

Taipuvat Mekanismit

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), Prosessi- ja materiaalitekniikka
2020
Joel Pessi

Tiivistelmä

Tekijä(t) Pessi Joel	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika Joulu 2020
	Sivumäärä 21	
Työn nimi Taipuvat mekanismit		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Tiivistelmä Työn tarkoituksena oli tutkia itsenäisesti taipuvia mekanismeja ja niiden tämänhetkisiä mahdollisuuksia, kuten myös tulevaisuuden mahdollisuuksia. Tutkiessani joustavia mekanismeja, huomasin niiden olleen jo olemassa tuhansia vuosia ja tutustuin uusiin, sekä entuudestaan tuttuihin valmistustekniikkoihin. Tulostin myös koulun tulostimella kaksi esimerkkiä aiheeseen liittyen. Aiheesta ei löytynyt niin helposti tietoa kuin luulin, mutta loppujen lopuksi kaivelemalla ja pohdiskelemalla löysin tietoa.		
Asiasanat mekanismi, taipuva, muovi		

Abstract

Author(s) Pessi, Joel	Type of Publication Bachelor's thesis	Published Winter 2020
	Number of Pages 22	
Title of Publication Compliant mechanisms		
Name of Degree Bachelor's Degree in Process and Materials Engineering		
Abstract <p>The goal of this work was to dive into the world of compliant mechanisms. What are they, how do they work and what does the future hold for them.</p> <p>While doing a research about the subject at hand, I noticed that they have been in use for centuries. Like bows for instance. I decided to 3D print two objects so I could get my hands on them. There was not that much info available as I was doing the re-search, but in the end, I was able to do decent job, I think.</p>		
Keywords mechanism, compliant, plastic		

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	JOUSTAVIEN MEKANISMIIEN TYYPIIT	3
3	VALMISTUS	5
3.1	Valmistustyytit.....	5
3.2	Valmistustyytit.....	7
3.3	Suunnitteluohjelmat	8
3.4	Kustomoinnin haasteet	8
3.5	Materiaalit.....	9
4	ROOLIT TUOTANNOSSA JA TEOLLISUUDESSA.....	10
4.1	Kunnossapito.....	10
4.2	Osien valmistus itse.....	10
4.3	Haasteita	10
4.3.1	Kilpailukyky.....	11
4.3.2	Edellytykset	12
5	KIERRÄTYS	13
6	ESIMERKKITULOSTUKSET	15
7	MAHDOLLISUUDET.....	17
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	18
	Lähteet	21

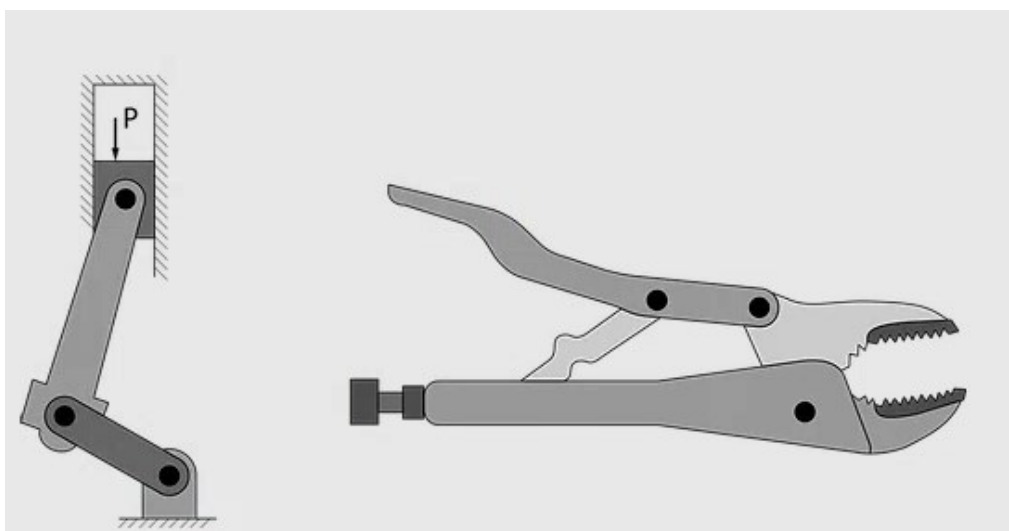
1 JOHDANTO

Opinnäytetyössäni perehdyn joustavien mekanismien applikaatioihin. Joustavien mekanismien avulla voidaan valmistaa tuotteita ilman niveliä, jotka muuten niitä vaatisivat. Näissä applikaatioissa hyödynnetään materiaalin omia ominaisuuksia, kuten joustavuutta ja kestävyyttä, jotta saadaan saavutettua haluttu lopputulos.

Mekanismi on esineen tai asian tekemä liike, joka on ennalta määritetty ja ennalta-arvattava. Tällainen on esimerkiksi hakaneula. Hakaneula toimii ominaisuuksiensa ja suunnitteluvaiheessa mietittyjen parametrien puitteissa. Jos jokin menee vikaan ja hakaneula taivutetaan liikeratansa rajojen ylitse, tapahtuu jompikumpi seuraavista:

- hakaneula ei enää toimi oikein, koska rajojen ylityksen seurauksena esineen ominaisuudet ovat muuttuneet, tai
- rajojen ylityksen seurauksena hakaneula ja kaikki muu on ympäriltä mennyt rikki, jolloin pahimmassa tapauksessa koko applikaatio on vaihdettava uuteen.

Joustava mekanismi on esine tai ihan vain mekanismi, jossa ei ole niveliä, mutta se taipuu nivelletyn mekanismin lailla silti. Mekanismi perustuu elastiseen muodonmuutokseen. Hyvänä esimerkkinä toimii klemmari, joka taipuu satoja kertoja. Se ei mene rikki ja toimii aina, ellei sitä taivuta sen mekaanisten rajojen ylitse. Klassinen jäykkä mekanismi (Kuva 1) perustuu vähintään kahden asian liitokseen, jolloin saadaan aikaan ennalta määritelty liike. Joustavissa mekanismeissa tämä tapahtuu yhdestä osasta, jossa kappaleelle ominaiset rasituspisteet taipuvat, jolloin saadaan sama liike kuin jäykässä mekanismissa.

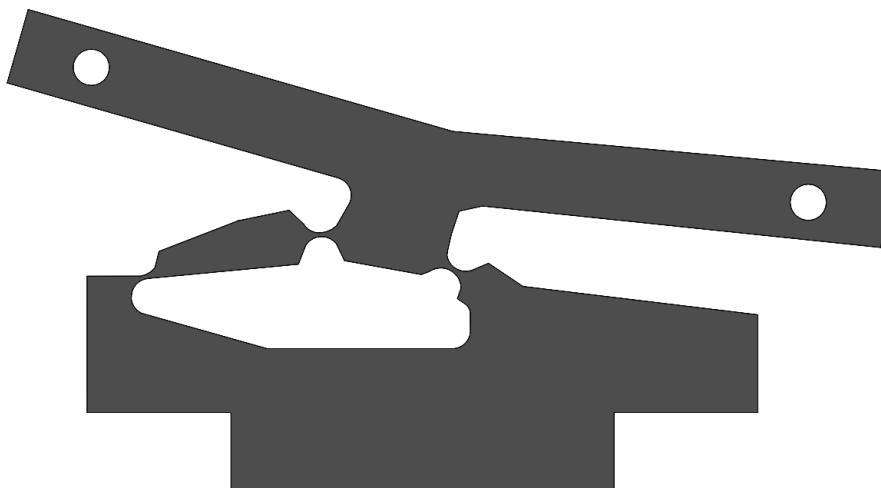


Kuva 1. Mekanismit. (BYU 2020).

Todistettavasti ihminen on käyttänyt joustavia mekanismeja jo 70 000 vuotta sitten, tajutessaan laittaa joustavan puunoksan päiden väliin narua ja sai näin aikaiseksi jousipyssyn. Alun alkaen keksinnöissä hyödynnettiin joustaviin mekanismeihin haettiin mallia luonnosta, sillä suurin piirtein kaikki luonnon nivelet ovat joustavia mekanismeja. Ihminen rakentuu myös erilaisista joustavista mekanismeista. Raajamme ovat jänteiden ja lihasten osalta tällaisia. Lisäksi esimerkiksi sydän on yksi iso väsymätön joustava mekanismi, kunhan se vain saa tarpeeksi polttoainetta. (Howell, L. 2013)

2 JOUSTAVIEN MEKANISMIEN TYYPIT

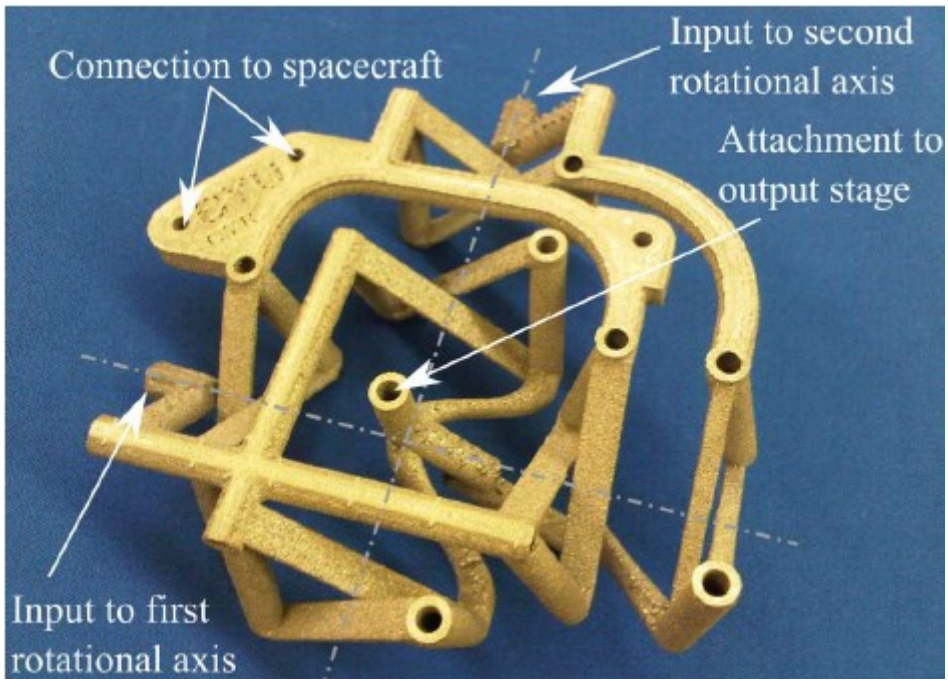
Joustavilla mekanismeilla on aina nollapiste. Se siis aina palaa takaisin lähtöpisteeseensä. Hyvä esimerkki tästä on ensimmäisessä kappaleessa mainittu hakaneula. Jos sen päästää lukitusasennostaan vapaaksi, se palautuu aina nollakohtaansa. Valokatkaisija (Kuva 2) on myös hyvä esimerkki tästä. Joustavaa mekaniikkaa hyödyntäen on voitu valmistaa ON-OFF -kytkin, joka pysyy siinä asennossa, johon se on asetettu.



Kuva 2. Compliant switch mechanism (off/on). (Wikipedia 2018).

Näitä yllä mainittuja kytkimiä voidaan tehdä nanoskaalassa, jolloin saadaan hyvin pieniä komponentteja aikaiseksi, joka taas avaa hurjasti ovia nanomekaniikan puolella.

Hieman monimutkaisemmasta joustavasta mekaniikasta hyvänä esimerkkinä toimii NASAN ja Larry Howelin yhteistyönä suunnittelema alusta (kuva 3.) rakettia varten. Alusta näyttää summamutikassa taivutetuilta putkilta, mutta jokainen niistä on tärkeä toimivuuden kannalta. Alustassa on kaksi kiinnityspistettä, johon saadaan moottorit kiinni ja raketti itse asettuu keskelle. Moottorit taivuttavat alustaa haluttuun suuntaan, jolloin raketti ohjaa alusta tai satelliittia oikeaan suuntaan avaruudessa. Alusta on valmistettu titaanista, joka kestää taivutukset ja avaruudessa vallitsevan ympäristön tuottaman rasituksen. Tämän alustan liikkuvuus ei vaadi voitelua tai huolenpitoa laisinkaan, johtuen joustavasta mekaniikastaan. (Monolithic pointer 2013)



Kuva 3. Rakettimoottorin alusta. (Monolithic pointer 2013).

3 VALMISTUS

Joustavien mekanismien todellinen etu verrattuna klassisiin vanhoihin mekanismeihin on se, että yhdellä osalla saadaan korvattua moniosainen nivel, joka toimii yhtä hyvin tai jopa paremmin. Yhdestä osasta valmistettu nivel on:

- Rakenteeltaan yksinkertaisempi, joka helpottaa kulumisen seuraamista
- Mitä ilmeisimmin halvempi tuottaa, jolloin se on halvempi myös ostaa
- Joissain tapauksissa yksinkertainen myös itse valmistaa -> säästää kuluissa

3.1 Valmistustyytit

FDM

3D-tulostuskone sulattaa polymeerilangan pehmeäksi massaksi, jonka jälkeen se työnnetään ulos suulakkeesta pedille. Tulostin tulostaa kerros kerrokselta esineen, joka on ennalta määritelty annettujen parametrien mukaisesti. Tällä kannattaa tehdä yksinkertaisia mallinnuksia, sillä pinnan tarkkuus ja laatu eivät ole parhaimmasta päästä, eikä myöskään kerrosten välinen lujuus ole kestävä. Tätä tulostusmenetelmää käyttäen voidaan tehdä helposti ja nopeasti erilaisia prototyyppiejä ja koepaloja. (3D Printing)

SLA – Stereolitography

SLA-tulostimessa on nestemäistä muovia, johon tulostin ampuu UV-säteitä, joka puolestaan kiinteittää nesteen kiinteämpään olotilaan tasolle. Taso nousee sitä mukaan, kun tulostus etenee. Tulostuksen valmistuttua pitää esine putsata alkoholilla, jotta ylimääräinen materiaali saadaan irti. Puhdistuksen jälkeen esine pitää viedä UV-säteilyyn tai vastaavasti auringon paisteeseen muutamaksi minuutiksi, jotta se kovettuu. SLA soveltuu pienemmille ja yksityiskohtaisemmille osille. Pinnasta tulee hyvin sileä, mutta jos tuloste tarvitsee tukia, jää esineeseen pienet jäljet niitä poistettaessa.

SLA-tulostimessa on siis useita huonoja puolia. Ensinnäkin sillä ei ole mahdollista printata komposiitteja. Toisekseen printtaaminen ja viimeistely ovat sotkuisia. Kolmanneksi valmis tuloste on vielä vietävä paikkaan, jossa se voi imeä itseensä UV-säteilyä (koppiin tai auringonvaloon), jotta se voi kovettua. (3D Printing Technology Comparison)

SLS – Selective Laser Sintering

SLS on jauhopohjainen tulostusmenetelmä, aivan kuten seuraavaksi esiteltävä Binder Jetting. SLS sulattaa aineen kiinteäksi laserin avulla. Tulostin levittää tasaisen pinnan jauhoa

tasolle, ampuu laserilla ennalta määritettyihin kohtiin ja muodostaa näin tulostettavan esineen. Tämän jälkeen taso laskeutuu 0,1mm verran alas ja tulostin levittää uuden kerroksen jauhoa pinnalle. Tulostuksen jälkeen tuloste viedään putsattavaksi puhalluskoppiin. Tällä tavalla voidaan tulostaa vaikkapa silikonista joustavia esineitä ja koska supportteja ei tarvitse rakentaa lainkaan, saadaan pinnasta erittäin hyvä. Jauhe itse toimii supporttina tulosteessa, joten tällä tavalla voidaan tulostaa liikkuvia esineitä yhdestä palasta.

Tuloksesta jäänyt ylimääräinen jauhe tippuu ritilän läpi säiliöön, josta se voidaan uudestaan käyttää tulostimessa. Jo kertaalleen käytettyä jauhoa voidaan käyttää joko yksinään tai sekoitettuna uuteen. Jos valmistaa koe-esineitä taikka prototyyppejä, voidaan käyttää ainoastaan jo kertaalleen käytettyä jauhoa. Jos taas halutaan hyvä pinta, voidaan käyttää 50/50 -sekoitusta, jossa on puolet uutta ja puolet vanhaa jauhetta. Tietenkin täydellistä pintaa halluttaessa käytetään pelkästään uutta jauhoa. Loppujen lopuksi kaikki jauho tulee käytettyä kuitenkin, jolloin materiaalihukkaa saadaan vähennettyä. (3D Printing Technology Comparison)

Binder jetting (sideaineen suihkutus)

Sideainesuihkutusmenetelmässä tulostimeen laitetaan jauhoa, joka on haluttua muovimateriaalia. Kone suihkuttaa jauhoon sidosainetta haluttuihin kohtiin. Suihkutuskerroksen päätyttyä tasoa lasketaan hieman ja laitetaan uusi kerros jauhetta vanhan päälle. Tämän jälkeen suihkutetaan sidosainetta uudestaan. Tätä toistetaan niin kauan, kunnes haluttu kappale on valmis. Sidosaine sitoo jauheen yhteen, muodostaen kiinteän olomuodon. Valmis tuote saadaan käsiin, kun ylimääräinen jauho on poistettu. (Introduction to binder jetting)

Material jetting (materiaalin suihkutus)

Materiaalinsuihkutusmenetelmässä tulostin suihkuttaa nestemäistä muovia tasolle kerros kerrokselta, jonka jälkeen UV-valo kiinteyttää sen kovaksi. Tulostimessa on yksi tai useampi suutin ja sen takia tällä menetelmällä pystytään myös tulostamaan esineitä, joissa on monta eri materiaali tulostettuna yhdellä kertaa samaan esineeseen. Tämän edellytyksenä on tietenkin materiaalien yhteensopivuus keskenään. (Formlabs 2020)

Ruiskuvalaminen

Ruiskuvalamisessa granulaatit sulatetaan pehmeäksi massaksi, jonka jälkeen se puristetaan tiiviiksi ja työnnetään suulakkeesta ulos muottiin. Ekstruusion hyviä puolia ovat esineiden valmistuksen helppous, nopeus ja hyvä jälki. Tällöin ei tarvitse paljon tai jopa lainkaan viimeistellä tuotetta. Ruiskuvalamisessa voidaan valaa vaikkapa tietty joustava mekanismi,

joka on esimerkiksi puoli metriä pitkä, joka paloitellaan vesileikkaamalla osiin, jolloin saadaan valmiita ja toimivia tuotteita nopeasti. Ruiskuvalamisessa raaka-aineina voidaan käyttää materiaaleja, joita ei onnistuisi valmistaa muilla menetelmillä, sillä valmiista tuotteista tulisi muuten liian hauraita. (National Molding 2020)

3.2 Valmistustyytit

Suunnittelussa kolme tärkeintä huomioon otettavaa asiaa ovat:

- käytettävän materiaalin ominaisuudet,
- lopullisen tuotteen koko ja muoto sekä
- tuotteen käyttökohde, käyttökohteen olosuhteet ja muut haasteet sekä liikerata

Materiaalin valinnassa on oltava hyvin tarkkana, sillä vaikka kaksi materiaalia olisivat lähes tulkoon samanlaisia, saattavat olosuhteet heikentää toista materiaaleista huomattavasti. Joustavia mekanismeja suunnitellessa materiaalivalinta osuu niihin materiaaleihin, jotka ovat kestäviä sekä jäykkiä. Tulostettaessa on otettava huomioon lisäksi se, missä suunnassa esine tulostetaan, sillä myös tämä vaikuttaa esineen ulkonäköön ja vahvuuteen. Jos voima kohdistuu niin, että kerroksia vedetään ikään kuin erilleen, on esine silloin heikoimmillaan. Pitkittäin vedettäessä esine on vahvimmillaan. Kaiken kaikkiaan tuotteen kestävyys on moneltakin kantilta tärkeä aspekti materiaalivalinnassa.

Tuotteen lopullinen koko ja muoto ovat myös hyvin tärkeitä аспекteja, jotka tulee ottaa huomioon suunnittelussa ja materiaalivalinnoissa. Lopullinen koko tulee huomioida varsinkin suunnittelussa. Tuotteen suunniteltu muoto vaikuttavaa puolestaan suuresti siihen, miten se kestää erilaisia voimia, jotka kohdistuvat eri suunnista sekä siihen, kuinka se käyttäytyy kokiessaan edellä mainittuja voimia.

Kun edellä mainitut asiat ovat saatu selvitettyä, on vielä mietittävä tuotteen käyttökohteen tuomat ympäristöstä ja ulkoisista tekijöistä johtuvat haasteet. Säättä, korroosiota, painetta ja muita ulkoisia tekijöitä ei voi ohittaa, sillä ne tuovat omat haasteensa tuotteen suunnitteluun. Esimerkiksi materiaali, joka kestäisi Saharan autiomaan kuumaa auringon, raastavat hiekkamyrskyt, yöllisen pakkasen ja kuivuuden, ei välttämättä kestäisi Etelä-Amerikan viidakoiden kuumuudessa ja kosteudessa yhtä hyvin hajoamatta. Vaikka esimerkkinä ovatkin äärimmäisiä, eivät ne ole täysin vieraita todellisuudellekaan. Hieman yliampuvat olosuhteet, mutta mahdolliset kuitenkin.

3.3 Suunnitteluohjelmat

Suunnitteluohjelmia on maailmassa monia erilaisia ja eri tarkoituksiin soveltuvia. Niitä löytyy niin ammattikäyttöön, kuin harrastelijallekin. Suunnitteluohjelmien lisenssit maksavat tuhansia, jos sellaisen omakseen haluaa, mutta ilmaisversioitakin on myös saatavilla. Ilmaisissa ohjelmissa on yleensä vähemmän toimintoja, kuin maksullisissa versioissa ja joissakin kaikki tekemäsi designit ovat julkisia, joten designisi päätyvät muiden vapaaseen käyttöön. Ilmaisillakin suunnitteluohjelmilla pääsee harrastelija mainiosti alkuun.

Yleensä yrityksellä on jo heidän tarpeisiinsa soveltuva suunnitteluohjelma. Yleisimpiä ohjelmia ovat muun muassa Solidworks, AutoCAD ja Blender. Jokaisella on omat vahvuutensa ja heikkoutensa ja toinen ohjelma suoriutunee paremmin jossakin osa-alueella, kuin toinen. Esimerkiksi Solidworks on oman kokemukseni mukaan erityisen mainio asioiden suunnitteluun, niin 2D kuin 3D ominaisuuksien puolesta. Solidworks on monipuolinen suunnitteluohjelma ja sillä on laaja valikoima työkaluja, joten työ kuin työ sujuu Solidwork-sillä.

Erityisesti mielenkiintoisena esimerkkinä suunnitteluohjelmista nousee esille The Walt Disney Companyn omiin tarpeisiinsa kehittänyt ohjelma, jonka avulla he kykenevät simuloimaan ja suunnittelemaan erilaisia mekanismeja robottejansa varten. Simulaatio näyttää millaisia eri liikkeitä mekanismi mahdollistaa. Ohjelmalla yritetään minimoida vääntö sekä se etteivät osat kolahtele yhteen. Näin pyritään estämään materiaalien ja mekanismin rikkoutuminen. Ohjelma siis osaa itse ottaa huomioon edellä mainitut asiat. Päämääränä tällä ohjelmalla oli kehittää robotteja, joiden liikkeet muistuttaisivat enemmän ihmistä ja olisivat sulavimpia liikkeissään. Tämä ohjelma siis on suunniteltu nimenomaan hyödyntämään taipuvia mekanismeja, joilla saadaan humanimpia piirteitä robottien liikkumiseen. Valitettavasti suunnitteluohjelmasta ei ole saatavissa syväluotaavampaa tietoa, sillä Disney pitää ohjelmaa itsellään, eikä ole vielä julkaissut julkista versiota ostettavaksi. (A Computational Design Tool for Compliant Mechanisms 2020)

3.4 Kustomoinnin haasteet

Joustavien applikaatioiden kustomointi ei ole aivan yksinkertaista, sillä yhden osan pituuden muokkaaminen saattaisi vaikuttaa dramaattisesti esineen toimivuuteen ja kestävyYTEEN. Onneksi esimerkiksi Solidworks pystyy analysoimaan kestäkö suunniteltu esine sille annettuja voimia ja näyttää mistä kohden esine menisi rikki. Näin esineeseen voidaan tehdä muokkauksia jo suunnitteluvaiheessa. Yhtä mittayksikköä muokkaamalla Solidworks muokkaa koko esinettä. Näin kaikkia osia ei tarvitse muokata erikseen ja tämä säästää aikaa ja ennen kaikkea henkistä hyvinvointia.

3.5 Materiaalit

Kun suunnitellaan taipuvia mekanismeja ovat materiaalien ominaisuudet, niin heikkoudet kuin vahvuudetkin, otettava huomioon suunnitelmassa. Materiaaleja on tuhansia erilaisia ja jokaisesta yleisestä materiaalista on muunnelmia, joihin on sisällytetty erilaisia ominaisuuksia. Tässä esittelen muutamia yleisimpiä materiaaleja, joita käytetään joustavissa mekaniikoissa:

Polypropylene – Polypropyleeni on kestävä ja helposti taipuva muovi, jota on myös helppo hitsata.

Thermoplastic Elastomer – TPU on kumin ja polypropyleenin yhdistelmä, jolloin siinä yhdistyy molempien hyvät puolet eli kumin elastisuus ja polypropyleenin edellä mainitut ominaisuudet. TPU on siis kestävä, mutta myös taipuisaa. TPU:n käyttökohteita ovat muun muassa urheilu- ja sairaalavälineistö.

PET – Yleisin muovilajike, jota käytetään eritoten pakkausteollisuudessa. PET:in parhaimpiin ominaisuuksiin kuuluvat kemikaalien ja liian hylkiminen.

Nylon – Nylonin yleisimmät käyttökohteet ovat köysi, sukkahousut ja nylonlaakerit. Nylonin ominaisuudet takaavat monipuoliset käyttömahdollisuudet. Nylon on kestävä, joustavaa, kovaa ja helppo työstää.

Polykarbonaatti – Polykarbonaattia käytetään yleisimmin suojamaskeissa ja jääkiekkokaukalojen plekseissä. Polykarbonaatti on kovaa, kestävä, muovattavaa ja helposti työstettävää. Polykarbonaatista saa myös tehtyä luodinkestävän version, joten se, jos jokin, kertoo materiaalin ominaisuuksista.

PLA – PLA:ta on helppo tulostaa matalan tulostuslämpötilan takia, jolloin pinnan laatu on myös hyvä. PLA:n huono puoli on, että se menettää muotonsa, siis jos sen jättää jännitettynä johonkin muotoon, se ei enää palaudu siitä laisinkaan, vaan jää sellaiseksi. (Materials, Printing Materials Guide).

4 ROOLIT TUOTANNOSSA JA TEOLLISUUDESSA

Joustavien mekanismien olisi tarkoitus yksinkertaistaa koneistoa, tehdä asiat helpommiksi huoltaa sekä olla parempia kuin muut mekaaniset mekanismit. Jos saataisiin materiaalit ja tekniikka joustavien mekanismien tuottamista varten, voitaisiin korvata moni muu liikkuva nivel taipuvalla mekanismilla.

4.1 Kunnossapito

Joustavien mekanismien, kuten klassistenkin mekaniikkojen, teoreettiset rajat on mahdollista laskea. Joidenkin suunniteluohjelmien avulla voidaan myös saada dataa näistä, jolloin voidaan jo suunnittelupöydällä tehdä prototyypeistä teoriassa kestäviä applikaatioita. Esiin tullessa lähestulkoon tiensä päähän, sitä yleensä tarkkaillaan jo tovi ennen sen teoreettista rajaa ja vaihdetaan uuteen, ennen rikkoutumista, jotta säästytään sen suuremmilta ongelmilta. Vaihdoista pidetään kirjaa, jotta seuraavan vaihdon ajankohta on suurin piirtein selvillä.

4.2 Osien valmistus itse

Käytännössä tehtaan tai yrityksen olisi itse mahdollista valmistaa osia 3D-tulostamalla, jos ja kun osia rikkoutuu. Yrityksen tai tehtaan tulisi siten investoida hyväksi toteamaansa 3D-tulostustekniikkaan, jolla tulostaa tarvitsemiaan osia. Silloin voitaisiin myös pitää yllä varosakantaa, jolloin ei tarvitsisi tilata tiettyjä osia, vaan oltaisiin osittain omavaraisia. Kaikkia osia ei ole tietenkään mahdollista, taikka järkevää, valmistaa itse.

Tulevaisuudessa eri komponenttivalmistajat voivat myydä lisenssejä ja työkuvia, joiden avulla asiakas voi itse valmistaa juuri oikeita osia tehtaassa, jolloin valmistajan ei tarvitse tarjota niin kattavaa takuuta tuotteelle, kun asiakas valmistaa osansa itse. Kun yritys voi itse valmistaa tarvitsemiaan tuotteita palveluntarjoajan myymällä lisenssillä, säästetään myös luontoa, kun ei tarvitse maailman toiselta puolen lähettää osia lento-, maantie- taikka laiva-rahtina.

4.3 Haasteita

Joustavat mekanismit toimivat tavallaan kuin jouset. Ne palautuvat aina nollakohtaansa, ellei mekanismiin kuulu jokin lukite, joka voi olla kieleke taikka itse mekanismi, joka estää mekanismia palautumasta nollakohtaansa.

Joustava mekanismi ei kestä yhtä paljon voimia, sillä sen rakenteet ja materiaalivahvuudet eivät tule kestävänsä. Jos lisättäisiin materiaalivahvuutta ja muutettaisiin rakenteita kestävimmäksi, se ei joustaisi enää halutulla tavalla, eli haluttu joustavuus olisi menetetty, jolloin se olisi vain kiinteä palikka.

Haasteita tuottaa myös joustavien mekanismien suunnitteleminen. Täytyy tehdä laajalti tutkimustyötä ja demoja sen eteen, että saadaan yhtä hyvä tai parempi mekanismi joustavana, kuin perusnivellettyä. Ihan kaikkea ei kuitenkaan voida tehdä joustavana mekanismina yksinään. Esimerkiksi joustava mekanismi ei voi mennä itsensä ympäri, sillä sen taivutuskohdilla on rajat, jotka ylittämällä mekanismi menee rikki. Vastaavasti vanhanaikainen nivelletty mekanismi voi mennä itsensä ympäri laakeriensa avulla.

Haastavaksi yrityksille hyppäyksen joustavien mekanismien maailmaan tekee se, että laitteet tai olemassa olevien laitteiden mukauttaminen joustaville mekanismeille sopiviksi vaativat suuria investointeja. Joustavia mekanismeja voidaan jo tavallisella CNC-koneella valmistaa. 3D-tulostimella joustavia mekanismeja olisi kuitenkin helpompi ja sujuvampi valmistaa ja sillä olisi myös mahdollista tehdä paljon monimutkaisempia esineitä, kuin CNC-koneella. Riippuen CNC-koneen hankkijan tarpeista, CNC-kone maksaa todennäköisesti enemmän, kuin vaikkapa SLS-tulostin. Se mitä eri tahojen tulisi hankkija, riippuu tietysti käyttötarkoituksesta. Yhtä oikeaa vaihtoehtoa ei välttämättä ole ja parasta olisi omistaa kaikki mahdolliset työvälineet, jos tämä vain suinkin taloudellisesti ja tilojen puolesta on mahdollista.

4.3.1 Kilpailukyky

Joustavien mekanismien yksi suurimmista hyödyistä on se, että ne eivät tarvitse kokoamista tai valmistelua toimiakseen mekanismeina. Tällöin voidaan valmistaa esimerkiksi mikro-skoopisella tasolla toimivia jousia, vipuja ja kytkimiä, jotka toimivat ilman suurempia viimeistelyjä. Ne ovat myös vaativat vähemmän huoltoa ja niiden mekaaninen kesto on helpompi laskea, sillä se on vain ”yksi osa”, verrattuna monesta osasta kasattuihin mekaanisiin mekanismeihin, jossa täytyy laskea jokaisen osan kestävyys erikseen. Joustavia mekanismeja on myös mahdollisuus ekstruudata pidempinä pötköinä, josta voidaan leikata vesileikkurilla valmiita tuotteita, joka tarkoittaa sitä, että se on kustannustehokkaampaa tuottamista.

4.3.2 Edellytykset

Ei ole ihan yksinkertaista sisällyttää joustavia mekanismeja jo valmiina olevaan mekaniikkaan. Kuten aikaisemmin on jo mainittu, ymmärrystä aineiden ominaisuuksista, heikkouksista, vahvuuksista, mekaniikasta sekä ulkoisten voimien vaikutuksesta pitää olla, jotta niitä voidaan sisällyttää olemassa olevaan mekaniikkaan tai laitteistoon. Aikaa ja rahaa kuluu myös, sillä tarvitaan kymmeniä, ellei satoja prototyyppisiä ja tuhansia tunteja, että saadaan edes lähestulkoon valmiita tuotteita.

Jotta voidaan valmistaa edes prototyyppisiä, on investoitava tulostimiin ja suunnitteluohjelmiin myös, ellei sopivia työvälineitä löydy jo entuudestaan. Teollisuustason tulostimien hinta lähentelee jopa sataatuhatta euroa kappaleelta, joten ihan pienestä investoinnista ei ole kyse. Jos tuote taasen on ruiskuvalettava, on tehtävä tarkat 3D-mallinnukset muottia varten. Muotit maksavat tuhansia, jopa kymmeniätuhansia euroja, joten malli muottia varten on oltava täydellinen. Muotin elinikä on otettava myös huomioon, sillä nekin kuluvat käytössä.

Joustavien mekanismien suunnittelu voi vaikuttaa paperilla melko simppeleiltä ja yksinkertaiselta. Kuitenkin se, että niistä saisi käytössä toimivia vaatii monta prototyyppiä ja ensimmäisellä kerralla tuskin kukaan tässä voinee onnistua. Internetistä löytynee monta erilaista aihealueeseen liittyvää sivua ja Handbook of Compliant Mechanisms on oivallinen apu myös. Kirjan loppupuoliskolla esitellään erilaisia mekanismeja, joista voi ottaa mallia, kun suunnittelee omia mekanismeja. (Howell, L. 2013)

Teollisuuteen tarkoitetut esineet vaativatkin sitten jo jonkin verran enemmän ymmärrystä ja tietotaitoa. Teollisuudessa käytettävät esineet joutuvat usein paljon kovemmalle koetukselle, kuin kuluttajalle tarkoitetut esineet, joten niiden suunnittelussa on otettava huomioon paljon enemmän asioita, jotta ne kestävät koetusta hyväksyttävän ajanjakson verran.

5 KIERRÄTYS

Ihmiskunnan eteenpäin vievä voima on tiede, joka luonnolle sitten taas puolestaan on lähinnä kirous, sillä tarvitsemme aina vain enemmän raaka-aineita, jotka eivät synny uudestaan tuosta vain. Näiden raaka-aineiden louhinta saastuttaa, kuten myös niistä valmistettavien tuotteiden tekeminen. Tieteen edetessä lisääntyvät yleensä päästöt. Uuden innovaation myötä syntyy uusia vemppeitä, joita ihmiset haluavat, joka taas tarkoittaa lisääntyneitä päästöjä. Osa innovaatioista onkin hyviä ja tarpeellisia, todella moni taas ei. Toisaalta, tälläkin hetkellä ”turhilta” tuntuvat keksinnöt voivat poikia tulevaisuudessa jotakin mullistavaa. Kaikesta valmistetusta muovista on kierrätetty vasta noin 9 % (Neste 2020), joka on aika vähän ottaen huomioon kuinka paljon muovia maailmassa on ja kuinka kierrätettävästä materiaalista on kyse.

Ilmastoasiat ovat nostaneet päätään pikkuhiljaa ja internetin kautta ihmiset ovat valveutuneempia kuin ennen. Nyt on erityisen helppoa jakaa tietoa ja keksi omia uusia innovaatioita kierrätyksen suhteen. Internetin kautta jokainen löytää helposti tarvitsemansa tiedon ja voi tarvittaessa ottaa yhteyttä alan ammattilaisiin, mikäli haluavat lisätietoja.

Nykyään on mahdollista käyttää monenlaisia materiaaleja esineiden valmistuksessa, esimerkiksi biohajoavia komposiitteja on tullut markkinoille viimeisen 40 vuoden aikana (Nyman, 2004). Biohajoavien muovien ongelmana on niiden kestävyys ja vaikka ne ovat biohajoavia, se ei tarkoita sitä, että ne olisivat paremmaksi luonnolle. Hajottuaan ne vapauttavat mikromuovia ja kemikaaleja luontoon. Biohajoavien muovien parhaimpia puolia kuitenkin ovat niiden helppo kierrätettävyys sekä se, että niiden valmistaminen saastuttaa vähemmän ja niihin ei tarvitse käyttää niin paljon harvinaisia mineraaleja maaperästä.

Jos tuote tehdään muovista, se on helppo kierrättää. Pähkinänkuoressa Muovien kierrätys tapahtuu niin, että muovit erotellaan laadun mukaan. Tällöin esimerkiksi polypropelyyni ja ABS lajiteltaisiin erikseen. Muovi jauhetaan granulaatiksi, josta on mahdollista valmistaa sen jälkeen uusia tuotteita.

Jos muovin sekaan pääsee epäpuhtauksia, se voi heikentää kriittisellä tavalla muovin rakennetta. Tämä puolestaan voi pahimmillaan aiheuttaa henkilövahinkoja, jos valmis tuote on virheellinen. Onneksi muovin kierrätys on kehittynyt nopeaa tahtia ja myös ihmiset ovat heränneet tähän. Muovia lajitellaan jo kotitalouksissa, joka helpottaa muovin kierrätyslaitoksia. Muovi on silti vielä ongelma, mutta onneksi jätteestä tehdään jo paljon uutta, joten neitseellisiä raaka-aineita ei tarvitse käyttää tehdäkseen uutta. Kierrätettyä muovia käytetään muun muassa vaatteissa, elintarvikepakkauksissa, leluissa ja hammasharjoissa. Esimerkiksi Hesburger-ravintolaketjun muovikalusteet on tehty kierrätysmuovista. (Business

example 2020) Lista erilaisista kierrätysmuovituotteista on pitkä ja koko ajan keksitään uusia käyttötapoja kierrätysmuoville.

Eräät yhtiöt ovat suunnitelleet laitteita jopa kuluttajalle, joilla pystyy murskaamaan vanhoja 3D-printteja granulaatiksi, jonka jälkeen samaisella laitteella voi tehdä niistä lankaa 3D-tulostimelle. Tämä helpottaa materiaalin kierrättämistä, jolloin ei tarvitse heittää ei haluttuja printtejä roskikseen. ReDeTec:in valmistama ProtoCycler+ -jauhin/ekstruuderiksi maksaa 1999 dollaria, joten ihan halpa laite ei ole kyseessä. Kuitenkin jos tekee työkseen printtejä, ei hinta aivan mahdottomalta kuulosta. Laitteessa on siis käsin käännettävä murskain ja säädettävä ekstruudauslaite, joten erilaisten lankojen valmistus on mahdollista. (ReDeTec 2020). Tällä tavoin myös pienyrityksen on mahdollista kierrättää vanhoja tulosteitaan ja siten säästää hieman kuluissa.



Kuva 4. ProtoCycler+. (ReDeTec).

6 ESIMERKKITULOSTUKSET

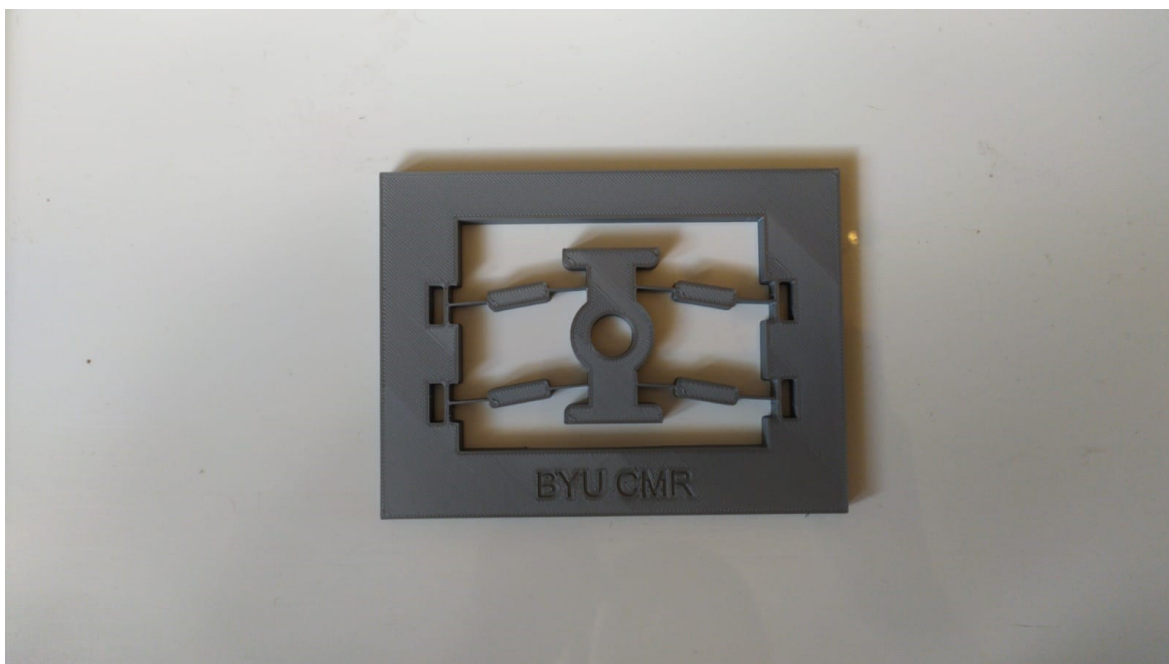
Kävin LAB-ammattikorkeakoululla tulostamassa kaksi esinettä: pihdit (kuva 5) ja kytkimen (kuva 6). Ammattikorkeakoululla oli uudet tulostimet, jota en ollut aiemmin käyttänyt, joten ensimmäinen tuloste meni tietenkin jo heti alkumetreillä pieleen. Virheestä oppineena kysyinkin sitten tulostinvastaavalta neuvoa ja laitoimme asetukset tulostetarpeisiini sopiviksi. Päätin tulostaa molemmat esineet (kytkimen ja pihdit) PLA:sta, sillä siinä on sopivia ominaisuuksia haluttujen esineiden käyttötarkoitusta varten ja sitä on helppoa työstää. Pihdit jäivät valitettavasti melko suuriksi, sillä epähuomiossa en muistanut skaalata niitä pienemmiksi. Kytkimen kohdalla muistin kuitenkin pienemmän skaalauksen, joten tulostusaika pysyi maltillisena. Pihtien tulostuksessa meni noin 3 tuntia ja 40 minuuttia, kun taas kytkimessä meni noin 2 tuntia ja 20 minuuttia.

Tulostuksien valmistuttua oli aika kokeilla toimivatko ne halutulla tavalla. Pihdit olivat jäykähköt aluksi, mutta pari kertaa puristettuni ne alkoivat löystymään hieman. Puristellessani pihtejä yksi kahvan taitoskohdista antoi periksi. Tästä pystyin päättelemään, että pihtientekotarkoitukseen jokin toinen materiaali saattaisi toimia paremmin. Pihdit kuitenkin periaatteessa toimivat halutulla tavalla, mutta materiaalivirheen takia näitä kyseisiä pihtejä ei kovalle käytölle voi laittaa. Ensi kerralla täytyy tulostaa pihdit siis ABS- tai PETG-muovista, silloin ne todennäköisesti kestäisivät käyttöä vähän paremmin.



Kuva 5. 3D-tulostetut pihdit.

Kytkin toimi kuitenkin loistavasti ja PLA oli siihen oikea materiaalivalinta. Käytettyäni kytkintä lukuisia kertoja, se ei anna merkkejä väsymyksestä. Tulostus toimi mainiosti, paria pintavirhettä lukuun ottamatta. Kytkin pitää klikkaavaa ääntä liikkueessaan asennosta toiseen, aivan kuten sen pitääkin, ja pysyy ylä- sekä ala-asennossa.



Kuva 6. 3D-tulostettu kytkin.

7 MAHDOLLISUUDET

Mahdollisuuksia on paljon, mutta yritykset eivät ole vielä lähteneet isolla volyymilla mukaan implementoimaan joustavia mekanismeja laitteistoihinsa, sillä investointi (esimerkiksi laiteisto ja uudelleen suunnittelu) on iso ja taloudellisesti vaativa.

Yksityistalouksissa joustavia mekanismeja näkyy jo kuitenkin. Esimerkiksi suurin piirtein jokaisesta taloudesta löytynee jo joustavia mekanismeja, kuten kirsikkatomaattien muovivirsiat, jotka on valmistettu yhdestä osasta. Ehkä joustavat mekanismit yksityistalouksista valuvat hiljalleen myös yrityskäyttöön.

Joustavien mekanismien valumista yrityskäyttöön tukisivat myös sellaiset yritykset, jotka tarjoaisivat esimerkiksi teollisuuden yrityksille räätälöityjä tuotteita ja kokonaisuuksia, joita on helppo kustomoida ja massatuottaa kustannustehokkaasti. Jos tällaisia ns. mahdollistajayrityksiä saataisiin markkinoille, pystyttäisiin heidän avullaan eliminoimaan kustannuksia esimerkiksi muovikappaleiden useista tuotantovaiheista. Useista liikkuvista kappaleista koostuvat osat voitaisiin sisällyttää yhteen kokonaisuuteen muoteilla tai 3D-tulostamalla.

Vaikka joustavat mekanismit eivät pystykään korvaamaan perinteisempiä pyörivään kitkاپohjaiseen liikkeeseen perustuvia komponentteja, on silti myös käyttökohteita, joissa joustavien mekanismien käyttö on optimaalisempaa. Tällaisia käyttökohteita ovat lyhyet, mutta tarkkaan määritellyt liikeradat pienillä käyttöintervalleilla ja korkeilla eliniän odotuksilla. Tällaisia olisivat esimerkiksi saranat, kytkimet ja releet.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tällä hetkellä joustavien mekanismien tilanne on hyvä ja tulevaisuus näyttää vielä paremmalta uusien materiaalien ja valmistustekniikoiden myötä. Myös 3D-tulostimien hintojen mennessä alaspäin, pystyvät pienemmät ja suuremmatkin yritykset investoimaan niihin, kuten myös tarjoamaan työntekijöilleen lisäkoulutusta suunnitelutekniikasta ja erilaisista mekaniikoista. Myös kuluttajien on helpompi tutustua näihin YouTuben opetusvideoiden ja kohtuuhintaisien tulostimien avulla. Uusia innovaatioita putkahtelee esiin koko ajan juurikin näiden harrastelijoiden kautta.

Haasteita tällä hetkellä vielä kuitenkin on juuri materiaalien ja valmistustekniikoiden takia. Ihan kaikkea ei kuitenkaan vielä voida korvata joustavilla mekanismeilla edellä mainituista syistä ja joudummekin turvautumaan nivellettyihin mekanismeihin vielä tovin. On myös mahdollista, että kaikkia mekanismeja ei koskaan voida korvata joustavilla.

Tällä teknologialla on tulevaisuudessa mielestäni paljonkin merkitystä juurikin sen mahdollisuuksien vuoksi robotiikassa ja nanoteknologiassa. Vaikkakin nyt meillä on mahdollista korvata osa vanhoista, moniosaisista, vaativaa ja jatkuvaa ylläpitoa tarvitsevista kytkimistä uusilla ja helposti valmistettavilla yksiosaisilla kytkimillä, jotka eivät tarvitse yhtä paljon huolenpitoa, niin tulevaisuudessa uskon, että robotiikassa ja nanoteknologiassa tullaan tekemään suurimmat mullistukset tämän tekniikan avulla. Tulevaisuudessa robotiikassa voidaan hyödyntää joustavia mekanismeja. Materiaalit, valmistustavat, uudet suunnittelijat ja suunnittelutavat yhdistettynä tuovat uusia mahdollisuuksia ja käyttötapoja. Suunnittelijat ovat ottaneet mallia origameista ja suunnitelleet taittuvia robotteja, jotka hyödyntävät taipumista ja yhdestä osasta tehtyjä runkoja. Näistä olisi apua varmasti tukosten avaamisessa esimerkiksi putkissa ja vaikkapa ihmiskehossa. Robotti, joka pystyisi tarkasti kontrolloimaan raajojaan ja kulkuaan, ei välttämättä vahingoittaisi esimerkiksi verisuonta, kun se avaisi tukosta. Aivoveritulppaa hoidetaan nyt, jos aivoveritulpan saanut henkilö on ehtinyt ajoissa hoitoon, liuottamalla se pois tai avaamalla se katetrilla suonensisäisesti. Nanoskooppisen pieni robotti voitaisiin injektoida suoraan kohteeseen ja se pystyisi hoitamaan tukoksen pois nopeasti ja tarkasti. Nanoskooppisen pienellä robotilla voitaisiin myös tehdä entistä pienempiä ja tarkkuutta vaativampia operaatioita ihmiskehon sisällä.



Kuva 7. Origamirobotti. (Harvard 2014).

Robotit siis koostuvat yksiosaisesta rungosta, jossa on liikkuvat raajat ja päälle on kiinnitetty moottori, joka liikuttaa runkoa ohjatulla tavalla. Se taittaa itsensä pieneksi ja tarvittaessa avautuu, jolloin se voi liikkua.

Nanoteknologian suhteen tällä tekniikalla on huimat mahdollisuudet, sillä mitä pienempiä komponentteja voidaan tehdä, sitä kompaktimpia esineitä on mahdollista valmistaa, kuten mikrosirut. Nanoteknologian myötä voidaan säästää energia- ja raaka-aine kuluissa, sillä pienemmät komponentit tarkoittavat, että kulutamme vähemmän energiaa niiden tuottamiseen ja saadaan säästettyä paljon enemmän neitseellisiä raaka-aineita.

Tulevaisuudessa voitaisiin koodata jo valmistusvaiheessa värien avulla, että millaisista raaka-aineista tuote on valmistettu, jolloin sen kierrätys olisi yksinkertaisempaa ja helpompaa. Tämä edellyttää kuitenkin, että materiaalit pidettäisiin mahdollisimman yksinkertaisina kierrätystä varten.

Lähteet

Kirjalliset lähteet

Howell, Larry. 2013. Handbook of Compliant Mechanisms. Wiley-Blackwell.

Nyman, Hannele. Poutasuo, Tuula: *Muovikirja, Arkitavaraa ja designesineitä*, s. 182. WSOY, 2004.

Elektroniset lähteet

Michael Jones 2020. PETG/PLA Recycling: How to Recycle 3D Printer Waste. [Viitattu 7.9.2020] Saatavissa: <https://all3dp.com/2/3d-printer-recycled-plastic-tips-for-your-waste-plastic/>

Compliant Mechanism. 2020. [Viitattu 1.9.2020]. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Compliant_mechanism

6 Pros and cons of plastic injection molding. [Viitattu 27.9.2020]. Saatavissa: <https://nationalmolding.com/blog/6-pros-and-cons-of-plastic-injection-molding/>

3D Printing. 2020. [Viitattu 26.9.2020]. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing

A Computational Design Tool for Compliant Mechanisms. 2017. [Viitattu 11.10.2020]. Saatavissa: <https://la.disneyresearch.com/publication/a-computational-design-tool-for-compliant-mechanisms/>

Design methods for compliant mechanisms used in new age industries. 2016. [Viitattu 11.10.2020]. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/306210435_Design_methods_for_compliant_mechanisms_used_in_new_age_industries-A_review

3D Printing Technology Comparison: FDM vs. SLA vs. SLS. [Viitattu 26.9.2020]. Saatavissa: <https://formlabs.com/eu/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/>

Printing Materials Guide. [Viitattu 20.10.2020]. Saatavissa: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/>

ReDeTec. [Viitattu 15.11.2020]. Saatavissa: <https://redetec.com/products/protocycler>

Harvard University unveils self-assembling 'Transformer' robots. 2014. [Viitattu 10.11.2020]. Saatavissa: <https://www.scmp.com/news/world/article/1569428/harvard-university-unveils-self-assembling-transformer-robots>

Your guide to sustainable plastics. 2020. [Viitattu 19.11.2020]. Saatavissa:
<https://www.neste.com/corporate-info/news-inspiration/articles/your-guide-to-sustainable-plastics>

Introduction to binder jetting. [Viitattu 20.9.2020] Saatavissa:
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>

Materials. [Viitattu 1.10.2020]. Saatavissa: <https://www.curbellplastics.com/Research-Solutions/Materials>

Monolithic 2 DOF fully compliant space pointing mechanism 2013. [Viitattu 25.11.2020].
Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/187267798.pdf>

Business example: From plastic into clothes and from clothes into patio furniture. 2019.
[Viitattu 27.11.2020] <https://www.energialoikka.fi/en/business-example-from-plastic-into-clothes-and-from-clothes-into-patio-furniture-touchpoint-x-hesburger/>

Compliant Mechanisms Explained. [Viitattu 15.9.2020]. Saatavissa:
<https://www.compliantmechanisms.byu.edu/about-compliant-mechanisms>