

TARTU ÜLIKOOL
Viljandi Kultuuriakadeemia
Kunstide ja tehnoloogia õpetaja magistriõppekava

Anna Repnau

**CNC tööpingi kasutamine tehnoloogiaõpetuses: II ja III
kooliastmele õppeülesannete koostamine ja hindamine**

Magistritöö

Juhendaja: Mart Soobik, *PhD*, tehnoloogiaõpetuse didaktika lektor

Viljandi 2026

RESÜMEE JA ABSTRACT

CNC õppeülesannete koostamine tehnoloogiaõpetuses

Käesoleva magistritöö eesmärk oli koostada CNC tööpinkide kasutamiseks sobivad õppeülesanded ja juhendmaterjalid II ja III kooliastmele ning hinnata nende sobivust tehnoloogiaõpetuse õppetöös. Töö teoreetilises osas käsitleti CNC-tehnoloogia kasutamist hariduses ning selle seoseid digipädevuse ja MATIK-lõimingu. Uurimistöö viidi läbi arendusuuringuna, mille raames koostati õppematerjalid ning küsiti nende kohta hinnanguid kolme tehnoloogiaõpetuse õpetajalt. Tulemused näitasid, et loodud õppeülesandeid hinnati positiivselt ning need sobivad kasutamiseks eelkõige III kooliastmes. Samuti selgus, et õppematerjalid toetavad õpilaste huvi, motivatsiooni ja praktiliste oskuste arengut. Edasise tööna on plaanis täiendada õppematerjale videopõhiste juhenditega ning katsetada neid laiemalt koolipraktikas.

Märksõnad: CNC tööpink, tehnoloogiaõpetus, õppeülesanded, digipädevus, MATIK

Development of CNC Learning Tasks in Technology Education

The aim of this master's thesis was to develop learning tasks and instructional materials for the use of CNC machines in lower and upper basic school levels and to evaluate their suitability for technology education. The theoretical part of the study addressed the use of CNC technology in education and its connection to digital competence and STEM integration. The study was conducted as a design-based research, during which learning materials were created and evaluated by three technology teachers. The results showed that the developed learning tasks were positively evaluated and are particularly suitable for upper basic school students. The materials were also found to support students' interest, motivation, and development of practical skills. As a next step, the materials will be supplemented with video-based instructions and tested in a wider school context.

Keywords: CNC machine, technology education, learning tasks, digital competence, STEM

SISUKORD

RESÜMEE JA ABSTRACT	2
SISSEJUHATUS	5
1. TEOREETILINE TAUST	8
1.1 CNC tehnoloogia olemus ja kasutamise võimalused	8
1.2 CNC tehnoloogia roll hariduses ja lõimimine õppekavaga	11
1.3 Õpilaste digipädevuste ja tehnoloogiliste oskuste arendamine	12
1.4 CNC tööpinkide kasutuselevõtu probleemid ja võimalused kooliõppes	13
2. METOODIKA	16
2.1 Õppematerjalide väljatöötamine	16
2.1.1 II kooliastme CNC õppeülesannete väljatöötamine	18
2.1.2 III kooliastme CNC õppeülesannete väljatöötamine	19
2.1.3 CNC õppeülesannete kujundamise põhimõtted	20
2.2 Valim	20
2.3 Andmekogumine	21
2.4 Andmeanalüüs	22
2.5 Uuringu eetika	23
2.6 Uuringu piirangud	23
3. TULEMUSED	24
3.1 Õppematerjalide üldine hinnang	24
3.2 CNC õppeülesannete hinnang	25
3.3 Praktiline rakendatavus	29
3.4 Vastavus õppekavale	30
3.5 Üldpädevuste arendamine	31
3.6 Õpilaste huvi ja motivatsioon	32
3.7 Avatud vastuste analüüs	33
4. ARUTELU	35
KOKKUVÕTE	38
KASUTATUD KIRJANDUS	40
LISAD	43
LISA 1. Õpetaja töökava II kooliaste	43

LISA 2. Õpetaja töökava III kooliaste	53
LISA 3. CNC-tööpingi tutvustav ainetund II ja III kooliastme õpilastele	61
LISA 4. CNC tööpingi juhtimistarkvara NCCAD 7.0 tutvustus II ja III kooliastme õpilastele	66
LISA 5. CNC-tööpingi kasutamine tehnoloogiaõpetuses: ülesanded II kooliastme õpilastele	77
LISA 6. CNC-tööpingi kasutamine tehnoloogiaõpetuses: ülesanded III kooliastmele	103
LISA 7. TÖÖOHUTUSE REEGLID CNC TÖÖPINGIL TÖÖTAMISEL	127
LISA 8. KÜSIMUSTIK TEHNOLOOGIAÕPETUSE EKSPERDITELE	128
SUMMARY	139
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	141

SISSEJUHATUS

Tehnoloogia areng mõjutab otseselt ka haridust ning seab uusi ootusi tehnoloogiaõpetusele. Seetõttu on oluline, et õpilased omandaksid koolis praktilisi oskusi, mida saab kasutada ka edaspidi. Eesti hariduses on olnud mitmeid olulisi algatusi tehnoloogiaõppe edendamiseks, nagu näiteks Tiigrihüppe programm (1996), mille kaudu loodi koolidele arvutiklassid ja internetiühendus. Hiljem on sellele järgnenud ProgeTiger programm, mille eesmärk on toetada õpetajate digipädevuste arengut ning programmeerimise ja robotika lõimimist õppetöösse (Harno, 2023; OECD, 2019; UNESCO, 2018).

CNC-tööpingid ehk arvjuhtimisega tööpingid on olulised seadmed, mida kasutatakse paljudes tööstusharudes. Et noored mõistaksid, kuidas need masinad töötavad ja milleks neid kasutatakse, on oluline neid tutvustada juba koolis. Eriti tähtis on seda teha II ja III kooliastmes, mil õpilased hakkavad kujundama oma huve ja tulevikuplaane (Groover, 2020; Smid, 2013; Bybee, 2013).

CNC-tööpingid on tehnoloogiaõpetuses kaasaegsed ja mitmekülgsed töövahendid, mis pakuvad häid võimalusi praktiliseks ja loovaks õppimiseks. Samas ei ole nende kasutamine Eesti koolide tehnoloogiaõpetuse tundides veel laialdaselt ja süsteemselt levinud. Kuigi mitmetes koolides on CNC-seadmed olemas, võib nende õppetöösse rakendamine olla õpetajate jaoks keeruline, kuna sageli napib aega, kogemusi ja kindlustunnet seadmete kasutamiseks.

Olemasolevad õppematerjalid on üksikud ning sageli seotud konkreetsete seadmete või tarkvaraga. II ja III kooliastmele sobivaid, eakohaseid ning selgete õpieesmärkidega praktilisi ülesandeid ja metoodilisi soovitusi on vähe ning need ei kata alati kogu õppeprotsessi alates idee kavandamisest kuni valmis tooteni. Samuti on vähe avalikult kättesaadavaid näiteid põhikooli õpilaste CNC-töödest, mida õpetajad saaksid kasutada inspiratsiooni või juhendmaterjalina.

CNC-tehnoloogia kasutamine Eesti koolides on ebaühtlane. Kuigi täpne ülevaade CNC tööpinkide levikust üldhariduskoolides puudub, näitab 2021. aasta Haridus- ja Noorteameti ülevaade, et tehnoloogiaõpetuse varustatus on kooliti erinev ning paljudes koolides kasutatakse veel vananenud seadmeid (Haridus- ja Noorteamet, 2021). Praktikute hinnangul on CNC-seadmed olemas eelkõige suuremates või projektipõhise rahastuse saanud koolides, kusjuures levinumad on lauapealsed CNC-freespingid tööalaga ligikaudu 300–400 mm.

Kuigi leidub üksikuid CNC-teemalisi õppematerjale, on just II ja III kooliastmele mõeldud terviklikke ja eakohaseid õppematerjale ning praktilisi ülesandeid endiselt vähe. CNC-õpet saab edukalt siduda teiste ainete õpetamisega, mida toetab MATIK-lähenemine (matemaatika, teadus, tehnoloogia, inseneeria ja kunst). CNC-töös on vaja osata mõõta, planeerida, disainida ja loogiliselt mõelda, mistõttu sobib CNC-õpe hästi matemaatika, kunsti, füüsika ja digipädevuste arendamisega lõimitud õppeks.

Lisaks on oluline, et õppematerjalid sisaldaksid ülesandeid, mis sobivad vanuseastmele ning toetavad loogilise mõtlemise ja digioskuste arengut (Rao, 2022).

Käesoleva magistritöö teema valik on seotud ka autori praktilise kogemusega üldhariduskoolis. Põlva Kooli Ahja õppekohas on CNC tööpink olemas, kuid selle igapäevane ja eesmärgipärane kasutamine tehnoloogiaõpetuse tundides on seni olnud piiratud, peamiselt oskuste ja juhendmaterjalide puudumise tõttu. See olukord peegeldab laiemat probleemi, kus kaasaegne tehnoloogia on küll kooli jõudnud, kuid selle tõhusaks rakendamiseks õppetöös puudub sageli piisav metoodiline tugi.

Uurimistöö probleem

Eesti koolides on vähe eakohaseid ja metoodiliselt läbimõeldud CNC freespingi kasutamiseks loodud õppematerjale ning juhendmaterjale, mille abil saaksid õpetajad tehnoloogiaõpetust rikastada ja õpilasi praktiliselt arendada. Selle tulemusena ei saa õpilased piisavalt praktilisi kogemusi kaasaegse tehnoloogiaga ega arenda oskusi, mida neil tulevikus vaja võib minna. Varased kogemused ja lai silmaring aitavad kujundada huvi tehnoloogia ja inseneeria vastu, mistõttu on oluline kasutada digiajastu võimalusi, et toetada õpilaste teadmiste ja oskuste arengut.

Lähtuvalt kujunenud olukorrast tuleneb uurimistöö probleem: missuguste didaktiliste ja praktiliste ülesannetega on võimalik luua II ja III kooliastme õpilastele tehnoloogiaõpetuse tundideks sobiv CNC-alane õppe ettevalmistus?

Uurimistöö eesmärk

Uurimistöö eesmärgiks on luua II ja III kooliastme õpilastele tehnoloogiaõpetuse tundideks sobiv CNC freespingi kasutamiseks ja õpetamiseks sobiv didaktiline süsteem, mis põhineb praktiliste ülesannete väljatöötamisel.

Uurimisküsimused

1. Millised CNC freespingi alased õppeülesanded ja juhendid sobivad II ja III kooliastme õpilastele tehnoloogiaõpetuse tundides kasutamiseks?
2. Kuidas hindavad eksperdid väljatöötatud CNC õppeülesannete ja juhendite sobivust ja rakendatavust tehnoloogiaõpetuses?

Uurimistöös kasutati arendusuuringulist lähenemist ning eksperthinnangut õppematerjalide sobivuse hindamiseks.

1. TEOREETILINE TAUST

1.1 CNC tehnoloogia olemus ja kasutamise võimalused

CNC (inglise *Computer Numerical Control*) tähendab arvjuhtimisega tööstustehnoloogiat, kus masina liikumist juhivad arvutisse sisestatud käsud. Need käsud on kirjutatud G-koodina masinakeeles, mis sisaldab koordinaate ja toiminguid, näiteks lõikepea liikumine või spindli pöörlemiskiirus (Smid, 2013; Groover, 2020). G-kood loetakse CNC tarkvarasse ja teisendatakse automaatselt masina liikumiseks, mis juhib tööriista kujundi lõikamisel või freesimisel. Sellist töötlusviisi nimetatakse lahutavaks tootmiseks (*subtractive manufacturing*), kuna kujundi loomine toimub materjali eemaldamise teel.

Käesolevas töös kasutatakse CNC-tehnoloogia ja tehnoloogiaõpetusega seotud põhimõisteid, mis on allpool defineeritud. Mõistete avamine on oluline, sest CNC tööpinkide kasutamine üldhariduskoolis eeldab ühist arusaama tööprotsessi etappidest ja tehnoloogilistest terminitest (Haridus- ja Teadusministeerium, 2023).

Täiendavad terminid tekstis (selgitused):

CAD (Computer-Aided Design) – arvutipõhise kavandamise tarkvara, mida kasutatakse jooniste ja mudelite loomiseks (nt Tinkercad, Inkscape, SketchUp, Fusion 360). CAD-mudelist saab CNC-töötluste algne lähtefail.

CAM (Computer-Aided Manufacturing) – CNC-tootmistarkvara, mis muudab CAD-mudeli seadmele sobivaks tööfailiks, lisades töötlusparameetrid (kiirus, sügavus, tööriist, trajektoor). CAM-tarkvara genereerib G-koodi.

CNC (Computer Numerical Control) – arvjuhtimisega tootmistehnoloogia, mille puhul masina liikumist juhivad arvutisse sisestatud digitaalsed käsud. CNC tööpink teostab lõikamist, freesimist või graveerimist automaatselt vastavalt tööfailis määratud parameetritele (3ERP, 2023).

Digipädevus – oskus kasutada digivahendeid teadlikult, loovalt ja eesmärgipäraselt, sh failide loomine, muutmine, salvestamine, tarkvara kasutamine ja digikeskkondades probleemide

lahendamise. CNC-õpe toetab digipädevuse arengut CAD/CAM-tarkvara kasutamise kaudu (Ferrari, 2013; European Commission, 2017; UNESCO, 2018).

Disainiprotsess – toote loomise etappide süsteem: idee → kavand → valmistamine → testimine → parendamine → esitlus. Disainiprotsessi kasutamine toetab loovat mõtlemist ja probleemilahendust ning on kooskõlas tehnoloogiaõpetuse õppekavaga (Haridus- ja Teadusministeerium, 2023).

Freesimine – materjali eemaldamine pöörleva lõikeriistaga, mis on üks levinumaid CNC-töötlemisprotsesse.

G-kood – CNC tööpinkidele mõeldud tekstipõhine käsustik, mis määrab tööriista liikumise trajektoori, töötlemissügavuse, kiiruse ja tööjärjekorra. G-kood toimib masinakeelena, mille alusel CNC tööpink täidab tööülesande (Smid, 2013; Groover, 2020).

Koordinaatteljed (X, Y, Z) – ruumilised suunad, mille järgi CNC tööpink liigutab tööriista ja määrab selle asukoha töötlemisel.

NCCAD 7.0 – tarkvara, mis ühendab CAD-kujunduse, CAM-tööriistateede loomise ja CNC-pingi juhtimise ühes keskkonnas. Tavapäraselt kasutatakse CNC protsessis eraldi CAD- ja CAM-tarkvara, kus CAD loob geomeetria ning CAM valmistab selle põhjal töötlusfaili. Lihtne ülesehitus muudab NCCAD 7.0 sobivaks õppeotstarbel kasutamiseks (Groover, 2020).

Spindel – CNC tööpinki kuuluv pöörlev osa, mis hoiab ja pöörab lõikeriista töötlemisprotsessi ajal.

CNC-tööpingid võivad olla erinevat tüüpi, näiteks CNC-freespingid metalli, puidu või plastiku töötlemiseks, CNC-treipingid silindriliste detailide valmistamiseks ning CNC-laserpingid materjali lõikamiseks või graveerimiseks. Kõik nimetatud CNC-seadmed kasutavad CAD/CAM-süsteeme (Computer-Aided Design ja Computer-Aided Manufacturing), mis ühendavad arvutipõhise joonestamise ja tootmisprotsessi ning võimaldavad digitaalse mudeli alusel detailide valmistamist (Groover, 2020; Smid, 2013).

CNC protsessi põhietapid on järgmised:

1. Kavandi loomine CAD-tarkvaras (nt kujundi joonestamine või 3D-mudel).
2. Tootmisfaili loomine CAM-tarkvaras, kus määratakse tööriistad ja lõikeparameetrid.
3. G-koodi genereerimine ja masina seadistamine.
4. Tööprotsessi läbiviimine (lõikamine, freesimine, graveerimine).
5. Tulemuse kontroll ja viimistlus.

Algselt levisid CNC tööpingid peamiselt suurtes tööstusettevõtetes, näiteks lennukiosade või keerukate metallkonstruktsioonide tootmiseks. Aja jooksul on seadmete hinnad ja tehnoloogilised nõuded langenud, mistõttu on need muutunud kättesaadavamaks ka väiksematele ettevõtetele ning jõudnud kutse- ja üldhariduskoolidesse (Kalpakjian ja Schmid, 2014; Groover, 2020).

Tööandjad hindavad üha enam spetsialiste, kes oskavad CNC tööpinke kasutada, programmeerida ja hooldada. Seetõttu on oluline, et noored omandaksid esmased teadmised ja kogemused CNC tehnoloogiaga juba üldhariduskoolis. Varajane kokkupuude kaasaegsete tootmistehnoloogiatega võib tõsta õpilaste huvi inseneeria, tootmise ja digitehnoloogia vastu ning pakkuda praktilist kogemust, mis loob paremad eeldused valdkonnas edasiseks õppimiseks või töötamiseks (Bybee, 2013; Honey et al., 2014).

1.2 CNC tehnoloogia roll hariduses ja lõimimine õppekavaga

CNC tehnoloogia rakendamine hariduses arendab õpilaste tehnoloogilisi ja digipädevusi ning valmistab neid ette tulevikus vajalike oskuste omandamiseks. Eestis on ellu viidud mitmeid tehnoloogiaõpet toetavaid projekte, mis loovad soodsa aluse CNC tehnoloogia integreerimiseks kooliõppesse. Tiigrihüppe programm (1996) tõi koolidesse arvutiklassid ja internetiühenduse, luues aluse digihariduse arengule. Sellele järgnes ProgeTiger programm, mille eesmärk on toetada õpetajaid digipädevuste arendamisel ning programmeerimise ja robotika lõimimisel õppetöösse (Harno, 2023). Need algatused on loonud tehnoloogiarikka õpikeskkonna, kuhu sobib loogilise jätkuna integreerida ka CNC õpe.

CNC õpe sobib hästi kaasaegse MATIK-lähenemisega (matemaatika, teadus, tehnoloogia, inseneeria ja kunst), mis on rahvusvaheliselt tuntud lühendiga STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*). CNC tööpinkide kasutamine võimaldab õpilastel kogeda, kuidas erinevad õppeained omavahel on seotud (Rao, 2022; Bybee, 2023; Honey et al., 2014; European Commission, 2010):

Matemaatika: CNC õpe eeldab mõõtmete, nurkade, koordinaattelgede ja muude suuruste mõistmist. Õpilased kasutavad matemaatikat jooniste koostamisel ja masina programmeerimisel.

Tehnoloogia ja inseneeria: CNC ühendab teadmisi masinatest, materjalidest ja tootmisprotsessidest. Õpilased loovad kavandeid ja valmistavad oma ideedest tooted.

Loodusteadused: Õpitakse erinevate materjalide omadusi ning masina tööpõhimõtteid, mis tuginevad füüsikale ja mehaanikale.

Kunst ja disain: Kujunduselementide planeerimine ning visuaalne esteetika on osa toote arendamisest.

Selline lõimiv lähenemine muudab õppeprotsessi terviklikumaks ja huvitavamaks, toetades ühtlasi õpilaste üldpädevusi, sealhulgas loovat mõtlemist, koostööoskust ja iseseisvat probleemilahendust (Machining Concepts, 2024).

1.3 Õpilaste digipädevuste ja tehnoloogiliste oskuste arendamine

Eesti põhikooli riikliku õppekava järgi on tehnoloogiaõpetuse eesmärk arendada õpilaste loovust, tehnilist taipu, probleemilahendusoskust ja praktilisi töövõtteid (Haridus- ja Teadusministeerium, 2023). II ja III kooliastmes pööratakse tähelepanu tööriistade ohutule kasutamisele, materjalide omaduste tundmisele, joonestamisele ja toodete valmistamisele. Samuti julgustatakse õpilasi katsetama ning kasutama erinevaid lahendusi, arvestades funktsionaalsust, kasutusmugavust ja esteetikat.

CNC tööpinkide kasutamine võimaldab neid õpieesmärke saavutada mitmel praktilisel viisil:

1. Kaasaegse tehnoloogia kasutamine õppetöös: CNC tööpinkid toovad kooli tehnoloogia, mida kasutatakse päriselt tööstuses. Õpilased saavad näha ja proovida, kuidas toimub tänapäevane tootmine.
2. Digioskuste arendamine praktilise tegevuse kaudu: CNC õpe ühendab arvutis joonestamise ja disainimise. Õpilased õpivad kasutama digivahendeid loovalt ja eesmärgipäraselt, rakendades erinevaid programme nagu Tinkercad, SketchUp, Inkscape jne.
3. Loogilise ja ruumilise mõtlemise arendamine: CNC tööpinki kasutamine arendab õpilaste võimet mõelda loogiliselt ja ruumiliselt.
4. Projektõpe ja meeskonnatöö: CNC-d saab kasutada projektõppes – õpilased kavandavad ja valmistavad ise tooteid, arendades ettevõtlikkust, iseseisvust ja koostööoskust.

Lisaks toetab CNC tööpinkide kasutamine ainevahelist lõimingut, tuues tehnoloogiaõpetusse elemente matemaatikast (mõõtmine, koordinaadid), kunstiõpetusest (kujundus), loodusainetest (materjalide füüsikalised omadused) ja informaatikast (failihaldus, tarkvarade kasutamine). CNC õpe aitab paremini siduda teooriat ja praktikat, võib tugevdada õpilaste huvi inseneria, tootmise ja disainivaldkonna vastu ning mõjutada positiivselt edasisi haridusvalikuid (Ferrari, 2013; European Commission, 2017).

1.4 CNC tööpinkide kasutuselevõtu probleemid ja võimalused kooliõppes

CNC-tehnoloogia rakendamine kooli õppetöös pakub võimalusi tutvustada kaasaegset tootmistehnoloogiat ning rikastada tehnoloogiaõpetust praktiliste töövõtetega, kuid selle kasutuselevõtt on seotud mitmete praktiliste ja meetodiliste väljakutsetega.

Esiteks on CNC tööpinkide soetamine ja hooldamine koolidele märkimisväärne rahaline koormus. Lauapealsete CNC tööpinkide hinnad jäävad ligikaudu vahemikku 200–2000 eurot (tabel 1), sõltuvalt seadme võimekusest ja konfiguratsioonist. Lisaks seadmete soetusmaksumusele tuleb arvestada hoolduskulude, tarvikute ning tarkvaralitsentsidega, mis muudab CNC-seadmete kasutuselevõtu kulukaks (Kalpakjian ja Schmid, 2014). Seetõttu ei ole CNC-tööpingid kõigis koolides võrdselt kättesaadavad ning nende kasutamine sõltub suuresti kooli rahalistest võimalustest.

Tabel 1. Lauapealsed CNC tööpingid tööalaga ~400 × 300 mm

CNC tööpink (mudel/tüüp)	Tööala (mm)	Kasutus	Hind (EUR)	Allikas
CNC 3040 graveerimis-/freespink	400 × 300	Puit, plast, kerged metall	300 – 800 €	https://cncrouterinfo.com/routers/best-budget-cnc-router
CNC 3040Z3D freespink	400 × 300	Alumiinium, täpsem freesimine	1000 – 2000 €	https://toopingid.ee/cnc-frees-graveerimismasinad/8768-cnc-3040z3d-22-kw-graveerimis-ja-freespink.html
Genmitsu 4040 Reno CNC router	400 × 400	Puit, prototüüpimine	400 – 600 €	https://genmitsu.com/collections/milling-machines
VEVOR CNC 4040 router	400 × 400	Õpe, hobikasutus	350 – 700 €	https://www.vevor.nl/cnc-router-machine-c_41954
CNC 3020 graveerimispink	300 × 200	Väiksemad detailid	200 – 600 €	https://www.alibaba.com/showroom/cnc-router-3020.html

Teiseks mõjutab CNC-õppe rakendamist õpetajate valmisolek ja väljaõpe. CNC tööpinkide kasutamine eeldab tehnilisi teadmisi, ohutusnõuete tundmist ning oskust siduda seadme kasutamine õppe-eesmärkidega. Ilma piisava ettevalmistuse ja täiendkoolituseta võib õpetajatel puududa kindlustunne CNC-seadmete kasutamiseks tehnoloogiaõpetuse tundides (Rao, 2022).

Oluliseks probleemiks on ka sobivate õppematerjalide ja juhendite nappus. Eesti koolides on vähe eakohaseid, selge ülesehitusega ja visuaalselt toetavaid CNC-õppe materjale, mis oleksid kohandatud põhikooli II ja III kooliastme tehnoloogiaõpetuse vajadustele ning toetaksid õpetajat tundide kavandamisel ja läbiviimisel (Eesti Maaülikool, 2023).

Lisaks tuleb arvestada tööohutuse tagamisega. CNC-tööpingid eeldavad rangete ohutusnõuete järgimist, mistõttu peab õpetajal olema põhjalik ülevaade seadmete ohutust kasutamisest ning suutlikkus kavandada õppetööd viisil, mis välistab ohuolukorrad.

Eelnev ülevaade viitab, et CNC tööpinkide olemasolu Eesti koolides ei taga iseenesest nende järjepidevat ja eesmärgipärast kasutamist tehnoloogiaõpetuse tundides. Kuigi mitmetes koolides on CNC-seadmed füüsiliselt olemas ning need on soetatud erinevate digihariduslike algatuste ja projektide raames, on nende rakendamine õppetöös ebaühtlane. Peamisteks põhjusteks on sobivate õppematerjalide ja juhendite puudumine, õpetajate vähene ettevalmistus ning asjaolu, et CNC-õpe ei ole põhikooli tehnoloogiaõpetuse õppekavasse süsteemselt lõimitud.

Samas näitab olukord, et probleem ei seisne niivõrd tehnika puudumises, vaid meetodilise toe ja eakohaste õppeülesannete nappuses. Paljud koolides olevad CNC-tööpingid, sealhulgas NCCAD 7.0 tarkvaraga töötavad seadmed, on oma olemuselt sobivad õppeotstarbeliseks kasutamiseks ning võimaldavad tehnoloogiaõpetuse sisulist mitmekesistamist. Seetõttu on põhjendatud otsida lahendusi, kuidas olemasolevaid CNC tööpinke õppetöös tõhusamalt rakendada ilma täiendavaid suuri investeeringuid tegemata.

Sellest vajadusest lähtub ka käesoleva magistritöö uurimisprobleem, mille keskmes on küsimus, milliste didaktiliste ja praktiliste ülesannetega on võimalik luua II ja III kooliastme õpilastele tehnoloogiaõpetuse tundideks sobiv CNC freespingi alase õppe ettevalmistuse didaktiline süsteem. Magistritöö eesmärk on välja töötada tehnoloogiaõpetuse tundides kasutamiseks sobivad CNC õppeülesanded ja juhendid ning hinnata nende otstarbekust õpetajate eksperthinnangute abil. Järgnevas metoodika peatükis kirjeldatakse õppematerjalide väljatöötamise põhimõtteid ning uurimisprotsessi ülesehitust.

Kokkuvõttes on CNC-tehnoloogia kasutuselevõtt koolides sisuliselt väärtuslik, kuid selle edukas rakendamine eeldab piisavat metoodilist tuge, õpetajate ettevalmistust ning läbimõeldud õppematerjale.

2. METOODIKA

Käesoleva magistritöö eesmärk oli luua II ja III kooliastmele sobivad CNC õppeülesanded ja juhendid ning hinnata nende otstarbekust üldhariduskooli tehnoloogiaõpetuses. Käesolevas peatükis kirjeldatakse, kuidas õppematerjalid koostati, millistele põhimõtetele tugineti ning kuidas koguti ja analüüsiti eksperthinnanguid.

Uurimistöös kasutati arendusuuringulist lähenemist, mille käigus esmalt koostati õppematerjalid ja seejärel hinnati nende sobivust. Arendusuuring on sobiv lähenemine olukorras, kus eesmärgiks on luua ja hinnata praktilisi lahendusi hariduslikus kontekstis (Õunapuu, 2014).

Õppematerjalide hindamiseks kasutati eksperthinnangu meetodit. Selle käigus koguti tagasisidet tehnoloogiaõpetuse õpetajatelt, keda käsitleti valdkonna ekspertidena. Eksperthinnangute põhjal hinnati õppematerjalide eakohasust, arusaadavust ning praktilist rakendatavust koolikeskkonnas.

Metoodika ülesehitus lähtus uurimistöo uurimisküsimustest. Esimese uurimisküsimuse käsitlemiseks koostati II ja III kooliastmele sobivad CNC õppeülesanded ja juhendmaterjalid, lähtudes põhikooli riiklikust õppekavast ning tehnoloogiaõpetuse didaktilistest põhimõtetest. Teise uurimisküsimuse käsitlemiseks koguti ja analüüsiti eksperthinnanguid, mille põhjal selgitati välja loodud õppematerjalide sobivus ja kasutatavus.

2.1 Õppematerjalide väljatöötamine

Käesoleva magistritöö raames koostati lisaks õppeülesannetele ja juhendmaterjalidele ka õpetaja töökavad II ja III kooliastmele (LISA 1, 2) ning CNC-tööpingi kasutamise tööohutusreeglid (LISA 7), mis paigutatakse masina juurde. Tööohutusjuhendi koostamise vajadus tuleneb kehtivatest nõuetest, mille kohaselt peavad tehnoloogiaruumides olema masinate ohutu kasutamise juhendid, mis on kasutajatele kättesaadavad (Sotsiaalministri määrus, 2013). Õppematerjalide väljatöötamisel lähtuti põhikooli riiklikust õppekavast ning tehnoloogiaõpetuse eesmärgist arendada õpilaste loovust, probleemilahendusoskust ja tehnoloogilist mõtlemist (Haridus- ja Teadusministeerium, 2023).

Õppematerjalide koostamisel analüüsiti tehnoloogiaõpetuse õpitulemusi ning selgitati, milliseid teadmisi ja oskusi on võimalik CNC tehnoloogia abil arendada. Õppeülesanded koostati nii, et õpilased saaksid praktilise töö kaudu arendada nii digioskusi kui ka loovat mõtlemist.

Õppeülesannete koostamisel arvestati õpilaste vanuselisi iseärasusi, varasemaid teadmisi ning praktilise töö osakaalu. II kooliastmes keskenduti lihtsamatele ja selgema juhendiga ülesannetele, III kooliastmes aga keerukamatele ja iseseisvust nõudvatele töödele.

Õppematerjalid koostati samm-sammulise juhendina, mis võimaldab õpilasel tööprotsessi iseseisvalt jälgida ja läbi viia. Juhendmaterjalid sisaldasid tööetappe, visuaalseid näiteid ning selgitusi CNC tööpingi kasutamiseks. Samal ajal toetavad materjalid õpetajat õppetöö planeerimisel ja läbiviimisel.

Uuringu raames koostati viis CNC õppeülesannet:

1. Võtmehoidja.
2. Lillekujuline kuumaalus.
3. Kikilips.
4. Hoiukarp liugkaanega.
5. Võtmekapi uksepaneel.

Ülesanded valiti selliselt, et need oleksid praktilised, õpilastele huvitavad ning sobivad koolikeskkonnas kasutamiseks.

CNC tehnoloogia kasutamine võimaldab õpilastel läbida kogu disainiprotsessi – ideest ja kavandamisest kuni valmistamise, viimistlemise ja esitlemiseni. See aitab mõista, kuidas digitaalne kavand muutub reaalseks esemeks ning arendab digipädevust ja tehnoloogilist mõtlemist.

2.1.1 II kooliastme CNC õppeülesannete väljatöötamine

II kooliastmes (4.–6. klass) oli CNC õppe peamiseks eesmärgiks tekitada huvi tehnoloogia vastu ning kujundada tehnoloogilise mõtlemise aluseid. Õppeülesanded kavandati eakohased, selge struktuuriga ja visuaalselt toetatud, et õpilased saaksid samm-sammult liikuda lihtsamate tegevuste juurest keerukamate suunas.

Õppeprotsess kavandati viie etapina, mis järgivad disainiprotsessi loogikat.

1. CNC tööpingi tutvustamine ja disainiprotsessi selgitamine.

Õpilastele tutvustati CNC tööpinkide tööpõhimõtteid ning disainiprotsessi etappe (idee – kavand – valmistamine – hindamine).

2. Tööohutus ja töökeskkond.

Selgitati tööohutusnõudeid, kaitsevahendite kasutamist ning CNC tööpingi ohutut käsitlemist.

3. Kujundamine CAD-tarkvaras.

Õpilased kavandasid lihtsa eseme (nt võtmehoidja), kasutades NCCAD 7.0 tarkvara. Arendati digipädevust ja ruumilist mõtlemist.

4. CNC töö ja freesimine.

Õpilased valmistasid oma kavandi CNC tööpingil ning tutvusid G-koodi põhimõtetega (3ERP, 2023).

5. Viimistlemine ja esitlus.

Valminud tooted viimistleti ning esitleti klassis.

Lisaks kavandati ettevalmistav õpe, mille käigus tutvuti tarkvara menüüdega ning valmistati lihtne proovitöö (võtmehoidja). See võimaldas õpilastel omandada esmased oskused enne keerukamate ülesannete tegemist.

Koostatud CNC õppeülesanded toetavad II kooliastmes järgmisi õpitulemusi (Haridus- ja Teadusministeerium, 2023):

Õpilane:

1. Tunneb materjale ja nende omadusi.
2. Kasutab töövahendeid ja töövõtteid ohutult.
3. Kavandab lihtsama eseme.

4. Kasutab digivahendeid kujundamiseks.
5. Töötab sihikindlalt ja viib töö lõpule.
6. Esitleb oma tööd.

Koostatud ülesanded (võtmehoidja, kuumaalus ja kikilips) võimaldavad neid õpitulemusi saavutada praktilise tegevuse kaudu.

II kooliastme jaoks koostati järgmised CNC õppeülesanded:

1. Võtmehoidja.
2. Lillekujuline teetassi kuumaalus.
3. Kikilips.

Need ülesanded on lihtsad, visuaalselt motiveerivad ning võimaldavad õpilastel kiiresti näha oma töö tulemust. Ülesanded toetavad loovust, digioskusi ja praktiliste töövõtete omandamist.

2.1.2 III kooliastme CNC õppeülesannete väljatöötamine

III kooliastmes (7.–9. klass) keskenduti iseseisvamale tööle, keerukamatele projektidele ja tehniliste oskuste arendamisele. Õpilastelt eeldati suuremat planeerimisoskust ning tööprotsessi analüüsi.

Õppeprotsess kavandati nelja etapina:

1. **Idee ja kavandi loomine.**
Õpilased kavandasid eseme ning valisid sobivad materjalid ja töövahendid.
2. **CNC tarkvara seadistamine ja simulatsioon.**
Õpilased koostasid tööfaili ning kontrollisid tööprotsessi simulatsiooni abil.
3. **Praktiline töö CNC tööpingil.**
Õpilased valmistasid oma kavandi ning jälgisid tööprotsessi.
4. **Viimistlus ja analüüs.**
Valminud töö viimistleti ning analüüsiti tööprotsessi ja tulemust.

Koostatud CNC õppeülesanded toetavad III kooliastmes järgmisi õpitulemusi (Haridus- ja Teadusministeerium, 2023):

Õpilane:

1. Valib sobivad materjalid ja töövahendid.
2. Planeerib ja teostab tööprotsessi.

3. Kasutab ohutult tööriistu ja seadmeid.
4. Kavandab ja valmistab esemeid.
5. Analüüsib tööprotsessi ja tulemust.
6. Esitleb ja hindab oma tööd.

Koostatud ülesanded (hoiukarp ja võtmekapi uksepaneel) võimaldavad neid oskusi arendada keerukamate ja iseseisvamate tööde kaudu.

III kooliastme jaoks koostati järgmised ülesanded:

1. Hoiukarp liugkaanega.
2. Võtmekapi uksepaneel.

Need ülesanded nõuavad täpsemat kavandamist, mõõtmist ja tööprotsessi planeerimist ning arendavad tehnoloogilist mõtlemist.

2.1.3 CNC õppeülesannete kujundamise põhimõtted

CNC õppeülesannete koostamisel lähtuti põhimõttest, et õpe peab olema praktiline, loov ja õppijat kaasav. Õppeülesanded kavandati selliselt, et need toetaksid nii individuaalset kui ka rühmatööd.

Õppeprotsess ehitati üles lihtsamast keerukamani, mis võimaldab õpilastel järk-järgult omandada uusi teadmisi ja oskusi. Selline lähenemine toetab süsteemse mõtlemise ja tehnoloogilise kirjaoskuse kujunemist.

CNC tehnoloogia kasutamine seob digitaalse kavandamise ja praktilise töö ning võimaldab lõimida erinevaid ainevaldkondi. See muudab õppimise arusaadavaks, elulähedaseks ja motiveerivaks.

2.2 Valim

Uuringus kasutati eesmärgipärast valimit, mille puhul valiti uuritavad kindlate kriteeriumite alusel. Eesmärgipärane valim on sobiv juhul, kui uurimusse soovitakse kaasata spetsiifiliste teadmiste ja kogemustega isikuid (Õunapuu, 2014).

Valimisse kuulusid tehnoloogiaõpetuse õpetajad, kes on Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liit liikmed (Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liit) ning omavad pikaajalist töökogemust tehnoloogiaõpetuse valdkonnas. Käesolevas uuringus käsitleti neid õpetajaid ekspertidena, kuna neil on praktiline kogemus CNC freesimise kasutamisel õppetöös.

Valimi moodustamisel lähtuti järgmistest kriteeriumitest:

1. Töötamine tehnoloogiaõpetuse õpetajana üldhariduskoolis.
2. Kuulumine Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liitu.
3. Pikaajaline töökogemus.
4. Praktiline kogemus CNC freesimise kasutamisel õppetöös.

Selline valik võimaldas kaasata uurimusse kompetentsed eksperdid, kes suudavad anda sisukat ja põhjendatud hinnangut loodud õppematerjalide kohta. Kõigil uuringus osalenud ekspertidel on pikaajaline töökogemus tehnoloogiaõpetuse valdkonnas ning varasem kokkupuude CNC freesimisega.

Uuritavateni jõuti Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liidu võrgustiku kaudu. Uuringus osalemine oli vabatahtlik ning kõigilt osalejatelt küsiti informeeritud nõusolek. Tagati vastajate anonüümsus ja konfidentsiaalsus.

Uuringus osales kokku 3 eksperti. Selline valimi suurus on seotud arendusuuringu pilootfaasiga, mille eesmärk oli saada esmane tagasiside õppematerjalide sobivuse kohta.

2.3 Andmekogumine

Ekspert hinnang koguti veebipõhise struktureeritud küsimustiku abil (LISA 8), mis koostati Google Forms keskkonnas. Veebiküsimustik võimaldab tõhusalt koguda andmeid ning tagab andmete ühtse struktuuri (Õunapuu, 2014).

Küsimustik koostati uurimistöö eesmärgist, uurimisküsimustest ning teoreetilisest raamistikust lähtudes. Küsimustiku eesmärk oli hinnata CNC õppeülesannete ja juhendmaterjalide sobivust, arusaadavust ja rakendatavust tehnoloogiaõpetuse tundides.

Küsimustik koosnes temaatilistest moodulitest:

1. Õppematerjalide üldine hinnang.
2. Õppeülesannete eakohasus.
3. Konkreetsete CNC õppeülesannete hindamine.
4. Praktiline rakendatavus koolis.
5. Vastavus riiklikule õppekavale.
6. Üldpädevuste arendamine.
7. Õpilaste huvi ja motivatsioon.
8. Avatud küsimused.

Suletud küsimuste puhul kasutati viiepallist Likerti tüüpi hindamisskaalat (1 – ei nõustu üldse, 5 – nõustun täielikult), mis võimaldas ekspertidel hinnata õppematerjalide erinevaid aspekte struktureeritud kujul.

Avatud küsimused võimaldasid ekspertidel esitada täiendavaid kommentaare ning teha ettepanekuid õppematerjalide parandamiseks.

Küsimustik koostati selliselt, et iga CNC õppeülesannet oli võimalik eraldi hinnata, mis võimaldas koguda detailset ja ülesandepõhist tagasisidet.

2.4 Andmeanalüüs

Andmete analüüsimisel kasutati kombineeritud lähenemist.

Suletud küsimuste vastuseid analüüsiti kirjeldava statistika abil. See võimaldas võrrelda ekspertide hinnanguid erinevate õppematerjalide aspektide lõikes.

Avatud küsimuste vastuseid analüüsiti kvalitatiivse sisuanalüüsi meetodil. Analüüsiprotsess koosnes järgmistest etappidest:

1. Vastuste korduv lugemine.
2. Tähenduslike üksuste eraldamine.
3. Kodeerimine.
4. Kategooriate moodustamine.

Analüüsi usaldusväärsuse tagamiseks loeti andmestik korduvalt läbi ning analüüsiprotsess dokumenteeriti.

2.5 Uuringu eetika

Uuring viidi läbi kooskõlas teaduseetika põhimõtetega. Osalejatele selgitati uuringu eesmärki ning nende osalemine oli vabatahtlik.

Tagati vastajate anonüümsus ja konfidentsiaalsus. Kogutud andmeid kasutati üksnes uurimistöö eesmärgil.

2.6 Uuringu piirangud

Uuringu üheks piiranguks on valimi väiksus, mistõttu ei ole võimalik teha laiapõhjalisi üldistusi.

Lisaks põhineb eksperthinnang ekspertide subjektiivsetel hinnangutel, mis võib mõjutada tulemuste üldistatavust.

3. TULEMUSED

Käesolevas peatükis esitatakse eksperthinnangu käigus kogutud andmete analüüs. Uuringus osales kolm eksperti, kelle hinnangud koguti struktureeritud küsimustiku abil. Suletud küsimuste vastuseid analüüsiti kirjeldava statistika abil ning avatud küsimuste vastuseid induktiivse sisuanalüüsi meetodil.

Tulemuste tõlgendamisel tuleb arvestada, et eksperdid hindasid ainult õppematerjale ja ülesandeid. Neile ei olnud teada, et enne CNC-ülesannete läbiviimist oli planeeritud sissejuhatav tund CNC tööpinki tutvustamiseks ning II kooliastmes ka täiendav aeg tarkvara õppimiseks ja proovitöö tegemiseks. See võis mõjutada hinnanguid, eriti õppematerjalide arusaadavuse ja eakohasuse osas.

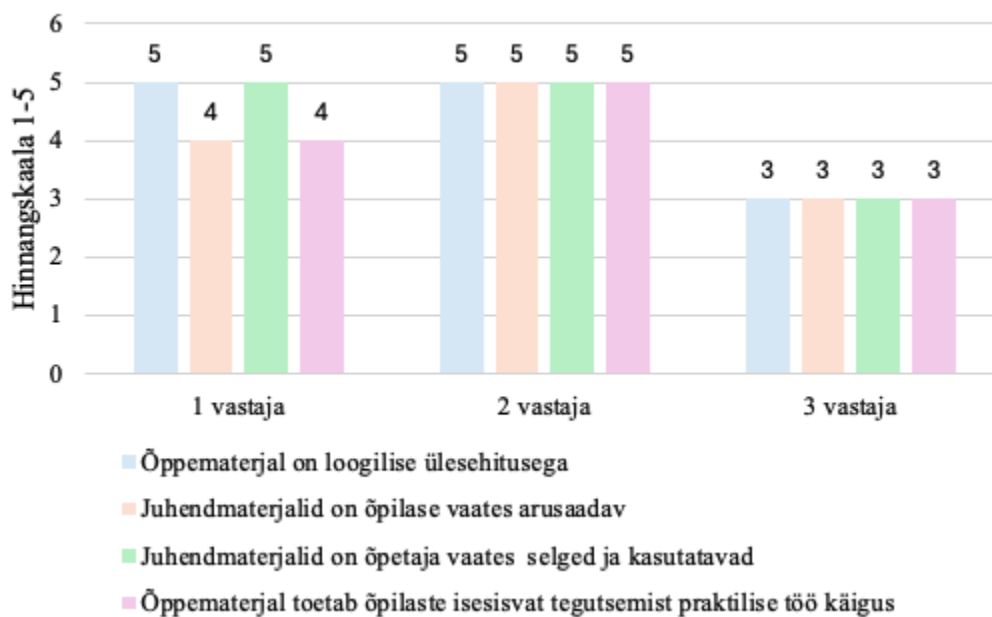
3.1 Õppematerjalide üldine hinnang

Enamik eksperte hindas õppematerjale positiivselt, kuid mõnes küsimuses esines erinevusi (joonis 1). Õppematerjalide üldine keskmine hinnang oli 4,2 punkti viiepunktiskaalal.

Õppematerjalide loogilist ülesehitust hinnati erinevalt: kaks eksperti andsid kõrge hinnangu, kuid üks ekspert hindas seda madalalt. See näitab, et õppematerjali struktuur ei ole kõigile ühtemoodi arusaadav.

Juhendmaterjalide arusaadavust õpilase vaates hinnati samuti erinevalt, samas kui õpetaja vaates hinnati materjale pigem positiivselt. See näitab, et juhendmaterjalid on õpetaja jaoks selged, kuid võivad vajada täiendamist õpilaste jaoks.

Õppematerjalide toetus õpilaste iseseisvale tööle hinnati valdavalt heaks.

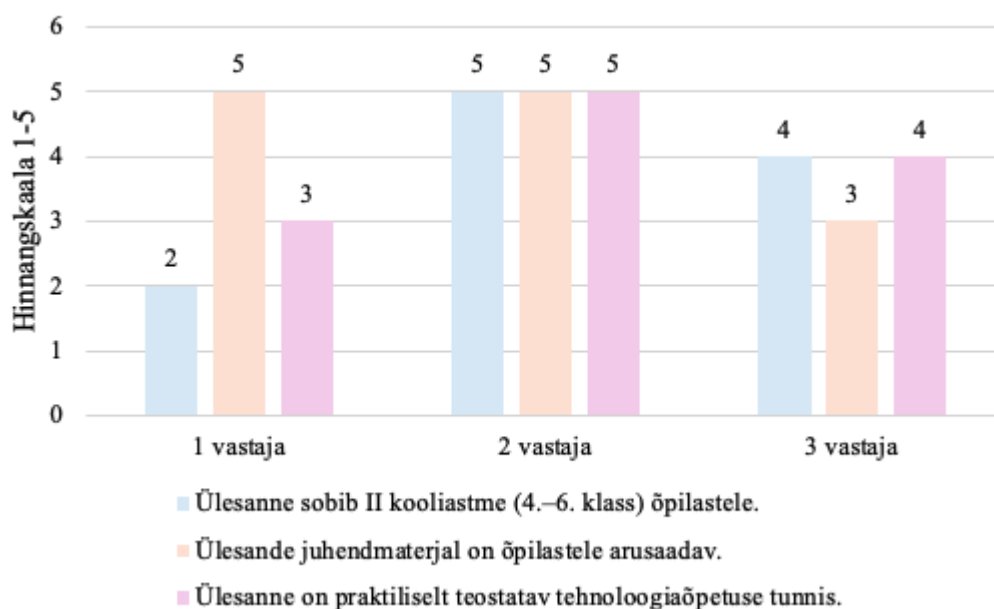


Joonis 1. Ekspertide hinnang õppematerjalide loogilisusele, arusaadavusele ja kasutatavusele (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

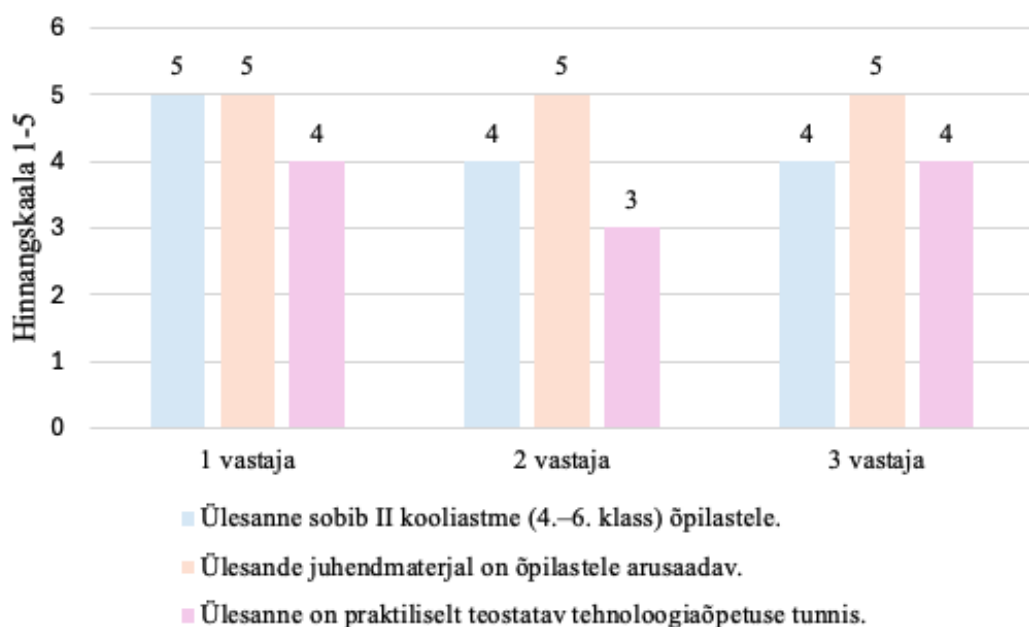
3.2 CNC õppeülesannete hinnang

Ekspertide hinnangul sobivad loodud CNC õppeülesanded paremini III kooliastme õpilastele. II kooliastme puhul esines rohkem erinevaid hinnanguid, mis viitab sellele, et ülesanded võivad olla noorematele õpilastele kohati keerukad. II kooliastme ülesannete keskmised hinnangud jäid vahemikku 4,0–4,3.

Samas tuleb arvestada, et hinnangud anti ilma eelneva ettevalmistava õppe teadmisseta (joonis 2-3).

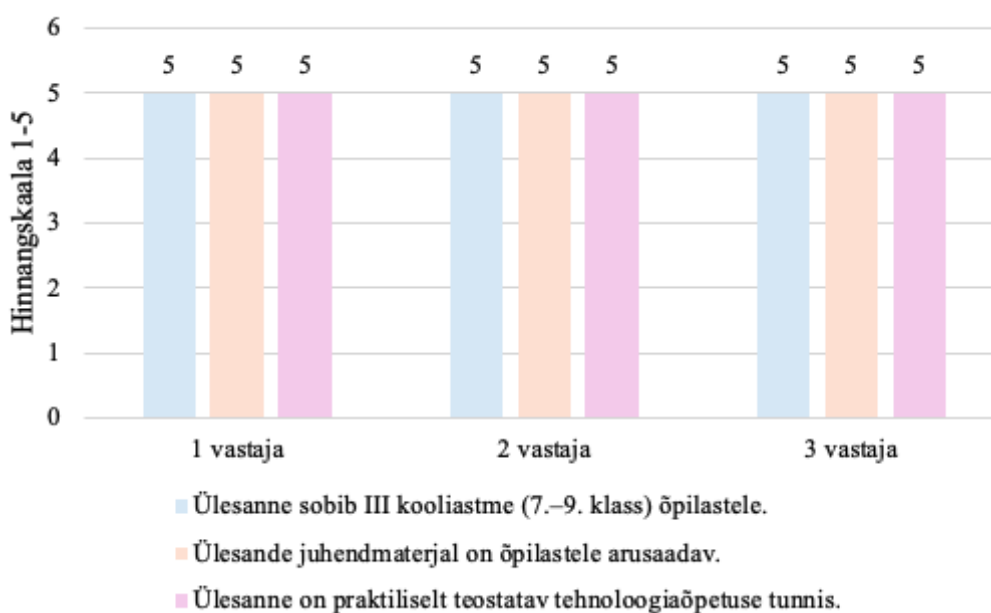


Joonis 2. Ekspertide hinnang õppeülesande „Teetassi kuumaalus LILL“ eakohasusele, juhendmaterjali arusaadavusele ja praktilisele teostatavusele (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

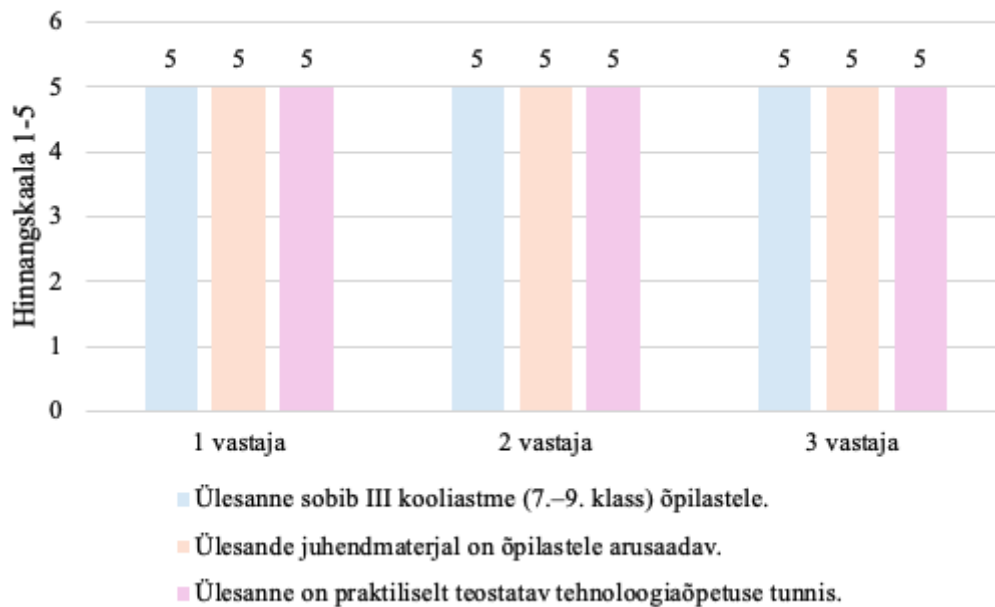


Joonis 3. Ekspertide hinnang õppeülesande „Kikilips“ eakohasusele, juhendmaterjali arusaadavusele ja praktilisele teostatavusele (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

III kooliastme ülesandeid hinnati ühtlasemalt ja väga positiivselt, mis viitab nende heale vastavusele õpilaste tasemele ning sobivusele tehnoloogiaõpetuse õppetöös (joonis 4–5). III kooliastme ülesannete keskmised hinnangud olid maksimaalsed (5,0), mis näitab nende väga head sobivust õpilaste tasemele ja õppetöös kasutamiseks. Hinnangute ühtlus ja maksimaalsed väärtused näitavad, et ülesanded on ekspertide hinnangul eakohased, juhendmaterjalid arusaadavad ning praktiliselt hästi teostatavad.



Joonis 4. Ekspertide hinnang õppeülesande „Hoiukarp liugkaanega“ eakohasusele, juhendmaterjali arusaadavusele ja praktilisele teostatavusele (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

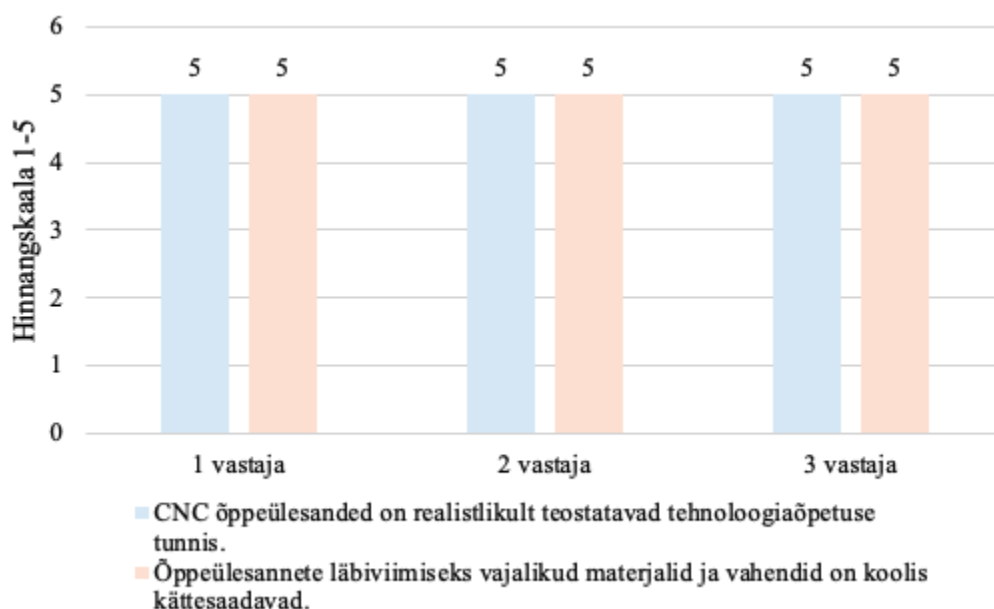


Joonis 5. Ekspertide hinnang õppeülesande „Võtmekapi ukse esipaneel“ eakohasusele, juhendmaterjali arusaadavusele ja praktilisele teostatavusele (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

3.3 Praktiline rakendatavus

Ekspertide hinnangul on CNC õppeülesanded üldiselt teostatavad tehnoloogiaõpetuse tundides (joonis 6). CNC õppeülesannete praktilise rakendatavuse keskmine hinnang oli 5,0 punkti viiepalliskaalal.

Samas toodi välja, et rakendatavus sõltub kooli tehnilistest võimalustest, eelkõige seadmete ja tarkvara olemasolust. Eksperte pidasid ülesandeid realistlikult teostatavateks.

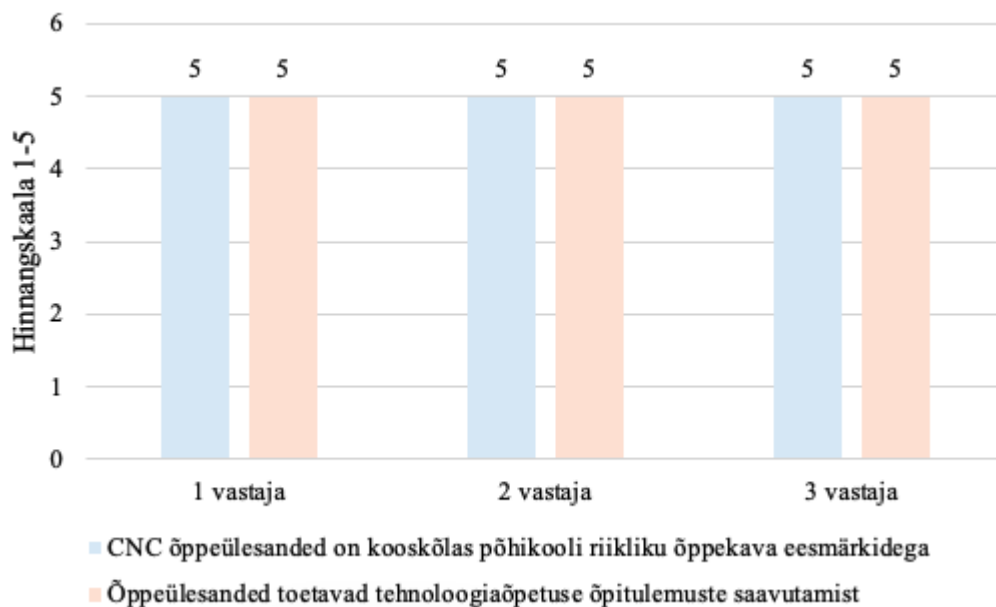


Joonis 6. Ekspertide hinnang CNC õppeülesannete praktilisele rakendatavusele tehnoloogiaõpetuse tundides (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

3.4 Vastavus õppekavale

Kõik eksperdid hindasid CNC õppeülesannete vastavust põhikooli riiklikule õppekavale väga kõrgelt (joonis 7). CNC õppeülesannete vastavuse keskmine hinnang põhikooli riiklikule õppekavale oli 5,0 punkti viiepalliskaalal.

Samuti leiti, et õppematerjalid toetavad tehnoloogiaõpetuse õpitulemuste saavutamist. See näitab, et loodud materjalid on didaktiliselt sobivad ja eesmärgipärased.

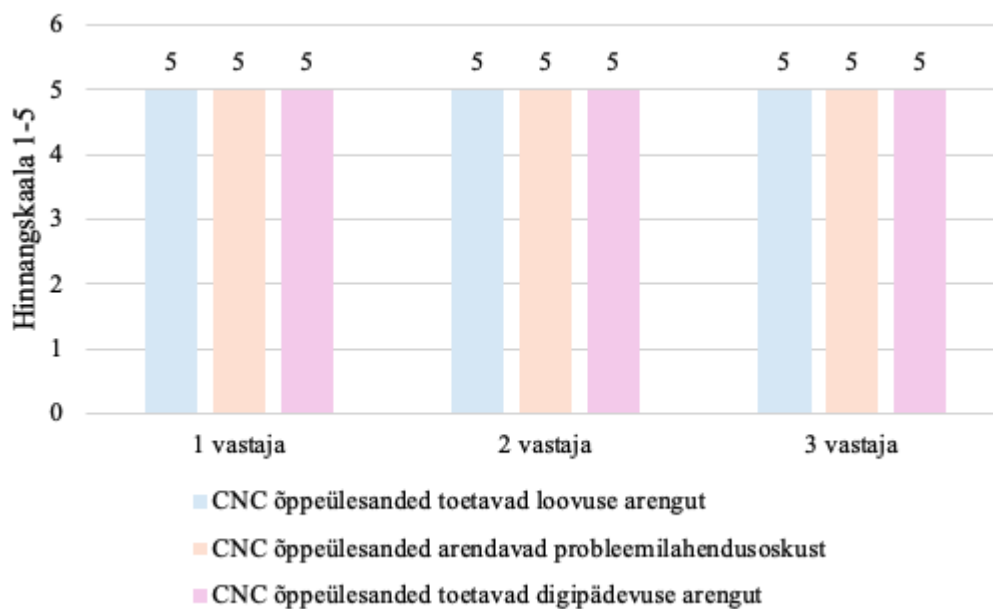


Joonis 7. Ekspertide hinnang CNC õppeülesannete vastavusele põhikooli riiklikule õppekavale (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

3.5 Üldpädevuste arendamine

Ekspertide hinnangul toetavad CNC õppeülesanded mitmete oluliste oskuste arengut (joonis 8). CNC õppeülesannete rolli keskmine hinnang üldpädevuste arendamisel oli 5,0 punkti viiepalliskaalal.

Hinnangud olid kõrged, mis näitab õppematerjalide laiemat hariduslikku väärtust.

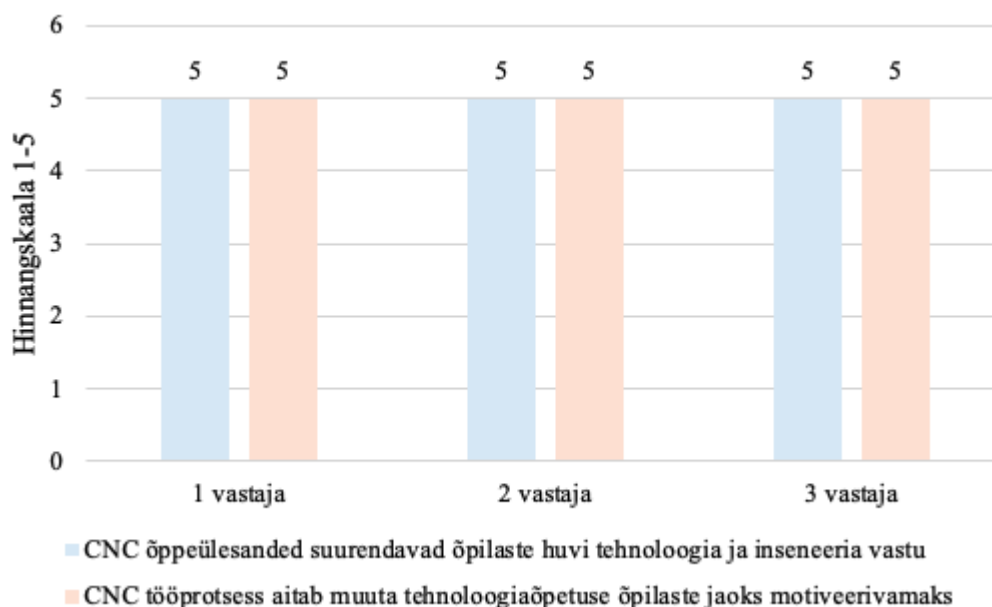


Joonis 8. Ekspertide hinnang CNC õppeülesannete rollile üldpädevuste arendamisel (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

3.6 Õpilaste huvi ja motivatsioon

Ekspertide hinnangul suurendavad CNC õppeülesanded õpilaste huvi tehnoloogia ja inseneeria vastu ning muudavad õppetöö motiveerivamaks (joonis 9). CNC õppeülesannete mõju õpilaste huvi ja motivatsiooni kujunemisele hinnati keskmiselt 5,0 punktiga viieballiskaalal.

See näitab, et praktilised ülesanded toetavad õpilaste aktiivset osalemist õppetöös.



Joonis 9. Ekspertide hinnang CNC õppeülesannete mõjule õpilaste huvi ja motivatsiooni kujunemisele (skaalal 1–5), 1 – ei nõustu üldse ja 5 – nõustun täielikult.

3.7 Avatud vastuste analüüs

Avatud vastuste põhjal eristusid õppematerjalide tugevused ja parendusettepanekud (tabel 2).

Tabel 2. Avatud vastuste kokkuvõte

Kategooria	Vastused
Tugevused	õpilastele huvipakkuvad ja praktilised ülesanded; selged ja arusaadavad juhendmaterjalid; eestikeelne õppematerjal; võimaldab CNC pinkide aktiivsemat kasutamist koolis
Parendusettepanekud	videomaterjalide lisamine; juhendite täpsustamine ja visualiseerimine; õpitulemuste selgem sõnastamine; lihtsamatest ülesannetest alustamine; 2,5D ja 3D tööde lisamine
Täiendavad märkused	juhend sobib konkreetsele seadmele; kasutatav tarkvara on vananenud; soovitus kasutada kaasaegsemaid CAD/CAM programme (nt Fusion 360)

Tegevused

Eksperdid tõid õppematerjalide peamiste tugevustena esile nende praktilisuse, selguse ja motiveeriva iseloomu. Õppeülesandeid peeti elulähedasteks ning õpilastele huvipakkivateks, mis toetab nende aktiivset osalemist õppetöös.

Samuti hinnati positiivselt juhendmaterjalide arusaadavust ja selget ülesehitust, mis toetab nii õpetaja tööd kui ka õpilaste iseseisvat õppimist.

Näiteks:

„Need on tööd, mis realselt õpilastele ka meeldiksid.“

„Ülesanded on selgelt kirjeldatud ja arusaadavad.“

Parendusettepanekud

Parendusettepanekutes rõhutati eelkõige vajadust täiendada juhendmaterjale ning muuta need detailsemaks ja visuaalsemaks. Oluliseks peeti videomaterjalide lisamist, mis aitaksid õpilastel paremini mõista tööprotsessi ja CNC tööpingi kasutamist.

Samuti toodi välja vajadus sõnastada selgemalt iga ülesande eesmärk ja õpitulemused. Lisaks viidati kasutatava tarkvara piirangutele ning soovitati kasutada paindlikumaid ja kaasaegsemaid CAD/CAM-tarkvaralahendusi.

Näiteks:

„Üks näidisvideo ka lisada.“

„Selgusetuks jääb iga töö eesmärk ja õpitulemused.“

4. ARUTELU

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli koostada II ja III kooliastmele sobivad CNC õppeülesanded ja juhendmaterjalid ning hinnata nende sobivust ja rakendatavust tehnoloogiaõpetuse tundides. Tulemuste põhjal võib öelda, et loodud õppematerjalid on üldiselt sobivad ning toetavad õpilaste tehnoloogiliste oskuste ja loovuse arengut.

Eksperthinnangute põhjal hinnati õppematerjale valdavalt positiivselt. Eriti toodi esile nende praktilisus, elulähedus ja õpilastele huvipakkuv iseloom. Tulemused näitavad, et praktilised ja tootmisprotsessiga seotud ülesanded aitavad muuta tehnoloogiaõpetuse õpilaste jaoks motiveerivamaks. Sarnastele järeldustele on jõutud ka varasemates uurimustes, mille kohaselt toetab praktiline ja probleemipõhine õpe õpilaste aktiivset osalemist ja sügavamalt õppimist (Soobik, 2016; 2018; Prince ja Felder, 2006; Himelo-Silver, 2004).

Tulemused näitasid, et loodud õppeülesanded sobivad paremini III kooliastmele kui II kooliastmele. See võib olla seotud ülesannete keerukusega ning vajadusega suurema iseseisvuse ja tehnilise arusaamise järele. Samas tuleb arvestada, et eksperdid hindasid õppematerjale ilma teadmista, et õpilastele oli planeeritud ettevalmistav õpe, sealhulgas CNC tööpinki tutvustav tund ning tarkvara kasutamise harjutamine. Seetõttu võivad mõningad madalamad hinnangud II kooliastme osas olla tingitud sellest, et ülesannete keerukust hinnati ilma eelneva ettevalmistuse arvestamiseta.

Eksperdid tõid välja, et juhendmaterjalid on õpetaja vaates selged ja kasutatavad, kuid õpilase vaates võiksid need olla detailsemad. See viitab vajadusele täiendada juhendmaterjale visuaalsete näidete ja samm-sammuliste selgitustega. Samuti soovitati lisada videomaterjale, mis aitaksid õpilastel paremini mõista tööprotsessi ja CNC tööpingi kasutamist.

Oluliseks tähelepanekuks oli ka kasutatava tarkvara piiratus. Ekspertide hinnangutes toodi välja ka vajadus kasutada paindlikumaid tarkvaralahendusi, näiteks Fusion 360, mis on laialdaselt kasutatav nii hariduses kui ka tööstuses. Ühe eksperdi hinnangul ei ole spetsiifilise tarkvara kasutamine jätkusuutlik, kuna see ei pruugi olla laiemalt rakendatav. See näitab, et

tuleks kaaluda universaalsemate ja kaasaegsemate tarkvaralahenduste kasutamist, mis võimaldaksid õpilastel omandatud oskusi kasutada ka teistes kontekstides.

Samas on oluline märkida, et NCCAD 7.0 tarkvaras loodud faile on võimalik eksportida ja kasutada ka teistes CAD/CAM keskkondades ning neid saab edasi töödelda erinevate CNC tööpinkidega. See tähendab, et NCCAD 7.0 kasutamine ei välista oskuste ülekandmist teistesse tarkvaradesse, vaid võib toimida esmase õpikeskkonnana, kus omandatakse CNC töö põhitõed.

CNC õppe rakendamise kontekstis on oluline arvestada ka koolide olemasolevat tehnilist baasi. Tiigrihüppe programmi raames soetati paljudesse Eesti koolidesse CNC tööpinkid, kuid tänaseks kasutatakse osa neist vähesel määral või ebaregulaarselt. Samas on tegemist vastupidavate ja töökindlate seadmetega, mille kasutuselevõtt võimaldaks rikastada tehnoloogiaõpetust praktiliste ja kaasaegsete tegevustega.

Käesoleva töö üheks eesmärgiks oligi luua õppematerjalid, mis võimaldaksid olemasolevaid CNC seadmeid uuesti õppetöösse integreerida. Magistritöö raames koostatud õppeülesanded põhinevad NCCAD 7.0 tarkvaral. Kuigi eksperthinnangutes toodi välja tarkvara piiratus, ei esinenud õppematerjalide koostamise käigus olulisi tehnilisi probleeme ning tarkvara toimis ootuspäraselt.

Lihtsamate ülesannete kasutamine algtasemel on põhjendatud, kuna see aitab õpilastel mõista tööprotsessi loogikat ning loob tugeva aluse edasiseks õppimiseks. Edasijõudnud õpilaste puhul on võimalik kasutada ka kaasaegsemaid ja keerukamaid tarkvaralahendusi, kuid esmased oskused saab edukalt omandada ka lihtsamal keskkonnal.

Samuti tuleb arvestada, et enne põhiülesannete läbiviimist viiakse õpilastega läbi ettevalmistava õpe. Selle käigus tutvustatakse CNC tööpinki, selgitatakse tööpõhimõtteid ning õpitakse tarkvara menüüde kasutamist. Ettevalmistava etapi osana valmistatakse lihtsam proovitöö (nt võtmehoidja), mis aitab õpilastel omandada esmased oskused ja enesekindluse enne keerukamate ülesannete juurde liikumist.

Selline järkjärguline lähenemine toetab õppimist ning vähendab ülesannete tajutavat keerukust, mis omakorda aitab kaasa CNC tehnoloogia edukamale rakendamisele kooliõppes.

Uuringu tulemustest selgus, et õppematerjalid on kooskõlas põhikooli riikliku õppekavaga ning toetavad erinevate üldpädevuste arengut. Eriti toodi esile loovuse, probleemilahendusoskuse ja digipädevuse arengut. See kinnitab, et CNC õpe võimaldab siduda teoreetilised teadmised praktilise tegevusega ning pakub õpilastele terviklikku õpikogemust.

Uuringu piiranguna tuleb arvestada väikest valimit, kuna eksperthinnangus osales kolm õpetajat. Seetõttu ei saa tulemusi üldistada kõigile koolidele, kuid saadud tagasiside annab väärtusliku sisendi õppematerjalide edasiarendamiseks.

Kokkuvõttes võib järeldada, et loodud CNC õppeülesanded on sobivad kasutamiseks tehnoloogiaõpetuse tundides, kuid vajavad mõningaid täiendusi. Eelkõige tuleks arendada juhendmaterjalide selgust, lisada visuaalseid ja videopõhiseid selgitusi ning kaaluda paindlikumaid tarkvaralahendusi. Selliste muudatuste tegemisel on võimalik õppematerjalide kasutatavust ja mõju õpilaste õppimisele veelgi suurendada.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli koostada II ja III kooliastme õpilastele sobivad CNC õppeülesanded ja juhendmaterjalid ning hinnata nende sobivust tehnoloogiaõpetuse tundides kasutamiseks. Töö lähtus praktilisest vajadusest, kuna koolides on CNC tööpinke olemas, kuid nende kasutamine õppetöös on tagasihoidlik.

Töö käigus koostati viis õppeülesannet: võtmehoidja, lillekujuline kuumaalus, kivilips, hoiukarp liugkaanega ning võtmekapi uksepaneel. Ülesannete koostamisel lähtuti põhikooli riiklikust õppekavast ning eesmärgist siduda praktiline töö digivahendite kasutamise ja disainiprotsessiga. Õppematerjalid koostati samm-sammuliste juhenditena, et õpilasel oleks võimalik tööprotsessi iseseisvalt jälgida ja läbi viia.

II kooliastme jaoks koostatud ülesanded on lihtsamad ning sobivad esmaseks tutvumiseks CNC tehnoloogiaga. III kooliastme ülesanded on keerukamad ning eeldavad suuremat iseseisvust, täpsemat kavandamist ja tööprotsessi analüüsi. Selline jaotus võimaldab arvestada õpilaste vanuse ja varasemate oskustega.

Õppematerjalide hindamiseks viidi läbi eksperthinnang, milles osales kolm tehnoloogiaõpetuse õpetajat. Tulemused näitasid, et õppematerjale hinnati üldiselt positiivselt. Ekspertide keskmine hinnang õppematerjalidele oli 4,5 punkti viieballiskaalal. Eriti toodi esile ülesannete praktilisus, arusaadavus ja seos õppekavaga. Ekspertide hinnangul aitavad CNC õppeülesanded suurendada õpilaste huvi tehnoloogia vastu ning toetavad loovuse ja probleemilahendusoskuse arengut.

III kooliastme ülesandeid hinnati ühtlasemalt ja kõrgemalt. See näitab, et ülesanded sobivad hästi õpilaste tasemega. Samas tuleb arvestada, et eksperdid hindasid ainult ülesandeid ja juhendmaterjale ega olnud teadlikud sellest, et enne põhitegevusi viiakse õpilastega läbi sissejuhatav tund, tarkvara tutvumine ning proovitöö. See võis mõjutada eelkõige II kooliastme ülesannete hinnanguid.

Ekspertid tegid ka mitmeid ettepanekuid õppematerjalide täiendamiseks. Soovitati lisada rohkem visuaalseid juhiseid ja videomaterjale ning täpsustada tööde eesmärke. Samuti toodi välja tarkvara piirangud, kuid töö käigus selgus, et NCCAD 7.0 sobib hästi lihtsamate ülesannete läbiviimiseks ning loob aluse edasiseks õppimiseks.

Töö praktiline väärtus on see, et loodud õppematerjalid annavad õpetajatele võimaluse võtta olemasolevad CNC tööpingid aktiivsemalt kasutusele. Mitmetes koolides on need seadmed küll olemas, kuid jäävad vähese kasutuse tõttu tagaplaanile. Käesolev töö pakub ühe võimaliku lahenduse, kuidas neid õppetöös rakendada.

Töö piiranguks on väike valim, kuna eksperthinnangus osales kolm õpetajat. Seetõttu ei saa tulemusi üldistada kõigile koolidele. Samas annab töö suuna edasiseks arenduseks ning võimaluse õppematerjale täiendada ja katsetada laiemas praktikas.

Edasise tööna on plaanis täiendada õppematerjale videopõhiste juhenditega ning viia läbi pilootkatse viies koolis. Kokkuvõttes saavutati töö eesmärk. Koostatud CNC õppeülesanded ja juhendmaterjalid on kasutatavad tehnoloogiaõpetuse tundides ning toetavad õpilaste praktiliste oskuste ja tehnoloogilise mõtlemise arengut.

KASUTATUD KIRJANDUS

3ERP. (2023). *What is CNC machining?*

<https://www.3erp.com/blog/what-is-cnc-machining/>

Avinal, E., & Aydın, A. (2022). The effect of using 3D printing technology in STEM education on students' achievement and attitudes.

<https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1365576.pdf>

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.

CEDEFOP. (2022). *Skills forecast: Trends and challenges to 2035*.

<https://www.cedefop.europa.eu/en/publications/4208>

European Commission. (2017). *DigComp 2.1: The digital competence framework for citizens*.

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC106281>

European Commission. (2020). *Science, technology, engineering and mathematics (STEM) education policies in Europe*.

<https://data.europa.eu/doi/10.2766/60740>

Ferrari, A. (2013). *DIGCOMP: A framework for developing and understanding digital competence in Europe*.

<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC83167>

Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (7th ed.). Wiley.

Haridus- ja Noorteamet. (2023). *ProgeTiigri programm*.

<https://harno.ee/progetiigri-programm>

Haridus- ja Teadusministeerium. (2023). *Põhikooli riiklik õppekava*.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/129082014020>

Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press.

<https://nap.nationalacademies.org/catalog/18612/stem-integration-in-k-12-education>

Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.

<https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). *Manufacturing engineering and technology* (7th ed.). Pearson.

Khurma, R. (2023). Integrating 3D printing and TPACK in technology education.

<https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1406908.pdf>

Lin, C.-Y., et al. (2018). The effectiveness of using 3D printing technology in STEM project-based learning activities.

<https://www.ejmste.com/download/the-effectiveness-of-using-3d-printing-technology-in-stem-project-based-learning-activities-5592.pdf>

OECD. (2019). *Future of education and skills 2030*.

<https://www.oecd.org/education/2030-project/>

Prince, M., & Felder, R. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138.

<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>

Rao, P. N. (2022). *Manufacturing technology: Metal cutting and machine tools* (4th ed.).

McGraw-Hill Education.

Smid, P. (2013). *CNC programming handbook* (3rd ed.). Industrial Press.

Soobik, M. (2016). Tehnoloogia valdkonna metoodika ja didaktika.

https://oppekava.innove.ee/wp-content/uploads/2016/10/Tehnoloogia_valdkond_Soobik.pdf

Soobik, M. (2018). Tehnoloogiaõpetus tänapäeval.

https://tehnoloogia.ee/wp-content/uploads/2018/06/Tehnoloogiaopetus-tanapaeval_10_31_03_2018_1.pdf

Sotsiaalminister. (2013). Tervisekaitsenõuded koolidele. § 8. Riigi

Teataja. <https://www.riigiteataja.ee/akt/128082013010>

UNESCO. (2018). *ICT competency framework for teachers*.

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721>

Õunapuu, L. (2014). *Sissejuhatus sotsiaaluuringute andmestikku ja analüüsi*.

LISAD

LISA 1. Õpetaja töökava II kooliaste

Kool:

Õppeaine: Tehnoloogiaõpetus

Klass: II kooliaste (4.–6. klass)

Aineõpetaja:

Õpitlemused:

- Õ1. Tunneb tööks sobilikke materjale ja nende omadusi;
- Õ2. Valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, töötlusviise ja materjale;
- Õ3. Leiab infot teabeallikatest ja väärtustab intellektuaalset omandit (autoriõigus);
- Õ4. Kasutab ohutult õigeid töövõtteid ja tehnikaid;
- Õ5. Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi;
- Õ6. Kavandab jõukohaseid esemeid, oskab kasutada videojuhendit;
- Õ7. Töötab sihikindlalt ja viib kavandatu lõpule;
- Õ8. Kasutab materjale säästlikult ja leiab taaskasutusvõimalusi;
- Õ9. Rakendab teistes ainetes õpitut ja seostab eluvaldkondadega;
- Õ10. Mõistab rühmatöö ja tööjaotuse olulisust;
- Õ11. Esitleb lõpptulemust, analüüsib ja põhjendab valikuid (ka digivahenditega);
- Õ12. Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja töövahendid

Tundide arv	Õppesisu / õppeprotsess	Riiklikud õpitulemused	Põhimõisted	Lõiming (ÜP / LT / AL / N)	Praktilised ülesanded / õppemeetodid	Kontrolli vorm, hindamine / märkused
1-2	<p>CNC TÖÖPINGI TUTVUSTUS JA OHUTUS</p> <p>Õppeprotsessid Õpilased saavad ülevaate CNC-tehnoloogia kasutamisest tehnoloogiaõpetuses ning selle rollist igapäevaelus ja tootmises. Tutvutakse CNC tööpingi ehituse ja tööpõhimõttega ning käsitletakse arvjuhtimisega töötlemise erinevust käsitsi töötlustest. Antakse ülevaate CNC-töö terviklikust protsessist ideest valmistooteni. Käsitletakse CNC tööpingiga töötamise ohutusnõudeid ning tehnoloogiaklassi sisekorra ja töökorraldust. Tunni lõpus kinnistatakse õpitu ja luuakse seos järgnevate tundidega.</p> <p>Õpetaja tegevused Tutvustab CNC-tehnoloogia olemust ja kasutusvaldkondi ning näitab CNC-ga valmistatud näidistöid. Tutvustab CNC tööpinkide ja selle põhiosade ning selgitab arvjuhtimise põhimõtteid. Selgitab CNC-töö etappe kavandamisest viimistluseni. Tutvustab tööohutusnõudeid, isikukaitsevahendite kasutamist ja hädaseiskamist. Selgitab tehnoloogiaklassi sisekorra ning kordab</p>	<p>Õ2 – Valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, töötlusviise ja materjale. Õpilane tutvub CNC tööpingi kui töövahendiga ning selle kasutamise põhimõtetega.</p> <p>Õ4 – Kasutab ohutult õigeid töövõtteid ja tehnikaid. Õpilane õpib tundma CNC tööpingiga töötamise ohutusnõudeid ja tööohutuse põhireegleid.</p> <p>Õ5 – Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi. Õpilane saab ülevaate CNC-töö etappidest ideest valmistooteni.</p> <p>Õ9 – Rakendab teistes ainetes õpitud ja seostab eluvaldkondadega. Õpilane seostab CNC-tehnoloogia kasutamist igapäevaelu ja tootmisega.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja töövahendid. Õpilane tutvub tehnoloogiaklassi sisekorra ja töökorralduse nõuetega.</p>	<p>CNC, arvjuhtimine, tööpink, spindel, lõikur, freesimine, teljed (X, Y, Z), kinnitusvahendid, töölaud, tööprotsess, ohutus, isikukaitsevahendid, hädaseiskamine, töökoha korrashoid.</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – õpilane mõistab uue teema eesmärgi ja õppeprotsessi tervikuna. Enesemääratluspädevus – vastutustundlik ja ohutu käitumine töökojas. Suhtluspädevus – arutelu ja küsimuste esitamine tehnoloogia kasutamise kohta.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tervis ja ohutus – ohutud töövõtted, isikukaitsevahendite kasutamine. Keskkond ja jätkusuutlik areng – töövahendite säästlik ja vastutustundlik kasutamine.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Loodusõpetus – tööohutus ja inimese tervis. Matemaatika – telgede ja ruumilise liikumise mõistmine.</p>	<p>Õpilased vaatlevad CNC tööpinkide ja selle osi õpetaja juhendamisel ning seostavad nähtut varasemate teadmistega tööriistadest ja tööpinkidest. Arutletakse CNC-tehnoloogia kasutamise üle igapäevaelus ja tootmises.</p> <p>Õpilased osalevad juhendatud arutelus tööohutuse teemal, tuues välja võimalikke ohuolukordi CNC tööpingiga töötamisel ning pakkudes lahendusi nende vältimiseks.</p> <p>Toimub demonstratsioonipõhine õpe, kus õpetaja näitab CNC tööpingi osi, tööprotsessi skeemi ja hädaseiskamisnõudeid. Õpilased esitavad küsimusi ja täpsustavad arusaamu.</p> <p>Õpilased täidavad suulise või lühikese kirjaliku</p>	<p>Hinnatakse õpilaste aktiivset osalemist aruteludes ja tähelepanelikkust CNC tööpingi tutvustuse ning ohutusnõuete käsitlemise ajal. Jälgitakse töökoha sisekorra ja käitumisreeglite järgimist.</p> <p>Tunni lõpus toimub suuline teadmiste kontroll või lühike ohutusarutelu, mille põhjal hinnatakse õpilaste arusaamist CNC tööpingiga töötamise põhimõtetest ja ohutusnõuetest.</p> <p>Märkused: enne praktilise CNC-töö alustamist peavad õpilased sooritama ohutustesti. Tund</p>

	<p>tunni lõpus olulisemaid mõisteid ja järgmise tunni sisu.</p> <p>Õpematerjal <u>CNC tööpink tehnoloogiaõpetuses</u></p>			<p>Inimeseõpetus – vastutus enda ja teiste ohutuse eest.</p> <p>N – näited: Näited CNC-tehnoloogia kasutamisest mööbli- ja tootmistööstuses ning igapäevaelus.</p>	<p>ohutuskontrolli (küsimused-arutelu), et kinnistada teadmisi enne praktilise töö alustamist järgnevatel tundides.</p>	<p>on ettevalmistav ega ole hindeline.</p>
	<p>NCCAD 7.0 TUTVUSTUS</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased tutvuvad NCCAD 7.0 keskkonnaga ning arvutipõhise kavandamise põhimõtetega. Käsitletakse tööala ülesehitust, mõõtühikute kasutamist ning lihtsate 2D-jooniste loomist. Selgitatakse, kuidas arvutijoonis on aluseks CNC-tööle.</p> <p>Õpetaja tegevused: Avab NCCAD 7.0 tarkvara ja tutvustab tööala ning selle põhifunktsioone. Selgitab mõõtühikute (mm) kasutamist ja nende olulisust täpse töö tegemisel. Näitab joonistustööriistu (joon, ring, ristkülik, tekst) ning demonstreerib lihtkujundite loomist. Juhendab uue faili loomist ja korrektset salvestamist. Selgitab mõistet <i>suletud kontuur</i> ning selle tähtsust CNC-töötluses.</p>	<p>Õ2 – Valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, töötlusviise ja materjale. Õpilane õpib kasutama NCCAD 7.0 tarkvara kui digitaalse kavandamise töövahendit.</p> <p>Õ5 – Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi. Õpilane mõistab, et arvutijoonis on osa CNC-töö protsessist.</p> <p>Õ6 – Kavandab jõukohaseid esemeid, oskab kasutada videojuhendit. Õpilane loob lihtsaid 2D-kujundeid arvutis õpetaja juhendamisel.</p> <p>Õ9 – Rakendab teistes ainetes õpitud ja seostab eluvaldkondadega. Õpilane kasutab matemaatikast õpitud mõõtmise ja kujundite teadmisi.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja</p>	<p>CAD, NCCAD 7.0, tööala, mõõtühik (mm), joon, ring, ristkülik, tekst, kontuur, suletud kontuur, fail, salvestamine.</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – uue digitaalse töövahendi tundmaõppimine. Digipädevus – CAD-tarkvara kasutamine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalsed töövahendid tootmises.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Matemaatika – mõõtühikud, geomeetrilised kujundid. Informaatika – failide loomine ja salvestamine.</p> <p>N – näited: Näited arvutijooniste kasutamisest tootearenduses ja CNC-töötöös.</p>	<p>Õpetaja juhendamisel tutvuvad õpilased NCCAD 7.0 töökeskkonnaga ja jälgivad demonstratsiooni. Õpilased loovad uue faili ning katsetavad joonistustööriistu, joonistades lihtsaid kujundeid. Arutletakse, miks peab CNC-töökas kontuur olema suletud. Töö toimub juhendatud praktilise arvutitööna.</p>	<p>Hinnatakse õpilaste aktiivset osalemist ja juhiste järgimist arvutitöös. Kontrollitakse, kas õpilane oskab avada tarkvara, luua faili ja kasutada põhilisi joonistustööriistu. Tund on õppematerjaliline ega ole hindeline.</p>

		töövahendid. Õpilane järgib kokkulepitud arvutikasutuse ja failihalduse reegleid.				
	<p>Prooviülesanne: võtmehoidja kujundamine, CAM ja simulatsioon</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased kavandavad NCCAD 7.0 tarkvaras lihtsa võtmehoidja ning valmistavad selle ette CNC-tööks. Kavandamise käigus pööratakse tähelepanu mõõtudele, suletud kontuurile ja kujunduse korrektsusele. Seejärel tutvutakse CAM-töötamise loogikaga ning simulatsiooni kasutamisega enne CNC-töö alustamist.</p> <p>Õpetaja tegevused: Annab võtmehoidja kujundamise täpsed nõuded (mõõdud, ava suurus ja asukoht, tekst). Juhendab samm-sammult kujundi loomist ja elementide joendamist NCCAD 7.0 tarkvaras. Kontrollib õpilaste töid ja aitab parandada levinud vigu (avatud kontuur, vale mõõtkava, kattuvad jooned).</p> <p>Selgitab CNC-töötamise etappe (tekst või gravüür, ava töötlemine, väliskontuur) ning näitab töötlusparameetreid lihtsustatud tasemel. Demonstreerib</p>	<p>Õ2 – Valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, töötlusviise ja materjale. Õpilane kasutab CAD- ja CAM-tarkvara digitaalse tootmise töövahendina.</p> <p>Õ5 – Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi. Õpilane kavandab töö etapid kavandamisest simulatsioonini.</p> <p>Õ6 – Kavandab jõukohaseid esemeid, oskab kasutada videojuhendit. Õpilane kavandab lihtsa ja funktsionaalse võtmehoidja.</p> <p>Õ7 – Töötab sihikindlalt ja viib kavandatu lõpule. Õpilane viib prooviülesande lõpuni vastavalt juhistele.</p> <p>Õ9 – Rakendab teistes ainetes õpitud ja seostab eluvaldkondadega. Õpilane seostab digitaalse</p>	CAD, CAM, kontuur, suletud kontuur, töötusetapp, gravüür, simulatsioon, parameetrid, CNC-tööprotsess.	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – juhiste järgimine ja tööprotsessi mõistmine. Digipädevus – CAD- ja CAM-tarkvara kasutamine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalse tootmise põhimõtted.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Matemaatika – mõõtude määramine ja kujundite kasutamine. Informaatika – failide töötlemine ja simulatsioon.</p> <p>N – näited: Näited väikeste tarbeesemete digitaalsest tootmisest.</p>	Juhendatud praktiline töö arvutis. Õpilased kavandavad võtmehoidja ja seavad selle töötamise NCCAD 7.0 tarkvaras. Kasutatakse demonstratsiooni, individuaalset juhendamist ja arutelusid simulatsiooni tulemuste üle.	Kontrollitakse kavandi ja simulatsiooni korrektsust ning juhiste järgimist. Töö on prooviülesanne ja ei ole hindeline , kuid on eelduseks praktilisele CNC-tööle järgnevatel tundidel.

	<p>simulatsiooni käivitamist ja selgitab selle olulisust võimalike vigade ja ohuolukordade ennetamisel. Rõhutab, et simulatsioon on kohustuslik enne CNC-töö alustamist.</p>	<p>kavandamise ja tootmisprotsessi päriseluga.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja töövahendid. Õpilane järgib kokkulepitud töö- ja failihaldusreegleid.</p>				
	<p>Internetipildi kasutamine – kuumaalus</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased õpivad kasutama internetist pärinevat visuaalset materjali kavandamise lähtealusena, arvestades autoriõiguse põhimõtteid. Valitakse sobiv lillekujund kuumaaluse kavandamiseks ning valmistatakse pilt ette digitaalseks töötlemiseks CNC-töö tarbeks. Tähelepanu pööratakse kujundi lihtsusele ja tehnilisele sobivusele.</p> <p>Õpetaja tegevused: Selgitab autoriõiguse põhimõtteid ja lubatud pildiallikaid õppetöö kontekstis. Näitab näiteid sobivatest ja mitesobivatest pildidest CNC-töö jaoks. Juhendab sobiva lillekujundi valimist kuumaaluse jaoks, arvestades detailide suurust ja kuju. Näitab pildi importimist NCCAD 7.0 tarkvarasse ning juhendab pildi lihtsustamist ja ettevalmistamist edasiseks kavandamiseks.</p>	<p>Õ3 – Leiab infot teabeallikatest ja väärtustab intellektuaalset omandit. Õpilane kasutab internetiallikaid teadlikult ja järgib autoriõiguse põhimõtteid.</p> <p>Õ5 – Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi. Õpilane mõistab kavandi rolli CNC-töö protsessis.</p> <p>Õ6 – Kavandab jõukohaseid esemeid, oskab kasutada videojuhendit. Õpilane kavandab kuumaaluse kujunduse etteantud lähtealuse põhjal.</p> <p>Õ7 – Töötab sihikindlalt ja viib kavandatu lõpule. Õpilane viib kavandamise etapi lõpuni vastavalt juhistele.</p> <p>Õ9 – Rakendab teistes ainetes õpitut ja seostab eluvaldkondadega. Õpilane seostab digitaalse</p>	<p>Autoriõigus, internetiallikas, kujund, siluett, rasterpilt, importimine, lihtsustamine, kavand, kuumaalus.</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Väärtuspädevus – intellektuaalse omandi austamine. Digipädevus – internetist info otsimine ja digipildi kasutamine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Väärtused ja eetika – autoriõiguse järgimine. Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalse materjali kasutamine tootmises.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Kunst – kujundi ja kompositsiooni valik. Ühiskonnaõpetus – autoriõiguse alused.</p> <p>N – näited: Näited piltide kasutamisest disainis ja tootearenduses.</p>	<p>Juhendatud praktiline töö arvutis. Õpilased otsivad õpetaja juhendamisel sobiva pildi, hindavad selle sobivust CNC-tööks ning impordivad selle NCCAD 7.0 tarkvarasse. Kujundit lihtsustatakse ja valmistatakse ette edasiseks kavandamiseks. Kasutatakse demonratsiooni ja individuaalset juhendamist.</p>	<p>Kontrollitakse pildi sobivust ja autoriõiguse järgimist ning kavandi olemasolu. Hinnatakse tööprotsessi ja juhiste järgimist. Tegu on hindelise töö ettevalmistava etapiga.</p>

		kujundamise ja tootearenduse päriseluga.				
	<p>Kuumaaluse CAM ja CNC-freesimine</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased valmistavad kuumaaluse kavandi ette CNC-tööks ning tutvuvad CNC-freesimise praktilise läbiviimisega. Käsitletakse töötlustappe, materjali kinnitamist ja nullpunkti määramist. Õpilased jälgivad CNC-töö kulgu ning seostavad CAM-seadistusi reaalse töötlusega.</p> <p>Õpetaja tegevused: Kontrollib õpilaste CAM-failide korrektsust ja vastavust tööülesandele. Seab CNC tööpingi, valib sobiva lõikuri ning näitab materjali kinnitamise erinevaid viise. Selgitab ja demonstreerib nullpunkti määramist. Käivitab CNC-freesimise ning juhib tähelepanu töötlustappidele. Jälgib tööohutust ja juhendab õpilasi CNC-töö vaatlemisel. Korraldab vaatluslehe täitmise.</p>	<p>Õ2 – Valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, töötlusviise ja materjale. Õpilane tutvub CNC-freesimisega kui töötlusviisiga.</p> <p>Õ4 – Kasutab ohutult õigeid töövõtteid ja tehnikaid. Õpilane järgib CNC-tööpingiga töötamise ohutusnõudeid.</p> <p>Õ5 – Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi. Õpilane seostab CAM-seadistused ja CNC-töö tegeliku läbiviimisega.</p> <p>Õ10 – Mõistab rühmatöö ja tööjaotuse olulisust. Õpilane osaleb töö jälgimisel ja ühises tööprotsessis.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja töövahendid. Õpilane järgib töökoja reegleid CNC-töö ajal.</p>	CAM, CNC-freesimine, nullpunkt, kinnitus, lõikur, töötlustapp, tööpink, vaatlusleht.	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – tööprotsessi mõistmine ja jälgimine. Sotsiaalne pädevus – ühise töö jälgimine ja reeglite järgimine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tervis ja ohutus – ohutud töövõtted CNC-tööpingiga. Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalse tootmise rakendamine.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Matemaatika – telgede ja koordinaatide mõistmine. Loodusõpetus – tööohutus ja materjalide töötlemine.</p> <p>N – näited: Näited CNC-freesimise kasutamisest mööbli- ja tootmistööstuses.</p>	Demonstratsioonipõhine õpe ja juhendatud vaatlus. Õpilased jälgivad CNC-freesimise protsessi ning täidavad vaatluslehte, märkides töötlustappe, ohutusnõudeid ja tähelepanekud. Toimub arutelu tööprotsessi üle.	Hinnatakse kuumaaluse hindelise töö teostuse etappi, CAM-faili korrektsust ja õpilaste tööohutusalast käitumist. Arvesse võetakse vaatluslehe täitmist ja osalemist tööprotsessis.

	<p>KUUMAALUSE LIHVIMINE JA VIIMISTLEMINE</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased teostavad CNC-ga valmistatud kuumaaluse järeltöötuse ja viimistluse. Tutvutakse lihvimise järjekorra ja sobivate viimistlusvahendite kasutamisega ning pööratakse tähelepanu töö kvaliteedile ja töökoha korrashoiule.</p> <p>Õpetaja tegevused: Näitab lihvimise õiget järjekorda (jämedamast peenemani) ja selgitab selle eesmärgi. Tutvustab kuumaalusele sobivat viimistlusvahendit ning demonstreerib selle kasutamist. Juhendab õpilasi viimistlemisel ja jälgib tööohutust. Selgitab töökoha korrastamise nõudeid ning juhendab töövahendite puhastamist ja paigutamist pärast töö lõpetamist.</p>	<p>Õ1 – Tunneb tööks sobilikke materjale ja nende omadusi. Õpilane tutvub puidu omadustega ja viimistluse mõjuga materjalile.</p> <p>Õ2 – Valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, töötlusviise ja materjale. Õpilane kasutab sobivaid lihvimis- ja viimistlusvahendeid.</p> <p>Õ7 – Töötab sihikindlalt ja viib kavandatu lõpule. Õpilane viib kuumaaluse valmistamise lõpule.</p> <p>Õ8 – Kasutab materjale säästlikult ja leiab taaskasutusvõimalusi. Õpilane kasutab lihvimis- ja viimistlusmaterjale säästlikult.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja töövahendid. Õpilane korrastab töökoha ja töövahendid pärast töö lõpetamist.</p>	<p>Lihvimine, lihvpaber, lihvimise järjekord, viimistlus, viimistlusvahend, puidu pind, järeltöötlus, töökoha korrashoid.</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – töö kvaliteedi ja tulemuse hindamine. Enesemääratluspädevus – vastutustundlik töö lõpetamine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Keskkond ja jätkusuutlik areng – materjalide säästlik kasutamine. Tervis ja ohutus – ohutud töövõtted käsitöövahenditega.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Keemia – viimistlusvahendite omadused. Kunst – pinna viimistlus ja esteetika.</p> <p>N – näited: Näited puidust tarbeesemete viimistlemisest.</p>	<p>Juhendatud praktiline töö. Õpilased lihvivad kuumaaluse vastavalt etteantud järjekorrale ning viimistlevad pinna sobiva vahendiga. Õpetaja juhendab individuaalselt ja jälgib tööohutust. Töö lõpus korrastatakse töökoht.</p>	<p>Hinnatakse kuumaaluse viimistluse kvaliteeti, juhiste järgimist ja töökoja korrashoidu. Tegemist on hindelise töö lõppetapiga.</p>
--	---	--	---	--	---	--

	<p>KIKILIPS - PABERIL KAVANDAMINE JA DIGITALISEERIMINE</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased kavandavad käsitsi kikilipsu kujundi ning valmistavad kavandi ette digitaalseks töötlemiseks. Tutvutakse sümmeetria põhimõttega ja selle rakendamisega kavandamisel. Kavand digitaliseeritakse pildistamise teel ja laaditakse arvutisse edasiseks töötlemiseks.</p> <p>Õpetaja tegevused: Selgitab sümmeetria põhimõtet ja selle kasutamist esemete kavandamisel. Jagab kikilipsu kavandamiseks šabloonid ning selgitab mõõtude ja proportsioonide olulisust. Juhendab käsitsi kavandi loomist. Näitab, kuidas kavand pildistada (õige asend, valgus, taust) ning kuidas pildifail arvutisse laadida ja salvestada edasiseks kasutamiseks.</p>	<p>Õ6 – Kavandab jõukohaseid esemeid, oskab kasutada videojuhendit. Õpilane kavandab käsitsi jõukohase eseme etteantud juhiste järgi.</p> <p>Õ5 – Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi. Õpilane mõistab kavandi rolli digitaalse tootmise protsessis.</p> <p>Õ7 – Töötab sihikindlalt ja viib kavandatu lõpule. Õpilane viib kavandamise etapi lõpuni.</p> <p>Õ9 – Rakendab teistes ainetes õpitut ja seostab eluvaldkondadega. Õpilane rakendab matemaatikast õpitut sümmeetria teadmisi.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja töövahendid. Õpilane hoiab korras töövahendid ja töökoha kavandamise ajal.</p>	<p>Kikilips, kavand, sümmeetria, telg, proportsioon, šabloon, digitaliseerimine, pildistamine, pildifail.</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Loovuspädevus – ideede loomine ja kujundamine. Digipädevus – kavandi digitaliseerimine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tehnoloogia ja innovatsioon – käsitöö ja digitehnoloogia ühendamine.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Matemaatika – sümmeetria ja telg. Kunst – kujundi ja kompositsiooni kavandamine.</p> <p>N – näited: Näited rõiva- ja aksessuaaridisainis kasutatavatest kavanditest.</p>	<p>Juhendatud praktiline töö. Õpilased kavandavad kikilipsu käsitsi šabloonid abil. Kavand pildistatakse õpetaja juhendamisel ning laaditakse arvutisse. Kasutatakse demonstratsiooni ja individuaalset juhendamist.</p>	<p>Kontrollitakse kavandi olemasolu ja vastavust juhistele ning korrektset digitaliseerimist. Tegemist on hindelise töö ettevalmistava etapiga.</p>
--	---	---	---	---	--	--

	<p>KIKILIPSU JOONESTAMINE NCCAD 7.0 TARKVARAS, PEEGELDAMINE JA CNC-FREESIMINE</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased koostavad käsitsi kavandi põhjal kikilipsu digitaalse joonise NCCAD 7.0 tarkvaras. Tutvutakse uue funktsiooniga – peegeldamine – ning rakendatakse seda sümmeetrilise kujundi loomiseks. Valmistatakse joonise ette CNC-tööks ning viiakse läbi kikilipsu freesimine.</p> <p>Õpetaja tegevused: Näitab käsitsi kavandi importimist NCCAD 7.0 tarkvarasse ning juhendab kontuuri joonestamist kavandi alusel. Tutvustab peegeldamise tööriista ja selgitab selle kasutamist sümmeetrilise kujundi loomiseks. Kontrollib kontuuri suletust ja joonise korrektsust. Seab CNC tööpingi, näitab sobiva kinnitusviisi valikut ja nullpunkti määramist. Juhendab CNC-freesimise läbiviimist ning jälgib tööohutuse nõuete täitmist.</p>	<p>Õ2 – Valib ja kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, töötlusviise ja materjale. Õpilane kasutab NCCAD 7.0 tarkvara ja CNC tööpinkide digitaalse tootmise vahenditena.</p> <p>Õ4 – Kasutab ohutult õigeid töövõtteid ja tehnikaid. Õpilane järgib CNC-tööpingiga töötamise ohutusnõudeid.</p> <p>Õ5 – Planeerib õpetaja juhendamisel tervikliku tööprotsessi. Õpilane seostab kavandi, CAD-joonise ja CNC-töö üheks tervikuks.</p> <p>Õ6 – Kavandab jõukohaseid esemeid, oskab kasutada videojuhendit. Õpilane kavandab ja joonestab kikilipsu digitaalsel kujul.</p> <p>Õ7 – Töötab sihikindlalt ja viib kavandatu lõpule. Õpilane viib kikilipsu valmistamise protsessi lõpuni.</p> <p>Õ10 – Mõistab rühmatöö ja tööjaotuse olulisust. Õpilane osaleb CNC-töö jälgimisel ja ühises tööprotsessis.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja</p>	<p>NCCAD 7.0, peegeldamine, sümmeetria, kontuur, suletud kontuur, CNC-freesimine, nullpunkt, kinnitus, tööpink.</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Digipädevus – uue tarkvarafunktsiooni kasutamine. Õpipädevus – uue töövõtte omandamine ja rakendamine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalse tootmise protsessid. Tervis ja ohutus – ohutud töövõtted CNC-tööpingiga.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Matemaatika – sümmeetria ja peegeldamine. Kunst – vorm ja tasakaal kujunduses.</p> <p>N – näited: Näited sümmeetriliste esemete digitaalsest kavandamisest ja tootmisest.</p>	<p>Juhendatud praktiline töö arvutis ja CNC-töö jälgimine. Õpilased joonestavad kikilipsu NCCAD 7.0 tarkvaras, kasutades peegeldamise tööriista. Õpetaja juhendamisel viiakse läbi CNC-freesimine. Kasutatakse demonstratsiooni, individuaalset juhendamist ja rühmatööelemente.</p>	<p>Hinnatakse kikilipsu digitaalse joonise korrektsust, peegeldamise funktsiooni õiget kasutamist ning CNC-töö ohutut läbiviimist. Tegemist on hindamise etapist.</p>
--	---	---	---	--	--	--

		töövahendid. Õpilane järgib töökoja reegleid CNC-töö ajal.				
	<p>KIKILIPSU VIIMISTLUS, ESITLUS JA REFLEKSIOON</p> <p>Õppeprotsessid: Õpilased viimistlevad CNC-ga valmistatud kikilipsu ning hindavad valminud tööd. Toimub tööde esitus ja refleksioon, kus analüüsitakse tööprotsessi, kasutatud võtteid ja lõpptulemust.</p> <p>Õpetaja tegevused: Juhendab kikilipsu viimistlemist, selgitades sobivaid lihvimis- ja viimistlusvõtteid. Jälgib tööohutust ja töö kvaliteeti. Korraldab õpilastööde esitluse ning suunab õpilasi oma tööd tutvustama. Esitab refleksiooniküsimusi, mis aitavad õpilastel analüüsida tööprotsessi ja põhjendada tehtud valikuid.</p>	<p>Õ7 – Töötab sihikindlalt ja viib kavandatu lõpule. Õpilane viib kikilipsu valmistamise lõpuni.</p> <p>Õ8 – Kasutab materjale säästlikult ja leiab taaskasutusvõimalusi. Õpilane kasutab viimistlusmaterjale säästlikult.</p> <p>Õ11 – Esitleb lõpptulemust, analüüsib ja põhjendab valikuid (ka digivahenditega). Õpilane esitleb valminud tööd ja analüüsib tööprotsessi.</p> <p>Õ12 – Järgib korra- ja puhtusenõudeid, korrastab töökoha ja töövahendid. Õpilane korrastab töökoha ja töövahendid pärast töö lõpetamist.</p>	Viimistlus, lihvimine, esitus, refleksioon, enesehindamine, lõpptulemus, tööprotsess.	<p>ÜP – üldpädevused: Enesejuhtimispädevus – töö analüüsimine ja enesehindamine. Suhtluspädevus – töö esitamine ja tagasiside andmine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Väärtused ja eetika – oma ja kaaslaste töö austamine. Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalse tootmise protsessi mõtestamine.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Kunst – viimistlus ja esteetiline hinnang. Emakeel – suuline eneseväljendus.</p> <p>N – näited: Näited toodete esitlemisest ja analüüsist disaini- ja tootmisprotsessis.</p>	Juhendatud praktiline töö ja arutelu. Õpilased viimistlevad kikilipsu, esitlevad oma tööd ning osalevad refleksioonis. Kasutatakse individuaalset juhendamist, esitlusi ja suunatud arutelu.	Hinnatakse kikilipsu viimistluse kvaliteeti, tööprotsessi läbiviimist ja esitlust. Arvesse võetakse refleksiooni ja põhjenduste selgust. Tegemist on hindelise töö lõppetapiga .

LISA 2. Õpetaja töökava III kooliaste

Kool:

Õppeaine: Tehnoloogiaõpetus

Klass: III kooliaste (7.–9. klass)

Aineõpetaja:

Õpitlemused:

Õ1 analüüsib materjalide omadusi ja valib sobiva materjali toote valmistamiseks;

Õ2 kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, digitaalseid tööriistu ja töötlusviise;

Õ3 leiab ja kasutab teavet erinevatest allikatest ning järgib autoriõigust;

Õ4 järgib tööohutus- ja keskkonnanõudeid;

Õ5 kavandab ja planeerib tervikliku tööprotsessi, sh prototüüpimise;

Õ6 valmistab kavandi, mustri ja mudeli ning arendab toodet;

Õ7 töötab sihikindlalt ja viib töö lõpuni;

Õ8 kasutab materjale säästlikult ja hindab keskkonnamõju;

Õ9 rakendab teistes ainetes õpitut (matemaatika, kunst, IT);

Õ10 teeb koostööd ja analüüsib tööprotsessi;

Õ11 esitleb ja põhjendab oma tööd ning tehtud valikuid;

Õ12 hoiab korras töökoha ja töövahendid.

Tundide arv	Õppesisu / õppeprotsess	Riiklikud õpitulemused	Põhimõisted	Lõiming (ÜP / LT / AL / N)	Praktilised ülesanded / õppemeetodid	Kontrolli vorm, hindamine / märkused
1-2	<p>CNC TÖÖPINGI KORDAMINE JA OHUTUS (III KOOLIASTE)</p> <p>Õppeprotsessid Õpilased kordavad CNC-tehnoloogia kasutamist tehnoloogiaõpetuses, lähtudes varasemast II kooliastme kogemusest. Süvendatakse arusaama CNC-tööpingi rollist tootearenduses ja sisustuselementide valmistamises (nt seinalambi detail, võtmekapi esipaneel, hoiukarbi detail). Käsitletakse terviklikku tööprotsessi ideest valmistooteni, rõhutades planeerimise, täpsuse ja tööohutuse olulisust. Täpsustatakse CNC-tööpingiga töötamise ohutusnõudeid, tehnoloogiaklassi sisekorda ja vastutustundlikku käitumist töökojas.</p> <p>Õpetaja tegevused Tuletab meelde CNC-tehnoloogia põhimõtted ning seob need uue, keerukama sisustusprojekti kontekstiga. Tutvustab CNC tööpinki, selle põhiosi ja töövõtteid, keskendudes täpsusele ja tööohutusele. Selgitab CNC-töö etappe kavandamisest viimistluseni ning rõhutab planeerimise ja prototüüpimise rolli III kooliastmes. Kordab ohutusnõudeid, isikukaitsevahendite kasutamist ja</p>	<p>Õ2 – kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid, digitaalseid tööriistu ja töötlusviise. Õpilane kasutab CNC tööpinki teadlikult ja eesmärgipäraselt keerukamate tööde valmistamisel.</p> <p>Õ4 – järgib tööohutuse ja keskkonnanõudeid. Õpilane järgib CNC-tööpingiga töötamisel ohutusnõudeid ja töökoja reegleid.</p> <p>Õ5 – kavandab ja planeerib tervikliku tööprotsessi, sh prototüüpimise. Õpilane mõistab CNC-töö tervikprotsessi ja selle etappe.</p> <p>Õ12 – hoiab korras töökoha ja töövahendid. Õpilane vastutab töökoha ja töövahendite korrashoiu eest.</p>	<p>CNC, arvjuhtimine, CNC tööpinki, spindel, lõikur, freesimine, teljed (X, Y, Z), kinnitusvahendid, töölaud, tööprotsess, ohutus, isikukaitsevahendid, hädaseiskamine, töökoha korrashoid.</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – varasemate teadmiste seostamine uue ja keerukama projektiga. Enesemääratluspädevus – vastutustundlik ja ohutu käitumine töökojas. Suhtluspädevus – arutelu ja küsimuste esitamine CNC-töö ja projektide kohta.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tervis ja ohutus – ohutud töövõtted CNC-tööpingiga. Keskkond ja jätkusuutlik areng – töövahendite ja materjalide säästlik kasutamine.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming:</p>	<p>Õpilased vaatlevad CNC tööpinki ja selle osi õpetaja juhendamisel ning seostavad nähtut varasemate teadmistega.</p> <p>Arutletakse CNC-tehnoloogia kasutamise üle sisustuselementide valmistamisel.</p> <p>Õpilased osalevad juhendatud arutelus tööohutuse teemal, tuues välja võimalikud ohuolukorrad ja lahendused nende vältimiseks. Toimub demonstratsioonipõhine õpe, kus õpetaja näitab CNC-tööpingi töövalmidust ja ohutut käsitlemist.</p>	<p>Hinnatakse õpilaste aktiivset osalemist aruteludes ja tähelepanelikkust CNC-tööpingi kordamise ja ohutusnõuete käsitlemise ajal.</p> <p>Jälgitakse töökoja sisekorra ja käitumisreeglite järgimist.</p> <p>Tunni lõpus toimub suuline teadmiste kontroll või lühike ohutusalane arutelu. Tund on ettevalmistav ega ole hindeline.</p>

	hädaseiskamist. Selgitab tehnoloogiaklassi sisekorda ning vastutust töövahendite ja töökoha korrashoiu eest.			Matemaatika – telgede ja mõõtude täpsus. Füüsika – liikumine ja mehaanika. N – näited: Näited CNC-tehnoloogia kasutamisest sisustuselementide tootmises ja mööblitööstuses.vastutus enda ja teiste ohutuse eest.		
3-4	<p>SISUSTUSELEMENDI IDEE JA FUNKTSIONAALNE KAVANDAMINE</p> <p>Õppeprotsessid Õpilased tutvuvad sisustuselementide rolliga ruumis ja igapäevaelus. Analüüsitakse erinevaid sisustuselemente (nt seinalamp, võtmekapi esipaneel, hoiukarbi detail) ning nende funktsioone, kasutuskohti ja kasutajate vajadusi. Õpilased valivad juhendamisel ühe sisustuselemendi, mida nad edaspidi kavandavad ja valmistavad CNC-tööpingiga. Arutletakse, millised nõuded seavad tootele ruum, kasutaja ja materjal.</p> <p>Õpetaja tegevused Tutvustab erinevaid sisustuselemente</p>	<p>Õ1 – analüüsib materjalide omadusi ja valib sobiva materjali toote valmistamiseks Õpilane mõistab, millised materjalid sobivad sisustuselemendiks</p> <p>Õ5 – kavandab ja planeerib tervikliku tööprotsessi Õpilane mõistab töö etappe ideest tootmiseni</p> <p>Õ9 – rakendab teistes ainetes õpitut (ruum, mõõdud, esteetika)</p>	Sisustuselement, funktsioon, kasutaja, kasutuskoht, disain, esteetika	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – eesmärgi seadmine ja töö kavandamine Suhtluspädevus – arutelu ja oma idee põhjendamine</p> <p>LT – läbivad teemad: Tehnoloogia ja innovatsioon – disaini roll tootearenduses Keskkond ja jätkusuutlik areng – vastutustundlik tootmine</p>	Juhendatud arutelu, näidete analüüs, ideede visandamine paberil, individuaaltöö.	Hinnatakse õpilase osalemist arutelus, idee valiku põhjendatust ja aktiivsust. Tund on ettevalmistav, mittehindeline.

	<p>ja nende funktsioone ruumis, kasutades näidiseid ja pilte. Suunab arutelu kasutaja vajaduste, kasutusmugavuse ja esteetika üle. Aitab õpilastel valida jõukohase ja CNC-tehnoloogiale sobiva sisustuselemendi. Selgitab, millised funktsionaalsed ja tehnilised piirangud mõjutavad edasist kavandamist.</p>			<p>AL – ainetevaheline lõiming: Kunst – vorm ja esteetika Matemaatika – mõõtude ja proportsioonide mõistmine</p> <p>N – näited: Sisustuselementide kasutamine kodudes ja avalikus ruumis</p>		
5-6	<p>SISUSTUSELEMENDI KAVANDI DIGITALISEERIMINE JA NCCAD 7.0 JOONESTAMINE</p> <p>Õppeprotsessid Õpilased viivad eelnevalt loodud sisustuselemendi funktsionaalse kavandi üle digitaalseks jooniseks. Kavand pildistatakse või skaneeritakse ning imporditakse NCCAD 7.0 tarkvarasse. Õpilased joonestavad detaili kontuurid, määravad mõõdud ja kontrollivad suletud kontuuri olemasolu. Käsitletakse digitaalse kavandi seost CNC-tööga ning rõhutatakse täpsuse olulisust.</p> <p>Õpetaja tegevused Õpetaja näitab, kuidas käsitsi kavandit korrektselt pildistada (õige valgus, tasapind ja vaatenurk). Demonstreerib pildi importimist NCCAD 7.0</p>	<p>Õ2 – kasutab eesmärgipäraselt digitaalseid töövahendeid ja töötlusviise. Õpilane kasutab NCCAD 7.0 tarkvara sisustuselemendi digitaalseks kavandamiseks.</p> <p>Õ5 – kavandab ja planeerib tervikliku tööprotsessi, sh prototüüpimise. Õpilane seostab käsitsi kavandi digitaalse joonise ja edasise CNC-tööga.</p> <p>Õ6 – valmistab kavandi, mustri ja mudeli ning</p>	<p>Digitaalne kavand, NCCAD 7.0, kontuur, suletud kontuur, mõõtkava, joonestamine, importimine</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Digipädevus – digitaalse kavandi loomine ja töötlemine. Õpipädevus – tööprotsessi planeerimine ja täpsuse väärtustamine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalse kavandamise roll tootearenduses.</p> <p>AL – ainetevaheline</p>	<p>Juhendatud praktiline arvutitöö. Õpilased impordivad oma kavandi NCCAD 7.0 tarkvarasse ning joonestavad detaili kontuurid õpetaja juhendamisel. Kasutatakse demonstratsiooni ja individuaalset juhendamist.</p>	<p>Kontrollitakse digitaalse kavandi olemasolu, kontuuri suletust ja mõõtude korrektsust. Tegemist on hindelise töö ettevalmistava etapiga, mis on eelduseks CAM-töö ja CNC-freesimise läbiviimisele järgmistes tundides.</p>

	<p>tarkvarasse ja mõõtkava paika seadmist. Juhendab kontuuride joonestamist kavandi alusel ning selgitab suletud kontuuri nõuet CNC-tööks. Kontrollib õpilaste jooniseid, juhib tähelepanu mõõtude täpsusele ja tehnilistele vigadele ning aitab neid parandada.</p>	<p>arendab toodet. Õpilane loob sisustuselemendist korrekse digitaalse joonise.</p> <p>Õ9 – rakendab teistes ainetes õpitut. Õpilane kasutab matemaatikast õpitud mõõtmise ja geomeetria teadmisi.</p> <p>Õ12 – hoiab korras töökoha ja töövahendid. Õpilane järgib kokkulepitud arvutitöö ja failihalduse reegleid.</p>		<p>lõiming: Matemaatika – mõõtkava ja täpsed mõõdud. Kunst – vormi ja proportsiooni järgimine.</p> <p>N – näited: Näited sisustuselementide digitaalsest kavandamisest mööbli- ja sisekujunduses.</p>		
7-8	<p>SISUSTUSELEMENDI CAM-TÖÖ JA SIMULATSIOON</p> <p>Õppeprotsessid Õpilased valmistavad eelnevalt NCCAD 7.0 tarkvaras joonestatud sisustuselemendi (nt seinalambi detail, võtmekapi esipaneel või hoiukarbi detail) ette CNC tööpingil valmistamiseks. Tutvutakse CAM-töö loogikaga: töötlustappide järjekorra, lõikuri valiku ning lõikesügavuste määramisega. Enne CNC-töö alustamist viiakse läbi simulatsioon, mille abil kontrollitakse kavandi tehnilist korrektsust ja võimalikke vigu. Õpilased analüüsivad</p>	<p>Õ2 – kasutab eesmärgipäraselt digitaalseid töövahendeid ja töötlusviise; Õpilane valmistab CAM-seadistused CNC-tööks vastavalt etteantud juhistele.</p> <p>Õ4 – järgib tööohutusnõudeid; Õpilane mõistab simulatsiooni rolli ohuolukordade ennetamisel.</p>	CAM, töötlustapp, simulatsioon, lõikur, lõikesügavus, kontuur, CNC-tööprotsess, tööohutus	<p>ÜP - üldpädevused: – digipädevus (CAM-tarkvara kasutamine, protsessi analüüs)</p> <p>LT - läbivad teemad: tehnoloogia ja innovatsioon (digitaalne tootmine ja simulatsioon)</p> <p>AL - ainetevaheline lõiming: matemaatika (sügavused, mõõdud, järjekord)</p>	Juhendatud praktiline töö arvutis. Õpilased seavad oma sisustuselemendi CAM-parameetrid ja viivad läbi simulatsiooni. Kasutatakse demonstratsiooni, individuaalset juhendamist ja suunatud arutelu simulatsiooni tulemuste üle.	Kontrollitakse CAM-faili ja simulatsiooni korrektsust. Tund on hindelise töö ettevalmistav etapp. CNC tööpinki lubatakse ainult korrektselt kontrollitud ja kinnitatud failid.

	<p>simulatsiooni tulemusi ning teevad vajadusel parandusi.</p> <p>Õpetaja tegevused Õpetaja selgitab CAM-töö eesmärgi ja selle rolli CNC-töö protsessis. Näitab NCCAD 7.0 tarkvaras, kuidas määrata töötlustapid (kontuuri freesimine, avade lõikamine, vajadusel tasku või graveering). Selgitab lõikuri valiku põhimõtteid ja lõikesügavuse mõju töö kvaliteedile. Demonstreerib simulatsiooni käivitamist ning juhib tähelepanu võimalikele vigadele (avatud kontuur, vale töötlussügavus, lõikuri kokkupõrke oht). Kontrollib õpilaste CAM-failide korrektsust ja annab individuaalset tagasisidet enne tootmisele lubamist.</p>	<p>Õ5 – kavandab ja planeerib tervikliku tööprotsessi; õpilane seostab kavandi, CAM-töö ja CNC-tootmise üheks tervikuks.</p> <p>Õ6 – arendab toodet digitaalse mudeli põhjal; Õpilane parandab kavandit simulatsiooni tulemuste alusel.</p> <p>Õ10 – analüüsib tööprotsessi; Õpilane oskab põhjendada tehtud CAM-valikuid.</p>		<p>N – näited: CNC-töö simulatsiooni kasutamine tootmises vigade ennetamiseks</p>		
9-10	<p>SISUSTUSELEMENDI CNC-FREESIMINE</p> <p>Õppeprotsessid Õpilased viivad digitaalse kavandi põhjal läbi sisustuselemendi detailide CNC-freesimise. Töö käigus korratakse ja rakendatakse CNC-tööpingi seadistamise oskusi, keskendudes materjali korrektsele kinnitamisele, nullpunkti määramisele ning töötlustprotsessi jälgimisele. Õpilased seostavad varasemalt õpitud CAD- ja CAM-töö tegeliku tootmisprotsessiga ning mõistavad, kuidas digitaalsed seadistused mõjutavad lõpptulemust. Töö toimub</p>	<p>Õ2 – kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid ja töötlusviise; Õpilane kasutab CNC tööpinki sisustuselemendi detailide valmistamiseks.</p> <p>Õ4 – järgib tööohutus- ja keskkonnanõudeid; Õpilane järgib CNC-tööpingiga töötamise ohutusreegleid tootmisprotsessi ajal.</p>	<p>CNC-freesimine, nullpunkt, kinnitus, lõikur, töötlustapp, tööpink, tootmisprotsess, tööohutus</p>	<p>ÜP – üldpädevused: Enesemääratluspädevus – vastutustundlik ja ohutu käitumine töökojas Sotsiaalne pädevus – ühise töö jälgimine ja kokkulepetest kinnipidamine</p> <p>LT – läbivad teemad: Tervis ja ohutus – ohutud töövõtted</p>	<p>Demonstratsioonipõhine õpe ja juhendatud vaatlus. Õpilased jälgivad CNC-freesimise protsessi, seostavad töötlustappe digitaalse kavandiga ning teevad tähelepanekuid tootmisprotsessi kohta.</p>	<p>Hinnatakse sisustuselemendi hindelise töö tootmisetappi, CNC-faili korrektsust ning õpilaste tööohutusosalast käitumist. Arvesse võetakse aktiivset osalemist ja juhiste järgimist. Tegemist on hindelise töö teostamise etapiga.</p>

	<p>õpetaja juhendamisel ja rangete ohutusnõuete järgi. Tunni lõpus analüüsitakse tootmisprotsessi kulgu ja esimesi tulemusi.</p> <p>Õpetaja tegevused Õpetaja kontrollib enne töö alustamist õpilaste CNC-failide vastavust tööülesandele ning veendub, et kontuurid on suletud ja töötlusetapid korrektsed. Seab CNC-tööpingi tööks valmis, valib sobiva lõikuri ning demonstreerib materjali kinnitamise erinevaid viise, selgitades nende eeliseid ja ohte. Näitab nullpunkti määramist ning selgitab selle täpsuse olulisust töö kvaliteedi seisukohalt. Käivitab CNC-freesimise ning juhib õpilaste tähelepanu töötlusetappidele ja tööpingi liikumisele. Jälgib kogu protsessi vältel tööohutuse nõuete täitmist ning juhendab õpilasi tootmisprotsessi vaatlemisel ja analüüsimisel.</p>	<p>Õ5 – kavandab ja planeerib tervikliku tööprotsessi; Õpilane seostab kavandi, CAM-seadistused ja CNC-töö üheks tervikuks.</p> <p>Õ10 – teeb koostööd ja analüüsib tööprotsessi; Õpilane osaleb ühises tootmisprotsessis ja jälgib töö etappe.</p> <p>Õ12 – hoiab korras töökoha ja töövahendid; Õpilane järgib töökoja reegleid CNC-töö ajal.</p>		<p>CNC-tööpingiga Tehnoloogia ja innovatsioon – digitaalse tootmise rakendamine</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Matemaatika – telgede, koordinaatide ja nullpunkti mõistmine Füüsika – liikumine ja löikeprotsess</p> <p>N – näited: Näited CNC-freesimise kasutamisest sisustuselementide tootmises ja mööblitööstuses</p>		
11-12	<p>SISUSTUSELEMENDI JÄRELTÖÖTLUS, VIIMISTLUS JA ESITLUS</p> <p>Õppeprotsessid Õpilased teostavad CNC-freesitud sisustuselemendi järeltöötuse ja viimistluse. Töös pööratakse tähelepanu detailide servade kvaliteedile, pinna siledaks lihvimisele ning sobiva viimistluslahenduse valikule vastavalt toote funktsioonile</p>	<p>Õ1 – analüüsib materjalide omadusi ja valib sobiva viimistluslahenduse vastavalt toote kasutusotstarbele.</p> <p>Õ2 – kasutab eesmärgipäraselt töövahendeid ja viimistlusvõtteid.</p>	Järeltöötus, lihvimine, lihvimise järjekord, servade murdmine, viimistlus, viimistlusvahend, pinna kvaliteet, esitus, refleksioon.	<p>ÜP – üldpädevused: Õpipädevus – töö kvaliteedi ja tulemuse hindamine. Enesemääratluspädevus – vastutustundlik töö lõpetamine. Suhtluspädevus – oma töö esitlemine</p>	Juhendatud praktiline töö. Õpilased lihvivad CNC-freesitud detailid vastavalt etteantud järjekorrale, viimistlevad pinna sobiva vahendiga ning valmistavad toote esitluseks. Kasutatakse individuaalset juhendamist,	Tegemist on hindelise töö lõppetapiga. Hinnatakse: viimistluse kvaliteeti ja sobivust toote funktsiooniga, juhiste ja tööohutuse järgimist,

	<p>ja kasutuskeskkonnale (nt seinalamp, võtmekapp, hoiukarbi detail). Tunni lõpus toimub tööde esitlus ja refleksioon, kus analüüsitakse tööprotsessi, tehtud valikuid ja lõpptulemust.</p> <p>Õpetaja tegevused Õpetaja selgitab järeltöötuse eesmärki ja selle olulisust toote kvaliteedi seisukohalt. Näitab lihvimise järjekorda (jämedam → peenem), selgitab servade murdmise ja pindade ühtlustamise vajadust. Tutvustab sobivaid viimistlusvahendeid (õli, vaha, lakk vms) ning selgitab nende omadusi ja kasutusvaldkondi. Demonstreerib viimistlusvahendi korrektset pealekandmist. Juhendab tööohutust järeltöötuse ajal ning jälgib töö kvaliteeti. Korraldab õpilastööde esitluse ja suunab refleksiooni suunavate küsimustega. Juhendab töökoha ja töövahendite korrastamist tunni lõpus.</p>	<p>Õ7 – töötab sihikindlalt ja viib sisustuselemendi valmistamise lõpuni.</p> <p>Õ8 – kasutab materjale ja viimistlusvahendeid säästlikult ning hindab keskkonnamõju.</p> <p>Õ11 – esitleb valminud toodet ja põhjendab tehtud valikuid.</p> <p>Õ12 – hoiab korras töökoha ja töövahendid.</p>		<p>ja tagasiside andmine.</p> <p>LT – läbivad teemad: Keskkond ja jätkusuutlik areng – materjalide ja viimistlusvahendite säästlik kasutamine. Tervis ja ohutus – ohutud töövõtted käsitöövahendite ja kemikaalidega.</p> <p>AL – ainetevaheline lõiming: Kunst – esteetika, pinna viimistlus ja terviklahendus. Keemia – viimistlusvahendite omadused ja kuivamisprotsessid.</p> <p>N – näited: Näited puidust sisustuselementide viimistlemisest kodudes ja avalikes ruumides.</p>	<p>demonstratsiooni ja suunatud arutelu.</p>	<p>töökoha korrashoidu, esitlust ja refleksiooni selgust.</p>
--	---	--	--	---	--	---

LISA 3. CNC-tööpingi tutvustav ainetund II ja III kooliastme õpilastele

CNC tööpink tehnoloogiaõpetuses

Sissejuhatus ja põhimõisted (II ja III kooliaste)



Sissejuhatus

Tänases tunnis tutvume **CNC tööpingiga**, mis suudab arvuti juhendamisel muuta digitaalse joonise päris esemeks. Saame teada, kuidas arvuti juhivad masinat, milliseid materjale saab CNC-pingiga töödelda ning miks on see tehnoloogia tänapäeva tootmises väga oluline. Tunni eesmärk on mõista CNC tööpingi tööpõhimõtet, tunda selle peamisi osi ja õppida, kuidas masinaga **ohutult ja targalt** töötada. Selle tunni järel oskad paremini hinnata, kuidas digitaalsest ideest saab täpne ja kvaliteetne detail.

Mis on CNC tööpink?

CNC (Computer Numerical Control) tähendab arvjuhtimisega masinat, mis töötab arvuti poolt antud käskude järgi.

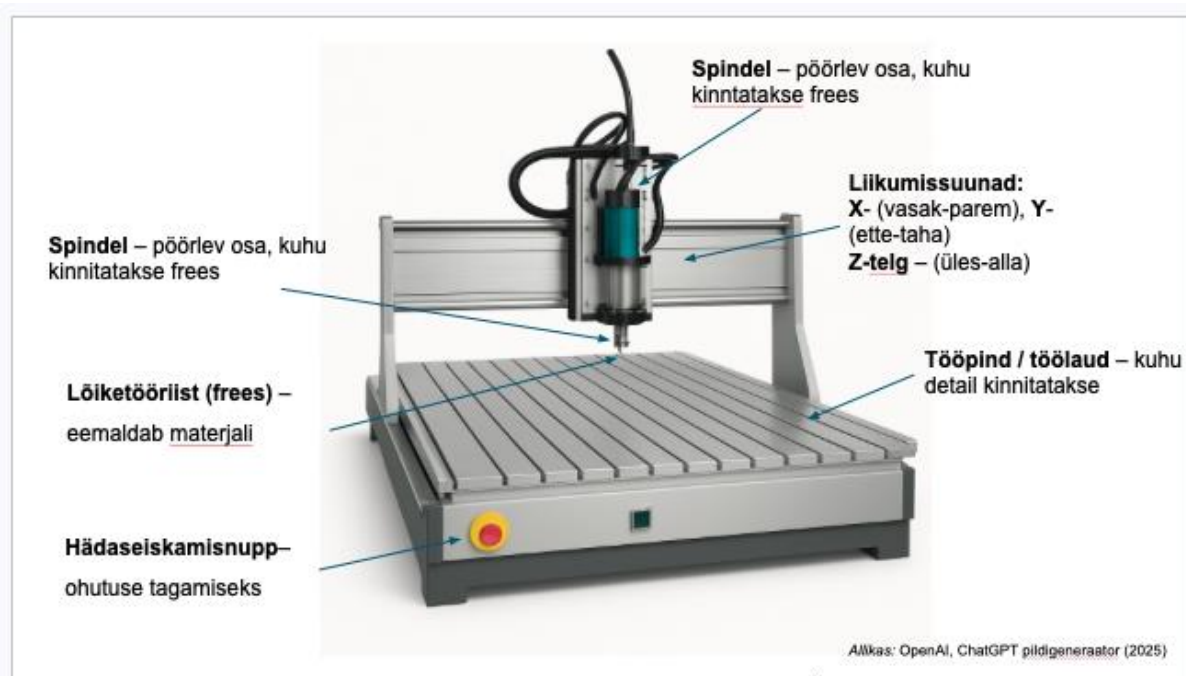
CNC tööpink kasutatakse:

puidu, plasti, alumiiniumi ja mõnede metallide töötlemiseks;
detailide lõikamiseks, freesimiseks, süvistamiseks ja graveerimiseks;
täpsete detailide valmistamiseks.

Võrdlus käsitsi freesimisega:

inimene juhib → arvuti juhib
väiksem täpsus → väga suur täpsus
aeglasem → kiirem ja korduv

Allikas: Fractory (2020)



CNC tööpingi tööprotsess

Detaili kavandamine (CAD)

Detail joonistatakse arvutis vastavas programmis (nt kuju, mõõdud ja augud).

Tööriista määramine (CAM-programm)

Määratakse, kuidas frees liigub, kui sügavalt lõikab ja millist teed mööda töö toimub.

Programmi edastamine CNC-pingile

Valmis tööprogramm saadetakse arvutist CNC-pingile.

Materjali kinnitamine pingile

Töödeldav materjal kinnitatakse kindlalt tööpinnale, et see töö ajal ei liiguks.

Tööriista valik

Valitakse sobiv frees vastavalt materjalile ja tööülesandele.

Tööprotsessi käivitamine

CNC-pink käivitatakse ja masin alustab detaili töötlemist programmi järgi.

Valmis detaili kontroll

Kontrollitakse mõõde, kuju ja kvaliteeti ning veendutakse, et detail vastab nõuetele.

Ohutus CNC freesimise ajal

Kohustuslikud ohutusreeglid:

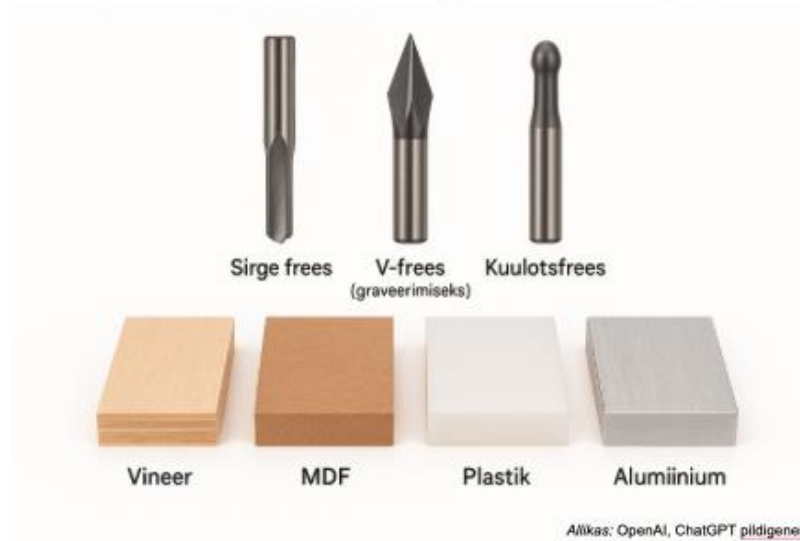
kaitseprillide kandmine
pikad juuksed kinni
lahtised riided ja ehted keelatud
töötava masinat ei puudutata
tööriista vahetus ainult seisva
spindliga
hädaseiskamisnupu asukohta
teadmise

Allikas: Factory (2020)

Allikas: OpenAI, ChatGPT pildigeneraator (2025)



Lõiketööriistad ja materjalid



Kokkuvõte

CNC tööpink on arvuti juhitud masin, mis töötab täpselt arvuti antud käskude järgi. Sellega saab töödelda puitu, plastikut ja metalli ning teha lõikeid, kujundeid ja graveeringuid. Võrreldes käsitsi freesimisega on CNC tööpink kiirem ja palju täpsem. Hea tulemus ja ohutus sõltuvad sellest, et järgitakse tööjärjekorda ja ohutusreegleid.



Kasutatud kirjandus

Fractory, 2020. *CNC Milling – Process, Machines & Operations*. Fractory.
<https://fractory.com/cnc-milling/> Fractory

Eurometal Solutions. (2025). *Complete Guide to CNC Machining: Everything You Need to Know*.
Eurometalsolutions.com.
<https://eurometalsolutions.com/blog/complete-guide-to-cnc-machining-everything-you-need-to-know/> Euro Metal
Solutions

Mida teeb CNC freespink? (2024, 19. jaanuar). CNC freespinki põhiülesanne ja tööpõhimõte.
<https://ee.milling-machinecnc.com/info/what-does-a-cnc-milling-machine-do--95844116.html> ee.milling-machinecnc.com

LISA 4. CNC tööpingi juhtimistarkvara NCCAD 7.0 tutvustus II ja III kooliastme õpilastele



Esimene samm disaini ja masinate maailma!

Tänapäeva maailmas kasutatakse arvuteid mitte ainult mängimiseks või kirjutamiseks, vaid ka asjade **kujundamiseks ja valmistamiseks**. Selleks on olemas spetsiaalsed programmid, mida nimetatakse **CAD/CAM tarkvaraks**.

CAD tuleb ingliskeelsetest sõnadest Computer-Aided Design. See tähendab arvuti abil joonestamist ja kujundamist.

CAM tuleb sõnadest Computer-Aided Manufacturing. See tähendab, et arvuti aitab kujundatud asja päriselt valmis teha. **CAM**-programm saadab joonise järgi masinale juhised, kuidas materjali lõigata, puurida või freesida.

Üks selline tarkvara on **NCCAD7**. Seda programmi kasutatakse selleks, et: **joonistada ja kujundada detaile, valmistada oma kujundatud detail päriselt** kasutades **CNC pinki** – see on seade, mis lõikab, freesib või graveerib materjali vastavalt arvutis tehtud joonisele.

NCCAD7 aitab sul näha, kuidas arvutis loodud joon muutub päris esemeks. Selle abil õpid:

- kuidas luua täpseid jooniseid ja kujundeid,
- kuidas arvuti juhhib tööriista (näiteks lõikurit või puuri),
- ning kuidas tehnoloogia aitab ideed ellu viia.

Selles juhendis õpid samm-sammult:

- kuidas programmi avada ja kasutada;
- kuidas luua oma esimene kujundus;
- kuidas saata joonis CNC pingile valmistamiseks.

NCCAD7 on justkui sild arvutiekraani ja päris maailma vahel, sa saad näha, kuidas sinu idee muutub reaalseks esemeks!

1. Programmi avamine ja Töölauda tutvustus

Programmi avamine:

1. Otsi oma arvuti töölaualt ikooni **NCCAD7**.
2. Tee sellele topeltklõps hiire vasaku nupuga.
3. Kui programm avaneb, näed ülemisel real menüüd, kus on kirjas **File, Machine, Simulation, View, Parameters, Help**.

Hetkel pole joonistus veel avatud – see tuleb alles luua.

2. Uue töö avamine

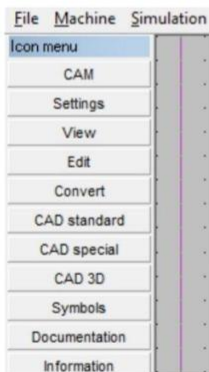
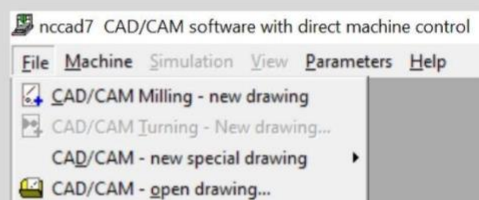
Et alustada kujundamist, tuleb teha uus joonis.

Klõpsa menüüribal sõna File.

Vali käsk CAD/CAM Milling– new drawing.

Nüüd avaneb uus joonistusaken halli, täppidega taustaga – see ongi sinu joonistuslaud ehk töölaud.

Siin hakkad sa oma kujundust looma.



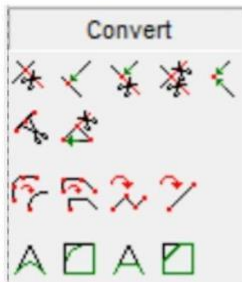
3. Töölauda osad

NCCAD7 töölaud on jaotatud mitmeks osaks:

- Ülemine menüüriba – siin on erinevad käsud ja valikud (nt File, Machine, View).
- Vasakul küljemenüü (**Icon menu**) – siin on tööriistad joonistamiseks, muutmiseks ja valmistamiseks.
- Keskel hall täppidega töölaud – siin saad oma kujundust joonistada. Täpid aitavad hoida jooni sirgena ja mõõtusid õigesti.
- Allservas olekuala – siin kuvatakse abiteated ja mõõdud.

Kui oled töölaud avanud, salvesta oma uus töö kohe.

Vali File → Save as... ja anna sellele nimi, näiteks Marii_võtmehoidja_joonis.



Convert

Convert tähendab teisendama.

Selle abil saad joonist muuta masinale arusaadavaks failiks.

Kui CAD-joonistus on valmis, tehakse selle kaudu CNC-masinale tööfail.

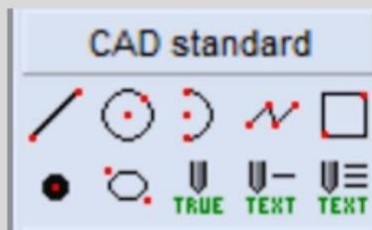
CAD standard

See on kõige tähtsam koht, kust joonistamine algab!

Siin on põhivahendid:

- joon, ring, ristkülik,
- punkt,
- tekst (kirjutamiseks).

Need on lihtsad ja selged tööriistad, millega saab alustada igasugust kujundust



CAD special

Siin on keerulisemad joonistustööriistad, näiteks:

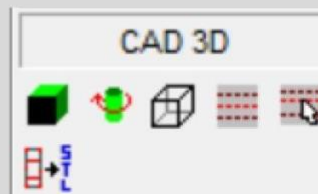
- kõverad jooned,
- hambad või hammasrattad,
- spiraalid ja muud erikujulised jooned.

Kui soovid midagi täpsemat või erilisemat, leiad tööriista siit.

CAD 3D

Seda kasutatakse siis, kui soovid vaadata oma joonist kolmemõõtmelisena.

Näed, kuidas detail päriselus välja võiks näha – justkui päris ese arvutiekraanil.





Symbols

Siin on valmis sümbolid ja märgid, mida saad oma joonisele lisada.

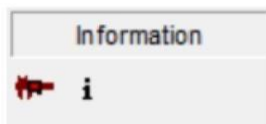
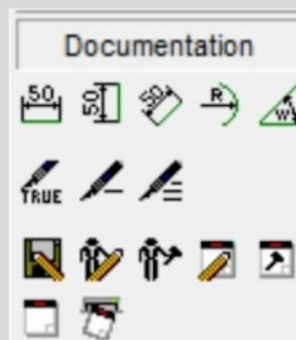
Näiteks mõõtejooned, nooltega tähised või tehnilised märgid.

Need teevad joonise arusaadavamaks ja korralikumaks.

Documentation

Siin saad oma tööle lisada andmed ja selgitused – näiteks oma nime, kuupäeva ja töö pealkirja.

See on kasulik, kui töö tuleb hiljem välja printida või esitada.



Information

See näitab teavet sinu töö kohta – näiteks faili nimi, töö suurus või programmi versioon.

Kui tahad teada, milline fail on hetkel avatud, vaata siit.

Väike nipp:

Kui sa ei tea, mida mõni nupp teeb, hoi a hiirekursorit sellel paar sekundit.

Ekraanile ilmub väike kiri, mis selgitab nupu tähendust.

See aitab kiiresti õppida ja ei pea kõike peast teadma!

Prooviülesanne: Võtmehoidja kujundamine NCCAD7 programmis

Eelnevalt oleme juba avanud uue töö ja salvestanud selle nimega Võtmehoidja. Nüüd hakkame sellele tööle kujundust looma – teeme lihtsa ja toreda võtmehoidja.

Uue töö avamine

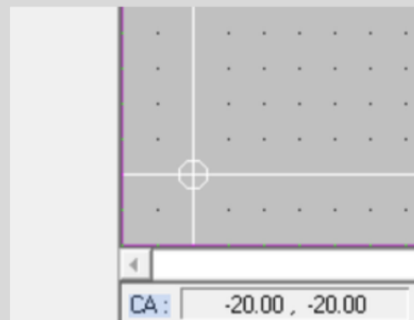
- Ava NCCAD7 programm.
- Vali ülevalt menüüribalt: File → CAD/CAM Milling → New drawing.
- Avaneb hall täppidega töölaud, kuhu hakkame kujundit joonistama. Salvesta töö kohe: File → Save as → votmehoidja → OK.

1. Nullpunkti seadmine

Enne joonistamist tuleb määrata nullpunkt – see on koht, kust masin hakkab hiljem tööriistaga liikuma ja tööd tegema.

Nullpunkt on nagu joonistuse alguskoht ehk “stardipunkt”.

- Ava CAM → Workpiece Zero Point
- Liiguta hiir soovitud kohta (nt 20 mm servast) - **CA 20.00, 20.00**
- Klõpsa vasaku hiirega – nullpunkt fikseeritakse
- Vajuta OK ja salvesta töö



Kujuta ette, et materjali servad on nagu joone ääred vihikus – sa ei kirjuta ju päris lehe servale, vaid natuke kaugemale. Sama kehtib ka siin, jäta servast umbes vahe 10 - 20 mm ja sealt hakkab töö pihta.

2. Kujundi joonestamine (CAD standard LINE tööriistaga)

1. Ava tööriist:

CAD standard → LINE

2. Määra alguspunkt:

Klõpsa tööala punktvõrgus soovitud kohas. (Ühe punkti vahe = 5 mm.)

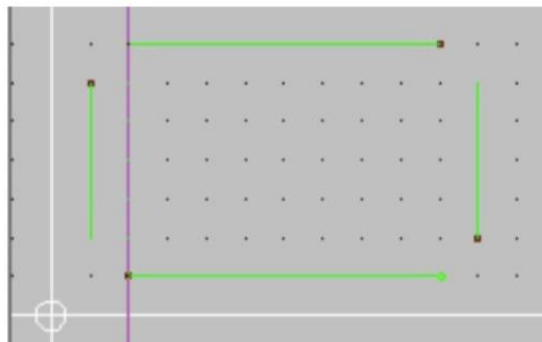
3. Määra suund ja pikkus:

Liiguta hiirt horisontaalselt või vertikaalselt. Klõpsa, kui pikkus sobib.

4. Jätka joonestamist:

Iga klõps loob uue sirgjoone.

Ristküliku tegemiseks joonesta neli külge järjest.



3. Kumerate nurkade loomine (CAD standard ARC tööriistaga)

1. Ava tööriist:

Vali vasakult CAD standard → ARC

2. Vali esimene sirgjoon:

Klõpsa esimese sirgjoone otsapunktile (nurgapunkt 1).

3. Vali teine sirgjoon:

Klõpsa teise sirgjoone otsapunktile (nurgapunkt 2), mis moodustab nurga.

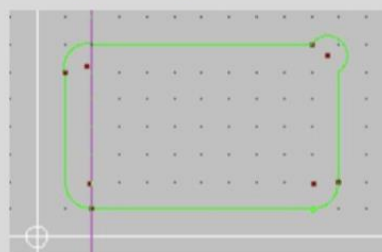
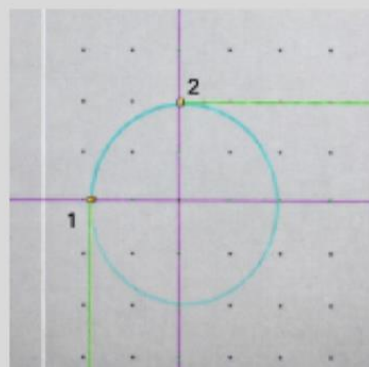
4. Kaare kinnitamine:

Programm loob sirgjoonte vahele ringi ehk ümardatud nurga.

Vajadusel liiguta hiirt, et valida sobiv kaare suund, ja klõpsa kinnitamiseks.

5. Korda kõikide nurkade puhul:

Tee analoogselt ümardus ka kõikidele ülejäänud nurkadele.



4. Võtmehoidja rõngaava joonestamine

1. Vali tööriist

Icon menu → CAD standard → CIRCLE

2. Määra keskpunkt

Klõpsa töölehel soovitud asukohas (riputusava keskpunkt).

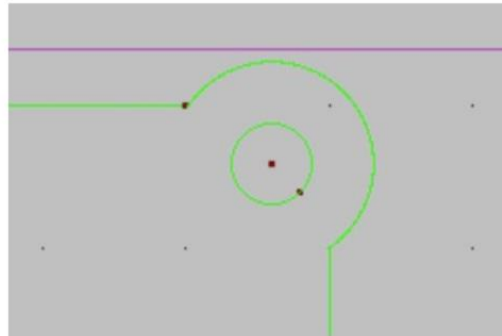
3. Määra läbimõõt

Liiguta hiirt keskpunktist eemale ja klõpsa sobival kaugusel.

Arvesta võtmerõnga mõõtu (nt ava \varnothing 5–8 mm).

4. Kontrolli asukohta

Veendu, et ava ei jääks liiga serva lähedale (materjal peab jääma piisavalt tugev).



5. Sisemise kontuuri joonestamine

Siserõngas joonestatakse samal põhimõttel nagu väliskontuur.

1. Joonesta sirgjooned (LINE):

Vali CAD standard → LINE

Joonesta sisemise kaju sirged lõigud punktivõrku kasutades (5 mm samm).

2. Loo ümardused (ARC):

Vali CAD standard → ARC

Klõpsa esimese sirgjoone otsapunktile.

Klõpsa teise sirgjoone otsapunktile.

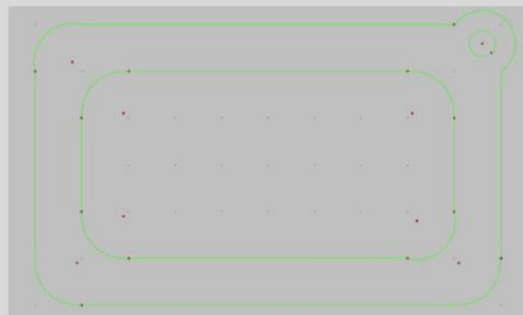
Programm loob nende vahele kaare.

3. Korda kõikide nurkade puhul:

Tee analoogselt ümardus kõikidele sisemise kontuuri nurkadele.

4. Kontrolli kontuuri:

Sisekontuur peab moodustama ühe suletud terviku ja olema väliskontuuriga paralleelne.



6. Teksti lisamine võtmehoidjale

1. Vali tööriist

Icon menu → CAD standard → TEXT
(või TRUE TEXT vastavalt vajadusele).

2. Määra alguspunkt

Klõpsa tööalal kohta, kuhu tekst peab algama.

3. Sisesta tekst

Kirjuta soovitud tekst klaviatuuriga.

4. Määra kõrgus ja suund

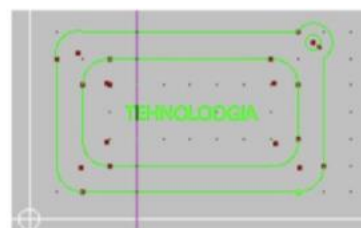
Sea sobiv tähe kõrgus (nt 5–10 mm).

Vajadusel määra teksti orientatsioon.

5. Kinnita

Vajuta ENTER või klõpsa kinnitamiseks.

Kui teksti suurus ei sobi, ava Edit → EDIT TEXT
ja klõpsa tekstil, kuni see muutub punaseks.
Avanenud aknas muuda väärtust Point (kirja
suurus) ja kinnita muudatus nupuga OK



7. Jooniste kontrollimine enne freesimist

1. Kontrolli, et joonis oleks õigel kohal ning asub töölaua NULLPUNKTI lähedal, mitte liiga servas. Nullpunkt peab olema nähtav ja joonis peab algama sellest ohutus kauguses (umbes 10 mm).

2. Kontrolli kontuure, kõik freesitavad kujundid peavad olema suletud kontuurid. Kui kontuur ei ole suletud, ei oska CNC-freespink seda korrektselt töödelda. Visuaalselt peab kujund moodustama ÜHE TERVIKU, ilma katkestusteta või lahtiste otsteta.

8. Graveerimise tehnoloogia seadistamine NCCAD7-s (TECHNOLOGY)

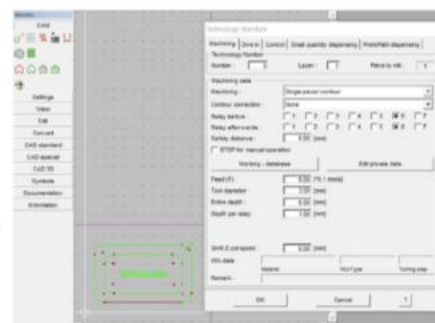
Ava freesimise tehnoloogia seadistamine

1. Vali menüüst CAM → TECHNOLOGY.

2. Tee esimene klõps joonisel asuvale mustale täpile (kontuuri alguspunkt).

3. Seejärel tee teine klõps joonise paremas ülemises nurgas, et määrata kogu kontuuri ulatus.

4. Avaneb Technology Standard aken, kus saab nüüd sisestada kõik vajalikud freesimise parameetrid (nt tööriista läbimõõt, sügavus, sammud jm).



9. Lõikeparameetrid lihtsas keeles: sügavus, samm, etteanne, freesi läbimõõt, ohutuskõrgus

Feed (F) :	<input type="text" value="5.00"/>	[*0.1 mm/s]
Tool diameter :	<input type="text" value="3.00"/>	[mm]
Entire depth :	<input type="text" value="5.00"/>	[mm]
Depth per step:	<input type="text" value="1.00"/>	[mm]

Feed (F) - Näitab, kui kiiresti frees liigub materjali lõigates.

– Väärtus 5.00 tähendab tegelikult 0,5 mm/s (sest mõõtühik on 0.1 mm/s).

– Mida suurem number, seda kiirem lõige – kuid liiga suur kiirus võib materjali rebenema panna.

Tool diameeter - Freesiotsiku läbimõõt millimeetrites.

– Sellisel juhul kasutatakse 3 mm läbimõõduga otsikut.

– See määrab, kui peeneid ja kitsaid lõikeid saab teha.

Entire depth - Materjali kogupaksus, mille frees peab läbi lõikama.

– Näites 5 mm, seega frees lõikab läbi kogu materjali.

Depth per step - Kui sügavalt frees läheb ühe korraga materjali sisse.

– Näites 1 mm, mis tähendab, et frees teeb 5 mm läbiloike viie eraldi sammuna (1 + 1 + 1 + 1 + 1).

– See hoiab tööriista ja materjali terve ning tagab puhta lõike.

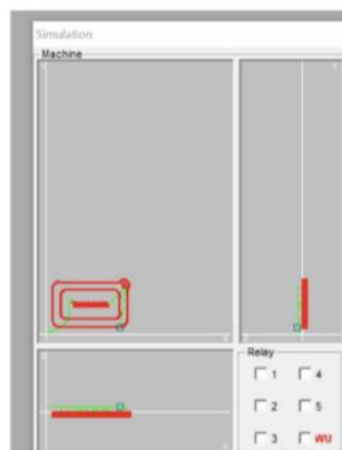
Parameetrid peavad sobima materjaliga

10. Simuleerimine

Simulation → Table käivitab virtuaalse freesimise, kus näed täpselt, kuidas joonis töölaual läbi lõigatakse.

See aitab kontrollida, kas:

1. Kontuurid on ühes tükis,
2. Frees liigub õigel teekonnal,
3. Lõikejärjestus on loogiline,
4. Sügavused ja suunad on õiged.



11. Faili salvestamine ja töö nime andmine

- 1.Kui joonis ja simulatsioon on korras, salvesta töö (**File** → **Save as**).
- 2.Alles pärast seda võib minna CNC-pingi juurde.

12. CNC-pingi ettevalmistus: tooriku kinnitamine ja tööala kontroll

- 1.Aseta toorik sirgelt CNC-pingi tööpinnale ja kinnita see kindlalt, et see freesimise ajal ei liiguks.
- 2.Kontrolli, et kinnitused ei jääks freesii liikumisteele.
- 3.Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
- 4.Veendu, et tööalal ei oleks lahtiseid esemeid.
- 5.Kontrolli, et freesil on piisavalt ruumi kogu töö ulatuses liikuda.

13. Freesi valik, kinnitamine ja freesi pikkuse mõõtmine (F12)

- 1.Vali kontuurimiseks sobiv sirge frees (nt Ø 3 mm), mis vastab materjali paksusele.
- 2.Kinnita frees kindlalt tsangi sisse, et see ei liiguks freesimise ajal.
- 3.Mõõda freesi pikkus vastava käsuga (nt F12), et CNC-pink teaks freesi täpset asendit.
- 4.Kontrolli, et mõõtmine oleks tehtud enne töö käivitamist.

14. Nullpunkti valimine/ kontroll pingis (End) ja „Run“ eelkontroll

- 1.Vali CNC-pingis õige töödetaali nullpunkt (workpiece zeropoint).
- 2.Vajuta End, et kontrollida, kas frees liigub õigesse alguspunkti.
- 3.Veendu, et nullpunkt asub tooriku pinnal ja õiges nurgas.
- 4.Enne Run-nupu vajutamist kontrolli:
- 5.Frees on kinnitatud,
- 6.Toorik on kinnitatud,
- 7.Spindel on valmis tööks,
- 8.Nullpunkt on õigesti seadistatud.
- 9.Graveerimine – Käivita töö käsuga "Run" ning jälgi freesimise ajal masina liikumist ja lõikeprotsessi, olles valmis vajadusel töö koheselt peatama.

Kasutatud kirjandus

- Lips, A. (2012). CNC freesipink tehnoloogiatunnis. MTÜ Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liit.
- Obi, S. (2016). Specific Safety Precautions in Operating CNC Machines. San José State University.
- Haridus- ja Teadusministeerium. (2015). Õpiväljundipõhise õppe kavandamise juhend. Tallinn.
- Tartu Ülikool. (2021). Üliõpilaste kirjalike tööde vormistamise juhend. Tartu: Tartu Ülikool.

LISA 5. CNC-tööpingi kasutamine tehnoloogiaõpetuses: ülesanded II kooliastme õpilastele

Õppematerjal: CNC-freesitud puidust lillekujuline kuumaalus Emadepäevaks (NCCAD 7.0 tarkvaras)



I PROJEKTI SISSEJUHATUS

1. Pildi põhjal kontuuri loomine ja eseme valmistamine CNC-freesiga

Selles töös saame olla nii kunstnikud kui ka tehnikavõlurid! Valime endale meelepärase pildi või joonistame ise ja loome sellest arvutis **kontuuri**, millest CNC-frees **lõikab välja** päris eseme: kuumaaluse, võtmehoidja, kuusehehte või mõne muu ägeda kujundi.

Oluline on, et kujund oleks **ühes tükis**, ilma lahtiste eraldiseisvate detailide või elementideta, et masin saaks selle ilusti välja freesida ja valmis ese jääks tugev.

Kui kontuur valmis, teeb CNC-frees meie idee päriselt teoks.

Head joonistamist ja meisterdamist!

2. Tööohutuse reeglid CNC-pingil

1. Kanna kaitseprille ja hoia pikad juuksed kinni,
 2. Ära pane käsi liikuvate osade lähedale, ära toetu pingile,
 3. Seadistusi (tööriista vahetus, tooriku kinnitamine, mõõtmine) tehakse ainult siis, kui spindel ei pöörle,
 4. Hoia tööala puhas,ööriista ja võtmed ei tohi jääda pingile,
 5. Hädaolukorras kasuta avariistoppi (E-Stop) ja teavita õpetajat
- (Lips, 2012; Obi, 2016)



3. Vajalikud töövahendid ja materjalid

1. Materjal: vineer (3-6 mm).
2. CNC – freespink + tolmueemaldus.
3. Freesid: kontuurfrees (ø3 mm).
4. Arvuti NCCAD7 – tarkvaraga.
5. Joonlaud/nihik, pliiaats, lihvpaber (120-240), viimistlusvahend (õli/lakk/värv).

Materjalid ja töövahendid valitakse vastavalt töö eesmärgile ja ohutusnõuetele!

II JOONISE ETTEVALMISTUS TARKVARAS

4. Nullpunkti seadistamine

Enne joonistamist tuleb määrata nullpunkt – see on koht, kust masin hakkab hiljem tööriistaga liikuma ja tööd tegema.

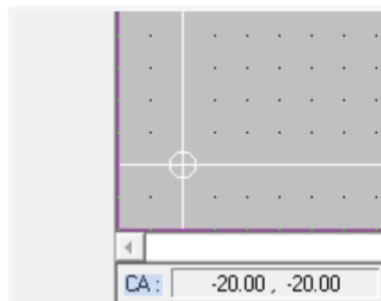
Nullpunkt on nagu joonistuse alguskoht ehk “stardipunkt”.

Ava CAM → Workpiece **Zero Point**

Liiguta hiir soovitud kohta (nt 20 mm servast) - **CA 20.00, 20.00**

Klõpsa vasaku hiirega – nullpunkt fikseeritakse

Vajuta **OK** ja salvesta töö



Kujuta ette, et materjali servad on nagu joone ääred vihikus – sa ei kirjuta ju päris lehe servale, vaid natuke kaugemale. Sama kehtib ka siin, jäta servast umbes vahe 10 - 20 mm ja seal hakkab töö pihta.

5. Kuidas pilt enne laadimist ettevalmistada?

1. Ava väljavalitud pilt oma arvutis

2. Kasuta tööriista „Lõika“ või „Visanda ja lõika“

- Märgista pildilt ainult see element või kujund, mida soovid freesida.
- Välgi üleliigset tausta.
- Ära vali liiga väikest või liiga suurt ala – jäta element tervikuna nähtavale.

3. Salvesta lõigatud pilt uuega

- Faili tüüp peab olema **.jpg**
- Anna failile selge nimi (nt *lill.jpg*, *kuuseehe.jpg*, *võtmehoidja.jpg*)

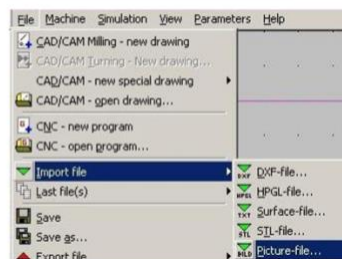


6. Pildi laadimine NCCAD7 tarkvarasse

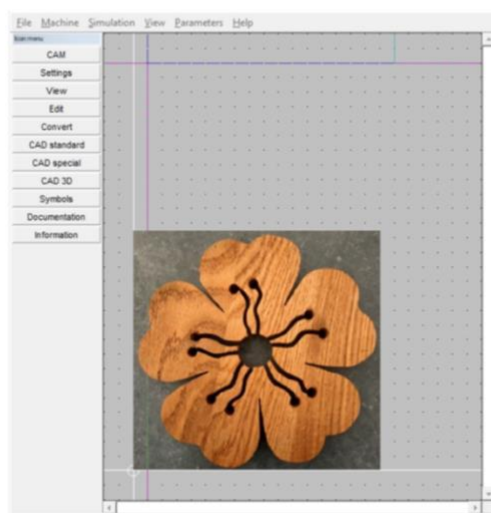
1. Ava pildi importimise menüü - Vali ülevalt **FILE** - Seejärel vali **Import picture file** (Ekraanile avaneb aknake, kust saab valida pildi oma arvutist.)

2. Vali sobiv pilt arvutist - Leia kaust, kuhu sinu pilt on salvestatud - Klõpsa failil (see peab olema .jpg, .gif või .bmp) - Vajuta **OPEN**

3. Too pilt tööalale nähtavale (NCCAD7 ei kuva pilti automaatselt), selleks tuleb see kahe klõpsuga „joonistada“ ekraanile - Klõpsa hiirega raamile sinna, kus oleks pildi alumine vasak nurk - Klõpsa teist korda sinna, kus oleks pildi ülemine parem nurk (Nüüd ilmub pilt tööalale ja seda saab vajadusel suurendada, vähendada või üle joonistada).



6. Pildi laadimine NCCAD7 tarkvarasse



7. Kujundi suuruse muutmine (SCALE tööriistaga)

1. Ava tööriist:

Edit → SCALE

2. Märgi joonis:

Tee vasakklõps joonise juures *vasakus alumises nurgas*, lohista hiirega *paremasse ülemisse nurka* ja klõpsa uuesti. (Joonis muutub hetkeks negatiivseks – valik õnnestus.)

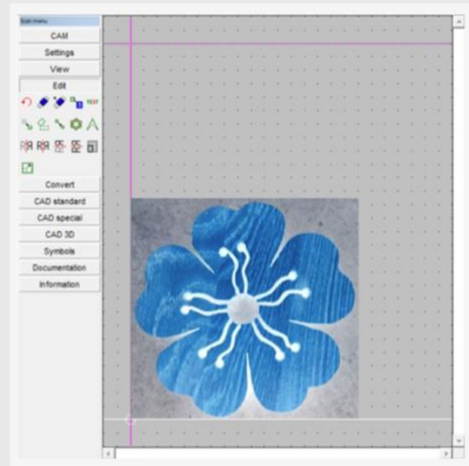
3. Määra uus suurus:

Klõpsa taas vasakusse alumisse nurka ja lohista, kuni tekib roheline skaleerimisraam.

Kasuta tööala punktvärku (10 mm samm), et hinnata mõõtu, nt 150 × 150 mm.

4. Kinnita:

Kui suurus sobib, tee lõplik klõps. Joonis muutub tagasi normaalseks ja on nüüd uues mõõdus.



8. Pildi suurendamine täpsemaks kontuuride joonestamiseks

Enne joonestamise alustamist suurenda pilti, et kõik servad ja detailid oleksid selgelt nähtavad.

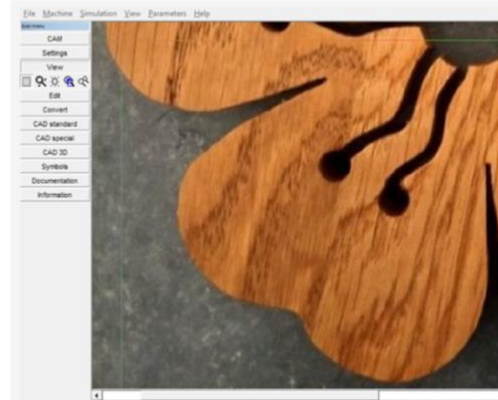
Vali menüüst **VIEW** → **CHOOSE DETAIL** ning märgi hiirega ala, mida soovid lähivaates näha.

Märkimiseks:

kliki pildi **paremas ülanurgas** soovitud punktis;

seejärel liigu hiirega **vasakusse alanurka (nullpunkti)** ja kliki uuesti.

Valitud ala suurendatakse ning kuvatakse ekraanil suuremana, võimaldades täpsemat joonestamist.



9. Kontuuri joonestamine pildi järgi (Polygon)

1. Vasakust tööriistaribast vali **CAD special** - klõpsa 5. ikoonil (**CURVE APPROXIMATION**)

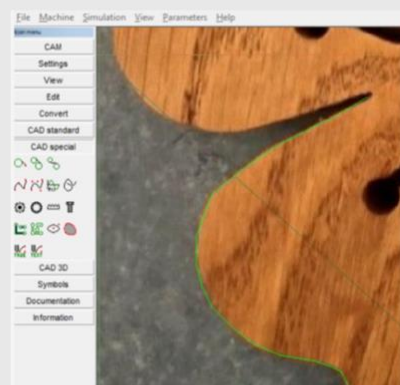
2. **Joonista kontuur samm-sammult** - klõpsa esimene punkt pildi serva peale - liigu natuke edasi ja klõpsa järgmine - nii liigud mööda kogu kuju ringi (*Iga klõps loob uue sirgjoone lõigu. Tööriist ühendab kõik punktid järjest – nii tekib üks terviklik kontuur.*)

3. **Pildi liigutamine töölaul kontuuri joonestamise jätkamiseks**

Kontuuri joonestamist ei pea katkestama. Kui soovid pilti paremini näha või edasi liikuda, saad töölauda nihutada **töölauda külgedel olevate noolenupude** abil. Nii saad mugavalt jätkata kontuurimist täpselt seal, kus vaja.

4. **Kontuuri lõpetamine** - kui jõuad tagasi alguspunkti, tee **topeltklõps** või vajuta klaviatuuril **ENTER** (kontuur muutub roheliseks → see tähendab, et **kuju on terve ja suletud**).

5. **Tee väikeste lõikudega** - nii tuleb kuju täpsem. Kui läks valesti, vajuta **UNDO** (punane kõver joon). **Ara jäta lõhet või katkist joont**, sest CNC ei lõika katkiseid kujundeid (kontuur peab olema suletud).



10. Kontuuride alt pildi eemaldamine

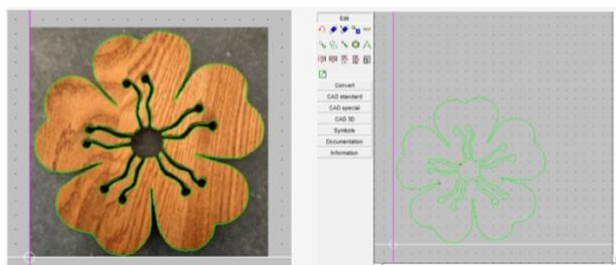
1. **VIEW** → **TABLE VIEW** – pildi taastamine algseesse suurusesse

Kui soovid näha pilti jälle selle esialgses suuruses või tervet töölauda korraga, vali **VIEW** → **TABLE VIEW**.

Töölaual vaade lähtestub ja pilt kuvatakse oma algse mõõdus.

2. **Pildi eemaldamine kontuuri alt** - Kui kontuur on üle joonistatud ja pilt enam vajalik pole, eemalda see käsuga:

EDIT → **DELETE**, Seejärel klõpsa pildil (piisab isegi ühest nurgaklikist). Pilt kaob ning alles jääb ainult sinu roheline kontuur



11. Joonise kontroll enne freesimist

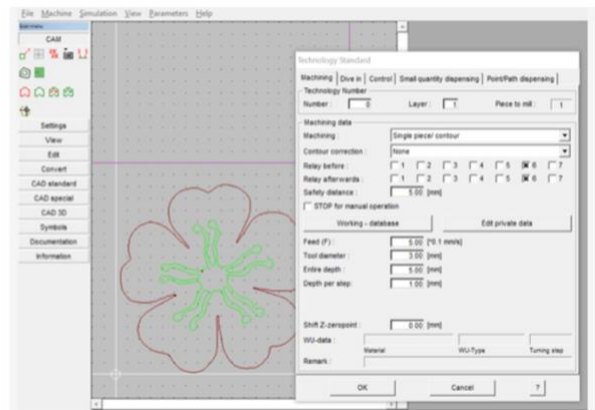
1. **Kontrolli, et joonis oleks õigel kohal ning asub töölaua NULLPUNKTI lähedal, mitte liiga servas.** Nullpunkt peab olema nähtav ja joonis peab algama sellest ohutus kauguses (umbes 10 mm).
 2. **Kontrolli kontuure,** kõik freesitavad kujundid peavad olemas suletud kontuurid. Kui kontuur ei ole suletud, ei oska CNC-freespink seda korrektselt töödelda. Visuaalselt peab kujund moodustama **ÜHE TERVIKU**, ilma katkestusteta või lahtiste otsteta.
- (Lips, 2012).

III FREESIMISE SEADISTAMINE TARKVARAS

12. Freesimise tehnoloogia seadistamine NCCAD7-s (TECHNOLOGY)

Ava freesimise tehnoloogia seadistamine

1. Vali menüüst CAM → **TECHNOLOGY**.
2. Tee **esimene klõps** joonisel asuvale **mustale täpile** (kontuuri alguspunkt).
3. Seejärel tee **teine klõps** joonise **paremas ülemises nurgas**, et määrata kogu kontuuri ulatus.
4. Avaneb **Technology Standard** aken, kus saab nüüd sisestada kõik vajalikud freesimise parameetrid (nt tööriista läbimõõt, sügavus, sammud jm).



13. Lõikeparameetrid lihtsas keeles: sügavus, samm, etteanne, freesi läbimõõt, ohutuskõrgus

Feed (F) - Näitab, kui kiiresti frees liigub materjali lõigates.

– Väärtus 5.00 tähendab tegelikult 0,5 mm/s (sest mõõtühik on 0.1 mm/s).

– Mida suurem number, seda kiirem lõige – kuid liiga suur kiirus võib materjali rebenema panna.

Tool diameter - Freesiotsiku läbimõõt millimeetrites.

– Sellisel juhul kasutatakse 3 mm läbimõõduga otsikut.

– See määrab, kui peeneid ja kitsaid lõikeid saab teha.

Entire depth - Materjali kogupaksus, mille frees peab läbi lõikama.

– Näites 5 mm, seega frees lõikab läbi kogu materjali.

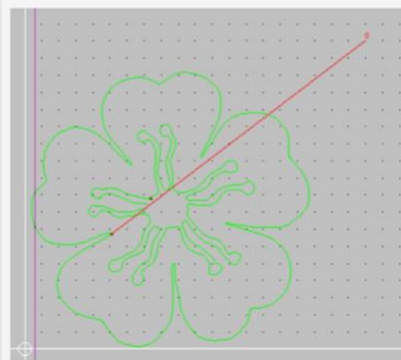
Depth per step - Kui sügavalt frees läheb ühe korraga materjali sisse.

– Näites 1 mm, mis tähendab, et frees teeb 5 mm läbiloike viie eraldi sammuna (1 + 1 + 1 + 1 + 1).

– See hoiab tööriista ja materjali terve ning tagab puhta lõike.

Parameetrid peavad sobima materjaliga (Lips, 2012).

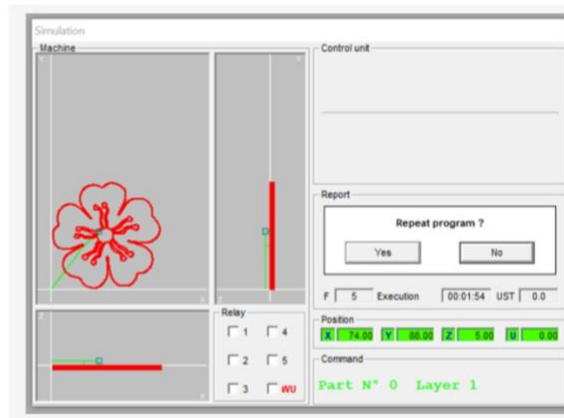
Feed (F) : 5.00 [*0.1 mm/s]
Tool diameter : 3.00 [mm]
Entire depth : 5.00 [mm]
Depth per step: 1.00 [mm]



14. Simuleerimine

Simulation → **Table** käivitab virtuaalse freesimise, kus näed täpselt, kuidas joonis töölaual läbi lõigatakse. See aitab kontrollida, kas:

1. Kontuurid on ühes tükis,
2. Frees liigub õigel teekonnal,
3. Lõikejärjestus on loogiline,
4. Sügavused ja suunad on õiged.



15. Faili salvestamine ja töö nime andmine

1. Kui joonis ja simulatsioon on korras, salvesta töö (**File** → **Save as**).
2. Alles pärast seda võib minna CNC-pingi juurde.

IV TÖÖ ETTEVALMISTUS CNC-PINGIL, FREESIMINE

16. CNC-pingi ettevalmistus: tooriku kinnitamine ja tööala kontroll

1. Aseta toorik sirgelt CNC-pingi tööpinnale ja **kinnita see kindlalt**, et see freesimise ajal ei liiguks.
2. Kontrolli, et kinnitused ei jääks freesi liikumisteele.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Veendu, et tööalal ei oleks lahtiseid esemeid.
5. Kontrolli, et freesil on piisavalt ruumi kogu töö ulatuses liikuda.

(Lips, 2012)

17. Freesi valik, kinnitamine ja freesi pikkuse mõõtmine (F12)

1. Vali **freesimiseks sobiv frees** (nt \varnothing 1,2 - 3 mm), mis vastab materjali paksusele. Peenete ja akitsaste lõigete tegemiseks kasutada peenemat freesi ja välisserva freesimiseks kasuta jämedamat freesi.
2. Kinnita frees kindlalt tsangi sisse, et see ei liiguks freesimise ajal.
3. Mõõda freesi pikkus vastava käsuga (nt **F12**), et CNC-pink teaks freesi täpset asendit.
4. Kontrolli, et mõõtmine oleks tehtud enne töö käivitamist.

(Lips, 2012)

18. Nullpunkti valimine/ kontroll pingis (End) ja „Run“ eelkontroll

1. Vali CNC-pingis õige **töödetali nullpunkt** (workpiece zeropoint).
2. Vajuta **End**, et kontrollida, kas frees liigub õigesse alguspunkti.
3. Veendu, et nullpunkt asub tooriku pinnal ja õiges nurgas.
4. Enne **Run**-nupu vajutamist kontrolli:
5. Frees on kinnitatud,
6. Toorik on kinnitatud,
7. Spindel on valmis tööks,
8. Nullpunkt on õigesti seadistatud.
9. **Freesimine** – Käivita töö käsuga “Run” ning jälgi freesimise ajal masina liikumist ja lõikeprotsessi, olles valmis vajadusel töö koheselt peatama.

19. Pärast freesimist: detaili eemaldamine, puhastus, kvaliteedikontroll

1. Oota, kuni frees ja spindel on täielikult peatunud.
2. Eemalda detail ettevaatlikult CNC-pingilt.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Kontrolli detaili kvaliteeti:
5. Kas kontuur on terve ja puhas,
6. Kas detail on õiges mõõdus,
7. Kas servad vajavad lihvimist.

V VIIMISTLUS JA KVALITEEDIKONTROLL

20. Viimistlus: lihvimine ja pinnatöötlus (lakk/õli/värv)

1. Lihvi detaili servad ja pinnad, et eemaldada teravad ääred ja ebatasasused.
2. Alusta jämedama lihvpaberiga ja lõpeta peenema lihvpaberiga.
3. Puhasta detail tolmust enne pinnatöötlust.
4. Kata pind lakiga, õliga või värviga vastavalt juhendile.
5. Lase detailil enne kasutamist korralikult kuivada.



Kasutatud kirjandus

- Lips, A. (2012). *CNC freespink tehnoloogiatunnis*. MTÜ Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liit.
- Obi, S. (2016). *Specific Safety Precautions in Operating CNC Machines*. San José State University.
- Haridus- ja Teadusministeerium. (2015). *Õpiväljundipõhise õppe kavandamise juhend*. Tallinn.
- Tartu Ülikool. (2021). *Üliõpilaste kirjalike tööde vormistamise juhend*. Tartu: Tartu Ülikool.

Õppematerjal: CNC-freesitud puidust kivilips (NCCAD 7.0 tarkvaras)



Paberist puiduni: CNC-freesiga oma kivilipsu loomine (NCCAD7 tarkvaras)
– II kooliaste
Anna Repnau

I PROJEKTI SISSEJUHATUS

1. Pildi põhjal kontuuri loomine ja eseme valmistamine CNC-freesiga

Selles projektis saame olla nii moedisainerid kui tehnikameistrid! Kõigepealt kavandame oma unikaalse kivilipsu **paberile**, täpselt sellise kuju ja mustriaga, nagu ise soovime. Kui kavand valmis, teeme sellest **foto** ning laadime selle **NCCAD7 tarkvarasse**, kus hakkame pildi järgi looma täpset **kontuuri**.

Kontuurist saabki oma kivilipsu „skeletiks“, mille järgi CNC-frees hiljem puidust päris eseme välja lõikab. Seetõttu on väga tähtis, et kavand:

- koosneks **ühest terviklikust kujundist**,
- **ei sisaldaks eraldiseisvaid väikseid tükke**, mis töötamisel lahti kukuksid,
- oleks piisavalt tugevate joonte ja siledate ühendustega.

Kui digitaalne kontuur valmis, annab CNC-frees sellele elu ning masin freesib puidust välja just sellise kivilipsu, nagu sina kavandasid. Tulemuseks on **päris kandmiseks sobiv puidust kivilips**, mille disainer oled sina ise!

Head kavandamist, joonestamist ja freesimist!

2. Tööohutuse reeglid CNC-pingil

1. Kanna kaitseprille ja hoiä pikad juuksed kinni,
 2. Ära pane käsi liikuvate osade lähedale, ära toetu pingile,
 3. Seadistusi (tööriista vahetus, tooriku kinnitamine, mõõtmine) tehakse ainult siis, kui spindel ei pöörle,
 4. Hoiä tööala puhas,ööriista ja võtmed ei tohi jääda pingile,
 5. Hädaolukorras kasuta avariistoppi (E-Stop) ja teavita õpetajat
- (Lips, 2012; Obi, 2016)



3. Vajalikud töövahendid ja materjalid

1. Materjal: vineer (3-6 mm).
2. CNC – freespink + tolmueemaldus.
3. Freesid: kontuurfrees ($\varnothing 3$ mm).
4. Arvuti NCCAD7 – tarkvaraga.
5. Joonlaud/nihik, pliiaats, lihvpaber (120-240), viimistlusvahend (õli/lakk/värv).

Materjalid ja töövahendid valitakse vastavalt töö eesmärgile ja ohutusnõuetele!

II KIKILIPSU KAVANDI LOOMINE PABERIL

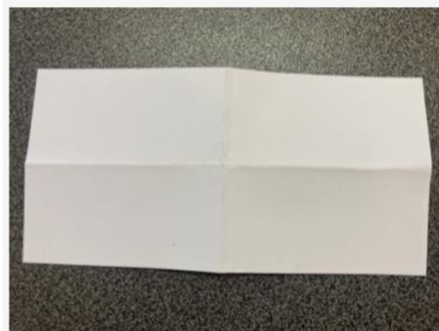
Alustuseks kujunda oma kivilipsu paberil, see aitab kujundit paremini planeerida ja tagab, et see sobib ka päriselus hästi kaela ümber.

1. Võta sobiva suurusega paber.

Soovitav kivilipsu kavandi suurus on **umbes 120 × 60 mm**, kuid võid selle teha ka suurema või väiksema, vastavalt kandja eelistusele.

2. Murdmise abil tekivad keskjooned.

- Murda paber **pikisuunas pooleks**.
- Seejärel murra paber **ristisuunas pooleks**.
- Ava paber, murdejooned märgivad kivilipsu keskpunkti ning aitavad sul kujundit sümmeetriliselt ja korrektselt paigutada. *Piisab ühest poolest, sest arvutis saame selle hiljem **peegeldada**, et tekiks täiuslikult sümmeetriline kivilips.*



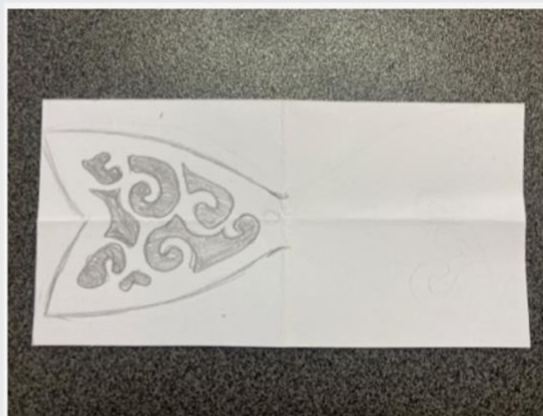
3. Hakka oma kivilipsu kuju kavandama.

Kasuta murdejooni abijoonena ning joonista kivilipsu kontuur mõlemale poole võrdselt, et tulemus oleks sümmeetriline ja ilus.

Võid lisada kaunistuse, mustri või erikujulised otsad – peaasi, et **kujund jääks ühe tervikuna**, ilma lahtiste osadeta, et seda oleks võimalik CNC-freesiga välja lõigata.

4. Kavandi pildistamine ja salvestamine

Tee oma kavandist foto. Salvesta foto arvutisse ja pane sellele pealkiri.



III JOONISE ETTEVALMISTUS TARKVARAS

4. Nullpunkti seadistamine

Enne joonistamist tuleb määrata nullpunkt – see on koht, kust masin hakkab hiljem tööriistaga liikuma ja tööd tegema.

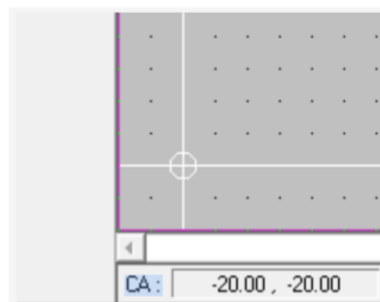
Nullpunkt on nagu joonistuse alguskoht ehk “stardipunkt”.

Ava CAM → Workpiece **Zero Point**

Liiguta hiir soovitud kohta (nt 20 mm servast) - **CA 20.00, 20.00**

Klõpsa vasaku hiirega – nullpunkt fikseeritakse

Vajuta **OK** ja salvesta töö



Kujuta ette, et materjali servad on nagu joone ääred vihikus – sa ei kirjuta ju päris lehe servale, vaid natuke kaugemale. Sama kehtib ka siin, jätta servast umbes vahe 10 - 20 mm ja seal hakkab töö pihta.

5. Kuidas pilt enne laadimist ettevalmistada?

1. Tee foto oma kavandatud kivilipsust.

Pildista oma joonistust nii, et kivilips oleks selgelt ja teravalt näha.

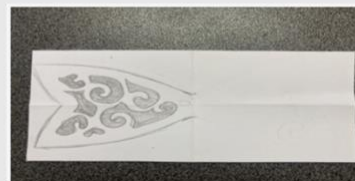
2. Ava foto arvutis.

3. Kasuta tööriista „Lõika“ või „Visanda ja lõika“.

- Märgista pildilt ainult see kujund, mida soovid CNC-freesiga valmistada.
- Välti üleliigset tausta ja segavaid elemente.
- Jälgi, et kivilips jääks lõigatud alal täielikult nähtavale (ära lõika servadest maha).

4. Salvesta lõigatud pilt uue failina.

Faili tüüp peab olema **.jpg**

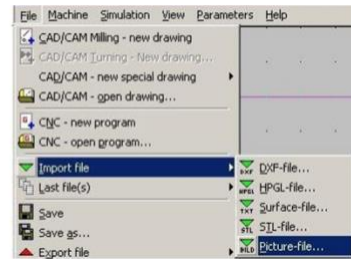


6. Pildi laadimine NCCAD7 tarkvarasse

1. Ava pildi importimise menüü - Vali ülevalt **FILE** - Seejärel vali **Import picture file** (Ekraanile avaneb aknake, kust saab valida pildi oma arvutist.)

2. Vali sobiv pilt arvutist - Leia kaust, kuhu sinu pilt on salvestatud - Klõpsa failil (see peab olema .jpg, .gif või .bmp) - Vajuta **OPEN**

3. Too pilt tööalale nähtavale (NCCAD7 ei kuva pilti automaatselt), selleks tuleb see kahe klõpsuga „joonistada“ ekraanile - Klõpsa hiirega raamile sinna, kus oleks pildi alumine vasak nurk - Klõpsa teist korda sinna, kus oleks pildi ülemine parem nurk (Nüüd ilmub pilt tööalale ja seda saab vajadusel suurendada, vähendada või üle joonistada).



6. Pildi laadimine NCCAD7 tarkvarasse



7. Kujundi suuruse muutmine (SCALE tööriistaga)

1. Ava tööriist:

Edit → SCALE

2. Märki joonis:

Tee vasakklõps joonise juures *vasakus alumises nurgas*, lohista hiirega *paremasse ülemisse nurka* ja klõpsa uuesti.

(Joonis muutub hetkeks negatiivseks – valik õnnestus.)

3. Määra uus suurus:

Klõpsa taas vasakusse alumisse nurka ja lohista, kuni tekib roheline skaleerimisraam.

Kasuta tööala punktvärku (10 mm samm), et hinnata mõõtu, nt **150 × 150 mm**.

4. Kinnita:

Kui suurus sobib, tee lõplik klõps. Joonis muutub tagasi normaalseks ja on nüüd uues mõõdus.



8. Pildi suurendamine täpsemaks kontuuride joonestamiseks

Enne joonestamise alustamist suurenda pilti, et kõik servad ja detailid oleksid selgelt nähtavad.

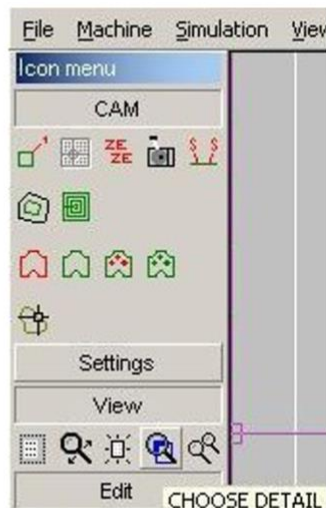
Vali menüüst **VIEW** → **CHOOSE DETAIL** ning märki hiirega ala, mida soovid lähivaates näha.

Märkimiseks:

kliki pildi **paremas ülanurgas** soovitud punktis;

seejärel liigu hiirega **vasakusse alanurka (nullpunkti)** ja klikki uuesti.

Valitud ala suurendatakse ning kuvatakse ekraanil suuremana, võimaldades täpsemat joonestamist.



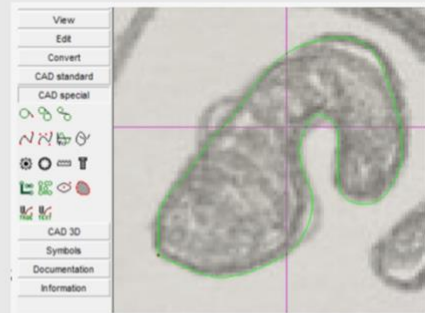
9. Kontuuri joonestamine pildi järgi (Polygon)

1. Vasakust tööriistaribast vali **CAD special** - klõpsa
5. ikoonil (**CURVE APPROXIMATION**)

2. **Joonista kontuur samm-sammult** - klõpsa esimene punkt pildi serva peale - liigu natuke edasi ja klõpsa järgmine - nii liigud mööda kogu kuju ringi (*Iga klõps loob uue sirgjoone lõigu. Tööriist ühendab kõik punktid järjest – nii tekib üks terviklik kontuur.*)

3. **Pildi liigutamine töölaul kontuuri joonestamise jätkamiseks**
Kontuuri joonestamist ei pea katkestama. Kui soovid pilti paremini näha või edasi liikuda, saad töölauda nihutada **töölauda külgedel olevate noolenupude** abil. Nii saad mugavalt jätkata kontuurimist täpselt seal, kus vaja.

4. **Kontuuri lõpetamine** - kui jõuad tagasi alguspunkti, tee **topeltklõps** või vajuta klaviatuuril **ENTER** (kontuur muutub roheliseks → see tähendab, et **kuju on terve ja suletud**).



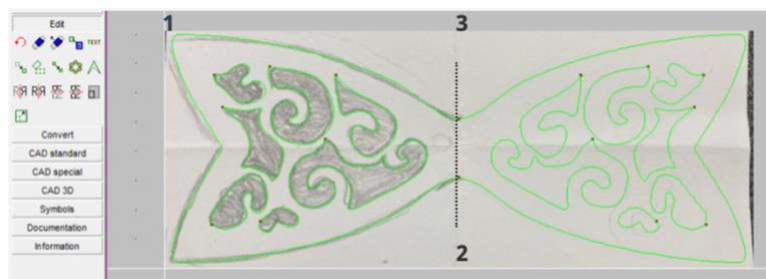
10. Kontuuride peegeldamine (vertikaalne)

Kui oled ühe poole kihilipsust valmis joonestanud, ei pea teist poolt uuesti käsitsi tegema.

Peegeldamiseks kasutame funktsiooni **EDIT → MIRROR VERTICAL kasutamine**: Ava **EDIT → MIRROR VERTICAL**.

Klõpsa **punkt 1** – Klõpsa **punkt 2** – Klõpsa **punkt 3**, et kinnitada operatsioon topeltklõpsuga.

Veendu, et telg jäi täpselt kihilipsu keskele, muidu peegeldus ei õnnestu korrektselt.



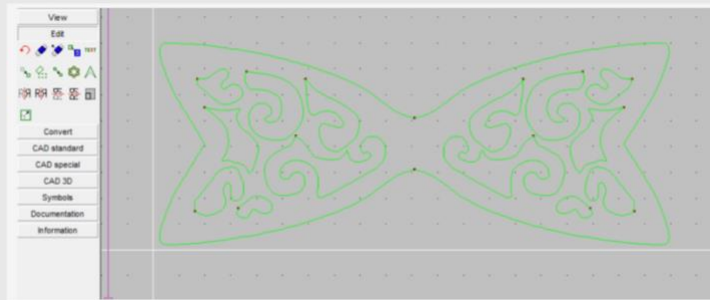
11. Kontuuride alt pildi eemaldamine

1. VIEW → TABLE VIEW – pildi taastamine algsesse suurusesse

Kui soovid näha pilti jälle selle esialgses suuruses või tervet töölauda korraga, vali **VIEW → TABLE VIEW**. Töölaual vaade lähtestub ja pilt kuvatakse oma algses mõõdus.

2. **Pildi eemaldamine kontuuri alt** - Kui kontuur on üle joonistatud ja pilt enam vajalik pole, eemalda see käsuga:

EDIT → DELETE, Seejärel klõpsa pildil (piisab isegi ühest nurgaklikist). Pilt kaob ning alles jääb ainult sinu roheline kontuur



12. Joonise kontroll enne freesimist

1. **Kontrolli, et joonis oleks õigel kohal ning asub töölauda NULLPUNKTI lähedal**, mitte liiga servas. Nullpunkt peab olema nähtav ja joonis peab algama sellest ohutus kauguses (umbes 10 mm).
2. **Kontrolli kontuure**, kõik freesitavad kujundid peavad olemas suletud kontuurid. Kui kontuur ei ole suletud, ei oska CNC-freespink seda korrektselt töödelda. Visuaalselt peab kujund moodustama **ÜHE TERVIKU**, ilma katkestusteta või lahtiste otsteta.

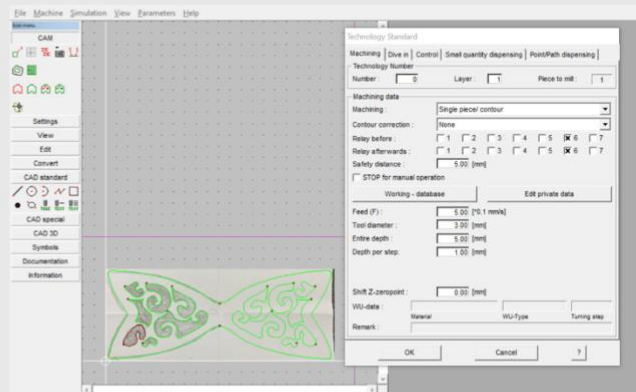
(Lips, 2012).

IV FREESIMISE SEADISTAMINE TARKVARAS

13. Freesimise tehnoloogia seadistamine NCCAD7-s (TECHNOLOGY)

Ava freesimise tehnoloogia seadistamine

1. Vali menüüst CAM → TECHNOLOGY.
2. Tee esimene klõps joonisel asuvale **mustale täpile** (kontuuri alguspunkt).
3. Seejärel tee teine klõps joonise **paremas ülemises nurgas**, et määrata kogu kontuuri ulatus.
4. Avaneb **Technology Standard** aken, kus saab nüüd sisestada kõik vajalikud freesimise parameetrid (nt tööriista läbimõõt, sügavus, sammud jm).



14. Lõikeparameetrid lihtsas keeles: sügavus, samm, etteanne, freesi läbimõõt, ohutuskõrgus

Feed (F) - Näitab, kui kiiresti frees liigub materjali lõigates.

- Väärtus 5.00 tähendab tegelikult **0,5 mm/s** (sest mõõtühik on 0.1 mm/s).
- Mida suurem number, seda kiirem lõige – kuid liiga suur kiirus võib materjali rebenema panna.

Tool diameter - Freesiotsiku läbimõõt millimeetrites.

- Sellisel juhul kasutatakse **3 mm** läbimõõduga otsikut.
- See määrab, kui peeneid ja kitsaid lõikeid saab teha.

Entire depth - Materjali kogupaksus, mille frees peab läbi lõikama.

- Näites **5 mm**, seega frees lõikab läbi kogu materjali.

Depth per step - Kui sügavalt frees läheb ühe korraga materjali sisse.

- Näites **1 mm**, mis tähendab, et frees teeb 5 mm läbilõike viie eraldi sammuna (1 + 1 + 1 + 1 + 1).
- See hoiab tööriista ja materjali terve ning tagab puhta lõike.

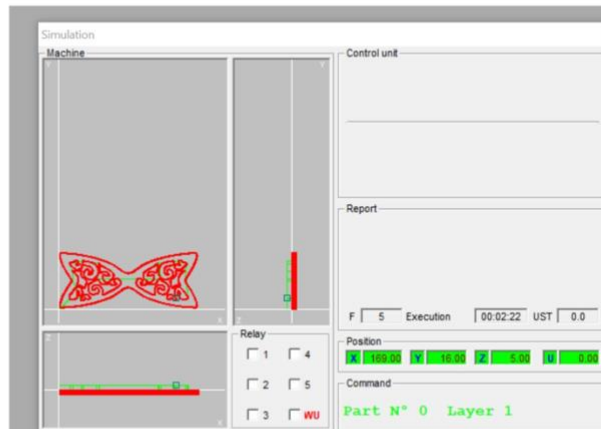
Parameetrid peavad sobima materjaliga (Lips, 2012).

Feed (F) :	<input type="text" value="5.00"/>	[*0.1 mm/s]
Tool diameter :	<input type="text" value="3.00"/>	[mm]
Entire depth :	<input type="text" value="5.00"/>	[mm]
Depth per step:	<input type="text" value="1.00"/>	[mm]

15. Simuleerimine

Simulation → **Table** käivitab virtuaalse freesimise, kus näed täpselt, kuidas joonis töölaual läbi lõigatakse. See aitab kontrollida, kas:

1. Kontuurid on ühes tükis,
2. Frees liigub õigel teekonnal,
3. Lõikejärjestus on loogiline,
4. Sügavused ja suunad on õiged.



16. Faili salvestamine ja töö nime andmine

1. Kui joonis ja simulatsioon on korras, salvesta töö (**File** → **Save as**).
2. Alles pärast seda võib minna CNC-pingi juurde.

18. Freesi valik, kinnitamine ja freesi pikkuse mõõtmine (F12)

1. Vali **freesimiseks sobiv frees** (nt Ø 1,2 - 3 mm), mis vastab materjali paksusele. Peenete ja akitsaste lõigete tegemiseks kasutada peenemat freesi ja välisserva freesimiseks kasuta jämedamat freesi.
2. Kinnita frees kindlalt tsangi sisse, et see ei liiguks freesimise ajal.
3. Mõõda freesi pikkus vastava käsuga (nt **F12**), et CNC-pink teaks freesi täpset asendit.
4. Kontrolli, et mõõtmine oleks tehtud enne töö käivitamist.

(Lips, 2012)

V TÖÖ ETTEVALMISTUS CNC-PINGIL, FREESIMINE

17. CNC-pingi ettevalmistus: tooriku kinnitamine ja tööala kontroll

1. Aseta toorik sirgelt CNC-pingi tööpinnaile ja **kinnita see kindlalt**, et see freesimise ajal ei liiguks.
2. Kontrolli, et kinnitused ei jääks freesi liikumisteele.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Veendu, et tööalal ei oleks lahtiseid esemeid.
5. Kontrolli, et freesil on piisavalt ruumi kogu töö ulatuses liikuda.

(Lips, 2012)

18. Freesi valik, kinnitamine ja freesi pikkuse mõõtmine (F12)

1. Vali **freesimiseks sobiv frees** (nt Ø 1,2 - 3 mm), mis vastab materjali paksusele. Peenete ja akitsaste lõigete tegemiseks kasutada peenemat freesi ja välisserva freesimiseks kasuta jämedamat freesi.
2. Kinnita frees kindlalt tsangi sisse, et see ei liiguks freesimise ajal.
3. Mõõda freesi pikkus vastava käsuga (nt **F12**), et CNC-pink teaks freesi täpset asendit.
4. Kontrolli, et mõõtmine oleks tehtud enne töö käivitamist.

(Lips, 2012)

19. Nullpunkti valimine/ kontroll pingis (End) ja „Run“ eelkontroll

1. Vali CNC-pingis õige **töödetali nullpunkt** (workpiece zeropoint).
2. Vajuta **End**, et kontrollida, kas frees liigub õigesse alguspunkti.
3. Veendu, et nullpunkt asub tooriku pinnal ja õiges nurgas.
4. Enne **Run**-nupu vajutamist kontrolli:
5. Frees on kinnitatud,
6. Toorik on kinnitatud,
7. Spindel on valmis tööks,
8. Nullpunkt on õigesti seadistatud.
9. **Freesimine** – Käivita töö käsuga “Run” ning jälgi freesimise ajal masina liikumist ja lõikeprotsessi, olles valmis vajadusel töö koheselt peatama.

20. Pärast freesimist: detaili eemaldamine, puhastus, kvaliteedikontroll

1. Oota, kuni frees ja spindel on täielikult peatunud.
2. Eemalda detail ettevaatlikult CNC-pingilt.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Kontrolli detaili kvaliteeti:
5. Kas kontuur on terve ja puhas,
6. Kas detail on õiges mõõdus,
7. Kas servad vajavad lihvimist.

VI VIIMISTLUS JA KVALITEEDIKONTROLL

21. Viimistlus: lihvimine ja pinnatöötlus (lakk/õli/värv)

1. Lihvi detaili servad ja pinnad, et eemaldada teravad ääred ja ebatasasused.
2. Alusta jämedama lihvpaperiga ja lõpeta peenema lihvpaperiga.
3. Puhasta detail tolmust enne pinnatöötlust.
4. Kata pind lakiga, õliga või värviga vastavalt juhendile.
5. Lase detailil enne kasutamist korralikult kuivada.



Kasutatud kirjandus

Lips, A. (2012). *CNC freespink tehnoloogiatus*. MTÜ Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liit.

Obi, S. (2016). *Specific Safety Precautions in Operating CNC Machines*. San José State University.

Haridus- ja Teadusministeerium. (2015). *Õpiväljundipõhise õppe kavandamise juhend*. Tallinn.

Tartu Ülikool. (2021). *Üliõpilaste kirjalike tööde vormistamise juhend*. Tartu: Tartu Ülikool.

LISA 6. CNC-tööpingi kasutamine tehnoloogiaõpetuses: ülesanded III kooliastmele

Õppematerjal: CNC-freesitud puidust hoiukarp liugkaanega (NCCAD 7.0 tarkvaras)



I PROJEKTI SISSEJUHATUS

1. Magnetiga liugkaanega puidust hoiukarbi kavandamine ja valmistamine CNC-freesiga

Selles projektis kavandame ja valmistame puidust liugkaanega magnetkarbi, mis sobib õmblusnõelte ning peenikeste trelli- ja CNC-puuride hoiustamiseks.

Karbi sisse paigaldatakse magnet, mille külge metallist töövahendid kinnituvad ja püsivad kindlalt paigal. Liugkaan kaitseb sisu ning võimaldab karpide mugavalt avada ja sulgeda.

Valmistame kavandi, joonestame selle digitaalselt ning lõikame detailid välja CNC-freesiga. Oluline on arvestada täpseid mõõtmeid, materjali paksust, magneti paigutust.

Tulemuseks on praktiline ja vastupidav hoiukarp, mille disainer ja valmistaja oled sina ise.

Head kavandamist, joonestamist ja freesimist!

2. Tööohutuse reeglid CNC-pingil

1. Kanna kaitseprille ja hoiä pikad juuksed kinni,
 2. Ära pane käsi liikuvate osade lähedale, ära toetu pingile,
 3. Seadistusi (tööriista vahetus, tooriku kinnitamine, mõõtmine) tehakse ainult siis, kui spindel ei pöörle,
 4. Hoiä tööala puhas,ööriista ja võtmed ei tohi jääda pingile,
 5. Hädaolukorras kasuta avariistoppi (E-Stop) ja teavita õpetajat
- (Lips, 2012; Obi, 2016)



3. Vajalikud töövahendid ja materjalid

1. Materjal: vineer (3-6 mm).
2. CNC – freespink + tolmueemaldus.
3. Freesid: kontuurfrees (ø3 mm).
4. Arvuti NCCAD7 – tarkvaraga.
5. Joonlaud/nihik, pliiats, lihvpaber (120-240), viimistlusvahend (õli/lakk/värv).

Materjalid ja töövahendid valitakse vastavalt töö eesmärgile ja ohutusnõuetele!

II HOIUKARBI KAVANDI LOOMINE

Enne joonestamist tuleb läbi mõelda:

- **Karbi pikkus ja laius** – need määravad, kas hoiustatavad nõelad ja puurid mahuvad karpi ning kui mugav on neid sealt kätte saada.
- **Materjali paksus** – sellest sõltuvad detailide mõõtmed, ühenduskohad ning kogu konstruktsiooni tugevus.
- **Vahelülide arv** – nende arv määrab karbi sisekõrguse ja seega, kui palju esemeid karpi mahub.
- **Karbi sügavus** – sügavus kujuneb materjali paksuse ja vahelülide arvu põhjal ning peab sobima hoiustatavate esemete pikkusega. Karbi sügavus sõltub materjali paksusest ja vahelülide arvust.

Vahelülid on raamidetailid, millel freesitakse nii sisemine ava kui ka välimine kontuur. Need liimitakse hiljem kihiti üksteise peale, et moodustada karbi kõrgus.

Magneti jaoks ava puuritakse hiljem ainult vahelülidesse, sest see tagab täpse paigalduse ning CNC-freesiga ei ole vaja seda eraldi töödelda.

II HOIUKARBI KAVANDI LOOMINE

- **Magneti paigutus** – magnet peab paiknema vahelülis või põhja läheduses nii, et konstruktsioon säiliks tugev ja magnet toimiks efektiivselt.
- **Sügavama hoiukarbi valmistamine:**
Kui soovitakse sügavat karpi, tuleb alumise osa jaoks joonestada ja freesida **2–3 vahelüli detaili**, mis liimitakse kihiti üksteise peale.
- **Magneti paigaldus:**
Karbi põhja kinnitatakse hiljem **magnetriba**, mille külge kinnituvad õmblusnõelad või peenemad puurid. Magnetipesa või süvend puuritakse vajadusel ainult vahelülidesse.
- **Oluline:** Freesida tuleb kaks komplekti joonestatud detaile – hoiukarbi **ülemine osa** ja **alumise osa**. Mõlemad pooled peavad olema mõttudelt identsed, et karp sulguks korrektselt.

III JOONISE ETTEVALMISTUS TARKVARAS

4. Nullpunkti seadistamine

Enne joonistamist tuleb määrata nullpunkt – see on koht, kust masin hakkab hiljem tööriistaga liikuma ja tööd tegema.

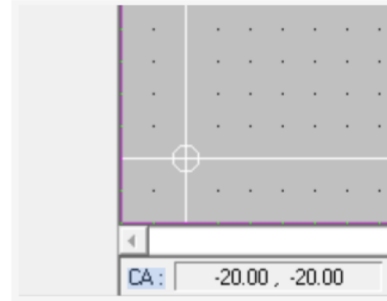
Nullpunkt on nagu joonistuse alguskoht ehk “stardipunkt”.

Ava CAM → Workpiece **Zero Point**

Liiguta hiir soovitud kohta (nt 20 mm servast) - **CA 20.00, 20.00**

Klõpsa vasaku hiirega – nullpunkt fikseeritakse

Vajuta **OK** ja salvesta töö



Kujuta ette, et materjali servad on nagu joone ääred vihikus – sa ei kirjuta ju päris lehe servale, vaid natuke kaugemale. Sama kehtib ka siin, jätta servast umbes vahe 10 - 20 mm ja seal hakkab töö pihta.

5. Kujundi joonestamine (CAD standard LINE tööriistaga)

1. Ava tööriist:

CAD standard → **LINE**

2. Määra alguspunkt:

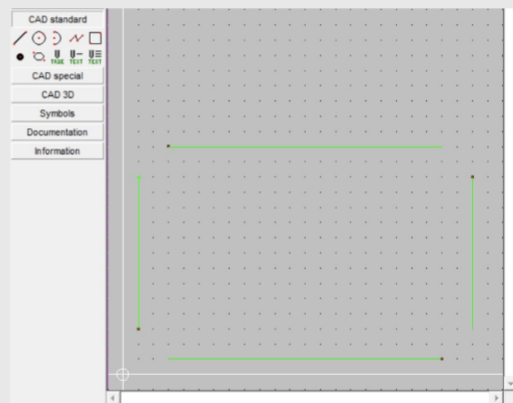
Klõpsa tööala punktvõrgus soovitud kohas.
(Ühe punkti vahe = **5 mm**.)

3. Määra suund ja pikkus:

Liiguta hiirt horisontaalselt või vertikaalselt.
Klõpsa, kui pikkus sobib.

4. Jätka joonestamist:

Iga klõps loob uue sirgjoone.
Ristküliku tegemiseks joonesta neli külge järjest.



6. Kumerate nurkade loomine (CAD standard ARC tööriistaga)

1. Ava tööriist:

Vali vasakult **CAD standard** → **ARC**

2. Vali esimene sirgjoon:

Klõpsa esimese sirgjoone otsapunktile (nurgapunkt 1).

3. Vali teine sirgjoon:

Klõpsa teise sirgjoone otsapunktile (nurgapunkt 2), mis moodustab nurga.

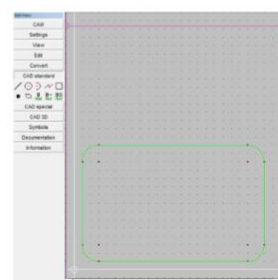
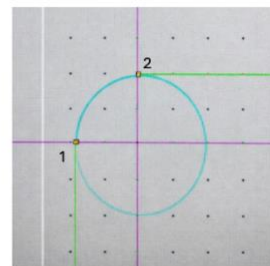
4. Kaare kinnitamine:

Programm loob sirgjoonte vahele ringi ehk ümardatud nurga.

Vajadusel liiguta hiirt, et valida sobiv kaare suund, ja klõpsa kinnitamiseks.

5. Korda kõikide nurkade puhul:

Tee analoogselt ümardus ka kõikidele ülejäänud nurkadele.



7. Kujundi kopeerimine (EDIT COPY tööriistaga)

1. Ava tööriist:

Vali menüüst **EDIT** → **COPY**

2. Märgi kujund:

Klõpsa kujundi vasakus alumises nurgas (punkt 1) ja lohista hiirega paremasse ülemisse nurka (punkt 2).

(Joonis muutub hetkeks negatiivseks – valik õnnestus.)

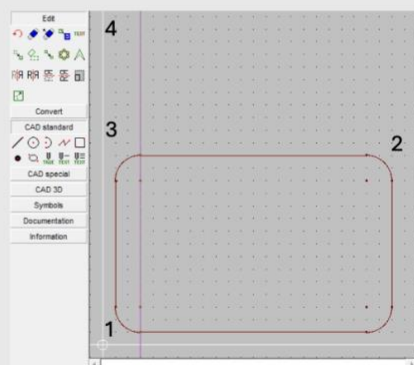
3. Määra kopeerimise alguspunkt:

Klõpsa valitud kujundil punktile, millest soovid kopeerimist alustada (nt alumine (punkt 3) vasak nurk).

4. Määra uus asukoht:

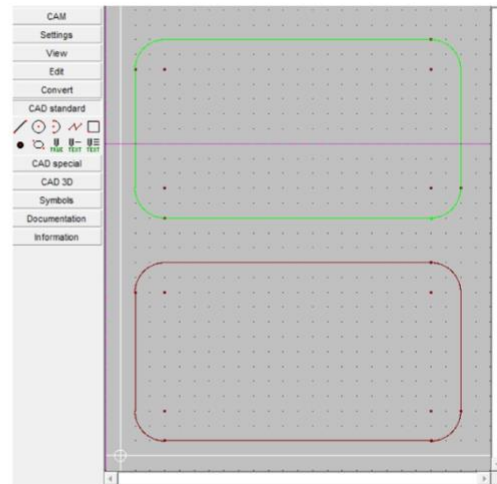
Liiguta hiirt soovitud kohta ja klõpsa (punkt 4).

Kujund kopeeritakse uude asukohta.



8. Kujundi kopeerimine (EDIT COPY tööriistaga)

- Kooopia on mõõtudelt ja kujult täpselt sama.
- Jäta detailide vahele piisav vahe freesimiseks.



9. Hoiukarbi vaheringi ja magnetipesa kavandamine (CAD standart LINE ja ARC funktsiooniga)

Sisemine ring joonestatakse samal põhimõttel nagu põhidetall – kasutades sirgjooni ja kaari.

1. Joonesta sirgjooned (LINE):

Vali **CAD standard** → **LINE**

Joonesta sisemise kuju sirged lõigud punktvõrku kasutades (5 mm samm).

2. Loo kumerad ühendused (ARC):

Vali **CAD standard** → **ARC**

Klõpsa esimese sirgjoone otsapunktile.

Klõpsa teise sirgjoone otsapunktile.

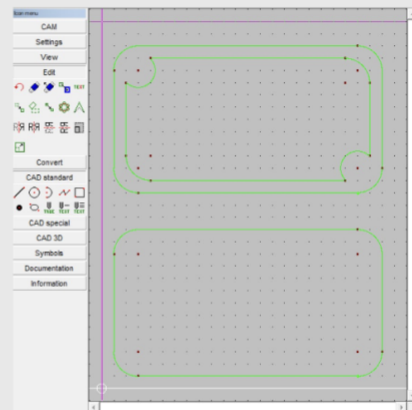
Programm loob nende vahele kaare.

3. Korda kõigi nurkade puhul:

Tee analoogselt ümardus kõikidele sisemistele nurkadele.

4. Kontrolli kontuuri:

Sisemine kuju peab moodustama ühe suletud terviku.



10. Joonise kontroll enne freesimist

1. **Kontrolli, et joonis oleks õigel kohal ning asub töölaua NULLPUNKTI lähedal, mitte liiga servas.** Nullpunkt peab olema nähtav ja joonis peab algama sellest ohutus kauguses (umbes 10 mm).
 2. **Kontrolli kontuure, kõik freesitavad kujundid peavad olemas suletud kontuurid.** Kui kontuur ei ole suletud, ei oska CNC-freespink seda korrektselt töödelda. Visuaalselt peab kujund moodustama **ÜHE TERVIKU**, ilma katkestusteta või lahtiste otsteta.
- (Lips, 2012).

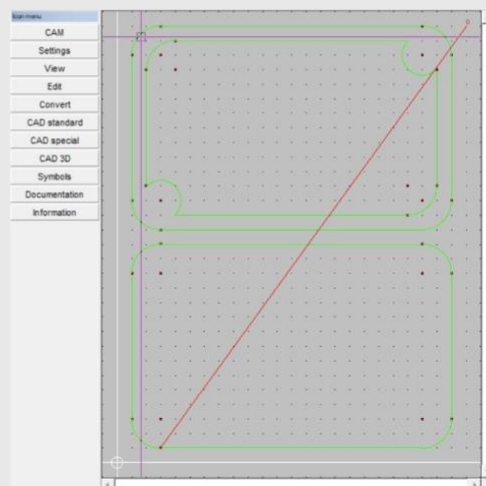
IV FREESIMISE SEADISTAMINE TARKVARAS

11. Freesimise tehnoloogia seadistamine NCCAD7-s (TECHNOLOGY)

Materjalist lõigatakse välja kokku **4 detaili**: põhi, kaas ja kaks vahedetaili. Magnetiavad ei freesita CNC-ga välja, need puuritakse hiljem trelliga vastavalt magneti läbimõõdule.

Ava freesimise tehnoloogia seadistamine

1. Vali menüüst **CAM** → **TECHNOLOGY**.
2. Tee **esimene klõps** joonisel asuvale **mustale täpile** (kontuuri alguspunkt).
3. Seejärel tee **teine klõps** joonise **paremas ülemises nurgas**, et määrata kogu kontuuri ulatus.
4. Avaneb **Technology Standard** aken, kus saab nüüd sisestada kõik vajalikud freesimise parameetrid (nt tööriista läbimõõt, sügavus, sammud jm).



12. Lõikeparameetrid lihtsas keeles: sügavus, samm, etteanne, freesi läbimõõt, ohutuskõrgus

Feed (F) - Näitab, kui kiiresti frees liigub materjali lõigates.

- Väärtus *5.00* tähendab tegelikult **0,5 mm/s** (sest mõõtühik on *0.1 mm/s*).
- Mida suurem number, seda kiirem lõige – kuid liiga suur kiirus võib materjali rebenema panna.

Tool diameter - Freesiotsiku läbimõõt millimeetrites.

- Sellisel juhul kasutatakse **3 mm** läbimõõduga otsikut.
- See määrab, kui peeneid ja kitsaid lõikeid saab teha.

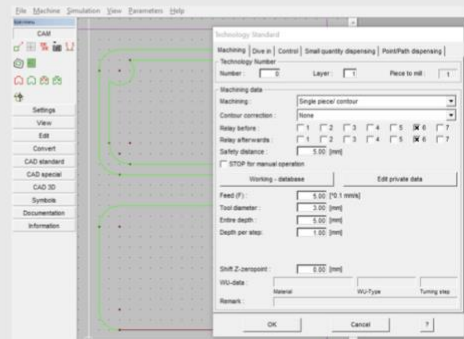
Entire depth - Materjali kogupaksus, mille frees peab läbi lõikama.

- Näites on materjali paksus **5 mm**, seega frees lõikab läbi kogu materjali.
- Tegelik väärtus sõltub kasutatava materjali paksusest.

Depth per step - Kui sügavalt frees läheb ühe korraga materjali sisse.

- Näites **1 mm**, mis tähendab, et frees teeb 5 mm läbilõike viie eraldi sammuna ($1 + 1 + 1 + 1 + 1$).
- See hoiab tööriista ja materjali terve ning tagab puhta lõike.

Parameetrid peavad sobima materjaliga (Lips, 2012).



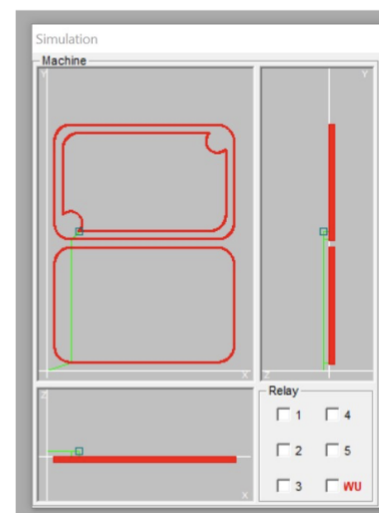
Feed (F) :	5.00	[*0.1 mm/s]
Tool diameter :	3.00	[mm]
Entire depth :	5.00	[mm]
Depth per step:	1.00	[mm]

13. Simuleerimine

Enne freesimist kontrollida alati, kas kõik detailid lõigatakse õigel sügavusel ja õigel trajektoorigil.

Simulation → **Table** käivitab virtuaalse freesimise, kus näed täpselt, kuidas joonis töölaual läbi lõigatakse. See aitab kontrollida, kas:

1. Kontuurid on ühes tükis,
2. Frees liigub õigel teekonnal,
3. Lõikejärjestus on loogiline,
4. Sügavused ja suunad on õiged.



14. Faili salvestamine ja töö nime andmine

1. Kui joonis ja simulatsioon on korras, salvesta töö (**File** → **Save as**).
2. Alles pärast seda võib minna CNC-pingi juurde.

V TÖÖ ETTEVALMISTUS CNC-PINGIL, FREESIMINE

15. CNC-pingi ettevalmistus: tooriku kinnitamine ja tööala kontroll

1. Aseta toorik sirgelt CNC-pingi tööpinnaile ja **kinnita see kindlalt**, et see freesimise ajal ei liiguks.
2. Kontrolli, et kinnitused ei jääks freesi liikumisteele.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Veendu, et tööalal ei oleks lahtiseid esemeid.
5. Kontrolli, et freesil on piisavalt ruumi kogu töö ulatuses liikuda.

(Lips, 2012)

16. Freesi valik, kinnitamine ja freesi pikkuse mõõtmine (F12)

1. Vali **freesimiseks sobiv frees** (nt Ø 1,2 - 3 mm), mis vastab materjali paksusele. Peenete ja akitsaste lõigete tegemiseks kasutada peenemat freesi ja välisserva freesimiseks kasuta jämedamat freesi.
2. Kinnita frees kindlalt tsangi sisse, et see ei liiguks freesimise ajal.
3. Mõõda freesi pikkus vastava käsuga (nt **F12**), et CNC-pink teaks freesi täpset asendit.
4. Kontrolli, et mõõtmine oleks tehtud enne töö käivitamist.

(Lips, 2012)

17. Nullpunkti valimine/ kontroll pingis (End) ja „Run“ eelkontroll

1. Vali CNC-pingis õige **töödetalli nullpunkt** (workpiece zeropoint).
2. Vajuta **End**, et kontrollida, kas frees liigub õigesse alguspunkti.
3. Veendu, et nullpunkt asub tooriku pinnal ja õiges nurgas.
4. Enne **Run**-nupu vajutamist kontrolli:
5. Frees on kinnitatud,
6. Toorik on kinnitatud,
7. Spindel on valmis tööks,
8. Nullpunkt on õigesti seadistatud.
9. **Freesimine** – Käivita töö käsuga “Run” ning jälgi freesimise ajal masina liikumist ja lõikeprotsessi, olles valmis vajadusel töö koheselt peatama.

18. Pärast freesimist: detaili eemaldamine, puhastus, kvaliteedikontroll

1. Oota, kuni frees ja spindel on täielikult peatunud.
2. Eemalda detail ettevaatlikult CNC-pingilt.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Kontrolli detaili kvaliteeti:
5. Kas kontuur on terve ja puhas,
6. Kas detail on õiges mõõdus,
7. Kas servad vajavad lihvimist.

VI VIIMISTLUS JA KVALITEEDIKONTROLL

19. Hoiukarbi kokkupanek ja viimistlus

1. **Magneti avade puurimine** – Enne detailide kokkuliimimist puuritakse vahelülide kahte nurka avad, mis vastavad kasutatava magneti läbimõõdule.
2. **Magneti paigaldamine** – Pärast puurimist paigldatakse magnetid avadesse ja kinnitatakse liimi abil, et need püsiksid kindlalt paigal.
3. **Detailide kokkuliimimine** – Kui magnetid on paigaldatud, liimitakse detailid kihiti kokku: põhi + 1 vahelüli ja kaas + 1 vahelüli. Hoiukarbi kõrgus sõltub vahelülide arvust sest vahelülid liimitakse üksteise peale. Vajadusel saab karbi kõrgust suurendada, lisades rohkem vahelülisid. Liimimisel tuleb detailid joondada täpselt õksteise peale.



VI VIIMISTLUS JA KVALITEEDIKONTROLL

20. Hoiukarbi kokkupanek ja viimistlus

4. **Servade korrigeerimine** – Pärast liimi kuivamist kontrollitakse serv. Vajadusel lihvitakse servad lihvpaberiga, korrigeeritakse kuju ning soovi korral võib hoiukarbi servad freesiga kergelt ümardada
5. **Viimistlus** – Lõpuks töeldakse hoiukarbi ping lakiga, õliga või värviga.



Kasutatud kirjandus

- Lips, A. (2012). *CNC freespink tehnoloogiatunnis*. MTÜ Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liit.
- Obi, S. (2016). *Specific Safety Precautions in Operating CNC Machines*. San José State University.
- Haridus- ja Teadusministeerium. (2015). *Õpiväljundipõhise õppe kavandamise juhend*. Tallinn.
- Tartu Ülikool. (2021). *Üliõpilaste kirjalike tööde vormistamise juhend*. Tartu: Tartu Ülikool.

Õppematerjal: CNC-freesitud puidust võtmekapi ukse paneel (NCCAD 7.0 tarkvaras)



I PROJEKTI SISSEJUHATUS

1. Pildi põhjal kontuuri loomine ja eseme valmistamine CNC-freesiga

Selles töös saame olla nii kunstnikud kui ka tehnikavõlurid! Valime endale meelepärase pildi või joonistame ise ja loo sellest arvutis **kontuuri**, millest **CNC-frees lõikab välja** päris eseme: kuumaaluse, võtmehoidja, kuuseehte või mõne muu ägeda kujundi.

Oluline on, et kujund oleks **ühes tükis**, ilma lahtiste eraldiseisvate detailide või elementideta, et masin saaks selle ilusti välja freesida ja valmis ese jääks tugev.

Kui kontuur valmis, teeb CNC-frees meie idee päriselt teoks.

Head joonistamist ja meisterdamist!

2. Tööohutuse reeglid CNC-pingil

1. Kanna kaitseprille ja hoida pikad juuksed kinni,
 2. Ära pane käsi liikuvate osade lähedale, ära toetu pingile,
 3. Seadistusi (tööriista vahetus, tooriku kinnitamine, mõõtmine) tehakse ainult siis, kui spindel ei pöörle,
 4. Hoida tööala puhas,ööriista ja võtmed ei tohi jääda pingile,
 5. Hädaolukorras kasuta avariistoppi (E-Stop) ja teavita õpetajat
- (Lips, 2012; Obi, 2016)



3. Vajalikud töövahendid ja materjalid

1. Materjal: vineer (3-6 mm).
2. CNC – freespink + tolmueemaldus.
3. Freesid: kontuurfrees (ø3 mm).
4. Arvuti NCCAD7 – tarkvaraga.
5. Joonlaud/nihik, pliats, lihvpaber (120-240), viimistlusvahend (õli/lakk/värv).

Materjalid ja töövahendid valitakse vastavalt töö eesmärgile ja ohutusnõuetele!

II JOONISE ETTEVALMISTUS TARKVARAS

4. Nullpunkti seadistamine

Enne joonistamist tuleb määrata nullpunkt – see on koht, kust masin hakkab hiljem tööriistaga liikuma ja tööd tegema.

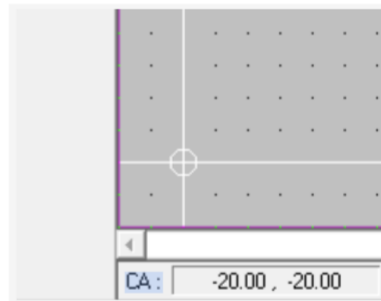
Nullpunkt on nagu joonistuse alguskoht ehk “stardipunkt”.

Ava CAM → Workpiece **Zero Point**

Liiguta hiir soovitud kohta (nt 20 mm servast) - **CA 20.00, 20.00**

Klõpsa vasaku hiirega – nullpunkt fikseeritakse

Vajuta **OK** ja salvesta töö



Kujuta ette, et materjali servad on nagu joone ääred vihikus – sa ei kirjuta ju päris lehe servale, vaid natuke kaugemale. Sama kehtib ka siin, jäta servast umbes vahe 10 - 20 mm ja seal hakkab töö pihta.

5. Kuidas pilt enne laadimist ettevalmistada?

1. Ava väljavalitud pildi oma arvutis

2. Kasuta tööriista „Lõika“ või „Visanda ja lõika“

Märgista pildilt ainult see element või kujund, mida soovid freesida.

Välgi üleliigset tausta.

Ära vali liiga väikest või liiga suurt ala – jäta element tervikuna nähtavale.

3. Salvesta lõigatud pilt uuega

Faili tüüp peab olema **.jpg**

Anna failile selge nimi (nt *uks.jpg*, *kuusuksepaneel.jpg*)

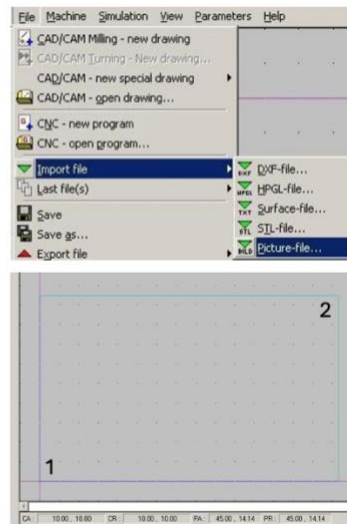


6. Pildi laadimine NCCAD7 tarkvarasse

1. **Ava pildi importimise menüü** - Vali ülevalt **FILE** - Seejärel vali **Import picture file** (Ekraanile avaneb aknake, kust saab valida pildi oma arvutist.)

2. **Vali sobiv pilt arvutist** - Leia kaust, kuhu sinu pilt on salvestatud - Klõpsa failil (see peab olema .jpg, .gif või .bmp) - Vajuta **OPEN**

3. **Too pilt tööalale nähtavale** (NCCAD7 ei kuva pilti automaatselt), selleks tuleb see **kahe klõpsuga „joonistada“** ekraanile - Klõpsa hiirega raamile sinna, kus oleks pildi **alumine vasak nurk** - Klõpsa teist korda sinna, kus oleks pildi **ülemine parem nurk** (Nüüd ilmub pilt tööalale ja seda saab vajadusel suurendada, vähendada või üle joonistada).



7. Kujundi suuruse muutmine (SCALE tööriistaga)

1. **Ava tööriist:**

Edit → SCALE

2. **Märgi joonis:**

Tee vasakklõps joonise juures *vasakus alumises nurgas*, lohista hiirega *paremasse ülemisse nurka* ja klõpsa uuesti.

(Joonis muutub hetkeks negatiivseks – valik õnnestus.)

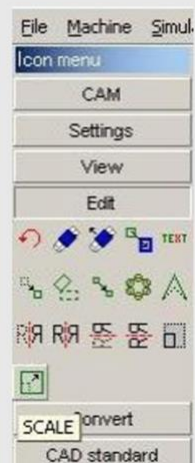
3. **Määra uus suurus:**

Klõpsa taas vasakusse alumisse nurka ja lohista, kuni tekib roheline skaleerimisraam.

Kasuta tööala punktvõrku (10 mm samm), et hinnata mõõtu, nt **300 × 400 mm**.

4. **Kinnita:**

Kui suurus sobib, tee lõplik klõps. Joonis muutub tagasi normaalseks ja on nüüd uues mõõdus.



8. Pildi suurendamine täpsemaks kontuuride joonestamiseks

Enne joonestamise alustamist suurenda pilti, et kõik servad ja detailid oleksid selgelt nähtavad.

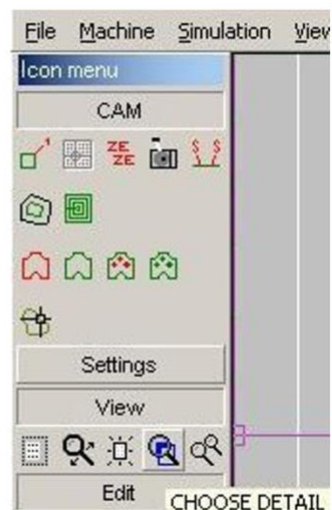
Vali menüüst **VIEW** → **CHOOSE DETAIL** ning märgi hiirega ala, mida soovid lähivaates näha.

Märkimiseks:

kliki pildi **paremas ülanurgas** soovitud punktis;

seejärel liigu hiirega **vasakusse alanurka (nullpunkti)** ja kliki uuesti.

Valitud ala suurendatakse ning kuvatakse ekraanil suuremana, võimaldades täpsemat joonestamist.



9. Kontuuri joonestamine pildi järgi (Polygon)

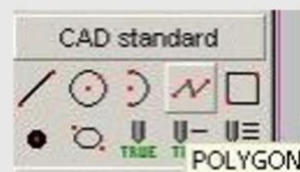
1. Vasakust tööriistaribast vali **CAD special** - klõpsa 5. ikoonil (**CURVE APPROXIMATION**)

2. **Joonista kontuur samm-sammult** - klõpsa esimene punkt pildi serva peale - liigu natuke edasi ja klõpsa järgmine - nii liigud mööda kogu kuju ringi (*Iga klõps loob uue sirgjoone lõigu. Tööriist ühendab kõik punktid järjest – nii tekib üks terviklik kontuur.*)

3. **Pildi liigutamine töölaul kontuuri joonestamise jätkamiseks**

Kontuuri joonestamist ei pea katkestama. Kui soovid pilti paremini näha või edasi liikuda, saad töölauda nihutada **töölauda külgedel olevate noolenupude** abil. Nii saad mugavalt jätkata kontuurimist täpselt seal, kus vaja.

4. **Kontuuri lõpetamine** - kui jõuad tagasi alguspunkti, tee **topeltklõps** või vajuta klaviatuuril **ENTER** (kontuur muutub roheliseks → see tähendab, et **kuju on terve ja suletud**).

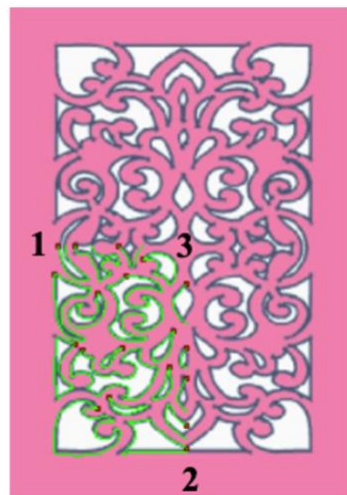


10. Kontuuride peegeldamine (vertikaalne)

Kui oled ühe neljandikust võtmekapi ukse esipaneelist valmis joonestanud, ei pea ülejäänud uuesti käsitsi tegema. Peegelda joonestatud kontuur vertikaalselt, et moodustada pool esipaneelist.

Vertikaalseks peegeldamiseks kasutame funktsiooni **EDIT → MIRROR VERTICAL**

Klõpsa **punkt 1** – Klõpsa **punkt 2** – Klõpsa **punkt 3**, et kinnitada operatsioon.

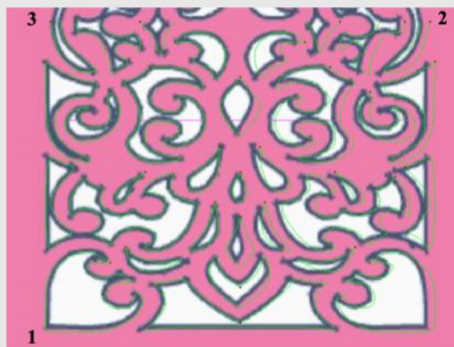


11. Kontuuride peegeldamine (horisontaalne)

Pärast vertikaalset peegeldamist on pool võtmekapi ukse esipaneelist valmis. Selleks, et saada terviklik esipaneel, peegelda saadud muster horisontaalselt. Nii valmib kogu esipaneel.

Horisontaalseks peegeldamiseks kasutame funktsiooni **EDIT → MIRROR HORIZONTALLY**

Klõpsa **punkt 1** – Klõpsa **punkt 2** – Klõpsa **punkt 3**, et kinnitada operatsioon.



12. Kontuuride alt pildi eemaldamine

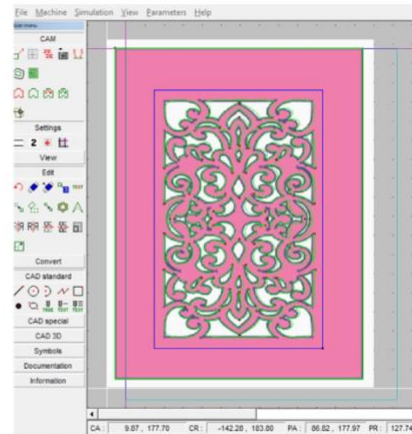
1. VIEW → TABLE VIEW – pildi taastamine algseesse suurusesse

Kui soovid näha pilti jälle selle esialgses suuruses või tervet töölauda korruga, vali **VIEW → TABLE VIEW**.

Töölaual vaade lähtestub ja pilt kuvatakse oma algse mõõdus.

2. Pildi eemaldamine kontuuri alt - Kui kontuur on üle joonistatud ja pilt enam vajalik pole, eemalda see käsuga:

EDIT → DELETE, Seejärel klõpsa pildil (piisab isegi ühest nurgaklikist). Pilt kaob ning alles jääb ainult sinu roheline kontuur



13. Joonise kontroll enne freesimist

1. **Kontrolli, et joonis oleks õigel kohal ning asub töölauda NULLPUNKTI lähedal**, mitte liiga servas. Nullpunkt peab olema nähtav ja joonis peab algama sellest ohutus kauguses (umbes 10 mm).
2. **Kontrolli kontuure**, kõik freesitavad kujundid peavad olemas suletud kontuurid. Kui kontuur ei ole suletud, ei oska CNC-freespink seda korrektselt töödelda. Visuaalselt peab kujund moodustama **ÜHE TERVIKU**, ilma katkestusteta või lahtiste otsteta.

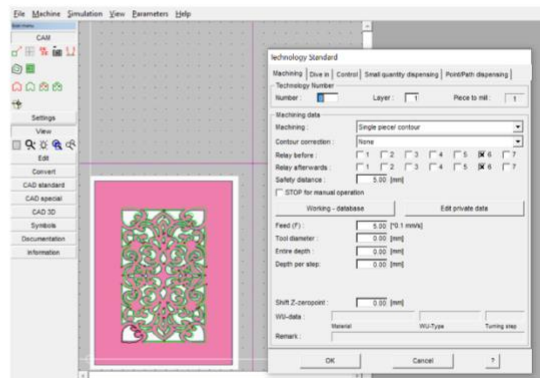
(Lips, 2012).

III FREESIMISE SEADISTAMINE TARKVARAS

14. Freesimise tehnoloogia seadistamine NCCAD7-s (TECHNOLOGY)

Ava freesimise tehnoloogia seadistamine

1. Vali menüüst **CAM** → **TECHNOLOGY**.
2. Tee **esimene klõps** joonisel asuvalle **mustale täpile** (kontuuri alguspunkt).
3. Seejärel tee **teine klõps** joonise **paremas ülemises nurgas**, et määrata kogu kontuuri ulatus.
4. Avaneb **Technology Standard** aken, kus saab nüüd sisestada kõik vajalikud freesimise parameetrid (nt tööriista läbimõõt, sügavus, sammud jm).



15. Lõikeparameetrid lihtsas keeles: sügavus, samm, etteanne, freesi läbimõõt, ohutuskõrgus

Feed (F) - Näitab, kui kiiresti frees liigub materjali lõigates.

- Väärtus **5.00** tähendab tegelikult **0,5 mm/s** (sest mõõtühik on **0.1 mm/s**).
- Mida suurem number, seda kiirem lõige – kuid liiga suur kiirus võib materjali rebenema panna.

Tool diameter - Freesiotsiku läbimõõt millimeetrites.

- Sellisel juhul kasutatakse **3 mm** läbimõõduga otsikut.
- See määrab, kui peeneid ja kitsaid lõikeid saab teha.

Entire depth - Materjali kogupaksus, mille frees peab läbi lõikama.

- Näites **5 mm**, seega frees lõikab läbi kogu materjali.

Depth per step - Kui sügavalt frees läheb ühe korraga materjali sisse.

- Näites **1 mm**, mis tähendab, et frees teeb 5 mm läbiloike viie eraldi sammuna (1 + 1 + 1 + 1 + 1).
- See hoiab tööriista ja materjali terve ning tagab puhta lõike.

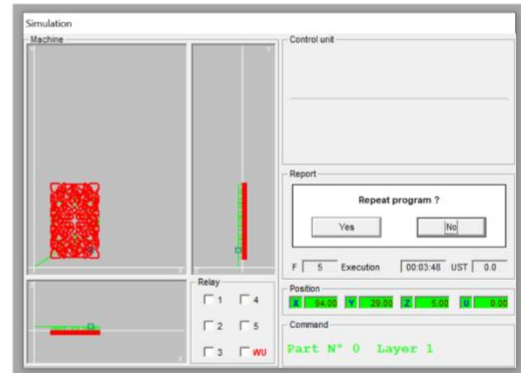
Parameetrid peavad sobima materjaliga
(Lips, 2012).

Feed (F) :	<input type="text" value="5.00"/>	[*0.1 mm/s]
Tool diameter :	<input type="text" value="3.00"/>	[mm]
Entire depth :	<input type="text" value="5.00"/>	[mm]
Depth per step:	<input type="text" value="1.00"/>	[mm]

16. Simuleerimine

Simulation → **Table** käivitab virtuaalse freesimise, kus näed täpselt, kuidas joonis töölaual läbi lõigatakse. See aitab kontrollida, kas:

1. Kontuurid on ühes tükis,
2. Frees liigub õigel teekonnal,
3. Lõikejärjestus on loogiline,
4. Sügavused ja suunad on õiged.



17. Faili salvestamine ja töö nime andmine

1. Kui joonis ja simulatsioon on korras, salvesta töö (**File** → **Save as**).
2. Alles pärast seda võib minna CNC-pingi juurde.

IV TÖÖ ETTEVALMISTUS CNC-PINGIL, FREESIMINE

18. CNC-pingi ettevalmistus: tooriku kinnitamine ja tööala kontroll

1. Aseta toorik sirgelt CNC-pingi tööpinnaile ja **kinnita see kindlalt**, et see freesimise ajal ei liiguks.
2. Kontrolli, et kinnitused ei jääks freesi liikumisteele.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Veendu, et tööalal ei oleks lahtiseid esemeid.
5. Kontrolli, et freesil on piisavalt ruumi kogu töö ulatuses liikuda.

(Lips, 2012)

19. Freesi valik, kinnitamine ja freesi pikkuse mõõtmine (F12)

1. Vali **kontuurimiseks sobiv sirge frees** (nt Ø 3 mm), mis vastab materjali paksusele.
2. Kinnita frees kindlalt tsangi sisse, et see ei liiguks freesimise ajal.
3. Mõõda freesi pikkus vastava käsuga (nt **F12**), et CNC-pink teaks freesi täpset asendit.
4. Kontrolli, et mõõtmine oleks tehtud enne töö käivitamist.

(Lips, 2012)

20. Nullpunkti valimine/ kontroll pingis (End) ja „Run“ eelkontroll

1. Vali CNC-pingis õige **töödetaili nullpunkt** (workpiece zeropoint).
2. Vajuta **End**, et kontrollida, kas frees liigub õigesse alguspunkti.
3. Veendu, et nullpunkt asub tooriku pinnal ja õiges nurgas.
4. Enne **Run**-nupu vajutamist kontrolli:
5. Frees on kinnitatud,
6. Toorik on kinnitatud,
7. Spindel on valmis tööks,
8. Nullpunkt on õigesti seadistatud.
9. **Freesimine** – Käivita töö käsuga “Run” ning jälgi freesimise ajal masina liikumist ja löikeprotsessi, olles valmis vajadusel töö koheselt peatama.

21. Pärast freesimist: detaili eemaldamine, puhastus, kvaliteedikontroll

1. Oota, kuni frees ja spindel on täielikult peatunud.
2. Eemalda detail ettevaatlikult CNC-pingilt.
3. Puhasta töölaud laastudest ja tolmust.
4. Kontrolli detaili kvaliteeti:
5. Kas kontuur on terve ja puhas,
6. Kas detail on õiges mõõdus,
7. Kas servad vajavad lihvimist.

V VIIMISTLUS JA KVALITEEDIKONTROLL

22. Viimistlus: lihvimine ja pinnatöötlus (lakk/õli/värv)

1. Lihvi detaili servad ja pinnad, et eemaldada teravad ääred ja ebatasasused.
2. Alusta jämedama lihvpaberiga ja lõpeta peenema lihvpaberiga.
3. Puhasta detail tolmust enne pinnatöötlust.
4. Kata pind lakiga, õliga või värviga vastavalt juhendile.
5. Lase detailil enne kasutamist korralikult kuivada.



Kasutatud kirjandus

- Lips, A. (2012). *CNC freespink tehnoloogiatus*. MTÜ Eesti Tehnoloogiakasvatuse Liit.
- Obi, S. (2016). *Specific Safety Precautions in Operating CNC Machines*. San José State University.
- Haridus- ja Teadusministeerium. (2015). *Õpiväljundipõhise õppe kavandamise juhend*. Tallinn.
- Tartu Ülikool. (2021). *Üliõpilaste kirjalike tööde vormistamise juhend*. Tartu: Tartu Ülikool.

LISA 7. TÖÖOHUTUSE REEGLID CNC TÖÖPINGIL TÖÖTAMISEL



TÖÖOHUTUSE REEGLID CNC TÖÖPINGIL TÖÖTAMISEL

Tööohutus tagab sinu ja teiste turvalisuse!



Kanna kaitseprille ja hoiä pikad juuksed kinni



Ära pane käsi liikuvate osade lähedale



Hadaolukorras kasuta avaristoppi (E-Stop) ja teavita õpetajat või vastutavat isikut



Tee seadistusi ja mõõtmisi ainult siis, kui splindr ei pöörle ja masin ei tööta



Ära puhasta masinat käsitsi, kasuta harja



Hoiä tööala puhas, tööriistad ja võtmed ei tohi jääda pingile ega masinasse

Ära jäta töötavat masinat järelvalveta

Ära muuda masina seadistusi

Teavita õpetajat kohe, kui juhtub mõni õnnetus või masin käitub ebatavapäraselt



Loe ja järgi kasutusjuhendit ning ohutuse nõudeid



LISA 8. KÜSIMUSTIK TEHNOLOOGIAÕPETUSE EKSPERDITELE

Eksperthinnang CNC õppeülesannete sobivuse ja rakendatavuse kohta

Lugupeetud vastaja

Olen Anna Repnau, tehnoloogiaõpetuse õpetaja ning Tartu Ülikooli Viljandi Kultuuriakadeemia kunstide ja tehnoloogia õpetaja magistriõppekava üliõpilane. Käesolev küsimustik on koostatud magistritöö raames, mille eesmärk on hinnata loodud CNC-õppeülesannete ja juhendmaterjalide sobivust ning rakendatavust tehnoloogiaõpetuse tundides.

Küsimustiku eesmärk on koguda ekspertide hinnanguid õppematerjali eakohasuse, arusaadavuse ja praktilise kasutatavuse kohta. Saadud tagasisidet kasutatakse õppematerjali edasiarendamiseks.

Küsimustik on anonüümne ning vastuseid kasutatakse üksnes teadustöö eesmärgil.

Hinnanguskaala

Väärtus	Tähendus
1	ei nõustu üldse
2	pigem ei nõustu
3	osaliselt nõustun
4	pigem nõustun
5	nõustun täielikult

[* Viitab kohustuslikule küsimusele](#)

Moodul I. Õppematerjalide üldine hinnang.

1. Õppematerjal on loogilise ülesehitusega. *

1 2 3 4 5



2. 2. Juhendmaterjalid on õpilase vaates arusaadavad.*

1 2 3 4 5

3. 3. Juhendmaterjalid on õpetaja vaates selged ja kasutatavad.*

1 2 3 4 5

4. 4. Õppematerjal toetab õpilaste iseseisvat tegutsemist praktilise töö käigus.*

1 2 3 4 5

Moodul II. Õppeülesannete eakohasus

Ülesanne 1 – Teetassi kuumaalus „LILL“

Alloleval pildil on näidatud CNC-freesiga valmistatav vineerist teetassi kuumaalus
Palun hinnake ülesande sobivust ja juhendmaterjali arusaadavust.



5. 1. Ülesanne sobib II kooliastme (4.–6. klass) õpilastele. *

1 2 3 4 5



6. 2. Ülesande juhendmaterjal on õpilastele arusaadav. *

1 2 3 4 5



7. 3. Ülesanne on praktiliselt teostatav tehnoloogiaõpetuse tunnis. *

1 2 3 4 5



Ülesanne 2 – Kikilips

Alloleval pildil on näidatud CNC-freesiga valmistatav vineeist kikilips. Palun hinnake ülesande sobivust ja juhendmaterjali arusaadavust.



8. 1. Ülesanne sobib II kooliastme õpilastele. *

1	2	3	4	5
<hr/>				
👍	👍	👍	👍	👍
<hr/>				

9. 2. Ülesande juhendmaterjal on arusaadav. *

1	2	3	4	5
<hr/>				
👍	👍	👍	👍	👍
<hr/>				

10. 3. Ülesanne on praktiliselt teostatav kooli tingimustes. *

1	2	3	4	5
<hr/>				
👍	👍	👍	👍	👍
<hr/>				

Ülesanne 3 – Hoiukarp liugkaanega

Alloleval pildil on näidatud CNC-freesiga valmistatav vineerist Hoiukarp liugkaanega.

Palun hinnake ülesande sobivust ja juhendmaterjali arusaadavust.



11. 1. Ülesanne sobib III kooliastme õpilastele. *

1 2 3 4 5

👍 👍 👍 👍 👍

12. 2. Ülesande juhendmaterjal on arusaadav. *

1 2 3 4 5

👍 👍 👍 👍 👍

13. 3. Ülesanne on praktiliselt teostatav tehnoloogiaõpetuse tunnis. *

1 2 3 4 5

👍 👍 👍 👍 👍

Ülesanne 4 – Võtmekapi ukse esipaneel

Alloleval pildil on näidatud CNC-freesiga valmistatav vineerist võtmekapi ukse esipaneel.

Palun hinnake ülesande sobivust ja juhendmaterjali arusaadavust.



14. 1. Ülesanne sobib III kooliastme õpilastele. *

1 2 3 4 5



15. 2. Ülesande juhendmaterjal on arusaadav. *

1 2 3 4 5



16. 3. Ülesanne on praktiliselt teostatav tehnoloogiaõpetuse tunnis. *

1	2	3	4	5
				

Moodul III. Praktiline rakendatavus koolis

17. 1. CNC õppeülesanded on realistlikult teostatavad tehnoloogiaõpetuse tunnis.

1	2	3	4	5
				

18. 2. Õppeülesannete läbiviimiseks vajalikud materjalid ja vahendid on koolis kättesaadavad.

1	2	3	4	5
				

Moodul IV. Vastavus riiklikule õppekavale

19. 1. CNC õppeülesanded on kooskõlas põhikooli riikliku õppekava eesmärkidega.

1	2	3	4	5
				

20. 2. Õppeülesanded toetavad tehnoloogiaõpetuse õpitulemuste saavutamist. ¹

1 2 3 4 5



Moodul V. Üldpädevuste arendamine

21. 1. CNC õppeülesanded toetavad loovuse arengut. *

1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

22. 2. CNC õppeülesanded arendavad probleemilahendusoskust. *

1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

23. 3. CNC õppeülesanded toetavad digipädevuse arengut. *

1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Moodul VI. Õpilaste huvi ja motivatsioon

24. 1. CNC õppeülesanded suurendavad õpilaste huvi tehnoloogia ja inseneeria vastu.

1 2 3 4 5



25. 2. CNC tööprotsess aitab muuta tehnoloogiaõpetuse õpilaste jaoks motiveerivamaks.

1 2 3 4 5



Moodul VII. Avatud küsimused

26. 1. Millised on Teie hinnangul loodud CNC õppeülesannete ja juhendmaterjalide tugevused?

27. 2. Milliseid täiendusi või muudatusi soovitaksite õppematerjalide parandamiseks?

28. 3. Täiendavad märkused või ettepanekud (soovi korral)

SUMMARY

Development of CNC Learning Tasks in Technology Education

The aim of this master's thesis was to develop learning tasks and instructional materials for the use of CNC machines in technology education and to evaluate their suitability for lower and upper basic school levels. The study focused on improving the use of existing CNC equipment in schools and supporting the development of students' practical and digital skills.

The theoretical part of the thesis provided an overview of the use of CNC technology in education and its connection to digital competence and STEM integration. It also addressed the challenges related to the implementation of CNC machines in schools, such as limited use of existing equipment, lack of suitable learning materials, and the need for teacher support.

The study was conducted as a design-based research. During the study, a set of CNC learning tasks and instructional materials was developed for students in grades II and III school levels. The tasks were designed to progress from simpler to more complex activities, starting from basic designs and leading to more advanced products. The materials included step-by-step instructions for using CNC machines and supporting software.

To evaluate the developed materials, expert feedback was collected from three experienced technology teachers. The results showed that the learning tasks were generally evaluated positively. The average rating of the materials was high, indicating their suitability for use in technology education. The tasks designed for upper basic school level received the highest ratings, while the tasks for lower basic school level were considered somewhat more challenging.

The experts highlighted several strengths of the developed materials, including their practical nature, clarity, and potential to increase student motivation. The materials were considered engaging and suitable for real classroom use. At the same time, some areas for improvement were identified. These included the need for more detailed visual instructions, the addition of video-based materials, and clearer learning objectives.

The findings also indicated that the use of CNC learning tasks can support the development of students' key competencies, including problem-solving, creativity, and digital skills. The tasks were also found to increase students' interest in technology and engineering.

However, the study has some limitations. The number of experts involved in the evaluation was small, and therefore the results cannot be generalized to all schools. In addition, the materials were tested only through expert evaluation and not yet in a real classroom setting.

As a next step, it is planned to improve the materials by adding video-based instructions and to test them in practice through a pilot study in several schools. This would provide more detailed feedback and allow further development of the learning materials.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, **Anna Repnau**,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „**CNC õppeülesannete koostamine tehnoloogiaõpetuses**“, mille juhendaja on Mart Soobik, *PhD*, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada Tartu Ülikooli digitaalarhiivi kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
2. annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi kaudu Creative Commons litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;
3. olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

11.05.2026

Anna Repnau