



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

LAITUREIDEN TEKNISET VAATIMUKSET

Valtteri Syri

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

Diplomityö

Marraskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Laitureiden tekniset vaatimukset

Valtteri Syri

Oulun yliopisto, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2022, 69 s. + 12 liitettä

Työn ohjaaja: Antti Niemi, professori

Työssä perehdyttiin tyypillisten Väyläviraston ja ELY- keskuksen laituri- ja satamarakenteiden suunnittelun ja mitoituksen tämänhetkiseen tilanteeseen. Työn tavoitteena oli selkeyttää mitoitus- ja suunnitteluperusteita ja koota ne yhteen. Ohjeen avulla rakennesuunnittelijan on helpompi määrittää pääasialliset mitoituskuormat laiturirakenteille ja myös mitoittaa rakenne. Lisäksi työssä käsitellään tyypillisimpiä laitureiden rakennusmateriaaleja ja niiden vaatimuksia.

Työssä pyrittiin selvittämään laitureihin ja niiden osiin kohdistuvia kuormia. Aikaisempien tutkimusten ja mitoitusohjeiden pohjalta arvioitiin mitoitusperusteiden ajantasaisuutta ja pyrittiin myös selkeyttämään, kuinka ohjeita sovelletaan laiturihankkeille. Tavoitteena oli myös antaa mahdollisia mitoitusmenetelmiä eri rakenteille ja rakenneosille.

Työ on pääasiassa teoriakatsaus. Työ kattaa pintapuolisesti yksinkertaisten laitureiden koko suunnittelu- ja mitoitusprosessin ja niihin vaikuttavat tekijät. Aiheen laajuuden takia ohje ei ole kovin syvälinen, joten tämän työn kanssa tulee käyttää myös muita aiheeseen liittyviä ohjeita suunnittelun apuna. Tutkimusmenetelminä hankittiin tutkimusaineistoa ja -kirjallisuutta aiheesta vahvan teoriapohjan saamiseksi. Pääasiallista aineistoa ovat tietokannoista löytyvät tieteelliset artikkelit, verkkosivustot, rakennusalan järjestöjen tuottamat aineistot ja eurokoodit.

Asiasanat: satamarakentaminen, laituri, mitoitus, kuorma

ABSTRACT

Technical requirements for piers

Valtteri Syri

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Master's thesis 2022, 69 pp. + 12 Appendixes

Supervisor at the university: Antti Niemi, professor

In the work, the current situation of the designing and planning of typical wharf and port structures of the Finnish Transport Infrastructure Agency and ELY Centre was studied. The purpose of the work was to clarify the designing and planning principles and bring them together. With the help of the guide, it is easier for the structural designer to determine the main design loads for pier structures also to calculate the structure. In addition, the work deals with the most typical pier construction materials and their requirements.

The work aimed to find out the loads on the piers and their parts. Based on previous studies and design guidelines, the up-to-datedness of the designing criteria was assessed, and an effort was also made to clarify how the guidelines are applied to wharf projects. The goal was also to provide possible design methods for different structures and structural parts.

The work is mainly a theory review. The work superficially covers the entire design and planning process of simple piers and the factors affecting them. Due to the scope of the topic, the instructions are not very in-depth, so other instructions related to the topic should also be used with this work as a planning aid. As research methods, research material and literature on the subject were acquired to obtain a strong theoretical base. The main material is scientific articles found in databases, web pages, materials produced by construction industry organizations and Eurocodes.

Keywords: port construction, wharf, design, load

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Oulun yliopiston rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelman rakennesuunnittelun ja rakentamisteknologian opintosuunnan diplomi-insinöörin tutkintoon tähtäävään koulutukseen liittyen. Työ tehtiin toimeksiantona Väylävirastolle. Työn ohjaajana toimi Antti Niemi Oulun yliopistolta, Väyläviraston puolelta Heikki Lilja, Timo Tirkkonen, Jari Nikki ja Niina Onninen sekä ELY:n puolelta Tapani Jaakkola ja Milla Mäentaka. Haluan kiittää heitä saamistani neuvoista diplomityöhöni liittyen. Lisäksi haluan kiittää AFRY Finland Oy:tä, Heikki Hekkalaa ja kaikkia muita työhön osallistuneita heidän antamastaan avusta työn aikana.

Oulu, 11.11.2022

Valtteri Syri
Valtteri Syri

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	8
2 VAATIMUKSET.....	9
2.1 Käyttöikä	9
2.2 Vaurioitumiseen varautuminen.....	10
3 SÄÄ- JA YMPÄRISTÖOLOSUHTEET.....	11
3.1 Tuuli	11
3.2 Vedenkorkeuden vaihtelualue.....	11
3.3 Aallokko	13
3.4 Virtaus	14
3.5 Jää.....	14
3.6 Lämpötilavaihtelut	15
3.7 Veden ominaisuudet.....	16
4 KÄYTÖN VAIKUTUKSET	17
4.1 Potkurivirtaukset.....	17
4.2 Laitureiden talvikäyttö	17
4.3 Laituritoiminnot	17
4.4 Epätavanomaiset toiminnot	18
5 MATERIAALIT JA SUUNNITTELU	19
5.1 Betoni	19
5.1.1 Raudoitusteräket	20
5.1.2 Betonirakenteiden käyttöikämitoitus.....	20
5.2 Teräs	21
5.2.1 Teräsrakenteiden korroosio	21
5.2.2 Korroosionesto- ja suojausmenetelmiä	22
5.3 Kallioankkurit ja tartuntateräket.....	26
5.3.1 Korroosiosuojaus	26
5.3.2 Vesimenekkikoe.....	27
5.3.3 Ankkurin ja tartuntateräksen koekuormitus	28
5.4 Törmäyssuojat (fenderit)	29
5.4.1 Fenderin sijoittaminen.....	30
5.4.2 Fenderikilpi.....	31
5.5 Eroosiosuojaus	32
5.6 Varusteet.....	33

5.6.1 Pollarit	33
5.6.2 Laituritikkaat.....	34
5.6.3 Muut varusteet	34
6 RAKENTEIDEN MITOITUSKUORMAT	35
6.1 Jääkuormat.....	35
6.1.1 Terminen jääkuorma	36
6.1.2 Liikkuva jääkenttä.....	39
6.1.3 Pysähtynyt jääkenttä.....	40
6.1.4 Pystysuorat kuormat jäästä	43
6.2 Liikenne- ja nosturikuormat	45
6.2.1 Eurokoodin 1991–2 mukainen liikennekuorma.....	45
6.2.2 Nosturikuormat	47
6.3 Alukselta aiheutuvat kuormat	48
6.3.1 Tuulikuorma	48
6.3.2 Virtauskuorma.....	49
6.3.3 Alusten tuki- ja kiinnitysvoimat.....	50
6.3.4 Aluksen tulo laituriin.....	52
6.3.5 Jäätelikuorma	54
6.3.6 Onnettomuuskuorma aluksen törmäyksestä	54
7 KUORMITUSYHDISTELMÄT	58
7.1 Murtorajatilat	59
7.2 Onnettomuusrajatilat	61
7.3 Käyttörajatilat	61
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET.....	64
9 YHTEENVETO.....	65
LÄHDELUETTELO.....	66

Liite 1. Ohjeellisia suunnitteluikää

Liite 2. Betonirakenteiden materiaali- ja rakennesuosituksia RIL 201-3-2013 mukaan

Liite 3. Betonirakenteiden materiaali- ja rakennesuosituksia NCCI 2 mukaan

Liite 4. Korroosion aiheuttama seinämäpaksuuden menetys

Liite 5. Paalun ankkurointi NCCI 7 vaatimusten mukaan

Liite 6. Laitureiden kuormien yhdistelykertoimia

Liite 7. Murtorajatilan sarjan A ja sarjan B yhdistelmät

Liite 8. Käyttörajatilan ominaisyhdistelmät

Liite 9. Käyttörajatilan tavallinen ja pitkäaikaisyhdistelmä sekä pysyvät kuormat

Liite 10. Onnettomuusyhdistelmät

Liite 11. Termisen jääkuorman laskentaesimerkki

Liite 12. Jään aiheuttamat pystykuormat, laskentaesimerkki

MERKINNÄT JA LYHENTEET

A	onnettomuuskuorma
A_1	jääkentän pinta-ala
A_2	rakenteen projektiopinta-ala virtausta vastaan kohtisuoralle tasolle
A_v	aluksen tuulta vastaan kohtisuora, vedenpinnan yläpuolinen projektiopinta-ala
A_w	virtausta vastaan kohtisuora projektio aluksesta
b	rakenteen leveys
b_i	yksittäisen paalun/pilarin leveys kuormitus suunnassa
b_l	aluksen leveys
C_e	epäkeskisyyskerroin
C_F	voimakkeroin
C_{Fr}	lautan karkeudesta riippuva kerroin
D_{ra}	aluksen syväys
d	pilarin paksuus
E_f	laiturin, fenderin ja aluksen vaimennettava energia
E_k	aluksen liike-energia
F_0	fenderin aiheuttama maksimireaktivoima
F_{bt}	kiinnityspisteen kuorma kohtisuoraan laiturin suuntaa vastaan
F_{bl}	kiinnityspisteen kuorma laiturin suuntaan
F_{dx}	aluksen kulkusuuntaan aiheutuva dynaamisen kuorman ohjeellinen arvo
F_{dy}	aluksen kulkusuuntaa vastaan kohtisuora komponentti
F_{qn}	Aluksen aiheuttama hankauskuorma
F_{qs}	kiinnitetyn aluksen vaakasuora tukeutumiskuorma
F_R	törmäyskuorman kitkakomponentti
F_w	alukseen aiheutuva kokonaistuulikuorma
F_v	kiinnityspisteen kuorman pystysuora komponentti
G	jääkentän paino
G_l	aluksen paino
$G_{kj,inf}$	edulliset pysyvät kuormat
$G_{kj,sup}$	epäedulliset pysyvät kuormat
g	maan vetovoiman kiihtyvyys

h	jään paksuus
i	vedenpinnan kaltevuus
i_1	pilari/paaluperustukseen kohdistuva viivakuorma maantieteellisestä sijainnista riippuen
i_2	pilari/paaluperustukseen kohdistuva viivakuorma maantieteellisestä sijainnista riippuen
K_{FI}	kuormakerroin
k	jään nurjahtamisen huomioon ottava pienennyskerroin
k_1	rakenteen etupinnan muotokerroin jääkuorman vaikutustasolla
k_2	jään ja rakenteen kosketuskerroin
k_3	muotosuhdekerroin
k_4	aallokon sekä laiturin ja aluksen suhteiden huomioon ottava kerroin
k_s	jään lämpötilan ja nousunopeuden huomioon ottava kerroin
k_v	jään paksuuden ja rakenteen läpimitan huomioiva kerroin
L	karakteristinen mitta, jääkentän suurin pituus virran suunnassa
L_b	laiturin ja aluksen välinen kosketuspituus
l_1 ja l_2	etäisyydet tarkasteltavalta pilarilta viereisiin pilareihin
M	seinään kiinnitarttuneen jään aiheuttama taivutusmomentti
m	virtuaalinen massa (= aluksen oma massa + hydrodynaaminen massa)
n	toimivien kiinnityspisteiden lukumäärä
P	esijännitysvoima
\vec{P}	pysähtyneen jääkentän rakenteeseen aiheuttama kuorma
\vec{P}_1	tuulen aiheuttama jäänpinnan suuntainen tuulikuorma
P_2	pilareihin kohdistuva paikallaan pysyvän jään aiheuttama jääkuorma virtaavassa vedessä
\vec{P}_2	veden virtauksen suuntainen kuorma lautan alapintaan
P_3	pilari ja paaluperusteisiin laiturirakenteisiin kohdistuva virran suuntainen liikkuvan jääkentän kuormitus
\vec{P}_3	lautan painon vaakasuora komponentti
\vec{P}_4	lautan reunaan vaikuttava virtauskuorma
\vec{P}_5	lautan reunaan vaikuttava aaltokuorma
P_i	paalu-/pilariperustuksiin vaikuttava jään lämpölaajenemisesta johtuva kokonaisjääkuorma

P_w	virtaavan veden aiheuttama kuorma alukselle
p	virtaavan veden paine
$Q_{k,i}$	muuttuva kuorma i
q	tuulennopeuspaine pinnan A_v painopisteen korkeudella
Re	reynoldsin luku
t	aika hetkestä, jolloin vedenpinta alkaa nousta tai laskea
t_0	aika, jonka teräsrakenteen korroosiosuojaus suojaa rakennetta
t_1	aika teräksen korroosion alkamisesta siihen hetkeen, jolloin rakenne ei täytä sille asetettuja vaatimuksia
V	seinämäiseen rakenteeseen kohdistuva pystysuora jääkuorma
v	veden virtausnopeus
v_a	aluksen tulonopeuden rakennetta vastaan kohtisuora komponentti
v_s	virtausnopeus
v_v	vedenpinnan nousu- tai laskunopeus
β	kiinnitysköysien kaltevuus vaakatasosta
γ_p	esijännitysvoiman osavarmuuskerroin
$\gamma_{Q,i}$	kuorman i osavarmuuskerroin
γ_w	veden tilavuuspaino
ρ	veden tiheys
μ	hankauspintojen välinen kitkakerroin
μ_v	veden viskositeetti
μ_1	jäänpinnan karkeudesta riippuva kerroin
μ_k	hydrodynaaminen muotokerroin
σ_{ip}	jään puristuslujuuden ominaisarvo
σ_{it}	jään taivutuslujuuden ominaisarvo
$\Psi_{0,i}$	kuorman i yhdistelykerroin

1 JOHDANTO

Tyypillisten Väyläviraston laitureiden suunnitteluun ei toistaiseksi ole vielä kattavaa ja ominaista suunnitteluohjetta, kuten esimerkiksi silloille, joten alustavan ohjeen luominen opinnäytetyöksi oli sopiva aihe. Vesirakenteiden suunnitteluun yleisesti on jonkun verran ohjeita, mutta laitureiden osalta täytyy suunnittelussa käyttää spesifisten ohjeiden sijaan useita eri lähteitä osittain soveltaen. Tässä työssä koottiin yhteen laiturirakenteiden mitoitukseen ja suunnitteluun pääasiassa vaikuttavia tekijöitä sekä tavoitteena oli yhtenäistää eroja eri suunnittelijoiden välillä.

Lisäksi työn painopisteenä on laitureille kohdistuvien kuormien, erityisesti jääkuormien arvioiminen. Jääkuormien suuruudessa on jonkin verran eroa eri maiden ja standardien välillä. Jääkuormista on tehty ajansaatossa jonkin verran tutkimuksia, mutta ongelmana on, ettei tutkijoiden ja vesirakenteiden suunnittelijoiden kiinnostuksen kohteet ole samat. Esimerkiksi rakennesuunnittelun kannalta termisen jääkuorman vaikutuskorkeus ja suuruus on joissakin laiturikohteissa useiden rakenneosien kannalta mitoittavin tekijä. Tutkimustietoa edellä mainitusta ongelmasta on vähän saatavilla.

Työn aikana hankittiin teoretietoa jääkuormien mitoituksessa ja arvioinnissa tällä hetkellä käytettävistä menetelmistä. Rajallisen ajan takia työssä ei perehdytty jääkuormien suuruuden ja jääkuormien vaikutuskorkeuden todennäköisyyksien laskemiseen. Työssä laskettiin erilaisia jääkuormaskaarioita, joiden avulla suunnittelija, viranomainen ja tilaaja voivat arvioida kuormien suuruutta ja todennäköisyyttä sekä suunnittelussa käytettäviä mitoituskauormia ja osavarmuuslukuja.

2 VAATIMUKSET

Satamalaitureiden uudis- ja korjausrakentamista koskevia säädöksiä löytyy maankäyttö- ja rakennuslaista, vesilaista, muinaismuistolaista ja muista laeista ja asetuksista sekä viranomaisten antamista asioita koskevista ohjeista ja määräyksistä. Satamalaitureiden suunnittelussa tulee noudattaa näitä säädöksiä. Myös Suomen rakentamismääräyskokoelmaa noudatetaan soveltuvilta osilta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 53).

Viranomaisohjeiden lisäksi useat rakennusalan järjestöt ovat julkaisseet omia ohjeitaan, joita suositellaan käytettäväksi suunnittelussa. Ohjeet sisältävät esimerkiksi materiaali-, rakenne-, rakennusosa-, ja rakennustyyppikohtaiset suunnitteluohjeet. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 53). Esimerkiksi Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry:n julkaisussa suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat – vesirakenteet annetaan ohjeita laiturirakenteiden suunnitteluun. Väyläviraston laiturihankkeissa tulee noudattaa myös Väyläviraston omia ohjeita soveltuvilta osilta.

2.1 Käyttöikä

Rakennusvaiheen alkuvaiheessa, viimeistään hankesuunnitteluvaiheessa määritetään laiturirakenteen suunnitteluikä. Suunnitteluiän määrittelee rakennuttaja käyttäen apunaan suunnittelijoita. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 61).

Koko rakennetta ei tarvitse suunnitella samalle käyttöiälle, vaan käyttöikäoptimointi on joissakin rakenneosissa järkevää. Rakenneosan käyttöikää voidaan pienentää, esimerkiksi sillä perusteella, että sen uusiminen ja korjaus käyttöiän aikana on helppoa ja edullista. Vastaavasti rakenneosiin, joiden korjaaminen käyttöiän aikana on vaikeaa ja kallista, on perusteltua valita pidempi suunnitteluikä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 61). Liitteessä 1 on esitetty satamalaitureiden rakennemuodulien ohjeellisia suunnitteluikä RIL 236-2006 mukaan.

RIL 201-1-2017:n ohjeen mukaan rakenne on suunniteltava ja toteutettava siten, että se säilyttää tarvittavat luotettavuustasonsa suunnitellun käyttöikänsä ajan ja on taloudellisesti järkevä.

- kestää kaikki todennäköisesti esiintyvät kuormat ja vaikutukset
- säilyttää käyttökelpoisuutensa vaadittuun tarkoitukseensa

Lisäksi rakenne tulee suunnitella siten, että sillä on riittävä kestävyys, käyttökelpoisuus ja säilyvyys.

Laiturin tulee kestää onnettomuustilanteita siten, että vauriot eivät ole alkuperäiseen syyhyn nähden suhteettoman laajat. Vaurio vältetään pienentämällä vaurioitumisen todennäköisyyttä ja pienentämällä mahdollisen tapahtuman seuraamuksia. Lisäksi valitsemalla rakenneratkaisuja, joilla on hyvä vaurionsietokyky ja jotka eivät sorru varoittamatta, voidaan riskiä pienentää. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017, 25).

2.2 Vaurioitumiseen varautuminen

Taloudellisista syistä laituria ja sen rakenneosia ei ole järkevää mitoittaa kaikille mahdollisille kuormille. Myrskyssä tai muuten epävakaisissa olosuhteissa aluksen hallinta voi karata ja se voi törmätä rakenteeseen liian suurella nopeudella tai väärässä asennossa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 246). Lisäksi esimerkiksi tieliikenteen ajoneuvojen törmäys voi joillakin laitureilla olla mahdollista.

Poikkeuksellisista kuormitustilanteista johtuva rakenteen rikkoutuminen ja korjaus sen jälkeen on otettava yhdeksi taloudelliseksi tekijäksi suunnitelmaa laadittaessa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 241). Onnettomuusmitoitustilanteiden käsittelyyn käytettävät toimintaperiaatteet ja säännöt sovitaan hankekohtaisesti tilaajan ja viranomaisen kanssa, mutta onnettomuuskuormille ei voi sopia ilman viranomaisen lupaa pienempiä arvoja kuin standardeissa on esitetty. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011, 114).

3 SÄÄ- JA YMPÄRISTÖOLOSUHTEET

Rakenteet voivat sijaita erilaisissa ympäristöissä ja kokea erilaisten sääilmiöiden kuluttavaa vaikutusta. Materiaali voi heiketä eri syistä tai kulua. Laiturirakenteiden pääasiallisia sää- ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia ovat tuuli, aallokko, virtaukset, jää, jäätyminen, sade, lämpötilavaihtelut sekä veden ominaisuudet ja suolarasitus. (Liikennevirasto, 2016 b, 27).

3.1 Tuuli

Tuuli vaikuttaa harvoin suoraan laiturirakenteisiin, mutta vaikuttaa alusliikenteeseen ja rakenteeseen kiinnittyneiden alusten välityksellä rakenteeseen. Kovan tuulen aikaan laituriin saapuminen voi olla haastavaa, mikä voi aiheuttaa aluksen törmäämisen. Tuulen vaikutuksesta fendereihin ja pollareihin voi aluksen välityksellä kohdistua suuria voimia. Pollarit ovat laiturin reunaan asennettuja aluksen kiinnityspisteitä ja fenderit ovat laiturimuuriin kiinnitettäviä puisia tai kumisia rakenteita, jotka suojaavat sekä alusta että laituria. Aluskoon muutos rakennusajankohdasta voi aiheuttaa alimitoitusta rakenteille. (Liikennevirasto, 2016 b, 27).

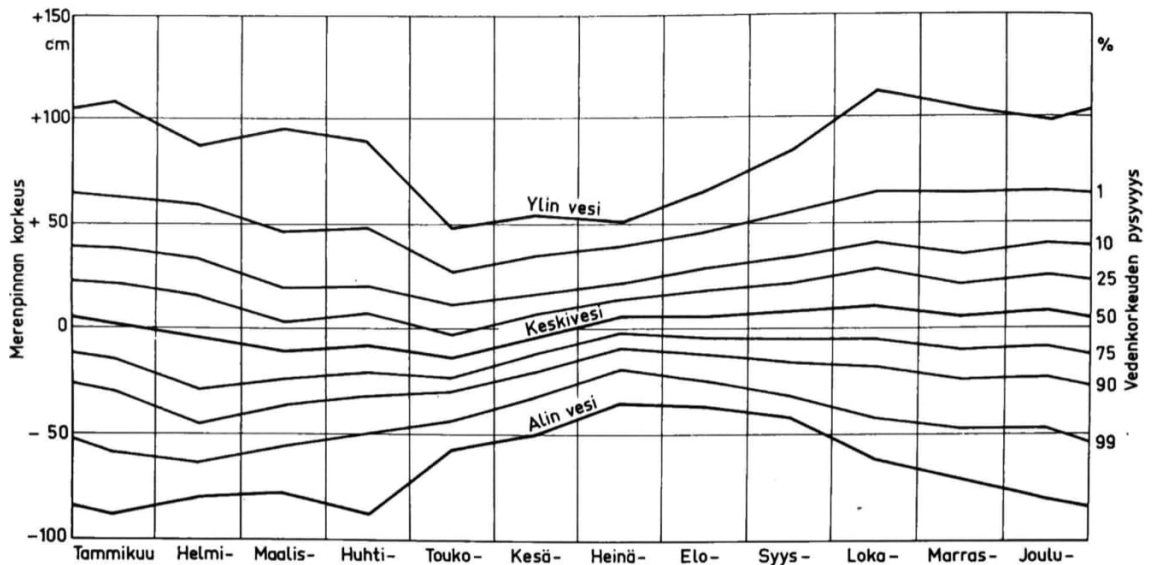
3.2 Vedenkorkeuden vaihtelualue

Ylä- ja alaveden korkeuden välinen alue on vedenkorkeuden vaihtelualue. Vedenkorkeuden vaihtelualue on eri riippuen rakenteen sijainnista ja ilmastotekijöistä. Yksittäiset vuodet voivat poiketa huomattavasti toisistaan. Merentutkimuslaitos julkaisee tilastoja vedenkorkeudesta eri paikkakunnilta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 22).

Itämerellä vedenkorkeuteen vaikuttavat hitaat kokonaisvesimäärän muutokset sekä lyhytkestoiset paikalliset vaihtelut. Hitaita vaikutuksia ovat veden virtaus Tanskan salmista Itämereen, mikä nostaa vedenkorkeutta kaikilla mittauspaikoilla. Tuuli aiheuttaa lyhytkestoisia paikallisia vaikutuksia kasaamalla vettä erityisesti lahtien pohjukoihin. Korkea ilmanpaine painaa vettä alaspäin ja matalapaineen alueella se nousee. Normaali ilmanpaineen vaihtelu voi siten aiheuttaa useiden kymmenien senttien vaihtelun. Yhtenäinen jääpeite estää tuulen vaikutuksen vedenpintaan ja hillitsee vedenpinnan

lyhytaikaisia vaihteluita. Ääriarvotilanteita ei synny yhtä helposti kuin avovesitilanteessa, kun tuuli ei pääse kasaamaan vettä rannikolle. (Ilmatieteenlaitos).

Merenpinnan korkeudessa on myös vuodenaikakohtaista vaihtelua, mikä johtuu lähinnä tuulen ja ilmanpaineen vuotuisesta kierrosta (Ilmatieteenlaitos). Kuvassa 1 on Meriveden pysyvyys Helsingissä kuukausittain. Kuvasta huomataan, että vedenpinnan vaihtelu on pienempää kesäaikaan.

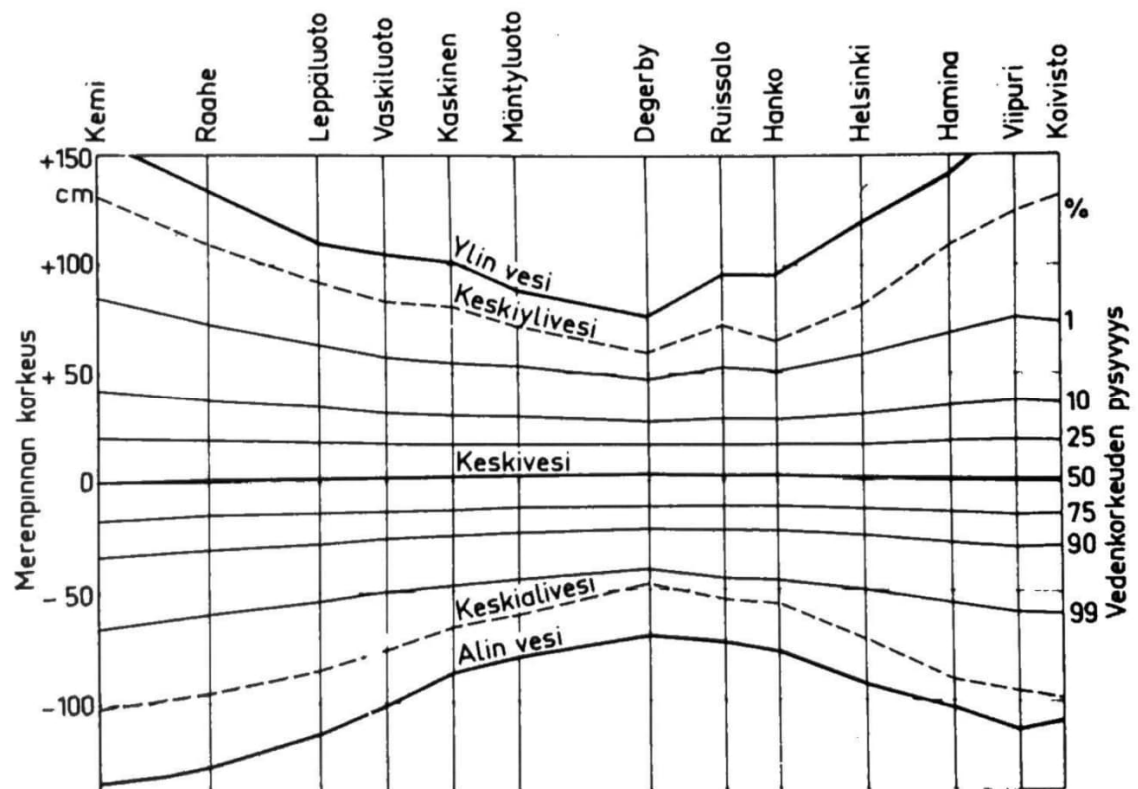


Kuva 1. Meriveden pysyvyys Helsingissä kuukausittain (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 250)

Vesipinta jäätyy vedenkorkeuden vaihtelualueelle ja aiheuttaa vaaka- ja pystysuuntaisia kuormia laiturirakenteille (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 22). RIL 201-3-2013 ohjeen mukaan aluksen ja laiturin väliin jäävän jään, termisen jään, jään nosteen ja roikkumisen, liikkuvan jään sekä ahtojään kuormaresultantin oletetaan vaikuttavan vedenkorkeuden vaihtelualueella syvyydellä $h/3$ jään yläpinnasta (h = jään paksuus). Esimerkiksi paaluperusteisen pistolaiturin mitoituksessa voi olla merkitystä, vaikuttaako termisen jääkuorma vain paaluihin vai yläveden aikaan myös pistolaiturin kansirakenteeseen, jolloin jääkuorman vaikutus kasvaa huomattavasti vaikutuspinta-alan kasvaessa. Liitteessä 11 on esimerkkilaskenta kyseisestä tapauksesta.

Termisen jääkuorman suuruus RIL:n ohjeen mukaan laskettaessa oletetaan sellaiseksi, ettei sitä ylitetä 0,98 todennäköisyydellä kuormaresultantin kohdistuessa mille tahansa

vedenkorkeuden vaihtelualueelle syvyydellä $h/3$ jään yläpinnasta. Todennäköisyys että vesipinta jäätyy yläveteen tai aiheuttaa termistä jääkuormaa tällä alueella, on luultavasti pienempi kuin keskiveden alueelle. Kuvassa 2 on RIL 123 mukainen kuva meriveden pysyvyydestä Suomen rannikolla. Esimerkiksi todennäköisyys, että vedenkorkeus Helsingissä on yli +0,6 m on noin 1 %. Yleensä rakentamispaikalta ei ole saatavissa riittävästi historiatietoa, jotta jääkuorman suuruus voitaisiin määrittää edellä mainitun todennäköisyyden mukaisesti.



Kuva 2. Vedenkorkeuden pysyvyys Suomen rannikolla (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 250).

3.3 Aallokko

Aallokot aiheuttavat vaurioita erityisesti tiheään liikennöityjen ja avoimien alueiden lähellä olevissa rakenteissa. Aallokko aiheuttaa kulumista erityisesti veden vaihtelualueella ja eroosiota aallokon virtausvaikutuksesta. Suurempi aallokko voi aiheuttaa merkittäviä paineiskuja rakenteeseen ja kuormituksia alusten välityksellä. Kiinnityskettingit ja liitososat voivat joutua aallokossa jatkuvaan liikkeeseen aiheuttaen väsymisvaurioita ja kulumista. (Liikennevirasto, 2016 b, 27).

3.4 Virtaus

Luonnon virtaukset Suomen rannikoilla ovat pääsääntöisesti melko pieniä, mutta esimerkiksi jokien ja saaristojen salmien varsilla sijaitsevilla rakenteissa voi esiintyä virtauksen aiheuttamaa räsitusta. Virtaus aiheuttaa rakenteen kulumista virtaukselle alttiina olevaan rakenteeseen. Esimerkiksi jokisiltojen virtapilareista on havaittavissa suurempaa kulumista ylävirran puolella. Rakenteen muoto voi altistaa virtauksen aiheuttaman räsituksen hyvin paikallisesti tiettyyn kohtaan. Virtaus aiheuttaa kulumisen lisäksi maa-aineksien siirtymistä ja eroosiota. Esimerkiksi jokialueilla jääpadot voivat muuttaa virtausta niin, että se kohdistuu tiettyyn kohtaan ja aiheuttaa paikallista eroosiota alueella, jossa ei normaalisti esiinny kovaa virtausta. (Liikennevirasto, 2016 b, 27–28).

3.5 Jää

Jää vaikuttaa rakenteisiin useilla eri tavoilla. Jäälauta voi tuulten ja virtausten sekä alusten vaikutuksesta törmätä laiturirakenteisiin ja aiheuttaa mekaanista räsitusta. Vaikutusalue riippuu monesta tekijästä, esimerkiksi veden korkeudesta törmäyshetkellä, rakenteen muodosta ja jään paksuudesta. Veden noustessa tai laskiessa rakenteeseen kiinnijäänyt jääkansi aiheuttaa pystysuoria voimia rakenteeseen. Jään lämpölaajeneminen (termiset jääkuormat) aiheuttaa rakenteeseen ulkoisia voimia. Jäätymis-/sulamisrasitus aiheuttaa puolestaan suuria sisäisiä voimia ja vaurioittaa rakennetta sisältäpäin. Kuormat kohdistuvat pääosin pinnan yläpuolisiin alueisiin ja veden vaihtelualueelle. (Liikennevirasto, 2016 b, 28).

Jotta voitaisiin määrittää jääkuormia, täytyy tietää, millaista jäätä kohteessa on mahdollista esiintyä. Ilmatieteen laitoksen mukaan kiintojää on nimensä mukaisesti paikallaan pysyvää jäätä, joka on kiinnittynyt saariin, kareihin tai matalikkoihin. Sitä esiintyy rannikoilla ja saaristossa vedensyvyyden ollessa usein alle 20 metriä. Kiintojää pysyy paikoillaan aina sulamiseensa saakka. (Ilmatieteen laitos).

Ulapoilla merijää on ajojää, joka liikkuu tuulten ja virtausten voimasta. Ajojään liike aiheuttaa jääkentän hajoamisen lautoiksi, joiden halkaisija voi olla useita kilometrejä. Liikkuvan jään ja ahtojään vaikutusten kannalta keskeisiä maastoelementtejä ovat laiturin lähistöllä olevat matalikot, karikot ja muut jään liikkeitä rajoittavat elementit.

Kohdatessaan esteen, esimerkiksi kiintojään reunan, liikkuva ajojää kasaantuu, eli ahtoutuu. Tällöin jäätä kutsutaan ahtojääksi. Ahtojäätä esiintyy yleensä eniten merialueiden reunoilla siellä, minne tuuli tyypillisimmin puhaltaa. Itämeren alueella etelän ja lännen väliset tuulet ovat vallitsevia, ja tästä johtuen eniten ahtaumia esiintyy Suomen rannikoilla sekä Suomenlahden itäosassa. (Ilmatieteen laitos).

Rakennesuunnittelun kannalta kiinnostavimpia ovat ääritilanteet. Ääritilanne voi syntyä, kun myrsky nostaa vedenpintaa ja paksu teräsjääkansi nousee ja irtoaa rannoista ja kareista. Tämä mahdollistaa jään rajallisen liikkeen laitureita ja sen pilareita vastaan.

Kunnon pakkastalvina paksussa jääkentässä tapahtuu hitaita liikkeitä lämpötilan vaihteluista johtuen. Jään ylä- ja alapinnan välillä tapahtuu lämpötilavaihteluita, jolloin jää kutistuu ja siihen repeytyy railoja. Railoihin noussut vesi jäätyy ja estää sään lämmitessä jäätelien yhteen painumisen. Tästä syntynyt paine työntää jäätä rannoille ja nostattaa ulapalle jääharjanteita. Jään lämpölaajenemisnopeus on aina niin hidasta, että jää viruu ja rajoittaa huomattavasti jääkuormien suuruutta (Liikennevirasto, 2011, 7).

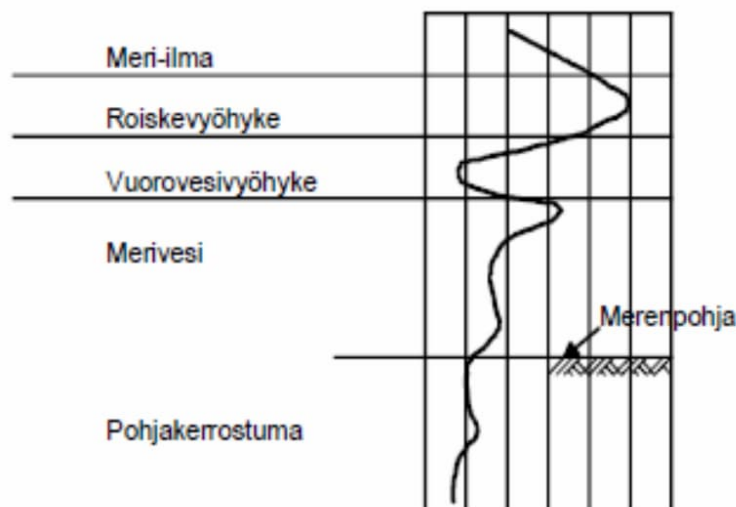
Keväällä jää alkaa sulamaan rannoilta ja kareilta. Ääritilanteita voi syntyä jäiden lähdön alkuvaiheessa, kun voimakkaat tuulet ajavat isoja ja vahvoja jäälauttoja rakenteita vasten. Myös korkea vesi edesauttaa jään liikkumista tässä tilanteessa. Jääolosuhteista kannattaa tarvittaessa hankkia lisätietoa esimerkiksi laivojen ja yhteysalusten kapteeneilta sekä paikallisilta merellä liikkujilta, esimerkiksi kalastajilta.

3.6 Lämpötilavaihtelut

Jäätymis-/sulamisrasitus aiheuttaa lämpötilan vaihteluiden vaikutuksesta betonin pakkasrapautumista. Pakkasrapautuminen johtuu betonin halkeamisissa ja huokosissa olevan jään lämpölaajenemisesta, ja kohdistuu pääasiassa rakenteen vedenvaihtelualueelle ja kosteudelle alttiisiin rakenteen kohtiin. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat lämpölaajenemista, joka aiheuttaa pääosin sisäisiä rasituksia rakenteessa. Rakenteiden liikkeet lämpölaajenemisesta johtuen pitää tarvittaessa huomioida. Lisäksi esimerkiksi kiinnikkeet saattavat löystyä jatkuvan supistumisen ja laajenemisen vuoksi. (Liikennevirasto, 2016 b, 29).

3.7 Veden ominaisuudet

Veden ominaisuuksilla voi olla merkittävä vaikutus rakenteisiin. Meriveden suolapitoisuuden takia suolarasituksen aiheuttama korrosio on voimakasta teräsrakenteissa. Suolarasitus voi vaikuttaa hyvinkin laajalla alueella aallokon, tuulen ja veden suolan yhteisvaikutuksesta. Veden poikkeuksellinen happamuus tai emäksisyys voi syövyttää rakennetta odotettua nopeammin. Betonin alkalikiviainesreaktiossa vesi voi laukaista vaurioitumisen ja aiheuttaa reaktioita rakennusaineissa. (Liikennevirasto, 2016 b, 29).



Kuva 3. Korroosionopeus meriolosuhteissa (Hakulinen 2003)

Lisäksi veden ominaisuuksilla on vaikutus vedestä syntyvän jään ominaisuuksiin erityisesti lujuuteen. Merijään suolapitoisuuden takia pintaosan kiteisiin nähden järjestäytymätön kerros on paksumpi kuin makean veden jäällä. Merijää sisältää pystysuuntaisia makroskooppisia koloja ja onkaloita, jotka sisältävät suolavettä ja ilmaa. Lisäksi epäpuhtaudet, jotka eivät muodosta stabiilia yhdistettä jään kanssa, aiheuttavat siihen koloja ja onkaloita. Stabiilin yhdisteen muodostavia aineita on vähän. (Rakenteiden mekaniikan seura, 1977, 37-38) Merijään suola heikentää sen lujuutta, jolloin se on hauraampaa kuin makean veden jää.

4 KÄYTÖN VAIKUTUKSET

Laitureille aiheutuu niiden käytöstä erilaisia kuormituksia. Rakenteita kuormittavat tavarakuormat, liikennekuormat, nosturin tassukuormat ja alusten aiheuttamat kuormitukset.

4.1 Potkurivirtaukset

Potkurivirtaukset ovat laiturirakenteille eroosion kannalta haitallisimpia koneiden aiheuttamien voimakkaiden virtausten takia. Nykyajan aluksissa voi olla 360 astetta kääntyviä potkureita ja keula- ja sivupotkureita, joiden vaikutukset kohdistuvat eri tavalla. Lisäksi alusten konetehot voivat muuttua laiturin suunnittelu- ja rakentamisajankohdan jälkeen, mikä voi aiheuttaa merkittävää eroosiota rakenteiden lähistöllä. (Liikennevirasto, 2016 b, 30).

4.2 Laitureiden talvikäyttö

Laiturin lähistöllä jäänmurtoa tekevän tai laituriin tulevan aluksen ja laiturin väliin puristuva jäälohkare aiheuttaa rasituksia rakenteelle. Jäiden poisto laiturin lähistöltä potkureita voimakkaasti käyttäen, voivat aiheuttaa eroosiota. (Liikennevirasto, 2016 b, 30) Alukset voivat myös potkurivirrallaan iskeä jääkappaleen laiturirakenteeseen 200...500 kN voimalla (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 242).

4.3 Laituritoiminnot

Laiturilla tapahtuva lastinkäsittely ja liikenne aiheuttaa mekaanisia kuormia laiturirakenteille ja kulutusta kansilaatalle. Laituria voivat kuormittaa esimerkiksi henkilö-, liikenne-, nosturi- ja tavarakuormat. Lisäksi laituriin nojaava alus aiheuttaa kitkavoimia aluksen kyljen ja suojalaitteiden välillä. Kitka välittää laivan pysty- ja vaakaliikkeitä laituriin. Aluksen tulosta, lähdistä, tuulesta, aallokosta ja kiinnitysköysien voimista aiheutuu laituriin sysäysvoimia. Sysäysvoimat siirtyvät laituriin pollareiden ja suojalaitteiden välityksellä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 246).

4.4 Epätavanomaiset toiminnot

Esimerkiksi myrskystä johtuva aluksen törmäminen laiturirakenteeseen liian suurella voimalla tai epätavallisessa asennossa aiheuttaa mekaanisia kuormia rakenteille ja voi aiheuttaa jopa rakenteiden murtorajatilan ylittymisen.

5 MATERIAALIT JA SUUNNITTELU

Betoni soveltuu erittäin hyvin laiturin rakennemateriaaliksi. Laiturimuureissa, paaluissa, pilareissa, kulmamuureissa, kasuunien seinärakenteissa ja kansilaatassa käytetään betonia. Terästä käytetään paaluissa, ponttiseinissä, palkeissa, suojarakenteiden ja erikoisrakenteiden rakenteissa. Puu on aikaisemmin ollut laiturirakenteiden päärakennusmateriaali. Nykyään puuta käytetään pääasiassa vain törmäyssuojarakenteissa. Hiekkaa ja murskattua kiviainesta käytetään laitureiden kenttäalueiden täytöissä. Merihiekka on helpon saatavuuden takia käytössä laajoissa täytöissä. Kenttätäyttöjä voidaan tehdä myös ylijäämämailla ja purkujätteillä. Nykyään purkujätteiden käyttöön tarvitsee ympäristöviranomaisen luvan. Kumit ja muovit ovat fendereiden rakennusmateriaaleja. Teräspaaluja voidaan pinnoittaa polyeteenillä korroosion pienentämiseksi. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 20–21).

5.1 Betoni

Vedessä olevat laiturirakenteet ovat ankarissa ympäristöolosuhteissa. Karbonatisoitumisen aiheuttamat korroosiorasitukset ovat veden vaihtelualueella rankemmat ja lisäksi rakenteisiin vaikuttaa jäätymis-/sulamisrasitus. Veden vaihtelualueella vaikuttaa myös kulutus liikkuvista jäistä. Myös laiturin ja aluksen väliin puristuva jää vaatii betonirakenteelta riittävää kulutuskestävyyttä. Meriveden suolat aiheuttavat korroosiorasituksia ja jäänpoistosuolauksesta voi laiturin kansirakenteeseen kohdistua kloridirasitusta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 78–79).

Laiturirakenteissa betonin tulisi olla mahdollisimman tiivistä, jolloin se suojaa raudoitusta tehokkaimmin korroosiolta. Kulutuskestävyyden kannalta betonin lujuusluokka ja sementtimäärät tulevat olla riittävän korkeat. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 78–79). Toisaalta betonin pakkasrapautumisen takia betonin tulee olla huokoistettua. Betonin valmistuksessa on haaste saada molemmat ominaisuudet riittävän korkeaksi.

Betonin säilyvyyden kannalta on tärkeää määrittää betoniin oikealaiset osa-aineet. Sementtilaatujen toimivuutta kloridi-, hiilidioksidi- ja jäätymis-/sulamisrasitusten ja niiden yhdistelmien suhteen on käsitelty RIL 236-2006 – julkaisussa. Merialueilla sijaitsevien laituri- ja rantatukimuurien (rasitusluokat XS2 ja XS3) sallitut sementtilaadut

on esitetty Betoninormit 2021 ja sen myöhemmissä päivityksissä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 79).

5.1.1 Raudoitusteräket

Raudoitusterästen korroosionopeus betonilaadun lisäksi vaikuttaa teräsbetonirakenteen käyttöikään. Teräksen korroosioalttiuteen vaikuttaa betonin halkeamaleveys, betonin suojaetäisyyspaksuus, teräslaatu ja terästen mahdollinen korroosiosuojaus. Raudoitusterästen korroosio alkaa siinä vaiheessa, kun betoni on karbonatisoitunut teräkseen asti ja terästen mahdollinen korroosiosuojaus on menettänyt suojauskykynsä. Rakenteessa olevat halkeamat nopeuttavat karbonatisoitumisen pääsyä teräkseen asti. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 84–85).

Teräsbetonirakenteen käyttöikää lisätään pääasiassa oikealla betonilaadun valinnalla, suojaavan betonikerroksen paksuutta lisäämällä ja pienentämällä rakenteen sallittua halkeamaleveyttä. Käyttöikää voidaan lisätä myös erilaisilla raudoituksen tai betonipintojen korroosiosuojauksilla. Haponkestäviä ja ruostumattomia teräslaatuja raudoituksissa voidaan käyttää, mutta niiden käyttöä on harkittava tarkoin, koska kaikki ruostumattomat teräket eivät sovellu kloridirasitettuihin rakenteisiin. Ruostumattomaan teräkseen liittyy aina sähkökemiallisen parin muodostumisen riski, mikä voi lyhentää rakenteen kokonaiselinkaarta. Ruostumattoman raudoituksen lämpölaajenemiskerroin on eri kuin betonilla, joten alemmissa lämpötiloissa voi muodostua lieviä esijännityksiä. Esijännityksillä on lievä positiivinen vaikutus rakenteen säilyvyyteen ja toimivuuteen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 85–86). Ruostumattoman teräksen ominaisuudet ovat varmistettava, mikäli niitä käytetään. Kuumasinkityillä raudoitusteräksillä saavutetaan yleensä parempi hyötykustannussuhde.

5.1.2 Betonirakenteiden käyttöikämitoitus

Betonirakenteiden käyttöikämitoitus lähtee käyttöiän ja rasitusluokkien määrittelystä. Tästä siirrytään rakennetietojen valintaan. Rakennetietoja ovat betonipeitteiden, rakennemittojen ja halkeamaleveyksien määrittely sekä betonin laatuparametrien valinta. Rakenteille määritetään mekaaniset ja fysikaaliset rasitukset, joiden jälkeen suoritetaan mitoituslaskelmat. Tulokset tarkastellaan ja tehdään mahdolliset muutokset lähtötietoihin ja tarvittaessa tarkastetaan mitoituslaskelmat. Betonirakenteiden käyttöikämitoitus voidaan tehdä taulukkomitoituksena tai laskennallisena mitoituksena. (Suomen

Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 87–88). Liitteessä 2 on RIL 201-3-2013 mukainen yhteenveto merialueiden laiturirakenteiden materiaali- ja rakennesuosituksista säilyvyyden kannalta.

Väyläviraston kohteissa noudatetaan infrabetonien valmistus – ohjetta. Infrabetoneiden merkitsemisessä suunnitelmiin ei rasisluokkia esitetä, pois lukien kemiallisen rasisuksen alaiset rakenneosat (XA-luokat). (Väylävirasto, 2020, 7, 11). Infrabetonin lujuus- ja pakkasenkestävyysluokat on määritetty ja merkitty rakennussuunnitelmaan soveltaen Väyläviraston Eurokoodin soveltamisohje – Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2:sta. NCCI 2 mukaan suunniteltaessa määritetään siltoja soveltaen laiturille suunniteltu käyttöikä, rakenneosa, rakenneosan tunnus, rasisluokkaryhmä ja rakenteessa käytettävä raudoitetyyppi. Edellä mainituista määrittämisistä saadaan rakenneosalle rasisluokat, lujuusluokka, P-lukuvaatimus ja betonipeitteen nimellisarvo. Liitteessä 3 on NCCI 2:sta soveltaen yhteenveto merialueiden laiturirakenteiden materiaali- ja rakennevaatimuksista säilyvyyden kannalta muutamassa laiturin osassa.

Suunnittelijalle voi olla haasteellista määrittää NCCI 2 perusteella esimerkiksi laiturin kansirakenteelle oikeita vaatimuksia, koska sillasta ei välttämättä löydy vastaavilla rasisluokilla olevaa osaa. RIL 201-3-2013 ohje määrittää vaatimukset tarkemmin ja on NCCI 2 kanssa hyvin yhtenevä.

5.2 Teräs

Terästä käytetään lähinnä laiturirakenteiden ja rantamuurien paaluperustuksissa ja tukiseinärakenteissa, betonirakenteiden kulumissuojina, kaiteina yms. Lisäksi teräsrakenteita käytetään satamalaitureiden erikoisrakenteissa esimerkiksi ajorampeissa, laiturisilloissa ja varusteissa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 95).

5.2.1 Teräsrakenteiden korroosio

Teräksen korroosionopeus vaikuttaa rakenteen käyttöikänsä. Teräsrakenteen käyttöikä voidaan esittää kaavalla:

$$t = t_0 + t_1, \tag{1}$$

missä t_0 = aika, jonka teräsrakenteen korroosiosuojaus suojaa rakennetta,
 t_1 = aika teräksen korroosion alkamisesta siihen hetkeen, jolloin
 rakenne ei täytä sille asetettuja vaatimuksia. (Suomen Rakennusinsinöörien
 Liitto RIL ry, 2006, 96–97).

Ilmassa korroosionopeuteen vaikuttavat lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, pinnan märkänä oloaika sekä epäpuhtaudet. Korroosion edellytyksenä tavallisesti on yli 60 % ilman suhteellinen kosteus. Suomessa tämä arvo ylittyy ulkoilmassa lähes aina. Epäpuhtaudet pitävät pinnat kosteina ja kiihdyttävät siksi korroosiota. Ilman epäpuhtaudet esimerkiksi typen oksidit lisäävät korroosiota. (Laitinen, 2012).

Korroosionopeuteen vedessä vaikuttavat suolat, happipitoisuus, biologinen toiminta ja virtausnopeus. Meriveden roiskevyöhykkeellä happea, kosteutta ja suoloja on runsaasti saatavilla, jolloin korroosio etenee nopeasti. Hapen puutteen takia syvemmillä vedessä korroosio hidastuu. Mikrobien kasvu voi nopeuttaa korroosiota monin tavoin. Veden virtaus ja liikkuvat jäät kuljettavat reaktiotuotteita pois ja tuo lisää happea, jolloin korroosio lisääntyy. (Laitinen, 2012).

Maaperän korroosio-olosuhteet vaihtelevat suuresti. Normaalisissa luonnontilaisessa maapohjassa korroosio on hidasta. Maassa riittää aina kosteutta, mutta happipitoisuus vaihtelee. Vedellä kyllästetyssä maassa happi ei pääse liikkumaan, jolloin se hidastaa korroosiota. Hienorakeisissa maissa pohjaveden alapuolella ei happea juuri ole. Karkearakeisessa ja tiivistämättömässä maassa ilma pääsee liikkumaan, jolloin happea on saatavilla. Maanpinnan lähellä korroosioriski on suurin. Maaperän happamoituminen, kemikaalit ja suolat edistävät korroosiota. (Laitinen, 2012).

5.2.2 Korroosionesto- ja suojausmenetelmiä

Oikean rakennetyypin valinnalla voidaan estää teräsrakenteiden korroosiota. Vesirajassa teräksen korroosio on nopeaa ja jään mekaaninen rasitus nopeuttaa korroosiota. Tästä syystä paalun yläosan korroosiokestävyys täytyy olla muuta paalua parempi. Teräsputkipaalujen suojauksessa käytetään usein teräksistä jääsuojaa. Paalun kovan rasituksen alainen osa suojataan teräksisellä holkillla. Holkin ja paalun välinen osa täytetään betonilla. (Koskelainen, 2012). Myös perinteisen teräsponttiseinän tilalla on

käytetty sisältä valettua putkiponttiseinää, mikä voi jopa kaksinkertaistaa rakenteen käyttöiän ja on helppo ja kustannustehokas toteuttaa työmaalla.

Teräsputkipaaluja suojataan usein sisäpuolisella valulla, jolloin korroosiota ei tapahdu paalun sisällä. Teräsponttiseiniä voidaan myös suojata ulkopuolisella betonirakenteella korroosiota vastaan. Suojaavan betonikerroksen vaatimukset ovat samat kuin teräsbetonirakenteiden betoneille. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 97). Jos avoimen paalun alapää on pysyvästi pohjavedenpinnan alapuolella ja paalun yläpää ilmatiivis, on paalun sisäpinnan korrosio vähäistä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 152).

Korroosio huomioidaan tavallisesti ylimitoituksella eli korroosiovarana. Ylimitoituksessa teräsrakenteen ainevahvuutta kasvatetaan siten, että arvioidun käyttöiän jälkeen korroosion heikentämä rakenne on riittävä kantamaan rakenteelle suunnitellut kuormat. Tarvittava korroosiovara riippuu suunnitellusta käyttöiästä ja rakenteen ympäristön korroosio-ominaisuuksista. Ylimitoituksessa on huomioitava myös voimakkaat potkuri- ja suihkuvirtaukset ja jään kuluttava vaikutus. Tällöin rakenteen pintaan muodostuva suojaava ruostekerros kuluu pois ja korrosio etenee huomattavasti nopeammin. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 152).

Väyläviraston kohteissa teräsrakenteiden korroosiovara otetaan huomioon Väyläviraston Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu – NCCI 7:n mukaan. Liitteessä 4 on vuoden 2017 version mukainen taulukko korroosion aiheuttamasta paksuudenmenetyksestä. Taulukko ei ota huomioon potkurivirtausten ja alusten liikuttaman jään ruostetta poistavaa vaikutusta. Potkurivirtojen takia vesi on hapekasta, mikä myös edesauttaa korroosiota. Näin ollen saattaa olla tarpeen käyttää moninkertaisia korroosiovaroja taulukon arvoihin verrattuna. NCCI 7:n vuoden 2022 lausuntaversiossa korroosiovaroja on lisätty ja esimerkiksi meriveden roiskevyöhykkeellä se on 50 vuoden käyttöiällä yli kaksinkertainen 2017 versioon verrattuna. Ruotsalaisten ohjeiden mukaan roiskealueen, vuorovesialueen ja matalan veden alueella teräs on suojattava. Norjan ”peleveledningen 2018” lausuntaversiossa korroosiovarat edellä mainituilla alueilla ovat jopa 30 mm sadassa vuodessa. Pålkommissionin ”Sponthandboken 2018” mukaan 15 mm paksuun teräsponttiseinään merivedessä tulee läpimeneviä reikiä vesirajan alueella jo 50 vuodessa.

Teräsrakenteita voidaan korroosiosuojata myös pinnoittamisella, esimerkiksi maalauksella tai kuumasinkityksellä, mutta niiden kustannus hyötysuhde on olematon. Teräspaalujen ja ponttiseinien pinnoitus on ongelmallista, koska asennuksen yhteydessä pinnoitteet naarmuuntuvat ja korroosio keskittyy näille vaurio alueille. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 96). Teräspaalujen ja ponttiseinien korroosiota estäviä pinnoitteita ei voi yleensä uusia. Kokemuksen mukaan epäorgaaniset pinnoitteet on ainoa toimiva pinnoitevaihtoehto. Vapaassa vedessä pinnoite kestää noin 10 vuotta, joten helpompi tapa on suojata teräsrakenteet korroosiovaralla. Sinkitty teräs kestää huonosti merivedessä, mutta esimerkiksi suojalaitteissa ja muissa varusteissa sitä on syytä käyttää. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 248–249).

RIL 236-2006 mukaan merirakenteiden yleisimpiä pinnoitusmenetelmiä ovat:

1. Epäorgaaniset pinnoitteet

- betonisuojaus
- paalun suojaus: teräksinen jäänsuojaputki, valu ja paalu
- metalliverhous: teräslevy, korroosionkestävä metalliverhous tai metalliruiskutus

2. Orgaaniset pinnoitteet

- polyuretaanipinnoite
- uretaanielastomeeripinnoite
- vedessä kovetettu epoksinpinnoite
- korroosionestoteippi
- kuitumuovipinnoite
- kumipinnoite

3. Yhdistetyt orgaaniset ja epäorgaaniset pinnoitteet

- sinkkimaali pohjamaalauksena ja epoksimuovi pintamaalauksena
- sinkkimaali pohjamaalauksena, epoksimuovi välimaalauksena ja vettä pitävä maali (polyuretaani, silikoniseostettu akryylimuovi, fluoripitoinen muovi) pintamaalauksena
- sinkkimaali pohjamaalauksena ja tervaepoksimuovi pintamaalauksena
- muovimaalaus ja lasihiutalepinnoite
- muut yhdistelmäpinnoitteet

4. Bitumipinnoitteet

Haastattelin Tapani Jaakkolaa ja Jari Nikkiä pinnoitusmenetelmistä. Haastattelun mukaan laiturikohteissa ainoa toimiva suojaus on epäorgaaniset pinnoitteet, erityisesti betonisuojaus. Ruostumattomien teräslevyjen käyttö pinnoitteena aiheuttaa kontaktissa rakenneteräksen kanssa korroosioparin, jolloin sen käyttö on ongelmallista.

Pinnoituksen suunnittelussa ja pinnoituksessa käytetään pinnoitestandardveja, valmistajien ohjeita ja käsikirjoja. Suunnitelmissa tulee esittää ainakin pinnan esikäsittely, pinnoitteen tyyppi, paksuus ja väri sekä pinnoitealue. Pinnoitteen käyttöikään vaikuttaa merkittävästi pinnoituksen laatuvaatimukset. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 99–100).

Laiturirakenteiden teräsrakenteiden korroosiosuojaukseen voidaan soveltuvilta osilta käyttää Liikenneviraston ohjeita 25/2016 – Merimerkkien pintakäsittelyohje 2016 – Metallirakenteet. Ohjeessa on annettu ohjeita pintakäsittelystä ja esitetty suojamaaliyhdistelmiä ja maalausjärjestelmiä. Tilaajalla voi olla myös oma pintakäsittelyohje, mikä on muodostunut työmaatoteutuksesta ja pinnoitteen kestävydestä ottaen huomioon kohteiden erityispiirteet. Muun muassa pollareiden pinnoitukseen on joissakin kohteissa käytetty tilaajan määrittelemää pintakäsittelyä. Pollareiden ja varusteiden maalaus tulee tehdä polyuretaanimaalein, koska ne kestävät UV-rasitusta paremmin kuin epoksimaalit.

Katodista suojausta käytetään myös korroosiosuojauksena. Korroosiovirta voidaan kumota vastakkaisuuntaisella suojavirralla eli katodisella suojauksella. Suojavirralla lasketaan metallin elektrodipotentiaali immuniteettialueelle, jolloin korrosio hidastuu merkittävästi. Potentiaalia voidaan laskea uhrimetallilla tai ulkoisella tasavirtalähteellä. Katodisen suojauksen käyttö vaatii hyväksytyä suunnitelmaa. (Tiehallinto, 1999).

Katodinen suojaus vaatii, että suojattavaa terästä ympäröi sähköä johtava väliaine esimerkiksi vesi tai kostea maa. (Tiehallinto, 1999).

Erikoisteräksen valinta ei ole varsinainen korroosionestomenetelmä, mutta teräksen korroosionkestävyyttä voidaan parantaa seostamalla. Teräksen voidaan lisätä kuparia, nikkeliä, mangaania tai kromia, jolloin teräksen korroosionkestävyys paranee ilmassa. Maahan sijoitetuissa rakenteissa ei pienillä seosmäärillä juuri ole merkitystä. Merkittävä suoja vaatii haponkestävää terästä, jonka hinta on moninkertainen tavalliseen hiiliteräkseen verrattuna. (Tiehallinto, 1999).

5.3 Kallioankkurit ja tartuntateräksset

Kallioankkureita ja tartuntateräksiä on useita erilaisia, joiden toimintaperiaatteet eroavat toisistaan. Laiturirakenteissa kallioankkureita ja tartuntateräksiä käytetään moneen tarkoitukseen, esimerkiksi paalujen ankkurointiin pistolalaitureissa ja ponttiseinälaiturin teräsponttiseinän ankkurointiin.

Eurokoodi 7:n terminologian mukaan maa- tai kallioankkurilla on niin sanottu ”vapaa pituus”, jolla se ei ole kiinnittyneenä ympäröivään rakenteeseen tai maaperään. Tyypillinen rakenne, millä ei ole vapaata pituutta on esimerkiksi kallioon ja rakenteeseen koko pituudeltaan juotettu harjateräs tai tankoankkuri. Niitä ei luokitella ankkureiksi Eurokoodien mukaan. (Liimatainen, 2020).

Kallioankkureita ja tartuntateräksiä käytetään kuitenkin laiturirakenteissa usein samoihin käyttötarkoituksiin. Väyläviraston Eurokoodin soveltamisohjeen Geotekninen suunnittelu – NCCI 7:n mukaan ankkurina toimivien tartuntateräksien geoteknisessä murtokestävyydessä, koevedossa, kallion ehjyyden varmistamisessa ja korroosiosuojauksessa noudatetaan soveltuvin osin ankkureille annettuja ohjeita, mutta esimerkiksi korroosiosuojauksen huomioon ottamisessa on tulkinnan varaisuutta (Liimatainen, 2020).

EN 1537 käsittelee kallioankkureiden teknisiä vaatimuksia. Kallioankkurit jaetaan mitoituksen ja suunnittelun kannalta pysyviin ja väliaikaisiin ankkureihin EN 1537 mukaan. Pysyvien ankkureiden käyttöikä on yli 2 vuotta, joten laiturirakenteissa käytetyt ankkurit ovat pääasiassa pysyviä. Lisäksi staattisen toiminnan kautta ankkurit jaetaan esijännitettyihin ja esijännittämättömiin ankkureihin (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017, 147).

5.3.1 Korroosiosuojaus

SFS-EN 1537 mukaan väliaikaisen kallioankkurin teräsosat on korroosiosuojattava vähintään kahden vuoden käyttöiälle. Pysyville ankkureille on annettu kaksi korroosiosuojavaihtoehtoa:

- a) yksi korroosiosuoja, jonka kestävyys on todistettava testaamalla jokainen ankkuri paikalla, ellei toisin mainita, tai

- b) kaksi korroosiosuojaa siten, että jos yksi suoja vaurioituu asennuksen tai ankkurin kuormituksen aikana, toinen suoja toimii edelleen.

Väliaikaisen ankkurin korroosiosuojauksessa tulee ottaa huomioon mahdollinen aggressiivinen ympäristö, odottamaton käyttöiän pidentyminen ja ympäristöolosuhteiden muuttuminen aggressiiviseksi. Yleisesti kaikki jänteet on suojattava vähintään 10 mm laastipeitteellä kiinnityspituuden osalta. Työmaalla tehtyä ankkurin sementtikapselointia ei lasketa korroosiosuojakerrokseksi. Tehtaalla tai muuten valvotuissa olosuhteissa tehty kapselointi sementillä lasketaan yhdeksi kahdesta pysyvästä korroosiosuojasta. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2013 a).

Väyläviraston Eurokoodin soveltamisohjeen – NCCI7:n mukaan pysyvissä ankkureissa käytetään kaksinkertaista korroosiosuojausta ja korroosiosuojauksen suunnittelussa noudatetaan SFS-EN 1537 vaatimuksia.

Kallioankkurin tartuntaosuus ja tartuntateräkset ovat korroosion kannalta melko samanlaisissa olosuhteissa. Tartuntateräksiä tai ankkureita, joilla ei ole ”vapaata pituutta”, ei luokitella ankkuriksi, vaan Eurokoodin terminologian mukaan se on periaatteessa injektoitu pienpaalu. Paalutusohjeessa RIL 254-1-2016 s.117–119 annetaan ohjeita pienpaalujen injektointiaineen ja laastien kerrospaksuuksille ja ominaisuuksille eri olosuhteissa käyttöikävaatimuksen täyttämiseksi. (Liimatainen, 2020).

Väyläviraston ohjeen NCCI 7:n mukaan tartuntateräksille sovelletaan korroosiosuojauksen suhteen soveltuvilta osin ankkureille annettuja ohjeita. Liitteessä 4 on piirustus paalun ankkuroinnista kallioon, minkä korroosiosuojauksen suunnittelu tulisi eurokoodien mukaan tehdä pienpaaluna, mutta Väyläviraston ohjeen mukaan siihen sovelletaan ankkureiden korroosiosuojauksen suunnittelua eli kaksinkertaista korroosiosuojaa noudattaen SFS-EN 1537 vaatimuksia.

5.3.2 Vesimenekkikoe

Jotta ankkurin injektointi kallioon onnistuu, täytyy kallion olla riittävän ehjää, jotta injektointiaine ei karkaa kallion rakoihin. Maa- ja kallioankkureita koskevan standardin SFS-EN 1537 mukaan tartunnan kokonaan injektoituminen on varmistettava porareian valmistuttua tai injektoinnin aikana. Varmistus voidaan suorittaa esimerkiksi

vesimenekkikokeella, paineenlaskukokeella tai paineinjektioinnilla. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2013 a).

Väyläviraston ohjeen NCCI 7:n mukaan ankkureita tai tartuntateräksiä käytettäessä on kallion eheys tutkittava tartuntasyvyydeltä ja vähintään 3 metrin syvyydeltä porakonekairauksella ja porapaaluja käytettäessä vähintään 5 metriä syvyydeltä ehjään kallioon. Jokaisen paalun kohdalla tehdään vesimenekkikoe vähintään yhteen porareikään standardin SFS EN ISO 22282-3 mukaan. Rikkinainen kallio tulee injektoida. Vesimenekin tulee olla alle 1 Lugeon eli l/min/m/MPa. Käytettävä koepaine on 0,1 MPa ylipaine suhteessa pohjavedenpaineeseen. Injektointia ja vesimenekkikoetta toistetaan, kunnes kallio on riittävän tiivistä. (Liikennevirasto, 2017 a, 57).

Vesimenekkikokeen kriteeri kovalle kalliolle, jota ei tarvitse injektoida, perustuu Lugeonin (1933) empiirisiin tutkimuksiin. Tällaisessa tapauksessa vesimenekki oli 1 Lugeon. Kalliomekaniikan kansainvälinen yhdistys on julkaissut raportin, missä on käsitelty kallion lujuutta ja vesimenekkikoetta laajemmin (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2013 b).

Käytännön kokemus on osoittanut, että joissakin kohteissa 1 Lugeon vaatimus paalujen ankkureiden rei'ille on vaikea ja kallis saavuttaa. Sopiva vesimenekkikokeen vaatimus olisi ehkä järkevä arvioida, porarin kokemuksesta kalliosta, rakennuksen seuraamusluokan ja vaativuuden sekä todellisten kuormien kautta. Joissakin kohteissa porausrei'istä hankitaan tietoa videokuvaamalla reiät. On myös huomattu, että videokuvan ja kairaustulosten välillä voi olla ristiriitaisuuksia kallion ehjyydestä.

Olisi ehkä syytä myös miettiä, voiko ankkurointisyvyyden kasvattamisella kompensoida vesimenekkikokeen vaatimusta. Joissakin kohteissa vaatimuksena on käytetty alle 3 Lugeon.

5.3.3 Ankkurin ja tartuntateräksen koekuormitus

Sekä pysyville että väliaikaisille ankkureille tehdään koekuormitus. Ankkureiden koekuormitus tehdään ohjeen Esijännitettyjen maa- ja kallioankkureiden koestus, Liikennevirasto 30/2015 mukaan. (Liikennevirasto, 2017 a, 69).

SFS-EN 1997:ssä esitetään kolme koetyyppiä: hyväksyntäkoee, soveltuvuuskoee ja tutkimuskoee. Suomessa paljon käytössä oleville ja tavanomaisille ankkurityypeille riittää hyväksyntäkoee. Hyväksyntäkoee suoritetaan rakennuspaikalla ja sillä varmistetaan, että ankkuri täyttää mitoitusvaatimukset. Soveltuvuus- ja tutkimuskokeet liittyvät pohjaolosuhteisiin ja ankkureihin, joista ei ole aikaisempia vertailukelpoisia kokemuksia ja tutkimuksia. (Liikennevirasto, 2017 a, 69).

Väyläviraston ohjeen NCCI 7:n mukaan kaikille ankkureille ja pääsääntöisesti tartuntateräksille tehdään hyväksyntäkoee. Hyväksyntäkokeella tutkitaan kallion ja laastin sekä laastin ja ankkuritangon välisen tartunnan riittävyys. Kallion kestävyyttä esimerkiksi kalliokartion painon riittävyttä ei tutkita. (Liikennevirasto, 2017 a, 54). Koekuormituksena hyväksyntäkokeessa käytetään 1,5 kertaa murtorajatilan mitoituksen mukaista kuormaa. Olisi ehkä syytä harkita, riittäisikö murtorajatilan mitoituksen mukainen koekuorma. Joissakin tapauksissa ankkuri ja siihen liittyvät rakenteet on kestänyt koivetotilanteessa murtorajatilan kuorman, mutta normien mukaista koekuormaa ei. Tuoko ylimääräinen varmuus lisäarvoa rakenteelle.

5.4 Törmäyssuojat (fenderit)

Aluksen laituriin kohdistama sysäys, nojaus, hankaus ja kulutus on otettava vastaan sopivilla ja hyvin suunnitelluilla suojalaitteilla (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 252). Suojalaitteiden tehtävä on suojata sekä laiturirakennetta että alusta.

Laiturit voivat olla täysin paljaat, jolloin alukset käyttävät omia suojaimiaan, mutta pääsääntöisesti laiturit varustetaan fendereillä (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 252). Vähämerkityksiset ja suojaisilla paikoilla olevat laiturirakenteet voidaan sopimuksen mukaan varustaa esimerkiksi puulankuilla tai autonrenkailla. Tällaiset suojat eivät juuri vaimenna aluksen liike-energiaa vaan pitävät vain aluksen irti laiturimuurista. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 42). Lisäksi autonrenkaiden on todettu aiheuttavan liian suurta kitkaa aluksen ja laiturin välillä, joten niiden käyttöä ei suositella. Puusuojana käytetään yleensä painekyllästettyä lankkua. Puusuojan materiaaliksi voidaan myös harkita erikoispuita. Esimerkiksi kovapuulajeihin kuuluvaa Azobe-puuta, jolla on harvinaisen suuri taivutuslujuus ja erinomainen kyky vastustaa lahoamista.

Suojain voi olla myös laiturista erillinen tihtaali, esimerkiksi teräspaalu tai paaluille perustettu betonikansi, jolloin laituriin ei kohdistu voimia. Tihtaali ottaa aluksen kaikki törmäys- ja nojausvoimat. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 252, 255).

Jotta törmäyksestä aiheutuva reaktiovoima pysyy tarpeeksi pienenä, täytyy suojainten olla riittävän joustavia. Törmäyssuojat voidaan jousittaa erilaisilla kumitäytteillä, hydrauliliikalla tai vipuvarsilla. Valmistajilta löytyy usein mitattuja ja laskettuja käyriä kumiprofiilien energia-absorptiosta sekä vaimennuksen laskenta ohjeita. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 252, 255). Alusten hankaus ja sysäyskuormia käsitellään kohdassa 6.3.4.

Liikkuva alus aiheuttaa kitkavoiman takia myös pysty-, ja vaakasuuntaisia reaktiovoimia törmäyssuojien välityksellä rakenteeseen. Materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa aluksen ja törmäyssuojan hankauspintojen väliseen kitkakertoimeen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 42). Fenderikumien etupintaan voidaan asentaa polyeteenistä tai teräksestä valmistettu kilpi, jolloin kitkakerroin pienenee ja lisäksi kuorma voidaan jakaa useammille fenderikumille. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 24).

5.4.1 Fenderin sijoittaminen

Erilaiset alukset, vedenpinnan taso ja esimerkiksi lastaustilanteen aiheuttama syväyksen muuttuminen vaikuttavat aluksen ja fenderirakenteen kontaktiin, jolloin fenderirakenteen muotoon, sijaintiin ja korkeusasemaan on kiinnitettävä huomiota. Fenderirakenne voidaan nostaa laituritason yläpuolelle, jolloin aluksen kyljessä oleva kylkilista nojaa teräskilpeen myös yläveden aikaan. Kilvettömät fenderirakenteet voivat vaurioitua ja fenderikumien kiinnityspultit irrota laiturimuurista aluksen kylkilistan ollessa fenderin päällä ja aluksen syväyksen laskiessa lastaustilanteessa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 24). Myös laiturissa liikennöivän aluksen päälliköllä tai laiturihenkilökunnalla voi olla toiveita fendereiden sijoittamiseen. Laiturin lähistöllä tapahtuva puutavaran uitto voi myös asettaa vaatimuksia. Fendereiden sijainnilla on suuri vaikutus laiturin käytettävyyteen, joten sijainti sovitaan aina tilaajan kanssa tapauskohtaisesti.

5.4.2 Fenderikilpi

Fenderikilvillä ja kilven rungolla on tärkeä merkitys fenderirakenteen oikeanlaisessa toiminnassa. Niihin voi kohdistua yhdistelmiä tasaisesti jakautuneesta kuormasta, viivakuormasta tai pistekuormasta aluksen tyypistä riippuen. Kilpien mitoituksessa tulee ottaa huomioon aluksesta tuleva kuorma, fenderikumen elastiset ominaisuudet ja kilpien kiinnittäminen ketjuilla. (PIANC, 2002, 16–17).

Fenderikilven runkona voidaan käyttää rakenneterästä, joka pinnoitetaan esimerkiksi epoksimaalilla. Runkoon kiinnitettävänä kilpenä käytetään yleensä teräslevyä. Teräksisten fenderikilpien suositeltavat minimipaksuudet PIANC 2002 mukaan on:

levy paljaana kummaltakin pinnalta:	12 mm,
levy paljaana yhdeltä pinnalta:	9–10 mm,
sisäinen osa (ei paljaana):	8 mm.

Aluksen hankaus ja sysäys aiheuttaa paljaaseen teräskilpeen suurta kulutusta. Kulutuksen ehkäisemiseksi teräslevyn pinta suojataan polyeteeni- tai nailonlevyillä. Levyt suojaavat teräskilpeä korroosiolta ja lisäksi pienentävät kitkaa, jolloin hankausvoimat pienevät. Muovilevyjen huono puoli on niiden kulumisen. Joillakin laitureilla alusten rantautumiskertoja voi olla huomattavasti enemmän kuin toisilla, jolloin levyt eivät kestä kuin kuukausia ja ovat kalliita. Muovilevyjen vaihtaminen tulee ottaa rakenteen suunnittelussa huomioon.

Kilven ja sen rungon materiaalina voidaan käyttää myös ruostumatonta- tai haponkestävää terästä, jolloin sen korroosionkestävyys on parempi. Kilpenä voidaan käyttää esimerkiksi 10 mm HST-levyä. Pinnoitettaessa fenderikilpi HST-levyllä, tulee kilpi hitsauksen ja pinnoittamisen jälkeen hapottaa. Hapotuksen jälkeen kilven tausta tulee maalata ns. yli HST-levyn puolelle. Aluksen teräksisen kylkilistan ja teräskilven kontakti saattaa aiheuttaa meluhaittaa, jolloin se täytyy huomioida suunnittelussa. Yleensä fenderilevyt ovat rakenneterästä ja standardituotteita, joiden suojauksesta maalaamalla tulee huolehtia hyvin.

Fendereiden suunnittelua ja mitoittamista on käsitelty esimerkiksi PIANC:n julkaisussa Guidelines for the design of fender systems.

5.5 Eroosiosuojaus

Pääsääntöisesti rakenteet suunnitellaan ilman eroosiovaroja ja suojataan eroosiota vastaan, koska eroosionopeutta on vaikea määrittää. Eroosiorasituksen mittana on totuttu pitämään virtausnopeutta, mutta myös virtauksen luonne on otettava muuttujaksi. Laiturirakenteita kuormittaa pääsääntöisesti potkurivirrat, aallokko ja tasainen virta mutta myös epätasainen virtaus voi vaikuttaa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 223).

Luiskan verhousmateriaali, joka pystyy suojaamaan luiskamateriaalia pinta- ja pohjavesieroosiota vastaan, on usein riittämätön kestävä aaltojen ja potkurivirtojen kuluttavaa vaikutusta. Vastaavasti karkeampi verhousmateriaali, joka kestää potkurivirtojen ja aaltojen voimat, on liian harva estääkseen hienomman luiskamateriaalin kulkeutumista välistään. Suunniteltaessa eroosiosuojausta virtausta, aaltoja ja jäätä vastaan päädytään usein monikerroksiseen eroosiosuojarakenteeseen, jossa on eri kivikokoja. (Liikennevirasto, 2010, 88).

Eroosiosuojauksen kivikoon määrittämistä on käsitelty Liikenneviraston ohjeissa 9/2010. Alusten potkurivirtojen ja epätasaisen virtauksen vaikutus tulee aina selvittää tapauskohtaisesti. Virtausnopeuden ja stabiilin raekoon välistä riippuvuutta potkurivirroista on käsitelty RIL 123, vesirakenteiden suunnittelu - kirjassa.

Esimerkkejä eroosiosuojauksista:

- ponttiseinä
- ladotut kivet
- kiviheitoke
- betoniset eroosiosuojalaatat
- kiviakorit
- laiturin lähialueella tehdään betonilaatta vedenalaisena betonivaluna
- rakenteeseen lisätään suodatinkangas, jonka päälle tehdään eroosiosuojaus esimerkiksi kiviheitokkeesta
- kivisten eroosiosuojausten onkaloiden täyttövalut

Pahimmillaan eroosiosuojauksen pettäminen aiheuttaa rakenteen liikkumista tai jopa sortumisen. Tällöin rakenteen toimivuuden palauttaminen ja säilyttäminen vaatii mittavia

ja kalliita korjaustöitä. Usein joudutaan tekemään kokonaan uusi eroosiosuojaus. (Liikennevirasto, 2016 b, 70).

5.6 Varusteet

Laiturit on varustettava alusten tarvitsemia palveluita varten sekä turvallisen käytön vuoksi (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 256). Lisäksi kohdekohtaiset erityisvaatimukset täytyy ottaa huomioon laiturin varustamisessa.

5.6.1 Pollarit

Alusten kiinnittämistä varten laiturin reunaan asennetaan pollareita. Pollareiden väliin vaikuttaa laiturin vesisyvyys ja laiturissa liikennöivät alukset. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 19). Laituria vastaan kohtisuorassa suunnassa alus pidetään paikallaan normaaleilla pollareilla. Keula- ja peräramppia käyttäviä aluksia varten käytetään normaalisti myös pääkiinnityspollareita, joilla varmistetaan keulan ja peräosan paikallaan pysyminen. Aluksen ja pääkiinnityspollarin välisen köyden kulma laiturilinjan kohtisuoran suunnassa saa olla korkeintaan 15°. Pääkiinnityspollari tulee sijoittaa riittävän kauas laiturilinjasta köyden kaltevuuskulman takia. Laiturin pituussuunnassa alus pidetään paikallaan keulasta ja perästä laiturin pituussuuntaan vedettävillä kiinnitysköysillä niin sanotuilla springeillä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 40–41). Pollareiden sijoittamisessa ja suunnittelussa tulee ottaa huomioon pollariin kiinnittyminen eri suunnista, esimerkiksi pistolaitureissa vastapollareiden hyödyntäminen kiinnittymisessä. Pollareiden mitoitusta käsitellään kohdassa 6.3.3.

Pollarityyppejä on erilaisia. Kaukana aluksesta olevina pollareina käytetään laukaistavia koukkupollareita. Heittoliinan avulla koukkupollariin kiinnitetään apuköysi, jolla vedetään varsinainen köysi. Normaali- ja koukkupollareita valmistetaan eri voimille. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 257). Väyläviraston kohteissa suositellaan käytettäväksi putkipollareita. Putkipollari on yleensä ns. T- tai TT-pollari eli koostuu yhdestä tai kahdesta kansirakenteen betonivaluun asennettavasta teräsputkesta ja yläpäähän kiinnitettävästä vaakasuuntaisesta putkesta. Teräsputkien korroosiosuojaus tulee ottaa huomioon esimerkiksi pinnoittamisyhdistelmillä tai materiaalivalinnalla. Putkipollari on yleensä valmistettu ja pinnoitettu tehtaalla valmiiksi. Työmaalla se valetaan kannen valun yhteydessä täyteen ja mahdolliset valuaukot hitsataan umpeen ja

käsitellään korroosiota vastaan. Pollarit maalataan väyläviraston ohjeen mukaan keltaisella huomiovärillä.

5.6.2 Laituritikkaat

Laiturin etureunaan on veteen putoamisen varalta kiinnitettävä laituritikkaita noin 50 m välein. Tikkaiden jako tulee valita siten, että tikkaille nousu vedestä on mahdollista riippumatta laiturissa olevasta aluksesta. Tikkaat on syytä maalata esimerkiksi keltaisella huomiovärillä, mikäli se on mahdollista. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006, 19). Tikkaat on syytä varustaa nousujohteella. Tikkaiden korroosiosuojauksessa voidaan soveltaa Liikenneviraston ohjeita 25/2016 – Merimerkkien pintakäsittelyohje 2016 – Metallirakenteet.

5.6.3 Muut varusteet

Laituritaso on kiinnitysmiehistön turvallisuuden takia karkeutettava sopivalla pintakäsittelyllä. Kokemuksen mukaan paras laiturin pinta tulee harjaamalla. Laituriin tulee asentaa kiinnityspisteitä suojaverkkoja varten, esimerkiksi 50 mm halkaisijaltaan olevia renkaita. Laiturin etureuna on pyöristettävä ja silotettava kiinnitysköysien vetoa varten. Joissakin kohteissa laiturin reunaan on asennettu RST-suojuksia köysien hankautumisen estämiseksi. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 256–257). Laituripaikalta on myös löydyttävä pelastusvälinesetti, mikä sisältää tikkaat, haan, heittoliinan ja pelastusrenkaan.

Joissakin kohteissa laitureiden liikkeiden tarkkailemiseksi laituriiin kiinnitetään tarkkailupultteja. Lisäksi alusten polttoaineen ottoapaikat ja jätteenkäsittely, vesipostit sekä sähkökaapeleiden varausputket on huomioitava suunnittelussa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979, 256–257). Valaistuksessa tulee huomioida pylväiden sijoitus, kun alusten kiinnitysköydet asennetaan laiturin yli vastakkaisen puolen pollareihin.

6 RAKENTEIDEN MITOITUSKUORMAT

Tässä osiossa käsitellään pääasiallisia tyypillisiin sisävesien ja meriveden vaikutusalueella sijaitsevien laitureihin kohdistuvia kuormia. Myös muut mahdollisesti esiintyvät kuormat tulee huomioida. Näitä ovat esimerkiksi henkilökuormat, tavaran varastoinnista aiheutuvat kuormat, lumikuormat, muut kuin kohdassa 6.2 esitetyt ajoneuvokuormat ja virtaavan veden aiheuttamat kuormat.

6.1 Jääkuormat

Rakennesuunnittelun kannalta kiinnostavimpia ovat jääkuormien ääritilanteet. Laiturin sijainnista ja ympäristöstä riippuen jääkuormituskenaariot ja ääritilanteet voivat olla hyvin erilaisia. Jääkuormien ääritilanteita voi ilmetä jäätalven eri vaiheissa. Jos liikkuvan jään paksuudesta ei ole tietoa, tulee mitoituksessa käyttää suurinta ohjeissa mainittua kiintojään paksuutta (Liikennevirasto, 2011, 8). Hyvä ymmärrys jään käyttäytymisestä ja paikallisista olosuhteista auttaa suunnittelijaa muodostamaan oikeanlaiset skenaariot jääkuorman laskentaa varten.

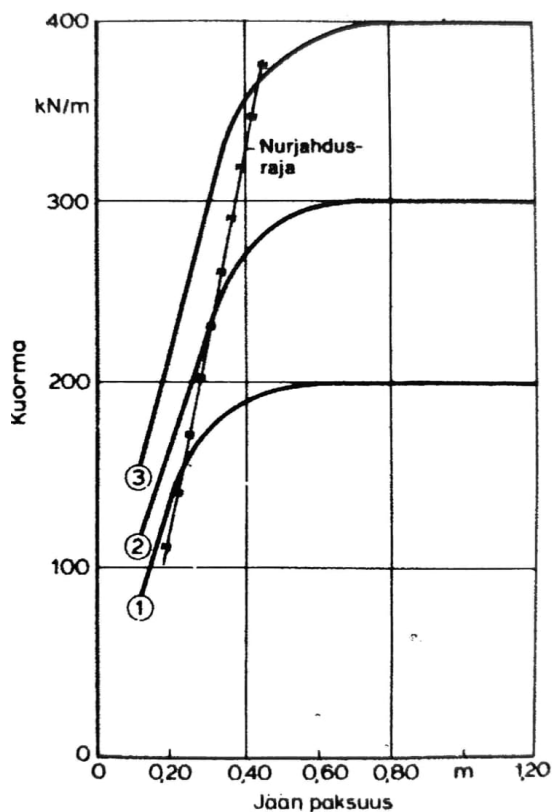
Laituri- ja satamarakenteisiin tyypillisimmin vaikuttavat jääkuormat aiheutuvat meri- ja jokivirroista, tuulten vaikutuksesta ja jään lämpölaajenemisesta (terminen jääkuorma). Lämpölaajeneminen on usein niin hidasta, että jää viruu, jolloin se rajoittaa huomattavasti jääkuormien kasvua. Jään virumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi jääkiteiden suuntautuneisuus, jään puhtaus, lämpötila, jään ikä, suolaonkaloiden runsaus sekä kuormitusnopeus. Meri- ja jokivirroista ja tuulten vaikutuksesta jään murtolujuus voi kehittyä maksimiinsa, jolloin se rajoittaa jääkuormaa (Liikennevirasto, 2011, 7). Tämä tarkoittaa sitä, että jään ja rakenteen kontaktipinnassa jäänpaine kasvaa jään murtorajaan asti ja jää murtuu, jolloin rakenteelle aiheutuva voima ei kasva enempää. Erityisesti pitkillä jääkentillä jääkuormaa voi rajoittaa jääkentän nurjahdus. Joissakin tapauksissa jäätä liikuttavat voimat rajoittavat rakenteeseen kohistuvia voimia, eikä jää murru.

Jään murtotapa rakennetta vasten riippuu rakenteen muodosta. Pystysuoraa rakennetta vasten jää murskautuu ja kartiomaista vasten jää murtuu taivutuksella (Liikennevirasto, 2011).

6.1.1 Terminen jääkuorma

Jään lämpötilan noususta johtuva jään lämpölaajeneminen voi aiheuttaa kuormia rakenteelle, jos jään liikettä rajoittaa kiinteät rakenteet tai muut esteet. Jään lämpölaajeneminen riippuu pääasiassa jäänpinnan alkulämpötilasta ja jään lämpötilan nousunopeudesta. Jään lämpölaajenemisesta aiheutuvan kuorman alustavassa arvioinnissa voidaan käyttää suuntaa antavia arvoja välillä 150 kN/m – 300 kN/m. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2019). Tarkempia ohjeita jään lämpölaajenemisesta johtuvan kuorman määrittämisestä ei ole ISO/CEN 19906:ssa esitetty.

RIL:n mukaan maksimijääkuorma jääkenttää rajoittaviin seinämiin lämpölaajenemisesta johtuen saadaan kuvasta 4. Käyrä 1 on voimassa Lounaisrannikolla, käyrä 2 Kemi-Kajaani linjalla ja käyrä 3 tunturi-Lapissa. Käyrien väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti. Kuvassa 5 on esitetty myös käyrien voimassaolorajat. Kuvan 4 nurjahdusrajan oikealla puolella olevat arvot ovat voimassa vain, jos jääkenttä on kapea. Kiinteän jääpeitteen laskennallisena maksimipaksuutena voidaan käyttää kuvan 5 mukaisia arvoja.



Kuva 4. Lämpölaajenemisesta johtuva maksimikuorma (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 57).

Mikäli jäällä on lunta vähintään 50 mm, eivät termiset jääkuormat Suomen oloissa ylitä käyrän 1 arvoja. RIL 201-3-2013:n mukaan jääkuorman arvot voidaan olettaa pienemmiksi seuraavissa tapauksissa:

- a. Kun jääkenttä on pitkä, voidaan kuvasta 4 saatua arvoa pienentää kertoimella k

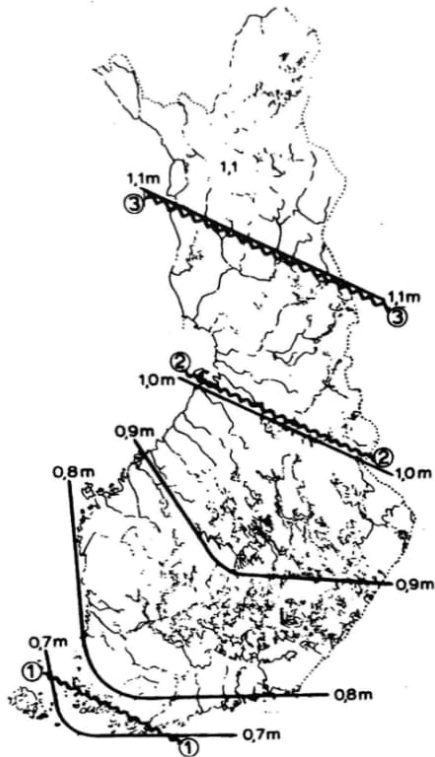
$$k = \begin{cases} 1,0, & \text{kun jääkentän pituus} \leq 50 \text{ m} \\ 0,6, & \text{kun jääkentän pituus} \geq 150 \text{ m}. \end{cases}$$

Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.

- b. Kun rakenne on joustava, jääkuorman suuruus riippuu rakenteen siirtymistä ja jäykkyydestä.
- c. Kun jääkenttä ei saa täyttä tukea vastareunaltaan esimerkiksi rannan kaltevuuden takia.
- d. Kun rakenne on joka puolelta jääkentän ympäröimä siten, että termiset jääkuormat osittain kumoavat toisensa.
- e. Kun paikka on suojassa tuulelta ja jäällä voidaan olettaa olevan lunta.

Ääritapauksessa jää murtuu rakennetta vasten, jolloin kuorma määritetään kaavan 3 mukaan.

Kuormaresultantti sijoitetaan rakenneosan mitoituksen kannalta pahimpaan kohtaan vedenkorkeuden vaihtelualueelle syvyydelle $h/3$ jään yläpinnasta (h = jään paksuus).



Kuva 5. Kiinteän jääpeitteen laskennallinen maksimipaksuus. Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 56)

RIL 201-3-2013:n mukaan paalu-/pilariperustuksiin vaikuttava jään lämpölaajenemisesta johtuva kokonaisjääkuorma P_i voidaan määrittää kaavasta:

$$P_i = \sum b_i \cdot i_1 \quad (kN) \quad (2)$$

b_i = yksittäisen pilarin/paalun leveys (m) kuormitus suunnassa (vain etureunan paalut huomioidaan), jos $\sum b_i < 4,0$ m, otetaan arvoksi 4,0 m.

i_1 = 100 kN/m, linjan Kemi-Kajaani eteläpuolella ja
150 kN/m, linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella

Yksittäiseen, laajan jääkentän ympäröivään rakenteeseen vaikuttavat jääkuormat on harkinnan mukaan otaksuttava edellä esitettyjä suuremmiksi. Jos jääkenttä saa vastarannalta kapeissa kanavissa (≤ 25 m) täyden tuen, (esim. kallionranta 1:1 tai jyrkempi), kerrotaan jääkuorman P_i arvo kertoimella 1,5. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 32).

6.1.2 Liikkuva jääkenttä

Liikkuva jääkenttä voi laiturin sijainnista ja alueen jääolosuhteista johtuen aiheuttaa kuormia laiturerakenteelle ja sen osiin. Lämpölaajenemisesta johtuvaa kuormaa voi ääritapauksessa rajoittaa jään murtuminen rakennetta vasten, jolloin terminen jääkuorma lasketaan kaavan 3 avulla.

Liikkuvan jään murskautuessa pystyrakennetta vasten, suurin staattinen kuorma lasketaan RIL 201-3-2013 mukaan kaavasta:

$$P_1 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{ip} \text{ (kN)}, \quad (3)$$

missä k_1 taulukon 1 mukainen, rakenteen etupinnan muotokerroin jääkuorman vaikutustasolla,

k_2 on jään ja rakenteen kosketuskerroin,

$$k_2 = \begin{cases} 1,0, & \text{kun rakenteeseen kiinnijäätynyt kenttä lähtee liikkeelle} \\ 1,5, & \text{kun jää on tarttunut rakenteeseen vedenpinnan vaihteluiden} \\ & \text{vuoksi syntyneen paksunnoksen välityksellä} \\ 0,5, & \text{kun jää on jatkuvassa murtotilassa,} \end{cases}$$

k_3 on muotosuhdekerroin,

$$k_3 = 1 + 1,5 \cdot \frac{h}{b},$$

h = jään paksuus (m),

b = rakenteen leveys jääkuorman vaikutustasolla (m) ja

σ_{ip} = jään puristuslujuuden ominaisarvo (MPa),

$$\sigma_{ip} = \begin{cases} 3,0 \text{ MPa,} & \text{kun jää on ehjää ja liikkuu tuulen tai virtauksen} \\ & \text{vaikutuksesta kylmimpänä aikana sydäntalvella} \\ 2,5 \text{ MPa,} & \text{kun jää on ehjää ja liikkuu kylminmpänä aikana vain} \\ & \text{hitaasti, esim. termisten jännitysten vaikutuksesta} \\ 1,5 \text{ MPa,} & \text{kun jää on ehjää ja liikkuu keväällä lämpötilan} \\ & \text{ollessa lähellä sulamispistettä} \\ 1,0 \text{ MPa,} & \text{kun jää on sulamisesta johtuen osittain heikentynyt} \\ & \text{ja liikkuu lämpötilan ollessa lähellä sulamispistettä} \end{cases}$$

Taulukko 1. Kerroin k_1 (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 59).

	Rakenteen etupinnan muoto jääkuorman vaikutustasolla						
	Puoli- ympyrä	Suora- kaide	Kolmio, jonka kärkikulma				
			$\leq 45^\circ$	60°	90°	120°	$\geq 150^\circ$
k_1	0,9	1,0	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0

RIL:n kaavassa muotosuhdekertoimella k_3 otetaan huomioon jään tehollisen murskautumispaineen kasvu, sivusuhteen b / h pienentyessä. Tästä johtuen, RIL:n mitoitusohje antaa suurempia kuormia kapeiden rakenteiden mitoittamiseen kuin ISO/CEN 19906 menetelmä.

Virtaavissa vesissä, esimerkiksi joissa, pilari ja paaluperusteisiin laiturirakenteisiin kohdistuva virran suuntainen liikkuvan jääkentän kuormitus arvioidaan Liikenneviraston ohjeen NCCI 1 mukaan. Ohjeen mukaan pilareihin kohdistuva kuorma P_3 määritetään kaavasta:

$$P_3 = 1000 \cdot h \cdot d \text{ (kN)}, \quad (4)$$

jossa h = jään paksuus tarkasteltavassa kohdassa (m).

Jään paksuudeksi ei oleteta kuitenkaan enempää kuin 1,0 m.

d = pilarin paksuus (m) (Liikennevirasto, 2017 b, 66).

6.1.3 Pysähtynyt jääkenttä

Rakennetta vasten pysähtynyt jääkenttä aiheuttaa kuormia rakenteelle. Jääkenttää pyrkii liikuttamaan usea eri tekijä. Tuuli, veden virtaus kentän alapintaan, jääkentän painon vaakasuora komponentti, lautan reunaan vaikuttava virtauskuorma ja lautan reunaan vaikuttava aaltokuorma.

Jään kiinnitarttumis- ja irtoamiskuormaa ei ole ISO/CEN 19906:ssa esitetty. RIL 201-3-2013:n mukainen pysähtyneen jääkentän rakenteeseen aiheuttama kuorma \vec{P} määritetään kaavalla:

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 + \vec{P}_4 + \vec{P}_5 \text{ (kN)}, \quad (5)$$

missä \vec{P}_1 = tuulen aiheuttama jäänpinnan suuntainen tuulikuorma (kN),

$$\vec{P}_1 = C_{Fr} \cdot q \cdot A_1 \text{ (kN)},$$

C_{Fr} = taulukon 2 mukainen karkeudesta riippuva kerroin,

Taulukko 2. Kertoimen C_{Fr} arvoja (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 56).

Pinnan laatu tai karkeus	C_{Fr}
Sileä jääpinta	0,0010
Luminen jääpinta	0,0015
Karkea jääpinta	0,0020
Ahtautunut jääkenttä	0,0030
Sileä betonipinta	0,0060
Pinnan karkeus 50 mm	0,020
Pinnan karkeus 250 mm	0,060
Sahakatto	0,10

q = tuulen nopeuspaino (kN/m^2),

A_1 = jääkentän pinta-ala (m^2),

\vec{P}_2 = veden virtauksen suuntainen kuorma lautan alapintaan ja kuorman vaikutuspisteeksi oletetaan jääkentän painopiste (kN),

$\vec{P}_2 = \mu_1 \cdot A \cdot p$ (kN),

$\mu_1 = 0,005$ (jäänpinnan karkeudesta riippuva kerroin),

p = virtaavan veden aiheuttama paine (kN/m^2),

$p = \frac{\gamma_w \cdot v^2}{2 \cdot g}$ (kN/m^2),

γ_w = veden tilavuuspaino (kN/m^3),

v = veden virtausnopeus (m/s),

g = painovoiman kiihtyvyys (m/s^2),

\vec{P}_3 = lautan painon vaakasuora komponentti, $P_3 = G \cdot i$ (kN),

G = jääkentän paino (kN),

i = vedenpinnan kaltevuus (1:n),

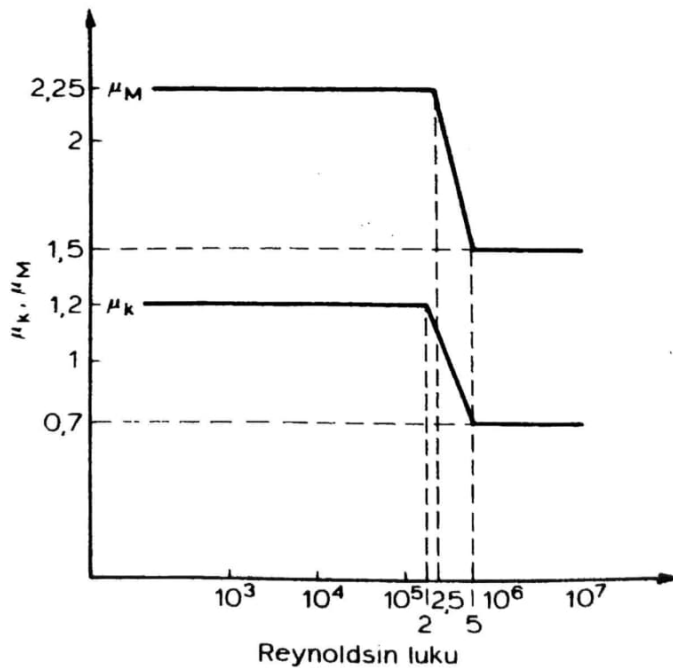
\vec{P}_4 = lautan reunaan vaikuttava virtauskuorma (kN),

$\vec{P}_4 = \mu_k \cdot A_2 \cdot p$ (kN),

μ_k = hydrodynaaminen muotokerroin kuvasta 6,

A_2 = rakenteen projektiopinta-ala virtausta vastaan kohtisuoralle tasolle (m^2) ja

\vec{P}_5 = lautan reunaan vaikuttava aaltokuorma (kN). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 55–58).



Kuva 6. Hydrodynaaminen muotokerroin μ_k ja inertiakerroimen μ_M -arvot. Reynoldsin luvun määrittämisessä karakteristisena pituutena käytetään jääkentän suurinta pituutta virran suunnassa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 72). Reynoldsin luku on määritetty alla.

Reynoldsin luku on dimensioton suhdeluku virtausmekaniikassa. Reynoldsin luku määritetään yhtälöllä:

$$R_e = \frac{v_s \cdot L \cdot \rho}{\mu} \quad (6)$$

missä v_s = virtausnopeus (m/s),
 L = karakteristinen mitta, jääkentän suurin pituus virran suunnassa (m),
 ρ = veden tiheys (kg/m^3) ja
 μ_v = veden sisäinen kitka $1,0020 \times 10^{-3}$.

Jääkentän koko oletetaan lähtökohtaisesti suurimmaksi mahdolliseksi. Jokiuomassa lautan pituutta ei tarvitse olettaa pitemmäksi kuin viisikertainen uoman leveys. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 57).

Veden virtausnopeuksien todennäköisyyksiä arvioitaessa käytetään tilastomatemattisia menetelmiä ja luotettavia havaintotietoja, joita tulee olla vähintään 10 vuodelta. Jos

havaintotietoja ei ole riittävästi tai ne eivät ole tarpeeksi kattavia, arvioidaan virtausnopeudet vesistön paikallisten olosuhteiden perusteella. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 70–71).

Jos laiturirakenne on pilari tai paaluperusteinen virtaavassa vedessä, esimerkiksi joessa, voidaan pilareihin kohdistuva paikallaan pysyvän jään aiheuttama jääkuorma määrittää Liikenneviraston ohjeen NCCI 1 mukaan. Virta aiheuttaa kuorman jääpeitteeseen, josta aiheutuu virran suuntainen kuorma P_2 pilareihin. Kuorma P_2 määritetään kaavasta:

$$P_2 = 0,5 \cdot (l_1 + l_2) \cdot i_2 \text{ (kN)}, \quad (7)$$

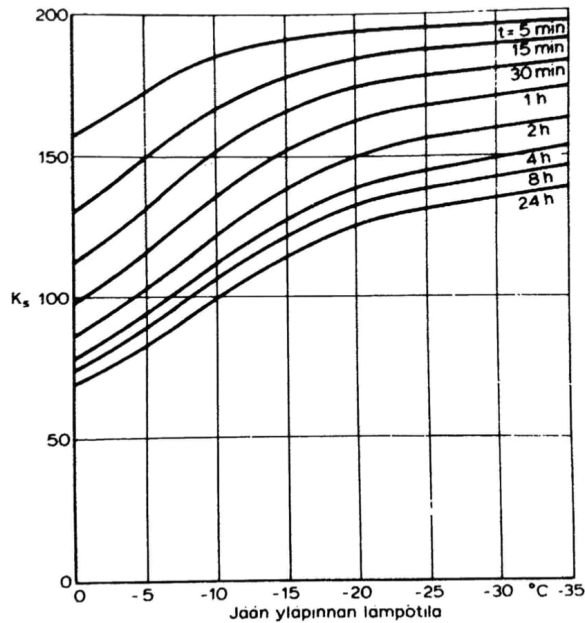
missä l_1 ja l_2 = etäisyydet tarkasteltavalta pilarilta viereisiin pilareihin.
 $i_2 = 20$ kN/m linjan Kemi-Kajaani eteläpuolella ja 30 kN/m linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella. (Liikennevirasto, 2017 b, 66).

6.1.4 Pystysuorat kuormat jäädästä

Vedenpinnan nousu ja lasku aiheuttaa laiturirakenteessa kiinniolevan jään kautta voimia rakenteelle. Voiman suunta voi olla ylös tai alaspäin. RIL 201-3-2013:n mukaan seinämäiseen rakenteeseen kohdistuva voima V määritetään kaavalla:

$$V = k_s \cdot v_v \cdot t \cdot \sqrt[4]{h^3} \text{ (kN/m)}, \quad (8)$$

missä k_s = kerroin, saadaan kuvasta 7,
 v_v = vedenpinnan nousu- tai laskunopeus (m/h),
 t = aika (tunteina) hetkestä, jolloin vedenpinta alkaa nousta tai laskea ja
 h = jään paksuus (m)



Kuva 7. Kerroin k_s . Jos jäällä on lunta, ei jään lämpötila Suomen oloissa yleensä laske alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 60).

Seinään kiinnitartunut jää aiheuttaa taivutusmomenttia. Momentin suunta riippuu vedenpinnan noususta tai laskusta. Taivutusmomentti M saadaan kaavasta:

$$M = \frac{k_s}{20} \cdot V \cdot \sqrt[4]{h^3} \text{ (kNm)}, \quad (9)$$

missä k_s = saadaan kuvasta 7,
 V = saadaan kaavasta 9 ja
 h = jään paksuus (m).

Yksittäiseen rakenteeseen kiinnittynyt jää aiheuttaa vedenpinnan nousun ja laskun myötä rakenteeseen pystysuoran kuorman V , mikä voi olla ylös tai alaspäin. V :n arvo määritetään kaavasta:

$$V = k_v \cdot \sigma_{it} \cdot h^2 \text{ (kN)}, \quad (10)$$

missä k_v = kerroin, mikä riippuu rakenteen läpimitan ja jään paksuuden h suhteesta taulukon 3 mukaan.

σ_{it} = jään taivutuslujuuden ominaisarvo (MPa) ja

$\sigma_{it} = 0,65 \cdot \sigma_{ip}$ (MPa) (ks. kohta liikkuva jääkenttä).

Taulukko 3. Kerroin k_v (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 61).

d/h	0,1	0,2	0,5	1	2	3	5	10	20
k_v	0,16	0,18	0,22	0,26	0,3	0,36	0,43	0,63	1,1

6.2 Liikenne- ja nosturikuormat

Pääsääntöisesti ajoneuvoliikenteen kuormittamien laiturialueiden ja -rakenteiden osalta liikennekuormien perusarvoihin sovelletaan Liikenneviraston ohjeita NCCI 1 ja NCCI 7.

Eurokoodissa 1991-1-1 on käsitelty rakennusten liikennöinti- ja paikoitusalueiden kuormia ja Eurokoodissa 1991-2 siltojen liikennekuormia. Eurokoodin soveltamisohje – siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1:n mukaiset kuormat perustuvat suurelta osin Eurokoodi 1991-2:een ja sen kansallisiin liitteisiin.

Laitureiden suunnittelussa on huomioitava alusten nostoon ja lastaamiseen sekä muuhun käyttöön tarkoitettujen nostureiden kuormitukset rakenteille. Nostureiden kuormien määrittämiseen saadaan ohjeellisia arvoja esimerkiksi RIL 201-3-2013 ohjeesta. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 45). Nosturikuormat tulee kuitenkin sopia aina hankekohtaisesti.

6.2.1 Eurokoodin 1991-2 mukainen liikennekuorma

NCCI 1 mukaan ajoneuvokuormaa määritettäessä käytetään kuormakaavioita LM1...LM3 niille alueille, joihin yleisellä ajoneuvoliikenteellä on pääsy. Kuormakaavion LM3 käyttämisestä voidaan sopia hankekohtaisesti. Hankekohtaisesti voidaan myös sopia LM kuormien ominaisarvojen pienentämisestä muun muassa laitureiden suhteellisen lyhyiden jännemittojen takia. Lisäksi dynaaminen suurennuskerroin (sisältyy LM-kuormiin) voidaan olettaa pienemmäksi. Alueet, joita ei ole mitoitettu näillä kuormakaavioilla on erotettava selkeästi liikenneohjauslaittein tai -varustein ja varustettava kuormakilvellä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 39).

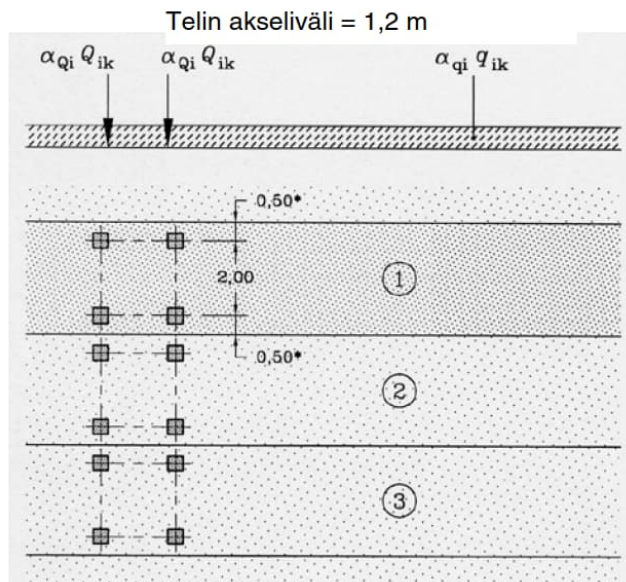
Ajoneuvoilla liikennöitävä laiturin osa jaetaan kuormakaistoihin, joiden leveys on 3 m. Kun kannen hyödyllinen leveys on alle 5,4 m, asetetaan kannelle yksi 3 m leveä kaista. 5,4–6 m leveälle kannelle kaksi yhtä leveää kaistaa. Kuormakaavioiden oletetaan

kuormittavan kuormakaistaa. Kuormakaistojen sijoittelu tehdään siten, että saavutetaan määräävä vaikutus. (Liikennevirasto, 2017 b, 10).

Kuormakaavio LM1 muodostuu kuormakaistoille sijoitettavista tasaisesti jakautuneista kuormista $\alpha_{qi} \cdot q_{ik}$ sekä kahden akselikuorman $\alpha_{Qi} \cdot Q_{ik}$ muodostamista telikuormista. α -sovituskertoimien arvot on määritetty Eurokoodin kansallisessa liitteessä ja eri kaistojen q ja Q arvot Eurokoodissa 1991–2. Mikäli laiturirakenteen kannen alueelle jää alue, mihin ei kuormakaistojen mukaan sijoiteta liikennekuormia, käytetään siinä q_{rk} mukaista kuormitusta, joka vaikuttaa yhtä aikaa kuormakaistojen liikennekuormien kanssa. Kuormakaavion LM1 kuormien ominaisarvot α -kertoimella kerrottuna on esitetty taulukossa 4. Kuvassa 8 on kuormakaavion LM1 mukaiset kaistat ja kuormien sijoittelu. Eri kuormakaistojen pyörien välinen etäisyys voi olla 0,5 m. Pyöräkuorman kosketuspintana on $0,4 \cdot 0,4 \text{ m}^2$. (Liikennevirasto, 2017 b, 10–11).

Taulukko 4. Kuormakaavion LM1 kuormien ominaisarvot α -kertoimella kerrottuna (Liikennevirasto, 2017 b, 11).

Sijainti	Yleiset tied			
	Telikuorma		UDL	
	α_{Q1}	$2 \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k}$ (kN)	α_{q1}	$\alpha_{q1} \cdot \alpha_{q1} = q_{rk}$ (kN/m ²)
Kaista nro 1	1,0	$2 \cdot 300$	1,0	9
Kaista nro 2	1,5	$2 \cdot 300$	2,4	6
Kaista nro 3	0	-	1,2	3
Muut kaistat	-	-	1,2	3
Kaistojen ulkopuolinen alue (q_{rk})	-	-	1,2	3



Kuva 8. Kuormakaavion LM1 mukaiset kaistat ja kuormien sijoittelu (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 1991, 32).

Kuormakaavio LM2 koostuu yksittäisestä akselikuormasta $\beta_Q \cdot Q_{ak}$, jossa Q_{ak} on 400 kN ja Suomessa kansallisen liitteen mukaan $\beta_Q = 1,0$. Akseli koostuu kahdesta 2 m etäisyydellä sijaitsevasta pyöräkuormasta, joiden pinta-ala on $0,35 \times 0,6$ m suorakulmio. Kuormakaavion leveytenä käytetään 3 m. Pyöräkuorma voi sijaita reunakivien vieressä. Jos akseli ei mahdu rakenteen kohtaan, voidaan käyttää vain yhtä pyöräkuormaa. Liikuntasaumalaitteiden vieressä otetaan huomioon dynaamiset vaikutukset standardin SFS-EN 1991-2 kohdan 4.6.1 (6) mukaan. (Liikennevirasto, 2017 b, 11).

Kuormakaavio LM3 sisältää ylläskaan erikoiskuorman ja LM4 kuormakaaviolla kuvataan ruuhkakuormitusta. LM3 ja LM4 kuormakaavioiden käyttämisestä voidaan sopia hankekohtaisesti.

6.2.2 Nosturikuormat

Nostureiden aiheuttamat kuormat on määritettävä aina hankekohtaisesti. Tyypillisesti Väyläviraston laiturit mitoitetaan ajoneuvonostureiden kuormille, mutta myös muut nosturityypit ja nostokoneet on huomioitava.

Ajoneuvonostureiden aiheuttamat kuormitukset riippuvat pitkälti nosturin kapasiteetista ja ulottumasta. Alustavassa mitoituksessa voidaan käyttää taulukon 5 mukaisia arvoja (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 46).

Taulukko 5. Ajoneuvonostureiden ohjeellisia kuormitusarvoja (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 46).

	Pistekuorma	Pistekuorman etäisyys laiturin ulkoreunasta	Pistekuorman koko
Satamalaiturit, raskaat kuljetukset	2400 kN	$\geq 1 \dots 3$ m	$1,2 \cdot 2,0$ m ²
Matkustajalaiva- ja autolauttalaiturit	1500 kN	$\geq 1 \dots 3$ m	$1,2 \cdot 2,0$ m ²
Laiturit, muutoin	500 kN	≥ 1 m	$1,0 \cdot 1,0$ m ²

Käytön aikana tukijalkaa ei saa sijoittaa sellaiseen rakenteen kohtaan, jonka mitoituksessa sitä ei ole huomioitu (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 46).

6.3 Alukselta aiheutuvat kuormat

6.3.1 Tuulikuorma

Aluksiin vaikuttavat tuulikuormat voidaan määrittää tuulenpuoleisen ja tuulenvastaisen projektiopinta-alan pintoihin kohdistuvien paineiden avulla. Aluksiin vaikuttava kokonaistuulivoima voidaan määrittää kokonaisvoimakertoimen avulla tai aluksen osapintoihin kohdistuvien painevoimien summana. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 28). Kokonaistuulivoiman määrittäminen alukseen on suositeltavaa tehdä kokonaisvoimakertoimen avulla. Tuulikuorma alukselle tulee tarkastaa eri suunnissa (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 28).

Kokonaistuulikuormien määrittämiseen voidaan käyttää yksinkertaistettuja periaatteita, kun laituriin on kiinnittynyt useampi alus sen molemmin puolin esimerkiksi pistolaiturissa. Seuraavat yksinkertaistukset voidaan tehdä:

- Jos tuulenpuoleinen alus on kaksi kertaa korkeampi kuin alusten välinen etäisyys, voidaan ne tulkita yhdeksi alukseksi
- Alusten yhdistetty projektiopinta-ala kerrotaan kertoimella 1,5, jos tuulen puoleinen alus on matalampi kuin alusten välinen etäisyys
- väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti

Tuulikuormaa ei oteta huomioon yhdessä pollari- tai fenderikuormien kanssa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 28–29).

Alukseen aiheutuva kokonaistuulikuorma määritetään kaavalla:

$$F_w = C_F \cdot q \cdot A_v \text{ (kN)}, \quad (11)$$

missä

C_F = voimakerroin:

Tavanomaiset alukset, kun tuuli vaikuttaa aluksen pituussuuntaan $C_F = 1,0$.

Tavanomaiset alukset, kun tuuli vaikuttaa kohtisuoraan aluksen sivua vastaan $C_F = 1,3$.

q = tuulennopeuspaine pinnan A_v painopisteen korkeudella (kN/m^2) ja

A_v = aluksen tuulta vastaan kohtisuora, vedenpinnan yläpuolinen projektiopinta-ala (m^2). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 49).

6.3.2 Virtauskuorma

Virtaava vesi aiheuttaa laiturille kuormia alusten kautta. Alukseen aiheutuva kuorma P_w määritetään kaavalla:

$$P_w = \mu_k \cdot p \cdot A_w \text{ (kN)}, \quad (12)$$

missä

μ_k = hydrodynaaminen muotokerroin (kuva 6),

p = virtaavan veden aiheuttama paine korkeudella (kN/m^2) ja

A_w = virtausta vastaan kohtisuora projektiio aluksesta, vedenpinnan alapuolinen osa (m^2). (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 49).

Rakenteiden kokonaiskuormia määritettäessä ei satama-alueiden aaltokuormia yleensä tarvitse huomioida. Pitkäjaksoiset aallot, joiden jaksot ovat yli 5...7 s, täytyy kuitenkin ottaa huomioon. Myös alusten massavoimat täytyy huomioida niiden heilahdellessa pitkäjaksoisessa aallokossa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 49).

6.3.3 Alusten tuki- ja kiinnitysvoimat

Kiinnitetyn aluksen vaakasuora tukeutumiskuorma F_{qs} laiturin pituusyksikköä kohden voidaan määrittää RIL 201-3-2013 mukaan kaavasta:

$$F_{qs} = k_4 \cdot \frac{F_w + P_w}{L_b} \text{ (kN/m)}, \quad (13)$$

missä kerroin k_4 :

$$k_4 = \begin{cases} 1,0 & \text{kun ei ole merkittävää aallokkoa} \\ 1,1 \dots 1,2 & \text{kun laituri paikalla saattaa esiintyä} \\ & \text{pitkäjaksoista aallokkoa} \\ 1,2 \dots 1,5 & \text{laiturin päihin kohdistuvia kuormia määrittäessä,} \\ & \text{mikäli alus on pidempi kuin laituri} \end{cases}$$

F_w ja P_w saadaan virtaus- ja tuulikuorma kohdistusta ja

L_b = laiturin ja aluksen välinen kosketuspituus.

Aluksen aiheuttama hankauskuorma laituriin pituus- tai pystysuunnassa on korkeintaan F_{qn} suuruinen. F_{qn} määritetään RIL 201-3-2013 mukaan kaavasta:

$$F_{qn} = \mu_k \cdot F_{qs} \text{ (kN/m)}, \quad (14)$$

missä μ = hankauspintojen välinen kitkakerroin ja

$$\mu = \begin{cases} 0,50 & \frac{\text{teräs}}{\text{kumi}} \text{ tai } \frac{\text{betoni}}{\text{kumi}} \\ 0,40 & \frac{\text{teräs}}{\text{puu}}. \end{cases}$$

Laitureiden pollarit, tihtaalit sekä muut kiinnikerakenteet sijoitetaan ja mitoitetetaan niin, että ne kestävät alusten köysivoimat kaikissa virtaus-, tuuli- ja aallokko-olosuhteissa.

Köysien ja voimien epätasainen jakautuminen pitää ottaa huomioon yksittäisten kiinnityspisteiden suunnittelussa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 50).

Kiinnityspisteen on yleensä kestävä vähintään siihen kiinnitettävien köysien kestävyys kertoimella 1,5 kerrottuna.

Yksittäisten kiinnityspisteiden vähimmäiskuormat RIL 201-3-2013 mukaan on:

$$F_{bt} = \frac{1,5 (F_w \cdot P_w)_t}{n} \text{ (kN)}, \quad (15)$$

$$F_{bl} = \frac{1,5 (F_w \cdot P_w)_l}{0,5 \cdot n} \text{ (kN) ja} \quad (16)$$

$$F_v = F_{bt} \cdot \sin \beta \text{ tai } F_v = F_{bl} \cdot \sin \beta \text{ (kN)}, \quad (17)$$

missä F_{bt} = kiinnityspisteen kuorma kohtisuoraan laiturin suuntaa vastaan (kN),
 F_{bl} = kiinnityspisteen kuorma laiturin suuntaan (kN),
 F_v = kiinnityspisteen kuorman pystysuora komponentti (kN),
 $(F_w + P_w)_t$ = alukseen vaikuttava maksimikuorma kohtisuoraan sivulta (kN),
 $(F_w + P_w)_l$ = alukseen vaikuttava pituusuntainen maksimikuorma (kN),
 n = toimivien kiinnityspisteiden lukumäärä (taulukko 6) ja
 β = kiinnitysköysien kaltevuus vaakatasosta ($0 \dots 45^\circ$).

Taulukko 6. Toimivien kiinnityspisteiden lukumäärä (n) (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 51).

Aluksen pituus	≤ 50	≤ 100	≤ 150	≤ 200	≤ 250	≤ 300	> 300
n (kpl)	2	3	4	5	6	7	8
Suosittelava pollariväli (m)	10...15	12...18	14...21	15...22,5	18...27	20...30	25...35

Suurten alusten pääkiinnityspisteiden tulee erikseen kestää kuorma:

$$F_{bt} = F_{bl} = 1,2 (F_w \cdot P_w) \text{ (kN)}. \quad (18)$$

Pienalusten laitureiden kiinnityspisteiden vähimmäiskuormat voidaan määrittää taulukosta 7.

Taulukko 7. Pienalusten laitureiden kiinnityspisteiden kuormat (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 51).

Aluksen uppouma (m ³)	≤ 100	100...250	250...750	750...1500	1500...3000
F _{bt} tai F _{bl} (kN)	30	60	100	150	250

Edellä olevat kaavat ottavat huomioon vain tuulen ja veden virtauksen aiheuttamat kuormat aluksille ja sitä kautta pollareille ja fendereille. Aluksen dynaamiset vaikutukset huomioiden kuormat pollareille ja fendereille ovat huomattavasti suuremmat. Tyypillisesti yhteysalustalatureiden pollarikuormana käytetään 500 kN. Joissakin kohteissa alarakenteet mitoitetaan 300 kN pollarikuormalle ja pollari sekä pollarin kiinnitys rakenteeseen 500 kN kuormalle.

6.3.4 Aluksen tulo laituriin

Alus aiheuttaa laituriin tullessaan vaakasuoran kuorman. Kuorman suuruutta voidaan arvioida liike-energian avulla. Fenderirakenteen kohtaavan aluksen liike-energia saadaan RIL 201-3-2013 mukaan kaavasta:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v_a^2 \text{ (kNm)}, \quad (19)$$

missä m = virtuaalinen massa (= aluksen oma massa + hydrodynaaminen massa),

$$m = \frac{G_1}{g} \left(1 + 2 \cdot \frac{D_{ra}}{b_1} \right) \text{ (kg)},$$

G_1 = aluksen paino (~ uppouma) (kg),

g = maan vetovoiman kiihtyvyys (m/s²),

D_{ra} = aluksen syväys (m),

b_1 = aluksen leveys (m) ja

v_a = tulonopeuden rakennetta vastaan kohtisuora komponentti (m/s)

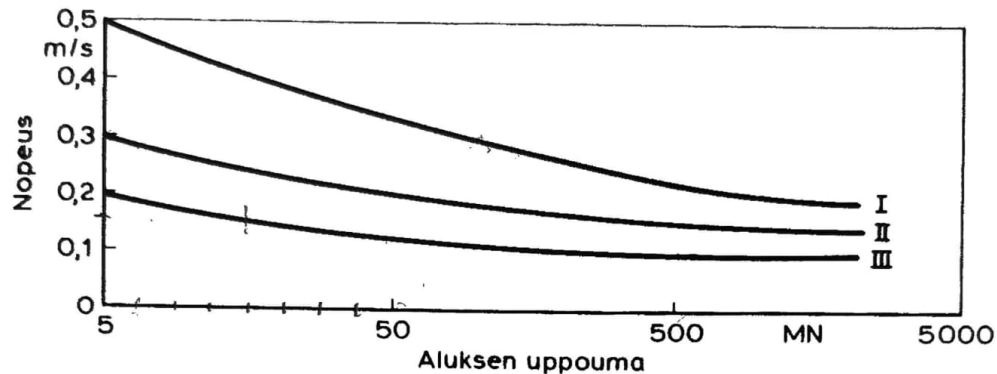
(kuva 9).

Laiturin, fenderin ja aluksen rungon tulee vaimentaa kokonaisenergiasta E_k osa E_f . E_f määritetään kaavalla:

$$E_f = C_e \cdot E_k \text{ (kNm)}, \quad (20)$$

missä C_e = epäkeskisyyskerroin:

$$C_e = \begin{cases} C_e = 1,00 \text{ kun kohtaamispiste on aluksen} \\ \text{massakeskipisteen kohdalla} \\ C_e = 0,60 \text{ kun kohtaamispiste on etäisyydellä } L/3 \\ \text{aluksen keulasta tai perästä} \\ C_e = 0,50 \text{ kun kohtaamispiste on etäisyydellä } L/4 \\ \text{aluksen keulasta tai perästä.} \end{cases}$$



- I vaikeat olosuhteet: laituripaikalla poikittaista virtausta tai pitkäjakoista aallokkoa
- II normaalit olosuhteet
- III helpot olosuhteet: laituripaikalla ei virtausta eikä aallokkoa, paikka suojassa tuulilta tai aluksen tulipinta pieni.

Kuva 9. Laivan tulonopeus kohtisuoraan laituria vastaan (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 52).

Väyläviraston kohteissa kokonaisenergian vaimennuksessa huomioidaan yleensä vain fenderin jousto. Jotta aluksen kylki kestää, täytyy törmäyksestä aiheutuva fenderin reaktiivoima pysyä tarpeeksi pienenä. Fenderivalmistajilta löytyy usein arvoja kumiprofiilien energia-absorbtiosta ja reaktiivoimasta.

Fenderin alukseen aiheuttama maksimireaktiivoiman kohtisuora komponentti on F_0 , mikä määritetään fenderin kuormitus/muodonmuutoskäyrän avulla. Fenderikuorman pituus- ja pystysuuntainen komponentti määritetään RIL 201-3-2013 mukaan kaavasta:

$$F_{0l} = F_{0v} = \mu \cdot F_0 \text{ (kN)}. \quad (21)$$

Pienalusten rantautumisessa oletetaan aluksen ja laiturin kohtaamisesta aiheutuvat kuormat kuin taulukossa 7 ja kuormituspinta-alaksi oletetaan tällöin $0,5 \cdot 0,5 \text{ m}^2$. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 53).

6.3.5 Jäätelikuorma

Alusten liikkeessä laiturin tuntumassa aiheuttaa sen rikkoma jää ja alus vaakasuoran kuorman rakenteille. Jäätelikuorma ei vaikuta yhtä aikaa muiden jääkuormien kanssa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 32).

RIL 201-3-2013 mukaan jäämassan törmäys alusten vaikutuksesta voidaan arvioida seuraavasti.

Vaakasuora viivakuorma yhtenäistä muuria vasten:

- 100 kN/m

Vaakasuora pistekuorma yhtenäiseen muuriin. Ei vaikuta viivakuorman kanssa samanaikaisesti:

- 500 kN / $1 \cdot 1 \text{ m}^2$ (meriliikennelaiturit ja vastaavat)
- 350 kN / $1 \cdot 1 \text{ m}^2$ (yhteysaluslaiturit)

Vaakasuora kuorma pilareita ja paaluja vasten:

- 200 kN, kuormat vaikuttavat tasolla $-2 \text{ m} < \text{MW} < +1 \text{ m}$. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 32-33).

6.3.6 Onnettomuuskuorma aluksen törmäyksestä

Tilaa ja viranomaisen sopivat onnettomuusmitoitustilanteiden käsittelyn toimintaperiaatteet ja säännöt hankekohtaisesti. Toimintaperiaatteita aluksen törmäyksen osalta ovat esimerkiksi rakenteen vaurionsietokyvyn parantaminen, kuorman syntyminen pienentäminen tai sen estäminen, rakenteen suunnittelu kuormia kestäväksi ja rakenteen suunnittelu niin, että se kestää paikallisen vaurioitumisen romahtamatta. Mitoitusonnettomuuskuormien standardiarvoja ei saa pienentää ilman viranomaisen lupaa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011, 114–115).

SFS-EN 1991-1-7 käsittelee alusten aiheuttamia onnettomuuskuormia, johon myös tämä kappale perustuu. Standardin soveltamisalaan eivät kuulu normaaleissa käyttöolosuhteissa laivan törmäystä kestäväksi suunniteltavat rakenteet, kuten laituriuurit. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 1991, 42). Joissakin tapauksissa ja olosuhteissa alus voi kuitenkin törmätä sellaiseen laituriin kohtaan, missä ei ole törmäyssuojaa tai törmäyssuojan energian absorbointikyky on pieni. Tällaisissa tilanteissa standardin soveltaminen voi olla perusteltua.

Törmäyskuormat määritetään joko dynaamisella analyysillä tai ekvivalenttina staattisena voimana. Laiturit kuuluvat yleensä korkeintaan seuraamuluokkaan CC2, joten niissä voidaan käyttää yksinkertaistettua mallia eli käyttää mitoituksessa ekvivalentteja staattisia kuormia. Tällä mallilla lasketaan törmäyskuorman edustavat arvot, joita voidaan käyttää staattisen tasapainon osoittamiseen, riittävän kestävyden osoittamiseen ja törmäyksen kohteena olevan rakenteen muodonmuutosten määrittämiseen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011, 117). Tässä työssä ei käsitellä dynaamista analyysiä.

Yleensä varmalla puolella oleva oletus on, että törmäävä alus absorboi kaiken energian. Tällaisessa tilanteessa ekvivalentteina staattisina kuormina käytetään kahta eri aikaan vaikuttavaa kuormaa:

- F_{dx} aluksen kulkusuuntaan
- Kahdesta komponentista muodostuva kuorma aluksen kylkitörmäyksessä: F_{dy} laivan kulkusuuntaa vastaan kohtisuora komponentti ja F_R aluksen kulkusuuntainen kitkakomponentti. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011, 123).

Sisävesialusten törmäyksestä syntyviä dynaamisen kuorman ohjeellisia arvoja saadaan alla olevasta taulukosta. Taulukon alusyhdistelmien viitetyypit ovat pääosin Keski-Euroopassa käytettäviä, joten esitettyjä alusyhdistelmien viitetyyppejä ei voi sellaisenaan käyttää suunnittelussa. Lisäksi käytettävät törmäyskuormat määritellään hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen toimesta perustuen väyläkohtaisiin tietoihin. (Liikennevirasto, 2017 b, 53).

Taulukko 8. Sisävesialuksen törmäyksessä syntyvän dynaamisen kuorman ohjeellisia arvoja SFS EN 1991-1-7 mukaisesti.

CEMT-luokka a)	Alusyhdistelmän (työntökytkyeen) viitetyyppi	Pituus l (m)	Massa m (ton) b)	Kuorma F_{dx} (kN) c)	Kuorma F_{dy} (kN) c)
I		30...50	200...400	2 000	1 000
II		50...60	400...650	3 000	1 500
III	"Gustav König"	60...80	650...1000	4 000	2 000
IV	Luokka "Europe"	80...90	1000...1500	5 000	2 500
Va	Suuri Alus	90...110	1500...3000	8 000	3 500
Vb	Työntöalus + 2 proomua	110...180	3000...6000	10 000	4 000
VIa	Työntöalus + 2 proomua	110...180	3000...6000	10 000	4 000
VIIb	Työntöalus + 4 proomua	110...190	6000...12000	14 000	5 000
VIIc	Työntöalus + 6 proomua	190...280	10000...18000	17 000	8 000
VII	Työntöalus + 9 proomua	300	14000...27000	20 000	10 000
a) CEMT: Euroopan liikenneministereiden ehdotettu luokitus ja Euroopan unionin hyväksymä 1993. b) Massa sisältää aluksen kokonaisuuden, johon kuuluu laivan rakenne, rahtitavara ja polttoaine c) Kuormat F_{dx} ja F_{dy} sisältävät hydrodynaamisen massan vaikutuksen					

Edellä esitetyn taulukon arvoja on syytä suurentaa tai pienentää riippuen vaurioitumisen seurauksista (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 1991, 98).

Taulukossa esitetyt arvot sisältävät vain törmäävän aluksen dynaamiset vaikutukset, muttei rakenteeseen syntyviä vaikutuksia. Tästä syystä arvot on syytä kertoa asianmukaisella dynaamisella suurennuskertoimella. Kertoimen suositusarvo kohtisuorassa törmäyksessä on 1,3 ja kylkitörmäyksessä 1,7. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 1991, 98).

Satama-alueiden matalien nopeuksien takia taulukon arvoja voidaan pienentää kertoimella 0,5. (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 1991, 98).

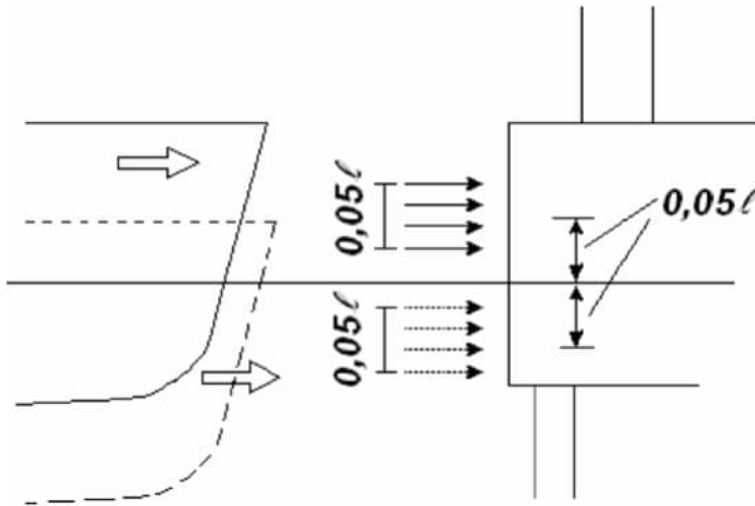
Törmäyskuorman kitkakomponentti lasketaan kaavasta:

$$F_R = \mu \cdot F_{dy} \text{ (kN)}, \quad (22)$$

missä μ = kitkakerroin (suositusarvo $\mu = 0,4$).

Törmäyskuorman vaikutuskohdan ja pinta-alan määrittämisessä täytyy huomioida rakenteen geometria ja aluksen muoto, aluksen syväys ja vuorovesi. Lisäksi standardien mukaisissa määrittämissä on eroa, tapahtuuko törmäys joki- ja kanavaliikenteessä vai meriliikenteessä. Vaikutuskohdan korkeusasema meriliikenteessä voidaan määrittää

kuvasta 10, missä l = aluksen pituus. Korkeusasema määritetään mitoituksessa käytettävästä vedenpinnasta. Leveysuunnassa jakautumisala on enintään $0,1 \times l$. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011, 125). Laiturin kansirakenteeseen vaikuttava kuorma tulee myös ottaa huomioon.



Kuva 10. Aluksen törmäyksestä syntyvän kuorman ohjeelliset vaikutuspinta-alat ja korkeusasema (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011, 125).

7 KUORMITUSYHDISTELMÄT

Suomessa kuormitusyhdistelmien muodostamiseen käytetään Eurokoodeja yhdessä ympäristöministeriön (YM) vahvistamien kansallisten liitteiden kanssa (talot ja niiden liikennealueet). Infrarakenteiden osalta (tiet, radat, sillat) käytetään liikenne ja viestintäministeriön (LVM) määrittämää kansallista liitettä. Liikenne- ja viestintäministeriön kansallinen liite eroaa lähinnä käytettävien kuormitusyhdistelmien osalta ja se on kalibroitu vastaamaan paremmin infrarakenteiden suunnittelua. (Liikennevirasto, 2016 a, 45).

Suomessa käytetään infrarakenteiden osalta liikenne- ja viestintäministeriön kansallisen liitteen mukaisia kuormitusyhdistelmiä, joissa muuttuvan kuorman osavarmuuskerroin riippuu kuorman tyypistä. Muuttuvat kuormat on jaettu liikennekuormiin ja muihin muuttuviin kuormiin. Eri liikennekuormatyypille on asetettu Eurokoodin määräävä pienempi osavarmuusluku. (Liikennevirasto, 2016 a, 46).

Kuormia, jotka eivät toiminnallisista tai fysikaalisista syistä voi esiintyä samanaikaisesti, ei tarvitse huomioida samanaikaisesti kuormitusyhdistelmissä. Joissakin tilanteissa epäedullisia tai edullisia pysyviä kuormia voidaan tarkastella yhdestä lähteestä tulevana. Tällöin voidaan käyttää yhtä osavarmuuslukua näiden kuormien summalle tai niiden vaikutusten summalle. Lisäksi kuormitusyhdistelmään valitaan määräävimman vaikutuksen aiheuttama pystykuorma hyötykuormasta, ajoneuvokuormasta ja nosturikuormasta. Muut kuormista eivät vaikuta samanaikaisesti missään kuormitusyhdistelyssä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 16).

Hankekohtaisesti voidaan sopia rakenteiden onnettomuus- ja maajärjestysmitoitustilanteista. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 16).

Liitteissä 7–10 on esitetty taulukkomuodossa mahdolliset kuormitusyhdistelmät murto-, käyttö- ja onnettomuusrajatiloissa, kun otetaan huomioon edellä esitetyt vaatimukset ja erityisehdot. Myös muut mahdollisesti esiintyvät kuormat täytyy ottaa huomioon. Esimerkiksi tukipainuma ja laakerikitka ovat joissakin kohteissa mahdollista. Liitteiden 7–10 käyttö on suositeltavaa kuormitusyhdistelmiä muodostettaessa.

Eri kuormitusyhdistelmillä on eri käyttötarkoituksensa ja ne mitoittavat eri asioita, joten kaikkia yhdistelmiä ei tarvitse aina muodostaa. Suunnittelijan on syytä miettiä mitoitettavalle rakenneosalle todennäköisesti mitoittavimmat kuormitusyhdistelmät. Pistolaitureiden tapauksessa termisen jääkuorman aiheuttamat kuormat määräävänä muuttuvana kuormana mitoittavat usein rakenneosia.

7.1 Murtorajatilat

RIL 201-3-2013 mukaan vesirakenteiden osalta tarkastellaan pääsääntöisesti seuraavat murtorajatilat:

- rakennuksen tai rakenteen staattinen tasapaino (EQU)
- rakenteen tai rakenneosan sisäinen vaurioituminen tai liian suuri siirtymätila (STR)
- maan pettäminen tai liian suuri siirtymätila (GEO)
- muut murtorajatilat tarkastetaan, mikäli ne rakennetyyppikohtaisesti ovat kriittisiä rakenteen kestävyuden tai tasapainon kannalta

Kuormien yhdistely mainituissa rajatiloissa perustuu liikenne- ja viestintäministeriön kansalliseen liitteeseen. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, 17).

Kuormitusyhdistelmät NCCI 1 (Liikennevirasto, 2017 b) mukaan ovat:

- a) Rakennuksen tai rakenteen staattinen tasapaino (EQU/Sarja A):

Mitoituskaava (standardin yhtälö 6.10):

$$E_d = K_{FI} 1,15 G_{kj,sup} + 0,9 G_{kj,inf} + K_{FI} \gamma_P P + K_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}). \quad (23)$$

- yhdistellään kuormakertoimet huomioiden
- kaavassa käytetään standardin suositusarvoja pysyvän kuorman osavarmuuslukua lukuun ottamatta
- tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana
- esijännitysvoima P kerrotaan osavarmuuskertoimella $\gamma_P=1,3$, kun tarkistetaan ulkoisen jännevoiman yhteydessä esiintyvää stabiiliusrajaa ja jännevoiman kasvu voi olla epäedullinen

- siirtymillä aikaansaadun esijännityksen osavarmuuslukuna käytetään 1,0 kun mitataan tukireaktiot ja siirtymät, mikäli mitataan vain siirtymät, käytetään 1,1 / 0,9
- yhdistelykertoimet liitteen 6 taulukon mukaan

b) Rakenteen tai rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus (STR, Sarja B):

Mitoituskaava a (standardin yhtälö 6.10a):

$$E_d = K_{FI} 1,35 G_{kj,sup} + 0,9 G_{kj,inf} + K_{FI} \gamma_P P. \quad (24)$$

Mitoituskaava b (standardin yhtälö 6.10b):

$$E_d = K_{FI} 1,25 G_{kj,sup} + 0,9 G_{kj,inf} + K_{FI} \gamma_P P + K_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}). \quad (25)$$

- yhdistellään kuormakertoimet huomioiden
- kaava 6.10a sisältää vain pysyvät kuormat
- tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana
- liikennekuorman maanpaineen osavarmuusluku on tieliikennekuormilla ja kevyenliikenteen kuormilla 1,35
- esijännityksen osavarmuusluku on 1,20 kun tarkistetaan jännitysvoiman paikallisia vaikutuksia
- yhdistelykertoimet liitteen 6 taulukon mukaan

c) Geotekninen kantavuus (GEO/Sarja C, luiskien ja kokonaisvakavuuden mitoitus):

Mitoituskaava (standardin yhtälö 6.10):

$$E_d = K_{FI} 1,10 G_{kj,sup} + 1,0 G_{kj,inf} + \gamma_P P + K_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}). \quad (26)$$

- yhdistellään kuormakertoimet huomioiden
- kaavassa käytetään standardin suositusarvoja
- tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana
- liikennekuorman maanpaineen osavarmuusluku on 1,30 / 0
- yhdistelykertoimet liitteen 6 taulukon mukaan

7.2 Onnettomuusrajatilat

Onnettomuuskuorman mitoituskaava (standardin yhtälö 6.11 a/b):

$$E_d = 1,0 G_{kj,sup} + 1,0 G_{kj,inf} + P + A + (\Psi_{1,1} \vee \Psi_{2,1}) Q_{k,i} + \sum(\Psi_{2,i} Q_{k,i}). \quad (27)$$

- kaavassa käytetään standardin suositusarvoja
- onnettomuusmitoitusyhdistelmissä annetaan määräävälle muuttuvalle kuormalle sen tavallinen arvo (Ψ_1) kun kyseessä on liikennekuorma, muuten pitkäaikaisarvo (Ψ_2). Muille muuttuville kuormille annetaan pitkäaikaisarvo (Ψ_2)

7.3 Käyttörajatilat

On osoitettava, että rakenteet täyttävät käyttörajatilassa niille asetetut vaatimukset.

Käyttörajatiloja, jotka otetaan huomioon, voivat olla:

- siirtymät, jotka vaikuttavat ulkonäköön, käyttäjien mukavuuteen, rakenteen toimivuuteen tai aiheuttavat vaurioita pinnoitteille tai ei-kantaville osille
- epämukavuutta aiheuttavat värähtelyt
- vauriot, jotka vaikuttavat kielteisesti ulkonäköön, säilyvyyteen tai rakenteen toimivuuteen, esimerkiksi betonirakenteen halkeamaleveys vaikuttaa säilyvyyteen.

Palautumaton ja palautuva käyttörajatila tulee erottaa toisistaan. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017, 42).

Käyttörajatiilojen kuormitusyhdistelmät NCCI 1 mukaan ovat:

a) Ominaisyhdistelmä (standardin yhtälö 6.14):

$$E_d = 1,0 G_{kj,sup} + 1,0G_{kj,inf} + P + Q_{k,i} + \sum(\Psi_{0,i} Q_{k,i}). \quad (28)$$

Tätä ominaisyhdistelmää käytetään tavallisesti palautumattomille rajatiloille. Palautumaton rajatila = rajatila, jossa kaikki käyttökelpoisuusvaatimuksen ylittävät kuormien vaikutukset eivät palaudu. Näitä ovat mm.:

- betoni-, teräs-, ja liittorakenteen jännitysrajat
- vaarojen jännitysrajat
- laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarat
- paalujen ja perustusten jännitettyjen ja jännittämättömien ankkureiden käyttöehdot sekä jännitykset
- peruslaattojen liukumiskestävyyden korottaminen tartuntateräksillä tai jännitetyillä ankkureilla
- poratun ja injektoidun teräspuutkipaalun vetovoimaehto

b) Tavallinen yhdistelmä (standardin yhtälö 6.15):

$$E_d = 1,0 G_{kj,sup} + 1,0G_{kj,inf} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum(\Psi_{2,i} Q_{k,i}). \quad (29)$$

Tavallista kuormayhdistelmää käytetään tavallisesti palautuville rajatiloille. Palautuva rajatila = käyttörajatila, jossa kaikki käyttökelpoisuusvaatimuksen ylittävä kuormien vaikutus palautuu, kun kuormat poistetaan. Näitä ovat mm.:

- laitureiden taipumarajatilat
- lyhytaikaisen tilanteen halkeamarajatila
- maanvaraisten rakenteiden kimmoiset painumat

c) Pitkäaikaisyhdistelmä (standardin yhtälö 6.16):

$$E_d = 1,0 G_{kj,sup} + 1,0G_{kj,inf} + P + \sum(\Psi_{2,i} Q_{k,i}). \quad (30)$$

Pitkäaikaisyhdistelmää käytetään tavallisesti pitkäaikaisvaikutuksille rakenteen ulkonäön kannalta. Yhdistelmällä tarkastellaan mm.:

- betonin jännitysraja
- pitkäaikaisen tilanteen halkeamaraja

d) Pysyvät kuormat:

$$E_d = 1,0 G_{kj,sup} + 1,0G_{kj,inf} + P. \quad (31)$$

- yhdistelmällä tarkastellaan mm. jännitetyn rakenteen vetojännityksetön tila kaikilla pinnoilla
- jännittämättömien ankkureiden/tartuntaterästen käyttöehdot
- laitureiden paalujen vetovoimaehto
- paalun ankkurointitarve jännitetyillä ankkureilla. (Liikennevirasto, 2017 b).

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Tehdyn tutkimuksen perusteella havaittiin, että laiturirakenteille olisi syytä tehdä tarkempi ja kaikille laiturisuunnittelijoille yhteinen suunnitteluohje. Vesirakenteiden suunnitteluun on yleisesti jonkun verran ohjeita, mutta laitureiden osalta täytyy suunnittelussa käyttää spesifisten ohjeiden sijaan useita eri lähteitä soveltaen. Tämä vie aikaa ja voi aiheuttaa helpommin inhimillisiä virheitä. Esimerkiksi kuormitusyhdistelmien muodostamisessa on virheen mahdollisuus.

Laitureita kuormittavat monissa tapauksissa erilaiset jääkuormat ja ne ovat useiden rakenneosien kannalta mitoittavimmat kuormat, joten oikean suuruisten jääkuormien määrittäminen on toimivan rakenteen ja kustannusten kannalta tärkeä tehtävä. Esimerkiksi jääkuorman vaikutuskorkeus riippuu hyvin paljon laiturin sijainnista ja paikallisista jääolosuhteista. Tulevassa ohjeessa voidaan tarkentaa, kuinka määrittää jääkuormia rakenteen sijainnista riippuen. Esimerkiksi, voiko rakenteeseen aiheutua kuormia liikkuvasta jäädä, jos se sijaitsee kiintojään alueella.

Diplomityössä päädyttiin liitteenä oleviin kuormitusyhdistelmätaulukoihin. Tulevassa suunnitteluohjeessa voidaan yksinkertaistaa kuormitusyhdistelmiä tarkoituksenmukaisesti siten, että saavutetaan riittävän luotettavat rakenteet, mutta silti pidetään suunnittelu riittävän yksinkertaisena ja loogisena kokonaisuutena. Lisäksi tulevassa suunnitteluohjeessa voidaan määritellä tarkoituksenmukaiset materiaaliominaisuudet.

Teräsrakenteiden korroosiosta roiskevesivyöhykkeellä on eri suunnitteluohjeissa ja myös kansainvälisellä tasolla eroavaisuuksia. Käytännön kokemus on osoittanut, että nykyiset Suomalaiset ohjeet teräsrakenteiden korroosiosta eivät päde kaikissa olosuhteissa. Aihetta olisi syytä tutkia ja tulevassa suunnitteluohjeessa tarkentaa.

9 YHTEENVETO

Tyypillisten Väyläviraston laitureiden suunnitteluun ei toistaiseksi ole vielä kattavaa ja ominaista suunnitteluohjetta, kuten esimerkiksi silloille, joten alustavan ohjeen luominen diplomityöksi oli sopiva aihe. Työ keskittyi pääasiassa yhteysalusten liikennöimiin laitureihin.

Työn alussa käsitellään laiturirakenteita kuormittavia tyypillisimpiä sää- ja ympäristöolosuhteita sekä käytön vaikutuksia. Näistä siirryttiin laitureissa pääasiassa käytettäviin materiaaleihin ja niiden vaatimuksiin. Laskennassa käytettävien mitoituskuormien määrittäminen ja kuormitusyhdistelmien muodostus käydään työn lopussa. Työn liitteissä on lisäksi esimerkkilaskelmia erilaisista jääkuormitustapauksista.

Tehdyn tutkimuksen perusteella suunnittelussa haastava ja hajontaa aiheuttava työ on oikean suuruisten mitoituskuormien määrittäminen ja kuormitusyhdistelmien muodostaminen. Esimerkiksi jään paksuus ja lujuus sekä jääkuorman vaikutuskohta riippuvat hyvin paljon laiturin sijainnista ja paikallisista olosuhteista. Yleensä arvot valitaan kuitenkin pahimman tilanteen mukaan, jolloin joidenkin rakenneosien osalta riski ylimitoitukselle on olemassa. Suunnittelija pystyy käyttämään tätä työtä ohjeena ja suuntaa antavana työkaluna yksinkertaisille laitureille, mutta tarkempi ja vaativampi suunnittelu vaatii myös muiden suunnitteluohjeiden käyttöä rinnalla.

Lisäksi jääkuormat erityisesti termisen jääkuorman osalta sekä teräsrakenteiden korroosio roiskevesivyöhykkeellä ovat jatkotutkimusten tarpeessa. Jääkuorman vaikutuskorkeus sekä jääkentän mahdollinen kiinnittyminen paksunnoksen välityksellä kansilaatan alapintaan ja sitä kautta jääkentän nurjahdus epäkeskisestä kuormasta vaatisi tutkimuksia. Nykyiset ohjeet teräksen korroosiovarasta roiskevyöhykkeellä voivat joissakin kohteissa aiheuttaa alimitoitusta. Käytännön kokemus on osoittanut, että esimerkiksi ponttiseinä roiskevyöhykkeellä, potkurivirtausten ja jään kuluttavan vaikutuksen takia, heikkenee huomattavasti nopeammin kuin nykyisten ohjeiden mukaan.

Työ oli osaltani mielenkiintoinen projekti, koska pääsin sukeltamaan tätä kautta laiturisuunnittelun maailmaan melko syvällisesti. Työn aikana kirkastui suunnittelutyön tämänhetkinen tilanne, suunnittelun haasteet ja myös se, että jokainen laituri on yksilö.

LÄHDELUETTELO

Hakulinen Matti, 2003. Teräs pohja- ja maarakentamisessa [verkkodokumentti]. Saatavissa: www.terasinfo.fi/julkaisut/mvr/mpr-oppik.pdf [viitattu 2.8.2022]

Ilmatieteenlaitos [verkkosivu]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/liikkuvamerijaa> [viitattu 15.4.2022]

Koskelainen Eemeli, 2012. Opinnäytetyö. Paalujen vauriokorjaukset vesirajan alueella. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44678/koskelainen_eemeli.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 9.5.2022]

Laitinen Kai, 2012. Korroosio. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/toiminta-julkaisut/try-pintakasittelyn-asiantuntijaryhma/korroosio-yleensa/> [viitattu 5.5.2022]

Liikennevirasto, 2010. Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 9/2010 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2010-09_tiepenkereiden_ja_web.pdf [viitattu 24.4.2022]

Liikennevirasto, 2011. Kiinteiden merimerkkien kuormitusohje. Liikenneviraston ohjeita 10/2011 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2011-10_kiinteiden_merimerkkien_web.pdf [viitattu 24.4.2022]

Liikennevirasto, 2013. Taitorakenteiden tarkastusohje. Liikenneviraston ohjeita ja selvityksiä 17/2013 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121605/lo_2013-17_978-952-255-274-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 2.5.2022]

Liikennevirasto, 2016 a. Varmuuden kohdentaminen tukiseinien mitoituksessa. Liikenneviraston ohjeita ja selvityksiä 7/2016 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121937/lts_2016-07_varmuuden_kohdentaminen_web.pdf?sequence=4&isAllowed=y [viitattu 23.6.2022]

Liikennevirasto, 2016 b. Vedenalaisten taitorakenteiden tarkastusohje. Liikenneviraston ohjeita 26/2016 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/130068/lo_2016-26_vedenalaisten_taitorakenteiden_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 24.4.2022]

Liikennevirasto, 2017 a. Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu – NCCI 7. Liikenneviraston ohjeita 13/2017 [verkkodokumentti] Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134574/lo_2017-13_ncci7_web.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 11.5.2022]

Liikennevirasto, 2017 b. Eurokoodin soveltamisohje – Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. Liikenneviraston ohjeita 24/2017 [verkkodokumentti] Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/147627/lo_2017-24_ncci1_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 14.6.2022]

Liikennevirasto, 2022. Eurokoodin soveltamisohje – Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Liikenneviraston ohjeita 5/2022 [verkkodokumentti] Saatavissa: https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-5_NCCI_2_web.pdf [viitattu 14.6.2022]

Liimatainen Erkki, 2020. Opinnäytetyö. Kallioankkureiden ja tartuntaterästen geo- ja rakennetekninen mitoitus. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/102468/master_Liimatainen_Erkki_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 11.5.2022]

PIANC, 2002. Guidelines for the Design of Fenders Systems. Brysseli (Belgia): General Secretariat of PIANC. [viitattu 19.5.2022]

Rakenteiden mekaniikan seura, 1977. Rakenteiden Mekaniikka Vol. 10 No. 2, 1977.

Jään viruminen 1. Saatavissa:

http://rmseura.tkk.fi/rmlehti/1977/nro2/RakMek_10_2_1977_3.pdf [viitattu 5.10.2022]

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1979. RIL 123, vesirakenteiden suunnittelu [viitattu 1.4.2022]

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2006. RIL 236-2006, Satamalaitureiden kunnonhallinta [viitattu 1.6.2022]

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2008. RIL 201-1-2008, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat [viitattu 1.6.2022]

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011. RIL 201-2-2011, Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat [viitattu 15.7.2022]

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013. RIL 201-3-2013, suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, vesirakenteet [viitattu 1.4.2022]

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2017. RIL 207-2017, Geotekninen suunnittelu [viitattu 10.5.2022]

Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 1991. SFS-EN 1991-1-7 + A1 + AC: 51 + 66 s. Rakenteiden kuormat. Osa 1–7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. [standardi]. [viitattu 13.8.2022]

Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2013 a. SFS-EN 1537: 34 + 18 s. Execution of special geotechnical works. Ground anchors [standardi]. [viitattu 10.5.2022]

Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2013 b. SFS-EN ISO 22282-3: 14 + 49 s. Geotekninen tutkimus ja testaus. Geohydrauliset kokeet. Osa 3: Kallioperän vesimenekikokeet [standardi]. [viitattu 27.5.2022]

Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2019. SFS-EN ISO 19906: 120 + 346 s. Petroleum and natural gas industries. Arctic offshore structures [standardi]. [viitattu 3.4.2022]

Tielaitos, 1999. Teräsputkipaalut. [verkkodokumentti] Saatavissa:

<https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf> [viitattu 9.5.2022]

Väylävirasto, 2020. Infrabetonien valmistus. Väyläviraston ohjeita 41/2020

[verkkodokumentti]. Saatavissa:

<https://static.espoo.fi/cdn/ff/mrXOfaUBsLQxiXI42ihzg23BdDashmW7GRYuX3IUDIg/1630579018/public/2021->

[09/13.8%20Infrabetonien%20valmistus%2C%20V%C3%A4yl%C3%A4viraston%20ohjeita.pdf](https://static.espoo.fi/cdn/ff/mrXOfaUBsLQxiXI42ihzg23BdDashmW7GRYuX3IUDIg/1630579018/public/2021-09/13.8%20Infrabetonien%20valmistus%2C%20V%C3%A4yl%C3%A4viraston%20ohjeita.pdf) [viitattu 2.5.2022]

Liite 1. Ohjeellisia suunnitteluikii

RIL 236-2006 – Satamalaitureiden kunnonhallinta mukainen taulukko satamalaitureiden ja niiden rakennemuuduilien ohjeellisista suunnittelui'istä tavallisille ja tavallista vaativimmille laitureille.

Rakennemuuduuli	Tavallinen laituri (yleisin)	Tavallista vaativimmat laiturit
Satamalaituri	50 v	100 v
Paalutukset, perustukset, ankkuroinnit	50 - 100 v	100 - 150 v
Muut vedenalaiset rakenteet	50 - 100 v	100 - 150 v
Kantavat kansirakenteet	50 - 100 v	100 - 150 v
Kannen eristys- ja pintarakenteet	25 - 50 v	25 - 50 v
Ajorampit, laiturisillat, ym. Rakenteet	15 - 25 v	15 - 25 v
Törmäyssuojat ym. Varusteet	5 - 15 v	5 - 15 v
Teräsrakenteiden pintakäsittelyt	15 - 50 v	15 - 50 v
LVIS: - vesi ja viemärointi - valaistus	25 - 50 v 25 - 50 v	25 - 50 v 25 - 50 v

Liite 2. Betonirakenteiden materiaali- ja rakennesuosituksia

RIL 201-3-2013 mukaan

RIL 201-3-2013 – Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat – mukainen yhteenveto merialueiden laitureiden eri moduulien materiaali- ja rakennesuosituksista käytettäessä tavanomaista raudoitusta.

Materiaali- ja rakenne-suositukset	Rakennemuoduli				
	Eroosiosuoja-laatta	Peruslaatta merivedessä	Tukirakenteet merivedessä tasolta MW-2,5 m alaspäin	Tukirakenteet merivedessä tasolta MW-2,5 m ylöspäin	Laiturin kansirakenteen yläpinta merivesialueella
Rasitusluokat	XC2, XS2	XC2, XS2	XC2, XS2	XC4, XS3, XF4	XC4, XS3, XF4
Suunnittelukäyttöikä 50 vuotta					
Vähimmäis-lujuusluokka	C25/30	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45
P-lukuvaatimus (min.arvo)	-	-	-	P40	P40
Betonipeitteen nimellisarvo	45 mm	45 mm	45 mm	50 mm	50 mm
Max. Halk.leveys pitkäaikaiskuormilla	0,15 mm	0,15 mm	0,15 mm	0,15 mm	0,15 mm
Max. Halk.leveys tavallisella kuormitusyhdistelmällä	0,25 mm	0,25 mm	0,25 mm	0,25 mm	0,25 mm
Suunnittelukäyttöikä 100 vuotta (käyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta)					
Vähimmäis-lujuusluokka	-	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45
P-lukuvaatimus (min.arvo)	-	-	-	P70	P70
Betonipeitteen nimellisarvo	-	60 mm	60 mm	60 mm	60 mm
Max. Halk.leveys pitkäaikaiskuormilla	-	0,10 mm	0,10 mm	0,10 mm	0,10 mm
Max. Halk.leveys tavallisella kuormitusyhdistelmällä	-	0,15 mm	0,15 mm	0,15 mm	0,15 mm

- betonipeitteen nimellisarvo = vähimmäisarvo + sallittu sijaintipoikkeama.
- maata tai kalliota vasten valettaessa betonipeitteen nimellisarvo on 100 mm.
(halkeamalaskennassa 50 mm)
- vedenalaisessa valussa betonipeitteen nimellisarvo on 150 mm.
(halkeamalaskennassa 50 mm)
- betonin lujuudeksi valitaan vedenalaisissa valussa tai korjaamisessa 5 MPa suurempi arvo. Kuitenkin ei korkeammaksi kuin C35/45, ellei muusta syystä tarvita korkeampaa.
- potkurivirtojen vaikutus lujuusluokkaan ja sementtimäärään harkitaan tapauskohtaisesti.
- 100 vuoden käyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta tai betonin tiiveyden ja laadun parantamista. Suojaustapoja on esitetty NCCI 2 kohdassa 4.3
- taulukoiden halkeamaleveysrajaa voi korottaa $c/c_{\min,dur} \leq 1,4$

Liite 3. Betonirakenteiden materiaali- ja rakennesuosituksia NCCI 2 mukaan

Väyläviraston Eurokoodin soveltamisohje – Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 (2022) soveltaen yhteenveto merialueiden laitureiden muutaman eri rakennemuodulin materiaali- ja rakennevaatimuksista käytettäessä tavanomaista raudoitusta.

Materiaali- ja rakennesuositukset	Rakennemuoduli			
	Tukirakenteet meressä tasolta NW-1 alaspäin	Tukirakenteet meressä tasolta NW-1 ylöspäin	Peruslaatta meressä	Päällysrakenteen palkkien ja kansilautojen suolasuorasitetut pinnat
Suunnittelukäyttöikä 50 vuotta				
Rasitusluokat	XC2, XS2	XC4, XS3, XF4 4)	XC2, XS2	XC3, XC4, XS1, XD1, XF2 4)
Vähimmäislujuusluokat 2)	C30/37	C45/55	C30/37	C30/37
P-lukuvaatimus (min.arvo)	P0	P50	P0	P30
Betonipeitteen nimellisarvo 2)	60 mm	60 mm	60/100 mm (40) 5)	40 mm
Max. Halk.leveys pitkäaikaiskuormilla	0,14 mm	0,14 mm	0,14 mm	0,21 mm
Max. Halk.leveys tavallisella kuormitusyhdistelmällä	0,21 mm	0,21 mm	0,21 mm	0,29 mm
Betonipintojen suojaus				
Suunnittelukäyttöikä 100 vuotta				
Rasitusluokat	XC2, XS2	XC4, XS3, XF4 4)	XC2, XS2	XC3, XC4, XS1, XD1, XF2 4)
Vähimmäislujuusluokat 2)	C30/37	C45/55	C30/37	C30/37
P-lukuvaatimus (min.arvo)	P0	P50	P0	P30
Betonipeitteen nimellisarvo 2)	60 mm	110 mm	60/100 mm (40) 5)	40 mm
Max. Halk.leveys pitkäaikaiskuormilla	0,10 mm	0,10 mm	0,10 mm	0,15 mm
Max. Halk.leveys tavallisella kuormitusyhdistelmällä	0,15 mm	0,15 mm	0,15 mm	0,20 mm
Betonipintojen suojaus		1)		3)

- Pienemmän suojabetonipeitteen käyttö edellyttää julkaisun siltapilareiden kuoret mukaisen tai vastaavan suojaverhouksen käyttöä meressä tasolle HW + 2 m. Betonisen kuorirakenteen P-luku vaatimus on P70 ja rasitusluokat taulukon mukaan.
- Taulukon arvot tavallisen betoniteräksen betonipeitteen nimellisarvoja. Vedenalaisessa valussa betonipeitteen nimellisarvo on 150 mm. Huuhtoutumisen estävän lisäaineen käytöllä voidaan teräsputken sisävalussa käyttää 50 mm betonipeitteen nimellisarvoa. Betonin lujuudeksi valitaan vedenalaisissa valussa tai korjaamisessa 5 MPa suurempi arvo.
- Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitetujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 ei rakennetta tarvitse suojata.
- Kloridirasitukset eivät aseta vaatimuksia halkeamaleveydelle, kunhan pinnat on suojattu NCCI 2 kohdan 4.3 mukaan.
- Muottia vasten valettu tai laatan yläpinta / kalliota tai maata vasten valettu. Suluissa halkeamalaskennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo. Halkeamalaskennassa betonipeitteen maksimiarvo on 50 mm.

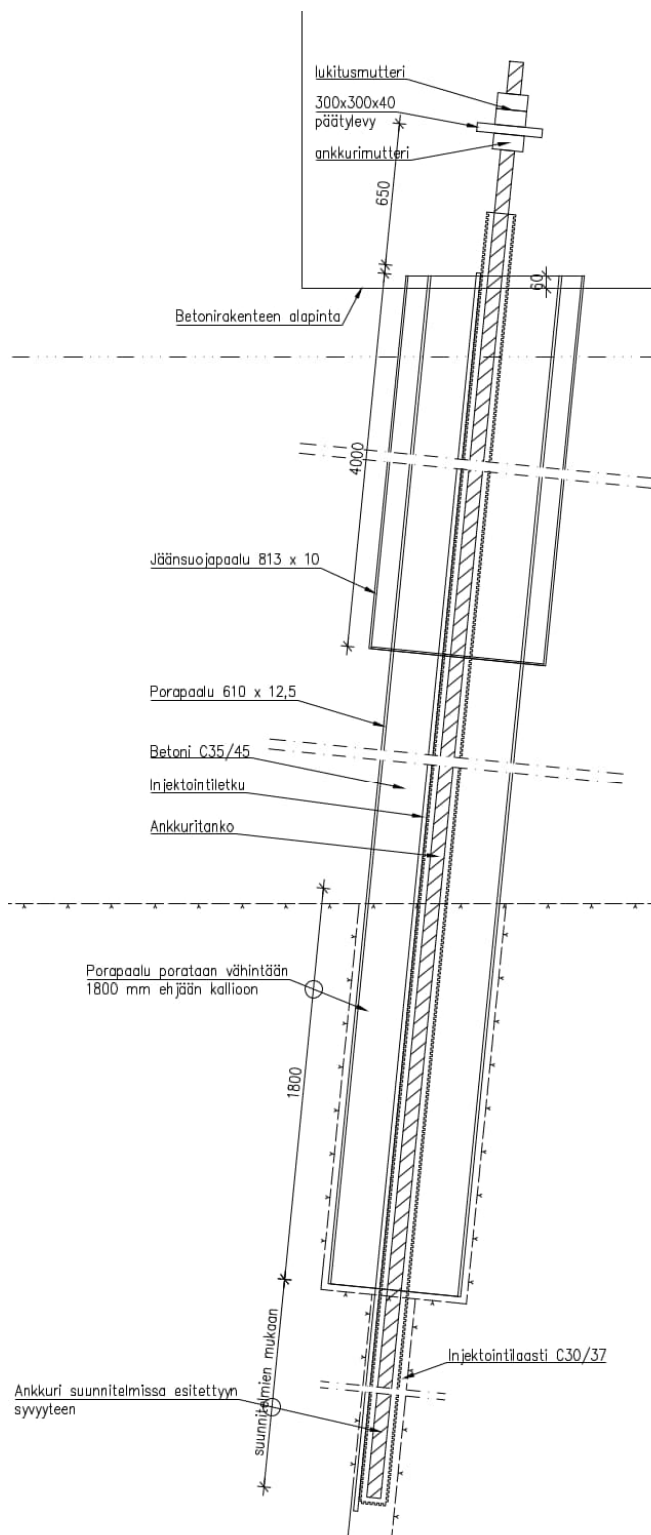
Liite 4. Korroosion aiheuttama seinämäpaksuuden menetys

Korroosion aiheuttama seinämäpaksuuden menetys makeassa vedessä ja merivedessä oleville paaluille ja ponttiseinille NCCI 7:n vuoden 2017 mukaan. Vuoden 2022 NCCI 7:n luonnosversion mukaan arvoja tullaan suurentamaan.

Tavoitekäyttöikä	5 vuotta	25 vuotta	50 vuotta	75 vuotta	100 vuotta
Yleinen makea vesi (joki, laivakanava) suuren rasituksen alueella (vesiraja)	0,15	0,55	0,9	1,15	1,40
Hyvin pilaantunut makea vesi (jätevesi, teollisuuden jätevesi) suuren rasituksen alueella (vesiraja)	0,3	1,3	2,3	3,3	4,3
Merivesi lauhkeassa ilmastossa suuren rasituksen alueella (laskuvesi ja roiskealueet)	0,55	1,9	3,75	5,6	7,5
Merivesi lauhkeassa ilmastossa suuren rasituksen alueella pysyvässä upotuksessa tai vuoroveden alueella	0,25	0,9	1,75	2,6	3,5
Huom. • Suurin korroosionopeus esiintyy tavallisesti roiskealueella tai vuorovesien alaveden pinnan tasolla. Useimmissa tapauksissa suurimmat taivutusjännitykset esiintyvät kuitenkin pysyvästi upotuksessa olevalla alueella. • 5 ja 25 vuodelle esitetyt arvot perustuvat mittauksiin, muut arvot on ekstrapoloitu.					

Sisäpuolisen korroosion mitoitusarvoa avoimissa paaluissa tavanomaisissa olosuhteissa voidaan käyttää 0,2 mm / 100 vuotta. Betonilla täytettyjen ja alapäästä suljettujen teräsputkipaalujen korroosio voidaan jättää huomioimatta sisäpinnoilla. (Liikenneviraston ohjeita 13/2017, liite 5)

Liite 5. Paalun ankkurointi NCCI 7 vaatimusten mukaan



Työjärjestys:

1. Paalu porataan asennussyvyyteen.
2. Ankkurin reiän poraus kallioon suunnitelmassa ilmoitettuun syvyyteen.
3. Reikä puhdistetaan ilma- ja vesihuuhtelulla. Huuhtelua jatketaan kunnes reiästä tuleva vesi on täysin kirkasta.
4. Suoritetaan vesimenekikoe.
5. Mikäli vesimenekikokeen vaatimukset ei täyty, reikä injektoidaan ja koe uusitaan kunnes saadaan vaadittu tulos.
6. Puhdistettuun reikään asennetaan ankkurointiteräksen suojaputki ja ankkurointiteräs. Suojaputkeen on kiinnitetty paineletku laastin pumpausta varten.
7. Injektointilaastin täyttö aloitetaan reiän pohjalta siten, että letkun pää on koko ajan laastin sisällä, ja että letkua hitaasti nostaen laasti täyttää kalot ja mahdolliset halkeamat. Injektointilaastin yläpinta ulotetaan paalun alapään tasalle.
8. Betonin kovettuttua ankkurit koeveretään paalua vasten rakennesuunnitelmassa esitettyä voimalla.
9. Paalu katkaistaan lopulliseen korkoon ja valetaan täyteen.
10. Ankkuritankon yläosaan asennetaan lattateräs 300x300x40 S355.

Ankkurin kaksinkertainen korroosiosuojaus on toteutettu profiloidulla muoviputkella ja betoni-injektoinnilla. Ankkuritanko on injektoitu muoviputkeen tehtaalla.

Liite 6. Laitureiden kuormien yhdistelykertoimia

Liite 6. Laitureiden kuormien yhdistelykertoimet. Taulukossa on Liikenneviraston ohjeita 24/2017 ja RIL:n ohjeita mukailten standardien mukaiset yhdistelykertoimet ottaen huomioon Suomen kansalliset valinnat ja kansalliset lisäykset.

Kuorma		Ψ_0 Yhdistelyarvo	Ψ_1 Tavallinenarvo	Ψ_2 Pitkäaikaisarvo	
Liikennekuormat	gr1a	Teli (LM1)	0,75	0,75	-
		UDL (LM1)	0,4	0,4	0,3
		kevyen liikenteen kuorma	0,4	0,4	-
	gr1b	Akselikuorma (LM2)	-	0,75	-
	gr2	LM1 + Vaakuormat	-	-	-
	gr3	kevyen liikenteen kuorma	-	-	-
	gr5	Erikoiskuorma (LM3)	-	-	-
Muut kuin yleisen liikenteen alaisten alueiden ajoneuvokuormat		-	0,75	-	
Henkilökuorma		-	0,4	-	
Tavarakuormat		-	0,5	-	0,3
Nosturikuorma (poislukien konttinosturit)		-	0,75	-	
Tuulikuormat	-Fwk Normaalisti vallitsevat mitoitustilanteet	0,6 / 0,4	0,2	-	
	- Toteuttamisen aikana	0,8	-	-	
Lämpötilakuormat	Tk	-	0,6	0,6	0,5
Jääkuorma	IL	0,7 / 0,5	0,5	0,2	
Liikennekuorman aiheuttama maanpaine	Lk-maanpaine	0,75	0,75 1)	-	
Vesiliikenteen kuormat	Pollari-, tukeutumis- ja sysäyskuormat	0,4	0,4	-	
Veden liike	Aalto- ja virtaavan veden kuormat	0,6	0,2	-	

1) Liikennekuorman aiheuttamalle maanpaineen vaakasuuntaiselle komponentille voidaan käyttää arvoa $\Psi_1= 0,4$

Liite 7. Murtorajatilän kuormitusyhdistelmät, sarjat A ja B

LAITURIT - MURTORAJATIILÄ - SET A, SET B															
STR / GEO 6.10b ja EQU 6.10															
MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9	MRT_10	MRT_11	MRT_12	MRT_13	MRT_14	MRT_15
6.10a	SET A: EQU: 1,15 / 0,9														
6.10b	SET B: STR / GEO: 1,1 / 0,9 4)														
MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9	MRT_10	MRT_11	MRT_12	MRT_13	MRT_14	MRT_15
SET B: STR / GEO: 1,35	SET A: EQU: 1,15 / 0,9														
SET B: STR / GEO: 1,1 / 0,9 4)	SET B: STR / GEO: 1,1 / 0,9 4)														
Omapaino															
Esijännitys															
gr1a (LM1)	1,35														
UDL															
Keyyt															
gr1b (LM2)		1,35													
Telit															
UDL															
Jarru- ja kiinnityskuormat															
Keskipako ja sivukuorma															
gr3 (Keyyt)					1,35										
gr5 (LM3)															
Muut kuin edellä olevat ajoneuvokuormat															
Henkilökuorma															
Tavarakuormat															
Nosturikuorma (poislukien konttinostrurit)															
fwk tuuli 1)															
TK Lämpötilakuorma 2)															
IL Jääkuorma															
Lk-maapaine															
Pollari- tukeutumis- ja sysäyskuormat															
Aaltokuormat ja virtaavan veden kuormat															

1) Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän laiturin tapaukselle ja tapaukselle, jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa

2) Lämpötilakuorman voi jättää pois, jos rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä

3) Stabiiliteettia tarkistettaessa (EQU) 1,30 / 0,9

4) Paikalliset vaikutukset 1,20 / 0,9 (STR/GEO)

-Passiivipaineen yhdistelykertoimien aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

-Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

■ = Pysyvät kuormat ja esijännitys

■ = Määräävä muuttuva kuorma

Liite 8. Käyttörajan ominaisyhdistelmät

LAITURIT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyhdistelmä (6.14)															
6.14															
	KRT_1	KRT_2	KRT_3	KRT_4	KRT_5	KRT_6	KRT_7	KRT_8	KRT_9	KRT_10	KRT_11	KRT_12	KRT_13	KRT_14	KRT_15
Ompapaino															
Esijännitys															
gr1a (LM1)	1														
gr1b (LM2)		1													
gr2 (LM1+vaaka)			0,75												
gr3 (Kevyt)			0,4												
gr5 (LM3)			1												
Muut kuin edellä olevat ajoneuvokuormat															
Henkilökuorma															
Tavarakuormat															
Nosturikuorma (poislukien konttinostrurit)															
Fwk tuuli 1)	0,6														
Tk Lämpötilakuorma	0,6		0,6												
IL Jääkuorma	0,7		0,7												
Lk-maapaine	0,75	0,75	0,75												
Pollari-, tukeutumis- ja sysäyskuormat	0,4		0,4												
Aaltokuormat ja virtaavan veden kuormat	0,6		0,6												

1) Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän laiturin tapaukselle ja tapaukselle, jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa
 -Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely
 -Passiivipaineen yhdistelykerron aiheuttavan kuorman mukaan

■ = Pysyvät kuormat ja esijännitys

■ = Määräävä muuttuva kuorma

Liite 9. Käyttörajan tavallinen ja pitkäaikaisyhdistelmä sekä pysyvät kuormat

	LAITURIT - KÄYTTÖRAJATILA - Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16), Pysyvät kuormat															Pysyvät KRT_30	
	KRT_16	KRT_17	KRT_18	KRT_19	KRT_20	KRT_21	KRT_22	KRT_23	KRT_24	KRT_25	KRT_26	KRT_27	KRT_28	KRT_29	6.16		
Omapaino																	
Esijännitys																	
gr1a (LM1)	0,75																
UDL	0,4																
Kevyt	0,4																
gr1b (LM2)		0,75															
Telit																	
UDL																	
Jarru- ja kiihdytyskuormat																	
Keskkipako ja sivukuorma																	
gr3 (Kevyt)																	
gr5 (LM3)																	
Muut kuin edellä olevat ajoneuvokuormat																	
Henkilökuorma				0,4													
Tavarakuormat				-2)	0,5												
Nosturikuorma (poislukien konttinosurit)						0,75											
Fwk tuuli 1)							0,2										
TK Lämpötilakuorma	0,5		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
IL Jaakuorma	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
LK-maapaine																	
Pollari-, tukeutumis- ja syssyskuormat																	
Aaltokuormat ja virtaavan veden kuormat											0,4						

1) Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän laiturin tapaukselle ja tapaukselle, jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa

2) Jos aluetta käytetään tavarasiirron lisäksi tavaravarastointiin on pitkäaikaisarvon oltava 0,3

3) Liikennekuorman maanpaineen vaakasuuntaiselle komponentille voidaan käyttää yhdistelmämerkintöiden arvona 0,4

-Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

-Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

■ = Pysyvät kuormat ja esijännitys

■ = Määräävä muuttuva kuorma

Liite 10. Onnettomuusyhdistelmät

LAITURIT - ONNETTOMUUSYHDISTELMÄ				
		6.11 a/b		
		A 1	A 2	A 3
Liikennekuorman aiheuttama onnettomuus		1	1	-
Aluksen törmäys		-	-	1
Omapaino		1	1	1
Esijännitys		1	1	1
gr1a (LM1) 3)	Telit	0,75	-	-
	UDL	0,3	-	0,3
	Kevyt	-	-	-
gr1b (LM2)		-	0,75	-
gr2 (LM1+vaaka)	Telit	-	-	-
	UDL	-	-	-
	Jarru- ja kiihdytyskuormat	-	-	-
		-	-	-
gr3 (Kevyt)		-	-	-
gr5 (LM3)		-	-	-
Muut kuin edellä olevat ajoneuvo kuormat		-	-	-
Henkilökuorma		-	-	-
Tavarakuormat		- 2)	-	- 2)
Nosturikuorma (poislukien konttinosturit)		-	-	-
Fwk tuuli 1)		-	-	-
Tk Lämpötilakuorma		0,5	-	0,5
IL Jääkuorma		0,2	-	0,2
Lk-maanpaine		-	-	-
Pollari-, tukeutumis- ja sysäyskuormat		-	-	-
Aaltokuormat ja virtaavan veden kuormat		-	-	-

- 1) Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän laiturin tapaukselle ja tapaukselle, jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa
2) Jos aluetta käytetään tavarann siirron lisäksi tavarann varastointiin on pitkäaikaisarvon oltava 0,3
3) Onnettomuusyhdistelmässä liikennekuormakaavio LM1 otetaan huomioon vain yhdellä kaistalla
-vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely
-passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

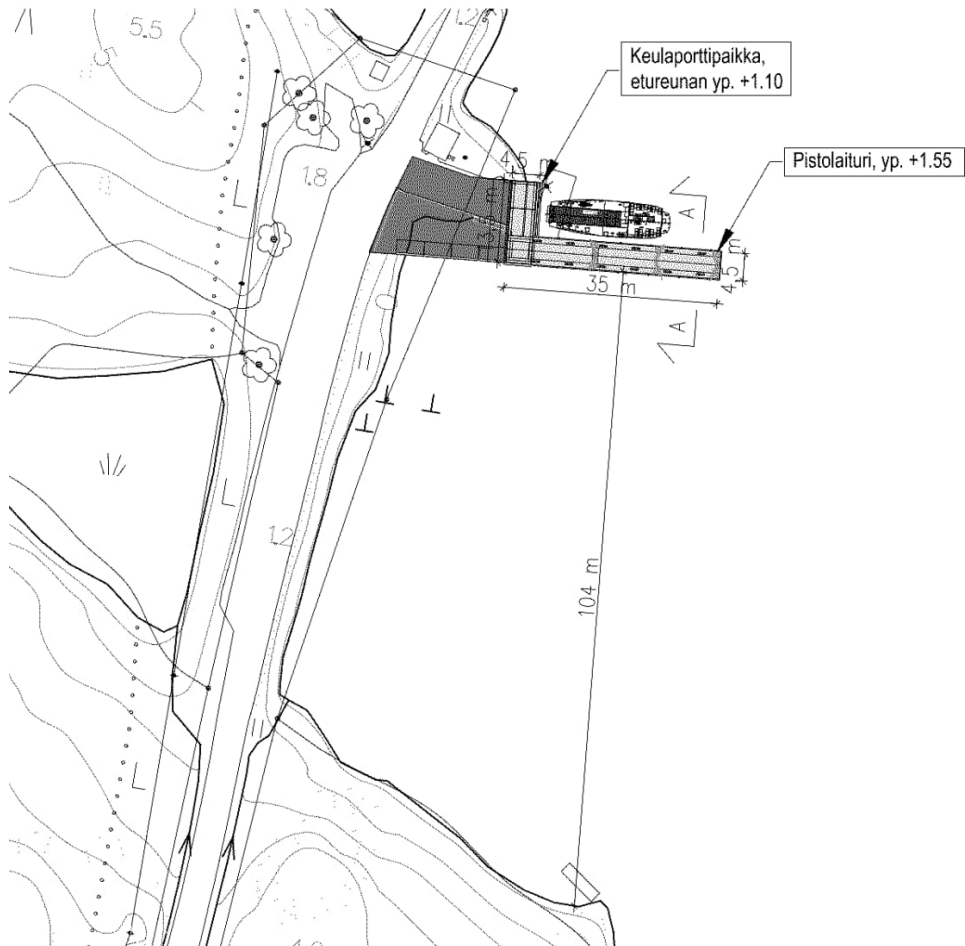
= Pysyvät kuormat ja esijännitys

= Määräävä muuttuva kuorma

Liite 11. Termisen jääkuorman laskentaesimerkki

Termisen jääkuorman laskentaesimerkki

Saaristomeren merialueelle suunnitellaan paaluperusteinen pistolaituri ja sen yhteyteen kasuuniperusteinen keulaporttipaikka.



Oletetaan, että laiturin liikennöity puoli pysyy aina sulana. Jääkenttä muodostuu liikennöimättömälle puolelle ja aiheuttaa termistä jääkuormaa tältä puolelta. Termistä jääkuormaa aiheuttavan jääkentän pituus on noin 100 m. Lasketaan jääkuormat 4:llä eri oletuksella.

1. Terminen jääkuorma vaikuttaa laiturin kansipalkkiin ja kuormaa rajoittaa jään nurjahdus ja viruminen. Lasketaan kohdasta 6.1.1 saatavilla arvoilla.

Käytetään kiinteän jääpeitteen laskennallisena paksuutena 0,5 m, jolloin jääpeitteen maksimijääkuorma lounaisrannikolla taulukon mukaan:

$$q := 200 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Jääkentän pituuden huomioiva kerroin:

$$k := 0.8$$

Jääkuorma:

$$P_1 := k \cdot q = 160 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2. Oletetaan että 0,5 m paksu jääkansi vaikuttaa koko korkeudeltaan kansipalkin reunaan ja jääkentän murskautuminen kansipalkkia vasten rajoittaa jääkuormaa. Lasketaan kohdan 6.1.2 kaavoilla.

$$b := 30 \text{ m} \quad k_1 := 1 \quad k_2 := 1 \quad \sigma_{ip} := 2.5 \text{ MPa}$$

$$h := 0.5 \text{ m} \quad k_3 := 1 + 1.5 \cdot \frac{h}{b} = 1.025$$

$$P_{tot} := k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{ip} = 38437.5 \text{ kN}$$

Muutetaan viivakuormaksi kansilaatan reunaan:

$$P_2 := \frac{P_{tot}}{b} = 1281.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lasketaan kohta, milloin jääkentän murskautuminen laiturin kansipalkkia vasten rajoittaa jääkuormaa ennen jään nurjahtamista ja virumista.

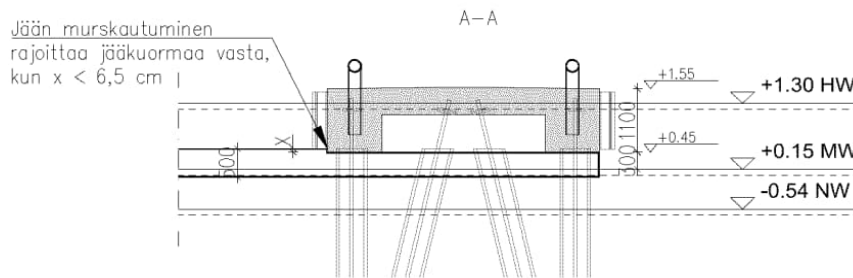
$$b := 30 \text{ m} \quad k_1 := 1 \quad k_2 := 1 \quad \sigma_{ip} := 2.5 \text{ MPa} \quad P_{tot} := b \cdot P_1 = 4800 \text{ kN}$$

$$k_3 := 1 + 1.5 \cdot \frac{h}{b}$$

Ratkaistaan h yhtälöstä:

$$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{ip} = P_{tot}$$

$$h := 0.065 \text{ m}$$



3. Jääkenttä muodostuu ja pysyy laiturin kansipalkin alapuolella, jolloin terminen jääkuorma vaikuttaa vain paaluihin. Jääkuormaa rajoittaa jään nurjahtaminen ja viruminen. Lasketaan kohdan 6.1.1 kaavoilla.

Jääkuorma vaikuttaa kuormitus suunnassa vain etureunan paaluihin. Etureunan paaluun vaikuttava kuorma on:

$$b_i := 4 \text{ m} \quad i_1 := 100 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_i := b_i \cdot i_1 = 400 \text{ kN}$$

Paaluryhmät ovat 10 m välein laiturissa ja laiturissa on 3 paaluryhmää. Paaluihin kohdistuva kuorma muutetaan viivakuormaksi laatan reunaan:

$$P_3 := \frac{3 \cdot P_i}{30 \text{ m}} = 40 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. Jään murskautuminen paalua vasten rajoittaa jääkuormaa. Jääkuorma vaikuttaa vain etureunan paaluihin. Lasketaan kohdan 6.1.2 kaavoilla.

$$b := 0.5 \text{ m} \quad k_1 := 0.9 \quad k_2 := 1 \quad \sigma_{ip} := 2.5 \text{ MPa} \quad h := 0.5 \text{ m}$$

$$k_3 := 1 + 1.5 \cdot \frac{h}{b}$$

$$P_i := k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{ip} = 1406.25 \text{ kN}$$

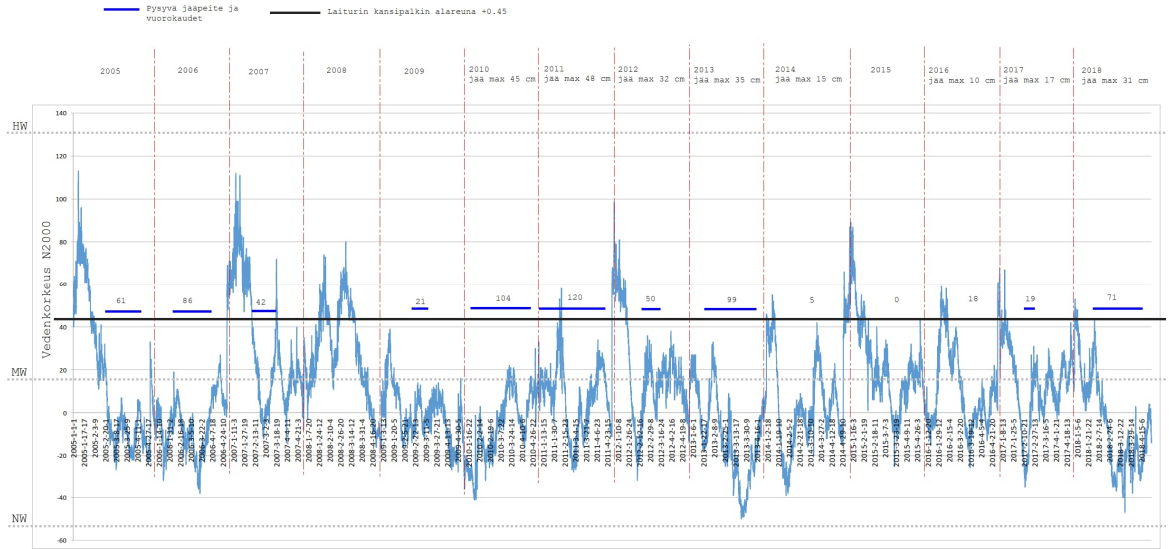
Paaluryhmät ovat 10 m välein laiturissa ja laiturissa on 3 paaluryhmää. Paaluihin kohdistuva kuorma muutetaan viivakuormaksi laatan reunaan:

$$P_4 := \frac{3 \cdot P_i}{30 \text{ m}} = 140.625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yleensä oletuksen 2 mukainen jääkuorma vaatisi paksun liikkuvan jääkentän, joita esiintyy harvoin kiintojään alueella. Yleensä laiturit mitoitetaan termiselle jääkuormalle oletuksella 1, 3 tai 4.

Vedenkorkeudet Föglön mittauspisteellä 1.1.–30.4. vuosina 2005–2018 N2000 (Ilmatieteenlaitos)

Jään paksuudet Seilin asemalta 2010–2018 (Ilmatieteenlaitos)



Ilmatieteenlaitokselta saadun aineiston pohjalta tehdyt havainnot:
- pysyvä jääpeite muodostuu yleensä helmikuun alkupuolella
- jääpeite on paksuimmillaan maaliskuussa
- jääpeitteen aikana vedenkorkeus on pääosin keskiveden +0.15 alapuolella
- kaikkina vuosina pysyvää jääpeitettä ei muodostu lainkaan (2008, 2014, 2015 ja 2016)
- talviaikana vedenpinta on korkeammalla vuosina, jolloin jääpeitettä ei muodostu

Jään lämpölaajenemisesta aiheutuvat kuormat ovat laitureilla usein mitoittavia. Yllä olevassa kaaviossa on Ilmatieteen laitoksen aineistoa pysyvästä jääpeitteestä ja vedenpinnan asemasta Föglön ja Seilin asemilta. Otanta on suhteellisen lyhyt ja paikallinen, mutta on syytä harkita, millä todennäköisyydellä terminen jääkuorma tulee kyseisessä kohteessa vaikuttamaan laiturin kanteen täysimääräisenä.

Liite 12. Jään aiheuttamat pystykuormat, laskentaesimerkki

Jään aiheuttamat pystysuorat kuormat

Vedenpinnan noustessa ja laskiessa laiturin kansilaatan palkkeihin kiinnitarttunut jää aiheuttaa siihen ylös- tai alaspäin suuntautuvan kuorman V . Lasketaan liitteen 11 laiturin kuormat kohdan 6.1.4 kaavoilla.

Arvoidaan vedenpinnan laskunopeus:

$$v_v := 0.02 \frac{m}{hr}$$

Oletetaan jään yläpinnan lämpötilaksi -10°C ja halutaan kuorma 24 tuntia vedenpinnan laskun alkamisesta. Kuvasta 7 saadaan kerroin:

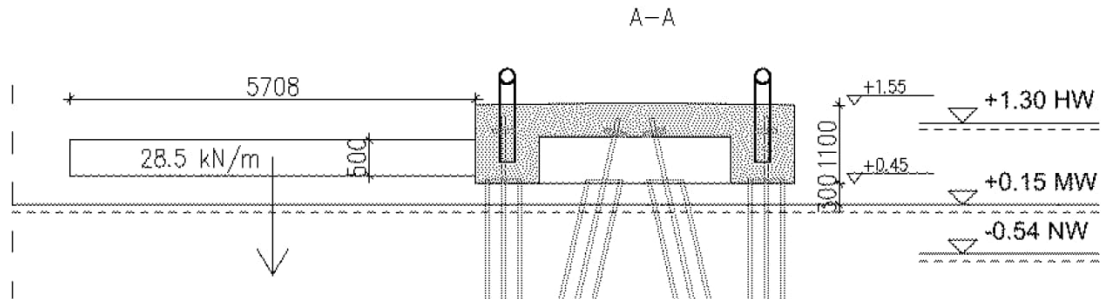
$$k_s := 100$$

$$t := 24 \text{ hr}$$

$$h := 0.5 \text{ m}$$

$$V := \left(k_s \cdot v_v \cdot t \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{h}{m}\right)^3} \right) \cdot \frac{kN}{m^2} = 28.541 \frac{kN}{m}$$

Jäänpainon maksimiarvo vastaa alla olevan kuvan mukaista tilannetta ennen kuin jää murtuu taivutuksen takia. Todellisuudessa jääkenttä on eri muotoinen kuin kuvassa.



Vedenpinnan noustessa kuorman suuruus on sama. Kuormaa rajoittaa jään murtuminen taivutuksella.