

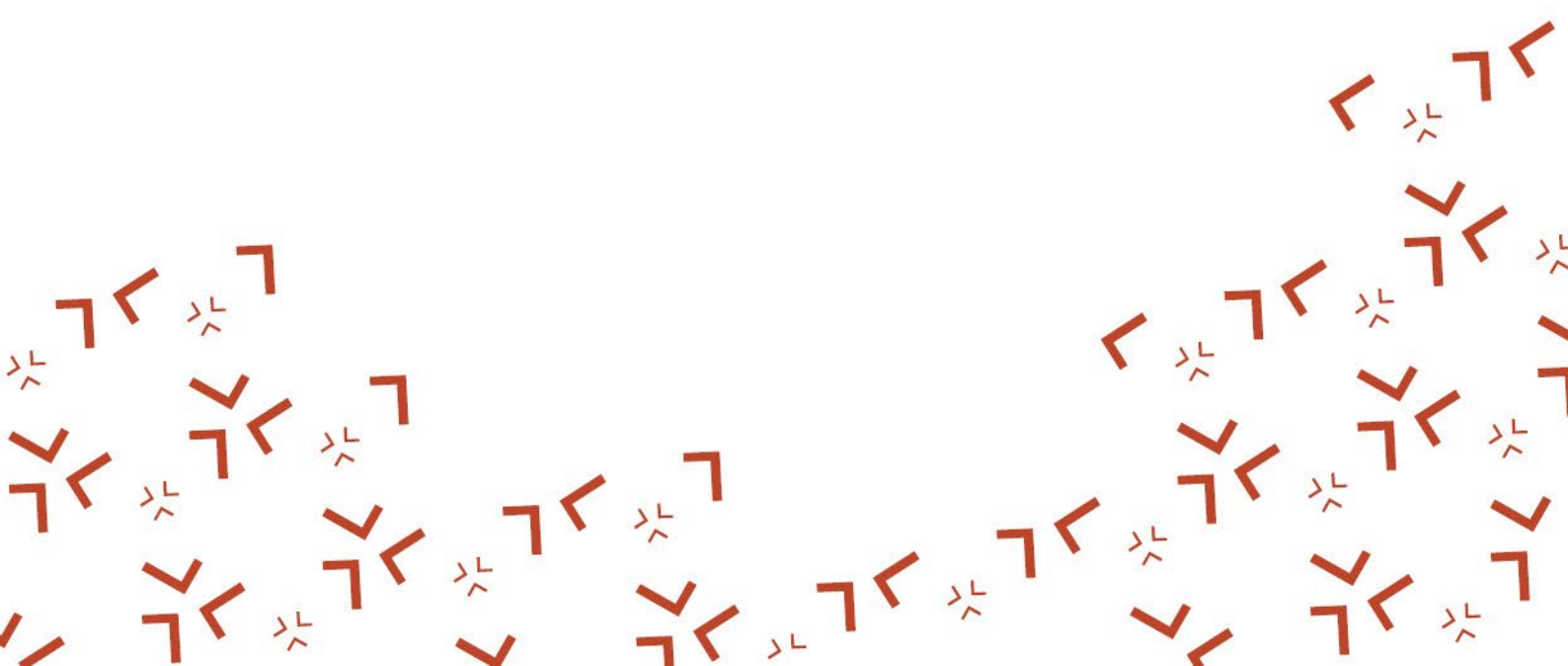
Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallenne (kustantajan versio).

Rinnakkaistallenteen sivuasettelut ja typografiset yksityiskohdat saattavat poiketa alkuperäisestä julkaisusta.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Eloranta, V., Kanto, J., Kuusijärvi, T., Pelimanni, V.-M., Taskinen, P. & Unga, J. 2026. Teknologioiden rooli neuleohjeiden digitalisoinnissa. Lumen – Lapin ammattikorkeakoulun verkkolehti. (1/2026).

URL: <https://blogi.eoppimispalvelut.fi/lumenlehti/2026/02/05/teknologioiden-rooli-neuleohjeiden-digitalisoinnissa/>



Teknologioiden rooli neuleohjeiden digitalisoinnissa

Ville Eloranta, insinööri (AMK), asiantuntija, Älykäs rakennettu ympäristö, Lapin ammattikorkeakoulu

Jouni Kanto, insinööri (AMK), asiantuntija, Uudistuva teollisuus, Lapin ammattikorkeakoulu

Teemu Kuusijärvi, insinööri (AMK), asiantuntija, Älykäs rakennettu ympäristö, Lapin ammattikorkeakoulu

Veli-Matti Pelimanni, insinööri (AMK), asiantuntija, Uudistuva teollisuus, Lapin ammattikorkeakoulu

Pilvi Taskinen, tradenomi (YAMK), asiantuntija, Digitaaliset ratkaisut, Lapin ammattikorkeakoulu

Jussi Unga, insinööri (AMK), asiantuntija, Digitaaliset ratkaisut, Lapin ammattikorkeakoulu



**Euroopan unionin
osarahoittama**



LAPIN LIITTO

Asiasanat: 3D-tulostus, digitaaliset hallintatodistukset, koneoppiminen, neuletyöt, palvelumuotoilu, tekoäly

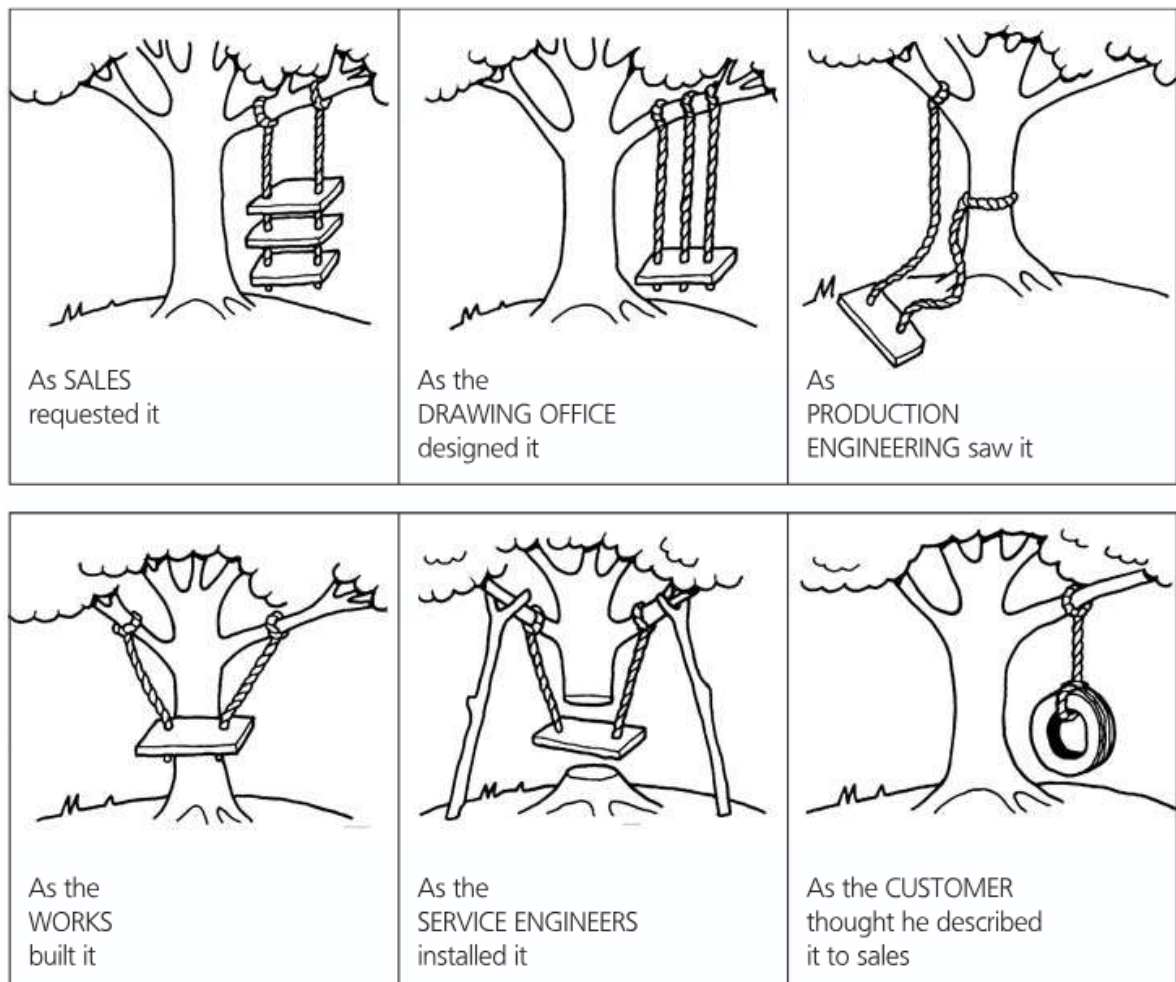
Digitaalisten palvelujen kehitys avaa uusia mahdollisuuksia entistä osallistavampaan suunnitteluun. Yksi kiinnostava idea on neulemallien tuottaminen suoraan visuaalisesta inspiraatiosta. Käyttäjä voi nähdä miellyttävän kuvion missä tahansa – vaatteessa, arkkitehtuurissa tai luonnossa – ja ottaa siitä kuvan. Sovellus tunnistaa kuvion rakenteen kuvasta konenäön ja tekoälyn avulla ja tuottaa sen pohjalta neuleohjeen, joka tallennetaan NFT-muotoon, jolloin uniikkisuus ja ansainta voidaan suojata. Artikkeliki kertoo kehitystyöstä, jota on tehty tämän ideoinnin perusteella.

Lapin liiton JTF-rahoitteisessa [ACTIVE](#)-hankkeessa yhtenä pilottina oli luoda interaktiivinen neulontaan tarkoitettu selainsovellus, joka digitalisoisi perintäistä neulontaprosessia ja mukautuisi neulojan nopeuteen ja käsialaan. Lisäksi pilotissa tutkittiin, miten NFT-teknologiaa voitaisiin käyttää suojaamaan neulemallien luojan tekijänoikeuksia ja mallien kaupankäyntiä. Pilotissa testattiin myös, kuinka 3D-tulostuksella voitaisiin tuoda lisäarvoa neulontaan ja tekstiiliteollisuuteen.

Pilottia kehitettiin yhteistyössä Raikas Digitalin, Henna Knits & Lankastudion ja Vanhalan lammastilan kanssa. Raikas Digitalilta saatiin käyttöön kuvissa 2, 3, 5 ja 6 esiintyvä villasukka sekä kuvan 4 neulontaohje.

Palvelumuotoilun moniammatillinen yhteistyö

Neulepilotin kehittämisessä on kokeiltu interaktiivisten työkalujen käyttöä osana sovelluskehitystä. Sen sijaan, että kirjoitettaisiin pitkä ja yksityiskohtainen vaatimusmäärittelydokumentti, jota ohjelmoija yrittäisi parhaansa mukaan tulkita, asiantuntijat ovat olleet suoraan mukana kehityksessä tekoälytyökalujen avulla. Näin pystytään esittämään vaatimusmäärittely tavalla, joka auttaa työn toteuttajaa ymmärtämään haluttua tahtotilaa. Tällöin vältetään kuvassa 1 havainnollistettu subjektiivinen tulkinnanvaraisuus.



Kuva 1. Vaatimusmäärittelyn haastavuus (Trott 2012).

Perinteisessä mallissa idea ja tekninen toteutus ovat joskus kaukana toisistaan. Asiantuntijan, esimerkiksi sairaanhoitajan tai neulojan, visio sovelluksesta hukkuu

helposti käänösvaiheessa, kun idea muuntuu sanallisesta kuvauksesta tekniseksi koodiksi. Hankepilotissa hyödynnetyssä mallissa asiantuntija ohjaa suoraan toiminnallisen prototyypin luomista, eikä ohjelmoija ei joudu arvailemaan, mitä tarkoitettiin, vaan hän näkee ja voi kokeilla muun alan asiantuntijan luomaa luonnosversiota sovelluksesta.

Miksi tätä uudistettua toimintatapaa sitten kannattaa kokeilla? Siksi, että menetelmä antaa eri alojen asiantuntijoille “välineistön luonnin supervoimia.” Ideat voidaan muuttaa konkreettiseksi malliksi ilman tarvetta omalle koodausosaamiselle. Koodausosaamisen tarve säilyy, mutta sen rooli on erilainen ja se integroituu prosessiin myöhemmin kuin mihin on totuttu. Ohjelmoija viimeistelee ja hienosäätää koodit yhteen ja auttaa sovelluksen julkaisemisessa. Tämä osaaminen ja ymmärrys on keskeistä ohjelmoijan osaamista, jonka avulla hän “ripustaa” syntyneen tuotoksen ympäristöön, jossa sitä ylläpidetään ja hyödynnetään.

Sovellusten interaktiivisten mallien asiantuntijalähtöinen kehittäminen parantaa käyttäjäkokemusta (CX) radikaalisti. Koska loppukäyttäjän tarpeet tunteva henkilö on itse mukana muovaamassa ns. kädet savessa kyseistä työkalua, lopputulos palvelee käyttäjää aidosti. Pienet mutta kriittiset käytettävyyteen liittyvät yksityiskohdat huomioidaan heti alussa, eivätkä ne ole jälkikäteen lisättyjä korjauksia, jotka voivat olla varsin työläitä integroida sovellukseen.

Yhden muutoksen toteuttaminen sovellusarkkitehtuuriin aiheuttaa usein joukon muita, jolloin koko ketju on työstettävä uusiksi. Yhteinen digitaalinen kädet savessa - palvelumuotoilu iteraatiokierroksin lisää mielekkyyttä ja tuottavuutta halutun tuloksen aikaansaamiseksi. Muutosten tekeminen tässä vaiheessa on nopeaa ja helppoa, siis kustannustehokasta, ja koko koodin uudelleenkirjoittaminen tietylle tasolle asti sujuu ripeästi. Termi *iteraatio* juontuu latinan sanasta *iteratio* ja tarkoittaa toistoa (Suomisanakirja 2025). Ketterässä kehityksessä iteraatio on lyhyt työskentelyjakso, jonka jokaisessa osassa tuotetaan konkreettinen osa lopputuotetta (Tandefelt 2015).

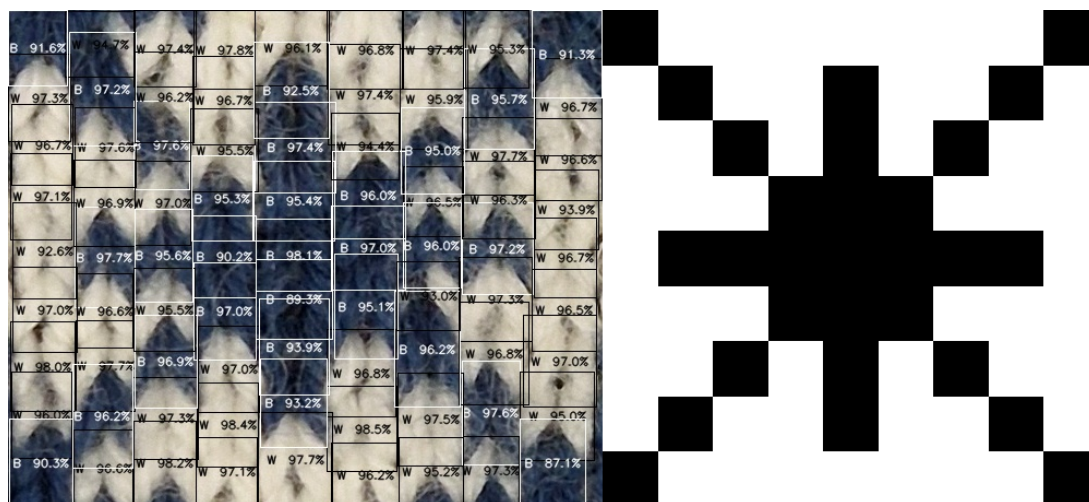
Tämä malli on juuri se, mihin monet modernit ohjelmistokehityksen menetelmät pyrkivät. Näin kehittäen luodaan paitsi sovellusta, kuten neuleohjetta digitalisoituna, myös uudenlaista toimintamallia, jossa asiantuntijan ja teknisen toteuttajan välinen kuilu on kurottu umpeen. Tavoitteena on saada aikaan parempia, käyttäjälähtöisempiä ja onnistuneempia digitaalisia palveluita.

Teknologioiden mahdollistama palvelumuotoilu ja sovelluskehitys

Neulekuvioiden luonti ympäristöstä

Hankepilotissa kokeiltiin käännteistä neuleohjeen luomista valmiista neuleesta konenäön avulla. Tämä auttaisi neulojaa tarkastamaan jo luomaansa työtä ja nopeuttaisi lopullisen ohjeen luontia. Menetelminä käytettiin koneoppimista, jossa opetettavalle tunnistusalgoritmillemme syötettiin käsiteltyjä kuvia neuleista, joihin eriväriset silmukat oli merkitty. Lisäksi kokeiltiin värieroihin perustuvaa reunaviivan tunnistusta, joka vaatisi vähemmän manuaalista esityötä.

Testeissä huomattiin, että yksittäisten silmukoiden etsiminen valmiista neuleista toimi parhaiten pienessä mittakaavassa, kun tunnistettava kuvio oli valmiiksi ruudukon muodossa ja silmukkarivit suorassa. Tällöin tunnistettujen silmukoiden koordinaateista voitiin luoda kuvan mittoihin perustuva karttakuva neulontaohjeesta. (Kuva 2.)



Kuva 2. Neuleen muutos ohjeeksi silmukoiden tunnistuksella.

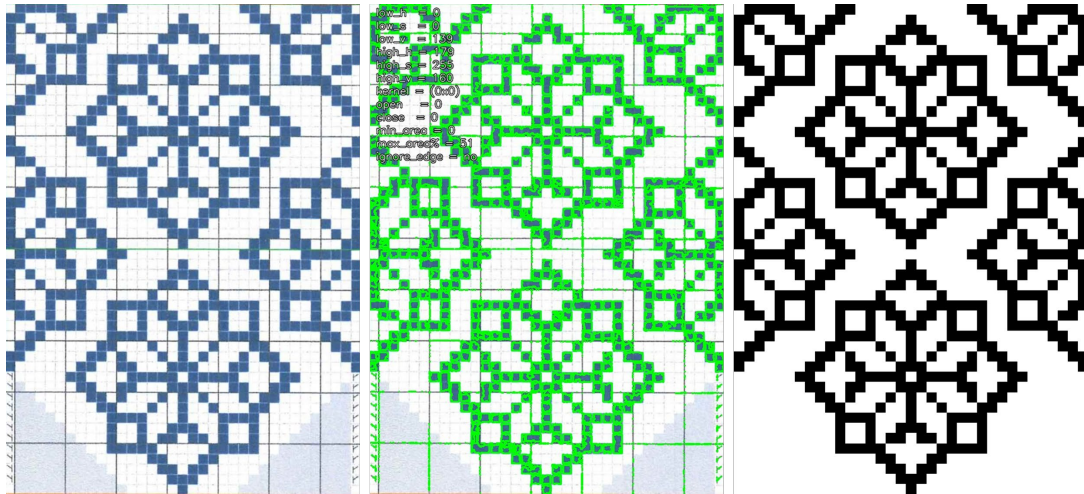
Kun siirryttiin suuremman kokoluokan kuviin, silmukoiden tunnistuksen luotettavuus laski huomattavasti, koska jokaisella neulojalla on oma käsialansa ja tyyliensä neuloa. Silmukat saattavat olla eri kireyksillä ja piilossa toistensa alla, jolloin tunnistusalgoritmi ei löydä niitä. Jos neule on valokuvassa kierossa, sen palauttaminen ruudukko-ohjemuotoon hankaloituu entisestään. Lisäksi kuvan tarkkuudella on suuri merkitys, jotta silmukoiden rajat erottuvat. (Kuva 3.)



Kuva 3. Opetetun mallin on vaikeampi löytää silmukoita vinoista ja epätarkoista kuvista.

Koneoppivan järjestelmän lisäksi kokeiltiin värieroihin perustuvaa reunatunnistusta, joka löytäisi kerralla suurempia yhdenvärisiä alueita. Nämä alueet voitaisiin liittää yhteen ja skaalata tyhjälle pohjalle halutun pikselikoon neulontakarttaan.

Teoriassa väritunnistus toimi täydellisesti, kun reunatunnistusalgoritmille annettiin kuvassa 4 vasemmalla oleva alkuperäinen neuleohje. Keskellä on nähtävissä algoritmin löytämät tummat värialueet, ja oikealla nämä alueet on siirretty tyhjälle pohjalle muodostaen tarkan neuleohjekuvion.



Kuva 4. Teoreettinen neuleen takaisinmallinnus reunatunnistuksella.

Todellisilla neulevalokuvilla reunatunnistus ei toiminut kuitenkaan yhtä hyvin. Kuvassa 5 on havaittavissa, että ongelmaksi muodostui tässäkin lähestymistavassa neuleen kireys ja kuvan perspektiivi. Kun tunnistetut alueet sijoitetaan suoraan sellaisinaan neuleohjeeksi, lopputulos on sinnepäin, mutta yksityiskohdat jäävät karkeiksi ja vaativat manuaalista hiomista.



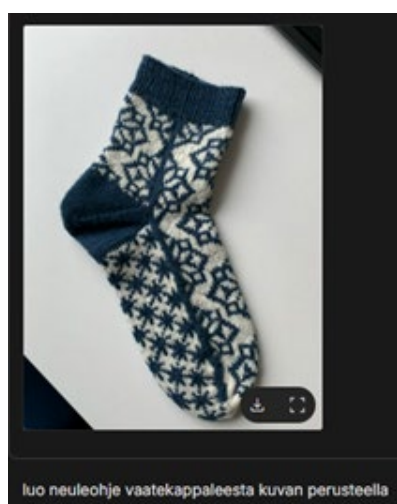
Kuva 5. Todellinen neuleen takaisinmallinnus reunatunnistuksella.

Takaisinmallinnusmenetelmiä voitaisiin parantaa esimerkiksi tarkastelemalla suurinta yksittäisenä esiintyvää kuviota ja etsimällä tämän kuvion toistuvuutta neuleessa. Tällöin voitaisiin keskittyä mallintamaan tarkasti pieni osa kokonaisuutta ja sen jälkeen monistamaan kuviota neuleohjeeseen. Suurien yksiväristen alueiden kohdalla tunnistusta ei tarvitsisi tehdä kovin tarkasti, ja ohjeeseen merkittäisiin vain yksiväristä neuletta.

Ohjeen tekstimuotoinen digitalisointi generatiivisella tekoälyllä

Neuleohjeet koostuvat pikselikarttojen lisäksi myös kirjallisista ohjeista. Kirjoitetun ohjeen luomiseen valittiin multimodaalinen tekoäly, joka kykeni käsittelemään ja yhdistämään useita tietomuotoja samanaikaisesti.

Hankepilotissa tämä ilmeni siten, että generatiiviselle tekoälymallille annettiin kehoitteeksi tehdä neuleohje annetun kuvan perusteella (kuva 6). Kuvana toimi joko valmis vaatekappale tai kuva tunnistetuista silmukoista, jolloin tekstikehoitteeseen tarkennettiin, mikä vaatekappale oli kyseessä. Testatessa joskus kuitenkin ongelmana oli, ettei tekoäly tunnistanut oikein, millainen kuvio vaatekappaleessa on.



Kuva 6. Esimerkki kehoitteesta, jossa käytetään useita tietomuotoja.

Generatiivisella tekoälyllä voidaan myös tarkistaa, onko luodussa neuleohjeessa mahdollisia virheitä tai puutteita. Tätä testatessa generisellä mallilla huomattiin, ettei tekoäly aina pystynyt täydentämään puutteellista tai virheellistä neuleohjetta.

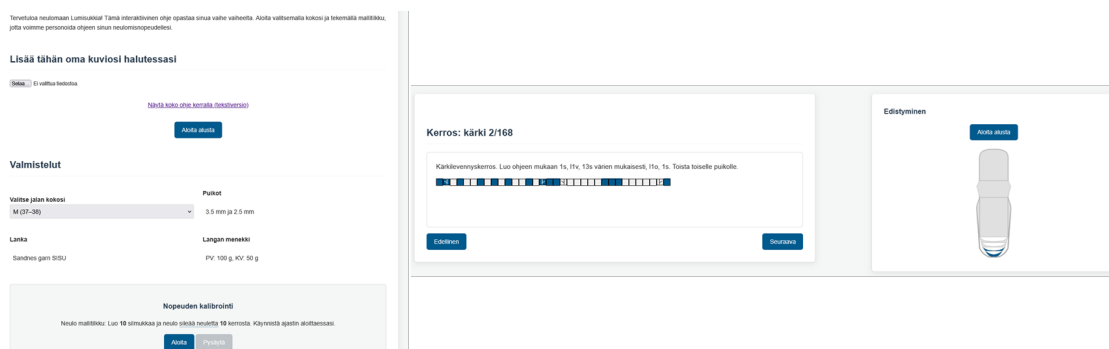
Testauksen aikana myös havaittiin, että haasteena neulontaohjeen luomisessa on käytettävien termien yhtenäisyys. Luodussa ohjeessa esimerkiksi ”Pääväri”-termi saattaa toisessa ohjeessa olla nimellä ”Väri A”, mikä saattaa aiheuttaa hämmennystä loppukäyttäjälle. Neulontatermien yhtenäisyys voitaisiin varmistaa kouluttamalla tekoälymallille kaikki termit, jotka ovat käytössä neulontaohjeissa.

Generatiivisen tekoälyn pilvessä käyttämisessä on myös huomioitava API-avainten salaaminen sekä datasiirron rajoitus, sillä molemmat suojaavat rajapinnan väärinkäytöltä. Tämä voitaisiin toteuttaa käyttämällä backend-ohjelmistoa, johon multimodaalisen tekoälyrajapinnan voisi integroida.

Käyttöliittymäsuunnittelu ja -ohjelmointi AI-avusteisesti

Lähtökohtana nykyaikaiselle käyttöliittymäsuunnittelulle on sovelluksen käyttäjän tarve. Näinhän on toki ollut aiemminkin, mutta tarpeen muotoilu todelliseksi ja toimivaksi työkaluksi on ollut pitkälti sidoksissa sovelluksen määrittelijän ja toteuttajan kykyyn tai mahdollisuuksiin kommunikoida aiheesta. Usein on onnistuttu ihan hyvin, ja nyt uudet teknologiset ratkaisut luovat mahdollisuuden onnistua vieläkin paremmin.

Hankepilottiin tehty käyttöliittymä ja sen toiminnot luotiin aluksi täysin tekoälyllä. Näin saatiin aikaan visuaalisesti toimiva luonnos, ja voitiin hahmotella sovelluksen ominaisuuksia. Tästä ohjelmoijat pääsivät jyvälle, miten sovellusta voisi tehdä ja mitä ominaisuuksia käyttöliittymän tulisi sisältää. (Kuva 7.)



Kuva 7. Tekoälyllä luonnosteltu käyttöliittymä neulesovelluksesta.

Tekoälyn käytössä kannattaa kuitenkin huomioida muutamia seikkoja. Aihetta tulee taustoittaa riittävästi, sillä pelkkä “koodaa käyttöliittymä, jolla voi sitä tai tätä” ei anna riittävän hyvää lopputulosta. Tällaisella kehoitteella aikaansaatu koodi antaa hyvät lähtökohdat, mutta sisältää paljon sellaisia lauserakenteita ja muuttujia, joissa ei ole järkeä lopputuloksen kannalta. Pilotissa tämä ilmeni siten, että käyttöliittymässä esiintyvä neule ei vastannut todellista haluttua neulekuviota ja sovellus sisälsi ominaisuuksia, jotka eivät toimineet kuvioden vaan yksiväristen neuleiden luonnissa. Ohjelmoijat joutuivat miettimään, mitkä osat koodista olivat toimivia ja neulonnan kannalta tarpeellisia ja mitkä hallusinaatioita.

Pilotissa huomattiin, että tekoäly toimii parhaiten ohjelmoinnin apuna, kun sitä käytettiin pienissä osissa luomaan täsmäfunktioita. Esimerkiksi kehoite “luo ohjelmointikielellä X funktio, joka puolittaa listan Y ja järjestää sen rakenteeksi Z” toimi huomattavasti paremmin, ja lopputulos oli kokonaisuuteen sopiva ja toimiva.

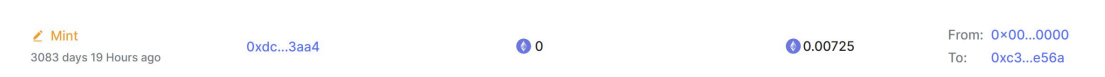
Tällaisilla täsmäkehoitteilla ohjelmoijalla säilyy kontrolli koodiin, eikä lopullinen sovellus ole vain tekoälyn kuvitelmaa.

Neuleohjeen kaupallistaminen NFT:n avulla

Neuleohjeiden kaupallistamista varten tutkittiin moderneja web3-menetelmiä, joiden avulla digitaalinen omistajuus voidaan varmistaa suoraan lohkoketjusta ilman keskitettyjä palvelimia. Web3-tekniikat tarjoavat uuden tavan jakaa, hallita ja myydä digitaalisia tuotteita siten, että ostajalla on selkeä todennus omistajuudestaan, ja myyjä voi hallita sisällön jakelua tehokkaasti.

NFT (non-fungible token) tarkoittaa lohkoketjuun tallennettua digitaalista omistajuustodistusta, joka on yksilöllinen eikä keskenään vaihdettavissa kuten esimerkiksi kryptovaluutat. Jokainen NFT sisältää oman tunnisteen ja metadatan, joiden avulla voidaan todeta sen alkuperä, omistaja sekä siihen liitetty digitaalinen sisältö. Koska omistajuus tallentuu lohkoketjuun eikä tietoja voi muuttaa jälkikäteen, omistajuus on helposti todennettavissa ilman välikäsiä.

NFT mahdollistaa kauppiaille suoran tavan myydä mm. neuleohjeita verkossa, ja niiden omistajuus voidaan todeta Ethereum-lohkoketjusta kuin digitaalisena kirjanpitoa. Kaikki lohkoketjussa tapahtuvat siirrot, myynnit ja omistajanvaihdokset ovat julkisia, ja niitä voi tarkastella kuka tahansa. Lohkoketjussa käytetään vain NFT-lompakon tunnistetta eikä minkäänlaisia henkilötietoja, eli kaikki tapahtuu kuitenkin anonymisti (kuva 8). Tämä tekee lohkoketjusta erittäin luotettavan tavan todentaa omistuksia, ostoja ja siirtoja ilman keskitettyjä valvojia. Alla olevassa kuvaleikkeessä nähdään NFT-transaktion yksinkertaisuus.



Kuva 8. Esimerkki lohkoketjuun jäävästä tapahtumasta.

Älysovimuksen (smart contract) toteutuksessa hyödynnetään ERC-1155-standardia, joka mahdollistaa saman NFT:n myymisen useampana rajoitettuna kappale-eränä yhden yksittäisen NFT:n sijaan. Tämä on merkittävästi energiatehokkaampi ja kustannuksiltaan kevyempi vaihtoehto kuin useiden erillisten transaktioiden luominen, sillä koko erä julkaistaan yhdellä kertaa. Ethereum-verkon transaktiokustannukset

pysyvät näin pienempinä. Älysopimus automatisoi kaupankäynnin täysin, eikä pankkeja, maksupalveluita tai välittäjiä tarvita lainkaan.

Perinteisen maksutavan sijaan testiverkkokaupassa käytetään web3-todennusta MetaMask-lompakon kautta. MetaMask mahdollistaa useiden lompakoiden hallinnan eri lohkoketjuverkoissa ja toimii helppona maksuvälineenä NFT-verkkokaupassa. Käyttäjä näkee kaikki omat tapahtumansa MetaMaskin transaktiohistoriasta sekä omistuksessaan olevat NFT:t suoraan lompakon näkymästä.


NFT-kauppapaikkana käytetään omaa räätälöityä testiverkkokauppaa valmiiden NFT-kauppapaikkojen sijaan. Oman verkkokaupan etuna on mahdollisuus luoda käyttäjälle hyvin perinteinen verkkokauppakokemus, joka on helppo integroida osaksi olemassa olevia verkkosivuja. MetaMask voidaan liittää suoraan verkkokauppaan, ja kaikki transaktiot toteutuvat välittömästi ilman käsittelyviiveitä.

Oman kauppapaikan avulla NFT:hen voidaan sisällyttää yksilöllistä metadataa, joka näkyy vain omassa verkkokaupassa. Neuleohjeet voidaan liittää NFT:n metadataan esimerkiksi suoran linkin muodossa, jolloin niiden näkyminen edellyttää MetaMask-todennusta ja NFT-omistajuuden varmennusta. Tämä takaa, että ohjeet ovat vain ostajan saatavilla. (Kuva 9.)

Omassa verkkokaupassa saadaan esiteltyä dynaamista metadataa ja esiteltyä NFT juuri halutulla tavalla (kuva 9). NFT voidaan myydä esimerkiksi fyysisten tuotteiden rinnalla tai tarjoamalla lisämateriaaleja, väri variaatioita tai videomuotoisia ohjeita. Näin NFT voi toimia enemmän kuin pelkkänä digitaalisena omistustodistuksena; se voi olla osa laajempaa asiakaskokemusta.

MetaMask toimii sekä kryptolompakkona että todennusvälineenä, jolla voidaan vahvistaa omistajuus, kirjautua palveluihin ja suorittaa maksut suoraan lohkoketjuun. Tämä tekee siitä keskeisen työkalun modernissa web3-kaupankäynnissä.

Owned (1)
Created (1)



Neulemalli villasukka
Joulumieleinen villasukka. Neulontaohje

Omistaja näkee

Malli:	Joulusukka-kuvioitu
Kategoria:	Sukka
Linkki Ohjeisiin:	http://LinkkiOhjeisiin.fi

Creator: 0xBcd4...4096 Omistat: 50

List

Token ID: #0 • Balance: 50

```

{
  "name": "Neulemalli villasukka",
  "description": "Joulumieleinen villasukka. Neulontaohje",
  "image": "ipfs://oqASRlk233BdFFtYYklm",
  "attributes": [
    { "trait_type": "Malli", "value": "Joulusukka-kuvioitu" },
    { "trait_type": "Kategoria", "value": "Sukka" },
    { "trait_type": "Linkki Ohjeisiin", "value": "http://LinkkiOhjeisiin.fi" },
    { "trait_type": "Erytisyviesti", "value": "None" },
    { "trait_type": "Omistajan henkilökohtainen viesti", "value": "None" }
  ]
}

```

Kuva 9. Esimerkki NFT:hen sisällytetystä metadatatista.

Lisäarvon tuottaminen neulontaan 3D-tulostuksen avulla

Neulepilotin aikana tutkittiin 3D-tulostamista ja sen mahdollisesti antamaa lisäarvoa tekstiilialan tarpeisiin. Lisäävä valmistus eli 3D-tulostaminen mahdollistaa tarpeeseen suunniteltujen ja yksilöllisesti räätälöityjen ratkaisujen valmistamisen ja toteutuksen. Selvityksen aikana keskityttiin FDM-tulostustekniikkaan ja yleisiin tekniikassa käytettyihin polymeereihin tuotteiden materiaalina.

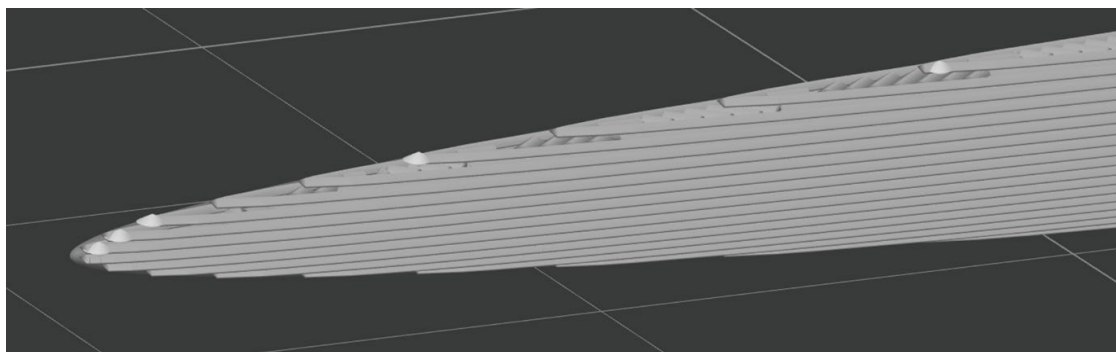
3D-tulostaminen antaa mahdollisuuden suunnitella räätälöityjä ratkaisuja käyttäjän tarpeisiin. Tämän testaamiseksi valmistettiin esimerkkituotteena kudontapuikkoja FDM-tulostustekniikalla, ja materiaalina käytettiin PLA- ja PETG-muoveja. PLA on materiaalina jäykempi kuin PETG. Materiaalivalmistaja antaa tulostussuunnassa X-Y PLA:lle kimmomoduulin arvoksi 2580±220 MPa (BambuLab 2025a) ja PETG:lle 1810±190 MPa (BambuLab 2025b). Materiaalivalinnalla ja geometriaa säätämällä voidaan siis valmistaa käyttäjän mieltymyksen mukaisia tai kudottavan kappaleen tekemiseen paremmin soveltuvia sukkapuikkoja. Pilotissa valmistetut sukkapuikot ja niille räätälöity säilytysratkaisu on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. 3D-tulostamalla valmistettuja sukkapuikkoja ja säilytyskotelo.

Tulostustekniikoiden soveltuvuutta sukkapuikkojen valmistukseen selvitettiin kokeilemalla sukkapuikkoja käytännössä. Käyttäjäkokemukset osoittivat, että ilman viimeistelyä FDM-tekniikalla valmistetut sukkapuikot eivät suoraan soveltuneet käyttöön. FDM-tekniikalle ominaista on, että kappale valmistuu kerros kerrokselta tulostamalla. Tulostimen viipalointiohjelmisto paloittelee sukkapuikon 3D-mallin ennalta määritettyyn kerrospaksuuteen, joka oli pilottitapauksessa 0,16 mm. Sukkapuikon pintaan jää kuitenkin valmistuksessa kerrosten välille porrastusta, joka

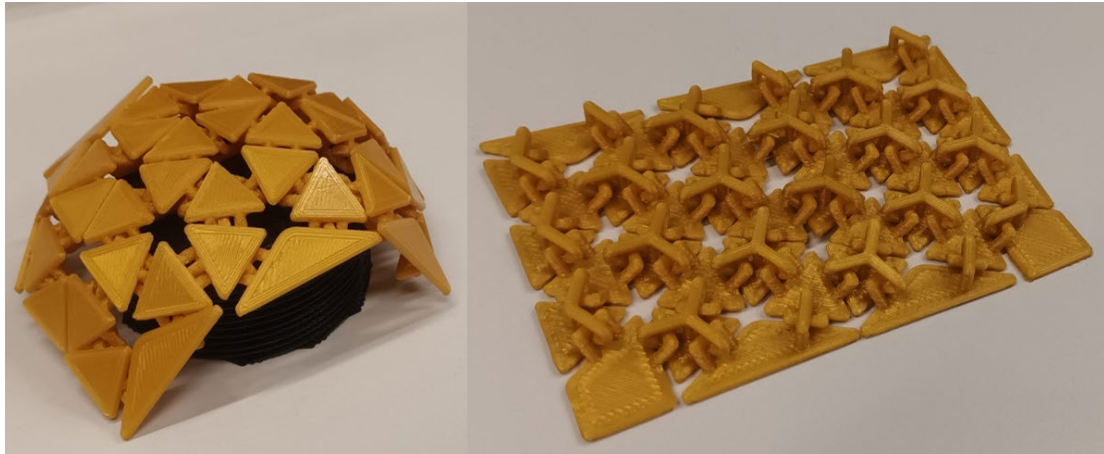
tarttuu kiinni kudottaessa lankaan ja vetää lankaa puikon mukana. Porrastuma on esitetty kuvassa 11.



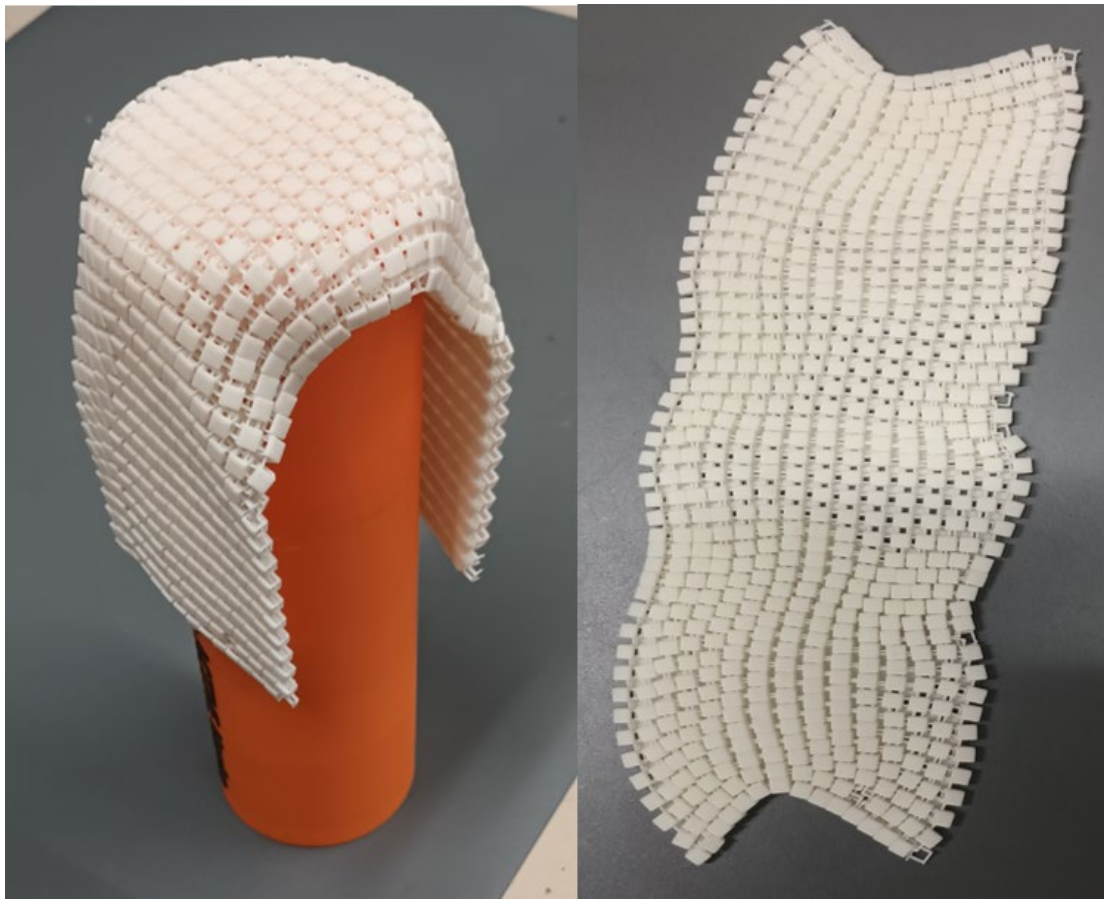
Kuva 11. Porrastus sukkapuikon pinnassa.

Porrastuman vähentämiseksi voitaisiin kerrospaksuutta laskea, mutta ilmiötä ei saataisi kokonaan poistettua. Kerrospaksuuden pienentäminen kuitenkin kasvattaisi tulostusaikaa kohtuuttomasti. Hyvin toimiva lopputulos saavutetaan, kun sukkapuikko viimeistellään hiomalla. Viimeistely on kuitenkin aikaa vievää, joten toinen tulostustekniikka, kuten SLA, voisi soveltua sukkapuikkojen valmistukseen paremmin. SLA-tekniikka mahdollistaa huomattavasti pienemmän kerrospaksuuden.

Lisävä valmistus mahdollistaa kangasmaisten tuotteiden valmistuksen polymeereistä. Toisiinsa ketjuuntuvat rakenteet jäljittelevät kangasmaisia materiaaleja, ja rakenteiden kokoa säättämällä on mahdollista päästä hyvinkin lähelle kangasmaista lopputuotetta. Nämä tuotteet eivät kuitenkaan korvaa villalankaa kulutustuotteissa, kuten sukissa, kestävyytensä vuoksi. Kovat polymeerit katkeavat helposti, ellei niitä korvata joustavammilla teollisuuden käyttöön tarkoitetuilla erikoispolymeereillä. Käytännössä ne tarjoavat esteettisen tuotteen, jota voidaan käyttää mahdollisesti täydentämään langasta valmistetun tuotteen ulkonäköä. Kangasmaisia tuotteita esitetty kuvissa 12 ja 13.



Kuva 12. 3D-tulostamalla valmistettu kangasmainen tuote PLA:sta. Yksittäisen rakenteen koko kappaleen keskellä n. 15 mm.



Kuva 13. 3D-tulostamalla valmistettu kangasmainen tuote. Yksittäisen rakenteen koko n. 3 mm.

Pilotissa opittua

Neulepilotti osoitti, että digitaalisten palvelujen kehittämistä voidaan merkittävästi vauhdittaa yhdistämällä eri teknologioita ja ottamalla asiantuntijat aktiivisiksi toimijoiksi jo varhaisessa vaiheessa. Pilotissa nähtiin, että perinteinen malli, jossa asiantuntija kuvaa tarpeen sanallisesti ja ohjelmoija tulkitsee kuvauksen, ei riitä monimutkaisten digitaalisten palvelujen kehittämiseen. Sen sijaan iteratiivinen, yhteiskehittävä ja teknologisesti tuettu tapa rakentaa ratkaisuja toi näkyviin useita keskeisiä oppeja.

Konenäön ja tekoälyn kokeilut paljastivat, että yksittäisten silmukoiden tunnistus toimi hyvin vain suorissa, selkeissä ja ruudukkomaisissa kuvioissa, mutta todellisten neulekuvien vaihteleva käsiala, kireys ja perspektiivi heikensivät algoritmien luotettavuutta. Vastaavasti reunatunnistus osoitti lupaavuutta teoreettisissa olosuhteissa, mutta todellisissa kuvissa tulokset jäivät karkeiksi ja vaativat manuaalista tarkentamista. Tämä opetti, että automaattinen takaisinmallinnus on mahdollista, mutta edellyttää rajatumpaa käyttöympäristöä tai hybridimallia, jossa ihminen ja kone täydentävät toisiaan.

Generatiivinen tekoäly madaltaa kynnystä sovellusten varhaiseen prototypointiin. Tekoälyn kanssa pystyttiin keskustelemaan, arvioimaan sen ehdotuksia ja muokkaamaan kehoitteita, mikä loi iteratiivisen suunnittelusilmukan jo ennen ensimmäistäkään koodiriviä. Tämä vahvisti käsitystä siitä, että sovelluksen hahmottelu ei vaadi syvää ohjelmointiosaamista, mutta ohjelmoijan rooli säilyy välttämättömänä hienosäädössä ja teknisessä viimeistelyssä. Kun substanssiasiantuntija ohjaa itse alustavan prototyypin syntyä ja ohjelmoija liittyy prosessiin vasta myöhemmin, vältetään väärinymmärryksiä ja saavutetaan kustannustehokkaita ratkaisuja.

Uudet teknologiat, kuten lohkoketjut ja NFT-ratkaisut, voivat avata täysin uusia tapoja tuotteistaa ja hallita digitaalisia personoituja neuleohjeita. Pilotin aikana hahmottui, kuinka kaupankäyntiä voidaan rakentaa hallitusti aivan perusrakenteista lähtien aina NFT-markkinapaikkaan ja ohjeiden jakeluun saakka. Digitaalisten alustojen ja helppokäyttöisten ostomekanismien kautta neuleohjeiden myynti tavoittaa laajasti sekä nuorempia että vanhempia käyttäjäryhmiä, madaltaen kynnystä osallistua ja omaksua uusia digitaalisia toimintamalleja.

Neulepilotin aikana testatussa tekstiilimäisten materiaalien valmistuksessa 3D-tulostamalla todettiin, että yleisesti käytössä olevat materiaaliratkaisut eivät toimi toiminnallisissa tekstiilituotteissa. Tekstiilituotteiden vaatimat pienet rakenteet jäävät liian hauraiksi, kun käytetään yleisesti käytössä olevia polymeerejä, kuten PLA tai PETG. Joustavilla tai erikoispolymeereillä olisi mahdollista saavuttaa pienten rakenteiden parempi kestävyys, jolloin 3D-tulostamalla valmistetut tekstiilimäiset tuotteet voisivat olla paremmin käytettäviä. Tässä olisi aihetta mahdolliseen jatkotutkimukseen.

Kaiken kaikkiaan pilotissa opittiin, että teknologiat ja tekoäly tukevat kehitystä ja palvelumuotoilua, mutta todellinen kehittäminen tapahtuu edelleen ihmisten kautta. Teknologiat eivät itsessään ratkaise ongelmia, vaan mahdollistavat uuden tavan toteuttaa sovelluksia. Muutos tapahtuu ennen kaikkea tavassa, jolla asiantuntijat uskaltavat kokeilla ja kehittää. Siinä, miten tekninen ja ei-tekninen osaaminen kohtaavat, ja kyvyssä ajatella kehittämistä jatkuvana ja jaettuna prosessina. Rohkeudessa testata, epäonnistua, oikaista ja jatkaa eteenpäin.

Lähteet

BambuLab 2025a. PLA Basic Filament Technical Data Sheet V3.0. Viitattu 12.1.2026.
https://store.bbldn.eu/s8/default/073e722a4aa44f7cbfdc419d597475cc/Bambu_PLA_Basic_Technical_Data_Sheet.pdf.

BambuLab 2025b. PETG HF Filament Technical Data Sheet V1.0. Viitattu 12.1.2026.
<https://store.bbldn.com/ce12d65176a94f1086e6aefa238e62e2.pdf>.

Suomisanakirja 2025. Iteraatio. Viitattu 16.10.2025 <https://www.suomisanakirja.fi/iteraatio>.

Tandefelt, H. 2015. Iterointi – mitä se tarkoittaa? Digiloikka 19.5.2015. Viitattu 16.10.2025
<https://blogs.helsinki.fi/digiloikka/2015/05/19/iterointi-mita-se-tarkoittaa/>.

Trott, P. 2012. Innovation Management and New Product Development. 5. painos. Harlow: Pearson Education Limited, 439. Viitattu 16.10.2025
https://www.iust.ac.ir/files/pe/files/im_and_npd_paul_trott_compressed.pdf.