

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

JALKAPALLON SYÖTTÖLAITTEEN SUUNNITTELU
THE DESIGN OF A FOOTBALL PASSING MACHINE

Lappeenrannassa 2.12.2012

Olli Raki

0373882

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
2 JALKAPALLON RAKENNE JA DYNAMIIKKA	7
2.1 Historia.....	7
2.2 Rakenne	7
2.3 Dynamiikka.....	9
2.3.1 Pallon aerodynamiikka	9
2.3.2 Pyörivän pallon aerodynamiikka	13
2.3.3 Kimmoisuus	14
3 JALKAPALLON SYÖTTÖLAITTEEN LUONNOSTELU	17
3.1 Vaatimusluettelo	18
3.2 Toimintorakenne	20
3.3 Osatoimintojen ideointi.....	21
3.3.1 Laukaisu.....	21
3.3.2 Pallokori.....	23
3.3.3 Laitteen siirtäminen	24
3.3.4 Syöttömekanismi	24
3.4 Ideamatriisi	25
3.5 Osatoimintojen pisteytys.....	26
3.6 Kokonaisratkaisun valinta.....	28
4 SYÖTTÖLAITTEEN SUUNNITTELU	30
4.1 Laukaisin.....	30
4.2 Runko.....	32
4.3 Pallovarasto ja syöttömekanismi	34
4.4 Materiaalivalinnat	35

4.4.1	Runko.....	36
4.4.2	Laukaisin ja pallovarasto	36
4.5	Tekniset laskelmat	38
4.5.1	Pallon liikeradan tarkastelu.....	39
4.5.2	Lujuuslaskennan kriittiset kohdat	40
5	TULOSTEN TARKASTELU	43
6	YHTEENVETO	46
LIITTEET		

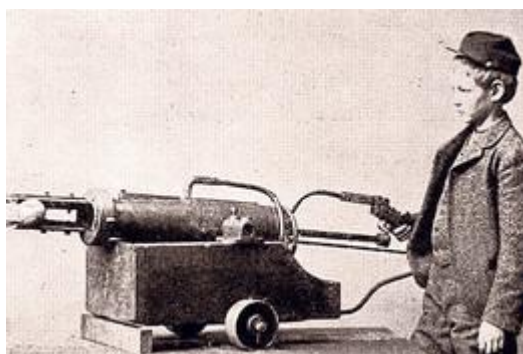
LYHENNE- JA SYMBOLILUETTELO

e	Sysäyskerroin
g	Maan painovoima (m/s^2)
v	Nopeus (m/s)
A	Pinta-ala (m^2)
d	Halkaisija (m)
Re	Reynoldsin luku
C_D	Ilmanvastuskerroin
F_D	Ilmanvastus (N)
μ	Viskositeetti ($\frac{kg}{sm}$)
W	Taivutusvastus (mm^3)
M	Taivutusmomentti (Nm)
τ	Leikkausjännitys (MPa)
σ	Taivutusjännitys (MPa)
F	Voima (N)
V	Leikkausvoima (N)

1 JOHDANTO

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on kehitettävä ja suunnitella jalkapallon syöttölaite. Työssä käydään läpi jalkapallon dynamiikkaa, historiaa ja rakennetta sekä luovan tuotesuunnittelun perusteita koneenrakennuksen näkökulmasta. Soveltavana osana ideoidaan ja suunnitellaan toimiva jalkapallon syöttölaite, joka toteuttaa työn teettäjän asettamat vaatimukset. Suunnittelussa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon standardiosia ja pitämään laitteen rakenne yksinkertaisena huollettavuuden, valmistettavuuden, kustannustason ja liikuteltavuuden säilyttämiseksi.

Syöttölaitteilla on tehostettu urheilun harjoittelua jo kauan. Ensimmäisen laitteen keksi Charles Hinton vuonna 1895, ja sitä käytettiin vuonna 1897 pesäpallo-ottelussa, kun vastakkain olivat Boston Beaneaters ja Princeton. Hintonin keksimä laite on esitetty kuvassa 1. Monet keksijät ovat tehneet erilaisia variaatioita syöttölaitteille, esimerkiksi jousi- ja ilmanpaineikäyttöisiä syöttömekanismeja. Nykyajan syöttölaitteet käyttävät pääasiassa pyöriviä renkaita ja mekaniikkaa tuottaakseen pallolle halutun liikkeen. (Rivers, 2011.) Suosituin edellämainituista mekanismeista on jalkapallon vieminen kahden pyörivän renkaan välistä.



Kuva 1. Charles Hintonin pesäpallon syöttölaite (Robinson, 2010).

Jalkapallon syöttölaitteita voidaan käyttää maalivahtien torjuntaharjoituksissa sekä kenttäpelaajien syöttö- ja laukaisuharjoituksissa. Monipuolisten säätöjen ansiosta laite mahdollistaa monipuolisen ja tehokkaan harjoittelun. Syöttölaite tuottaa jatkuvasti laadukkaita jalkapallon laukaisuja ilman epäonnistumisia tai loukkaantumisia. Tämä lisää

esimerkiksi maalivahtien torjuntajen määrää sadoilla kerroilla harjoituksen aikana. Parempien tulosten saamiseksi harjoitusten tehokkuuden lisääminen on tärkeää. (PRWEB, 2012.)

Tässä työssä ideoidaan ja suunnitellaan uudenlainen konsepti syöttölaitteelle. Sen tulisi olla monipuolinen, mutta kustannuksiltaan alhaisempi sekä massaltaan kevyempi kuin markkinoilla olevat laitteet. Harjoittelun tehostamiseksi on tärkeää, että yksi henkilö voi siirtää laitetta. Laitteen ominaisuudet ovat monipuoliset, minkä ansiosta se toimii hyvin harjoitusten tehostajana. Ominaisuuksia ovat mm. lähtönopeuden säätäminen ja automaattinen pallonsyöttö.

Työn laajuus on rajattu koskemaan mekaniikkasuunnittelua. Mekaniikkasuunnittelu tehdään yksityiskohtaisesti valmistuspiirustuksiin ja osaluetteloon asti. Laitteen lopullinen valmistus ja sen tarkastelu on rajattu tämän työn ulkopuolelle, sekä mahdollisten elektroniikkakomponenttien suunnittelu ja toteutus. Elektroniikkakomponenttien karkea valinta on tehtiin, jotta saadaan alustavaa tietoa kustannuksista ja liitännäisrajoituksista.

2 JALKAPALLON RAKENNE JA DYNAMIIKKA

Tässä luvussa käydään läpi jalkapallon historiaa, rakennetta ja dynamiikkaa.

2.1 Historia

Jalkapallo keksittiin 1800 –luvulla. Ensimmäiset jalkapallot tehtiin härän tai sian virtsarakosta, jotka päällystettiin nahalla. Pallo puhallettiin täyteen ilmaa ja ilmareikä peitettiin. Tämä rakenne oli toimiva, mutta menetti nopeasti ominaisuutensa ja oli vaikea valmistaa. Virtsarakko korvattiinkin nopeasti kumilla. Nahkapäällysteen taipumus absorboida vettä ja mutaa teki jalkapallosta nopeasti hyvin painavan. Tämä jalkapallon ominaisuuksien vaihtelu teki pelaamisesta epämiellyttävää ja jopa vaarallista. (Wesson, 2002, s. 3.)

Jalkapallon kehitys tuotti tulosta, ja myöhään 1980-luvulla esiteltiin monikerroksinen päällyste jalkapallolle. Tämä uusi päällyste koostui synteettisistä kuiduista ja polymeereistä. Uusien materiaalien ansiosta jalkapallo ei enää imenyt vettä itseensä huomattavia määriä, ja se säilytti muotonsa paremmin. (Wesson, 2002, s. 3-4.)

2.2 Rakenne

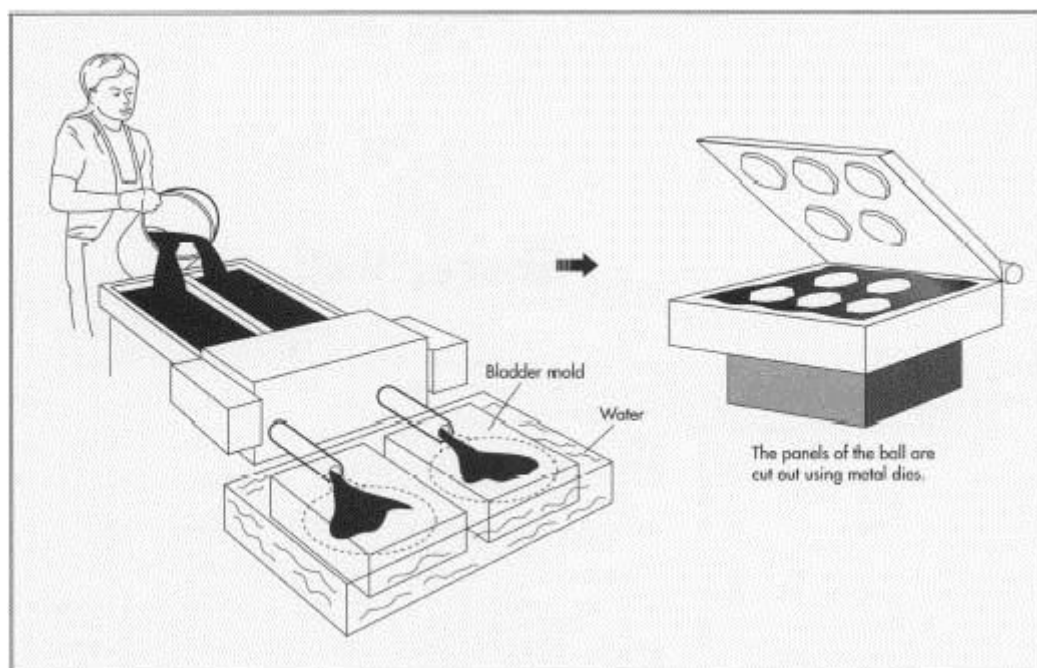
Fédération Internationale de Football Association (FIFA) on säännöissään määritellyt jalkapallossa pelattavan pallon ominaisuudet. Säännöissä lukee, että pallon täytyy olla pyöreä, se on tehty nahasta tai vastaavasta materiaalista, ympärysmitta on 68-70 cm, painon täytyy olla pelin alkaessa 410-450 g sekä ilmanpaineen pallossa 0.6-1.1 kertainen normaali-ilmanpaineeseen verrattuna merenpinnan korkeudella. (Laws of the Game, 2012.)

FIFA:n laatimat määräykset eivät ole tarkkoja. Pallon sisäpuolisten rakenteiden ja materiaalien kehittäminen on valmistajan päätettävissä. Lisäksi ulkopinnassa ja ilmanpaineessa on runsaasti säätövaraa. Näiden ominaisuuksien kombinaatio määrää pallon käyttäytymisen ilmalennon aikana ja kimmoisuuden sitä potkittaessa tai sen osuessa maahan. Tämä jättää mahdollisuuden tuotedifferentiaatioon, joka on johtanut Adidaksen ylivertauuteen jalkapallomarkkinoilla. Adidaksen pallot ovatkin olleet FIFA World

Cupin virallisia palloja jo vuodesta 1970 alkaen (Riccardo, 2007). (Lees, 1996, s. 138-139.)

Jalkapallo voidaan tehdä pääsääntöisesti kahdella tavalla. Ommeltu pallo tehdään paneeleista, jotka ommellaan kiinni palloon. Paneelit ovat nahkaa tai vastaavaa materiaalia, ja niiden muoto voi vaihdella. Paneelien reunoille tehdään reikiä, joiden kautta paneelit ommellaan kiinni palloon. Ompelussa käytetty lanka vahataan vedenkestävyyden parantamiseksi. Kuitenkin palloon imeytyy aina vettä ja se muuttuu pelikelvottomaksi. Valetussa pallossa kumirakenteeseen liimataan kuoripaneelit. Myös sisärakenne voi olla valmistettu muovista, jolloin paneelit maalataan pallon pintaan. (Lees, 1996, s. 138-139.)

Jalkapallon valmistuksessa on kaksi päävaihetta: sisäkuoren ja ulkokuoren tekeminen. Nämä osat tehdään pääsääntöisesti eri tehtaissa. Sisäkuori tehdään valamalla luonnonkumista tai synteettisestä kumista. Raaka-aine kuumennetaan ja pakotetaan muottiin, jossa siitä muodostuu pallo. Tämä on esitetty alla olevassa kuvassa 2. Jäähdyessään kumi rypistyy. Rypyt poistetaan täyttämällä, ja näin pallon pinnasta tulee sileä. (Woodward.)



Kuva 2. Sisäkuoren valaminen ja paneelien leikkaus (Woodward).

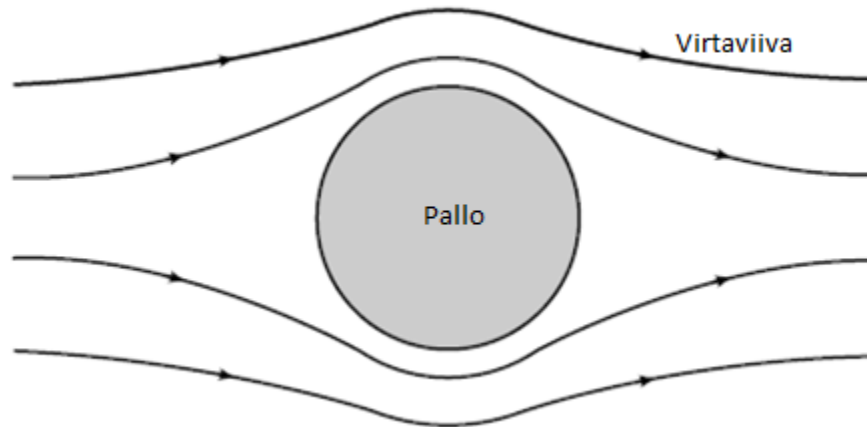
Ulkokuoren tekeminen aloitetaan synteettisen nahan käsittelyllä. Synteettinen nahka ajetaan puristimen läpi, jossa on lateksista kiinnitysainetta, joka kiinnittää kankaan nahan pintaan. Pallon laadukkuudesta riippuen nahassa on kahdesta neljään kerrosta kangasta. Kiinnitysaineen kuivuttua lakanat asetetaan leikkuriin. Leikkurissa muotit leikkaavat lakanasta paneeleita ja tekevät ompelureiät paneelien reunoille. Paneelit ovat yleensä kuusikulmioita. Tarvittavaan määrään paneeleita maalataan tämän jälkeen valmistajan logo. Viimeisenä kokoonpanolinjalla ompelija ompelee 32 paneelia yhteen. Ennen viimeisiä saumoja ompelija asettelee sisäkuoren paikoilleen ennen ulkokuoren valmiiksi ompelemista. Tämän jälkeen pallo pumpataan täyteen ilmaa reikien havaitsemiseksi, ja pallon massa tarkistetaan. (Woodward.)

2.3 Dynamiikka

Tässä luvussa käydään läpi pyörimättömän ja pyörivän jalkapallon aerodynamiikkaa ja jalkapallon kimmoisuutta.

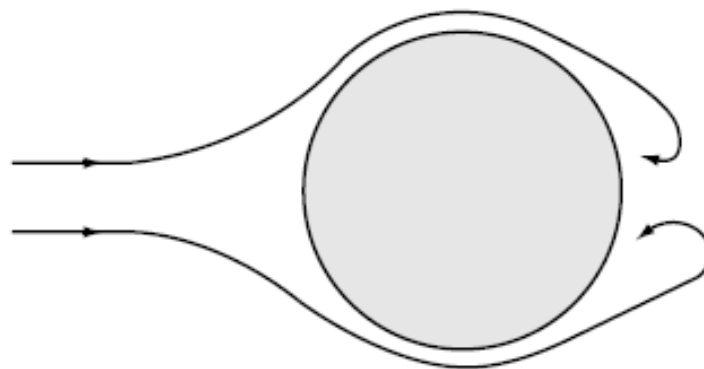
2.3.1 Pallon aerodynamiikka

Jalkapallon aerodynamiikalla on suuri vaikutus pallon lentorataan. Pallon lentorataan vaikuttaa oleellisesti palloon muodostuneet kierteteet, osumiskulma ja -voima. Palloon vaikuttaa vertikaalinen voima, joka on maan painovoima g . Lyhyen matkan potkuissa tämä on ainoa oleellisesti palloon vaikuttava voima. Pitkän matkan potku synnyttää suuren nopeuden, ja tällöin ilmanvastus palloon on huomattava. Ilmanvastus synnyttää pallon ympärille laminaarisia ja turbulenttisia ilmavirtoja, joiden tunteminen on tärkeää pallon käyttäytymisen ennakoimisessa. Kuva 3 havainnollistaa pallon ympärille muodostuvat virtaviivat tasossa. (Wesson, 2002, s. 45-49.)



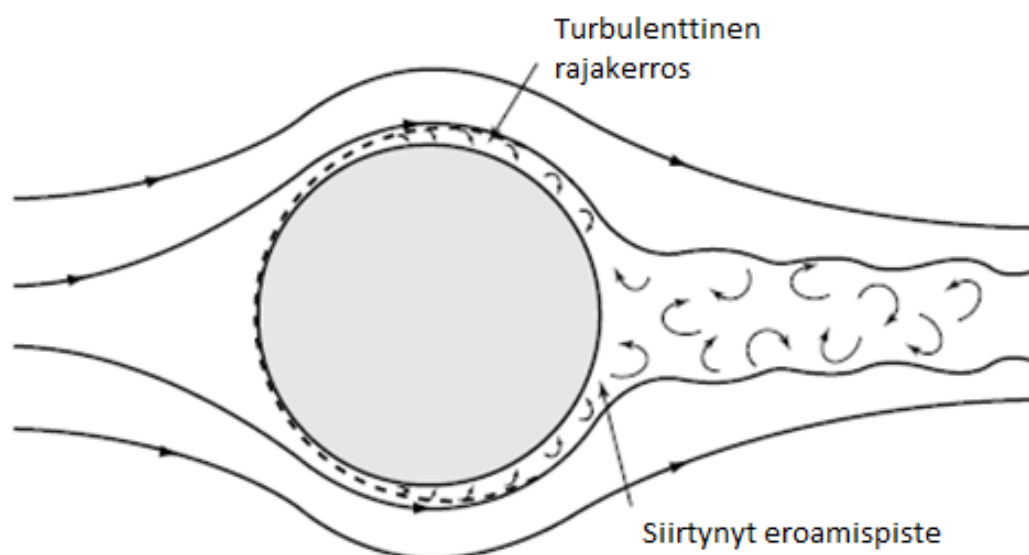
Kuva 3. Ilmavirrat pallon ympärillä (Wesson, 2002, s. 49).

Virtaviivat muodostuvat symmetrisesti pallon ympärille, kun pallossa ei ole kierrettä. Tämän tarkastelun mukaan pallon vauhti ei hidastu, sillä virroista aiheutuvat voimat kumoavat toisensa. Palloon vaikuttaa lisäksi kuitenkin ilman viskositeetti. Pallon liikkuesssa hitaasti ilman viskositeetin vaikutusalue on laaja, ja näin ollen sen vaikutus on heikko. Suurella nopeudella viskositeetin vaikutuksen alainen rajakerros jalkapallon pinnalla supistuu, ja viskositeetti alkaa vaikuttaa palloon. Rajakerroksen paksuus korkeassa nopeudessa on noin 2 mm, ja sitä ei synny pallon takaosaan. Ilmavirran ohittaessa pallon sen täytyy liikkua pallon muotojen mukaan, ja ilmavirran kulkema matka on pidempi. Tämä kiihdyttää virran liikettä, mistä aiheutuu ylipaine pallon eteen ja taakse sekä alipaine pallon kohdalle. Viskositeetin hidastaessa ilmavirran nopeuden palautumista normaaliksi se erkaantuu pallon pinnalta ja kääntyy palloa kohti kuvan 4 osoittamalla tavalla. (Wesson, 2002, s. 49-54.)



Kuva 4. Ilmavirtojen kääntyminen (Wesson, 2002, s. 54).

Pallon taakse syntyneiden ilmavirtojen liike on turbulენტtista, ja sillä on kineettistä energiaa, joka on otettu hidastamalla palloa. Pallon liikkeen nopeutuessa ilmanvastus kasvaa potenssiin. On olemassa kriittinen nopeus, jossa pallon ilmanvastus vähenee kolmannekseen. Tähän nopeuteen vaikuttaa oleellisesti pallon pinnanmuodot ja sileys. Kriittisessä nopeudessa ilmavirtojen muodostama rajakerros pallon pinnalla saa turbulენტtisia piirteitä. Rajakerroksen turbulენტtiset ilmavirrat auttavat rajakerroksen ulkopuolella olevan nopeamman ilmavirran sekoittumista pallon pinnalla olevaan hitaaseen virtaukseen. Rajakerroksen eroamispiste pallosta siirtyy taaemmaksi, ja tuloksena on pienempi ilmanvastus. Kuva 5 havainnollistaa rajakerroksen turbulენტtisuutta. (Wesson, 2002, s. 55-58.)



Kuva 5. Rajakerros ja turbulენტtisuus (Wesson, 2002, s. 57).

Melbournen yliopistossa on tehty tutkimus uusien jalkapallojen pintojen vaikutuksesta aerodynaamisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa oli mukana 32-paneelinen Fevernova, 14-paneelinen Teamgeist ja 8-paneellinen Jabulani. Kaikki pallot ovat Adidaksen valmistamia ja FIFA:n hyväksymiä. Jabulani- ja Teamgeist -pallojen ulkokuoret ovat kuumaliimattu ja Fevernova -pallon ulkokuori on ommeltu. Lisäksi mukaan oli otettu täysin sileä pallo vertailukohteeksi. Koe tehtiin Melbournen yliopiston tuulitunnelissa. Pallo asetettiin kuvan 6 mukaisesti tuulitunnelissa olevaan sensoriin, joka mittaa voimia ja momenteja. (Alam, 2011, s. 189-191.)



Kuva 6. Jabulani -pallon koejärjestely tuulitunnelissa (Alam, 2011, s. 191).

Palloja tutkittiin 30, 40, 60, 80, 100, 120 ja 130 km/h tuulen nopeuksissa. Ilmavirtojen havainnollistamiseen käytettiin Reynoldsin lukua ja ilmanvastuskerrointa. Erityisen kiinnostavaa oli ilmavirtojen muuttuminen turbulenttisiksi, sillä tutkittujen pallojen pinnat olivat hyvin erilaisia. Ilmavirta muuttuu turbulenttiseksi Reynoldsin luvun ollessa $1,0 \cdot 10^5$ – $4,0 \cdot 10^5$. Reynoldsin luku saadaan kaavasta

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad (1)$$

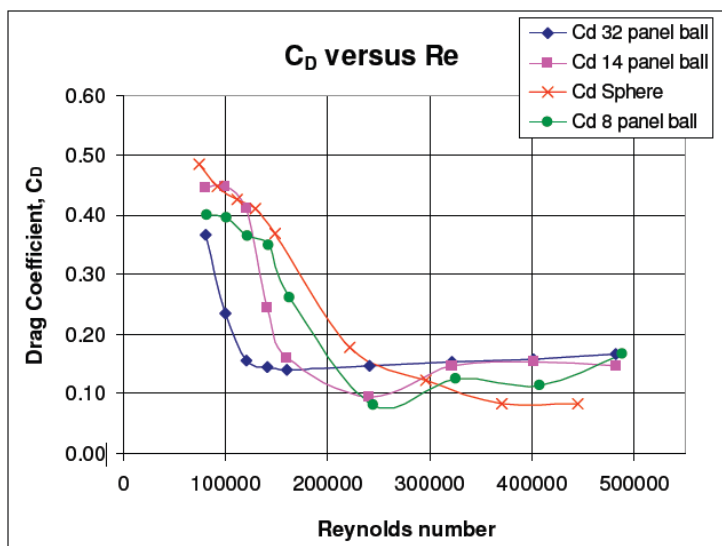
jossa ρ on ilman tiheys, v ilman nopeus, d pallon halkaisija ja μ ilman viskositeetti. Ilmanvastuskerroin saadaan kaavasta

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}, \quad (2)$$

jossa C_D on ilmanvastuskerroin, F_D ilmanvastus ja A pallon projisoitu ala. (Alam, 2011, s. 191-192)

Fevernovan 32 ommeltua paneelia saavat aikaan epätasaisimman pinnan, ja se saavuttaa täysin turbulenttisen ilmavirtauksen tuulen nopeuden ollessa 30 km/h ja Reynoldsin luvun ollessa $1,1 \cdot 10^5$. Visuaalinen tarkastelu osoittaa Teamgeist-pallon olevan hieman Jabulani – palloa karheampi pinnaltaan. Tulokset tukevat tätä huomiota. Teamgeist -pallo saavuttaa turbulenttisen virtauksen tuulen nopeuden ollessa 40 km/h ($Re = 1,6 \cdot 10^5$) ja Jabulani –

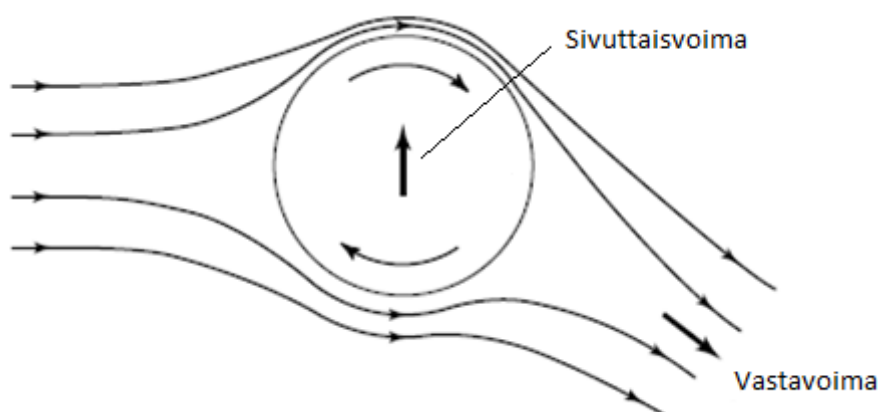
pallo nopeudessa 60 km/h ($Re = 2,4 \cdot 10^5$). Ilmanvastuskertoimien arvot noudattavat samaa trendiä. Alla olevassa kuvassa 7 näkyvät tutkimustulokset. (Alam, 2011, s. 192.)



Kuva 7. Melbournen yliopiston tutkimustulokset, jossa vihreä esittää Jabulania, sininen Fevernovaa, violetti Teamegeistia ja oranssi täysin sileää vertailupalloa. X-akselilla on Reynoldsin luku ja y-akselilla ilmanvastuskerroin. (Alam, 2011, s. 192.)

2.3.2 Pyörivän pallon aerodynamiikka

Jalkapallopotkun osuessa epäkeskisesti palloon se aiheuttaa palloon pyörivää liikettä oman akselinsa ympäri. Tämä pyöriminen muodostaa sivuttaisen voiman palloon ja saa aikaan sivukierteen tai pystykierteen. Aiemmin totesimme, että ilmassa lentävän pallon ympärillä on rajakerros, jossa ilman viskositeetti vaikuttaa palloon. Tämä rajakerros on kosketuksessa pallon pinnan kanssa. Kuten kuva kahdeksan havainnollistaa, pallon pyöriessä akselinsa ympäri toisella puolella palloa pyöriminen nopeuttaa ilmavirtojen liikettä ja toisella puolella hidastaa, eli ne ovat vastakkaisuuntaisia. Ilmavirtojen nopeuksien ero aiheuttaa alipaineen toiselle puolelle palloa. Siitä aiheutuu epäsymmetrisyys rajakerroksien eroamispisteiden välillä, jolloin ilmavirtojen lopullinen suunta muuttuu. Ilmavirtojen siirtyessä toiselle puolelle kohdistuu palloon vastakkainen voima. Tätä kutsutaan Magnus-voimaksi ja sitä havainnollistaa kuva 8. (Wesson, 2002, s. 64-67.)



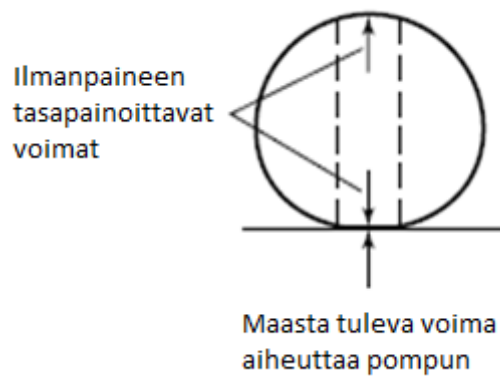
Kuva 8. Ilmavirtauksien suunta muuttuu johtuen pallon pyörivästä liikkeestä. Syntyy sivuttaissuuntainen voimakomponentti. (Wesson, 2002, s. 67.)

Kriittisen nopeuden ylittyessä hyvin sileillä palloilla, kuten Jabulanilla, sivuttaissuuntainen voima muuttuu vaikeasti ennakoitavaksi. Pallo voi liikkua Magnus-voimaa vastakkaiseen suuntaan ja leijailla ilmassa epäsäännöllisesti. Kriittisessä nopeudessa rajakerroksen ilmavirrat muuttuvat täysin turbulenttiseksi. On siis olemassa myös nopeus, jossa pyörivän pallon pinta liikkuu suhteessa ilmavirtoihin nopeammin kuin toisella puolella palloa. Tämä tapahtuu yleisimmin sillä puolella, jossa pallon pinta ja ilmavirrat ovat vastakkais-suuntaiset. Silloin syntyy turbulenttinen rajakerros vain toiselle puolelle jalkapalloa. Turbulenttinen rajakerros pidentää rajakerroksen kestoja pallon pinnalla ennen sen eroamista. Rajakerroksen keston pidentyminen tällä puolella aiheuttaa sen turbulentsisuuden takia Magnus-voimaa vastakkaisen voiman. Tämä ilmiö selittää sileän Jabulani-pallon liikeradan vaikeaa ennakoitavuutta ja Jabulani -pallon pinnan epäsymmetrisyys lisää entisestään ilmiön vaikutusta (Alam, 2011, s. 192-193). (Wesson, 2002, s. 67-68.)

2.3.3 Kimmoisuus

Umpinaisen pallon kimmoisuus syntyy pallon ja vastakkaisen materiaalin elastisuudesta. Kimmoisalle materiaalille on tyypillistä sen palautuminen ennalleen. Jalkapallo on kimmoton esine. Tyhjän jalkapallon pudotessa lattialle se ei pomppaa. Ilmanpaine jalkapallon sisällä tekee siitä kimmoisan, jolloin sen potkaiseminen on mahdollista. Jalkapallon kimmoisuusominaisuuksiin vaikuttavat oleellisesti pallon koko, massa ja täyttöpaine. (Wesson, 2002, s. 5-6.)

Pallon pudotessa ilmasta maahan sen sisällä vallitseva ilmanpaine lisääntyy. Tämä johtuu pallon pohjaan kohdistuneista muodonmuutoksista sen osuessa maahan. Pallon osuessa maahan noin 30 km/h vauhdista sen sisällä oleva paine lisääntyy 5 %. Pallon litistyessä muodonmuutoksen seurauksena ilmanpaine kasvaa muodonmuutoksen kohdalla ja aiheuttaa samalla tasapainoittavan vastakkaisen voiman toiselle puolelle palloa. Pallon ollessa kosketuksissa maan kanssa kimpoamisen aikana, se aiheuttaa Newtonin kolmannen lain mukaan yhtäsuuren voiman pallon pintaan kuvan 9 mukaisesti. (Wesson, 2002, s. 7-8.)



Kuva 9. Ilmanpaineen tasapainoittava voima sekä maan vastavoima (Wesson, 2002, s. 8).

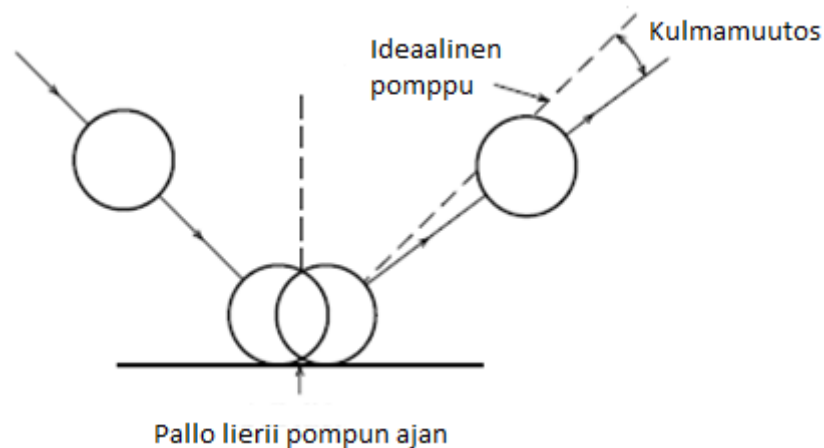
Kontaktipinta pallon ja maan välillä kasvaa ensimmäisen puolikkaan aikana pompassa. Ylöspäin työntävä voima kasvaa tämän ajan. Maksimaalisen deformaation sekä voiman kohdalla pallon vertikaalinen kiihtyvyys on hetkellisesti nolla, kun kiihtyvyys muuttua suuntaa. Ideaalisen pallon ollessa täysin elastinen ja maan pinnan täysin joustamaton olisi pallon lähtönopeus maasta sama kuin tuloisuus sysäyskerroimen ollessa 1. Käytännössä kovan maanpinnan sysäyskerroin on noin 0,8, jolloin pallon nopeus vähenee noin 20 % sen osuessa maahan. Sysäyskerroin maanpinnan ja pallon välillä lasketaan kaavasta

$$e = \frac{v_2}{v_1}, \quad (3)$$

missä v_1 on pallon nopeus ennen kosketusta maanpintaa ja v_2 kosketuksen jälkeen. (Wesson, 2002, s. 8-11.)

Pallon pomppauksen aika määräytyy sen massasta, halkaisijasta ja täyttöpaineesta. Pallon pompun voima on suoraan verrannollinen sen kosketuspinta-alaan maan kanssa ja se voidaan laskea pallon keskipisteen etäisyydestä maahan. Näistä tekijöistä muodostuu pallon kosketusaika maan kanssa. Kosketusaika on yleisimmin vain sadasosa sekunnista eikä se riipu pallon vauhdista sen osuessa maahan. Suurinopeuksisen pallon osuessa maahan deformaatio on suurempi, mutta niin on myös voiman aiheuttama kiihtyvyys. (Wesson, 2002, s. 8-9.)

Jalkapalloa pelatessa pallon kimpoaminen maasta on harvoin ainoastaan vertikaalista, vaan siihen liittyy myös horisontaalista liikettä. Ideaalitapauksessa horisontaalinen nopeus pysyy samana pompun ajan pallon liukuessa pinnalla, mutta käytännössä nopeus hidastuu. Hidastavia tekijöitä ovat pallon ja maan välinen kitka sekä pallon epätäydellinen elastisuus. Pallon osuessa maahan se ensin liikuu maata pitkin samalla aiheuttaen kitkaa. Syntyneet kitka liukupinnalla saa pallon pyörimään. Pallon noustessa takaisin ilmaan on kitka ja pyöriminen vienyt pallolta energiaa siten, että horisontaalinen nopeus on pudonnut noin 40%. Nopeuden muutos aiheuttaa myös muutoksen pallon lähtökulmassa kuvan 10 mukaan. (Wesson, 2002, s. 11-13.)

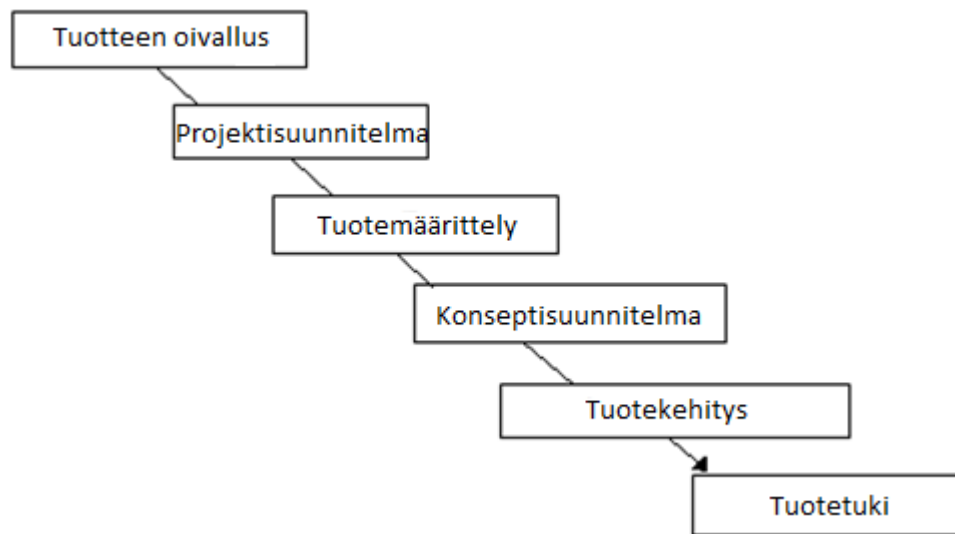


Kuva 10. Pallon horisontaalinen kosketus maanpinnan kanssa (Wesson, 2002, s. 12).

Pallon pyöriessä ennen sen maahan osumista on ilmiö monimutkaisempi. Oikeanlaisella kierteellä pallon horisontaalisen nopeuden on mahdollista jopa nousta. Tämä voi tapahtua, jos pallon alapuoli pyörii nopeasti samaan suuntaan maan kanssa. Päinvastainen kierre hiljentää palloa ja voi jopa muuttaa pallon horisontaalisen nopeuden suunnan. (Wesson, 2002, s. 13-14.)

3 JALKAPALLON SYÖTTÖLAITTEEN LUONNOSTELU

Tuotesuunnittelun tärkein tavoite on kysyntään vastaaminen. Tämä prosessi voidaan jakaa kuvan yksitoista mukaisesti kuuteen eri vaiheeseen. Kuvassa 11 esitelty vesiputous-malli on eräs toimivista kokoonpanojen ja yksittäisten komponenttien suunnittelua ohjaavista malleista. (Ullman, 2010, s. 81-82.)



Kuva 11. Vesiputous -tuotesuunnittelumalli (Ullman, 2010, s. 82).

Prosessin ensimmäisessä vaiheessa määritellään tuotteen tarve. Kysyntä määräytyy pääosin markkinoiden tarpeesta tuotteelle, teknologian kehityksestä tai muutoksesta tuotteeseen. Kysynnän kartoituksen jälkeen alkaa projektisuunnittelu. Projektisuunnittelun tärkeimpiä аспекteja on suunnitella yhtiön rajallisten raha- ja henkilöstöresurssien kohdentaminen tuotesuunnittelun tarpeisiin. Tuotteen suunnittelu on aina iso asia yritykselle, sillä se vaatii suunnitteluryhmän perustamisen ja näiden henkilöiden sitoutumisen uuden tuotteen suunnitteluun. Vain harvat tuotteet ovat yhden henkilön suunnittelemia. (Ullman, 2010, s. 85-86.)

Tuotteen määrittelemine on tärkeä osa suunnitteluprosessia. Tässä vaiheessa määritellään asiakkaan vaatimukset ja toiveet tuotetta kohtaan vaatimusluettelon muodossa, ja listataan tuotteelta vaadittavat toiminnot osatoimintoihin. Suunnittelutyö saadaan näiden työkalujen avulla pilkottua pienempiin osakokonaisuuksiin, jolloin kokonaisuus on

helpommin hallittavissa. Tässä vaiheessa tehdyt vaatimusluettelo ja toimintorakenne ovat tärkeässä asemassa suunnittelutyössä sekä myöhemmin tarkasteltaessa suunnittelutyön onnistumista. Työn edetessä tulee eteen usein tilanteita, jolloin joudutaan poikkeamaan tässä asetetuista vaatimuksista. (Ullman, 2010, s. 86-87.)

Tuotekonsepteja tehdään vaatimusluettelon ja toimintorakenteen tulosten pohjalta. Konsepteja tehdessä asiakkaan vaatimukset ovat perustana ideoinnille. Konseptien ideoinnin tärkeyden huomioiminen on oleellista laadukkaan lopputuloksen kannalta, ja kokonaisia tuotekonsepteja olisi hyvä olla enemmän kuin yksi. Tähän tarkoitukseen hyvä työkalu on ideamatriisi ja osatoimintojen pisteytys. Suunnittelun luonteesta riippuen konseptien valinnan perusteita on monia, kuten kustannukset, innovatiivisuus ja ajankäyttö. (Ullman, 2010, s. 87-89.)

3.1 Vaatimusluettelo

Vaatimusluettelo on luettelo kaikista vaatimuksista ja toiveista, jotka halutaan tuotteessa olevan. Listaa käytetään suunnittelun apuna sekä myöhemmin suunnittelun onnistumisen arvioinnissa ja päätöksenteossa. Listassa olevat laitteen ominaisuudet on luokiteltu kolmeen luokkaan. Kiinteät vaatimukset (KV), joiden on täyttyvä kaikissa tilanteissa ja vähimmäisvaatimukset (VV), joiden on täytettävä tietty vähimmäisarvo. Lisäksi on toivomukset (T), jotka otetaan huomioon mahdollisuukisen mukaan, ja niiden täyttämiseen sallitaan kohtuullinen lisäkustannus. (Tuomaala, 1995, s. 80.)

Ensimmäisessä taulukossa on esitetty jalkapallon syöttölaitteeseen liittyvä vaatimusluettelo. Vaatimusten tarkastelu on jaettu yhdeksään tärkeimpään osa-alueeseen asian selkeyttämiseksi.

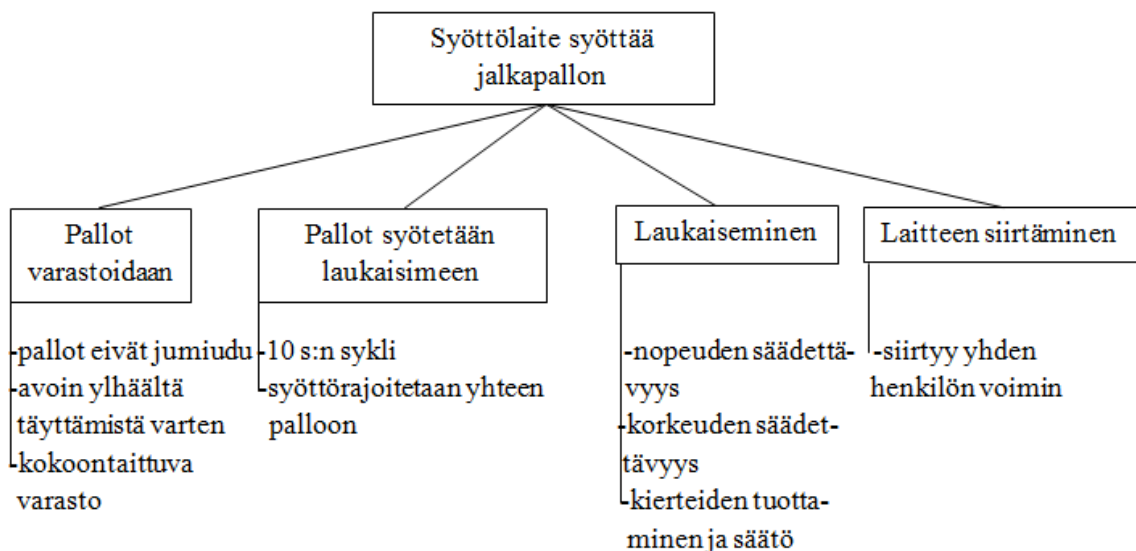
Taulukko 1. Jalkapallon syöttölaitteen vaatimusluettelo.

	VAATIMUS
	1. Geometria
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Varastointimahdollisuus pyöräkellariin. Otetaan huomioon ulko-oven standardileveys 800 mm (Ympäristöministeriö, s. 6, 2004).
	2. Kinematiikka
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Yhden henkilön liikuteltavissa. <ul style="list-style-type: none"> ○ Suosituspaino maksimi 30 kg (BS EN 1005-3, 2002).
	3. Voimat
VV	<ul style="list-style-type: none"> • Laitteen tulisi synnyttää jalkapallolle 15-50 km/h lähtönopeus.
T	<ul style="list-style-type: none"> • Mahdollisuus satunnaiseen lähtönopeuteen.
T	<ul style="list-style-type: none"> • Mahdollisuus erilaisiin kierteisiin.
	4. Energia
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Käyttöenergiana 230 V verkkovirta.
	5. Turvallisuus
VV	<ul style="list-style-type: none"> • Laitteen kanssa työskentelyn tulee olla turvallista. <ul style="list-style-type: none"> ○ Laite on tasapainoinen. ○ Tuenta maahan riittävä. ○ Raajojen joutuminen vaarallisille alueille estetty.
	6. Valmistus
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Laitteen tulee olla valmistettavissa nykyaikaisin keinoin.
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Yksinkertainen rakenne.
T	<ul style="list-style-type: none"> • Automatisoitavissa.
	7. Käyttö
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Yhden henkilön käytettävissä. <ul style="list-style-type: none"> ○ Automatisoitu laukaisu noin 10 s sykleissä.
T	<ul style="list-style-type: none"> • 30 pallon pallovarasto, jota voidaan täyttää keveillä kaaripotkuilla.
	8. Kunnossapito
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Huollettavissa normaaleilla työkaluilla.
	9. Kustannukset
KV	<ul style="list-style-type: none"> • Tuotantokustannukset < á 500 € (Oletettu valmistusmäärä >1).
	KV = Kiinteä Vaatimus VV = Vähimmäisvaatimus T = Toive

3.2 Toimintorakenne

Laitteelle asetetut vaatimukset määräävät toiminnot, jotka laitteen täytyy suorittaa. Laitteelle on olemassa päätoiminto. Päätoiminnon suorittaminen koostuu osatoiminnoista. Toimintorakenne voidaan esittää havainnollisesti lohko-kaavion muodossa, josta käyvät ilmi pää- ja osatoiminnot. Toimintorakenne voi muodostua hyvin monimutkaiseksi, varsinkin jos siihen liittyy moninaisia fysikaalisia ilmiöitä tai tulo- ja lähtösuureiden väliset riippuvuudet ovat vaikeasti havainnollistettavissa. Uuden tuotteen suunnittelussa osatoimintojen välinen riippuvuus on vielä epäselvä, mikä korostaa toimintorakenteen tärkeyttä luonnosteluvaiheessa. Vanhan tuotteen modifikaatioissa toimintorakennetta muutetaan uuden vaatimusluettelon niin vaatiessa. Huolellisesti laadittu toimintorakenne auttaa myös tuotteen ominaisuuksien luokittelussa, ja sen avulla voidaan helposti erottaa sekä kehittää tuotteen osatoimintoja. (Pahl & Beitz, 1992, s. 81-95.)

Syöttölaitteen toimintorakenne on jaettu neljään oleelliseen osatoimintoon. Ne ovat pallojen varastointi, pallojen syöttö laukaisimeen, pallojen laukaisu ja laitteen siirtäminen. Lisäksi toimintorakenteessa on kerrottu jokaisesta osatoiminnosta tarkentavaa tietoa. Alla olevassa kuvassa 12 on syöttölaitteen toimintorakenne.



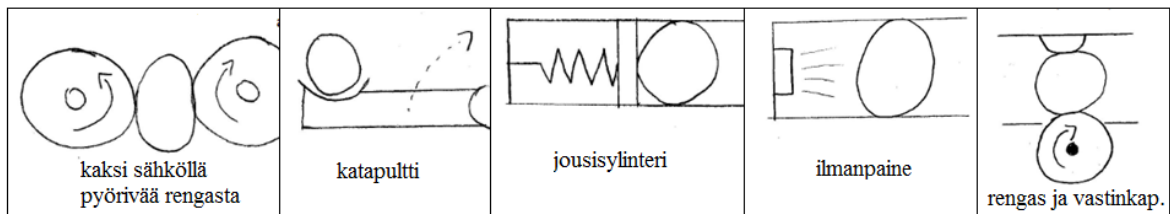
Kuva 12. Jalkapallon syöttölaitteen toimintorakenne.

3.3 Osatoimintojen ideointi

Laitteen päätoiminnon toteuttamisen ideointi helpottuu, kun päätoiminto jaetaan osatoimintoihin. Tässä vaiheessa jalkapallon syöttäminen on jaettu neljään eri osatoimintoon, jotka yhdessä toteuttavat päätoiminnon. Ideoiden potentiaalien tarkastelu voi tässä vaiheessa olla vaikeaa, sillä ne ovat vielä hyvin yksinkertaistettuja. Onkin hyvä ideoida useita eri toiminnon toteutusvaihtoehtoja, jolloin heikoimmat ideat karsiutuvat pois. Suunnittelija tekee usein raan karsinnan heti alussa miettien, mitkä ideat eivät voi toimia, mitkä toimivat jonkin muun asian tapahtuessa, ja mitkä ovat suoraan kehityskelpoisia ideoita. On hyvä myös tarkastella, ovatko ideat teknologisesti toteuttamiskelpoisia. (Ullman, 2010, s. 213-221.)

3.3.1 Laukaisu

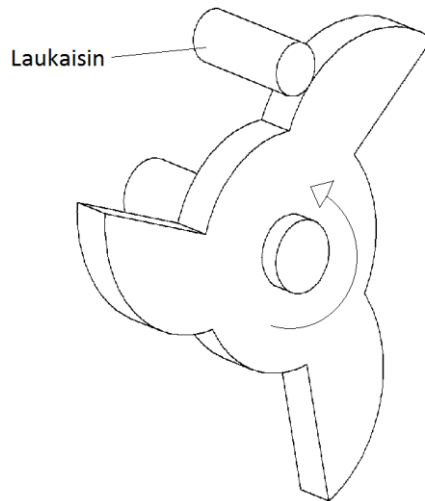
Laukaisin on laitteen toiminnan kannalta oleellisin osatoiminto, sillä se laukaisee jalkapallon liikkeelle. Laukaisimen keskeisimpiä ominaisuuksia tulisi olla luotettavuus, toiminta ilman apuvälineitä, pallon saaminen liikkeelle sekä mahdollisesti kierteen tuottaminen palloon. Kuva 13 havainnollistaa eri laukaisumekanismeja.



Kuva 13. Erilaisia laukaisumekanismeja.

Katapultti-tyyppinen laukaisin suorittaa tehtävän tarpeiden mukaisesti. Katapultti heilauttaa pallon kaarella, jolloin pallo irrotessaan kuopastaan jatkaa matkaansa tangentin suuntaan. Katapultti saa heilahdusratansa ansiosta jalkapallolle kaarimaisen liikeradan. Tämän tyyppisessä ratkaisussa tilan tarve on kuitenkin huomattava ja säätövara niukka. Säädettäviä komponentteja ovat vipuvarren pituus ja heilahdusnopeus. Mekaaninen toteutus olisi yksinkertainen ja halpa. Vipuvarren pituudesta sekä halutusta nopeudesta riippuen moottorilta vaaditaan suurta tehoa ja vääntöä.

Ladattavalla jousella toimiva sylinteri on toteutuskelpoinen vaihtoehto laukaisimelle. Moottori lataa jousen tiettyyn jännitykseen, ja vapautuessaan jousi työntää sylinterin palloa kohti, jolloin pallo saa alkunopeuden. Tämänäyttöisessä laukaisussa alkunopeuteen vaikuttaa myös pallon kimmoisuus. Jousen ominaisuuksista riippuen lähtönopeus on mahdollista saada hyvinkin korkeaksi, mutta voimakkaan jousen laukaiseminen voi aiheuttaa vaaratilanteita. Voimakkaan jousen lataaminen vaatii moottorilta suurta tehoa ja vääntöä. Pallon alkunopeuden säätö voi tuoda eteen haasteita, mutta nopeuden kiinteä säätö olisi helppo toteuttaa esimerkiksi kuvan 14 mukaisella mekaniikalla. Lisäksi alkunopeutta tuo pallon kimmoisuuden hyödyntäminen. Automatisoitu laukaisu onnistuisi myös korvakkeiden oikeanlaisella muodolla ja sijoittelulla.



Kuva 14. Esimerkki jousisylinterin automaattisen laukaisun mekaniikasta. Laukaisin jännittää joustaa, kun korvake muuttaa sen sijaintia pyöriessään.

Muista laitteen toiminnoista riippuen pallon lähtökulman säätäminen olisi hyvä lisä tälläisen toiminnon toteuttamisessa. Sylinterillä ei voida tuottaa pallon kierrettä, joten se jää saavuttamatta tällä konseptilla.

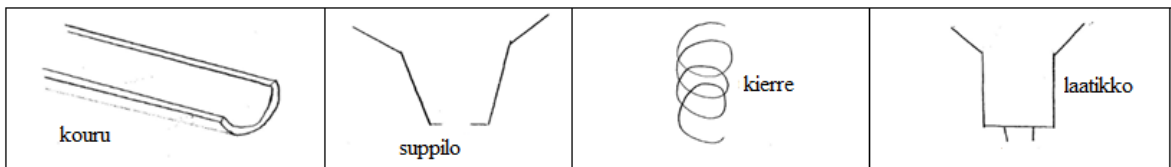
Sylinterin voi laukaista myös ilmanpaineella jousen sijasta, tai ilmanpaine itsessään voi antaa vauhdin pallolle. Tässä konseptissa korostuvat kuitenkin energiahäviöt, kun pallon tai sylinterin ympäriltä vuotaa ilmaa. Tämän tapahtuessa energiahäviö on suoraan pois pallon alkunopeudesta, mutta muuten alkunopeus olisi helposti säädettävissä ilmanpainetta muuttamalla. Myös sovellukseen vaadittavan kompressorin koko tulisi todennäköisesti olemaan ongelma.

Pallon voi laukaista viemällä se kahden sähkömoottoreilla pyörivän renkaan läpi. Renkaat antavat pallon kummallekin sivulle nopeutta pyörimissuuntiinsa nähden. Tämä konsepti vaatii kaksi moottoria, mutta mahdollistaa erilaisten sivuttaiskierteiden tekemisen muuttamalla sähkömoottorien pyörimisnopeutta toistensa suhteen. Ylä- tai alakierrettä ei kuitenkaan voida toteuttaa. Korkea lähtönopeus on myös saavutettavissa sillä sähkömoottoreiden tyypilliset kierrosnopeudet ovat 1500 tai 3000 kierrosta minuutissa. Kaksi moottoria lisää kustannuksia ja painoa laitteelle sekä monimutkaistaa rakennetta.

Edellä mainitun laitteen voi toteuttaa myös yhdellä pyörivällä renkaalla. Tällöin kuvan 13 mukaisesti jalkapallo ohjataan putkeen, jonka pohjassa on pyörivä rengas. Pyörivä rengas yhdessä putken yläosan vastinkappaleen kanssa antavat pallolle lähtönopeuden. Koska vain toisella puolella jalkapalloa on pyörivä rengas, syntyy palloon aina kierrettä. Kuitenkin renkaan sijantia muuttamalla saadaan palloon synnytettyä erilaisia kierteitä.

3.3.2 Pallokori

Pallokori on paikka, johon pallot varastoidaan ennen niiden syöttämistä pelaajalle. Pallokoriin tulisi mahtua noin 30 palloa, ja sen täyttäminen tapahtuu potkaisemalla pallot korin sisälle. Tärkeitä ominaisuuksia automaattista syöttölaitetta suunniteltaessa on pallojen jumiutumattomuus korissa ja riittävän suuri korin kapasiteetti. Kuvassa 15 on esitelty ideoita pallokorin toteuttamisen vaihtoehtoista.



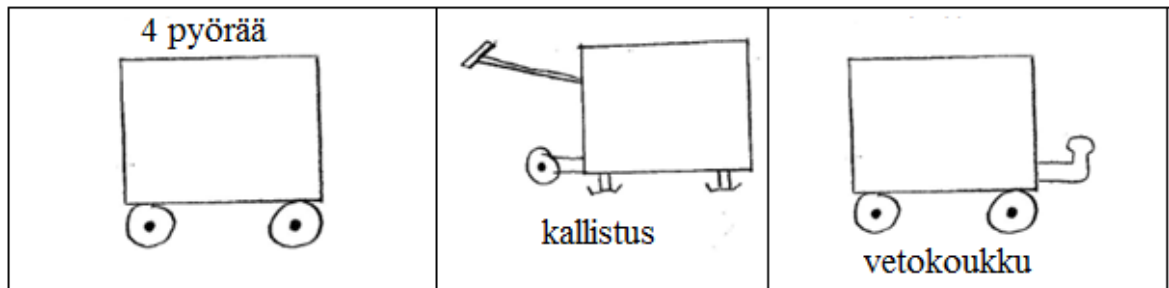
Kuva 15. Pallokorin luonnoksia.

Perinteisesti pallot varastoidaan laatikon muotoisiin kehikoihin. Tässä sovelluksessa laatikon muotoinen pallokori aiheuttaisi pallojen jumiutumista ja pohjan reunoilla olevien pallojen liikkumattomuutta. Näitä ilmiöitä voidaan lieventää suppilomaisella korirakenteella. Suppilon reunat ohjaavat palloja laukaisimelle ja vähentävät jumiutumisen riskiä.

Kourutyypinen pallojen varastoiminen on hyvä jumiutumisien estämiseksi, mutta se on tilaa vievä ratkaisu. Spiraalin muotoinen kouru taas vähentäisi tilantarvetta huomattavasti. Kummassakin sovelluksessa pallovaraston täyttäminen potkaisemalla on hankalaa, ja kokoontaitettavuus varastointia varten on vaikeasti toteutettavissa.

3.3.3 Laitteen siirtäminen

Laitteen siirtämisen täytyy onnistua yhden henkilön voimin. Siirtämisestä tai laitteen paikallaan olosta ei saisi aiheutua nurmikolle vaurioita, jolloin laitteen kosketuspinta nurmikkoon on kriittinen. Laitteen paino yhdessä kosketuspinnan kanssa ovat rajoittavia tekijöitä siirtämisen mahdollisuuksia ideoitaessa.



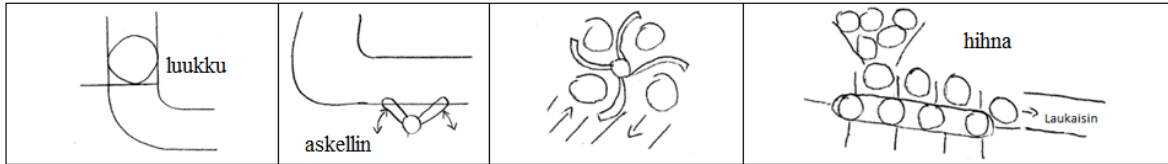
Kuva 16. Erilaisia siirtotapoja syöttölaitteelle.

Koko ajan pyörillään seisova laite on yksinkertaisin toteuttaa. Pyöriä voi olla neljä tai kolme kappaletta. Huomioon otettava seikka on laitteen mahdollinen liikkuminen pallojen syöttämisen voimasta, jolloin liikkumisen estäminen esimerkiksi jarruilla on tarpeellista. Laitteen seisossa pyörillään voidaan siihen liittää vielä vetokoukku, jolloin pitkiä matkoja tapahtuva siirtely helpottuu. Laitetta voidaan myös siirtää kallistamalla ja työntämällä, jolloin renkaat osuvat maahan ja laite liikkuu kuvan 16 mukaisesti. Seisontajalkojen oikeanlaisella suunnittelulla saadaan laitteen ja nurmikon rajapinnalle optimaalinen kosketus. Kallistamisen mahdollistaminen edellyttää tarpeeksi alhaista laitteen kokonaispainoa ja massakeskipisteen alhaista sijaintia.

3.3.4 Syöttömekanismi

Syöttölaitteen tulisi syöttää palloja laukaisimeen automaattisesti noin 10 sekunnin välein. Syöttömekanismin tulisi toimia ilman ulkopuolisia tekijöitä, kuten ihmistä. Keskeisimpiä

ominaisuuksia syöttömekanismeilla on toimintavarmuus ja tasainen syöttönopeus. Kuvassa 17 on esitelty erilaisia luonnostelmia mekanismeista.




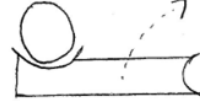
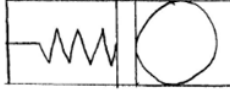

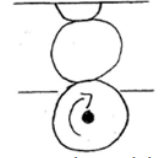

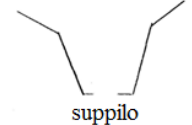


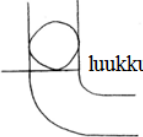
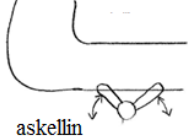

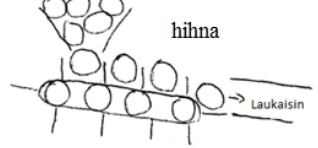
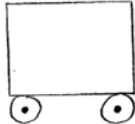
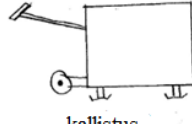
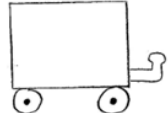
Kuva 17. Erilaisia syöttömekanismeja.

Pallojen liikkumisen rajoittaminen luukulla on eräs toimiva vaihtoehto. Luukun aukaisemisen automatisointi on toteutettavissa, mutta pallojen määrän rajoitus on hankalaa. Pallot voivat jumiutua luukun sulkeutuessa. Toinen luukkutyypinen konsepti on askeltimella toteutettu mekaniikka. Askellin estää pallon liukumisen laukaisimeen liian aikaisin, ja pallon mennessä laukaisimeen se estää seuraavan pallon tulon perässä. Askeltimen toinen puoli on siis aina ylhäällä ja toinen alhaalla. Askeltimen toiminnan ajoittaminen voi kuitenkin olla hankalaa.

Toisenlainen konsepti on pallojen pyörittäminen propellityyppisessä kierrättimessä. Tässä akselin korvakkeiden väliin syötetään pallokorista yksi pallo, joka laukaisimelle päästessään valuu korvakkeiden välistä laukaisimeen. Toinen korvakkeita hyödyntävä konsepti on pallohihna. Hihnalla on korvakkeilla rajattuja pallon muotoisia lokeroita, joissa pallot kulkevat laukaisimelle hihnaa pitkin. Näillä konsepteilla pallojen määrän kontrollointi ja ajastaminen on helppoa, mutta mekanismit vaativat suuren tilan sekä erillisen moottorin.

3.4 Ideamatriisi

Ideamatriisi muodostuu toimintorakenteen osatoiminnoista ja niille laadituista ideoista. Se helpottaa päätoiminnan toteuttamiseen tarvittavien osatoimintojen ideoiden arvostelua sekä yhteensopivuutta. Ideamatriisi onkin kaavio, jossa näkyy kaikki keskeiset abstrahoinnin tulokset laitteen toiminnoille, ja se antaa suuntaa kokonaisratkaisun valintaan. Matriisissa vaakariveillä on kunkin osatoiminnon eri vaihtoehdot. Kuvassa 18 on esitelty aiempien ideointien perusteella muodostettu ideamatriisi jalkapallon syöttölaitteelle. (Pahl & Beitz, 1992, s. 129-132.)

Laukaisin	 kaksi sähköllä pyörivää rengasta	 katapultti	 jousisylinteri	 ilmanpaine	 rengas ja vastinkap.
Pallokori	 kouru	 suppilo	 kierre	 laatikko	
Syöttömekanismi	 luukku	 askellin		 hihna Laukaisin	
Siirtäminen	 4 pyörää	 kallistus	 vetokoukku		

Kuva 18. Ideamatriisi.

3.5 Osatoimintojen pisteytys

Kokonaisratkaisun muodostuksessa objektiivinen päätöksenteko on tärkeää. Tässä työssä arviointi tehdään vertailemalla osatoimintoja pareittain keskenään. Tämä vertailu on hyvin karkea, mutta toiminnoilta vaadittavat ominaisuudet ovat vaikeasti määriteltävissä tarkemmin eivätkä ne sisällä helposti keskenään vertailtavia lukuarvoja. Parivertailu on siis riittävä valintapäätöksen tekemiseksi tämän laitteen kohdalla. Pareista valitaan se, joka suorittaa vaadittavat asiat paremmin ja saa näin arvon yksi. Lopuksi saadut pisteet lasketaan yhteen. Vertailussa tulee huomioida osatoiminnon toimintaan vaikuttavat asiat. Näitä ovat tehtävän suorittamiseen asetetut vaatimukset, toiveet ja vähimmäisvaatimukset sekä yleiset vaatimukset kuten esimerkiksi valmistus ja kustannukset. (Pahl & Beitz, 1992, s. 140-152.)

Laukaisimen arvioinnissa tärkeitä ominaisuuksia olivat vaaditun nopeuden saavuttaminen, mahdollisuus satunnaiseen lähtönopeuteen, verkkovirran käyttö, moottorien lukumäärä ja mahdollisuus kierteisiin. Pareittain arvioitaessa vahvimmat vaihtoehdot olivat kahdella tai yhdellä pyörivällä renkaalla toimivat laukaisimet. Nämä erottivat muista erityisesti

sähkömoottorin kustannukset ja tehontarve, kierteiden mahdollisuus sekä yksinkertainen rakenne. Yhdellä renkaalla toimivan laukaisimen vahvuudeksi osoittautui vain yhden moottorin tarve, kun taas kahden renkaan sovelluksessa tarvitaan kaksi moottoria. Alla olevassa taulukossa 2 näkyvät pisteytyksen tulokset.

Taulukko 2. Laukaisinvaihtoehtojen vertailu. Pysty rivit kuvaavat osatoimintoja ja vaakarivit ovat vertailuosatoimintoja.

	1	2	3	4	5
1	-	0	0	0	1
2	1	-	1	0	1
3	1	0	-	0	1
4	1	1	0	-	1
5	0	0	0	0	-
yht.	3	1	1	0	4

Pallokorin osatoimintojen vertailussa painotettiin pallojen jumiutumattomuutta, tilantarvetta sekä kapasiteettia. Vertailussa olivat parhaat suppilomainen rakenne sekä spiraalikouru. Molemmat vaihtoehdot ovat suunniteltavissa kokoontaittuviksi, jolloin tilantarve on vähäinen. Pallojen jumiutuminen on suppilossa vähäistä, mutta spiraalikourussa jumiutumista ei tapahdu. Tämä oli ratkaiseva tekijä arvioinnin lopputuloksen kannalta. Alla olevassa taulukossa 3 on esitelty osatoimintojen pisteet.

Taulukko 3. Pallokorivaihtoehtojen vertailu.

	1	2	3	4
1	-	1	1	1
2	0	-	1	0
3	0	0	-	0
4	0	1	1	-
yht.	0	2	3	1

Syöttömekanismin toimivuus ja luotettavuus ovat tärkeitä. Syöttömekanismin tulisi myös pystyä syöttämään pallo laukaisimeen ilman apuvälineitä noin 10 sekunnin sykleissä. Arvostelussa tarkasteltiin lisäksi mekanismin yksinkertaisuutta sekä erillisen moottorin

tarvetta. Varteenotettavin vaihtoehto syöttömekanismille oli vertailun perusteella askellin. Askeltimen erotti muista vaihtoehdoista mekaniikan yksinkertaisuus ja pallojen jumiutumattomuus. Taulukossa 4 on esitetty pisteytyksen tulokset.

Taulukko 4. Syöttömekanismien vertailu.

	1	2	3	4
1	-	1	0	0
2	0	-	0	0
3	0	1	-	0
4	1	1	1	-
yht.	1	3	1	0


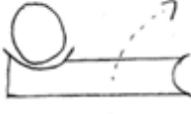
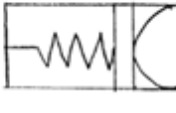

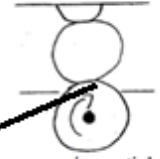










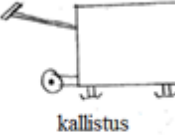

Laitteen siirtämisen vaihtoehtojen vertailussa huomioon otettiin yhdelle henkilölle sopiva liikutustapa sekä nurmikon ja laitteen rajapinnan kosketus. Nurmikon tulisi säilyä vahingoittumattomana laitetta siirrettäessä. Edellä mainitut vaatimukset huomioon ottaen parhaaksi vaihtoehdoksi saatiin kolmella tai neljällä pyörällä liikkuva syöttölaite taulukon 5 tulosten mukaisesti.

Taulukko 5. Siirtämistapojen vertailu.

	1	2	3
1	-	0	0
2	1	-	0
3	1	1	-
yht.	2	1	0

3.6 Kokonaisratkaisun valinta

Kokonaisratkaisua mietittäessä tärkeimpinä asioina olivat osatoimintojen tulokset pisteytyksessä sekä osien yhteensopivuus. Pisteytyksessä otettiin jo huomioon osatoiminnon vaatimuksien täyttäminen sekä yleiset tavoitteet osatoiminnolle, joten niitä ei enää erikseen tarkasteltu. Kuva 19 havainnollistaa valintoja kokonaisratkaisulle.

Laukaisin	 kaksi sähköllä pyörivää rengasta	 katapultti	 jousisylinteri	 ilmanpaine	 rengas ja vastinkap.
Pallokori	 kouru	 suppilo	 spiraali	 laatikko	
Syöttömekanismi	 luukku	 askellin		 hihna	 Laukaisin
Sirtäminen	 4 pyörää	 kallistus	 vetokoukku		

Kuva 19. Kokonaisratkaisuun valitut osatoiminnot ideamatriisissa.

Abstrahoinnin tuloksena syntyi yksi kokonaisratkaisu. Tässä ratkaisussa laitteeseen suunnitellaan yhdellä pyörivällä renkaalla toimiva laukaisin. Pallot syötetään laukaisimeen spiraalikourusta, ja syötön syklittäminen vaatimusten mukaiseksi toteutetaan askeltimeella. Laite on pyörien päällä ja sitä liikutetaan työntämällä. Tämän kokonaisratkaisun osatoimintovalinnat ovat alustavia, ja muita vaihtoehtoja pidetään mukana kehitystyön jatkuessa. Erityisesti eri osatoimintovaihtoehtojen yhdistely voi synnyttää hyvän lopputuloksen. Suunnitteluvaihe alkaa näiden osatoimintojen suunnittelulla ja kokoamisella yhdeksi toimivaksi tuotteeksi.

4 SYÖTTÖLAITTEEN SUUNNITTELU

Tuotesuunnittelun kaksi viimeistä vaihetta ovat itse tuotteen suunnittelu ja käytön aikainen huoltotuki. Tuotteen suunnittelu alkaa, kun parhain tuotekonsepti on valittu. Tässä vaiheessa ideoinnit ja abstrahoinnit on tarkoitus saada yhdeksi toimivaksi tuotteeksi luvussa 3.6 esitetyn kokonaisratkaisun mukaisesti. Nykyaikainen suunnittelu käyttää vahvasti hyväkseen 3D –mallintamista. 3D –Mallien avulla nähdään eri osien ja kokoonpanojen yhteensopivuus. Suunnittelu alkaa mallien tekemisellä tuotekonseptin pohjalta. Jokaisen komponentin ja kokoonpanon kohdalla suunnittelijan tulee miettiä kyseisen kappaleen, toiminnon tai kokonaisuuden ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi valmistettavuus, yhteensopivuus, rakenteiden muotoilu, käytettävyys, laatu ja kustannukset. Optimaalinen suunnittelutulos vaatii usein iteratiivista työskentelyä komponenttien suhteen, ja tämä voi johtaa alkuperäisen tuotekonseptin muuttamiseen. Lopputuloksena suunnittelutyöstä tulisi syntyä osaluettelo, valmistuspiirrustukset, lujustekninen dokumentointi, mahdolliset simulaatiot ja tarvittavat ohjeet. Nyt laitetta voidaan alkaa valmistaa. (Ullman, 2010, s. 90-91 & 241-246.)

Suunnittelijan vastuu ei pääty suunnittelutyön lopettamiseen ja valmistuksen aloittamiseen. Suunnittelijat toimivat usein konsultteina laitteiden asennuksessa, valmistuksessa ja huoltamisessa. Lisäksi myöhemmät modifikaatiot tuotteeseen työllistävät suunnittelijoita. (Ullman, 2010, s. 91-92.)

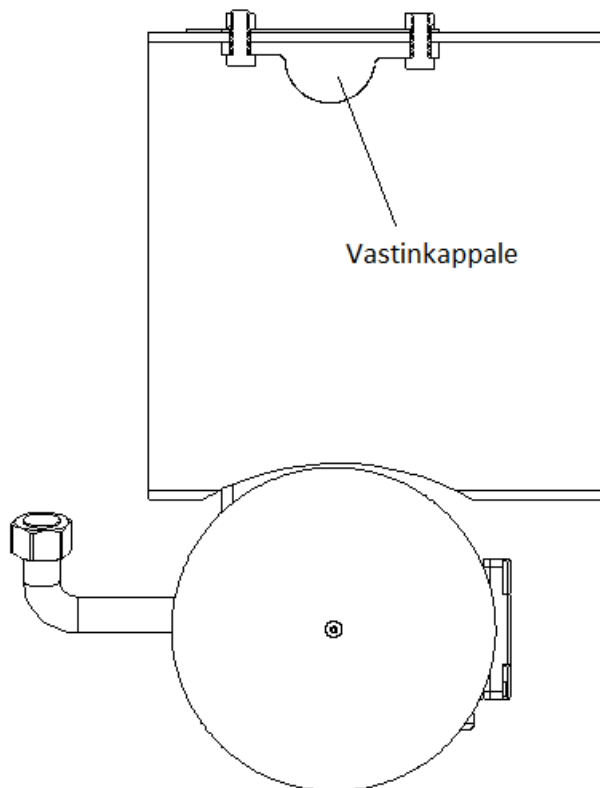
4.1 Laukaisin

Laukaisimen mekaniikka suunniteltiin alusta pitäen yksinkertaiseksi. Tärkeimpiä komponentteja toiminnan kannalta ovat moottori sekä moottorilta lähtevät tuennat putkelle ja runkoon. Moottorilta lähtevä hitsattu neliöputki, jonka päässä on tappi, ohjaavat renkaan sijaintia yhdessä rungossa kiinni olevan vastinkappaleen kanssa. Putken tuenta tapahtuu metallilevyillä pitkin putken pintaa. Putken päällä metallilevyt pultataan kiinni putkeen samalla liitoksella, jolla putken sisällä oleva vastinkappale on kiinni putkessa. Kuvassa 21 näkyvän kumisen vastinkappaleen tarkoitus on litistää palloa, kun se liikkuu renkaan yli. Vastinkappale ja rengas on mitoitettu niin, että pallon mennessä niiden läpi se painautuu

kasaan noin 6%. Tämä estää pallon jäämisen vapaasti pyörimään renkaan päälle. Kuvassa 20 on syöttölaitteen laukaisin.



Kuva 20. Syöttölaitteen laukaisin.



Kuva 21. Laukaisimen putken sisällä olevan vastinkappaleen sijoittelu.

Rengasta pyörittäväksi moottoriksi voidaan valita esimerkiksi tasavirtamoottori. Tasavirtamoottorin valintaa tukevia ominaisuuksia ovat verrattain huokea hintataso sekä mahdollisuus erillisellä ohjainpiirillä säätää moottorin kierrosnopeutta satunnaisesti tai määräten. Suunnittelussa käytetty esimerkkimoottori käyttää standardisoitua B3 - jalkakiinnitystä, jolloin moottorin vaihto on helppoa samaa jalkakiinnitystä käyttäviin moottoreihin. Renkaaksi on valittu seitsemän tuuman laakeroitu yleispyörä. Renkaan ulkohalkaisijan ollessa noin 180 mm se saa aikaan riittävän alkunopeuden sähkömoottorin suuren nimellisen kierrosnopeuden ansiosta. Nimellinen kierrosnopeus vaihtovirtamoottoreilla on tyypillisesti 1500-3000 rpm. Tällöin jo 3000 rpm nopeuksilla päästään korkeisiin nimellisiin kehänopeuksiin kehänopeuden laskentakaavan mukaisesti

$$v_{nim} = \pi D n = \pi * 0,180 * \frac{3000}{60} = 28,27 \frac{m}{s} \approx 101 \frac{km}{h}, \quad (4)$$

jossa D on renkaan halkaisija ja n moottorin nimellinen kierrosnopeus. Nimellisestä kehänopeudesta kuitenkin häviää osa jalkapallon kierteen syntymiseen, jolloin nimellistä kehänopeutta voidaan pitää vain suuntaa-antavana lukuarvona pallon lähtönopeudelle. Vaatimuksena oleva 15-50 km/h lähtönopeus toteutuu tällä moottorilla.

4.2 Runko

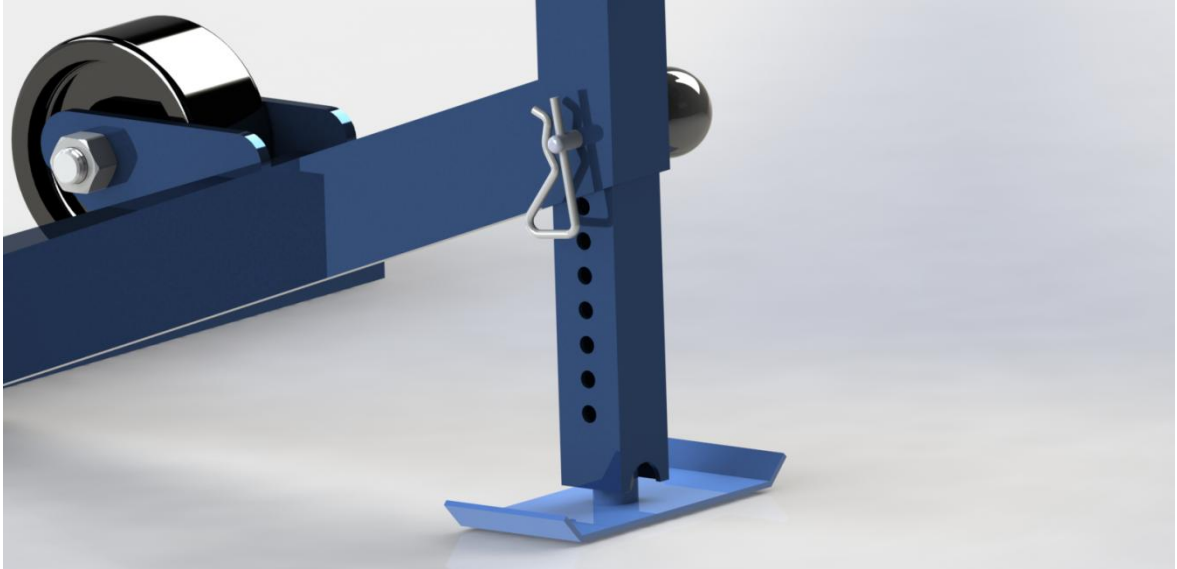
Runkoa lähdettiin suunnittelemaan ideamatriisin ja laukaisimen rakenteen pohjalta. Rungon etupäähän kiinnitettiin metallirengas, jonka sisälle laukaisimen muoviputki tuetaan. Toiseen päähän suunniteltiin jyrskitty paksumpi metallirengas. Näiden kahden tukipisteen sekä jyrskityn metallirenkaan avulla laukaisinta voidaan kiertää laitteen pituusakselin ympäri ja se voidaan lukita 0, 90, 180 tai 270 asteen kulmaan vaakatasoon nähden. Nyt renkaan sijaintia voidaan muuttaa ja saadaa hyödynnettyä laukaisimen toteutusmekanismista johtuva kierteen syntyminen palloon. Mahdollisuuksina on ylä-, ala- ja sivukierteet. Oheisessa kuvassa 22 on havainnollistettu lopullinen rungon muoto.



Kuva 22. Syöttölaitteen runko.

Laitteen runko suunniteltiin kolmella tai neljällä pyörällä seisovaksi, jolloin siirtäminen olisi tapahtunut työntämällä tai vetämällä. Laukaisimen rakenteesta ja renkaan sijainnin muuttamisesta johtuen tämä ratkaisu osoittautui huonoksi, sillä se oli paljon tilaa vievä sekä painava. Lisäksi renkaat olisi pitänyt olla varustettuina lukittavilla jarruilla. Suunniteltiin uudenlainen perusrunkorakenne. Iteratiivisen suunnittelutyöskentelyn tuloksena syntyi vedettävä malli. Tässä mallissa edessä on kaksi rengasta, joiden varassa laite liikkuu sitä kallistettaessa. Renkaiksi valittiin 100 mm halkaisijaltaan olevat normaalit vaunurenkaat. Renkaat osuvat maahan, kun syöttölaitteen lähtökulma on nolla astetta. Vetokahvan korkeudeksi määriteltiin noin 300 mm. Tällöin käyttäjä joutuu aina nostamaan laitetta sitä liikuttaessaan eikä pääse syntymään tilannetta, etteivät renkaat osu maahan siirtämisen yhteydessä. Renkaat eivät myöskään osu maahan, kun laitetta käytetään, ja tämä tuo vakautta runkorakenteeseen. Vakautta lisää renkaiden sijoittaminen tarpeeksi kauas toisistaan, jolloin estetään laitteen kaatuminen moottorin sijaintia vaihdettaessa.

Lähtökulman säätäminen tapahtuu porrastetusti neliötankoon porattujen reikien avulla. Lähtökulman ääriarvot ovat 0 ja 30 astetta, ja sitä voi säätää 3.75 asteen välein. Lähtökulma lukitaan sokkatapilla kuvan 23 mukaisesti.

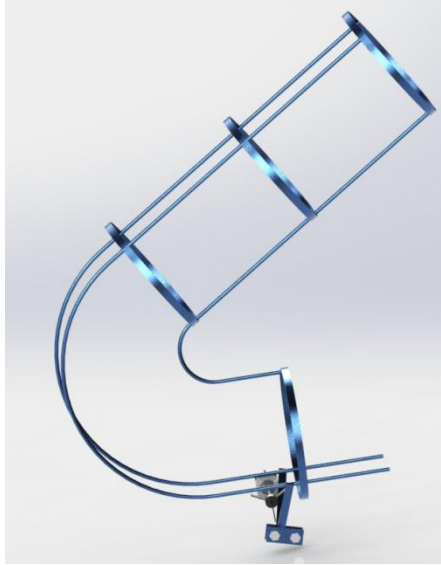


Kuva 23. Lähtökulman säätäminen sokkatapilla.

Lähtökulman säätöjalan nurmikkoa koskeva levy on taivutettu päistään kuvan 23 mukaisesti. Tämä yhdessä levyn leveyden kanssa ehkäisee laitteesta nurmikolle aiheutuvia vahinkoja. Lisäksi levyn leveys tukee laitetta kaatumasta. Levy kallistuu tarvittaessa mukailakseen pinnanmuotoja.

4.3 Pallovarasto ja syöttömekanismi

Pallovaraston suunnittelussa todettiin heti, ettei 30 pallon varasto ole mahdollinen. Kolmenkymmenen pallon pallovarasto olisi liian suuri suhteutettuna laitteen kokoon, ja se muuttaisi massakeskipisteen paikkaa ratkaisevasti. Lähdettiin miettimään pienemmän varaston ratkaisuja, ja ideamatriisista poiketen päädyttiin mutkan tekevään kouruun kuvan 24 mukaisesti. Kouruun mahtuu 5-6 palloa, jotka valuvat alaspäin syöttölaitteeseen painovoiman avulla. Tilankäytön maksimoimiseksi ja massakeskipisteen hallinnan takia kouru kääntyy syöttölaitteen yläpuolelle, jolloin laite säilyttää vakautensa. Kourussa on asennettuna esimerkiksi askelmoottori, johon on kiinnitetty 3-siipinen siipiras. Askelmoottori pyörittää ratasta 1/3 kierrosta kerrallaan, mikä riittää syöttämään pallon syöttölaitteeseen. Lähtökulman ollessa alhainen askelmoottori rajoittaa pallojen vierimistä syöttölaitteeseen, ja lähtökulman ollessa korkea se työntää palloja syöttölaitteeseen. Lisäksi kourussa on neljä jäykisterengasta ja pulttikiinnitys syöttölaitteeseen, jolloin se on helposti poistettavissa pallojen käsisyöttöä varten.



Kuva 24. Pallovarasto ja syöttömekanismi.

4.4 Materiaalivalinnat

Tuotesuunnittelijalla on usein jo varhaisessa vaiheessa suunnittelua tehtynä karkeita valintoja rakenteiden materiaaleille kuten esimerkiksi metalli. Tämä on päämateriaaliluokan valinta. Kun tuotetta suunnitellaan, paljastuu rakenteista ominaispiirteitä. Rakenteiden ominaispiirteet vaikuttavat materiaalivalintaan, kuten mm. muotoilu, liitokset, valmistus, kustannukset ja mekaaniset ominaisuudet. Karkean materiaalipääluokan valinnan jälkeen voidaan tässä kohdassa tarkentaa valintaa esimerkiksi alumiiniiksi. Jatketaan tutkimalla käyttökohteen materiaalille vaadittuja ominaisuuksia ja analysoidaan rasiuksia. Usein kuitenkin ei kaikkia haluttuja ominaisuuksia täyttävää materiaalia löydy, ja valittu materiaali on kompromissi vaadituista ominaisuuksista. (Ullman, 2010, s. 264 & 265.) Kompromissien arvioimiseksi on kehitetty hyviä työkaluja kuten seittimenetelmä, jossa valitaan esimerkiksi neljä tärkeää materiaaliominaisuutta, ja pareittain vertaillaan eri materiaaleja. Tässä esimerkissä materiaalit voisivat olla 5000- ja 6000 –sarjan alumiinit. Parempi materiaali on se, jonka materiaaliominaisuuksien muodostama pinta-ala on suurempi.

Materiaalivalinta voidaan myös aloittaa tutkimalla muita samantyyppisiä tuotteita ja niiden materiaalivalintoja. Näin saadaan nopeasti selville oikea materiaaliluokka. Huomioitava asia on tuotteen tuotantomäärä. Esimerkiksi vähäisen valmistusmäärän tuotteelle ei ole kustannustehokasta suunnitella valettavia osia, vaikka niitä muissa tuotteissa olisikin

käytetty. Lisäksi on syytä huomioida materiaalin saatavuus ja hinta. (Ullman, 2010, s. 264-266.)

Tämän laitteen osakokonaisuudet kuten runko ja laukaisin ovat hyvin yksinkertaisia rakenteita materiaaliopin näkökulmasta. Laitteen alhaisen massan ansiosta suuria rasituksia ei muodostu, jolloin materiaalien lujusvaatimukset ovat suurelta osin toissijaisia. Sen sijaan hitsattavuuden, liitoksien materiaaliparien sekä laukaisimen vastakappaleen ja renkaan kitkaominaisuukisen tutkiminen on tärkeämpää.

4.4.1 Runko

Runkoon tai pallovarastoon ei tässä laitteessa kohdistu merkityksellisiä rasituksia laitteen alhaisen massan ansiosta. Rungon massakeskipiste haluttiin alas, ja rakenteille pyrittiin saamaan tarpeeksi suuri massa, jolloin laite oli tasapainoisempi. Rungolla ei siis tehty ainepaksuuksien optimointia rasiusten mukaan, vaan materiaaleiksi valikoitui normaaleja rakenneteräksiä niiden alhaisten kustannusten ja hyvän hitsattavuuden takia. Putkikappaleet ovat S355J2H rakenneterästä ja umpikappaleet S235JR. Rungon paino on noin 7,5 kg ja massa keskipiste 22 cm korkeudella maanpinnasta lähtökulman ollessa nolla. Nämä yhdessä muodostivat riittävän tasapainon laitteelle.

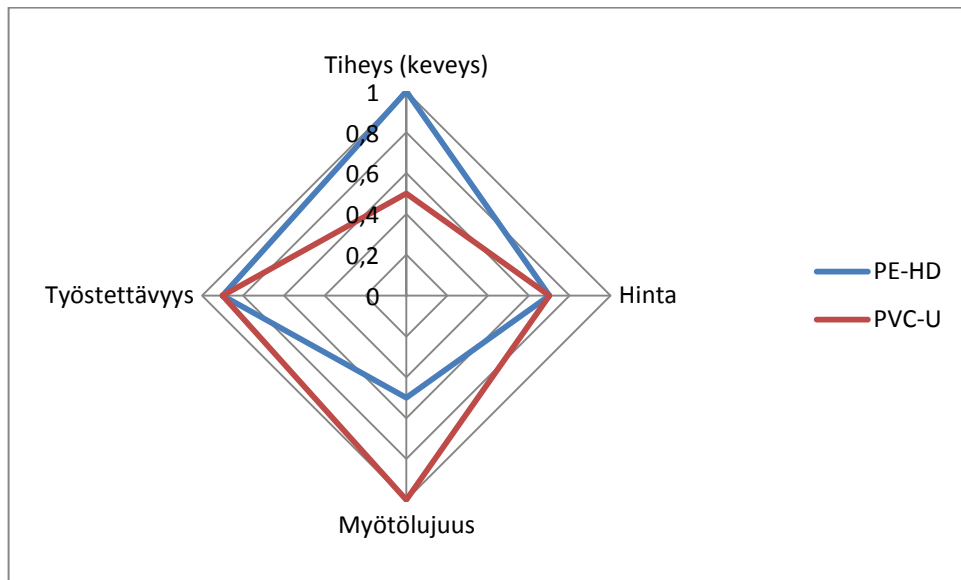
4.4.2 Laukaisin ja pallovarasto

Renkaan pintamateriaalin ja vastinkappaleen materiaalin valinnassa oli tärkeää löytää mahdollisimman kitkallinen materiaali. Renkaassa käytetty kumiseos on hyväksyttävä materiaali. Vastakappaleen materiaaliksi valittiin luonnonkumi, sillä se on ominaisuuksiltaan hyvin kulutusta kestävä, joustava ja halpa.

Putken materiaalivalinta tapahtui vertailemalla eri muoveja. Muovilaaduista tehtiin valinta polyvinyylikloridiin (PVC-U) ja suuritiheyspolyeteeni (PE-HD) -muoveihin. Ominaisuuksiltaan molemmat muovilaadut ovat hyvin samankaltaisia niiden vaatimuksien suhteen, joita ovat vedensietokyky, työstettävyys, massa sekä hinta. Alla oleva taulukko 6 oli apuna vertailua tehtäessä sekä taulukon perusteella muodostettu seittivertailu. (Silvennoinen et al., 2001, s. 40-45.)

Taulukko 6. PVC-U ja PE-HD muovien merkitsevien materiaaliominaisuuksien vertailutaulukko (Silvennoinen et al., 2001, s. 40-45).

Materiaaliominaisuus	Materiaali	
	Polyvinyylikloridi (PVC-U)	Suurttiheyspolyeteeni (PE-HD)
Tiheys	1,41 g/cm ³	0.95 g/cm ³
Työstettävyys	Hyvä	Hyvä
Huokoisuus	-	0.02%
Hinta / 1000 kg erä	0.6-1.3 €/kg	0.6-1.4 €/kg
Jännitys myötörajalla	54 MPa	26 MPa



Kuva 25. PE-HD ja PVC-U muovien seittivertailu.

Kuten vertailusta kuvassa 25 huomataan on PE-HD –muoviputki huomattavasti kevyempi, ja sen saatavuus on hyvä. Toisaalta PVC-U omaa korkeamman myötölujuuden, mutta tässä konstruktiossa tähän osaan riittää myös PE-HD:n myötölujuus. Näiden tuloksien perusteella materiaaliksi valittiin PE-HD. (Silvennoinen et al., 2001, s. 40-45.)

Laukaisimen materiaalien täytyy kestää pallon puristumisesta aiheutuvat rasitukset ja sen täytyy olla hitsattavissa. Lisäksi materiaalin tiheyden tulisi olla alhainen, sillä renkaan sijainnin muuttaminen siirtää laitteen painopistettä suoraan verrannollisesti laukaisimen massaan. Moottorin ollessa noin 2,7 kg tulisi muiden metallien olla mahdollisimman kevyitä. Nämä ominaisuudet täyttävä materiaali on alumiini. Materiaalivertailu

alumiinisarjojen kesken tehtiin alla olevaa vertailutaulukkoa apuna käyttäen. Vertailusta karsittiin heti osa alumiineista pois kuten esimerkiksi 2000-sarja sen hitsaamattomuuden takia. Alumiineja vertailtiin taulukon 7 mukaisesti.

Taulukko 7. Alumiini sarjojen yleinen vertailu. Huomioitavaa on ominaisuuksien vaihtelevuus seoksista riippuen (Huhtaniemi, 2006, s. 66-73).

Materiaaliominaisuus	Alumiinisarjat			
	1000	5000	6000	7000
Tiheys [kg/dm ³]	2.7	2.68	2.71	2.8
Työstettävyys	hyvä	keskiverto	keskiverto	huono
Hitsattavuus	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä
Lujuusominaisuudet	matala	keskiverto	hyvä	hyvä

Vertailun perusteella huomataan 6000 –sarjan alumiinien omaavan paremmat materiaaliominaisuudet tähän käyttötarkoitukseen. Yleisimpiä alumiininseostuksia tutkittaessa 6000-sarjan alumiineille voidaan huomata niiden olevan hyvin samankaltaisia materiaaliominaisuuksiltaan tähän tarkoitukseen. Materiaalivalinnaksi tehdään 6082-T6 alumiiniseos sen korkean 220 MPa myötörajan ja 260 MPa murtorajan sekä hyvän saatavuuden perusteella (Huhtaniemi, 2006, s. 73). Pallovaraston materiaalina käytetään samaa 6082-T6 alumiiniseosta, sillä pallovaraston massan täytyy olla matala, ettei se nosta laitteen massakeskipistettä.

4.5 Tekniset laskelmat

Tässä luvussa käsitellään syöttölaitteeseen liittyviä teknisiä laskelmia. Lujuusopillisen tarkastelun lähtökohtana on, että konstruktiomateriaali tunnetaan ja laskelmien avulla dimensioita voidaan optimoida tai vain tarkistaa, kestäkö rakenne (Pennala, 2002, s. 9). Luvussa 4.5.2 on käyty tarkistettu rakenteen kestävyys kolmessa kriittisessä kohdassa. Muita laskelmia voi olla esimerkiksi seuraavassa luvussa käsitelty pallon lentoradan arviointi laskemalla. Näin saadaan alustavaa teoriatietoa laitteeseen tehtyjen ratkaisujen toimivuudesta käytännössä.

4.5.1 Pallon liikeradan tarkastelu

Pallon lähtökulma on laitteessa säädettävissä 0-30 asteen välillä porrastetusti 3.75 asteen välein. Tässä laskelmassa havainnollistetaan pallon teoreettisia lentoratamahdollisuuksia suunnitellulla laitteella 50km/h alkunopeudella. Pallon todellinen lentorata kuitenkin poikkeaa tässä lasketuista arvoista, sillä tuulta, kierteitä tai pallon ominaisuuksien vaihtelua ei ole otettu huomioon.

Liikerata muodostetaan laskemalla ensin aika, joka kuluu pallon laukaisusta sen osumiseen maahan. Seuraavissa kaavoissa lentorata on laskettu 30 asteen lähtökulmalle.

$$y(t) = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2 = v_0 \cos 60^\circ t - \frac{1}{2}9.81t^2 = 6.9t - 4.9t^2, \quad (4)$$

missä $y(t)$ on pallon korkeus ajan hetkellä t ja v_{y0} pallon alkunopeus y -suunnassa. Koska pallo laukaistaan 35cm korkeudelta on $y(t)$ pallon osuessa maahan $-0.35m$, jolloin

$$-0.35 = 6.9t - 4.9t^2, \quad (5)$$

josta saadaan toisen asteen yhtälönratkaisukaavalla

$$t = \frac{-6.9 \pm \sqrt{6.9^2 - 4 * (-4.9) * 0.35}}{2 * (-4.9)} = -0.04 \text{ tai } t = 1.46s, \quad (6)$$

josta valitaan $t = 1.46s$. Lentoajasta $t=1.46s$ lasketaan matka

$$s = v_0t = 13.9 \sin 60 * 1.46 = 17.8m \quad (7)$$

Kaavoista 4-7 saatujen tulosten avulla voidaan lisäksi laskea pallon saavuttaman korkeuden huippuarvo. Pallon saavuttaessa huipun sen nopeuden y -komponentti on nolla. Radan korkein kohta lasketaan seuraavalla kaavalla

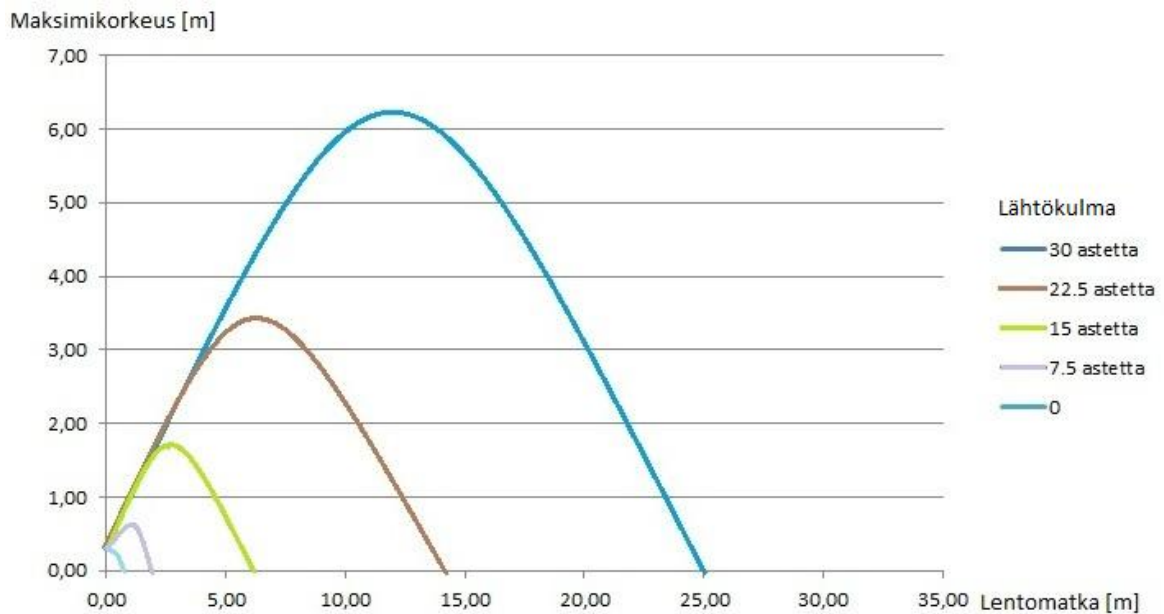
$$v_y(t) = \frac{dy(t)}{dt} = 6.9 - 9.81t$$

$$\rightarrow t_2 = \frac{6.9}{9.81} = 0.70 \text{ s}, \quad (8)$$

josta saadaan edelleen

$$y(t_2) = v_{y0}t_2 - \frac{1}{2}gt^2 = 6.9 * 0.7 - 4.9 * 0.70^2 = 2.43 \text{ m}, \quad (9)$$

mikä on pallon huippukorkeus. (Seppänen et al., 1991, s. 111.) Alla olevassa kuvassa 26 on esitetty teoreettiset lentoradat pallolle 7.5, 15, 22.5 ja 30 asteen lähtökulmissa alkunopeudella 80 km/h.



Kuva 26. Lentoratoja havainnollistava kuvaaja pallon 80 km/h alkunopeudella.

Kuvaajasta huomataan selvästi, kuinka voimakkaasti lähtökulman säätäminen vaikuttaa pallon lentorataan.

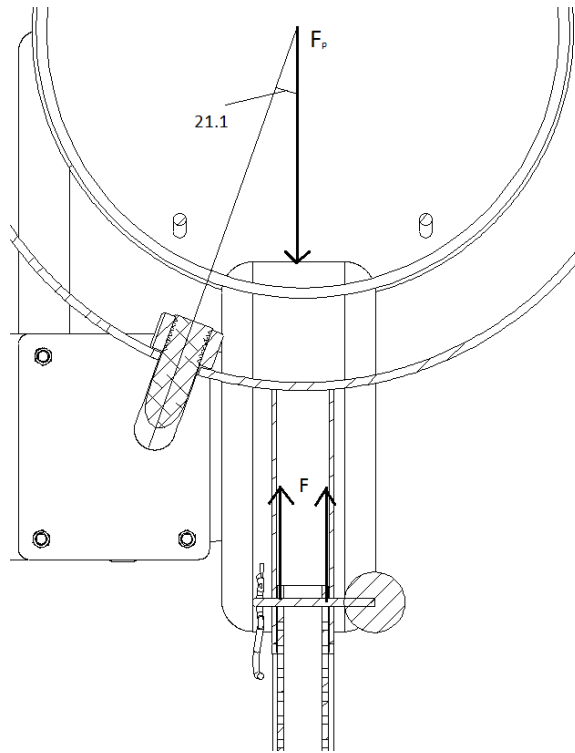
4.5.2 Lujuuslaskennan kriittiset kohdat

Laitteen rakenteissa on muutamia kohtia, joita on syytä tarkastella tässä osiossa. Lähtökulman säätämiseen käytettyyn sokkatappiin on mahdollista muodostua huomattava taivutusjännitys. Sokkatapin halkasija on 6 mm ja materiaalina teräs, jonka myötölujuus on 235 MPa. Tappiin kohdistuu laitteen 12 kg:n painosta aiheutuvat voimat F kuvan 25

mukaisesti. Voimalla käytetään varmuuskerrointa 2 ja sen momenttivarsi on noin 4 mm. Taivutusjännitys lasketaan seuraavalla kaavalla

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{4 * 12 * 9.81}{\frac{\pi}{32} * 6^3} = 22.2 \text{ MPa} , \quad (10)$$

missä σ on taivutusjännitys, M momentti ja W taivutusvastus (Pennala, 2002, s. 52). Myötörajan ollessa 235 MPa voidaan todeta sokkatapin kestävä.

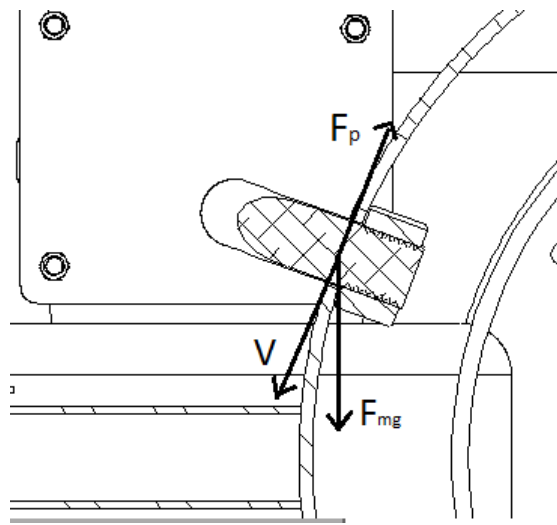


Kuva 27. Sokkatapin leikkautuminen sekä laukaisimen aiheuttamat rasitukset. F_p kuvaa pallon puristumisesta aiheutuvaa voimaa.

Sokkatapin leikkautumisen lisäksi laukaisimen ja pallon puristuksesta aiheutuu vetojännitystä mutterille. Pallosta aiheutuu y-suuntainen voima F_p joka aiheuttaa mutterille voimakomponentin 21.1° kulmassa kuvan 27 mukaisesti. Myös laukaisimen omapaino m_l vaikuttaa jännitykseen. Mutterille aiheutuva jännitys saadaan laskettua kaavalla

$$\sigma_{nA} = \frac{F_s}{A_s} = \frac{755}{289.14} = 2.61 \text{ MPa}, \quad (11)$$

jossa σ_{nA} on mutterin vetojännitys, F_s mutteria kuormittava aksiaalivoima ja A_s ruuvin jännityspoikkipinta-ala (Pennala, 2002, s. 15). Mutterin myötörajan ollessa 640 Mpa voidaan todeta mutterin kestävän. Renkaan sijoittuessa sivulle sivukierrettä tuottaessa tapin vetojännitys pienenee ja leikkausjännitys kasvaa. Tässä tilanteessa pallon puristumisesta aiheutuva voima on leikkausjännitystä vastaan alla olevan kuvan 28 mukaisesti.



Kuva 28. Vaikuttavat voimat renkaan ollessa sivulla. F_p kuvaa pallon puristumisesta aiheutuvaa voimaa, V akseliin kohdistuvaa leikkausvoimaa ja F_{mg} laukaisimen painosta syntyvää kuormitusta.

Tarkastelua vaativa tilanne on siis ilman pallon puristumisesta aiheutuvaa voimaa. Tällöin tapille aiheutuu leikkausjännitys

$$\tau_{na} = \frac{V}{A} = \frac{36.6}{314.2} = 0.11 \text{ MPa}, \quad (12)$$

missä τ_{na} on leikkausjännitys, V tapille aiheutuva leikkausvoima ja A tapin halkaisija (Pennala, 2002, s. 16). Nähdään että alumiinin myötörajan ollessa 220 MPa tappi kestää leikkausrasituksen.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Työssä kehitetty jalkapallon syöttölaite toteuttaa melkein kaikki työn teettäjän toimesta asetetut vaatimukset sekä toiveet. Laitteen alhaisen painon ja painopisteen ansiosta liikuteltavuus on helppoa vetämällä ja rakenteisiin kohdistuvat rasitukset ovat pieniä. Lisäksi laite pystyy tuottamaan ylä-, ala- ja sivukierteet vaaditulla nopeudella pituusakselinsa ympäri pyörivän putken ansiosta. Lähtökulmien säätö tapahtuu portaallisesti, ja äärikulmat ovat 0 ja 30 astetta. Pallovarasto suunniteltiin laitteeseen erilliseksi moduuliksi, ja ilman sitä laite toimii käsisyötöllä alla olevan kuvan 29 mukaisesti.



Kuva 29. Jalkapallon syöttölaite ilman pallovarastoa.

Moduulina suunnitellun pallovaraston kapasiteetti on 5-6 palloa ja pallot liikkuvat painovoiman avulla syöttölaitteeseen. Pallovarasto on pultiliitoksella kiinni rungossa ja on siten helposti sekä nopeasti poistettavissa. Syöttölaitteeseen pallot säännöstelee ja syöttää askelmoottori, jonka akseliin on akseli-napa-liitoksella kiinnitetty siipiratas. Kuvassa 30 on esitetty syöttölaite pallovaraston kanssa.



Kuva 30. Jalkapallon syöttölaite pallovaraston kanssa.

Laitteen materiaalikustannukset ovat noin 200 euroa ilman ohjauspiirin vaatimia materiaaleja. Kustannuksia laskiessa on oletettu laitteen valmistusmääräksi enemmän kuin yksi kappale. Vaatimuksena ollut 500 euron tuotantokustannus on näin ollen saavutettavissa.

Jatkokehitys kohteita laitteelle jäi elektroniikkakomponenttien lopullinen valinta ja ohjaus sekä niiden ja laitteen rajapinnan tarkastelu. Karkea valinta näiden suhteen tehtiin suunniteltaessa laitetta, jotta saadaan suuntaa-antavaa tietoa. Erityisesti jatkokehitystä vaatii renkaan kiinnitys sähkömoottoriin sekä siipirataan muotoilu ja kiinnitys askelmoottoriin. Lisäksi siipirataan tulisi tarvittaessa työntää jalkapallo syöttölaitteeseen tilanteissa, jolloin painovoima ei riitä. Rengasta pyörittävän moottorin B3 –jalkakiinnitys on standardoitu ja sen pitäisi näin ollen käydä suunniteltuun laitteeseen moottoria vaihdettaessa. Ohjauslaitteelle oletettuja ominaisuuksia suunnittelussa olivat rengasta pyörittävän tasavirtamoottorin jännitteen säätö ja askelmoottorin siipirataan pyörimisen säätö.

Erityisen haasteellista suunnittelutyössä oli hahmottaa dynaamisten komponenttien käyttäytyminen todellisessa elämässä. Tästä hyvä esimerkki on putken sisällä olevan vastinkappaleen muotoilun vaikutus pallon liikerataan ja laukaisuun. Lisäksi tiedettäessä pallolle vauhdin antavan renkaan kehänopeus, mutta ei tarkalleen pallolle syntyvän kierteen suuruutta, joudutaan tyytymään lähtönopeuden tarkastelussa pelkkään arvioon. Mahdollisen tulevaisuudessa tehtävän prototyypin kanssa tehtävät kokeet antavat näihin ongelmiin vastauksia ja ohjaavat suunnittelua eteenpäin.

Pallovaraston suunnittelussa haasteita tuotti syöttölaitteen pieni koko. Toiveena ollut 30 pallon varasto olisi ollut aivan liian suuri, ja se olisi siirtänyt laitteen massakeskipistettä epäedulliseen suuntaan. Tuloksena syntynyt 5-6 pallon varasto on kuitenkin hyvä kompromissi ja se ei haittaa laitteen toimintaan.

6 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä ideoitiin ja suunniteltiin jalkapallon syöttölaite. Jalkapallon syöttölaite on hyvä apuväline harjoitusten tehostamiseen. Syöttölaitteen avulla maalivahtiharjoituksissa voidaan lisätä torjuntujen määrää sadoilla kerroilla harjoitusten aikana, sillä syöttölaite mahdollistaa keskeytymättömät jalkapallon laukaisut. Lisäksi vältetään mahdollisilta loukkaantumisilta ja epäonnistumisilta. (PRWEB, 2012.) Syöttölaitteita on kehitelty jo 1800 –luvulta lähtien, mutta nykyajan syöttölaitteen toimintamekanismiksi on vakiintunut pyörivät renkaat (Rivers, 2011).

Suunnittelun tueksi työssä tutkittiin jalkapallon rakennetta, valmistusta ja dynamiikkaa. Suunnittelutyö tehtiin käyttäen järjestelmällisen tuotesuunnittelun metodeja, kuten vaatimusluettelon tekeminen, toimintorakenteen laatiminen ja ideamatriisi. Laite mallinnettiin ja valmistuspiirrustukset tehtiin Solid Works –ohjelmistolla.

Työn teettäjän keskeisimpiä vaatimuksia laitteelle olivat 15-50 km/h lähtönopeus, pieni koko varastointia varten, ja se että laite on yhden henkilön liikuteltavissa. Työn tarkoituksena oli kehitellä kilpailukykyinen syöttölaite markkinoille. Laitteen kehittämisen lähtökohdaksi oli tehdä kilpailevia tuotteita edullisempi ja ominaisuuksiltaan monipuolinen laite. Lisäksi otettiin huomioon massatuotannon vaatimukset, kuten standardiosien käyttäminen ja valmistusystävällinen suunnittelu.

LÄHDELUETTELO

Alam, Firoz. 2011. Aerodynamics of Contemporary FIFA Soccer Balls. Procedia Engineering, 2011. Vol. 12. ISSN 18777058. Saatavissa:

[http://ac.els-cdn.com/S1877705811009854/1-s2.0-S1877705811009854-main.pdf?_tid=7ff32d3e-fe58-11e1-8039-](http://ac.els-cdn.com/S1877705811009854/1-s2.0-S1877705811009854-main.pdf?_tid=7ff32d3e-fe58-11e1-8039-00000aab0f26&acdnat=1347619365_17aa9b0d8448b0866e0d764ab9960d93)

[00000aab0f26&acdnat=1347619365_17aa9b0d8448b0866e0d764ab9960d93](http://ac.els-cdn.com/S1877705811009854/1-s2.0-S1877705811009854-main.pdf?_tid=7ff32d3e-fe58-11e1-8039-00000aab0f26&acdnat=1347619365_17aa9b0d8448b0866e0d764ab9960d93)

Andrews, John. 2010. Almost Voodoo-the Science of Bending a Soccer Ball [verkkodokumentti]. Julkaistu 10.9.2010 [viitattu 14.9.2012]. Saatavissa:

<http://itaintrocketsoccer.blogspot.fi/2010/09/almost-vooodoo-science-of-bending-soccer.html>

BS EN 1005-3. 2002. Safety of machinery – Human physical performance – Part 3: Recommended force limits for machinery operation. BSI 02-2002, ISBN 0-580-39178-7. The European Commission and the European Free Trade Association. 28 s.

Huhtaniemi, Kari, Jerima M., Pohjus J., Puska M, Vierimaa T., Karppinen A., Vartiainen M. 2006. Raaka-ainekäsikirja 5. Alumiinit. 237 s. Tammer-Paino Oy, Tampere, 2006. ISBN 951-817-918-2.

Laws of The Game. 2012. [FIFA verkkodokumentti] Julkaistu 3.3.2012. Saatavissa PDF-tiedostona:

http://www.fifa.com/mm/document/affederation/generic/81/42/36/lawsofthegame_2012_e.pdf

Pahl, Gerhard & Beitz, Wolfgang. 1992. Koneensuunnitteluoppi. Toinen korjattu painos. 608 s. WSOY:n graafiset laitokset, Porvoo 1992. ISBN 951-817-468-7.

PRWEB, 2012. Pitching Machine Pro Adds 3 New Products to it's List of Products [verkkodokumentti]. Julkaistu 11.7.2012 [viitattu 13.9.2012]. Saatavissa:

<http://www.prweb.com/releases/pitchingmachinepro/batting-cages/prweb9690527.htm>

Lees, Adrian. 1996. The Biomechanics of soccer surfaces and equipment. Teoksessa: Reilly, 1996. s. 135-150.

Reilly, Thomas. 1996. Science and Soccer. Ensimmäinen painos. 392 s. E & FN Spon 1996. ISBN 0-203-47478-3.

Pennala, Erkki. 2002. Lujuusopin perusteet. 11. muuttumaton painos. 400s. Hakapaino Oy Helsinki 2002. ISBN 951-672-297-0.

Riccardo. 2007. La Storia dei palloni da calcio utilizzati ai Mondiali [verkkodokumentti]. Julkaistu 10.12.2007 [viitattu 14.9.2012]. Saatavissa:

<http://www.calciopro.com/storia-del-calcio/la-storia-dei-palloni-da-calcio-utilizzati-ai-mondiali/>

Rivers, Dacia. 2011. History of Pitching Machines [verkkodokumentti]. Julkaistu 14.6.2011 [viitattu 13.9.2012]. Saatavissa:

<http://www.livestrong.com/article/357097-history-of-pitching-machines/>

Robinson, Joshua. 2010. A Machine Before Its Time [Wall Street Journal - verkkodokumentti]. Julkaistu 21.6.2010 [viitattu 14.9.2012]. Saatavissa:

<http://online.wsj.com/article/SB10001424052748704050804575318973133977574.html>

Seppänen, Raimo, Tiihonen S., Wuolijoki H., Kervinen M., Smolander J., Haavisto A., Karkela L., Varho K. 1991. MAOL –taulukot. 1.-5. Uudistettu painos. 159 s. Otavan kirjapaino Oy Keuruu 2004. ISBN 951-1-16053-2.

Silvennoinen, Sakari, Eklund P., Laakso L., Nyman U., Puska M., Sunio J., Taulavuori T., Tennilä P., Uitti J., Karppinen A., Yrttiaho E. 2001. Raaka-ainekäsikirja 4. Muovit ja kumit. 172 s. Tammer-Paino Oy, Tampere, 2001. ISBN 951-817-745-7.

Tuomaala, Jorma. 1995. Luova Koneensuunnittelu. Ensimmäinen painos. 287 s. Gummerus kirjapaino Oy Jyväskylä 1995. ISBN 951-9004-62-9.

Ullman, David G. 2010. The Mechanical Design Process. Neljäs painos. The McGraw Companies Inc. 2010. 433 s. ISBN 978-007-126796-0.

Wesson, John. 2002. The Science of Soccer. 199 s. IOP Publishing. ISBN 0-7503-0813-3.

Woodward, Angela. Soccer Ball. [verkkodokumentti]. [Viitattu 21.9.2012]. Saatavissa: <http://www.madehow.com/Volume-5/Soccer-Ball.html#b>

Ympäristöministeriö, 2004. G1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asuntosuunnittelun määräykset ja ohjeet 2005 [verkkodokumentti]. [Viitattu 29.10.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=24297>

LUJUUSOPILLINEN TARKASTELU

Seuraavissa kohdissa on laskettu laitteen kriittisten kohtien lujuusopillinen tarkastelu kestävyuden kannalta.

1. Mutterin vetojännitys

Laukaisimen ja pallon puristuksesta aiheutuva jännitys M20 mutterille ja akselin leikkaus, kun rengas on alhaalla. Pallon puristuessaan aiheuttama voima voidaan arvioida miettimällä pallo jousena. Jousivakio tulee pallon piiristä ja pallon sisäisestä paineesta ja siirtymä x lasketaan pallon keskipisteen muutoksesta puristuessa. Saadaan

$$k = 2\pi rp = 2 * \pi * 111.5 * 11 * 10^4 = 77063268 \text{ N/mm} ,$$

jossa r on pallon säde ja p pallon paine.

$$x = 0.09 * 111.5 = 10 \text{ mm} ,$$

missä 0.09 (9%) on pallon puristuma laitteessa.

$$F_p = kx = 77063.3 * 0,01 = 770 \text{ N}$$

ISO standardi mutterin nimelliskylkihalkaisija $d_2=18.63 \text{ mm}$

ISO standardi mutterin sisähalkaisija $d_3= 19.744$

$$F_{mg} = mg = 4 * 9.81 = 39.24 \text{ N}$$

$$F_a = (F_p + F_{mg}) * \cos 21.1 = (770 + 39.24 \text{ N}) * \cos 21.1 = 755 \text{ N}$$

$$A_s = \frac{\pi \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2}{4} = \frac{\pi \left(\frac{18.63 + 19.744}{2} \right)^2}{4} = 289.14 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{nA} = \frac{F_s}{A_s} = \frac{755}{289.14} = 2.61 \text{ MPa} \text{ (Pennala, 2002, s. 15)}$$

640 MPa > 2.61 MPa, OK!

2. Tapin leikkausjännitys

Renkaan ollessa sivulla vetojännitys vähenee tapin leikkausjännitys kasvaa. Tapille aiheutuva leikkausjännitys:

$$A = \pi r^2 = \pi * 10^2 = 314.16 \text{ mm}^2$$

$$V = mg * \cos 21.1 = 4 * 9.81 * \cos 21.1 = 36.6 \text{ N}$$

$$\tau_{na} = \frac{V}{A} = \frac{36.6}{314.2} = 0.11 \text{ MPa (Pennala, 2002, s. 16)}$$

Alumiinin myötölujuus 220 MPa > 0.11 MPa, OK!