



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Hiekansekoituksen automatisointi

Vesa Viljamaa

Opinnäytetyö
Syyskuu 2017
Kone- ja Tuotantotekniikka
Kone- ja Laitteautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja Tuotantotekniikka
Kone- ja Laiteautomaatio

VILJAMAA, VESA:
Hiekansekoituksen automatisointi

Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Syyskuu 2017

Työssä kehitettiin hiekan ja kemikaalin sekoitukseen liittyvää työvaihetta koneiden avulla. Tulostushiekan ja kovetekemikaalin sekoitus oli aikaa vievä ja henkilöstökustannuksia aiheuttava työvaihe Hetitec Oy:llä.

Työvaiheen kehittäminen aloitettiin suunnittelemalla, miten tavoite saavutettaisiin yksinkertaisimmin ja kustannustehokkaimmin. Suunnittelutyö tehtiin yhteistyössä yrityksen johdon sekä yhteistyökumppanin asiantuntijan kanssa.

Suunnittelutyön ja toteutustavan valinnan jälkeen hankittiin tarkoitukseen sopiva kuljetin, punnitusastia ja koneelliseen punnitsemiseen tarvittavat laitteet. Laitteisto asennettiin tarvikkeineen paikalleen ja otettiin käyttöön.

Työn tuloksena työvaiheen kustannuksia saatiin laskettua, työskentely muuttui fyysisesti kevyemmäksi sekä yli jäänyt työaika säästyi muihin työtehtäviin.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

VILJAMAA, VESA:
Automation of sand mixing process

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 1 page
September 2017

The topic of this thesis was to develop the work process of mixing sand and hardener with the help of machinery. The process was time consuming and causing personnel costs to Hetitec Oy.

The development was started by planning how to reach the objective of this thesis in the most plain and cost-effective way. Planning was made with co-operation with the company management and the help of company's partner.

After planning and selecting the implementation, conveyor, weighing container and the equipment for mechanical weighing were acquired. The machinery was installed with the accessories and taken into use.

As the result of this thesis the costs were reduced, the work stage became lighter to perform and there were more work hours saved for other work stages of the production process.

Key words: Spiral conveyor, scale sensor, sand mixing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	IDEOINTI	8
	2.1 Työn aihe	8
	2.2 Tarpeiden ja vaatimusten kartoittaminen.....	9
	2.2.1 Työn tavoitteet	9
	2.3 Toteutustapojen miettiminen	9
3	TEORIA	10
	3.1 Kuljetettava materiaali	10
	3.2 Kuljetintyytit	10
	3.2.1 Ruuvikuljetin.....	10
	3.2.2 Ruuvikuljettimen rakenne ja toiminta.....	11
	3.2.3 Spiraalikuljetin	12
	3.2.4 Spiraalikuljettimen toiminta ja rakenne	13
	3.3 Taajuusmuuttaja moottorikäytössä	13
	3.4 Veto- ja puristusanturi	14
	3.4.1 Venymäliuskan rakenne ja toimintaperiaate	15
4	SUUNNITTELU	16
	4.1 Kuljetinvaihtoehdot	16
	4.2 Hiekan punnitus	16
	4.3 Toteutustavan valinta.....	17
	4.4 Luonnostelu	18
	4.5 Automatiikka	20
	4.6 Budjetointi	20
5	HANKINNAT	22
	5.1.1 Kuljetin.....	22
	5.1.2 Teline.....	22
	5.1.3 Punnitsemisastia.....	22
	5.1.4 Kuljetinputki	23
	5.1.5 Punnitsemisanturi ja näyttö.....	23
6	TOTEUTUS JA RAKENTAMINEN.....	24
	6.1 Kuljettimen testikäyttö.....	24
	6.2 Tukipalkkien rakentaminen	24
	6.3 Kuljetinmoottorin ja punnitusastian kiinnitys.....	26
	6.4 Siilon purku ja kuljettimen alapään asennus.....	26
	6.5 Valmis kokoonpano	28
	6.6 Toteutunut budjetti.....	29

6.7 Investoinnin takaisinmaksuaika.....	29
7 POHDINTA.....	31
7.1 Toteutuksen onnistuminen ja arviointi	31
7.2 Parannusehdotukset	32
LÄHTEET.....	33
LIITTEET	34
Liite 1. 2D-mitoitusluonnokset hiekansekoitustyöpisteestä.....	34

ERITYISSANASTO

CAD	Tietokoneavustettu suunnittelu.
Keerna	Valumuotin ontelo, johon muodostuu valukappaleen muoto muotin valun jälkeen.
Wheatstonen silta	Elektroninen piiri, jonka avulla voidaan mitata sähköistä resistanssia erittäin tarkasti.
PVC	Laajalti käytetty edullinen muovi, jolla korvataan perinteisiä rakennusaineita, kuten puu, betoni ja savi.

1 JOHDANTO

Työssä ideoitiin, kehitettiin, selvitettiin käytettävien laitteiden toimintaa teoriaosuudessa ja toteutettiin parempi koneellinen menetelmä 3D-tulostushiekan ja kemikaalien sekoittamiseen aikaisemman käsintehtyn työvaiheen tilalle.

Hetitec Oy on ensimmäinen pohjoismainen yritys, joka toteuttaa hiekkamuottien 3D-tulostuspalveluita ja valmistaa tulosteita erilaisiin käyttötarkoituksiin. Hetitec on erikoistunut kertakäyttöisten valumuottien tekemiseen, joita käytetään yleensä teollisuusyrityksissä valettujen metallisten prototyyppien tuottamiseen. Yrityksen toimipiste on Valkeakoskella ja se toimittaa 3D-tulosteita ympäri Suomea.

Hiekkamuotti valmistetaan tietokoneella tehdystä CAD-mallista. Valmistus tapahtuu tulostamalla hienorakeista hiekkaa 0,3 mm paksuisissa kerroksissa. Ennen tulostusta hiekkään sekoitetaan pieni määrä kemikaalia, joka aktivoidaan tulostuslaitteen tulostuspäässä toisen kemikaalin avulla. Näiden kahden kemikaalin yhteisvaikutuksella aiheutetaan hiekan rakeiden ”liimautuminen” toisiinsa kiinni.

Hiekkamuottien etuna perinteisiin muottityökaluihin verrattuna ovat: hinta, tarkkuus, sarjatuotannossa käytettäviin muotteihin verrattavat ominaisuudet, monipuoliset käyttökohteet, vapaus valukappaleen geometrian suhteen sekä keernojen yhdistämismahdollisuus. Yhden tulostuskappaleen koko Hetitec Oy:llä käytössä olevassa tulostimessa voi olla maksimissaan 1060 mm x 600 mm x 500 mm.

Opinnäytetyön aiheena on tulostushiekan ja kemikaalin sekoittamisessa tehtävän työvaiheen kehittämisen ideoiminen, suunnittelu ja toteuttaminen. Työvaiheen kehittämistarpeen aiheutti nykyisen työtavan hitaus sekä sen tuoma raskas fyysinen kuormitus työntekijälle.

2 IDEOINTI

2.1 Työn aihe

Hetitec Oy:llä oli tarve kehittää työvaihetta, jossa sekoitetaan tulostushiekka ja kovetekemikaali.



KUVA 1 Alkuperäinen työpiste

Työvaiheessa sekoitetaan hienorakeiseen hiekkaan kemikaalia, joka aktivoidaan myöhemmin tulostusvaiheessa aktivaattorikemikaalilla. Hiekan sekoitukseen käytetään betonin sekoitukseen tarkoitettua Lapa-Mixer Oy:n valmistamaa hiekansekoitinta (KUVA 1: kohta kolme). Työvaiheessa on kriittistä, että kemikaalia sekoitetaan hiekkaan oikeassa suhteessa hiekan painoon nähden, jotta hiekkamuotin tulostusvaiheessa saadaan paras mahdollinen tulos muotin pinnan laadun sekä kestävyuden suhteen.

Alun perin hiekka otettiin suursäkistä (KUVA 1: kohta 1) ämpärillä (KUVA 1: kohta 2) sekä punnittiin henkilöväällä ämpäri kerrallaan, kunnes sekoittimeen oltiin saatu kaadettua 200 kg hiekkaa. Tämän vaiheen jälkeen aloitettiin hiekan ja kemikaalin sekoittaminen, jossa hiekan sekaan ruiskutetaan kemikaalia oikea määrä ja sekoitetaan noin 15 minuuttia.

Sekoituksen jälkeen hiekan ja kemikaalin seos tyhjennettiin sekoittimessa olevan supin läpi (KUVA 1: kohta 4) säkkiin (KUVA 1: kohta 5), jossa sen annettiin olla muutama päivä. Seuraavassa vaiheessa hiekka siirrettiin 3d-tulostimen siiloon, jonka jälkeen siitä tulostettiin aktivaattorikemikaalin avulla valmis kertakäyttöinen valumuotti. Tämän tyyppisiä muotteja on tehokasta käyttää esimerkiksi prototyyppien ja yksittäiskappaleiden valmistukseen, koska kustannukset ovat huomattavasti edullisemmat kuin perinteisillä muottityypeillä.

2.2 Tarpeiden ja vaatimusten kartoittaminen

2.2.1 Työn tavoitteet

Työn tarkoituksena oli helpottaa työvaihetta poistamalla raskaat nostot, sekä parantamalla työpisteen ergonomiaa. Lisäksi tavoiteltiin työvaiheeseen kulutetun vähentämistä, jota voitaisiin hyödyntää hiekkamuottien valmistusprosessin muissa vaiheissa. Työvaiheeseen kului työaikaa noin neljästä kahdeksaan tuntia per työviikko. Yrityksellä on vain yksi tuotantotyöntekijä, joten työajan käyttö oli merkittävä suhteessa käytettävissä oleviin resursseihin.

2.3 Toteutustapojen miettiminen

Ensimmäisenä päätettiin, että hiekan nostelu ämpärillä käsivoimin pitää saada kokonaan pois työvaiheesta. Hiekka tyhjennettäisiin ensin suursäkeistä siiloon, josta se siirrettäisiin 200 kg erissä sekoittimeen. Hiekan siirtoon tarvittaisiin kuljetin ja se punnittaisiin koneellisesti sähköisien antureiden avulla ennen siirtoa sekoittajaan. Kuljettimen moottorin ohjaus tapahtuisi taajuusmuuttajalla, jolla saataisiin säädettyä nopeutta ja pyörimissuuntaa helposti ja nopeasti.

Hetitec Oy:n tuotantotila on korkeudeltaan noin kuusi metriä, joka mahdollistaisi korkeussuunnassa erilaisia toteutustapoja. Toisaalta taas tilan määrä oli pituus- ja leveysuunnassa rajallinen. Näitä reunaehtoja käyttäen oli toteutettava mahdollisimman hyvä ja kustannustehokas ratkaisu.

Työtä lähdettiin tekemään selvittämällä mahdollisia toteutustapoja ja niiden toimintaa teoreettisesti.

3 TEORIA

3.1 Kuljetettava materiaali

3d-tulostuksessa käytetään tiheydeltään $1,6 \text{ kg / dm}^3$ olevaa erittäin hienoa ja puhdasta hiekkaa. Hiekka koostuu noin 0,2 mm-0,3 mm kokoisista rakeista. Tulostimella voidaan tulostaa noin 0,3mm kerrospaksuudella. Tulostamalla hienojakoista hiekkaa 0,3mm kerroksissa saavutetaan paras mahdollinen lopputulos tulostettavan muotin pinnan tarkkuuden suhteen.

3.2 Kuljetintyyppit

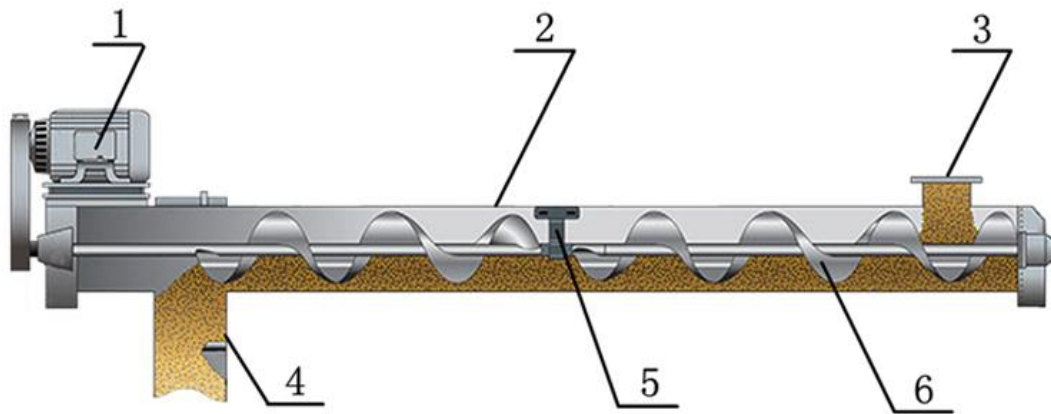
3.2.1 Ruuvikuljetin

Kuljetettavaa materiaalia voidaan siirtää ruuvikuljettimella pysty- ja vaakasuunnassa sekä vinossa kulmassa. Ruuvikuljetin suojataan yleensä kouru- tai putkirakenteen sisään. Suojaamisella estetään ulkopuolisien tekijöiden, kuten veden tai muiden epäpuhauksien sekoittuminen kuljetettavaan materiaaliin. Ruuvikuljettimia käytetään yleisesti maa- ja metsätalousteollisuudessa esimerkiksi viljan, hiekan, turpeen sekä hakkeen siirtämiseen. (LÄHDE 1)

Ruuvikuljettimen edut:

- Koteloitu, itsekantava ja kooltaan pieni rakenne nähdessä kuljettimen siirtokapasiteettiin.
- Edullinen hinta ja vähäinen huoltotarve verrattuna muihin kuljetintyyppeihin.
- Työturvallisuuden parantuminen suljetun rakenteen ansiosta.
- Kuljetuksen aikana voidaan myös jäähdyttää, lämmittää tai pestä kuljetettavaa materiaalia.
- Monipuolinen saatavuus erilaisiin käyttötarkoituksiin.
- Kestävä ja luotettava rakenne yksinkertaisuuden ansiosta.
- Materiaalin tarkka annostelu mahdollista säätämällä kuljettimen käyntiä ja nopeutta.

3.2.2 Ruuvikuljettimen rakenne ja toiminta



KUVA 2 Ruuvikuljettimen rakenne (LÄHDE 2)

1. Kuljettimen moottori (KUVA 2)

Ruuvikuljettimen moottorina käytetään yleensä sähköistä kaksi- tai kolmivaihe moottoria. Moottorin käyntinopeutta voidaan säätää vaadittavan kuorman mukaan joko kuljettimen päässä olevalla vaihteistolla tai taajuusmuuttajalla.

2. Ruuvin kotelointi

Ruuvi koteloidaan yleensä kourun sisään. Koteloinnilla suojataan kuljetettavaa materiaalia sekä kuljettimen pyöriviä osia. Lisäksi sillä tuetaan myös kuljettimen kantavaa rakennetta.

3. Kuljetettavan materiaalin sisääntuloaukko

Materiaali syötetään kuljettimeen syöttöaukon kautta. Syöttöaukko voidaan laittaa merkiksi siilon pohjaan, jolloin materiaalin syöttäminen kuljettimelle hoidetaan painovoiman avulla.

4. Kuljetettavan materiaalin ulostuloaukko

5. Kuljetin akselin tukilaakeri

Kuljetinputken tai kourun koteloinnissa voidaan käyttää tukilaakereita.

6. Ruuvilaippa

Ruuvilaippaa pyörittämällä siirretään kuljetettavaa materiaalia putken sisällä. Sillä estetään myös materiaalin putoaminen alaspäin sovelluksissa, joissa materiaalia kuljetetaan jyrkässä kulmassa tai pystysuoraan ylöspäin.

Moottorin pyörittäessä akselia ruuvilaipoilla siirretään kuljetettavaa materiaalia suljetun putken pohjalla eteenpäin sisääntuloaukosta kohti ulostuloaukkoa. Käyttötarkoituksesta riippuen moottori asennetaan joko kuljettimen sisääntulopäähän tai ulostulopäähän.

Pyörivä kuljetin akseli laakeroidaan molemmista päistään ja akselin keskelle voidaan laittaa tukilaakerointeja, joilla vähennetään pyörivän akselin aiheuttamaa värähtelyä sekä tuetaan kuljettimen rakennetta.

3.2.3 Spiraalikuljetin

Sellaisissa sovelluksissa, joissa ei tarvita kuljetettavalle materiaalille suurta siirtonopeutta eikä materiaali ole raskasta, voidaan käyttää myös akselitonta ruuvikuljetinta eli spiraalikuljetinta. (LÄHDE 4)

Spiraalikuljettimen edut ruuvikuljettimeen nähden:

- Kevyempi rakenne.
- Edullisempi hinta.
- Akselittomalla rakenteella mahdollistetaan kuljetinputkelle esimerkiksi kaareva muoto, jonka ansiosta asennus saadaan helposti sovitettua erilaisiin tilaratkaisuihin.
- Kuljetinputkina voidaan käyttää esimerkiksi taipuisia liukaspintaisia muoviputkia.
- Avonaisemman rakenteen ansiosta mahdollistetaan epätodennäköisempi tukkeutuminen.
- Kuljetettavan materiaalin kokoa voidaan vaihdella enemmän kuljetinputken kokoon nähden.

Spiraalikuljettimen haitat ruuvikuljettimeen nähden:

- Hitaampi siirtonopeus.
- Kuljetinrakenteen itsekantavuus on heikompi riippuen sovelluksesta ja käytettävästä kuljetinputkesta.
- Siirrettävän materiaalin rajoitukset.
- Spiraalirakenteen tukevuus huonompi suurilla kuormilla.
- Spiraalikuljetinta ei voida käyttää pystysuorana ”hissinä” johtuen kuljetettavan materiaalin putoamisesta alas putkessa.

3.2.4 Spiraalikuljettimen toiminta ja rakenne

Spiraalikuljetin on tehty hyvin samankaltaisista komponenteista ruuvikuljettimen (KUVA 4) kanssa.



KUVA 3 Spiraali

Spiraalikuljettimesta on poistettu ruuvikuljettimessä oleva keskiakseli. Teräksestä muotoiltu spiraali (KUVA 3) kiinnitetään yleensä lyhyeen akselinpätkään kuljettimen molemmissa päissä. Akselin päät laakeroidaan ja kuljetinta pyöritetään joko syöttö- tai ulostulopäästä sähköisellä tai pneumaattisella moottorilla.

3.3 Taajuusmuuttaja moottorikäytössä



KUVA 4 Danfoss Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaa (KUVA 4) käytetään moottorin ohjaamissovelluksissa vaihtosähkömoottorin nopeuden säätämiseen halutuksi. Suoraan sähköverkkoon kytkettäessä vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeuden määrittää verkon taajuus. Ilman taajuusmuuttajaa prosessia joudutaan säätämään esimerkiksi mekaanisilla vaihteistoilla tai kuristimilla. Mekaanisilla pyörivillä lisäosilla aiheutetaan prosessin energiatehokkuuden huonontumista.

Taajuusmuuttajan tehokkaassa käytössä moottoria ajetaan eri kuormitustilanteissa prosessin kulloinkin vaatimalla nopeudella. Paljon tehoa vaativissa sovelluksissa saavutetaan huomattava energiansäästö. Taajuusmuuttajalla tasataan myös sähköverkon kuormitusta esimerkiksi kiihdytys- ja käynnistystilanteissa sekä pidennetään myös moottorin kestoikää, koska moottorille tulevaa kuormaa jaetaan tasaisemmin. (LÄHDE 4)

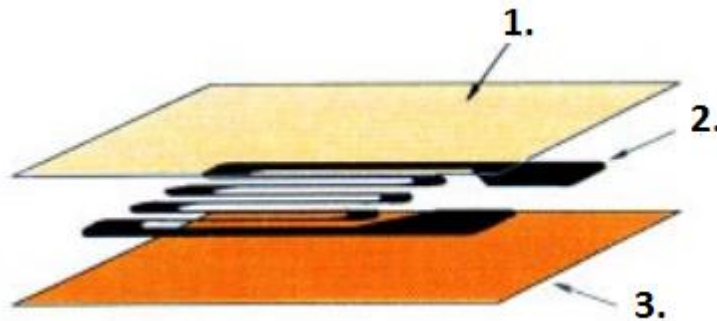
3.4 Veto- ja puristusanturi



KUVA 5 Yksinkertainen veto- ja puristusanturi VETEK VZ101BH

Veto- ja puristusanturi (KUVA 5) ripustetaan yläpäästään roikkumaan esimerkiksi pulttikiinnityksellä tukevaan telineeseen. Sen jälkeen laitetaan anturin alapäähän punnittava taakka roikkumaan. Taakalla ”venytetään” anturia, jolloin anturin sisällä olevan anturielementin resistanssi muuttuu. Resistanssin muutoksesta saadaan laskettua materiaalin paino. Tämänkaltaisia antureita on saatavissa kokoluokissa 20 kg – 20 t. Punnitusantureina käytettävien veto- ja puristusanturien toiminta perustuu venymäliuskaan. (LÄHDE 5)

3.4.1 Venymäliuskan rakenne ja toimintaperiaate



KUVA 6 Venymäliuskan rakenne (LÄHDE 5)

1. Laminointikalvo

Venymäliuska laminoidaan päältä ohuella laminointikalvolla, jotta anturielementti pysyy paikallaan eikä kosketa muita pintoja.

2. Anturielementti

Ristikonmuotoinen kuparinen folio paksuudeltaan 3-6 μ m.

3. Muovikalvo

Muovinen pohjalevy paksuudeltaan 15-16 μ m, jonka päälle anturielementti asetetaan.

Venymäliuskan (KUVA 6) toiminta perustuu metallin resistanssiin, joka muuttuu, kun metalliin kohdistetaan vetoa tai puristusta. Resistanssin muutos on yleensä hyvin pieni ja sitä vahvistetaan yleisimmin Wheatstone silta -kytkennällä. Esimerkiksi punnitussovelluksessa venymäliuskaan syötetään jännite ja sen jälkeen mitataan venymäliuskan toisesta päästä palaava jännite. Tämän jännite-eron muutoksesta saadaan laskettua venymäliuskaan kohdistuva veto- tai puristusvoima, joka voidaan muuntaa painoksi. (LÄHDE 6)

Venymäliuskoja käytetään hyvin monenlaisissa sovelluksissa kuten: paineenmittaus, materiaalien ja rakenteiden kuormitukseen sekä väsymiseen liittyvät mittaukset.

4 SUUNNITTELU

4.1 Kuljetinvaihtoehdot

Fyysinen työosuuden keventämiseksi tarvittiin kuljetin, joka soveltuu hiekan kuljettamiseen. Hetitec Oy:llä käytetään toisessa työvaiheessa spiraalikuljettimia hiekan kuljettamiseen, joten spiraalikuljetin valittiin yhdeksi toteutusvaihtoehdoksi hiekan siirtoon. Spiraalikuljettimen eduiksi laskettiin hankinnan edullisuus, kuljettimen keveys, jonka ansiosta kuljettimen asennukselta ei vaadittaisi järeitä ripustuksia tai telineitä. Haittapuoliksi luettiin kyseenalainen soveltuvuus hiekan kuljettamiseen sekä laitteiden saatavuus Suomessa.

Toisena vaihtoehtona mietittiin ruuvikuljetinta, jota käytetään yleisesti esimerkiksi betoniteollisuudessa suurien hiekkamäärien tehokkaaseen siirtämiseen, sen huonoiksi puolin osoitettiin kuljettimen raskaus, kiinteä asennus sekä hankintahinta. Ruuvikuljetin olisi soveltuvuudeltaan parhain valinta työhön nopeutensa ja kestävyytensä ansiosta.

Siirrettävä liukuhihnakuljetin valittiin myös yhdeksi vaihtoehdoista, niitä käytetään esimerkiksi rakennustyömailla rakennusjätteen kuljettamiseen. Sen hyvänä puolena lisättiin siirreltävyys sekä tehokkuus, huonoina puolina taas hankintahinta ja soveltuvuus projektiin.

4.2 Hiekan punnitus

Ensimmäisenä vaihtoehtona suunniteltiin, että hiekansekoittimen alle laitettaisiin punnitusanturilla varustetut tallat. Niillä punnittaisiin sekoittimen sekä hiekan yhteenlaskettu paino, jonka summasta laskettaisiin hiekan paino vähentämällä kokonaispainosta sekoittimen massa. Hiekka nostettaisiin ensin noin kahden ja puolen metrin korkeuteen kuljettimella ja tiputettaisiin siitä suoraan sekoitimeen. Hiekansekoitin kiinnitettäisiin tukevasti kiinni alustaansa, liikkumisen estämiseksi sekoituksen aikana. Talla-antureiden kestävyteen suhtauduttiin epäilyksellä hiekan sekoittimen käynnin aikana aiheutuvien vibraatioiden takia. Työturvallisuuden ja käyttömukavuuden kannalta päästäisiin helpommalla, koska laitteiston matala korkeus mahdollistaisi helpomman huollon ja käytettävyyden.

Hiekan punnitseminen voitaisiin tehdä myös nosturivaaka-tyyppisellä ratkaisulla. Tämänkaltaisessa toteutuksessa hiekka nostettaisiin korkeammalle jonkinlaiseen punnitusastiaan ja tiputettaisiin alas sekoittimeen, kun se oltaisiin punnittu. Korkeussuunnassa vaadittaisiin paljon tilaa, mutta punnitus saataisiin hoidettua edullisilla komponenteilla ja tarkasti, koska taakkaa roikotettaisiin keskitetysti vain yhdestä pisteestä.

Punnitsemisen saataisiin myös tehtyä ennen hiekan kuljettamista sekoittimeen. Tässä ratkaisussa siilon alle laitettaisiin punnitustallat, joilla punnittaisiin siilossa olevan hiekan massa. Sekoitettavien erien punnitus tehtäisiin laskemalla siilosta poistuvan hiekan määrää. Siilossa tapahtuva punnitus voitaisiin tehdä lattiatasossa ja hiekka saataisiin siirrettyä suoraan siilosta sekoittimeen. Toteutukselta vaadittaisiin kiinteä asennus, jotta punnitukseen saataisiin tuotantoprosessin vaatima tarkkuus.

4.3 Toteutustavan valinta



KUVA 7 Käyttämätön siilo

Rajallisen budjetin takia päädyttiin käyttämään vanhaa hiekkasiiloa (KUVA 7), joka löytyi jo yrityksen tiloista ja tekemään siihen tarvittavat muutokset itse, jotta se sovel-

tuisi käyttötarkoitukseemme. Yrityksen varastosta löydettiin tukeva metallipalkeista tehty teline, johon päätettiin tehdä korotettavat jatkopalat. Telineen avulla hiekan punnitusastia saataisiin nostettua tarpeeksi korkealle. Hiekan punnitsemiseen päätettiin hankkia nosturivaakatyypinen ratkaisu sen tarkkuuden, edullisuuden ja helpon toteuttavuuden ansiosta. Punnitusastiaksi päätettiin teettää siihen sopiva yläreunastaan telineeseen ripustettava astia. Kuljettimen valinnassa päädyttiin kustannustehokkaimpaan ratkaisuun eli spiraalikuljettimeen, jonka moottori ripustettaisiin samaan tukipalkkiin kuin punnitusastia.

4.4 Luonnostelu

Suunnittelu aloitettiin mitoittamalla sekoittimen ja kuljettimen sijoituspaikka hallissa. Hiekansekoittinta voitaisiin siirrellä hallissa nykyisen sekoituspaikan vieressä olevien tolppien välillä. Kuljetinputki asennettaisiin siilon ja sekoittimen suhteen sellaiseen kulmaan, jolla saavutettaisiin optimaalinen kuljetusnopeus spiraalikuljettimelle sekä säästettäisiin mahdollisimman paljon rajallista tilaa muuhun tuotantokäyttöön ja varastointiin.



KUVA 8 Nykyiset spiraalikuljettimet

Kuljetinputken nousukulman jyrkkyyden määrittelyssä käytettiin apuna yrityksellä käytössä olleita spiraalikuljettimia (KUVA 8) ja niiden tehokkuutta.

Rajoittavaksi tekijäksi huomattiin hallin korkeus, joka otettaisiin huomioon tukipalkin korkeutta mitoittaessa. Laitteiston kokonaiskorkeuteen laskettiin yhteen hiekansekoittimen korkeus lattiasta, punnitusastian korkeus, punnitusastian kiinnityksen ja vaakaanturin korkeus sekä niiden yläpuolelle tulevan tukipalkin sekä kuljettimen moottorin korkeus.



KUVA 9 3D-mallinnettu luonnos uudistetusta hiekansekoituspisteestä

Luonnostelu aloitettiin piirtämällä paperille luonnoksia laitteistosta sivu- sekä pystysuunnassa. Mitat hankittaville osille saatiin laitteiston laitteistojen valmistajilta. Piirrustusten jälkeen tehtiin 3d-mallinnettu luonnos (KUVA 9), jotta nähtäisiin osviittaa miltä laitteisto näyttäisi valmiina. Laitteistosta piirrettiin myös 2D-mitoituskuvat (LIITE 1), johon aseteltiin mitat kasaamisen avustamiseksi.

4.5 Automatiikka

Hiekansekoitustyön tekeminen voitaisiin toteuttaa lähes täysin automatisoiduksi työvaiheeksi, mutta budjetin rajallisuuden vuoksi päädyttiin kuitenkin manuaalisilla käyttökytkimillä toimivaan ratkaisuun. Käyttökytkimillä ohjattaisiin kuljettimen käyntiä säättävää taajuusmuuttajaa vaa'an näytössä olevan lukeman mukaan, kunnes punnitusastiaan saataisiin haluttu määrä sekoitukseen menevää hiekkaa. Kuljettimen pysäytyksen jälkeen tyhjäntäisi punnitusastia, jonka jälkeen lisättäisiin hiekkaan tulostuksessa tarvittava kemikaali manuaalisesti ruiskulla sekoitusvaiheessa. Sekoituksen tultua valmiiksi hiekan ja kemikaalin seos tyhjäntäisi toiseen säkkiin, kuten aikaisemmassakin työvaiheen toteutuksessa.

4.6 Budjetointi

Työ tilattiin pienen yksityisyrittäjän toimesta, joten toteuttaminen täytyi tehdä mahdollisimman kustannustehokkaasti. Suunniteltaessa työtä sovittiin, että se toteutettaisiin muutaman tuhannen euron budjetilla.

Realistisempi budjetti saatiin laskettua, kun oltiin mietitty minkälaisia hankintoja sekä minkä verran työtä tarvittaisiin projektin toteuttamiseksi.

Alustava budjetti	
Kuljetinlaitteisto	800,00 €
Punnitusastia	700,00 €
Vaaka-anturi näytöllä	500,00 €
Taajuusmuuttaja	200,00 €
Sähkötyöt	300,00 €
Tukipalkki muokkauksineen	400,00 €
Siilo	0,00 €
Yhteensä	2 900,00 €

TAULUKKO 1 Alustava budjetti

Alustava budjetti (TAULUKKO 1) laskettiin selvittämällä tarvittavien osien hintoja internetistä sekä kyselyillä puhelimitse lähellä olevista yrityksistä. Siilon hintaa ei ole

laskettu budjettiin, koska se on jo yrityksen aiemmassa omistuksessa ilman järkevää käyttöä. Budjetti todettiin toteuttamiskelpoiseksi ja päätettiin, että työ toteutetaan.

5 HANKINNAT

5.1.1 Kuljetin

Kuljettimeksi hankittiin spiraalikuljetin, koska se oli käyttötarkoituksen kannalta sopivin, edullinen sekä nopeasti saatavilla oleva.

Kuljetin tilattiin Triotec Oy:ltä. Toimitukseen sisältyi kaksi kappaletta kolme metriä pitkiä pvc-muovisia 80mm halkaisijaltaan olevaa putkia. Lisäksi mukaan tuli kuljettimen alapäähän kiinnitettävä laakeripesä, spiraalin kiinnitinakseli, noin seitsemän metriä teräksistä spiraalia, kuljettimen moottori sekä kuljettimen yläpäähän tuleva suppilo.

5.1.2 Teline

Viereistä varastotilasta löytynyt u:n muotoinen tukipalkki ostettiin hallin omistajalta kuljettimen moottoriosan sekä punnitsemisastian kiinnitystä varten. Lisäksi telineelle teetettiin viereisessä metallialan yrityksessä pulttikiinnitteiset noin metrin korkuiset jatkokopalat.

5.1.3 Punnitsemisastia

Punnitsemisastia teetettiin luonnosten mukaan Lapa-Mixer Oy:ssä. Yritys valittiin sillä perusteella, koska se oli jo aikaisemmin valmistanut tulostuksessa käytettävän hiekan ja kemikaalin sekoittamiseen takoitettua laitteen. Lapa-Mixer Oy:stä käytiin paikan päällä luonnostelemassa projektin käyttötarkoitukseen sopiva punnitsemisastia.

Astiasta tehtiin muodoltaan täysin symmetrinen ja pyöreä, koska sen kiinnitys tapahtui vain yhdestä pisteestä. Muotoilun ansiosta minimoitiin astian mahdolliset heilahtelut sekä punnitsemisen epätarkkuus. Punnitsemisastiaan asennettiin paineilmalla toimiva läpävientiili, jonka avautuessa astia tyhjenee kerralla täysin tyhjäksi. Astiasta tehtiin muuten täysin umpinainen, lukuun ottamatta kahta täyttöreikää sen yläpäässä. Umpinaisuudella minimoitiin hienojakoisen hiekan pölyäminen astian täyttövaiheessa.

5.1.4 Kuljetinputki

Spiraalikuljettimen mukana tulleen PVC-muoviputken todettiin sopivan huonosti käyttötarkoitukseen, koska sen kulmaa oli hankala säätää. Kuljetinputken tukevuus todettiin huonohkoksi testausvaiheessa kuljetettavan materiaalin painoon nähden. Kovamuovinen putki aiheutti myös tilankäytöllisiä ongelmia laitteiston sijoittamiseen hallissa.

Hetitec Oy:n vanhoissa, tulostimen siilossa käytössä olevissa spiraalikuljettimissa, oli käytetty joustavaa sekä kulutusta kestävästä muoviputkesta. Päätettiin hankkia vastaavanlaista putkesta lopullisen asennuksen helpottamiseksi sekä mahdollisen tulevaisuudessa tulevan laajennus- tai siirtotarpeen takia. Putken hankkiminen osoittautui vaikeaksi; Suomesta ei löytynyt tarpeeksi suurella halkaisijalla vastaavaa materiaalia olevaa putkesta. Halutun lainen putki tilattiin lopulta Saksasta 3D-tulostimen valmistajalta.

5.1.5 Punnitsemisanturi ja näyttö

Punnitusratkaisua varten hankittiin yksi erillinen nosturivaaka-anturi sekä näyttö punnituslukeman lukemista varten. Anturielementin skaalaksi valittiin 0-500kg, koska hiekan painon lisäksi anturin täytyi kestää myös punnitusastian paino, joka oli noin 80kg.

Näytöksi valittiin kahdella ohjelmoitavalla relelähdöllä varustettu punnitusnäyttö. Relelähdöillä mahdollistettaisiin ohjaussignaalin katkaiseminen taajuusmuuttajasta.

6 TOTEUTUS JA RAKENTAMINEN

6.1 Kuljettimen testikäyttö

Komponenttien saavuttua päätettiin rakentaa ennen lopullista asennusta väliaikainen testikuljetin, jolla testattiin spiraalikuljettimen soveltuvuus ja nostokyky hiekan kuljettamiseen. Testauksella määriteltiin, kuinka jyrkässä kulmassa hienojakoista hiekkaa voitaisiin kuljettaa putkessa ylöspäin sekä riittäisikö kuljettimen nopeus käyttötarkoitukseen.

Testikäyttöä varten valittiin yrityksen hallissa oleva jyrkkä portaikko. Portaikossa oli myös kaide, johon kuljetinputki saatiin helposti kiinnitettyä. Portaikon jyrkkyys oli noin 45 astetta, joka alkoi olla lähellä suunniteltua kulmaa lopullista asennusta ajatellen. Kuljettimen yläpäässä oleva moottori ja suppilo kiinnitettiin yrityksen metallikehikkoon.

Testikäyttöä varten tilattiin sähköasentaja kytkemään moottoriin sähköt sekä taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajalla saatiin säädettyä kuljettimen pyörimissuuntaa sekä nopeutta.

Hiekkaa ajettiin kahdenkymmenen kilon erissä kuljettimeen testaten kuljettimella eri pyörimisnopeuksia. Kahdenkymmenen kilon kuljetukseen mitattiin kestävän alle minuutin. Tehokkuuden huomattiin olevan riittävä käyttötarkoitukseen.

6.2 Tukipalkkien rakentaminen

Pitkän suunnittelun tuloksena päästiin tilankäytön kannalta optimaalisimpaan layouttiin, joka oli mahdollista toteuttaa ja haittaisi tuotantoprosessin muita osa-alueita mahdollisimman vähän.



KUVA 10 Tukipalkkien konstruktio

Ensimmäiseksi kiinnitettiin alkuperäiseen u-palkkiin (KUVA 10) vajaan metrin pituiset jatkopalat pulteilla. Seuraavaksi tukipalkki siirrettiin paikalleen hallin lattialla ja sitä pidettiin trukin piikeillä tukemalla pystyssä kaatumista varoen. Tukipalkki kiinnitettiin betonilattiaan porattuihin reikiin liimamassan ja kierretankojen avulla neljästä tukipisteestä.

6.3 Kuljetinmoottorin ja punnitusastian kiinnitys



KUVA 11 Moottorin ja punnitusastian kiinnityslaipat

Tukipalkkien asentamisen jälkeen niiden yläosaan kiinnitettiin kuljettimen yläpään moottoriosaa sekä punnitusastiaa hiekalle. Kuljettimen moottoria sekä punnitusastiaa varten teetettiin neliönmuotoiset laipat (KUVA 11), jotka saatiin kiristettyä pultti- ja mutterikiinnityksellä tukevasti kiinni telineeseen. Pienen henkilönosturin ja trukin avulla tarvittavat kiinnitystyöt saatiin tehtyä yhden päivän aikana.

6.4 Siilon purku ja kuljettimen alapään asennus

Siilosta irroitettiin siihen kiinnitettynä olleet ruuvi sekä moottori. Siilon alapäässä olevan kuljetinputken molempiin päihin teetettiin uudet laipat, koska spiraalikuljettimen mukana tulleet osat todettiin vääränkokoisiksi.



KUVA 12 Spiraalin alapään laakerointi ja teetetty kiinnityslaippa



KUVA 13 Spiraalin alapään kiinnitys poistoputken puolelta

Laakeripesäkkeeseen (KUVA 12) kiinnitettiin akseli, jonka juureen kiinnitettiin spiraalin alapää. Tämän jälkeen spiraali pujotettiin sisään siilon alapäässä olevaan putkeen ja suljettiin putken molemmat päät pulttikiinnitteisillä laipoilla (KUVA 12 ja KUVA 13).

6.5 Valmis kokoonpano



KUVA 14 Hiekansekoituspisteen punnitus ja sekoituspää



KUVA 15 Hiekkasiilo valmiina

Asennusten tultua valmiiksi päästiin ottamaan uudet laitteet (KUVA 14 ja KUVA 15) käyttöön. Laitteistosta tuli suunnitellun kaltainen ja työlle asetetut tavoitteet täytettiin onnistuneesti.

Valmiiseen toteutukseen lisättiin lyhyitä putkenpätkiä ohjureiksi (KUVA 14) moottorin suppilopäähän sekä punnitusastian tyhejennysaukon kohdalle hiekan pölyämisen sekä leviämisen vähentämiseksi.

6.6 Toteutunut budjetti

Toteutunut budjetti	
Kuljetinlaitteisto	750,00 €
Punnitusastia	650,00 €
Vaaka-anturi näytöllä	500,00 €
Taajuusmuuttaja	200,00 €
Sähkötyöt	250,00 €
Tukipalkki muokkauksineen	400,00 €
Siilo	0,00 €
Kuljetinputki	1 000,00 €
Metallityöt konepajalla	200,00 €
Työvälinevuokrat	100,00 €
Tarvikkeet	50,00 €
Yhteensä	4 100,00 €

TAULUKKO 2 Toteutunut budjetti

Alun perin laskettu budjetti piti paikkansa hyvin lukuunottamatta joustavan kuljetinputken hankintahinta. Investointikustannuksissa ei ole otettu huomioon itsetehdyn suunnittelutyön sekä toteuttamisen kustannuksia. Tästä syystä kustannukset saatiin pidettyä alhaisina ja investointi kannattavana sekä järkevänä kahden hengen pienyritykselle.

6.7 Investoinnin takaisinmaksuaika

Alla (TAULUKKO 3) on laskettu hiekan ja kemikaalien sekoittamiseen kulutettu työaika työvaiheeseen käytetyn keskimääräisen kuukausituntimäärän perusteella. Kaikissa taulukoissa käytetyt hinnat ovat alv 0% hintoja.

Työvaiheeseen ennen parannusta käytetty työaika		
Tunnit	Tuntihinta	Kokonaiskustannus
30 h / kk	35 € / h	1050 € / kk

TAULUKKO 3 Työvaiheen kustannukset ennen parannusta

Laitteiston käyttöönottamisen jälkeen työvaiheeseen käytetty työaika saatiin pudotettua noin puoleen. Alla (TAULUKKO 4) laskelma tehtyjen parannusten jälkeisistä kustannuksista.

Työvaiheeseen parannuksen jälkeen käytetty työaika		
Tunnit	Tuntihinta	Kokonaiskustannus
15 h / kk	35 € / h	525 € / kk

TAULUKKO 4 Työvaiheen kustannukset parannuksen jälkeen

Investoinnin takaisinmaksuaika (TAULUKKO 5) on laskettu säästyneistä kuukausikustannuksista. Laskelmissa ei ole otettu huomioon saadaanko säästetty työaika käytettyä tehokkaaseen ja tuottavaan työhön. Tarvittavien sekoituserien määrä voi myös vaihdella tilauskannan mukaan, joten todellinen investoinnin takaisinmaksuaika voi olla joko lyhyempi tai pidempi.

Investoinnin takaisinmaksuaika	
Investoinnin kokonaiskustannus	4100 €
Säästö / kk	525 € / kk
Investoinnin takaisinmaksuaika	7,8 kk

TAULUKKO 5 Investoinnin takaisinmaksuaika

7 POHDINTA

7.1 Toteutuksen onnistuminen ja arviointi

Työn tavoitteena oli vähentää työn fyysistä rasittavuutta sekä vapauttaa työaikaa muihin työtehtäviin. Tavoitteeseen päästiin mielestäni hyvin ja työ oli hyödyllinen sen tilaamalle yritykselle.

Investoinnin hinta saatiin pidettyä kohtuullisena, koska työ toteutettiin opinnäytetyönä. Jos työn olisi teetetty ammattilaisilla, niin todelliset kustannukset olisivat olleet arvion mukaan noin kaksinkertaiset sisältäen suunnittelun, asennuksen ja käyttöönoton.

Työn ansiosta yrityksen vähäiset resurssit saatiin tehokkaampaan käyttöön, jolla helpotettaisiin varsinkin ajoittaista kiirettä. Työaikaa vapautuu hiekkamuottien valmistusprosessin muihin työvaiheisiin, kuten esimerkiksi hiekkamuottien puhdistukseen, tulostinlaitteessa aiheutuvien vikatilanteiden selvitykseen, varaston hallinnoimiseen ja muottien pakkaamiseen. Hiekkansekoituksen tekeminen oli myös aikaisemmin fyysisesti rasittavaa ja epäergonomista keskeneräisen työpisteen vuoksi. Välillisiä kustannussäästöjä voi siis tulla myös esimerkiksi sairauspoissaolojen aiheuttamissa lisäkustannuksissa.

Laitteiston tilankäyttö ei onnistunut täysin suunnitellusti, koska hallitilaa kului hieman enemmän kuin alun perin oli suunniteltu. Ongelma johtui siitä, että kuljetinputkea ei saatu taivutettua tarpeeksi jyrkkään kulmaan. Putken taivuttamista vaikeutti myös siilon alaosassa ollut täysin vaakatasossa oleva kuljettimen lähtöputki, joka olisi pitänyt saada käännettyä jyrkempään lähtökulmaan. Tämä olisi vaatinut jonkin verran metallitöitä, joita ei ollut mahdollista toteuttaa budjetin ja aikataulun puitteissa.

Työn haastavin osuus oli selvitystyöt liittyen kuljettimen toimintaan, halvimman toteutustavan etsiminen sekä laitteiston suunnittelu ja toteutus ahtaaseen työtilaan. Myöskin laitteiston kasaaminen tuotti ongelmia, koska mitoitus ei onnistunut täysin suunnitellusti ja esimerkiksi kuljettimen moottorin sekä punnitusastian kiinnitystä jouduttiin siirtämään moneen otteeseen.

7.2 Parannusehdotukset

Laitteistoon voitaisiin lisätä enemmän automatiikkaa, joka mahdollistaisi työvaiheen toteuttamisen pienemmällä työtuntimäärällä.

Ohjelmoitavan logiikan avulla kuljetin saataisiin pysähtymään halutun hiekkamäärän kuljettamisen jälkeen. Tämän jälkeen automatiikka vapauttaisi releohjauksella punnitusastian pohjassa olevan läppäventtiilin tiputtaen punnitun hiekan sekoittajaan. Seuraavaksi logiikka käynnistäisi sekoittimen sekä lisäisi releohjattavalla pumpulla suoraan kanisterista oikean määrän nestemäistä kemikaalia hiekan sekaan. Sekoittajaa ohjattaisiin logiikassa olevalla ajastimella, joka katkaisisi sekoituksen automaattisesti, kun hiekan ja kemikaalin seos olisi valmista.

Näiden parannusten jälkeen hiekansekoittamiseen liittyvässä työvaiheessa tarvitsisi ainoastaan lisätä puhdasta hiekkaa siiloon, vaihtaa kemikaalikanisteri sen tyhjentyessä ja tyhjentää valmis sekoitettu hiekka-kemikaaliseos jälleen toiseen säkkiin tulostimelle vietäväksi.

LÄHTEET

KUVA 2. Spiral. GIMAT SRL. [Viitattu 9.10.2017]. Saatavissa: http://img.directindustry.com/images_di/photo-m2/69082-8806118.jpg

KUVA 3. PK Henan Pingyuan Mining Machinery Co.,Ltd. Screw Conveyor. [Viitattu 9.10.2017]. Saatavissa: [http://www.pkmachinery.com/d/pic/screw%20conveyor/screw-conveyor\(2\).jpg](http://www.pkmachinery.com/d/pic/screw%20conveyor/screw-conveyor(2).jpg)

KUVA 4. Taajuusmuuttaja Danfoss FC-102 2,2 kW. Tammiholma Oy. [Viitattu 9.10.2017]. Saatavissa: <https://www.tammiholma.fi/wp-content/uploads/2013/12/DCV-300x300.png>

KUVA 5. Load Cell 500 kg for tension and compression. VETEK WEIGHING AB. [Viitattu 9.10.2017]. <https://www.vetek.com/Webservices/images/image.ashx?WebshopImageUID=827cc74a-bb3d-4b04-9a6f-5030cb12e333&MaxWidth=700&MaxHeight=400>

KUVA 6. Structure of Strain Gages. Straintech Finland Oy. [Viitattu 9.10.2017]. <http://www.straintech.fi/pdf/whats.pdf>

LÄHDE 1. Screw conveyor. Wikipedia. [Viitattu 9.10.2017]. https://en.wikipedia.org/wiki/Screw_conveyor

LÄHDE 2. What Factors that Affect the Screw Conveyor Conveying Efficiency? PK Henan Pingyuan Mining Machinery Co.,Ltd. [Viitattu 9.10.2017]. <http://www.pkmachinery.com/faq/factors--affect--screw-conveyor-conveying-efficiency.html>

LÄHDE 3. Spiraalikuljettimet. Jauhetekniikka Oy. [Viitattu 9.10.2017]. <http://www.jauhetekniikka.fi/tuotteet/jauheiden-siirto/spiraalikuljettimet>

LÄHDE 4. Taajuusmuuttaja. Wikipedia. [Viitattu 9.10.2017]. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Taajuusmuuttaja>

LÄHDE 5. Structure of Strain Gages. Straintech Finland Oy. [Viitattu 9.10.2017]. <http://www.straintech.fi/pdf/whats.pdf>

LÄHDE 6. Venymäliuskat. Metropolia. [Viitattu 9.10.2017]. <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=23203724>

LIITTEET

Liite 1. 2D-mitoitusluonnokset hiekankoitusyöpisteestä

