjandus

3D Hubs'i raport. 2021.

<https://www.3dhubs.com/get/trends/> (02.02.2021)

Alexander, B. 2018. Middle and high school students making history with 3d printing.

<https://bryanalexander.org/education-and-technology/middle-and-high-school-students-doing-history-with-3d-printing/>, (23.01.2021).

Ausner, K. 2019. Milline on tehnoloogia arengu mõju ettevõtete äritegevusele?

<https://www.ituudised.ee/uudised/2019/04/08/milline-on-tehnoloogia-arengu-moju-ettevotete-aritegevusele> (02.01.2021)

Bozdoc, M. 2003. The history of CAD.

<http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm>, (20.02.2021).

Brown, Q. Burge, J.D. 2014. MOTIVATE: Bringing Out the Fun with 3-D Printing and E-Textiles for Middle- and High-School Girls.

<https://peer.asee.org/motivate-bringing-out-the-fun-with-3-d-printing-and-e-textiles-for-middle-and-high-school-girls>, (15.01.2021).

Caudill, L. 2012. 60 Years of CAD Infographic: The History of CAD since 1957.

<https://partsolutions.com/60-years-of-cad-infographic-the-history-of-cad-since-1957/>, (16.02.2021).

Commeren, M, 2021. Designers and quotes.

<https://dribbble.com/shots/12697335-Quote-Micha-Commeren>, (27.03.2021).

Daniels, E. 2004. Huvialaharidus, huvitegevus noorsootöö osana ja noorte motivatsioon.

<http://huvialaharidushuvitegevusnoorsootosanajanoortemotivatsioon.weebly.com/motiveerimisega-kaasnevad-probleemid-ja-nendega-toimetulek.html>, (23.02.2021).

Diller, S. Segalewitz, S.I . 2017. MAKER: A sound introduction to engineering technology and product development.

<https://www.mendeley.com/catalogue/04753401-d687-35b0-a68c-ebe253c347e6/>,
(15.01.2021).

Euroopa kutsehariduse arenduskeskuse raport. 2018.

https://www.cedefop.europa.eu/files/4175_en.pdf (04.01.2021)

Goldberg, D. 2018. History of 3D Printing: It's Older Than You Are (That Is, If You're Under 30) .

<https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>, (15.02.2021).

Hatfield, G. 2014. Stanford Encyclopedia of Philosophy.

<https://plato.stanford.edu/entries/descartes/> (15.02.2021)

HITSA Kvaliteedi töörühm. 2014-2015. Juhend kvaliteetse õpiobjekti loomiseks.

https://media.voog.com/0000/0034/3577/files/FINAL_JuhendKvaliteetseOpiobjektiLoomiseks.pdf, (23.01.2021).

Huk, T. 2006. Who benefits from learning with 3D models? the case of spatial ability.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x>, (23.02.2021).

Juhan Liivi nimelise Alatskivi kooli facebooki leht. 2020.

<https://www.facebook.com/JLnAK/posts/3551071051616400/>, (31.03.2021).

Juhised STEM-i õpetajatele. 2021.

<https://stemlabyrinth.com/et/juhised-stem-i-opetajatele/>, (30.03.2021).

Krull, E. 2019. Pedagoogilise psühholoogia käsiraamat, (23.01.2021).

Lonjon, C . 2017. The history of 3D printers:from rapid prototyping to additive fabrication.

<https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/> (02.02.2021)

McGahern, P. Bosch; F. Poli, D. 2015. Enhancing Learning Using 3D Printing: An Alternative to Traditional Student Project Methods.

https://www.researchgate.net/publication/281046624_Enhancing_Learning_Using_3D_Printing_An_Alternative_to_Traditional_Student_Project_Methods, (24.02.2021).

Meyer, S.C. 2019. A systematic review of 3D printing in chemistry education – analysis of earlier research and educational use through technological pedagogical content knowledge framework. Kasutatud,

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.5b00207>, (10.01.2021).

Mydrawingblog. STEM Projektid Lastele.

<https://et.mydrawingblog.com/stem-projects-kids>, (31.03.2021).

Nolan, A. 2017. Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsiooni seminar.

https://www.oecd.org/naec/NAEC%20Nolan_September_12_2017.pdf (05.01.2021)

O'Connor, J.J. 1999. Euclid of Alexandria.

<https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Euclid/> (10.02.2021)

Ortiz, L. 2020. The Best Tinkercad Alternatives.

<https://all3dp.com/2/best-tinkercad-alternatives/>, (15.03.2021).

Pollock, E. 2011. Wohlers Report: 3D Printing Industry Grew 7.5% in 2020.

<https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2016/04/25/wohlers-report-2016-3d-printer-industry-surpassed-5-1-billion/?sh=442a5e319a02> (02.02.2021)

Prus, I. 2016. What Is 3d Modeling? Things You've Got To Know Nowadays.

<https://archicgi.com/product-cgi/3d-modeling-things-youve-got-know/> (15.02.2021)

Price, D. 2015. THE HISTORY OF 3D PRINTING – FROM KIDNEYS TO CARS.

<https://cloudtweaks.com/2015/03/3d-printing-history-organs/>, (02.03.2021).

Põhikooli riiklik õppekava LISA 7. Ainevaldkond "Tehnoloogia". 2012

<https://www.riigiteataja.ee/akti/isa/0000/1327/3133/13275450.pdf> (05.01.2021).

Scott-Leslie, D. 2019. 3D Modeling: An Overview of History & Industry Applications.
<https://www.cadcrowd.com/blog/3d-modeling-overview-history-industry-applications/>,
(17.02.2021).

Tehnoloogiakasvatuse Liidu koduleht.
www.tehnoloogia.ee, (30.03.2021).

Varotsis, A.B. 2021. Introduction to SLA 3D printing.
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/>, (07.02.2021).

Lisa 1. ÕPPEMATERJAL

Sissejuhatus

Antud õppematerjalis hakkame õppima 3D modelleerimist eesmärgiga loodud esemed hiljem printida. 3D modelleerimine tähendab kolmemõõtmeliste objektide loomist arvutigraafika abil. Selle eeliseks on võrreldes teiste tehnoloogiaõpetuse teemadega (nagu puutöö või metallitöö) see, et vea korral ei pea me uut detaili valmistama. Me saame arvutis teha soovitud mudeli valmis, kontrollida mõõte ning vajadusel neid muuta ning alles siis eseme valmis printida. 3D printimise eelis on see, et ei tekki palju jääkmaterjali. Puutöö puhul tekib iga etapi puhul saepuru (saagimisel, puurimisel, lihvimisel). 3D printimisel valmib ese kohe soovitud mõõdus ning soovitud avadega. Kui eeltöö on õigesti tehtud, pole hilisemat töötlust juurde vaja.

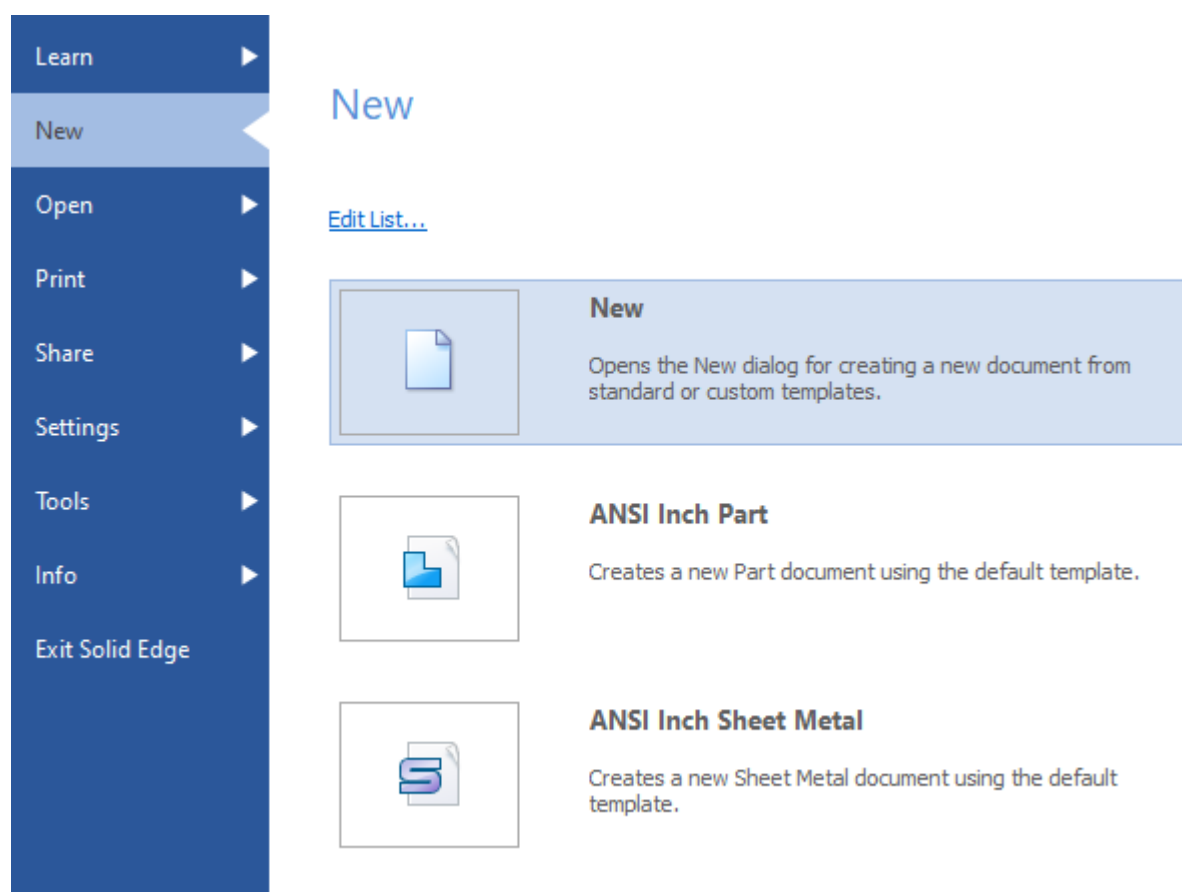
Antud õppematerjalis õpime me disainima Solid Edge programmi abil kõigepealt lihtsamaid kujutisi, minnes järjest keerulisemate juurde. Kuid tasub meeles pidada, et keerulised kujutised koosnevad lihtsalt mitmest lihtsamast kujutisest. Õppematerjali lõpuks oskab õpilane koostada lihtsamaid kujutisi, neile kindlaid mõõte anda ning kujutisi omavahel ühendada. Kui õppematerjali esimesed osad on selged ning modelleerimise etapid korrektselt tehtud, õpime 3D printimist, kui teeme valmis motoriseeritud mudelauto koos puldiga. Auto mõõdud ja kuju saab igaüks ise välja mõelda.

I osa. Modelleerimine Solid Edge programmiga

Solid Edge on kaasaegne 3D modelleerimis programm, mille abil on võimalik virtuaalselt valmistada erinevaid kujundeid. Esimene versioon programmist ilmus aastal 1995. Praeguseks on ilmunud 32 versiooni programmist ning seda arendatakse ja uuendatakse endiselt. Järgnevates peatükkides tutvume programmi põhiliste käsklustega ning rakendame neid ka praktiliselt. Solid Edge programmis on väga palju võimalusi. Antud õppematerjal tegeleb programmi visandamise ja modelleerimise käsklustega.

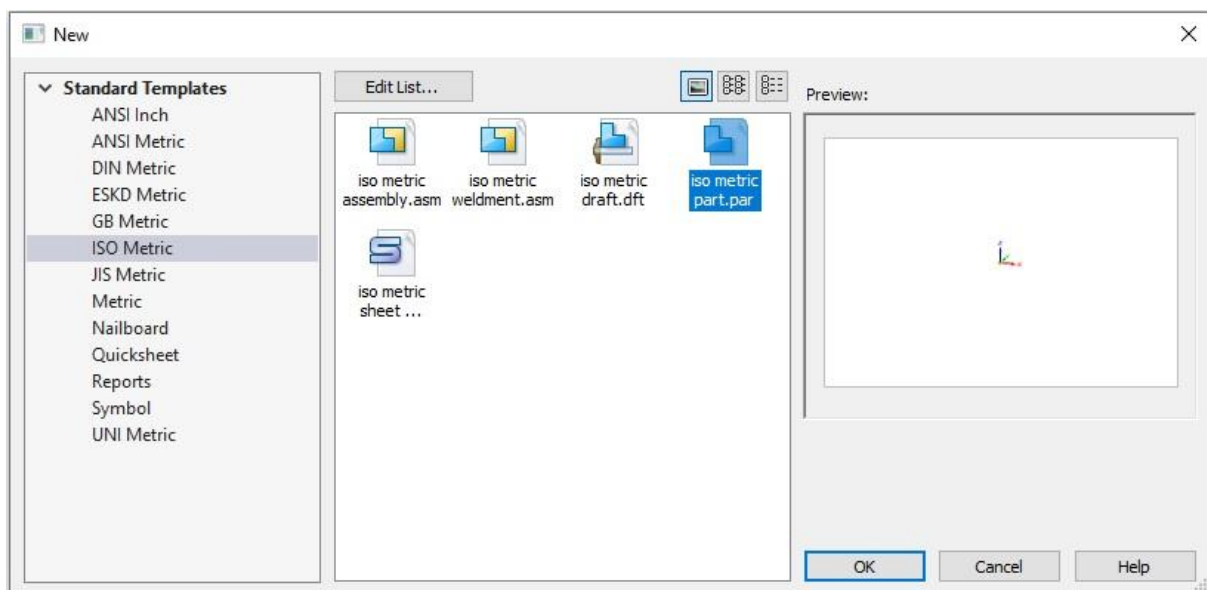
1. Programmi avamine ja seadistamine

Et programmiga töötamist alustada, on vaja programm avada ning teha mõned seadistused. Kui programm on avatud, on vaja luua uus fail.



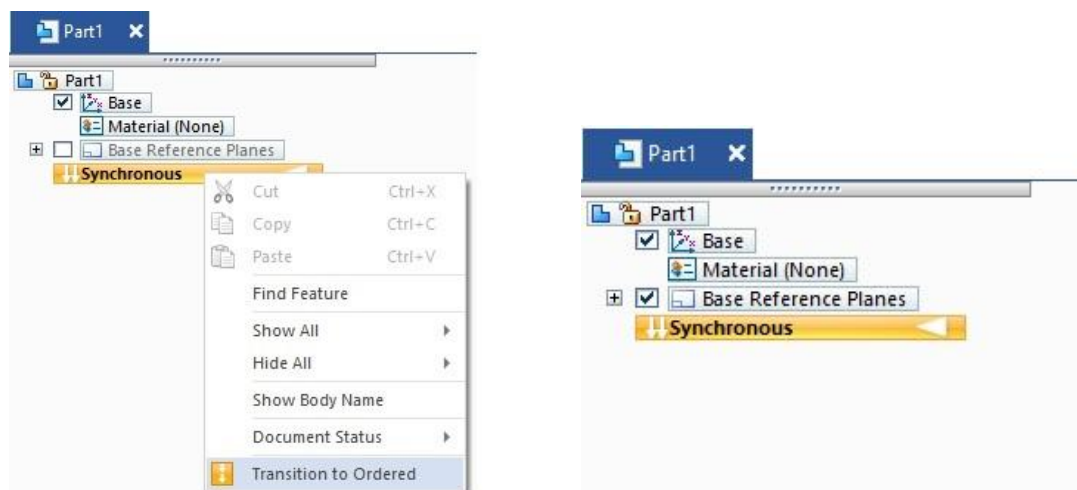
Joon 1. Uue faili loomine

Eestis on kasutusel meetermõõdustik. See tähendab, et kõik mõõdud, mida me järgnevates harjutustes kasutame, peavad olema meetermõõdustikus. Et see võimalik oleks, peame valima järgmises aknas valikute seast ISO metric ning sealt edasi ISO metric part valiku.



Joon 2. Uue faili seadistus

Samm-sammult ülevaate omamiseks oma töö puhul on kasulik muuta üht seadistust. Akna vasakus servas oleva “Synchronous” muudame variandiks “Ordered”. Samuti toome nähtavale teljestiku kolm põhivaadet lisades linnuke valiku “Base reference Planes” ette.

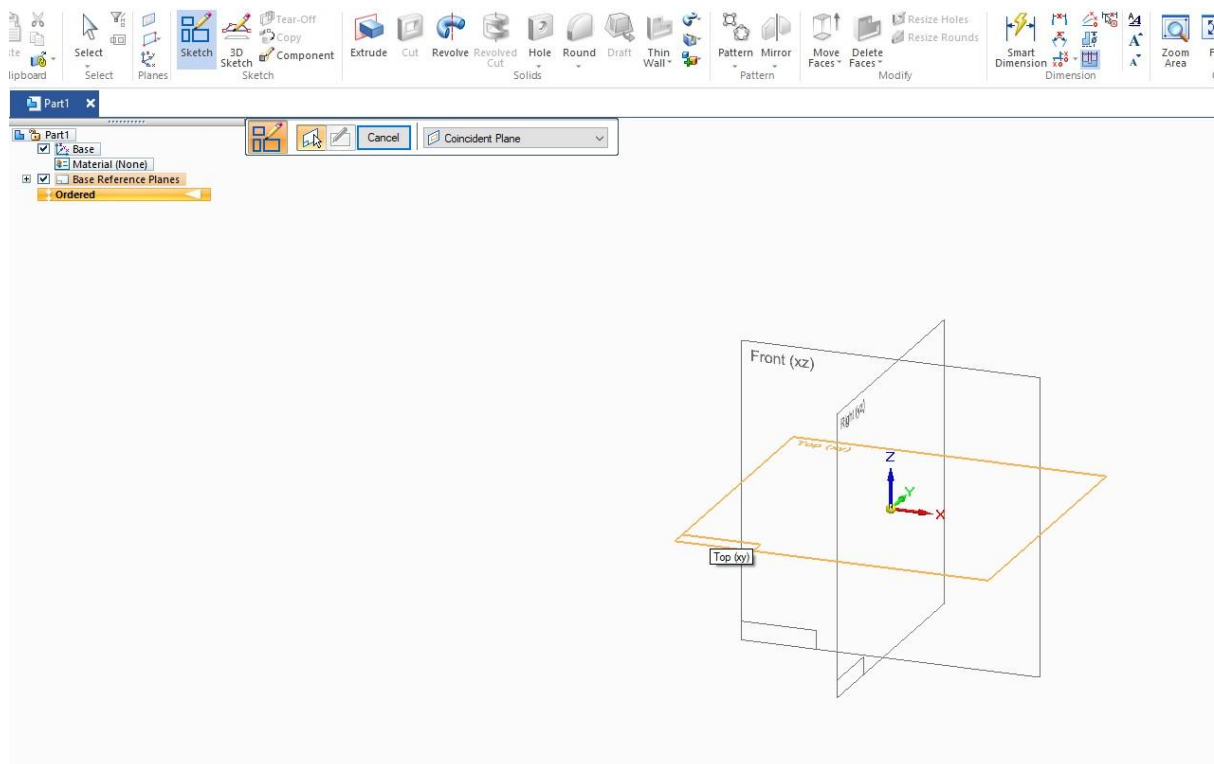


Joon 3. Käskluste seadistus

2. Visandamine ning mõõdud

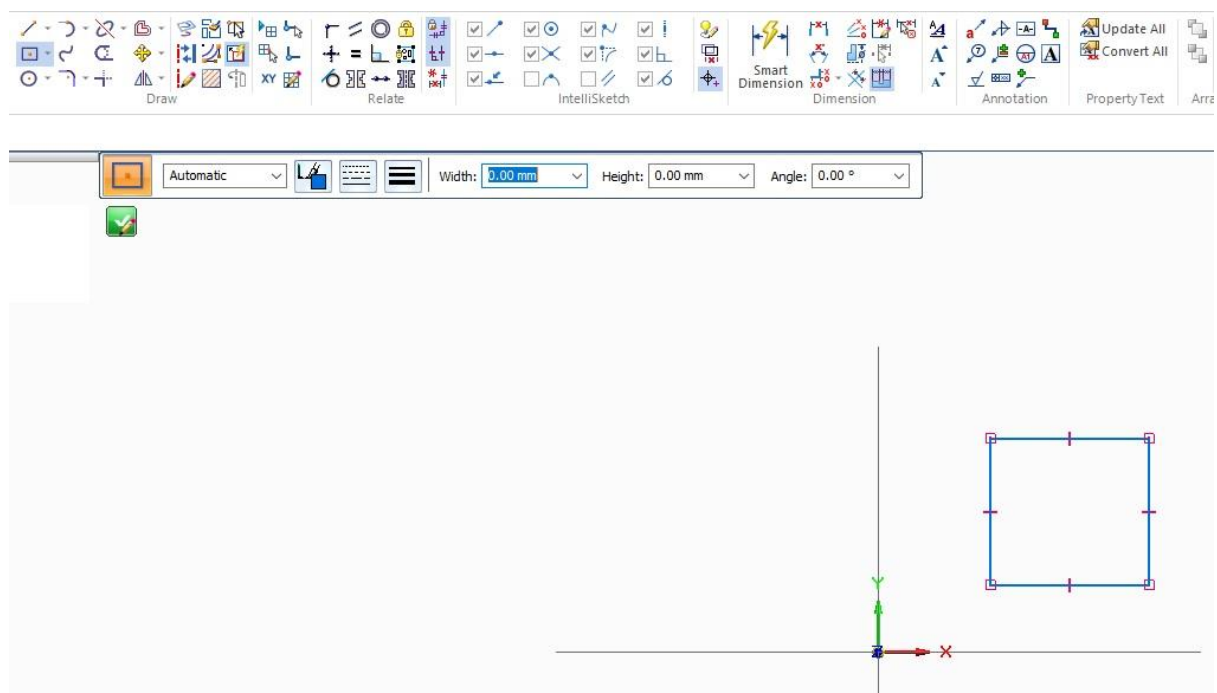
Kui kõik eelmises peatükis olevad sammud on tehtud, võime hakata looma oma esimest kujundit.

Visandamise puhul valida kolme vaate vahel. Eestvaade, pealtvaade ning külgsaade. Meie tehtud tööd on loodud eesmärgiga neid hiljem printida. Printer loob kujundeid alustades alt ning liukudes üles. Seega siis on mõistlik luua oma kujutis pealtvaates. Seega valime ülemiselt realt käsi “Sketch” ning keskel asuva teljestiku juurest “Top” nimetusega pinna.



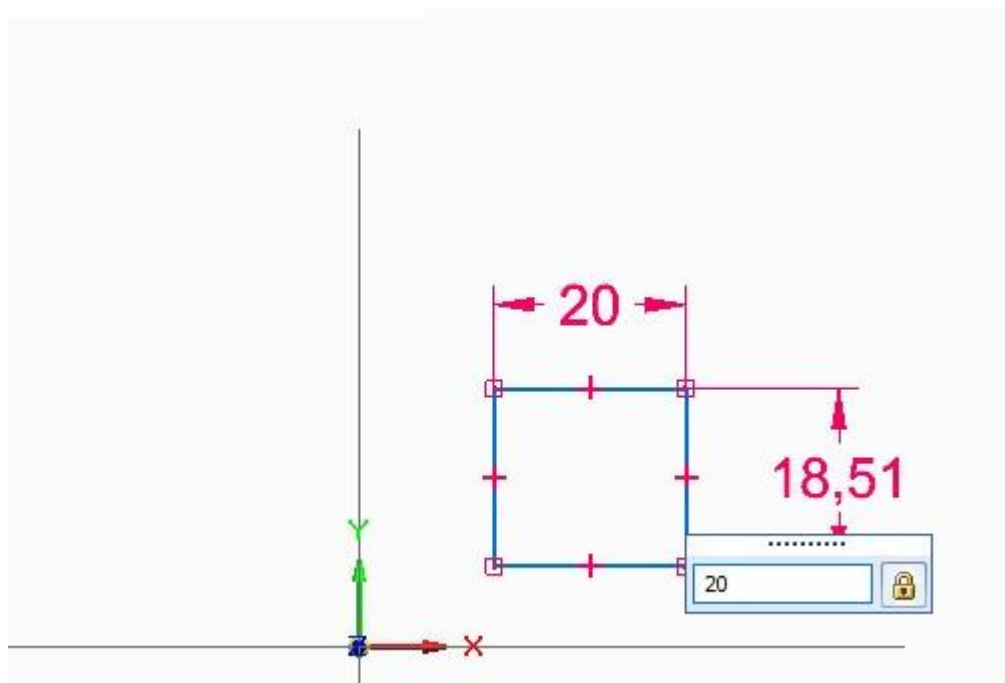
Joon 4. Pealtvaate valimine

Kui eelmine käsklus on õigesti tehtud, kadus üleval riba pealt “Sketch” käsklus ära ning selle asemele ilmusid erinevad geomeetrilised kujundid (joon, nelinurk, ring jne). Valime nendest käsklustest nelinurga ning joonestame selle enda visandile. Visandit on võimalik suurendada või vähendada hiire rulliku abil. Kui on vaja luua väga suurt kujutist, on vaja visandi vaadet vähendada. Kuid hetkel meil selleks vajadust pole. See, kus kohas nelinurk täpselt asub, ei oma hetkel tähtsust. Kui valida nelinurga käsklus ning teha üks hiireklõps visandi alal, on nelinurk punane ning tema suurst saab hiire abil muuta. Samuti on nelinurga ümber näha tema suurus millimeetrites. Kindla mõõdu meie kujundile anname talle järgmise etapi juures.



Joon 5. Nelinurga visandamine

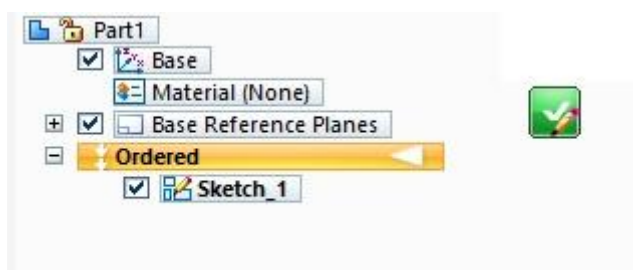
Et visandist paremat ülevaadet saada ning lõplik tulemus korrektne oleks, peame me joontele ja kujunditele andma ka mõõdud. Solid Edge programmis (nagu ka kõikidel tehnilistel joonistel) on numbrid antud millimeetrites (mm). Anname nüüd meie nelinurgale mõõdud ning muudame ta 20x20 mm ruuduks. Selleks valime akna ülevalt keskelt käskluse “Smart Dimensions”. Seejärel valime ruudu ühe külje ning tekkinud kasti sisse kirjutame tema soovitud pikkuse. Et saada nelinurk ruudu kujuks, on vaja lisada ainult 2 mõõtu (vaata joon 6.)



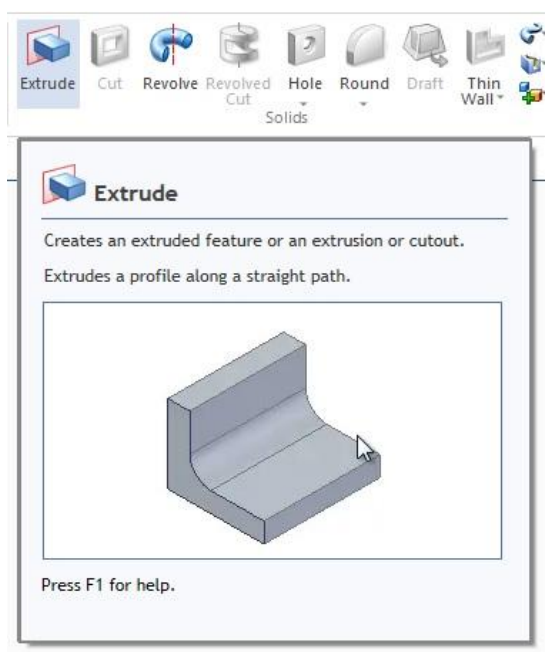
Joon 6. Mõõtude lisamine

3. Visandi objektiks muutmine

Nüüd, kui meil on valmis kujutis ning antud talle ka kindlad mõõdud, on aeg muuta meie visand kolmemõõtmeliseks kujutiseks. Selleks peame me meie lahti oleva visandi sulgema üleval vasakul olevast rohelisest ikoonist. Kui visand on suletud, tekkisid akna üles keskele uued käsud. Üks nendest käsklustest on “Extrude”. Siin programmis tähendab see visandi välja kasvatamist. Selle abil on võimalik muuta 2D objekt 3D objektiks. Pea aga meeles, et extrude käsklust ei saa kasutada, kui sinu visandis on lahtiseid või üleliigseid jooni.

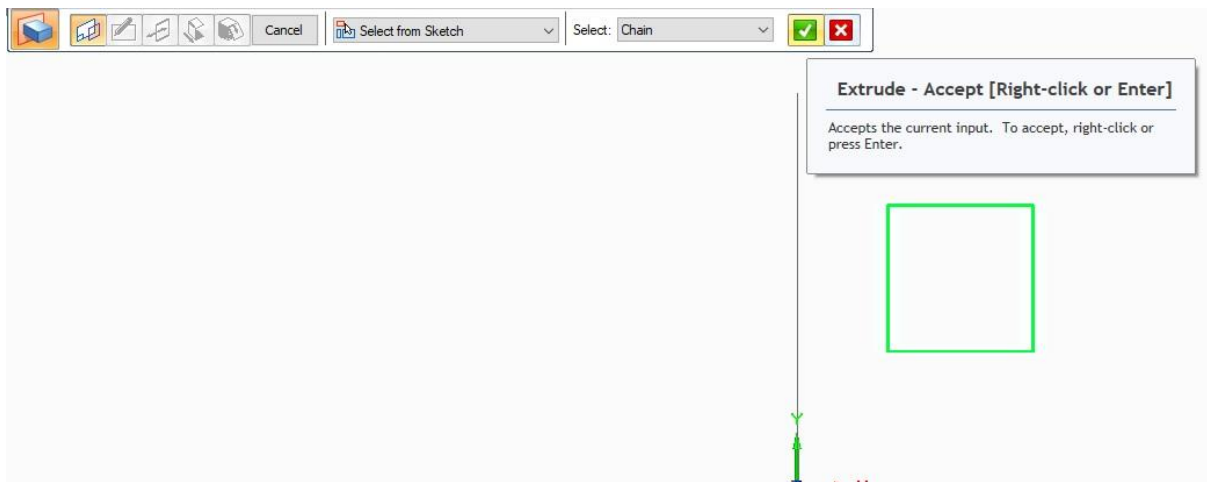


Joon 7. Visandi sulgemine

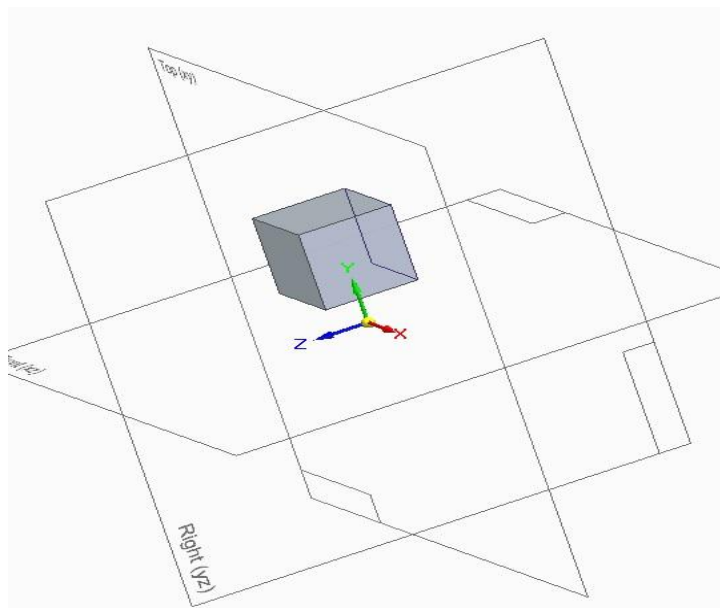


Joon 8. Visandi kasvatamine

“Extrude” käsu valimisel ilmub ette üks lisa aken. Valiku Variantidest peab sealt olema valitud variant “Select from Sketch”. See annab sul võimaluse valida visandi seest kujundit, mida soovid kasvatada. Hiire abil saad valida ruudu ning talle peale vajutades muutub kujund roheliseks. Enne ilmunud aknas rohelist linnukest vajutades, ilmub sinna lahter, kuhu saab kirjutada mõõte. Kuubiku puhul peavad olema kõik küljed sama pikad. Et seda saavutada, peame kasti lisama mõõduks 20 mm “distance” lahtrisse. Nüüd vajutades hiirega kuhugi teise kohta ekraanil on meie ruudust saanud kolmemõõtmeline kuubik. Kui visandi vasakusse nurka ilmub veel lisa valikuid, vajuta need linnukesest kinni.



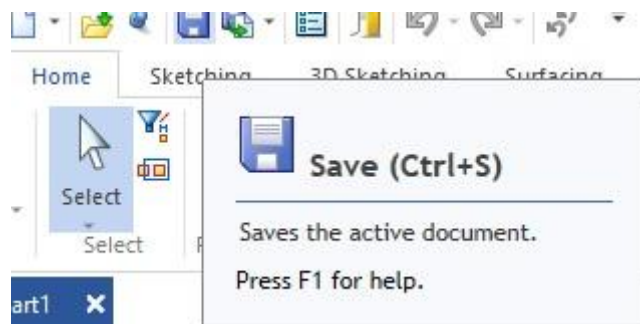
Joon 9. Kasvatamise seaded



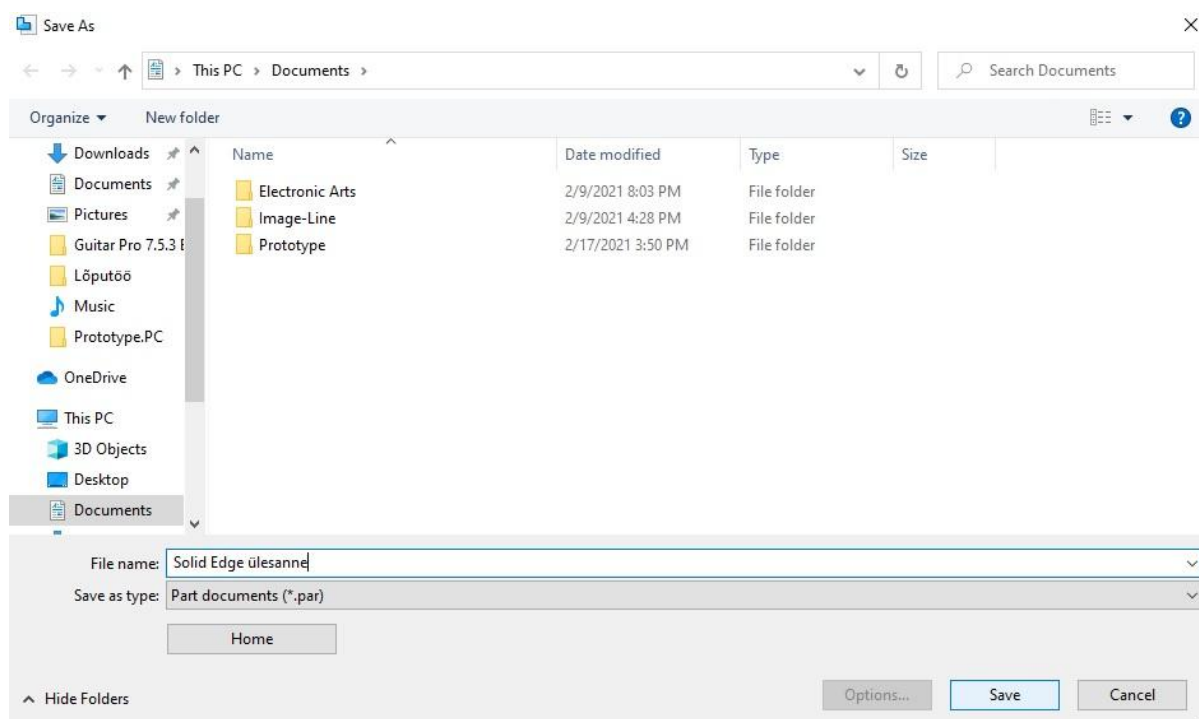
Joon 10. Valmis kuubik

4. Töö salvestamine

Alati tasub meeles pidada aeg ajalt oma töö salvestamist. Kui juhtub ootamatu voolukatkestus, arvutirike või juhtub midagi programmiga on alati hea, kui su töö on salvestatud. Selleks on vaja üleval vasakul servast valida käsk “Save”. Nüüd ilmunud aknas saad panna oma failile nime ning seejärel salvestada soovitud kohta enda arvutis. See aken ilmub ainult esmasel salvestamisel. Kui salvestad juba korra salvestatud faili, teab juba arvuti mida teha ning seda akent uuesti ei ilmu.



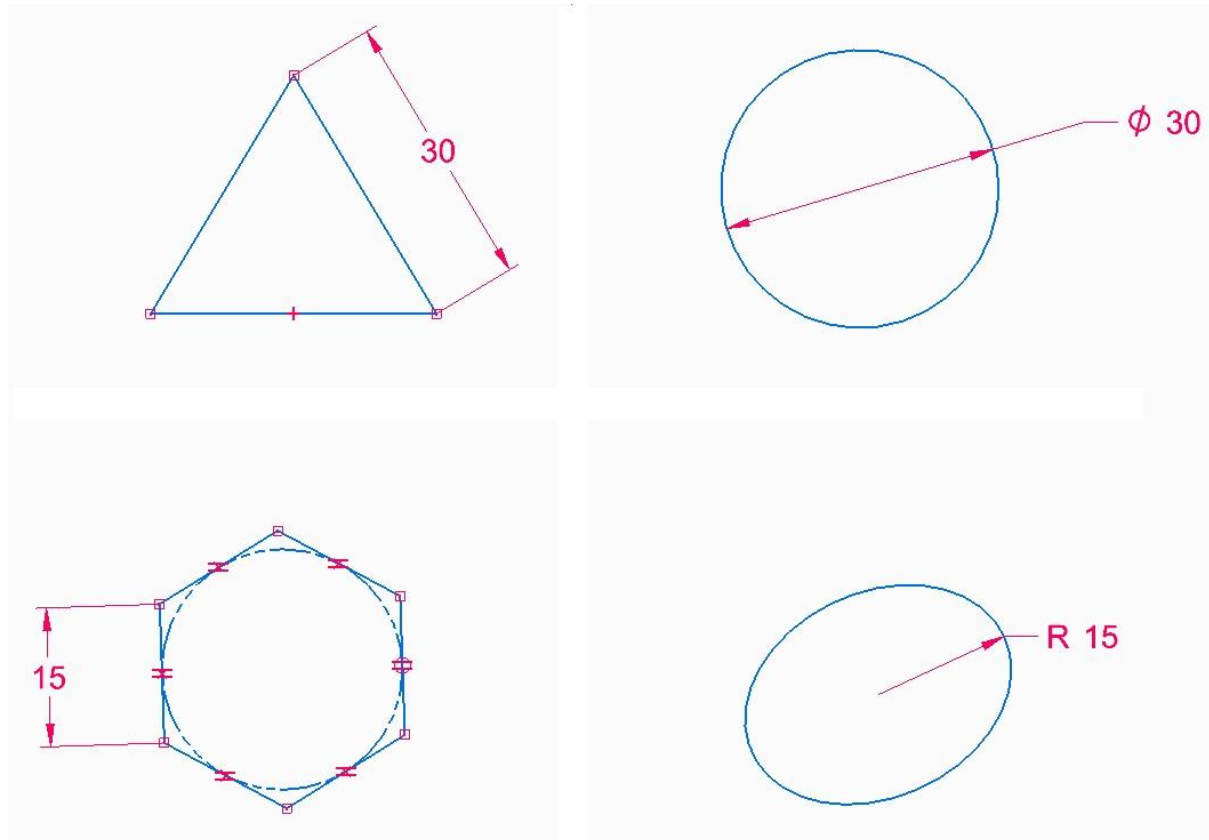
Joon 11. Salvestamise ikoon



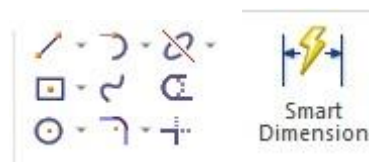
Joon 12. Salvestamise aken

5. Iseseisvad harjutused

Nüüd kui oskad valmis teha kuubikut, on aeg proovida ka teisi kujundeid. Proovi valmis teha järgnevad kujundid kasutades erinevaid käsklusi. Kasvata need visandid ka kolmemõõtmelisteks objektideks



Joon 13. Iseseisvad harjutused

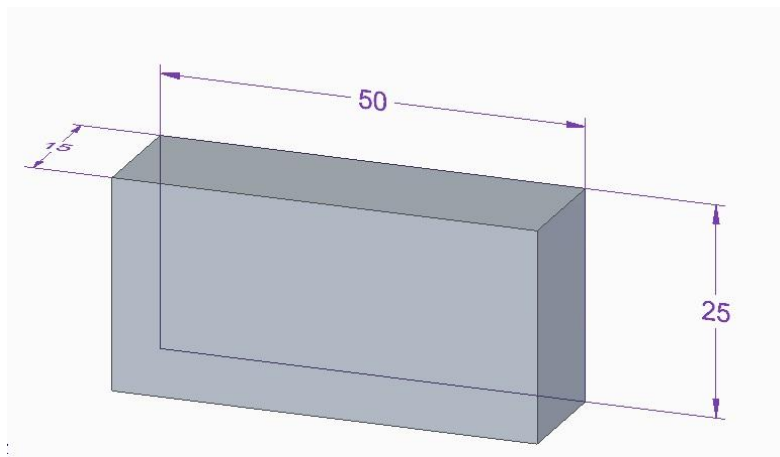


Joon 14. Iseseisvaks harjutuseks vajalikud käsud

6. Visandamine objektile

Et keerulisemaid töid siin programmis teha ei piisa enamasti ühest visandist. Esimese visandi abil teeme me enamasti valmis ainult objekti algkuju. Edasi kasvatame me vajalikele pindadele veel kujundeid, lõikame auke või teeme teravaid servi ümaraks. Selles peatükis õpime me just neid käsklusi.

Esiteks tee valmis esimene visand ning kasvata ta objektiks käskudega, mida eelnevalt juba oleme õppinud. Kutsume seda detaili “aluseks”. Tee iseseisvalt valmis selliste mõõtudega risttahukas (vaata Joon. 15).

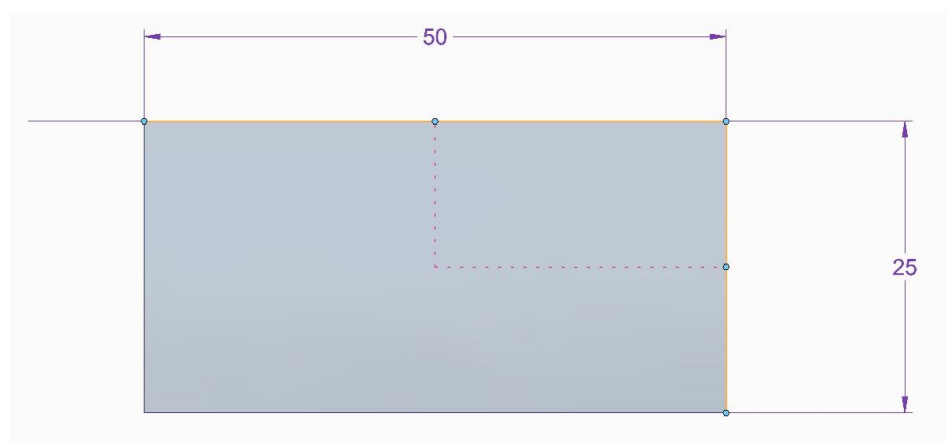


Joon 15. Alus

7. Lõikamine ning kasvatamine

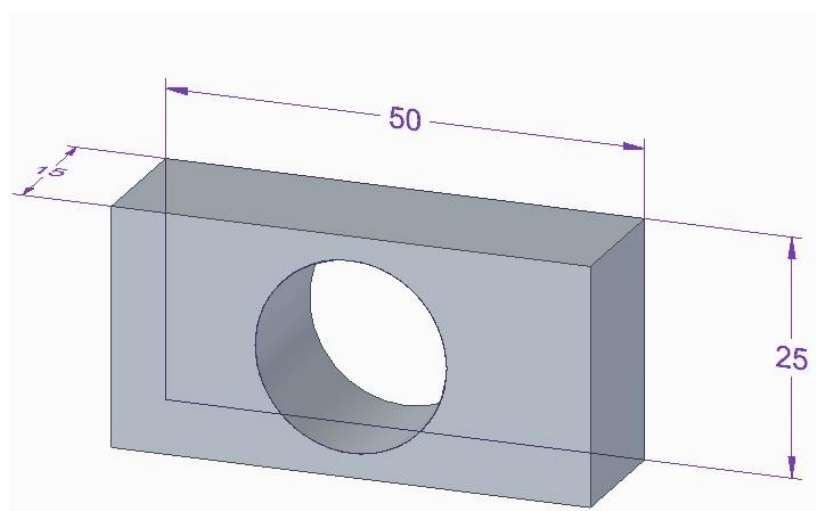
Kui see on tehtud, valime ühe pinna, mille peale hakkame uut kujutist looma. Risttahukal on kolm pinda. Meie valime nende seast kõige suurema. Selle jaoks valime juba tuttava käsu “Sketch” ning seejärel valime hiirega pinna, kuhu me visandit tahame teha. Kui kõik on õigesti tehtud, on ülevalt jällegi käsklus “Sketch” kadunud ning selle koha peal on hoopis erinevad kujundite käsklused.

Järgmisena joonestame kujundi keskele ringi. Et saada täpselt keskkohat, peame hiire kursoriga liikuma mööda kujundi servasid. Selle abil saab programm aru, et võtab neid piirjooni arvesse visandi tegemisel. Seejärel valides ringi käskluse ning liikudes hiirega kujundi keskele, on pilt selline, nagu joon. 16.



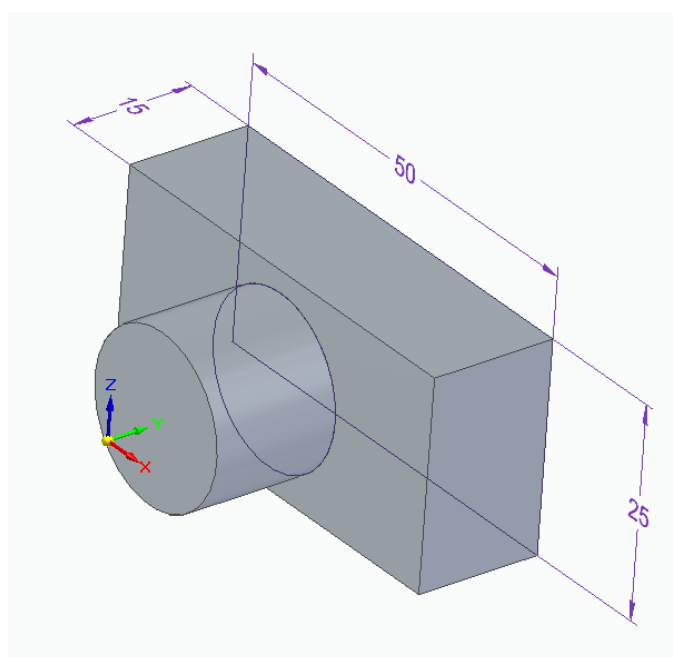
Joon 16. Keskkoha leidmine

Kui ring on märgitud, anname talle raadiuseks 10 mm (diameeter 20) ning sulgeme visandi. Nüüd kasutame Extrude asemel teistsugust käsku, milleks on “Cut”. Selle abil saame me ühest kujundist teise välja lõigata. Siin on samuti vaja ilmunud aknast valida variant “Select from Sketch”. “Distance” lahtrisse märgime 15, kuna tahame tekitada läbivat auku. Kui kõik on õigesti tehtud, peaks tulemus välja nägema selline (Joon. 17).



Joon 17. Ringi lõikamine

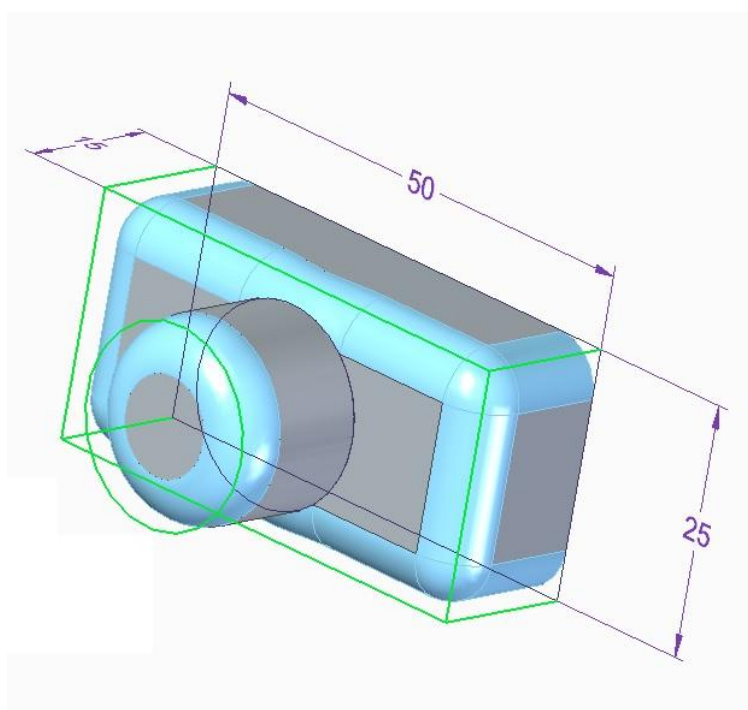
Kui nüüd vasakust servast üles otsida viimane käsk (milleks hetkel on “Cutout”) ning see “delete” käsuga kustutada, ilmub uuesti nähtavale ringi visand. Kui seda sama ringi kasutada “Extrude” käsuga (mõõduks ikka 15 mm), peaks tulemus olema selline nagu Joon.18 näha.



Joon 18. Ringi kasvatamine

8. Servade ümardamine

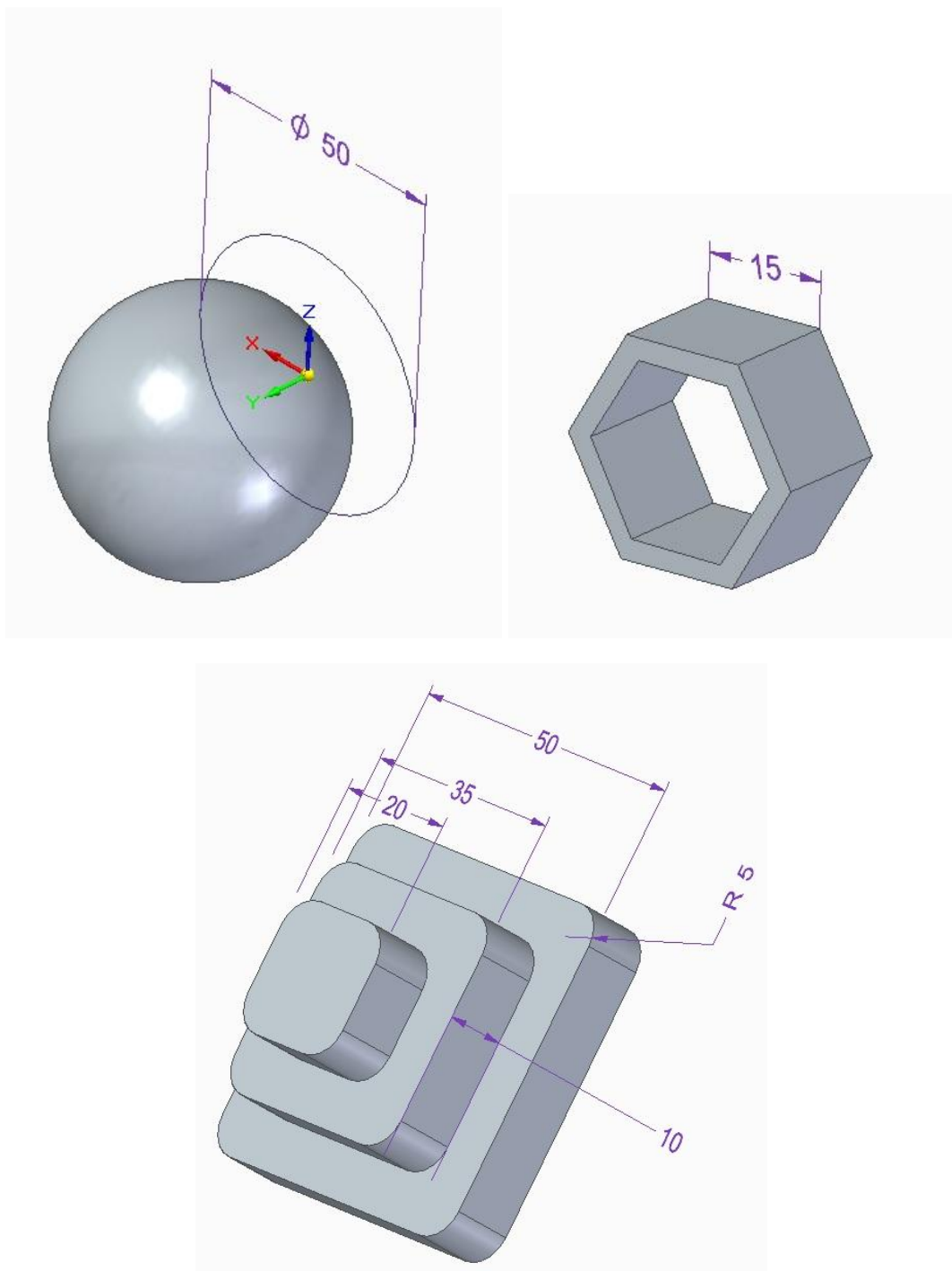
Selle kujutise abil saame katsetada veel ühte käsklust, milleks on “Round”. Selle käskluse abil saame me teravaid nurki kumeraks muuta. See, kui suure raadiuse me teatud pinnale saame anda sõltub kujundi paksusest. Seda käsklust võttes tekib samuti uus aken. Lahtrisse “Radius” kirjutame 5. Seejärel on vaja hiire kursoriga valida pinnad, mida me ümaraks muuta tahame. Valime pinnad, mis Joon.19 peal on helesinist värvi.



Joon 19. Servade ümardamine

Vajutades nüüd hiire kursoriga rohelist linnukest eelnevalt tekkinud aknas, teeb programm soovitud servad kumeraks. Et kastist vabaneda, peab sealt veel vajutama käsklusi Preview, Finish ning Cancel.

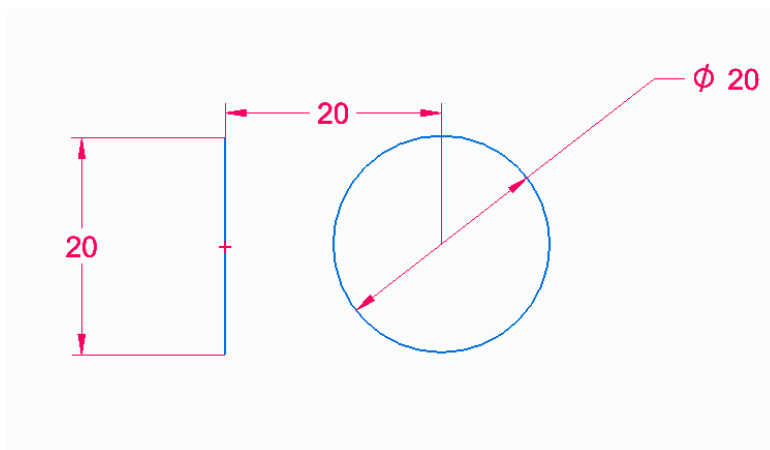
Nüüd oleme õppinud kaks uut käsku “Cut” ning “Round”. Koos “Extrude” käsu ning varasemate “Sketch” alla kuuluvate käskude abil, peaksid oskama iseseisvalt valmis teha järgmised kujundid :



Joon. 20 Iseseisvad kolmemõõtmelised kujundid

9. Pöörlemine ja Õhuke sein

Revolve tähendab mingi kujundi pööramist ümber telje. Et seda käsklust kasutada on meil vaja ühte kinnist kujundit (Ring,nelinurk,kolmnurk) ning telge (joon). Teeme juba õpitud käskluste abil valmis visandi (Joon. 21).



Joon 21. Revolve visand

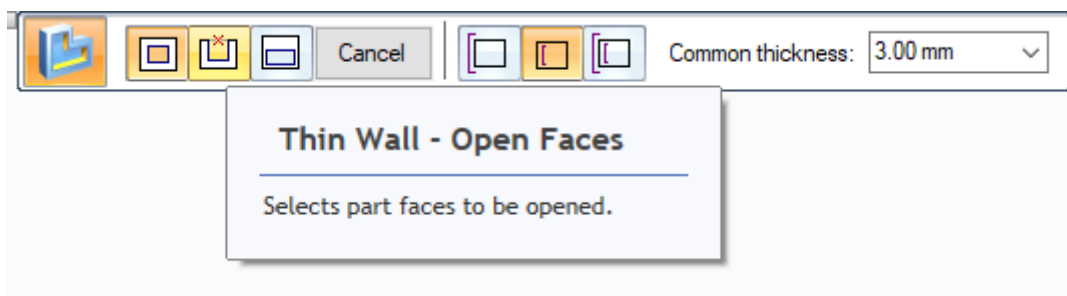
Kui visand on valmis, siis sulgeme selle ning otsime ülevalt reast üles käsu “Revolve”. Esimese asjana valime uuest aknast variandi “Select from Sketch”. Seejärel peame valima kujundi, mida pöörata tahame. Meil on selleks ring. Vajutame ringi peale ning seejärel rohelisele linnukesele aknas.

Teiseks valime telje, mille ümber kujundit pöörame. Meil on selleks vasakule visandatud joon. Vajutame selle peale ning hiire kursorit liigutades näeme, et ring pöörab end ümber joone. Ülesse tekkinud “Angle” aknasse kirjutame 360, vajutame enterit ning vajutame hiirekursorit valgel pinnal. Valmis peaks olema selline kujund nagu joon 22. näha.



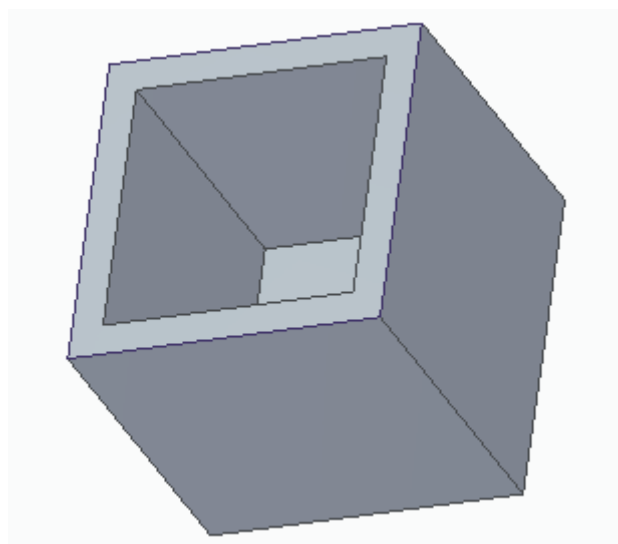
Joon 22. Pöörlemine

Thin wall ehk õhuke sein käskluse abil saame teha kinnise kujundi seest õõnsaks. Et seda käsklust kasutada peab olema olema kolmemõõtmeline objekt. Teeme kõigepealt valmis kuubiku, mille kõik küljed on 30 mm pikad. Nüüd ülevalt reast vajutades käsklust “Thin Wall” tekib uus aken. Lahtrisse “Common thickness” saame kirjutada seina paksuse. Kirjutame siia 3. Valiku Variantidest otsime nüüd üles valiku Thin Wall - Open Faces. Siin saame me määrata pinnad, mida soovime jätta lahtiseks. Valime ühe külje ning vajutame seejärel rohelist linnukest.



Joon. 23 Õhuke sein - Avatud pinnad

Seejärel “Preview” ning “Finish” nuppu vajutades on meie kuubikust saanud seest õõnes kast.



Joon. 24 Õõnes kast

10.KOKKUVÕTE

Kõiki õpitud käsklusi saab mitmel viisil kasutada ning praegu läbi vaadatud teemad on ainult killuke võimalustest, mida 3D modelleerimisega võimalik teha on. Kuid praegu õpitud materjali abil on võimalik üpris palju erinevaid kujundeid luua ning hiljem ka printida.

Praeguseks peaks selge olema, kuidas luua visand ning see kolmemõõtmeliseks objektiks kasvatada. Seejärel oskad ka oma kolmemõõtmelist objekti täiendada lisades sinna kujundeid, luues auke või tehes teravaid servi kumeraks.

Kui mõni punkt jäi segaseks või on vaja rohkem abi siis õppematerjali lõpus on õppevideod, kus need samad harjutused samm-sammult läbi tehakse.

II osa. MUDELAUTO DETAILIDE LOOMINE

Oleme jõudnud õppematerjali II osa juurde. Selle peatüki lõpuks oleme valmis teinud mudelauto koos mikromootori ning lülitiga. Auto hakkab koosnema järgmistest detailidest :

Auto põhi - Selle küljes hakkavad paiknema elektroonikakomponendid ning rattad koos võllidega.

Auto kere - Siia sisse peab ära mahtuma mikromootor ning ühendus mehhanism.

Samuti peab olema ava, kust juhtmed auto puldi juurde jõuavad

Auto rattad - Suuruse võib neile mõelda ise. Võib teha 4 sama suurt ratast või ka 2 suuremat ning 2 väiksemat.

Võllid - 2 tükki. Pikkus vastavalt sellele, kui lai on auto kere ning läbimõõt peab sobima ratastega.

Hammasrattad - Nende abil toimub jõuülekanne mootorilt ratasteni.

Auto pult - Siia sisse peab ära mahtuma patarei, patareipesa ning olemas peab olema ava lüliti jaoks.

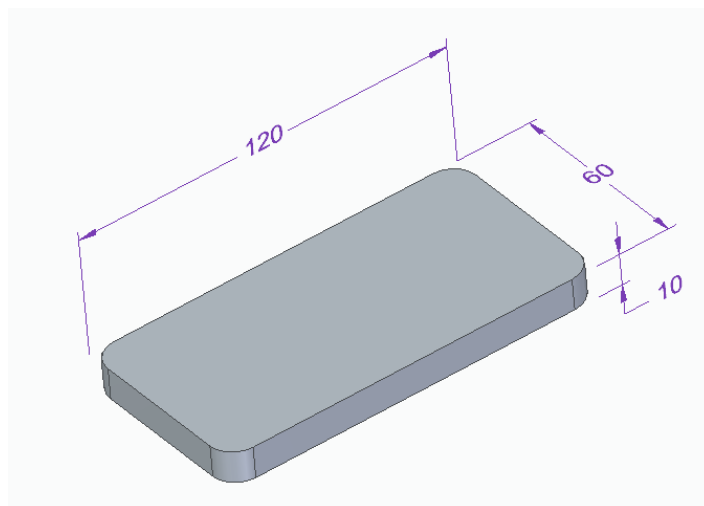
Enne nende detailide disainimist peab sul olemas olema patareipesa, mikromootor, lüliti, kummipael ning sobivas pikkuses kahe faasiga elektrikaabel. Mikromootoritel on üldiselt kirjas pingeline taluvus. Levinumateks on 3V, 6V ning 12V. Et ei peaks lisaks takistit kasutama, on mõistlik valida sobiva pingega patarei. Näiteks, kui sul on 3V mikromootor, sobiks sinna 2 patareid pingega 1,5V kumbki.

Edasi hakkame neid detaile järjest modelleerima ning enne printimist proovime need ka omavahel virtuaalselt kokku. Selle abil veendume, et hiljem välja prindituna kõik detailid omavahel kokku sobivad. Sellest täpsemalt õppematerjali III osas.

Esimese detailina teeme valmis auto põhja. vaja on kahte pesa, kuhu võllid hiljem paigaldada.

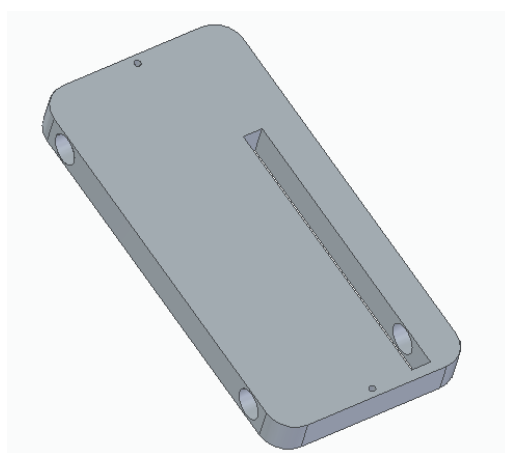
Lisaks peab põhja peale mahtuma mootor ning vaja on üht soont hammasratta jaoks.

Teeme kõigepealt valmis soovitud põhja kuju. Üks variant selleks on selline (Joon. 25)



Joon 25. Auto põhi toorik

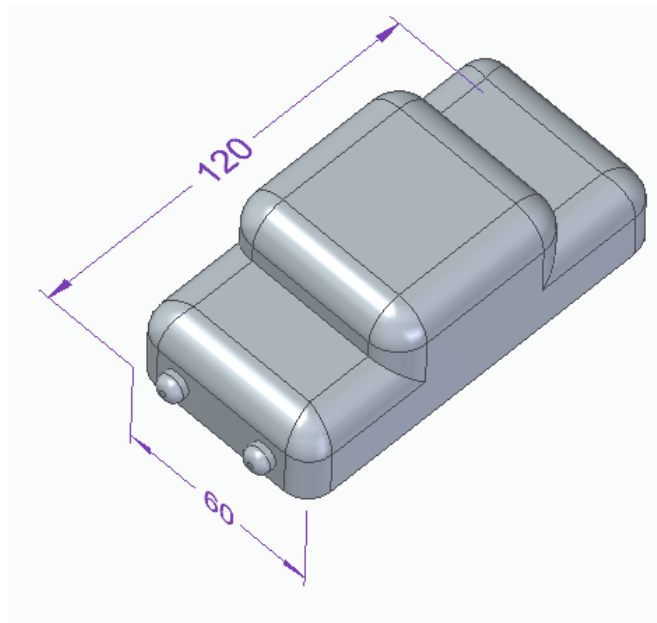
Nüüd on meil olemas algne põhi, millele peame veel mõned asjad lisama. Nendeks on avad, kuhu ratta võllid paigaldada ning üks soon, kuhu jõuülekande rattad mahutada. Selle etapi ajal peame ka juba otsustama jõuülekande rataste ning võllide mõõdud. Võlli avade läbimõõt võiks olla 1 mm suurem, kui võll ise. Auto tagaküljel võiks paikneda ava juhtmete jaoks. Neid asju arvesse võttes, saad auto põhja lõplikult valmis disainida. Et kere ja põhi omavahel ühendada oleks üks variant teha põhja peale 2 või rohkem kruvi auku. See võimaldab tulevikus lihtsalt auto laiali võtta. Üks lahendus võib olla selline (Joon.26)



Joon 26. Auto põhi valmis

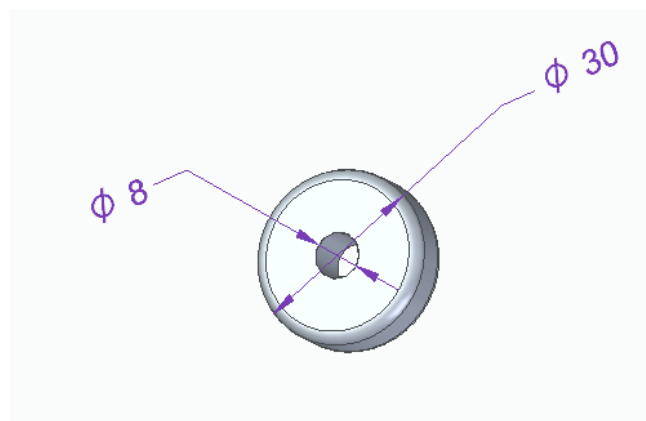
Järgmise detailina valmistame auto kere. Arvesse peab võtma eelnevalt mainitud ning juhtme väljumise asukohta. Kõige loogilisem oleks see teha auto tagaossa, et juhe sõitmisel ette ei jääks. Selle detaili puhul saab kasutada kõige rohkem oma fantaasiat. Kere külge on võimalik

lisada erinevaid elemente, et lõplik töö huvitavam välja näeks (tuled, rattakoopad, stanged, spoilerid jne). Üks võimalik lahendus on selline (Joon.27)

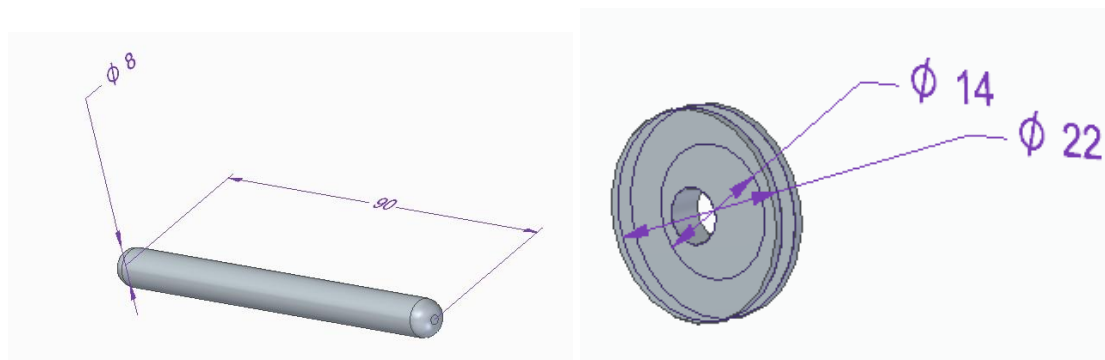


Joon. 27 Auto kere

Veel on vaja teha auto rattad, võllid ning hammasrattad. Kõikide nende detailide puhul peame arvesse võtma kere ja põhja mõõtmeid ning avasid, mis neile loonud oleme. Arvestama peab, et jõuülekande rattad on erinevad, sest üks kinnitub ratta võlli külge ning teine mootori võlli külge. Seega võib nende keskmine ava olla erinev.

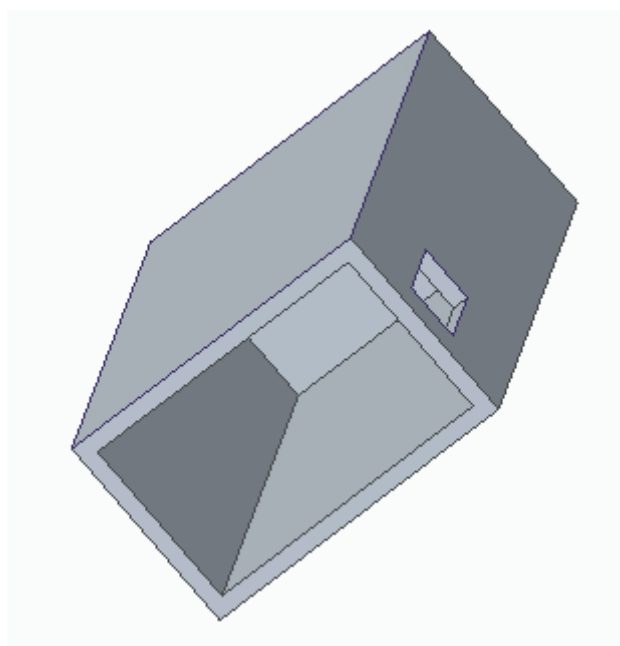


Joon 28. Auto rattad



Joon 29. Võll ja jõuülekanne ratas

Lõpuks peame disainima ka auto puldi. Selle kuju võib olla ükskõik mis kujund, kuid sinna sisse peab ära mahtuma 9V patarei koos patareipesaga ning disainida on vaja 2 ava juhtme ning lüliti jaoks. Üks variant võib olla selline (Joon. 30)



Joon 30. Pult

Vihjed/soovitused

Kui kuskil mõõtude juures on vaja kasutada koma kohaga numbrit, peab koma asemel kirjutama punkti. Programm ei saa muidu mõõdust aru.

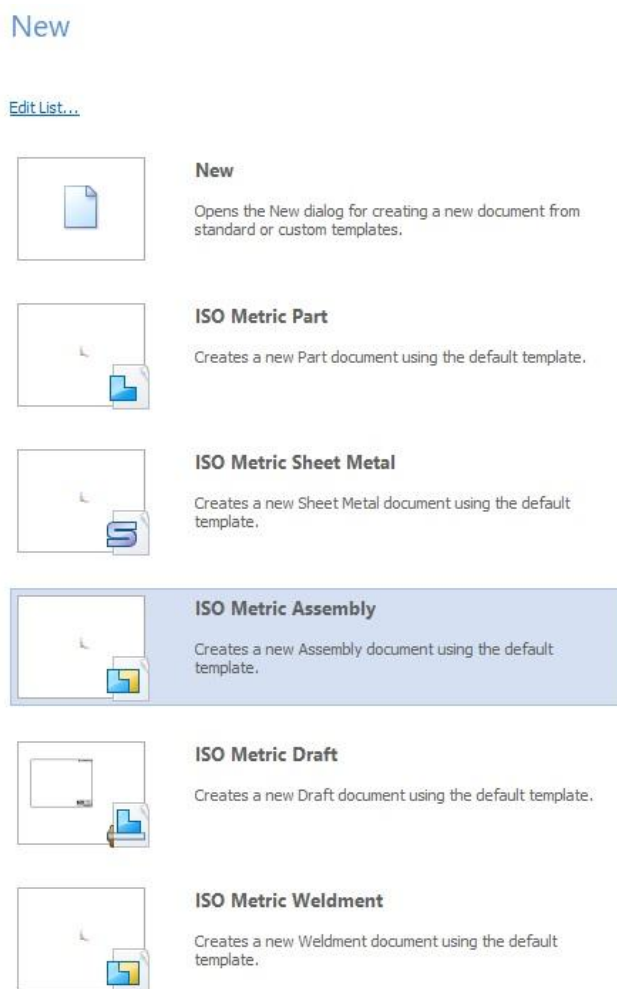
Kõik elektroonika ja kruvid, mida kasutad võiksid olla enne disainimist olemas. Nii on kindel, et auto hiljem ülejäänud esemetega kokku sobib. Elektroonikat võib omavahel ka enne kokku proovida ja kontrollida, kas kõik töötab (Joon. 31).

Materjalis antud joonised ja mõõdud pole kohustuslikud. See on ainult üks näide võimalikest lahendustest disainimisel.

Kui arvuti kursorit hoida mingi käsu peal, kuid mitte sellele vajutada, ilmub üks aken, mis näitab mida selle käsuga teha saab.

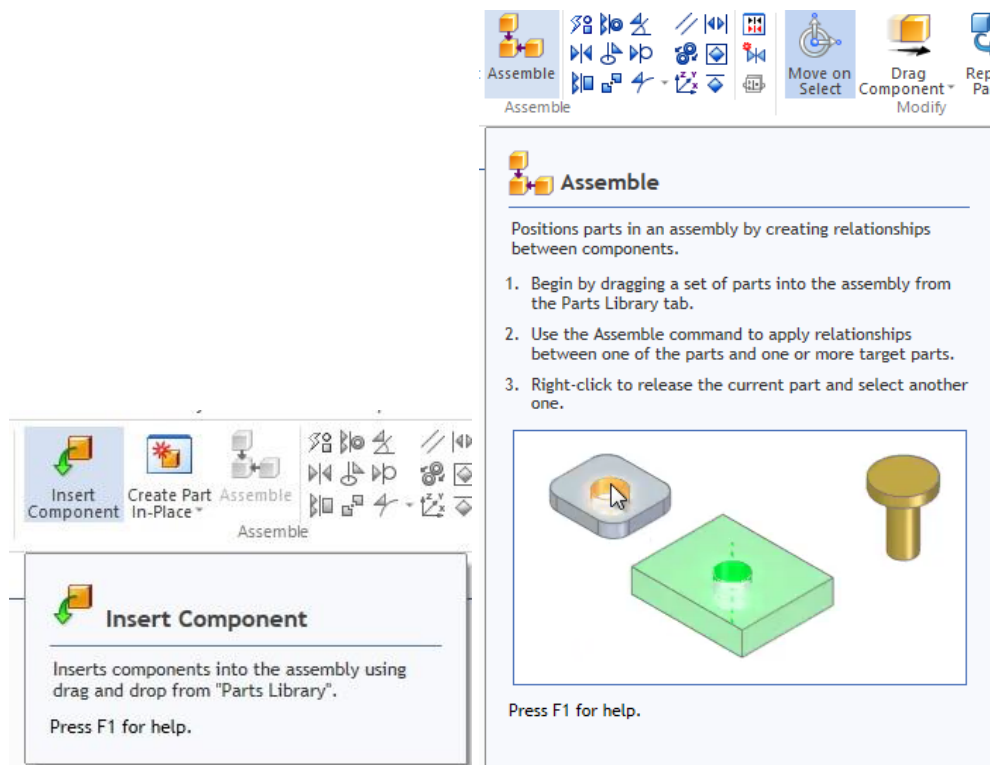
III osa. MUDELAUTO DETAILIDE ÜHENDAMINE

Et eelmises peatükis tehtud detailid omavahel ühendada, on meil vaja teha üks teist sorti uus fail. Selleks on “Assembly” fail, ehk kooste fail. See tähendab ühte ühist faili, kuhu me saame kõik üksikud detailid kokku tõsta ning neile omavahel ühendusi luua. Selleks otsime me üles uue faili alt sellise valiku (Joon.30)



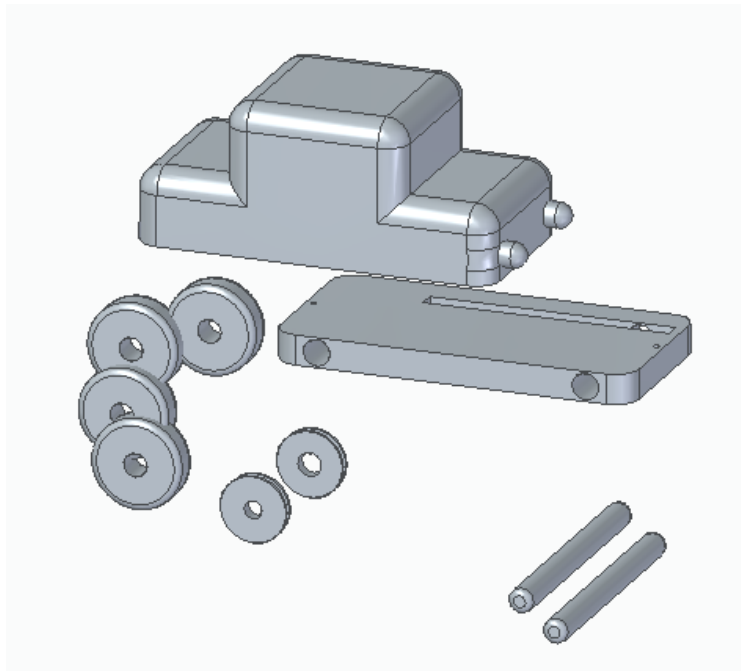
Joon.30 Kooste fail

Kui see on valitud, ilmub ette sarnane aken nagu varem, kuid mõned asjad on teisiti. Järgneva ülesande jaoks on meil vaja kaht käsklust. “Insert Components” ning “Assemble”.



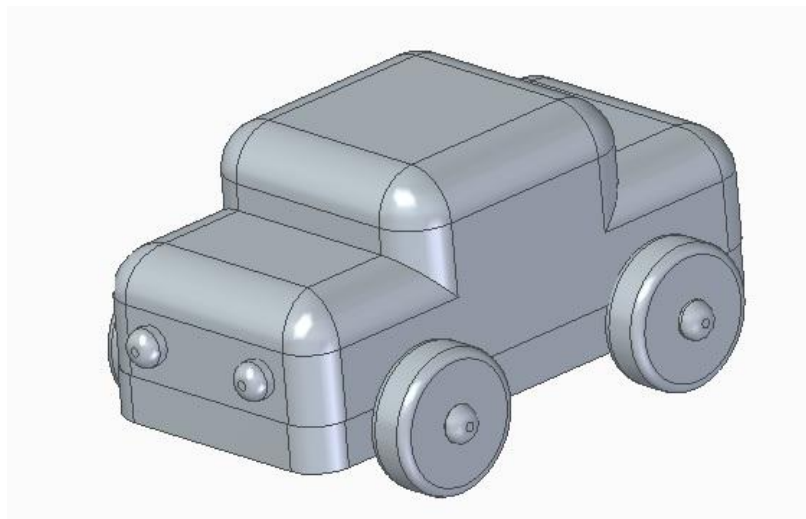
Joon 31. Sisesta detaile ning koonda kokku

Insert Componentsi vajutades ilmub sulle vasakusse äärde aken, kust saad üles otsida enda tehtud auto detailid. Arvesta, et osasid detaile on vaja mitu. Näiteks rattaid. Võttes hiirega oma detailist kinni ning lohistades enda tööpinnale, ilmuvad nad nähtavale. Lohista ükshaaval kõik detailid tööpinnale. Kui kõik sinu detailid on lohistatud, peaks pilt nägema välja umbes selline (Joon. 32)



Joon 32. Auto detailid laiali muuta

Nüüd võtame kasutusele “Assembly” käsu. See käsklus laseb meil luua seoseid detailide vahel. Näiteks ratta ava sees peaks paiknema völli. Völli peaks paiknema auto põhjas talle mõeldud avas. Kere peab paiknema põhja peal jne. Kui oled detailide vahel kõik seosed määranud, peaks tulemus olema selline (Joon 33). Raskuste korral vaata läbi õppevideo, mille link materjali lõpus asub.



Joon 33. Auto detailid koos

Assembly faili abil saame me veenduda, et meie loodud detailid omavahel klapivad. See tähendab, et võllid mahuvad rataste külge, Põhja peal oleksid õige suurusega avad ja kõik kumerused sobiksid omavahel. Lisaks on siin näha, et kõik esemed oleksid omavahel proportsioonis. See tähendab, et rattad poleks liiga suured või kere liiga piklik vms. 2 detaili, mida kooste joonise puhul kokku proovida ei saa, on jõuülekande ratas, mis kinnitub mootori võlli külge ning auto pult. Nende detailide puhul pead olema eriti tähelepanelik, et oled kõiki nõudeid arvesse võtnud (patarei mõõtmeid, juhtme/lüliti läbimõõtu ning Mootori võlli läbimõõtu).

Enne printimist vaata veelkord kriitilise pilguga üle enda koostejoonis. Kas kõik kaared ja kujundid, mis tegid sobivad? Kas kõik nurgad ja servad on omavahel koos? Kas avad ja pesad on seal kus vaja?

Kui kõik on ilusti tehtud läheme õppematerjali viimase osa juurde. Printimine ja monteerimine.

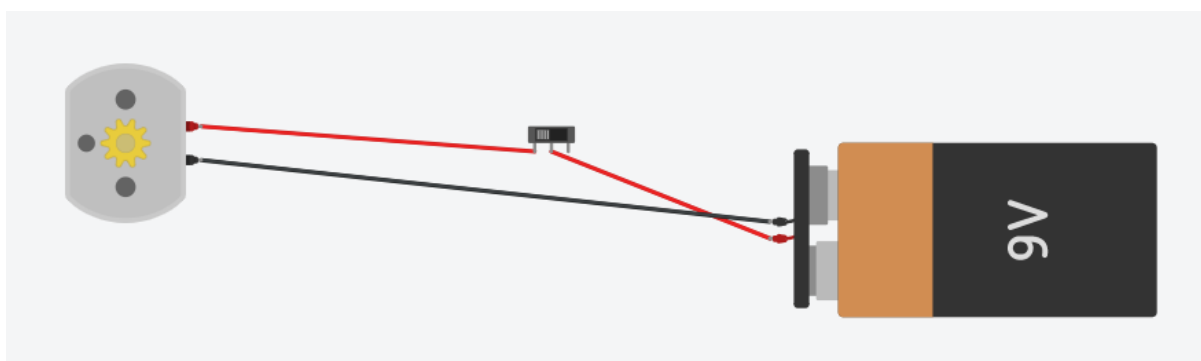
IV osa. 3D PRINTIMINE

Elektroonika

Et meie disainitud mudelauto ka töotaks, on meil vaja elektroonikat. Detailide külge lisanduvad järgmised elektroonikakomponendid :

- Mikromootor - Võib olla erinevate mõõtude ning pingega. Kui kasutada 9V patareid, peab mootorit ostes veenduma, et mootor patarei pingele vastu peaks. Poest ostes on see info toote juures olemas ning paljudel juhtudel on ka mootori peal kirjas.
- 9V patarei koos pesaga - Tegu on kandilise patareiga, mis on majapidamises kasutusel näiteks suitsuandurites. Pesasid on erinevaid, kuid arvestades, et me ise patareile korpuse (auto puldi näol) valmistame, siis piisab lihtsast minimaalsest pesast. Võid ka kasutada teistsugust patareid, kuid mida nõrgem patarei, seda tihedamini on seda vaja vahetada.
- Lüliti - Võib kasutada lihtsad on/off lülitit koos kahe või kolme klemmiga. Eesmärk on, et lüliti ühtepidi asetunult käivitab elektroonika ning teistpidi lülitab ta välja. Sama eesmärgi täitab ka ära mikronupp, kuid see tähendab et auto töötamisel peab nuppu terve aja all hoidma.
- 2 sooneline juhe - Seda on vaja, et komponendid omavahel ühendada. See, kui pika juhtme jätab auto ja puldi vahele on enda otsustada, kuid tähtis on, et saad pulti seistes käes hoida ilma autot liigutamata.

Kõik need komponendid on omavahel ühenduses järgmiselt :

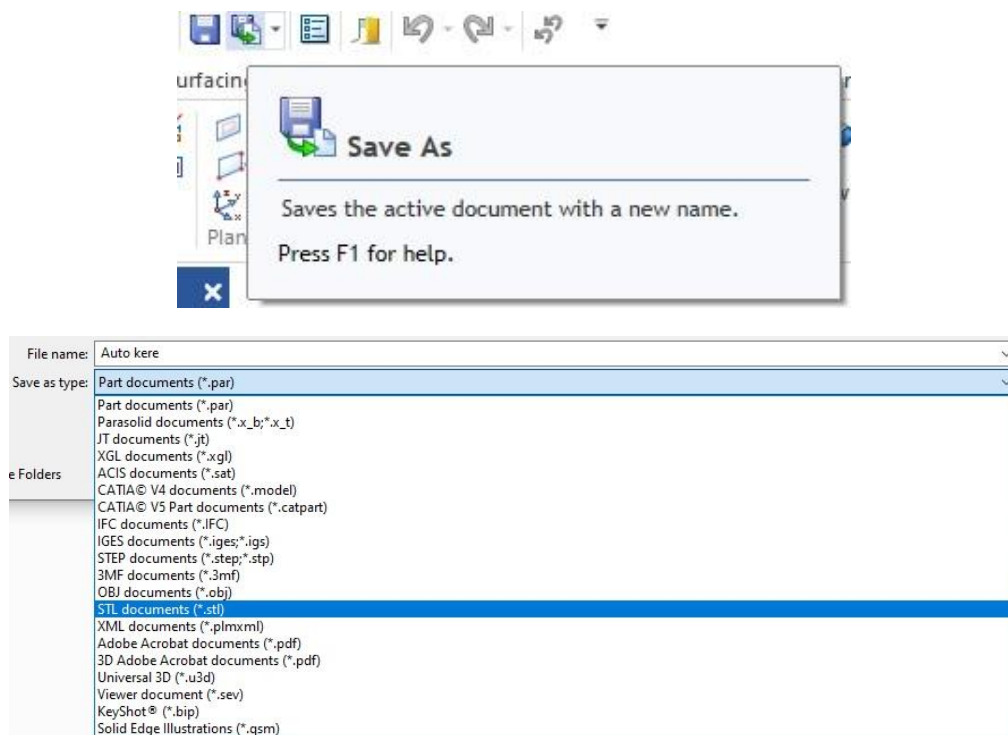


Joon. 31 Elektriskeem

Printimine

Nüüd kui oleme õppinud modelleerima, on aeg minna printimise juurde. See tähendab, et me toome meie kujundatud auto füüsilisel kujul arvutist päris maailma. 3D printimise kohta täpsemalt võid lugeda järgmisest peatükist. Erinevatest materjalidest, printeri tüüpidest ja levinumatest vigadest. Siin peatükis õpime me, mida peame enda failidega tegema, et printer neid printida suudaks.

Näidis printimine toimub printeriga MakerBot Replicator 2 ning selle juurde kuuluva MakerBot Desktop programmiga. See on ekstrusioon tüüpi printer, mis prindib hästi PLA materjali. Kui soovid täpsemalt teada, milliseid tüüpi 3D printereid on maailmas olemas ning mis materjali nad kasutavad, siis loe selle kohta õppematerjali lõpus "[Täiendavat lugemist](#)" alt. Samuti saad sealt infot probleemide kohta printimisel ning viise, kuidas neid lahendada. Enne aga kui saame printimise juurde minna, on vaja kõik meie failid muuda "STL" tüüpi failideks. Kõige lihtsam variant selleks on avada oma failid uuesti Solid Edge programmiga (välja arvatud kooste fail) ning otsida ülevalt rea pealt üles käsklus "Save As". Seejärel valime faili tüübiks STL. See on ülemaailmne standard faili formaat, mida enamus 3D printereid tunnevad.



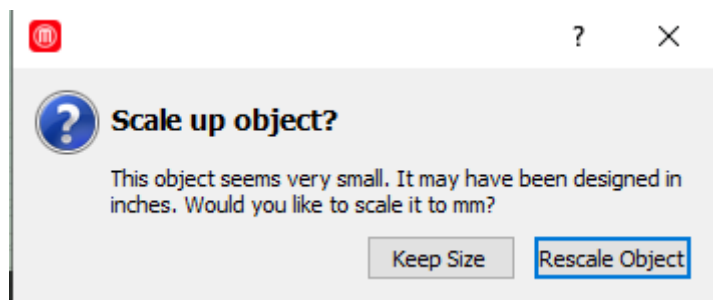
Joon 34. Save As ja STL faili formaat

Kui oled kõik oma vajalikud failid STL formaati muutnud on aeg panna need failid printima. Kui sul printimise ajal on valida mitme värvi vahel, siis on mõistlik panna ühte värvi detailid kõik korraga printima. Näidistöö puhul on valida pruuni ning helerohelise vahel. Otsustasin rattad ning võllid teha pruunid ning ülejäänud detailid rohelised.

Näidis printimine toimub MakerBot replicator 2-ga ning sellele vastava MakerBot Desktop tarkvaraga.

Printer ühendub arvutiga USB kaabli abil ning kui printer on sisse lülitatud, peaks tarkvara ta kohe ära tuvastama. Programmi avades peame esimese asjana otsima üles oma failid. Selleks võtame ülevalt vasakult riba pealt käsi “File” ning sealt edasi käsi “Add”. Tekkinud aknas otsime üles oma failid ning vajutame käsklust “Open”.

Siinkohal võib programm küsida sinult sellist asja (Joon 35). Siis vali vastus “Rescale object”



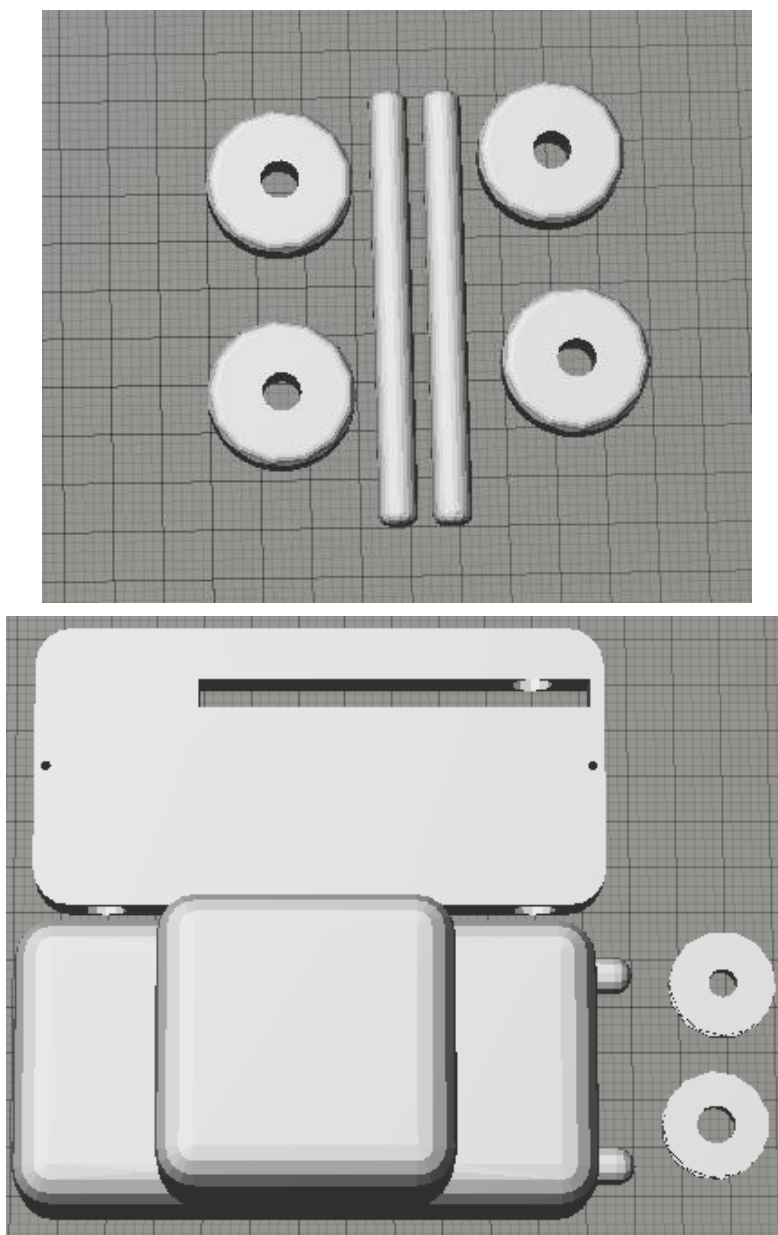
Joon 36. Tollidest millimeetriteks

Kui valisid mitu detaili, mida printida võivad need olla üksteise sees kinni ning vales positsioonis. Selleks on vasakul küljel neli ikooni, mille abil objekte korrigeerida. (Joon.37)



- 1 - Vaate muutmine. Et paremini näha oma detailide paiknemist, saad siit muuta oma vaadet.
- 2 - Liiguta objekte. Vajutades sellele käsklusele ning seejärel detailist kinni võttes saad sa detaili liigutada tööpinnal.
- 3 - Pööra objekte. Selle käsu abil saad pöörata oma objekti kõige paremasse positsiooni.
- 4 - Objekti skaala. Selle käsuga saab muuta objekti mõõte. Kui eeltöö on õigesti tehtud, pole siin vaja midagi muuta.

Nende käskluste abil peaksid saama oma detailid töölauale sobivalt paigaldatud ning tulemus võiks olla midagi sellist (Joon. 38). Arvesta, et detailide vahele võiks jääda 5-10 mm laiune vahe.



Joon 38. Printimise asetus

Kui esemed on prinditud vaata need hoolikalt üle. Kui on vaja kuskilt midagi lihvida või muus mõttes korrigeerida, tee see enne monteerimist ära. Kui kõik sobib, asume monteerimise juurde. Soovitatav järjekord on selline :

1. Ühenda omavahel auto põhi ning võllid. Pea meeles, et ühe võlli külge läheb ka jõuülekanne ratas ning kummipael, mis seda vedama hakkab. Ühenda need omavahel ning kontrolli, kas võllid keerlevad oma pesades vabalt ning samuti jõuülekanne ratas.
2. Ühenda võlli otstesse auto rattad. Sileda pinna peal katseta, kas kõik rattad liiguvad ilusti.
3. Ühenda mootor ning teine jõuülekanne ratas omavahel. Tugevuse jaoks võid lisada ka liimi.
4. Ühenda jõuülekanne rattad omavahel kummipaela abil ning liimi mootor põhja külge selliselt, et kummipael oleks pingul.
5. Lükka kahesoone line juhe läbi keresse tehtud ava ning puhasta juhtme otsad isolatsioonist.
6. Jooda juhtme otsad mootori klemmide külge ning isoleeri ühendused isoleerteibiga.
7. Kinnita auto kere auto põhja külge nii, nagu disainimise käigus olid mõelnud.
8. Juhtme teine pool lükka läbi puldil ettenähtud ava ning eemalda isolatsioon juhtme otsast.
9. Ühenda patareipesa, lüliti ning kahesoone line juhe nii, nagu joonisel 31 näha. Kindlasti isoleeri ühendused teibi abil.
10. Kinnita lüliti ja patarei selliselt, nagu disainimisel oled mõelnud ning katseta enda tööd. Kui kõik on õigesti, peaks lüliti liigutamisel auto tööle hakkama. Kui see pole nii, kontrolli ühendusi. Kui kõik on korras, sulge pult kaane abil.

Lõpetuseks

Sellega oled valmis saanud oma enda disainitud ja monteeritud 3D prinditud objekti. Kui lõpptulemusena kõik sinu auto juures töötab selliselt nagu plaanisid, siis on väga hästi. Võibolla ei tulnud kõik asjad esimese korraga selliselt välja nagu lootsid, kuid see on vajalik, et midagi uut õppida.

Selle töö käigus õppisid sa :

- Modelleerima arvutis lihtsamaid kujutisi ning esemeid. Seostama neid omavahel võttes arvesse etteantud mõõte ning kriteeriume.
- Seadistama 3D printerit ning 3D printeri abil valmistama enda modelleeritud esemeid
- Ühendama mikromootorit energia allikaga ning seadistama seda selliselt, et toimuks jõuülekanne.

Need on 3 väga tähtsat oskust ka tulevikuks. 3D modelleerimine annab meile võimaluse luua detaile, mida käsitsi oleks väga raske valmistada. Ning seda ilma materjali raiskamata. Kui puurida või saagida esemeid puidust, tekib palju saepuru ning kildu. 3D printimise puhul seda aga ei teki.

Kiitus kõigile, kes selle materjali läbi töötlesid ning selle abil midagi uut õppisid. Selle teemalist ja muud materjali tuleb kindlasti veel, sest tehnoloogia areneb pidevalt ning aina rohkem tuleb juurde huvitavaid teemasid, mida õppida.

Järgmistel lehekülgedel võid leida veel infot 3D printeri materjalide kohta, levinumate vigade kohta printimisel ning lisainformatsiooni printeri tüüpide kohta. Head lugemist!

Täiendavat lugemist

Levinumad materjalid

3D printimise materjal on maailmas palju ning tuleb pidevalt juurde. Üldisem nimetus on nendele kõigile filament. Vastavalt vajadusele ning võimalustele on kasutusel erineva jäikuse, vastupidavuse või pindmiste omadustega materjale.

1. ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) on üks esimesi ja levinumaid printimis materjale.

Plussid	Miinused
Odav hind	Võib printides kaardu minna
Üpris kulumiskindel	Vajab printimisel kuumutatud alust
Prinditud pind jääb sile	Printimisel eritab tugevat lõhna
Peab kuumale hästi vastu	Võib jahtudes kahaneda ja mõõte muuta

2. TPE (Thermoplastic Elastomers) on elastne materjal, mida annab peale printimist painutada ja väänata. Levinum bränd sellel materjalil on Ninjaflex.

Plussid	Miinused
paindlik ja pehme	Keeruline printida
pikk eluiga	Nõrgad tugevusomadused
Vibratsiooni summutavad omadused	Printimisel võib tekkida palju vigu
Põrutuskindel	Võimalik ainult teatud tüüpi printeritega printida

3. PLA (Polylactic Acid) on kõige levinum materjal 3D printimisel. See materjal ei vaja kuumutatud alust ega väga kõrget temperatuuri. Samuti on see hea hinnaga ning biolagunev.

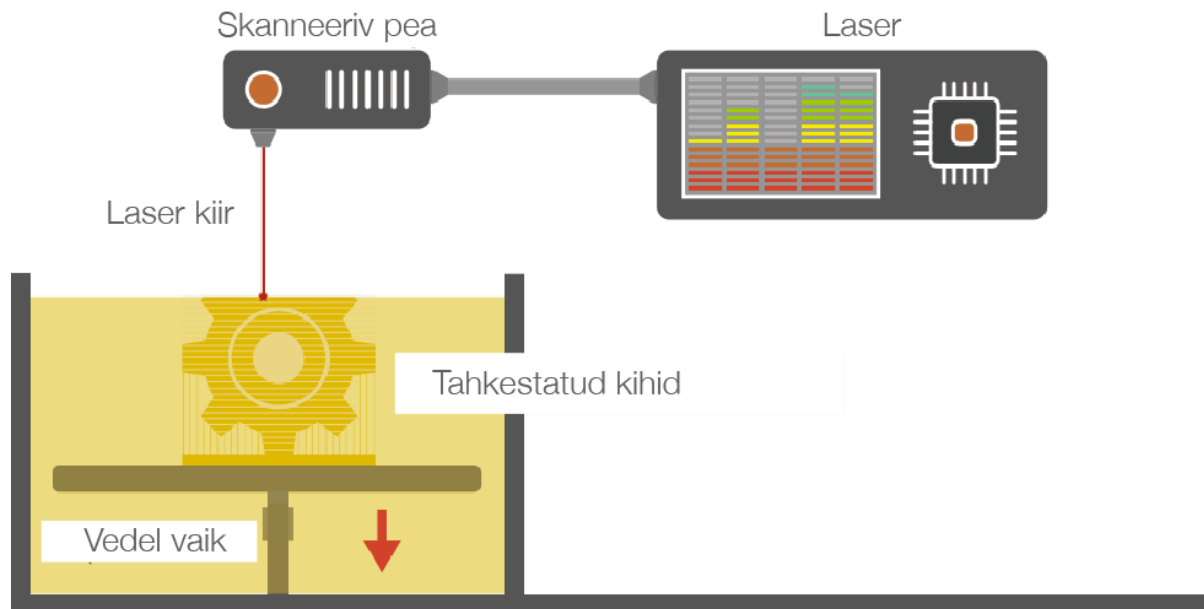
Plussid	Miinused
Odav hind	Ei pea kuumale vastu
Jäik ja tugev	Võib printides voolama hakata
Täpsed printimise omadused	Filament võib muutuda hapraks
Pikk eluiga	Pole sobilik välitingimustesse

4. PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) on materjal, mida kasutatakse ka plastikpudelite valmistamisel.

Plussid	Miinused
Läikiv ja sile pind	Nõrgad tugevusomadused
Printimine on üldiselt lõhnatu	Võib tekitada karvast pinda kehva printimisega

Printimise tehnoloogiad

1. Stereolitograafia

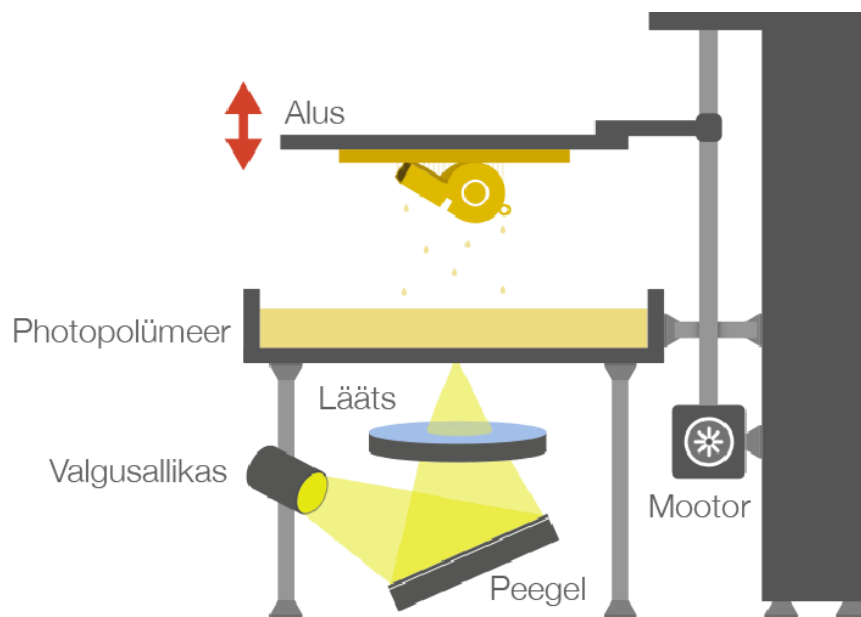


Joon 1. Stereolitograafia (A.Essop; 2017)

Stereolitograafia on teadaolevalt esimene 3D printimise protsess. See tehnoloogia töötab koos fotopolümeervaiguga, mis laseri valguse peale tahkestub. Vannis oleva vedela vaigu sees liigub töölaud. Laserkiir liigub talle etteantud kohtades ringi, mille tulemusena vaik vajalikes kohtades tahkeks muutub.

Selle tehnoloogia miinused on, et esemed on vaja tihti kuuma ahju asetada, et need lõplikult tahkeks muutuksid. See tehnoloogia on väga täpne ja esemed jäävad ilusa pinnaga. Kuid need esemed muutuvad ajaga hapraks.

2. Digitaalne valgustöötlus

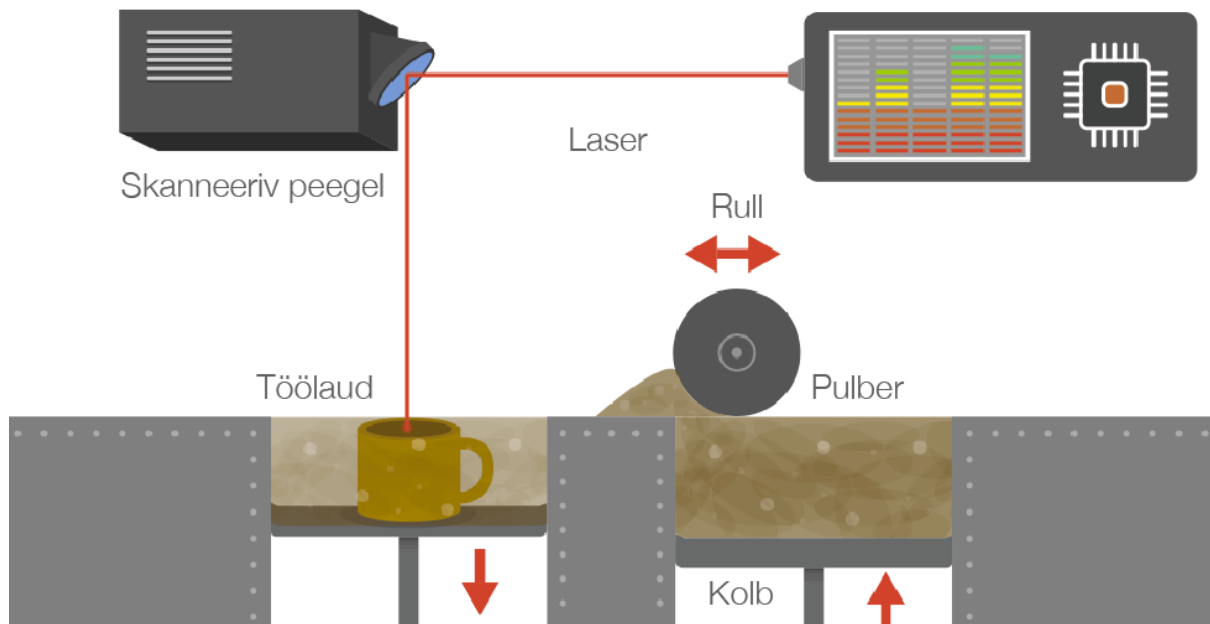


Joon 2. Digitaalne valgustöötlus (A.Essop; 2017)

Tööpõhimõte on sarnane stereolitograafiale, kuid laseri asemel on siin kasutusel tavaline lamp. Kujutis projekteeritakse kogu mahus vanni põhjale.

Selle tehnoloogia eelis on, et ta vajab vähem materjali printimiseks. Seega on protsess kiirem ning tekib vähem jäätmeid.

3. Laserpaagutamine

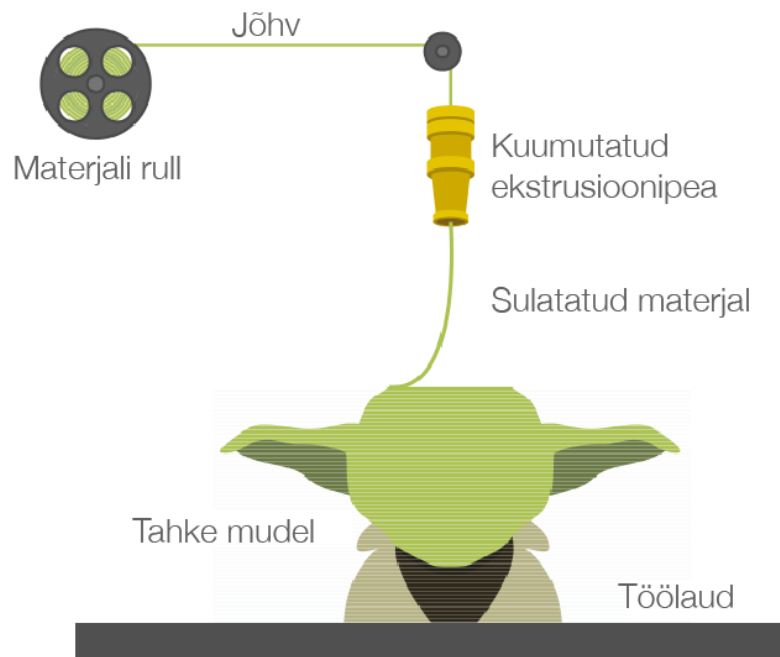


Joon 3. Laserpaagutamine (A.Essop; 2017)

Printimise toormaterjaliks on pulber. Laser liigub mööda tööpinda ning paagutab pulbrit vajalikes kohtades. Selle tulemusena pulber muutub üheks tahkeks detailiks. Kui esimene kiht on valmis, liigub alusplaat madalamale ning kogu protsess toimub uuesti.

See tehnoloogia nõuab täpset ja ühtlast temperatuuri ja niiskustaset. Seega on vajalik töökamber. Selle tehnoloogia eelis on, et üleliigne pulber töötab toena ning seetõttu on võimalik printida keerulisi detaile. Miinuseks on, et protsess vajab kõrgeid temperatuure ning on aeganõudev protsess.

4. Ekstrusioon

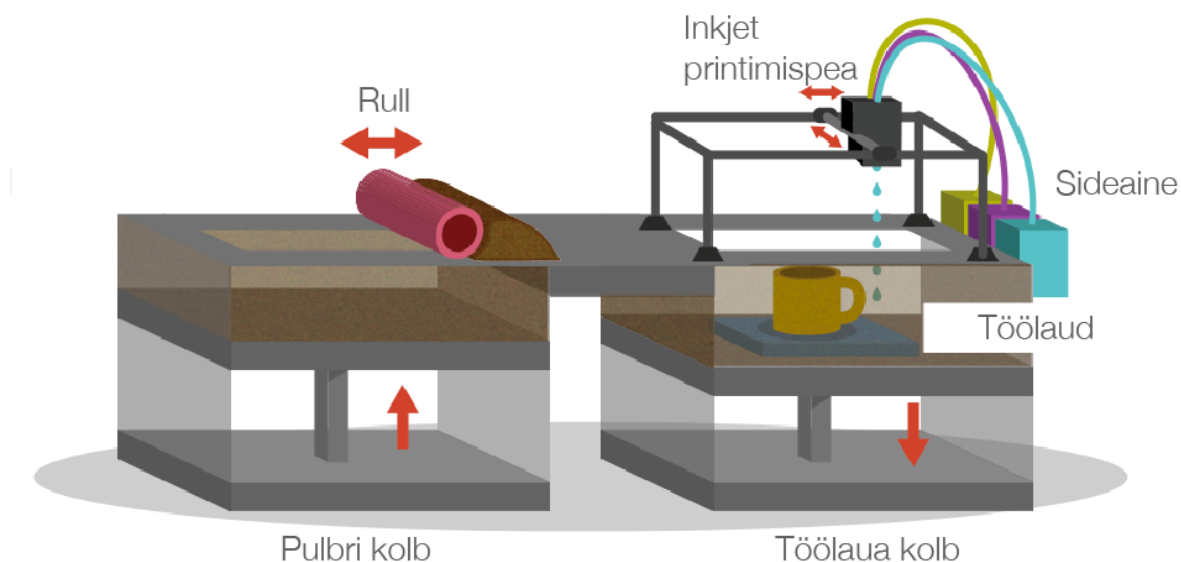


Joon 4. Ekstrusioon (A.Essop; 2017)

Tänapäeval kõige levinum tehnoloogia. Kuumusega sulatatakse plastikust jõhvi (filamenti) ning printeri pea viib sulatatud materjali vastavalt programmile soovitud kohtadesse. Iga kiht muutub seejärel tahkeks ning ühindub järgmise kihiga. Vastavalt materjali valikule võib siin esineda erinevaid miinuseid või plusse. Sellest täpsemalt on kirjutatud “3D printimise materjalid” peatükis. Levinumad probleemid on kaardumine ning kihtide omavahel mitte ühildumine.

5. Inkjet

On olemas kaks 3D printimise protsessi, mis kasutavad tindiprinteritega sarnast tehnoloogiat.

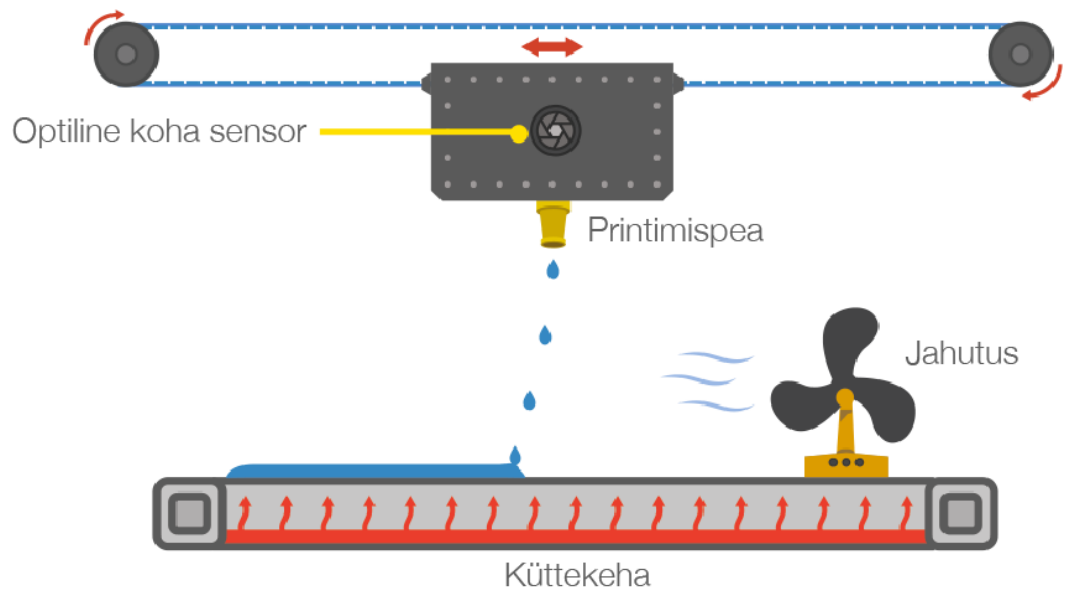


Joon 5. Inkjet 3D printimine (A.Essop; 2017)

Sarnaselt laserpaagutamisele on siin kasutusel pulber. Ainult laseri asemel on kasutusel pihusti, mis vajalikesse kohtadesse sideainet pihustab. Kui üks kiht on valmis, liigub tööpind madalamale ning kogu protsess toimub uuesti.

Eeliseks on, et pole vaja tugistruktuure ehitada, sest üleliigne pulber töötab toena. Lisaks saab selle tehnoloogia puhul kasutada materjalina ka keraamikat ja toitu. Sideainele saab lisada ka erinevaid värve. Detailide vastupidavus on võrreldes paagutamisega nõrgem.

6. Pihustamine

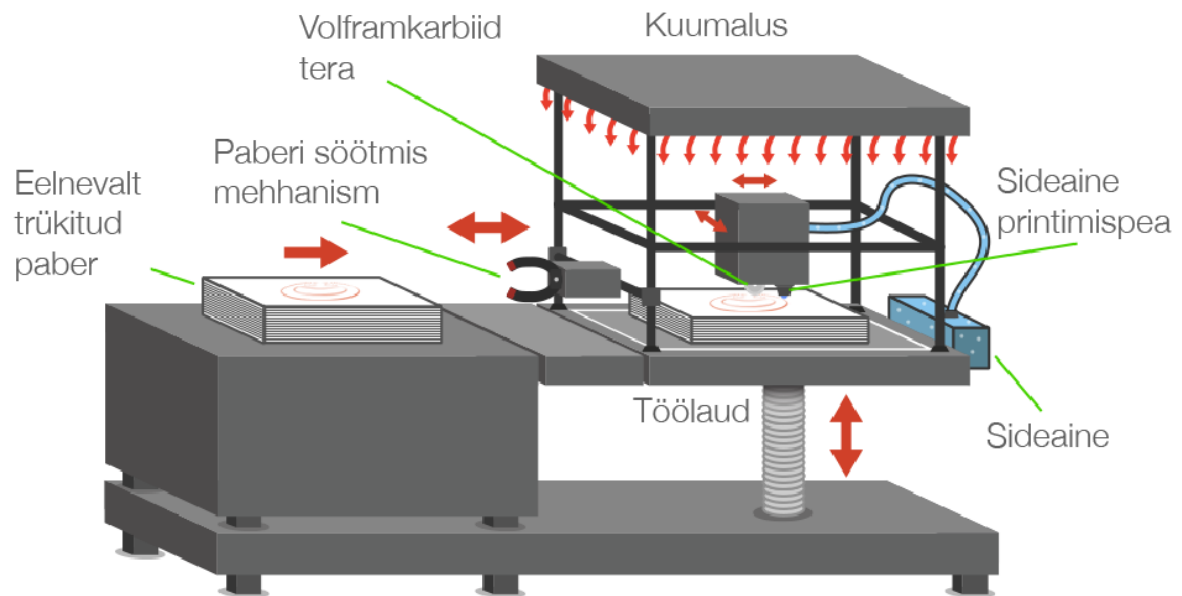


Joon 6. Pihustamine (A.Essop; 2017)

Ese valmib materjali pihustamisel. Pihustipea eraldab vajalikesse kohtadesse kihi haaval materjali ning need tahkestatakse UV valguse abil.

Eeliseks on, et saab kasutada mitut erinevat materjali korraga. Samuti on see tehnoloogia väga täpne ning esemed valmivad sileda pinnaga.

7. Valikuline pinna laminatsioon



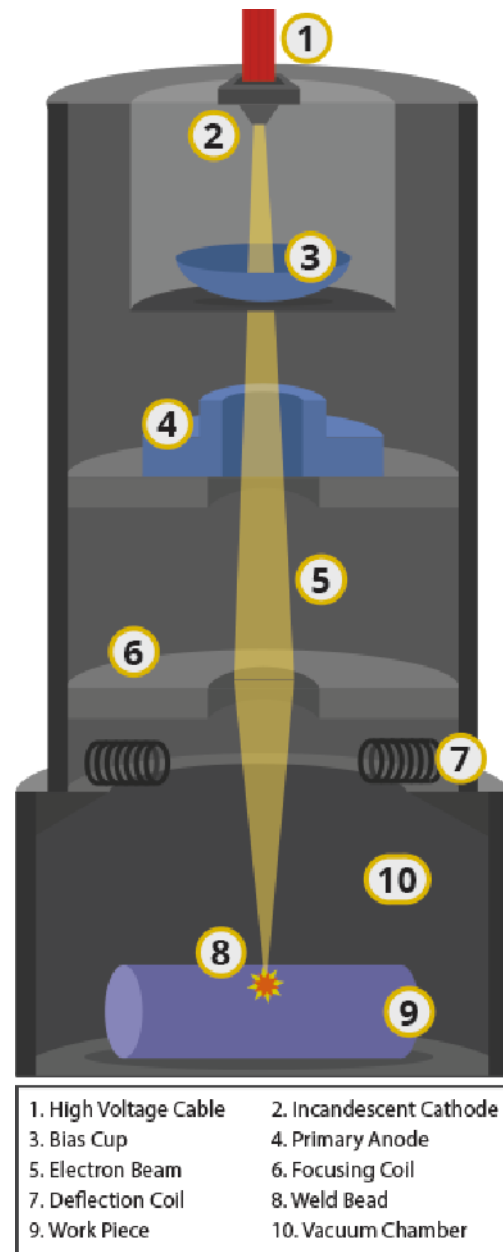
Joon.7 Valikuline pinna laminatsioon (A.Essop; 2017)

Selle tehnoloogia puhul on materjaliks tavaline koopiapaber. Kihid seotakse omavahel sideainega. Iga kihi järel liigub töölaud pisut allapoole ning seotakse esemele uus kiht. Volframkarbiidist noad lõikavad iga kihi vastavalt kujule välja.

8. Elektronkiirega sulatamine

Siin tehnoloogial on toormaterjaliks metalli pulber. Kogu protsess toimub vaakumis ning soojusallikaks on elektronkiir.

Selle tehnoloogia abil on võimalik valmistada väga tugevaid metallist esemeid. Seda kasutatakse meditsiinitööstuses proteeside tootmisel. Samuti ka lennuki- ja autotööstuses.



Joon 8. Elektronkiirega sulatamine (A.Essop; 2017)

Levinumad vead printimisel

3D printimine on väga täpne ja arenev tehnoloogia, kuid nagu iga tehnoloogia puhul, võib ette tulla vigu. Olgu see vigane detail, veateade poole printimise pealt või probleem printeri tööle saamisega. Järgnevas peatükis vaatame üle levinumad vead ning viisid, kuidas neid ennetada/likvideerida.

1. Filament otsas

Väga levinud ja lihtne viga on, et printeril saab filament otsa. Põhjus on lihtne. Printimiseks vajaminev filament ei jõua printeri pea juurde. See võib olla filamendi libisemise pärast, sõlme pärast filamendi rullis või on lihtsalt seadmes materjal otsa saanud.

Et seda parandada, on vaja filamendi rulli algus saada tagasi pea külge. Enamikel printeritel on selle jaoks käsklus “Load filament”. Kui rull on tühi, on vaja see välja vahetada ja samuti toimida.

2. Ummistunud printeri pea

Mõni printeri saab aru, kui midagi umbes on ning lõpetab töö. Võib ka juhtuda, et printer prindib detaili edasi, kuid printeri pea seest midagi välja ei tule. See tähendab, et printeri pea on umbes. Vahest piisab selle puhul, kui kasutada käsklust “Unload Filament” ning seejärel eelnevalt mainitud “Load Filament”. Kui see ei aita, on vaja printeri pea printeri küljest võtta ning täpsemalt uurida mis seal umbes on. Seda peaks tegema kogenum või vastava väljaõppega isik.

3. Ebatahasused printimisel

Kui printimisel on näha, et materjal jaotub ebaühtlaselt või printeri pea surub alusplaadi vastu liiga kõvasti, on seadme seadistusega midagi valesti. Kui printerit esmakordselt kasutada, on vaja printeri alusplaat häälestada vastavalt tema asukohale. Seade ise otsib alusplaadil enda jaoks vajalikud punktid üles ning salvestab vajalikud kõrgused. Seda protsessi on vaja teha ka siis, kui printeri asukohta on muudetud.

4. Materjal ei püsi alusplaadi küljes

Eriti levinud on see viga printerite puhul, millel puudub alusplaadi soojendus. Materjal jahtub liiga kiiresti maha ning jahtudes tuleb plaadi küljest lahti. Tulemuseks on üldiselt väga vigane ese, mis ei meenuta üldse soovitud tulemust. Põhjuseks võib olla vale materjal, valed ruumi tingimused (temperatuur või õhuniiskus), kehv alusmaterjal või vale seadistus.

- Kui on teada, mis materjali kasutad siis tasub maaletoojalt uurida kõige paremaid tingimusi printimiseks.
- Ümbruse temperatuuri ja niiskuse hoidmiseks sulgeda ruumi ukсед ja aknad. Kogu printimise protsessi ajal peavad olema tingimused ühtlased.
- Müügil on alusplaadi katted. Ekspertid soovivad ka alusplaadile enne printimist pihustada juukselakki. Soojendusega alusplaatidel võib üle vaadata temperatuuri seadistuse.
- Arvutis tasub üle vaadata seadistused nagu seina paksus, täite protsent, patjade või tugevade vajadus ning printimise temperatuur.

5. Kaardumine / ebatahasused pinnal

Nagu eelmisel punktil, on ka siin tõenäoliselt põhjuseks valed tingimused või seadistus. Kui printer printimise käigus laotab pinnale suuremaid tükke, on printimis temperatuur vale. Kaardumise puhul jahtub detail liiga kiiresti. Sellisel juhul on vaja luua tingimusi, kus detail saaks aeglasemalt jahtuda.

Üleüldiselt peaks enne printimise alustamist tutvuma printeriga. Lugema juhendit ning viia korrektselt läbi esmane seadistus. Samuti uurida, mis on kõige parem materjal selle printeri jaoks ning mis tingimustes töö peaks toimuma. Printeri arvutiprogrammis saab muuta ka prinditava eseme asukohta. Kui on näha, et aluspind on ühe koha pealt parem, kui teise siis on soovitatav liigutada ese parema koha peale. Loomulikult vajab printer ka hoolt. Tööpind peab olema tolmuvaba ning liikuvad objektid võõr objektidest puhtad.

Lisa 2. Eelküsitlus

4/12/2021

3D printimine Eesti koolides

3D printimine Eesti koolides

Olen Martin Raudmäe ning viin Tartu Ülikooli magistritöö jaoks läbi küsitluse 3D modelleerimise ning printimise kohta. Küsitluse eesmärk on saada ülevaade 3D printerite olukorrast Eesti põhikoolides ning sellest lähtuvalt koostada õppematerjal. Soov on teada saada mis võimalused ja kui suur huvi on Eestis selle valdkonna vastu.

* Kohustuslik

1. Mis maakonna koolis te töötate?

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Harju maakond
- ☐ Tartu maakond
- ☐ Ida-Viru maakond
- ☐ Pärnu maakond
- ☐ Lääne-Viru maakond
- ☐ Viljandi maakond
- ☐ Rapla maakond
- ☐ Võru maakond
- ☐ Saare maakond
- ☐ Jõgeva maakond
- ☐ Järva maakond
- ☐ Valga maakond
- ☐ Põlva maakond
- ☐ Lääne maakond
- ☐ Hiiu maakond

2. Kas koolis, kus te töötate on olemas 3D printer? *

Märkige ainult üks ovaal.

☐ Jah

☐ Ei

☐ Muu: _____

3. Kui jah, siis mis marki 3D printeriga on tegu?

Märkige kõik sobivad.

	MakerBot	Prusa i3	Creality Ender	Lulzbot	Mass Portal
Rida 1	☐	☐	☐	☐	☐

4. Printeri puudumisel, kas oleksite huvitatud 3D printeri soetamisest ning õppetöös kasutamisest?

Märkige ainult üks ovaal.

☐ Jah

☐ Ei

☐ Juba kasutan printerit õppetöös

5. Kas tunnete, et eestikeelset õppematerjali 3D modelleerimise ja printimise kohta on piisavalt? Kui kasutate ingliskeelset materjali, kirjutage palun millist.

Märkige ainult üks ovaal.

☐ Jah

☐ Ei

☐ Muu: _____

6. Kui palju te oma õppetöös 3D printerit kasutate?

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Väga palju
☐ Palju
☐ vähe
☐ Ei kasutagi

7. Kui suur on õpilaste huvi 3D printerite vastu?

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Väga suur
☐ Suur
☐ Keskmine
☐ Väike
☐ Väga väike

8. Mis töid te täpsemalt 3D printeriga teete?

9. Mis kooliastmes te 3D printerit õpetate?

Märkige kõik sobivad.

	I kooliastmes	II kooliastmes	III kooliastmes
Rida 1	☐	☐	☐

10. Mis programmi te 3D modelleerimiseks kasutate?

Märkige kõik sobivad.

	TinkerCAD	SolidEdge	FreeCAD	Fusion360	SolidWorks	AutoCAD
Rida 1	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Google pole seda sisu loonud ega heaks kiitnud.

Google Vormid

Lisa 3. Tagasiside küsitlus

4/12/2021

Tagasiside õppematerjalile

Tagasiside õppematerjalile

Olete praeguseks 4 nädalat Tehnoloogiaõpetuse distantsõppes tegelenud SolidEdge programmiga. See polnud kõige lihtsam ülesanne, mida iseseisvalt teha. Alljärgnev küsitlus on mõeldud selleks, et saada tagasisidet õppematerjalile. Seda on vaja, et viia sisse parandusi/täiendusi ning et tulevikus tehtav õppematerjal tuleks veel parem. Õigeid ja valesid vastuseid pole. Kirjuta ausalt ja võimalikult täpselt, mida sa sellest teemast ja materjalist arvasid.

1. Õppematerjal oli minu arvates

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Liiga raske
- ☐ Raske
- ☐ Sobival tasemel
- ☐ Lihtne
- ☐ Liiga lihtne
- ☐ Muu: _____

2. Kas õppevideotele oleks olnud vaja juurde ka teksti?

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Jah
- ☐ Ei
- ☐ Tegin tööd ära ainult kirjaliku õppematerjali abil

3. Kui väga mind see teema huvitas?

Märkige ainult üks ovaal.

	1	2	3	4	5	
Üldse mitte	☐	☐	☐	☐	☐	Väga palju

4. Milline osa oli kõige kergem?

5. Milline osa oli kõige raskem?

6. Kas tahaksin sama programmi abil ka koolis iseseisvalt midagi endale valmistada ning hiljem printida?

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Kindlasti
☐ Võibolla
☐ Pigem mitte

7. Millest oli rohkem kasu. Kas videotest või kirjalikust materjalist?

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Videotest
☐ Kirjalikust materjalist
☐ Mõlemat oli vaja

8. Kui palju kulus sul kokku aega, et kogu õppematerjal läbi töödelda ning mudelauto koostejoonis valmistada?

9. Kas eelistaksid Tehnoloogiaõpetuse tunnis teha puidu/metalli tööd või arvutis modelleerimist?

Märkige ainult üks ovaal.

- ☐ Puidu/metallitööd
☐ Modelleerimist
☐ Mõlemat võiks teha kordamööda

10. Kui selgeks sa SolidEdge programmi teema lõpetuseks said?

Märkige ainult üks ovaal.

	1	2	3	4	5	
Ei saanud midagi aru	☐	☐	☐	☐	☐	Teema on väga selge

Google pole seda sisu loonud ega heaks kiitnud.

Google Vormid

Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Martin Raudmäe

sünnikuupäev: 02.03.1989

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose 3D modelleerimise ja printimise teemaline õppematerjal põhikooli III kooliastmele , mille juhendaja on Renno Raudmäe ,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 12.04.2021