



Ari Vanhatupa

**MAATALOUDEN VAKIOBETONIELEMENTIN MITOITUSTEN  
PÄIVITTÄMINEN EUROKOODIN JA CE-MERKINNÄN VAATI-  
MUKSIIN**

**MAATALOUDEN VAKIOBETONIELEMENTIN MITOITUSTEN  
PÄIVITTÄMINEN EUROKOODIN JA CE-MERKINNÄN VAATI-  
MUKSIIN**

Ari Vanhatupa  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennetekniikka

---

Tekijä: Ari Vanhatupa

Opinnäytetyön nimi: Maatalouden vakiobetonielementin mitoitus-  
päivittäminen eurokoodin ja CE-merkinnän vaatimuksiin

Työn ohjaaja: Pekka Nykyri

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012 Sivumäärä: 26 + 31 liitettä

---

Kesäkuun 2013 jälkeen kaupallisessa tarkoituksessa myytäviltä rakennustuotteilta tullaan vaatimaan CE-merkintää. Tästä syystä opinnäytetyön tavoitteena oli laatia Mestarifarmi Oy:llä tuotannossa olevalle laakasiioelementille euronormien mukaiset laskelmat sekä mitoittaa rakenne tämän päivän kuormitus- ja CE-merkinnän vaatimuksiin, kuitenkin muuttamatta elementin ulkoisia mittoja. Opinnäytetyössä tehtiin tarkat elementtisuunnitelmat, joiden avulla Mestarifarmilla on mahdollisuus aloittaa tuotteen vaatimustenmukaisuuden todentamiseksi tarkoitetut valmistus- ja testausmenettelyt.

Työssä hyödynnettiin joiltakin osin lähtömateriaalina saatuja Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia laskelmia ja suunnitelmia. Uudet rakennesuunnitelmat pohjautuvat kuitenkin eurokoodin mukaisiin julkaisuihin sekä kansallisiin liitteisiin. Liitteinä olevat laskelmat laskettiin aluksi käsin ja myöhemmin Mathcad-ohjelmistolla. Rauditusmäärien optimoimiseksi laskelmissa tarkasteltiin kuormien jakautumista elementin kriittisimmissä kohdissa eri kuormitusten vaikuttaessa. Laskelmissa huomioitiin myös mahdollisuudet sijoittaa valmis elementti joko maanpäälle tai osittain maan sisään sekä laakasiilon päälle rakentaminen.

Eurokoodien käytössä huomattiin, ettei niiden soveltuvuus maatalousrakentamisen osalta ole aivan yhtä valmis ja yksiselitteinen kuin Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset suunnitteluohjeet. Laskelmien pohjalta todettiin elementin ulkoisten mittojen säilyvän ennallaan sekä elementin kestävästi muuttuvien kuormien lisäyksestä johtuvat rasitukset.

---

Asiasanat:

Maatalousrakentaminen, laakasiioelementti, tukimuuri, CE-merkintä

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Structural Engineering

---

Author: Ari Vanhatupa

Title of thesis: Updating Agri Standard Concrete Element Dimensioning in  
Eurocode and CE Marking Requirements

Supervisor: Pekka Nykyri

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2012 Pages: 26 + 31  
appendices

---

After June 2013 the building products sold for commercial purposes will be required CE marking. For this reason, the aim of this thesis was to draw up calculations and dimensioning to Mestarifami Ltd. who has horizontal silos in production. Designing takes into account the requirements of the Eurocodes and CE marking as well as the possibility to increase loads without changing the external dimensions of the element. Detailed plans for the element give an opportunity to Mestarifarmi to begin manufacturing and testing procedures for verifying conformity of the product.

In the thesis calculations and plans according to the national building code of Finland were utilized as starting material. However, the new structural plans are based on the Eurocodes and national annexes of Finland. The calculations were made by hand at first and later with Mathcad software. Calculations also took into account the possibility to locate the complete element either on the surface of the ground or in part, and to build on the top of a horizontal silo.

In using the Eurocodes, it was noted that the suitability in agricultural building was not quite as complete and unambiguous as the national building code design guidelines of Finland. As a result, on the grounds of the calculations, external dimensions of the element will remain unchanged and sustain variable loads of additional strains.

---

Keywords:

Agricultural building, horizontal silo, CE-marking

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLTÖ.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TARKASTELTAVA VAKIOBETONIELEMENTTI.....	7
2.1 Suunnittelijan pätevyys.....	8
2.2 Elementin valmistus lyhyesti.....	9
2.3 CE-merkintä.....	10
2.4 Tarkastukset ja valvonta.....	11
2.5 Laatukäsikirja.....	12
3 EUROKOODIEN MUKAINEN SUUNNITTELU.....	14
3.1 Huomioitavat määräykset ja ohjeet.....	14
3.2 Kuormien luokitus eurokoodin mukaan.....	15
3.3 Rajatilamenettely.....	15
3.4 Kuormitusyhdistelyt.....	16
4 LAAKASIILON MITOITUKSEN VAIHEET.....	18
4.1 Maanpainetarkastelu.....	18
4.2 Rehupainetarkastelu.....	19
4.3 Vähimmäisraudoitusmäärät.....	19
4.4 Kaatumistarkastelu.....	20
4.5 Traktorikuorma.....	21
4.6 Laskelmien tulokset.....	22
5 YHTEENVETO.....	23
LÄHTEET.....	24
LIITTEET.....	26

# 1 JOHDANTO

Maatalousrakentamisessa käytävien tehdasvalmisteisten vakiobetonielementtien suunnittelu on aiemmin toteutettu Suomen rakentamismääräyskokoelman sekä Maa- ja metsätalousministeriön antamia määräyksiä ja ohjeita noudattaen. Betonirakenteiden suunnittelua koskevia eurokoodeja ja kansallisia liitteitä on ollut mahdollista käyttää 1.11.2007 alkaen, jolloin on alkanut rinnakkaiskäyttö rakentamismääräyskokoelman kanssa. Rakentamismääräyskokoelman uudistustyö B-sarjan osalta on vielä käynnissä ja näin ollen rinnakkaiskäyttö tulee jatkumaan 1.7.2013 saakka. Uudistustyön arvellaan valmistuvan tuolloin ja tätä pidetäänkin takarajana, jonka jälkeen rakennustuotteilta vaaditaan CE-merkintä ja siihen oikeuttavat tarkastelut. (Eurocode help desk. 2012. & SKOL. 2010.)

Mestarifarmi Oy on iisalmelainen yritys, joka tarjoaa laaja-alaisesti palveluita maatalousrakentamiseen ja kokonaisvaltaiseen projektien hallintaan. Yrityksellä on voimassaoleva ennakkohyväksyntäpäätös vakiobetonielementtien valmistukseen, mutta muuttuvien suunnittelumääräyksien ja vuoden 2013 lopussa vanhentuvien päätöksien johdosta Mestarifarmi tarvitsee päivitettyjä suunnitelmia vakiobetonielementeille.

Tavoitteena on laatia Mestarifarmilla tuotannossa olevalle laakasiiloelementille euronormien mukaiset laskelmat sekä mitoittaa rakenne tämän päivän kuormitus- ja CE-merkinnän vaatimuksiin. Suunnittelussa pääpainona on huomioida eri standardeissa ilmoitettujen määräyksien, ohjeiden ja vaatimusten yhteensovitus suunnittelun ja maatilarakentamisen osalta sekä antaa Mestarifarmille valmiudet hakea CE-hyväksyntää.

Mitoittamisessa hyödynnetään lähtömateriaalina olevia Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia laskelmia ja tarkastellaan mahdollisuutta kasvattaa mitoituskuormia maataloudessa yleistyneitä suurkoneita vastaaviksi. Tavoitteena on, että elementin ulkoiset mitat eivät muutu. Laskelmat suoritetaan käyttäen Mathcad-ohjelmistoa, ja ne liitetään tämän opinnäytetyön loppuun.

## 2 TARKASTELTAVA VAKIOBETONIELEMENTTI

Opinnäytetyössä tarkasteltava Mestarifarmi Oy:n vakiobetonituote on 2 900 millimetriä korkea laakasiiloelementti. Laakasiilojen pääasiallinen käyttötarkoitus maataloudessa perustuu tuorerehun säilöntään ja eläinten ympärivuotisen ruokinnan varmistamiseen. (Niskanen 2007.)

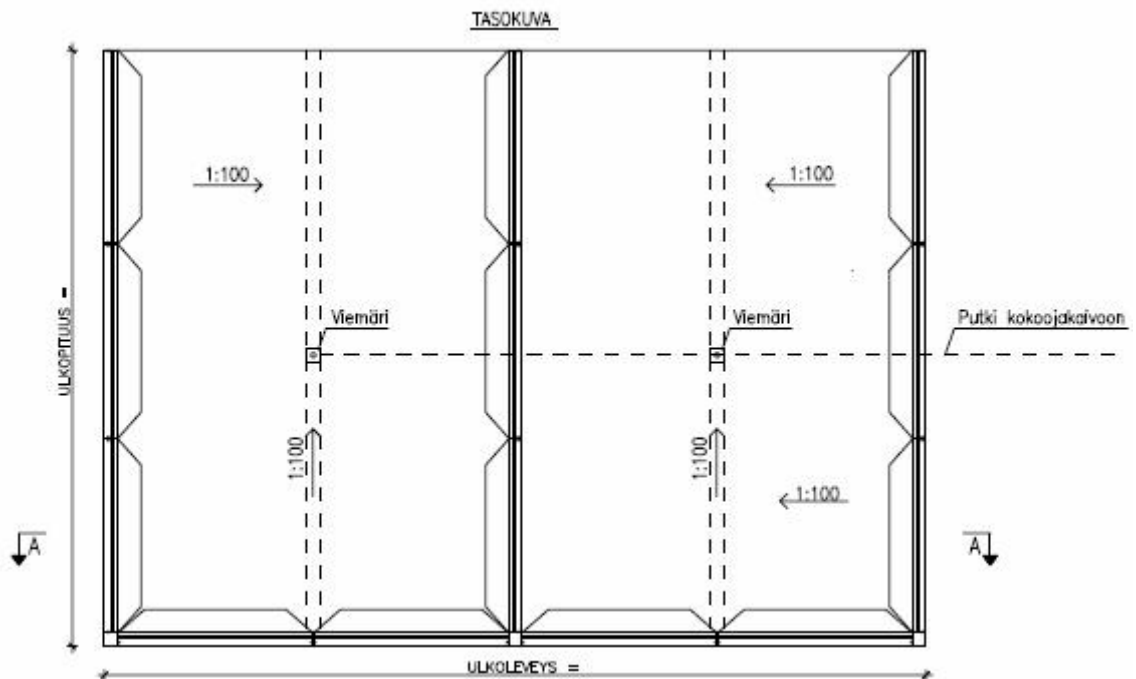
Oikein mitoitettulla laakasiilolla asiakkaille pyritään tarjoamaan kustannustehokas sekä mahdollisimman hyvin maatalon tarpeita palveleva tuote. Tärkeintä rehunsäilönnässä ja rakennesuunnittelussa on huomioida kokonaisuus ketjuna suunnittelusta korjuuseen ja aina ruokintaan saakka. Korkealla hygieniatasolla ja rakenteen soveltuvuudella oikeaan tarkoitukseen saavutetaan lopputuloksena virheetöntä maidonmakua. (Niskanen 2007.)

Mestarifarmi Oy:n valmistamat laakasiilot ovat L-mallisten, noin 2 300 tai 2 900 millimetriä korkeiden ja 3 000 millimetriä leveiden betonielementtien ja paikalla valettavan pohjalaatan muodostaman suorakaiteen muotoinen kokonaisuus (kuva 1 ja kuva 2). Laakasiilot voivat olla katettuja tai avoimia ja ne voivat sijaita maanpäällä tai maan sisällä, joko kokonaan tai osittain. Katetut laakasiilot antavat suojaa ilmastollisilta tekijöiltä, kuten sadevedeltä ja lumelta. (Maatalouden betonirakentaminen – Rakennuttajaohje. 2004, 27.)

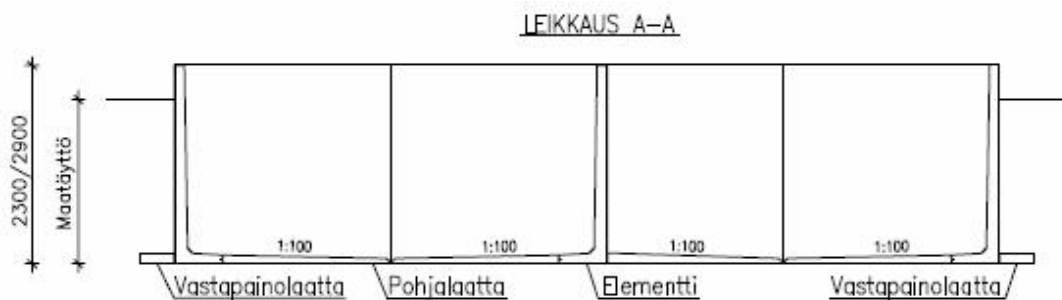
Oli sitten kyseessä katettu tai avoin rakennelma, betonille haitallisia tekijöitä ovat tuorerehusta irtoavat puristenesteet, joilla on sekä syövyttävä että kuluttava vaikutus. Muita rakenteelle haitallisia tekijöitä ovat maatalouskoneiden kokonaiskuormien huima kasvu viimeisen parinkymmenen vuoden aikana. (Niskanen 2007.)

L-malliset elementit toimivat tukimuurien tavoin ja valmistuksen vaakavalussa käytettävä tärytyspöytä takaa sileän ja lasimaisen pinnan elementin sisäpinnalle. Betonielementtien sisemmät pystyseinämät muotoillaan kalteviksi, mikä hel-

pottaa rehun tiivistämistä koneellisesti. (Maatalouden betonirakentaminen – Rakennuttajaohje. 2004, 26.)



KUVA 1. Tasokuva laakasiilosta (kuvassa kaksi täyttövälää ja 13 elementtiä)



KUVA 2. Leikkaus A-A (kuvassa kaksi täyttövälää)

## 2.1 Suunnittelijan pätevyys

Suunnittelijan pätevyys muodostuu saadusta koulutuksesta ja suunnittelukokemuksesta. Rakennesuunnittelutehtävät jaotellaan vaativuuden ja suunnittelijan pätevyyden mukaisesti, Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa A2, vaativuus- ja pätevyysluokkiin AA, A, B ja C. Näistä AA-luokan suunnittelulle on



asetettu korkeimmat edellytykset. Rakenteiden suunnittelun osalta luokitukset ovat vielä yhteydessä erillisiin seuraamus- ja toteutusluokkiin sekä osavarmuuslukuihin. (A2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2011, 11,13, 16–23.)

Rakentamismääräyskokoelmassa sekä eurokoodissa rakennukset jaetaan mahdollisesta vauriosta aiheutuvien seurauksien perusteella kolmeen seuraamusluokkaan, CC1, CC2 ja CC3. Opinnäytetyön siiloelementti kuuluu luokkaan CC2, jossa seuraamusten arvioidaan olevan keskisuuria. Tämä tarkoittaa, että rakennesuunnittelu voidaan toteuttaa toteutusluokassa 2 tai 3. Toteutusluokan valintaan vaikuttaa valmistuksessa käytettävän betonin lujuusluokka, jonka perusteella toteutusluokka 2 olisi oikea valinta. Toteutusluokkaan 3 kuuluvat rakenteet valmistetaan korkealujuusbetonista. (SFS-EN 13670. 2010, 13–15, 27.)

Elementin valmistuksen valvonta kuuluu kuitenkin osana suoritettavaan laadunvalvontaan ja on eräs CE-merkinän vaatimus. Tästä syystä toteutusluokan valintaa ei tehdä suoraan betonin lujuusluokan perusteella, vaan rakenteelle valitaan käytettäväksi tiukempaa mittatarkkuustasoa (toleranssiluokka 2), joka johtaa valitsemaan toteutusluokan 3 ja materiaalien osavarmuuslukujen pienennetyt arvot. Liitteen 2 laskelmissa ilmoitetaan, mikäli mitoituksessa ei huomioida osavarmuuslukujen pienennettyjä arvoja. (SFS-EN 13670. 2010, 27.)

## **2.2 Elementin valmistus lyhyesti**

Betonielementit valmistetaan elementtitehtaalla rakennesuunnittelijan antamien mittatietojen ja elementtipiirustusten mukaisesti. Elementtitehtaan täytyy kuulua SFS-Inspecta Sertfointi Oy:n tai muun vastaavan yleisesti hyväksytyyn laadunvalvonnan piiriin, mikä takaa elementeiltä vaadittavien ominaisuuksien toteutumisen, suunnitelma-asiakirjojen oikeellisuuden, rakennuskohteeseen soveltuvuuden sekä virheettömän valmistuksen. (Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje. 2004, 57–58.)

Työvaiheittain järjesteltynä elementin valmistus aloitetaan valupöydän valmisteluista ja muottien kokoamisesta. Muotit tulee asentaa elementtisuunnitelmien

mukaisesti ja niiden asemointi on varmistettava tarkemittauksilla. Kun muotit ovat paikoillaan riittävän tarkasti, voidaan siirtyä raudoitteiden asennukseen. (Opinnäytetyön lähtötiedot. 2011.)

Muottipinnan raudoitusverkot asennetaan ensimmäisenä paikoilleen, minkä jälkeen voidaan kiinnittää nostolenkit. Mikäli laakasiiloelementteihin tuleva jalkaosan raudoitus tehdään omana työvaiheenaan, tulee se tässä vaiheessa liittää yhdeksi osaksi koko elementin raudoitusta. Lisäterästen ja yläpinnan raudoitusverkkojen asennuksen jälkeen tulee vielä varmistaa betonipeitteelle määrättyjen suojaetäisyyksien sekä tiukennettujen mittatoleranssien täytyminen. (Opinnäytetyön lähtötiedot. 2011.)

Kun elementtisuunnitelmissa esitetyt mitat ja ohjeet todetaan tarkastetuiksi, on vuorossa valaminen. Valu suoritetaan kerralla tai osissa, minkä jälkeen aloitetaan betonielementeille tärkeä jälkihoito. Jälkihoidolla parannetaan betonin käyttökästä ja vähennetään muun muassa rasituksista johtuvaa halkeilua sekä saavutetaan elementille suunnittelussa asetetut tavoitteet. (Opinnäytetyön lähtötiedot. 2011.)

## **2.3 CE-merkintä**

CE-merkityllä rakennustuotteella valmistaja vakuuttaa tuotteen vastaavan Euroopan komission rakennustuotedirektiivin mukaista teknistä eritelmaa. Tällöin merkinnässä ilmoitetaan tuotteen ominaisuudet yhdenmukaisella eurooppalaisella tavalla. (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010, 6.)

Hyväksyttävän CE-merkinnän edellytyksenä on käytettävä eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin (hEN) julkaisuja, joissa määritellään tuotekohtaiset edellytykset ominaisuusvaatimuksille sekä laadunvalvonta- ja koemenettelyille tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän (ETA) julkaisuja. Vaatimustenmukaisuus tulee todentaa valmistajan antamalla vaatimustenmukaisuusvakuutuksella sekä yleisesti hyväksytyt arviointilaitoksen (SFS-Inspecta Sertfiointi Oy) myön-

tämällä vaatimustenmukaisuustodistuksella. (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010, 8.)

Rakennesuunnittelun sisältyminen CE-merkintään kantavien rakennustuotteiden kohdalla voidaan jakaa neljään erilaiseen menettelytapaan. Jaottelu riippuu siitä, miten tuotteen kantokyky ilmoitetaan ja sisältyykö niiden mitoitus CE-merkintään. (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010, 17–18.)

Tässä opinnäytetyössä käytetään menetelmää 3b ja harmonisoitua elementti-standardia, EN15258 Tukimuurit. Tuote suunnitellaan ja valmistetaan tiettyyn kohteeseen, ja mitoitus toteutetaan rakenteellisesti yhtenä kokonaisuutena. Mitoituksessa käytetään suunnittelu- ja toteutusohjeita, jotka muodostavat yhteisen kokonaisuuden, eurokoodit. (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010, 17–18.)

## **2.4 Tarkastukset ja valvonta**

CE-merkittyjen tuotteiden laadunvalvonta osoitetaan valmistajan ja kolmannen osapuolen (SFS-Inspecta Sertifiointi Oy) suorittamalla toimenpiteillä, joita on määritelty harmonisoiduissa tuotestandardeissa. Vaaditut toimenpiteet vaihtelevat tuoteryhmittäin ja käytössä on kaikkiaan viisi erilaista menettelytapaa (kuva 3). Luokka 2 on poistettu käytöstä. Sovellettavan tuoteryhmän valinnan ilmoittaa Euroopan yhteisöjen komissio. (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010, 23.)

Vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa käytettävät menettelyt							
KONTROLLIKEINOT	1+	1	2 +	2	3	4	
Tuotteen tyyppitestausta	■	■	●	●	●	●	■
Tehtaalta otettujen näytteen testaus	●	●	●		●		
Tehtaalla, merkkinolla tai rakennuspaikalta otettujen pistokoenäytteiden testaus	■						
Tehtaan sisäinen laadunvalvonta	●	●	●	●	●	●	●
Tehtaan ja sen sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus	■	■	■	■	■	■	
Tehtaan sisäisen laadunvalvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja hyväksyminen	■	■	■	■			



= valmistaja



= arviointilaitos (ns. ilmoitettu laitos)

*KUVA 3. Vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa käytettävät menettelyt (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010, 23)*

Opinnäytetyössä mitoitettava tuote kuuluu luokkaan AoC 2+ (*attestation of conformity*), jossa tuotteen valmistajalle annetaan dokumentti suoritetuista toimenpiteistä sekä vaatimustenmukaisuustodistus tehtaan sisäisestä laadunvalvonnasta. Ennen tuotannon aloitusta suoritetaan muun muassa tyyppitestausta sekä jatkuvaa tuotannaikaista dokumentoitua laadunvalvontaa. (CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010, 23.)

## 2.5 Laatuksikirja

Laatukäsikirjan tavoite on parantaa organisaation laadunhallintaa ja laadunvarmistusta sekä antaa järjestelmällisyyttä toimintatapoihin ja kokonaisuuden hallintaan. Laatukäsikirjan julkaisu toteutetaan organisaation sisäisenä tai julkisena, jolloin asiakaslähtöinen palaute voi parantaa laadunhallintajärjestelmää. Dokumentoinnin sekä vaatimustenmukaisuuden täyttymisellä parannetaan myös kaupallista toimintaa. (Inspecta Group. 2012.)

Sisällöltään laatukäsikirjan tulisi olla tarpeeksi laaja, mutta kuitenkin yksiselitteinen ja helposti ymmärrettävä. Yrityksessä noudatettavan laatupolitiikan, arvojen ja työmenetelmien täyttymisen sekä strategian laatimisen lisäksi laatukäsikirja sisältää vastuiden ja valtuuksien rajat sekä dokumentointimenettelyille asetetut tavoitteet. Laatukäsikirjan avulla hallitaan myös paremmin vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa käytettäviä menettelyjä, jotka ovat velvoittavia CE-merkintään pyrittäessä. (Inspecta Group. 2012.)

Näitä vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi esitettäviä dokumentteja ovat tämän opinnäytetyön liitteenä (liitteet 2–3) olevat tuotekohtaiset laskelmat ja piirustukset. Muita vastaavia dokumentteja ovat muun muassa toimintaohje tuotetta valmistavalle tehtaalle sekä elementin yksityiskohtainen kuvaus valmistusprosessista. Lisäksi valmiin tuotteen ostajalle tulee aina antaa laatudokumenteista tuotekohtainen rakennustapaselostus, joka sisältää vähintään varastointi- ja asennusohjeen. (Opinnäytetyön lähtötiedot. 2011.)

## 3 EUROKOODIEN MUKAINEN SUUNNITTELU

### 3.1 Huomioitavat määräykset ja ohjeet

Rakennesuunnittelijan vastuulla olevat elementtien mitoitussuunnitelmat toteutetaan tässä opinnäytetyössä taulukon 1 mukaisia eurokoodeja ja määräyksiä noudattaen. Näiden lisäksi suunnittelussa käytetään apuna useita Suomen rakennusinsinöörien liiton julkaisemia RIL suunnittelu- ja soveltamisohjeita.

TAULUKKO 1. Suunnittelussa käytettävät standardit

<b>Rakenteiden suunnitteluperusteet:</b>			
EN 1990	Rakenteiden suunnitteluperusteet	EC0	NA*
<b>Yleiset kuormat:</b>			
EN 1991-1-1	Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat	EC1	NA
EN 1991-1-3	Lumikuormat	EC1	NA
EN 1991-1-4	Tuulikuormat	EC1	NA
EN 1991-4	Siilojen ja säiliöiden kuormat	EC1	NA*
<b>Betonirakenteiden suunnittelu:</b>			
EN 1992-1-1	Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt	EC2	NA
EN 1992-3	Nestesäiliöt ja siilot	EC2	NA
<b>Geotekninen suunnittelu:</b>			
EN 1997-1	Yleiset säännöt	EC7	NA
<b>Lisäksi huomioitavat:</b>			
EN 13369	Betonivalmisosien yleiset säännöt		
EN 13670	Betonirakenteiden toteutus		
EN 206-1	Betoni		
EN 15258	Retaining wall elements, Tukimuurit		hEN
NA = Kansallinen liite			
NA* = Uusi kansallinen liite, notifikaatioversio			
hEN = Harmonisoitu rakennustuote standardi			

### **3.2 Kuormien luokitus eurokoodin mukaan**

Eurokoodin (SFS-EN 1990. 2003, 52) mukaan kuormat luokitellaan aikariippuvuuden mukaisesti pysyviin (G), muuttuviin (Q) ja onnettomuuskuormiin (A). Pysyviksi kuormiksi luokitellaan muun muassa rakenteiden omat painot, joiden ajatellaan vaikuttavan rakenteeseen todennäköisesti koko tarkastelujakson ajan. Pysyvien kuormien suuruuden vaihtelu ajan myötä tai aina samaan suuntaan tapahtuva suuruuden muutos ovat merkityksettömiä, kunnes kuorma saavuttaa tietyn raja-arvon.

Muuttuvia kuormia voivat olla rakenteeseen kohdistuvat hyötykuormat, kuten rehu- ja traktorikuorma sekä myös tuuli- ja lumikuormat. Näiden kuormien suuruuden vaihtelu sekä suunnan muutos eivät ole merkityksettömiä ja siksi hyötykuormat yleisesti luokitellaankin muuttuviksi liikkuviksi kuormiksi, ellei toisin ole mainittu. Onnettomuuskuormiin puolestaan luetaan yleensä lyhytkestoiset poikkeuksellisen olosuhteen kuormat, kuten rakenteelle törmäyksestä aiheutuvat kuormat. (SFS-EN 1990. 2003, 52.)

Edellä mainittujen pysyvien, muuttuvien ja onnettomuuskuormien lisäksi kuormat tuleekin jaotella alkuperän perusteella välittömiksi tai välillisiksi, kuormien vaikutuskohdan vaihtelun perusteella kiinteiksi tai liikkuviksi. Kuormat jaetaan myös luonteen tai rakenteen vasteen perusteella staattisiksi tai dynaamisiksi. (SFS-EN 1990. 2003, 52.)

### **3.3 Rajatilamenettely**

Rajatilatarkastelussa rakenteille sekä maapohjan ominaisuuksille määritellään keskeiset raja-arvot rakenne- ja kuormitusmallien avulla. Malleissa tulee käyttää standardien mukaisia asiaankuuluvia mitoitusarvoja kuormille, materiaali- tai tuoteominaisuuksille ja mittatiedoille. Mikäli rajatilat ylittyvät, ei rakenne täytä enää asianomaista mitoituskriteeriä. (SFS-EN 1990. 2003, 22–24.) Laskelmien rajatilamenettelyä sekä rakenne- ja kuormitusmalleja käsitellään tarkemmin luvussa 4, Laakasiilon mitoituksen vaiheet.

Ihmisten turvallisuuteen ja rakenteiden yleiseen varmuuteen sekä maapohjan ominaisuuksiin liittyvät rajatilat tarkistetaan **murtorajatilassa**. Siinä käsitellään erityisesti tasapainon menetystä ja murtumista, mutta myös yleisesti vaurioitumista, siirtymätiloja sekä väsymistä ajasta riippuvaisena. (SFS-EN 1990. 2003.)

**Käyttörajatila** puolestaan sisältää rajatilatarkastelut, jotka vaikuttavat rakenteen tai rakenneosien toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Käsiteltävinä ovat halkeamat, siirtymät, taipumat ja värähtelyt. (SFS-EN 1990. 2003.)

Murto- ja käyttörajatilat käsitellään erikseen ja ne liitetään mitoitustilanteisiin. Tavallisesti luokittelu jaetaan normaalisti vallitseviksi (normaali käyttötilanne), tilapäisiksi (toteutus tai korjaaminen) tai onnettomuustilanteiksi (poikkeuksellinen olosuhde). (SFS-EN 1990. 2003, 46.)

### 3.4 Kuormitusyhdistelyt

Ennen kuormitusyhdistelyjen käyttöä on muistettava määrittää kuormien ominaisarvot käyttämällä (Eurokoodi 1) yleisten kuormien mukaisia standardeja sekä näiden kansallisia liitteitä. Saadut kuormat yhdistetään standardin SFS-EN 1990 mukaan seuraavasti:

Rakennuksen tai rakenteen staattista tasapainoa laskettaessa murtorajatilan kuormitus lasketaan yhtälöllä 6.10 (EQU) (Sarja A) (taulukko 2).

TAULUKKO 2. EQU, Sarja A

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitustilanteet	Pysyvät kuormat		Määräävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)
	Epäedulliset	Edulliset		
(Yht. 6.10)	$1,1 K_{FI} G_{kj,sup}$	$0,9 G_{kj,inf}$	$1,5 K_{FI} Q_{k,1}$	$1,5 K_{FI} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(\*) SFS-EN 1990 Taulukko A1.1



Rakennuksen tai rakenneosan kestävyyttä ja geoteknistä kantavuutta laskettaessa murtorajatilan vähimmäiskuormitus lasketaan yhtälöllä 6.10a (STR/GEO) (Sarja B) (taulukko 3).

**TAULUKKO 3. STR/GEO, Sarja B**

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusilanteet	Pysyvät kuormat		Määräävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)
	Epäedulliset	Edulliset		
(Yht. 6.10a)	$1,35 K_{FI} G_{kj,sup}$	$0,9 G_{kj,inf}$		

(\*) SFS-EN 1990 Taulukko A1.1

Rakennuksen tai rakenneosan kestävyyttä ja geoteknistä kantavuutta laskettaessa murtorajatilan kuormitus lasketaan yhtälöllä 6.10b (STR/GEO) (Sarja B) (taulukko 4).

**TAULUKKO 4. STR/GEO, Sarja B**

Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusilanteet	Pysyvät kuormat		Määräävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)
	Epäedulliset	Edulliset		
(Yht. 6.10b)	$1,15 K_{FI} G_{kj,sup}$	$0,9 G_{kj,inf}$	$1,5 K_{FI} Q_{k,1}$	$1,5 K_{FI} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(\*) SFS-EN 1990 Taulukko A1.1

Rakennuksen tai rakenneosan geoteknistä kantavuutta laskettaessa murtorajatilan kuormitus lasketaan yhtälöllä 6.10 (STR/GEO) (Sarja C) (taulukko 5).

**TAULUKKO 5. STR/GEO, Sarja C**

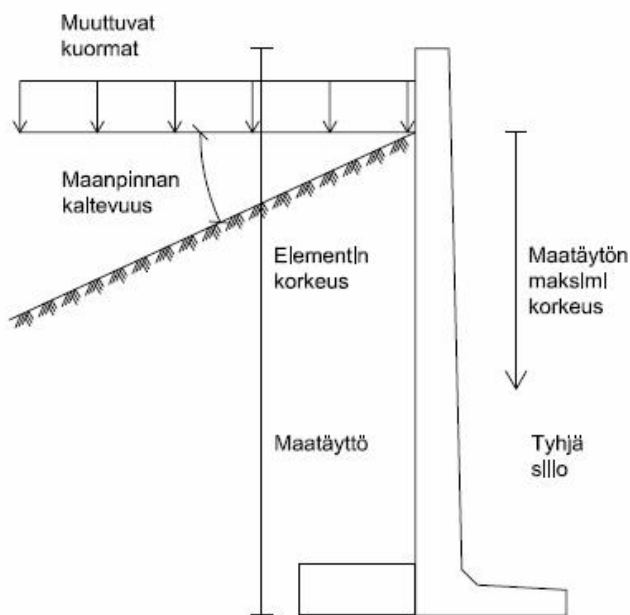
Normaalisti vallitsevat ja tilapäiset mitoitusilanteet	Pysyvät kuormat		Määräävä muuttuva kuorma (*)	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat (*)
	Epäedulliset	Edulliset		
(Yht. 6.10)	$1,0 K_{FI} G_{kj,sup}$	$1,0 G_{kj,inf}$	$1,3 K_{FI} Q_{k,1}$	$1,3 K_{FI} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(\*) SFS-EN 1990 Taulukko A1.1

## 4 LAAKASIILON MITOITUKSEN VAIHEET

### 4.1 Maanpainetarkastelu

Maanpainneiden osalta mitoituksessa arvioidaan vaarallisimman tilanteen syntyvän, kun elementin ulkopuolella on korkein mahdollinen maatayttö sekä mahdolliset muuttuvat pintakuormat, kuten lumi- tai traktorikuorma. Laakasiilon sisäpuolella ei ole tällöin täyttöä ollenkaan (kuva 4). Vaikka elementti suunnitellaan vakiotuotteeksi, tilaajan on hankekohtaisesti varmistettava asiantuntijalta maapohjan soveltuvuus elementille.



KUVA 4. Maanpainet seinäelementille

Opinnäytetyöhön lähtötietoina saatujen laskelmien pohjalta korkeimman maataytön arvioimiseksi tarkastellaan maanpaineen vaikutusta raudoittamattomaan elementtiin. Nämä vertailulaskelmat eivät kuitenkaan vastaa todellista tilannetta, eikä sen käytölle ole perustetta eurokoodin mukaan, joten näitä tarkasteluja ei liitetä lopullisiin laskelmiin.

Todelliset maanpaineet lasketaan niin sanotulla aktiivisella paineella, jolloin oletuksena on elementin kaatuminen maanpaineesta. Maanpinnan maksimi korkeus arvioidaan kuitenkin vertailulaskelmien perusteella ja maanpaineen vaikutusta tarkastellaan eri maanpinnan kaltevuuksilla sekä muuttuvien kuormien yhdistelyillä (liite 2, tarkastelut 1–3). Tarkoituksena on hakea kohta, jossa elementti ei enää kestä minimiraudoituksellaan ulkoisien kuormien aiheuttamaa momenttia.

Maan omapaino käsitellään pysyvänä kuormana ja lumen sekä traktorin aiheuttamat kuormat muuttuvina. Murtorajatilanyhdistely kokonaisvakavuutta tarkasteltaessa tehdään (Eurokoodi 7) geoteknisen suunnittelun yleisten sääntöjen sekä yhtälön 6.10 (taulukko 5) mukaisesti.

## **4.2 Rehupainetarkastelu**

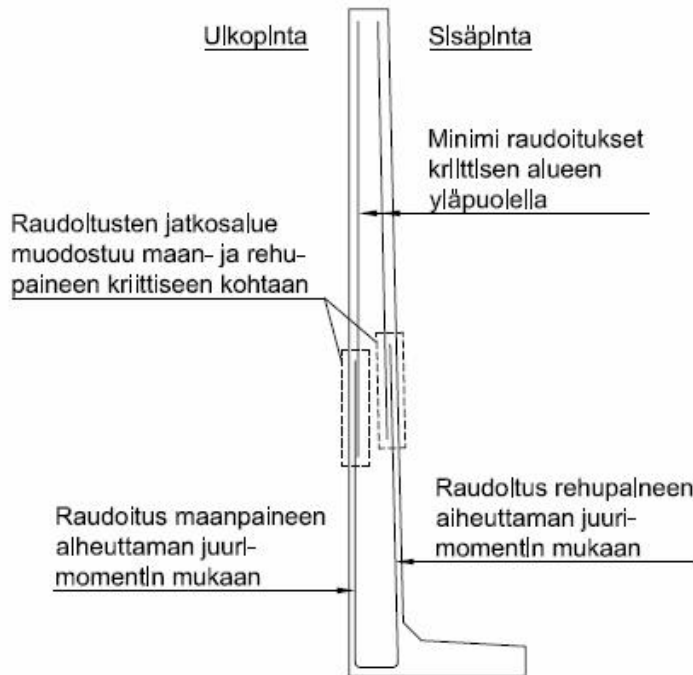
Rehun aiheuttamaa painetta tarkasteltaessa tilanteen ajatellaan olevan päinvastainen kuin maanpaineessa. Laakasiilo on täynnä rehua ja ulkopuolista maatayttöä ei ole ollenkaan. Rehupinnan tarkastelukorkeutena käytetään oletettua maksimitäyttöä, eli elementin korkeutta pohjasta. Elementti jaetaan osiin ja sen jälkeen lasketaan rehun aiheuttamaa momenttia näihin pisteisiin.

Rehua käsitellään muuttuvana kuormana, mutta rehun rakenteesta johtuen sillä ei ole esimerkiksi maa-aineksille ominaista kitkakulmaa. Rehun ominaiskuorman vaikutus arvioidaan laskelmissa kuitenkin varmalle puolelle käyttämällä eurokoodissa annettujen raja-arvojen ylärajaa  $10 \text{ kN/m}^3$ . Rajatilatarkastelu suoritetaan samalla tavalla kuin maanpaineita laskettaessa.

## **4.3 Vähimmäisraudoitusmäärät**

Elementin ulkopintaan tulevat raudoitteet ja niiden katkaisukohtat määräytyvät maanpaineen aiheuttaman maksimimomentin ja vähimmäisraudoituksen kapasiteetin perusteella. Elementin kriittisen kohdan (kuva 5) yläpuolisina teräksinä voidaan käyttää vähimmäisraudoitetta, mutta alapuoliset teräkset mitoitetaan elementin juuressa esiintyvän maksimimomentin mukaan. Vastaavat tarkastelut

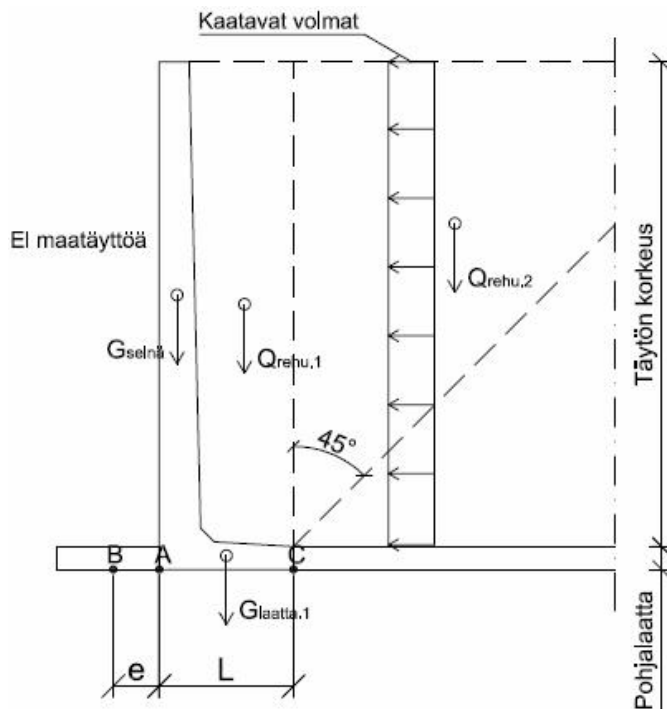
suoritetaan elementin sisäpintaan tuleville raudoitteille, mutta mitoittavana kuormana on rehun aiheuttama momentti elementille.



KUVA 5. Vähimmäisraudoitusten määrittäminen

#### 4.4 Kaatumistarkastelu

Kaatumistarkastelussa arvioidaan mahdollisen vastapainolaatan ja pohjalaatan tarpeellisuutta elementin pystyssä pysymisen kannalta. Vastapaino- ja pohjalaattaa ei valmisteta tehtaalla, mutta niille tarpeelliset tartunnat on otettava huomioon jo elementtiä suunniteltaessa. Kaatumistarkastelussa otetaan huomioon kaikki pystyssä pysymisen kannalta epäedullisen ja edullisen vaikutuksen aiheuttavat kuormat (kuva 6).



KUVA 6. Kaatumistarkastelussa huomioitavat kuormat

Elementin kaatumisen kannalta tasapainottavia (edullisia) kuormia ovat kuvan kuusi mukaisesti elementin omapaino ( $G_{\text{seinä}} + G_{\text{laatta.1}}$ ) sekä rehukuormat, joiden katsotaan vaikuttavan elementin päällä ( $Q_{\text{rehu.1}} + Q_{\text{rehu.2}}$ ). Epäedulliseksi kuormaksi luetaan rehupaineen aiheuttama kaatavamomentti.

Murtorajatilan tarkastelussa verrataan epäedullisten ja edullisten kuormien suhdetta toisiinsa. Mikäli epäedullisten kuormien vaikutus todetaan suuremmaksi kuin edullisten, tulee elementin liitoskohdan rauditus pohjalaattaan mitoittaa tarkastelupisteen momenttia vastaavaksi.

#### 4.5 Traktorikuorma

Laakasiilon varastoitavan rehun tiivistyksessä käytetään yleensä tuotantotilan massaltaan suurinta konetta, joka aiheuttaa pistemäistä kuormitusta elementin eri kohdissa. Pistekuorma voi esiintyä kaikissa elementin pituus- ja korkeussuuntaisissa kohdissa. Vaarallisimman tilanteen arvioidaan elementin kestävyysden kannalta syntyvän, kun laakasiilo on lähes täynnä ja kuorma vaikuttaa lä-

hellä elementin reuna-aluetta. Seinän kaltevuuden jäädessä pienemmäksi kuin 1:4 mitoituksessa huomioidaan ainoastaan seinää vastaan kohtisuora piste-kuorma, joka on suuruudeltaan 5 kN.

Traktorin renkaan vaakasuuntaisen pistekuorman ja rehukuorman aiheuttamaa momenttia eri tarkastelukorkeuksilla verrataan raudoituksen kestävyteen. Mikäli kestävyden todetaan olevan riittävä, voidaan olettaa elementin kestävä kuormat ilman lisäraudoitusta. Tarkastelussa rehu- sekä traktorikuorma ovat muuttuvia.

#### **4.6 Laskelmien tulokset**

Mestarifarmi Oy:llä tuotannossa olevalle 2 900 millimetriä korkealle laakasiioelementille tehtyjen laskelmien pohjalta todetaan elementin kokonaisraudoitusmäärän kasvaneen hieman, mutta samalla vastapainolaatan koon sekä pohjalaatan tarpeen pienentyneen. Elementin ulkoiset mitat pystyttiin säilyttämään ennallaan sekä ulkoisien kuormitusten määrää kasvattamaan sallituissa rajoissa.

Maan-, rehupaineen ja traktorin aiheuttamien kuormitusten johdosta minimiraudoituksen käyttöä voidaan hieman lisätä, mutta samasta syystä kriittisen tarkastelukorkeuden laskiessa aiemmasta kohdasta noin 200 millimetriä alemmaksi tulee elementin alaosassa olevan raudoituksen määrää kasvattaa. Kaa-tumistarkastelussa huomioitujen epäedullisten kuormien vaikutus jää alhaisemmaksi kuin edullisten, mikä puolestaan johtaa vastapainolaatan koon sekä pohjalaatan tarpeen pienenemiseen.

## 5 YHTEENVETO

Insinööriyön tavoitteena oli laatia Mestarifarmi Oy:lle euronormien sekä CE-merkinnän vaatimusten mukaiset rakennesuunnitelmat yhdelle heillä tuotannossa olevalle laakasiiloelementille. Tarkoituksena oli myös mitoittaa rakenne vastaamaan paremmin maataloudessa kasvaneita suurkoneiden kuormia vastaviksi, kuitenkin muuttamatta elementin ulkoisia mittoja.

Insinööriyön aiheen saatua alkuvaiheet kuuluivat maatalousrakentamisen nykytilaan sekä aiheesta saataviin julkaisuihin tutustuessa. Muita alkuvaiheen toimia olivat perehtyminen lähtötietoina saatuihin Suomen rakentamismääräyskoelman mukaisiin mallilaskelmiin sekä haettavan CE-merkinnän vaikutus mitoituksen kulkuun ja suunnitteluun. Kaikkien työssä tarvittavien lähteiden etsintä ja niiden yhteensopivuuden tarkastelu läpi opinnäytetyön ilmeni haastavaksi. CE-merkinnän vaikutus suunnitteluun edellytti osaltaan myös laatu- ja valvontajärjestelmiin tutustumista.

Eurokoodien soveltuvuus rakennesuunnittelun ja maatalousrakentamisen osalta ei ole yhtä valmis ja yksiselitteinen kuin aiempien suunnitteluohjeiden. Esimerkiksi rehukuorman ja traktorin renkaan aiheuttaman vaakasuuntaisen piste-kuorman luotettavan ja todellisen jakauman määrittäminen ovat haasteellisia ja nämä vaatisivatkin enemmän koeolosuhteissa saatuja testaustuloksia. Tästä huolimatta tilaajalta saatujen kokemuspohjaisten tietojen sekä kuormien arvot tuottivat laskelmissa luotettavat tulokset.

Elementin ulkoisten mittojen todetaan säilyvän ennallaan sekä elementin kestävästi muuttuvien kuormien lisäystä sallituissa rajoissa. Elementin kokonaisraudoitusmäärä kasvaa hieman, mutta samalla vastapainolaatan koko sekä pohjalaatan tarve pienentyi. Liitteenä olevien rakennesuunnitelmien pohjalta Mestarifarmi Oy:llä on valmius aloittaa CE-merkintään johtavat tuotteen vaatimustenmukaisuuden todentamiseksi tarkoitetut valmistus- ja testausmenettelyt.

## LÄHTEET

A2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2011. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=125049&lan=fi>. Hakupäivä  
26.4.2012.

Betonirakenteiden toteutus. 2010. SFS-EN 13670 EUROKOODI. Helsinki:  
Suomen Standardisoimisliitto SFS.

CE-merkittyjen rakennustuotteiden oikea käyttö. 2010. Helsinki: Suomen Ra-  
kennusmedia Oy.

Eurokoodi help desk. 2012. Saatavissa: <http://www.eurocodes.fi/index.htm>.  
Hakupäivä 18.4.2012.

Eurokoodien ja RakMk:n nykyisen B-sarjan rinnakkaiskäytön pelisäännöt kanta-  
vien rakenteiden suunnittelussa. 2010. SKOL. Saatavissa:  
[http://www.skolry.fi/easydata/customers/skolry/files/eurokoodit/EC\\_RakMK\\_rinnakkaiskaytto\\_v1.0\\_100630.pdf](http://www.skolry.fi/easydata/customers/skolry/files/eurokoodit/EC_RakMK_rinnakkaiskaytto_v1.0_100630.pdf). Hakupäivä 18.4.2012.

Inspecta Group. 2012. Saatavissa: <http://www.inspecta.com/fi>. Hakupäivä  
18.4.2012.

Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje. 2004. Helsinki: Betoni-  
keskus ry.

Maatalouden betonirakentaminen – Rakennuttajaohje. 2004. Helsinki: Betoni-  
keskus ry.

Niskanen, Heikki 2007. Mitoita laakasiilo ja korjuutekniikka oikein. Maito ja Me –  
lehti 2/2007. Saatavissa:  
<http://ammattilaiset.valio.fi/maitojame/rakentaminen07/mitoita.htm>. Hakupäivä  
18.4.2012.



Opinnäytetyön lähtötiedot. 2011. Mestarifarmi Oy.

Pätevyysvaatimukset. 2012. FISE Betonirakenteet. Saatavissa:

[http://www.fise.fi/default/www/suomi/patevyysvaatimukset\\_ja\\_patevyyshakemus\\_lomakkeet/uudisrakentamisen\\_suunnittelu/betonirakenteet](http://www.fise.fi/default/www/suomi/patevyysvaatimukset_ja_patevyyshakemus_lomakkeet/uudisrakentamisen_suunnittelu/betonirakenteet). Hakupäivä  
18.4.2012

Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2003. SFS-EN 1990 EUROKOODI. Helsinki:  
Suomen Standardisoimisliitto SFS.

## LIITTEET

- Liite 1. Laskennassa käytettävät kaavat ja merkinnät
- Liite 2. Laakasiilon LA29 mitoitus
- Liite 3. Elementtikuvat
- Liite 4. Laskelmien tulokset