

SUMMARY

The thesis aimed to develop a stand and a tool for a 3D printing robot located within a university. The overall criteria for the whole system have been set, such as increasing the robot arm's maximum printing height to at least 3 meters, allowing tool change of position from 0 to 45 degrees, and integrating the existing rotating head. The sequential tasks involved familiarizing with the robot, gathering technical information, setting criteria, prototyping, stress analysis, and finalizing the designs. The thesis also explored economic aspects.

The stand's main criterion was to increase the minimum printing height to at least 3 meters. Using ABB Robotstudio and on-site testing with a real model, it was concluded that the stand should be at least 1.7 meters tall. The maximum acting forces were also found in the robot manual. To meet the height requirements, several potential solutions were explored and evaluated, with the closed profile being the best solution to carry significant loads. Comparisons were made among the different vertical profile prototypes, considering their strengths, weaknesses, and overall performance. The octagonal shape was the best option, as it provided load point proximity, manufacturing possibility, and symmetry. In materials comparison, steel S235 was selected for the stand due to its high strength, good weldability, cost-effectiveness, and availability. To ensure that the chosen stand design could withstand the stresses and loads, stress analysis techniques were employed. Finite element analysis (FEA) was utilized to simulate the structural integrity of the stand. By conducting a stress analysis, it could have been possible to identify potential weak points and make the necessary improvements to reinforce those areas.

The tool's main criteria were to allow the angle to change from 0 to 45 degrees and to integrate the rotating head. With that, the weight requirements and load-carrying ability should be controlled. As the tool became movable, the problem of backlash appeared. As the criteria are too specific, only angle-change solutions have been observed. The manual angle change has been selected as the easiest and most justified solution. Different prototypes were built to compare and test the designs. They have included a hook-pin system, a hook-insert system, and a bolted joint connection. The bolted joint prototype is identified as the most suitable choice, addressing the issue of backlash and providing a stable connection. The rotating head was modified and connected to the tool using countersunk bolts. The tool material was selected to be aluminum 6061 T6, with a high

strength-to-weight ratio, good corrosion resistance, good formability, cost-effectiveness, and availability. To ensure that the chosen tool design could withstand the loads and provide minimum displacement, a stress analysis has been conducted. Stress analysis examines vertical and lateral forces, emphasizing fatigue strength and displacement. The analysis confirms the success of the tool design, with stress levels below the design stress and displacement meeting the required printing accuracy.

The stand and the tool integration would drastically change the system. As there are many modifications, more control over the situation is needed. One of these control points is the accuracy of the printing. The pipe is neither at a constant position nor at a constant angle anymore. The pipe angle can be changed, which changes the distance from the 6th-axis flange. Also, the pipe length can vary. This causes more uncertainty and possible mistakes, which should be controlled. Even though a robot arm can be calibrated, additional control measures should be in place. One of the solutions is to attach a distance sensor. It would allow monitoring of the distance between the pipe's end and the concrete structure. The sensor can be attached to the pipe by the clamp with holes drilled on a horizontal plate. An example of the solution is illustrated in appendix A9.1.

One more development opportunity is hose attachment. As the height is increased by 1.7 meters, the hose cannot lay on the floor anymore. Being filled with concrete, the weight might cause the hose to accommodate the folding point, which would lead the hose to tear. This is further complicated by the fact that, due to the steeper inclination of the concrete flow in the hose, the motor would need to apply more pressure to achieve the previous printing results. This pressure is one additional contribution to the hose's possible rupture. A possible solution is to think through the attachment system for the hose to follow the robot's axes. By directly fastening the hose to the robot, it can be ensured that no rupture will ever occur. This requires calculating the maximum weight on the robot's different axes. Also, all possible movements and positions should be taken into account to provide enough space for the hose to elongate or shorten, depending on the robot's movement. The possible solution is shown in appendix A9.2.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk oli välja töötada ülikoolis asuva 3D-printimise roboti postament ja tööriist. Kogu süsteemile on seatud üldised kriteeriumid, näiteks robotkäe maksimaalse printimiskõrguse suurendamine vähemalt 3 meetrini, tööriista positsiooni muutmise võimaldamine 0-45 kraadini ja olemasoleva pöörleva pea integreerimine. Järjestikused ülesanded hõlmasid robotiga tutvumist, tehnilise teabe kogumist, kriteeriumide seadmist, prototüüpide loomist, stressianalüüsi ja kavandite viimistlemist. Lõputöös käsitleti ka majanduslikke aspekte.

Postamendi peamiseks kriteeriumiks oli maksimaalse trükikõrguse tõstmine vähemalt 3 meetrini. ABB Robotstudio ja reaalse mudeliga kohapeal testimise abil jõuti järeldusele, et postament peaks olema vähemalt 1.7 meetrit kõrge. Maksimaalsed mõjujõud leiti ka roboti käsiraamatust. Kõrgusnõuete täitmiseks uuriti mitmeid võimalikke lahendusi ja hinnati suletud profiiliga parimat lahendust oluliste koormate kandmiseks. Võrreldi erinevaid vertikaalprofiili prototüüpe, võttes arvesse nende tugevaid, nõrku külgi ja üldist jõudlust. Kaheksanurkne kuju oli parim valik, kuna see andis koormuspunkti läheduse valmistamise võimaluse ja sümmeetria. Materjalide võrdluses valiti postamendile teras S235 selle kõrge tugevuse, hea keevitavuse, kuluefektiivsuse ja saadavuse tõttu. Tagamaks, et valitud postamendi konstruktsioon peab vastu pingetele ja koormustele, kasutati pingeanalüüsi tehnikaid. Puistu struktuurse terviklikkuse simuleerimiseks kasutati lõplike elementide analüüsi (LEM). Stressianalüüsi läbiviimine oleks võinud tuvastada võimalikud nõrgad kohad ja teha vajalikke parandusi nende valdkondade tugevdamiseks.

Tööriista peamised kriteeriumid olid võimaldada nurga muutmist 0 kuni 45 kraadi ja integreerida pöörlev pea. Sellega tuleks kontrollida kaalunõudeid ja kandevõimet. Kui tööriist muutus liikuvaks, ilmnis tagasilöögi probleem. Kuna kriteeriumid on liiga spetsiifilised, on vaadeldud vaid nurgamuutuse lahendusi. Käsitsi nurga muutmise on valitud lihtsaima ja põhjendatuma lahendusena. Disaini võrdlemiseks ja testimiseks ehitati erinevad prototüübid. Need on sisaldanud: konks-tihvti süsteem, konks-sisustussüsteem ja poltliideühendus. Poltliigendi prototüüp on tunnistanud sobivaimaks valikuks, mis lahendab tagasilöögi probleemi ja tagab stabiilse ühenduse. Pöörlevat pead muudeti ja see ühendati süvistatud poltide abil tööriistaga. Tööriista materjaliks valiti alumiinium 6061 T6, millel on kõrge tugevuse ja kaalu suhe, hea korrosioonikindlus, hea vormitavus, kuluefektiivsus ja kättesaadavus. Tagamaks, et valitud tööriista konstruktsioon talub

koormusi ja tagab minimaalse nihke, on läbi viidud pingeanalüüs. Pingeanalüüs uurib vertikaalseid ja külgmisi jõude, rõhutades väsimustugevust ja nihkumist. Analüüs kinnitab tööriista disaini edukust, kuna pingetase on alla projekteerimispinge ja nihe vastab nõutavale printimistäpsusele.

Stendi ja tööriistade integreerimine muudaks süsteemi drastiliselt. Kuna muudatusi on palju, on olukordade üle vaja rohkem kontrollida. Üks neist kontrollpunktidest on printimise täpne kõrgus. Toru ei ole enam püsivas asendis ega püsiva nurga all. Toru nurka saab muuta, mis muudab kaugust 6. telje äärikust. Samuti võib toru pikkus olla erinev. See põhjustab suuremat ebakindlust ja võimalikke veapunkte, mida tuleks kontrollida. Kuigi robotkätt saab kalibreerida, peaksid olema paigas täiendavad kontrollimeetmed. Üks lahendusi on kaugusanduri kinnitamine. See võimaldaks jälgida toru otsa ja betoonkonstruktsiooni vahelist kaugust. Anduri saab toru külge kinnitada horisontaalplaadile puuritud aukudega klambri abil. Lahenduse näide on illustreeritud lisas A9.1.

Veel üks arendusvõimalus on voolikukinnitus. Kuna kõrgust suurendatakse 1.7 meetri võrra, ei saa voolik enam põrandal lebada. Betooniga täidetud raskuse tõttu võib voolik kohaneda voltimiskohaga, mis võib viia vooliku rebenemiseni. Selle muudab veelgi keerulisemaks asjaolu, et vooliku betoonivoolu järsema kalde tõttu peaks mootor varasemate printimistulemuste saavutamiseks avaldama suuremat survet. See rõhk aitab kaasa vooliku võimalikule rebenemisele. Võimalik lahendus on mõelda läbi kinnitussüsteem, et voolik järgiks robotite telgi. Kinnitades vooliku otse roboti külge, saab tagada, et süsteem ei puruneks. Selleks on vaja arvutada maksimaalne kaal roboti erinevatel telgedel. Samuti tuleks arvesse võtta kõiki võimalikke liigutusi ja asendeid, et voolikul oleks piisavalt ruumi pikenemiseks või lühenemiseks, olenevalt roboti liikumisest. Võimalik lahendus on toodud lisas A9.2.