

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

Atte Antila

PUOMIANKKURIN UUDELLLEENSUUNNITTELU JA VALMISTUS

Työn tarkastajat: Professori Jukka Martikainen

Kehittämispäällikkö Jorma Rytönen

Työn ohjaaja: Professori Jukka Martikainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

Atte Antila

Puomiankkurin uudelleensuunnittelu ja valmistus

Diplomityö

2012

107 sivua, 52 kuvaa, 9 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Jukka Martikainen

Kehittämispäällikkö Jorma Rytönen

Hakusanat: Ankkuri, puomiankkuri, ankkuritestit, kulutusteräs, materiaalinvalinta, tekninen suunnittelu, öljyntorjunta

Tämän diplomityön tavoitteena on ollut suunnitella uusi öljyntorjunnassa käytettävä puomiankkuri. Nykyisin käytössä olevat ankkurit ovat painavia, paljon tilaa vieviä, jäykkiä rakenteeltaan ja hankalia käyttää. Työn tavoitteena on ollut suunnitella rakenne, jossa muotoilun avulla pyritään korvaamaan ankkurin painoa ja saavuttaa hyvä tunkeutuminen eri pohjalaaduissa. Ankkurin suunnitteluun kuuluu merkittävänä osana materiaalinvalintaprosessi, jonka perusteella materiaaliksi valittiin kulutusteräs. Kulutusteräksen korkea lujuus ja hyvä kulumiskestävyys mahdollistavat ohuemman materiaalin käytön rakenteessa, jonka seurauksena rakenteen painoa saatiin vähennettyä merkittävästi.

Ankkurin rakenteen suunnittelussa käytettiin hyväksi nykyisiä ankkurin rakenteita, joiden pohjalta hahmoteltiin eri variaatioita ankkureista. Suunnittelutyössä käytettiin hyväksi tyypillisiä ankkurirakenteita hyvien puolien kannalta, joita pyrittiin toteuttamaan uudessa ankkurirakenteessa. Ankkurin suunnittelu toteutettiin järjestelmällisen suunnittelun avulla, jossa ensin laadittiin ankkurille vaatimuslista. Tämän jälkeen laadittiin ankkurille toimintorakenne ja jakaminen osatoimintoihin. Ankkurin rakenteista toteutettiin kaksi eri versiota: sisävesillä ja merialueilla käytettävät ankkurit, joille laadittiin mitoitus. Työssä suunnitellun terävän tunkeutumisosan ja optimaalisen tunkeutumiskulman avulla ankkureiden painoa saatiin huomattavasti alhaisemmaksi, jonka seurauksena ankkurille saatiin kevyempi rakenne ja materiaalikustannukset pienenevät merkittävästi. Uusien ankkurien rakenne on pienemmän koon ja painon ansiosta käyttäjäystävällisempi.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

Faculty of Technology

Degree Programme in Mechanical Engineering

Atte Antila

Redesign and manufacture of boom anchor

Master's thesis

2012

107 pages, 52 figures, 9 tables and 2 appendices

Revisors: Professor Jukka Martikainen

Research manager Jorma Rytönen

Key words: Anchor, boom anchor, anchor tests, wear-resistant steel, material selection, technical design, oil spill response

The aim of this Master's thesis has been to design a new boom anchor for oil spill combating. The anchors currently in use are heavy, require a lot of space, have a rigid structure and are difficult to use. The purpose of the thesis has been to design a structure in which the weight of the anchor can be reduced through design, thereby achieving good penetration in different bottom types. The material selection process is a significant part of anchor design, and wear-resistant steel was selected as the material on the basis of it. Its high strength and wear resistance makes it possible to make the structure thinner, and the weight of the structure could be reduced as its result.

Existing anchor structures were used in designing the anchor structure, with different variations of anchors sketched on their basis. Typical anchor structures were utilised in the design work in terms of their good sides, which were aimed to be implemented in the new anchor structure. The design of the anchor was realised with the help of systematic planning, first preparing a list of requirements for the anchor, followed by creating the functional structure for the anchor and dividing it into various partial functions. Two versions of anchor structures were realised: one for freshwater and one for sea use, for which dimensions were prepared. The pointed penetration part designed during the work and optimum angle of penetration made it possible to decrease the weight of the anchors substantially, and as a result, a lighter structure was achieved for the anchor, decreasing material costs significantly. The structure of the new anchors is more user-friendly due to their smaller size and weight.

ALKUSANAT

Kun muutin opiskelemaan Lappeenrantaan talvella 2005, niin en tiennyt Lappeenrannasta juuri mitään. Kaupunki on tullut tutuksi vuosien varrella lukuisten uusien ystävien ja tuttujen lisäksi. Nyt on helppo sanoa, että päätös lähteä opiskelemaan konetekniikkaa Lappeenrannan teknilliseen yliopistoon oli oikea. Matkalle on mahtunut paljon luentoja, harjoitustöitä, muistinpanoja, opiskelu rientoja ja hauskanpitoa.

Tämän diplomityön tekeminen on ollut haastavaa ja mielenkiintoista, mutta samalla hyvin opettavaista. Haluan kiittää erityisesti professori Jukka Martikaista ja tekniikan lisensiaatti Jorma Rytöstä hyvistä vinkeistä ja osallistumisesta diplomityön tarkastamiseen. Lisäksi haluan kiittää Jouko Pirttijärveä mielenkiintoisen diplomityöaiheen saamisesta. ELY-keskuksen Juha Jyrkkää ja Esa Siermalaa haluan kiittää neuvoista ja osallistumisesta diplomityöni eri vaiheisiin.

Vanhempiani haluan kiittää opiskeluaikana ja elämän alkutaipaleella saamastani korvaamattomasta tuesta. Kiitos kuuluu jokaiselle kaverille, joiden kanssa olen saanut jakaa opiskeluajan. Nyt uudet haasteet elämässä odottavat.

Lappeenrannassa 4.12.2012

Atte Antila

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SYMBOLI- JA KÄSITELUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1 Työn tausta.....	1
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	2
1.3 Käytettävät tutkimusmenetelmät	3
1.4 Suomen ympäristökeskus	4
1.5 ELY-keskus	6
2 ANKKURIT.....	7
2.1 Tyypillisimmät ankkurirakenteet	7
2.2 Ankkurin tunkeutumistapahtuma	13
2.3 Ankkureiden pitokyky eri pohjalaaduissa	14
2.4 Eri ankkureiden pitävyys hiekka- ja savipohjassa CASE 1: VENELEHTI.....	15
2.5 Ankkurin mitoitus ja vaikuttavat voimat.....	17
2.6 Nykyisin öljyntorjunnassa käytettävät ankkurit	22
2.7 Ankkurin tuotevaatimukset.....	25
2.8 Sakkeli	29
2.9 Öljyntorjunnassa käytettävät puomit	30
3 ANKKURIN MATERIAALIT	32
3.1 Seostamattomat rakenneteräkset.....	32
3.2 Kulutusteräkset.....	33
3.3 Ultralujat rakenneteräkset	34
3.4 Alumiini ja alumiiniseokset.....	35
4 RAILONVALMISTUSMENETELMÄT.....	36
4.1 Polttoleikkaus	36
4.1.1 Polttoleikkaustapahtuma ja laitteisto	36

4.1.2 Polttoleikattavat materiaalit.....	37
4.2 Plasmaleikkaus	39
4.2.1 Plasmaleikkaustapahtuma ja -laitteisto	39
4.2.2 Plasmaleikattavat materiaalit	40
4.2.3 Sovellus: Hienosädeplasmaleikkaus.....	41
4.3 Laserleikkaus	42
4.3.1 Laserleikkauksen prosessit	42
4.3.2 Leikattavat materiaalit laserleikkauksessa	45
4.4 Vesisuihkuleikkaus	46
5 SÄRMÄYS.....	47
6 HITS AUS	49
6.1 Puikkohitsaus.....	49
6.1.1 Puikkohitsauksen päällysteet	50
6.1.2 Puikkohitsattavat materiaalit ja käyttökohteet	51
6.2 MIG/MAG-hitsaus.....	52
6.2.1 MIG/MAG-hitsauksen suojakaasut, hitsausaineet ja tuottavuus	53
6.2.2 Hitsattavat materiaalit ja käyttökohteet MIG/MAG-hitsauksessa	54
7 ANKKURIN MATERIAALINVALINTAPROSESSI	55
7.1 Valintastrategia, edullisuus, maksimikestoikä ja elinkaariajattelu.....	55
7.2 Korroosiomuodot.....	56
7.3 Ankkurin kulumismuodot.....	57
7.4 Ankkurin materiaalin vaatimusprofiili.....	58
7.5 Ankkurin materiaalin ominaisuusprofiili	60
7.6 Ankkurin eri materiaalien vertailu	62
7.7 Sinkki pinnoitteena	64
7.8 Lopullinen materiaalin valinta: vaatimus- ja ominaisuusprofiilin yhteensovittaminen.....	66
8 ANKKURIN KONSTRUKTION SUUNNITTELU	69
8.1 Valmistuksen ja suunnittelun yhteistyöprosessi	69
8.1.1 Rinnakkainen suunnittelu.....	70
8.1.2 Tuote- ja menetelmäkehitysyhteistyö	71
8.1.3 DFMA.....	71
8.2 Suunnitteluprosessin vaiheet ja eteneminen.....	72

8.3 Ankkurin vaatimuslista.....	74
8.4 Vaatimuslistan abstrahointi	77
8.5 Ankkurin toimintorakenne	78
8.5.1 Kokonaistoiminto.....	78
8.5.2 Kokonaistoiminnon jakaminen osatoimintoihin.....	78
8.6 Ankkurin suunnittelun eri variaatiot ja niiden arviointi	79
8.7 Toteutettavien ankkureiden suunnittelu ja mitoitus.....	87
8.8 Ankkurin prototyyppi	90
8.9 Ankkurin valmistuskustannusten muodostuminen	91
8.10 Ankkurin valmistettavuus ja valmistusjärjestys.....	98
9 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET	101
10 YHTEENVETO	102
LÄHDELUETTELO	103
LIITTEET	

SYMBOLI- JA KÄSITELUETTELO

Tunnukset ja yksiköt

°C	celsiusaste
C _{ekv}	hiiliekvivalentti
CEV	hiiliekvivalentti
HBW	Brinell-kovuus mitattuna kovametallipallolla
HRC	Rockwell-kovuus
kg	kilogramma
m	metri
MPa	paineen ja lujuuden yksikkö
mm	millimetri

Alkuaineet ja seokset

Al	alkuaine alumiini
C	alkuaine hiili
Cr	alkuaine kromi
Cu	alkuaine kupari
Mg	alkuaine magnesium
Mn	alkuaine mangaani
Mo	alkuaine molybdeeni
N	alkuaine typpi
Ni	alkuaine nikkeli
P	alkuaine fosfori
Si	alkuaine pii

S	alkuaine rikki
V	alkuaine vanadiini
Zn	alkuaine sinkki

Lyhenteet

CE	Concurrent Engineering
CQR	Clyde quick release
DFA	Design for Assembly
DFM	Design for Manufacturing
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
Dtex	Tex on kansainvälisen SI-järjestelmän mukainen kuidun tai langan lineaarisuuden yksikkö. Dtex, jonka massa on g/10 000 m kohti.
EN	CENissä tai CENELECissä laadittu eurooppalainen standardi
ELY-KESKUS	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
FOB	Lamor Foam Filled Oil Booms, solumuoviset öljypuomit
HDB	Lamor Heavy Duty Oil Booms, raskaat öljypuomit
ILB	Lamor Inflatable Light Booms, ilmatäytteiset kevyet puomit
ISO	Kansainvälinen standardisointijärjestö
LAB	Lamor Auto Booms, automaattipuomit
MAG	Metal Active Gas, metallikaarihitsaus aktiivisella kaasulla
MIG	Metal Inert Gas, metallikaarihitsaus inertillä kaasulla
PVC	Polyvinyylikloridi
SFS	Suomessa vahvistetun standardin tunnus
SYKE	Suomen ympäristökeskus

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämä diplomityö on tehty Suomen ympäristökeskuksen toimeksiannosta koskien sisävesillä ja merillä käytettävien öljyntorjuntapuomien ankkureiden uudelleensuunnittelua ja tehokasta valmistusta. Ankkureiden pääasiallisena tehtävänä on pitää puomit paikallaan öljyonnettomuuden sattuessa niin, että öljy ei pääse leviämään ympäröivään vesistöön luontoa pilaamaan. Yleensä öljyonnettomuus aiheutuu meriliikenteestä, jossa vaarana on tahattomasta tai tahallista öljypäästöstä aiheutuva öljyn leviäminen laajalle alueelle. Öljyn leviäminen ympäröivään vesistöön on tärkeä estää, koska se aiheuttaa ympäristötuhoja vesieläimille kaloille, linnuille sekä vaikeuttaa kasvien elämää. Kovin pahasti öljyyntyneet linnut eivät pääse lentämään tai sukeltamaan eikä hankkimaan ravintoaan. Vähitellen ne menehtyvät kylmään tai nälkään.

Mereen joutuneen öljyn laatu vaikuttaa merkittävästi onnettomuuden seurauksiin. Mereen joutunut raakaöljy leviää nopeasti meren pinnalla ja osa siitä haihtuu heti mereen joutumisen jälkeen kevyinä ainesosina. Tyypillisesti ensimmäisen päivän aikana haihtumisen määrä voi olla yli 30 % mereen joutuneen öljyn kokonaismäärästä. Haihtumisen lisäksi osa raakaöljystä liukenee vesimassaan. Liukenemista edesauttaa aallokko. Tyypillisesti aallokossa ensimmäisenä päivänä vesimassaan voi liueta 5...7 % raakaöljystä. Osa öljystä sekoittuu veden kanssa vesi-öljyemulsioksi. Raskas polttoöljy on kehittyneen krakkausteknologian vuoksi raakaöljyä raskaampaa ja jähmeämpää. Siitä ei meriolosuhteissa enää haihdu paljoakaan, ja se voi tiheydensä vuoksi myös painua vedenpinnan alle tai jopa meren pohjaan. Kolmas perusöljyalaatu, jota merillä kuljetetaan ja käytetään alusten polttoaineina on kevyt polttoöljy tai diesel öljy, joka haihtuu helposti, mutta on myös mereen päästyään toksista vesieliöille.

Tämä diplomityö on saanut alkunsa nykyisten öljyntorjunnassa käytettävien ankkurimallien hankalasta ja huonosta käytettävyydestä, koska nykyiset ankkurimallit ovat jäykkiä, paljon tilaa vieviä ja raskaita rakenteeltaan. Ankkurin rakenne tulisi olla sellainen, että ne vievät vähemmän tilaa ja ovat painoltaan kevyempiä kuin nykyiset ankkurimallit, jolloin niiden käyttäminen on huomattavasti helpompaa ja miellyttävämpää kuin nykyisin käytettävien ankkureiden.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on suunnitella öljyntorjuntatöissä käytettävä ankkuri valmistettavuus huomioon ottaen. Öljyntorjuntatöissä käytettävien ankkureiden massa vaihtelee 15-1000 kg:n välillä riippuen siitä käytetäänkö niitä kevyempien puomien ankkuroimiseen tai raskaiden meripuomien ankkuroimiseen. Tyypillisesti venekalustolla käytettävät ankkurit painavat noin 40 kg. Suurimmat käytettävät ankkurit ovat, joko betonisia tai teräksestä valmistettavia ja niiden käsittelyyn tarvitaan laivakalustoa ja käsittelyyn soveltuvaa nosturikalustoa. Ankkureiden tehtävänä on pitää öljyonnettomuuden sattuessa öljyntorjunnassa käytettävät puomit paikallaan, jotta öljy ei pääse leviämään vesistöissä.

Nykyään käytössä olevat ankkurimallit on aivan liikaa tilaa vieviä ja hankalia käyttää, joten tarkoituksena on kehittää vähemmän tilaa vievä ja kevyempi rakenne ankkurille. Ankkureiden konstruktio vaihtelee koon mukaan, koska paino määrittelee hyvin pitkälle rakenteen ja miten hyvin se on käytettävissä. Ankkurin rakenne tulee suunnitella sellaiseksi, että se on helppo ja miellyttävä käyttää aaltojen keikutellessa venettä. Työssä tarkastellaan uusia potentiaalisia materiaaleja ankkurille kuten alumiinia, kulutusteräksiä ja suurlujuusteräksiä.

Ankkurin rakenteen suunnittelussa tulee huomioida valmistusmenetelmät niin, että tuote on valmistettavissa tyypillisillä käytössä olevilla levytyö- ja hitsausmenetelmillä. Tuotteen valmistusmenetelmät työtä koskien rajataan niin, että ankkurin osien muotoon leikkaaminen tapahtuu termisillä- tai vesisuihkuleikkausmenetelmällä. Kappaleiden liittäminen tehdään hitsaamalla käyttämällä tyypillisiä hitsausmenetelmiä puikko- tai MIG/MAG-hitsausta, jotka soveltuvat käytettävyydeltään hyvin tähän kohteeseen.

Ankkureiden valmistus tapahtuu tällä hetkellä ELY-keskuksen johdolla alihankkijoilla ympäri Suomea, joten valmistusmenetelmien minimointi ja mahdollisimman monen valmistusmenetelmän toteuttaminen samassa yrityksessä pienentävät ankkureiden valmistuskustannuksia ja vähentävät logistiikan tarvetta. Tuotteen konstruktion tulee olla mahdollisimman valmistusystävällinen ja sovelluttava sarjavalmistukseen, joka on otettava huomioon ankkurin rakenteen suunnittelussa.

1.3 Käytettävät tutkimusmenetelmät

Tämän tutkimuksen aluksi ja projektin tavoitteiden selvittämiseksi käytettiin hyväksi nykyisin käytettäviä ankkureiden rakenteita ja aloituspalaverissa saatuja tietoja sekä keskustelujen tuloksia. Näistä saatavien tietojen avulla saatiin selville perusteet ankkurin rakenteen vaatimuksille. Tietoa materiaaleista, materiaalinvalinnasta ja suunnittelusta etsittiin alan kirjoista sekä internet-lähteistä. Ankkureihin liittyvää tietoa etsittiin merenkulkuun liittyvistä kirjoista ja internetistä. Tiedonhaussa käytettiin hyväksi Google-hakukonetta ja erityisesti Google Scholaria, joka on erikoistunut tieteellisten julkaisujen hakuun. Kirjallisten lähteiden haussa käytettiin hyväksi Lappeenrannan teknillisen yliopiston tiedekirjastoa, jossa on laaja ja hyvä valikoima tieteellisiä kirjoja sekä lehtiä. Myös kaukolainausta muista Suomen yliopistoista käytettiin hyväksi aineiston haussa, jonka avulla saatiin käyttöön laajemmin lähteitä. Keskustelut ankkureiden kanssa tekemisissä olevien henkilöiden, erityisesti Hannu Laukkasen kanssa olivat tärkeä osa tätä diplomityötä, koska niiden avulla saatiin tärkeää tietoa ankkurin suunnittelusta.

Suunnittelutyön tehtävän asetteluun, rakenteen luonnosteluun ja kehittelyyn sekä viimeistelyyn sovellettiin systemaattisen ongelman ratkaisun keinoja. Suunnittelutyön tavoitteena oli esittää systemaattisen ongelmanratkaisun mahdollisuudet rakenteen suunnittelun yhtenä työkaluna. Suunnittelutyön tuloksena syntyviä ankkurin konstruktioita vertailtiin keskenään, joista valittiin paras vaihtoehto ankkurin rakenteeksi. Lisäksi työssä suoritettiin vertailu ankkurin potentiaalisten materiaalien kesken. Ankkurin materiaaleista laadittiin vaatimusprofiili, jonka pohjalta tehtiin materiaalille ominaisuusprofiili. Materiaaleja vertailtiin keskenään ominaisuuksien ja vaatimusten yhteensovittamisella painokertoimien avulla. Näiden tietojen avulla valittiin käyttökohteeseen parhaiten soveltuva materiaali ja suoritettiin lopullinen materiaalin valinta ankkurille.

1.4 Suomen ympäristökeskus

Suomen ympäristökeskus eli SYKE tekee lain antaman valtuuden perusteella ympäristövahinkojen torjuntaa, johon tämä diplomityö liittyy. SYKE perustettiin ympäristöalan tutkimus- ja kehityskeskukseksi vuonna 1995. Suomen ympäristökeskus on tutkimus- ja asiantuntijalaitos, joka tutkii ympäristöön liittyviä ilmiöitä ja kehittää ratkaisuja muutosten hallintaan. Organisaation osaaminen perustuu pitkäaikaiseen ympäristön seurantaan, monipuoliseen tutkimustietoon ja hyvään asiantuntemukseen. SYKE on osa valtion ympäristöhallintoa ja toimii ympäristöministeriön alaisuudessa. Suomen ympäristökeskus työllistää 654 henkilöä, joista 122 oli tohtoritutkinnon suorittaneita vuoden 2009 lopussa. SYKE toimii öljyvahingon sattuessa torjuntatöiden johtajana. Ympäristövahinkopäivitys huolehtii SYKELLE kiireellisten tehtävien käynnistämisestä ja hoitamisesta.

SYKE:n uudessa 2014 strategiassa on määritelty toiminnan viisi eri painopistettä,

- Itämeri, vesistöt ja vesivarat
- Rakennettu ympäristö ja alueiden käyttö
- Ilmastopolitiikan tuki
- Kulutus ja tuotanto sekä luonnonvarojen kestävä käyttö
- Ekosysteemipalvelut ja luonnon monimuotoisuus

SYKE suorittaa laajaa tutkimusta sekä tarjoaa asiantuntijapalveluja ja ratkaisuja ympäristöongelmiin liittyen. Vuonna 2010 organisaatiota muutettiin vastaamaan paremmin ympäristönsuojelun vaativiin haasteisiin. Osaaminen keskitettiin seuraaviin teemakeskuksiin: **vesikeskus, merikeskus, luontoympäristökeskus, ympäristöpolitiikan keskus sekä kulutuksen ja tuotannon keskus** (kuva 1.).



Kuva 1. Suomen ympäristökeskuksen organisaatorakenne. (Suomen ympäristökeskus 2012)

Ilmatoon liittyviä muutuskysymyksiä käsitellään kaikkien keskusten yhteistyönä ilmastonmuutoksen strategisessa ohjelmassa. Teemakeskusten tehtävänä on vastata Suomen ympäristökeskuksessa ympäristöalan tutkimuksesta sekä oman aihepiirinsä asiantuntija-, kehittämis- ja viranomaistehtävistä. Keskusten toiminta-alueeseen kuuluvat luonnontieteellisen ja yhteiskunnallisen sekä näitä yhdistävä monitieteellinen ympäristöntutkimus ja asiantuntijapalvelut.

Suomen ympäristökeskuksen asiakkaita ja kumppaneita ovat kunnat, ministeriöt, alueellinen ympäristöhallinta, yhteisöt, yritykset ja kansalaiset. Suomen ympäristökeskus tekee yhteistyötä kansainvälisten, kansallisten yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa sekä harjoittaa kansainvälistä konsulttitoimintaa. (Suomen ympäristökeskus 2012)

1.5 ELY-keskus

ELY-keskuksen toimintaan kuuluu oleellisena osana öljyntorjunta, joten se osallistui asiantuntijaorganisaationa tämän diplomityön toteuttamiseen. ELY-keskuksen muodostavat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset, joita on yhteensä 15 ja niihin on koottu entisten TE-keskusten, alueellisten ympäristökeskusten, tiepiirien, lääninhallitusten liikenne- ja sivistysosaston sekä merenkululaitoksen tehtäviä. Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskukset perustettiin vuonna 2010. ELY-keskusten tehtäviin kuuluvat seuraavat asiat:

- yritysten neuvonta-, rahoitus- ja kehittämispalvelut, työllisyysperusteiset tuet ja työvoimakoulutus, maatalo- ja kalatalousasiat, maahanmuuttoasiat ja EU:n rakennerahastohankkeet.
- ympäristönsuojelu, alueiden käytön ja rakentamisen ohjaus, luonnonsuojelu, ympäristön tilan seuranta, vesivarojen käyttö ja hoito
- maanteiden kunnossapito, tiehankkeet, liikenteen lupa-asiat, liikenneturvallisuus, joukkoliikenne ja saaristoliikenne
- ammatillinen koulutus, kirjasto-, liikunta-, opetus- ja nuorisotoimen tehtävät.

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset kuuluvat työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalaan. Keskuksia ohjaavat työ- ja elinkeinoministeriön lisäksi ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö/Liikennevirasto, maa- ja metsätalousministeriö/Maaseutuvirasto/Elintarviketurvallisuusvirasto, opetusministeriö ja sisäasiainministeriö.

ELY-keskusten kolme vastuualuetta ovat:

- elinkeinot, työvoima, osaaminen ja kulttuuri,
- liikenne ja infrastruktuuri ja
- ympäristö ja luonnonvarat.(ELY-keskus 2012)

2 ANKKURIT

Ankkuri on väline, jolla vene, laiva, poiju, puomi tai jokin kalastusväline kiinnitetään pysyvästi tai väliaikaisesti haluttuun paikkaan. Ankkurissa on yleensä kettinki tai köysi, jonka avulla ankkuri lasketaan alas ja nostetaan ylös. Ankkureiden tehoa voidaan parantaa valitsemalla oikeanlainen pohjaköysi saaden näin lisää pitokykyä ankkurirakenteelle. Ankkurit pitävät sitä paremmin pohjassa, mitä lähempänä veto on vaakatasoa.

2.1 Tyypillisimmät ankkurirakenteet

Tukkiankkuri on perinteisen ankkurin muotoinen rakenteeltaan (kuva 2). Ankkurin rakenne on taittuva ja se voidaan varastoida litteänä, jolloin se vie tilaa vähän. Tukkiankkurin pitokyky on muita ankkurityyppejä, aura-, Danforth- ja Bruce-ankkureita, parempi vain joissakin erikoistapauksissa, joissa esimerkiksi pohjassa on levää. Hiekkapohjassa ankkuri pitää kohtalaisesti, mutta savessa sen pitokyky on huono. (Cox 1999, s. 136; Sleight; 2005, s. 279)



Kuva 2. Tukkiankkuri, jossa on kokoontaitettavat jalat. (Veneilijän verkkokauppa 2012)

Naara-ankkuri on pieni nelikynsinen ja kokoon taittuva ankkuri (kuva 3). Ainoastaan kahdella jalalla on mahdollisuus tarttua kerralla pohjaan kiinni. Naara-ankkuri toimii kohtuullisesti kaikissa pohjissa. Se toimii parhaiten rehevissä pohjissa, jolloin sen ns. siivet kaivautuvat kasvillisuuden ja juurten alle. Naara-ankkuri toimii kohtuullisen hyvin hiekka-, muta- ja kivipohjilla. Sitä käytetään etenkin jollissa ja pienissä aluksissa, koska se ei ole kovin tehokas. Joissakin tapauksissa naara-ankkuri kiinnitetään rannalle kaivamalla maahan. Se onkin hyvin käyttökelpoinen pienissä veneissä pienen tilantarpeensa ansiosta. (Cox 1999, s. 136)



Kuva 3. Nelikyntinen naara-ankkuri, jossa on taittuva rakenne. (Maritim 2012)

Danforth-ankkuria kutsutaan usein levyankkuriksi, jonka rakenteessa suuret siivet pyörähtävät varren ympäri sitä laskiessa (kuva 4). Tämä ankkurimalli pitää hyvin pehmeissä pohjissa kuten mudassa ja hiekassa terävän tunkeutumiskärjen ansiosta, mutta luistaa ruohoa kasvavilla pohjilla. Danforth-ankkurissa tärkeä tekijä on se, että ankkuri voidaan säilyttää litteänä samoin kuin tukkiankkuri. (Cox 1999, s. 136)



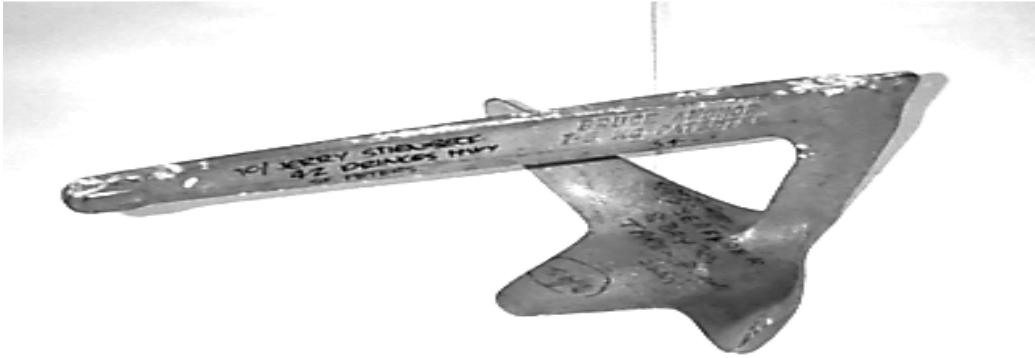
Kuva 4. Tyypillisen Danforth-ankkurin rakenne. (Maritim 2012)

Aura-ankkurissa eli **CQR:ssä** on varsin suuri kynsialue ja tämä ankkurimalli onkin matkapurjehtijoiden suosima, vaikka sitä on hankala käsitellä ja vaikea säilyttää suuren säilytystilan tarpeen vuoksi. Kuvassa 5 on esitetty aura-ankkurin rakenne. CQR-ankkurilla on legendaarinen maine ja se on moninkertainen testivoittaja eri ankkuritesteissä. CQR-ankkurit pitävät erittäin hyvin hiekka- ja savipohjissa terävän tunkeutumiskärjen ansiosta. Ne pitävät melko hyvin kaikilla pohjilla paitsi tasaisilla kivipohjilla. Usein auroissa on vankka sarana siipiosan ja varren välissä, joka auttaa ankkuria kaivautumaan syvälle pohjaan. Aura-ankkurit ovat hyviä yleisankkureita erityisesti hiekassa ja mudassa kaivautuen hyvin pehmeisiin pohjiin. (Cox 1999, s. 136; Sleight 2005, s. 279)



Kuva 5. CQR-ankkuri, jonka rakenteessa aura pyrkii estämään ankkurin liukumasta pohjaa pitkin. (Graigmarine 2012)

Bruce-ankkurin rakenne on yhtä samaa valukappaletta ja helposti tunnistettavissa kahdesta kaarevasta sarvestaan (kuva 6), joiden pääasiallisena tehtävänä on auttaa pääsiipeä kaivautumaan pohjaan. Bruce-ankkuri on suosittu ja käytetty ankkurityyppi. Bruce-ankkuri toimii kohtuullisen hyvin kivi- ja hiekkapohjilla, mutta ei rehevillä pohjilla kovinkaan hyvin huonon tukeutumisen vuoksi. Ankkurin etuna on sen nopea kaivautuminen pohjaan ja nopeasti saavutettava pitokyky. Ankkurin käsittely on miellyttävää ja nosto veneeseen helppoa, mutta sen säilyttäminen vaatii paljon tilaa pitkän varsiosan vuoksi. (Cox 1999, s. 136)



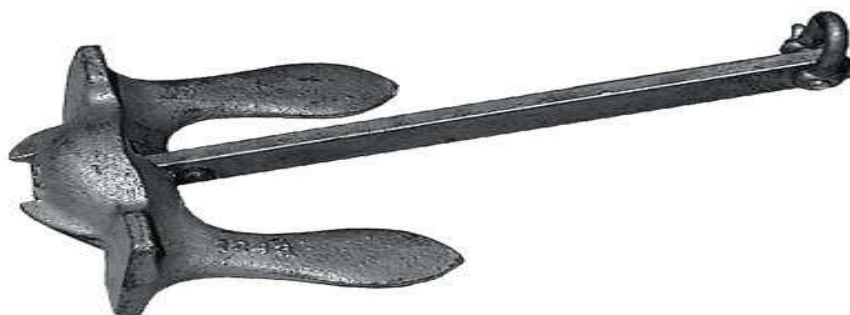
Kuva 6. Bruce-ankkurin rakenteessa on kaarevat sarvet. (Maritim 2012)

Delta-ankkuri on aura-ankkuri, mutta sen varressa ei ole liikkumista mahdollistavaa niveltä niin kuin CQR-ankkurissa. Delta-ankkurissa pitokyky on hyvä, koska painopiste on alhaalla ja se kääntyy nopeasti oikein päin alkaen heti kaivautua pohjaan. Delta-ankkurin rakenne on esitelty kuvassa 7. Lewmarin Delta on Lloyds-tyyppimerkattu ja moninkertainen testivoittaja maailmalla. Lapojen muotoilun ansiosta Delta-ankkuri on helppo irrottaa pohjasta, mikäli se on tunkeutunut syvälle pohjaan. Ankkurin käsitteleminen on näppärää, mutta se vaatii paljon tilaa. (Juuri-Oja 2007, s. 48-52)



Kuva 7. Rakenteeltaan kiinteä Delta-ankkuri. (Marinewarehouse 2012)

Patentti-ankkuri laskeutuu pohjaan hyvään asentoon, minkä ansiosta edellytykset hyvään pitokykyyn ovat olemassa. Patentti-ankkurin rakenne on esitelty kuvassa 8. Lapojen pyöreät kärjet eivät tunkeudu hyvin savi- ja hiekkapohjiin, minkä johdosta ankkurin pitokyky on varsin huono. Ankkuri on mitoiltaan varsin pieni, jonka ansiosta sitä on helppo ja miellyttävä käsitellä. (Juuri-Oja 2007, s. 48-52)



Kuva 8. Pyöreillä kärjillä varustettu patentti-ankkuri. (Maritim 2012)

Engbo-ankkurista on olemassa kahta eri mallia. Lättymäisessä Engbo-ankkurissa on ruokalautasta muistuttava osa hitsattu varren päähän kiinni (kuva 9). Ankkuri on pudotuksen jälkeen heti pohjassa pystyasennossa. Lätyn pyöreä reuna raapii pohjaa, kun veto alkaa. Lättymäisen ankkurin nostaminen veneeseen käy helposti. Toinen variaatio Engbo-ankkurista on esitelty kuvassa 10, joka muistuttaa rakenteeltaan paljon Danforth-ankkuria. Tämän ankkurin pitokyky savi- ja hiekkapohjissa on kohtalainen verrattuna muihin ankkurimalleihin ja sen käsittely on käytön aikana helppoa sekä miellyttävää. (Juuri-Oja 2007, s. 48-52)



Kuva 9 ja 10. Vasemmalla olevassa kuvassa on lättymäinen Engbo-ankkuri ja oikeanpuoleisessa kuvassa toinen variaatio Engbo-ankkurista. (Engbo Anker 2012)

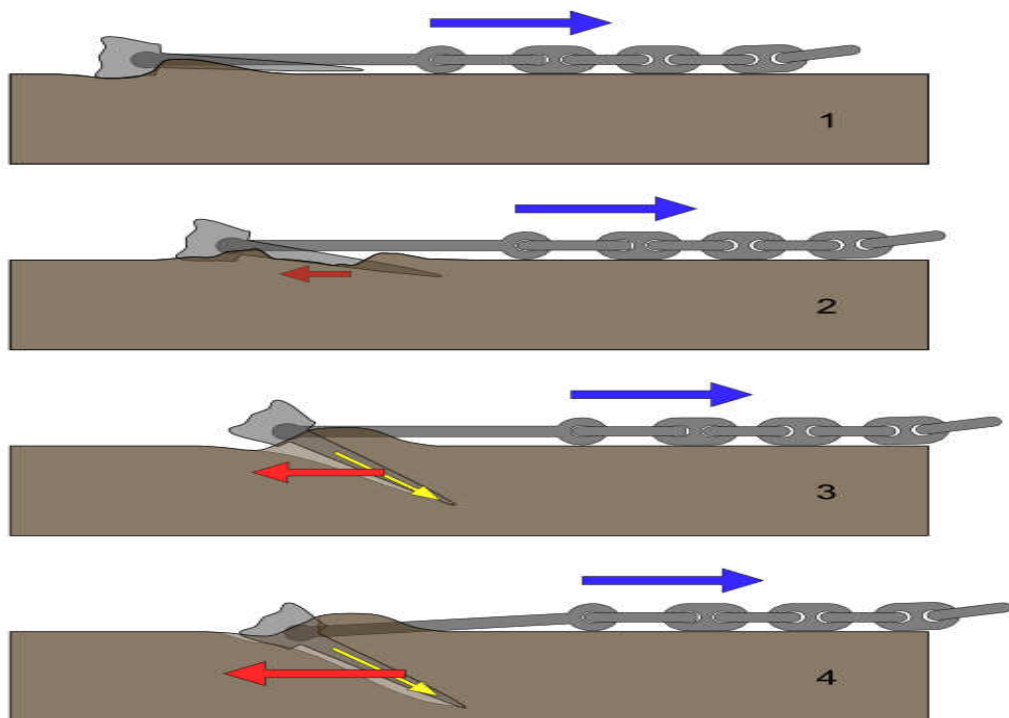
Suomalaiset Cobra-ankkurit (kuva 11) muistuttavat paljon Danforth-ankkureita rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan, mutta poikkeavat niistä muotoilultaan ja materiaaliltaan melkoisesti. Haponkestävästä teräksestä ja alumiinipronssista valmistettu Cobra-ankkuri on helppo irrottaa pohjasta. Patentoitu liukukappale mahdollistaa sen, että vetopiste ei voi siirtyä ankkurin tyveen vahingossa. Järjestely helpottaa hyvin kiinnittyneen ankkurin saantia irti pohjasta. Jäykistävän muotoilun ansiosta lavoista on tehty huomattavasti kevyemmät, mikä parantaa ankkurin tehopainosuhdetta. (Cobra 2012)



Kuva 11. Cobra-ankkuri telineessä kuvassa vasemmalla. (Cobra 2012)

2.2 Ankkurin tunkeutumistapahtuma

Ankkurin ollessa pohjassa sen kourassa oleva tunkeutumiskärki kääntyy vetosuunnasta riippuen jommallekummalle puolelle. Ankkurin kallistuessa koura kiinnittää sen pohjaa vasten ja veto upottaa kärjen pohjaan. Pohjaan uppoaminen riippuu käytettävästä ankkurimallista ja pohjan laadusta. Ankkurin tunkeutumistapahtuma vaiheittain pohjaan on esitelty kuvassa 12.



Kuva 12. Ankkurin tunkeutumistapahtuma pohjaan. (Wikipedia 2012)

2.3 Ankkureiden pitokyky eri pohjalaaduissa

Eri ankkurimallien pitokyky vaihtelee hyvin paljon erilaisissa pohjaolosuhteissa, koska teräväkärkiset tunkeutuvat hyvin pehmeisiin pohjiin mahdollistaen hyvän pitokyvyn, mutta teräväkärkisten ankkurien pitävyys kovissa kivipohjissa ei ole läheskään samanveroinen kuin pehmeissä pohjissa. Ankkurin pitoon voidaan vaikuttaa painolla ja muodolla merkittävästi, johon ankkurin konstruktion suunnittelulla pystytään vaikuttamaan eniten. Perinteisen tukkiankkurin on korvannut Bruce-, Danforth- ja aura-ankkurit veneiden pääankkurina, koska ne tarjoavat paremman pidon painoon nähden. Ankkurin pitokyky on kuitenkin suuresti riippuvainen pohjan rakenteista ja muodoista.

Pieni ja kevytrakenteinen ankkuri pitää hyvin ihanneolosuhteissa, mutta on varmaa, että se luistaa pehmeässä pohjassa ja vastaavasti kovassa pohjassa ankkuri ei pureudu siihen. Tällöin ankkurilta vaaditaan painoa enemmän kuin kykyä pureutua pohjaan luiston estämiseksi. Parhaiten ankkurit pitävät kovassa mudassa, savessa tai hiekassa ja huonoiten pehmeässä mudassa, sorassa tai kivikossa. Ankkurin antama pitokyky on myös epäluotettava ruoho- ja kalliopohjassa. (Pearson 2011, s. 152; Juuri-Oja 2007, s. 44-53)

2.4 Eri ankkureiden pitävyys hiekka- ja savipohjassa CASE 1: VENELEHTI

Venelehti testasi Danforth-, CQR-, Bruce-, Delta-, Engbo-, tukki-, patentti-, naara- ja Engbo(lätty) ankkureita hiekka- ja savipohjassa. Testissä jokainen 10 kg:n ankkuri laskettiin veteen vähintään neljä kertaa ja jokaisen ankkurin pudotuksen onnistuminen varmistettiin sukeltajan avulla. Kalibroitu vetovaaka yhdistettiin kolmen tonnin taljaan, joka oli kiinni laiturissa. Vinssaus tehtiin käsin, jolloin vetolujuuslukemia voitiin seurata digitaalisesta näytöstä. Ankkurit laskettiin ensin hiekkapohjaan suoraan vetoon, jonka jälkeen vetokulmaa muutettiin 90 astetta.

Ankkureiden erilaisia testejä on tehty USA:ssa, Suomessa ja muuallakin maailmassa, mutta testien tulokset ovat olleet hyvin samankaltaisia teräväkärkisten pärjätessä parhaiten. Testin selvä voittaja oli CQR-ankkuri, jonka pitokyky hiekka- ja savipohjassa oli erinomainen – hiekalla testin paras. Hiekalla ankkuri irtosi 520 kg:n vedossa, jonka jälkeen se raahautui köyden perässä 380 kg:n jatkuvassa vedossa. Testin toinen menestyjä oli Lewmarin Delta, joka irtosi hiekalla 165 kg:n ja savessa 120 kg:n vedossa. Deltan käyttäytyminen pohjassa oli pettymys, sillä niin vakuuttava maine ankkurilla on maailmalla. Delta-ankkuri irtosi hiekalla 165 kg:n ja savessa 125 kg:n vedossa. Bruce-ankkureita ei ole enää myynnissä, koska niiden valmistus on keskeytetty toistaiseksi, joten testissä käytettiin kopiota Bruce-ankkurista. Bruce kesti hiekalla 20 kg:n ja savessa 130 kg:n vetoa, jonka jälkeen se aurasi köyden perässä vajaan 100 kg:n pidolla.

Danforth-ankkuri tarrasi testissä saveen tiukasti kiinni ja irtosi savesta vasta 330 kg:n vedon jälkeen, mutta ei tarttunut enää tämän jälkeen uudestaan pohjaan kiinni. Engbon lätty-ankkuri hyppi koko ajan köyden perässä pohjan laadusta huolimatta noin 30 kg:n vedolla, joka testissä havaittiin seuraamalla ankkurin liikkeitä veden alla. Toinen Engbo kesti 70 kg:n vetoa savi- ja hiekkapohjassa ennen irtoamistaan pohjasta. Patentti-ankkuri oli ylivoimaisesti testin heikoin, koska pyöreät kärjet eivät tunkeutuneet pohjaan kiinni. Naara- ja tukki-ankkurit pärjäsivät testissä huonosti. Testin tulokset on esitelty tarkemmin seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 1. (Juuri-Oja 2007, s. 49)

Taulukko 1. Eri ankkurityyppien pitävyys hiekka- ja savipohjissa. (Juuri-Oja 2007, s. 49)

Ankkuri	Hiekkapohja (suora veto, kg)		Savipohja (suora veto, kg)	
	irti	sitten	irti	sitten
CQR	520	380	330	35
Bruce	120	80-100	130	65-100
Tukki	75		55	25-30
Danforth	55	35	330	35
Naara	20-25		35-40	
Delta	165	120	120	100-105
Patentti	25		10	
Engbo(lätty)	15-30		15-25	
Engbo	75	25	70	45-55

2.5 Ankkurin mitoitus ja vaikuttavat voimat

Ankkurin mitoittaminen ei ole mikään yksiselitteinen vaihe, koska ankkurin pitokyky vaihtelee paljon eri pohjalaaduissa. Ankkurin rakenteella on suuri vaikutus sen pitävyyteen eri pohjissa, koska rakenteen muotoilulla pystytään vaikuttamaan siihen, miten hyvin ankkuri tunkeutuu pohjaan pitääkseen puomin paikallaan. Myös ankkurin painolla on suuri merkitys siihen kuinka hyvin se pureutuu pohjaan ja pysyy paikallaan pohjassa, mutta hyvän muotoilun avulla pyritään korvaamaan ankkurin painoa. Tärkeä asia on se, että ankkurin paino on riittävä ankkuroitavan kohteen kokoon ja sääolosuhteisiin nähden.

Tuulella on suuri merkitys ankkurin vedonkeston tarpeeseen, joten puomin iso tuuli pinta-ala vaatii ankkurilta lisätehoa. Tuulikuorma F_w (kg), joka muodostuu puomituksen poikkisuuntaan puomin vedenpinnan yläpuolella olevaan pystypintaan A_f (m^2) kohtisuorasti vaikuttavasta tuulesta V_w (solmua) voidaan laskea seuraavan kaavan (1) avulla:

$$F_w \text{ (kg)} = 26 \times A_f \text{ (m}^2\text{)} \times [V_w \text{ (solmua)} / 40]^2 \quad (1)$$

jossa F_w (kg) on tuulikuorma puomituksen poikkisuuntaan

A_f (m^2) on puomin vedenpinnan yläpuolisen osan pinta-ala

V_w (solmua) on tuulen nopeus

Esim. 100 metrin pituiseen puomiin, jossa veden päällisen osan korkeus on 0,5 m, aiheutuu tuulikuorma F_w (kg) poikittaisessa 20 solmun tuulessa:

$$F_w = 26 \times (0,5 \times 100) \times (20/40)^2 = 325 \text{ kg}$$

Ankkureiden määrän tarve riippuu tuulen aiheuttamasta kuormituksesta ja puomitukseen kohdistuvasta kuormituksesta, joiden arvioimiseen voidaan käyttää kokeellisia kaavoja. Virtauskuorma F_c (kg) muodostuu puomituksen poikkisuuntaan puomin vedenalaiseen pystypintaan A_s (m^2) kohtisuorasti vaikuttavasta virtauksesta V_c (solmua), jota voidaan arvioida kaavalla (2):

$$F_c \text{ (kg)} = 26 \times A_s \text{ (m}^2\text{)} \times [v_c \text{ (solmua)}]^2 \quad (2)$$

Esim. 100 metrin pituiseen puomiin, jonka vedenalaisen osan korkeus on 0,6 m, on 0,3 solmun virrassa aiheutuva virtauskuorma:

$$F_c = 26 \times (0,6 \times 100) \times (0,3)^2 = 140,4 \text{ kg}$$

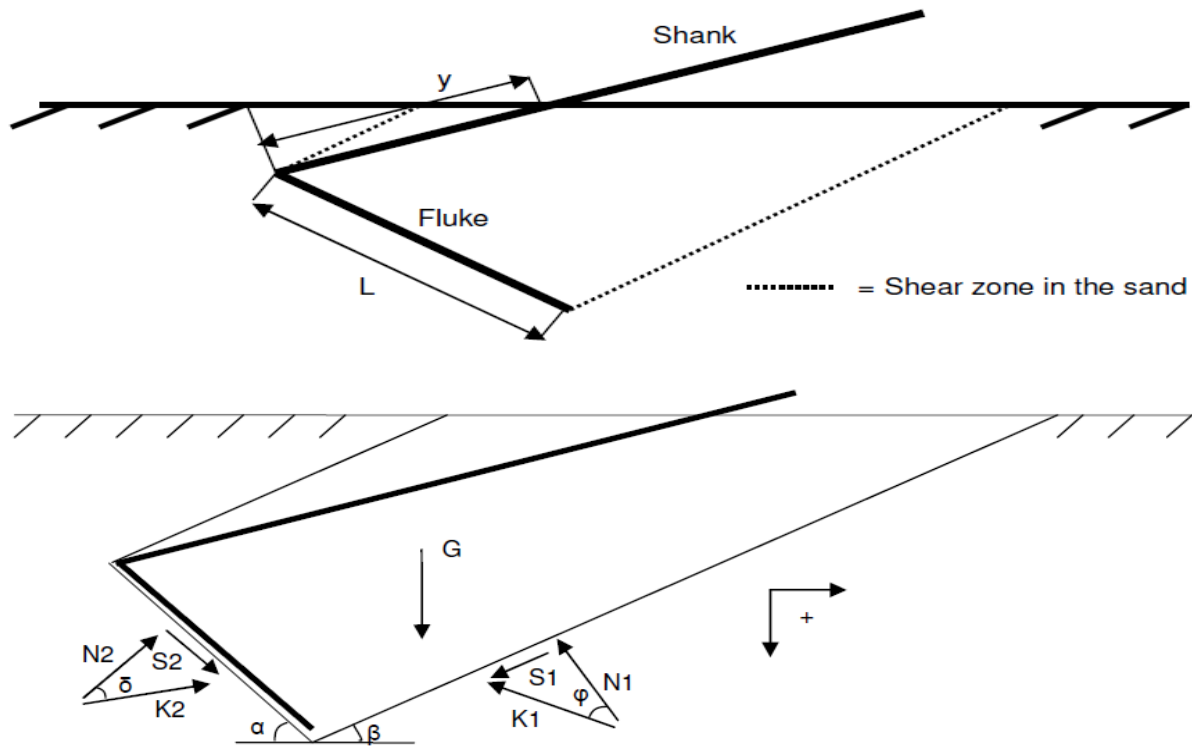
Tuulen ja virran aiheuttama yhteenlaskettu kuorma olisi 465,4 kg, jos virta ja tuuli vaikuttavat samaan suuntaan kohtisuorasti ja puomi olisi jäykkä rakenne. Kuitenkin todellisuudessa puomi on taipuisa ja muodostaa kaarevan pussin. Puomia ei pitäisi koskaan ankkuroida suoraan virtauksen poikki, vaan viistoon virran mukaan. Edellä olevat kaavat antavat varmuudella riittävän suuruusluokan arvion puomitukseen muodostuvasta kuormituksesta, josta on hyötyä valittaessa ja tehtäessä ankkurointia. (Keränen 1993, s. 17-18)

Danforth-ankkurin pitoarvoja eri pohjalaaduissa (taulukko 2) verrataan venelehden tekemän testin pitoarvoihin. Ainoastaan CQR eli aura-ankkurin pitoarvot olivat paremmat kuin danforth-ankkurin pitoarvot, sillä 10 kg:n CQR piti hiekalla 520 kg:n ja savella 330 kg:n kuormituksella. Huomioitavaa on, että taulukon 2 pitoarvot on testattu 15, 25 ja 35 kg:n ankkureille. Aura- ja danforth-ankkurissa on terävät tunkeutumisosat, jotka mahdollistavat tunkeutumisen syvälle pohjaan. Danforth-ankkurin rakenteessa on kaksi tunkeutumiskärkeä ja CQR:ssä ainoastaan yksi tunkeutumiskärki.

Taulukko 2. Danforth-ankkurin pitoarvoja eri pohjalaaduille. (Keränen 1993, s. 18)

Ankkuripaino (kg)	Kuormituksen pito (kg)		
	Muta	Hiekka	Savi
15	200	250	300
25	350	400	500
35	600	700	700

Ankkuriin kohdistuu useita voimia sen tunkeutuessa maahan, jotka on tärkeää tuntea suunnittelun ja tunkeutumisen ymmärtämisen kannalta. Ankkurin kynsiin ja varteen kohdistuu voimia, joita on esitelty kuvassa 13.



Kuva 13. Ankkurin varteen ja kynsiin kohdistuvat voimat tunkeutumistapahtumassa. (Van der Hatert. et al. 2005, s. 11)

Ankkurin normaalivoima saadaan kaavalla (3):

$$S_1 = N_1 \tan \varphi \quad S_2 = N_2 \tan \delta \quad (3)$$

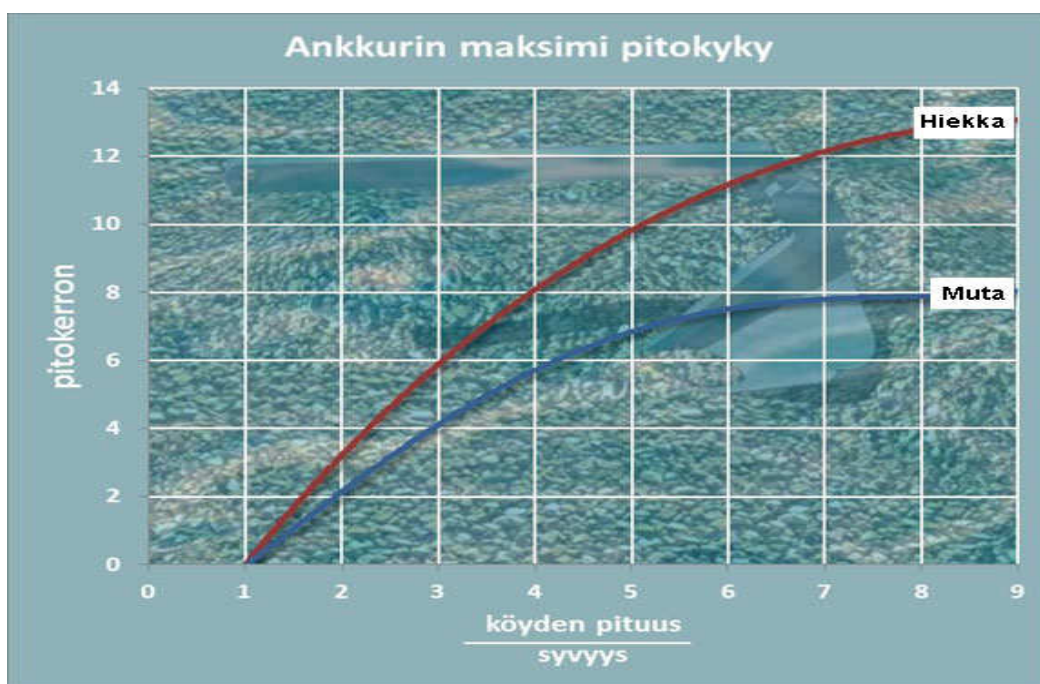
joissa φ on hiekan sisäinen kitkakulma

δ on hiekan ulkoinen kitkakulma (Van der Hatert. et al. 2005, s. 7)

Ankkurin köyden pituuden määrittäminen

Ankkurin pitävyyteen vaikuttavat ankkuriköyden ja kettingin pituudet. Liian lyhyt ankkuriköysi nostaa ankkuria irti pohjasta puomin heilussa aallokossa. Ankkurin pysymistä pohjaan kaivautuneena voidaan parantaa käyttämällä riittävän pitkää ja painavaa kettinkiä ankkurin ja ankkuriköyden välissä. Ankkurin köyden pitäisi olla ruostumatonta terästä tai sinkittyä, jotta se ei ruostuisi käytön aikana. Mitä pidempi köysi on, sitä loivempi tulisi olla ankkurin ja aluksen välisen kulman. Loivalla kulmalla saadaan aikaan paras pito, mutta aina ei ole mahdollista käyttää hyväksi koko ankkuriköyden pituutta ankkuroinnissa.

Kuvassa 14 olevasta käyrästä nähdään sopiva köyden pituus suhteessa veden syvyyteen. Pitokerroin kertoo, kuinka suuri vetovoima tarvitaan ankkurin pettämiseen suhteessa ankkurin painoon. Esim. pitokerroin 10 tarkoittaa 200 kg:n vetovoimaa 20 kg:n ankkuria käytettäessä. Ankkurin köyden pituuden tulisi olla noin 5-7 kertaa veden syvyys. Mitä kauempänä ankkuri on veneestä, sen parempi on sen pitävyys. (Naantalin meripelastajat 2012)



Kuva 14. Ankkurin köyden sopiva pituus suhteessa veden syvyyteen.(Naantalin meripelastajat 2012)

Lujuusvaatimukset köydelle

Ankkurin köyteen vaikuttavat suuret rasitukset, joten köyden on oltava riittävän kestävä kestääkseen kuormituksen. Standardissa SFS-EN ISO 15084 Veneet. Ankkurointi, kiinnitys ja hinaus. määritetään kiinnityskohdalle ankkurin köyteen vaikuttava kuormitus P laskukaavan avulla:

Eteenpäin olevan kiinnityksen kuormitus on

$$P_2=f(3,5L_c-4,3), \quad (4)$$

Taaksepäin olevan kiinnityksen kuormitus on

$$P_3=f(3,0L_c-3,8), \quad (5)$$

joissa f on 1,0 (suunniteltu luokka A ja B)

on 0,9 (suunniteltu luokka C)

on 0,75 (suunniteltu luokka D)

L_C on laskennallinen pituus:

$$L_C=(L_H+L_{WL})/2 \quad (6)$$

jossa L_{wl} = pituus vesilinjan mukaan

L_H = rungon pituus

2.6 Nykyisin öljyntorjunnassa käytettävät ankkurit

Tällä hetkellä öljyntorjunnassa käytetään pääasiassa kahta eri kokoluokan ankkuria. Pienempiä ankkureita käytetään sisävesillä ja rannikoilla/merialueilla suurempia, n. 1000 kg:a painavaa ankkuria. Sisävesillä käytetään pääasiassa ns. rengasankkuri (kuva 15) ja Danforth-ankkuri (kuva 16). Rengasankkuri on pyöreä ja keskeltä avonainen, johon on hitsattu neljä metallipalaa estämään ankkurin liukumista pohjassa. Rengasankkuri on paljon tilaa vievä ja sen vuoksi hankala käyttää. Rengasankkuri toimii lähes yhtä hyvin kaikissa pohjissa esim. muta- ja savipohjissa, koska rengasankkuri ei tunkeudu syvälle pohjaan. Rengasankkurin pysyminen pohjassa paikallaan perustuu suureen pinta-alaan pohjassa. Kuvan 15 rengasankkurin paino on 17,7 kg.



Kuva 15. Rengasankkuri, jossa hitsatut metallipalat pyrkivät estämään ankkurin liukumista pohjassa. (Lappeenrannan kanavansuu 2012)

Danforth-ankkuri pitää hyvin erityisesti pehmeissä pohjissa kuten mudassa ja hiekassa kärjen tunkeutuessa pehmeään pohjaan. Kuvan 16 Danforth-ankkurin massa on 33,6 kg. Danforth-ankkureiden etuna on pieni tilantarve, sillä niitä voidaan säilyttää litteänä taittuvien siipiensä ansiosta. Danforth-ankkuri on valmistettu rakenneteräksestä, joka on paremman korroosiokestävyyden saavuttamiseksi kuumasinkitty pinnalta.



Kuva 16. Danforth-ankkurissa siivet pyörähtävät varressa ympäri. (Lappeenrannan kanavansuu 2012)

Rannikoilla ja merialueilla käytettävät ankkurit ovat kooltaan ja massaltaan huomattavasti suurempia kuin sisävesillä käytettävät ankkurit, sillä merialueilla käytettävien ankkureiden massa on jopa 1000 kg:a (kuvat 17 ja 18). Suurien ankkureiden rakenteessa on kaksi taittuvaa siipeä, jotka asettuvat pohjan muotoja mukailleen paikalleen pohjaan. Näitä ankkureita käytetään 1,5-2 m korkeissa meripuomeissa ja niiden suurena ongelmana on niiden huono käytettävyys, suuri tilantarve sekä massaltaan painava rakenne. Suurien ankkureiden pitokyky erilaisissa pohjalaaduissa on hyvin samanlainen, koska rakenne ei tunkeudu syvälle pohjaan, vaan suuri massa ja taittavat siivet pyrkivät pitämään ankkurin paikallaan pohjassa kiinni.



Kuva 17. Raskaissa meripuomeissa käytettävä ankkuri, johon on hitsattu levy päähän kiinnestämään ankkurin laahautumista pohjassa. (Suomen ympäristökeskus 2012)



Kuva 18. Meripuomiankkureita telineissä odottamassa käyttöä. (Suomen ympäristökeskus 2012)

2.7 Ankkurin tuotevaatimukset

Ennen suunnittelutyön ja materiaalivalinnan aloittamista on selvitettävä ankkurille asetettavat tuotevaatimukset. Ankkurin tuotevaatimukset jaetaan kolmeen eri ryhmään: Rakenteelliset ja käyttöympäristö vaatimukset sekä yleiset vaatimukset.

Rakenteelliset vaatimukset

- a. Paino
- b. Koko ja muoto
- c. Tunkeutumiskulma
- d. Painopiste
- e. Materiaali

Käyttöympäristöstä aiheutuvat vaatimukset

- a. Kosteus
- b. Korroosio
- c. Eroosio
- d. Kuluminen

Yleiset vaatimukset

- a. Hinta
- b. Valmistettavuus
- c. Kierrätettävyys
- d. Elinikä
- e. Tuotantomäärä

Rakenteelliset vaatimukset

a. Paino

Ankkurin painon tulisi olla mahdollisimman alhainen, jotta ankkurin käsittely olisi turvallista ja mielekästä keikkuvassa veneessä. Tavoitteena on korvata ankkurin painoa muotoilun avulla, koska rakenteen oikealla muotoilulla voidaan pienentää merkittävästi ankkurin painoa. Myös oikealla materiaalinvalinnalla voidaan rakenteen painoa pienentää, kuitenkin tinkimättä materiaalin ominaisuuksista. Ankkurin painon on oltava kuitenkin riittävä, koska sen avulla voidaan parantaa ankkurin tunkeutumista pohjaan ja parantaa sen pitokykyä.

b. Koko ja muoto

Ankkurin koolla ja muodolla on suuri merkitys ankkurin pitokykyyn, koska oikealla muotoilulla voidaan parantaa ankkurin tunkeutumiskykyä eri pohjalaatuihin. Ankkurin rakenteen muotoilussa tulisi käyttää mahdollisimman paljon pyöreitä muotoja hyvän työturvallisuuden vuoksi. Ainoastaan tunkeutumiskulmassa tulee käyttää teräviä kulmia, jotta ankkurilla saavutetaan hyvä tunkeutuminen pohjaan.

c. Tunkeutumiskulma

Tunkeutumiskulma kertoo sen kulman, jossa ankkuri alkaa tunkeutumaan pohjaan. Tunkeutumiskulma on erittäin tärkeä tekijä ankkurin suunnittelussa, koska tunkeutumiskulma määrää pitkälle sen miten hyvin ja syvälle ankkuri tunkeutuu eri pohjalaaduissa. Optimaalinen tunkeutumiskulma on ankkurin suunnittelijoiden tutkimusten mukaan noin 50 astetta, jossa saavutettu tunkeutumiskyky pohjaan on parhaimmillaan. (Laukkanen 2012)

d. Painopiste

Painopisteellä on suuri merkitys ankkurin tunkeutumiskykyyn, koska se määrittää pitkälle ankkurin tunkeutumisasennon pohjaan ja vaikuttaa näin tunkeutumiskykyyn. Painopisteen paikka vaikuttaa siihen, missä asennossa ankkuri laskeutuu pohjaan.

e. Materiaali

Ankkurin materiaalinvalinnalla on suuri merkitys, koska se määrittelee pitkälle ankkurin painon ja kestävyuden vaativissa meri/järviolosuhteissa. Materiaalilta vaaditaan hyvää kulumiskestävyyttä, koska ankkuri saattaa laahata pitkiäkin matkoja kovissa kivipohjissa. Valitun materiaalin korroosionkesto- ja kosteudenkestokyky tulee olla hyviä haastavissa meri/järviolosuhteissa. Materiaalivalinnalla pystytään vaikuttamaan ankkurin kokonaiskustannuksiin ja käyttöikään.

Käyttöympäristöstä aiheutuvat vaatimukset

a. Kosteus

Kosteus asettaa ankkurille vaatimuksia, koska ankkureiden pinnat ovat kosteita käytön jälkeen. Tämän vuoksi ankkurin oikealla varastoinnilla voidaan nopeuttaa ankkurin pinnan kuivumista ja vähentää ankkurin altistumista kosteudelle varastoimalla ne kuivissa olosuhteissa.

b. Korroosio

Ankkuri altistuu käytön aikana korroosiolle, joten materiaalilta vaaditaan hyvää korroosionsietokykyä. Ankkurin korroosionsietokykyä voidaan parantaa pinnoituksella, maalaamalla tai sinkitsemällä materiaalin pinta.

c. Eroosio

Dynaamisessa tapahtumassa oleva leikkaus ja hankaus aiheuttavat eroosiota maamassan ja ankkurin teräslevyn välillä. Eroosiota ankkurin materiaalin pinnassa aiheuttaa myös virtaava vesi, joka heikentää materiaalin pinnan ominaisuuksia.

d. Kuluminen

Ankkurilta vaaditaan hyvää kulumiskestävyyttä, koska se saattaa raahautua kivisessä pohjassa pitkiäkin matkoja joutuen alttiiksi hankaavalle kulutukselle. Ankkurin kulumiskestävyys on otettava huomioon materiaalinvalinnassa valitsemalla materiaali, jolla on riittävän hyvä kulumiskestävyys.

Yleiset vaatimukset

a. Hinta

Ankkurin raaka-aine ja valmistuskustannukset määräävät tuotteen lopullisen hinnan. Ankkurin hinnan tulisi olla mahdollisimman alhainen, koska se määrittää sen onko tuotetta ylipäättään järkevä valmistaa. Ankkurin kokonaiskustannuksia tulisikin pienentää edullisilla raaka-aine valinnoilla, kuitenkin ankkurille tärkeistä materiaalin ominaisuuksista tinkimättä.

b. Valmistettavuus

Valmistettavuus on tärkeä ominaisuus, jonka ansiosta tuotteen valmistaminen on toteutettavissa tavoitteiden mukaisesti esim. tasalaatuisesti ja tehokkaasti. Muodostuvat valmistuskustannukset määrittelevät sen, onko ankkuria järkevä valmistaa. Valmistettavuus on tuotannon sujuvuuden ja kannattavuuden avainsana.

c. Kierrätettävyys

Ankkureita joudutaan uusimaan tietyin väliajoin riippuen niiden käyttömäärästä ja käyttöajasta. Sen vuoksi ankkurin tulisi olla valmistettu kierrätettävästä materiaalista tuoden näin lisäarvoa tuotteelle.

d. Elinikä

Ankkurin elinikä tulisi olla mahdollisimman pitkä, johon voidaan vaikuttaa käyttämällä kulumista ja korroosiota kestäviä materiaaleja, pinnoituksen avulla sekä ankkureiden oikeanlaisella käytöllä elinkaaren aikana. Ankkurin eliniän pituuteen vaikuttavat pitkälti sen käyttömäärät ja käyttöolosuhteet.

e. Tuotantomäärä

Ankkurien valmistusmäärät voivat olla hyvin suuria, koska puomituksessa tarvitaan useita ankkureita. Lisäksi ankkureita tulee olla hyvin monella paikkakunnalla Suomessa, koska valmius öljyntorjuntaan koko Suomen alueella on oltava olemassa. Tuotantomäärien ollessa suuria ankkurin valmistuskustannukset tulee olla mahdollisimman alhaiset ja mahdollisuus sarjavalmistukseen oltava olemassa. Ankkurin rakenteen tulisi olla mahdollisimman valmistusystävällinen, jotta valmistuksen toistettavuus olisi mahdollisimman hyvä.

2.8 Sakkeli

Ankkurin kiinnittäminen kettinkiin tapahtuu yleensä sakkelin avulla (kuva 19). Sakkelin lukitus tapahtuu ruuvitapin avulla. D-sakkelit valmistetaan yleensä haponkestävästä tai ruostumattomasta teräksestä, jotta ne kestävät kosteissa olosuhteissa. Sakkelia voidaan käyttää myös ankkurikettingin liittämiseen pätkistä yhteen. Jos D-sakkelia käytetään ankkuripätkien liittämiseksi toisiinsa, on katsottava, että pyöristetty kruunuosa osoittaa keulaa kohti. Jos sakkelin asentaa väärin, saattaa seurauksena olla ankkurikettingin sekaantuminen.



Kuva 19. Tavanomainen sakkeli. (Motonet 2012)

2.9 Öljyntorjunnassa käytettävät puomit

Öljyntorjunnassa käytettävät puomit vaihtelevat käyttökohteen mukaan. HDB-järjestelmän raskaita öljypuomia on saatavilla erikokoisina, jolloin puomin korkeus voi vaihdella 900-2000 mm:n välillä ja pituus 50 tai 100 m:n osiina (kuva 20). HDB-öljypuomit valmistetaan vulkanoidusta kumihitsatuista osista. Pinnoitetun synteettisen ulkokerroksen ansiosta puomit kestävät hyvin öljyn ja ultraviolettisäteilyn syövyttävää vaikutusta. HDB-järjestelmän öljypuomit on suunniteltu pääasiassa avomeren vaativiin olosuhteisiin.



Kuva 20. Öljyntorjunnassa käytettäviä HDB-järjestelmän öljypuomeja.(Lamor 2012)

ILB-järjestelmän puomeissa käytetään PVC-muovilla päällystettyä kudottua 1100 dtex-polyesteriä, joka kestää auringonvalon ja öljyn vaikutuksia. Tätä puomityyppiä on saatavilla 500-1200 mm:n korkuisina, jolloin puominosan pituus on yleensä 25 m:ä. Jokaisessa osassa on neljä ilmakammiota ja neljä korkealaatuista ilmaventtiiliä. Puomin helmaan liitetyn sinkityn ketjun tarkoituksena on toimia painolastina puomissa. Puomin suurena etuna on sen helppo puhdistettavuus käytön jälkeen.

FOB-järjestelmän puomit ovat kevyitä, kestäviä, nopeita ottaa käyttöön ja helposti käsiteltäviä, minkä vuoksi niitä käytetään nopeaan ja luotettavaan öljyvahingon torjumiseen. FOB soveltuu käytettäväksi erityisesti hätätilanteissa tai pysyvään käyttöön öljysatamissa. Puomin jokaisessa osiossa on heijastimia ja sisäänrakennettu häirintäsilpun annostin tutkanilmaisinta varten. Kelluvaksi puomin tekee sitkeä umpisolumuovi ja helmassa sijaitseva painolastiketju.

Lamorin kiinteä kelluntapuomi valmistetaan PVC-kankaasta, jossa on sisällä kelluntavaahto, painolastiketju ja liittimet. Puomi on kestävästä materiaaleista valmistettu kevyt puomi, joka on helppo levittää. LAB-automaattipuomin rakenne on ainutlaatuinen, minkä ansiosta puomia mahtuu kelalle jopa 600 m. Puomia purettaessa kelalta se täyttyy automaattisesti ilmalla puomin päähän kiinnitetystä ilmanlähteestä. Kun puomia täytetään, patentoitu sisäinen rakenne erottaa automaattisesti kelluntakammiot toisistaan. Jos yksi kelluntakammio vaurioituisi tai tyhjenisi, se ei vaikuta viereisiin kammioihin, koska puomin täytyessä patentoitu sisäinen rakenne erottaa automaattisesti kelluntakammiot toisistaan. (Lamor 2012)

3 ANKKURIN MATERIAALIT

3.1 Seostamattomat rakenneteräkset

Seostamattomien rakenneterästen tärkeimmät ominaisuudet ovat hyvä sitkeys ja lujuus sekä hitsattavuus. Rakenneteräkset ovat käytetyin yksittäinen materiaalityyppi teollisuudessa, koska niiden hinta/laatu- suhde on varsin hyvä. Rakenneteräkset ovat niukasti seostettuja tai seostamattomia teräksiä, joiden hiilipitoisuus vaihtelee välillä 0,12-0,24 %. Muita rakenneterästen seosaineita ovat mm. mangaani, pii, fosfori, rikki ja typpi (taulukko 3).

Taulukko 3. Seostamattomien rakenneterästen kemiallinen koostumus. (SFS-EN 10025)

Teräslaji	C (%) (>16≤40 mm) max	Si (%) max	Mn (%) max
S235jr	0,17	-	1,4
S235J0	0,17	-	1,4
S235J2	0,17	-	1,4
S275JR	0,21	-	1,5
S275J0	0,18	-	1,5
S275J2	0,18	-	1,5
S355JR	0,24	0,55	1,6
S355J0	0,2	0,55	1,6
S355J2	0,2	0,55	1,6
S355K2	0,2	0,55	1,6

Seostamattomien rakenneterästen myötöraja vaihtelee välillä 185..360 MPa ja murtolujuus välillä 310...690 MPa. Yleisimmin koneenrakennuksessa käytettävän seostamattoman rakenneteräksen myötöraja on 235 tai 355 MPa. Rakenneterästen käyttökohteita löytyy kaikkialta ympäristöstämme mm. siltojen ja rakennusten runkorakenteista. Muita tyypillisiä rakenneterästen käyttökohteita konepajateollisuudessa ovat koneiden rungot, säiliöt, kotelot, laivat ja muut liikennevälineet. Seostamattomien rakenneterästen valinta tapahtuu ensisijaisesti iskutheyden ja lujuuden perusteella. Rakenneterästen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat valitun kohteen käyttöolosuhteet, materiaalin ainepaksuus, teräksen hinta, valmistuksen laatutaso, valmistusmenetelmät, rakenteen muotoilu ja kuormitustaso. (Eklund & Laakso 2001, s. 14-16)

3.2 Kulutusteräket

Kulutusteräket ovat kromi- ja booriseosteisia vähähiilisiä teräksiä, jotka levyksi valssattuina karkaistaan vesisuihkulla valssilaitoksen tuotantolinjalla. Kulutusterästen tuotenimiä markkinoilla ovat SSAB Oxelösundin HARDOX-, Dillingerin DILLIDUR- ja Rautaruukin valmistamat Raex-teräket. Rautaruukin valmistamia kulutusteräksiä on saatavilla neljää eri teräslajia: Raex 300, 400, 450 ja 500, jossa numeroluku kuvaa materiaalin kovuutta HBW-yksikkönä. Kulutusteräket ovat karkaistuja, minkä vuoksi niillä on kova ja luja martensiittinen kiderakenne. Rautaruukin Raex-terästen karkaisu tehdään ns. suorakarkaisulla, jossa teräs jäädytetään hyvin nopeasti heti kuumavalssauksen jälkeen. Teräkselle tehdään valssausprosessin lopussa vielä Dead Flat-käsittely eli oikaisuvalssaus, jolloin nauhalevy kylmämuokataan koko paksuudeltaan. Yleisin ja runsain seosaine kulutusteräksissä on kromi sekä mangaani ja muita tyypillisiä seosaineita ovat molybdeeni, boori ja nikkeli (taulukko 4).

Taulukko 4. Kulutusteräksen Raex 500 kemiallinen koostumus max. pitoisuuksien mukaan. (Rissanen, Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit 2011, s. 9)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Raex 500	0,3	0,8	1,7	0,025	0,015	1,00	0,8	0,5	0,005

Kulutusteräksissä on luja ja kova rakenneaine, jonka ansiosta ne kestävät kovaa pintapainetta ja hankaavaa kulutusta hyvin. Kulutusteräs soveltuu parhaiten käyttökohteisiin, joissa vaaditaan hyvää kulumiskestävyyttä materiaalilta. Kulutusteräksen kovuus voi olla jopa 3-kertaa suurempi kuin rakenneteräksen. Kulutusterästen käytöllä saadaan pidennettyä laitteiden käyttöikä, vähennettyä rakenneosien kulumista ja säästettyä kustannuksissa.

Tyypillisiä käyttökohteita kulutusteräksille konepajateollisuudessa ovat kaivoskoneet, lavarakenteet, puunkäsittelykoneet, suppilot, syöttimet, kaivinkoneiden kauhat (kuva 21), huulilevyt ja betoniasemien kulutusosat. (Rissanen, Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit 2011, s. 8-10)



Kuva 21. Kahmareiden rungon materiaalina on Hardox 400-kulutusteräs, leukojen vaihdettavien ja käännettävien kärkikappaleiden Hardox 500. (Konekesko 2012)

3.3 Ultralujat rakenneteräkset

Suurulujuusteräksiä ei olla virallisesti määritelty, vaan sitä nimitystä käytetään teräksistä, joiden lujuus on suurempi kuin tavallisten rakenneterästen 235-420 MPa:n myötölujuus. Yli 900 MPa:n myötölujuusluokan teräksistä käytetään nimitystä ultraluja teräs. Ultralujat rakenneteräkset valmistetaan samalla tavalla kuin kulutusteräkset eli suorakarkaisulla, jonka jälkeen tehdään oikaisukäsittely. Karkaisussa muodostuva mikrorakenne on martensiittia ja bainiittia, jonka raekoko on keskimäärin 1 µm. Pieni raekoko parantaa teräksen iskusitkeyttä ja suurentaa merkittävästi kovuutta sekä myötölujuutta. Ultralujat teräkset kestävät kohtuullisesti kulumista ja ne ovat hyvin hitsattavissa ilman esilämmitystä sekä hyvin särmättävissä. Suuresta kovuudesta ja lujuudesta johtuen ultralujien rakenneterästen särmäyksessä on huomioitava suurempi takaisinjousto rakenneteräksiin verrattuna. Ultralujat rakenneteräkset on kehitelty käytettäväksi kohteisiin, joissa haetaan etua materiaalin keveydestä. Valitsemalla käyttökohteeseen ohuita levynpaksuuksia ja hyvillä lujuusominaisuuksilla varustettuja ultralujia teräksiä, voidaan sovellusten painoa ja energian kulutusta pienentää merkittävästi. Samalla voidaan myös laitteiden tuotantokustannuksia pienentää ja tehoja kasvattaa. Ultralujien terästen kovuus on lähes kaksinkertainen verrattuna tavalliseen S355 rakenneteräkseen, minkä ansiosta rakenne voidaan suunnitella jopa 40 % ohuemmaksi kuin tavallisia rakenneteräksiä käyttämällä.

Tyypillisiä käyttökohteita ultralujille teräksille ovat kuormankäsittelylaitteet, puomit, nostolaitteet, kuorman tuenta- ja kiinnityslaitteet, kontit, päällysrakenteet sekä ajoneuvojen rungot. (Rissanen, SSAB:n ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit 2011, s. 9-11)

3.4 Alumiini ja alumiiniseokset

Alumiini on raudan jälkeen käytetyin metalli, koska alumiinilla on monia erittäin hyviä ominaisuuksia. Alumiini on kevyt materiaali ja sen tiheys on $2,7 \text{ kg/dm}^3$, mikä mahdollistaa sen käytön suunniteltaessa kevyitä rakenteita. Alumiiniseokset ovat yhtä lujia kuin yleisesti tunnetut rakenneteräkset, sillä alumiinin murtolujuus on luokkaa 70-700 MPa. Alumiinilla on erityinen ominaisuus muodostaa oksidikerros kosketuksessa ilman hapen kanssa. Oksidikerros on erittäin ohut ja suojaa veden sekä kemikaalien aiheuttamaa korroosiota vastaan. Alumiinin anodisoinnilla voidaan kerrosta vahvistaa edelleen. Alumiinin lämmön- ja sähkönjohtavuus ovat hyvät. Alumiini soveltuu hyvin koteloiden, lentokoneiden ja laivojen osien rakenneaineeksi. Al-Mg-seoksen tyypillinen käyttökohde vene on esitelty kuvassa 22. Alumiiniin saadaan uusia ominaisuuksia lisäämällä siihen eri seosaineita. Magnesiumin ja/tai mangaanin lisääminen muodostaa karkenemattomien seosten ryhmän. Seosainelisyksen ohella myös kylmämuokkauksen avulla voidaan parantaa alumiinin lujuutta. (Huhtaniemi et al. 2006, s. 55-61)



Kuva 22. Al-Mg-seoksesta valmistettu vene. (Silverboats 2012)

4 RAILONVALMISTUSMENETELMÄT

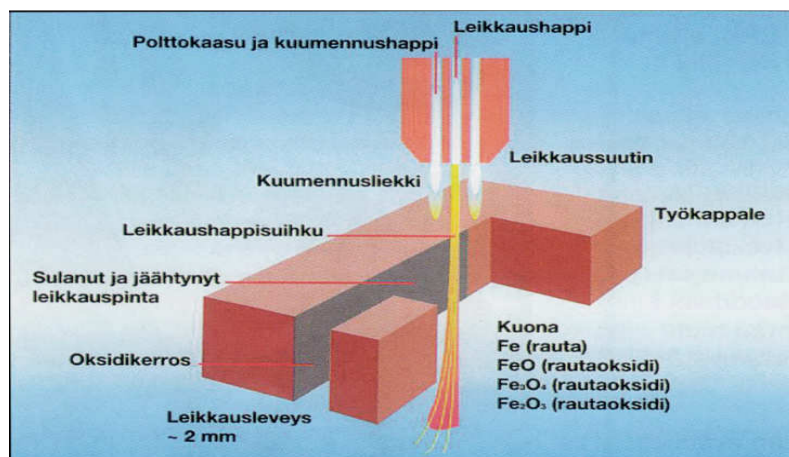
Hitsattujen- ja levyrakenteiden valmistuksen ensimmäinen työvaihe on yleensä osien leikkaus haluttuun muotoon. Tuotteen valmistuksen ensimmäinen työsuunnitteluvaihe on oikean leikkausmenetelmän valinta materiaalille. Leikkausmenetelmän valintaan vaikuttavat leikattavan materiaalin ainepaksuus, halutut laatuvaatimukset leikkauspinnalle, kustannukset ja leikattavan kappaleen muoto ym. tekijät. Metallien leikkaus tapahtuu pääasiassa termisillä menetelmillä kuten polttoleikkaus, plasmaleikkaus tai laserleikkaus. Vesisuihkuleikkaus on myös yleistynyt metallisten komponenttien leikkausmenetelmänä pienten muodonmuutosten ja hyvän mittatarkkuuden ansiosta.

4.1 Polttoleikkaus

Polttoleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, joka on hyvin joustava ja helppo leikkausmenetelmä. Polttoleikkaus soveltuu käsin- ja koneleikkaukseen, jolloin ei vaadita suurta mittatarkkuutta. Polttoleikkauksen mittatarkkuus on huonompi verrattuna esimerkiksi laserleikkaukseen, koska suuri lämmöntuonti aiheuttaa muodonmuutoksia etenkin ohutlevyjä leikattaessa. Polttoleikkaukoneiden mittatarkkuus voidaan arvioida olevan välillä +/- 0,5 ja +/- 1,0 millimetrin välillä. (Matilainen et al. 2011, s. 143-144)

4.1.1 Polttoleikkaustapahtuma ja laitteisto

Polttoleikkauksessa metallia kuumennetaan polttokaasun ja kuumennushapen muodostamalla liekillä syttymislämpötilaan, jonka jälkeen puhalletaan happisuihkulla, joka suorittaa polttoleikkauksen ja poistaa reaktiotuotteet leikkausrailosta (kuva 23). Polttoleikkausprosessissa metalli hapettuu ja sulassa tilassa oleva metallioksidi poistetaan leikkausrailosta leikkaushappisuihkun kineettisen energian avulla. Metallin hapettuessa vapautuu lämpöä, jolloin leikattava kappale lämpenee koko ajan leikkaussuunnassa ja syntyvä metallioksidi pysyy sulassa tilassa.



Kuva 23. Polttoleikkaustapahtuma. (Honkanen 2012, s. 8)

Polttoleikkauslaitteiston pääkomponentit ovat polttin ja suuttimet. Polttimen päätehtävänä on johtaa polttokaasu ja happi tasaisella virtauksella sekä paineella suuttimeen. Kuumennushapen ja polttokaasun sekoittaminen toisiinsa voidaan tehdä joko polttimessa tai suuttimessa. Polttoleikkauksessa käytettävät suuttimet jaetaan kuumennuskaasuseoksen virtauskanavien muodon mukaan rengas-, ura- ja pistoliekkisuuttimiin. (Matilainen et al. 2011, s. 143-144)

4.1.2 Polttoleikattavat materiaalit

Polttoleikattaviksi materiaaleiksi soveltuvat seostamattomat ja niukkaseosteiset teräkset, joiden hiilipitoisuus on alle 0,3 %. Hiilipitoisuuden ollessa suurempi syntyy leikkauspinnalle kovaa ja haurasta martensiittia, jolloin pintaan muodostuu helposti halkeamia. Teräksen hiilipitoisuuden kasvaessa lisääntyy martensiitin kovuus. Ennen leikkauksen suorittamista tulisi leikattava levy kuumentaa, jolloin voidaan estää martensiitin muodostumista materiaalissa.

Seostettujen terästen polttoleikkaus on huomattavasti vaativampaa verrattuna seostamattomiin ja niukkaseosteisiin teräksiin, koska niillä on voimakas karkenevuus ja eri seosaineilla on erilainen yhtymistäipumus happeen. Seostettujen terästen leikkaamista voidaan helpottaa esikuumentamalla ne oikeaan lämpötilaansa.

Polttoleikkauksen etuna on se, että polttoleikkaamalla voidaan leikata erittäin suuria ainepaksuuksia verrattuna muihin termisiin leikkausmenetelmiin. Leikattavien levyjen ainepaksuudet voivat olla jopa 1500 mm. Polttoleikkauksessa suurin ainevahvuus määräytyy pääasiassa leikkaushappisuihkun ominaisuuksien perusteella. Suurilla ainevahvuuksilla leikattaessa leikkaushappisuihku ei pysty poistamaan metallioksidia tehokkaasti leikkausrailosta vaikeuttaen näin leikkaustapahtumaa.

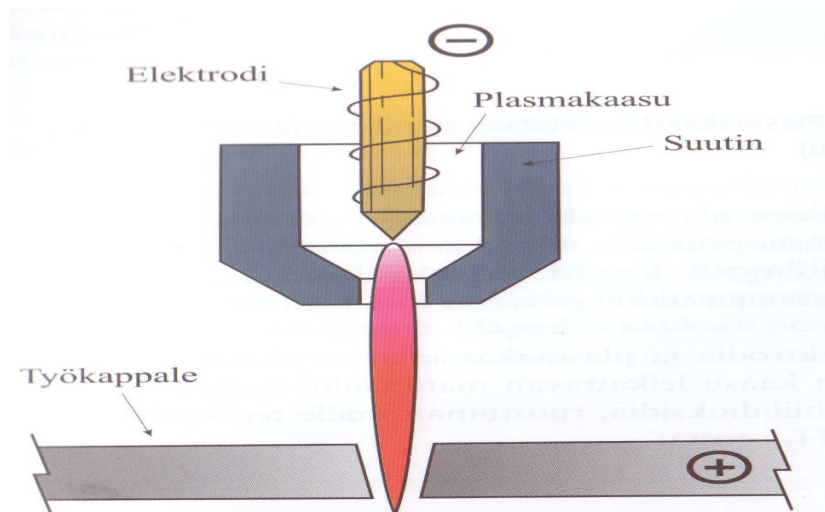
Polttoleikkauksessa leikattavaan kappaleeseen kohdistuu suuri lämmöntuonti, minkä vuoksi työkappaleissa olevat kapeat ja pitkät osat vääristyvät helposti. Tämän vuoksi polttoleikattavat kappaleet ovat muodoltaan yksinkertaisempia kuin esimerkiksi laserleikatut kappaleet. Polttoleikkauksessa syntyvä leikkausrailo on melko leveä ja mittatarkkuus ei ole kovin hyvä, jonka johdosta pienien urien leikkaus on hankalaa. (Aromäki et al. 1985, s. 22-24)

4.2 Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, kuten poltto- ja laserleikkauskin. Plasmaleikkaus on sulatusleikkausta, jossa kuuman plasman lämpöenergian avulla sulatetaan leikattavaan materiaaliin railo. Sulanut metalli poistetaan leikkausrailosta plasmakaasun kineettisen energian avulla. (Matilainen et al. 2011, s. 149)

4.2.1 Plasmaleikkaustapahtuma ja -laitteisto

Leikkausrailon sulattamiseen tarvittava plasma saadaan aikaiseksi johtamalla plasmatilan muodostava kaasu leikkauspolttimessa olevan elektrodin ja leikattavan materiaalin välillä palavaan valokaareen (kuva 24). Suuttimen avulla kuristetaan plasmakaari, jonka ansiosta kaaresta tulee keskittyneempi ja sen lämpötilat ovat hyvin korkeat. Plasmakaasun siirtyessä plasmakaareen nousee kaasun lämpötila hyvin nopeasti, jolloin molekyylien lämpöliike voimistuu ja ne törmäilevät toisiinsa.



Kuva 24. Plasmaleikkauksen periaate. (Matilainen et al. 2011, s. 149)

Plasmaleikkauksilaitteiston pääkomponentit ovat virtalähde, poltin, elektrodi, ohjauksikkö ja suutin. Nykyaikaisessa plasmaleikkaukskoneissa käytetään virtalähteenä transduktori- tai tyristoriohjattua tasasuuntaajaa. Elektrodin materiaali määräytyy plasmakaasun mukaan.

Esimerkiksi plasmakaasun ollessa argonia, puhdasta typpeä tai vedyn ja typen seosta, elektrodi valmistetaan wolframista tai sen seoksesta. Plasmaleikkaussuuttimet valmistetaan kuparista ja ne ovat vesijähdytteisiä, minkä ansiosta suuttimen seinämä pysyy kylmänä leikkauksen aikana. (Aromäki et al. 1985, s. 24-28)

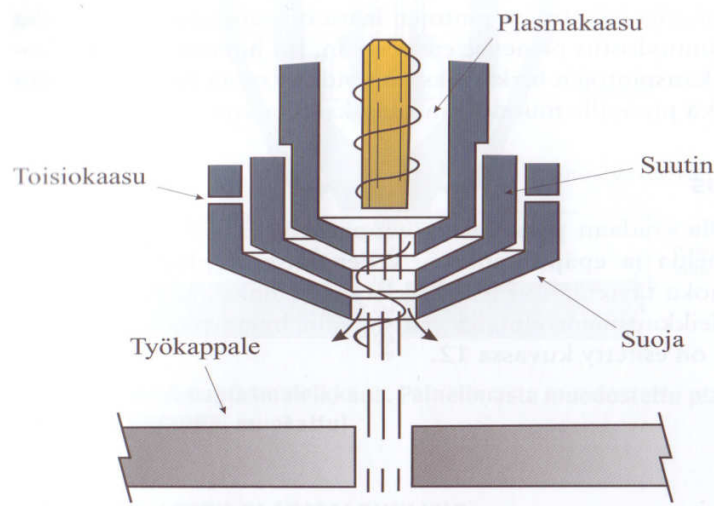
4.2.2 Plasmaleikattavat materiaalit

Plasmaleikattavan materiaalin täytyy olla sähköä johtavaa, ja siksi kaikkia metalleja ei voida plasmaleikata. Plasmaleikkausta käytetään eniten runsaasti seostettujen terästen leikkauksessa kuten ruostumattomien ja haponkestävien terästen sekä alumiinin leikkaukseen. Plasmaleikkauksessa saavutettavat leikkausnopeudet ovat suuria ainevahvuuksien ollessa alle 30 mm. Plasmaleikkauksessa leikkausnopeudet pienenevät nopeasti ainepaksuuden kasvaessa, koska suurin osa plasman lämpöenergiasta siirtyy työkappaleeseen anodipisteessä. Saavutettava pinnanlaatu on huonompi plasmaleikkauksessa kuin muilla tavanomaisilla termisillä leikkausmenetelmillä.

Plasmaleikkaukselle on tyypillistä hyvin leveä leikkausrailo, joten pienien urien sekä kapeiden kaistaleiden leikkaus on vaikeaa. Vedenalaisella plasmaleikkauksella saadaan aikaisiksi kapeampi leikkausrailo kuin tyypillisillä plasmaleikkausmenetelmillä, koska muodonmuutokset ovat pienempiä. Lämpövaikutusalue on kapea plasmaleikkauksessa, joten työkappaleissa voi olla pitkiä ja kapeita muotoja. (Aromäki et al. 1985, s. 39-40)

4.2.3 Sovellus: Hienosädeplasmaleikkaus

Hienosädeplasmaleikkaus on yleistynyt viime vuosien aikana suomalaisessa konepajateollisuudessa. Hienosädeplasmaleikkaus on kehitelty menetelmä tavallisesta plasmaleikkausmenetelmästä, jolla saadaan plamasuihku paremmin hallittua. Plamasuihku kuristetaan kaasuvirtauksen avulla tiiviimmäksi kuin tavallisessa plasmaleikkauksessa, jonka ansiosta energiatiheys saadaan jopa kolme kertaa suuremmaksi (kuva 25). Hienosädeplasmaleikkauksessa saavutetaan kapea leikkausrailo ja lämpövaikutusvyöhyke muodostuu kapeammaksi kuin tyypillisellä plasmaleikkausmenetelmällä leikattaessa. Hienosädeplasma soveltuu parhaiten ohuiden ainepaksuuksien 3-8 mm leikkaukseen, jolloin se on kilpailukykyinen menetelmä laserleikkauksen kanssa. (Matilainen et al. 2011, s. 143-144)



Kuva 25. Hienosädeplasmaleikkaus. (Matilainen et al. 2011, s. 154)

4.3 Laserleikkaus

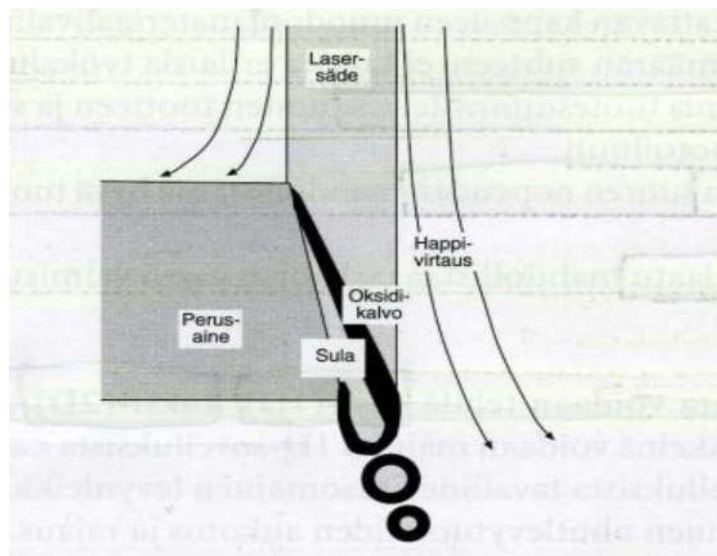
Laserleikkausta käytetään levyjen ja muovattujen tuotteiden leikkaamiseen haluttuun muotoon. Osan leikkaaminen tapahtuu liikuttamalla laserleikkauspäätä haluttua työstörataa pitkin, jolloin aikaansaatu railo on kapea ja tasalaatuinen. Laserleikattu railo on kapea verrattuna esimerkiksi plasmaleikkaukseen, sillä railon leveys on vain muutaman kymmenen millimetrin levyinen. Laserleikkaus voidaan suorittaa yksi-, kaksi- tai kolmiulotteisesti leikattavalle kappaleelle. (Kujanpää et al. 2005, s. 133)

4.3.1 Laserleikkauksen prosessit

Laserleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, jossa leikattaessa osa lasersäteestä absorboituu leikkaukskohdassa railon etureunaan. Absorboitunut energia lämmittää materiaalia ja muuttaa railon etureunan materiaalin uuteen muotoon. Laserleikkaus voidaan jakaa kolmeen eri leikkausprosessiin: hapella tapahtuva polttoleikkaus, tyypellä tapahtuva sulattava laserleikkaus ja höyrystävä laserleikkaus. (Kujanpää et al. 2005, s. 49)

Laserpolttoleikkaus

Laserpolttoleikkauksesta käytetään myös nimeä laser-happileikkaus, koska leikkaus tapahtuu hapen avulla, jolloin prosessin aikana osa materiaalista palaa (kuva 26). Laserpolttoleikkaus perustuu raudan polttamiseen. Hapen ja leikattavan materiaalin välillä tapahtuva eksoterminen reaktio tehostaa laserleikkaustapahtumaa tuomalla prosessiin lisää energiaa samaan tapaan kuin tavallisessa polttoleikkauksessa. Joissakin tilanteissa energia on dominoiva energialähde prosessissa ja mahdollistaa suuremman leikkauksenopeuden kuin sulattavalla laserleikkausprosessilla leikattaessa.

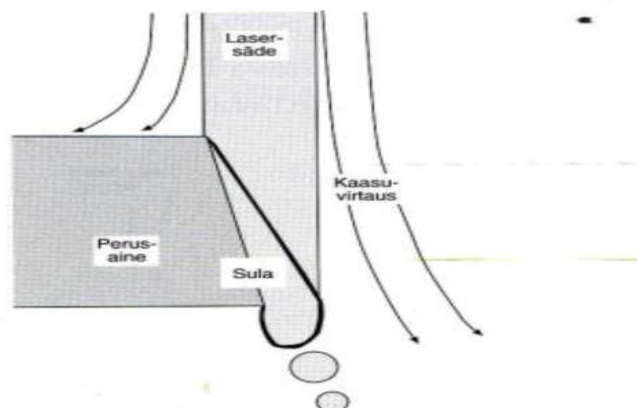


Kuva 26. Laserpolttoleikkauksen periaate. (Kujanpää et al. 2005, s. 134)

Polttoleikkausprosessia käytetään erityisesti rakenne- ja niukkaseosteisten terästen leikkaamiseen. Varsinkin ohuiden materiaalien leikkauksessa saavutetaan suuret leikkausnopeudet hiiliteräksillä. Pienet reiät, terävät nurkat ja kapeat kannakset vaativat hyvää kontrollia lasertehon ja muiden leikkausparametrien välillä, jotta tarkat muodot eivät pala tai sula. (Kujanpää et al. 2005, s. 134)

Sulattava laserleikkaus

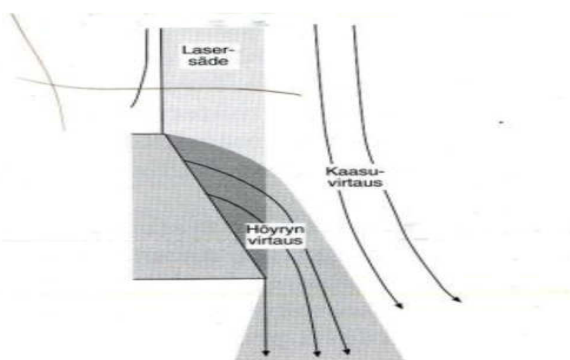
Sulattava laserleikkaus tapahtuu typen avulla, jossa railon etureuna sulatetaan lasersäteellä ja sula puhalletaan pois korkeapaineisella kaasuvirtauksella (kuva 27). Sulattavaa laserleikkausta käytetään etenkin seostettujen terästen kuten ruostumattomien terästen leikkaukseen. Sulattavalla laserleikkauksella voidaan leikata myös alumiinia, titaania, monia polymeerejä ja keraameja. Sulattava laserleikkaus tapahtuu typen avulla, jonka pääasiallisena tehtävänä on poistaa sula materiaali leikkaurailosta ja suojata kuumennettua materiaalia ympäröivän ilman hapettavalta vaikutukselta. Herkästi reagoivien materiaalien kuten titaanin leikkauksessa on käytettävä kaasuna argonia, koska typpellä leikattaessa typpi voi reagoida muodostaen kovia titaaninitridikerroksia. (Kujanpää et al. 2005, s. 135)



Kuva 27. Sulattavan laserleikkauksen periaate. (Kujanpää et al. 2005, s. 135)

Höyrystävä laserleikkaus

Höyrystävä laserleikkausprosessi tapahtuu materiaalia höyryttämällä (kuva 28). Kaasuvirtauksen avulla puhalletaan syntynyt höyry pois leikkausrailosta. Metallien höyrystävä leikkaus on mahdollista vain, jos sulan määrä pidetään pienenä tehoa pulssittamalla ja tehotiheys on suuri. Tällä menetelmällä voidaan leikata erittäin tarkkoja muotoja varsin alhaisella nopeudella ohueen materiaaliin. Höyrystävälle laserleikkaukselle tyypillisiä leikattavia materiaaleja ovat akryyli, kertamuovit, puu, kumi, paperi, kestumuovit, nahka ja eräät keraamit. (Kujanpää et al. 2005, s. 135)



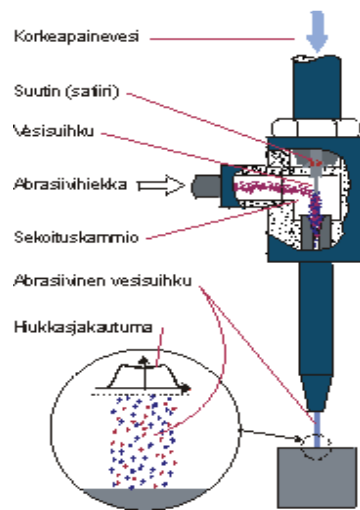
Kuva 28. Höyrystävän laserleikkauksen periaate. (Kujanpää et al. 2005, s. 135)

4.3.2 Leikattavat materiaalit laserleikkauksessa

Laserleikkaus soveltuu hyvin monien materiaalien leikkaukseen. Sillä voidaan leikata metallisia ja ei-metallisia materiaaleja kuten paperia, puuta ja pahvia. Eniten laserleikkausta käytetään kuitenkin metallien kuten hiiliterästen, seostettujen terästen ja alumiinin leikkaamiseen. Leikattavat ainepaksuudet vaihtelevat materiaalin ja leikkauskoneen mukaan, mutta hiiliteräksiä voidaan leikata jopa 25 mm:n asti. Ruostumattomia teräksiä voidaan leikata jopa 15 mm:n ainepaksuuteen saakka. Ruostumattomien terästen laserleikkaus on myös lisääntynyt, koska laserien säteenlaadun kehittyessä suuremmilla tehoilla voidaan leikata yhä paksumpia ainevahvuuksia ja nopeammin. Laserleikkaamalla voidaan leikata hyvin monimutkaisen muotoisia kappaleita. (Mattila & Lakso 1997, s. 17)

4.4 Vesisuihkuleikkaus

Vesisuihkuleikkaus perustuu korkeapaineisen veden ainetta kuluttavaan vaikutukseen. Korkeapaineinen, n. 400 MPa:n, vesi johdetaan safiirisuuttimen läpi, jonka halkaisija on 0,1-0,4 mm:ä (kuva 29). Jotta suihku pystyisi leikkaamaan materiaalia tulee sillä olla riittävän suuri nopeus noin 1000 m/s ja pieni halkaisija (vesisuihkulla 0,1-0,4 mm, abrasiivisella suihkulla 1-2 mm). Abrasiivisessa vesileikkauksessa vesisuihkuun lisätään pieniä hiekkapartikkeleita, jolloin voidaan leikata kovia materiaaleja, etenkin metalleja. Puhdas vesileikkaus tapahtuu pelkällä vedellä, joka on hyvä menetelmä pehmeille materiaaleille, kuten paperille tai lasivillalle.

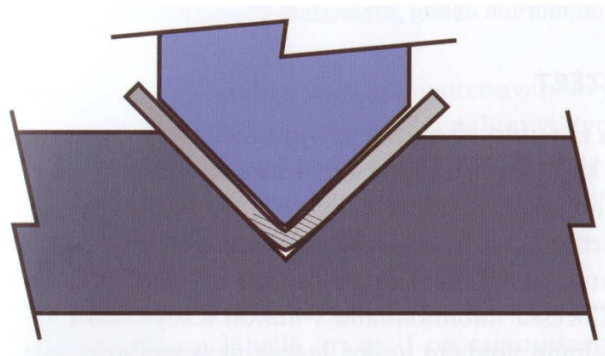


Kuva 29. Vesisuihkuleikkauksen periaate. (Laserle 2012)

Vesileikkauksen tärkeimpänä etuna on se, että siinä ei synny lämmöstä johtuvia rakennemuutoksia leikattavaan materiaaliin. Vesileikkauksen jälki on purseeton, laadukas ja useimmiten sellaisenaan valmis lopputuotteeseen. Vesileikkauksella ei ole materiaalirajoituksia, joten sillä voidaan leikata lähes kaikkia materiaaleja. Vesisuihkuleikkaus on suhteellisen nopea menetelmä leikattaessa ohuita ja pehmeitä materiaaleja. Leikattaessa paksuja metalleja vesisuihkuleikkaus on melko hidas menetelmä verrattuna plasma- ja polttoleikkaukseen. (Patjas 2005, s. 56; Kotamies 1991, s. 6-20)

5 SÄRMÄYS

Särmäys on metallilevyn taivuttamista haluttuun kulmaan särmäyspuristimella, jossa levy taipuu painimen ja vastimen välissä (kuva 30). Särmättävän levyn asemointi tehdään piirrotuksen mukaan ja yleensä takavasteilla. Vasteen tärkein liike on levyn suuntainen x-liike, mutta muitakin liikkeitä tarvitaan särmätessä levyä. Metallin valssaussuunta vaikuttaa merkittävästi taivutustulokseen. Taivutus tulee suorittaa mieluiten kohtisuoraan valssaussuuntaa vastaan. Särmäyspuristimen työkalut ovat vastin ja painin, jotka voivat olla puristimen leveyden mittaisia tai koostua lyhyistä osista. Yleisin vastimen muoto on v-ura, mutta u-uraakin käytetään särmäyksessä. Vastin voi olla elastinen, jolloin sen muoto muuttuu levykosketusta mukailien taivutuksen aikana. Yleisin särmäyksessä käytettävä painin on suora, mutta väistöllä toimivaa ns. hanhenkaulapainintakin käytetään paljon. Painimissa kärki on yleensä pyöristetty.

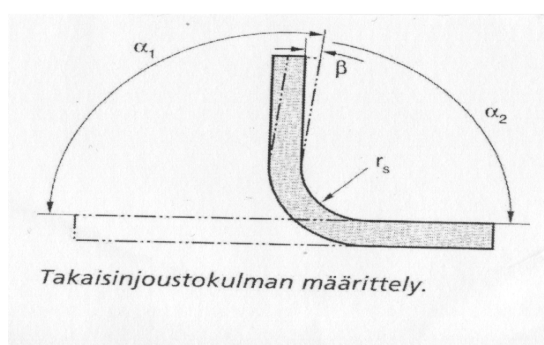


Kuva 30. Särmäyksen periaate, jossa muotoon taivutettava levy taipuu ala- ja ylätyökalun väliin. (Matilainen et al. 2011, s. 241)

Vapaataivutus on eniten käytetty taivutustapa, jossa levy taipuu ylätyökalun ja vastimen välissä. Painin ei kosketa levyaihiota, vaan niiden välille jää ilmarako taivutuksen aikana. Vapaalla taivutuksella särmättäessä käytetään yleensä teräviä painimen ja vastimen kulmia, jolloin haluttu taivutuskulma saadaan ainoastaan painimen iskunpituutta säätämällä. (Aaltonen et al. 1997, s. 54-57)

Takaisinjousto ja taivutusvirheet särmäyksessä

Takaisinjousto on vapaataivutuksessa muutamia asteita, lujilla ja kovilla teräksillä useita asteita. Takaisinjousto pystytään ennustamaan likimääräisesti eri materiaaleille, mutta siihen ei pystytä tarkasti. Takaisinjouston kulman määrittäminen on esitelty kuvassa 31. Haponkestävillä ja ruostumattomilla teräksillä takaisinjousto on suurempi kuin hiiliteräksillä. Takaisinjouston suuruus vaihtelee eri materiaaleilla ja vaihtelee samallakin materiaalilla seostuksesta johtuen. Särmäystä vaikeuttaa se, että standardit määrittelevät esimerkiksi levyn lujuudelle minimiarvon, mutta levy voi olla todellisuudessa lujempaa. Takaisinjousto on vaikeata hallita, mutta yleensä ensin taivutetaan koekappale, josta ensin mitataan kulmaan tullut virhe, joka korjataan ennen varsinaisen kappaleen taivutusta. Särmäyspuristimiin on kehitelty erilaisia taivutuskulman mittaussaitteita, jotka eivät ole vielä levinneet yleisesti ottaen särmäystä tekeviin yrityksiin. Mittauslaitteita käytetään taivutuksessa hyväksi niin, että levy taivutetaan lähelle lopullista tavoitekulmaa ja vapautetaan, jonka jälkeen kulma mitataan anturilla tai laserilla, jonka jälkeen mittaustulosten perusteella jatketaan taivuttamista tavoitekulmaan saakka.



Kuva 31. Takaisinjouston kulman määrittely, jossa r_s =sisätaivutussäde, α_1 =taivutuskulma taivutuksessa, α_2 =taivutuskulma taivutuksen jälkeen ja β =takaisinjoustokulma. (Lepola & Makkonen 1998, s. 374)

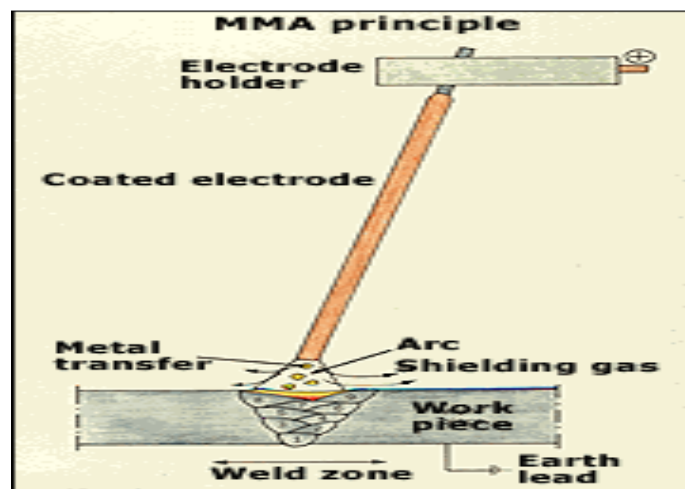
Taivutuspaikkien taipumaa pystytään ennakoimaan esikaarevuudella. Tätä ominaisuutta kutsutaan bombeeraukseksi, jota on mahdollista säätää monissa särmäyspuristimissa. Eräs särmäyspuristimia valmistava yritys valmistaa koneita, joissa palkit ovat teoriassa yhdensuuntaiset kuormitukselle, joka on 2/3 koneelle ilmoitetusta suurimmasta tehosta. (Aaltonen et al. 1997, s. 59-61)

6 HITS AUS

Yleisin levyrakenteiden liittämismenetelmä on hitsaus, jossa kappaleet liitetään toisiinsa niin, että liitettävien metallien rakeet tai muovien molekyylit liittyvät toisiinsa muodostaen kiinteän liitoksen. Hitsausta käytetään mm. metallien, muovien ja keraamien liittämiseen. Materiaaliin tuodaan lämpöä hitsausprosessissa, joka aiheuttaa muodonmuutoksia hitsattavaan materiaaliin.

6.1 Puikkohitsaus

Puikkohitsaus on sulatushitsausprosessi, jossa hitsauslämpö saadaan perusaineen ja elektrodin välillä palavan valokaaren avulla (kuva 32). Elektrodina käytetään päällystettyä sulavaa hitsauspuikkoa. Hitsauspuikon päällyste on sulaa, josta syntyy kaasu ja kuona suojaa sulana pisaroina syntyvää lisäainetta ja hitsisulaa perusaineen puolella ilman hapen vaikutukselta. (Lepola & Makkonen 1999, s. 91-93)



Kuva 32. Puikkohitsaustapahtuma. (Esab 2012)

6.1.1 Puikkohitsauksen päällysteet

Puikon päällyste vaikuttaa hitsausominaisuuksiin ja hitsiaineen ominaisuuksiin. Puikon päällysteen tehtävät puikkohitsauksessa ovat kuonan muodostaminen, kaasusuojan muodostaminen, ionisointi, tiivistys ja seostus.

Hitsauspuikon päällystetyypit jaetaan päällysteen mukaan hapan-, selluloosa-, rutiili- ja emäspäällysteisiin. Happamat puikot soveltuvat parhaiten hitsaukseen jalkoasennossa ja rajoitetusti asentohitsaukseen päällysteen ollessa paksu. Puikolla saadaan aikaiseksi hyvälaatuinen, tasainen hitsi ja kuona irtoaa itsestään tai on helppo poistaa. Selluloosapuikkoja käytetään putkilinjojen asennushitseihin ylhäältä alaspäin tapahtuvassa hitsauksessa, esimerkiksi öljy- ja kaasuputkille, koska niillä voidaan hitsata suurella halkaisijalla ja niiden kuona jähmettyy hyvin nopeasti.

Emäspuikot ovat Suomessa ehdottomia yleispuikkoja hitsaavassa teollisuudessa ja hitsaajat ovat tottuneet hitsaamaan niillä. Emäspuikon hitsiaineella on kolme erinomaista hitsausmetallurgista ominaisuutta: Matala vetypitoisuus, hyvä iskutkeys matalissa lämpötiloissa ja hyvä varmuus kuumahalkeamia vastaan.

Rutiilipuikkojen päällysteestä puolet on luonnon rutiilia, jonka ansiosta sähkönjohtavuusominaisuudet ovat hyvät. Rutiilipuikkojen hitsausominaisuudet ovat hyvät, sillä niillä on hyvä syttyvyys, vakaa valokaari, sileä hitsin pinta ja hyvä kuonan irtoavuus. Rutiilipuikot soveltuvat parhaiten ohuiden materiaalien hitsaukseen. Päällysteen merkittävänä tehtävänä on kehittää valokaarelle hyvä kaasuoja, jolloin kalkki hajoaa valokaareissa hiilidioksiidiksi. (Lepola & Makkonen 1999, s. 91-99)

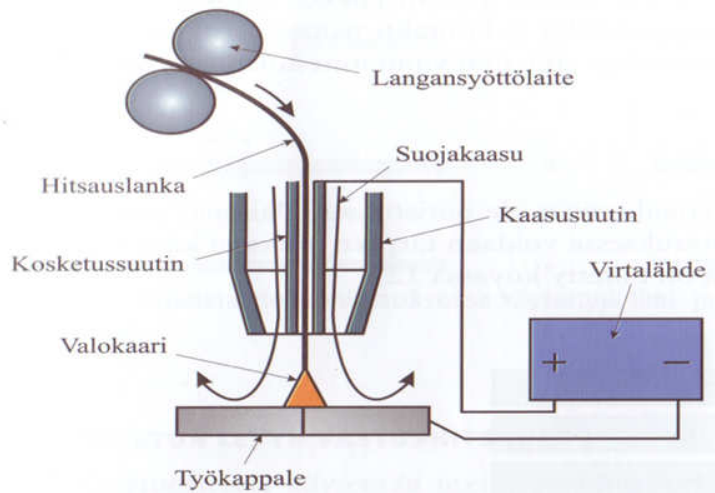
6.1.2 Puikkohitsattavat materiaalit ja käyttökohteet

Puikkohitsaamalla voidaan hitsata kaikkia teräslaatuja etenkin ruostumattomia teräksiä, tulenkestäviä teräksiä, seostamattomia teräksiä ja kuumalujia teräksiä. Hitsattavat materiaalit ovat ohuimmillaan n. 1-1,5 mm ja suurimmalle hitsattavalle paksuudelle ei ole oikeastaan ylärajaa. Suurimmilla lisäainetoimittajilla on luetteloissa jopa yli 100 erilaista hitsauspuikkoa, joten lisäaineen saatavuus eri materiaalien hitsaukseen on hyvä. Puikkohitsausta käytetään paljon korjaushitsauksessa, koska sen ulottuvuus ja siirrettävyys ovat erittäin hyvät. Kevyimmät virtalähteet painavat ainoastaan muutamia kiloja. Lisäksi puikkohitsausta voidaan tehdä kaikenlaisissa olosuhteissa, mm. vedenalainen hitsaus on yleensä puikkohitsausta. Ulko-olosuhteet eivät yleensä haittaa puikkohitsausta. Puikkohitsaus on yleensä käsinhitsausta ja sen mekanisointi on vaikeaa sekä muutenkin harvinaista.

Teollisuudessa puikkohitsausta käytetään lähes kaikkialla, missä hitsausta tarvitaan. Puikkohitsauksen osuus on noin 20-25 % laskettuna lisäainekulutuksesta, joten se on edelleen merkittävä suomalaisessa hitsaavassa teollisuudessa. Puikkohitsauksen tuottavuus on huono, sillä hitsiaineentuotto on 1-3 kg/h ja suurriittoisuuspuikoilla 1-4 kg/h. Puikkohitsauksen käyttäjiä ovat mm. paineastioiden hitsaus, erikoisterästen hitsaus, laivanrakennus, suurten- monimutkaisten kappaleiden hitsaus, korjaushitsaus, päällehitsaus ja ulkoilmassa tapahtuva hitsaus. (Lukkari 2002, s. 89-91)

6.2 MIG/MAG-hitsaus

MIG/MAG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan ja työkappaleen välillä (kuva 33). Langansyöttölaitteen tehtävänä on syöttää hitsauslankaa tasaisella nopeudella hitsauspistoolin läpi valokaareen. Sula metalli siirtyy pisaroina langan kärjestä hitsisulaan. MIG/MAG-hitsauksessa valokaari syttyy, kun hitsauslanka koskettaa hitsattavaa työkappaletta. Kosketushetkellä syntyvän oikosulun ansiosta tehokas oikosulkuvirta sulattaa ja höyrystää hitsauslangan pään, jonka ansiosta valokaari syttyy. (Lukkari 2002, s. 159)



Kuva 33. MIG/MAG-hitsaus, jossa valokaari palaa lisäainelangan ja työkappaleen välillä. (Matilainen et al. 2011, s. 292)

6.2.1 MIG/MAG-hitsauksen suojakaasut, hitsausaineet ja tuottavuus

MIG/MAG-hitsauksessa käytettävä suojakaasu voi olla aktiivinen tai inertti kaasu. Aktiivista suojakaasua käytettäessä suojakaasu voi olla argonin ja hapen, argonin ja hiilidioksidin, hapen ja hiilidioksidin kaasuseos tai puhdas hiilidioksidi. Inertillä suojakaasulla hitsattaessa puhutaan MIG-hitsauksesta, jolloin käytettävä suojakaasu on argonia, heliumia tai niiden seosta. Hitsauksessa käytettävä suojakaasu valitaan hitsattavan materiaalin mukaan. Pääjako on, että terästen hitsaus tehdään MAG-hitsauksella eli käyttämällä aktiivista suojakaasua ja ei-rautametallien hitsaus MIG-hitsauksella eli inertillä suojakaasulla. (Lukkari 2002, s. 159-160)

MIG/MAG-hitsauksessa käytettävät hitsausaineet ovat hitsauslanka ja hitsausapuaineena oleva suojakaasu. Jos käytettävä lisäaine on täytelanka, prosesseilla on omat nimityksensä: MIG-täytelankahitsaus ja MAG-täytelankahitsaus. MIG/MAG-hitsaus on yleensä käsin tehtyä hitsausta eli osittain mekanisoitua hitsausta, jolloin hitsauslanka syötetään koneellisesti ja hitsauspistoolin liike tehdään käsin. MIG/MAG-hitsaus on helppo mekanisoida, automatisoida ja robotisoida. MIG/MAG-virtalähteen staattinen ominaiskäyrä on lähes vaakasuora, joten virtalähde on vakiojännitteinen ja sitä kutsutaan vakiojännitelähteeksi. MIG/MAG-hitsauksessa hitsiaineentuotto on 100 %:n kaariaikasuhteella langanhalkaisijasta ja hitsausvirrasta riippuen noin 2-7 kg/h, johon vaikuttavat hitsausvirta, langanhalkaisija, suutinetäisyys ja lisäainelangan laatu. MIG/MAG-hitsaukselle on tunnusomaista ohut hitsauslanka ja suuri langansyöttönopeus, joka vaihtelee hitsauksessa lyhyt- ja kuumakaarella noin 4-16 m/min. Valokaari pitäisi pystyä pitämään vakio pituisena hitsauksen aikana, jolloin hitsaus olisi vakaata ja saavutettava hitsaustulos olisi hyvä. (Lukkari 2002, s. 159-160)

6.2.2 Hitsattavat materiaalit ja käyttökohteet MIG/MAG-hitsauksessa

MIG/MAG-hitsaus soveltuu hyvin monien metallien hitsaukseen. Sitä käytetään terästen ja useimpien ei-rautametallien hitsaukseen: seostamattomat, niukkaseosteiset ja ruostumattomat teräkset sekä alumiini-, kupari- ja nikkelseokset voidaan hitsata MIG/MAG:lla. Ainepaksuudet voivat olla ohuimmillaan 0,5 mm ja suurimmalle ainepaksuudelle ei käytännössä ole ylärajaa. MIG/MAG-hitsaus soveltuu käytettäväksi kaikkiin hitsausasentoihin, kun hitsausparametrit on valittu oikein.

MIG/MAG-hitsausta käytetään tänä päivänä kaikkialla hitsaavassa teollisuudessa mm. maatalouskoneita, laivoja, teräsrakenteita, putkia, paineastioita ja metsäkoneita valmistavassa teollisuudessa. Suurimpia MIG/MAG-hitsauksen käyttäjiä teollisuudessa ovat ohutlevyjen hitsaus autoteollisuudessa, koska MIG/MAG-hitsauksen tuottavuus on hyvä ja mekanisointi helppoa. (Lukkari 2002, s. 173-176)

7 ANKKURIN MATERIAALINVALINTAPROSESSI

Ankkurin suunnitteluun kuuluu olennaisena osana valmistusmateriaalin valinta. Materiaalinvalinta on prosessi, jonka tavoitteena on löytää oikea materiaali haluttuun sovelluskohteeseen. Sopivia materiaaleja valittaessa haluttuun kohteeseen on aluksi selvitettävät vaatimukset, joita osan toiminto ja ympäristö asettavat materiaalille tuotteen elinkaaren eri vaiheissa. Myös taloudellisuus ja valmistusmenetelmien soveltuvuus materiaalille tulee ottaa huomioon materiaalia valittaessa. Valmistus aiheuttaa omat vaatimuksensa materiaalille ja materiaali valmistukselle.

Materiaalinvalinnassa laaditaan vaatimus- ja ominaisuusprofiilit, joita käytetään hyväksi lopullista materiaalia valittaessa kohteeseen. Materiaalien vertailussa käydään läpi ankkurille potentiaaliset materiaalityypit kuten seostamattomat rakenneteräkset, kulutusteräkset, suurlujuusteräkset, alumiinit ja niiden seokset. Materiaalinvalinnan lopputarkastelu tehdään laskemalla painotetut vertailuluvut kullekin materiaalille ominaisuuden mukaan, jonka avulla selviää paras materiaali ankkurille.

7.1 Valintastrategia, edullisuus, maksimikestoikä ja elinkaariajattelu

Ankkurin materiaalia valittaessa on huomioitava kustannukset, jotka muodostuvat ankkurin koko elinkaaren ajalta. Ankkurin kustannukset muodostuvat hyvin pitkälle materiaalikustannuksista, johon voidaan oikealla materiaalinvalinnalla vaikuttaa niin, että materiaalin ominaisuudet ovat riittävän hyvät alhaisista materiaalin hankintahinnoista huolimatta. Suuria kustannuksia aiheuttavat myös ankkurin valmistuskustannukset, jotka muodostuvat pääasiassa osien leikkaamisesta muotoon, hitsauskustannuksista, särmäyksestä ja pintakäsittelystä. Muita ankkurille muodostuvia kustannuksia aiheuttavat logistiikka- ja varastointikustannukset. Valmistamalla ankkuri samassa yrityksessä pystytään minimoimaan logistiikasta aiheutuvat kustannukset.

Ankkurin materiaalin valintastrategiaan vaikuttavat tuotteen kustannusten lisäksi materiaalilta vaadittavat ominaisuudet, kuten esim. korroosiokestävyys kosteissa meri/järviolosuhteissa. Materiaali on valittava niin, että se soveltuu ominaisuuksiensa puolesta ankkurien materiaaliksi ja on valmistettavissa mahdollisimman hyvin sekä kustannustehokkaasti. Ankkurin suunnittelun tavoitteena on rakenne, joka olisi mahdollisimman kevyt materiaalin käytön minimoimiseksi ja kevyen rakenteen ansiosta mahdollisimman käyttäjäystävällinen vaikeissa meri/järviolosuhteissa. Tavoitteena on suunnitella konstruktio, jossa tuotteen muotoilulla on pyritty korvaamaan mahdollisimman hyvin ankkurin painoa, joka on otettava huomioon ankkurin materiaalia valittaessa.

Ankkurin kestoikään voidaan vaikuttaa merkittävästi oikealla materiaalivalinnalla, koska kulumista vaativissa olosuhteissa kestoikää voidaan pidentää valitsemalla hyvin kulutusta kestäviä materiaaleja. Ankkurit kolhiintuvat niitä nostettaessa ja laskettaessa sekä pohjassa raahautuessaan, jolloin materiaalin pinnan ominaisuudet heikentyvät suojata korroosiota ja kulumista vastaan. Materiaalin kestoikää voidaan pidentää pinnoittamalla ankkurin pinta, joten materiaalin on oltava pinnoitettavissa. Ankkurin käyttäjällä on myös oma vastuu ankkurin elinkaareen vaikuttavana tekijänä ja huolellisella käytöllä voidaan ankkurin kestoikää huomattavasti pidentää kolhimatta sitä käytön aikana.

7.2 Korroosionmuodot

Ankkurin konstruktion on toimittava suunnitellussa ympäristössä toivotun ajan. Tämän vuoksi ankkurin materiaalilta vaaditaan mekaanisten ominaisuuksien lisäksi hyvää korroosiokestävyyttä. Ankkurin kohtaamia korroosionmuotoja käytön aikana voivat olla eroosiokorroosio, hiertymiskorroosio ja hankauskorroosio. Ankkurin raahautuessa merien ja järvien pohjissa sen pinnalle joutuu hiekkaa, kiviä tai savea, jotka aiheuttavat eroosiokorroosiota ankkurin materiaalin pinnassa. Eroosiokorroosion vaikutuksesta materiaalin pinnalla tapahtuu kulumista ja kuoppautumista, joiden vaikutuksesta ruostuminen saattaa alkaa ankkurissa pinnan ominaisuuksien heikentymisestä johtuen.

Hiertymiskorroosiota tapahtuu ankkurin ja kovarakenteisen esim. kivi- tai kalliopohjan välissä, kun pinnat pääsevät värähdellessään liikkumaan toistensa suhteen. Tällöin pintojen profiilihuippujen kosketuskohdissa kosketusjännitykset nousevat hyvin suuriksi. Hiertymisväsymisessä pinnan väsymisestä johtuen metallihiukkasia irtoaa materiaalin pinnasta.

Hankauskorroosiota tapahtuu ankkurin pinnalla, kun metallin pintaan kohdistuu toisen kappaleen hankaavaa kulutusta, joka heikentää ankkurin pinnan ominaisuuksia. Tällöin hankauspinnan syöpyminen alkaa nopeutumaan. Ankkurin pinnalla voi tapahtua myös pistekorroosiota, jossa metallin syöpyminen keskittyy pienille alueille ja korroosionopeus näillä alueilla on hyvinkin nopeaa. Pistekorrosio tapahtuu metalleilla, joiden korroosiokestävyys perustuu pintaa suojaavaan oksidikalvoon tai perusmetallia jalompaan pinnoitteeseen. Pistekorroosiossa metallin pinta syöpyy helposti. (Koivisto et al. 2001, s. 12-13; Tunturi 1988, s. 100-115)

7.3 Ankkurin kulumismuodot

Kuluminen on seurausta toisiaan vastaan liikkuvien pintojen keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Materiaalin kulumisella tarkoitetaan materiaalin irtoamista kuluvalta pinnalta eri mekanismien välityksellä, jonka seurauksena tapahtuu mitta- ja muodonmuutoksia sekä pinnanlaadun heikentymistä. Ankkurin pinnan ominaisuudet heikentyvät, jos se joutuu alttiiksi kulumiselle.

Kovemman pinnan liukuessa pehmeämpää pintaa vasten uurtavat kovan pinnan pinnankarheuden huiput normaalivoiman vaikutuksesta pehmeämpää pintaa, jolloin tapahtuu abrasiivista kulumista. Ankkurissa tapahtuu abrasiivista kulumista, kun ankkuri raahautuu kivi- tai hiekkapohjaa vasten. Ankkurin liukuessa kiveä vasten saattaa väliin joutua esim. hiekka-partikkeleita, jolloin puhutaan kolmen kappaleen abrasiivisesta kulumisesta. Usein abrasiivinen kuluminen alkaa kahden kappaleen kulumisena kehittyen kolmen kappaleen abrasiiviseksi kulumiseksi.

Ankkurin materiaalissa voi tapahtua eroosiokulumista, jossa ainetta poistuu pintakerroksen kiinteiden tai nestemäisten partikkelien seurauksena. Eroosion kulumisnopeus riippuu pitkälle kuluttavien partikkelien iskeytymiskulmasta. Sitkeät materiaalit muokkautuvat ja muokkauslujittuvat mahdollisesti partikkeleiden iskiessä niihin kohtisuorasti, jolloin kuluminen on hidasta ja vallitsevana on väsymiskuluminen. Vinosti pintaan iskeytyvät partikkelit kuluttavat sitkeää materiaalia leikkaavasti ja kulumisnopeus on maksimissaan, kun tulokulma on n. 20 astetta. (Kivioja et al. 2004, s. 105-120)

7.4 Ankkurin materiaalin vaatimusprofiili

Vaatimusprofiiliin kuuluvat kaikki ne vaatimukset, jotka ankkurin materiaaliin kohdistuvat tuotteen käytön ja koko elinkaaren aikana. Vaatimukset jaotellaan ankkurin toimintojen, valmistuksen, käyttöympäristön ja kustannusten asettamien ominaisuuksien mukaan. Vaatimusprofiilin tuloksena saadaan lista vaatimuksista, joita tuotteen materiaalille on asetettava. (Koivisto et al. 2001, s. 250)

Toiminnan vaatimukset:

- a. mahdollisimman kevyt materiaali ja konstruktio
- b. mahdollisimman pitkä käyttöikä
- c. ankkurin muodon säilyminen käytön aikana
- d. kierrätettävyys elinkaaren lopussa

Käyttöympäristön asettamat vaatimukset:

- e. kosteuden sietokyky kosteissa vesiolosuhteissa
- f. kulumisenkesto ankkurin raahautuessa merien/järvien pohjassa
- g. ankkurin kolhiintuminen käytön aikana
- h. korroosiokesto

Valmistettavuuden vaatimukset:

- i. leikattavuus, särmättävyys, hitsattavuus ja pintakäsiteltävyys
- j. rakenne valmistettavissa tyypillisillä hitsausmenetelmillä kuten MIG/MAG- tai puikkohitsaamalla
- k. riittävän suuren sarjatuotannon oltava mahdollista

Kustannusten vaatimukset:

- l. suurimmat kustannukset muodostuvat materiaalien hankintahinnoista ja ankkurin valmistuskustannuksista, joiden tulee olla pieniä
- m. ankkurin valmistaminen samassa yrityksessä logistiikkakustannusten minimoimiseksi ja tehokkaan valmistuksen saavuttamiseksi
- n. käytönaikaiset kustannukset tulee olla pieniä
- o. kierrätettävyys oltava edullista elinkaaren lopussa

7.5 Ankkurin materiaalin ominaisuusprofiili

Ankkurin vaatimusprofiilin laatimisen jälkeen laaditaan materiaalille ominaisuusprofiili. Ominaisuusprofiilissa selvitetään materiaaliominaisuudet, joita vaatimusprofiilin vaatimukset edellyttävät. Ankkurin ominaisuusprofiili on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Ankkurin ominaisuusprofiili.

	vaatimus	ominaisuudet
Toiminnot	<ul style="list-style-type: none"> -kevyt konstruktio -pitkä käyttöikä -rakenteen muuttumattomuus -kierrätettävyys elinkaaren lopussa 	<ul style="list-style-type: none"> -materiaalin tiheys ja massa -vanhenemiskestävyys -väsymislujuus -sulatettavuus
Käyttöympäristö	<ul style="list-style-type: none"> -kosteuden kesto -ankkurin raahautuminen merien ja järvien pohjassa -mahdollinen kolhiintuminen käytön aikana -materiaalin alkuperäisten ominaisuuksien säilyminen eri käyttöolosuhteissa 	<ul style="list-style-type: none"> -korroosiokestävyys, kosteusabsorptio -kulumiskestävyys, kovuus ja murtolujuus -kulumiskestävyys, materiaalin kovuus ja murtolujuus
Valmistus	<ul style="list-style-type: none"> -valmistusmenetelmät 	<ul style="list-style-type: none"> -leikattavuus, särmättävyys, ja hitsattavuus

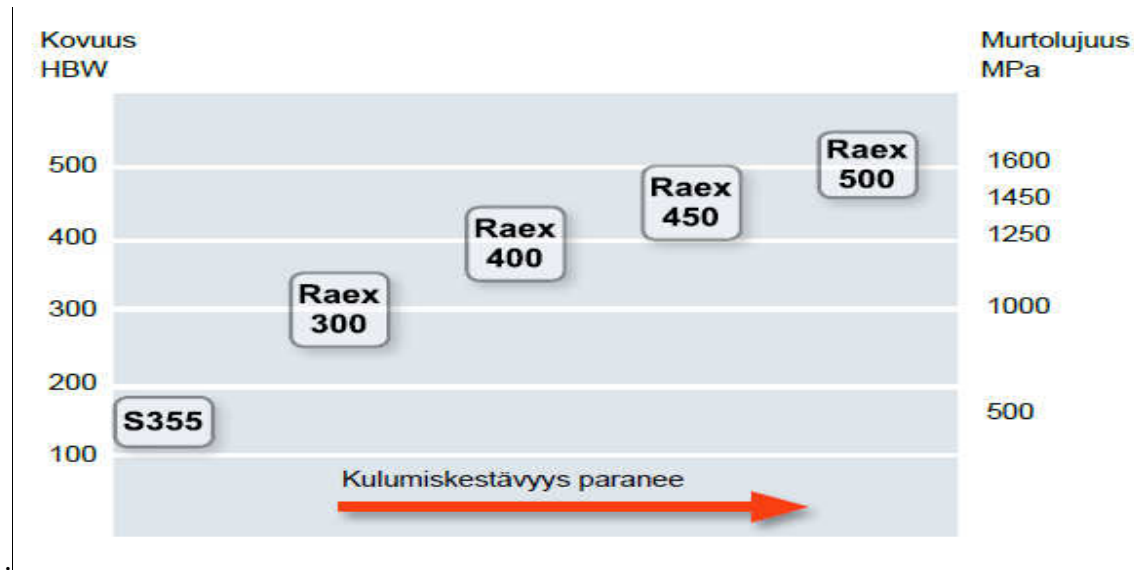
	<p>-pinnoittaminen</p> <p>-konstruktio valmistettavissa tyypillisillä hitsausmenetelmillä kuten MIG/MAG- tai puikkohitsaamalla</p> <p>-sarjatuotannon täytyy olla mahdollista</p>	-pintakäsiteltävyys
Kustannukset	<p>-materiaalikustannukset</p> <p>-pienet käytön aikaiset kustannukset</p> <p>-kierrätettävyys</p> <p>-pienet logistiikkakustannukset</p>	<p>-materiaalin hankintahinta ja edullisuus</p> <p>-vanhenemiskestävyys</p> <p>-kierrätyksen edullisuus</p> <p>-logistiikan edullisuus</p>

Ominaisuusprofiilin perusteella ankkurin materiaaliksi pitää valita materiaali, jolla on suuri kovuus, kestää hyvin kulumista sekä materiaali on hyvin valmistettavissa luvuissa 4-6 esitetyillä valmistusmenetelmillä. Ankkuriin kohdistuu kulumisen lisäksi käytön aikana korroosiota kosteissa vesiolosuhteissa, jonka perusteella materiaali tulee olla pintakäsiteltävissä korroosiota vastaan. Materiaalin hankintahinta on myös tärkeä tekijä lopullisessa materiaalivalinnassa.

7.6 Ankkurin eri materiaalien vertailu

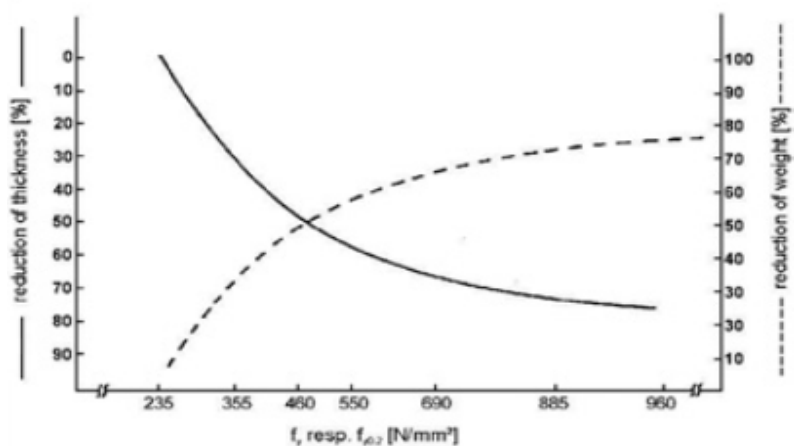
Ankkurin materiaalin valitsemiseksi suoritetaan vertailu tärkeimpien materiaalityyppien ominaisuuksien välillä. Seuraavaksi suoritetaan vertailu alumiinin, kulutusteräksen, suurlujuusteräksen ja seostamattoman rakenneteräksen välillä listamalla hyviä ja huonoja puolia. Ankkurin potentiaaliset materiaalit on esitelty tarkemmin työn alussa olevassa luvussa 3.

Suurlujuus- ja kulutusteräkset ovat erittäin mielenkiintoinen materiaalityyppi ankkurin materiaaliksi. Kulutusteräksien tavallisimmat kovuusluokat ovat 400, 450 ja 500 HB. Ankkurille ominaisuusprofiilissa etsityt kulumis-, kovuus- ja lujuusvaatimukset ovat kulumis- ja suurlujuusteräksiä käytettäessä helpointa toteuttaa. Kulutusteräksien valitsemista ankkurien materiaaleiksi puoltaa se, että ne kestävät hyvin hankaavaa kulumista ja kovaa pintapainetta. Kulutusteräksiä käyttämällä voidaan pidentää ankkurin käyttöikä, vähentää rakenneosien kulumista ja säästää näin käytön aikaisia kustannuksia. Tyypilliseen rakenneteräkseen verrattuna kulutusteräksen kovuus voi olla jopa 3-kertaa suurempi (kuva 34).



Kuva 34. Kovuuden ja murtolujuuden vaikutus kulumiskestävyyteen. (Rautaruukki Oyj, Kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat 2012)

Ultralujien rakenneteräksien käyttöä ankkurin materiaalina puoltaa se, että ne ovat lujia sekä melko hyvin hitsattavissa ja särmättävissä. Materiaali kestää kulumista kohtalaisen hyvin. Ominaisuusprofiilissa on esitetty vaatimukseksi materiaalin ja konstruktion keveys, joka saadaan aikaiseksi valitsemalla ultraluja rakenneteräs. Ohuiden levynpaksuuksien ja hyvien lujuusominaisuuksien vuoksi ankkurin painoa pystytään pienentämään saavuttaen näin käyttäjäystävällinen ja kevyt rakenne ankkurille. Ultralujien rakenneterästen kovuus on melkein kaksinkertainen rakenneteräsiin verrattuna, jonka vuoksi rakenne pystytään suunnittelemaan jopa 40 % ohuemmaksi kuin tavallista rakenneterästä käyttämällä. Kuvassa 35 on esitetty rakenteen painon ja paksuuden riippuvuus myötölujuudesta. (Rissanen, Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit 2011, s. 7-11)



Kuva 35. Rakenteen paksuuden ja painon riippuvuus myötölujuudesta. (Rissanen, Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit 2011, s. 10)

Seostamattomien rakenneterästen valinta tehdään yleensä ensisijaisesti lujuuden ja iskukiteyden mukaan. Yleisimmät teollisuudessa käytettävät rakenneteräset on S235 ja S355-lujuusluokan teräksiä. Rakenneteräksien käyttöä ankkurin materiaalina puoltaa hyvä hinta/laatu-suhde ja hyvä leikattavuus sekä hitsattavuus. Rakenneterästen myötölujuus kohoaa nopeammin kuin hinta, minkä vuoksi lujempien terästen käyttö on edullisempää vaadittaessa materiaalilta parempia lujuusominaisuuksia. (Eklund & Laakso 2001, s. 15-17)

Alumiini mahdollistaa kevyiden rakenteiden suunnittelun, minkä vuoksi se sopii hyvin ankkurin materiaaliksi. Ominaisuusprofiilissa vaaditaan ankkurin materiaalilta korroosionkestävyyttä, joka alumiinilla on hyvä. Alumiinin hyvä korroosiokestävyys perustuu sen pinnalle muodostuvaan oksidikalvoon, joka on kova ja uusiutuva. Alumiinin pinta voidaan suojata hapettamalla se sähköisesti eli anodisoimalla, joka parantaa materiaalin kulumiskestävyyttä ja korroosiokestävyyttä kosteissa vesiolosuhteissa. Alumiinin leikattavuus ja hitsattavuus ovat hyvät etenkin yleisesti käytettävillä AlMg-seoksilla. (Koivisto et al. 2001, s. 163-165)

7.7 Sinkki pinnoitteena

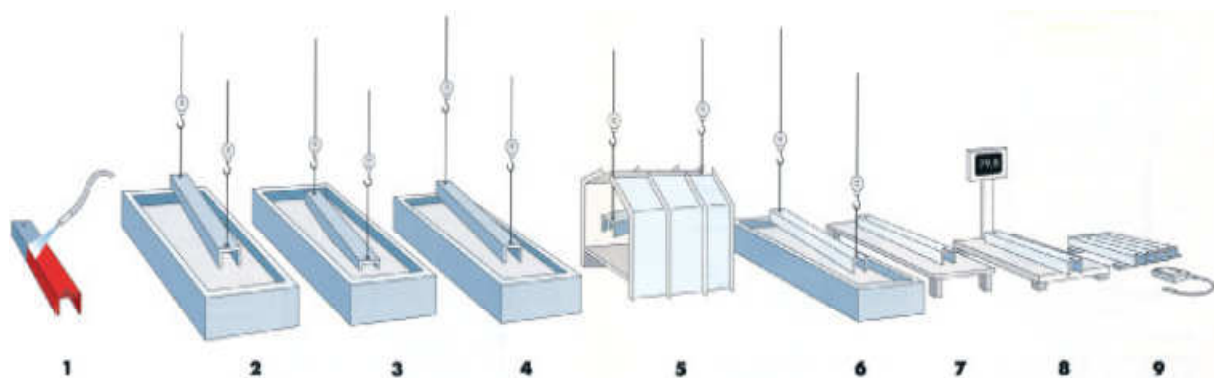
Ankkurin materiaalin ominaisuuksia voidaan parantaa suorittamalla materiaalin pinnalle sinkitys. Sinkin normaalipotentiali on alhainen, joten siinä ei tapahdu suurta korroosiota vedessä ja ilmassa. Tämä tekee siitä houkuttelevan vaihtoehdon ankkurin materiaalin pinnoitteeksi. Lämpötilan noustessa sinkin syöpyminen kiihtyy puhtaassa vedessä ja se on maksimissaan n. 65 °C:ssa. Alhainen normaalipotentiali yhdessä hyvän korroosiokestävyyden kanssa tekevät sinkin käytön mahdolliseksi teräksen ja raudan pinnoitteena. Tämä ominaisuus puoltaa sinkityksen käyttöä ankkurin materiaalin pinnoitteena.

Sinkkipinnoitteen kestoikä riippuu sinkityskerroksen paksuudesta. Sinkkipinnoite kestää hyvin kolhuja ja kulumista, minkä vuoksi se sopii hyvin käytettäväksi ankkureiden pinnoitteena. Jos sinkkikerrokseen syntyy vaurio, muodostaa rauta ja sinkki galvaanisen parin, jossa sinkki epäjalompana toimii anodina ja rauta katodina (kuva 36). Tällöin sinkki liukenee viottuman ympärillä ja saostuu teräksen pinnalle suojaten sitä. Sinkkipinnoite kestää kymmeniä, jopa satoja vuosia huoltamatta pintaa.



Kuva 36. Sinkkipinnoite korjaa vaurion itsestään. (Suomen kuumasinkitsijät ry 2012)

Aluksi sinkittävän kappaleen pinnalta poistetaan epäpuhtaudet kuten lika ja rasva. Sen jälkeen teräs peitataan kastelemalla suola- tai rikkihapossa, jolloin mahdollinen ruoste ja valssihilse lähtevät pois kappaleen pinnalta. Peittauksen jälkeen suoritetaan vesihuuhtelu, jossa kappaleet upotetaan juoksutekylpyyn ja pinnalle muodostuu suojaava suolakerros, joka estää terästä hapettumasta ennen varsinaista sinkkikylpyä. Tämän jälkeen sinkittävän kappaleen pinta kuivataan ja kappale upotetaan sulaan sinkkiin. Sinkki ja teräs reagoivat keskenään muodostaen pinnoitteen, jonka paksuus riippuu upotusajasta ja Si-pitoisuudesta. Tämän jälkeen kappaleet jäähdytetään vedessä tai ilmassa sekä punnitaan. Kuumasinkityksen vaiheet on esitelty kuvassa 37. Lopuksi muodostunut pinnoite tarkastetaan silmämääräisesti ja pinnoitteen paksuus mitataan magneettisesti. (Koivisto et al. 2001, s. 182-183; Suomen kuumasinkitsijät ry 2012)



Kuva 37. Kuumasinkitysprosessin vaiheet. (Suomen kuumasinkitsijät ry 2012)

7.8 Lopullinen materiaalin valinta: vaatimus- ja ominaisuusprofiilin yhteensovittaminen

Kulutusteräksiä valmistetaan eri kovuuksien mukaan 400-600 HBW-yksikön välillä. Kulutusteräksiä valmistaa Suomessa mm. Rautaruukki Oyj, jonka yleisimmät kulutusteräket ovat Raex 300, 400, 450 ja 500, missä numeroluku kuvaa materiaalin kovuutta. Rautaruukin valmistamien ultralujien rakenneteräksien myötölujuudet ovat 900, 960 ja 1100 MPa. Rakenneteräksien myötölujuus on yleensä 235 tai 355 MPa, joka on huomattavasti alhaisempi kuin suurlujuusterästen. Ankkurin materiaalilta vaaditaan hyvää kulumiskestävyyttä, jolloin tärkeimmät materiaaliominaisuudet ovat materiaalin kovuus ja murtolujuus. Parhaiten nämä ominaisuudet toteuttavat kulutusteräket ja suurlujuusteräket taulukon 6 mukaan. Kovuus ja murtolujuus arvot ovat huomattavasti paremmat Raex-teräksillä kuin lujilla rakenneteräksillä. Hitsattavuutta arvioidaan hiiliekvivalentti C_{ekv} -kaavan avulla. Teräs on yleensä hyvin hitsattavissa, jos $C_{ekv} < 0,41$. Korotettua työlämpötilaa eli esilämmitystä on käytettävä, jos $C_{ekv} > 0,45$. Taulukosta huomataan, että ainoastaan rakenneteräket eivät vaadi korotettua työlämpötilaa hitsauksessa. Kulutusterästen ja suurlujuusterästen hiiliekvivalentin arvot ovat $> 0,45$, joten esilämmitystä tulee käyttää niiden hitsauksessa. (Rissanen, Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit 2011, s. 7-10)

Taulukko 6. Ankkurin tärkeimpien ominaisuuksien lukuarvot eri materiaaleille. (Rautaruukki Oyj kuumavalssatut teräkset 2012 & Vähäkainu 2012)

Materiaali	Paksuus [mm]	Kovuus [HBW]	Myötölujuus [MPa]	Murtolujuus [MPa]	CEV	Hinta €/kg
Yleinen rakenneteräs S355	16-40	140-185	345	470-630	0,4	0,811
Kulutusteräs Raex 500	6-40	450-540	1250	1600	0,57	1,426
Ultralujateräs Optim 900 QC		300-340	900	950	0,51	1,435
Suurlujuusteräs Optim 650		220-260	650	1250	0,5	0,895
AlMg3		30-105 HB	35-290	100-380		2,96

Vaatus- ja ominaisuusprofiilien yhtensovittaminen tehdään laskemalla ominaisuusprofiilin mukaan jokaiselle materiaalille vertailuluku, joka kuvaa materiaalin soveltuvuutta käyttökohteeseen. Yhtensovittamisessa käytetään hyväksi asteikkoa 0-3 ja materiaali saa vertailuluvun kolme, jos se toteuttaa hyvin sille asetetut vaatimukset ja heikoimman arvon ollessa 0. Materiaalille laaditaan painotusarvo, jonka tehtävänä on kuvata ominaisuuden tärkeyttä ankkurin materiaalia valittaessa. Tärkein tekijä ankkurin materiaalia valittaessa on kovuus ja murtolujuus kulumista vastaan. Materiaalin hinta määrää pitkälle ankkurin hinnan, joten se on tärkeä tekijä ankkurin materiaalia valittaessa. Materiaalin leikattavuus ja hitsattavuus tulee olla riittävän hyviä, jotta ankkurin valmistaminen onnistuu tehokkaasti ja tasalaatuisesti. Materiaalivalinnan lopputarkastelu tehdään laskemalla painotetut vertailuluvut yhteen, jonka avulla selvitetään paras materiaali ankkurille (taulukko 7).

Taulukko 7. Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen painokertoimien avulla.

Materiaali	Kovuus 35 %	Murtolujuus 15 %	Myötölujuus 10 %	Leikat- tavuus 10 %	Hitsat- tavuus 10 %	Hinta 20 %	Yht.
Rakenneteräs	0,33	0,1	0,075	0,25	0,25	0,6	1,61
Kulutusteräs	1	0,4	0,3	0,15	0,2	0,4	2,45
Ultraluja teräs	0,67	0,26	0,23	0,2	0,15	0,4	1,91
Suurlujuusteräs	0,5	0,2	0,15	0,2	0,15	0,5	1,7
Alumiini	0,5	0,05	0,038	0,15	0,15	0,2	1,09

Suurimmat pistemäärät vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittamisessa saivat kulutus- ja suurlujuusteräset, jotka soveltuvat hyvin kulutusta kestäviin kohteisiin suuren kovuuden ja murtolujuuden ansiosta. **Kulutusteräksen kovuus, myötölujuus ja murtolujuus arvot olivat paremmat kuin suurlujuusterästen vastaavat, joten ankkurin materiaaliksi soveltuu parhaiten kulutusteräs Raex 500.** Ohut ja kulumista kestävä teräs antaa suunnittelijalle mahdollisuuden pudottaa materiaalin paksuutta jopa 30-50 % rakenneteräksiin verrattuna. Kulutusteräksiä käyttämällä saadaan toteutettua näin huomattavasti kevyempiä rakenteita. Kulutusteräksen pinnalle tehdään kuumasinkitys, joka parantaa pinnan korroosiokestävyyttä kosteissa meri- ja järviolosuhteissa.

8 ANKKURIN KONSTRUKTION SUUNNITTELU

8.1 Valmistuksen ja suunnittelun yhteistyöprosessi

Valmistuksen ja suunnittelun yhteistyö on tärkeä keino, kun pyritään taloudellisiin rakenteisiin. Konstruktion suunnittelussa valmistusmenetelmien huomioiminen on haastavaa varsinkin, kun tuotteen valmistaa alihankkija. Valmistuksen ja suunnittelun yhteistyöprosessi tarkoittaa päähankkijan tuotesuunnittelun tai tuotekehityksen ja alihankkijan välistä keskustelua, jonka tavoitteena on saada aikaiseksi mahdollisimman valmistusystävällinen konstruktio. Valmistuksen ja suunnittelun yhteistyön tarve vaihtelee paljon. Varsinkin yksinkertaisia konstruktioita valmistavalle alihankkijalle yhteistyön tarve on vähäistä, kun taas monimutkaisia osia/tuotteita valmistavalle alihankkijalle yhteistyön tarve on yleensä välttämätöntä päähankkijan kanssa.

Valmistettavissa tuotteissa voi olla mittoja tai muotoja, joiden valmistaminen voi olla mahdotonta tai kallista. Tällaisissa tapauksissa valmistajan ja suunnittelijan on sovittava tarvittavista muutoksista. Päähankkijoilla, joilla on omaa valmistustoimintaa, on yleensä valmistusteknillinen osaaminen korkealla tasolla. Joillakin päähankkijoilla valmistuksellinen osaaminen on heikolla osaamisella, jolloin toimitetaan teknisiä piirustuksia, joiden mukaisia tuotteita on mahdotonta valmistaa. Tällöin alihankkijan on otettava yhteyttä suunnittelijaan ja tarkennettava tuotteen mittoja, muotoja tai toleransseja.

Uusien ja vanhojen tuotteiden kehittäminen on hyvin erilaista. Valmistajan pitäisi osallistua tuotekehitysprojektiin alusta alkaen uusien tuotteiden kehittämisprojektissa. Vanhojen tuotteiden osalta voi olla kyse siitä, että tuotteen volyymit ovat muuttuneet, saatavilla oleva valmistusteknologia on kehittynyt samaan aikaan ja materiaalivaihtoehdot lisääntyneet. Joihinkin tuotteisiin liittyviä toiminnallisia ongelmia on ajan kuluessa saatu poistettua ja tämän vuoksi konstruktioita ei haluta muuttaa.

Valmistuksen ja suunnittelun yhteistyö on tärkeä keino, kun pyritään taloudellisiin konstruktioihin. Konstruktion suunnittelussa valmistusmenetelmien huomioiminen on haastavaa tiedonsiirron haasteista johtuen, kun tuotteen valmistaa alihankkija. Suunnittelun ulkoistaminen on hyvä vaihtoehto monessa tilanteessa, jota voisi harkita huomattavasti useimminkin. Suunnittelun ulkoistamisella tuotteiden alihankkijoille tai niitä lähellä oleville suunnittelutoimistoille saataisiin monesti aikaiseksi paremmin valmistusmenetelmiin soveltuvia tuotteita. (Häkkinen 2004, s. 34-35)

8.1.1 Rinnakkainen suunnittelu

Rinnakkaisesta suunnittelusta käytetään englanninkielistä nimitystä Concurrent Engineering (CE). Rinnakkaisella suunnittelulla tarkoitetaan suunnittelun ja valmistuksen yhteistyötä, jonka tavoitteena on saada parempia tuotteita sekä niitä nopeammin markkinoille kuin kilpailevat yritykset ja saada näin merkittävää kilpailuetua. Rinnakkaissuunnittelussa suunnittelun toteuttaa tiimi, jossa on jäseniä jokaisesta tuotteen elinkaaren vaiheesta. Markkinoinnin tehtävänä on tuoda mukaan asiakkaan vaatimukset, jolloin tuotannon edustaja suhtautuu asiaan tuotannon onnistumisen kannalta. Onnistunut rinnakkainen suunnittelu edellyttää aktiivista kommunikointia tiimin kaikkien jäsenten välillä. Rinnakkaisen suunnittelun tavoitteena on saada aikaiseksi lyhyempi markkinoille saantiaika, alhaisemmat kustannukset ja parempi laatu tuotteelle. (Delchambre 1996, s. 13-14; Hietikko 2008, s. 129-130)

Aikajänne ja teknologian kehittyminen on melko hyvin ennakoitavissa. Rinnakkaissuunnittelun avulla nämä voidaan yhdistää, jolloin pystytään varmistamaan yrityksen tuote- ja liikestrategian sekä valmistusteknisen kehittämisen yhdenmukaisuus. Parhaaseen tulokseen pyrittäessä tulee kehittää tuotteita ja valmistussysteemejä yhteistyönä. (Kauppinen 1987, s. 35-36)

8.1.2 Tuote- ja menetelmäkehitysyhteistyö

Tuotteiden ja menetelmien kehittämisyhteistyön tavoitteena on pienentää kustannuksia teknisten piirustusten mukaisia erikoisosia hankittaessa. Yleensä asiakasyritys tietää tarkkaan hankittavalta osalta vaadittavat ominaisuudet. Monesti asiakasyritys ei tiedä kovinkaan tarkkaan erilaisten vaihtoehtojen valmistuskustannuksia. Alihankkijan ottaminen mukaan tuotteen suunnitteluun on erinomainen keino vähentää kustannuksia ja tuotteen lopullista hintaa. Alihankkija tietää mahdollisten vaihtoehtoisten konstruktioiden valmistuskustannukset ja on muutenkin valmistamiensa osien asiantuntija. Onnistuneen tuotekehitysyhteistyön kannalta on tärkeää, että osahankkija on mukana tuotteen suunnittelussa jo varhaisessa vaiheessa, jolloin muutokset tuotteeseen ovat vielä mahdollisia. Myöhemminkin voidaan tehdä muutoksia esim. toleransseja muuttamalla, mutta suuria muutoksia on vaikea tehdä tuotannon alkamisen jälkeen. (Tanskanen 1985, s. 11)

8.1.3 DFMA

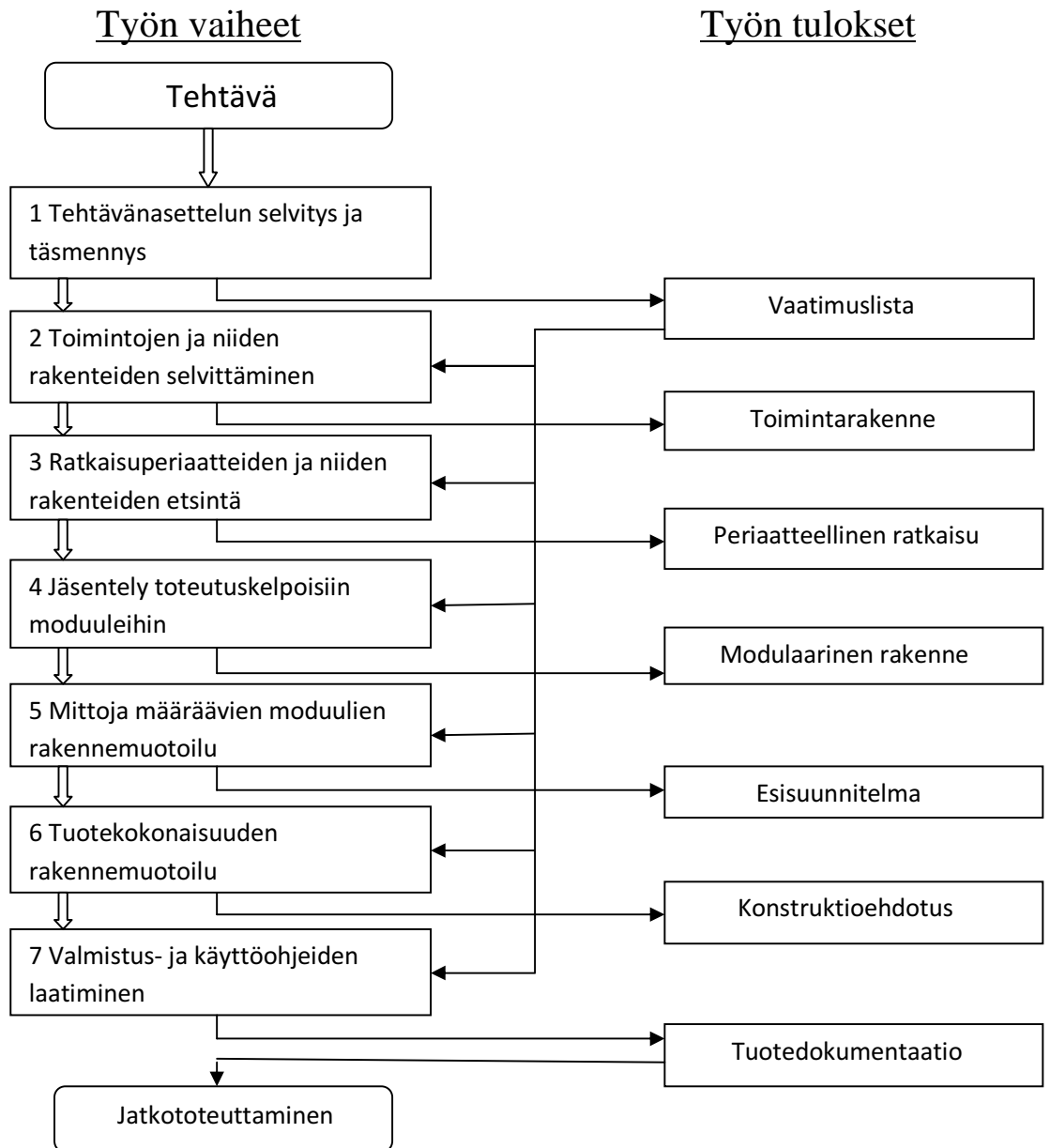
DFMA lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista Design for Manufacturing and Assembly. DFMA:n tavoitteena on kehittää tuotteiden valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta. Se on menetelmä, jolla pyritään erilaisin suunnittelu-yhteistyön keinoin pääsemään tilanteeseen, jossa tuote on mahdollisimman valmistusystävällinen ja toteuttaa sille asetetut teknilliset, laadulliset ja taloudelliset vaatimukset asiakkaassa. DFMA käsitteeseen liittyy termit DFA ja DFM. DFA (Design for Assembly) koskee tuotteen suunnittelua niin, että kokoonpano helpottuu ja nopeutuu. DFM:n (Design for Manufacture) tavoitteena on suunnitella osat mahdollisimman valmistusystävälliseksi. DFMA on menetelmä, joka yhdistää nämä kaksi menetelmää toisiinsa. (Boothroyd et al. 2002, s.1)

DFMA:ta koskevat säännöt tuotteen suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen tehostamiseen ovat:

- osien suunnittelu mahdollisimman helposti valmistettaviksi
- osien lukumäärän minimointi
- eri variaatioiden määrän minimointi
- modulaarinen suunnittelu
- erillisiä kiinnitysosia on vältettävä kokoonpanotyön helpottamiseksi
- yksilölliset osat asetetaan viimeiseksi
- kokoonpano suunnitellaan niin, että se voidaan tehdä yhdestä suunnasta
- osien asettuvuus kokoonpanossa mahdollisimman helpoksi (Varis 2007, s. 174)

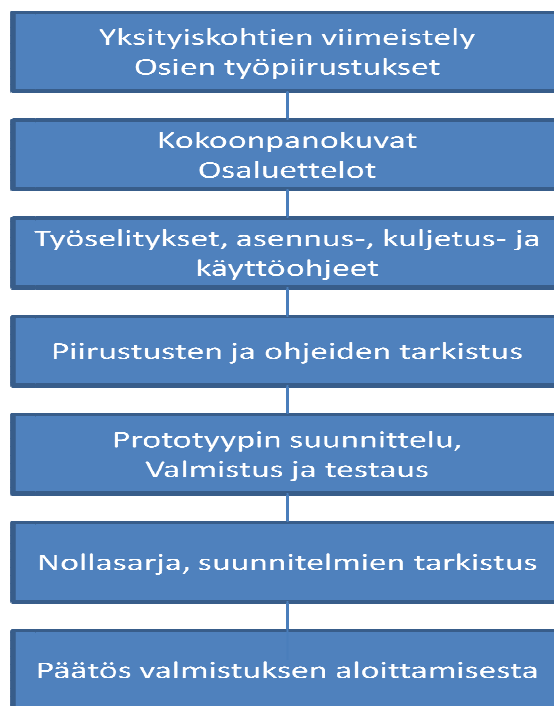
8.2 Suunnitteluprosessin vaiheet ja eteneminen

Suunnitteluprosessin ensimmäinen vaihe on tehtävänasettelun selvittäminen ja täydentäminen sekä aikataulun suunnittelu. Tuotekehitysprojektin yksi tärkeimmistä vaiheista on tavoitteiden asettaminen, jossa käytetään hyödyksi usein markkinatutkimuksia, kirjallisuustutkimuksia ja keskusteluja. Tämän jälkeen laaditaan tuotteelle vaatimuslista, jossa asetetaan tuotteelle vaatimukset ja toivomukset. Ideointivaiheessa määritellään tuotteelle halutut kehitysmahdollisuudet. Seuraavassa vaiheessa tehdään vaatimuslistan abstrahointi, jonka avulla toivomukset jätetään pois ja tuotteelle laaditaan sen perusteella kokonaistoiminto. Kun tuotteelle on laadittu toimintorakenne, mietitään tuotteen kokonaistoiminnan toteuttaminen ja arvioidaan saatuja ratkaisuvaihtoehtoja. Kuvan 38 kaaviossa on esitetty vaiheittain tuotteen suunnittelutyön eteneminen.



Kuva 38. Suunnittelun ja kehitystyön etenemisen kulkukaavio. (Pahl et al. 2007, s. 47)

Viimeistelyvaiheessa tuotteelle laaditaan tekniset piirustukset, osaluettelot sekä asennus- ja käyttöohjeet, joita tarvitaan tuotteen valmistamiseen ja käyttämiseen. Viimeistelyn työvaiheet on esitelty kuvassa 39.



Kuva 39. Viimeistelyn työvaiheet.(Jokinen 1991, s.100)

8.3 Ankkurin vaatimuslista

Ensimmäinen vaihe tuotekehityksessä on yleensä tunnistaa tuotteelta vaadittavat vaatimukset ja toivomukset. Tuotteelle laaditaan vaatimuslista, jossa määritellään onko tietty ominaisuus vaatimus (V) vai toivomus (T). Vaatimuslistan tavoitteena on määrittellä tuotteelle käytön ja valmistettavuuden rajat. Tuotteelle asetettu vaatimus on sellainen ominaisuus tai toiminto, jonka rakenteen pitää ehdottomasti toteuttaa. Toivomus on muodoltaan samanlainen kuin vaatimus, mutta rakenteen ei välttämättä tarvitse toteuttaa sitä ja toivomus tulee ns. ylimääräisenä hyötynä tuotteessa, jos se on mahdollista toteuttaa vaatimusten ohessa kohtuullisilla kustannuksilla ja työmäärällä. Ankkurin rakenteen ideointivaiheessa ilmenneet vaatimukset ja toivomukset on esitelty taulukon 8 vaatimuslistassa. (Pahl et al. 2007, s. 136-158)

Taulukko 8. Ankkurin vaatimuslista.

Vaatimus/toivomus (V/T)	
	Rakenne
V	Taittuva konstruktio
V	Yksinkertainen rakenne
V	Kustannustehokas rakenne valmistaa
V	Optimaalinen vetopisteen paikka
V	Tunkeutuminen eri pohjiin hyvä
V	Painon/lujuuden optimointi
V	Mahdollisimman kevyt rakenne
T	Lukitusmekanismi taittuville osille
	Geometria
V	Ankkurin kärjen hyvä tunkeutuminen pohjaan
V	Optimaalinen tunkeutumiskulma
V	Ankkurin muotoilulla korvataan massaa
V	Terävät kulmat pohjaan tunkeutuvassa osassa
V	Pieni tilantarve
V	Painopisteen paikka määrää ankkurin tunkeutumisasennon
T	Kyntöaura estää ankkurin liukumisen pohjassa
T	Pyöreät muodot rakenteessa työturvallisuuden kannalta

	Kinematikka
V	Varmatoiminen taittomekanismi
T	Mahdollinen lukitusmekanismi varmatoiminen
	Valmistus
V	Hitsattavissa tyypillisillä hitsausmenetelmillä
V	Osien leikkaus termisillä leikkausmenetelmillä
V	Valmistusystävällinen tuote
T	Mahdollisuus sarjatuotantoon
	Käyttö
V	Turvallinen käyttää
V	Ankkuri pysyy paikallaan eri pohjissa
V	Miellyttävä ja helppo käyttää
T	Hyvä siirrettävyys
	Kustannukset
V	Pienet valmistuskustannukset
V	Alhaiset materiaalikustannukset
T	Eri valmistusmenetelmien toteuttaminen samassa yrityksessä logistiikkakustannusten minimoimiseksi

8.4 Vaatimuslistan abstrahointi

Abstrahoinnin avulla laajennetaan suunnittelijan näkökulmaa, kun haetaan ratkaisuja tutkittavalle ongelmalle. Ongelman yleistämisellä pystytään löytämään ratkaisuvaihtoehtoja, jotka ovat olleet suunnittelijan ennakkokäsityksen ja mielikuvien puolella. Abstrahoinnilla korostetaan oleellista ja yleispätevyyttä. Ongelmat yksinkertaistetaan tavoitteen mukaan, jotta tehtävän ydinolemus tulisi mahdollisimman selvästi esille. Tehtävän ydinolemuksen ja toiminnollisten yhteyksien sekä vaatimusten löytäminen tuo esille ongelman, johon ratkaisu pitää löytää. Abstrahoinnissa on viisi työaskelta vaatimusten pohjalta:

1. Askel: jätetään toivomukset pois
2. Askel: jätetään sellaiset vaatimukset pois, jotka eivät välittömästi koske toimintaa ja oleellisia ehtoja
3. Askel: määrälliset vaatimukset muutetaan laadulliseksi
4. Askel: laajennetaan mielekkäästi tähän asti tunnettua
5. Askel: muotoillaan ongelma ratkaisuun nähden neutraaliksi.

Vaatimuslistan laajuudesta riippuen voidaan joitakin työaskeleita jättää kokonaan pois. (Pahl et al. 2007, s. 164-165)

Abstrahoinnin tuloksena ankkurin tehtävälle saadaan yksinkertainen muoto:

Ankkurin suunnittelun tarpeet huomioiden tulee sen toteuttaa laskeutuminen pohjaan, tunkeutuminen pohjaan ja irroittautuminen pohjasta varmatoimisesti.

8.5 Ankkurin toimintorakenne

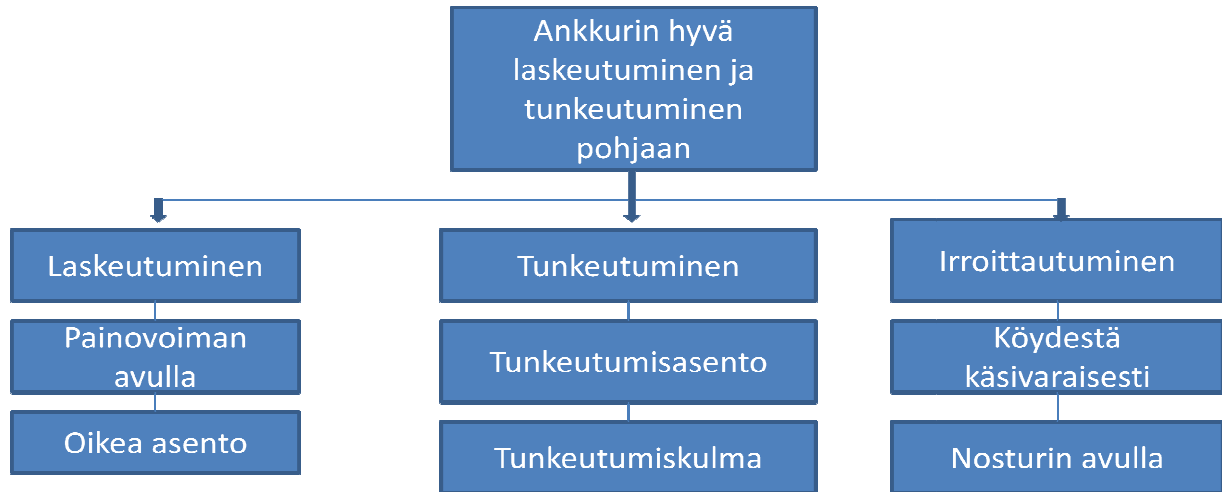
Ankkurin toimintaan kuuluu kolme eri vaihetta, jotka ovat 1. laskeutuminen pohjaan ja 2. laahautuminen pohjassa kunnes tunkeutuminen pohjaan alkaa. Tämän lisäksi ankkurin tulisi 3. irroittautua pohjasta mahdollisimman helposti ja vähällä voimalla.

8.5.1 Kokonaistoiminto

Ankkurin vaatimuslista käydään läpi kohta kohdalta, jonka perusteella ankkurille pystytään laatimaan kokonaistoiminto. Vaatimusten ja toivomusten mukaan etsitään ankkurin kokonaistoiminto eli mitä ankkurin pitää tehdä. Ankkurin kokonaistoiminto on kohdan 8.3 vaatimuslistan mukaisesti: toteuttaa laskeutuminen pohjaan oikeassa asennossa, laahautuminen pohjassa niin, että ankkurin tunkeutuminen pohjaan alkaa optimaalisessa kulmassa sekä oikeassa asennossa ja irroittautuminen pohjasta tapahtuu mahdollisimman helposti.

8.5.2 Kokonaistoiminnon jakaminen osatoimintoihin

Kokonaistoiminnon löytämisen jälkeen kokonaistoiminto pitää jakaa osatoimintoihin. Osatoimintojen ratkaisuvaihtoehtojen vertailun ja ideoinnin avulla pystytään helpottamaan ja yksinkertaistamaan ankkurin suunnittelutyötä, koska toimintorakenne jaetaan pienempiin osakokonaisuuksiin. Yksittäisten osatoimintojen yhdistäminen tuottaa toimintorakenteen, joka kuvaa kokonaistoimintoja. Ankkurin osatoiminnot ja niihin liittyvät ratkaisuvaihtoehdot on esitelty tarkemmin kuvassa 40.

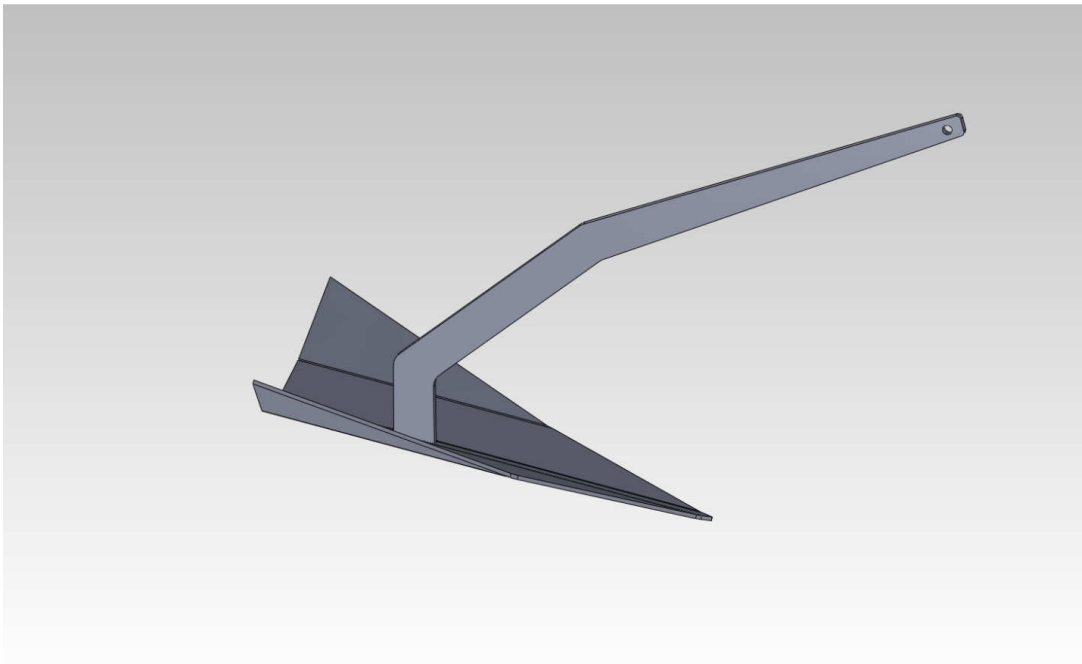


Kuva 40. Ankkurin toimintorakenne.

8.6 Ankkurin suunnittelun eri variaatiot ja niiden arviointi

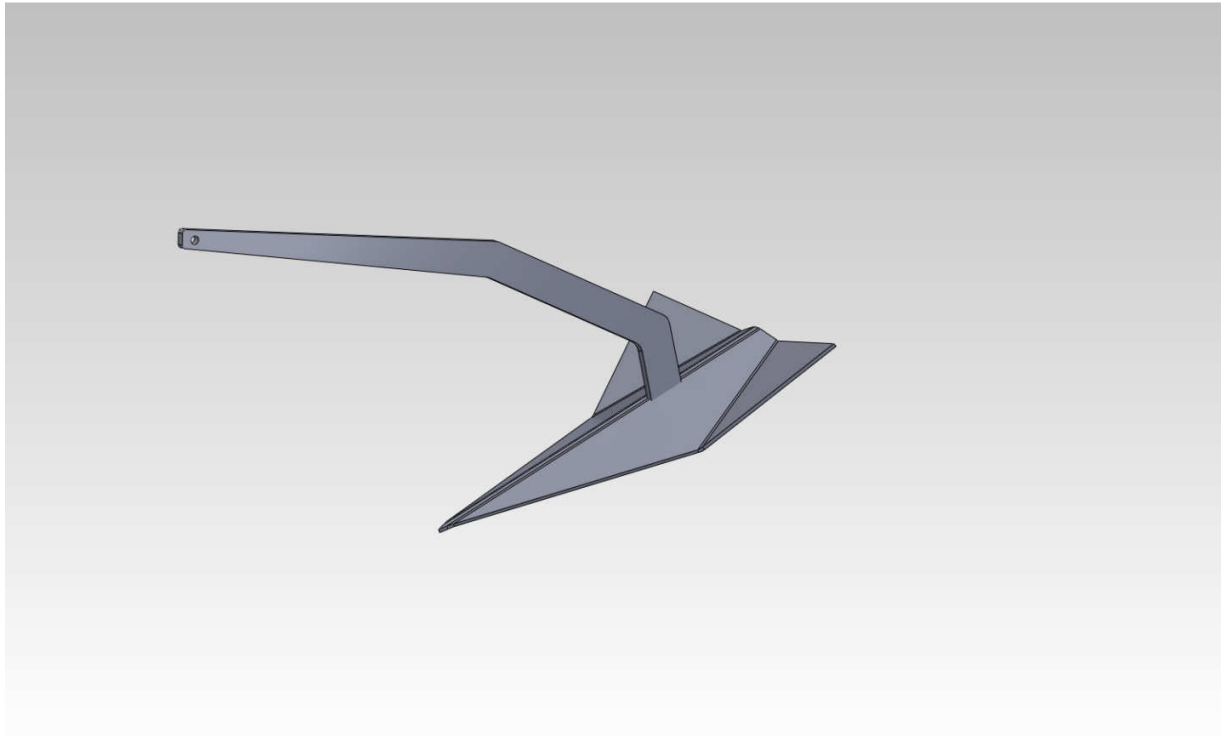
Erilaisia ankkurimalleja on maailmalla olemassa useita ja ankkureiden eri valmistajat ovat kehittäneet useita erilaisia malleja eri ankkurityypeistä. Puomiankkurin suunnittelussa käytetään hyväksi jo olemassa olevia erilaisia ankkurimalleja, joiden pohjalta uuden ankkurin rakennetta suunnitellaan. Eri ankkurimallien toteuttamia hyviä puolia pyritään toteuttamaan suunnittelussa ja vastaavasti huonoja puolia välttämään rakenteen suunnittelussa. Puomiankkuriin kohdistuu huomattavasti suuremmat tuuli- ja virtauskuormat kuin perinteisiin veneankkureihin, koska puomien suureen pinta-alaan kohdistuvat suuret voimat. Kuitenkin puomi- ja veneankkurilta vaaditaan samankaltaisia ominaisuuksia, kuten optimaalista tunkeutumiskulmaa, optimaalista vetopisteen paikkaa ja riittävää painoa. Ankkurin suunnittelussa on otettava huomioon ankkurille vaatimuslistassa esitetyt vaatimukset ja toivomukset, jotka on esitelty kappaleessa 8.3. Ankkurin rakenteen suunnittelu toteutetaan SolidWorks-ohjelmalla, joka soveltuu hyvin 3D-mallien toteuttamiseen.

Ensimmäinen versio ankkurista on esitelty kuvassa 41, jonka rakenteessa on terävä ja kapea kärki pyrkii tunkeutumaan syvälle pohjaan ja pyrkii pitämään ankkurin kiinni pohjassa. Ankkurin tunkeutumisosassa olevien taivutusten tarkoituksena on ankkurin tunkeuduttua estää pohjan aineiden poistuminen rakenteesta parantaen näin ankkurin pitokykyä. Ankkuri tunkeutuu hyvin pehmeisiin pohjiin pitkän ja kapean kärjen ansiosta.



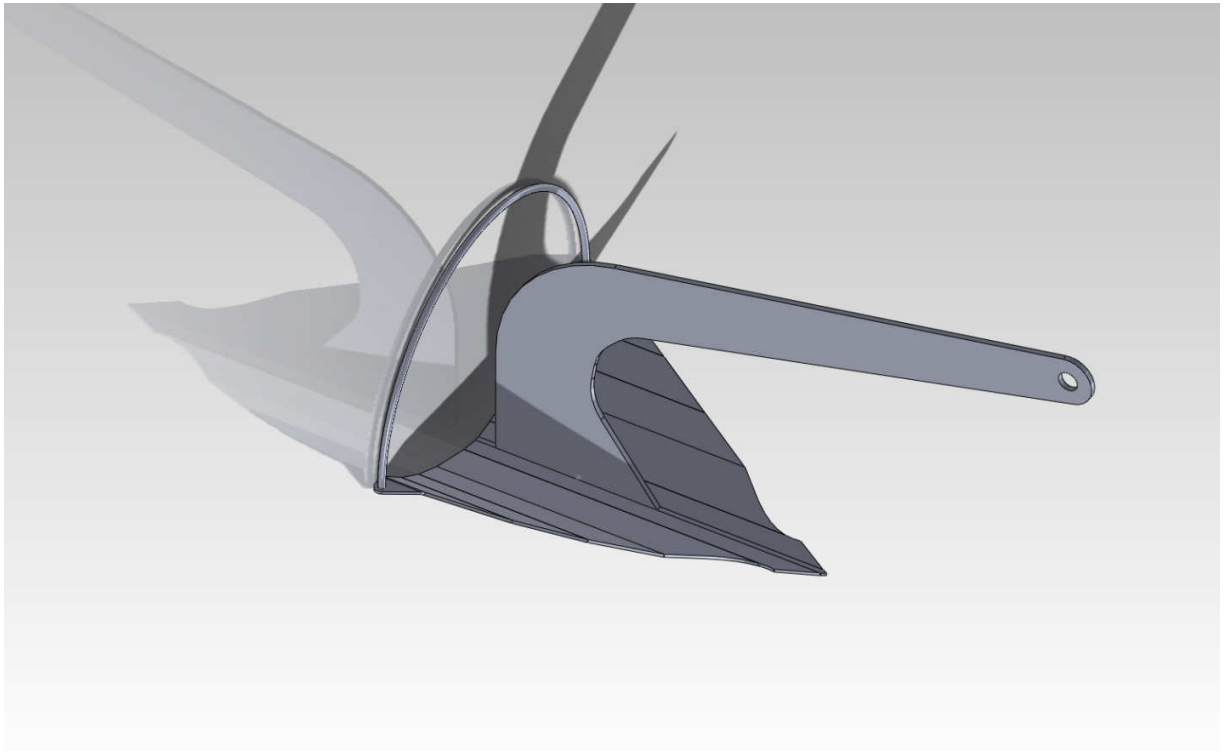
Kuva 41. Ankkurin rakenteen ensimmäinen variaatio.

Ankkurin suunnittelun toisessa variaatiossa kuvassa 42 on samankaltainen rakenne kuin edellä olevassa versiossa, mutta taivutukset on tehty alaspäin. Ankkurin rakenne koostuu kahdesta laserleikatusta osasta, jotka on hitsattu kiinni toisiinsa. Ankkurin terävän kärjen tavoitteena on tunkeutua pohjaan ja ohjata pohjan aineksia taivutettuihin siipiin.



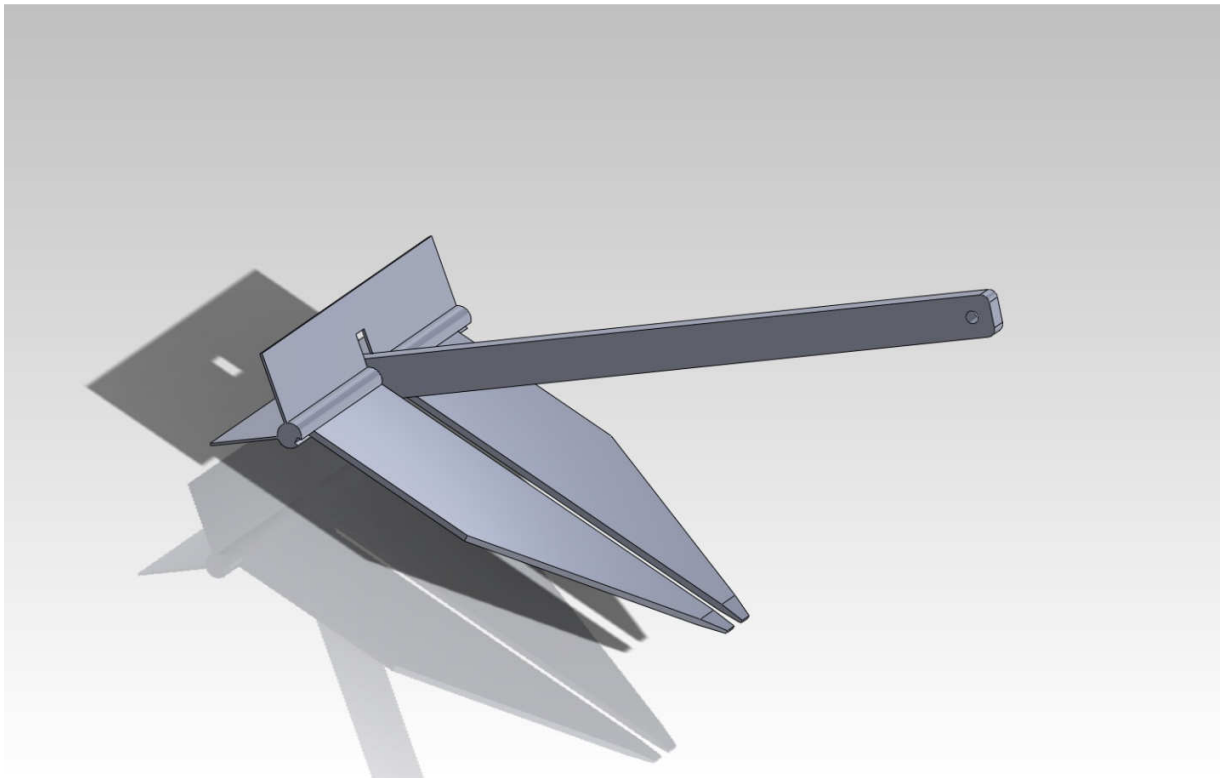
Kuva 42. Ankkurin toinen variaatio.

Ankkurin suunnittelun kolmas kehitysversio on esitelty kuvassa 43, jossa tunkeutumisosa on lähes tasasivuisen kolmion muotoinen ja muotoilua on kehitelty eteenpäin edellä esitetyistä malleista. Ankkurin pohjalevyssä leikatun kärjen muotoilun tavoitteena on parantaa ankkurin tunkeutumista pohjaan ja ohjata pohjan aineksia rakennetta myötäillen. Ankkurin leveä tunkeutumisosa mahdollistaa suuremman tunkeutumispinta-alan parantaen pitävyyttä pohjassa. Ankkurin tunkeutumiskyky on parempi kuin ensimmäisen version, koska painopisteen paikka on lähempänä tunkeutumiskärkeä ja vaakatasoa.



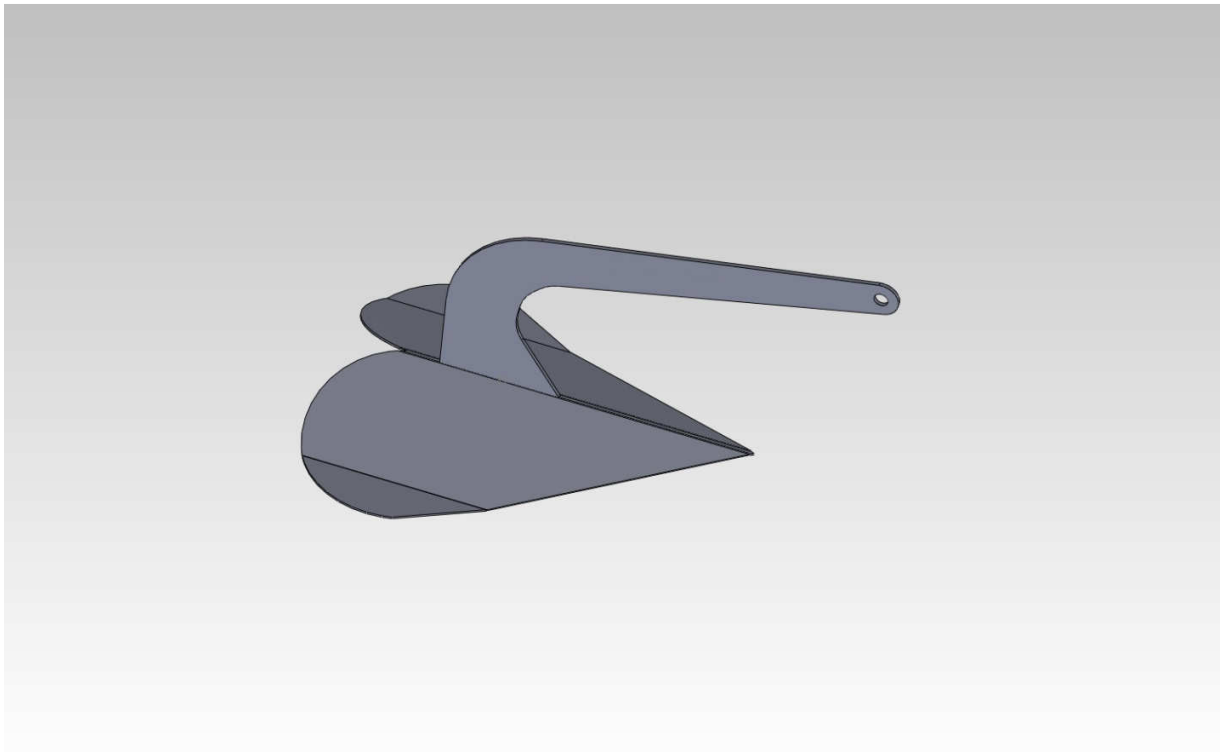
Kuva 43. Ankkurin kolmas kehitelty versio.

Neljäs ankkurin rakenne on kehitetty versio Danforth-ankkurista, jossa on kaksi terävää tunkeutumiskärkeä mahdollistaen hyvän pitokyvyn ankkurille. Ankkurin rakenne on esitelty kuvassa 44. Ankkurin takaosiin hitsattujen levyjen tavoitteena on antaa ankkurille hyvän tunkeutumisasennon johdosta optimaalinen tunkeutumiskulma pohjaan. Ankkurin takaosassa oleva vetopiste mahdollistaa hyvän ja nopean tunkeutumisen pohjaan



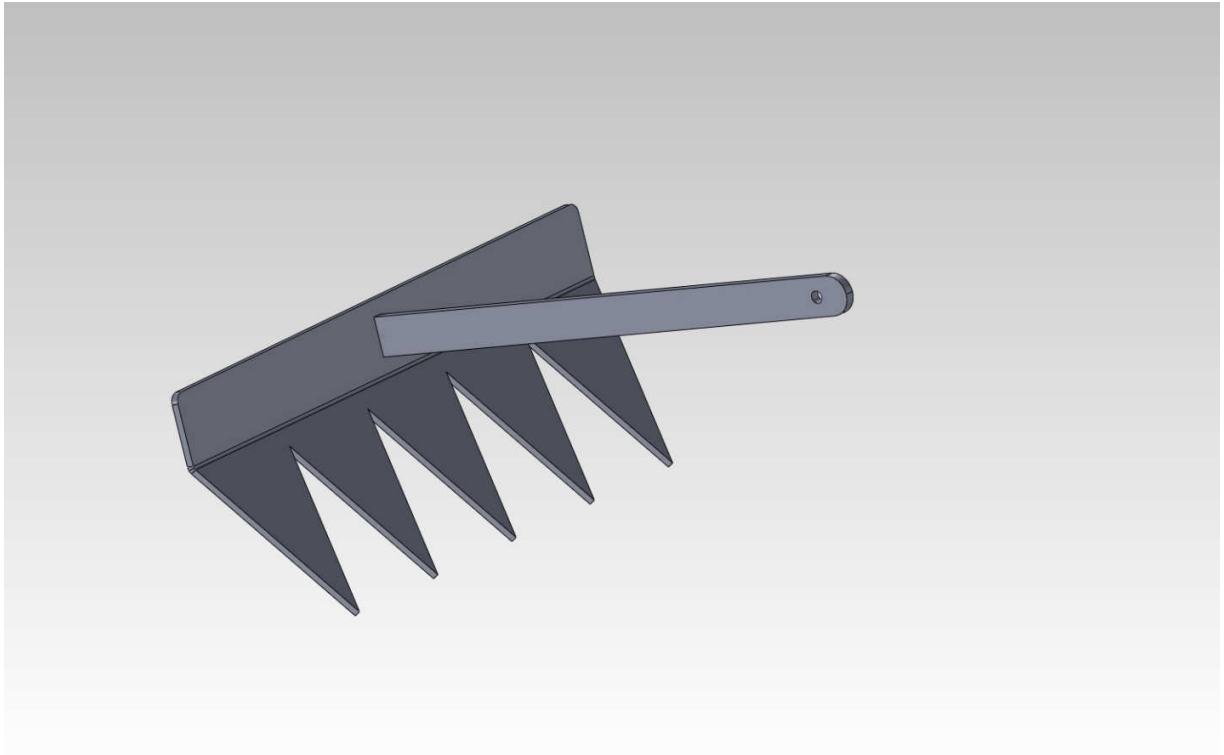
Kuva 44. Ankkurin suunnittelun neljäs variaatio.

Ensimmäisestä ankkurin versiosta kehitelty malli viides versio on esitelty kuvassa 45, jossa tunkeutumiskärjet ovat huomattavasti leveämmät mahdollistaen paremman tunkeutumisen suuremmalle pinta-alalle pohjassa. Ankkurin terävä kärki mahdollistaa hyvän tunkeutumisen pohjaan ja ankkurin vetopisteen paikka on lähellä vaakatasoa, joka mahdollistaa hyvän pitokyvyn ankkurille.



Kuva 45. Ankkurin kehittelyn viides versio.

Harava-ankkuri on kuudes versio, jonka viisi terävää kärkeä pyrkivät tunkeutumaan pohjaan ja estämään ankkurin raahautumista pohjassa. Harava-ankkurin rakenne on esitelty kuvassa 46. Kärjet tunkeutuvat pehmeisiin pohjiin mahdollistaen pitokyvyn ankkurille. Riittävä määrä teräviä kärkiä mahdollistaa hyvän pitokyvyn ankkurille ja pyrkii estämään ankkurin liukumista pohjaa pitkin. Ankkurin irrottaminen pehmeästä pohjasta saattaa olla hankalaa ja työlästä, koska viisi terävää kärkeä tunkeutuvat syväälle pohjaan.



Kuva 46. Ankkurin kuudes kehitysversio ns. harava-ankkuri.

Ankkurien konstruktiota ja toimintaa arvioitiin eri kriteereillä asteikolla 1-10 ja annetut pisteet painotettiin kriteereiden tärkeyden mukaan (taulukko 9). Ankkurin tunkeutumisen ja pitävyysskykyä arvioitiin ankkuritestien ja internetistä löytyvien ankkurin tunkeutumista kuvaavien videoiden perusteella. Ankkurin valmistusystävällisyyttä ja kustannustehokkuutta arvioitiin liitettävien osien määrän, materiaalin tarpeen ja valmistusmenetelmien määrän perusteella.

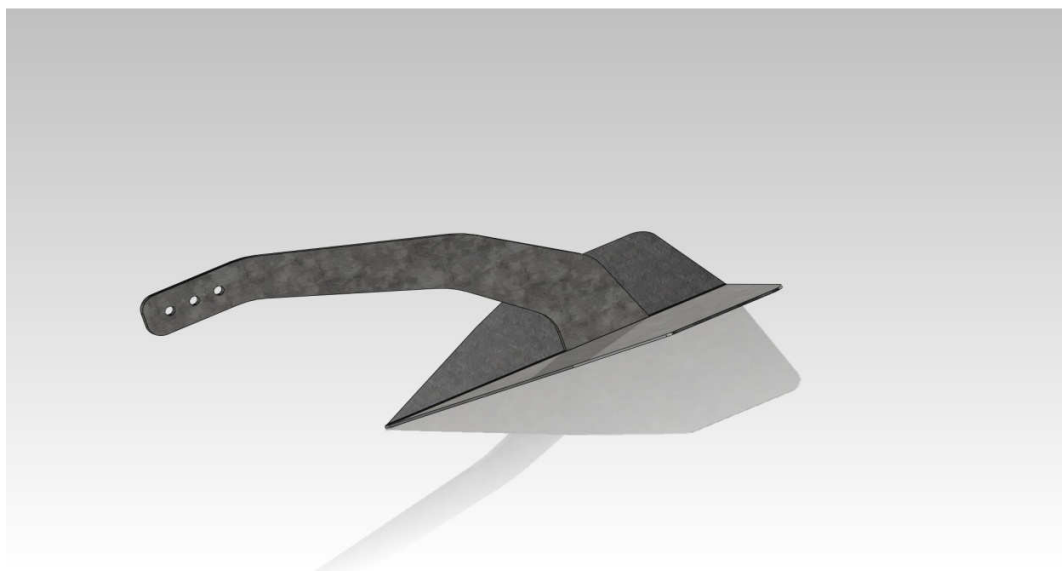
Taulukko 9. Eri vaihtoehtojen pistearviointi. Maksimipistemäärä on 10.

	Tunkeutumis- kyky	Pitävyys- kyky	Tilantarve	Paino	Valmistus- ystävällisyys	Arvioitu Kustannus	Σ
Painokerroin	0,3	0,3	0,1	0,2	0,05	0,05	
Versio 1	6	4	6	7	7	8	
	1,8	1,2	0,6	1,4	0,35	0,4	5,75
Versio 2	6	4	6	7	7	8	
	1,8	1,2	0,6	1,4	0,35	0,4	5,75
Versio 3	7	7	8	6	8	7	
	2,1	2,1	0,8	1,2	0,4	0,35	6,95
Versio 4	7	8	7	5	7	7	
	2,1	2,4	0,7	1	0,35	0,35	6,9
Versio 5	5	6	8	7	7	6	
	1,5	1,8	0,8	1,4	0,35	0,3	6,15
Versio 6	3	5	2	4	8	7	
	0,9	1,5	0,2	0,8	0,4	0,35	4,15

Pistearvioinnin tuloksena jatkokehitykseen valittiin kaksi parhaiten pärjännyttä vaihtoehtoa eli version 3 ja 4 ankkurit. Versio 3 on rakenteeltaan jäykkä ja tunkeutumisosa on enemmän tasasivuisen kolmion muotoinen, minkä johdosta tunkeutumisala on suurempi kuin version 1 ja 2 ankkurissa. Versiossa 4 on kaksi tunkeutumiskärkeä, minkä johdosta ankkuri antaa paremman ja luotettavamman pitokyvyn pohjissa. Tutkimustyön välipalaverissa päätettiin toteuttaa pienempänä n. 15-20 kg:n ankkurina versio 3 ja suurempana 200-300 kg:n meriankkurina versio 4.

8.7 Toteutettavien ankkureiden suunnittelu ja mitoitus

Ankkurin mallintaminen toteutettiin SolidWorks-suunnitteluohjelmalla, jonka avulla voitiin havainnollistaa ankkurin vetopisteen paikkaa, tunkeutumisasentoa ja tunkeutumiskulmaa. Tämä oli tärkeä osa suunnittelua, koska ankkurin mittoja voitiin muuttaa ja samanaikaisesti mitoituksen muutokset nähtiin kokoonpanossa. Tämän avulla nähtiin mittojen aiheuttamat muutokset ankkurin tunkeutumisasentoon ja tunkeutumiskulmaan. Kahden valitun ankkurin rakennetta kehiteltiin paremmaksi vastaamaan puomiankkuriin kohdistuvia vaatimuksia. Sisävesillä käytettävästä ankkurista päätettiin poistaa takaosassa oleva kaari, koska se vaikeuttaa ankkurin käyttämistä ja heikentää työturvallisuutta esim. tarttumalla vaatteisiin (kuva 47). Pienemmän ankkurin kehitysversioon leikattiin kolme vetopisteen kiinnitysreikää, jotta ankkurin tunkeutumisasentoa ja tunkeutumiskulmaa voidaan halutessa muuttaa eri olosuhteissa ja pohjalaaduissa. Ankkurin tunkeutumisosaan särmättiin 30°:n taivutus, jotta ankkurin tunkeuduttua pohjaan saavutetaan riittävän suuri tunkeutumispinta-ala ja saadaan mahdollisimman hyvä pitokyky ankkurille. Ankkurin varren pituus, korkeus ja sijainti mallinnettiin SolidWorks-ohjelman avulla niin, että vedon alkaessa ankkurin tunkeutumiskulma on noin 45°.



Kuva 47. Pienemmän sisävesillä käytettävän ankkurin rakenne.

Merialueilla käytettävän ankkurin fyysinen koko ja paino on huomattavasti suurempi verrattuna sisävesillä käytettävään ankkuriin (kuva 48). Ankkurin rakenne on huomattavasti monimutkaisempi verrattuna edelliseen ankkuriin. Ankkurissa on kaksi tunkeutumiskärkeä, joissa viisteiden tarkoituksena on parantaa tunkeutumista pohjaan. Varren pään muoto pystytettiin määrittämään SolidWorks-ohjelman avulla niin, että ankkurin varsi asettuu levyä vasten, jolloin tunkeutumiskulma on noin 33° . Ankkurin rakenne muistuttaa paljon perinteistä Danforth-ankkuria, joten varren pituuden mitoituksessa käytettiin hyväksi markkinoilla olevien ankkureiden piirustusten mittasuhteita. Varren pituuden mittasuhte ankkurin tunkeutumisosien pituuteen on 2:1, jota myös käytettiin hyväksi ankkurin mitoituksessa. Isomman levyankkurin massa on SolidWorks-ohjelman mukaan 221,5 kg ja pienemmän ankkurin 12,9 kg. Ankkurin mitoitettut piirustukset on esitelty työn lopussa olevissa liitteissä.



Kuva 48. Merialueilla käytettävän ankkurin rakenne.

8.8 Ankkurin prototyyppi

Prototyyppi on malli, tuotetta esittävä jäljitelmä, jonka perusteella tuotteen ominaisuuksia voidaan tutkia ja parantaa. Prototyyppejä voidaan käyttää tuotesuunnitteluprosessissa neljään tarkoitukseen, jotka ovat oppiminen, kommunikointi, integrointi ja välitulosten esittäminen. Valmistetulla prototyypillä haetaan vastauksia seuraavanlaisiin kysymyksiin: Toimiiko suunniteltu ratkaisu? Miten hyvin suunniteltu ratkaisu vastaa asiakkaan tarpeita? Prototyypin avulla voidaan välittää myös tietoa suunnittelijoiden sekä johdon, valmistuksen tai alihankkijoiden välillä. Kolmiulotteinen, fyysinen kappale voi paljastaa puutteita paremmin kuin tekninen piirustus ja kirjallinen suunnitelma. Integrointia palvelevalla prototyypin avulla voidaan tutkia, toimivatko tuotteen osat tai osaratkaisut yhdessä. Prototyyppien käyttö on suunniteltava huolellisesti etukäteen, koska on vaikea kuvitella, että prototyypin tekeminen toisi aina ennalta-arvaamattomia hyötyjä. (Ulrich & Eppinger 2004, s. 218-230)

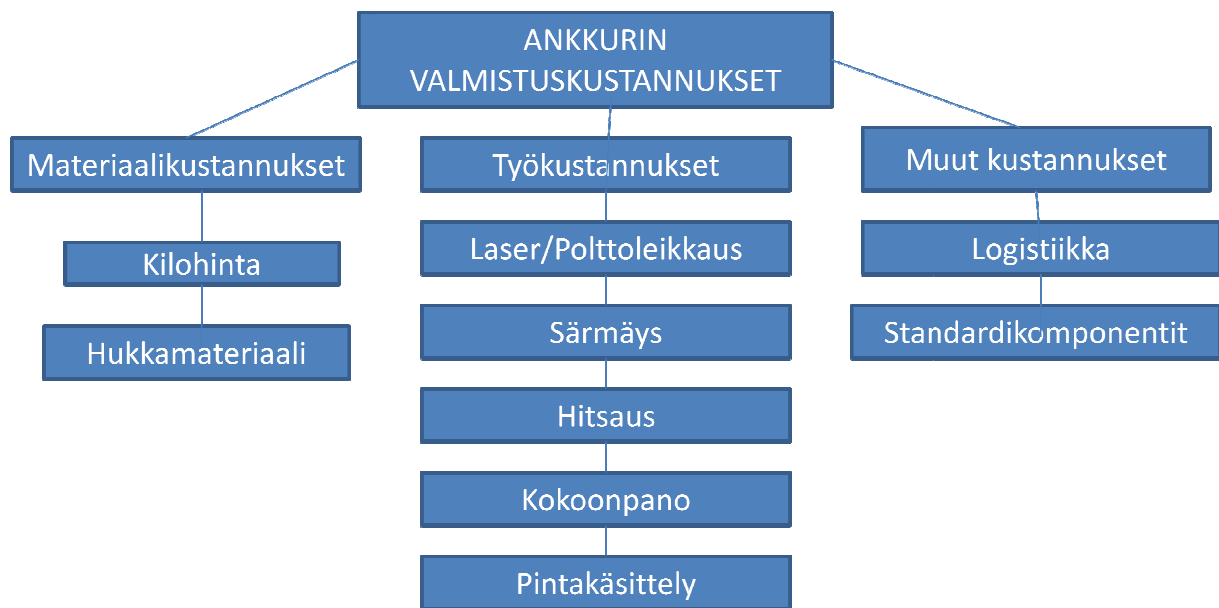
Tässä työssä prototyypin tarkoituksena on suunnittelutyön tuloksien tarkistaminen. Fyysisen prototyypin avulla tarkastellaan ankkurin tunkeutumistapahtumaa. Pienemmästä eli sisävesillä käytettävästä ankkurista valmistettiin prototyyppi (kuva 49). Ankkurien prototyyppejä on tarkoitus testata tulevaisuudessa Suomen ympäristökeskuksen ja ELY-keskuksen johdolla määrittelemällä pitoarvot molemmille ankkureille.



Kuva 49. Testausta varten valmistettu pienemmän ankkurin prototyyppi.

8.9 Ankkurin valmistuskustannusten muodostuminen

Ankkurin kustannukset tulee ottaa huomioon suunnittelun aikana. Ankkurin valmistuskustannukset muodostuvat valmistuksen eri vaiheista, jotka on esitelty tarkemmin kuvassa 50. Tärkeä tekijä kokonaiskustannusten muodostumisessa on eri valmistusmenetelmien tehokas toteuttaminen samassa yrityksessä, jolloin osia ei tarvitse siirrellä paikasta toiseen valmistusmenetelmien mukaan ja logistiikasta aiheutuvat kustannukset saadaan näin minimoitua. Tällöin ankkurin valmistustieto, taito, tekniset piirustukset ja osaaminen pysyvät samassa yrityksessä. Tehokkaiden koneiden ja osaavan henkilöstön avulla eri valmistusvaiheiden kustannukset saadaan pidettyä mahdollisimman alhaisena.



Kuva 50. Ankkurin valmistuskustannusten muodostuminen.

Termisten leikkausmenetelmien kustannukset

Ankkurin valmistusprosessin ensimmäinen vaihe on osien leikkaaminen haluttuun muotoon. Laserleikkausta käytetään ohuimpien kulutusterästen maksimissaan 12 mm:n ainevahvuuksien leikkaamiseen, jolloin saavutetaan hyvä leikkausjälki ja suuri leikkausnopeus. Polttoleikkausta käytetään yli 12 mm:n kulutusterästen leikkaamiseen. Leikkauskustannukset muodostavat n. 15-20 % osuuden tuotteen kokonaiskustannuksista.

Termisten leikkausmenetelmien kokonaiskustannukset koostuvat pääosin kaasu- ja energiakustannuksista, jotka muodostuvat leikkausnopeuden ja leikkauskoneen käyttösuhteen perusteella. Muita kustannuksia aiheuttavat työkustannukset ja koneeseen kohdistuvat pääomakustannukset. Leikattujen kappaleiden jälkikäsittelyn tarve syntyy, kun leikatut kappaleet eivät täytä niille asetettuja laatuvaatimuksia. Yleisimpiä jälkikäsittelyä vaativia virheitä leikatuissa kappaleissa voivat olla huono leikkauspinnan laatu, huono mittatarkkuus tai jäyste leikatun pinnan alasärmässä. Termisiin leikkausmenetelmiin kohdistuvat kokonaiskustannukset K_L voidaan laskea kaavan (7) avulla: (Aromäki et al. 1985, s. 59-61)

$$K_L = (1/v) \times H_L \times S + P, \quad (7)$$

missä K_L on termisen leikkauksen kokonaiskustannukset, [€]

v on leikkausnopeus, [m/h]

H_L on leikkauskoneen tuntihinta, [€/h]

S on leikkausviivan pituus, [m]

P on jälkikäsittelykustannukset, [€]

Pienemmän ankkurin leikkauskustannukset kaavan 7 mukaan ovat:

$$K_L = (1/180 \text{ m/h}) \times 150 \text{ €/h} \times 5,87 \text{ m} = 4,89 \text{ €}$$

Suuremman ankkurin leikkauskustannukset 25 mm:n ainevahvuudelle ovat:

$$K_L = (27/30 \text{ m/h}) \times 150 \text{ €/h} \times 9,068 \text{ m} = 1224 \text{ €}$$

Suuremman ankkurin leikkauskustannukset 40 mm:n ainepaksuiselle osalle ovat:

$$K_L = (18/30 \text{ m/h}) \times 150 \text{ €/h} \times 4 \text{ m} = 360 \text{ €}$$

Materiaalikustannukset

Materiaalikustannukset muodostuvat leikatuista kappaleista ja syntyneestä hukkamateriaalista. Materiaalikustannuksiin vaikuttavat pitkälle leikattavan materiaalin paksuus ja osan muoto. Levynkäytön optimoinnin avulla vaikutetaan pitkälle siihen, miten suuriksi leikkauksen materiaalikustannukset muodostuvat. Levynkäytön tarkka optimointi on tärkeää, mitä suurempia ainevahvuuksia ja kalliimpia materiaaleja leikataan.

Raaka-ainekustannukset saadaan laskemalla jokaiselle leikatulle kappaleelle massa ja lisäämällä siihen hukkamateriaalin osuus. Materiaalikustannukset määräytyvät pitkälle materiaalin sen hetkisistä maailman markkinahinnoista. (Mattila & Lakso 1997, s. 35-37)

Materiaalikustannukset voidaan laskea kaavalla:

$$K_m = m \times L_m + H, \quad (8)$$

missä K_m on materiaalikustannukset, [€]

m on leikatun kappaleen massa, [kg]

L_m on materiaalin kilohinta, [€/kg]

H on hukkamateriaalin hinta, [€]

Pienemmän ankkurin materiaalikustannukset kaavan 8 mukaan ovat:

$$K_m = 12,9 \text{ kg} \times 1,426 \text{ €/kg} = 18,39 \text{ €}$$

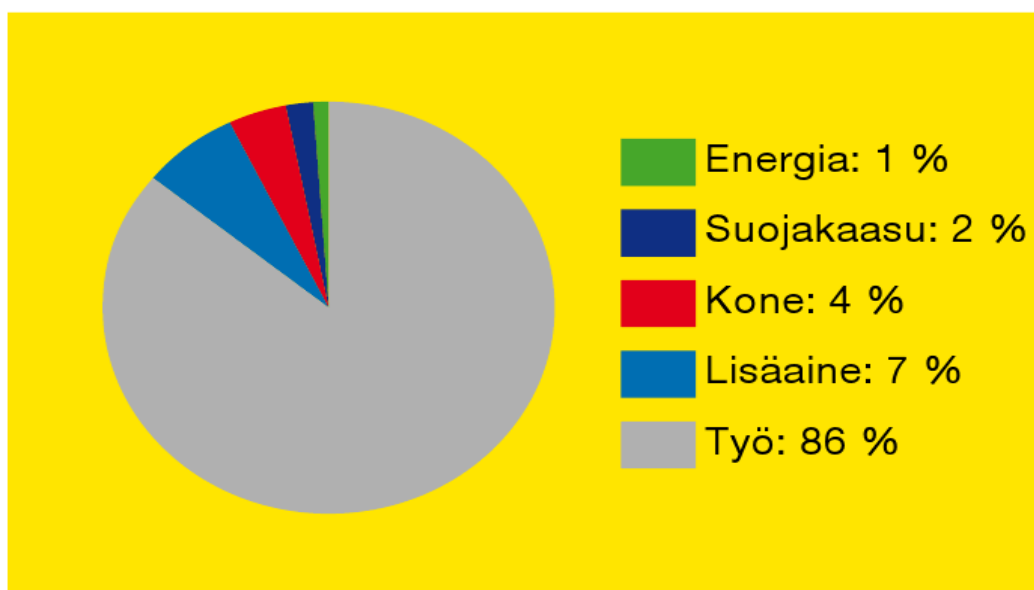
Suuremman ankkurin materiaalikustannukset ovat:

$$K_m = 221,47 \text{ kg} \times 1,426 \text{ €/kg} = 315,82 \text{ €}$$

Hitsauskustannukset

Hitsauskustannukset koostuvat useasta eri tekijästä. Rakenteiden suunnittelija on avainasemassa hitsauksen kustannusten muodostumisessa, koska 70-80 % kustannuksista lyödään lukkoon jo suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheen tärkein osa on materiaalin valinta, koska teräs ja sen lujuus määrittelevät levynpaksuuden ja railotilavuuden sekä tarvittavan hitsiainemäärän ja hitsaustyön määrän.

Suurimman osan käsinhitsauksen hitsauskustannuksista, noin 70-90 %:n osuuden muodostavat työkustannukset. Muita hitsauksessa syntyviä kustannuksia ovat hitsausaineiden hankinnasta syntyvät kustannukset noin 10-20 %:n osuudella ja energia- ja konekustannusten muodostamat kustannukset ovat yhteensä alle 10-20 %:a hitsauksen kokonaiskustannuksista. Hitsauskustannusten jakautuminen on esitelty kuvassa 51.



Kuva 51. Hitsauskustannusten jakautuminen MAG-käsinhitsauksen pienahitsauksessa. (Lukkari 2011, s.4)

Hitsauskustannuksiin vaikuttavat eniten kaksi tekijää, jotka ovat hitsiaineentuotto ja kaariaikasuhte. Hitsiaineentuotolla tarkoitetaan hitsiin siirtyvää lisäaineen määrää aikayksikössä, jonka suuruus riippuu pitkälti hitsausprosessista ja hitsausvirrasta.

Kaariaikasuhdeella tarkoitetaan kaariajan eli valokaaren paloajan suhdetta työhön käytettyyn kokonaisaikaan. Kaariaikasuhde vaihtelee paljon mm. työn laadun, hitsausprosessin, mekanisointiasteen ja työpaikan järjestelyn mukaan.

Tyypillisiä kaariaikasuhdeita eri hitsausprosesseille ovat:

- MIG/MAG-hitsaus: 20-50 %
- puikkohitsaus: 20-40 %
- jauhekaarihitsaus: 50-70 %

Kaariaikasuhde määritellään seuraavan kaavan (9) avulla:

$$\text{Kaariaika} = \frac{\text{Kaariaika}}{\text{Työaika}} (\%) \quad (9)$$

Hitsauskustannuksia voidaan pienentää monella eri tavalla. Suurin osa käsinhitsauksen kokonaiskustannuksista muodostuu työkustannuksista n. 80 %:n osuudella. Hitsaukseen kuluva työaika on määräävä tekijä, paitsi mekanisoidussa- ja robotisoidussa hitsauksessa, jossa konekustannusten osuus on suuri tai jopa suurin kustannuserä. Hitsaukseen kuluvan työajan lyhentämisestä on hyvä lähteä liikkeelle. Hitsauksen työaika määritellään seuraavan kaavan (10) avulla:

Työaika =	$\frac{\text{Hitsiainemäärä (kg/m)}}{\text{Hitsiaineentuotto (kg/h)}} \times \frac{100}{\text{Paloaikasuhde (\%)}} \text{ (h/m)}$	
------------------	---	--

(10)

Hitsausajan kaavan mukaisesti hitsaukseen kuluva työaika saadaan pienemmäksi, kun pienennetään hitsiaineen määrää, suurennetaan hitsiaineentuottoa tai suurennetaan kaariaikasuhdetta. (Lukkari, 2011 s. 2-8)

Hitsauslisäainekustannukset K_L saadaan kaavan (11) avulla:

$$K_L = M \times \frac{H_L}{N} \quad (\text{€/m})$$

(11)

missä K_L on hitsauslisäainekustannukset (€/m)

M on hitsiaineen määrä (kg/m)

H_L on lisäaineen ostohinta [€/kg]

N on hyötyluku, joka on lisäainekohtainen

Pienemmän ankkurin hitsauslisäainekustannukset kaavan 11 mukaan ovat:

$$K_L = 0,1962 \text{ kg/m} \times (1 \text{ €/kg} / 0,95) = 0,206 \text{ €/m} \times 0,34 \text{ m} = 0,07 \text{ €}$$

Suuremmalle ankkurille:

$$K_L = 0,785 \text{ kg/m} \times (1 \text{ €/kg} / 0,95) = 0,826 \text{ €/m} \times 1,15 \text{ m} = 0,95 \text{ €}$$

Työkustannukset K_T saadaan kaavan (12) mukaan:

$$K_T = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_T \quad (\text{€/m})$$

(12)

missä K_T on hitsauksen työkustannukset (€/m)

M on hitsiaineen määrä (kg/m)

T on hitsiaineentuotto (kg/h)

e on kaariaikasuhde

H_T on työtunnin hinta (€/m)

Työkustannukset pienemmälle ankkurille kaavan (12) mukaan ovat:

$$K_T = (0,1962 \text{ kg/m} / 5 \text{ kg/h}) \times (1/0,3) \times 30 \text{ €/h} = 3,92 \text{ €/m} \times 0,34 \text{ m} = 1,33 \text{ €}$$

Työkustannukset suuremmalle ankkurille ovat:

$$K_T = (0,785 \text{ kg/m} / 5 \text{ kg/h}) \times (1/0,3) \times 30 \text{ €/h} = 15,7 \text{ €/m} \times 1,15 \text{ m} = 18,06 \text{ €}$$

Energiakustannukset K_E lasketaan kaavan (13) avulla:

$$K_E = M \times E \times H_E (\text{€/m}) \quad (13)$$

missä K_E on hitsauksen aiheuttamat energiakustannukset (€/m)

M on hitsiaineen määrä (kg/m)

E on energian kulutus (kWh/kg)

H_E on energian ostohinta (€/kWh)

Energiakustannukset pienemmälle ankkurille kaavan 13 mukaan ovat:

$$K_E = 0,1962 \text{ kg/m} \times 3 \text{ kWh/kg} \times 0,05 \text{ €/kWh} = 0,029 \text{ €/m} \times 0,34 \text{ m} = 0,00986 \text{ €}$$

Energiakustannukset isommalle ankkurille ovat:

$$K_E = 0,785 \text{ kg/m} \times 3 \text{ kWh/kg} \times 0,05 \text{ €/kWh} = 0,11 \text{ €/m} \times 1,15 \text{ m} = 0,13 \text{ €}$$

Pienemmän ankkurin särmäyksen hinnaksi arvioidaan 20 € ja sinkitykselle 50 €. Isomman ankkurin sinkitys on huomattavasti kalliimpi, arvio 250 €.

Ankkurien valmistuskustannuksista suurimman osan muodostavat materiaalikustannukset. Suurin osa valmistuskustannuksista muodostavat leikkaus- ja sinkityskustannukset. Ankkurien valmistaminen vaatii vähän hitsausta ja särmäystä, joten niiden muodostamat kustannukset jäävät melko alhaisiksi. **Pienemmän ankkurin valmistuskustannukseksi muodostuu yhteensä 96,7 € ja suuremmalle ankkurille 2169 €.**

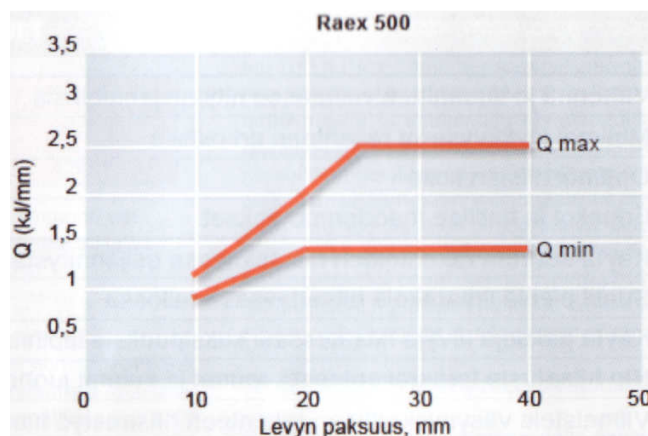
8.10 Ankkurin valmistettavuus ja valmistusjärjestys

Ensimmäinen vaihe ankkurin valmistuksessa on osien leikkaus, jossa toteutetaan ensin osien nestaus eli sijoittelu tietokoneohjelman avulla leikattavaan materiaaliin. Nestauksessa pyritään minimoimaan hukkamateriaalin muodostuminen ja toisaalta tulee jättää riittävät työvarat kappaleiden väleihin sekä reunoihin. Pienempi ankkuri valmistetaan 5 mm:n paksuisesta kulutusteräksestä RAEX 500 laserleikkaamalla, koska laserleikkaus mahdollistaa suuren leikkausnopeuden, hyvän mittatarkkuuden ja purseettoman leikkausjäljen ohuiden materiaalien leikkauksessa. Levyankkurin 25 ja 40 mm:n ainepaksuiset osat leikataan polttoleikkaamalla, koska se on käyttökustannuksiltaan ja suuren leikkausnopeuden ansiosta kilpailukykyisin menetelmä. Polttoleikkaus mahdollistaa levyankkurin 45 °:een viisteen leikkauksen, joka monella muulla leikkausmenetelmällä saattaa olla hankalaa. Levyankkurin kahvaosaan voi suositella vesisuihkuleikkausta, koska osan mittatarkkuus pitää olla hyvä ja se saattaisi tulla ongelmaksi polttoleikkauksella.

Pienemmän ankkurin osalle suoritettiin särmäys haluttuun kulmaan. Särmäyksessä on huomioitava kulutusterästen suuri lujuus ja kovuus taivutusvoimaa sekä taivutussädettä valittaessa. Myös takaisinjousto on huomioitava, koska se on suurempi kulutusteräksiä särmätessä kuin esimerkiksi rakenneteräksillä.

Särmätyille osille suoritetaan MAG-hitsaus, jossa on kiinnitettävä huomiota esilämmitykseen ja lämmöntuontiin, koska kulutusteräokset on valmistettu karkaisemalla. Kulutusterästen hitsauksessa esilämmitystä ei tarvita, koska levyt ovat ohuita ja CEV-arvot ovat kohtuullisia. Tavoiteominaisuudet hitsausliitoksen alueelle saavutetaan käyttämällä oikeaa lämmöntuontia. Suositeltavat hitsausarvot määritetään suureen $t_{8/5}$ avulla.

Optimaalisten ominaisuuksien saavuttaminen kulutusteräksen hitsausliitokseen edellyttää, että lämmöntuonti vastaa jäähtymisaikaa $t_{8/5}=10-20$ sekuntia (hitsin jäähtymisaika lämpötilavälillä 800-500 °C). Suositeltavat lämmöntuontiarvot on esitelty kuvassa 52.



Kuva 52. Raex 500. Lämmöntuonnin (Q) suositeltavat vähimmäis- ja enimmäisarvot. (Lehtinen et al. 2011, s. 10)

Runsas seostuksen vuoksi kulutusterästen hitsaus on vaativampaa kuin tavallisten rakenneterästen hitsaaminen. Kulutusteräksen hitsauksessa on huomiota kiinnitettävä kahteen päätavoitteeseen hitsauksessa: 1) Kylmähalkeilun estämiseen hitsausliitoksessa, 2) Optimaalisten ominaisuuksien saavuttamiseen hitsausliitoksessa.

Kulutusteräksen hitsauslisäaineet voivat olla seuraavia:

- 1) Alilujat ferriittiset, myötölujuus max. 500 MPa
- 2) Lujat ferriittiset, myötölujuus max. 700 MPa
- 3) Alilujat austeniittiset, myötölujuus max. 500 MPa
- 4) Kovahitsaukseen tarkoitettut, jolloin kovuus on noin 300-600 HBW.

Ferriittiset hitsauslisäaineet jaotellaan lujuusluokan perusteella alilujiin ja lujiin lisäaineisiin. Ferriittisten lisäaineiden vetypitoisuus kasvattaa kulutusterästen kylmähalkeilutaipumusta. Kulutusteräksen lujassa hitsiaineessa kylmähalkeilualettius voi olla suurempi kuin perusaineen muutosvyöhykkeellä, joten ferriittisten lisäaineiden pitää olla vähävetisiä.

Alilujilla lisäaineilla on monia etuja verrattuna lujempiin lisäaineisiin kuten mm. matalampi jännitystila hitsissä, hyvät hitsausominaisuudet, sietää paremmin vetyä kuin lujempi lisäaine, laaja valikoima ja saatavuus sekä taloudellisuus hankinnassa ja käytössä. Lujilla ferriittisillä lisäaineilla hitsattaessa hitsiaineen lujuus saadaan lähemmäksi perusteräksen lujuutta kuin alilujilla hitsattaessa. Luja lisäaine soveltuu paremmin ohuiden kuin paksujen materiaalien hitsaukseen, koska ohutlevyt ovat kylmähalkeilun kannalta turvallisempia ja ohutlevy jäähtyy hitaasti.

Mikrorakenteen ja pehmeiden ansiosta austeniittisten lisäaineiden etuna ovat sitkeä ja muodonmuutoskykyinen hitsiaine, hyvät hitsausominaisuudet, ei yleensä työlämpötilan korottamistarvetta ja ne kestävät ehyenä hitsausjännityksiä vastaan. Austeniittisten lisäaineiden edut näkyvät parhaiten korjaushitsauksessa, työmaaoloissa ja muissa vaikeissa kohteissa, joissa hitsin pinnan on oltava kulumiskestävä, jotta pintapalot voidaan hitsata kovahitsausaineilla.

Kovahitsausaineen valitseminen tapahtuu niin, että hitsiaineelle saadaan suurempi kovuus kuin kulutusteräspinnan kovuudelle. Kovahitsattu kulutuspinta saavuttaa korkean kovuuden n. 500-600 HBW eli 50-57 HRC hitsausliitoksen jäähtymisen aikana, koska kovahitsausaine on ilmassa karkenevaa. Hitsiaineen kylmähalkeilun torjuntaan on kiinnitettävä erityishuomiota käytettäessä kovahitsausaineita. Kylmähalkeilua voidaan estää esikumennuksen avulla ja hitsaamalla ensin puskurikerros käyttämällä sitkeää sekä pehmeää austeniittista ruostumatonta lisäainetta. (Ruukki, RAEX kulutusterästen hitsaus ja terminen leikkaus 2012, s. 9-10)

Viimeinen vaihe ankkurin valmistuksessa on materiaalin pinnoittaminen korroosion estämiseksi kuumasinkityksen avulla. Kuumasinkitysprosessi on esitelty tarkemmin luvussa 7.7.

9 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Erilaisia ankkurirakenteita on olemassa maailmalla hyvinkin paljon, joiden pitokyky vaihtelee paljon eri pohjalaaduissa. Ankkureita, joiden pitokyky kaikissa eri pohjalaaduissa on erinomainen, ei ole olemassa, koska pehmeissä pohjissa pitävät ankkurit eivät yleensä pidä kovissa pohjissa erityisen hyvin. Ja vastaavasti kovissa pohjissa pitävät eivät taas pidä pehmeissä pohjissa. Tästä johtuen ankkurin konstruktion kehittäminen on ns. ikuinen tuotekehitysprosessi, sillä aina ankkurin muotoilussa ja pitokvyvyssä on kehitettävää erilaisista pohjarakenteista johtuen. Optimaalinen tilanne on suunnitella teräväkärkinen ankkuri pehmeisiin pohjiin ja koviin pohjalaatuihin suureen pinta-alaan perustuva ankkuri.

Ankkurin pitävyys ja tunkeutuvuus saattaa olla hyvä muta-, hiekka- tai savipohjissa, mutta huono kovissa kivi- tai kalliopohjissa kärjen huonon tunkeutumisen ansiosta. Tästä johtuen ankkurille tulee laatia prototyyppi, jota testataan kaikissa yleisimmissä hiekka-, savi-, muta- ja kivipohjissa. Testituloksien avulla saadaan selville ankkurin pitokyky eri pohjalaaduissa, minkä perusteella ankkurin mitoitusta ja tunkeutumiskulmaa voidaan entisestään kehittää. Ankkurin painoa voidaan muuttaa, jotta tunkeutuminen ja pitävyys saadaan mahdollisimman hyväksi. Prototyypin avulla voidaan tehdä tutkimuksia optimaalisen vetopisteen ja painopisteen määrittämiseksi ankkurille, koska vetopisteen paikka määrää sen, kuinka nopeasti laahautuessa pohjaa pitkin ankkuri tunkeutuu pohjaan.

Tässä työssä toteutettiin ja mitoitettiin ainoastaan parhaaksi arvioitu ankkurimalli, joten olisi mielenkiintoista tutkia muidenkin työssä hahmoteltujen ankkurimallien toimivuutta ja pitävyyttä eri pohjissa. Näistä voidaan tehdä prototyypit, joita voidaan edelleen kehittää paremmaksi testauksen ja tuotekehityksen avulla.

10 YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli suunnitella uuden tyyppinen puomiankkurin rakenne valmistettavuus huomioon ottaen. Nykyisin käytettävät rakenteet ovat hankalia käyttää, raskaita ja paljon tilaa vieviä. Työn tavoitteena oli kehittää kevyempi ja käyttäjäystävällisempi ankkurin konstruktio, joka on kustannustehokas valmistaa. Ankkurin muotoilulla on suuri merkitys ankkurin pitävyyteen pohjassa, koska muotoilun ja optimaalisen tunkeutumiskulman avulla voidaan saavuttaa hyvä pitokyky ankkurille. Paino ei ole tärkein tekijä ankkurin suunnittelussa, vaikka sitä lisäämällä parannetaan ankkurin pureutumista pohjaan.

Työssä tarkasteltiin ankkurille uusia potentiaalisia materiaaleja kuten rakenneteräksiä, suurlujuusteräksiä, kulusteräksiä ja alumiinia. Eri materiaalien välillä toteutettiin materiaalinvalintaprosessi, jonka avulla selvitettiin paras materiaali ankkurille. Lopullisessa materiaalinvalinnassa toteutettiin vaatimus- ja ominaisuusprofiilin yhteensovittaminen ja vertailtiin vaihtoehtoisten materiaalien tärkeimpiä ominaisuuksia keskenään. Ankkurin materiaalilta vaaditaan hyvää kulumis- ja korroosiokestävyyttä käyttöolosuhteissa. Nämä ominaisuudet toteuttivat parhaiten kulusteräket. Kulusterästen suuren kovuuden ja kulumiskestävyyden ansiosta ne soveltuvat parhaiten ankkurin materiaaliksi. Kuumasinkityksen avulla parannetaan kulusteräksen korroosiokestävyyttä kosteissa vesiolosuhteissa.

Ankkurin rakenteen suunnittelussa käytettiin hyväksi jo olemassa olevia erilaisia ankkureiden malleja, joiden hyviä ominaisuuksia pyrittiin tuomaan esille ja vastaavasti huonoja ominaisuuksia välttämään suunnittelussa. Ankkurille laadittiin vaatimuslista, jonka avulla tunnistettiin tuotteelta vaadittavat vaatimukset ja toivomukset. Tämän jälkeen suoritettiin vaatimuslistan abstrahointi ja laadittiin toimintorakenne ankkurille. Lopullinen rakenne mallinnettiin SolidWorks-ohjelman avulla, jonka avulla pystytään määrittämään ankkurille optimaalinen vetopisteen paikka. Tässä diplomityössä suunniteltu uusi rakenne on kevyempi, käyttäjäystävällisempi, vaatii vähemmän tilaa ja tunkeutuu paremmin terävien kulmien ansiosta pohjaan kuin nykyisin käytettävät puomiankkurit. Ankkurin valmistuskustannuksia saatiin alhaisemmaksi kevyemmän rakenteen ansiosta.

LÄHDELUETTELO

Kirjallisuuslähteet:

Aaltonen, K. & Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat. Porvoo, WSOY. 264 s. ISBN 951-0-21438-8

Aromäki M. Niemi J. Peltoniemi T. Laitinen P. Vainionpää P, 1985. Teräslevyjen terminen leikkaus, Suomen metalliteollisuuden keskusliitto, Helsinki. 93 s. ISBN 951-817-221-8

Boothroyd, G & Dewhurst, P. & Knight, W. 2002. Product Design for Manufacture and Assembly. Third edition. New York.

Cox, D. 1999. The sailing handbook. Singapore. New Holland Publishers. 160 s. ISBN 951-20-5640-2

Delchambre, A. 1996. Cad Method for Industrial Assembly: Concurrent Design of Products, Equipment and Control Systems. England. West Sussex. 279 s. ISBN 0-471-96261-9.

Eklund P. & Laakso L, 2001. Muokatut teräkset, Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. Tampere, Tammer-Paino Oy. 361 s. ISBN 951-817-751-1

Hietikko E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Savonia ammattikorkeakoulun kuntayhtymä. Kuopio, Kopijyvä Oy. 188 s. ISBN 978-952-203-088-7

Huhtaniemi K. & Jerima M. & Pohjus J. & Puska M. & Vierimaa T. & Karppinen A. & Vartiainen. M. 2006. Alumiinit, Teknologiateollisuus ry. Tampere, Tammer-Paino Oy, 237 s. ISBN 951-817-918-2

Honkanen, J. 2012. Hitsaustekniikka-lehti. Vanhassa vara parempi, vai onko polttoleikkauksesta enää mihinkään. Suomen hitsausteknillinen yhdistys ry. 44 s. Orivesi, Oriveden kirjapaino Oy ISSN 0437-6056

Häkkinen, K. 2004. Alihankintayhteistyö konepajateollisuudessa ja sen laadun arviointi. VTT. Espoo, Otamedia Oy. 64 s. ISBN 952-38-6530-4

- Juuri-Oja, H, 2007. Venelehti: Vertailu 10-kiloiset ankkurit. Yhtyneet kuvalehdet. Kouvola, Oy Scanweb Ab, 152 s.
- Jokinen, T. 1991. Tuotekehitys. Helsinki, Otatieto Oy, 203 s.
- Kauppinen, V, 1987. Tavoitteellinen ryhmätyö konepajoissa. Suomen metalliteollisuuden keskusliitto. Helsinki, 41 s. ISBN 951-817-338-9
- Keränen O, 1993. Öljyvuomiopas: Öljyntorjuntarajoituspuomien määrittely sisävesi- ja rannikkoalueilla, vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, 39 s. ISBN 951-38-6530-4
- Kivioja, S. & Kivivuori, S. & Salonen, P, 2004. Tribologia-kitka, kuluminen ja voitelu. Yliopistokustannus, Helsinki, Hakapaino Oy. 351 s. ISBN 951-672-341-1
- Koivisto, K. & Laitinen, E. & Niinimäki, M. & Tiainen, T. & Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2001. Konetekniikan materiaalioppi. 9. Painos. Helsinki, Edita Oyj. 336 s. ISBN 951-37-2912-5
- Kotamies, J. & Nieminen, I. 1991. Abrasiivinen vesisuihkuleikkaus. MET Tekninen tiedotus . Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 31 s. ISBN 951-817-518-7
- Kujanpää, V. & Salminen, A. & Vihinen J, 2005. Lasertyöstö. Teknologiateollisuus, Tampere, 373 s. ISBN-13: 9789518178760.
- Lehtinen, M. & Tihinen, S. & Väyrynen, J. 2011. Hitsaustekniikka, Helsinki, Oriveden kirjapaino Oy. 36 s. ISSN 0437-6056
- Lepola, P & Makkonen M, 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. Porvoo, WSOY. 429 s. ISBN 951-0-21573-2
- Lukkari J, 2002. Hitsaustekniikka, Helsinki, Edita Prima Oy. 292 s. ISBN 952-13-1409-5
- Lukkari, J. 2011. Hitsaustalous ja tuottavuus. Hitsaustekniikka 3/2011. Suomen hitsausteknillinen yhdistys ry, Helsinki, 64 s. ISSN 0437-6056
- Matilainen, J. & Parviainen M. & Havas T. & Hiitelä, E. Hultin S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuus ry, Tampere, Tammerprint Oy. 387 s. ISBN 978-952-238-068-5

- Mattila, T & Lakso, T, 1997. Termisten leikkausmenetelmien ja vesisuihkeikkauksen nykytila ja sovelluspotentiaali teollisuudessa, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. LTKK monistuspalvelu, Lappeenranta. 57 s. ISBN 951-764-115-X
- Pahl, G, Beitz, W, Feldhusen, J, Grote, K.H. 2007. Engineering Design. Third edition. Springer-Verlag, London. 617 s. ISBN 978-1-84628-318-5
- Patjas P. 2005. Ohutlevy.Teknolomiteollisuus ry, Forssa. 78 s.
- Pearson, M. 2011. Kipparin käsikirja. Porvoo, Bookwell Oy. 216 s. ISBN 978-952-220-351-9
- Rissanen T, 2011. Ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit. Tekninen raportti. Kemi, 32 s. ISBN 978-952-5897-17-3
- Rissanen T, 2011. SSAB:n ultralujien terästen käyttö ja konepajaprosessit. Tekninen raportti. Kemi, 37 s. ISBN 978-952-5897-19-7
- Rautaruukki Oyj, 2012. Raex kulutusterästen hitsaus ja terminen leikkaus. 20 s.
- SFS-EN 10025, 2004. Kuumavalssatut rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot. Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki. 65 s.
- SFS-EN ISO 15084, 2005. Veneet. Ankkurointi, kiinnitys ja hinaus. kiinnityskohdat. Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki. 7 s.
- Sleight, S. 2005. New Complete Sailing Manual. London. A Dorling Kindersley Limited. 448 s. ISBN 1 4053 0255 0
- Tanskanen, K. 1985. Osahankintaayhteistyö-yritysesimerkkejä, Metalliteollisuuden kustannus Oy, Helsinki, 78 s. ISBN 951-817-337-0
- Tunturi, P. J, 1988. Korroosiokäsikirja, Suomen korroosioyhdistys ry. Hanko, Hangon Kirjapaino Oy. 966 s. ISBN 951-99916-7-0
- Ulrich, K. & Eppinger, S.T. 2004. Product design and development, 3. Painos, New York, McGraw-Hill/Irwin 2004. 366 s. ISBN 0-07-247146-8

Van der Hatert M. & Jonkman, B & Strijbis, D. 2005. Anchor Theory. Tudelft.

Varis, J. 2007. Tuotantotekniikan erityisopintojakso luentomoniste.

Verkkolähteet:

Cobra, the Anchor. [viitattu 21.2.2012]. Saatavissa: <http://www.cobra.fi/eng/ankkuri.html>

Craigmarine Yacht & Boat Directory. [viitattu 9.7.2012]. Saatavissa:

http://www.craigmarine.com/accessories/anchoring_docking/Delta-CQR_anchor.htm

Ely-keskus. [viitattu 4.1.2012]. Saatavissa: <http://www.ely-keskus.fi/FI/ELYKESKUKSET/Sivut/default.aspx>

Engbo Anker. [Viitattu 9.7.2012]. Saatavissa:

<http://www.engbo.no/Kategori/Produkter/Ankere/397.php>

Esab, puikkohitsaus. [Viitattu 19.2.2012]. Saatavissa:

<http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-mma-smaw.cfm>

Konekesko, NPK kahmarit. [Viitattu 21.1.2012]. Saatavissa:

<http://www.konekesko.com/Default.aspx?tabid=844>

Lamor Oy. [viitattu 23.10.2012]. Saatavissa:

<http://www.lamor.com/fi/tuotteet/oljyvuonijarjestelmat/lamorin-automaattiset-puomit-lab/>

Laserle Oy. Vesileikkaus. 2012. [viitattu 18.1.2012].

Saatavissa: <http://www.laserle.fi/vesileikkaus.htm>

Marinewarehouse. Anchor. [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.marinewarehouse.net/anchors.html#Delta>

Maritim, Ankkurit. [viitattu 8.3.2012].

Saatavissa:<http://kauppa.maritimshops.fi/PublishedService?file=page&pageID=3&action=view&groupID=212&pagenr=3>

Motonet. D-sakkeli. Viitattu [9.7.2012].

Saatavissa: <http://kauppa.motonet.fi/motonet/tuotteet/387715/0>

Naantalin meripelastajat, Venekoulu, ankkurointi, 2012. Viitattu [5.7.2012]. Saatavissa: <http://www.nsmpp.net/vk/html/ankkurointi.html>

Rautaruukki Oyj. Kuumavalssatut teräkset. Viitattu: [23.3.2012]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Terastuotteet/Kuumavalssatut-terakset>

Rautaruukki Oyj. Kuumavalssatut teräslevyt ja –kelat: Raex kulutusterästen hitsaus ja terminen leikkaus. [viitattu 9.7.2012]. Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kuumavalssatut%20-%20kasittelyohjeet/Ruukki-Raex-kulutusterästen-hitsaus-ja-terminen-leikkaus.pdf>

Silverboats, TerhiTec Oy. [viitattu 7.2.2012].

Saatavissa: <http://www.silverboats.fi/mallisto/pulpettivenet/beaver-450>

Suomen kuumasinkitsijät ry. [viitattu 9.7.2012].

Saatavissa: <http://www.kuumasinkitys.fi/prosessi.html>

Suomen ympäristökeskus. SYKE:n organisaatio [viitattu 9.1.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1443&lan=fi>.

Veneilijän verkkokauppa. Tukkiankkuri. [viitattu 17.4.2012].

Saatavissa: <http://www.veneilijanverkkokauppa.fi/tukkiankkuri-10kg-p-545.html>

Wikipedia. Anchor. [viitattu 8.2.2012].

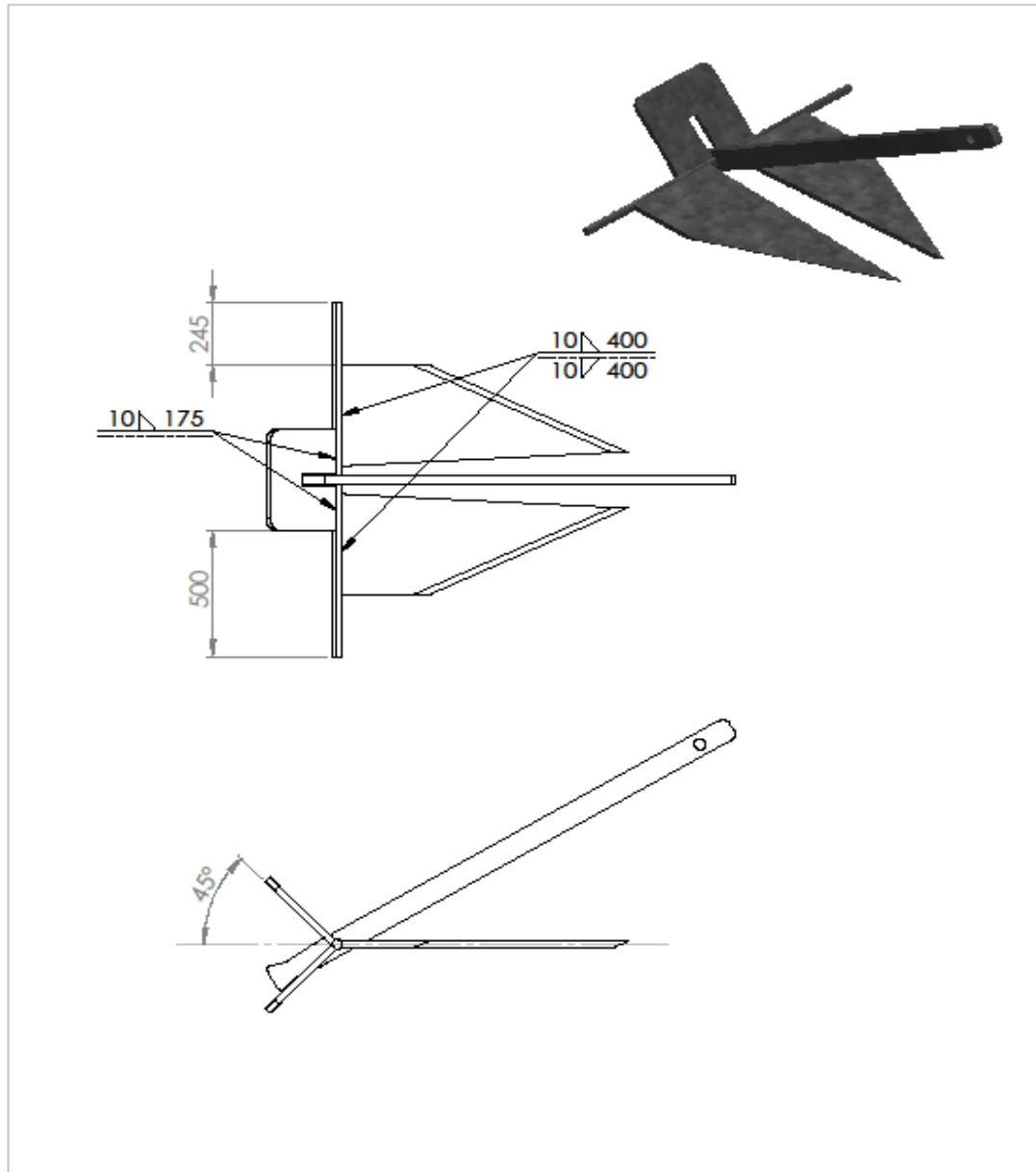
Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Stockless_anchor_1_NT.PNG

Haastattelut:

Vähäkainu, O. Puhelinhaastattelu. [15.11.2012]

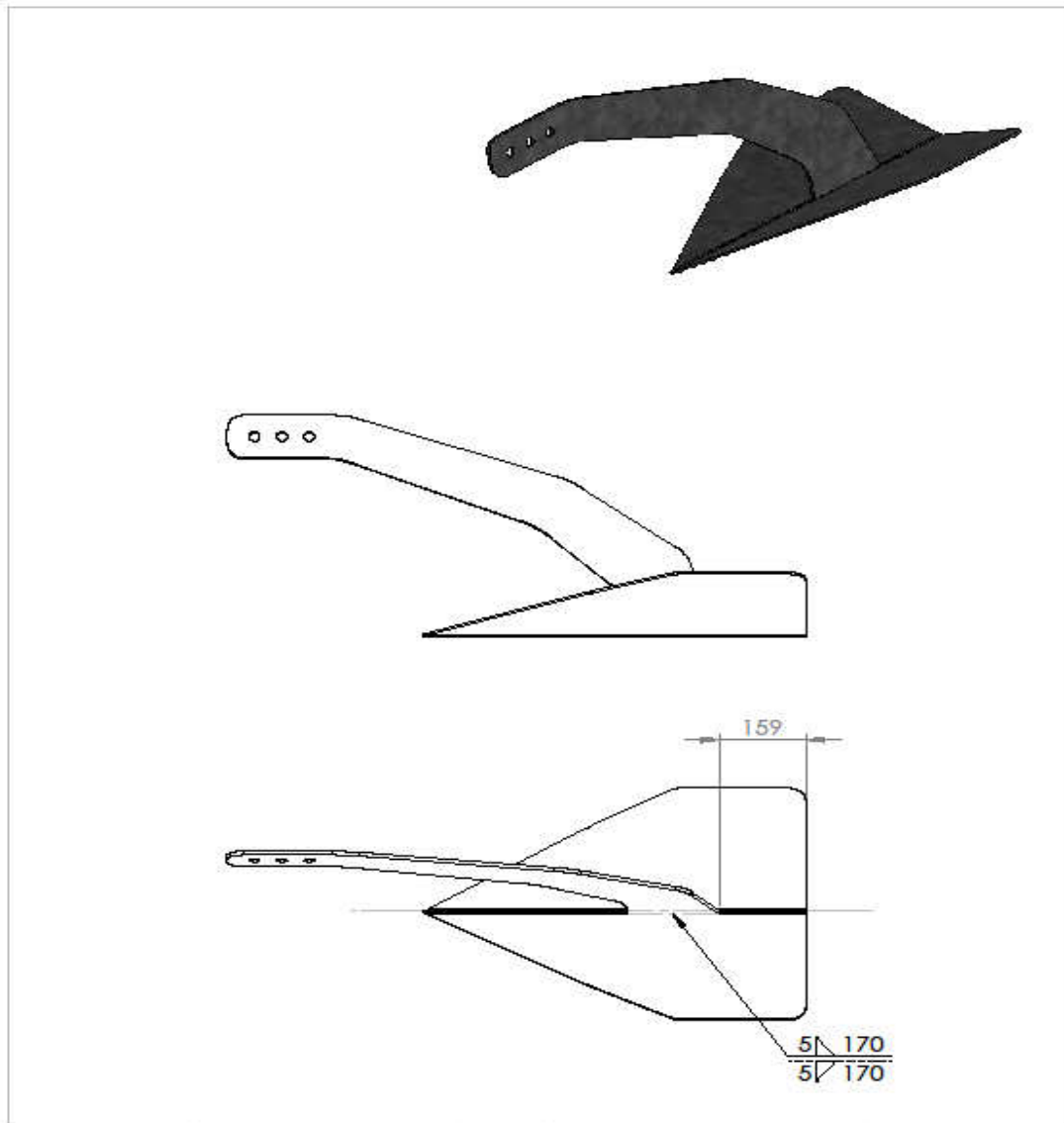
Laukkanen, H. Puhelinhaastattelu. [14.6.2012]

LIITE A. Levyankkurin kokoonpano



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		
SURFACE FINISH:										
TOLERANCES:										
LINEAR:										
ANGULAR:										
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:				
DRAWN										
CHKD										
APPVD										
MFG										
QA						MATERIAL: RAEX 500		DWG. NO.	Levyankkurin kokoonpano	A4
						WEIGHT:		SCALE 1 : 20	SHEET 1 OF 1	

Liite B. Pienemmän ankkurin kokoonpano



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:			
CHKD						Ankkurin kokoonpano			
APPVD									
MFG									
Q.A									
		MATERIAL: RAEX 500 S = 5				DWG NO.		A4	
		WEIGHT:				SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1	