



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# Robotin tarttuvaihtoehdot

Tommi Lindholm

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2020



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **Robotin tarttuvaihtoehdot**

Tommi Lindholm

Ohjaaja: Yrjö Louhisalmi

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2020

# TIIVISTELMÄ

Robotin Tarttujavaihtoehdot

Tommi Lindholm

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2020, 32 s.

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: Yrjö Louhisalmi

Tässä kandidaatin työssä keskitytään pääasiassa teollisuudessa nyt käytettäviin ja mahdollisesti tulevaisuudessa käyttöön otettaviin tarttuihin. Robotit sekä niissä käytettävät tarttumat ovat kehittyneet viime vuosikymmeninä erittäin paljon. Tämä on mahdollistanut robottien käytön yleistymisen myös sellaisilla teollisuuden aloilla, joissa sen joskus uskottiin olevan mahdotonta.

Työ aloitetaan perehtymällä robottien ja tarttujen historiaan. Lisäksi työssä esitellään erilaisia tarttumatyyppejä sekä malleja perinteisistä kaksisormisista tarttujista uusimpiin innovaatioihin pehmeiden robottitarttujen muodossa. Lopuksi pohditaan mitä tarttuman valinnassa tulee ottaa huomioon.

*Asiasanat: robotti, tarttuja, pehmeä robotiikka*

# ABSTRACT

Robot gripper options

Tommi Lindholm

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2020, 32 pp.

Supervisor(s) at the university: Yrjö Louhisalmi

This bachelor's thesis mainly focuses on grippers used in industrial robots. Robots and the grippers have evolved a lot over the last few decades. This has allowed the use of robots to become more common in industries where it was believed to be impossible before.

The thesis is started by presenting a brief history of robots and grippers. In addition, this work introduces different types of grippers and models from traditional 2-finger gripper to the latest innovations especially in soft robotics. Finally, the work focuses on what you must consider when choosing the gripper for specific job.

*Keywords: robot, gripper, soft robotics*

# ALKUSANAT

Kandidaatintyön aiheen valitseminen oli todella helppoa minulle, sillä aihe herätti heti mielenkiintoni. Robotit ja niiden tarttijat ovat todella ajankohtainen aihe ja siksi myös uutta tietoa julkaistaan jatkuvasti. Tämän tiedon määrän vuoksi minulla oli aluksi vaikeuksia hahmottaa mitä työssä kannattaa ottaa huomioon. Lopulta päädyin kirjoittamaan asioista, jotka olivat minulle kaikista mielenkiintoisimpia.

Työssä minua on ohjannut Yrjö Louhisalmi

Oulu, 13.01.2020

Tommi Lindholm

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1 Johdanto .....	7
2 Historia.....	8
2.1 Teollisuusrobotti .....	8
2.2 Tarttuja .....	9
2.3 Tarttujien kehitys .....	10
3 Tarttujatyypit.....	11
3.1 Pneumaattiset tarttumat.....	11
3.2 Hydrauliset tarttumat.....	12
3.3 Sähköiset tarttumat.....	13
3.4 Vakuumitarttumat .....	14
3.5 Magneettiset tarttumat.....	15
4 Jäykät tarttumat .....	16
4.1 2-sorminen tarttuja .....	16
4.2 Tuplatarttuja .....	17
4.3 3-sorminen tarttuja .....	18
4.4 5-sormiset tarttumat .....	19
5 Pehmeä robotiikka.....	20
5.1 Tarttuja joustavilla sormilla .....	21
5.2 Lonkerotarttuja .....	22
5.3 Pallotarttuja .....	23
5.4 Origamitarttuja .....	24
5.5 Sähkövetovoima tarttuja.....	25
6 Tarttuman valinta .....	26
7 Yhteenveto .....	27
Lähdeluettelo.....	28

## 1 JOHDANTO

Valitsin tämän kandidaatintyön aiheeksi ”Robottien tarttuvavaihtoehdot”, koska se on hyvin ajankohtainen ja erittäin mielenkiintoinen. Omien lähtötietojen ollessa vähäiset, pystyin nopeasti huomaamaan, että kehitystä on viime vuosina tapahtunut todella paljon. Robottien ja niissä käytettävien tarttujien yleistyessä ja kehittyessä myös asiat, joita niiden avulla voidaan tehdä, lisääntyvät. Erilaisten tarttujamallien kehittyminen mahdollistaa yhä pienempien ja hauraampien asioiden siirtämisen kuten myös erittäin suurta tarkkuutta vaativien töiden suorittamisen.

Tämän työn tarkoituksena on esitellä lukijalle, millaisia robottien tarttujia on olemassa nykypäivänä. Tarttujia esitellään erilaisten toimintatapojen perusteella sekä joitakin malleja käydään lyhyesti läpi esitellen, kuinka ne toimivat. Lisäksi tehdään lyhyt katsaus tarttujien historiaan, jotta nähdään kuinka paljon ne ovat kehittyneet vuosien varrella.

## 2 HISTORIA

### 2.1 Teollisuusrobotti

Kun General Motors vuonna 1958 ensimmäisen kerran esitteli ideansa teollisuusrobotista, joka auttaa autojen kokoamisessa, ei varmasti voitu edes kuvitella mihin kaikkeen nämä robotit tulevaisuudessa tulevat pystymään. Aluksi robotteja suunniteltiin helpottamaan ihmisten työntekoa paikoissa, jossa työ oli tylsistyttävää, likaista tai vaarallista, mutta nykyään modernit robottikädet suoriutuvat tehtävistä joihin ihminen ei itse pysty. Tätä nykyä robotit yleistyvät teollisuudessa hyvin nopeasti. Syitä tähän on muun muassa yhä nousevat palkkakustannukset sekä robottiteollisuuden yleistyminen, joka on johtanut keskiverto robotin hinnan tippumiseen jopa puoleen viimeisen 30 vuoden aikana. [1][2]



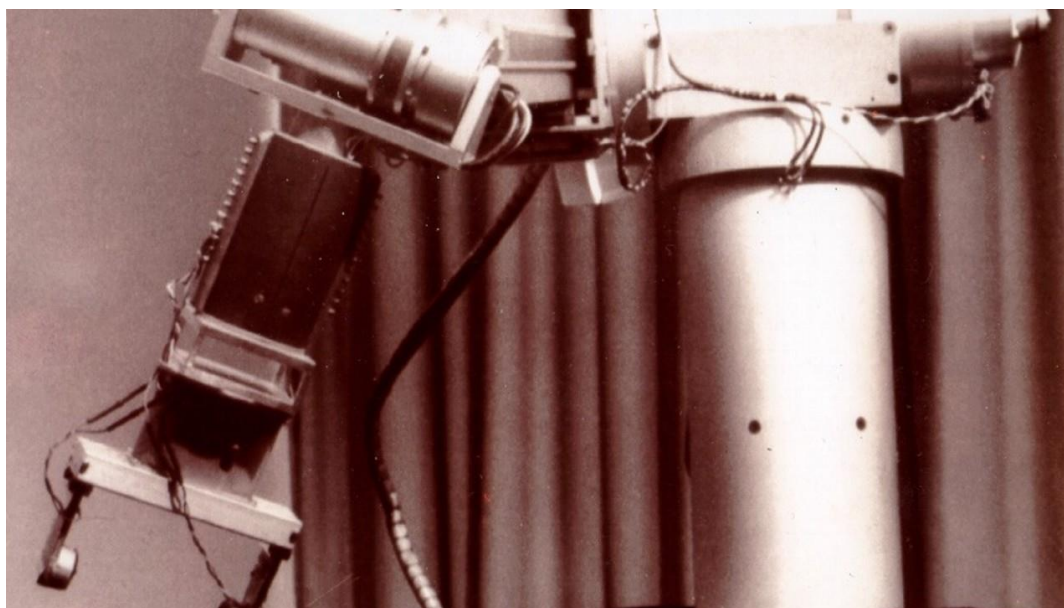
**Kuva 1. Pieni teollisuusrobotti [3].**

Roboteilta onnistuu tuhansia kiloja painavien esineiden nostaminen sekä pienten asioiden siirto mikrometrien tarkkuudella. Vaikka kuvan 1 kaltaiset robotit ovat jo itsessään hyvin monipuolisia laitteita, on kuitenkin muistettava, että robotin tarttuja määrittää millaisia töitä sillä voidaan tehdä. [2]



## 2.2 Tarttuja

Ensimmäinen tarttuja näki päivänvalon vuonna 1969, kun Stanfordin yliopistossa Victor Scheinman valmisti Stanford-käden, joka on tullut tunnetuksi ensimmäisenä helposti ohjattavana tarttujana. Kuvassa 2 nähtävää Stanford kättä pystytettiin ohjaamaan dc-moottorin avulla kuudessa vapausasteessa. [4]



**Kuva 2. Stanford Arm [5].**

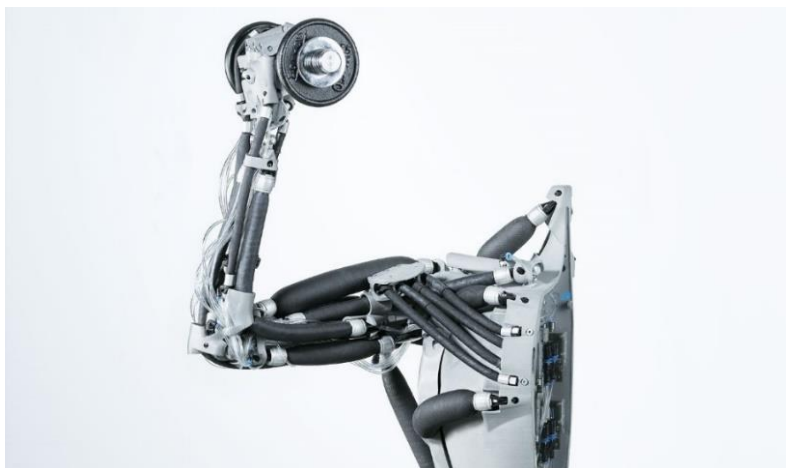
1980-luvulla alkoi tarttujien massatuotanto. Uudet tehokkaammat mikrosirut mahdollistivat uusien järeämpien tarttujien toteuttamisen, mutta Stanford-käsi toimi silti monien mallien inspiraationa. Vaikka joitakin Stanford-käden takaisinkytkentä- ja hallintajärjestelmiä kopioitiin, alettiin esittämään uusia teollisuusrobotteja, jotka toimivat paineilman avulla. Suurin osa näistä roboteista tuli autoteollisuuden käyttöön. Vielä nykypäivänäkin suurin osa robottien tarttujista toimivat paineilman eli pneumatiikan avulla. [4]

## 2.3 Tarttujen kehitys

Stanford käsi käytti lineaaritarttujaa, jossa kaksi vastakkaista sormea liikkuu toisiaan vastaan ja poispäin näin tarttuen kappeleeseen tai vapauttaen sen. Tämä on vielä nykypäivänäkin erittäin yleinen tarttujamalli sen monipuolisuuden takia. 1970-luvun loppupuolella keksittiin uusi tarttujamalli, 2-sorminen tarttuja jossa sormet liikkuvat yhden tukipisteen kautta. Tämä saksitarttuja tarttuu kappaleeseen kuten hummeri tarttuu asioihin saksiansa avulla. Nämä kaksi tarttujaa eroavat siinä, että lineaaritarttujassa sormen muotoilu on yksinkertaisempi ja voima jakaantuu tasaisesti koko puristuksessa. [4]

Seuraava keksintö tapahtui 1980-luvun lopussa, kun 3-sorminen tarttuja kehitettiin. 1990 tämä keksintö sai nimen Barrett hand sen ollessa osa Barrett Technology:n lisensoimaa tutkimusta Massachusetts Institute of Technology:ssä. Malli sisälsi servo-ohjaimen, neljä harjatonta moottoria, ohjelmiston sekä tiedonvälityksen. [4]

Vielä nykypäivänäkin suurin osa teollisuudessa käytetyistä tarttujista ovat joko kaksi- tai kolmisormisia. Kuitenkin uudet teknologiat, jotka yhdistävät mekatroniikkaan ja bioniikkaa, mahdollistavat uusien keksintöjen luomisen. Tästä esimerkkinä toimii Festo Corp.:n Airic arm, joka sisältää 30 pneumatiikalla toimivaa lihasta, kämmen- ja sormiluut, olkanivelen sekä kyynär- ja varttinäluut, jotka kaikki ovat valmistettu laser sintratusta polyamidista. Kuvassa 3 esitetty käsi toimii aivan kuten ihmisen käsi. Etuna on kuitenkin, että tämä käsi jaksaa nostaa ja siirtää asioita väsymättä. [4]

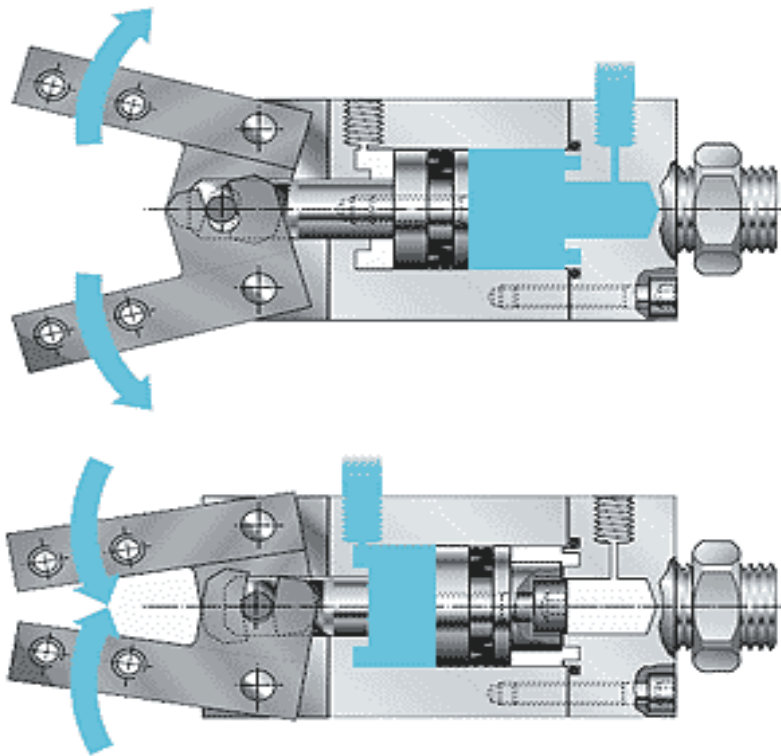


**Kuva 3. Airic Arm [6].**

## 3 TARTTUJATYYPIT

### 3.1 Pneumaattiset tarttujat

Pneumaattiset tarttujat, kuten nimi kertoo, toimivat paineilmalla. Kun paineilmaa päästetään tarttujaa ohjaavaan sylinteriin, sylinterissä oleva mäntä liikkuu. Männän liikkuaessa syntyy voima, jonka avulla tarttujan leuat sulkeutuvat ja näin mahdollistaen kappaleeseen tarttumisen. Kun ilmaa ohjataan männän toiselle puolelle, leuat avautuvat. Tämä toiminta on esitetty kuvassa 4. Lineaaritarttujan toiminta on yksinkertaisempi, kun paineilmaa päästetään männään tarttujan leuat sulkeutuvat. Kun paine vapautetaan leuat aukeavat. [7][8]



**Kuva 4. Pneumaattisen saksitarttujan toiminta [7].**

Tällaiset tarttujat ovat yleisin teollisuudessa käytetyistä tarttujatyypeistä. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi niiden halvasta hinnasta sekä helppokäyttöisyydestä. Tarttujat ovat myös yksinkertaisia, jonka takia ne ovat pienikokoisia ja vaativat yleisesti hyvin vähän huoltoa. Lisäksi niitä voidaan myös käyttää useissa olosuhteissa normaalin lämpötilaskaalan ollessa  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [9][10][11]

Kuitenkin heikkouksiakin löytyy. Esimerkiksi tarttujan voiman ja nopeuden säätäminen on rajoitettua. Tämä voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi, jos kappale ei ole kiinnitetty paikoilleen, kun siihen yritetään tarttua. Tällöin tarttujan leukojen osuessa kappaleeseen täydellä vauhdilla se voi liikkua arvaamattomaan suuntaan. Vaikka pneumaattiset laitteet ovat halpoja, voivat käyttö- ja huoltokustannukset nousta suuriksi johtuen niiden vaadittamasta paineilmaasta sekä kompressorin, ilmansuodattimien ja putkien ylläpidosta. Jos tätä huoltoa ei toteuteta voi syntyä painehäviöitä, jotka haittaavat tarttujan toimintaa. [10][11]

### **3.2 Hydrauliset tarttujat**

Hydraulisten tarttujen toimintaperiaate on samanlainen pneumaattisten kanssa. Kun pneumatiikassa sylinteriin ohjataan paineilmaa, hydraulikassa väliaineena toimii useimmiten öljy tai joissain tapauksissa siihen erikseen suunnitellut hydraulikkaneesteet. Hydraulisten tarttujen suurin etu on niiden tuottama puristusvoima, joka on usein moninkertainen verrattuna vastaaviin pneumaattisiin tarttuihin. Koska käytetään puristumattomia nesteitä, se mahdollistaa tarttujan paremman ohjattavuuden ja tarkkuuden. Lisäksi tämän avulla tarttuja pystyy säilyttämään tartuntavoiman ilman, että pumppu joutuisi koko ajan pumppaamaan. Pumpun voi myös asentaa kauemmaksi tarttujasta ilman huolta suuresta voiman alenemisesta. Lisäksi nämä tarttujat voivat olla hyvin pitkäikäisiä hyvin huollettuna. [11][12]

Vaikka sylinterissä käytettävät nesteet toimivat samanaikaisesti voiteluaineena, tarvitsevat hydrauliset tarttujat silti enemmän huoltoa muihin tarttuihin verrattuna. Tämä johtuu suuresta puristusvoimasta, joka usein vahingoittaa tarttujaa. Hydrauliset tarttujat ovat hieman kalliimpia ostohinnaltaan kuin pneumaattiset. Yksi hydraulisten tarttujen haitoista on kuitenkin niissä käytettävät nesteet. Vuodon sattuessa vapautuva öljy voi olla haitallista ympäristölle tai laitteelle itselleen. Kuitenkin suurin haitta hydraulisilla tarttujilla on suuri määrä laitteita, kuten pumput, moottorit, venttiilit, lämmönjohtimet ja suodattimet, joita kaikkia vaaditaan tarttujan käyttämiseen, ylläpitoon ja seurantaan. Nämä kaikki laitteet vaativat paljon huoltoa ja niiden käyttö on äänekästä. Lisäksi hydraulisilla tarttujilla päästään vain 40 – 55 % hyötysuhteeseen. [11][12]

### 3.3 Sähköiset tarttijat

Servo-elektroniset tarttijat ovat yleistyneet hurjasti teollisuudessa niiden loistavien ominaisuuksien takia. Servo-elektronisen tarttujan toiminta perustuu komentoihin, joita laitteen käyttäjä lähettää tarttujalle sen ohjausyksikköön. Ohjausyksikkö ohjaa tarttujan sähkömoottoria. Tämä moottori on kytketty akseliin, jota se pyörittää käskyn mukaisesti haluttuun suuntaan, halutulla nopeudella ja voimalla. Tällä akselin liikkeellä kontrolloidaan tarttujan leukojen asemaa. Kun halutut liikkeet on suoritettu, moottori lähettää tämän nykyisen asematiedon takaisin ohjausyksikköön. Moottori pyrkii myös pitämään tämän aseman, kunnes se saa uuden käskyn. [13][14]

Koska sähkömoottori mahdollistaa leukojen avautumis- ja sulkeutumisenopeuden, niiden aseman sekä puristusvoiman tarkan hallinnan, nämä tarttijat ovat erittäin suosittuja suurta tarkkuutta ja toistettavuutta vaativissa tehtävissä. Niitä voidaan myös ohjelmoida uudestaan hyvin nopeasti ja langattomasti. Tämä mahdollistaa eri kokoisten ja muotoisten asioiden siirtämisen ilman tarttujan vaihtoa. Lisäksi tarttijat soveltuvat hyvin suurilla nopeuksilla vaativiin tehtäviin. Ja koska niiden ohjaamiseen ei tarvita paineilmaa tai hydraulikkaa, ovat ne soveliaita myös ympäristöön, jossa puhtaus on erittäin tärkeää. Sähköiset tarttijat ovat myös hiljaisempia kuin vastaavat pneumaattiset tai hydrauliset tarttijat. [10][11]

Suurimpia heikkouksia näillä tarttujilla on se, että vaikka sähköiset tarttijat ovat kehittyneet huomasti viime vuosina, eivät ne silti pysty vastaamaan tietyissä töissä vaadittaviin ominaisuuksiin. Näitä ominaisuuksia ovat esimerkiksi kuormitusluokka, voima ja nopeus. Ne ovat myös kalliimpia kuin esimerkiksi vastaavat pneumaattiset tarttijat. Koska tarttujissa on sisäänrakennettu moottori, ne voivat olla myös hieman kookkaampia kuin muut tarttijat. Joissain tapauksissa tarttujan sähkömoottori voi ylikuumentua ja näin aiheuttaa vaaratilanteita. [11]

### 3.4 Vakuimitarttijat

Vakuimitarttijat ovat hyvin yksinkertaisia laitteita, joita käytetään pääasiassa kevyiden usein muovista, lasista, metallista tai komposiittista valmistettujen osien siirtämiseen. Tarttuja toimii parhaiten puhtaalla ja tasaisilla kappaleilla. Laitteiden suuri suosio perustuu juurikin niiden yksinkertaisuuteen sekä erittäin edulliseen hintaan. Lisäksi nämä tarttijat ovat hyvin nopeita, minkä vuoksi ne ovat hyvin suosittuja pakkausteollisuudessa. Yleisin tarttujamalli käyttää kumisia, muovisia tai joustavia imukuppeja. Niitä voi yhdessä tarttujassa olla jopa tuhansia. [10][15][16]

Näiden imukuppien toimintaa ohjaa tyhjiöjärjestelmä, joka voi olla keskitetty tai hajautettu. Näitä järjestelmiä ohjaa pumppu, joka on joko sähkömekaaninen tai paineilmalla toimiva. Sähkömekaaninen on halvempi ja hieman monipuolisempi vaihtoehto, mutta se ei luo yhtä suurta voimaa kuin paineilmalla toimiva. Keskitetyssä tyhjiöjärjestelmässä käytetään vain yhtä tyhjiön lähdettä, joka ohjaa jokaista yksittäistä tarttujassa olevaa imukuppia. Vastaavasti vähän kalliimmassa hajautetussa järjestelmässä jokaisella imukupilla on oma erillinen tyhjiön lähde. Tämän järjestelmän suurin etu on nopeampi vasteaika. Tämän lisäksi laite on hieman turvallisempi, koska yhdessä imukupissa tapahtuva paineen katoaminen ei vaikuta muihin. [16][17]

Vakuimitarttijat vaativat tasaisen ja puhtaan tarttumispinnan, eivätkä ne voi tarttua kappaleeseen, jossa on reikiä. Tarttumispinnalta irtoava lika voi myös tukkia imukuppien ilmakehanavat. Joissain tapauksissa tarttijat jättävät jälkiä siirrettävään kappaleeseen, esimerkiksi lasiin, joiden poistaminen vaatii ylimääräisen vaiheen tuotannossa. Näissä tapauksissa tuotantoaika kasvaa ja kustannukset nousevat. [10]

### 3.5 Magneettiset tarttujat

Magneettiset tarttujat toimivat hyvin samankaltaisesti kuin vakuumitarttujat, mutta niiden toimintaan vaaditaan rautapitoinen materiaali. Toisaalta nämä tarttujat voivat kuljettaa myös reiällisiä levyjä, johon vakuumitarttujat eivät pysty. Magneettiset tarttujat pystyvät käsittelemään erikokoisia ja muotoisia kappaleita sekä tarttuminen tapahtuu nopeasti. Lisäksi ne vaativat hyvin vähän huoltoa eivätkä ne tiputa kuljetettavaa kappaletta mahdollisen ilmapuodon vuoksi. Tarttujassa ei myöskään tapahdu kulumista. [10][18][19]

Magneettiset tarttujat voidaan jakaa kahteen luokkaan toimintatapojen mukaan. Ne ovat joko elektromagneettisia tai pysyvä magneettisia. Elektromagneettisia tarttujia on helpompi kontrolloida, koska magneettisuus voidaan kytkeä pois katkaisemalla virta, joka mahdollistaa kuljetettavan tavaran helpon irrottamisen. Näillä tarttujilla saavutetaan myös suurempi nostovoima verrattuna pysyvillä magneeteilla varustettuihin tarttujiin ja sitä voidaan säätää vaihtamalla käämien lukumäärää tai sähkövirtaa muuttamalla. Pysyvällä magneetilla varustetut tarttujat eivät sen sijaan tarvitse virtaa toimiakseen vaan niiden toiminta perustuu asioiden normaaliin magneettisuuteen. Koska magneetti on aina toiminnassa, on kappaleen irrottaminen tarttujasta hieman haastavampaa. Tämän vuoksi tarttujiin lisätään erillinen tappi, jonka avulla kappale työnnetään irti magneetista. Koska tarttuja ei tarvitse sähköä on se myös turvallinen lähes kaikissa ympäristöissä ja olosuhteissa. Sähköttömyyden takia myöskään kipinöitä ei pääse syntymään ja mahdollisten sähkökatkojen aikana ote kappaleeseen säilyy. Tällaiset tarttujat ovat myös hieman edullisempia kuin elektromagneettiset. [10][18]

Tarttujien heikkous on jo mainittu vaatimus rautapitoiselle työstettävälle kappaleelle. Lisäksi vähäinenkin öljy tai pinttynyt lika kosketuspinnalla voi vähentää tartunnan voimakkuutta. Jotkut nopeat liikkeet saattavat tiputtaa kappaleen tarttujasta ja pienet metallilastut voivat jäädä kiinni tarttujaan, mikä saattaa vaikeuttaa tarttujan tarttumista seuraavaan kappaleeseen. Elektromagneettiset tarttujat voivat myös jättää kappaleeseen hieman magneettiseksi. [10][18]

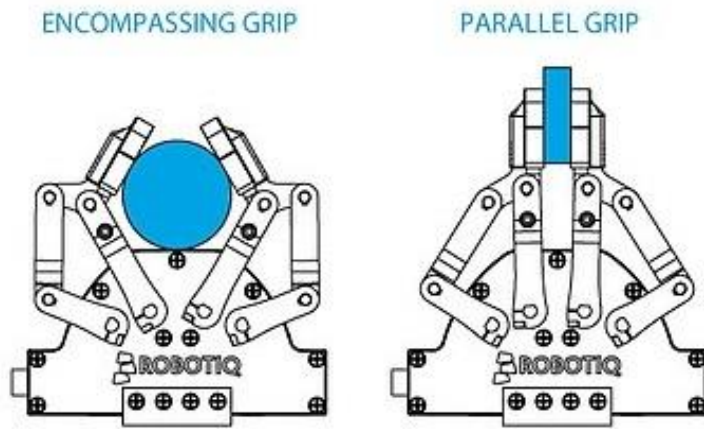
## 4 JÄYKÄT TARTTUJAT

### 4.1 2-sorminen tarttuja

2-sormiset tarttujat ovat markkinoiden yleisin ja myös vanhin tarttujatyyppe. Näissä tarttujissa on kaksi leukaa, jotka liikkuvat puristuvat yhteen näin tarttuen kappaleeseen. 2-sormisia tarttuja on kahden tyylisiä, lineaaritarttuja ja saksitarttuja. Tarttujat toimivat joko pneumaattikalla, hydraulikalla tai sähköllä. Lineaaritarttujat ovat yleisiä johtuen niiden suunnittelun ja ohjelmoinnin helppoudesta, koska niiden kanssa ei tarvitse ottaa huomioon kuin yhden suuntaista liikettä. Lisäksi lineaariset tarttujat ovat yleensä kaikista tarkimpia tarttuja. Tämän mallisilla tarttujilla on myös mahdollista tarttua joihinkin kappaleisiin sisäpuolelta, joka on tarpeellista tapauksissa, joissa kappaleen ulkopintaa pitää esimerkiksi kiillottaa tai maalata. Saksitarttujassa sen leuat aukeavat ja sulkeutuvat keskeisen kääntöpisteen ympärillä liikkuen kaarevaa liikettä. Tämän kaarevan liikkeen takia tarttuja ovat hieman hankalampia suunnitella ja ovat epäkäytännöllisiä joihinkin tarkoituksiin. Tällaiset tarttujat sopivat kuitenkin paremmin eri muotoisten kappaleiden sekä suurien kappaleiden siirtämiseen. [20]

Uusin 2-sorminen tarttujamalli on Robotiq-yhtiön kehittänyt mukautuva tarttuja, joka yhdistää edellä mainitut mallit yhdeksi erittäin monipuoliseksi tarttujaksi. Tällä kuvassa 5 esitetyllä tarttujalla on mahdollista nostaa sekä suorakaiteen että pyöreitä kappaleita. Sormien tyvessä on niin sanottu kattavan otteen alue ja sormen kärjessä on lineaarisen otteen alue. Kun tarttujan sormi osuu kappaleeseen kattavan otteen alueella, tarttuja ei enää luota pelkästään sen sormen päihin tartunnassa, vaan sen koko mekanismin. Tarttuja automaattisesti mukautuu kappaleen muotoon ja sormi kietoutuu kappaleen ympärille. Vaikka tämä tartuntatyylly on huomattavasti turvallisempi, sitä ei voida käyttää pieniä kappaleita nostettaessa. Tällöin tarttuja turvautuu normaaliin lineaariseen tartuntaan. [22][23]





Kuva 5. Mukautuva tarttuja 2F-85 [24].

## 4.2 Tuplatarttuja

Joissakin tilanteissa on mahdollista käyttää kuvan 6 kaltaisia tarttuja, jotka hyödyntävät kahta tarttujaa yhtä aikaa. Laitteen suurimpana etuna on sen säästämä aika valmistusprosessissa. Kaksi tarttujaa mahdollistaa kahden työvaiheen samanaikaisen toteuttamisen. Esimerkiksi voidaan toisella tarttujalla poistaa jo työstetty kappale ja toisella laittaa uusi kappale työkoneeseen ja vasta sen jälkeen siirtää valmis kappale eteenpäin. Tämä on erittäin hyödyllistä tapauksissa, joissa valmis kappale on eri muotoinen tai paljon pienempi kuin mitä se oli ennen työstöä. [25]



Kuva 6. Onrobot:in kahden 2-sormisen tarttujan tuplatarttuja [26].

### 4.3 3-sorminen tarttuja

3-sormisessa tarttujassa on kolme leukaa, jotka ovat tavallisesti 120 asteen kulmassa toisistaan. Nämä tarttijat toimivat usein käyttäen hydrauliiikkaa tai pneumatiikkaa. Ylimääräinen sormi verrattuna 2-sormiseen tarttujaan tuo tietyissä tilanteissa mukanaan lisää monipuolisuutta. Se helpottaa huomattavasti esimerkiksi pallon muotoisten kappaleiden nostamista. Myös 3-sormisessa tarttujamalleja on kaksi, perinteisempi lineaaritarttuja ja saksitarttuja. Tarttuja toimii ylimääräisestä sormesta huolimatta samalla periaatteella vastaavien 2-sormisen kanssa. Kuitenkin se on hieman monipuolisempi ja se pystyy nostamaan ja kantamaan raskaampia kappaleita. [21][22]

Myös 3-sormisesta tarttujasta on luotu mukautuva malli. Kuten kuvasta 7 huomataan, tässä mallissa sormet ovat sijoitettu hieman eri tavalla verrattuna muihin kolmen sormen tarttujiin. Tämä mahdollistaa erilaiset tartuntatilat. Kuvassa vasemmalla nähdään tarttujan normaali tartunta, jossa sormet pyöristyvät kappaleen ympärille, mahdollistaen erinomaisen pidon myös sylinterin muotoisille kappaleille. Normaalistatartunnasta on myös leveämpi tartunta, joka mahdollistaa suurempien kappaleiden paremman hallinnan. Tarttujalla on myös mahdollista nostaa pieniä kappaleita nipistystartunnalla, joka nähdään kuvassa oikealla. Lisäksi jokaista sormea on mahdollista liikuttaa yksittäisesti.



**Kuva 7. Mukautuvan 3-sormisen tarttujan erilaiset tartuntatilat [27]**

#### 4.4 5-sormiset tarttujat

Vaikka viisisorminen käsi toimii erinomaisesti ihmisellä ja on jo onnistuttu valmistamaan erittäin toimivia käsiroteeseja, on tällainen tarttuja vaikea saada toimimaan yhtä hyvin robotilla. Kuvan 8 kaltainen 5-sorminen tarttuja pystyy tarttumaan lähes kaiken muotoisiin ja kokoisiin kappaleisiin. Kuitenkaan ne eivät ole vielä valmiita teollisuuteen, johtuen niiden kyvyttömyydestä siirtää painavia tavaroita sekä niiden tarkka toistettavuus on usein heikkoa. Tällä hetkellä ne ovat myös aivan liian kalliita, jotta niiden käyttäminen teollisuudessa olisi kannattavaa. Jos nämä ongelmat onnistutaan ratkaisemaan, tulevat viisisormiset tarttujat yleistymään hurjasti. [22][29]



**Kuva 8. 5-sorminen robottikäsi [28].**

## 5 PEHMEÄ ROBOTIIKKA

Nykypäivänä keksitään ja kehitetään yhä useampia tapoja käyttää robotteja teollisuudessa. Perinteiset jäykät tarttujat vaativat usein tarkat tiedot tartuttavan kappaleen geometriasta ja sen sijainnista. Tämän takia niiden kyky tarttua erilaisiin kappaleisiin sekä käsitellä epävarmuutta on hyvin rajallista. Pehmeät tarttujat ovat yksi mahdollisista ratkaisuista näihin ongelmiin. Nämä tarttujat mahdollistavat erityisesti elintarvikkeiden ja helposti hajoavien kappaleiden turvallisen siirtämisen. Pehmeät tarttujat ovat yleistyneet hurjasti viimeisien vuosien aikana, mikä on johtanut tarttujien toimintakyvyn parantumiseen ja sitä kautta niiden kaupallistumiseen. Näillä tarttujilla voidaan käsitellä monia erilaisia kappaleita niiden pinnanlaadusta, rakenteesta tai muodosta välittämättä. Tämä on mahdollistanut robottien käytön useissa töissä, joita on pitkään ajateltu olevan liian herkkiä hoidettavaksi automaatiolla. Pehmeän robotiikan suurin haaste on suunnitella tarttujat siten, että ne pystyvät toimimaan tarvittaessa myös suurilla voimilla. [30][31][40]

Pehmeät tarttujat voidaan jaotella kolmeen kategoriaan niiden toimintaan perustuvan teknologian mukaan. Ne voivat toimia liikkeen, muuttuvan jäykkyyden tai muuttuvan vetovoiman avulla. Nämä kategoriat eivät kuitenkaan ole toisiaan poissulkevia vaan usein tarttujat käyttävät kahta eri teknologiaa saavuttaakseen paremman toimivuuden. Tarttuminen liikkeen avulla sisältää usein tartuntasormia, jotka taipuvat kappaleen ympärille. Tarttujat, joiden toiminta perustuu muuttuvaan jäykkyyteen hyödyntävät joidenkin materiaalien tai materiaaliyhdistelmien isoa jäykkyyden muutosta tarttuakseen kappaleeseen. Muuttuvan vetovoiman tarttujien toiminta perustuu tarttujan ja kappaleen välisiin pintavoimiin. Näiden tarttujien suurimpia etuja on erittäin herkkien kappaleiden siirtäminen, sillä se ei vaadi suuria normaalivoimia kappaleeseen tarttumiseen. [32]

## 5.1 Tarttuja joustavilla sormilla

Soft Robotics yhtiön mGrip tarttuja on varustettu näppäryydellä, joka on verrattavissa ihmisen käteen. Tämä yhdistettynä patentoituun materiaalitekniikkaan mahdollistaa eri kokoisten, painoisten ja mallisten tavaroiden siirtämisen. MGrip avaa mahdollisuuksia käyttää automaatiota aloilla, joissa tähän asti on jouduttu käyttämään ihmisiä, kuten esimerkiksi elintarvike- ja virvoitusjuomateollisuus sekä verkkokaupankäynti. [33][34]



**Kuva 9. MGrip tarttuja [35].**

Kuvassa 9 nähtävän tarttujan sormet on valmistettu pehmeästä polymeeristä, joka muovautuu esineen ympärille, mahdollistaen sen nostamisen ilman tietoa kappaleen painosta tai gravitaatiokeskipisteestä. Tämän vuoksi tarttujalla voidaan nostaa erimuotoisia ja kokoisia asioita ilman, että tarttujaa joudutaan vaihtamaan tai, että sitä jouduttaisiin uudelleen ohjelmoimaan. Lisäksi tämä kaikki on mahdollista myös kappaleilla, jotka ovat herkästi särkyviä tai joiden pinta ei saa hajota, kuten jotkut elintarvikkeet. Tarttuja on myös optimoitu todella nopeaan tavaroiden nostoon ja asetteluun. [33][34]

## 5.2 Lonkerotarttuja

Joissakin tapauksissa tarttujaa suunniteltaessa otetaan vaikutteita erilaisista eläimistä. Näin on tehnyt myös Festo ja on esitellyt markkinoille lonkerotarttujan, jonka toiminta perustuu samaan ilmiöön kuin mustekalan lonkerossa. Tämä pehmeästä silikonista valmistettu bioninen rakenne toimii pneumatiikan avulla. Kun paineilmaa syötetään lonkeroon, se taipuu sisäänpäin ja kietoutuu kappaleen ympärille muodostaen hyvin pitävän, mutta myös erittäin hellävaraisen otteen. Tämä on esitetty kuvassa 10. [36]



**Kuva 10. Feston lonkerotarttuja [36].**

Tarttujassa sisäpinnassa on kaksi riviä imukuppeja, jotka pienenevät tarttujan kärkeä kohti mentäessä. Päässä olevat pienet imukupit toimivat passiivisesti, kun taas isompia imukuppeja voidaan kontrolloida ja niihin voidaan luoda tyhjiö tarvittaessa. Tämä on erityisen kätevää isompia tavaroita nostessa, jolloin saadaan vahvempi ja näin myös turvallisempi ote nostettavaan tavarahan. [36]

### 5.3 Pallotarttuja

VERSABALL on Empire Robotics:in tarttuja, joka hyödyntää granular jamming teknologiaa. Tarttuja toimii pallon sisällä olevan rakeisen materiaalin avulla. Aluksi pallo täytetään ilmalla ja siirretään nostettavan kappaleeseen kiinni, jolloin pallo muokkautuu nostettavan kappaleen muotoon. Tämän jälkeen ilmaa poistetaan, jolloin sisällä olevat rakeet tiivistyvät ja kovettuvat kappaleen ympärille mahdollistaen sen nostamisen ja liikuttamisen. Tähän riittää kosketus ainoastaan murto-osaan kappaleen pinnasta. Tartunta on myös hyvin hellävarainen, joten myös hauraiden asioiden nostaminen onnistuu. Kuvassa 11 on esitetty herkän lampun nosto hyvin vähällä pintakosketuksella. Tartunnan pito koostuu kolmesta osasta. Ensimmäisenä on kitka pallon ja kappaleen välillä. On myös mahdollista, että kappaleen ja tarttujan väliin syntyy imuefekti, jos pallo sulkee kappaleen tai osan siitä ilmatiiviisti. Näiden lisäksi tarttujan ja kappaleen välille syntyy lukitusmuoto. Nämä yhdessä takaavat erittäin turvallisen pidon, joka estää esineen tippumisen. Mutta kuten kaikilla tarttujilla, myös tällä on omat rajoitteensa. Litteiden esineiden kuten esimerkiksi cd-levyjen nostaminen ei onnistu, jos levyn halkaisija on tarpeeksi suuri, ettei tarttuja saa otetta sen reunoista. Myöskään erittäin pehmeiden kohteiden kuten pumpulin nostaminen ei onnistu. [37] [38]



Kuva 11. Versaball [39].

## 5.4 Origimitarttuja

Tämä tarttuja on saanut innoituksensa hyvin tunnetusta taikapallo-origamista, joka on suorakaiteen muotoisesta paperista taiteltu rakenne, jota voidaan muokata pallomaisesta lieriömäiseen ja takaisin ilman sen hajoamista. Tämän vuoksi sitä on ennenkin käytetty hyödyksi muotoaan muuttavan robotin kehityksessä. Nyt MIT:n tutkijat ovat luoneet tarttujan, joka hyödyntää tätä rakennetta ja se pystyy tarttumaan ja nostamaan esineitä, jotka ovat jopa 120 kertaa tarttujaa painavampia. Tarttujan runko on valmistettu silikonista, siinä on 16 osaa ja ne ovat kaikki valmistettu 3D-tulostamalla. Rungon päällä on käytetty kumista valmistettua palloa tai ohutta kangaskalvoa. Tarttujan toiminta on hyvin samanlainen kuin edellä mainitun pallotarttujan. Tarttujaan syötetään ilmaa, jolloin se laajenee. Tämän jälkeen tarttuja siirretään kappaleen päälle ja kun ilma poistetaan tarttujasta, se kutistuu näin tarttuen kappaleen ympärille luoden ilmatiiviin tartunnan, joka on yhtä aikaa hellä kappaleelle mutta myös erittäin pitävä. Kuten kuvasta 12 huomataan, tarttuja pystyy tarttumaan eri muotoisiin, painoisiin sekä erittäin hauraisiin kuten lasisiin kappaleisiin ilman ongelmia.[40][41]



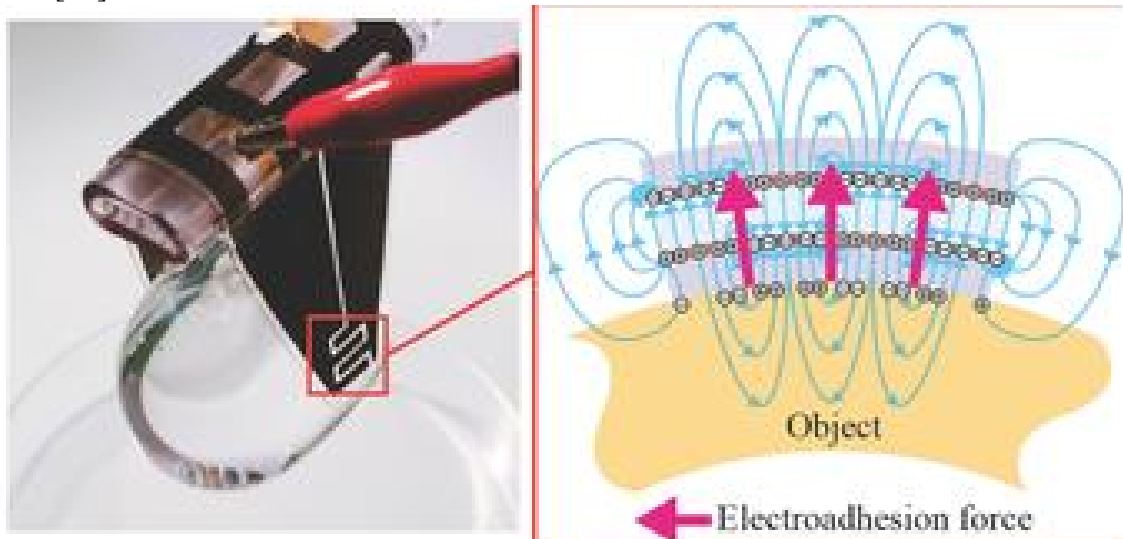
Kuva 12. Origimitarttujan nostossa peltipurkki, viinilasi ja vesipullo [40].



## 5.5 Sähkövetovoimatarttuja

Tämä erittäin monipuolinen tarttuja painaa vain 1,5 grammaa, mutta sen koosta huolimatta sillä voidaan käsitellä ennennäkemätöntä joukkoa asioita. Tarttujan toiminta perustuu uuteen dielektristen elastomeeristen tarttujen muotoiluun, jossa käytetään hyväksi elektrodien geometriaa ja samalla maksimoidaan sekä sähköinen vetovoima että sähköstaattinen käyttö. Tällä tavalla tarttujalla voidaan nostaa minkä tahansa muotoisia kappaleita, jotka voivat myös olla hyvin herkkiä ja helposti muotoaan muuttavia, ja jopa litteitä esineitä kuten paperia. Tarttujan luoma mekaaninen puristusvoima on todella pieni vain 1 mN, joka mahdollistaa erittäin hauraisiin kappaleisiin tarttumisen. Kuitenkin sähkövetovoiman mahdollistaa suuren puristuksen, joka voi olla jopa  $3.5 \text{ N/cm}^2$ . Tämä mahdollistaa suurienkin asioiden noston. Nostetut tavarat voivat olla jopa 50 kertaa painavampia verrattuna tarttujan massaan. [42]

Tarttuja koostuu viidestä eri kerroksesta. Keskimmäisenä on elastomeerinen kalvo, jota ympäröi kaksi mukautuvaa elektrodia. Näiden elektrodien päällä on passiiviset kerrokset, jotka suojaavat rakennetta. Tarttujan sisältämät elektrodit ovat kytketty siten, että samalla tasolla olevat vierekkäiset elektrodisegmentit ovat vastakkaisia potentiaaleja, kuten myös ne elektrodit, jotka ovat päällekkäin kalvon vastakkaisilla puolilla. Kun tarttujaan johdetaan jännitettä, segmenttirajoilla syntyy hajautettuja sähkökenttiä, joka mahdollistaa homogeenisten vetovoimien synnyn koko tartuntapinnalle. Toiminta on esitetty kuvassa 13. [42]



Kuva 13. Tarttujan toimintaperiaate [42].

## 6 TARTTUJAN VALINTA

Tarttuja toimii fyysisenä välikappaleena robotin ja työstettävän kappaleen välissä. Siksi on tärkeää valita oikeanlainen tarttuja haluttuun työhön. Valintaan vaikuttaa sekä ulkopuoliset vaatimukset sekä siirrettävän kappaleen ominaisuudet. [11]

Ulkopuolisista vaatimuksista ensimmäisenä täytyy miettiä työtehtävää. Se usein määrittää millaista tarttujaa voidaan käyttää. Nopea pakkaaminen tai purkaminen suosii vakuumitarttujaa, kun taas yksittäisten kappaleiden siirtoon valitaan usein sormellinen tarttuja sen ollessa monipuolisempi. Myös työssä vaadittava tarkkuus on tärkeää ottaa huomioon valinnassa. Näiden lisäksi tulee ottaa huomioon ympäristö, sillä se asettaa omat vaatimuksensa. Esimerkiksi, jos työskentely tapahtuu erittäin likaisissa oloissa, tulee varmistaa, ettei lika tai muut irtahiukkaset pääse hajottamaan tarttujaa. Vastaavasti puhtaissa laitoksissa tai luonnossa työskentely asettaa vaatimukset sille, ettei tarttuja millään tavalla pääse likaamaan tai saastuttamaan ympäristöä. Tietyissä tapauksissa on ehdottoman tärkeää, että tarttuja pitää otteensa myös vikatilanteessa. Esimerkiksi omenan tiputtamisesta ei usein seuraa vaaratilannetta, kun taas kemikaalien tai muiden syövyttävien aineiden tippuminen voi aiheuttaa suuriakin vahinkoja. [11]

Kappaleen fyysisistä ominaisuuksista tulee ottaa huomioon ensimmäisenä koko, joka on rajoittava tekijä kaikilla muilla paitsi vakuumitarttujilla. Myös kappaleen muoto on tärkeä tekijä valinnassa, sillä pienen kuution voi siirtää melkein millä tahansa tarttujalla. Kun taas ohuen levyn siirtäminen vaatii vakuumi- tai magneettitarttujan. Näiden lisäksi tulee ottaa huomioon kappaleen paino, sillä on erityisen tärkeää, että tarttuja pystyy tuottamaan tarpeeksi voimaa kappaleen nostamiseen. On otettava huomioon myös kappaleen liikuttamisesta aiheutuvat kiihtyvyydet ja siitä aiheutuvat lisäjännitykset. Toisaalta pitää muistaa kappaleen pinnanlaatu sekä materiaali, koska ne asettavat oman haasteensa. Erityisen tärkeää tämä on silloin kun siirretään hauraita materiaaleja esimerkiksi lasia. Tällöin kappaleen painon lisääntyessä ei voida vain lisätä tarttujan puristusvoimaa miettimättä kestäkö kappale sitä hajoamatta. [11]

## 7 YHTEENVETO

Robottien historia alkaa 1950-luvulta ja kehitys on sen jälkeen ollut todella nopeaa. Ensimmäiset tarttijat olivat hyvin kömpelöitä ja niiden tarkka ohjaaminen oli mahdotonta. Kuitenkin ne ovat osoittaneet suunnan nykypäivän tarttujille, sillä yleisimmin käytetyt tarttijat ovat malliltaan ja toimintaperiaatteeltaan samanlaisia kuin nämä ensimmäiset tarttijat.

Kaikilla tarttujatyypeillä on omat vahvuudet ja heikkoudet. Pneumaattiset, hydrauliset ja sähköiset tarttijat ovat toimintavaltaan hyvin samanlaisia, ja siksi niitä nähdään usein verrattavan toisiinsa. Kun pneumaattiset ovat hyvin yksinkertaisia ja halpoja, sähköiset tarttijat ovat kalliimpia kuin muut tarttijat, mutta paljon monipuolisempia, koska niitä voidaan ohjelmoida. Tämän takia samalla tarttujalla on mahdollista nostaa erimuotoisia kappaleita, mikä ei onnistu muilta tarttujilta. Hydraulisten tarttujen suurin etu niillä saavutettava suuri puristusvoima. Magneettiset ja vakuumitarttijat hyvin suosittuja nopeassa pakkaus ja purkutöissä.

Pehmeä robotiikka on mahdollistanut robottien yleistymisen myös niillä teollisuuden aloilla, joilla sen joskus uskottiin olevan mahdotonta. Pehmeät tarttijat eivät usein vaadi suuria puristusvoimia asioiden nostamiseen, minkä vuoksi ne ovat yleistymässä erityisesti elintarviketeollisuudessa. Pehmeässä robotiikassa tarttijat toimivat kolmea eri teknologiaa käyttäen. Jotkut tarttijat saattavat kuitenkin hyödyntää useampaa kuin yhtä näistä teknologioista.

Tarttujaa valittaessa tulee ottaa huomioon itse työstettävä kappale sekä ulkopuoliset vaatimukset. Tärkeintä tietysti on, että tarttuja soveltuu kappaleen nostamiseen sitä vahingoittamatta, mutta yhtä tärkeää on miettiä ympäristöä, jossa työ tapahtuu. Elintarvikkeita käsiteltäessä tai muuten puhtaassa ympäristössä tapahtuvassa työskentelyssä on erityisen tärkeää, ettei tarttuja rikkoutuessakaan pääse saastuttamaan tai likaamaan ympäristöä.

## LÄHDELUETTELO

1. Hockstein, N. G., Gourin, C. G., Faust R. A. & Terris, D. J., A history of robots: from science fiction to surgical robotic.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4247417/>

2. Tai, K., El-Sayed, A-R., Shahriar, M., Biglarbegian, M. & Mahmud S., State of the Art Robotic Grippers and Applications. <https://www.mdpi.com/2218-6581/5/2/11/htm>

3. Wikipedia, Teollisuusrobotti

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti#/media/Tiedosto:KawasakiFS03N.jpg>

[viitattu 6.5.2019]

4. MachineDesing, Industrial grippers: History and new innovation.

<https://www.machinedesign.com/motion-control/industrial-grippers-history-and-new-innovation> [viitattu 6.5.2019]

5. ReachRobotics, The 7 robots that shaped the industry.

<https://reachrobotics.com/blog/the-7-robots-that-shaped-the-industry> [viitattu 19.6.2019]

6. Festo, Airic's arm.

<https://www.festo.com/group/en/cms/10247.htm> [viitattu 23.5.2019]

7. Bernier, C., 2014, How Pneumatic End Effectors Work.

<https://blog.robotiq.com/bid/65604/How-Pneumatic-End-Effectors-Work>

[viitattu 7.5.2019]

8. Bélanger-Barrette, M., 2015, How Does a Parallel Robot Gripper Work.

<https://blog.robotiq.com/how-does-a-parallel-robot-gripper-works> [viitattu 7.5.2019]

9. Robots, Get a Grip! Choosing the Right Robotic Gripper.

<https://www.robots.com/blogs/get-a-grip-choosing-the-right-robotic-gripper>

[viitattu 7.5.2019]

10. Academia, How To Choose The Right End Effector For Your Application.

[https://www.academia.edu/27264795/How\\_To\\_Choose\\_The\\_Right\\_End\\_Effector\\_For\\_Your\\_Application](https://www.academia.edu/27264795/How_To_Choose_The_Right_End_Effector_For_Your_Application)

[viitattu 7.5.2019]

11. Gonzalez, C., 2015, Whats the Difference Between Pneumatic, Hydraulic and Electrical Actuators.

<https://www.machinedesign.com/linear-motion/what-s-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators>

[viitattu 8.5.2019]

12. Rosenfield, S., 2017, Pros and Cons of Pneumatic, Hydraulic, and Electric Actuation.

<https://electronics360.globalspec.com/article/9480/pros-and-cons-of-pneumatic-hydraulic-and-electric-actuation>

[viitattu 8.5.2019]

13. Robots, Grippers For Robots.

<https://www.robots.com/articles/grippers-for-robots>

[viitattu 8.5.2019]

14. Bouchard, S., 2011, Servo-Electric Grippers: How Does It Work?

<https://blog.robotiq.com/bid/37839/Servo-Electric-Grippers-How-does-it-Work>

[Viitattu 8.5.2019]

15. Camillo, J., Vacuum Grippers: (Suck It) Up For The Challenge.

[http://digital.bnppmedia.com/publication/frame.php?i=363339&p=&pn=&ver=html5&view=articleBrowser&article\\_id=2653277](http://digital.bnppmedia.com/publication/frame.php?i=363339&p=&pn=&ver=html5&view=articleBrowser&article_id=2653277)

[viitattu 8.5.2019]

16. Motion Controls Robotics, Gripping Power in a Vacuum.

<https://motioncontrolsrobotics.com/gripping-power-in-a-vacuum/>

[viitattu 9.5.2019]

17. Robotics, Is a Vacuum Gripper Right for Your Collaborative Robot Application.  
<https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Is-a-Vacuum-Gripper-Right-for-Your-Collaborative-Robot-Application/134> [viitattu 9.5.2019]
18. Motion Controls Robotics, Robotic Tech Talk, Sticking with Magnetic Grippers.  
<https://motioncontrolsrobotics.com/sticking-with-magnetic-grippers> [viitattu 9.5.2018]
19. Robotics Tomorrow, Magnetic Gripper For Robot Applications.  
<https://www.roboticstomorrow.com/news/2018/12/04/magnetic-gripper-for-robot-applications-/12898/> [viitattu 10.5.2019]
20. Brumson, B., 2001, Get a Grip: Choosing a Gripper for your Robotic Application.  
[https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Get-a-Grip-Choosing-a-Gripper-for-your-Robotic-Application/content\\_id/1162](https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Get-a-Grip-Choosing-a-Gripper-for-your-Robotic-Application/content_id/1162)  
[viitattu 13.5.2019]
22. Bélanger-Barrette, M., 2015, Why Use a Robot Gripper with 3 fingers.  
<https://blog.robotiq.com/why-use-a-robot-gripper-with-3-fingers> [viitattu 14.5.2019]
23. Bélanger-Barrette, M., 2014, More Than Just a Parallel Gripper: How Does It Works.  
<https://blog.robotiq.com/bid/72861/More-Than-Just-a-Parallel-Gripper-How-Does-It-Works> [viitattu 14.5.2019]
24. Demers, L-A. 2014, How Do fingers on the 2-Finger 85 Adaptive Gripper Work?  
<https://blog.robotiq.com/bid/55922/How-Do-Fingers-on-the-2-Finger-Adaptive-Robot-Gripper-Work> [viitattu 17.5.2019]
25. Owen-Hill, A., 2017, 6 Things That Are Possible With Dual Grippers (+3 Things That Aren't). <https://blog.robotiq.com/6-things-that-are-possible-with-dual-grippers-3-that-arent> [viitattu 17.5.2019]
26. Onrobot, Dual-Gripper.  
<https://onrobot.com/en/products/dual-gripper> [viitattu 17.5.2019]

27. Zacobria, Robotic Zacombria robot-grippers.  
<https://www.zacobria.com/robotiq-zacobria-universal-robot-grippers.html>  
[viitattu 19.6.2019]
28. Robotics Update, Schunk gripper replicates the human hand.  
<http://www.roboticsupdate.com/2015/05/schunk-gripper-replicates-the-human-hand/>  
[viitattu 20.5.2019]
29. Anandan, T. M., 2014, Take My Hand, Behold the Future of Robot End Effectors.  
[https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Featured-Articles/Take-My-Hand-Behold-the-Future-of-Robot-End-Effectors/content\\_id/4812](https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Featured-Articles/Take-My-Hand-Behold-the-Future-of-Robot-End-Effectors/content_id/4812)  
[viitattu 20.5.2019]
30. Whitesides, G. M., 2018, Soft Robotics.  
<https://onlinelibrary-wiley-com.pc124152.oulu.fi:9443/doi/full/10.1002/anie.201800907>
31. Kim, S., Laschi, C., & Trimmer, B., 2013, Soft robotics: a bioinspired evolution in robotics.  
[https://www.researchgate.net/publication/236198827\\_Soft\\_robotics\\_A\\_bioinspired\\_evolution\\_in\\_robotics](https://www.researchgate.net/publication/236198827_Soft_robotics_A_bioinspired_evolution_in_robotics)
32. Shintake, J., Cacucciolo, V., Floreano, D., Shea, H., 2018, Soft Robotic Grippers.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adma.201707035>
33. Soft Robotics. <https://www.softroboticsinc.com/> [viitattu 22.5.2019]
34. Business Wire, Soft Robotics Launches mGrip: an On-Demand, Modular Soft Robotic Kit That Creates Production-Ready Systems in Minutes.  
<https://www.businesswire.com/news/home/20190131005147/en/Soft-Robotics-Launches-mGrip-On-Demand-Modular-Soft> [viitattu 22.5.2019]
35. Soft Robotics, Bakery Case Study.  
<https://www.softroboticsinc.com/bakery-case-study> [viitattu 22.5.2019]

36. Festo, TentacleGripper.

<https://www.festo.com/group/ru/cms/12745.htm> [viitattu 19.6.2019]

37. Empire Robotics, Products

<https://www.empirerobotics.com/products/> [viitattu 23.5.2019]

38. Brown, E., Rodenberg, N., Amend, J., Mozeika, A., 2010, Universal Robotic Gripper based on the Jamming of Granular Material.

<https://www.pnas.org/content/107/44/18809>

39. New Atlas, Versaball robotic gripper takes up beer bong at CES 2015

<https://newatlas.com/versaball-robot-pong/35418/#p309878> [viitattu 23.5.2019]

40. Li, S., Stampfli, J. J., Xu H.J., Malkin, E., Diaz, E.V., Rus, D., Wood, R.J., 2019

IEEE International Conference on Robotics and Automation. A Vacuumdriven Origami “Magic-ball” Soft Gripper. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/120930>

41. Vincent, J., 2019, This robot gripper looks like a wilted flower, but it can lift 100

times its own weight. <https://www.theverge.com/2019/3/14/18259883/soft-robot-origami-gripper-mit-csail-daniela-rus> [viitattu 20.11.2019]

42. Shintake, J., Rosset, S., Schubert, B., Floreano, D., & Shea, H., 2015, Versatile Soft Grippers with Intrinsic Electrodehesion Based on Multifunctional Polymer Actuators.

[https://onlinelibrary-wiley-](https://onlinelibrary-wiley-com.pc124152.oulu.fi:9443/doi/full/10.1002/adma.201504264)

[com.pc124152.oulu.fi:9443/doi/full/10.1002/adma.201504264](https://onlinelibrary-wiley-com.pc124152.oulu.fi:9443/doi/full/10.1002/adma.201504264)



