

Elina Tiinanen

**LIETESÄILIÖELEMENTIN BETONIN KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELU
JA RASITUSLUOKKIEN VALINTA**

LIETESÄILIÖELEMENTIN BETONIN KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELU JA RASITUSLUOKKIEN VALINTA

Elina Tiinanen
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Talonrakennustekniikka

Tekijä: Elina Tiinanen
Opinnäytetyön nimi: Lietesäiliöelementin betonin käyttöikäsuunnittelu ja rasitusluokkien valinta
Työn ohjaaja: Antti Ukonmaanaho, Oulun ammattikorkeakoulu
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021
Sivumäärä: 80

Lietesäiliöelementtejä eli nestesäiliöelementtejä käytetään maataloudessa liete-
lannan varastosäiliöiden seinärakenteena. Lietesäiliöelementin betonirakenne
on alttiina neljälle eri rasitusluokalle, mikä vaikuttaa rakenteen käyttöikäsuunnit-
teluun. Nestesäiliöelementeiltä vaaditaan varmennustodistusmenettely, joka
osoittaa, että rakennustuote täyttää viranomaisvaatimukset.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua lietesäiliöelementin käyttöympäristöön ja
ympäristön aiheuttamiin rasituksiin sekä erilaisiin lainsäädännöllisiin vaatimuk-
siin. Lisäksi haluttiin selvittää, minkälaiset vaatimukset ovat käytössä lietesäiliö-
elementin tuotehyväksynnässä sekä mitkä seikat vaikuttavat oleellisesti lie-
tesäiliöelementin käyttöikäsuunnitteluun ja rasitusluokkien valintaan.

Opinnäytetyössä koottiin tietoa lietesäiliöelementistä sekä tämän tuotehyväk-
synnystä. Lietelannan koostumuksesta sekä liete-
lantasäiliöiden tulevaisuuden
haasteista haettiin kansainvälistä tietoa tutkimusraporteista. Lisäksi perehdyttiin
betonirakenteiden rasitusluokkien valintaan sekä käyttöikäsuunnittelun tauluk-
komitoitukseen. Koostetun teorian tiedon tueksi pyydettiin varmennustodistuksen
omaavilta lietesäiliöelementin valmistajilta tai markkinoijilta tuotetietoja elemen-
teistä. Lopuksi analysoitiin koostettua teorian tietoa ja saatuja tuotetietoja.

Opinnäytetyössä saatiin kerättyä monipuolinen tietopaketti lietesäiliöelementin
betonin käyttöikäsuunnittelusta ja rasitusluokkien valinnasta. Koostettua teo-
riatietoa ja saatuja tuotetietoja analysoitaessa havaittiin muun muassa, että lie-
tesäiliöelementin käyttöikäsuunnittelussa kemiallisen rasitusluokan valinta vai-
kuttaa eniten betoniin koostumukseen sekä kovettuneen betonin ominaisuuksiin
kohdistuviin vaatimuksiin. Lisäksi havaittiin, että varmennustodistusmenette-
lyssä ei olekaan tällä hetkellä olemassa yhtenäisiä ja suoranaisia vaatimuksia
lietesäiliöelementin betonille.

Asiasanat: Betoni, rasitusluokat, lietesäiliöelementti

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building

Author: Elina Tiinanen

Title of thesis: Concrete Durability and Service Life Planning of Slurry Tank Element

Supervisor: Antti Ukonmaanaho

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Pages: 80

Slurry tank elements, i.e. liquid tank elements, are used in agriculture as a wall structure for slurry-manure storage tanks. The concrete structure of the slurry tank element is exposed to four different stress classes, which affects the service life planning of the structure. Liquid tank elements are required to undergo a certification procedure that demonstrates that the construction product meets the natural requirements.

The aim of the thesis was to get acquainted with the operating environment of the slurry tank element and the stresses caused by it, as well as various legal requirements. In addition, it was wanted to find out what requirements are used in the product approval of the slurry tank element and which factors have the most significant impact on the service life planning of the slurry tank element and the selection of stress categories.

The thesis was carried out as a study. Information on the slurry tank element and its product approval was collected for the work. The work focused on the selection of stress classes for concrete structures and the table dimensioning of service life planning. In support of the compiled theoretical information, product information on the elements was requested from the manufacturers or marketers of the slurry tank element holding the certification certificate. Finally, the compiled theoretical data and the obtained product data were analyzed.

Analyzing the compiled theoretical data and the obtained product data, it was found, among other things, that in the case of a slurry tank element, the choice of chemical stress class in the service life planning has the greatest effect on the requirements for concrete composition and hardened concrete properties. In addition, it was found that there are currently no uniform and direct requirements for the concrete of the slurry tank element in the certification procedure.

Keywords: Concrete, exposure classes, slurry tank element

SISÄLLYS

| | |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| SISÄLLYS | 5 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 LIETESÄILIÖELEMENTTI LIETESÄILIÖN RAKENTEENA | 9 |
| 2.1 Lietesäiliöelementtityypit | 9 |
| 2.1.1 Normaali lietesäiliöelementti | 10 |
| 2.1.2 Jälkijännitetyt lietesäiliöelementtityypit | 13 |
| 2.2 Lietesäiliöelementtien tuotehyväksyntä | 15 |
| 2.2.1 Nestesäiliöelementtien varmennustodistusmenettely | 17 |
| 2.2.2 Nestesäiliöelementtien tuoteryhmäohjeen vaatimukset | 18 |
| 2.2.3 Nestesäiliöelementtien elementtisuunnittelu | 20 |
| 2.2.4 FI-merkki betonielementeille ja jännitetyille betonielementeille | 20 |
| 2.2.5 FI-merkki tuoteryhmäohjeen vaatimukset | 22 |
| 2.2.6 Maatalouden betonielementtirakentamisen suunnitteluohje | 24 |
| 2.2.7 Lietesäiliön rakenteille suositeltavat rasitusluokkayhdistelmät | 25 |
| 2.3 Muun lainsäädännön vaatimukset lietesäiliöelementille | 28 |
| 2.3.1 Rakennuslainsäädäntö | 28 |
| 2.3.2 Maa- ja metsätalousministeriön asetukset | 30 |
| 2.3.3 Ympäristönsuojelulaki | 32 |
| 2.3.4 Nitraattiasetus | 32 |
| 2.4 Lietelanta ja lietesäiliöelementin tulevaisuuden haasteet | 32 |
| 3 BETONIRAKENTEIDEN KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELU JA RASITUSLUOKKIEN VALINTA | 35 |
| 3.1 Käyttöikäsuunnittelu | 35 |
| 3.2 Betonirakenteiden rasitusluokat | 37 |
| 3.2.1 Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä (X0) | 39 |
| 3.2.2 Karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva teräskorroosio (XC) | 39 |
| 3.2.3 Kloridien aiheuttama teräskorroosio (XD/XS) | 41 |

| | |
|---|----|
| 3.2.4 Jäätymis-sulamisrasitus (XF) | 41 |
| 3.2.5 Kemiallinen rasitus (XA) | 43 |
| 3.3 Taulukkomitoitus käyttöikäsuunnittelussa | 46 |
| 3.3.1 Raudoituksen betonipeite | 48 |
| 3.3.2 Vesi-sementtisuhte ja puristuslujuus | 50 |
| 3.3.3 Betonirakenteen halkeilu | 51 |
| 3.3.4 Vesitiiveys | 54 |
| 3.4 Laskennallinen mitoitus | 54 |
| 4 LIETESÄILIÖELEMENTIN VALMISTAJIEN TUOTETIETOJA | 57 |
| 5 LIETESÄILIÖELEMENTIN BETONIN VALINNAN TEORIATIE TOJEN JA TUOTETIETOJEN ANALYSOINTI | 60 |
| 5.1 Tuotehyväksynnän vaatimukset | 60 |
| 5.2 Elementin säilyvyysuunnittelu taulukkomitoituksella | 62 |
| 5.2.1 Lietesäiliöelementin rasitusluokkien valinta | 62 |
| 5.2.2 Muut käyttöiän valintaan vaikuttavat tekijät | 66 |
| 5.3 Muun lainsäädännön vaikutus | 67 |
| 5.4 Lietesäiliöelementin betonin valinta | 68 |
| 6 YHTEENVETO | 71 |
| LÄHTEET | 74 |

1 JOHDANTO

Lietesäiliöelementti on tehdasvalmisteinen teräsbetoninen seinäelementtirakenne, jota käytetään maatalousrakentamisessa lietalannan varastosäiliöiden seinärakenteena. Lietesäiliöt rakennetaan avosäiliöinä, jolloin seinärakenteena käytetyt lietesäiliöelementit ovat jatkuvasti alltiina ulkoilman vaihtelevalle säälle ja siksi talvella myös pakkasvaurioille. (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. 2004, 36-38; Mikkola - Puumala - Kallioniemi - Grönroos - Nikander - Holma 2002, 82-93)

Eläinperäinen lietalanta lantakaasuineen on kemiallisesti aggressiivista ainetta seinärakenteena käytettävälle betonielementille ja lisäksi vielä tulevaisuudessa lietalantaa voidaan tulla mahdollisesti happokäsittelmään esimerkiksi rikkihapolla lietesäiliössä. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu — Opas suunnittelijoille 2016. 2017, 23, 90-93; Salo - Grönroos - Luostarinen - Kapuinen - Manninen - Rankinen - Myllyviita 2015, 7-9.)

Rakennustuotehyväksyntälain tultua voimaan 07/2013 on lietesäiliöelementin valmistaja voinut osoittaa varmennustodistusmenettelyllä, että rakennustuote täyttää maankäyttö- ja rakennuslain vaatimukset. Tästä huolimatta on ollut epäselvää, millainen on lietesäiliöelementin tuotehyväksyntä sekä tähän liittyvät minimivaatimukset. Siksi halutaan selvittää, mitä vaatimuksia lietesäiliöelementille tulee varmennustodistusmenettelystä ja mitkä muut vaatimukset vaikuttavat tuotteessa käytettävään betoniin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä siihen, millaisia vaatimuksia tai ohjeita lietesäiliöelementin valmistukseen käytettävällä betonilla on, mistä nämä vaatimukset tai ohjeet tulevat ja miten nämä vaatimukset tai ohjeet toteutuvat tuotehyväksytyin tuotteen kohdalla. Tarkoituksena on myös koota yhteen tietoa lietesäiliöelementin käyttöikäsuunnittelussa huomioitavista seikoista, jotka vaikuttavat elementissä käytettävän betonin säilyvyyteen ja valintaan.

Opinnäytetyössä tarkastellaan vain tehdasvalmistettuja lietesäiliöelementtejä, joita käytetään vain $\leq 2\,500\text{ m}^3$:n kokoihin kattamattomiin säilöihin. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajataan $> 2\,500\text{ m}^3$:n säilöihin käytettävät lietesäiliöelementit, paikallavalurakenteina toteutettavat seinärakenteet, kumiallasrakenteiset lietelaguunit, lietesäiliön pohjalaatan tai saumarakenteiden säilyvyyteen ja vesitiiveyteen liittyvät vaatimukset sekä säiliön kiinteään kattamiseen liittyvät seikat.

Opinnäytetyössä haetaan tietoa, mihin ja millaiseen käyttöön lietesäiliöitä rakennetaan ja millaisia lietesäiliöelementtityyppejä on markkinoilla. Työssä haetaan myös tietoa siitä, millaista ainetta lietelanta on ja mitä tulevaisuudessa tulisi huomioida lietesäiliöelementtien suunnittelussa.

Selvitystyön tueksi pyydetään tuotetietoja vähintään kolmelta varmennustodistushyväksynnän omaavalta normaalirakenteisen lietesäiliöelementin elementinvalmistajalta tai markkinoijalta. Saatuja tuotetietoja verrataan tuotehyväksynnän sekä käyttöikäsuunnittelun ja rasitusluokkien erilaisiin ohjeellisiin vaatimuksiin. Näiden havaintojen pohjalta tehdään johtopäätökset siitä, onko nykypäivänä olemassa selkeitä minimivaatimuksia lietesäiliöelementin betonille ja kuinka hyvin tuotehyväksytyt tuotteet vastaavat asetettuihin vaatimuksiin.

2 LIETESÄILIÖELEMENTTI LIETESÄILIÖN RAKENTEENA

Maataloudessa kotieläinten kasvatuksessa syntyy lietelantaa, joka on pääsääntöisesti nautaeläinten tai sikojen ulostetta. Eläinperäinen liete koostuu nestemäisestä ainesosasta, joka on virtsaa, ja kiinteämmästä ainesosasta, joka on son-taa. Lietelantaa syntyy kotieläinten ulostaessa eläinsuojan lantakäytävillä. Lietelannan nestemäinen osuus on niin suuri, että siksi sitä käsitellään ja varastoidaan nestemäisenä aineena lietesäiliöihin. (Mikkola - Puumala - Kallioniemi - Grönroos - Nikander - Holma 2002, 54-60, 72-73, 82-93.)

Eläintilan lantakäytäviltä liete johdetaan rakolattiasysteemin kautta tai kiinteiltä lantakäytäviltä lantaraappasysteemin avulla kokoojakourun ja kokoojakaivon kautta vapaavalutteisesti tai pumppaamalla lietesäiliöön. Lietesäiliöt rakennetaan pääsääntöisesti joko teräsbetonisista elementeistä tai epdm-kumikalvoal-taina. (Mikkola - Puumala - Kallioniemi - Grönroos - Nikander - Holma 2002, 54-60, 72-73, 82-93; Nieminen 2017, 11-13.)

2.1 Lietesäiliöelementtityypit

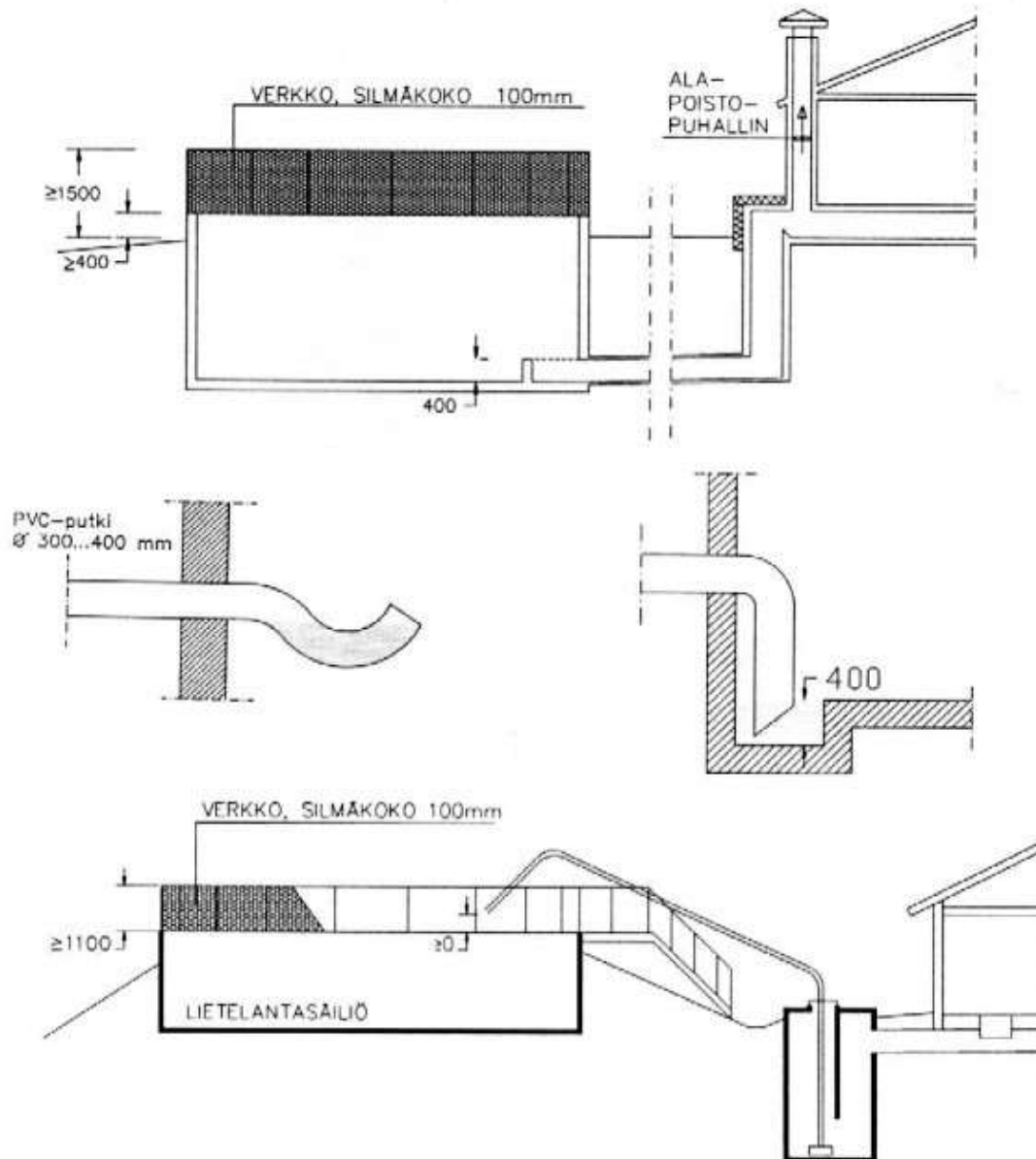
Betonirakenteiset lietesäiliöt rakennetaan tyypillisesti avoimina kattamattomina rakennelmina betonielementeistä ympyränmuotoisiksi varastoaltauksi ja nämä rakennetaan joko tuotantopihoille eläinsuojien yhteyteen tai etäsäiliöinä pelto-keskittymille tai metsäsaarekkeisiin. Suomessa on tällä hetkellä markkinoilla kaksi erilaista lietesäiliöelementtityyppiä. Näiden kahden elementtityypin seinä-rakenne sekä rakenteellinen toimintatapa ovat hieman erilaisia. Siksi elementti-tyypin valinta ratkaisee, voidaanko lietesäiliöstä rakentaa tilavuudeltaan $\leq 2\,500\text{ m}^3$:n vai yli $2\,500\text{ m}^3$:n kokoinen varastosäiliö. (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. 2004, 36-38; Omalannoitteet, RE-maatilan materiaali, linkit ->Lantalat -> Lietelantala; Nieminen 2017, 11-13.)

2.1.1 Normaali lietesäiliöelementti

Perinteinen lietesäiliöelementtityyppi on väliseinäelementtityyppinen betonielementti. Tällaiset elementit ovat olleet maataloilla käytössä jo 1980-luvulta saakka eli siitä lähtien, kun lietelantasysteemit alkoivat yleistyä eläinsuojissa ja maataloille alettiin rakentamaan lietesäiliöitä. (Puumala - Paasonen 2001, 3-41; Nieminen 2017, 11.)

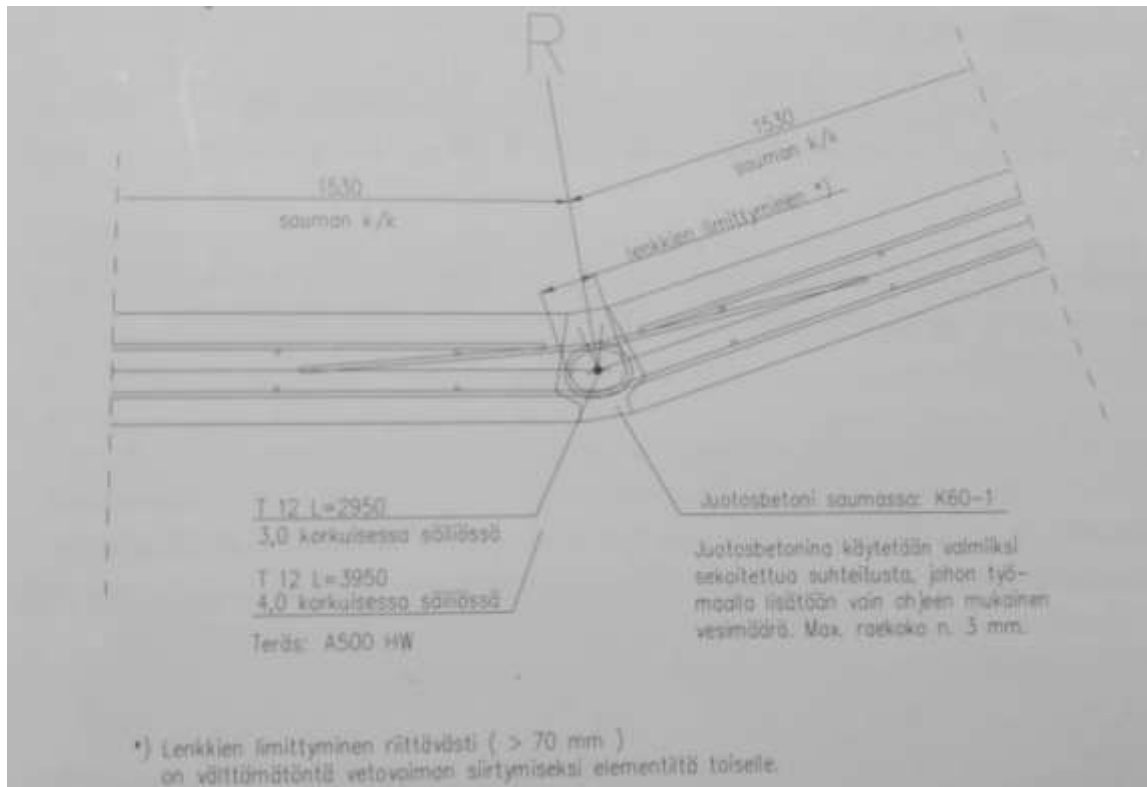
Elementtien mitat, rakennepaksuudet sekä raudoitukset ovat valmistajakohtaisia, mutta suurimmalla osalla valmistajista on vakiintunut elementtien korkeudeksi 3 000 mm ja 4 000 mm, pituudeksi 1 500 mm ja rakennepaksuudeksi 125 mm. Kuvassa 1 on esitetty, miten lietesäilöt upotetaan maanpinnan alapuolelle siten, että vähintään reilut 400 mm seinäelementistä jää näkyville maanpinnan yläpuolelle ja loput seinäkorkeudesta eli 2 600 mm tai 3 600 mm jää maanpinnan alapuolelle. (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. 2004, 36-38.)

Lietesäiliöitä ei rakenneta yleensä pohjaveden alapuolelle. Pohjaveden korkeus määrää siis perustamistason, joka voi olla vain esim. 1 000 mm maanpinnan alapuolella, ja tällöin tehdään säiliön ympärille tarvittava maapenger. Lietesäiliön aitarakenteen tulee olla vähintään 1 500 mm korkealla maanpinnasta. Lisäksi kuvassa 1 voidaan nähdä erilaisia vaihtoehtoja hajulukkomekanismista (kaasulukko), joka tulee rakentaa eläintilan ja lietesäiliön välille, etteivät lantakaasut lietesäiliöstä pääse siirtymään eläintilaan. (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. 2004, 36-38; L 07.01.2002/100/01 MMM-RMO C4 Kotieläinrakennusten ympäristöhuolto, 5-7.)



KUVA 1. Periaatepiirroksia lietelantavaraston sijoituksesta, lietelantajärjestelmästä ja kaasulukosta (MMM-RMO C4 Kotieläinrakennusten ympäristöhuolto. 2002 100/2001, 7)

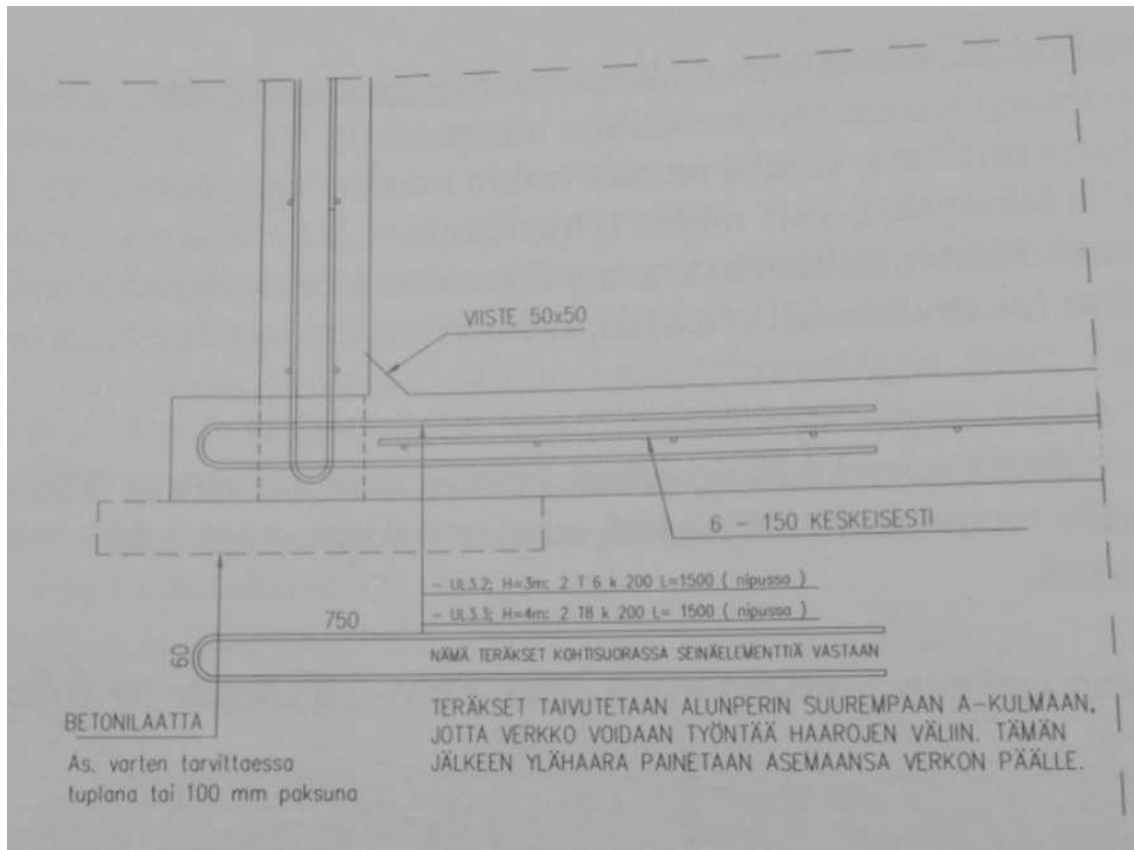
Kuvassa 2 nähdään, miten seinäelementit kiinnitetään toisiinsa pujottamalla pystyteräs elementtien saumarakenteen ankkurointilenkkien sisään. Elementtien saumat valetaan kutistumattomalla juotosmassalla (elementin valmistajan ohjeen mukaan). (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. 2004, 36-38.)



KUVA 2. Lietesäiliöelementtien liitosten ja saumarakenteen periaatekuva (Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje. 2004, 37)

Kuvassa 3 nähdään, että seinäelementtien ja lattian sitovalla raudoituksella ja lattiavalulla seinäelementit saadaan osittain jäykästi kiinni pohjalaatan lattiavaaluun. Tällaisella elementtityypillä voidaan rakentaa maksimissaan 2 496 m³:n kokoinen lietesäiliö ja tällöin muut dimensiot ovat

- seinäelementin korkeus on 3 000 mm
- lietesäiliön sisäsäde 16,56 m
- säiliön sisähalkaisija on 33,12 m
- pohjalaatan pohjapinta-ala on 862 m²
- seinäelementtejä asennetaan säiliörakennelmaan 68 kpl (l = 1 500 mm ja d = 125 mm). (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. 2004, 36-38.)



KUVA 3. Periaatekuva lietesäiliöelementin kiinnityksestä pohjalaatan valuun (Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje. 2004, 38)

Satunnaisesti tämän tyyppisistä elementeistä voidaan tai on voitu rakentaa myös yli 2 500 m³:n kokoisia lietesäiliöitä. Tällaisissa tapauksissa lietesäiliörakenteen seinien ulkopuolelle rakennetaan tapauskohtaisesti pantarakenteet betonista elementinvalmistajan ohjeiden mukaan. (Maatalouden betonielementtirakenteet suunnitteluohje. 2004, 36-38; Nieminen 2017, 11-13.)

2.1.2 Jälkijännitetyt lietesäiliöelementtityypit

Kuvassa 4 esitetään jälkijännitystekniikalla toimivaa lietesäiliörakennelmaa, lietesäiliöelementin seinärakenteen liittymistä pohjavaluun, elementin saumarakennetta sekä jälkijännitysvaijerien lukituksia. Elementti on erikoisrakenteinen seinäelementtirakenne ja vaatii aina jälkijännityksen. Lietesäiliön elementin sisäpinta on säiliön puolella normaalin seinärakenteen tapaan suorapintainen ja elementin ulkopinnassa on vaakasuuntaisia ripoja. Lisäksi jokaisen elementin

ulkoreunassa on pystyriparakenne, johon on tehty valmiit reiät jännepunosvaijerille. (Acontank™ -Luotettava ja pitkäikäinen ratkaisu, isältä pojalle. 2020, 1-4.)

Elementtiasennuksen jälkeen tuetut elementit kiristetään muovipäälysteisen säänkestävän jälkijännitysvalijerin ja jännityslukon avulla. Acontank™ -säiliön elementtejä valmistetaan Virossa Consolixsen E-Betoelement-tehtaalla ruotsalaisen Abetong AB -lisenssillä. Acontank™ -elementtejä markkinoidaan sekä tuodaan Suomeen ja näistä rakennetaan lietesäiliöitä. Tämän tyyppisistä elementeistä voidaan rakentaa kokoluokaltaan yli 2 500 m³:n säiliöitä aina 8 000 m³:sta 9 000 m³:iin saakka (h = 4...6 m). (Acontank™ -Luotettava ja pitkäikäinen ratkaisu, isältä pojalle. 2020, 1-4.)

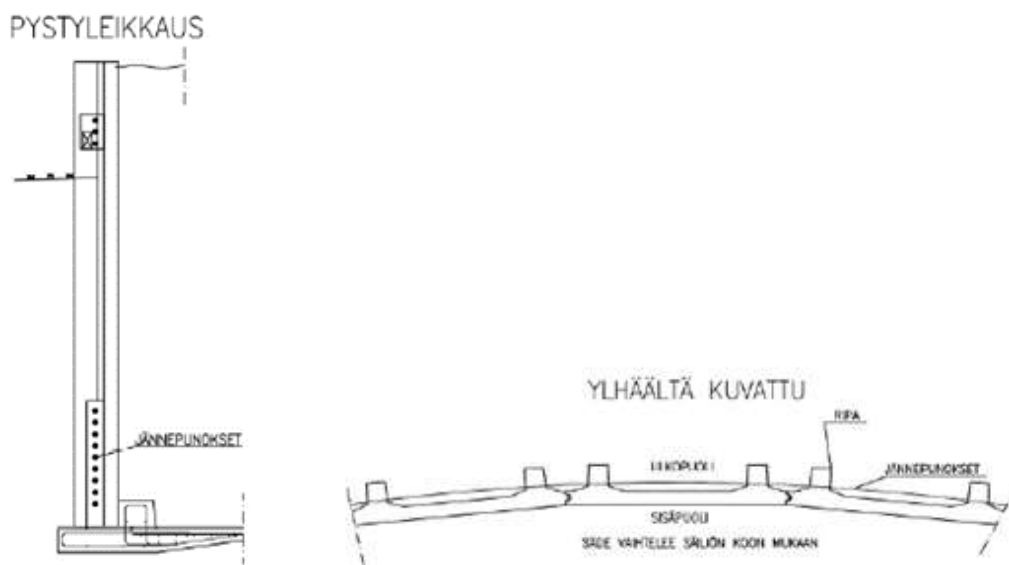


KUVA 4. Jälkijännitetyistä elementeistä rakennettu lietesäiliö, seinäelementin sijoitus pohjalaatalle, pystysaumarakenne sekä jännitysvalijerien jännityslukot (Acontank™ -Luotettava ja pitkäikäinen ratkaisu, isältä pojalle. 2020, 2)

Kotimaisen Lujabetonin uudenlainen Lujatankki-elementtijärjestelmä on ollut markkinoilla reilut neljä vuotta ja se on saanut hyödyllisyysmallisuojaan. Tästä uudeltaisesta elementtijärjestelmän suunnittelusta nesteiden varastointia varten on Teemu Nieminen tehnyt YAMK-opinnäytetyön. Tämän tyyppisistä elementeistä voidaan valmistaa kokoluokaltaan yli 2 500 m³:n ja jopa 5 000 m³:n kokoisia lietesäiliöitä. (Nieminen 2017, 19-25; Lujabetoni, linkit Esitteet->Maatalous-elementit->Lujatankki.)

Kuvassa 5 nähdään tämän elementtirakenteen periaatteellinen pysty- ja poikkileikkaus. Tämän tyyppisen säiliön seinäelementit ovat pystysuuntaisia esijännitettyjä elementtejä, joiden suorapintainen seinärakenne asennetaan lietesäiliön sisäpuolelle ja pystysuuntaiset rivat tulevat ulospäin. Nämä pystysuuntaiset esijännitetyt rivat muodostavat jäykisteen koko elementin korkeudelle ja mahdollistavat näin elementille ohuen seinämärakenteen. (Nieminen 2017, 19-25.)

Elementin ulkopintaan jäävissä rivoissa on aina samalla korkeudella vaakasuuntaiset reiät, joiden läpi asennetaan kiertämään kiristettävät jälkijännitetyt punokset valmiin rakenteen ympärille. Lisäksi nämä vaijerit suojataan jälkivalulla valamalla punoksien ympärille kotelo rakennesuunnitelmien mukaan mekaanista rasitusta vastaan. (Nieminen 2017, 19-25; Lujabetoni, linkit Esitteet->Maatalouselementit->Lujatankki.)



KUVA 5. Kotimaisen valmistajan patentoima esijännitetystä lietesäiliöelementistä rakennettava jälkijännitetyn lietesäiliön pysty- ja poikkileikkaus (Nieminen 2017, 19)

2.2 Lietesäiliöelementtien tuotehyväksyntä

EU:n rakennustuoteasetuksen (305/2011/EU) astuttua voimaan 1.7.2013 tuli CE-merkintä pakolliseksi kaikissa EU-maissa, myös Suomessa. Tämä asetus

koskettaa kaikkia rakennustuotteita, myös betonituotteita. CE-merkintää voivat käyttää ne kaikki rakennustuotteet, joille on eurooppalainen harmonisoitu tuotestandardi. CE-merkinnässä ilmoitetaan kyseisen rakennustuotteen vaaditut tekniset tiedot, joiden perusteella varmennetaan, että kyseinen rakennustuote täyttää vaatimustenmukaisuuden. Betonisilla maatalouden lietesäiliöelementeillä eli nestesäiliöelementeillä ei ole eurooppalaista harmonisoitua tuotestandardia tai sille ei ole eurooppalaista teknistä arviointia (ETA), ja tästä syystä lietesäiliöelementtejä ei voida CE-merkitä. (Suikka 2012, 60-62.)

Niille rakennustuotteille, joissa ei voida käyttää CE-merkintää, voidaan rakennustuotehyväksyntälain 954/2012 mukaan vapaaehtoisella kansallisen hyväksyntämenettelyillä osoittaa, että rakennustuote täyttää maankäyttö- ja rakennuslain vaatimukset. Suomessa voi kansallisena hyväksymismenettelyinä käyttää tyyppihyväksyntää, varmennustodistusta, valmistuksen laadunvalvonnan varmentamista tai rakennuspaikkakohtaista varmentamista. Samalle tuoteryhmälle on mahdollista käyttää vain yhtä näistä menettelyistä. (L 21.12.2012/ 954.)

Rakennustuotteiden tuotehyväksyntäasetuksen 555/2013 mukaan lietesäiliöelementtien eli nestesäiliöelementtien, massiivibetoniset laattaelementtien ja muiden massiivibetonisten elementtien tuoteryhmän valmistuksen tuotehyväksyntä kuuluu kansallisen vapaaehtoisen varmennustodistusmenettelyn piiriin ja näiden suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmäksi on määriteltävä AVCP-luokka 2+. (L 11.7.2013/ 555.)

Rakennustuotteiden tuotehyväksyntäasetusta 555/2013 on päivitetty 66/2015 jonka mukaan varmennustodistuksella ilmoitetaan tuotteen ominaisuuksia kuvaavia luokkia tai lukuarvoja, jotka vaikuttavat maankäyttö- ja rakennuslain tai sen nojalla annettujen säännösten olennaisten teknisten vaatimusten täyttymiseen. Jos tuote ei täytä näitä edellä mainittuja ehtoja, voidaan varmennustodistus peruuttaa. (L 30.1.2015/ 66.)

AVCP-luokka eli suoritustason pysyvyyden ja vakauden arviointijärjestelmä määrittää, missä laajuudessa ilmoitettu laitos osallistuu tuotteen ominaisuuksien

ja valmistuksen laadunvalvonnan varmentamiseen. Näin siis käytännössä jaetaan vastuut vaatimustenmukaisuuden osoittamiseen liittyvistä tehtävistä valmistajan ja ulkopuolisen varmentajan välillä. AVCP 2+ -luokan tasolla tämä käytännössä tarkoittaa, että valmistajalla tai maahantuojalla tulee olla suoritustason alkuarviointi (alkutestaus), tehtaan sisäinen laadunvalvonta FPC, tehtaalta otettujen näytteiden lisätestaus sekä suoritustasoilmoitus. Laadunvalvonnan sertifiointilaitos tekee tehtaan ja sen sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastuksen, myöntää tehtaan sisäisen laadunvalvonnan sertifikaatin sekä valvoo, että tehtaalla sisäinen laadunvalvonta toimii jatkuvasti. (Ruuth 2019, 2-11.)

2.2.1 Nestesäiliöelementtien varmennustodistusmenettely

Ympäristöministeriö hyväksyy yhtenäiset arviointiperusteet eri tuoteryhmille. Nestesäiliöelementtien varmennustodistuksen arviointiperusteet löytyvät ympäristöministeriön varmennustodistuksen nettisivulta. Lisäksi tätä opinnäytetyötä varten tiedusteltiin Kiwa Inspectalta sähköpostilla näitä vahvistettuja arviointiperusteita. Vastauksena saatiin voimassa oleva ja vahvistettu tuoteryhmäohje TR 61: 2014 sertifiointikoordinaattorilta Jutta Heikkilältä. (Ympäristöministeriö, linkit Rakentaminen ja Maankäyttö-> Rakennustuotteet-> Rakennustuotteiden kansalliset hyväksyntämenettelyt->Varmennustodistus; Heikkilä 2015.)

Ympäristöministeriö on hyväksynyt nestesäiliöelementtien, massiivibetoniset laattaelementtien ja muiden massiivibetonisten elementtien tuoteryhmän varmennustodistuksia myöntäväksi toimielimeksi Inspecta Sertifiointi Oy:n (Kiwa Inspecta, nykyään Kiwa). Tämän tuoteryhmäohjeen vaatimukset täyttävälle rakennustuotteelle Inspecta Sertifiointi Oy myöntää varmennustodistuksen (sertifikaatin) tuotantolaitoksen sekä tuotannon sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastuksen ja jatkuvan valvonnan perustella. (Ympäristöministeriö, linkit Rakentaminen ja Maankäyttö-> Rakennustuotteet-> Rakennustuotteiden kansalliset hyväksyntämenettelyt->Varmennustodistus; TR 61:2014. 2014, 5)

Varmennustodistuksen haltijan on käytettävä kuvan 6 mukaista Varmennustodistusmerkkiä betonielementin tunnuslapussa. Tämä Varmennustodistus-merkki

osoittaa tuotteen täyttävän varmennustodistuksen myöntämisperusteiden vaatimukset eli viranomais määräykset ja -ohjeet. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotantolaitoksen on noudatettava jatkuvasti tuoteryhmäohjeen TR 61:2014 arviointiperusteita. (TR 61:2014. 2014, 5, 14; Kiwa, linkit Sertifiointi, arviointi ja todentaminen-> Tuotesertifiointi->Varmennustodistus rakennustuotteille)



KUVA 6. Tuotteen Varmennustodistus-merkki (Kiwa, linkit Sertifiointi, arviointi ja todentaminen-> Tuotesertifiointi->Varmennustodistus rakennustuotteille)

Varmennustodistus-merkki perustuu aina tuotekohtaisiin vaatimuksiin, eli ohjeisiin ja standardeihin, eikä saatu tuotesertifiointi vähennä sertifikaatinhaltijan vastuuta tuotteiden vaatimustenmukaisuudesta. Tässä tapauksessa normaalit lietesäiliöelementit sekä jälkijännitetyt lietesäiliöelementtityypit kuuluvat tämän saman TR 61:2014 tuoteryhmäohjeen alaisuuteen. Varmennustodistus on voimassa 5 vuotta kerrallaan. (Ruuth 2019, 2-4.)

2.2.2 Nestesäiliöelementtien tuoteryhmäohjeen vaatimukset

Tuoteryhmäohjeen TR 61:2014 sovellettavia vaatimusasiakirjoja ovat

- SFS-EN 206-1 Betoni. Osa 1: Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus
- SFS-EN 12620 Betonikiviainekset
- SFS 7003 Betonikiviaineksilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot
- SFS 7022 Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa.
- SFS-EN 13369 Betonivalmisteiden yleiset säännöt

- SFS-EN 13225 Betonivalmisosat. Pilari- ja palkkielementit (massiivibetoniset laattaelementit, soveltuvien osien)
- SFS-EN 15258 Betonivalmisosat. Tukimuurit (nestesäiliöelementit, soveltuvien osien)
- SFS 7026 Betonivalmisosilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot
- SFS-EN 1992-1-1 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu, Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt ja standardin kansallinen liite
- ympäristöministeriön eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä antaman asetuksen määrittelemien betonielementtien ja jännitettyjen betonielementtien varmennustodistukset ja niihin liittyvät ohjeet (eli Tuoteryhmäohje TR 15:2014) (TR 61:2014. 2014, 5).

Voimassa olevien TR 61:2014-vaatimusasiakirjojen tulee olla saatavilla tehtaalla. Tuotetta valmistavalle tehtaalle tehdään tarkastuskäyntejä kahdesta kolmeen riippuen tuotannosta. Lisäksi tehtaalla tulee olla vaatimusasiakirjojen määrittelemä, jatkuvasti ajan tasalla oleva valmistajan laatukäsikirja (FPC). Tuoteryhmäohjeen TR 61:2014 ohjeet perustuvat pitkälti standardien SFS-EN 206, SFS 7022 ja SFS-EN 13369 käyttöön. (TR 61:2014. 2014, 5-6.)

Tuotetta valmistavalla tehtaalla tulee olla nimetty betonimassan valmistuksesta vastaava betonityönjohtaja, elementtien valmistuksesta vastaava työnjohtaja, laadunvalvonnasta vastaava henkilö, betonilaborantti ja prosessinohitaja (betonimyylläri). Lisäksi tulee olla muuta laadunvalvontahenkilökuntaa elementtien valmistukseen sekä valmiiden elementtien laadunvalvontaan liittyen sekä kaikille näille edellä mainituille nimetyille henkilöille varahenkilöt. (TR 61:2014. 2014, 6-7.)

Tuoteryhmäohjeessa on vaatimuksia, jotka liittyvät tuotantolaitoksen tiloihin, tuotannon valmistuksessa käytettäviin koneisiin ja laitteisiin sekä näiden tarkistukseen ja tarkkuusvaatimuksiin. Lisäksi vaatimuksia on myös betonimassan raaka-aineisiin ja tarvikkeisiin, betonimassan koostumukseen ja valmistukseen,

elementtien valmistukseen ja käsittelyyn, laadunvalvontaan, muistiinpanoihin ja raportointiin, tuotteen merkitsemiseen sekä ominaisuuksien ilmoittamiseen liittyen. (TR 61:2014. 2014, 7-16.)

2.2.3 Nestesäiliöelementtien elementtisuunnittelu

TR 61:2014 tuoteryhmäohjeen mukaan elementit tulee valmistaa ohjeessa mainittujen vaatimusasiakirjojen, valmistuspiirustusten sekä työselostusten mukaan. Tuoteryhmäohjeen mukaan elementin valmistajan tulee huolehtia, että elementin valmistajan laadittamat tai laatimat elementtipiirustukset on toimitettu vastaavalle rakennesuunnittelijalle. (TR 61:2014. 2014, 5, 9.)

Näissä elementtipiirustuksissa on esitettävä kaikki viranomaisvaatimusten edellyttämät tiedot, ja kaikista muutoksista tulee olla aina kohteen elementtisuunnittelijan laatima suunnitelma riippumatta siitä, tuleeko muutos tilaajan, tehtaan elementtisuunnittelijan tai valmistajan taholta valmistusteknisistä syistä. Elementtien valmistuspiirustuksissa tulee esittää myös nostoelimien sekä kuorman siirtoon tarvittavien metalliosien lisäraudoitus. Elementtipiirustuksissa ja työselostuksissa ei saa esiintyä ristiriitaisuuksia tai puutteellisuuksia, ja tällaiset tilanteet on tehtaan aina ennen elementtien valmistusta selvitettävä tilaajan tai suunnittelijan kanssa. (TR 61:2014. 2014, 9.)

Varmennustodistusmerkkiä on käytettävä betonielementin tunnuslapussa. Elementin valmistajan tulee ilmoittaa betonielementin rakenteelliset ominaisuudet ja palonkestävyys jollakin kuvaavalla CE-merkintämenetelmällä (M1, M2, M3a tai M3b) joka soveltuu valmistajan omaan liiketoimintamalliin. Ja nämä betonielementin edellä mainitut vaaditut ominaisuudet ilmoitetaan tilaajalle tuotteen mukana toimitettavissa asiakirjoissa. (TR 61:2014. 2014,14-16.)

2.2.4 FI-merkki betonielementeille ja jännitetyille betonielementeille

Tätä opinnäytetyötä varten tiedusteltiin Kiwa Inspectalta sähköpostilla FI-merkin tuoteryhmäohjetta. Vastauksena saatiin sertifiointikoordinaattorilta Jutta Heikkilältä voimassa oleva Betonielementtien ja jännitettyjen betonielementtien

tuoteryhmäohje TR 15:2017 (vahvistettu 2017-09-24, astunut voimaan 2018-01-01). Lisäksi saatiin vuodesta 2013 lähtien voimassa olleet tuoteryhmäohjeet TR 15:2007 (2. painos 2013-01-01) sekä TR 15:2014 (vahvistettu ja astunut voimaan 2014-08-26). (Heikkilä 2015; Heikkilä 2019a; Heikkilä 2019b.)

FI-merkki on vapaaehtoinen CE-merkintää ja Varmennustodistusta täydentävä Inspecta Sertifiointi Oy:n tuotesertifiointimenettely, joka voidaan hakea betonielementeille ja jännitetyille betonielementeille. Tämän tuotesertifikaatin haltijan tulee kiinnittää kuvan 7 mukainen FI-merkki (tuotesertifiointimenettely) tuotteeseen. Tämä merkki kertoo, että tuotteen vaatimustaso on viranomaisvaatimusten minimitasoa korkeampi eli täyttää kansalliset viranomaisvaatimukset. (TR 15:2017. 2017, 6; Kiwa, linkit Sertifiointi, arviointi ja todentaminen-> Tuotesertifiointi->FI-merkki ja FI-merkintä tuotteelle; Tallbacka 2020, 3-10.)

Näin asiakkaan kannalta tärkeät tuoteominaisuudet voidaan varmentaa paremmin. Merkkinä näistä ovat esim. kattavampi laatukäsikirja, tuotantolaitoksen henkilöstön riittävä pätevyys, raaka-aineisiin liittyvät vaatimukset, betonin säänkestävyyden vaatimukset, betonin testauslaitteisiin liittyvät vaatimukset, betonin v/s-suhteen määrittäminen kerran viikossa sekä toimenpiteet epätyydyttävän laadun ilmetessä. (TR 15:2017. 2017, 6-33.)



KUVA 7. FI-merkki (Kiwa, linkit Sertifiointi, arviointi ja todentaminen-> Tuotesertifiointi->FI-merkki ja FI-merkintä tuotteelle)

Tuoteryhmäohjeessa TR 15:2014 vaatimusasiakirjana on ollut Betonikeskuksen tuottama julkaisu Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje (Betonikeskus ry 2004/ 2006). Tämän vaatimusasiakirjan mukaan Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohjeessa (2004/ 2006) on esitetty ohjeelliset

suositusarvot lietesäiliöelementin betonille. (TR 15:2007. 2013, 6; TR 15:2014. 2014, 6; TR 15:2017. 2017, 6; Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje. 2004, 20; Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje, saatekirje ja taulukon 10 päivitys 19.4.2006. 2006, liite 1.)

Tällä hetkellä TR 15:2017 -tuotesertifiointimenettelyä sovelletaan betonielementtien ja jännitettyjen betonielementtien valmistukseen, jotka ovat CE-merkityjä tai joille on myönnetty TR 61:2014 -tuoteryhmäohjeen mukainen varmennustodistus. Tämän FI-merkin myöntämisellä osoitetaan näiden tuotesertifioitujen elementtien valmistuksen täyttävän pakollisten CE-merkintävaatimuksien ja Varmennustodistuksen lisäksi tässä tuoteryhmässä TR 15:2017 esitettyjen sovellettavien vaatimusasiakirjojen Suomessa sovellettavat säännöt ja ohjeet sekä muut tässä tuoteryhmäohjeessa esitetyt laatuvaatimukset. (TR 15:2017. 2017, 6.)

2.2.5 FI-merkki tuoteryhmäohjeen vaatimukset

Nykyisin voimassa olevassa TR 15:2017:ssä vaatimusasiakirjoina ovat julkaisut

- By 40, Betonirakenteiden pinnat, Suomen Betoniyhdistys
- Betonielementtien nostolenkit ja ankkurit, Betonikeskus
- Betonielementtien toleranssit, Betonikeskus
- Paalutusohje, RIL 254, Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL
- SFS 7016, Esijännitetyiltä ontelolaatoilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot
- SFS 7022, Betoni. Standardin SFS-EN 206:2014 käyttö Suomessa
- SFS 7026, Betonivalmisosilta (pilari- ja palkkielementit, ripalaatat, kuori-laatat, perustuselementit, siltaelementit, tukimuurielementit, kanaalielementit, portaat ja seinäelementit) eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot
- TR 100, Betonin puristuslujuuden testauksen tasotarkistuskoe
- Infra RYL: osa3: jakso 42000
- Betoninormit BY65 (TR 15:2017. 2017, 6).

Kuten voidaan havaita, viimeisimmässä TR 15:2017 -vaatimusasiakirjaluettelossa ei ole enää julkaisua Maatalouden betonielementtirakenteet -suunniteluohje (Betonikeskus ry 2004/2006). Jos betonielementtitehtaalla valmistetaan betonia vain elementtejä varten, ovat betoninvalmistusta koskevat vaatimukset esitetty tässä TR 15:2017 -tuoteryhmäohjeessa. Tuotteet eli elementit tulee valmistaa tämän TR 15:2017 -tuoteryhmäohjeen sovellettavien vaatimusasiakirjojen, valmistuspiirustusten sekä työselostuksen mukaan ja tuotteiden valmistus tulee kuvata laatukäsikirjassa (FCP) tuotetyypeittäin ja tuotantolinjoittain. (TR 15:2017. 2017, 6-22.)

Tuotesertifiointi TR 15:2017 tuo tehtaalle merkittävästi lisävaatimuksia elementtien betonin valmistukseen sekä elementtitehtaan tuotantoon liittyen. Ohessa on lueteltu muutamia tärkeimpiä kohtia:

- Elementtitehtaan henkilökunnalla ja varahenkilökunnalla on oltava FISE-pätevyudet betonityönjohtajalla, betonilaborantilla, betonimylläriellä (jatkuva ammattitaidon ylläpito vaatimusasiakirjojen muuttuessa).
- Laadunvalvonnasta vastaava henkilö huolehtii tuotannon sisäisen laadunvalvonnan vaatimusten noudattamisen ja raportoinnin tarkastuslaitokselle.
- Sertifiointi tuo lisävaatimuksia tuotantolaitoksen tiloihin, koneisiin ja laitteisiin, betonin osa-aineisiin ja elementtien tarvikkeisiin, betonimassan koostumukseen ja valmistukseen, elementtien valmistukseen ja käsitteilyyn, laadunvalvontaan, muistiinpanoihin sekä raportointiin.
- Annostelulaitteiden tarkkuusvaatimusten tulee olla päivitetty sementti- ja seosaine-, vesi- ja lisäaineväälle sekä tilavuusmittarille.
- Kiviainesten ominaisuudet sovitaan SFS 7003:n suositusten mukaisesti kiviainestoimittajan kanssa.
- Lisäainesäiliöt tulee tarkistaa määräväleihin tai tyhjentää ja pestä vähintään kerran vuodessa. Nämä merkitään päivämäärätarralla säiliön kylkeen.
- Huokostettujen betonien vähimmäissekoitusaika on 90 s.

- Huokostimen ja tehonotkistimen yhdistelmällä tulee selvittää betonien il-
mamäärän riippuvuus sekoitusaikaan ennakkokokein aina 300 s:iin asti.
- Ilmamäärä mitataan aina otettaessa massanäyte kovettuneella betonilla
tehtäviä kokeita varten betonista, jolle on asetettu ilmamäärävaatimus.
- Betonimassan valmistaja varmistaa betonimassan todellisen vesi-se-
menttisuhteen viikoittain soveltuvalla menetelmällä kohdistettuna vaihte-
levasti eri betonilaatuihin.
- Betonivalmistaja ilmoittaa etukäteen, mitä betonilaatuja ja lujuusluokkia
käytetään vesitiiveyttä edellyttävissä rakenteissa.
- Vesitiiveyskokeet uusitaan vuosittain, betoni katsotaan vedenpitäväksi,
jos se täyttää standardin SFS-EN 12390-8 testin.
- Elementtien valmistuksessa pakkasenkestävän betonin ennakkokokeet
tehdään arvosteluerittäin ja valmistusmenetelmittäin. Koekappaleet irro-
tetaan valmiista elementistä tai kyseisellä valmistusmenetelmällä valmis-
tusta vastaavan rakenteisesta koe-elementistä.
- Pakkasenkestävästä betonista tutkitaan myös betonimassan notkeus, ti-
heys, ilmamäärä. Lisäksi kukin tuotantoon kuuluva betonilaatu kirjallisesti
dokumentoidaan kuuluvaksi johonkin testattavaan arvosteluerään. (TR
15:2017. 2017, 6-33.)

2.2.6 Maatalouden betonielementtirakentamisen suunnitteluohje

Vuonna 2004 julkaistussa Maatalouden betonielementtirakenteiden suunnitte-
luohjeessa on esitetty yleisille maatalouden betonirakenteille rasitusluokat,
suunnittelussa käytettävä minimilujuus, betonipeitteen nimellisarvo (vähim-
mäisarvo + asennuspoikkeama) sekä suurin vesi-sementtisuhte. Julkaisun al-
kuperäisessä taulukossa lietesäiliön seinäelementissä käytettävän betonin vaa-
timuksina ovat olleet

- minimilujuus K45 (MPa)
- rasitusluokat XC4; XF1; XA2
(XA2: tarvittaessa käytetään sulfaatinkestävää sementtiä)
- betonipeitteen nimellisarvo $20 + 5 = 25$ mm

(vähimmäisarvo + sallittu asennuspoikkeama). (Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje. 2004, 20.)

Tätä alkuperäistä taulukkoa on päivitetty suunnitteluohjeen julkaisijan Suomen Betonitieto Oy:n toimesta 2006. Tällöin lietesäiliön seinäelementin uusiksi vaatimuksiksi on taulukoitu

- minimilujuus K45 (MPa)
- rasitusluokat XC4; XF3; XA2
(sulfaatinkestävän sementin vaatimus on poistunut)
- betonipeitteen nimellisarvo $20 + 10 = 30$ mm
(vähimmäisarvo + sallittu asennuspoikkeama)
- betonin suurin vesi-sementtisuhte 0,45. (Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje, saatekirje ja taulukon 10 päivitys 19.4.2006. 2006, liite 1.)

2.2.7 Lietesäiliön rakenteille suositeltavat rasitusluokkayhdistelmät

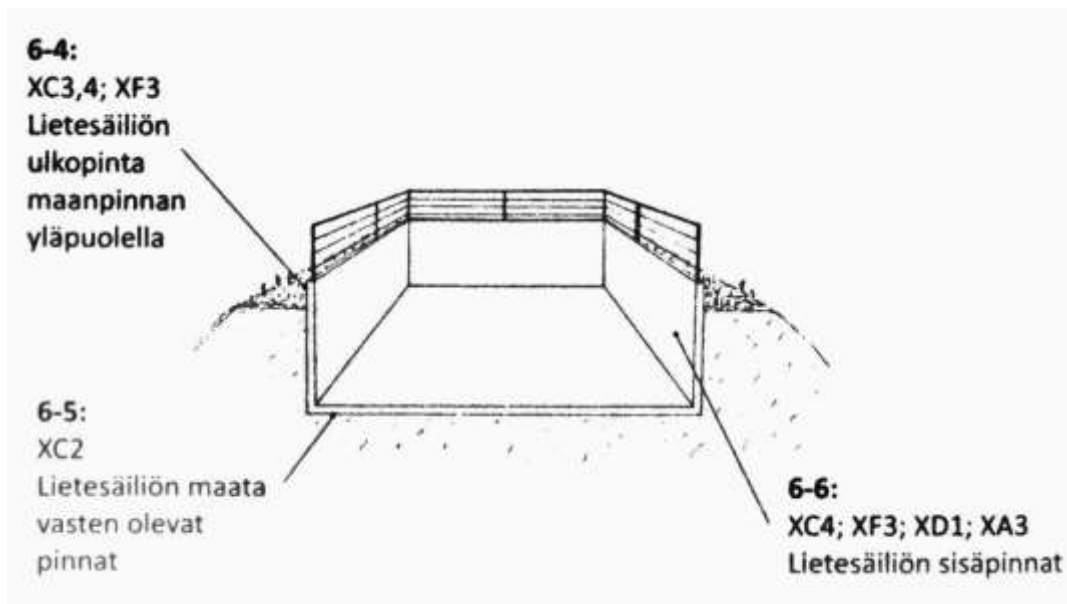
Teoksessa BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu -opas suunnittelijoille 2016 esitetään yleisimmille rakennus ja rakennetyypeille suositeltavat rasitusluokkayhdistelmät sekä niitä vastaavat betonin ominaisuudet ja betonipeitepaksuudet. Oppaassa BY 68 esitetyt tiedot ovat suosituksia eivätkä ole suunnittelijaa sitovia. Tässä oppaassa BY 68 on käsitelty myös maatalousrakennusten tyypillisimmät rakenteet ja kuvassa 8 voidaan nähdä muun muassa lietesäiliön seinärakenteen ja alapohjan pintarakenteiden rasitusluokkayhdistelmät. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 52, 66-67.)

Kuvan 8 rakenteista esitetään taulukossa 1 näiden rakenteiden eri osien suositeltavat rasitusluokat, suunnittelukäyttöiät, käytettävät raudoitustyyppit sekä erikseen paikallavalurakenteen ja elementtirakenteen lujuusluokka, betonipeitteen nimellisarvot sekä vesi-sementtisuhte. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 52, 66-67.)

Kuvan 8 mukaan lietesäiliön seinärakenteen sisäpinta (6-6) on kriittisin osa rasitusluokkien suhteen ja taulukon 1 mukaan suositellaan tälle elementtirakenteen betonille seuraavia vaatimuksia:

- 50 vuoden suunnittelukäyttöikä
- raudoitustyyppinä betoniteräsraudoite
- lujuusluokkavaatimus C50/60
- rasitusluokkavaatimukset XC4; XF3; XD1; XA3
- betonipeitteen nimellisarvo 25 mm (sallittu mittapoikkeama 10mm)
- vesi-sementti-suhde 0,40.

Lisäksi rasitusluokan XA3 edellytyksenä suunnittelija valitsee käytettävän si-deaineen kemiallisen rasituksen mukaan. Rakenteessa on suosituksena käyttää mahdollisimman tiivistä betonia sekä lentotuhkaa ja silikaa. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 66-67.)



KUVA 8. Maatalousrakennusten tyypillisimmät rakenteet karjarakennuksessa ja lietesäiliössä (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 66).

TAULUKKO 1. Maatalousrakennukset (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 6)

Betonipeitteen sallittu mittapoikkeama on 10 mm. Mikäli käytetään poikkeavaa arvoa, myös betonipeitteen nimellisarvoa on korjattava. Paikallavalurakenteet on oletettu valmistettavaksi CEM II/B-tyyppin sementillä (esim. FS Plus-sementti) ja elementtirakenteet CEM II/A-tyyppin sementillä (esim. FS Rapid-sementti).

| Rakenneosa Rasitusluokkayhdistelmä | Suunnittelukäyttöikä | Raudoitustyyppi | Paikallavalurakenne | | | Elementtirakenne | | |
|--|----------------------|-----------------|---------------------|---|--------------------|------------------|---|--------------------|
| | | | Lujuusluokka | Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama on 10 mm) | Vesi-sementtisuhte | Lujuusluokka | Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama on 10 mm) | Vesi-sementtisuhte |
| 6-3; 6-5 XC2 | 50 v | br | C25/30 | 35 | - | C25/30 | 35 | - |
| 6-4 XC3,4; XF3 | 50 v | br | C35/45 | 30 | - | C35/45 | 30 | - |
| 6-6 XC4; XF3; XD1; XA3 ¹⁾ | 50 v | br | C50/60 | 25 | 0,40 | C50/60 | 25 | 0,40 |

1) Rasitusluokat XA2 ja XA3 edellyttävät, että suunnittelija valitsee käytettävän sideaineen vallitsevan kemiallisen rasituksen mukaan. Maatalousrakenteissa suositellaan käytettävän mahdollisimman tiivistä betonia ja siten lentotuhkan tai silikan käyttöä suositellaan.

BY 68:n aikaisemmassa versiossa BY 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007 -oppaassa suositellaan lietesäiliöelementtien sisäpinnan rasitusten mukaan betonille seuraavat vaatimukset:

- suunnittelukäyttöikä 50 vuotta
- betoniteräsraudoite
- rasitusluokat XC4; XD1; XF3; XA3
- lujuusluokka K60-1
- betonipeitteen nimellisarvo 35 mm
- vesi-sementti-suhde 0,40 (BY 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007. 2007, 68-69).

2.3 Muun lainsäädännön vaatimukset lietesäiliöelementille

2.3.1 Rakennuslainsäädäntö

Rakennuslainsäädännön kannalta varmennustodistusta voidaan käyttää lietesäiliöelementin kansallisena vapaaehtoisena tuotehyväksyntämenettelyn osoituksena viranomais määräysten täyttymiseen. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 79, 103-105.)

Betonirakenteiden suunnittelun kannalta kantavien rakenteiden voidaan katsoa täyttävän rakennuslainsäädännön ja -asetusten edellyttämät varmuustaso- ja säilyvyysvaatimukset, kun rakenne on suunniteltu eurokoodien SFS-EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet, SFS-EN 1991 Rakenteiden kuormat sekä SFS-EN 1992 ja niitä koskevien kansallisten liitteiden mukaan. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 7.)

Betonielementtien valmistuksessa noudatetaan harmonisoitujen tuotestandardien lisäksi aina standardeja SFS-EN 13369 Betonivalmisteiden yleiset säännöt sekä kansallisia liitteitä SFS 7016 ja SFS 7026. Standardissa SFS-EN 206 ja sitä täydentävässä standardissa SFS 7022 esitetään ohjeita betonin määrittelyyn, ominaisuuksiin, valmistukseen ja vaatimustenmukaisuuden osalta. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 7; Ympäristöministeriö, linkit Rakentaminen ja Maankäyttö-> Rakentamismääräyskokoelma-> Rakenteiden lujuus ja vakaus->Betonirakenteet, ohjeet 2019. 2019, 4-8.)

Betonirakenteiden rakennesuunnitelmissa tulisi suunnittelutehtävään soveltu- vassa laajuudessa esittää BY 65 kohdan 1.6.1 mukaan rakenteesta sekä beto- nista vähintäänkin seuraavat tiedot, joista käyttöikäsuunnitteluun liittyvät asiat on lihavoitu:

- rakenteesta
 - seuraamusluokka
 - **rasitusluokat ja rakenteen suunniteltu käyttöikä**
 - **betonipeitteen nimellisarvo ja sen sallittu mittapoikkeama**

- suunnittelussa käytetyt ominaiskuormat ja kuormaluokka sekä käytetyt mitoitusohjeet tarvittaessa eriteltyinä
- työsaumojen tarkka sijainti ja toteutustapa toteutusluokassa 3
- täydelliset tiedot rakenteen muodoista ja mitoista sekä kiinnikkeiden ja varausten paikoista
- rakenteen palonkestävyysluokat
- toteutusluokka
- toleranssiluokka
- betonista
 - **lujuusluokka**
 - laadunarvosteluikä, jos muu kuin 28 vrk
 - **erityisvaatimukset sideaineelle**
 - **betonin koostumuksen liittyvät BY65 Betoninormit 2016 taulukoiden 3.8 ja 3.9 arvoista poikkeavat vaatimukset**
 - **kiviaineksen ylänimellisraja (eli maksimiraekoko)**
 - **vesisementtisuhteen arvo rasisluokilla XD ja XS**
 - sementin erikoistyyppit tai luokat
 - **vedenpitävyys**
- raudoituksesta
 - raudoitusterästen ja raudoitteiden tunnistetiedot
 - raudoitustankojen lukumäärä ja jako, halkaisija, pituus, taivutusmuoto ja taivutussäteet, sijoitus, jatkokset ja limityspituudet
 - jänneraudoitteista punosten/tankojen lukumäärä, halkaisija, pituus, muoto- ja kaarevuussäteet, sijainti, tuenta ja jatkokset sekä lisäksi jännetyyppi, jännemenetelmä, mahdolliset ankkurikappaleet sekä injektointi ja apuputkien paikat
 - tiedot kiinnikkeiden ja varausten paikoista
 - toteutusluokan 3 rakenteiden piirustuksissa myös raudoituksen tuenta ja siihen liittyvä työraudoitus.

Tehdasvalmisteisten rakenneosien osalta esitetään valmistus ja asennuspiirustuksissa

- **valmisosista rakennustuotteen kelpoisuuden ja suunnittelun arviointia varten tarvittavat tiedot**
- betonielementin paino ja painopisteen paikka
- vähimmäistukipinnat
- nostolenkit ja niiden sijoitus
- käsittely-, tuenta- ja nosto-ohjeet tarvittaessa (BY65 3.7.5.2)
- **valmisosista käytetty CE-merkintämenetelmä (M1, M2, M3a tai M3b).**
(BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 10-11; BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 11-12.)

Ympäristöministeriön asetuksessa 477/2014 kantavista rakenteista 8§ pykälän mukaan suunnittelijan on määriteltävä rakenteen suunniteltu käyttöikä ja ympäristöolosuhteita kuvaavat rasitusluokat. Kantavien rakenteiden suunnitteluohjeen mukaan tavanomaisten rakennusten rakenteen suunniteltuna käyttöikä voidaan pitää vähintään 50:tä vuotta sekä myös tilapäisiksi katsottavat rakenteet ja niiden osat suunnitellaan vähintään 50 vuoden käyttöiälle. (Ympäristöministeriö, linkit Rakentaminen ja Maankäyttö-> Rakentamismääräyskokoelma-> Rakenteiden lujuus ja vakaus->Rakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, säännökset ja ohjeet 2016. 2016, 12.)

2.3.2 Maa- ja metsätalousministeriön asetukset

Maa- ja metsätalousministeriöllä (MMM) on ollut vuodesta 2002 lähtien tuettavassa rakentamisessa normaalin rakennuslainsäädännön lisäksi omat rakentamismääräyksensä ja ohjeensa, jotka ovat sisältäneet sitovia määräyksiä sekä suosituksia. MMM:n Ennakkohyväksyntä, yleiset sovellutusohjeet asetuksen F3 (7.1.2002 - MMM-RMO F3 Ennakkohyväksyntä, yleiset sovellutusohjeet 100/01) mukaan vuodesta 2002 lähtien lietesäiliöelementtien valmistajat ovat voineet hakea tuotteilleen vapaaehtoisen ennakkohyväksynnän Maa- ja metsätalousministeriöltä. Lisäksi MMM:n Kotieläinrakennusten ympäristöhuollon asetuksessa

C4 (7.1.2002 - MMM-RMO C4 Kotieläinrakennusten ympäristöhuolto 100/01) on annettu seuraavia sitovia määräyksiä lietesäiliön rakenteisiin liittyen:

- Lietelantavaraston tulee olla vesitiivis ja rakenteissa käytetyn betonin tulee olla vähintään säänkestävää, luokka K30-2 sekä laskettu halkeamaleveys ei saa ylittää 0,3:a mm.
- Yli 500 m³ liete- ja virtsasäiliöiden mitoituksessa sisäpuolisille neste-kuormille ei saa ottaa huomioon ympäröivän maan painetta.
- Kuorielementit, jotka ovat alle 120 mm, voidaan hyväksyä vain erilliselvityksen perusteella.
- Raudoituksen suojabetonipeitteen tulee olla lantaa ja virtsaa vasten 30 mm. (L 07.01.2002/ 100/01, liite 12 MMM-RMO C4 Kotieläinrakennusten ympäristöhuolto, 6-7; L 07.01.2002/ 100/01, liite 14 MMM-RMO F3 Ennakkohyväksyntä, yleiset sovellutusohjeet, 1-4.)

Uusi MMM:n asetus 266/2019 tuettavan rakentamisen ympäristönsuojeluvaatimuksista astui voimaan maaliskuussa 2019, eikä tässä uudessa asetuksessa ole enää vaatimuksia liotelantavarastojen betonin laadulle tai rakenteille. Uudessa MMM:n ympäristönsuojeluvaatimuksessa vaaditaan noudattamaan kotieläintalouden ympäristönsuojelua määräävää ympäristönsuojelulakia 527/ 2014 sekä nitraattiasetusta 1250/ 2014. (L 25.2.2019/ 266.)

Lietelantalan ja virtsasäiliön on oltava rakenteeltaan vesitiiviitä. Vesitiiviillä rakenteella tarkoitetaan tässä rakennetta, joka estää lannan ja virtsan tai muiden nesteiden johtumisen maaperään sekä pinta- ja pohjavesiin. Teräsbetonirakenteinen liotelantala on mitoitettava sisäpuolisille kuormituksille ilman ulkopuolisen maan vastapainetta, ja liotelantala on aidattava ihmisten ja eläinten putoamisriskin varalta. Samassa asetuksessa veloitetaan kuivalantalan rakenteilta, että niiden on kestettävä lantakaasuja, kosteuden aiheuttamia rasituksia sekä rakenteisiin kohdistuvat lumi- ja tuulikuormat. MMM:n rakentamissäädösten nettisivuilla kerrotaan, että vanha kotieläintalouden ympäristöhuolto C4 ei ole enää voimassa, mutta se on edelleen ohjeellinen. (L 25.2.2019/ 266.)

2.3.3 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristölainsäädännön näkökulmasta ympäristönsuojelulain (527/2014) tarkoituksena on ehkäistä ympäristön pilaantumista, torjua ympäristövahinkoja, turvata terveellinen ja viihtyisä ympäristö, tukea kestävää kehitystä ja torjua ilmastomuutosta, ehkäistä jätteistä aiheutuvia haitallisia vaikutuksia sekä tehostaa ympäristöä pilaavan toiminnan vaikutusten arviointia ottaen sen huomioon kokonaisuutena. Ympäristönsuojelulaissa ei oteta kantaa esim. lantaloiden rakenteellisiin vaatimuksiin. (L 27.6.2014/ 527.)

2.3.4 Nitraattiasetus

Nitraattiasetuksen 1250/2014 mukaan lietalantavarastojen rakenteiden tulee olla vesitiiviitä ja ne tulee kattaa kiinteällä katteella tai kelluvalla katteella ammoniakkipäästöjen ja hajuhaittojen vähentämiseksi. Nitraattiasetuksen mukaan vesitiivis rakenne on sellainen, joka estää lannan, virtsan ja muiden nesteiden joutumisen maaperään sekä pinta- ja pohjavesiin. (L 18.12.2014/ 1250.)

2.4 Lietelanta ja lietesäiliöelementin tulevaisuuden haasteet

Teräsbetonirakenteisen lietesäiliön rakenteiden suunnittelun ja betonin valinnan kannalta on ensiarvoisen tärkeää tiedostaa, millaista ainetta lietesäiliössä säilötävä liotelanta on kemialliselta koostumukseltaan ja millaisia kemiallisia vaikutuksia sen ainesosilla on betonirakenteeseen. Siksi lähdettiinkin aluksi selvittämään, millaista ainetta liotelanta on kemialliselta koostumukseltaan. MTT:n Ruukin (nykyään LUKE) erikoisasiantuntijan Erkki Joki-Tokolan mukaan 2000-luvun alussa on julkaistu englanninkielinen kolmiosainen eurooppalaisten tutkijoiden artikkelisarja *Durability of Building Materials and Components in the Agricultural Environment: Part I - Part III*, jonka aiheena ovat rakennusmateriaalien ja osien kestävyys maatalousympäristössä (Joki-Tokola 2015).

Tämän artikkelisarjan osassa Part I käydään läpi mm. maatalouden aggressiivisen ympäristön vaikutuksia lietesäiliöiden ja lantaloiden rakenteisiin sekä esitetään liotelannan, virtsan sekä kuivalannan kemialliset koostumukset

taulukoituna. Taulukosta 2 voidaan nähdä nautakarjan, lihasikojen sekä muni-
vien kanojen lietelannan kemiallinen koostumus. Taulukosta 2 voidaan havaita,
että naudan lietelanta sisältää muun muassa sulfaattia, ammoniumtyyppiä, klooria,
etikkahappoa sekä propionihappoa. (De Belie - Richardson - Braam - Svennerstedt -
Lenehan- Sonck 2000, 228-229.)

Samaisen artikkelin mukaan mm. lietelannan sekoituksen yhteydessä nousevat
lietepinnan yläpuolella aggressiivisten lantakaasujen pitoisuudet korkeiksi (rikkivety,
metaani, hiilidioksidi, ammoniakki) sekä kattamattomissa että katetuissa
lietesäiliöissä. Lisäksi katetuissa lietesäiliöissä lietteestä muodostuu anaerobi-
sesti rikkivetyä ja kosteilla säiliöin seinäpinnoilla aerobinen bakteeritoiminta ha-
pettaa tämän rikkivedyn rikkihapoksi, jolloin betoni syöpyy rikkihapon sekä sul-
faatin vaikutuksesta. (De Belie - Richardson - Braam - Svennerstedt - Lenehan-
Sonck 2000, 228-229.)

*TAULUKKO 2. Lietelannan kemiallinen koostumus nautakarjalla, lihasioilla ja
munivilla kanoilla (De Belie - Richardson - Braam - Svennerstedt - Lenehan-
Sonck 2000, 228)*

Chemical composition of slurry (Hoeksma, 1988)

| Chemical component | Slurry composition, g/l | | |
|--|-------------------------|----------------|-------------|
| | Cattle | Fattening pigs | Laying hens |
| Nitrogen (N-Kj*) | 3.8-7.6 | 4.3-11.5 | 5.9-15.7 |
| Ammonium (NH ₄ -N) | 0.2-4.4 | 1.3-5.5 | 2.6-9.2 |
| Phosphate (P ₂ O ₅) | 1.3-3.1 | 3.6-6.6 | 0.3-12.0 |
| K ₂ O | 3.3-11.0 | 2.0-6.1 | 0.3-11.5 |
| CaO | 1.6-3.3 | 2.4-4.4 | 0.9-19.6 |
| MgO | 0.8-1.6 | 0.6-2.0 | 0.1-2.4 |
| Cl ⁻ | 1.8-4.2 | 0.6-3.3 | 0.1-3.2 |
| SO ₄ ²⁻ | 2.0-3.0 | 1.0-2.0 | 2.0-4.0 |
| Acetic acid | 5.5-7.0 | 3.2-11.0 | 11.0-22.0 |
| Propionic acid | 1.6-2.0 | 0.7-3.0 | 4.0-7.5 |
| pH | 7.0-8.8 | 7.3-8.6 | 6.7-8.3 |
| Dry matter, % m/m | 7-9 | 4-11 | 11-18 |

* According to the Kjeldahl method.

Suomen ammoniakkipäästöistä tulee maataloudesta yli 90 %. Vuonna 2012 on
tehty tarkennuksia päästökattodirektiiviin, joka tarkoittaa, että vuodesta 2020
eteenpäin Suomen ammoniakkipäästöt saavat olla korkeintaan noin 29 000

tonnia vuodessa. Vuonna 2015 yksin maatalouden aiheuttamat ammoniakkipäästöt olivat noin 29 000 tonnia. (Yrjölä 2018.)

Maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentämiseksi voidaankin tulevaisuudessa ottaa käyttöön uusina teknologioina Suomessakin mahdollisesti lannan happokäsittely eläinsuojassa, varastossa tai pellolla. Kun happokäsittely tehdään varastossa eli lietesäiliössä, lietelantaan lisätään joko rikkihappoa tai alumiinisulfaattia. Näin voidaan ammoniakkipäästöjä vähentää jopa 50-98 %. Rikkihappo on yleensä >95 % ja sitä käytetään 1 - 4 l lietetonnia kohden, jos tavoitteena on saada lietteen pH 7 - 9 laskemaan pH:ksi 5,7 - 6. Jos tavoitellaan metaanipäästöjen laskua, käsitellään lietelanta maitohapolla, suolahapolla tai typpihapolla. (Salo - Grönroos - Luostarinen - Kapuinen - Manninen - Rankinen - Myllyviita 2015, 7-9.)

Baltic Slurry Acidification -hankkeessa vuosina 2016-2019 on tutkittu, että rikkihappolisäys lietteeseen ja pH:n lasku 7:stä 5,5:een vaikuttaa betoniin kemiallisena korroosiona. Tämän hankkeen yhteydessä aiheesta ovat tehneet tutkimuksia puolalainen sekä ruotsalainen tutkimusryhmä. Puolaisten tutkimustulokset osoittivat, että happamoitunut liete aiheutti muutoksia betonin lujuuteen sekä heikensi betonirakennetta. Ruotsalaisten tutkimustulokset osoittivat, että happamoitunut liete oli kemiallisesti aggressiivisempi sementtipastalle analysoiduissa betoniseoksissa. Hankkeen mukaan saaduista tuloksista voidaan päätellä, että happamoitunut liete vaikuttaa negatiivisesti betoniin, jota käytetään lietekanavien ja lietesäiliöiden rakentamiseen. Siksi olisikin tärkeää jatkaa tutkimuksia vielä tulevaisuudessakin. (Rodhe 2016, 4-9.)

3 BETONIRAKENTEIDEN KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELU JA RASITUSLUOKKIEN VALINTA

Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelua on Suomessa vaadittu vuodesta 2005 lähtien. Vaatimuksen lähtökohtana on ollut eurooppalaisen betonistandardin SFS-EN 206-1 käyttöönotto, jolloin samalla täsmennettiin myös betonin säilyvyyteen liittyviä vaatimuksia. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelun menetelmät esitetään Betoninormeissa BY 65 ja käyttöikään liittyviä kansallisia vaatimuksia on päivitetty viimeksi betonistandardiin SFS 7022:2019. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 7-8; SFS 7022:2019. 2019, 1.)

Käyttöikäsuunnittelu näkyy suunnitelmissa piirustuksiin merkittävänä suunnittelukäyttöikänä, joka kertoo, kuinka kauan rakenteen tulee kestää kyseisessä ympäristössä ilman rakenteellisia korjauksia. Betonirakenteiden rasitusluokat tai rasitusluokkayhdistelmät kertovat, millaiseen ympäristöön rakenne joutuu, ja nämäkin tulee merkitä piirustuksiin. Käyttöikäsuunnittelu on rakenteiden kestävyys-suunnittelua säilyvyyden osalta ja siksi käyttöikäsuunnittelun edellytyksenä onkin betonirakenteiden vauriomekanismien sekä näiden aikariippuvuuksien tunteminen, kuten esimerkiksi betonin karbonatisoituminen, klorideista johtuva terästen korroosio, pakkasrapautuminen tai kemialliset rasitukset. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 7-8.)

3.1 Käyttöikäsuunnittelu

Käyttöikäsuunnittelussa rakennuksen tilaaja ensin valitsee rakennuksen tavoiteikäkäyttöä mm. rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. *Tavoiteikäkäyttöä* aikana rakennuksen on täytettävä sille asetetut toiminnalliset ja säilyvyytavoitteet riittävällä tasolla noudattaen tavallisia huolto- ja peruskorjausvälejä. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 8; BY 47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2019. 2019, 26.)

Asetetun tavoitekäyttöiän perusteella suunnittelija määrittelee tärkeimmille rakennusosille ja koko rakennukselle suunnittelukäyttöiän. Suunnittelukäyttöiän lisäksi suunnittelija määrittelee rakenteiden rasitusluokat, jotka kuvaavat, millaisiin ympäristöolosuhteisiin kukin rakenne joutuu käyttöikänsä aikana. *Suunnittelukäyttöikä* on ajanjakso, jonka ajan betonirakenteen ominaisuudet valitulla todennäköisyydellä säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisesti kunnossa eli huolletaan. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 8-10, 32.)

Käyttöikäsuunnittelussa suunnittelukäyttöiän, rasitusluokan, lujuusluokan ja betonipeitteen valitsee suunnittelija. Betonin valmistaja valitsee pääsääntöisesti betonin ominaisuudet eli betonin ilmamäärän, pakkasenkestävyyden testausmenetelmän, vesi-sementtisuhteen sekä sementtityypin. Tarvittaessa kohteen vaativuuden mukaan (X0/XC, XD/XS, XF, XA) betonin valmistaja ja suunnittelija yhdessä valitsevat kiviaineksen maksimiraekoon, sementtityypin ja vesise-mentti-suhteen. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 8-10, 32.)

Käyttöikälaskelmiin sisältyy runsaasti hajontaa. Myös betonin ominaisuuksissa ja erityisesti ympäristöolosuhteissa esiintyy runsaasti hajontaa. Siksi käyttöikäsuunnittelussa kannattaa tyytyä tarkkuustasoihin 50,100 tai 200 vuotta ja vain erikoistapauksissa 25 vuoden käyttöiän käytön edellytyksenä voivat olla poikkeuksellisen ankarat rasitukset sekä rakenteen helppo uusiminen tai korjaaminen. Betonirakenteiden suunnittelukäyttöikään liittyvät vaatimukset voidaan selvittää kaikissa rasitusluokissa joko yksinkertaisella taulukkomitoituksella tai laskennallisella mitoituksella, jonka avulla voidaan mitoittaa tavallisimmat rasitusluokkayhdistelmät. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 9-11.)

Rakenteiden suunnitteluperusteet eurokoodin SFS-EN 1990:2002 mukaan suunnittelukäyttöikä on määritettävä ja taulukossa 3 maatalousrakennusten ja vastaavien viitteellinen suunnittelukäyttöikä on 15...30 vuotta. Talonrakennuksilla ja muilla tavanomaisilla rakenteilla viitteellinen suunnittelukäyttöikä on 50

vuotta sekä monumentaalisilla rakennuksilla, silloilla sekä maa- ja vesirakennuskohteilla 100 vuotta. (SFS-EN 1990:2002. 2002, 50.)

TAULUKKO 3. Taulukossa esitetään viitteellisiä käyttöiän määritelmiä (SFS-EN 1990:2002. 2002, 50)

| Suunnitellun käyttöiän luokka | Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia) | Esimerkkejä |
|-------------------------------|--|---|
| 1 | 10 | Tilapäisrakenteet ⁽¹⁾ |
| 2 | 10...25 | Vaihdettavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit |
| 3 | 15...30 | Maatalous- ja vastaavat rakennukset |
| 4 | 50 | Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet |
| 5 | 100 | Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet |

⁽¹⁾ Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.

3.2 Betonirakenteiden rasitusluokat

Betonirakenteiden rasitusluokat kuvaavat, millaisiin ympäristöolosuhteisiin eli millaisiin kemiallisiin tai fysikaalisiin olosuhteisiin betonirakenne käyttökänsä aikana joutuu. Siksi betonirakenteelle rasitusluokat valitaan ympäristöolosuhteiden kuvausten mukaisesti mahdollisimman hyvin vastaamaan ympäristön todellisia rasituksia ja olosuhteita. Tarpeettoman ankaria rasitusluokkia tulisi välttää, sillä nämä voivat aiheuttaa betonin muiden ominaisuuksien heikentymistä ja näin voivat vaikuttaa rakentamisen laatuun heikentävästi. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 99,137; BY 47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2019. 2019, 29.)

Betonirakenteiden rasitusluokkien valintaa tehtäessä kukin rasitusluokka käsitellään erikseen, koska luokitus on rakennettu vauriomekanismeittain. Tästä syystä käytännössä todellisissa rasitusolosuhteissa rakenteeseen saatetaankin tarvitakin kahta, kolmea tai jopa neljää rasitusluokkaa, jolloin päädytäänkin käyttämään rasitusluokkien yhdistelmiä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 99,137; BY 47 Betonirakentamisen laatuohjeet 2019. 2019, 29.)

Taulukossa 4 on esitetty Eurokoodi 2:n mukaisesti (SFS-EN1992-1-1+A1+AC: 2015) ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat jaoteltuna standardin EN 206-1 mukaisesti:

- ei korroosion tai syöpymisen riskiä (X0)
- karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio (XC)
- kloridien aiheuttama korroosio (XD)
- merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio (XS)
- jäätymis-sulamisrasitus ilman jäänsulatusaineita tai jäänsulatusaineilla (XF)
- kemialliset rasitukset (XA) (SFS-EN 1992-1-1+ A1+AC:2015. 2015, 47-49).

TAULUKKO 4. Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat standardin EN 206-1 mukaisesti (SFS-EN 1992-1-1+ A1+AC:2015. 2015, 48)

| Luokan merkintä | Ympäristön kuvaus | Opastavia esimerkkejä paikoista, joissa rasitusluokkia voi esiintyä |
|--|---|---|
| 1 Ei korroosion tai rasituksen riskiä | | |
| X0 | Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni: Kaikkiin ympäristöihin lukuun ottamatta niitä, joissa esiintyy jäädytys-sulatus- tai kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu tai metallia sisältävä betoni: hyvin kuiva | Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on hyvin alhainen |
| 2 Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korroosio | | |
| XC1 | Kuiva tai pysyvästi märkä | Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on alhainen Pysyvästi vedenalainen betoni |
| XC2 | Märkä, harvoin kuiva | Betonipinnat, jotka ovat pitkään kosketuksissa veden kanssa Usein perustukset |
| XC3 | Kohtalaisen kostea | Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on kohtalainen tai suuri Ulkona oleva sateelta suojattu betoni |
| XC4 | Märkä ja kuiva vaihtelevat | Betonipinnat, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasitusluokkaan XC2 |
| 3 Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korroosio | | |
| XD1 | Kohtalaisen kostea | Betonipinnat, jotka ovat alttiina ilman sisältämille klorideille |
| XD2 | Märkä, harvoin kuiva | Uima-altaat Betoni on alttiina kloridipitoisille teollisuusvesille |
| XD3 | Märkä ja kuiva vaihtelevat | Sillan osat, jotka ovat alttiina kloridipitoisille roiskeille Jalkakäytävät Paikoitustalojen laatat |
| 4 Meriveden kloridien aiheuttama korroosio | | |
| XS1 | Kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksissa meriveteen | Lähellä rannikkoa tai rannikolla olevat rakenteet |
| XS2 | Pysyvästi veden alla | Merirakenteiden osat |
| XS3 | Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä | Merirakenteiden osat |

| 5 Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä | | |
|---|--|---|
| XF1 | Kohtalainen vedellä kylästyminen ilman jäänsulatusaineita | Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat |
| XF2 | Kohtalainen vedellä kylästyminen ja jäänsulatusaineet | Tierakenteiden pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina jäätymiselle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille |
| XF3 | Suuri vedellä kylästyminen ilman jäänsulatusaineita | Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat |
| XF4 | Suuri vedellä kylästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi | Jäänsulatusaineille alttiit teiden ja siltojen kannet Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätymiselle alttiit betonipinnat Roiskeyöhykkeellä olevat jäätymiselle alttiit merirakenteet |
| 6 Kemiallinen rasitus | | |
| XA1 | Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö | Luonnon maaperä ja pohjavesi |
| XA2 | Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö | Luonnon maaperä ja pohjavesi |
| XA3 | Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö | Luonnon maaperä ja pohjavesi |

3.2.1 Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä (X0)

Tähän rasitusluokkaan kuuluvia tyypillisimpiä rakenteita ovat raudoittamattomat tai raudoitetut rakenteet hyvin kuvissa ja lämmitetyissä sisätiloissa ja tiloissa, joissa ilmankosteus on hyvin alhainen ja jossa rakenne ei ole pakkasrasitukselle alttiina. Tähän rasitusluokkaan kuuluvilla betoneilla ei siis ole vaurioitumismekanismia, jolloin käyttöikäsuunnitteluakaan ei voida tehdä, ja siksi rakenteen käyttöäksi voidaan valita 50, 100 tai 200 vuotta. Betonilla on minimilujuusluokkavaatimuksena C12/15 ja vesisementtisuhteelle ei ole asetettu vaatimusta. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 13.)

3.2.2 Karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva teräskorroosio (XC)

Raudoituksen korroosion eli ruostumisen aiheuttaa sähkökemiallinen ilmiö, jossa raudan yhdisteet pyrkivät muuttumaan takasin luonnossa esiintyviksi yhdisteiksi. Betoni suojaa fysikaalisesti raudoitusta hidastaen korroosiota edistävien aineiden, esim. veden ja hapen, tunkeutumisen terästen läheisyyteen. Näin betonin fysikaalisen suojan tehokkuus riippuukin betonipeitteen tiiviyydestä,

paksuudesta sekä betonipinnan halkeilusta. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 108.)

Betonin luontainen emäksisyys ja raudoituksen kyky muodostaa pinnalleen tiivis oksidikalvo emäksisessä ympäristössä suojaavat betonia kemiallisesti. Pääasiallisesti sementin hydrataatiossa syntyneestä kalsiumhydroksidista Ca(OH)_2 muodostuu betonin emäksisyys. Sementin sisältämät alkalit nostavat betonin huokosveden pH-arvoa. Portlandsementistä valmistetun betonin huokosveden pH-arvo on tavallisesti 13...14. Kun betonin emäksisyys laskee pH 9:n alapuolelle, betonin kemiallinen suojavaikutus häviää ja raudoitus menettää passiivisuutensa. Kun raudoitusta ympäröivässä betonissa tapahtuu muutoksia, jotka poistavat betonin fysikaalisen suojan (rapautuminen tai halkeilu) tai kemiallisen suojan (karbonatisoituminen), voi teräskorroosio alkaa. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 108.)

Karbonatisoituminen johtuu betonin emäksyyden eli pH:n laskusta. Karbonatisoituminen tapahtuu ilman hiilidioksidin CO_2 reagoidessa betonin kalsiumhydroksidin Ca(OH)_2 ja kalsiumsilikaattihydrattigeelin kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Karbonatisoituminen tapahtuu ilmatilassa kaikilla betonipinnoilla, minkä seurauksena betoni neutralisoituu. Kun tämä neutraloitunut pintakerros etenee raudoituksen läheisyyteen, alkaa teräskorroosio. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 111.)

Kun betonissa käytetyn sementin määrä on korkea ja hyvällä jälkihoidolla on saavutettu hyvä hydrataatioaste, sitä parempi on betonin kyky vastustaa karbonatisoitumista ja sitä enemmän kalsiumhydroksidia syntyy sementin hydratoituessa. Betonin pitkäaikaiskestävyyden varmistamiseksi onkin betoninormeihin ja ohjeisiin sisällytetty minimisementtivaatimus, ettei betonin karbonatisoituminen nopeutuisi liikaa, kun sideaineena käytetään seosaineita. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 113-114.)

3.2.3 Kloridien aiheuttama teräskorroosio (XD/XS)

Raudoituksen ruostuminen voi tapahtua karbonatisoitumattomassakin betonissa, ja tämän ilmiön voivat aiheuttaa kloridit. Betoniin tunkeutuvia klorideja ovat yleisimmin jäänsulatusaineiden aiheuttamat rasitukset luokassa XD ja meriveden aiheuttamat rasitukset luokassa XS. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 114.)

Yleensä betonin kloridipitoisuus pienenee tasaisesti betonin pinnalta syvemmälle mentäessä, ja siksi on oleellista tietää, mikä on kriittinen kloridipitoisuus eli kloridipitoisuuden kynnyсарvo, jota suurempi kloridipitoisuus rikkoo passiivikalvon ja käynnistää raudoituksen korroosion. Betonissa kriittisen kynnyсарvon ylittävä noin 0,03-0,07p-% kloridipitoisuus betonin painosta voi käynnistää betoniraudoitteen korroosion ilman betonin karbonatisoitumista. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 114-115.)

Kloridikorroosiota voidaan estää parantamalla betonirakenteen tiiviyttä mm. alhaisella vesisementtisuhteella, silikajauheella, notkistavalla lisäaineella sekä estämällä betonirakenteen halkeilua. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 114-115.)

3.2.4 Jäätymis-sulamisrasitus (XF)

Betoni vaurioituu pakkasrasituksessa, ja pakkasrapautumisen aiheuttava betoniin muodostuva ylipaine (kapillaarihuokosissa jäätyvä vesi) saa aikaan sisäisiä säröjä ja halkeamia. Pakkas-suolarapautumisessa voivat olla myös kemialliset tekijät mukana. Suomen olosuhteissa merkittävimpiä rapautumisilmiöitä ovat pakkasrapautuminen eli pakkasrasitukset ilman suolaa XF1 ja XF3 sekä pakkas-suolarapautuminen eli pakkasrasitukset suolan kanssa XF2 ja XF4. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 20.)

Yksi tärkeimmistä betonin pakkasenkestävyyttä säätelevistä tekijöistä on betonin huokoisuus, joten parhaiten betonin pakkasenkestävyyttä voidaan parantaa betonin huokosrakennetta säätelemällä. Geelihuokoset ovat erittäin pieniä (1-5

nm eli 0,000001- 0,000005 mm) ja aina veden täyttämiä, mutta ne ovat pakkasenkestävyyden kannalta ongelmattomia, koska niiden vesi ei huokoskoon pieneneminen vuoksi jäädy normaaleissa olosuhteissa. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 20.)

Kapillaarihuokosissa vesi jäätyy välittömästi 0°:n alapuolella. Kun tavoitellaan hyvää betonin pakkasenkestävyyttä, tulee käyttää mahdollisimman pientä vesi-sementtisuhdetta, jotta kapillaarihuokoisuus jää mahdollisimman alhaiseksi, sekä lisäksi hyvää jälkihoitoa, jotta hydrataatioaste olisi mahdollisimman korkea. Tehokkain betonin pakkasenkestävyyden parannuskeino on käyttää betonin huokostamiseen lisäaineita, joilla saadaan syntymään sementtikiveen 0,01...0,5 mm:n suojahuokosia, jotka eivät täyty vedellä kapillaarisen imun vaikutuksesta. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 20-21.)

Jos näitä ilmahuokosia on riittävästi ja tarpeeksi lähellä toisiaan, veden jäätyessä kapillaarihuokosissa oleva vedenpaine purkautuu näihin täyttymättömiin ilmahuokosiin ja näin pakkasvaurioita ei pääse syntymään. Silloin, kun alhaisella vesi-sementtisuhteella on saatu kapillaarihuokoisuuden aiheuttaman jäätyvän veden määrä vähäiseksi, on myös alhaisempi suojahuokostuksen määrä riittävä. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 21.)

Kun käytetään korkealujuuksia betoneita eli lujuusluokka on vähintään C50/60, voidaan saavuttaa riittävä pakkas-suolakestävyys ja pakkasenkestävyys jo varsin pienellä suojahuokostuksella. Kuitenkaan korkealujuusbetonin pakkasenkestävyys ei ole itsestään selvää ja siksi on osoitettava kaikkien pakkasrasitetujen betonien pakkasenkestävyys. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 21.)

Betonin käyttöikä lasketaan ei suolarasitetuissa rakenteissa (XF1, XF3) pakkasenkestävyyden suhteen F-luvun avulla. Vastaavasti pakkas-suolarasitetut rakenteet (XF2, XF4) mitoitetaan P-lukulaskelman avulla. (Punkki 2017, 69.)

Vanha betonirakentamisessa käytetty termi säänkestävä betoni tarkoittaa nykykäytännössä pakkasrasitettuja rakenteita, joita ovat

- ulkona olevat rakenteet, joihin kohdistuu toistuvia sulamis- ja jäätymisrasituksia ilman jäänsulatusaineita (ei suolarasitusta) eli rasiitusluokat XF1/ XF3
- ulkona olevat rakenteet, joihin kohdistuu toistuvia sulamis- ja jäätymisrasituksia ja jotka ovat suolarasituksen vaikutukselle alttiita rakenteita eli rasiitusluokat XF2 /XF4 (Toivonen 2018, 8).

3.2.5 Kemiallinen rasitus (XA)

Kemiallisesti aggressiiviset yhdisteet vaurioittavat betonirakennetta liuottamalla sementin hydrataatiotuotteita, heikentävät ionivaihdon kautta hydrataatiotuotteiden ominaisuuksia tai paisuttavat hydrataatiotuotteita. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 23, 90-93.)

Taulukossa 4 esitettyjen olosuhteiden lisäksi on otettava huomioon myös tietyn-tyyppiset aggressiiviset ja välilliset rasitukset. Tällaisia ovat kemialliset rasitukset, kuten rakennuksen tai rakenteen käyttö nesteiden varastointiin, happoliuokset tai sulfaattisuolat, betonin sisältämät kloridit, alkali-kiviaines-reaktiot tai fyysikaaliset rasitukset, kuten lämpötilan muutos tai kulutus tai veden tunkeutuminen betoniin. (SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC.2015, 47).

Sulfaattien aiheuttamassa vauriossa sulfaatti-ionit (SO_4^{2-}) tunkeutuvat betoniin ja reagoivat sementin sisältämän trikalsiumaluminaatin (C_3A) ja sen hydrataatiotuotteiden kanssa muodostaen ettringiittiä, joka suuren tilavuutensa vuoksi paisuttaa kovettunutta betonia. Betonin vaurioitumiseen vaikuttavat ympäristön sulfaattien määrä, kosteuden pääsy betoniin sekä betonin tiiveys. Sulfaatinkestävän sideaineen käyttö on varmin tapa välttää vaurioilta eli tällöin sementin C_3A pitoisuus rajoitetaan 2...8 %:iin ja masuunikuonan osuus on vähintään 70 %. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 23; BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 133.)

Hapot liuottavat sementtiä sekä sementin hydrataatiossa syntyviä yhdisteitä, ja kiviaineksena käytetty kalkkikivi liukenee myös happoihin. Liuoksen happamuusasteen kertoo pH-luokitus, eli mitä alhaisempi on pH, sitä happamampaa ja aggressiivisempaa vesiliuos on. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 23.)

Hiilidioksidin aggressiivinen vesiliuos liuottaa sementin kalsiumyhdisteitä ja samalla tavalla toimii jätevesissä esiintyvä ammoniumioni (NH_4^+ tai ammoniumtyppi $\text{NH}_4^- \text{N}$). Myös magnesiumioni (Mg^+) muuttaa kalsiumyhdisteitä ionivaihdon kautta magnesiumyhdisteiksi saostuen betonin huokosiin magnesiumhydroksidina $\text{Mg}(\text{OH})_2$. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2019, 132-133.)

BY 68 oppaassa on esitetty hollantilaisen EN 206:n kansallisen liitteen taulukko (EN 206/NA-NL), jossa on luokiteltu suuri määrä erilaisia kemiallisia aineita aggressiivisuusluokkiin 1...5 (1= vaaraton, 2= lievästi aggressiivinen, 3= kohtalaisesti aggressiivinen, 4= voimakkaasti aggressiivinen ja 5= erittäin voimakkaasti aggressiivinen). Tämän liitteen taulukon mukaan lanta kuuluu aggressiivisuusluokkaan 4 ja virtsa luokkaan 3 ja näiden molempien reaktiotapana on betonin liuottaminen sekä ionivaihto. Lisäksi aggressiivisia aineita betonille ovat muun muassa erilaiset hapot, kuten typpihappo (5/liuottaa), suolahappo (5/liuottaa/teräskorroosio), rikkihappo (5/liuottaa/paisuttaa), maitohappo (3/liuottaa), muura-haishappo (3/liuottaa) sekä muun muassa säilörehu (5/liuottaa). (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu — Opas suunnittelijoille 2016. 2017, 23, 90-93.)

Suomessa esiintyy happamia sulfaattimaita erityisesti muinaisen Litorina-meren rantaviivan alapuolella. Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (PHS) on hapettomassa tilassa pohjaveden alapuolella, ja silloin nämä sulfidisedimentit eivät aiheuta haittaa ympäristölleen. Maankohoamisen ja ojituksen sekä maiden kuivatuksen myötä pohjavedenpinta laskee ja kyseiset kerrokset altistuvat hapettumiselle ja sitä kautta myös happamoitumiselle, jolloin niistä tulee todellisia happamia sulfaattimaita (THS). (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu — Opas suunnittelijoille 2016. 2017, 24-25.)

Sulfidikerrosten hapettuminen sulfideiksi aiheuttaa pH:n laskun arvosta 6...7 alle 4,5:een jopa pH 3,5:een, ja samalla hapettuminen nostaa ympäristön veden sulfaattipitoisuutta, mikä laskee veden pH-arvoa. Sulfaattimaissa rikki esiintyy rautasulfideina, joista muodostuu hapettumisen seurauksena rikkihappoa, jolloin hapettumisen seurauksena sulfidisedimentin väri muuttuu mustasta-tumman-harmaasta rusehtavaksi tai vaaleamman harmaaksi. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu — Opas suunnittelijoille 2016. 2017, 25.)

Geologian tutkimuskeskus (GTK) tarjoaa Happamien sulfaattimaiden karttapalvelussa (<http://gtkdata.gtk.fi/Hasu/>) kartoitustietoa happamien sulfaattimaiden esiintymisestä ja ominaisuuksista. Happamat sulfaattipitoiset maat ovat erityisen riskialttiita rakenteille, joissa maaperä on suoraan kontaktissa betonirakenteen kanssa ja ongelmia esiintyy lähinnä vain pohjavedenpinnan yläpuolisissa rakenteissa. Tästä syystä, jos rakennuspaikalla esiintyy happamia sulfaattimaita, on maaperä tutkittava tarkemmin. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu — Opas suunnittelijoille 2016. 2017, 25-26.)

Happamista sulfaattimaista mainitaan esimerkiksi Oulun kaupungin rakennusjärjestyksessä, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on tarvittaessa selvitettävä happamien sulfaattimaiden esiintyminen rakennuspaikalla. Jos rakennuspaikka on hapan sulfaattimaa, niin rakennuksen korkeusasema ja kuivatus tulee suunnitella mahdollisuuksien mukaan niin, ettei pohjaveden pinta alene. (Oulun kaupungin rakennusjärjestys, 16.)

Luonnon maaperän ja pohjaveden aiheuttaman kemiallisen rasituksen rasisluokkien raja-arvot on esitetty taulukossa 5. Yksittäisen kemiallisen rasituksen luokitus määrittää suurimman rasituksen luokituksen ja, jos on kaksi tai useampia aggressiivisiä ominaisuuksia, jotka johtavat samaan ympäristöluokkaan, luokitellaan seuraavaan korkeampaan luokkaan. Todellisten ympäristöolosuhteiden määrittämiseksi on tehtävä esiselvitys,

- jos kemiallisen rasituksen suhteen ollaan taulukon 5 raja-arvojen ulkopuolella

- jos ympäristössä on muita aggressiivisia kemiallisia aineita
- jos maaperä tai vesi on kemiallisesti saastunut
- jos veden virtausnopeus on suuri ja siinä on taulukon 5 mukaisia kemikaaleja (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 19).

TAULUKKO 5. Luonnon maaperän ja pohjaveden aiheuttaman kemiallisen rasituksen rasisitusluokkien raja-arvot (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 19)

| Kemiallinen ominaisuus | Koemenetelmä | XA1 | XA2 | XA3 |
|---|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Pohjavesi | | | | |
| SO ₄ ²⁻ mg/l | SFS-EN 196-2 | ≥ 200 ja ≤ 600 | > 600 ja ≤ 3000 | > 3000 ja ≤ 6000 |
| pH | ISO 4316 | ≤ 6,5 ja ≥ 5,5 | < 5,5 ja ≥ 4,5 | < 4,5 ja ≥ 4,0 |
| CO ₂ mg/l aggressiivinen | SFS-EN 13577 | ≥ 15 ja ≤ 40 | > 40 ja ≤ 100 | > 100 kyllästymiseen asti |
| NH ₄ ⁺ mg/l | ISO 7150-1 | ≥ 15 ja ≤ 30 | > 30 ja ≤ 60 | > 60 ja ≤ 100 |
| Mg ²⁺ mg/l | EN ISO 7980 | ≥ 300 ja ≤ 1000 | > 1000 ja ≤ 3000 | > 3000 kyllästymiseen asti |
| Maaperä | | | | |
| SO ₄ ²⁻ mg/kg ^{a)} kokonaismäärä | SFS-EN 196-2 ^{b)} | ≥ 2000 ja ≤ 3000 ^{c)} | > 3000 ^{c)} ja ≤ 12000 | >12000 ja ≤ 24000 |
| Happamuus Baumann Gullyn mukaisesti ml/kg | prEN 16502 | > 200 | Ei esiinny käytännössä | |

^{a)} Savimaat, joiden läpäisevyys on pienempi kuin 10⁻⁵ m/s, voidaan luokitella alempaan luokkaan.
^{b)} Testausmenetelmän periaate on uuttaa SO₄²⁻ suolahapolla. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää vesiuttoa, jos betonin käyttöpaikalla on siitä kokemusta.
^{c)} Raja-arvo 3000 mg/kg lasketaan arvoon 2000 mg/kg, jos betonin toistuva kuivuminen ja kastuminen tai kapillaarinen kastuminen voivat aiheuttaa betoniin sulfaatti-ionien kasaantumisriskin.

3.3 Taulukkomitoitus käyttöikäsuunnittelussa

BY 68 oppaan mukaan yksinkertaisella taulukkomitoituksella voidaan saada betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot kaikissa rasisitusluokissa.

Suunnittelukäyttöikä voi olla erillisten taulukoiden mukaan joko 50 vuotta tai 100 vuotta ja näitä eri suunnitteluparametrejä koskevat vaatimukset on esitetty BY 65:n luvun 3 taulukoissa 3.8 ja 3.9. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 11.)

Betoninormien BY 65 rakenteiden suunnittelukäyttöiän taulukkomitoitus 50 vuotta ja 100 vuotta perustuvat betonistandardiin SFS 7022:2015, joka on

päivitetty SFS 7022:2019. Vanha SFS 7022:2015 esitetään taulukossa 6, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 36-39; SFS 7022:2015. 2015, 10; SFS 7022:2019. 2019, 1.)

TAULUKKO 6. SFS:7022:2015 mukaan betonin koostumukselle ja kovettuneen betonin ominaisuuksille asetettavat vaatimukset, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta (SFS 7022:2015. 2015, 10)

| | Rasitusluokat | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------------------------------|--------|--------|----------------------------------|--------|--------|---|------|--------------------|------|---------------------------------------|--------|--------|
| | Ei korroosion tai rasituksen vaaraa | Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio | | | | Kloridien aiheuttama korroosio | | | | | | Jäädytys-sulatusrasitus ^{1, 2} | | | | Aggressiiviset kemialliset ympäristöt | | |
| | | | | | | Merivesi | | | Kloridit muusta kuin merivedestä | | | | | | | | | |
| X0 | XC 1 | XC 2 | XC 3 | XC 4 | XS1 | XS 2 | XS 3 | XD 1 | XD 2 | XD 3 | XF 1 | XF 2 ³⁾ | XF 3 | XF 4 ³⁾ | XA 1 | XA 2 | XA 3 | |
| w/c enintään | | 0,90 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,55 | 0,55 | 0,45 | 0,60 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| Vähimmäislujuusluokka | C12/15 | C20/25 | C20/25 | C30/37 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | C35/45 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | | | | | C30/37 | C35/45 | C40/50 |
| Vähimmäis-sementtimäärä (kg/m ³) | | 160 | 160 | 250 | 250 | 300 | 320 | 320 | 300 | 300 | 320 | 270 | 330 | 300 | 360 | 300 | 320 | 330 |
| Ilmamäärä (%) | | | | | | | | | | | | 4,0 ⁴⁾ | 5,0 | 4,0 ⁴⁾ | 5,5 | | | |

1 Lisäksi pakkasenkestävyyden vaatimukset [liitteen A taulukon A.1-FI](#) mukaan.

2 Rasitusluokissa XF2 ja XF4 edellytetyt betonin vesi-sementtisuhteen, ilmamäärän ja sementtimäärän vaatimukset ovat sementtilaaduille CEM I, CEM II/A-D CEM II/A-LL, CEM II/A-M ja CEM II/B-M [taulukossa 2-FI](#) esitetyin rajoituksin.

3 Sementtilaatujen CEM II/A-S, CEM II/B-S ja CEM II/A-V käyttö tai sementtilaatujen CEM II/A-LL, CEM II/A-M ja CEM II/B-M koostumusrajoittamaton käyttö tai taulukon mukaisista suhteutusvaatimuksista poikkeaminen rasitusluokissa XF2 ja XF4 edellyttää betonin pakkas-suolakestävyyden osoittamista toiminnallisilla menetelmillä [liitteen A kohdan A.1.3](#) mukaan.

4 Ilmamäärävaatimus koskee betonia, jossa kiviaineksen ylänimellisraja on vähintään 16 mm. Ylänimellisrajan ollessa 12 mm ilmamäärävaatimusta nostetaan 0,5 %-yksikköä ja ylänimellisrajan ollessa 8 mm 1,0 %-yksikköä.

Taulukossa 7 esitetään uusi päivitetty SFS 7022:2019, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. Tähän päivitettyyn taulukkoon SFS 7022:2019 on lisätty jäätymis-sulatusrasituksien rasitusluokkiin XF1...XF4 betonin vähimmäislujuusluokat, vähimmäissementtimäärät ja ilmamäärät. Lisäksi on annettu uusia lisäohjeita rasitusluokkien XF2 ja XF4 vesi-sementtisuhteeseen, ilmamäärän ja sementtimäärän vaatimuksille eri sementtilaaduilla. Samalla ohjeistetaan, että rasitusluokkien XF1 ja XF3 betonin vesi-sementtisuhte ja ilmamäärien yhdistelmä voidaan määritellä vaihtoehtoisesti F-lukumenettelyllä. (SFS 7022:2015. 2015, 10; SFS 7022:2019. 2019, 1.)

TAULUKKO 7. SFS:7022:2019 mukaan betonin koostumukselle ja kovettuneen betonin ominaisuuksille asetettavat vaatimukset, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta (SFS 7022:2019. 2019, 1)

| | Rasitusluokat | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|---|--------|--------|--------|-------------------------------|----------|--------|--------|----------------------------------|--------|--|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Ei korroosion tai rasituksen vaaraa | Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio | | | | Kloridien aiheuttama korrosio | | | | | | Jäädytys-sulatusrasitus ^{1) 2)} | | | | Aggressiivinen kemiallinen rasitus | | | | |
| | | XC0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | Merivesi | | | Kloridit muusta kuin merivedestä | | | XF1 ³⁾ | XF2 | XF3 ³⁾ | XF4 | XA1 | XA2 | XA3 | |
| w/c enintään | | 0,90 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,55 | 0,55 | 0,45 | 0,60 | 0,50 | 0,50 | 0,45 | 0,50 | 0,45 | 0,45 | 0,40 | |
| Vähimmäis-lujuusluokka | C12/15 | C20/25 | C20/25 | C30/37 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | C35/45 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | C30/37 | C30/37 | C30/37 | C35/45 | C30/37 | C35/45 | C30/37 | C35/45 | C40/50 |
| Vähimmäis-sementtimäärä (kg/m ³) | | 160 | 160 | 250 | 250 | 300 | 320 | 320 | 300 | 300 | 320 | 270 | 330 | 300 | 360 | 300 | 320 | 330 | | |
| Ihmäärä ⁵⁾ (%) | | | | | | | | | | | | 4,0 ⁴⁾ | 5,0 ⁴⁾ | 4,0 ⁴⁾ | 5,0 ⁴⁾ | | | | | |

1) Lisäksi pakkausmerkittävyyden vaatimukset liitteessä A taulukon A.1-2) mukaan.

2) Rasitusluokissa XF2 ja XF4 edellytettyä betonin vesi-sementtiolosuhteita, ihmäärän ja sementtimäärän vaatimukset ovat sementtimäärälle CEM I, CEM II/A-D, CEM II/A-L, CEM II/A-M ja CEM II/B-M taulukossa 2-1) esitettyä rajoitusta.

3) Betonin vesi-sementtiolosuhteita ja ihmäärän yhdistelmä voidaan määrittää vaihtoehtoisesti F-alkusementtiyhdistelmä (liite A). Tällöin tämän taulukon sarakkeissa XF1 ja XF3 esitettyjen vesi-sementtiolosuhte- tai ihmäärävaatimusten ei tarvitse täyttyä, mutta betonin F-alkusementtiolosuhteiden tulee täyttyä. 50 vuoden suunnittelulla käyttöiällä F-alkusementtiolosuhteiden rasitusluokissa XF1 on 1,0 ja rasitusluokissa XF3 1,5.

4) F-alkusarvoja vesi-sementtiolosuhteita, ihmäärän ja kivimäärän ylärajojen funktiona on esitetty taulukossa D.1-1).

5) Ihmäärävaatimus koskee betonia, jossa kivimäärän yläraja on vähintään 18 mm. Ylärajojen ollessa 12 mm ihmäärävaatimusta nostetaan 0,5 %-yksikköä ja ylärajojen ollessa 9 mm 1,0 %-yksikköä.

6) Yli 7 % tavon ihmäärä ei ole sallittava.

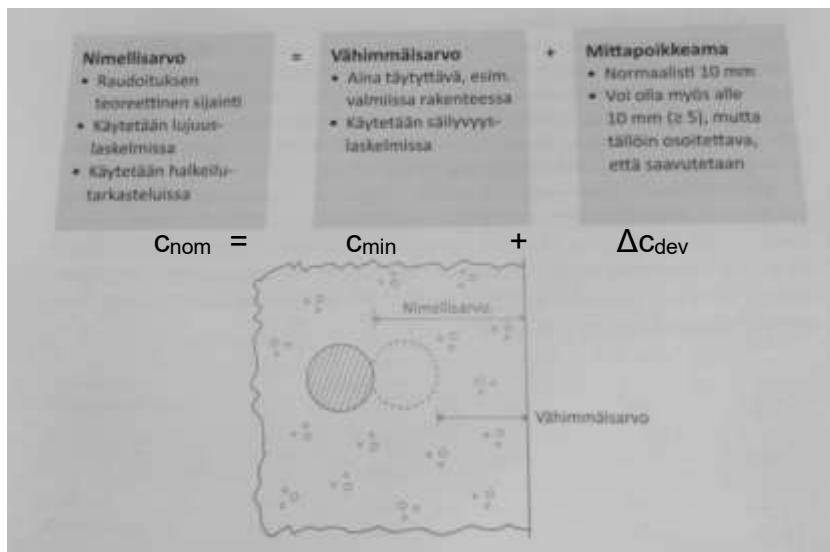
3.3.1 Raudoituksen betonipeite

Betonipinnan ja sitä lähinnä olevan raudoituksen (huomioidaan myös haat ja työteräkset) pinnan välistä etäisyyttä kutsutaan betonipeitteeksi. Rakenteen rauditus suunnitellaan betonipeitteen nimellisarvoa c_{nom} käyttäen ja piirustuksiin merkitään betonipeitteen nimellisarvo ja sen sallittu mittapoikkeama. Rakenteen käyttöikämitoitus tehdään käyttäen betonipeitteen vähimmäisarvoa c_{min} . (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 34; BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21-23.)

Kuvassa 9 on esitetty piirroksena sekä kaavana, miten betonipeitteen nimellisarvo määritellään betonipeitteen vähimmäisarvon ja suunnittelussa huomioon otettavan mittapoikkeaman summana $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$. Rakenteesta mitattuna betonipeitteen tulee siis olla vähintään vähimmäisarvon c_{min} suuruinen. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 34; BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21-23.)

Paikalla valettujen rakenteiden sallittu mittapoikkeama on yleensä 10 mm. Elementtien valmistaja voi elementtityypeittäin käyttää pienempää sallittua mittapoikkeamaa kuin 10 mm, jos se on tehtaan sisäisen varmennetun

laadunhallintajärjestelmän mukaan perusteltua, mutta pienempää kuin 5 mm:n mittapoikkeamaa ei saa kuitenkaan käyttää. Betonipeitteen vähimmäisarvon C_{min} tulee olla niin suuri, että taataan terästen tartuntavoimien siirtyminen, terästen säilyvyys (suoja terästen korroosiota vastaan) sekä rakenteen riittävä palonkestävyys. Betonipeitteen vähimmäisarvoksi valitaan suurin näistä kolmen edellä mainitun tekijän antamista arvoista, mutta saatu vähimmäisarvo ei saa olla pienempi kuin 10 mm. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 34; BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21-23.)



KUVA 9. Betonipeitteen nimellisarvo, vähimmäisarvo sekä sallittu mittapoikkeama (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 34)

Betonipeitteen vähimmäisarvot säilyvyyden suhteen $C_{min,dur}$ on esitetty taulukossa 8 (Betoninormit BY 65, taulukko 2.3) ja näitä vähimmäisarvoja käytetään taulukkomitoituksen yhteydessä. Tämän taulukon betonipeitteen vähimmäisarvoon voidaan tehdä yksi 5 mm:n vähennys, jos Betoninormin BY 65 taulukoiden 3.8 (50 v.) tai 3.9 (100 v.) mukaista lujuusluokkaa korotetaan vähintään 10 MN/m², mutta tätä vähennystä ei saa tehdä rasitusluokissa X0 ja XC1. Taulukon arvoista voidaan poiketa käytettäessä Betoninormien BY 65 liitteen 3 mukaista laskennallista mitoitusarvoa. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21-23.)

TAULUKKO 8. Betonipeitteen vähimmäisarvo $c_{min,dur}$ säilyvyyden suhteen eri rasisitusluokissa (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 22)

| Rasisitusluokka | Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle [mm] | | Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle [mm] | |
|-----------------|--|------------|---|------------|
| | Betoniteräs | Jänneteräs | Betoniteräs | Jänneteräs |
| X0 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| XC1 | 10 | 20 | 10 | 20 |
| XC2 | 20 | 30 | 25 | 35 |
| XC3, XC4 | 25 | 35 | 30 | 40 |
| XS1, XD1 | 30 | 40 | 35 | 45 |
| XS2, XD2 | 35 | 45 | 40 | 50 |
| XS3, XD3 | 40 | 50 | 45 | 55 |

3.3.2 Vesi-sementtisuhte ja puristuslujuus

Betonin vesi-sementtisuhteella on tärkeä rooli rakenne- ja käyttöikäsuunnittelun yhteensovittamisessa. Vesi-sementtisuhte korreloi voimakkaasti betonin puristuslujuuden kanssa ja samalla vaikuttaa näin myös kaikkiin betonin säilyvyysominaisuuksiin. Siksi tavoitteena onkin valita betonille mahdollisimman yhteensopiva lujuusluokka, vesi-sementtisuhte sekä rasisitusluokka. Suurimpia muutoksia aiheuttavat betonin puristuslujuuteen ja vesi-sementtisuhteeseen lähinnä si-deaineen koostumus, sementin lujuus, betonin ilmamäärä ja kiviaineksen lujuus. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 37.)

Lujuusluokan merkintätapa on muuttunut vuosien saatossa eli vanha K30-lujuusluokan merkintätapa on muuttunut eurostandardien mukaiseksi tunnukseksi C eli K30, lujuusluokka merkitään nykyään C25/30 eli ensin merkitään alin 150 mm x 300 mm lieriölujuus (C) $f_{ck,cyl}$ (MN/m²) ja sitten alin 150 mm kuutiolujuus (K) $f_{ck,cube}$ (MN/m²) eli tämän mukaan K45 merkitään C35/45. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 36.)

3.3.3 Betonirakenteen halkeilu

Kun betonin vetolujuus ylittyy, muodostuu betoniin halkeamia. Siksi onkin tärkeää rajoittaa betonirakenteen halkeilu siten, ettei se huononna rakenteen staattista toimivuutta ja säilyvyyttä eikä vaikuta ulkonäköön haitallisesti. Lisäksi halkeilun tulisi olla hallittua ja halkeamaleveyksien riittävän pieniä. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2018, 102.)

Betonin halkeilua voidaan rajoittaa suunnittelemalla rakenne oikein, valitsemalla sopiva betonin koostumus sekä suunnittelemalla itse betonityön suoritus sekä valun jälkihoito. Betonin säilyvyyden kannalta halkeamat lisäävät merkittävästi betonin läpäisevyyttä, minkä seurauksena haitalliset aineet pääsevät tunkeutumaan helposti betoniin ja raudoitukseen. Tällöin betonin suojaava vaikutus heikenee sekä fysikaalisesti että kemiallisesti. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2018, 102.)

Riippuen olosuhteista yli 0,2 - 0,4 mm:n halkeamat, jotka ulottuvat raudoitukseen asti, ovat haitallisimpia, ja siksi raudoitustankojen suuntaiset halkeamat voivat aiheuttaa laajalla alueella raudoituksen korroosiota. Rakenteiden suunnittelussa, olosuhteista riippuen, laskennalliset halkeamaleveydet rajoitetaan arvoon 0,1...0,3 mm. (BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2018. 2018, 102.)

Taulukossa 9 on esitetty suurimmat sallitut halkeamaleveyden w_{max} raja-arvot, kun rakenteen suunnittelukäyttöikä on 50 ja 100 vuotta. Taulukossa 9 halkeamaleveydet määräytyvät rasitusluokkien, erilaisten raudoitustyyppien sekä kuormitusyhdistelmien mukaan. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 24.)

TAULUKKO 9. Halkeamaleveyden w_{max} raja-arvot (mm), kun rakenteen suunnittelukäyttöikä on 50 ja 100 vuotta (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 24)

| Rasitusluokka | Halkeamaleveyden w_{max} raja-arvot (mm) | | |
|-------------------------|--|---|--------------------------------|
| | Teräsbetonirakenteet ja tartunnattomat ankkurijännerakenteet | Tartuntajännerakenteet ja injektoidut ankkurijännerakenteet | |
| | Pitkäaikainen kuormayhdistelmä | Tavallinen kuormayhdistelmä | Pitkäaikainen kuormayhdistelmä |
| X0, XC1 | 0,40 | 0,20 | ei vaatimuksia |
| XC2, XC3, XC4, XD1, XS1 | 0,30 | 0,20 | vetojännityksetön tila |
| XD2, XD3, XS2, XS3 | 0,20 | vetojännityksetön tila | ei vaatimuksia |

HUOM 1. Rasitusluokkien X0 ja XC1 yhteydessä halkeamaleveydellä ei ole vaikutusta säilyvyyteen. Tämä raja on asetettu, jotta tavallisesti saavutetaan kelvollinen ulkonäkö. Jos ulkonäköehtoja ei aseteta, tätä rajaa voidaan väljentää.

HUOM 2. Tartuntajännerakenteilla ja injektoiduilla ankkurijännerakenteilla sallitaan pitkäaikaisella kuormayhdistelmällä korkeintaan vetolujuuden ominaisarvon $f_{ct,0,05}$ suuruinen vetojännitys, mikäli rakennetta kuormittaa standardin SFS-EN 1991-1-1 mukainen hyötykuorma, jonka pitkäaikaisosuuden yhdistelykerroin on suurempi kuin 0,5.

Vesitiiviiden nestesäiliöiden rakenteet luokitellaan standardin SFS-EN 1992-3:n (Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 3: Nestesäiliöt ja siilot) mukaan kohdassa 7.3.1 neljään eri tiiviysluokkaan. Tiiviysluokat jakaantuvat rakenteen odotetun vuodon eston mukaan eli vuotoa koskevien vaatimusten mukaan, jotka esitetään taulukossa 10. (SFS-EN 1992-3. 2006,10.)

Vesitiiveyden yhteydessä on huomattava, että aina pieni määrä nestettä ja kaasua pääsee kulkeutumaan betonirakenteen läpi diffuusion takia. Betonirakenteen halkeamaleveydet vaikuttavat olennaisesti rakenteen tiiviysluokkaan. (SFS-EN 1992-3. 2006,10.)

Taulukon 10 mukaan tiiveysluokassa 0 käytetään standardin EN 1992-1-1 kohdan 7.3.1 sääntöjä eli halkeamaleveyksien raja-arvot tulevat taulukon 9 mukaan. Tiiveysluokassa 1 halkeamaleveyden w_{k1} -arvo interpoloidaan standardin mukaan, kun halkeamaleveyden ääriarvot ovat 0,2 mm (kun $h_D/h \leq 5$) ja 0,05 mm (kun $h_D/h \geq 35$). Tiiveysluokassa 2 halkeamia, jotka kulkevat koko poikkileikkauksen läpi, on välttävää, ja tiiveysluokassa 3 tarvitaan erityistoimenpiteitä, kuten esijännitys tai vuoraus. (SFS-EN 1992-3. 2006,10.)

TAULUKKO 10. Tiiviysluokitus (SFS-EN 1992-3. 2006, 10)

| Tiiviysluokka | Vuotoa koskevat vaatimukset |
|---------------|---|
| 0 | Tietty vuodon määrä hyväksyttävä tai nesteiden vuodolla ei ole merkitystä. |
| 1 | Vuoto rajoitettava pieneen määrään. Tietty pinnan tahriutuminen tai kosteat laikut hyväksyttäviä. |
| 2 | Vuoto minimaalista. Tahriutuminen ei saa heikentää ulkonäköä. |
| 3 | Vuotoa ei sallita ollenkaan. |

(111) Tarkasteltavaa rakenneosaa koskevat halkeilurajat valitaan rakenneosan luokituksen perusteella, jolloin kiinnitetään asianmukaisesti huomiota rakenteelta vaadittavaan toimivuuteen. Tarkempien vaatimusten puuttuessa voidaan käyttää seuraavia vaatimuksia.

Tiiviysluokka 0. — voidaan käyttää standardin EN 1992-1-1 kohdan 7.3.1 sääntöjä.

Tiiviysluokka 1. — halkeama, jonka oletetaan kulkevan koko poikkileikkauksen läpi, on syytä rajoittaa arvoon w_{k1} . Standardin EN 1992-1-1 kohdan 7.3.1 sääntöjä voidaan käyttää, kun poikkileikkaus ei ole halkeillut koko korkeudeltaan ja kun seuraavien kohtien (112) ja (113) ehdot toteutuvat.

Tiiviysluokka 2. — halkeamia, jotka kulkevat koko poikkileikkauksen läpi, on syytä yleensä välttää, ellei niiden suhteen ryhdytä asianmukaisiin toimenpiteisiin (esim. vuoraus tai vesitiiviit työsaumanauhat).

Tiiviysluokka 3. — vesitiiviiden varmistamiseen tarvitaan yleensä erityistoimenpiteitä (esim. vuoraus tai esijännitys).

HUOM. Kussakin maassa käytettävä halkeamaleveyden arvo w_{k1} voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Vesisäiliöissä suositeltavat arvot määritellään hydrostaattisen painekorkeuden h_D suhteena säiliörakenteen seinän paksuuteen h . Kun $h_D/h \leq 5$, $w_{k1} = 0,2$ mm, kun taas arvoilla $h_D/h \geq 35$, $w_{k1} = 0,05$ mm. Suhteen h_D/h väliarvoilla halkeamaleveyden arvo voidaan interpoloida lineaarisesti arvojen 0,2 mm ja 0,05 mm väliä. Halkeamaleveyden rajoittaminen näihin arvoihin johtaa siihen, että halkeamat tiivistyvät itsestään suhteellisen lyhyen ajan kuluessa.

Betonirakenteiden ohjeiden 2019 kansallisessa liitteessä standardin SFS-EN 1992-3 Osa 3: Nestesäiliöt ja siilot on täydentävässä lisäohjeen kohdassa 7.3.1(111) on ohjeistettu esimerkein eri tiiviysluokkiin kuuluvia rakenteita seuraavasti:

- tiiviysluokka 1: pienet vesitornit, uima-altaat
- tiiviysluokka 2: vesitornit, joissa ei sallita esteettisesti häiritseviä vuotoja
- tiiviysluokka 3: suuret vesitornit, haitallisia aineita sisältävät altaat (kuten kaatopaikkojen altaat) ja säiliöt.

Saman ohjeen kohdan 9.11.1(102) kansallisen valinnan mukaan altaan seinämien paksuudeksi valitaan yleensä vähintään $t_1=120$ mm tiiveysluokassa 0 tai $t_2=200$ mm tiiveysluokassa 1 ja 2. Lisäksi liukuvalettujen seinämien paksuuden tulee olla luokasta riippumatta aina vähintään 200 mm. (Betonirakenteet ohjeet, 2019. 2019, 35.)

3.3.4 Vesitiiveys

Betonin ja betonirakenteen vesitiiveys eivät ole sama asia. Betonin vesitiiveys voidaan saavuttaa kohtuullisen helposti yli C30/37:n olevilla betonilaaduilla, mutta jos käytetäänkin alhaista lujuusluokkaa, karkeaa sementtiä tai pientä si-deainemäärää, voi betonin vesitiiveyden täyttymien tuottaa ongelmia. Betonin vesitiiveys ei takaa betonirakenteen vesitiiveyttä. Betonirakenteen vesitiiviys riippuu betonin lisäksi betonin halkeilusta sekä työsaumojen laadusta. Betonin katsotaan olevan vesitiivis, jos kovettuneesta betonista on standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeutumasyvyys enintään 100 mm. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 39.)

3.4 Laskennallinen mitoitus

Laskennallinen mitoitus eli kerroinmenetelmä perustuu standardin ISO 15868-1 periaatteelle. Rakenteen käyttöiän laskenta jäätymis-sulamisrasituksen suhteen rasitusluokissa XF1 ja XF3 lasketaan kaavalla 1 kertomalla vertailukäyttöikä (50 vuotta) eri tekijät huomioon ottavilla käyttöiän kertoimilla (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21, 23-24,140-146).

$$t_L = t_{Lr} \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \quad \text{KAAVA 1}$$

t_L = käyttöikä

t_{Lr} = vertailukäyttöikä (50 vuotta)

A...G = eri tekijöitä huomioonottavia käyttöiän kertoimia.

Karbonatisoitumisen suhteen käyttöikä lasketaan kaavan 2 avulla kertomalla vertailukäyttöikä (50 vuotta) eri tekijät huomioon ottavilla käyttöiän kertoimilla (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21, 23-24,147-153).

$$t_L = t_{Lr} \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \quad \text{KAAVA 2}$$

t_L = käyttöikä

t_{Lr} = vertailukäyttöikä (50 vuotta)

A...G = eri tekijöitä huomioonottavia käyttöiän kertoimia.

Käyttöikä pakkas-suolarasitetussa rasitusluokassa XF2 voidaan laskea kaavalla 3 (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21, 23-24,154).

XF2: käyttöikä = 2,00 x P-luku *KAAVA 3*

Käyttöikä pakkas-suolarasitetussa rasitusluokassa XF4 voidaan laskea kaavalla 4 (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21, 23-24,154).

XF4: käyttöikä = 1,25 x P-luku *KAAVA 4*

Suunnittelukäyttöikä arvioidaan erikseen näiden eri rasitusluokkien suhteen ja näistä lyhin käyttöikä on määräävä. Tämä menetelmä soveltuu 50...200 vuoden suunnittelukäyttöikävälille. Laskennallisella käyttöikämitoituksella määritetään rakenteen ja siihen käytettävän betonin ominaisuuksia koskevat vaatimukset BY 65:n liitteen 3 mukaisesti tarkoilla A...G käytettävillä kertoimilla. Lisäksi rakenteen halkeilun tulee täyttää BY 65:n mukaiset vaatimukset, jotka on tässä työssä esitetty taulukossa 9. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21, 23-24,140-154.)

Vaikka rakenteiden käyttöikää laskettaessa otettaisiin huomioon myös pinnoitteiden vaikutus, tulee rakenteiden olla materiaali- ja rakenneominaisuuksiltaan sellaisia, että ne täyttävät vähintään 50 vuoden suunnittelukäyttöiän ilman suojaavia pinnoitteita. Uudisrakentamisen käyttöikäsuunnittelun tulee perustua sopivien betonimateriaali- ja rakenneparametrien valintaan, koska suojaavien pinnoitteiden kunnossapitoon liittyy monia epävarmuustekijöitä ja pinnoitteiden käyttö edellyttää aina uusintapinnoituksia määräväleihin. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21, 23-24,140.)

Kloridirasitetuissa rakenteissa (XD- ja XS-rasitusluokat) käyttöikä riippuu betonipeitteestä sekä vesi-sementtisuhteesta eli suunnittelija valitsee betonipeitteen sekä vesi-sementtisuhteen, jotka tulee merkitä piirustuksiin betonin valmistusta

varten. Suunnittelijan onkin hyvä varmistaa, että valittu lujuusluokka ja vesi-sementtisuhte ovat mahdollisimman sopuisuudessa keskenään. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 35-36.)

Taulukossa 11 on esitetty Betoninormien BY 65 laskennallisen mitoituksen mukaiset betonipeitteen minimiarvot vesi-sementtisuhteen funktiona rasitusluokissa XS ja XD ja silloin, kun käyttöiät ovat 50 v. ja 100 v. Valittu vesi-sementtisuhteen arvo on merkittävä piirustuksiin sekä betonipeitteen vähimmäisarvoon on lisättävä sallittu mittapoikkeama, joka on normaalisti 10 mm. Taulukon arvot koskevat betoniterästä ja tartunnallisen jänneteräksen osalta betonipeitteen vähimmäisarvoon lisätään 10 mm. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 35-36; BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 154.)

TAULUKKO 11. Vaadittavat betonipeitteen vähimmäisarvot vesi-sementtisuhteen(v/s-suhde) funktiona rasitusluokissa XD ja XS (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 154)

| Rasitusluokka | v/s-suhde | Betonipeitteen vähimmäisarvo (mm) | |
|---------------|-----------|-----------------------------------|-------|
| | | Käyttöikä | |
| | | 50 v | 100 v |
| XD1 | 0,55 | 30 | 40 |
| | 0,50 | 25 | 35 |
| | 0,45 | 20 | 30 |
| | 0,40 | 15 | 25 |
| XD2 | 0,55 | 35 | 45 |
| | 0,50 | 30 | 40 |
| | 0,45 | 25 | 35 |
| | 0,40 | 20 | 30 |
| XD3 | 0,50 | 45 | 55 |
| | 0,45 | 40 | 50 |
| | 0,40 | 35 | 45 |
| | 0,35 | 30 | 40 |
| XS1 | 0,50 | 30 | 40 |
| | 0,45 | 25 | 35 |
| | 0,40 | 20 | 30 |
| XS2 | 0,50 | 40 | 50 |
| | 0,45 | 35 | 45 |
| | 0,40 | 30 | 40 |
| | 0,35 | 25 | 35 |
| XS3 | 0,50 | 45 | 55 |
| | 0,45 | 40 | 50 |
| | 0,40 | 35 | 45 |

4 LIETESÄILIÖELEMENTIN VALMISTAJIEN TUOTETIETOJA

Tässä opinnäytetyössä haluttiin selvittää teorian lisäksi, millaisia ovat todellisuudessa lietesäiliöelementin betonin koostumus sekä kovettuneen betonin ominaisuudet. Siksi tämän opinnäytetyön tueksi päätettiin kartoittaa tilannetta ja pyytää tuotetietoja normaalien lietesäiliöelementtien (säiliökoko $\leq 2\,500\text{ m}^3$) valmistajilta tai markkinoijilta. Tällä tavalla saataisiin ajanmukaista tietoa siitä, miten elementtien valmistajat ottavat huomioon elementeissä käytettävän betonin valinnassa käyttöikäsuunnittelun, rasitusluokat sekä muut tähän vaikuttavat tekijät.

Tuotetietoja pyydettiin puhelimitse lokakuussa 2017 kolmelta varmennustodistushyväksynnän omaavalta lietesäiliöelementin valmistajalta tai näiden markkinoinnista vastaavalta taholta. Pyydetty tuotetiedot saatiin sähköpostitse valmistajakohtaisina rakennustapaselostuksina tai lietesäiliöohjeina rakennepiirustuksineen. Valmistajien toiveesta elementtien betonirakenteiden tuotetiedot esitetään tässä opinnäytetyössä yleisellä tasolla niin, että valmistajan nimeä ole näkyvillä tuotteen yhteydessä. (Niininen 2017; Juutinen 2017; Jylänki 2017.)

Taulukkoon 12 koostettiin yhteenveto elementtien rakennetiedoista sekä betonitiedoista saatujen tuotetietojen perusteella. Taulukosta voidaan nähdä, että elementtien suunnittelukäyttöäksi yksi valmistaja ilmoitti 50 vuotta, muilta tieto puuttui. Elementin rakenteessa käytetyn betonin rasitusluokat sekä lujuusluokan ilmoittivat kaikki tuotetiedoissa. Kaksi valmistajaa ilmoitti betonin rasitusluokiksi XC4; XF3; XA2 sekä lujuusluokaksi C35/45. Näiden kahden valmistajan elementit toteuttivat siis TR 15:2014 vaatimusasiakirjan Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje (2004/2006) mukaiset ohjeelliset suositusarvot. Yksi valmistaja ilmoitti elementin rasitusluokiksi XC4; XF1; XA1 ja lujuusluokaksi C30/37 eli tässä tapauksessa ei toteutettu ohjeellisia suositusarvoja.

Taulukon 12 mukaan vain yksi valmistaja ilmoitti betonin vesisementti-suhteen olevan 0,45. Kaksi valmistajaa ilmoitti tuotetiedoissaan rakenteen betonin olevan vesitiivistä sekä säänkestävää ja suojuhuokossuhteen ilmoitti yksi

valmistaja tuotetiedossa. Yksi valmistaja ilmoitti betonipeitteen nimellisarvoksi 30 mm loput kaksi valmistajaa ilmoitti suojaetäisyydeksi tai betonipeitteeksi 30 mm ja toleranssiksi +5/-5 mm. Rakenteen betonipintojen tiedot ilmoittivat kaikki tuotetiedoissaan sekä erikokoisten betonielementtien painon.

Valmistajien ilmoittamissa tuotetiedoissa ilmeni runsaasti puutteellisuuksia, jos verrataan näitä luvun 2.3.1 listaukseen siitä, mitä tietoja tulisi esittää yleensä vähintään betonirakenteiden rakennesuunnitelmissa. Tämän listauksen mukaan rakenteiden tiedoista puuttuivat seuraamusluokka, suunnittelussa käytetyt ominaiskuormat ja kuormaluokka, työsaumojen tarkka sijainti, palonkestävyysluokka, toteutusluokka ja toleranssiluokka. Betonin tiedoista puuttuivat erityisvaatimukset sideaineelle, kiviaineksen ylänimellisraja (maksimiraekoko) sekä sementin erikoislaadut tai luokka. Raudoitustiedosta puuttuivat osalta raudoituspäiirustukset ja raudoitusmerkinnät sekä nostolenkkien sijoitus tietoineen.

Lisäksi kukaan ei ilmoittanut rakennustuotteen kelpoisuutta ja suunnittelun arviointia varten tarvittavia tietoja tai valmisosassa käytettyä CE-merkintämenetelmää. Jokaisella valmistajalla olivat omakohtaiset ohjeet, rakennustapaselostus tai varastointi- ja asennusohjeet säiliön rakentamiseen, mutta kaikissa näissä oli käsittely-, tuenta- ja nosto-ohjeiden esittämisessä vielä ristiriitaisuuksia tai puutteita sekä lisäksi siis edellä mainittujen rakenteen, betonin sekä raudoitustietojen kohdalla.

TAULUKKO 12. Tuotetiedoista saadut lietesäiliöelementtien rakennetiedot (Niinenen 2017; Juutinen 2017; Jylänki 2017)

| Elementin rakennetiedot | Elementti 1 | Elementti 2 | Elementti 3 |
|---|---|---|---|
| Rakenteensuunnittelukäyttöikä | ei tiedossa | 50 v | ei tiedossa |
| Betonin rasitusluokat | XC4 XF3 XA2 | XC4 XF1 XA1 | XC4 XF3 XA2 |
| Lujuusluokka | C35/45-1 | C32/40 1-lk | C35/45 |
| Muotista nostolujuus | - | 26MN/m ² | - |
| Kuljetus- ja asennuslujuus | - | 30MN/m ² | - |
| Vesi-sementti-suhde | ei tietoa | max. 0.45 | ei tietoa |
| Betonipeitteen nimellisarvo c_{nom} (mm) | 30mm | (30mm) | (30mm) |
| Suojahuokossuhde | ei tietoa | >0,2 | ei tietoa |
| Vesitiivis | kyllä | kyllä | ei tietoa |
| Säänkestävä | kyllä | kyllä | ei tietoa |
| Eriyisvaatimukset sideaineelle | ei tietoa | ei tietoa | ei tietoa |
| Rakenteen betonipintojen tiedot säiliön sisäpinta säiliön ulkopinta | muottipinta teräshierretty tai liipattu | muottipinta teräshierretty tai liipattu | muottipinta teräshierretty tai liipattu |
| Varmennustodistus (sertif.nro) | ei tietoa (ei) | ei tietoa (ei) | ei tietoa (ei) |
| FI-merkintä (sertif.nro) | ei tietoa (ei) | ei tietoa (ei) | ei tietoa (ei) |

5 LIETESÄILIÖELEMENTIN BETONIN VALINNAN TEORIATIETOJEN JA TUOTETIETOJEN ANALYSOINTI

Kootusta teoriaosasta ja saaduista tuotetiedoista analysoitiin, mitkä seikat vaikuttavat lietesäiliöelementissä käytettävän betonin käyttöikäsuunnittelussa sekä rasisusluokkien valinnassa. Lisäksi lopuksi pohdittiin lietesäiliöelementin betonin valinnan vaikutusta sekä sitä, mitä Varmennustodistus-merkintä kertoo tuotteesta ja tämän vaatimuksista todellisuudessa.

5.1 Tuotehyväksynnän vaatimukset

Lietesäiliöelementin valmistajalla tulee olla betonituotteelleen voimassa oleva Varmennustodistus-merkki. Tämän avulla valmistaja voi osoittaa, että tuote täyttää sille Suomen lainsäädännössä asetetut vaatimukset, ja rakentaja voi varmennustodistuksella todentaa tuotteen kelpoisuuden rakennusluvan tai rakennusvalvonnan yhteydessä. Varmennustodistus-merkin saadessaan tuotteelleen lietesäiliöelementin valmistaja on sitoutunut noudattamaan tuoteryhmäohjetta TR 61:2014 sekä tämän vaatimusasiakirjoja. Lisäksi tuotteelle voidaan hakea vapaaehtoista FI-merkkiä, jolloin noudatetaan tällä hetkellä tuoteryhmäohjetta TR 15:2017 sekä tämän vaatimusasiakirjoja.

Varmennustodistus-merkin sekä FI-merkin saaneet tuotteet tulee valmistaa vaatimusasiakirjojen, valmistuspiirustusten ja työselostuksen mukaan ja lisäksi näiden tuotteiden valmistus tulee kuvata tehtaan laatukäsikirjassa tuotetyypeittäin ja tuotantolinjoittain. Tuotteen elementtipiirustuksissa on esitettävä kaikki viranomaisvaatimusten edellyttämät tiedot Betoninormien BY 65 luvun 1.6.1 mukaan, suunnittelutehtävään soveltuvassa laajuudessa sekä lisäksi myös suunnitelmiin tehdyt muutokset. Tämän mukaan rakennesuunnittelijan on määriteltävä käyttöikäsuunnittelussa rakenteesta muun muassa seuraamusluokka, suunnittelukäyttöikä, ympäristöolosuhteita kuvaavat rasisusluokat, betonipeitteen nimellisarvo ja mittapoikkeama sekä betonista lujuusluokka, erityisvaatimukset sideaineelle, betonin koostumukseen liittyvät poikkeavat vaatimukset sekä

kiviaineksen ylänimellisrajan. Suurin osa näistä edellä mainitusta tiedoista puuttui elementtivalmistajilta saaduista tuotetiedoista.

Yleensä kuluttajat tilaavat lietesäiliöelementit valmistajalta tarvitsemaansa lietesäiliöön säiliön kokonaistilavuuden perusteella ja lisäksi toinen määräävä ja ratkaiseva tekijä on seinäelementin korkeus. Näin yleensä valmistaja suunnittelee aina lietesäiliöelementin sekä valmistaa tämän tuotannossaan näiden tehtyjen suunnitelmien pohjalta.

Menetelmä M3b vastaa lietesäiliöelementtien käytännön tilannetta eli valmistaja vastaa tiettyyn rakennuskohteeseen tarkoitetun tuotteen mitoituksesta ja että tuote kestää sille tilaajan käyttökohteessa asettamat kuormat sekä valmistaja vastaa tuotteen valmistuksesta tuotantoasiakirjojen mukaisesti. Tällöin valmistajan tulee huolehtia, että elementin valmistajan laadittamat tai laatimat elementtipiirustukset on toimitettu vastaavalle rakennesuunnittelijalle ja että piirustuksissa on esitetty kaikki viranomaisvaatimusten edellyttämät tiedot. Lisäksi betonielementtien rakenteelliset ominaisuudet tulee ilmoittaa myös tilaajalle tuotteen mukana toimitettavissa asiakirjoissa.

Tuoteryhmäohjeen TR61:2014 vaatimusasiakirjana on aluksi ollut TR 15:2014 jonka vaatimusasiakirjana on Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje (2004/2006). Tässä vaatimusasiakirjassa on esitetty ohjeelliset suositukset lietesäiliöelementin betonirakenteelle.

Tällä hetkellä kaikkien erilaisten lietesäiliöelementtityyppien (normaalit elementit ja jälkijännitetyt elementit) valmistuksessa tulee noudattaa tuoteryhmäohjetta TR 61:2014 sekä lisäksi tuoteryhmäohjetta TR 15:2017. Tuoteryhmäohjeen TR 15:2017 vaatimusasiakirjana ei ole enää Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohjetta. Tämän tiedon perusteella varmennustodistuksen tuoteryhmäohjeissa TR 61:2014 sekä FI-merkin tuoteryhmäohjeissa TR 15:2017 ei mainita erikseen mitään ohjeellisia suositusarvoja lietesäiliöelementin rakenteelle tai betonille asetettuja vaatimuksia liittyen suunnittelukäyttöikään, rasitusluokkiin, betonin lujuusluokkaan, vesisementti-suhteeseen, vesitiiveyteen tai

terästen betonipeitteen nimellisarvoon liittyen. Näiden tuoteryhmäohjeiden vaatimusasiakirjojen mukaan käytettävän betonin vaatimukset tulevat SFS 7022:2019 taulukkomitoituksen mukaisesti valitun vaativimman rasitusluokan perusteella.

5.2 Elementin säilyvyysuunnittelu taulukkomitoituksella

Betoninormien BY 65 rakenteiden suunnittelukäyttöään taulukkomitoitus perustuu kansalliseen betonistandardiin SFS 7022:2015, joka on päivitetty SFS 7022:2019. Taulukosta 7 voidaan nähdä tämän standardin vaatimukset rasitusluokittain betonin koostumukselle sekä kovettuneen betonin ominaisuuksille, kun betonirakenteen minimi suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 36-39.)

Tästä syystä elementin rakennesuunnittelijan valitsemilla lietesäiliöelementin rasitusluokilla on erittäin merkityksellinen vaikutus siihen, että rakenteessa käytettävä betonimassa soveltuu käytettävään tuotteeseen ja suunniteltu tuote kestää vaurioitumatta toivotun käyttöajan. Rasitusluokkien määrittelemiseksi onkin tunnettava lietesäiliöelementin ympäristöolosuhteet hyvin ja ymmärrettävä näiden aiheuttamien vaurioitumisriskien vaikutukset rakenteen kestävyYTEEN. Lietesäiliöelementille aiheutuu jokaisessa rasitusluokassa rasituksia, jolloin rakenteesta tuleekin haastava suunnittelukohde käytettävän betonin vaatimusten suhteen. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 8-10, 32.)

5.2.1 Lietesäiliöelementin rasitusluokkien valinta

Ohessa käydään läpi viimeisimmän oppaan BY 68 mukaisesti lietesäiliöelementin ohjeelliset suositusvaatimukset läpi rasitusluokka kerrallaan (XC4; XD1; XF3; XA3). Samalla pohditaan, miksi kyseiseen rasitusluokkaehdotukseen on mahdollisesti päädytty ja ovatko nämä suositukset ristiriidattomat.

Karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio

Karbonatisoitumisen aiheuttaman teräskorroosion voidaan ajatella olevan BY 68 -oppaan mukaisesti lietesäiliöelementillä luokassa XC4, koska kyseinen rakenne välillä kastuu ja välillä kuivaa ja rakenne on sateelle altis pystysuora rakenne, johon vaikuttaa vielä lisäksi pakkasrasitus. Lietelannan nestepinta vaihtelee riippuen säiliön täyttöasteesta ja lietelantaa sekoitettaessa säiliön kulloiseenkin nestepintaan syntyy lantakaasukerros, josta vapautuu mm. hiilidioksidia, joka kiihdyttää elementin sisäpinnan karbonatisoitumista. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 13-17.)

Lisäksi jos betonin fysikaalinen suojaus pettää betonin halkeilun, pakkasrapautumisen tai liian ohuen betonipeitteen takia, teräskorroosio voi alkaa. Siksi XC-rasitusluokassa tulee pakkasrasituksen vaikutus huomioida huokostamalla betoni. Tässä tapauksessa vesi-sementtisuhde onkin parempi mittari betonin tiiveydelle kuin betonin puristuslujuus. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 13-17.)

Kloridien aiheuttama teräskorroosio

Kloridien aiheuttaman korroosioon rasitusluokaksi on BY 68 oppaassa määritelty XD1 eli kun kloridilähde on muu kuin merivedestä peräisin olevat kloridi. Tämän rasitusluokan betonipinta on alttiina ilman sisältäville klorideille (esim. meluseinät tienvieressä tai uimahallien sisätilat). (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 18-19.)

Taulukon 2 (sivulla 32) mukaan lietelanta sisältää mm. klorideja. Lietesäiliön sisäseinärakenne on osan aikaa märkänä riippuen säiliön lietteen nestepinnan vaihtelusta (tyhjennys tai täyttöasteesta) ja välillä rakenne pääsee kuivumaan. Siksi tulisikin selvittää, onko lietelannan kloridipitoisuudella vaikutusta nostaa jopa tätä rasitusluokkaa. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 18-19.)

Betonipeitteen lohkeamisen jälkeen rakenteen käyttöikä voidaan katsoa päättyneeksi. Siksi kloridien aiheuttamaa korroosiota voidaan rajoittaa betonipeitepaksuutta kasvattamalla, tekemällä tiivistä betonia sekä soveltamalla tiukempia halkeamaleveysvaatimuksia kuin XC-luokissa. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 18-19.)

Jäätymis-sulamisrasitus

Oppaassa BY 68 lietesäiliöelementin jäätymis-sulamisrasitus on arvioitu olevan luokkaa XF3 eli rakenteella saattaa olla suuri vedellä kyllästyminen jäätyessään ilman jäänsulatusaineita. Tällaisia rakenteita ovat sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat, ulkona olevat vaakasuorien rakenteiden alapinnat, patorakenteet tai suolaamattomien teiden siltojen reunapalkit. Lisäksi tässä tapauksessa säiliön sisällä on jatkuvasti nestettä sekä lisäksi suuri vedellä kyllästyminen yhtä aikaa. Tällaisen rakenteen toteutuksessa tärkeimmät suojaavat tekijät ovat pieni vesi-sementtisuhde, korkea hydrataatioaste sekä betonin huokostaminen lisäaineella. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 20-22.)

Kemialliset rasitukset

Lietesäiliöelementin kemialliseksi rasitusluokaksi on arvioitu XA3 oppaassa BY 68. Tämä arvio on varmastikin oikea. Suomessa ei ole ainakaan toistaiseksi luokiteltu kemiallisia aineita niiden aggressiivisuuden mukaan. Taulukon 2 (sivulla 32) mukaan lietelanta sisältää mm. sulfaattia, ammoniumtyyppiä, klooria, propionihappoa sekä etikkahappoa. Kun lietelantaa sekoitetaan, muodostuu lantakaasua, joka sisältää mm. metaania, hiilidioksidia, rikkivetyä ja ammoniakia. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 23-28.)

Lisäksi seinärakenteen ulkopinnan puolella saattaa olla perustamistasossa maaperänä potentiaalinen hapan sulfaattimaa, joka kuivatuksen seurauksena muuttuu todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi, jolloin maaperän sekä ympäristön veden pH laskee arvosta 6...7 jopa pH:ksi 3,5. Eli tässä tapauksessa on

useampia kemiallisesti aggressiivisia aineita rasittamassa lietesäiliöelementin sisäpintaa sekä myös ulkopintaa. Näiden vaikutus jo itsessään rasitusluokkana saattaa olla vähintään XA1 tai XA2 tai jopa XA3. Kun otetaan lisäksi huomioon näiden kaikkien yhteisvaikutus yhtä aikaa, joka nostaa yhteisvaikutuksella pienemmästä rasitusluokasta rasituksia ylöspäin, rasitusluokkasuositus XA3 ei vaijuta olevan ylimitoitettu. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 23-28)

Jos rasitusluokka XA2 tai XA3 määräytyy ympäristön sulfaattipitoisuudesta, BY65 suosittelee, että näissä rasitusluokissa käytetään SFS-EN 197-1 sulfaatinkestävää sementtiä (CEM I – SR3). Vaihtoehtoisena suosituksena on, että sideaineen tulee sisältää masuunikuonaa vähintään 70 % kokonaismäärästä. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 31.)

Lietesäiliöelementin ohjeelliset rasitusluokat taulukkomitoituksella

Lietesäiliön seinäelementin rasitusluokat ovat oppaan BY68 mukaan XC4; XD1; XF3; XA3 ja tällöin määräävänä rasitusluokkana on XA3. Näillä ehdoilla saadaan tälle rakenteelle taulukkomitoituksella (50 vuotta) taulukosta 7 betonirakenteelle seuraavat vaatimukset

- betonin vähimmäislujuusluokaksi C40/50
- vesi-sementti-suhteeksi 0,40
- vähimmäissementtimääräksi 330 kg/m³
- taulukosta 8 betonipeitteen vähimmäisarvoksi $c_{min,dur}$ betoniteräkselle rasitusluokan XD1 30 mm mukaan.

Betonipeitteen mittapoikkeamana käytetään 10 mm eli betonipeitteen nimellisarvo on 40 mm (SFS 7022:2019. 2019, 1; BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 18-19).

Lietesäiliön seinäelementin rasitusluokat ohjeelliset suositukset vanhan TR 15:2014 -vaatimusasiakirjan eli Maatalouden betonielementtirakenteet -suunniteluohjeen (2004, 2006) mukaan ovat XC4; XF3; XA2 ja tällöin määräävänä

rasitusluokkana on XA2. Näillä ehdoilla saadaan tälle rakenteelle taulukkomitoituksella (50 vuotta) taulukosta 7 betonirakenteelle seuraavat vaatimukset

- betonin vähimmäislujuusluokka on C35/45
- vesi-sementti-suhteeksi 0,45
- vähimmäissementtimääräksi 320 kg/m³
- taulukosta 8 betonipeitteen vähimmäisarvoksi $c_{min,dur}$ betoniteräkselle rasitusluokan XC4 mukaan 25 mm.

Betonipeitteen mittapoikkeamana käytetään 10 mm eli betonipeitteen nimellisarvo on 35 mm (SFS 7022:2019. 2019, 1; Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohje, saatekirje ja taulukon 10 päivitys 19.4.2006. 2006, liite 1).

5.2.2 Muut käyttöiän valintaan vaikuttavat tekijät

Betonipeitteen vähimmäisarvo määräytyy lietesäiliöelementin kohdalla määrävimmän rasitusluokan mukaan, joka on BY 68 ohjeellisen suosituksen mukaan XD1. Tällöin taulukosta 8 betonipeitteen vähimmäisarvoksi saadaan $c_{min,dur}$ 30 mm ja tähän lisätään mittapoikkeama 10 mm, jolloin betonipeitteen nimellisarvo on 40 mm. Tähän betonipeitteen vähimmäisarvoon voidaan tehdä yksi 5 mm:n vähennys. Jos taulukon 7 mukaista lujuusluokkaa korotetaan vähintään 10 MN/m² niin betonipeitteen nimellisarvoksi tulee 35 mm ja betonin lujuusluokka C40/50:sta nousee C50/60:een. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 21-23.)

Lietesäiliöelementin betonia valittaessa on hyvä pitää tavoitteena mahdollisimman sopivaa lujuusluokkaa, vesi-sementtisuhdetta sekä rasitusluokkia. Suurimpia muutoksia tavoiteltavaan betonin puristuslujuuteen ja vesi-sementtisuhteeseen aiheuttavat sideaineen koostumus, sementin lujuus, betonin ilmamäärä ja kiviaineksen lujuus. Vesitiiviin betonirakenteen vähimmäislujuusluokan tulee olla C30/37 ja lisäksi kovettuneesta betonista standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeutumasyvyys saa olla enintään 100 mm. (BY 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu - opas suunnittelijoille 2016. 2017, 51.)

Lietesäiliöelementin halkeamaleveyden raja-arvo w_{max} tulee olla vähintään 0,3 mm rasisluokkien XD1 ja XC4 perusteella. Tiiveysluokassa 0 w_{max} arvo voi olla 0,3 mm, mutta jos tiiveysluokka on tätä parempi, eli esimerkiksi tiiveysluokka 1, niin tällöin halkeamaleveyden ääriarvon tulee olla pienempi eli välillä 0,2...0,05 mm. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 24; SFS-EN 1992-3. 2006,10.)

Tässä opinnäytetyössä ei perehdytty tarkemmin laskennallisen käyttöiän mitorukseen, koska ei ollut käytettävissä tarkkoja kertoimiin vaikuttavia arvoja, joita näihin laskelmiin olisi tarvittu.

5.3 Muun lainsäädännön vaikutus

Rakennuslainsäädäntö edellyttää betonirakenteiden suunnittelussa eurokoodien ja näiden kansallisten sovellusten sekä betonirakentamiseen liittyvien standardien käyttämistä. Lietesäiliötä olisi tarkasteltava ns. kantavana rakenteena eli nestesäiliönä. Betonirakenteisen lietesäiliöelementin suunnittelu tulee perustua eurokoodeihin SFS-EN 1990, SFS-EN 1991, SFS-EN 1992-1-1 ja SFS-EN 1992 sekä näiden kansallisiin liitteisiin. Standardissa SFS-EN 206 ja sitä täydentävässä standardissa SFS 7022 esitetään ohjeita betonin määrittelyn, ominaisuuksien, valmistuksen ja vaatimustenmukaisuuden osalta sekä betonielementtien valmistuksessa noudatetaan standardia SFS-EN 13369. (BY 65 Betoninormit 2016. 2016, 7; Ympäristöministeriö, linkit Rakentaminen ja Maankäyttö-> Rakentamismääräyskokoelma-> Rakenteiden lujuus ja vakaus->Betonirakenteet, ohjeet 2019. 2019, 4-8.)

Jotta lietesäiliöelementti täyttää tarvittavat viranomaisvaatimukset, tulee tällä tuotteella olla voimassa olevana tuotehyväksyntänä Varmennustodistus-merkki. Lisäksi tuotteella tulee olla myös vapaaehtoinen FI-merkki, jos elementtitehdas valmistaa itse käytettävän betonin. Tällä tuotesertifikaatilla osoitetaan myös, että kansalliset viranomaisvaatimukset täyttyvät. (Ympäristöministeriö, linkit Rakentaminen ja Maankäyttö-> Rakennustuotteet-> Rakennustuotteiden kansalliset hyväksyntämenettelyt->Varmennustodistus; TR 61:2014. 2014, 5.)

Maatalousrakennusten osalta on muodostunut käsitys, että käytettävien rakenteiden suunnittelukäyttöikä olisi 25-30 vuotta. Ajatus on muotoutunut varmaan-kin eurokoodin SFS-EN 1990:2002 pohjalta. Betonistandardissa SFS 7022:2019 on kuitenkin vaatimuksena betonirakenteen käyttöikäsuunnittelu sekä rasitusluokkien tarkastelu, joka tulee tehdä vähintään 50 vuoden suunnittelukäyttöiällä taulukkomitoituksen avulla. Myös ympäristöministeriön asetuksessa 477/2014 kantavien rakenteiden osalta voidaan pitää suunnittelukäyttöikänä vähintään 50:tä vuotta. (SFS-EN 1990:2002. 2002, 50; SFS 7022:2019. 2019, 1; Ympäristöministeriö, linkit Rakentaminen ja Maankäyttö-> Rakentamismääräyskokoelma-> Rakenteiden lujuus ja vakaus->Rakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, säännökset ja ohjeet 2016. 2016, 12.)

Maa- ja metsätalousministeriön tuetun rakentamisen uuden ympäristösuojeluasetuksen vesitiiveysvaatimus perustuu nitraattiasetuksen vaatimukseen, eli lietelantalan ja virtsasäiliön on oltava rakenteeltaan vesitiiviitä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että lanta, virtsa sekä muut nesteet eivät saa joutua maaperään eivätkä pinta- ja pohjavesiin. Nitraattiasetuksen vesitiiveysvaatimus perustuu oletettavasti standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti testattuun paineellisen veden tunkeutumasyvyyteen, joka on enintään 100 mm. (L 25.2.2019/ 266; L 18.12.2014/ 1250.)

5.4 Lietesäilöelementin betonin valinta

Käyttöikäsuunnittelu on rakenteiden kestävyys suunnittelua säilyvyyden osalta ja siksi käyttöikäsuunnittelun edellytyksenä on betonirakenteiden vauriomekanismien sekä näiden aikariippuvuuksien tunteminen. Suunnittelukäyttöikä on ajanjakso, jonka ajan betonirakenteen ominaisuudet valitulla todennäköisyydellä säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisesti kunnossa eli huolletaan. Käyttöikäsuunnittelussa elementin rakennesuunnittelija valitsee suunnittelukäyttöiän, rasitusluokat, lujuusluokan ja betonipiteen paksuuden. Betonin valmistaja valitsee betonin ominaisuudet eli betonin ilmamäärän, pakkasenkestävyyden, vesi-sementtisuhteen sekä sementtityypin. Kun kyseessä ovat rasitusluokat X0/XC; XD/XS; XF; XA, niin

Saatujen valmistajien tuotetietojen sekä kerätyn teoriatiedon perusteella voidaan päätellä, että lietesäiliöelementtien valmistajat käyttävät edelleen vuoden 2017 lopussa minivaatimuksena vanhaa ohjeellista Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohjetta (2004, 2006), joka on ollut sekä TR 15:2014 tuoteryhmäohjeessa että jo myös aiemman TR 15:2007 vaatimusasiakirjana.

Valmistajien ilmoittamien tuotetietojen perusteella kaikki valmistajat eivät toteuttaneet annettuja ohjeellisia suosituksia. Nimittäin jos suunnitteluvaiheessa valittiin jostakin syystä lietesäiliöelementin kriittisimmässä rasiusluokassa kemiallisten rasiusten rasiusluokaksi vain XA1 eikä XA2 tai XA3, johti tämä valinta johdonmukaisesti myös heti heikompaan valmistuksessa käytettyyn tavoitelujuuteen. Tästä voidaankin tehdä johtopäätös, että näiden kolmen eri rasiusluokan valinnan tuloksen erot vaikuttavat eniten lietesäiliöelementissä käytetyn betonin vähimmäislujuusluokkavaatimukseen, vesisementti-suhteeseen sekä betonissa käytetyn sementin vähimmäismäärään.

Saatuja tuotetietoja ja teoriatietoja analysoitaessa voidaankin kysyä, että jos TR 15:2014:n aikaisia lietesäiliöelementin betonin ohjeellisia suosituksia ei toteuteta, niin voidaanko olettaa, että kaikki markkinoilla olevat Varmennustodistusmerkillä ja FI-merkillä varustetut tuotteet saavuttavat viranomaisvaatimuksen.

Lisäksi kerätyn aineistomateriaalin pohjalta, voidaan havaita, että lietesäiliöelementin rasiusluokkien ohjeelliset suositukset ovat tiukentuneet viimeisen reilun kymmenen vuoden aikana. Siksi ihmetyttääkin, ettei lietesäiliöelementin tuotehyväksynnän alaisessa tuotannossa käytetä BY68:ssa esitettyjä lietesäiliöelementin ohjeellisia suosituksia, vaikka nämä suositukset ovat olleet olemassa käytännössä jo vuodesta 2007 lähtien oppaassa BY51. Lisäksi tämä opas on ollut ohjeellisena julkaisuna myös betoninormeissa BY50 ainakin vuosina 2009 - 2016. Tästä syystä käyttöönottamalla BY68:n ohjeelliset suositukset saataisiin vaivattomasti yhtenäiset tuotevaatimukset lietesäiliöelementille, jotka kuvaisivat tämän tuotteen betonin tarvittavien ominaisuuksien luokkia sekä lukuarvoja.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyötä varten haettiin tietoa, mihin käyttöön lietesäiliöitä rakennetaan, millaisia erilaisista lietesäiliöelementtityyppejä on markkinoilla, millainen on lietesäiliöelementin tuotehyväksyntä sekä onko muulla lainsäädännöllä vaatimuksia lietesäiliöelementille. Lisäksi perehdyttiin lietesäiliöelementille suositeltaviin rasisluokkayhdistelmiin ja siihen, mitä lietelanta on ja millaisia tulevaisuuden haasteita elementtiin mahdollisesti kohdistuu.

Työssä koottiin yhteen tietoa betonin käyttöikäsuunnitteluun ja rasisluokkien valintaan liittyen sekä tutustuttiin betonirakentamiseen liittyviin standardeihin, määräyksiin ja ohjeisiin. Lisäksi vertailuaineistoksi ja taustamateriaaliksi pyydettiin markkinoilla olevien väliseinäelementti-tyyppisten lietesäiliöelementtien tietoja. Tietoja kerättiin erityisesti lietesäiliöistä, joiden koko oli alle 2 500 m³. Tällä tavalla selvitystyöhän saatiin kerättyä kattavasti materiaalia siitä, mitkä seikat vaikuttavat lietesäiliöelementissä käytettävän betonin valintaan.

Nykyään lietesäiliöelementiltä tuotteena vaaditaan Varmennustodistus-merkintä sekä myös FI-merkintä, jolloin tämä tuote täyttää tekniset kansalliset viranomaisvaatimukset. Nämä vaatimukset koskevat kaikkia lietesäiliöelementtityyppejä, joita valmistetaan Suomessa tai joita tuodaan maahan.

Tässä selvitystyössä havaittiin, ettei tällä hetkellä lietesäiliöelementillä ole käytössä minkäänlaisia ohjeellisia suosituksia edes rasisluokan valinnassa, joka on kriittisin tekijä betoni koostumuksen tai vaatimusten suhteen. Tästä syystä jää pelkästään lietesäiliöelementin rakennesuunnittelijan vastuulle ratkaista lietesäiliöelementin betonin rasisluokat. Kun käyttöikäsuunnittelu tehdään taulukkomitoituksella, määräytyvät minimivaatimusperusteet betonirakenteen rasisluokkien valinnan jälkeen vaativimman rasisluokan mukaan lujuusluokalle, v/s-suhteelle sekä betonin vähimmäis-sementtimäärälle sekä ilmamäärälle standardin SFS 7022:2019 (50 vuotta) mukaisesti.

Valmistajilta saaduista tuotetiedoista ilmeni, että osa tuotteista ei tavoittanut ns. vanhan Maatalouden betonielementtirakenteet -suunnitteluohjeet (2004/2006) minimivaatimuksia, kun nämä ovat olleet TR 15:2014 -vaatimuksina. Tämän tiedon pohjalta voidaan vetää johtopäätös, että kaikki markkinoilla olevat Varmenustodistus-merkillä ja FI-merkillä varustetut tuotteet eivät ehkä saavuta ohjeellisia suositeltuja viranomaisvaatimuksia. Lisäksi saaduista tuotetiedoista ilmeni, ettei lietesäiliöelementtien valmistajilla ollut yhtenäisiä tuotetietojen esityskäytäntöjä ja tuotetietojen esittämisessä oli runsaasti puutteita.

Työssä havaittiin, että luonnon maaperän ja pohjaveden aiheuttamien kemiallisten rasiusten rasiusluokkien raja-arvojen mittaamisen koemenetelmät tulisi mitata vaadituilla standardoiduilla koemenetelmillä. Näitä samoja koemenetelmiä tulisi käyttää myös mm. maaperän happamien sulfaattimaiden kartoituksessa. Näin saataisiin hyödynnettyä jo kerättyä informaatiota paremmin.

Olemassa olevista happamista sulfaattimaista on olemassa jo kattavasti alueellisia tietoja, mutta tällä hetkellä olemassa olevaa tietoa ei voi hyödyntää ja vertailla suoraan betonirakentamisessa käytettävien vaadittujen koemenetelmien kanssa. Lisäksi jäi epäselväksi, käytetäänkö luonnon maaperän ja pohjaveden aiheuttamien kemiallisten rasiusluokkien raja-arvojen valintataulukkoa myös rakenteen sisäpuolella säilöttävien kemiallisten aineiden rasiusluokkatarkasteluun ja mitä arvoja säilöttävästä aineesta olisi mitattava ja millaisilla menetelmillä.

Tulevaisuudessa tarvittaisiin vielä lietelannan koostumukseen liittyvää kansallista lisätutkimusta siitä, millaisia vaikutuksia on, kun lietelanta biokaasutetaan ja separoidaan tai kun lietelanta happokäsitellään. Olisi kiinnostava tietää, millainen vaikutus näillä edellä minituilla toimenpiteillä on lietelannan aggressiivisuuden ja miten nämä vaikuttavat lietesäiliöelementin betonirakenteen vaatimuksiin.

Opinnäytetyön tekeminen vaati paljon perehtymistä tuotehyväksynnästä, jotta ylipäättään saatiin selvitettyä, minkälainen tuotehyväksyntä lietesäiliöelementillä

on. Lisäksi betonirakentamisen terminologian ja käsitteiden muuttuminen 2000-luvun alusta tähän päivään toi haasteita betonialan kirjallisuuden lukemiseen. Opinnäytetyön tekeminen oli koko matkan haasteellinen, mutta hankaluuksista huolimatta lopputuloksena muodostui kohtuullinen tietopaketti lietesäiliöelementeistä.

LÄHTEET

Acontank™ Luotettava ja pitkäikäinen ratkaisu, isältä pojalle (suomenkielinen esite). 2020. E-Betonelement, Consolis-Group. Saatavissa: https://betonelement.ee/wp-content/uploads/2020/09/cabro_FIN_sept2020_page_by_page.pdf. Hakupäivä 2.11.2020.

Betonirakenteet ohjeet, 2019. 2019. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennukset ja rakentamisen yksikkö. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Betonirakenteet_16122019-281486B7_FA18_4532_82C4_767392EE368F-153760.pdf/f18c7388-5543-aa9b-8c6e-1e0bd5be57e7/Betonirakenteet_16122019-281486B7_FA18_4532_82C4_767392EE368F-153760.pdf?t=1603260655971. Hakupäivä 2.11.2020.

BY201-2018. Betonitekniikan oppikirja. 2019. Vaasa: Suomen betoniyhdistys ry.

BY47-2019. Betonirakentamisen laatuohjeet. 2019. Vaasa: Suomen Betoniyhdistys ry.

BY51-2007. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. 2007. Espoo: Suomen Betoniyhdistys ry.

BY65-2016. Betoninormit. 2016. Vaasa: Suomen Betoniyhdistys ry.

BY68-2016. Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu -opas suunnittelijoille. 2017. Vaasa: Suomen betoniyhdistys ry.

De Belie, N. – Richardson, M. - Braam, C.R. - Svennerstedt, B. – Lenehan, J.J.– Sonck, B. 2000. Durability of Building Materials and Components in the Agricultural Environment: Part I, The agricultural environment and timber structures. Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 75, Issue 3, March 2000, Pages 225-241. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002186349990505X>. Hakupäivä 26.10.2020.

Heikkilä, Jutta 2015. Re: Hei. Liitteenä pdf-tiedostot: TR 61:2014/ 2014 ja TR 15:2014/ 2015. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Elina Tiinanen. 19.10.2015.

Heikkilä, Jutta 2019a. Re: tuotesertifioinnin tuoteryhmäohjeet. Liitteenä pdf-tiedosto: TR 15:2017/ 2018. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Elina Tiinanen. 5.8.2019.

Heikkilä, Jutta 2019b. Re: Vs: tuotesertifioinnin tuoteryhmäohjeet. Liitteenä pdf-tiedosto: TR 15:2007/ 2013. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Elina Tiinanen. 22.11.2019.

Joki-Tokola, Erkki 2015. Re: Tietoa liotelannasta. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Elina Tiinanen. 17.-18.11.2015.

Juutinen, Timo 2017. Lietesäiliö. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Elina Tiinanen 10.10.2017.

Jylänki, Markku 2017. Lietesäiliöt. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Elina Tiinanen 10.10.2017.

Kiwa. Saatavissa: <https://www.kiwa.com/fi/fi//palvelumme/fi-merkki-ja-fi-merkinta-tuotteelle/>. Hakupäivä 28.5.2021.

Kiwa. Saatavissa: <https://www.kiwa.com/fi/fi//palvelumme/varmennustodistus-rakennustuotteille/>. Hakupäivä 28.5.2021.

L 07.01.2002/ 100/01. MMM-RMO C4 Kotieläinrakennusten ympäristöhuolto. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <https://mmm.fi/documents/1410837/1853806/L12-rmoC4-01.pdf/602f946f-a1cb-40e2-bcfb-f175ffa497b2/L12-rmoC4-01.pdf>. Hakupäivä 23.2.2021.

L 07.01.2002/ 100/01. MMM-RMO F3 Ennakkohyväksyntä, yleiset sovellutusohjeet. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjxxfr2l4PvAhXn-yo->

[KHUNnB0EQFjAAeqQIAxAD&url=https%3A%2F%2Ffinlex.fi%2Fdata%2Fnormit%2F8673-01100fil14.pdf&usg=AOvVaw2474e0koArk3tsXJ36PEU3](https://www.finlex.fi/fi/data/normit/2F8673-01100fil14.pdf&usg=AOvVaw2474e0koArk3tsXJ36PEU3). Hakupäivä 24.2.2021.

L 11.7.2013/ 555. Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130555>. Hakupäivä 18.11.2019.

L 18.12.2014/ 527. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141250>. Hakupäivä 24.2.2021.

L 18.12.2014/1250. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141250>. Hakupäivä 26.5.2020.

L 21.12.2012/ 954. Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120954>. Hakupäivä 18.11.2019.

L 27.6.2014/ 527. Ympäristönsuojelulaki. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>. Hakupäivä 18.11.2019.

L 30.1.2015/ 66. Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä annetun ympäristöministeriön asetuksen eräiden säännösten muuttamisesta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150066>. Hakupäivä 18.5.2021.

L25.02.2019/ 266. Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavaa rakentamista koskevista ympäristönsuojeluvaatimuksista. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190266>. Hakupäivä 10.4.2021.

Luja-tankki esite. 2016. Saatavissa https://www.luja.fi/app/uploads/sites/2/2016/12/Luja-tankki_netti.pdf. Hakupäivä 23.2.2021.

Maatalouden betonielementtirakenteet Suunnitteluohje, saatekirje ja julkaisun taulukko 10 eli liite 1. 2006. Helsinki: Betonikeskus ry, Suomen Betonitieto Oy ja RT/Betonitoimiala.

Maatalouden betonielementtirakenteet Suunnitteluohje. 2004. Helsinki: Betonikeskus ry, Suomen Betonitieto Oy.

Mikkola, Hannu -Puumala, Maarit - Kallioniemi, Marja - Grönroos Juha – Nikander, Antero - Holma, Markku 2002. Paras käytettävissä oleva tekniikka kotieläintaloudessa. Suomen ympäristö 564. Suomen ympäristökeskus: Julkaisuarkisto. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40464/SY_564.pdf?sequence=1. Hakupäivä 26.5.2021.

Nieminen, Teemu 2017. Lujatankki nesteen varastointisäiliö. Ylempi ammattikorkeakoulututkinto. Kuopio, Savonia ammattikorkeakoulu: Tekniikan ja liikenteen ala. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/>. Hakupäivä 20.5.2020.

Niininen, Heikki 2017. Lietesäiliö. Sähköpostiviestit. Vastaanottaja: Elina Tiinenen 10.10.2017

Omalannoitteet, RE-maatalan materiaali. Saatavissa: <http://ravinnejaenergia.fi/materiaali/omalannoitteet/lietelantala/>. Haettu 25.5.2021.

Oulun kaupungin rakennusjärjestys. Oulun kaupunki. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/486338/0/Rakennusj%C3%A4rjestys+1.9.2017.pdf/031a1d8e-2a24-42dd-bee3-e194d630559c>. Hakupäivä 13.4.2021.

Punkki, Jouni 2017. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Betoni-lehti 2/2017. s.66-71. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/BET1702_66-71.pdf. Hakupäivä 21.3.2021.

Puumala, Maarit - Paasonen, Merja 2001. Lantavarastot ja pihatoiden ritiläpalkit. Vakolan tiedote 85/2001. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

Vakola: Vihti. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/52208098.pdf>. Hakupäivä 26.5.2021.

Rakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, säännökset ja ohjeet, 2016. 2016. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennukset ja rakentamisen yksikkö. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F_E7C4_4653_BF44_1AB47FB50CB0-137127.pdf/00fb719c-365d-d570-618e-cad1004fbc5b/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F_E7C4_4653_BF44_1AB47FB50CB0-137127.pdf?t=1603260660111. Hakupäivä 24.2.2021.

Rodhe, Lena 2016. WP 2: Feasibility studies, Baltic Slurry Acidification. Saatavissa: <http://balticsslurry.eu/wp-content/uploads/2016/10/Feasibility-studies.pdf>. Hakupäivä 21.3.2021.

Ruuth, Jani 2019. Kiwa Inspecta. Betonituotteiden Sertifiointi, CE-merkintä, varmennustodistus, FI-merkintä, luento. Kiwa Inspecta– Betoniteollisuuden ajankohtaispäivä 1.10.2019 – Kiwa Inspecta Jani Ruuth 2019-01-18. Saatavissa: <https://docplayer.fi/160753925-Betonituotteiden-sertifiointi-ce-merkinta-varmennustodistus-fi-merkinta.html>. Hakupäivä 23.2.2021.

Salo, Tapio - Grönroos, Juha - Luostarinen, Sari - Kapuinen, Petri – Manninen, Kaisa – Rankinen, Katri - Myllyviita, Tanja 2015. Lietelannan happokäsittely lannan ravinteiden käytön tehostamisen tukena. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/520282/luke-lu-bio_56_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Hakupäivä 24.2.2021.

SFS 7022:2015. 2015. Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto (vaatii käyttäjälisenssin).

SFS 7022:2019. 2019. Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto (vaatii käyttäjälisenssin).

SFS-EN 1990:2002. 2002. Eurokoodi: Rakenteiden suunnitteluperusteet Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto (vaatii käyttäjälisenssin).

SFS-EN 1992-1-1+A1+AC. 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto (vaatii käyttäjälisenssin).

SFS-EN 1992-3:2006. 2006. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 3: Nestesäiliöt ja siilot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto (vaatii käyttäjälisenssin).

SFS-EN 206:2014+A1:2016. 2016. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto (vaatii käyttäjälisenssin).

Suikka, Arto 2012. Betonituotteiden CE-merkintä laajenee. Betoni 4/2012. Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1204_60-63.pdf .
[Hakupäivä 18.11.2019.](#)

Tallbacka, Katriina 2020. Kiwa Inspecta. Kolmannen osapuolen valvonta betonteollisuudessa, luento. Kiwa Inspecta– Betonilaborantti ja -myllärikurssi 4.2.2020 – Kiwa Inspecta Katriina Tallbacka 4.2.2020. Saatavissa: <http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonilaborantti-ja-myllari-2020/2.jakso/kolmannen-osapuolen-valvonta-betoniteollisuudessa-2020-02-04-kt.pdf>. Hakupäivä 23.2.2021.

Toivonen, Jere 2018. Ruskon Betoni Oy. Oikea betoni oikeaan paikkaan -betonityypin valinta, luento. Betonirakentamisen laatukiertue VALETAAN YHDESSÄ -ONNISTUEN Jyväskylä 6.11.2018. Saatavissa: <http://www.betoniyhdistys.fi/media/laatukiertue/laatukiertue-betonivalinta-6.11.2018-jyvaskyla.pdf>. Hakupäivä 23.02.2021

TR 15:2007 Tuoteryhmäohje. 2013. Tuotesertifiointi. Betonielementit ja jännitetyt betonielementit. Helsinki: Inspecta Sertifiointi Oy.

TR 15:2014 Tuoteryhmäohje. 2014. Tuotesertifiointi. Betonielementit ja jännitetyt betonielementit. Helsinki: Inspecta Sertifiointi Oy.

TR 15:2017 Tuoteryhmäohje. 2017. Tuotesertifiointi. Betonielementit ja jännitetyt betonielementit. Helsinki: Inspecta Sertifiointi Oy.

TR 61:2014 Tuoteryhmäohje. 2014. Varmennustodistuksen arviointiperusteet. Nestesäiliöelementit, massiivibetoniset laattaelementit ja muut massiivibetoniset elementit. Helsinki: Inspecta Sertifiointi Oy.

Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://ym.fi/varmennustodistus>. Hakupäivä 26.5.2021.

Yrjölä, Karoliina 2018. ProAgria Maitovalmennus 2018. Lietelannan happokäsittelyllä typpi talteen luento 6.9. 2018. ProAgria Keskustenliitto. Saatavissa: https://proagria.fi/sites/default/files/attachment/lietelannan_happokasittelylla_typpi_talteen_karoliina_yrjola_proagria_keskusten_liitto.pdf . Hakupäivä 2.5.2019.