

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka/Korjausrakentaminen ja rakennusrestaurointi

Tiina Maasilta

VEDENALAISTEN BETONIRAKENTEIDEN KUNTO JA TUTKIMUSMENE-
TELMÄT

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

MAASILTA, TIINA

Vedenalaisten betonirakenteiden kunto ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö

50 sivua + 4 liitesivua

Työn ohjaaja

lehtori Sirpa Laakso, lehtori Juha Karvonen

Toimeksiantaja

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu Oy

Maaliskuu 2012

Avainsanat

betoni, satamarakenteet, kunnossapito, vedenalainen, korjausrakentaminen

Opinnäytetyö on tehty Kymenlaakson ammattikorkeakoulun VEBETER-hankkeelle. Työn tavoitteena oli hankkia lähtötietoja vedenalaisten betonirakenteiden vaurioista, tutkimusmenetelmistä ja korjausmenetelmistä. Lisäksi pyrittiin selvittämään, kuinka yleistä on rakenteiden systemaattinen kunnan seuranta Suomen satamissa.

Työssä tarkastellaan satamarakenteiden eri rakennetyyppejä, vaurioitumista sekä korjaus- ja tutkimusmenetelmiä. Niistä tietoa haettiin kirjoista, rakennusalan yrityksiltä ja laitevalmistajilta, Internetistä sekä asiantuntijoita haastatteleamalla. Kyselytutkimus aiheesta suoritettiin joko sähköpostitse tai vieraillemalla satamassa tai alan insinööritöimistössä.

Yleisimmäksi menetelmäksi rakenteiden kuntotutkimuksiin osoittautui silmämääräinen tarkastelu. Talonrakentamisen tutkimuslaitteita oli käytetty vain jossain määrin vesirajassa ja sen yläpuolella. Vedenalaisia tutkimuksia kuitenkin vaikeuttaa usein huono näkyvyys ja soveltuvien laitteiden puuttuminen.

Tulevaisuudessa tavoitteena on kehittää uusia laitteita vedenalaisiin tutkimuksiin sekä saada yleisesti käyttöön systemaattinen rakenteiden kunnan hallinta. Tällöin voidaan varmistaa myös vedenalaisten rakenteiden käyttöturvallisuus ja oikea-aikaiset taloudelliset korjaustoimenpiteet.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

MAASILTA, TIINA

Condition and Survey Methods of Underwater Concrete Structures

Bachelor's Thesis

50 pages + 4 pages of appendices

Supervisor

Sirpa Laakso, Senior Lecturer

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Commissioned by

Kyminlaakson ammattikorkeakoulu

March 2012

Keywords

concrete, port facilities, maintenance, underwater, reconstruction

The goal of this thesis work was to chart the damages and the survey and reparation methods of underwater concrete structures. The work was commissioned by Kyminlaakso University of Applied Sciences for its project called VEBETER. Additionally, an attempt was made to find out how common is the use of condition management systems in Finnish ports.

Port facilities and their different structural types, damages and reparation and survey methods are examined in this thesis. Information was gathered from books, construction companies and equipment manufacturers, from the Internet and by interviewing experts. A questionnaire study was conducted either by e-mail or by visiting ports or engineering offices.

The most common method for the study of structures proved to be visual examination. Equipment normally used in house building quality analysis was used only occasionally in the water line or above it. Underwater examinations are sometimes difficult due to low visibility and sometimes the equipment was used.

The goal of the future is to develop new equipment for the examinations and to get condition management systems in general use.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Kymenlaakson ammattikorkeakoululle. Aloitin opinnäytetyön tekemisen kesällä 2011, ja työ valmistui maaliskuussa 2012.

Haluan kiittää erityisesti ohjaajiani Sirpa Laaksoa ja Juha Karvosta. Kiitos kuuluu myös kaikille kysymyksiini vastanneille ja neuvoja ja materiaaleja antaneille yritysten edustajille.

Kiitän kaikkia opinnäytetyöhöni kuvia antaneita.

Kotkassa

8.3.2012

Tiina Maasilta

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tausta	8
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus	8
2	SATAMARAKENTEET	8
2.1	Satamien luokittelu	8
2.2	Laiturien luokittelu	9
2.3	Laiturien rakennetyypit	11
2.3.1	Gravitaatiolaiturit	11
2.3.2	Paalulaiturit	14
2.3.3	Maanpaineseinälaiturit	16
2.3.4	Ponttonilaiturit	18
2.3.5	Kallioon pultatut laiturit	19
2.4	Satamarakenteissa käytetyt materiaalit	20
2.4.1	Betoni	20
2.4.2	Teräs	20
2.4.3	Puu	21
3	SATAMARAKENTEIDEN VAURIOTYYPIT	21
3.1	Korroosio	21
3.2	Betonin halkeilu	24
3.3	Valuviat	26
3.4	Pinnoitteen irtoaminen, halkeilu ja ohentuminen	26
3.5	Pistekuormasta johtuva louhetäytteisen rakenteen romahtaminen	26
3.6	Törmäysvauriot	26
3.7	Eroosio	27
4	RAKENTEIDEN TUTKIMUSMENETELMÄT	27

4.1	Tutkimusten tyypit	27
4.2	Tutkimusmenetelmät	28
4.2.1	Poranäyte	28
4.2.2	Kimmoveasara	29
4.2.3	Silmämääräinen tutkimus	30
4.2.4	Betonipeitteen mittauslaite (veden päällä)	30
4.2.5	Laserkeilaus	31
4.2.6	Matalataajuusluotaukset	31
4.2.7	Viistokaikuluotaus	31
4.2.8	Ainepaksuusmittaus	31
5	SATAMARAKENTEIDEN VAURIOIDEN KORJAUSMENETELMÄT	32
5.1	Lähtökohdat	32
5.2	Vaurioiden korjausmenetelmät	32
5.3	Vaurioiden ennaltaehkäisy	36
6	HAASTATTELU- JA KYSELYTUTKIMUKSET SEKÄ TULOKSET	40
6.1.1	Tiedonhaku	40
6.1.2	Aikataulu	41
6.2	Tulokset	41
6.2.1	Tutkitut kohteet	41
6.2.2	Tutkimusmenetelmät	41
6.2.3	Tutkimusmenetelmien riittävyys ja luotettavuus	42
6.2.4	Ideoita tutkimusmenetelmiksi	42
6.2.5	Tutkimusten apuna käytetty kirjallisuus	43
6.2.6	Vaurion tyypit	43
6.2.7	Vaurioiden sijainti	44
6.2.8	Vaurioiden laajuus	44
6.2.9	Vaurioiden korjaaminen	45
6.2.10	Vaurioiden seuranta	46
6.2.11	Korjausjärjestys	46
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	47
	LÄHTEET	48

LIITTEET

Liite 1. Saate

Liite 2. Kyselylomake vedenalaisista betonirakenteista

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Suomessa on runsaasti eri-ikäisiä vedenalaisia betonirakenteita satamissa, silloissa ja voimalaitoksissa. Kuitenkin harvassa kohteessa niiden kuntoa ja kunnan heikkenemistä on tutkittu systemaattisesti. Kohteen systemaattinen ja säännöllinen tutkiminen on kuitenkin tärkeää turvallisuuden vuoksi. Useissa kohteissa tutkimus rajoittuu vain silmä määräiseen tarkasteluun, joten rakenteen todellinen kunto saattaa jäädä epäselväksi tai osa vaurioista jäädä kokonaan huomaamatta. Toisaalta vaurioita saatetaan myös ”ylikorjata” varmuuden vuoksi, mikä aiheuttaa merkittäviä turhia kuluja.

Opinnäytetyö on tehty VEBETER-hankkeelle. Hankkeen tavoitteena on kehittää vedenalaisten betoni- ja teräsrakenteiden tutkimiseen soveltuvia menetelmiä, saada tietoa eri-ikäisten betonirakenteiden vaurioista ja kestävydestä ja luoda uusia toimintakonsepteja vedenalaisten betonirakenteiden tutkimiseen.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön aihe liittyy vedenalaisten betonirakenteiden korjausrakentamiseen Suomen satamissa ja muissa makealle tai suolaiselle vedelle altistuvissa betonirakenteissa. Työn tavoitteena oli vedenalaisten betonirakenteiden vaurioiden, tutkimusmenetelmien ja korjausmenetelmien esikartoitus VEBETER-hanketta varten.

2 SATAMARAKENTEET

2.1 Satamien luokittelu

Satamat jaotellaan käyttötarkoituksen ja liikenteen mukaan, mutta usein samalla satamalla on useita eri käyttötarkoituksia.

Matkustajasatamissa liikennöi enimmäkseen matkustaja-aluksiksi rekisteröityjä matkustaja-aluksia. Tavarasatamissa käsitellään ja jaotellaan tavaraa. Kalastussatamissa laiturit ja rakenteet ovat kalastussaaliiden purkamista varten. Satamaa kotisatamanaan käyttävät saattavat käydä satamassaan harvoin pitkien pyyntimatkojen vuoksi. Huvi-

venesatamat ovat tarkoitettu pienveneiden kotisatamiksi tai vierailevien huviveneiden vierassatamiksi. (RIL 236, 13-14.)

Lisäksi rantamuurit kaupunkirakenteessa luokitellaan satamiksi. (RIL 236, 14.)

2.2 Laiturien luokittelu

Laiturit luokitellaan sijainnin mukaan. (RIL 236, 14.)

Kuvissa 1 ja 2 olevat rantalaiturit ovat yleensä taustaltaan täytettyjä ja ne rakennetaan taustalla olevan rannan suuntaisesti. Mikäli laituri rakennetaan irti taustalla olevasta penkereestä, sille rakennetaan kulkuyhteys yhdyssiltojen kautta. (RIL 236, 14.)



Kuva 1 Vuosaaren tavarasataman rantalaitureita (Pitkälä 2012.)



Kuva 2 Vuosaaren tavarasataman rantalaitureita (Pitkälä 2012.)

Pistolaitureita (kuva 3) voidaan käyttää kaksipuoleisina ja ne rakennetaan useimmiten kohtisuoraan rannasta. (RIL 236, 14.)



Kuva 3 Porvoon Kilpilahden öljysataman pistolaituri 2/3 (Pitkälä 2012.)

Tihtaalilaitureissa alukset nojaavat erillisiin laituritihtaaleihin, ja tihtaalit on yhdistetty toisiinsa kävelysilloilla. Mikäli tihtaalit yhdistetään toisiinsa järeämmillä putkijohteilla, puhutaan johdelaitureista. (RIL 236, 14.)

Offshorelaitureita käytetään tyypillisesti öljylaitureina. Riittävän vesisyvyyden varmistamiseksi ne rakennetaan tarpeeksi kauas rantaviivasta. (RIL 236, 14.)

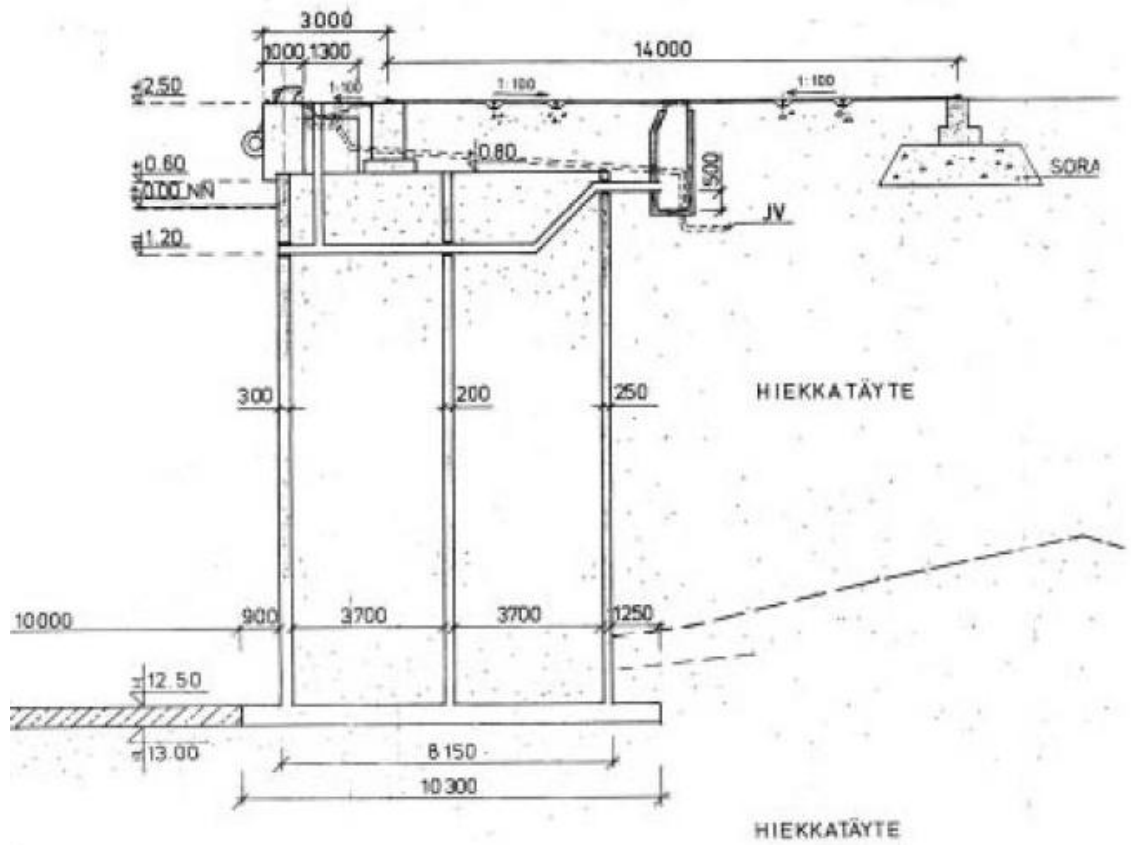
Sataman laitureita suojataan aalloilta aallonmurtajilla. (RIL 236, 14.)

2.3 Laiturien rakennetyypit

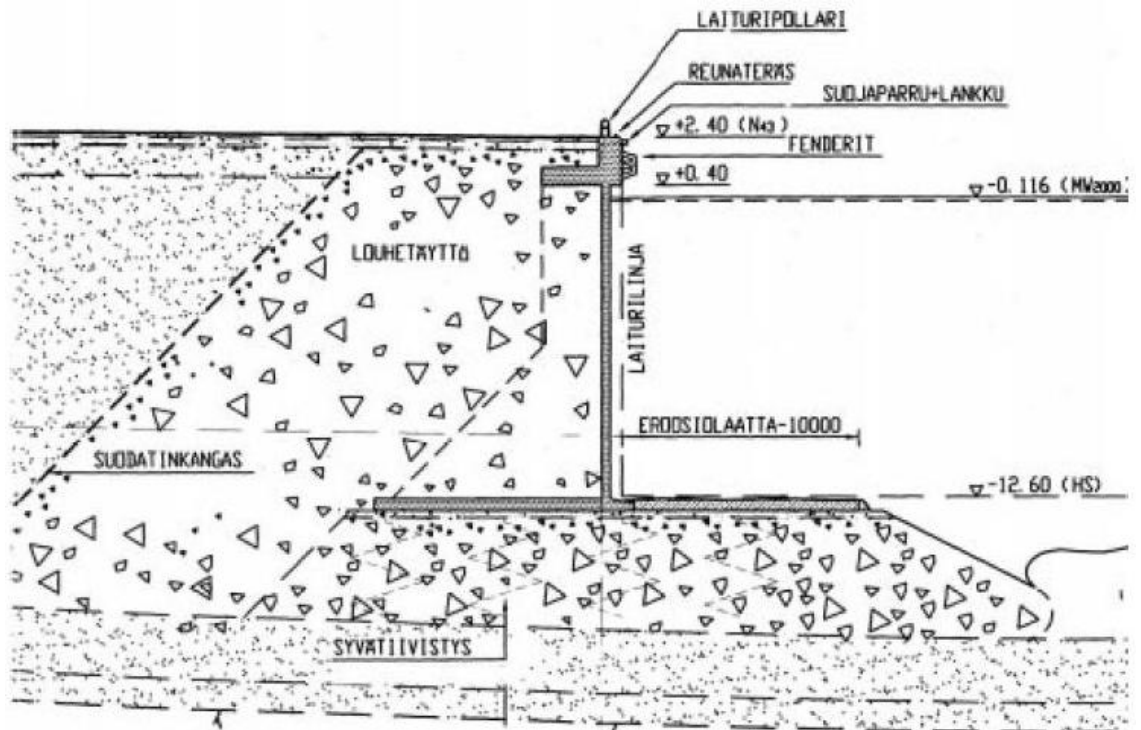
2.3.1 Gravitaatiolaiturit

Laiturin tasapaino perustuu rakenteen suureen omapainoon, jolloin laituri on stabiili suuresta vaakavoimakuormasta huolimatta.

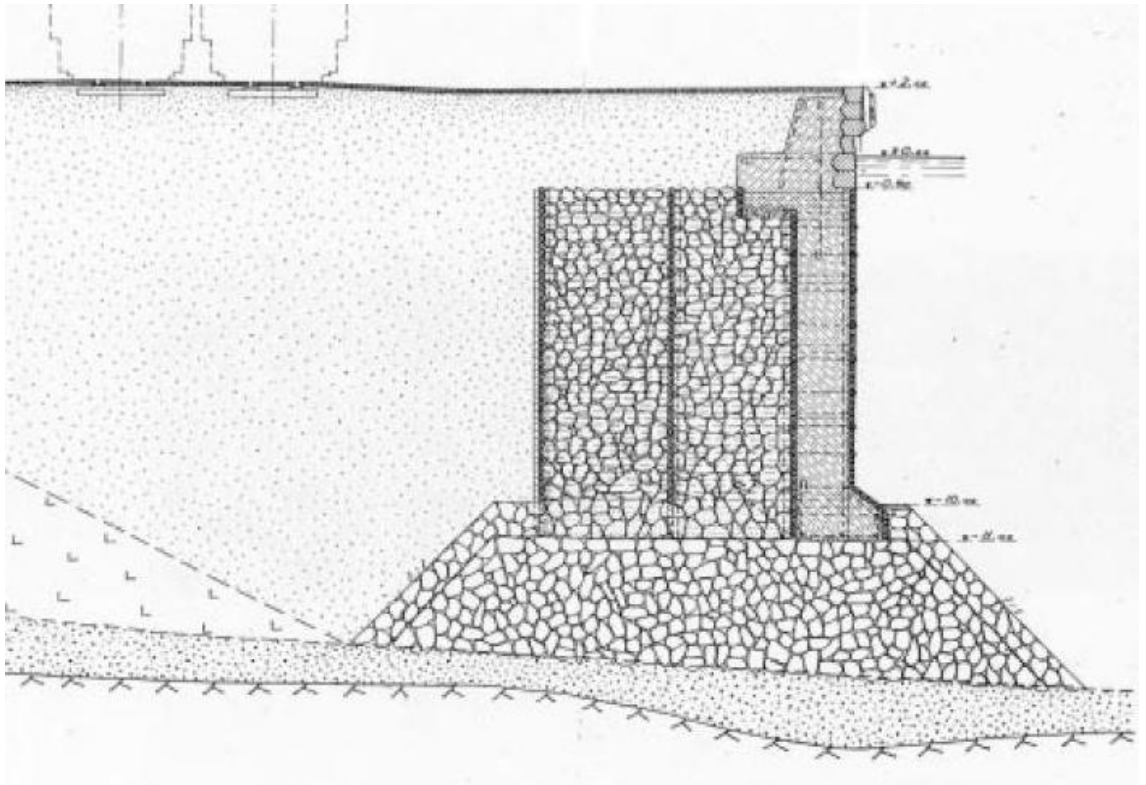
Kasuunilaitureissa (kuva 4) vedenalainen kantava runko muodostuu esivalmistetuista kasuuneista, jotka on tehty vedenpinnan yläpuolella. Kasuunit uitetaan laituri paikalle, upotetaan paikoilleen ja täytetään hiekalla tai louheella. Pienissä rantamuureissa voidaan käyttää **massiivikivimuureja**. Massiivikivimuuri muodostuu päällekkäin ladotuista muotoon hakatuista kiviblokeista. **Massiivibetoniblokkilaiturit** puolestaan muodostuvat betoniblokeista, jotka myös ladotaan päällekkäin nosturin avulla. **Kulmatukimuurilaiturit** (kuva 5) tehdään L-kirjaimen muotoisista, kuivalla maalla esivalmistetuista elementeistä. Paikoilleen ne asennetaan uivan nosturin avulla. Kuiva-työnä laituria rakennettaessa kulmatukimuurit voidaan valaa suoraan paikoilleen. **Arkkulaiturit** (kuva 6) ovat louhekivi- ja betonitäytteisiä ja ne valmistetaan joko rannalla tai jään päällä. Tämän jälkeen ne uitetaan tai upotetaan paikoilleen. **Massiiviset valetut betonilaiturit** (kuva 7) valetaan rakennuspaikalle muottien avulla. Kuvassa näkyy myös laiturin eteen Contractor-menetelmällä valettu eroosiolaatan rakenne. (RIL 236, 15.)



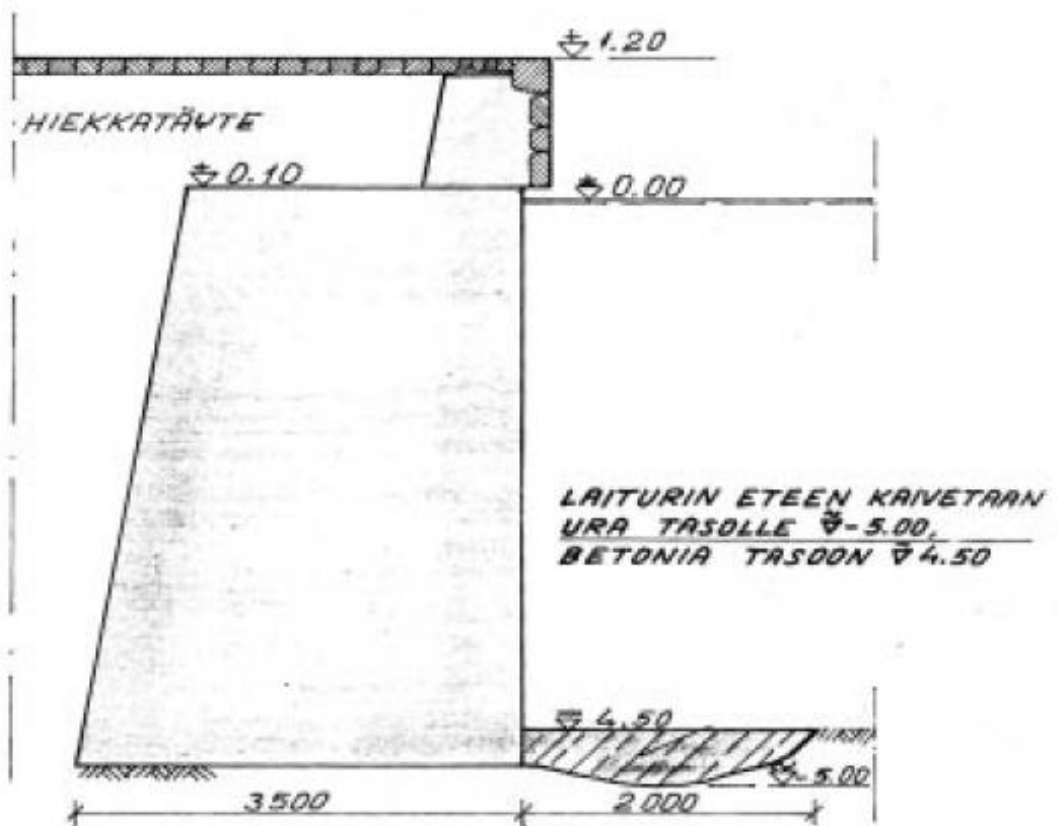
Kuva 4 Kasuunilaiturin rakenne (RIL 236, 175.)



Kuva 5 Kulmatukimuurilaiturin rakenne (RIL 236, 176.)



Kuva 6 Arkkulaiturin rakenne (RIL 236, 176.)

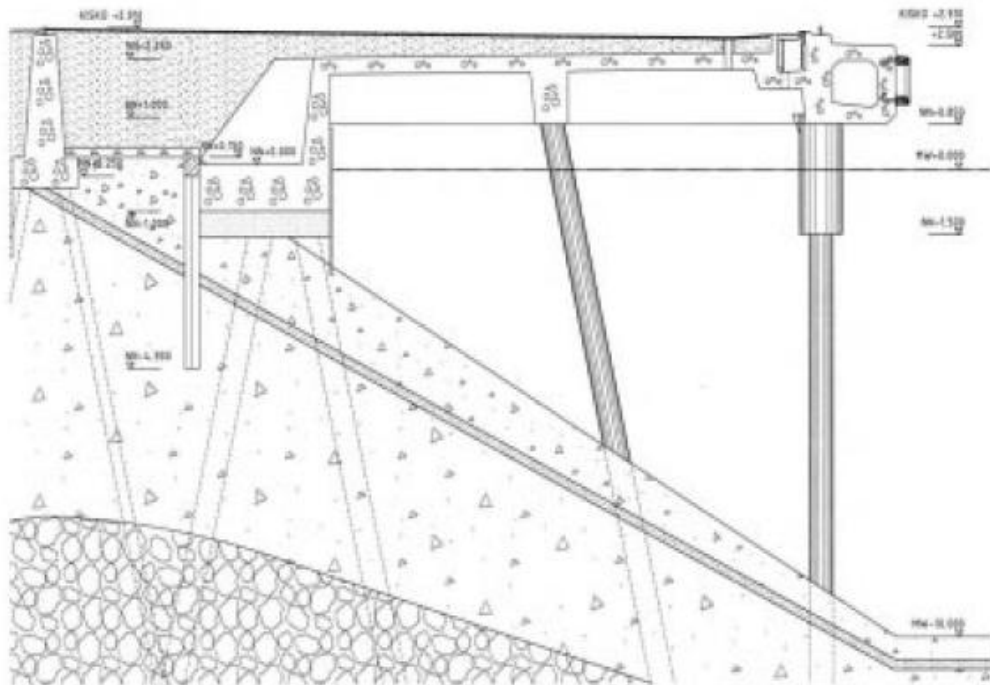


Kuva 7 Valetun betonilaiturin rakenne (RIL 236, 178.)

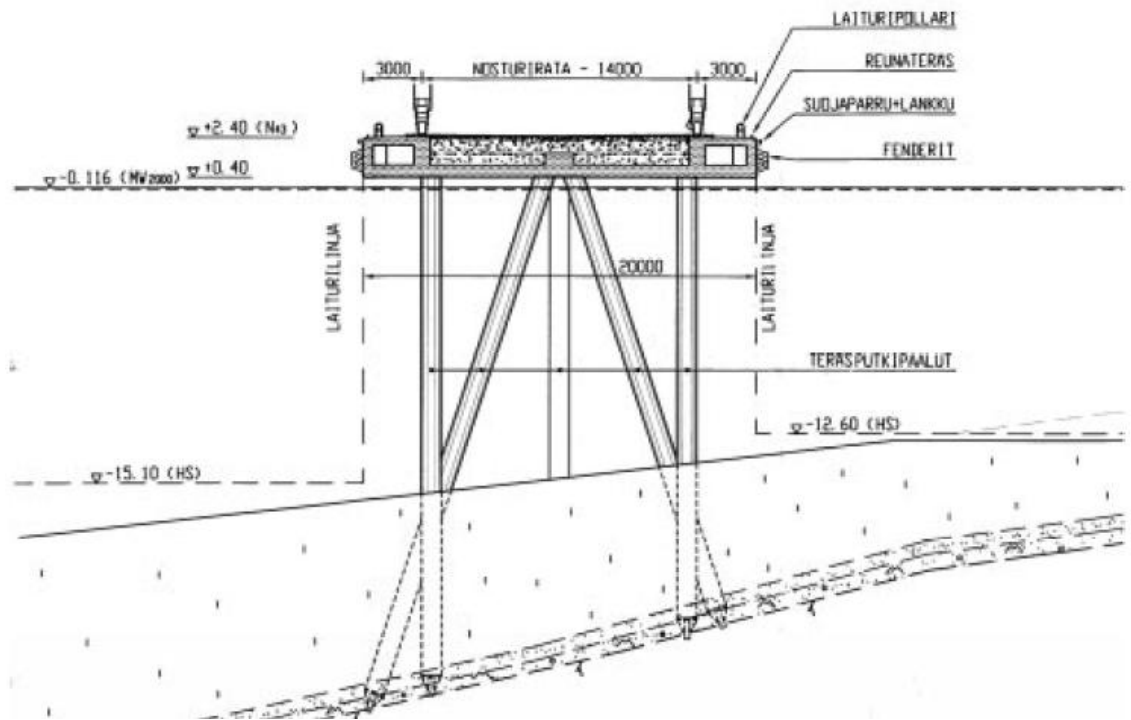
2.3.2 Paalulaiturit

Paalulaiturien kantavuus perustuu siihen, että pystykuormat vietään kansirakenteilta paaluilla alas maaperään. Vaakakuormien vaikutukset otetaan vastaan vinopaaluilla tai laiturin taustalla maatuilla ja/tai ankkureilla.

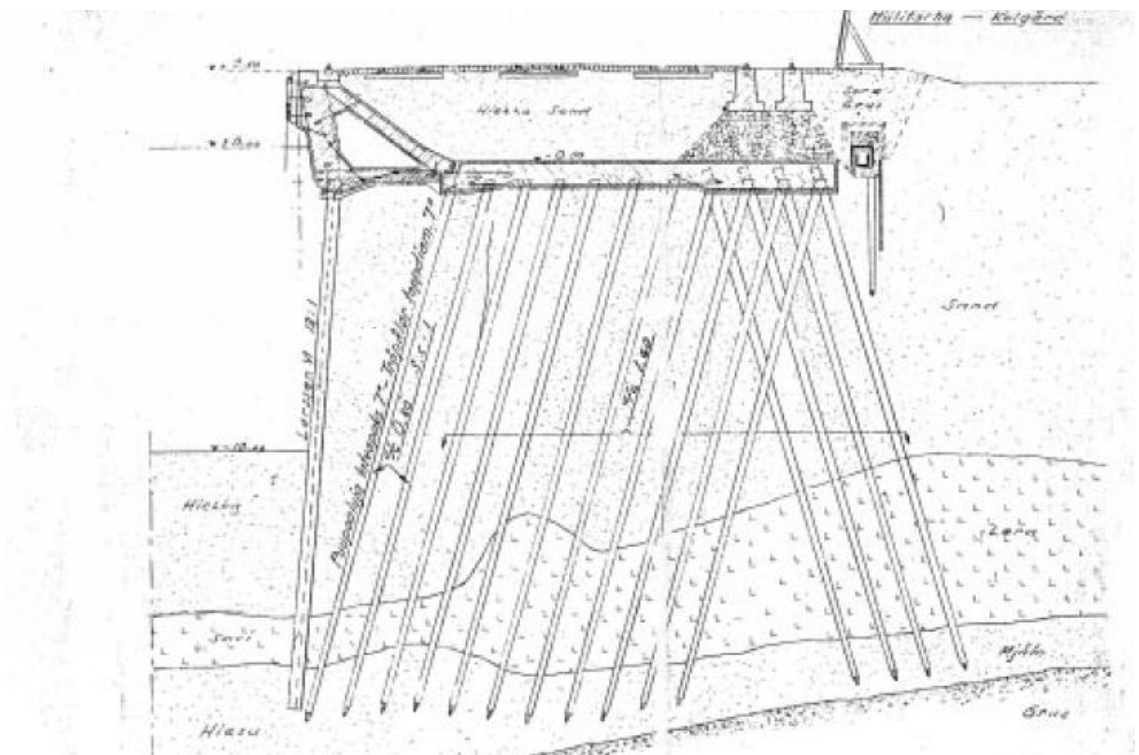
Puoliavoimissa paalulaitureissa tai avoimissa paalulaitureissa (kuvat 8 ja 9) laiturikansien alusta on avoin. Puoliavoimissa laitureissa pohja nousee laituriviivalta takamuuriin kiinni. Vesisyvyys on molemmin puolin suurin piirtein sama avoimissa paalulaitureissa. **Pilarilaiturit** (kuva 11) ovat muuten samanlaisia kuin paalulaiturit, mutta niissä on paalujen sijaan kallion varaan valettu pilareita. Pilarit voivat tukeutua myös pohjaan asennettuihin betonitäytteisiin hirsiarkkuihin, jolloin kyseessä on pilari- tai arkkulaituri. **Pontti-paaluvarinalaitureissa** (kuva 10) laiturikansi on paalutettu arinarakenne ja laiturin etureuna on teräsponttiseinä tai paaluista ja ponteista muodostuva kombiseinä. Arinarakenne voi olla sellaisenaan laiturin pintakansi, tai sen päällä saattaa olla täytettä. Sen alusta on täytetty kitkamaalla, samoin ponttiseinän tausta. (RIL 236, 15–16.)



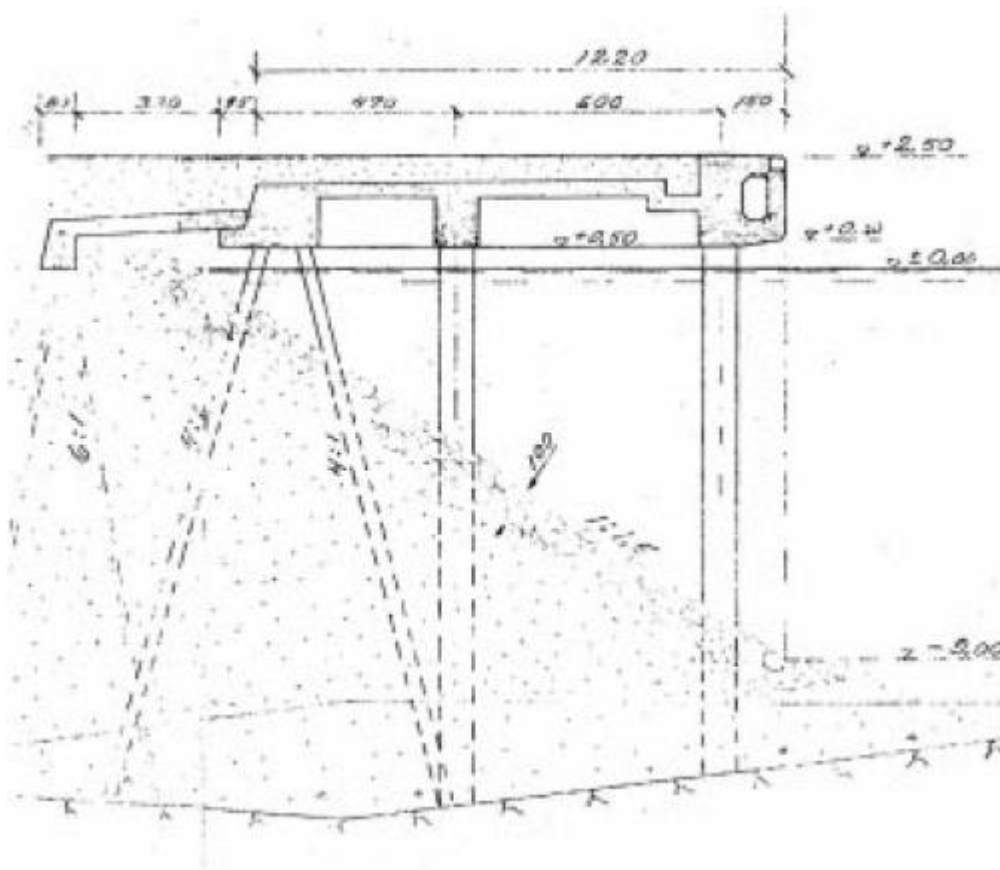
Kuva 8 Puoliavoimen paalulaiturin rakenne (RIL 236, 179.)



Kuva 9 Avoimen paalulaiturin rakenne (RIL 236, 179.)



Kuva 10 Pontti-paaluarinalaiturin rakenne (RIL 236, 180.)



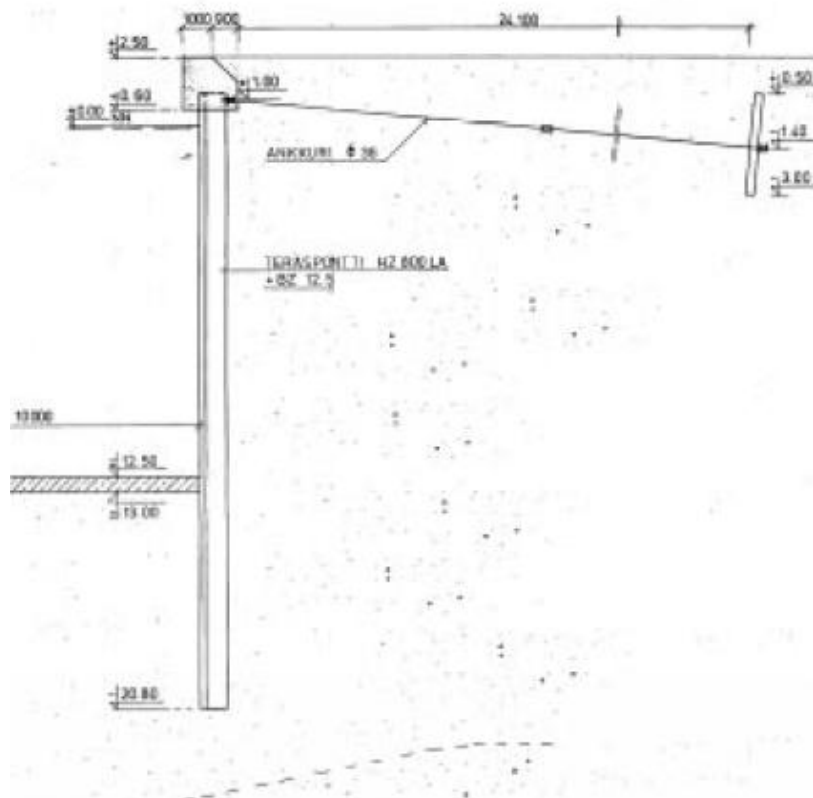
Kuva 11 Pilarilaiturin rakenne (RIL 236, 180.)

2.3.3 Maanpaineseinälaiturit

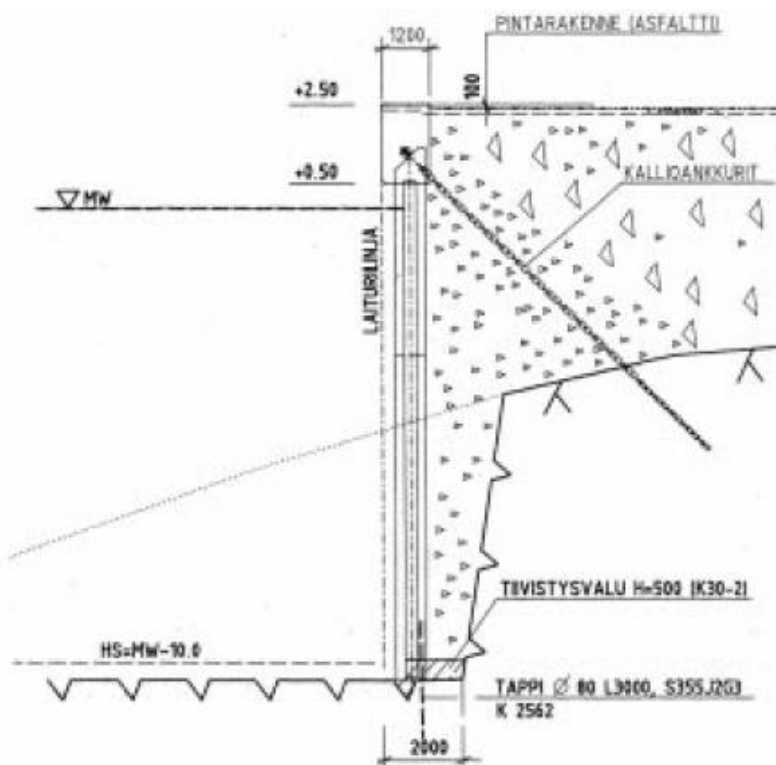
Maanpaineseinälaitureissa laiturien taustatäytöstä syntyvä vaakasuora maanpaine kumotaan seinän yläosassa teräsrakenteisilla vaaka-ankkureilla ja alapäässä riittävällä upotussyvyydellä.

Ankkuroidut betoniponttiseinät tehdään betoniponteista, jotka tukeutuvat tiiviisti toisiinsa. **Ankkuroidut teräsponttiseinät** (kuva 12) puolestaan muodostuvat lukoilla toisiinsa kiinnitetyistä, linjassa olevista teräsponteista. Ne tuetaan joko maa- tai kallio-ankkureilla perusmaahan tai ankkuritauluun vaakasuorilla ankkureilla. **Ankkuroimat-
tomat teräsponttiseinät** ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin ankkuroidut teräsponttiseinälaiturit, mutta niitä voidaan käyttää vain tilapäisseinissä ankkuroimattomuuden vuoksi. Lisäksi vesisyvyuden tulee olla pieni. **Ankkuroidut teräsponttiseinälaiturit** (kuva 13) rakennetaan ponttilukoilla (kuva 14) toisiinsa kiinnitetyistä teräspontista. Kuvista 15 ja 16 käy ilmi putkiponttien profiileja. **Teräsponttilieriölaiturit** rakennetaan lyömällä yleensä ympyrän kehälle teräspontteja. Ponteilta ei vaadita

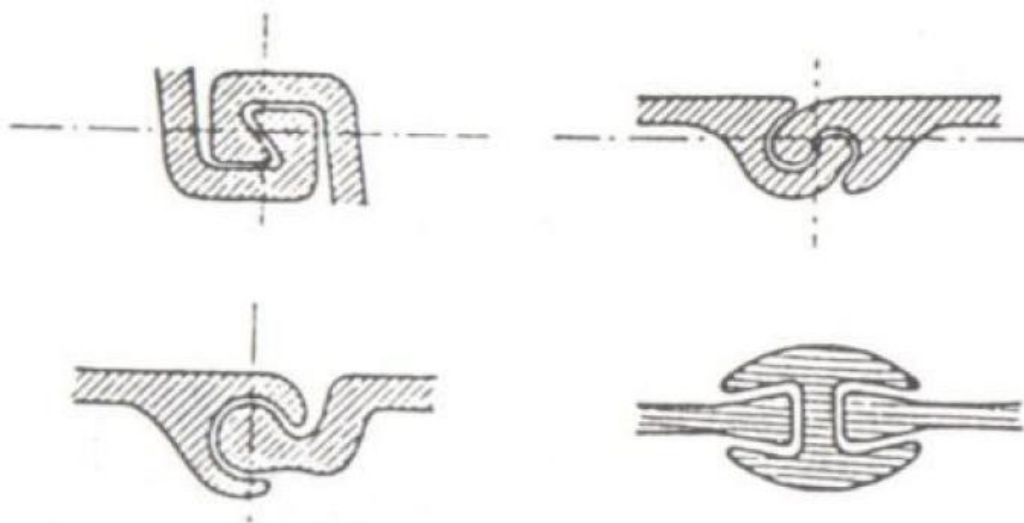
suurta taivutusvastusta, sillä rasitus siirretään ponteille kehäjännityksenä. (RIL 236, 16.)



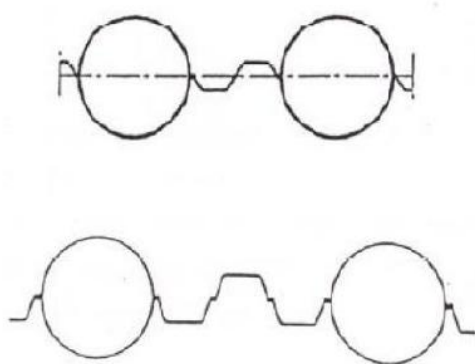
Kuva 12 Ankkuroidun teräsponttiseinän rakenne (RIL 236, 182.)



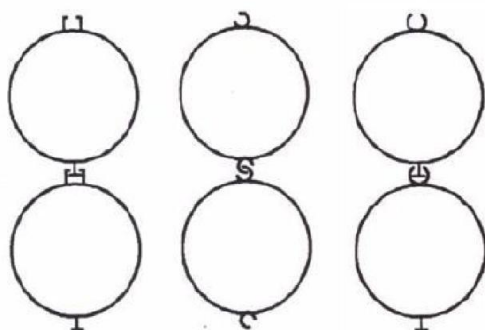
Kuva 13 Ankkuroidun teräsponttiseinän rakenne (RIL 236, 182.)



Kuva 14 Muutamia yleisesti käytössä olevia ponttilukkotyyppejä (Karvonen 2012.)



Kuva 15 Putkiponttiprofiileja (Karvonen 2012.)



Kuva 16 Putkiponttiprofiileja (Karvonen 2012.)

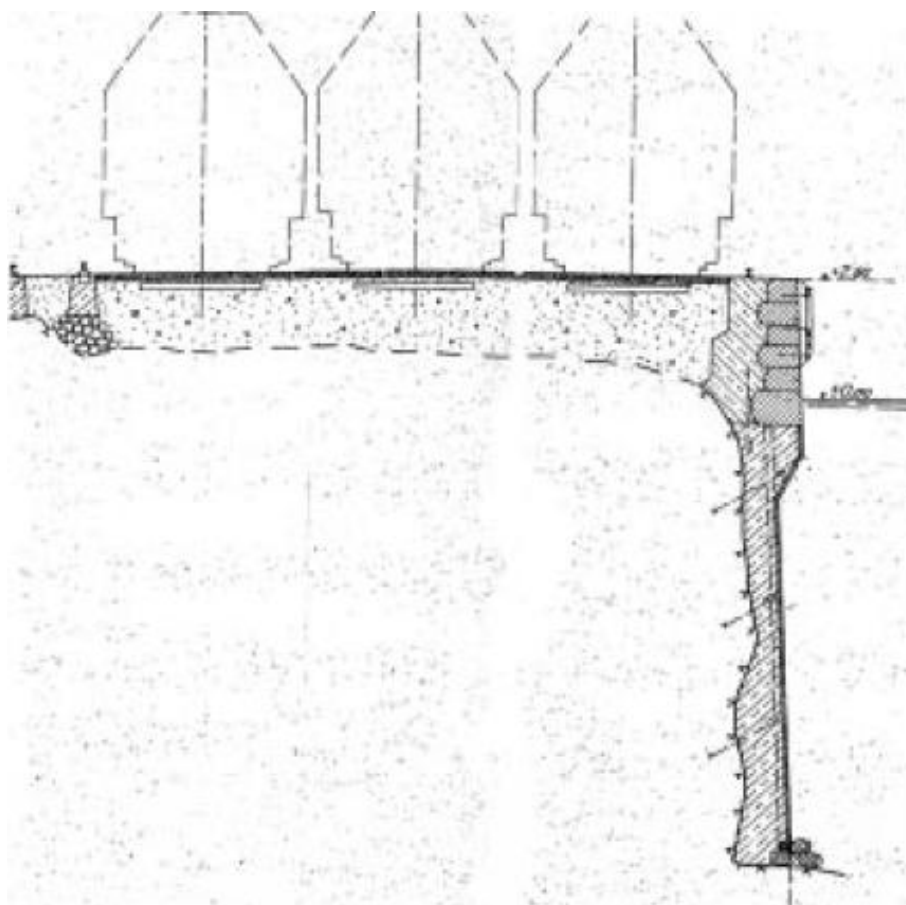
2.3.4 Ponttonilaiturit

Teräsponttonilaiturit muodostuvat joko yhdistämällä umpeenhitsattuja kierresaumaputkia tai hitsaamalla jäykistettyjä teräslevyjä. **Betoniponttonilaiturin** ponttonin sisällä on yleensä muottina polystyreenitäyte. Ponttoni voi olla pohjastaan avoin tai um-

pinainen. **Muoviponttonilaiturit** tehdään muoviputkista tai usein suorakaiteenmuotoisista, erillisistä laatikoista. **Puuponttonilaiturit** tehdään joko massiivisesta puusta tai lankuista kootuista laatikoista. (RIL 236, 16–17.)

2.3.5 Kallioon pulttatut laiturit

Vahvistettujen kallioseinämuurien (kuva 17) perustana on louhittu kallioseinä. Tämän päälle rakennetaan laiturimuuri. Kallioseinän eteen voidaan myös valaa betoniseinä ja tämän päälle tehdä laiturimuuri. (RIL 236, 15.)



Kuva 17 Vahvistetun kallioseinälaiturin rakenne (RIL 236, 177.)

2.4 Satamarakenteissa käytetyt materiaalit

2.4.1 Betoni

Betoni on yleinen ja hyvin soveltuva materiaali laiturirakenteisiin. Se on sementistä, kiviaineksesta ja vedestä koostuva rakennusmateriaali, jonka ainesosat kiinnittyvät yhteen kemiallisen reaktion seurauksena. Betonin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa osainaineiden valinnalla ja niiden seossuhteiden määrittämisellä eli suhteituksella. Betoniin voidaan lisätä myös lisä- ja seosaineita kovettuneen betonin ominaisuuksien parantamiseksi tai tuoreen betonin työstettävyyden parantamiseksi. (RIL 236, 20.; Encyclopedia Britannica, 2012a; Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 31.)

Vaativien ympäristöolosuhteiden vuoksi satamarakenteissa käytettäville betonirakenteille on laatuvaatimuksia. Betonin lujuusluokan ja sementtimäärän tulee olla riittävän korkeita (esim. K 50 sekä 350 kg/m³) kulutuskestävyyden turvaamiseksi. Kulutuskestävyyttä vaaditaan alusten potkurivirtojen sekä alusten ja laiturin väliin puristuvien jäiden vuoksi. (RIL 236, 78–79.)

Satamarakenteet kuuluvat rasitusluokkiin XS1, XS2 ja XS3. Rasitusluokkaan XS1 kuuluvat rakenteet avomeren rannalla. Rasitusluokkaan XS2 kuuluvat merirakenteiden ja siltojen merivedenalaiset osat. Rasitusluokkaan XS3 kuuluvat merirakenteiden ja siltojen meriveden vaihtelu- ja roiskevaikutuksille alttiit osat. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 87.)

Suomen Betoniyhdistyksen kirjassa BY 50 Betoninormit 2004 on sivulla 99 taulukko, josta selviävät sallitut sementtilaadut ja lisäaineet eri rasitusluokissa (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 99.)

2.4.2 Teräs

Laitureissa käytetään terästä teräsponttiseiniä ponttilankuissa, paalulaitureiden paaluissa ja ylärakenteen kantavissa palkeissa. Teräsrakenne tulee suojata korroosiota vastaan. (RIL 236, 20.)

Lisäksi terästä käytetään ankkureissa, kalliotapeissa ja laiturivarusteissa.

2.4.3 Puu

Puuta käytetään satamarakenteissa esimerkiksi puupaaluissa, laiturien suojauksissa ja hirsiarkkulaitureissa. Aikaisemmin suuri osa laiturin rakennusmateriaaleista oli puuta. Säilyäkseen puurakenteiden tulee kuitenkin olla jatkuvasti vedenpinnan alapuolella. Kestävyys on huono vedenpinnan vaihtelualueella. Paineekyllästetty puu kestäisi käytössä paremmin, mutta kiristyvien ympäristömääräysten vuoksi niiden käyttö on rajoitettua. (RIL 236, 20.)

Mikäli puupaalu ei ole jatkuvasti vedenpinnan alapuolella, se voi alkaa lahota (kuva 18). Lahoamisreaktio vaatii riittävästi kosteutta ja ilmaa alkaakseen.



Kuva 18 Lahoamiselle altistuneita puupaaluja (Karvonen 2012.)

3 SATAMARAKENTEIDEN VAURIOTYYPIT

3.1 Korroosio

Yleinen vaurio satamarakenteissa on betoniterästen korroosio (kuvat 19 ja 20). Korroosiolla tarkoitetaan kemiallisten reaktioiden, pääasiassa hapettumisen, aiheuttamaa haitallista kulumaa. Ilmassa olevat kaasut aiheuttavat kemiallista korroosiota. Ilman hapen reagoiessa useiden metallien kanssa metallin pintaan muodostuu oksidikerros. Oksidikerroksen ollessa tiivis, se suojaa metallin jatkuvalta syöpymiseltä. Mikäli ok-

sidikerros on huokoinen, syöpymisreaktio jatkuu. Metalliesineiden korroosiota kiihdyttävät teollisuusilmaston korkeat CO₂- ja SO₂-pitoisuudet. Yleisesti puhutaan ruostumisesta tarkasteltaessa metalliesineiden korroosiota. (Encyclopedia Britannica, 2012b; Laitinen & Korhonen 1982, 261.)

Rakenteen sisään syntyy pakkovoimia betoniterästen ruostuessa, sillä teräs paisuu ruostuessaan jopa 3–4-kertaiseksi poikkileikkausmitoiltaan. Betoni, jolla on heikko vetolujuus, ei näitä kuormia kestä. Teräksen korrosio vaatii sopivan kosteus- ja happipitoisuuden ja happea. Korrosio alkaa suhteellisen kosteuden ollessa n. RH 65–70 ja normaaliolosuhteissa kiihtyy suhteellisen kosteuden ollessa yli RH 85. Betonin korrosioolosuhteisiin vaikuttavat useat tekijät, kuten ilman kosteus ja muut kosteuslähteet, pinnoitteet, ilmavirtaukset sekä lämpötilaerot rakenteen ja ympäristön välillä. (Uudenkaupungin isännöitsijäkeskus, 2012)

Yleinen korroosiota aiheuttava tekijä on betonin karbonatisoituminen. Siinä betonin emäksisyys eli PH-arvo laskee ilman hiilidioksidin reagoiessa betonin kanssa. PH-arvon laskiessa alle raja-arvon korkean PH-arvon antama suoja korroosiota vastaan katoaa ja teräs alkaa ruostua, mikäli kosteusolosuhteet ovat sopivat. (Uudenkaupungin isännöitsijäkeskus, 2012)

Kloridit voivat aiheuttaa korroosiota, vaikka betoni olisikaan karbonatisoitunutta. Nykyään klorideja ei enää käytetä betonin valmistuksen yhteydessä, mutta kloridit tunkeutuvat betoniin suolauksen seurauksena tai merivedestä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 99.)

Kloridi-ionit tunkeutuvat betoniin vähitellen, mutta eivät yhtä helposti kuin vesi. Kloridipitoisuus pienenee tasaisesti mentäessä betonin pinnalta syvemmälle. Tunkeutumisenopeuteen vaikuttaa betonin tiiveys sekä käytetty sementtilaatu. Portlandsementtibetoniin kloridit tunkeutuvat nopeammin kuin masuunisementtibetoniin. Betonipinnan impregnointi eli betonipinnan käsittely silikonipitoisella geelimäisellä impregnointiaineella estää kloridien etenemistä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 99.)

Betonia rasittaa merivedessä ja meriveden vaihtelualueella jäätymis-sulamisrasitus sekä hiilidioksidi, joka aiheuttaa karbonatisoitumista. Lisäksi meriveden suolat aiheuttavat korroosiorasitusta. (RIL 236, 20.)



Kuva 19 Betonin rapautumista ja terästen korroosiota kannen alla olevassa kantavassa rakenneosassa (Helsingin satama 2012.)



Kuva 20 Betonin rapautumaa ja lohkeilua sekä betoniterästen korroosio kansirakenteen reunamuurissa (Karvonen 2012.)

3.2 Betonin halkeilu

Betoniin syntyy halkeamia vetolujuuden ylittyessä (kuvat 21 ja 22). Rakenteen säilyvyyden, oikean staattisen toiminnan ja ulkonäön vuoksi on huolehdittava siitä, että halkeilu pysyy hallinnassa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 92.)

Betonin halkeilua voi esiintyä sekä heti valun jälkeen että useita vuosia vanhoissa rakenteissa. Uudessa rakenteessa betonin kovettumisvaiheen lämpötilaerot voivat aiheuttaa betonin halkeilua. Halkeamat syntyvät betonin vetolujuuden ja muodonmuutuskyvyn ylittyessä kutistumien vuoksi. Kutistumia aiheuttaa betonin jäähtyminen ja se, että muodonmuutokset eivät pääse tapahtumaan vapaasti. Betoniin muodostuu lämpöä sementin hydrataation seurauksena. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 92., 94-95.)

Halkeamat lisäävät betonin läpäisevyyttä eli alentavat aina sen laatua. Tiivis betoni suojaa betonin raudoituksia sekä fysikaalisesti että kemiallisesti, mutta halkeamat vähentävät suojaavaa vaikutusta. Halkeamat mahdollistavat haitallisten aineiden pääsyn betoniin. Olosuhteiden mukaan yli 0,2–0,4 mm:n halkeamat ovat kaikkein haitallisimpia, sillä ne ulottuvat raudoitukseen asti. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 92.)

Alle 0,05 mm leveitä halkeamia betonissa kutsutaan mikrohalkeamiksi. Ne johtuvat betonin erilaisten osa-aineiden erilaisesta laajenemisesta betonin vetolujuuden ollessa vielä alhainen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 96.)



Kuva 21 Pystysuuntaisia kutistumisesta johtuvia halkeamia (Karvonen 2012.)



Kuva 22 Pumppauskaivon pohjassa esiintyvää rapaamaa, halkeamia sekä kalkki-
vuotoa rakenteen läpi (Karvonen 2012.)

3.3 Valuviat

Valuvioissa betonin valuvaiheessa on tapahtunut jokin työvirhe, kuten huono tiivistys, jonka vuoksi betonin laatu ei ole paras mahdollinen. Lievissä valuvirheissä betonissa on pieniä yksittäisiä valuvikoja eli rotankoloja. Betonin pinta voi olla harva tai erottunut. Vakavammissa valuvirheissä erottunut kerros voi olla syvä tai onkalo ylittää raudoitukseen asti, mikä altistaa korroosiolle. (RIL 236, 145.)

3.4 Pinnoitteen irtoaminen, halkeilu ja ohentuminen

Pinnoitteen irtoaminen, halkeilu ja ohentuminen johtuu toimintakyvyn heikkenemisestä pinnoitteesta tai muussa suojauksessa. (RIL 236, 145.)

3.5 Pistekuormasta johtuva louhetäynteisen rakenteen romahtaminen

Mahdollinen vaurio satamarakenteen kannessa on myös kannen romahtaminen. Tämä voi johtua siitä, että täyttömateriaali on huuhtoutunut pois esimerkiksi eroosion vuoksi. Tällöin ei vaadita suurta pistekuormaa jotta rakenne romahtaa.

3.6 Törmäysvauriot

Satamarakenteisiin syntyy halkeamia ja lohkeamia (kuva 23) alusten törmäilystä rakenteisiin. (Jokimies 2011.)

Rakenteeseen kohdistuva voimaa voidaan arvioida aluksen liike-energian perusteella. Laiturirakenteiden ja fendereiden tulisi vaimentaa tämä energia, jotta rakenteet eivät vaurioituisi. Rakenteita ei kuitenkaan kannata taloudellisista syistä mitoittaa kestämään kaikkia mahdollisia onnettomuuskuormia, sillä laiva voi vahingoittaa rakenteita törmätessään laituriin väärässä asennossa tai liian suurella nopeudella. Sen sijaan suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota siihen, että törmäyksistä aiheutuvat vahingot olisivat yksinkertaista tehdä sekä kohtuuhintaisia. (Karvonen 1996.)



Kuva 23 Aluksen törmäyksen tai hankauksen vuoksi rikkoutunut fenderi (Karvonen 2012.)

3.7 Eroosio

Eroosiossa pohjan maa-ainekset siirtyvät potkurivirtojen vuoksi. Erityisen paljon eroosiota aiheuttavat rantautuminen ja ulos lähtö, erityisesti talvisin, sekä poikittaisten ohjailupotkurien ja kaksoispotkurien ristikäyttö. Eroosion voi havaita pohjassa olevista kuopista ja kohoumista, maa-ainesten valumisesta rakenteiden läpi, koloista laivan potkureissa sekä rakenteiden siirtymisestä. (RIL 123, 246.)

Nykyisin eroosiosuojana käytetään pohjaan valettua laattaa, joka muodostuu lokero-palkeista ja niiden väleihin valetusta betonista. Aikaisemmin suojarakenne tehtiin louheesta tai irtokivistä. Sen tarkoitus oli suojata hirsiarkun juuriosa syöpymiseltä. Myöhemmin kyseisiä rakenteita on korjattu pumppaamalla louheen tai kivien sekaan betonia. (RIL 236, 167.)

4 RAKENTEIDEN TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Tutkimusten tyypit

Satamarakenteita voidaan tutkia joko yleis- tai erikoistutkimuksilla.

Yleistutkimus on usein silmämääräisesti, ilman mittauslaitteita tehtävä rakenteiden kunnan tarkastus. Yleistarkastus tehdään maan pinnalta esimerkiksi luiskalla seisten tai laiturirakenteen kannen päältä, veneestä tutkien kansirakenteiden ala- ja etuosat tai vesirajassa ja vedenpinnan alapuolella sukeltamalla. (RIL 236, 134.)

Erikoistarkastuksessa rakenteiden kunto selvitetään perusteellisemmin. Erikoistarkastus voidaan tehdä sekä vedenpinnan yläpuolella että veden alla, mikäli käytettävissä on soveltuvia laitteita. Rakenteet voidaan mitata kohteessa tai laboratorio-olosuhteissa näytekappaleesta. Tyypillisiä erikoistarkastuksessa tehtäviä mittauksia ovat betonin karbonatisoitumisen, kloridipitoisuuden, pakkasrapautumisen ja lujuuden määritykset, peitepaksuuden mittaaminen, halkeamien mittaaminen, rakenteiden syöpyimis- ja kulumismittaukset kuten pohjan eroosio sekä teräksen ainepaksuuden mittaukset. (RIL 236, 134.)

4.2 Tutkimusmenetelmät

4.2.1 Poranäyte

Poranäyte otetaan rakenteesta timanttiporalla poraamalla. Koekappaleesta voidaan tutkia laboratorio-olosuhteissa esimerkiksi puristuslujuus, vetolujuus, kloridipitoisuus, karbonatisoituminen ja pakkasenkestävyys.

Betonin puristuslujuustestauksessa näytekappale puristetaan rikki. Koekappaleen rikkoneesta voimasta voidaan laskea betonin lujuus. Vetolujuudella testataan, kuinka paljon vetoa koekappale kestää.

Karbonatisoituminen tarkoittaa betonin neutraloitumisreaktiota. Se johtuu hiilidioksidin tunkeutumisesta betoniin, joka täten alentaa huokosveden emäksisyyttä.

Kloridia on aikaisemmin käytetty betonirakenteissa kiihdyttimenä eli betonin kovettumiseen johtavaa kemiallista reaktiota nopeuttavana aineena. Ne ovat kuitenkin betonirakenteessa haitallisia, sillä ne käynnistävät raudoituksen korroosion nopeasti ja kiihdyttävät pakkasrasitusta. Betonin kloridipitoisuus voidaan tutkia poranäytteestä laboratorio-olosuhteissa. (Huura Oy 2011.)

Betonin pakkasenkestävyyden arviointiin voidaan käyttää suojahuokosten määrää, kokoa ja niiden etäisyyttä toisistaan. Suojahuukokset ovat betonin sisältämiä ilmataskuja, jotka jäävät ilmatäytteisiksi betonin kastuessa ja kapillaarihuokosten täytyessä vedellä. Suojahuukosia muodostuu betoniin, kun valmistusvaiheessa massaan lisätään huukostimena toimivaa lisäainetta. Suojahuukokset eivät täyty helposti vedellä. Ne täyttyvät vain silloin, kun betoni on pitkään yhtämittaisesti vedessä. Silloinkin ne täyttyvät erittäin hitaasti, sillä suojahuukosissa oleva ilma liukenee kapillaarihuokosten veteen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 66., 104–106.)

Suojahuukosten jakautuminen betonissa voidaan tutkia suojahuukoskokeella (kuva 24). Suojahuukosmääritys tehdään mikroskoopilla kovettuneesta betonista otetusta näytteestä eli hieestä. Huukosjaon laskeminen hieestä on nopea ja edullinen keino arvioida betonin pakkasenkestävyyttä. (Contesta 2012.)



Kuva 24 Poranäytteestä tehty pintahie laskentavalmiina huukosjaon määrittystä varten (Maasilta 2009.)

4.2.2 Kimmovasara

Kimmovasaralla saadaan kovettuneen betonin likimääräinen lujuus. Testattavan pinnan tulee olla tasainen, märkä ja hyvälaatuinen. Puristuslujuutta ei voida tutkia kim-

movasaralla, jos puristuslujuus ylittää 45 MPA, betonin pinta on jäinen tai betonointi- tai suojaustyö on epäonnistunut. (Liikennevirasto 2006.)

Käytettävän kimmovasaran tulee olla kalibroitu. Testattavaksi pinnaksi valitaan mahdollisimman sileä pinta, kuten muotteja vasten ollut pinta. Testauksessa kimmovasara pidetään kohtisuorassa testattavaa pintaa kohti ja laukaistaan hitaasti. Iskusuunnista suositeltavin on vaakasuora, mutta myös pystysuoraa voidaan käyttää esimerkiksi vaakarakenteissa. Testattavista kohdista otetaan vähintään 10 yksittäistä arvoa ja näistä lasketaan keskiarvo, joka on lopullinen testaustulos. Kiveen tai huokoseen osuneita iskuja ei huomioida. (Liikennevirasto 2006.)

Yhdysvaltalainen Naval Civil Engineering Laboratory on kehitellyt vedenalaiseen käyttöön sopivan kimmovasaran (Smith, Goff & Rhoads, 1991).

4.2.3 Silmämääräinen tutkimus

Silmämääräisellä tarkastelulla pyritään havaitsemaan vauriot paljaalla silmällä, ilman tutkimuslaitteistoa. Silmämääräistä tutkimusta haittaa olennaisesti veden sameus, sillä näkyvyys on sameassa vedessä todella huono.

Tutkimalla rakennetta silmämääräisesti voidaan huomata isot halkeamat, lohkeamat ja esillä olevan raudituksen korroosio. Sillä tavoin ei kuitenkaan voida nähdä pintaa syvemmälle tai esimerkiksi mitata betonin lujuutta.

Veden sameuden vuoksi kohteesta saatetaan joutua ottamaan valokuvia tai videokuvaa eri aikaan kuin varsinainen kuntotarkastus tehdään. Sadejakson jälkeen vesi on kuvauskelvotonta pitkän aikaa. (RIL 236, 136.)

4.2.4 Betonipeitteen mittauslaite (veden päällä)

Betonipeitteen mittauslaite mittaa ainetta rikkomatta, kuinka paksu betonikerros raudituksen päällä on. (Proseq 2012.)

Betonipeitteen paksuutta raudituksen päällä mitataan, koska sen tulee olla riittävän suuri tartunnan varmistamiseksi ja raudituksen ruostumisen estämiseksi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007.)

4.2.5 Laserkeilaus

Laserkeilauksella saadaan kohteesta kolmiulotteinen pistepilvi koskematta rakenteesseen. Mittauksessa on tietty nollapiste, josta lähtee lasersäde. Lasersäteen avulla mitataan kohteen etäisyys mittalaitteesta. Jokaiselle pisteelle pystytään laskemaan koordinaatit, sillä tiedetään lasersäteen lähtökoordinaatit sekä matka mitattuna valon kulkuajan avulla. (Joala 2006.)

Kohteen mallintaminen on yleisin syy mitata kohde. Laserkeilauksen laatuun vaikuttaa eri tekijöitä, kuten pistepilven tiheys, yksittäisen mitatun pisteen laatu ja erikseen mitattujen pistepilvien yhdistämisen laatu. (Joala 2006.)

4.2.6 Matalataajuusluotaukset

Matalataajuusluotain toimii lähettämällä akustisia matalataajuusaaltoja ja vastaanottamalla kohteesta takaisin heijastuvia taajuusaaltoja. Matalataajuusluotausta voidaan käyttää suolavedessä. (Wallinmaa 2010.)

4.2.7 Viistokaikuluotaus

Viistokaikuluotauksen avulla saadaan selville kohteen muodot ja keskinäiset korkeussuhteet. Viistokaikuluotaamalla kohteesta saadaan ilmakuvaan kaltainen akustinen kuva. Tyypillisiä viistokaikuluotauksessa havaittavia kohteita ovat paalut, putket, kaapelit, painot ja uponneet esineet (Oy Civil Tech Ab 2012.)

4.2.8 Ainepaksuusmittaus

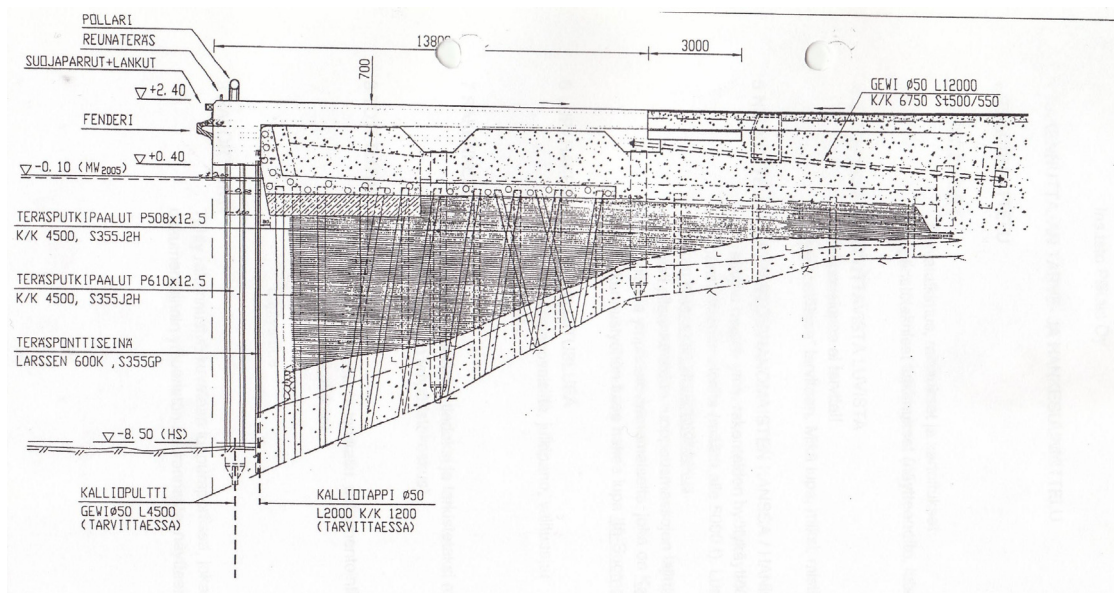
Ultraäänellä toimiva teräksen ainepaksuusmittari mittaa jäljellä olevan teräksen paksuutta. Vertaamalla alkuperäisiin ainevahvuuksiin voidaan määrittää korroosio raudoituksessa.

5 SATAMARAKENTEIDEN VAURIOIDEN KORJAUSMENETELMÄT

5.1 Lähtökohdat

Kaikissa satamarakenteiden parannuksissa lähtökohtana eivät ole rakenteisiin syntyneet vauriot, vaan rakenteita muutetaan ja korjataan paljon myös käyttötarkoituksen muuttumisen vuoksi. Sataman käyttötarkoitus voi muuttua tai rakennetta tulee vahvistaa suurentuneiden aluskokojen tai työkonekuormien vuoksi.

Kuvassa 25 esitetään Kotkassa sijaitsevan Hallan sataman laiturin vahvistaminen. Kohteessa paalurakennetta vahvistettiin uusin paaluin sekä kansi uusittiin.



Kuva 25 Hallan sataman laiturin uusiminen (Pitkälä 2012.)

5.2 Vaurioiden korjausmenetelmät

Yleisin tapa korjata betonirakenteita on paikata lohkeamat ja vastaavat vauriot paikkaamalla (kuva 26). Vanhaa rakennetta piikataan niin pitkälle, että saadaan esiin ehjät teräkset. Tämän jälkeen ympärille rakennetaan muotit ja valetaan päälle esimerkiksi laastilla tai ruiskubetonilla.



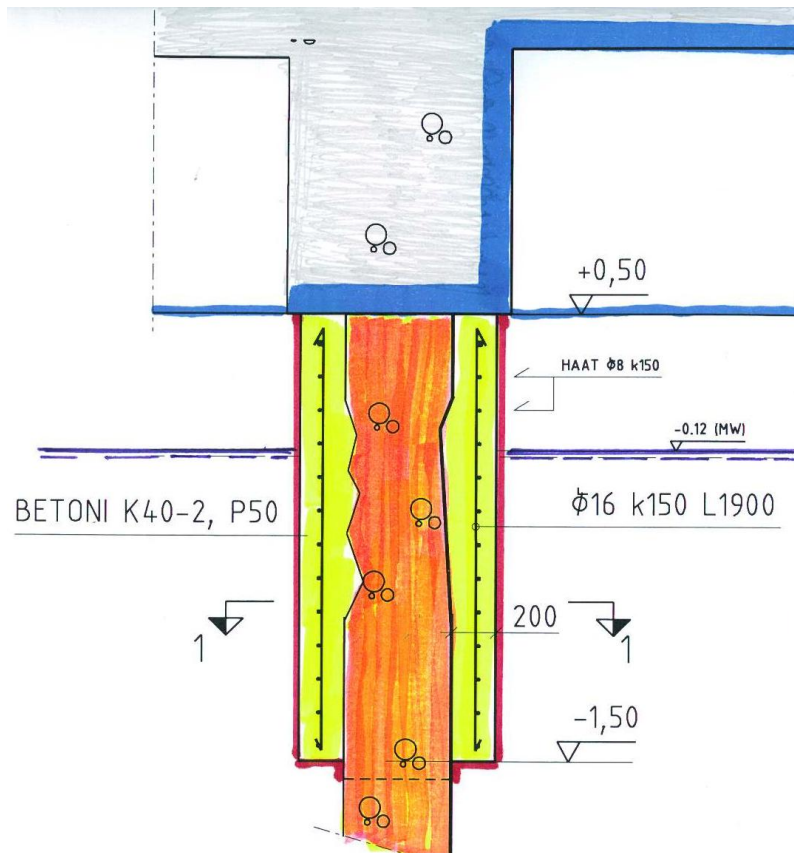
Kuva 26 Muotit valmiina valua varten vedenpinnan yläpuolisessa rakenteessa (Helsingin satama 2012.)

Yksi vedenalaisissa rakenteissa korjauksissa käytetty massa on SILKO-hyväksytty Sebera-vesibetoni, joka ei huuhtoudu veteen. Suuriakin vaurioita voidaan korjata ilman muotitusta ja kuivausta. Tämä alentaa kustannuksia ja nopeuttaa työtä. Sebera tarttuu erittäin hyvin myös teräsrakenteisiin. Jälkikäteen tehdyillä tarkastuksilla on havaittu Sebera erittäin hyvin kulutusta kestäväksi. Yhtään korjattua kohdetta ei ole jouduttu jälkikäteen parantamaan. (Sebera 2012.)

Rakenteita voidaan korjata myös voimalaastilla. Voimalaasti on kehitetty 1980-luvun lopussa ja se on vaativiin olosuhteisiin sopiva korjausmassa. Voimalaastilla on erittäin hyvä tarttuvuus betoniin, teräkseen ja kiveen. Lisäksi se kestää pakkasta, kulutusta, suoloja ja kemikaaleja. Voimalaastilla korjattaessa ei useimmiten tarvita muotteja. Työ voidaan tehdä myös virtaavassa vedessä eikä työpatoja tai alueen kuivausta tarvita. (Powermortar 2012.)

Manttelioimalla (kuvat 27 ja 29) voidaan korjata vaurioitunut paalu (kuva 28). Ensin paalu puhdistetaan korkeapainepesemällä irtoaineksestä manttelin osuudelta. Tämän jälkeen mantteli raudoituksineen asennetaan tiiviisti paikoilleen. Tämän jälkeen aleaan muotin alaosa pumpata betonimassaa manttelin sisään. Näin varmistetaan manttelin tiiveys. Lopuksi muotit poistetaan. Merivesiolosuhteissa erityistä huomiota

tulee kiinnittää manttelin alareunaan, sillä meriveden päästessä manttelin ja paalun väliin korroosio voi kiihtyä merkittävästi. (Saukkonen 2011.)



Kuva 27 Periaatekuva teräsbetonimanttelista (Helsingin satama 2012.)



Kuva 28 Korjattava betonipaalu ennen manttelointia (Helsingin satama 2012.)



Kuva 29 Valmis, mantteloitu betonipaalu (Helsingin satama 2012.)

Betonirakenteiden vaurioita voidaan korjata myös hiilikuituvahvistuksella (kuva 30). Suomessa menetelmää ei ole juurikaan käytetty laitureiden vaan teräsbetonipaalujen korjauksessa. Hiilikuitumaton asennuksessa sen pinta putsataan ensin. Tämän jälkeen kuopat paikataan, asennetaan hiilikuitumatto paikoilleen ja lopuksi laitetaan pinnoite. Hiilikuitumaton avulla korjaaminen on halvempaa kuin betonimanttelointi. (Saukko-
nen 2011)



Kuva 30 Rakenteen hiilikuituvahvistusta (GT-Corporation 2012.)

5.3 Vaurioiden ennaltaehkäisy

Vaurioita ehkäisevän tai hidastavan suojauksen avulla saadaan usein merkittävää taloudellista hyötyä ilman suuria korjaustoimenpiteitä. (RIL 236, 151.)

Betonin vaurioita on kuitenkin hankala ennaltaehkäistä sen vuoksi, että useimmiten vaurioiden tullessa näkyviin, ne ovat jo niin pitkällä, että pelkät suojustoimenpiteet eivät riitä. Suojustoimenpiteitä ovat esimerkiksi betonin pinnoitus suoja-aineella, betonipinnan kotelointi, betoniterästen korroosionestoaineet, betoniterästen katodinen suojaus ja suojabetonikerroksen kasvattaminen. (RIL 236, 151-152.)

Betoniterästen korroosio on yksi betonirakenteiden yleisimpiä vaurioita. Korroosio on sähkökemiallinen ilmiö, joten sitä voidaan estää ja pysäyttää katodisella suojauksella. Katodinen suojaus on vanhin ja yleisin käytössä oleva suojaus korroosiota vastaan.

Katodista suojausta kannattaa harkita Suomessa vain silloin, kuin kloridikorroosion riski on merkittävä eli yleensä suolaisen veden ja suolauksen kanssa kosketuksiin tulevilla rakenteilla. Katodisessa suojauksessa suojattava rakenne kytketään suojavirtapiiriin miinusnapaan eli katodiksi. Katodinen suojaus voidaan tehdä joko uhrautuvilla anodeilla tai ulkoisen virtalähteen menetelmällä. (VTT 2008.)

Raudoitusta suojaa myös mahdollisimman tiivis betoni. Betonin tiivistykseen ja jälkihoitoon tulee kiinnittää huomiota. Vesi-sideainesuhteen tulee olla riittävän pieni. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 97.)

Korroosion vaikutus voidaan huomioida myös ylimitoittamalla. Ylimitoituksessa seinämän ainevahvuutta teräsrakenteessa kasvatetaan niin, että vahvuus on riittävä käyttöajan aikana tulleesta syöpymisestä huolimatta. Tarvittava korroosiovara riippuu ympäröivien veden, maan tai ilmastoinn ominaisuuksista sekä suunnitellusta käyttöiästä. (RIL 236, 153.)

Betonin halkeilua voidaan ennaltaehkäistä. Halkeamavälin ja halkeamaleveyden koon voidaan vaikuttaa rakenteiden oikealla suunnittelulla ja toteutuksella. Halkeilua voidaan rajoittaa myös käyttämällä oikeaa betonin koostumusta sekä työsuoritusta sekä huolehtimalla jälkihoidosta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 92.)

Betonin alle 0,05 mm:n levyisiä mikrohalkeamia voidaan ennaltaehkäistä pienentämällä kuivumisen aikaisia lämpötilaeroja ja lämpötilanvaihteluita. Tämä tehdään hidastamalla hydrataatioreaktiota sekä suojaamalla rakennetta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2007, 96.)

Potkurien aiheuttamat virtaukset aiheuttavat eroosiota erityisesti laiturin alla oleville maarakenteille. Tämän vuoksi laiturien edustat tulee eroosiosuojata esimerkiksi pohjaan valetulla betonilla. Erityisesti pienemmissä kohteissa eroosiosuojaus voidaan tehdä myös louhetäytöstä. Eroosiosuojauksen kunto tulee tarkastaa säännöllisesti. (RIL 236, 23.)

Laituria suojaavat myös fenderirakenteet. Ne koostuvat kumista tehdyistä fenderikumeista, jotka asennetaan pulteilla laiturimuurin pintaan. Niiden koko ja välimatka mitoitetaan laituria käyttävien alusten mukaan. Teräksestä tai polyeteenistä valmistettu

kilpi voidaan asentaa kumin etupintaan. Teräskilpiä käytettäessä asennetaan sen taakse usein useita kumeja aluksen törmäysenergiaa vaimentamaan. (RIL 236, 24.)

Laiturimuurin pintaan voidaan asentaa pieniltä kolhuilta suojaava puinen suojaparrus-to. Tavallisesti parrut ovat painekyllästettyä puuta, mutta suuren kulutuksen paikoissa voidaan käyttää suojaamatontakin puuta. (RIL 236, 24.)

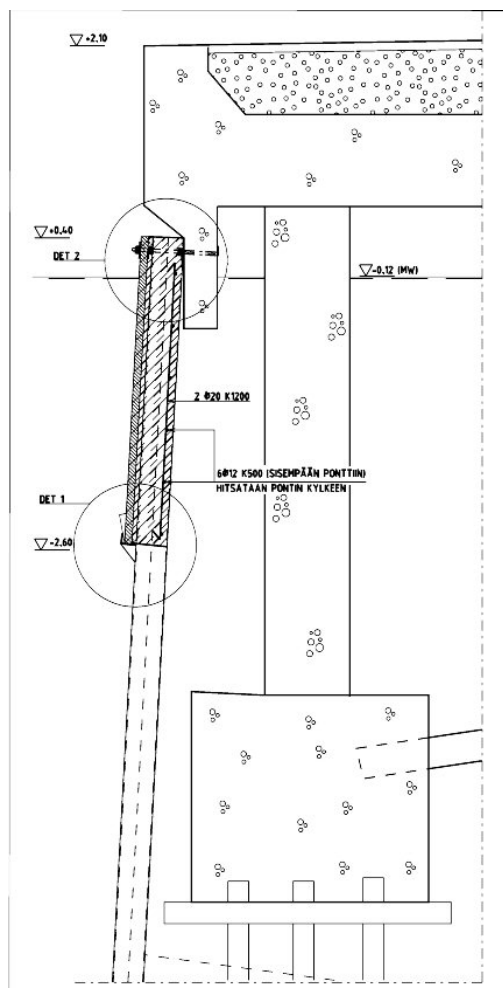
Ponttiseinä voidaan korroosiosuojata muovipontilla tai teräsbetonielementillä sekä taustan betonoinnilla (kuvat 31 ja 32). Muoviponttaus tai teräsbetonielementti on muotti taustavalulle sekä toimii sään ja mekaanisen jännityksen kestävässä pintakerroksena. Muovipontin etuna on työstön helppous ja käsittelyn onnistuminen miesvoimin. Teräsbetonielementti (kuva 33 ja 34) voidaan valmistaa tehtaalla erittäin säänkestäväksi valvotuissa olosuhteissa ja toimii yhdessä raudoituksen kanssa myös teräspontin korvaajana, mikäli teräspontin kuormituskestävyys alenee korroosion vuoksi. (Saukkonen 2011 ja 2012.)



Kuva 31 Muovipontin asennusta (Helsingin satama 2012.)



Kuva 32 Valmis muoviponttaus (Helsingin satama 2012.)



Kuva 33 Teräsbetonelementillä toteutettavan suojauksen rakennekuva (Helsingin satama 2012.)



Kuva 34 Valmis teräsbetoniponttaus (Helsingin satama 2012.)

6 HAASTATTELU- JA KYSELYTUTKIMUKSET SEKÄ TULOKSET

6.1.1 Tiedonhaku

Toteutin opinnäytetyön keräämällä tietoa vedenalaisten betonirakenteiden asiantuntijoilta. Vierailin HaminaKotka Satama Oy:ssä, Helsingin satamassa, Naantalin satamassa, Kaakkois-Suomen ELY-keskuksessa, Insinööritoimisto Pitkäsellä sekä Insinööritoimisto Sukellus-Kotka Oy:ssä. Vierailut tapahtuivat aikavälillä huhtikuu-heinäkuu 2011. Haastatteluja varten olin laatinut kyselylomakkeen (liite 2).

Haastattelun lisäksi lähetin sähköpostilla kyselylomakkeen (liite 2) saateen kanssa (liite 1) myös kuuteen muuhun satamakaupunkiin kunnossapitopäälliköille tai vastaaville ja pyysin heiltä vastauksia samoihin kysymyksiin millä olin itse haastatteluja tehnyt. Kyselylomakkeen vastaanottajista yksi vastasi, ettei heidän satamassaan ole juurikaan betonirakenteita. Muut lähettivät minulle kyselylomakkeen täytettynä.

Asiantuntijahaastattelujen lisäksi hankin tietoa runsaasti eri kirjallisista teoksista ja julkaisuista sekä Internetistä. Kirjallisista teoksista suurin osa oli rakennusalan liittojen teoksia. Myös Internet-lähteissä pyrin käyttämään mahdollisimman luotettavia lähteitä, kuten alan liittojen, tutkijoiden ja yritysten sekä laitevalmistajien julkaisuja.

6.1.2 Aikataulu

Opinnäytetyön idea tuli alkujaan diplomi-insinööri Sirpa Laaksolta, joka tarjosi opinnäytetyötä ja samalla harjoittelupaikkaa opiskelijoille. Osallistumiseni projektiin vahvistettiin maaliskuussa 2011.

Aloitin opinnäytetyön tekemisen huhtikuussa 2011. Huhti- ja toukokuun aikana laadin kyselylomakkeen yrityksille ja osallistuin Vebeter-hankkeen ensimmäisiin palavereihin. Huhti–kesäkuussa 2011 vierailin viidessä eri yrityksessä haastattelemassa alan asiantuntijoita. Kirjallista osuutta aloin kirjoittaa kesäkuussa 2011 ja jatkoin syksyn 2011 ja talven 2012 kesken olevien opintojeni ohessa.

6.2 Tulokset

6.2.1 Tutkitut kohteet

Tutkitut kohteet olivat suolaiselle tai makealle vedelle alttiita betonirakenteita. Suurimmaksi osaksi tutkittavat betonirakenteet ovat satamarakenteita, mutta haastattelemani yritykset olivat tutkineet myös betonirakenteisia siltoja sekä voimalaitosten ja tehtaiden vedelle altistuvia betonirakenteita.

Voimalaitosten rakenteiden tutkiminen oli haastavinta, sillä tutkimuksia tehtiin myös aktiivisessa vedessä. Radioaktiivisen säteilyn vaaran vuoksi tutkimuksia tehdessä tuli kiinnittää erityistä huomiota turvallisuuteen, ja aktiiviselle vedelle altistuneet tutkimuslaitteet tuli hävittää muun radioaktiivisen jätteen seassa. Lisäksi voimalaitosten betoni oli erittäin lujaa (lujuusluokka K100), joten sen piikkaaminen on hyvin työlästä. (Mustamaa 2011)

6.2.2 Tutkimusmenetelmät

Yleisimmäksi tutkimusmenetelmäksi osoittautui silmämääräinen tutkimus. Lisäksi oli käytetty kaikuluotausta, piikkitestiä silloissa, poranäytteiden ottoa, kimmovasaraa, laserkeilausta sekä ultraäänellä toimivaa teräksen ainepaksuusmittaria.

Tutkimuksia tehdessä oli käytetty myös viistokaikuluotainta. Kaikuluotaamalla oli saatu hyviä kuvia kohteesta, lähinnä pohjasta sekä pohjassa kulkevista putkista. (Mustamaa 2011.)

Vedenalaisia betonirakenteita oli tutkittu myös matalataajuusluotauksella.

6.2.3 Tutkimusmenetelmien riittävyys ja luotettavuus

Pääsääntöisesti käytetyillä tutkimusmenetelmillä oli saatu riittävästi tietoa ja se oli ollut luotettavaa. Yksi vastaajista kuitenkin ilmoitti, etteivät tutkimusmenetelmät (kyseisessä kohteessa silmämääräinen tutkimus) antaneet riittävästi tietoa.

6.2.4 Ideoita tutkimusmenetelmiksi

Suurin ongelma vedenalaisten rakenteiden tutkimisessa on huono näkyvyys. Veden alla näkyvyyttä on pahimmillaan vain muutama kymmenen senttiä. Satamissa jatkuva laivaliikenne sekoittaa meren pohjasta materiaalia veteen ja häiritsee näkyvyyttä. Loppusyksystä tilanne on hieman parempi. Makean veden alueilla (esim. Kymijoella) näkyvyys on jatkuvasti huono.

Kehiteltävien laitteiden tulisi olla sopivia käytettäväksi veden alla.

Kahdessa haastattelemassani kohteessa kehitysideana oli vedenalainen järjestelmä, joka tallentaa tietoa veden alla ilman, että kenenkään tarvitsee sukeltaa sinne. Kyseessä voisi olla esimerkiksi robotti, joka kulkee paalun pintaa pitkin ylhäältä alas ja tutkii ja tallentaa tietoa jokaisesta kohdasta.

Yksi kehittämisen arvoinen idea oli veden alla käytettävä betonipeitteen mittauslaite. Betonipeitteellä tarkoitetaan betonin paksuutta terästen päällä. Tätä kutsutaan myös suojaetäisyydeksi. Mikäli suojaetäisyys on liian pieni, teräkset murentavat helposti betonipeitteen ja betonipeitteen murruttua teräkset altistuvat vedelle ja ilmalle ja täten myös korroosiolle. Vedenalaisessa valussa suojaetäisyyden tulee olla vähintään 50 mm.

Kaikuluotausmenetelmää toivottiin kehitettävän niin, että sen avulla saataisiin tietää pinnan lisäksi betonin koostumuksesta lujuuden selvittämiseksi.

Louhetäytteisten rakenteiden tutkimiseen ei ole vielä kunnollista tutkimusmenetelmää, joten sellaista toivottiin kehitettäväksi.

Lisäksi toivottiin tutkimusmenetelmäksi maatumkaa, jonka avulla nähtäisiin, mitä rakenteiden takana on. Tämän avulla pystyttäisiin siis rakennetta tutkimaan syvemmältäkin, eikä vain pintapuoleisesti.

6.2.5 Tutkimusten apuna käytetty kirjallisuus

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry on julkaissut 2006 teoksen Satamarakenteiden kunnonhallinta, RIL 236–2006. Haastatellessani vedenalaisten betonirakenteiden kunnossapidosta vastaavia henkilöitä tuli ilmi, että useimmissa suuremmissa kohteissa rakenteita tutkitaan teoksen ennakoivan kunnonhallintajärjestelmän mukaan, mutta pienemmissä ei ainakaan systemaattisesti. Osaa suurempien kohteiden asiantuntijoista oli myös pyydetty avuksi teosta kirjoittaessa.

Betonirakenteisten siltojen vaurioita luokiteltaessa oli käytetty Sillantarkastuskäsikirjan vaurioluokkia.

6.2.6 Vaurion tyypit

Haastattelemistani kohteista lähes kaikissa oli esiintynyt usean tyyppisiä vaurioita, kuten betonin halkeilua, valuvikoja, pintavaurioita, betoniterästen korroosiota sekä pinnon irtoamista, halkeilua ja ohentumista. Useammasta paikasta mainittiin ongelmallisiksi elementtipalkit, sillä niissä on liian pienet suojaetäisyydet eli betoniteräkset ovat liian pinnassa. Lisäksi niiden saumat alkavat helposti vuotaa. Betoniteräkset voivat myös kantata rakenteen sisällä, joka aiheuttaa betonin murtumisen.

Satamissa tyypillinen rakenteen iso lohkeama syntyy, kun alus törmää kansirakenteseen. Vaikka nykyaikaisissa aluksissa navigointijärjestelmät ovat hyvin kehittyneitä, aluksen valtavaa massaa on mahdoton pysäyttää nopeasti. Lisäksi isot alukset vaativat paljon tilaa kääntymistä varten. Talvella ja kevättalvella satama-altaassa olevat jäät ovat merkittävä vaurion aiheuttaja (kuva 35), sillä alusten pyrkiessä laiturille jäät jäävät puristuksiin aluksen ja rakenteen väliin ja vaurioittavat rakenteita.



Kuva 35 Jäiden vesirajasta vaurioittamia paaluja (Helsingin satama 2012.)

Louhetäytteisissä rakenteissa pistekuormasta johtuvia kannen romahtamisia oli myös havaittu. Hienoaineksen painumista rakenteen sisällä on vaikea huomata, mutta romahtaessaan se voi aiheuttaa huomattavia henkilö- tai omaisuusvahinkoja.

6.2.7 Vaurioiden sijainti

Suurin osa vaurioista sijaitsi vesirajalla ja muutama metri siitä alaspäin. Tämä johtuu vedenpinnan korkeuden vaihtelusta vuodenajan mukaan ja jäiden liikkeistä talven aikana. Vaurioita oli kuitenkin havaittu muuallakin, esim. paalurakenteissa koko paalun pituudelta. Alusten törmäilystä johtuvat lohkeamat sijaitsivat lähinnä vedenpinnan yläpuolella olevissa rakenteissa.

6.2.8 Vaurioiden laajuus

Vauriot olivat hyvin eri laajuisia. Monissa satamissa vanhimmat rakenteet olivat 1800-luvulta. Vanhoissa rakenteissa vaurioita on luonnollisesti eniten ja niitä on myös korjailtu useampaan kertaan. Pahimmissa tapauksissa betonin vauriot olivat todella

pahoja, esimerkiksi teräsbetonipaalu oli melkein kokonaan poikki. Uudemmissa rakenteissa vauriot olivat tyypillisesti lieviä.

6.2.9 Vaurioiden korjaaminen

Yleisin tapa korjata vaurio oli paikkaaminen. Betonia piikataan tarpeeksi pitkälle, tämän jälkeen rakennetaan muotit alueen ympärille ja valetaan päälle. Vedenalaisiin kohteisiin oli käytetty myös Sebera-massaa, joka ei huuhtoudu veteen eikä täten vaadi muotitusta tai kuivatusta.

Betonirakenteisia paaluja oli korjattu mantteloimalla sekä hiilikuituvahvistuksella.

Yhdessä haastatelluista kohteista oli päädytty rakentamaan kokonaan uusi paalurivi vanhan viereen (kuva 36). Vanhat paalut poistettiin, mikäli ne olivat täysin tuhoutuneita. Mikäli paalut olivat korjattavissa, ne mantteloitiin tai paikattiin betonimassalla. Myös kantta oli paikattu ja lopuksi valettiin betonia, jotta sataman kansi olisi samalla tasolla muun rakenteen kanssa.



Kuva 36 Uutta paaluriiviä tehdään vanhan rakenteen viereen (Maasilta 2011.)

6.2.10 Vaurioiden seuranta

Havaittuja halkeamia seurataan tyypillisesti noin kerran vuodessa. Yhdessä kohteessa oli myös oma järjestelmä, johon havaitut halkeamat kirjataan ylös. Tämän jälkeen niitä seurataan yleis- tai erikoistarkastuksissa.

Korroosiolle altistuneita betoniteräksiä tarkkaillaan ja pyritään selvittämään, onko korroosion tila stabiili vai kiihtymässä.

6.2.11 Korjausjärjestys

Tyypillisesti vauriot korjataan tapauskohtaisesti. Vakavat ja kiireelliset vauriot korjataan heti. Vain isoimmissa satamissa oli käytössä systemaattinen kunnonhallintajärjes-

telmä ja alustavasti laaditut korjaussuunnitelmat. Pienemmissä satamissa korjataan sen mukaan, miten ehditään ja pystytään taloudellisten resurssien mukaan.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Monista kohteista puuttui systemaattinen kunnonhallintajärjestelmä. Sen kehittäminen olisi hyödyllistä taloudellisuuden ja turvallisuuden vuoksi, sillä tarkat tutkimukset varmistavat, ettei rakenteita ylikorjata. Kunnonhallintajärjestelmän voi laatia vaikkapa RIL:n ennakoivan kunnonhallintajärjestelmän mukaan. Sen avulla voidaan ennakoida, optimoida, suunnitella ja organisoida kaikkia rakenteiden ylläpitoon liittyviä toimintoja, kuten kunnossapitoa, korjaamista, perusparantamista, purkua ja uusimista.

Vedenalaisten betonirakenteiden tutkiminen ei ole helppoa hankalan sijainnin ja kehojen työolosuhteiden vuoksi, joten tutkiminen jää helposti ja vauriot saavat kasvaa rauhassa kenenkään puuttumatta asiaan. Lisäksi veden alle sopivat tutkimuslaitteet ovat usein kalliita ja harvinaisia. Tällöin vauriot huomataan vasta, kun ne ovat erittäin vaikeita ja saattavat olla vaarallisia. Vaarana voi olla esimerkiksi rakenteen romahtaminen.

Useissa laitteissa olisi kehittämisen varaa, sillä suurin osa tutkimuksista tehdään silmä määräisesti tutkien, jolloin saadaan tietoa lähinnä pintavaurioista. Monella muulla alalla meillä on käytössämme moderni ja hyvin pitkälti automatisoitu tutkimuslaitteisto, mutta vedenalaisten rakenteiden tutkimuslaitteistoa ei ole juurikaan päivitetty tälle vuosituhannele. Systemaattisen kunnon tutkimisen yleistyminen lisää myös työllisyyttä alalle, sillä laitekehittelyyn, rakenteiden tutkimiseen sekä tulosten analysointiin ja raportointiin tarvitaan nykyistä enemmän työvoimaa.

LÄHTEET

Contesta, 2012. Huokosjako-esitys. Saatavilla:

<http://www.contesta.fi/esitteet/Huokosjako-esitys.pdf> [viitattu 8.2.2012].

Encyclopedia Britannica 2012a. Saatavilla:

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/131278/concrete> [viitattu 1.2.2012].

Encyclopedia Britannica 2012b. Saatavilla:

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/138721/corrosion> [viitattu 1.2.2012].

GT-Corporation 2012. Lähde: <http://www.gtcorporation.com/> Lupa kuvan käyttöön saatu 10.2.2012 Helsingin satamasta.

Helsingin satama 2012. Lupa kuvien käyttöön saatu 10.2.2012.

Huura Oy 2011. Saatavilla: http://www.huura.fi/media/js_04.htm [viitattu 22.6.2011].

Joala, Vahur 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy. Saatavilla:

<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=explorer&chrome=true&srcid=0B3MfAq-wXowlN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUtNTQzMDIwZTI3NDVm&hl=en&pli=1> [viitattu 8.2.2012].

Jokimies, Teppo 2011. Tekninen johtaja, HaminaKotka Satama Oy. Haastattelu 27.4.2011.

Karvonen, Juha 1996. Hietasen sataman rakenteiden seuranta. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto.

Karvonen, Juha 2012. Valokuvat.

Liikennevirasto 2006. Kimmovasaraohje. Saatavilla:

http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/kimmovasaraohje_2006.pdf [viitattu 8.2.2012].

Maasilta, Tiina 2009. Valokuva.

Maasilta, Tiina 2011. Valokuva.

Mustamaa, Lasse 2011. Toimitusjohtaja, Insinööritoimisto Sukellus-Kotka Oy. Haastattelut 9.6.2011 ja 15.6.2011.

Oy Civil Tech Ab, 2012. Saatavilla:

http://www.civiltech.fi/?id=11&path=3_11&lang=se [viitattu 11.2.2012].

Pitkälä, Matti 2012. Insinööritoimisto Matti Pitkälä Oy. Lupa kuvien käyttöön saatu 15.2.2012. Saatavilla: <http://www.pitkala.fi/index.html>.

Powermortar 2012. Saatavilla:

<http://www.powermortar.fi/fi/index.php?action=showpage&pageid=6> [viitattu 16.2.2012].

Proseq 2012. Saatavilla: <http://www.proceq.com/en/non-destructive-test-equipment/concrete-testing/rebar-detection/profometer-5.html#c315> [viitattu 10.2.2012).

RIL 236–2006. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry, 2006. Satamalaitureiden kunnonhallinta. Lupa kuvien julkaisuun saatu 7.2.2012.

RIL 123. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry, 1979. Vesirakenteiden suunnittelu.

Saukkonen, Veikko 2011 ja 2012. Jaospäällikkö, Helsingin satama. Haastattelu 6.5.2011 sekä sähköpostiviestit 3.6.2011 sekä 10.2.2012.

Sebera 2012. Saatavilla <http://sebera.fi/> [viitattu 17.1.2012].

Smith, A., Goff, D. & Rhoads, C. 1991. Underwater concrete inspection equipment. Saatavilla: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a236578.pdf> [viitattu 8.2.2012].

Suomen Betoniyhdistys ry 2007. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004.

Suomen Betoniyhdistys ry 2004. BY 50 Betoninormit 2004.

Uudenkaupungin isännöitsijäkeskus 2012. Saatavilla

http://www.isannoitsijakeskus.fi/tietopankki/betoniterasten_korroosio_ [viitattu 1.2.2012].

VTT 2008. Katodinen suojaus. Saatavilla:

http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/katodinen_suojaus_2008.pdf [viitattu 21.6.2011].

Wallinmaa, Ville 2010. Matalataajuusluotausaineiston yhdistäminen monikeilainaineistoon Fledermaus-ohjelmalla. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu.

LIITTEET

Liite 1: Saate

Hei!

Olen kolmannen vuosikurssin rakennusinsinööriopiskelija Kotkasta. Teen opinnäytetyötä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun VEBETER-hankkeelle vedenalaisten betonirakenteiden korjausrakentamisesta, erityisesti satamarakenteista ja siltarakenteista. Kartoitan opinnäytetyössäni Suomen vedenalaisten betonirakenteiden nykytilaa ja sitä, millaisia vaurioita rakenteissa on ja miten niitä tulisi korjata tai korjataan jo.

Tämän vuoksi lähestyn Teitä ja laitan tämän sähköpostin liitteeksi kyselylomakkeen, jonka täyttämiseen menee noin 10 minuuttia. Lomakkeessa on kysymyksiä havaituista betonirakenteiden vaurioista, siitä millä laitteilla niitä on tutkittu ja miten niitä on korjattu. Olisin erittäin kiitollinen vastauksesta.

Minulle ovat tervetulleita myös kopiot raporteista, joita mahdollisista tutkimuksista ja korjauksista on laadittu sekä valokuvat ja videot kohteesta. Lisään liitteeksi myös lyhyen PDF-esityksen, josta selviää VEBETER-hankkeen päätavoitteet.

Ystävällisin terveisin

Tiina Maasilta

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Liite 2: Kyselylomake vedenalaisista betonirakenteista

KYSELYLOMAKE VEDENALAISISTA BETONIRAKENTEISTA

Paikka:

Aika:

Vastaaja:

Mitä seuraavista vaurioista betonirakenteissa on havaittu: betonin halkeilu, valuviat, pintavauriot, betoniterästen korroosio, pinnoitteen irtoaminen/halkeilu/ohentuminen?

Millä tutkimusmenetelmillä rakenteita on tutkittu, silmämääräisesti vai joillain laitteilla?

Onko käytetyillä tutkimusmenetelmillä saatu riittävästi tietoa ja onko se ollut luotettavaa?

Onko käytetylle tutkimusmenetelmälle jotain kehitysideoita?

Mikäli ei ole käytetty mitään tutkimusmenetelmää, onko jotain ehdotuksia?

Onko rakenteita tutkittu RIL:in ennakoivan kunnonhallintajärjestelmän mukaan?

Missä vauriot sijaitsevat (veden rajassa, pinnan alla...)?

Kuinka syväälle vauriot ulottuvat?

Kuinka laajoja vauriot ovat?

Seurataanko mahdollisten halkeamien muuttumista, ja jos seurataan, kuinka usein?

Miten vaurioita on korjattu tai tullaan korjaamaan?

Milloin aloitetaan korjaaminen tai suunnittelu vai tehdäänkö tarkempi kunnonseuranta-suunnitelma?

Onko vaurioille tehty korjaussuunnitelmaa?