

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kevät 2019

Tomi Qvick

SATAMAN PONTTONILAITURIN RAMPIPERUSTUS

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kevät 2019 | 35 sivua, 15 liitesivua

Tomi Qvick

SATAMAN PONTTONILAITURIN RAMPPIPERUSTUS

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella työn toimeksiantajalle NRC Arcus Oy:lle eurokoodien mukainen ponttonilaiturin ramppiperustus. Kohdesatama, johon laituri suunniteltiin, sijaitsee Ruotsissa, joten käytössä olivat Ruotsin kansalliset liitteet. Tämä työ käsittelee eurokoodeja, maiden kansallisten liitteiden eroavaisuuksia, rakenteiden kestävyyksien suunnittelua, mitoitusta ja kuormia eurokoodeihin perustuen.

Työn alussa käsitellään vesirakentamista yleisellä tasolla ja satamarakentamisessa tyypillisimmin käytettyjä rakennusratkaisuja. Teoriaosuudessa käydään läpi rakennesuunnittelussa käytettäviä kantavia rakenteita koskevia määräyksiä ja suunnitteluohjeita. Teoriaosuus sisältää myös kuormien ja kuormitusyhdistelmien tarkastelua, rakenteille kohdistuvia rasituksia sekä rakenneosien kestävyyksien ja rajatilojen tarkastelua. Kestävyys- ja ympäristöolosuhteiden vaikutuksia käsitellään erityisesti satamarakentamisessa yleisimmin käytettyjen materiaalien osalta.

Työn konkreettisena tuloksena saatiin ramppiperustuksen suunnitelmat ja kestävyyslaskelmat. Valmiita suunnitelmia ovat muun muassa raudoitusten detailjipiirustukset sekä yleis-, mitta- ja leikkauspiirustukset. Tärkeimmät konkreettiset tulokset ovat esitettyinä liitteissä. Ramppiperustuksen on määrä valmistua vuoden 2019 aikana kohdesatamaan.

ASIASANAT:

ramppiperustus, rakennesuunnittelu, satamarakentaminen, laituri

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Spring 2019 | 35 pages, 15 pages in appendices

Tomi Qvick

RAMP FOUNDATION FOR A PONTOON QUAY

The goal of this thesis was to design a pontoon quay ramp foundation for the commissioner of the thesis, NRC Arcus Oy. This quay is in a port that is located in Sweden. For this reason Sweden's National Annexes were used. This thesis reviews Eurocodes, differences in the National Annexes between Finland and Sweden, design of structural resistance, design situations and actions based on Eurocodes.

The beginning of this thesis reviews the basics of civil engineering and most typically used structural forms and designs. The theoretical part reviews regulations and design instructions for load-bearing structures. The theoretical part also includes imposing loads and sets of loads, conditions of structures and resistance and limit states of structural members. Especially resistance and environmental conditions are reviewed for the most commonly used materials of civil engineering.

The result of this thesis was designs and resistance calculations for a ramp foundation. The final blueprints were e.g. detailed layouts for reinforcement, a floor plan as well as dimensional and sectional drawings. The most important outcomes are presented in the appendices. The ramp foundation is due to be built in 2019.

KEYWORDS:

ramp foundation, civil engineering, quay

SISÄLTÖ

SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 VESIRAKENTAMINEN	11
2.1 Laiturirakenteet	11
2.1.1 Kulmatukimuurilaituri	11
2.1.2 Paalulaituri	12
2.2 Ponttonilaituri	13
2.3 Suurpaalut	14
3 RAKENNESUUNNITTELUN TEORIA	16
3.1 Lainsäädännön ja ohjeistuksien eroavaisuudet	16
3.2 Kuormat	17
3.2.1 Pysyvät kuormat	17
3.2.2 Muutuvat kuormat	17
3.2.3 Kuormitusyhdistelmät	19
3.2.4 Jääkuorma	22
3.2.5 Aluksen törmäysvoima	23
3.3 Kestävyydet	24
3.3.1 Teräsbetonirakenteet	25
3.3.2 Betoniteräket	25
3.3.3 Ympäristöolosuhteet	26
3.3.4 Korroosio	27
3.3.5 Maan sivuvastus	27
4 CASE: RAMPPIPERUSTUS	29
5 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34

KAAVAT

Kaava 1. Rakenteen tai rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus	20
Kaava 2. Rakenteen tai rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus	20
Kaava 3. Kun pääasiallinen kuorma ($Q_{k,1}$) on lumi-, jää- tai tuulikuorma	21
Kaava 4. Kun pääasiallinen kuorma ($Q_{k,1}$) on muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma	21
Kaava 5. Ominaisyhdistelmä	21
Kaava 6. Tavallinen yhdistelmä	21
Kaava 7. Pitkäaikaisyhdistelmä	22
Kaava 8. Kokonaisjääkuorma	23
Kaava 9. Kokonaisliike-energia	23
Kaava 10. Aluksen virtuaalinen massa	23
Kaava 11. Laiturin, fenderin ja aluksen rungon energia	24
Kaava 12. Jousivakio	28
Kaava 13. Tukimomentin mitoitusarvon pyöristys	30

KUVAT

Kuva 1. Kulmatukimuurilaituri	12
Kuva 2. Paalulaituri	13
Kuva 3. ShibataFenderTeam Cushion-Roller	14
Kuva 4. Esimerkkejä lyöntipaalujen kalliokärjistä	15
Kuva 5. Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat	Liite 1
Kuva 6. Vaatimusluokat	Liite 2

TAULUKOT

Taulukko 1. Pysyvien kuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut	17
Taulukko 2. Henkilökuormien viitteellisiä arvoja	18
Taulukko 3. Henkilökuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut	18
Taulukko 4. Tavarakuormien viitteellisiä arvoja	19
Taulukko 5. Tavarakuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut	19
Taulukko 6. Jääkuorman aiheuttama vaakakuorma jääkenttää rajoittaviin seinämiin	22

LIITTEET

Liite 1. Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat
Liite 2. Vaatimusluokat
Liite 3. FEM-rakenneanalysistä saadut momentin arvot murto- ja käyttörajatilassa
Liite 4. Maajouset kuvattuna FEM-rakenneanalysissä
Liite 5. Käyttöaste ja raudituslaskelmat kentässä
Liite 6. Käyttöaste ja raudituslaskelmat tuella

- Liite 7. Kohdealueen yleispiirustus
- Liite 8. Ponttonilaiturin korkeusvaihtelut
- Liite 9. Laatan mittapiirustus
- Liite 10. Laatan sijaintipiirustus
- Liite 11. Laatan alapinnan teräkset
- Liite 12. Laatan yläpinnan teräkset
- Liite 13. Laatan leikkauspiirustukset A-A...D-D
- Liite 14. Laatan leikkauspiirustukset E-E...H-H
- Liite 15. Porapaalun tyyppiirustus

SANASTO

ankkurointipituus	terästangon tarttumispituus
betoniteräs	betonin raudoittamiseen tarkoitetut teräkset
bunkraus	laivasta laivaan -tankkaus
CC	seuraamusluokka (CC1, CC2, CC3)
elektrolyytti	aine, joka johtaa sähköä
elektroni	negatiivisesti varautunut alkeishiukkanen
erosio	kallio- tai maaperän kulumista ympäristön vaikutuksesta
eurokoodi	yleiseurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit
fenderi	laiturin ja aluksen välissä oleva pehmike
gravitaatio	painovoima
k	kilo
korroosio	materiaalinen muuttumista ympäristön vaikutuksesta
LNG	nesteytetty maakaasu, liquefied natural gas
LO	Liikenneviraston ohje
m	metri; milli
mm	millimetri
muuttuvat kuormat (q_k)	kuormat, jotka ovat muuttuvia ja liikkuvia kuormia, kuten lumi, jää- tai hyötykuormat
N	Newton
osavarmuusluku	laskennallinen kerroin riippuen materiaalista ja käyttötärpeestä
parametri	muuttuja
pollari	kiinnitystolppa, johon kiinnitetään aluksen köydet
ponttoni	ontto ja vesitiivis rakenne
pysyvä kuorma (g_k)	pysyvät ja kiinteät kuormat, kuten rakenteiden omat painot
raudoitus	betonin vahvistaminen teräksien avulla
RD®-paalu	porattava suurpaalu
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto

RR®-paalu	lyötävä suurpaalu
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SSAB	Pohjoismaiden suurin raakateräksen tuottaja
suurpaalu	halkaisijaltaan vähintään 300 mm paalu
teräsbetoni	betonista ja teräksestä valmistettava yhdistelmäateriaali
TRY	Teräsrakenneyhdistys
viruma	ajasta riippuva muodonmuutos
Väylävirasto	Aiemmin nimellä Liikennevirasto

Ohjelmistosanastoa

BricsCAD	Bricsys nv:n luoma yleissuunnitteluohjelma
CAD	tietokoneavusteinen suunnittelu, Computer-aided Design
FEM-menetelmä	elementtimenetelmä, Finite Element Method
Robot Structural Analysis	Autodeskin rakennesuunnitteluohjelma

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella tilaajan tarpeiden mukainen nesteytettyä maakaasua kuljettavan bunkrausaluksen ponttonilaiturin ramppperustus ja sen mitoitus. Laiturin on määrä valmistua vuoden 2019 loppuun mennessä. Työ rajataan pääasiassa koskemaan laiturin ponttoniosan kiinnitysrakenteiden ja maatuen rakenteellista mitoitusta. Geotekniset suunnitelmat rajataan maatuen osalta pois tästä opinnäytetyöstä.

Tavoitteena on tehdä rakenneteknisesti kestävä laiturirakenne Ruotsiin. Työssä tutustutaan laiturirakentamisessa käytettyihin yleisimpiin rakenneratkaisuihin ja käytäntöihin. Rakennevalinnat ja niiden geometria ovat merkittävä osa laiturirakenteiden suunnittelua. Jo olemassa olevista piirustuksista saadaan alueen maaperän geometria, eroosiosuojat sekä ponttonin mitat. Koska kohde sijaitsee Ruotsissa, kaikki dokumentit tuotetaan ruotsiksi.

Kuten suurin osa rakennusprojekteista, myös satamaprojektit ovat uniikkeja. Perusteellisesti ja hyvin suunniteltu projekti säästää paljon aikaa ja rahaa rakennusvaiheessa sekä koko sataman eliniän ajan. Hyvä suunnitelma myös takaa oikeat tuotteet ja parhaan satamasuunnitelman kuhunkin kohteeseen. Satamarakennusprojekteissa tehdään yksilöllinen suunnittelu ja etsitään oikeat tuotteet asiakkaan toiveiden mukaan.

Laivaliikenteessä LNG:n kysyntä jatkuu nousujohteisena. Aiemmin alusten pakokaasupäästöt sisälsivät mm. rikin- ja typenoksideja, hiilidioksidia ja pienhiukkasia. Päästöt ovat vähentyneet, kun aluspolttoaineiden sallittu rikkipitoisuus on laskenut lähes nolnaan. Ympäristöministeriön säännösten mukaan Itämerestä tulee alusliikenteen typpioksidipäästöjen rajoitusalue vuonna 2021. Tämän määräyksen tarkoitus on vähentää merta rehevöittäviä päästöjä, joka edellyttää LNG:n käyttöä tukevaa infrastruktuuria. Kuitenkin jo nyt nesteytettyä maakaasua polttoaineenaan käyttävien alusten yleistymisen myötä päästöt ovat vähentyneet (Satamaliitto 2019; Laamanen 2016, 52–53).

Lähteinä työssä on käytetty pääasiassa *eurokoodeja*, *Teräsrakenneyhdistyksen TRY:n* ja *Rakennusinsinöörien liiton RIL:n* julkaisuja, *Betoniteollisuus ry:n* ja Väyläviraston ohjeistuksia sekä *Rakennusmääräyskokoelmaa*.

Ruotsiksi tietoa kerättiin Ruotsin eurokoodien kansallisesta liitteestä (*Trafikverkets författningssamling TRVFS 2011:12*), *Allmän material- och arbetsbeskrivning:stä (AMA)*, *Pålkommisionen*in raporteista sekä kohdesataman ohjeistuksista.

Piirustukset on tehty BricsCAD V15 -ohjelmalla. Rakenteiden ja vaaditun raudoituksen mitoitus suoritettiin 2019 Autodesk Robot Structural Analysis Professional -ohjelmalla. Lisäksi työssä on hyödynnetty insinööritoimisto NRC Arcus Oy:n eurokoodeihin pohjautuvia Excel-laskentamalleja.

2 VESIRAKENTAMINEN

Vesirakentaminen on pääsääntöisesti vedenalaista taitorakentamista, johon kuuluu sil-
lat, kanavarakenteet, laiturit, lauttapaikat, rantarakenteet ja kiinteät maamerkit. Liikenne-
viraston ohjeessa LO 26/2016 käsitellään vedenalaisten taitorakenteiden tarkastamista.

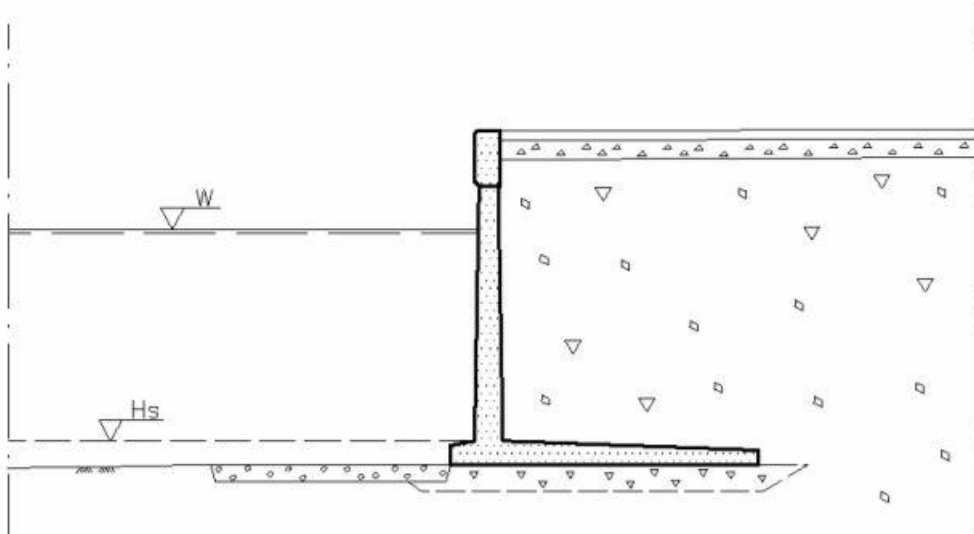
2.1 Laiturirakenteet

Satamalaiturien rakennevaihtoehtoja ovat gravitaatio- ja teräslaiturit. Gravitaatiolaiturei-
hin lukeutuvat kulmatuki- ja kasuuniarkkulaiturit, joiden toiminta perustuu rakenteen
omaan painoon, joka saa rakenteen pysymään paikoillaan kantavaa maapohjaa vasten.
Tämä mahdollistaa laiturin taustan täyttämisen ja muun satamarakenteen toteuttamisen.
Teräslaitureihin puolestaan kuuluvat ponttiseinä- ja paalulaiturit (Liikennevirasto 2016,
20).

Laiturirakenteen valintaan vaikuttaa kohteen käyttötarkoitus, pohjaolosuhteet, luonnon-
olosuhteet ja taloudellisuus. Tässä projektissa tilaajan toiveen mukaan laiturirakenne
tehdään joko kulmatukimuuri- tai paalulaiturirakenteena, joita käsitellään luvuissa 2.1.1
ja 2.1.2.

2.1.1 Kulmatukimuurilaituri

Kulmatukimuurilaituri koostuu yleensä teräsbetonirakenteisesta L-kulmatukielementistä
(kuva 1). Suurin gravitaatiovaikutus syntyy taustatäytön painosta, joka on elementin poh-
jalaatan päällä. Näin laituri toimii massiivirakenteena, joka tarvitsee kantavan pohjan pai-
numien estämiseksi. Sopivia pohjia rakenteelle ovat kallio- ja moreenipohjat (Liikennevi-
rasto 2016, 20).

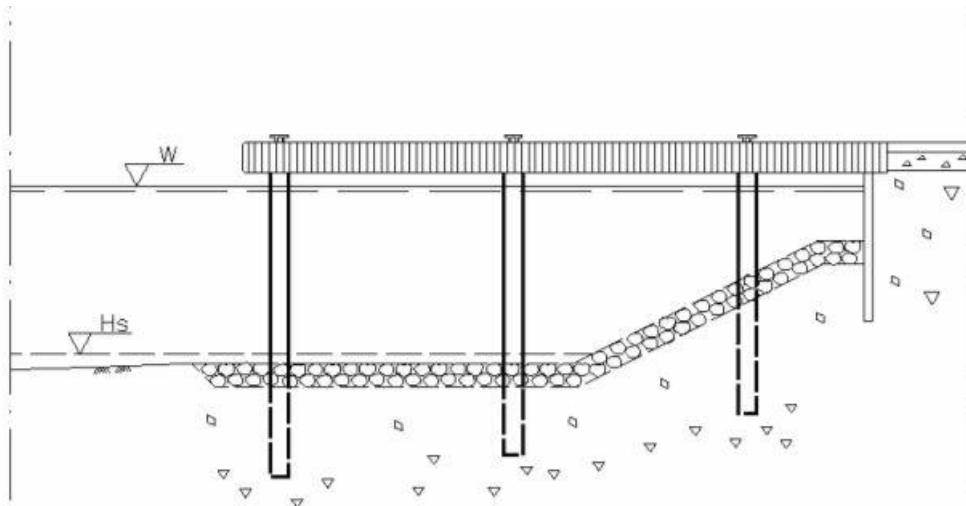


Kuva 1. Kulmatukimuurilaituri (Stening & Vähäkäkelä 2008, 26).

2.1.2 Paalulaituri

Paalulaituri on teräsbetonirakenne, joka paalujen välityksellä siirtää laiturin kuormat yleensä kovaan kalliopohjaan saakka (kuva 2). Paalulaiturit soveltuvat parhaiten ympäristöön, jossa kantava pohja on syvällä löyhän maakerroksen alla. Paalulaitureissa ei ole suuren rapautumisriskin vuoksi yleensä järkevää käyttää teräsbetonipaaluja, ja tämän vuoksi etenkin avoimet paalulaiturit tehdään aina teräsputki-paalulaitureina (Liikennevirasto 2016, 33–34).

Jos laiturin alla on maaluiska, se tulee eroosiosuojata, ettei luiska valu mahdollisiin eroosiokuoppiin. Luiskan liikkeessä voi paaluihin kohdistua horisontaalisia voimia tai laiturin alusmateriaali valua, mikä aiheuttaa laiturikentällä sortumisvaaran (Liikennevirasto 2016, 22).



Kuva 2. Paalulaituri (Stening & Vähäkäkelä 2008, 26).

2.2 Ponttonilaituri

Ponttonilaituri on ontto rakenne, joka kelluu vedessä sisältämänsä ilman vuoksi, mikä synnyttää rakenteelle nosteen. Ponttoni myötäilee vedenkorkeuden vaihteluita, mutta pysyäkseen sivuttaissuuntaisesti paikallaan tuettuna, sivusiirtymät pitää estää. Yleisesti tukeminen tapahtuu paalujen tai ketjujen avulla. Ketjut voidaan ankkurimaisesti kiinnittää pohjaan tai rantaan, mutta kovassa tuulessa ja merenkäynnissä on mahdollista, että painot siirtyvät ja näin myös laituri siirtyy paikaltaan (Liikennevirasto 2016, 23–24). Tästä syystä kahdesta edellä mainitusta yleisempi ratkaisu on suurpaalut, joiden tehtävänä on siirtää sivuttaiskuorma maaperään. Paaluja käytettäessä rakenteessa tarvitaan vertikaalisesti liikkuva rakenneosia, joka on tukevasti kiinnitetty ponttoniosaan ja korkeuserojen vaihdellessa liukuu maahan kiinnitettyä paalua pitkin mahdollisimman kitkattomasti. Näin korkeusvaihtelut eivät kuluta liiemmin ponttonirakennetta kuin paaluakaan. Esimerkki vertikaalisesti liikkuvasta rakenneosasta on ShibataFenderTeamin valmistama Cushion-Roller (kuva 3).



Kuva 3. ShibataFenderTeam Cushion-Roller.

2.3 Suurpaalut

Suurpaaluiksi lasketaan läpimitaltaan yli 300 mm:n paalut. Tavallisimmat satamalaitureissa käytetyt suurpaalut ovat lyötäviä tai porattavia teräsputkipaaluja. Näiden suurimpia etuja ovat erinomainen kuormankantokyky, niiden muodosta johtuva jäykkyys ja taivutuskestävyys sekä teräksen lujuuden tuoma asennuskestävyys (SSAB 2019a). Laiturirakenteissa käytetyt teräsputkipaalut täytetään lähes aina betonilla ja yleensä myös raudoitetaan. Mitoitus tehdään tyypillisesti liittorakenteena. Erityistä huomiota on kiinnitettävä teräsputken korroosioon, joka on voimakkainta roiskevesivyöhykkeellä. Tämän vuoksi teräsputki on syytä ympäröidä jääsuojalla, joka suojaa putkea kulumiselta ja korroosiolta (Jaatinen 2019). Korroosiota käsitellään tarkemmin luvussa 3.3.4.

Lyöntipaalut varustetaan Pohjoismaissa kovalla lyöntipaaluihin soveltuvalla kalliokärjellä, joiden tehtävänä on suojata paalun alapäätä asentamisen aikana, keskittää paalun

rasitukset koko poikkileikkaukselle sekä estää kärjen liukumista sivusuunnassa (SSAB 2019a).

Kuvassa 4 on esitetty kolme eri kalliokärkien tuurnien vaihtoehtoa. Vasemmalla esitetyssä rakenneterästuurnassa kalliokärki ja teräspaalu ovat keskenään samaa materiaalia. Tämä ei kuitenkaan ole kovin yleistä satamarakentamisessa ja yleisempi ratkaisu on kalliokärjen litistymisen estämiseksi tarkoitettu karkaistu tuurna, joka on kuvassa esitetty keskellä. Karkaistussa tuurnassa kärki on lujempaa materiaalia kuin paalu ja näin antaa paalulle paremman asennuskestävyyden. Oikeanpuoleisin kuva esittää reikätuurna, jota käytetään, kun paalu tarvitsee ankkuroida kallioon. Ankkureita varten tuurnassa oleva reikä täytetään betonilla paalun asennuksen ajaksi. Ankkureita asennettaessa reiässä oleva betoni porataan auki ja ankkurit voidaan asentaa reiän läpi.



Kuva 4. Esimerkkejä lyöntipaalujen kalliokärjistä, joissa on rakenneterästuurna, karkaistu tuurna tai reikätuurna (SSAB 2019b).

Porapaalut ovat kiertämällä ja iskemällä asennettavia suurpaaluja. Niitä käytetään erityisesti vaikeissa ympäristö- ja pohjaolosuhteissa. Ne voidaan porata peruskallioon asti luonnollisten maakerrosten läpi, ja niiden sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat pysyvät erittäin pieninä. Kallioon tunkeutunutta paalua voidaan käyttää myös vedettynä paaluna (Tiehallinto 2002, 53, 65).

3 RAKENNESUUNNITTELUN TEORIA

Rakennesuunnittelun tärkeimpänä tehtävänä on selvittää rakenteisiin vaikuttavat kuormat, niiden osavarmuuslukumenetelmään perustuvat osavarmuuskertoimet sekä näiden kahden tuloa suurempi rakenteellinen kestävyys.

Rakennesuunnittelu alkaa kuormien selvittämisellä, jonka jälkeen osavarmuuksien avulla selvitetään rakenteelle suurin tai epäedullisin kuormitus. Osavarmuuslukumenetelmän tarkoituksena on varmistaa, että todennäköisyys rajatilojen ylittymiseen on pieni rakenteen koko käyttöiän aikana (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 21). Osavarmuuslukuja pysyvien ja muuttuvien kuormien osalta esitetään taulukoissa 1, 3 ja 5 sekä niiden avulla muodostettavia kuormitusyhdistelmiä luvussa 3.2.3.

Kun kuormitusyhdistelmät on selvitetty, voidaan rakenteelle suunnitella rakenteellinen kestävyys. Satamarakentamisessa yleisimmin käytettyjä materiaaleja, betonia ja terästä, käsitellään luvuissa 3.3.1 ja 3.3.2.

3.1 Lainsäädännön ja ohjeistuksien eroavaisuudet

Suomessa ja Ruotsissa, kuten pääosin muissakin Euroopan maissa, vuodesta 2013 eurokoodien on ollut tarkoitus toimia ainoana kantavien rakenteiden suunnittelustandardina, kun aiemmin jokaisessa maassa oli omat suunnitteluperusteensa. Kuitenkin kaikissa jäsenmaissa eurokoodien rinnalla toimii nykyisin myös maiden omat kansalliset liitteet, jotka aiheuttavat eroavaisuuksia suunnittelutyöhön ja rakenneratkaisuihin (Eurokoodi help desk 2019). Erityisesti kansallisten liitteiden vaikutus näkyy osavarmuusluvuissa, parametreissa ja erinäisissä kertoimissa.

Yhtenä esimerkkinä eroavaisuuksista Suomen ja Ruotsin välillä esitellään kitkamaissa maan sivuvastuksen mallintamisessa käytettävä jousivakio. Jousivakion kaava on sama kummassakin jäsenmaassa ja sitä tarkastellaan luvussa 3.3.5. Ero maiden välille kuitenkin syntyy kaavassa esiintyvässä alustaluvussa. Väyläviraston ohjeistuksen mukaan Suomessa alustalukukerroin yleensä määritetään empiirisestä nomogrammista maan sisäisen kitkakulman avulla (Liikennevirasto 2017b, 61). Ruotsissa puolestaan Trafikverket ohjeistaa alustaluvun määrityksen tapahtuvan maalajin suhteellisen lujuuden perusteella (Trafikverket 2011, 151).

3.2 Kuormat

Kuormat luokitellaan erilaisiin kuormatyyppeihin, jotta niiden tarkastelu voidaan suorittaa asianmukaisella tavalla. Eurokoodien mukaan kuormat tulee luokitella niiden aikapysyvyyden perusteella pysyviin, muuttuviin ja onnettomuuskuormiin. Kuormat luokitellaan myös välittömiksi tai välillisiksi, kiinteiksi tai liikkuviksi sekä staattisiksi tai dynaamisiksi (SFS 2002, 52).

3.2.1 Pysyvät kuormat

Pysyviä kuormia ovat rakenneosien omapaino ja muut rakenteeseen vaikuttavat muuttumattomat kuormat, kuten maanpaine, kutistuminen ja viruminen. Pysyvien kuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Pysyvien kuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut (RIL 2013, 23).

	Yhdistelykertoimet			Osavarmuusluvut					
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	SET A-EQU		SET B-STR/ GEO		SET C-STR/ GEO	
	Yhdistelyarvo	Tavallinen arvo	Pitkää aikaisarvo	epäedullinen	edullinen	epäedullinen	edullinen	epäedullinen	edullinen
Pysyvät kuormat	1,0	1,0	1,0	1,15	0,9	1,35 (6.10a)	0,9	1,0	1,0
	-	-	-	-	-	1,15 (6.10b)	0,9	-	-

3.2.2 Muuttuvat kuormat

Muuttuviin kuormiin lukeutuvat hyötykuormat, jotka ovat muuttuvia ja liikkuvia kuormia ja jotka aiheutuvat rakenteen tai sitä ympäröivien alueiden käytöstä. Hyötykuormiksi luokitellaan henkilöistä, tavarantoiminnasta ja ajoneuvoista muodostuvat kuormat.

Muita muuttuvia kuormia ovat tuuli-, lumi- ja jääkuorma. Merkittävämpänä näistä välittömässä veden läheisyydessä on jääkuorma, jota käsitellään tarkemmin luvussa 3.2.4.

Lumikuormia ei pääsääntöisesti tarvitse ottaa huomioon vesirakenteita määrittäessä vaan niiden kuormat sisältyvät muihin hyötykuormiin. Jos kuitenkin laiturin, rantamuurin tausta tai muu vastaava suunnitellaan lumenkasauspaikaksi, kasattu lumi täytyy ottaa huomioon kuormitusarvolla $0,6 \text{ kN/m}^3$ (RIL 2013, 27).

Henkilökuormat

Rakenteet, joihin on mahdollistettu henkilöliikenteen kulku, mutta ajoneuvojen kulku on estetty, mitoitetaan taulukon 2 mukaisille hyötykuormille. Henkilökuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut ovat esitettynä taulukossa 3.

Taulukko 2. Henkilökuormien viitteellisiä arvoja (RIL 2013, 24).

	Hyötykuorma q_k	Pistekuorma Q_k	Vaakakuormat kaiteisiin
Rakenteet ja tilat, joihin on mahdollista syntyä jatkuva tiivis tungos	$5,0 \text{ kN/m}^2$	$4,0 \text{ kN}$ ($100 \times 100 \text{ mm}^2$)	$3,0 \text{ kN/m}$
Muut henkilökuormien kuormittamat rakenteet ja tilat	$2,5 \text{ kN/m}^2$	$2,0 \text{ kN}$ ($100 \times 100 \text{ mm}^2$)	$0,5 \text{ kN/m}$

Hyöty- ja pistekuorma eivät vaikuta samanaikaisesti. Kaiteiden vaakakuorman vaikutuskorkeutena on enintään 1,2 m.

Taulukko 3. Henkilökuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut (RIL 2013, 25).

	Yhdistelykertoimet			Osavarmuusluvut					
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	SET A-EQU		SET B-STR/ GEO		SET C-STR/ GEO	
	Yhdistelyarvo	Tavallinen arvo	Pitkäaikaisarvo	epäedullinen	edullinen	epäedullinen	edullinen	epäedullinen	edullinen
Henkilökuorma	0,0	0,4	0,0	1,5	0,0	1,5	0,0	1,3	0,0

Tavarakuormat

Tavarakuormat luokitellaan muuttuviksi kuormiksi. Tavarakuormien ohjeellisia arvoja on listattuna taulukkoon 4. Tavarakuormitusten arvot on kuitenkin varmistettava aina hankekohtaisesti. Tavarakuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 4. Tavarakuormien viittellisiä arvoja (RIL 2013, 25).

	Hyötykuorma q_k
Venelaiturit, joihin ei ajoneuvoyhteyttä	5 kN/m ²
Ajoneuvoilla liikennöivät pienlaiturit	20 kN/m ²
Matkustaja- ja autolauttalaiturit sekä yhteysaluslaiturit	20 kN/m ²
Satamalaiturit	20 kN/m ²
Satamalaiturit, raskaat kuljetukset	50 kN/m ²
Satamalaiturit, erittäin raskaat kuljetukset	75 kN/m ²

Taulukko 5. Tavarakuormien yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut (RIL 2013, 25).

	Yhdistelykertoimet			Osavarmuusluvut					
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	SET A-EQU		SET B-STR/ GEO		SET C-STR/ GEO	
	Yhdistelyarvo	Tavallinen arvo	Pitkäaikaisarvo	epäedullinen	edullinen	epäedullinen	edullinen	epäedullinen	edullinen
Tavarakuorma	0,0	0,5	0,0 ^(*)	1,5	0,0	1,5	0,0	1,3	0,0

(* jos aluetta käytetään tavaran siirron lisäksi tavaran varastointiin on pitkäaikaisarvona oltava 0,3 (hankekohtainen määrittäminen alueiden käytöstä)

3.2.3 Kuormitusyhdistelmät

Kun kyseessä on useampi kuin yksi muuttuva kuorma, on valittava määräävä muuttuva kuorma ja muut samanaikaiset kuormat kohteesta, sen käyttötarkoituksesta ja rakennesasta riippuen. Kuormitusyhdistelmissä ei oteta huomioon samanaikaisesti sellaisten

kuormien vaikutuksia, jotka eivät voi esiintyä rakenteessa samanaikaisesti fysikaalisista tai toiminnallisista syistä. Kuormitusyhdistelmiä määrittäessä käytetään kuormitusten yhdistelykertoimia ja osavarmuuskertoimia (SFS 2002, 80).

Murtorajatila

Murtorajatilat liittyvät rakenteen varmuuteen tai ihmisten turvallisuuteen. Niihin luokitellaan rakenteen tasapainon menetys, vaurioituminen ja murtuminen. Murtorajatilan mitoitussarvot määritetään kaavan 1 avulla:

$$1,15 K_{FI} \left. \begin{matrix} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5 K_{FI} Q_{k,1} + 1,5 K_{FI} \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i} ,$$

Kaava 1. Rakenteen tai rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus (6.10b) (RIL 2017, 40)

mutta sen on oltava vähintään kaavan 2 mukainen:

$$1,35 K_{FI} \left. \begin{matrix} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} ,$$

Kaava 2. Rakenteen tai rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus (6.10a) (RIL 2017, 40).

joissa

K_{FI} = kuormakerroin seuraamusluokasta riippuen: 0,9 (CC1); 1,0 (CC2); 1,1 (CC3)

$G_{k,j}$ = pysyvät kuormat (epäedullisen tai edullisen vaikutuksen aiheuttava)

$Q_{k,1}$ = määräävä muuttuva kuorma

$Q_{k,j}$ = muut muuttuvat kuormat

γ_P = esijännitysvoimien osavarmuuskerroin

P = esijännitysvoimat

ψ_i = yhdistelykerroin, vesirakenteissa 0...1,0.

Onnettomuustilanne

Rakenne voi altistua poikkeuksellisesti, kuten tulipalossa, räjähdyksessä tai törmäyksessä tai rakenteeseen syntyy poikkeuksellinen tilanne, kuten paikallinen vaurio. Tällöin kyseessä on mitoitustilanne, jota tarkastellaan onnettomuustilanteen kaavoilla 3 ja 4:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} ,$$

Kaava 3. Kun pääasiallinen kuorma ($Q_{k,1}$) on lumi-, jää- tai tuulikuorma (RIL 2017, 41).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} ,$$

Kaava 4. Kun pääasiallinen kuorma ($Q_{k,1}$) on muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma (RIL 2017, 41).

joissa

A_d = onnettomuuskuorma,

Muut merkinnät ovat samoja kuin murtorajatilan kaavoissa 1 ja 2.

Käyttörajatila

Käyttörajatilat ovat rajatiloja, jotka liittyvät rakenteen toimintaan normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakenteen ulkonäköön. Käyttörajatiloja tarkastellaan ominaisyhdistelmän, tavallisen yhdistelmän ja pitkäaikaisyhdistelmän avulla, jotka ovat esitettyinä kaavoissa 5, 6 ja 7:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Kaava 5. Ominaisyhdistelmä (RIL 2017, 44).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Kaava 6. Tavallinen yhdistelmä (RIL 2017, 44).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Kaava 7. Pitkäaikaisyhdistelmä (RIL 2017, 44).

Käyttörajatilan kaavoissa 5, 6 ja 7 kaikki merkinnät ovat samoja kuin murtorajatilan kaavoissa 1 ja 2.

3.2.4 Jääkuorma

Vesirakenteet mitoitetaan jääkuormille ottamalla huomioon kohteen sijainti, paikalliset olosuhteet ja rakenteen muotoilu. Jääkuorma mitoitetaan niin, ettei sallittua arvoa ylitetä 98%:n todennäköisyydellä suunnitellun käyttöiän aikana. Kuormien suuruutta arvioi-
dessa otetaan huomioon jään lujuus, paksuus ja liikkeet. Todennäköisyyksiä arvioidaan vähintään 10 jäätalven ajalta. Mikäli tarvittavia tietoja ei ole saatavilla, voidaan kiinteään jääpeitteen paksuus, lujuus ja jääkuormat määrittää RIL 201-3-2013 liitteen 2 mukaan (RIL 2013, 30).

Lämpötilan kohoamisesta syntyvä jääkentän laajeneminen (terminen jäänpaine) aiheut-
taa rakenteisiin taulukon 6 mukaisen vaakasuoran jääkuorman.

Taulukko 6. Jääkuorman aiheuttama vaakakuorma P_i jääkentää rajoittaviin seinämiin (RIL 2013, 31).

Alue	Perusarvo (jään paksuus $\geq 0,8\text{m}$)	Arvo, kun jääkentän pituus kohti- suoraan rakennetta vastaan $\geq 150\text{m}$ (pienennyskerroin 0,6)
Lounaisrannikko	200 kN/m	120 kN/m
Linjan Kemi-Kajaani ete- läpuoli	300 kN/m	180 kN/m
Tunturi-Lappi	400 kN/m	240 kN/m

Väliarvot aluerajojen välillä interpoloidaan suoraviivaisesti.

Paalu-/pilariperustuksiin vaikuttavan kokonaisjääkuorman P_i suuruus voidaan määrittää kaavasta 8:

$$P_i = \sum b_i * i_1,$$

Kaava 8. Kokonaisjääkuorma (RIL 2013, 32).

jossa

b_j = yksittäisen pilarin/paalun leveys (m) kuormitus suunnassa (vain etureunan paalut otetaan huomioon), jos $\sum b_i$ arvo < 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.

3.2.5 Aluksen törmäysvoima

Laituriin tuleva alus aiheuttaa laiturirakenteeseen klassisen fysiikan yhtälön mukaisen kokonaisliike-energian

$$E_k = \frac{1}{2} * m * v^2,$$

Kaava 9. Kokonaisliike-energia.

jossa

v = aluksen tulonopeuden rakennetta vastaan kohtisuora komponentti

m = virtuaalinen massa (= aluksen oma massa + hydrodynaaminen massa),
joka lasketaan kaavalla 10:

$$m = \frac{G}{g} * \left(1 + 2 * \frac{D_{ra}}{b} \right),$$

Kaava 10. Aluksen virtuaalinen massa (RIL 2013, 52).

jossa

G = aluksen paino (~ uppouma)

g = maan vetovoiman kiihtyvyys (~ 9,81 m/s²)

D_{ra} = aluksen syväys

b = aluksen leveys

Laiturin, fenderin ja aluksen rungon tulee kuitenkin vaimentaa kokonaisenergiasta E_k osa E_f , joka saadaan kaavasta 11:

$$E_f = C_e * E_k,$$

Kaava 11. Laiturin, fenderin ja aluksen rungon energia (RIL 2013, 52).

C_e = aluksen kohtaamispisteestä johtuva epäkeskisyyskerroin,

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

L = aluksen pituus,

E_k = kokonaisliike-energia (kaava 9).

3.3 Kestävyydet

Rakenne tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että se kestää kaikki kuormat ja vaikutukset, joita todennäköisesti esiintyy toteutuksen ja käytön aikana sekä pysyy vaadittuun tarkoitukseensa käyttökelpoisena (SFS 2002, 38).

Eurokoodit ovat ympäristöministeriön asetuksen mukaan Suomessa ensisijainen kantavien rakenteiden suunnittelujärjestelmä. Niiden mukaan rakenteita tulee tarkastella murto- ja käyttörajatiloissa, niin että kummatkin rajatilat käsitellään erikseen. Rajatilamitoitus on suoritettava kaikille merkittävillä mitoituksilla ja kuormitustapauksille. Valittujen mitoitusilanteiden tulee olla riittävän ankaria ja vaihtelevia, jotta niiden käyttö käsittää tilanteet, joita on perusteltua ennakoida esiintyvän rakenteen toteutuksen tai käytön aikana (SFS 2002, 46, 50; Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 18).

Murtorajatiloiksi tulee luokitella kaikki ihmisten turvallisuutta tai rakenteiden varmuuksiin liittyviä rajatiloja. Murtorajatilaksi voidaan käsittää rakenteen sortumista edeltävä tila, jota yksinkertaistuksen vuoksi tarkastellaan sortuman sijaan (SFS 2002, 46).

Käyttörajatiloiksi luokitellaan rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai rakenneosan käyttöön normaalitilanteessa, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Käyttörajatiloja tarkasteltaessa tärkeitä kriteerejä ovat siirtymät, värähtelyt ja vauriot, jotka vaikuttavat rakenteeseen (SFS 2002, 48). Jos rakenne altistuu merivedelle, klorideille tai

pakkasrasituksille, erityisen huomioitavaa on käyttörajatilassa tehtävä betonin halkeilu-tarkastelu.

3.3.1 Teräsbetonirakenteet

Rakenteiden tulee kestää monenlaisia rasituksia kuten vetoa, puristusta, taivutusta, leikkausta ja vääntöä. Betonin ominaisuuksiin kuuluu hyvä puristuslujuus, mutta huono vetokapasiteetti. Betonin vetokestävyys on yleisesti vain noin kymmenesosa puristuskestävyydestä (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 9–54).

Kestääkseen monenlaisia eri rasituksia, betonia täytyy vahvistaa raudoittamalla. Toisin kuin betonilla, teräksellä on hyvä veto- ja taivutuslujuus. Näitä kahta yhdistämällä saadaan laajalti käytetty yhdistelmämateriali teräsbetoni. Teräsbetonissa on useita hyviä ominaisuuksia ja siinä yhdistyy molempien materiaalien edut: betonin puristuslujuus ja teräksen veto- ja taivutuslujuus. Betonin ja teräksen yhdistelyn mahdollistaa niiden saman suuruiset lämpölaajenemiskertoimet, joiden ansiosta materiaalein välille ei synny suuria muodonmuutoseroja eikä niistä aiheutuvia halkeiluja tai rasituksia. Betonikerros suojaa terästä korroosiolta ja ehkäisee teräksen lämpenemistä ja pehmenemistä palotilanteessa (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 54).

Teräkset sijoitetaan erityisesti rakenteen niihin kohtiin, joissa esiintyy veto-, taivutus- tai leikkausrasituksia. Raudoitusta voidaan käyttää myös puristusrasitetuissa rakenteissa vahvistamaan betonia ja estämään voimien suuntaisilla ja sitä kohtisuorilla raudoituksilla puristusjännityksen aiheuttama laajeneminen (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 54; Leskelä 2006, 74). Oikein suunniteltuina teräsbetonirakenteet ovat sitkeitä ja käyttäjälle turvallisia rakenteita. Sitkeys mahdollistaa rakenteen taipuman ennen rakenteen murtumista.

3.3.2 Betoniteräokset

Betoniteräokset ovat betonin raudoittamiseen tarkoitettuja terästankoja. Eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 mukaan betoniteräksien toiminnan määräävät seuraavat ominaisuudet

- myötölujuus f_{yk}
- suurin todellinen myötölujuus $f_{y,max}$

- vetolujuus f_t
- sitkeys ϵ_{uk} ja f_t/f_{yk}
- teräksen taivutettavuus
- tartuntaominaisuudet (suhteellinen harja-ala f_R)
- terästankojen poikkileikkauskoot ja -toleranssit
- väsymislujuus
- hitsattavuus
- verkkoraudoituksen ja ansaristikoiden leikkauslujuus sekä hitsin lujuus (SFS 2005, 38).

Teräkset jaetaan sitkeytensä perusteella kolmeen eri luokkaan: A, B ja C, joissa A tarkoittaa alhaista sitkeyttä, B normaalia sitkeyttä ja C korkeaa sitkeyttä. Kylmävalssatut teräkset kuuluvat sitkeydeltään A tai B luokkiin ja kuumamuovattut luokkiin B tai C. Raudoitustankoina toimivien betoniterästen vakiintuneet koot ovat 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25 ja 32 mm (Leskelä 2006, 58–64). Nimellishalkaisijaltaan 40 mm tankoja on myös mahdollista käyttää, mutta niiden käyttö on harvinaisempaa (SFS 2010, 10).

Piirustuksissa ja työselostuksissa on suositeltavaa ilmoittaa teräsluokka. Suomessa yleisimmin käytettävän teräksen B500B merkintä muodostuu teräksen tunnuksesta (B = betoniteräs), myötölujuudesta (500 MPa), teräksen sitkeysluokasta (A, B tai C) sekä mahdollisesta lisätunnuksesta. Aiempi merkintätyyli A500HW voidaan merkitä sulkeisiin eurokoodipohjaisen merkinnän jälkeen, sillä teräkset ovat keskenään vaihtokelpoisia ja vaihto voidaan toteuttaa ilman lisätoimenpiteitä (Hietanen 2009, 1–2).

3.3.3 Ympäristöolosuhteet

Ympäristöolosuhteet ovat fysikaalisia tai kemiallisia olosuhteita, jotka rasittavat rakennetta mekaanisten kuormien lisäksi. Vaikuttavia olosuhteita ovat esimerkiksi rakenteen altistuminen kosteudelle, vedellä kyllästyminen, jäänsulatusaineet ja merivesi. Ympäristöolosuhteet luokitellaan liitteessä 1 esitetyn kuvan 5 mukaisesti standardin EN 206-1 perusteella. Näiden avulla saadaan selville rakenteen rasitusluokka, jonka perusteella määritetään betonille vaatimusluokka. Vaatimusluokka on esitetty liitteen 2 kuvassa 6. Suunnittelun helpottamiseksi Liikenneviraston ohjeessa NCCI 2 on esitettyinä rakennesosan sijaintiin perustuen sen rasitusluokat ja betonin vaatimukset (Liikennevirasto 2017a, 26–30).

3.3.4 Korroosio

Metallin korroosiolla tarkoitetaan sen syöpmistä ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Syöpyessään metalli hapettuu eli luovuttaa elektroneja. Yksinkertainen esimerkki korroosiosta on ruostuminen, jossa rauta hapettuessaan muuttuu rautaoksideiksi (Laitinen 2012, 1).

Korroosionopeuteen ja -tapaan vaikuttavat ilman suhteellinen kosteus, lämpötila, happipitoisuus, epäpuhtaudet ja metallin jalous. Reaktio edellyttää ilman suhteellisen kosteuden olevan vähintään 60 %. Suomessa tämä suhteellisen kosteuden arvo ylittyy ulkoilmassa lähes aina. Mitä epäjalompaa metalli on, sitä enemmän ja tasaisemmin se syöpyy koko hapettuvan pinnan alueelta (Laitinen 2012, 2).

Vedessä olevassa rakenteessa korroosionopeuteen vaikuttavat aiempien lisäksi myös liuenneet suolat, biologinen toiminta ja virtausnopeus. Erityisesti meriveden roiskevyöhykkeellä, jossa on happea, kosteutta ja runsaasti suoloja, korroosionopeus on suuri. Veden virtaus lisää korroosiota tuomalla happea pinnoille ja kuljettamalla reaktiotuotteita pois. Mitä syvemmillä rakenne on vedessä, sitä hitaampaa korroosio on, sillä happipitoisuus laskee (Laitinen 2012, 2).

Korroosio heikentää rakenteen kestävyyttä, minkä vuoksi rakenteissa tulee ottaa huomioon sen vaikutukset valitsemalla materiaalit tarkoituksenmukaisesti, käyttämällä korroosionestojärjestelmää tai ylimitoittamalla rakenteet (SFS 2005, 23). Korroosionestojärjestelmiä ovat muun muassa ratkaisut, joissa sähkökemiallista korroosiota synnyttävän elektrolyytin syntyminen estetään. Yksinkertaisena korroosionestojärjestelmänä voidaan kuitenkin pitää betonipeitettä, joka suojaa teräsrakennetta.

3.3.5 Maan sivuvastus

Maan sivuvastusta käytetään harvoin hyväksi rakennesuunnittelussa, mutta tarvittaessa sitä yleisimmin mallinnetaan paalujen maajousilla. Sivuvastuksen määrittäminen on tarpeen, kun rakenteeseen vaikuttavat suuret vaakakuormat, eikä rakennetta olisi kohtuullista suunnitella näiden vaikutusten kanssa. Erityisesti pitkien paalujen mitoittaminen olisi hyvin haastavaa suurien kuormitusarvojen vuoksi. Maajousien tarkoituksena on kuvata jousivoimaa, joka syntyy maan estäessä rakenteen siirtymää. Maajousia on kuvattuna liitteesä 4. Maajousien jousivakio saadaan määritettyä kaavalla 12:

$$k_j = k_s * D * l ,$$

Kaava 12. Jousivakio (Liikennevirasto 2017b, 137).

jossa

k_s = alustaluku,

D = paalun halkaisija,

l = jousiväli.

4 CASE: RAMPPIPERUSTUS

Rakennesuunnittelun alkaessa lähtötietoina olivat geosuunnittelijan tekemät mallinnukset eroosiosuojauksista, koeporauksien avulla tehdyt geotekniset tutkimukset, ponttonilaiturin piirustukset sekä kohdealueen yleispiirustus.

Ponttonilaiturin paikan vaihtaminen, ja siihen kuuluvan asianmukaisen ramppiperustuksen rakentaminen, liittyvät sataman kehittämiseen. Satamaan on tehty valmiiksi eroosiosuojaukset, joista oli olemassa alustavat hahmotelmat. Satama-alueen tilantarve, logistiikka ja sataman mahdollinen laajentuminen on otettu huomioon laiturin sijaintia määrittäessä. Työ on tehty Ruotsin kansallisten ohjeiden mukaan, joten ne eriyvät joiltain osin Suomen arvoista ja raportissa edellä mainituista ohjeistuksista.

Ramppiperustuksen rakenneosat on mitoitettu seuraavilla kuormitusotaksujilla:

- jääkuorma kaikille paaluille 400 kN
- tavarakuorma 50 kN/m²
- trukin max. akselipaino 500 kN
- maajousien vaikutus 55 000 kN/m
- teräsrakenteiden korroosionopeus 0,7 mm/vuosi
- laiturin käyttöikä 50 vuotta
- raudoitetun betonin paino 2500 kg/m³
- aluskuormat eivät vaikuta ramppiperustuksessa.

Työssä päädyttiin paalulaituriratkaisuun, jossa teräsbetoni-laatan koko on 11x11 metriä ja laatan paksuus 800 mm. Laatta tuetaan peruskallioon kahdellatoista betonitäytteisillä RD600x16mm -porapaalulla, joista kuusi on kallistettu 4:1 rakenteen sivuttaissuuntaisen jäykistyksen mahdollistamiseksi. Porapaalujen pituudeksi tulee koeporausten perusteella 30...40 metriä.

Ponttoni tuetaan rantaan kolmella paaluperusteisella teräsbetonirakenteella, joiden paikka ja toimintaperiaate hahmoteltiin tässä työssä. Mitoitus näille rakenteille suoritetaan tarpeen mukaan myöhemmässä vaiheessa. Teräsosien ja ponttonin väliin tulee kuvan 3 mukaiset tai vastaavat kiinnikkeet.

FEM-laskennassa laattaan muodostuu pilarien kohdalle momenttiin piikki. Laatat ovat kuitenkin jatkuvia, joten niiden voidaan olettaa kiertyvän vapaasti tuella, jolloin tukimomentin mitoitusarvoa voidaan pienentää vähentämällä kaavan 13 mukaan laskettu ΔM_{Ed} .

$$\Delta M_{Ed} = F_{Fd} * \frac{D}{3\pi},$$

Kaava 13. Tukimomentin mitoitusarvon pyöristys (Liikennevirasto 2017a, 34).

jossa

F_{Fd} = tukireaktion mitoitusarvo

D = tukipinnan halkaisija.

Ylä- ja alapinnan rauditus määritetään murtorajatilasta sekä käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmän (QPR) halkeilutarkastelua käyttäen. FEM-laskennan tuloksena murtorajatilan suurimmaksi momentiksi tuen kohdalla saatiin 454 kNm, josta vähennetään kaavan 13 mukainen ΔM_{Ed} , joka tässä tapauksessa on n. 89 kNm. Näiden kahden erotuksena saadaan arvoksi noin 366 kNm. Käyttörajatilan suurin momentti tuella on 160kNm ja mitoitusarvoksi jää vähennyksen jälkeen 129 kNm. Kentässä olevien momenttien arvoille ei tehdä vähennyksiä ja FEM-laskennan tuloksina saatiin murtorajatilan suurimmaksi momentin arvoksi 130 kNm ja pitkäaikaiskuormitusyhdistelmäksi käyttörajatilassa 50 kNm. FEM-laskennan tulokset tarkasteltiin kaikilta eri suunnilta, mutta liitteessä 3 on esitettyinä vain x-x -suuntaiset momentit, sillä niihin muodostui kuormien sijoittelun vuoksi suurimmat arvot.

Pienimmät mitoituskuormat laatasta löytyvät kentästä, missä rauditus voisi olla n. 270 mm:n jaolla. Urakoitsijan kokemukseen perustuvien toiveiden mukaan työturvallisuuden parantamiseksi ylä- ja alapinnassa päädyttiin kentän osalta verkkoon, jossa raudituksen jako molempiin suuntiin on 150 mm. Pienennyskertoimesta huolimatta taivutusmomentti on suurempi tukien kohdalla, joten mitoituksessa vaadittujen rajojen puitteissa päädyttiin paalujen kohdalla 300 mm:n jaon lisäraudoitteeseen yläpinnassa. Excel-pohjaiset raudituslaskelmat ja käyttöasteet tuella sekä kentässä ovat esitettyinä liitteissä 5 ja 6. Teräkset ovat kaikkialla laatan raudituksessa halkaisijaltaan 20 mm, pois lukien laatan päädyissä lenkkeinä toimivat 16 mm:n teräkset ja paaluista tulevat 25 mm:n tartuntateräkset.

Ruotsissa Pålkommissionenin ohjeistuksen mukaan paalujen yläpinnan on oltava vähintään 100 mm laatan sisällä, mutta alapinnan teräksien etäisyys alapinnasta on 60 mm. Työssä päädyttiin käyttämään teräksistä taivutettuja ”hattuja”, jotta rakenne olisi mahdollista toteuttaa ilman lisäraudoituksia koko rakenteen alapinnan mitalla. Hatut ovat esitetyinä leikkauskuvissa A-A...H-H paalujen kohdilla.

Paalut tulee porata vähintään kolminkertaisesti niiden halkaisijan verran kantavaan kallioon. Tässä tapauksessa paalujen tulee olla vähintään 1,8 metriä kallion sisään porattuina. Paaluista tulee kahdeksan halkaisijaltaan 25 mm:n terästankoa laattarakenteeseen, joille on määritetty taivutussäde sekä pienin sallittu tarttumis- eli ankkurointipituus. Ankkurointi tulee tapahtua siten, että voimat pääsevät siirtymään luotettavasti raudoituksesta betonille. Ankkurointi tulee myös suorittaa niin, ettei murtumista pääse tapahtumaan tartuntatangon suuntaisesti eikä betoni pääse lohkeilemaan (Suomen Betoniyhdistys ry 2013, 153). Taivutussäde riippuu paalun tulokulmasta suhteessa laattaan. Tämä näkyy erityisesti vinoissa paaluissa, joissa alle 90 asteen kulmassa olevien terästen taivutussäde on oltava vähintään kymmenkertainen terästangon halkaisijaan nähden. Pienin sallittu taivutussäde on määritetty rakenteen palamurtumisen ennaltaehkäisemiseksi.

5 YHTEENVETO

Tämän projektin tarkoituksena oli mitoittaa ja mallintaa ponttonilaiturille rampperustus. Rakennesuunnitelmat tehtiin uudisrakennelmaan, johon kiinnitetään jo aiemmin käytössä ollut ponttonilaituri. Työhön liittyen perehdyttiin erityisesti betonisten rakenteiden ja teräsmaalujen toimintaan sekä niiden asentamiseen. Työssä perehdyttiin myös kuormiin, kuormitusyhdistelmiin ja niiden vaikutukseen suunnittelussa.

Raportti tehtiin rakennusalan kirjallisuuteen ja sähköisiin julkaisuihin perustuen. Projektissa ja raportissa käytettiin myös esimerkkikohteiden aiempia mallinnuksia sekä suunnitelmia ja asiakirjoja hyväksi. Projektin kulussa, erityisesti mitoittamisessa, kokeneemat suunnittelijat auttoivat ja ohjeistivat eteenpäin.

Rakennusinsinöörin (AMK) koulutus antaa työelämän satamarakentamiseen pohjatietoja, jotka kuitenkin ovat vähäisiä verrattuna tarvittavaan tietomäärään kohteen suunnittelua varten. Tärkeimmät pohjatiedot opinnoissa ovat antaneet rakenteiden mitoittamiseen liittyvät kurssit, erityisesti teräs- ja betonirakenteiden opintojaksot. Muina tärkeinä kursseina mainittakoon kaikki FEM-mallintamiseen liittyvät kurssit.

Opinnäytetyössä todettiin, että laiturirakenteita suunniteltaessa on otettava useita eri muuttujia huomioon parhaan työmenetelmän löytämiseksi. Usein lisähaasteita työhön toivat eriävät ohjeistukset Suomen ja Ruotsin välillä.

Suunnitteluprosessissa on tärkeää tutustua kaikkiin olemassa oleviin lähtötietoihin. Alussa suunnitellut asiat on hyvä tehdä huolella, sillä virheet kertaantuvat projektin edetessä ja lopuksi niitä voi joutua korjaamaan useastakin eri kohdasta. Virheiden monistumista on erityisesti syytä välttää raudoituksen 2D-mallintamisessa, joissa virheet yleensä näkyvät raudoituksen leikkauskuvia tehtäessä. On kuitenkin täysin mahdollista, että virheiden olemassa olo selviää vasta työmaalla. Tällöin muutuskuvien tekeminen, tulostaminen, tarkistaminen, uudelleen lähettäminen, merkitseminen ja revisiointi vievät paljon suunnittelijan aikaa.

Suunnittelutyössä merkittävä osa ajasta kuluu kuormien laskentaan, raudoituskuvien piirtämiseen sekä pieniin muutoksiin, jotka vaikuttavat kaikkialla työssä. Rakennesuunnittelijan on tiedettävä tarkaan, mitkä kuvat tilaajalle on jo lähetetty ja missä vaiheessa projekti etenee. Yleisesti rakennesuunnittelu tapahtuu kokonaisuudessaan ennen projektin alkua tai projektin kulkua myötäillen.

Työmaajärjestelyistä tärkeimpänä mainittakoon työmaaturvallisuus, joka myös osaltaan kuuluu suunnittelijalle. Turvallisuuden parantaminen ja tapaturmien ennaltaehkäisy alkavat jo suunnittelupöydän ääressä, mutta usein turvallisuuskysymykset syntyvät vasta työmaalla. Ei ole lainkaan poikkeuksellista urakoitsijan ottavan yhteyttä suunnittelijaan kysyäksään turvallisesta rakenteen toteutuksesta. Työmaaturvallisuudessa ei kuitenkaan voi koskaan olla liian tarkka, sillä satamarakenteita tehdessä onnettomuudet ovat yleensä suuria, vammat ja vauriot ovat merkittäviä tai jopa ihmishenkiä uhkaavia.

Rakennekuvia syntyi työssä kohtuullinen määrä rakenteeseen nähden. Näistä tarpeellimmat on esitetty liitteissä. Piirustuksista on poistettu kaikki tilaajan tunnistamisen mahdollistavat tiedot, jotta opinnäytetyö oli mahdollista saada julkaistavaksi. Kaikki kuvat on tulostettu A1-kokoon, joten mittakaava ei pidä paikkaansa. Kohteesta on esitetty myös raudituslaskelmat liitteissä 5 ja 6.

LÄHTEET

Eurokoodi help desk 2019. Viitattu 14.4.2019. Saatavissa sähköisesti osoitteesta www.eurocodes.fi > Muiden maiden kansalliset liitteet.

Gasum 2018. Gasum on LNG:n bunkrauksen edelläkävijä. Viitattu 14.1.2019 www.gasum.com > Ajassa > Puhdas liikenne.

Hietanen, T. 2009. Betonikeskus ry. Tiedote: A500HW:lle vaihtokelpoinen hitsattava harjateräslaatu B500B. Helsinki: Betonikeskus ry.

Laamanen, M. 2016. Suomen merenhoitosuunnitelman toimenpideohjelma 2016–2021. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Laitinen, K. 2012. Korroosio. Viitattu 24.3.2019 <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/151/8ac778e/korroosio.pdf>.

Leskelä, M. 2006. Suomen Betoniyhdistys ry. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Liikennevirasto 2016. Vedenalaisten titorakenteiden tarkastusohje. Helsinki: Liikennevirasto.

Liikennevirasto 2017a. Eurokoodin soveltamisohje – Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Helsinki: Liikennevirasto.

Liikennevirasto 2017b. Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu – NCCI 7. Helsinki: Liikennevirasto.

Satamaliitto 2019. Ympäristö. Viitattu 14.1.2019 www.satamaliitto.fi > Organisaatio > Työryhmät > Ympäristö.

SSAB 2019a. RR®- ja RD®-suurpaalut. Viitattu 18.4.2019 www.ssab.fi > Tuotteet > Teollisuudenalat > Infrastruktuuriratkaisut > Teräspaalut > Suurpaalut.

SSAB 2019b. RR®-paalu. Viitattu 18.4.2019 www.ssab.fi > Tuotteet > Teollisuudenalat > Infrastruktuuriratkaisut > Teräspaalut > Suurpaalut > RR-paalu.

Stening, M. & Vähäkäkelä, M. 2008. Tielaitureiden inventointiohje. Helsinki: Tiehallinto.

Suomen Betoniyhdistys ry 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1. Helsinki: BY – Koulutus Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2013. RIL 201-3-2013. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2017. RIL 201-1-2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS 2002. SFS-EN 1990. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Suomen Standardisoimisliitto SFS 2005a. SFS-EN 1992-1-1. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Suomen Standardisoimisliitto SFS 2005b. SFS-EN 1993-1-1. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Suomen Standardisoimisliitto SFS 2010. SFS 1268. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Tiehallinto 2001. Porapaalutusohje. Helsinki: Tiehallinto.

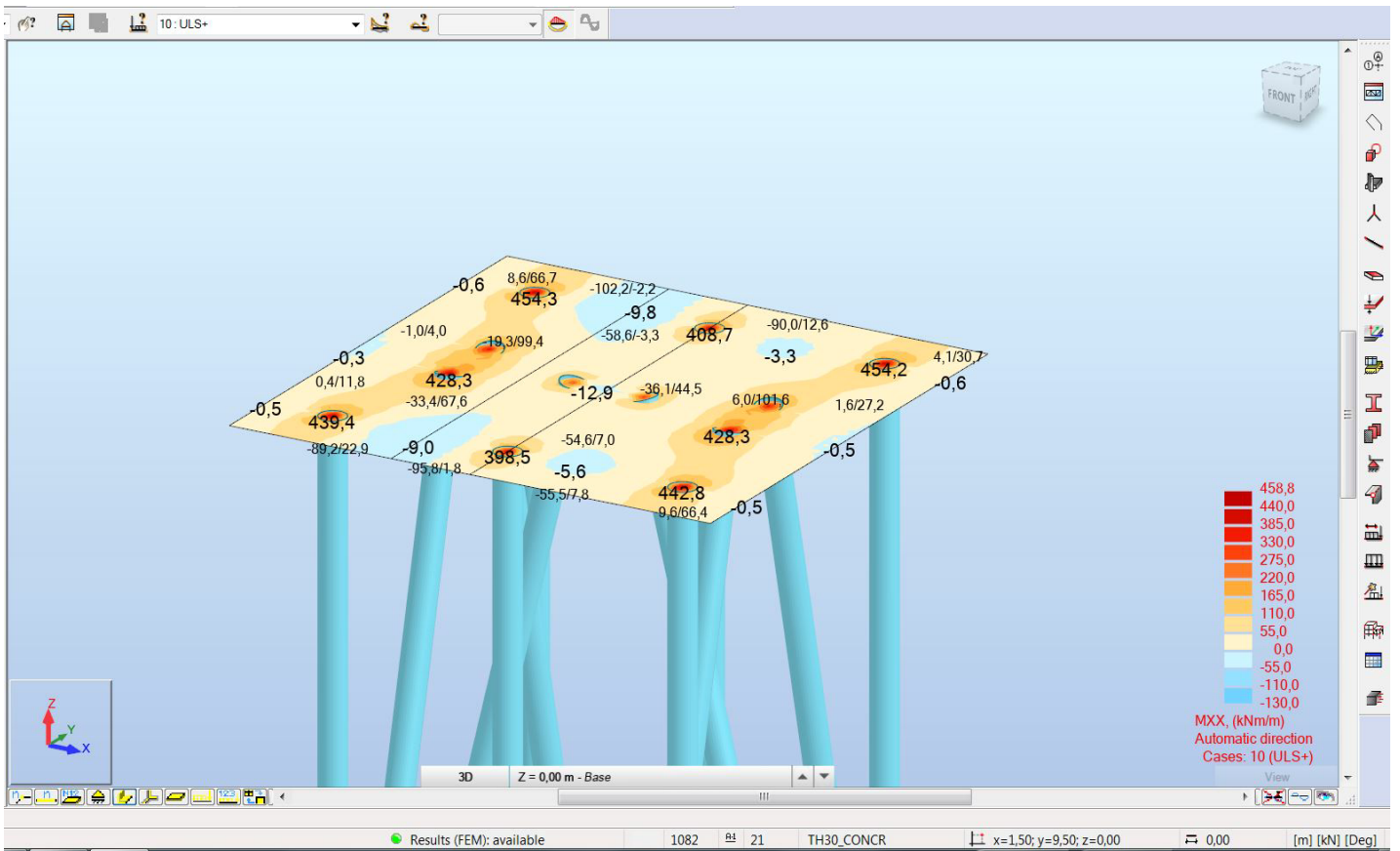
Trafikverket 2011. TRVR Bro 11. Viitattu 19.2.2019. Saatavissa sähköisesti osoitteessa https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10752/RelatedFiles/2011_086_trvr_bro_11.pdf.

Luokan merkintä	Ympäristön kuvaus	Opastavia esimerkkejä paikoista, joissa rasisitusluokkia voi esiintyä
1 Ei korroosion tai rasisituksen riskiä		
X0	Raudoittamaton tai metalliosia sisältämätön betoni: Kaikkiin ympäristöihin lukuun ottamatta niitä, joissa esiintyy jäädytys-sulatus- tai kulutusrasitusta tai kemiallista rasisitusta Raudoitettu tai metallia sisältävä betoni: hyvin kuiva	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on hyvin alhainen
2 Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korrosio		
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on alhainen Pysyvästi vedenalainen betoni
XC2	Märkä, harvoin kuiva	Betonipinnat, jotka ovat pitkään kosketuksissa veden kanssa Usein perustukset
XC3	Kohtalaisen kostea	Betoni sisätiloissa, joissa ilman kosteus on kohtalainen tai suuri Ulkona oleva sateelta suojattu betoni
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Betonipinnat, jotka ovat kosketuksissa veden kanssa, mutta eivät kuulu rasisitusluokkaan XC2
3 Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio		
XD1	Kohtalaisen kostea	Betonipinnat, jotka ovat alttiina ilman sisältämille klorideille
XD2	Märkä, harvoin kuiva	Uima-altaat Betoni on alttiina kloridipitoisille teollisuusvesille
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat	Sillan osat, jotka ovat alttiina kloridipitoisille roiskeille Jalkakäytävät Paikoitustalojen laatat
4 Meriveden kloridien aiheuttama korrosio		
XS1	Kosketuksissa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksissa meriveteen	Lähellä rannikkoa tai rannikolla olevat rakenteet
XS2	Pysyvästi veden alla	Merirakenteiden osat
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä	Merirakenteiden osat
5 Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä		
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet	Tierakenteiden pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiina jäätymiselle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita	Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi	Jäänsulatusaineille alttiit teiden ja siltojen kannet Suoralle jäänsulatusaineroiskeelle ja jäätymiselle alttiit betonipinnat Roiskevyöhykkeellä olevat jäätymiselle alttiit merirakenteet
6 Kemiallinen rasisitus		
XA1	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA2	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi
XA3	Standardin EN 206-1 taulukon 2 mukainen hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö	Luonnon maaperä ja pohjavesi

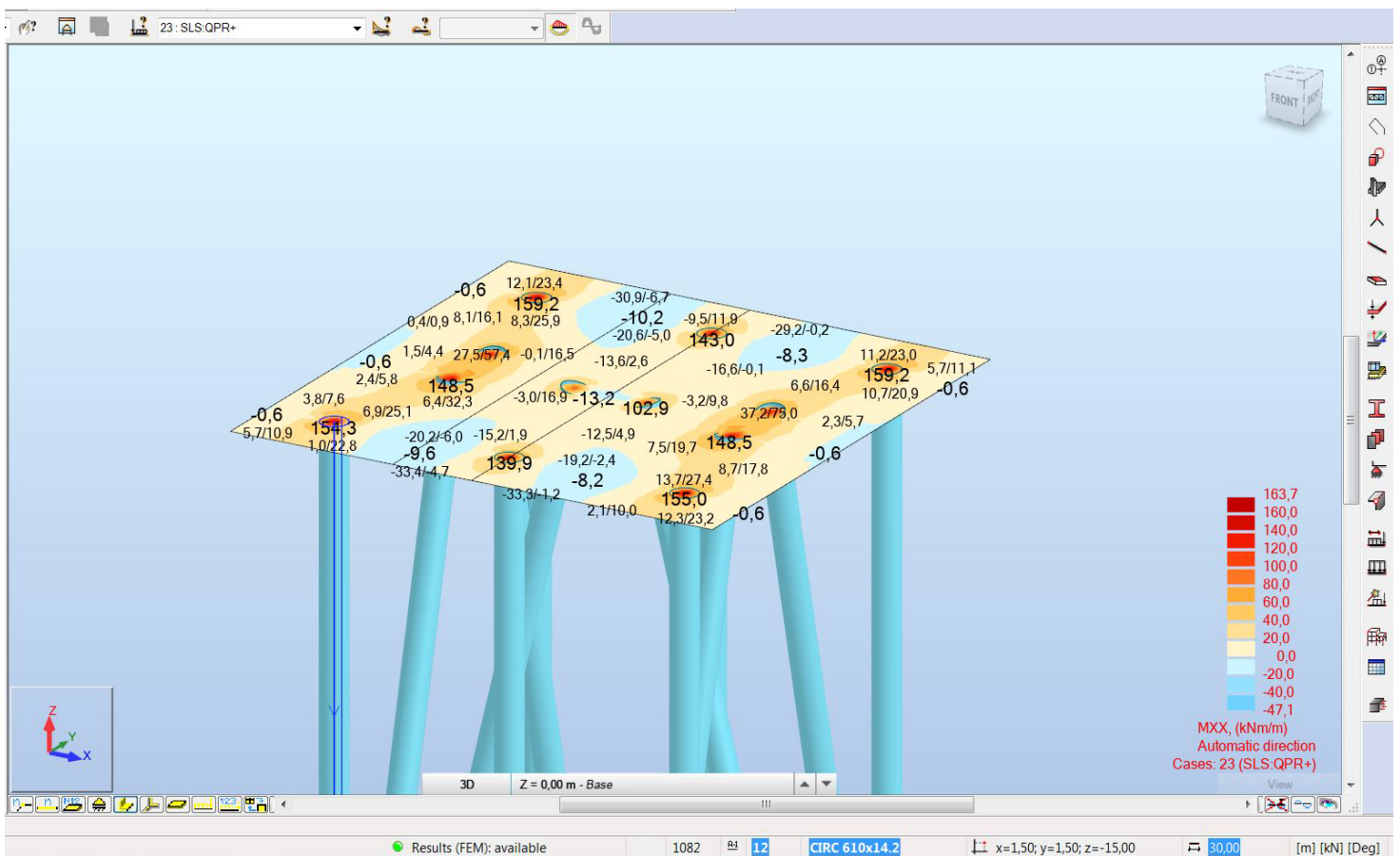
Kuva 5. Ympäristoolosuhteisiin liittyvät rasisitusluokat standardin EN 206-1 mukaisesti (SFS-EN 1992-1-1).

Vaatimusluokka							
Kriteeri	Rasitusluokka taulukon 4.1 mukaan						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
100 vuoden suunniteltu käyttöikä	luokan nosto 2:lla	luokan nosto 2:lla	luokan nosto 2:lla	luokan nosto 2:lla	luokan nosto 2:lla	luokan nosto 2:lla	luokan nosto 2:lla
Lujuusluokka ^{1) 2)}	≥ C30/37 luokan lasku 1:llä	≥ C30/37 luokan lasku 1:llä	≥ C35/45 luokan lasku 1:llä	≥ C40/50 luokan lasku 1:llä	≥ C40/50 luokan lasku 1:llä	≥ C40/50 luokan lasku 1:llä	≥ C45/55 luokan lasku 1:llä
Laattamainen rakenneosa (työtapa ei vaikuta raudoituksen sijaintiin)	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä
Betonin valmistuksen erityinen laaduntarkastus varmistettu	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä	luokan lasku 1:llä

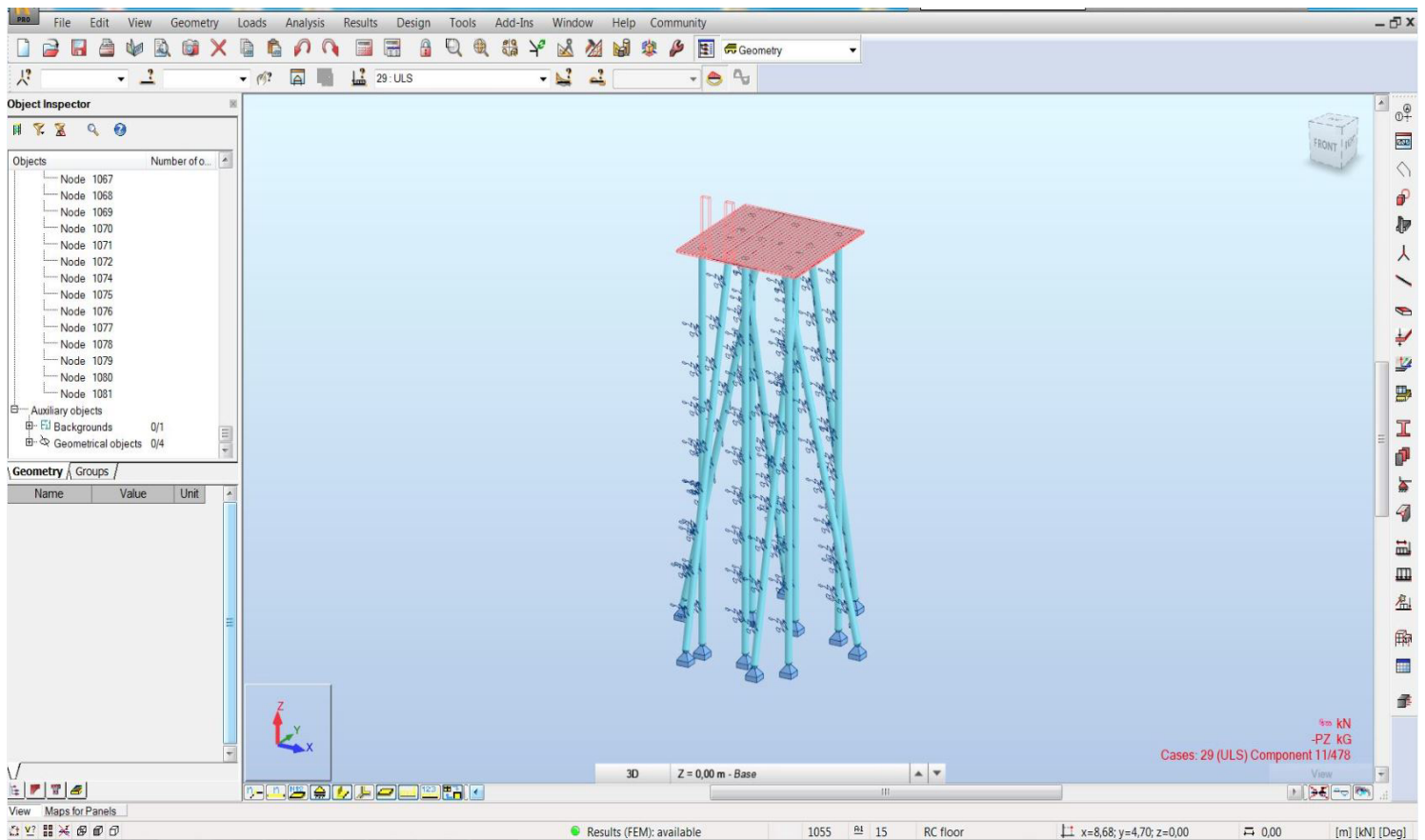
Kuva 6. Vaatimusluokat (SFS-EN 1992-1-1).



Liite 3. FEM-rakennearneanalysistä saadut momentin arvot murtorajatilassa.



Liite 3. FEM-rakennearneanalysistä saadut momentin arvot käyttörajatilassa



Liite 4. Maajouset kuvattuna FEM-rakenneanalyyseissä

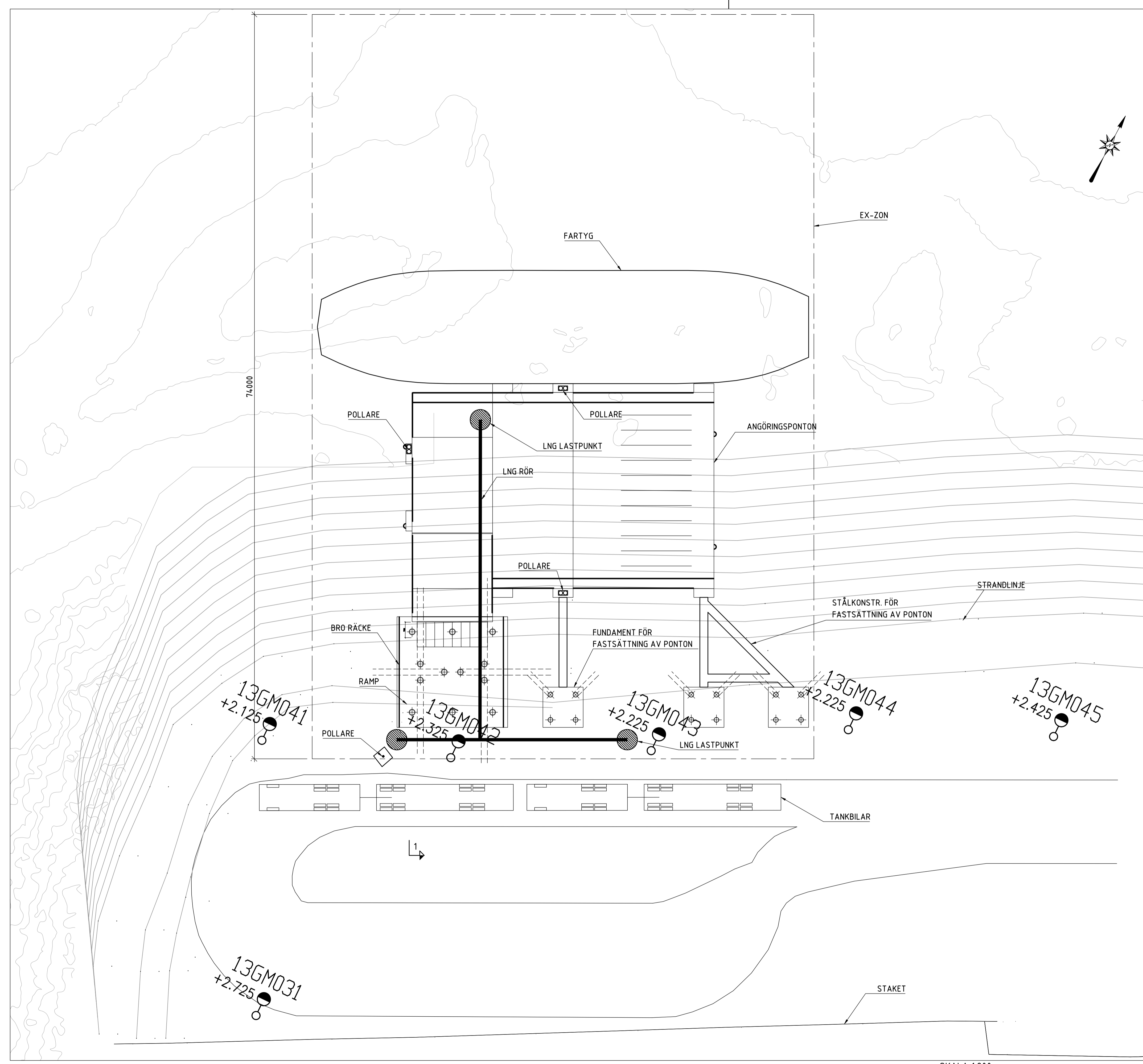
projekt	1384			
byggnadsdel	xx-riktning	xxx	xxx	
		xxx -riktning		
UTGÅNGSVÄRDEN		Dimensioneringssituation:		LASTER
Betong	C35/45	1 varaktiga och tillfälliga		ULS Md 130 kNm
f _{ck}	35 N/mm ²	f _{ctm}	3,210 N/mm ²	SLS Mk _{QPR} 50 kNm
γ _c	1,5	f _{ctk.005}	2,247 N/mm ²	
f _{cd}	19,83 N/mm ²	f _{ctd}	1,498 N/mm ²	
f _{cm}	43,00 N/mm ²	E _{cm}	34077,1 N/mm ²	UTNYTTJANDEGRAD
Armeringsstål				ULS 21 % ok
f _{yk}	500 N/mm ²	E _s	2,00E+05 N/mm ²	SLS QPR 36 % ok
γ _s	1,15	ε _{yd}	2,17E-03	
f _{yd}	434,8 N/mm ²	ε _{uk}	0,005	
		ε _{ud}	0,010	
Mått och armering				
h	800 mm	c _{nom}	60 mm	
b	1000 mm	Δc _{dev}	10 mm	
φ _r	20 mm	c _{min.dur}	50 mm	
kk	150 mm	c _{true}	80 mm	
d	710 mm	c	80 mm	
A _s	2094,4 mm ²			TILLÅTEN SPRICKBREDD
A _{smin}	1185,1 ok			SLS kvasiperm. w _{tsb} 0,15 mm
As _{req}	423,9 mm ² (ULS)			
ULS		SLS kvasipermanent	Mk _{QPR} 50 kNm	
ε _{cu}	3,50E-03	k ₁	0,8	α _e 5,869
ε _{yk}	2,50E-03	k ₂	0,5	ρ ₀ 0,00295
β _{bk}	0,466667	k _t	0,4	långtidslast x _p 120,4 mm
ω	0,064666	k₃	1,75	TRVFS 2011:1 Z ₀ 669,9 mm
β	0,064666 ok	h _{c.ef}	225,0 mm	σ _s 35,6 N/mm ²
μ	0,062575	A _{c.ef}	225000 mm ²	
M _u	625,6 kNm	ρ _{p.eff}	0,00931	
Md	130 kNm	e _{sprick1}	-5,49E-04	
ug _{ULS}	21 % ok	e _{sprick2}	1,07E-04	
		e _{sprick}	1,07E-04	e _{sprick} *E _s 21,4 N/mm ²
		s_{r.max}	505,3 mm	
		w _k	0,054 mm	w _{max} 0,15 mm
				ug _{SLS} 36 % ok

Liite 5. Käyttöaste ja raudituslaskelmat kentässä

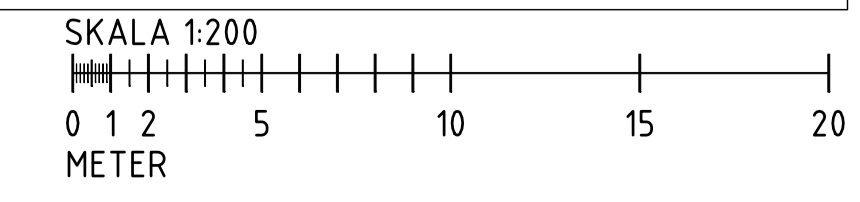
projekt	1384			
byggnadsdel	xx-riktning		xxx	xxx
	påle		xxx	-riktning
UTGÅNGSVÄRDEN		Dimensioneringssituation:		LASTER
Betong	C35/45	1 varaktiga och tillfälliga		ULS Md 366 kNm
f _{ck}	35 N/mm ²	f _{ctm}	3,210 N/mm ²	SLS Mk _{QPR} 129 kNm
γ _c	1,5	f _{ctk.005}	2,247 N/mm ²	
f _{cd}	19,83 N/mm ²	f _{ctd}	1,498 N/mm ²	
f _{cm}	43,00 N/mm ²	E _{cm}	34077,1 N/mm ²	
Armeringsstål				UTNYTTJANDEGRAD
f _{yk}	500 N/mm ²	E _s	2,00E+05 N/mm ²	ULS 40 % ok
γ _s	1,15	ε _{yd}	2,17E-03	SLS QPR 47 % ok
f _{yd}	434,8 N/mm ²	ε _{uk}	0,005	
		ε _{ud}	0,010	
Mått och armering				
h	800 mm	c _{nom}	60 mm	
b	1000 mm	Δc _{dev}	10 mm	
φ _r	20 mm	c _{min.dur}	50 mm	
kk	100 mm	c _{true}	80 mm	
d	710 mm	c	80 mm	
A _s	3141,6 mm ²			TILLÅTEN SPRICKBREDD
A _{smin}	1185,1 ok			SLS kvasiperm. w _{tsb} 0,15 mm
As _{req}	1208,2 mm ² (ULS)			
ULS		SLS kvasipermanent		Mk _{QPR} 129 kNm
ε _{cu}	3,50E-03	k ₁	0,8	α _e 5,869
ε _{yk}	2,50E-03	k ₂	0,5	ρ ₀ 0,00442
β _{bk}	0,466667	k _t	0,4	långtidslast x _p 144,4 mm
ω	0,096999	k ₃	1,75	TRVFS 2011:1 Z ₀ 661,9 mm
β	0,096999 ok	h _{c.ef}	218,5 mm	σ _s 62,0 N/mm ²
μ	0,092295	A _{c.ef}	218527,4 mm ²	
M _u	922,8 kNm	ρ _{p.eff}	0,01438	
Md	366 kNm	e _{sprick1}	-1,74E-04	
ug _{ULS}	40 % ok	e _{sprick2}	1,86E-04	
		e _{sprick}	1,86E-04	e _{sprick} *E _s 37,2 N/mm ²
		s _{r.max}	376,5 mm	
		w _k	0,070 mm	w _{max} 0,15 mm
				ug _{SLS} 47 % ok

Liite 6. Käyttöaste ja raudituslaskelmat tuella

ANVISNINGAR
 HÖJDSYSTEM: RH2000
 KOORDINATSYSTEM: SWEREF 99 18 00

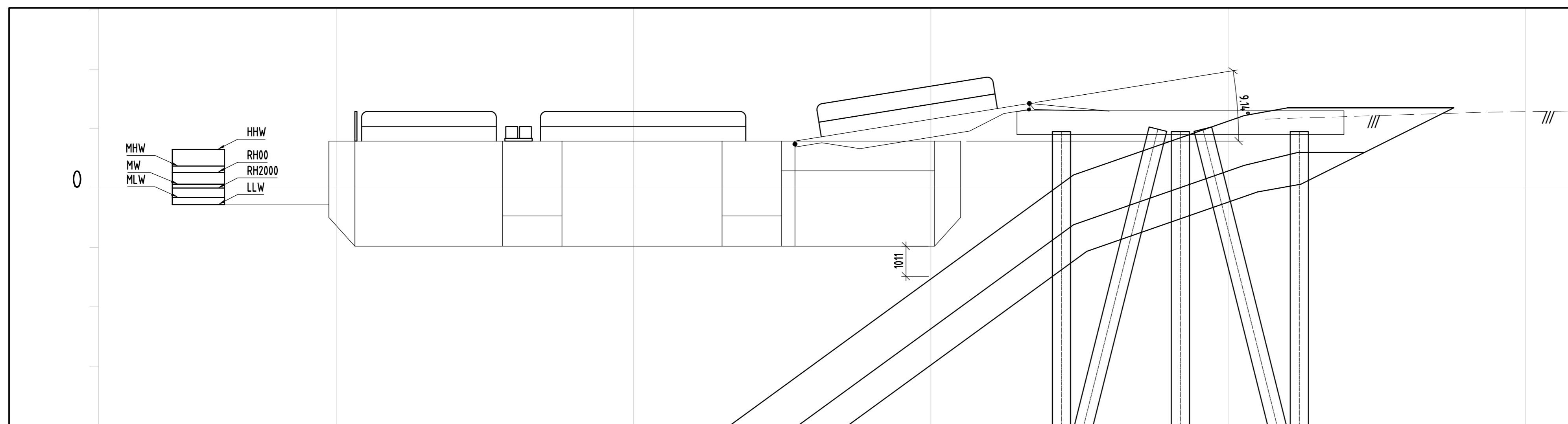


PLAN
1:200

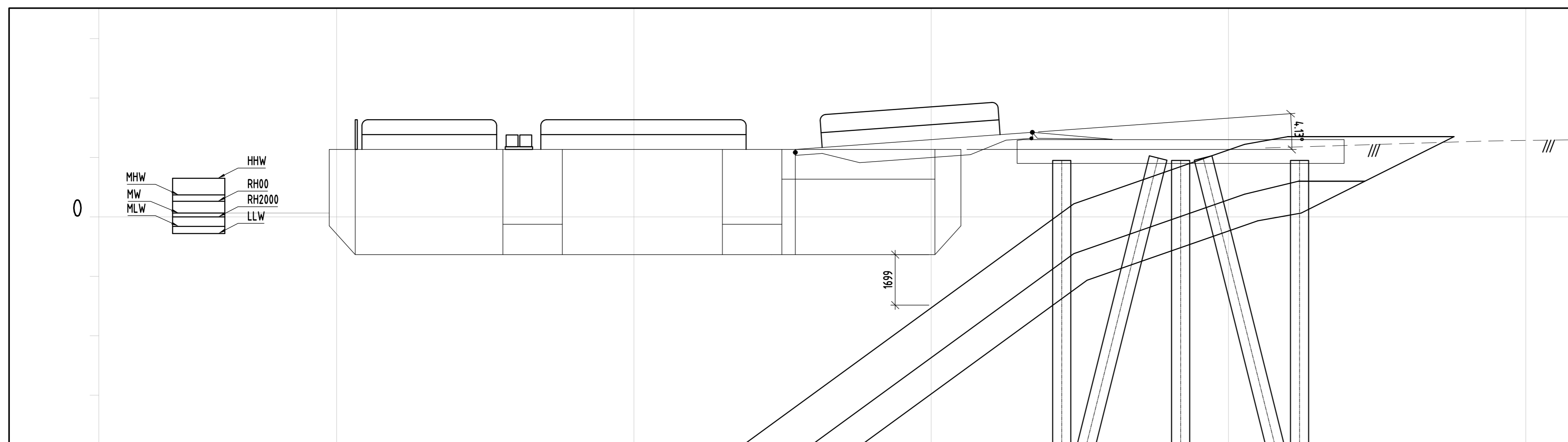


BET	ANT	ÄNDRINGEN ÅRSER	DATUM
TEKNIKOMRÅDE K-KONSTR		GODKÄND BESTÄLLARE	
ADRESS		INNEHÅLL	
SVERIGE		PONTON ALTERNATIV	
NRC Group		PLANRITNING	
UPPDRAG NR 1384		PROJEKT NR 2018	
DATUM 2019-03-14		BET -	
KONSTR AV TQV		RITNING TYP KONSTR	

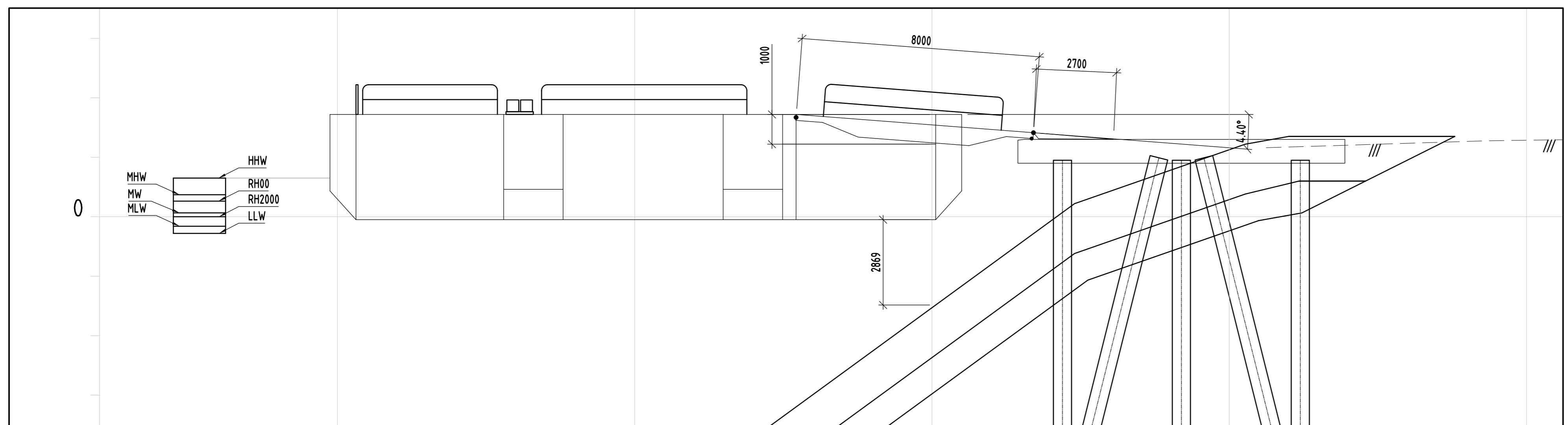
LAGER:



LLW
1:100

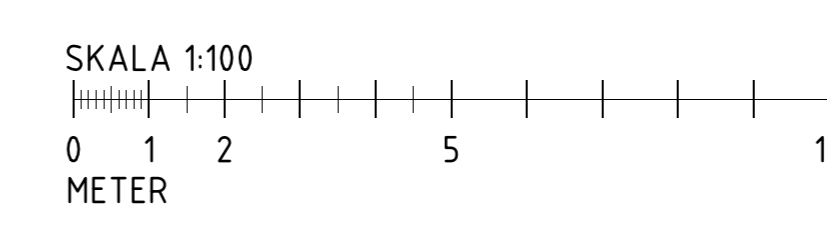


MW
1:100



HHW
1:100

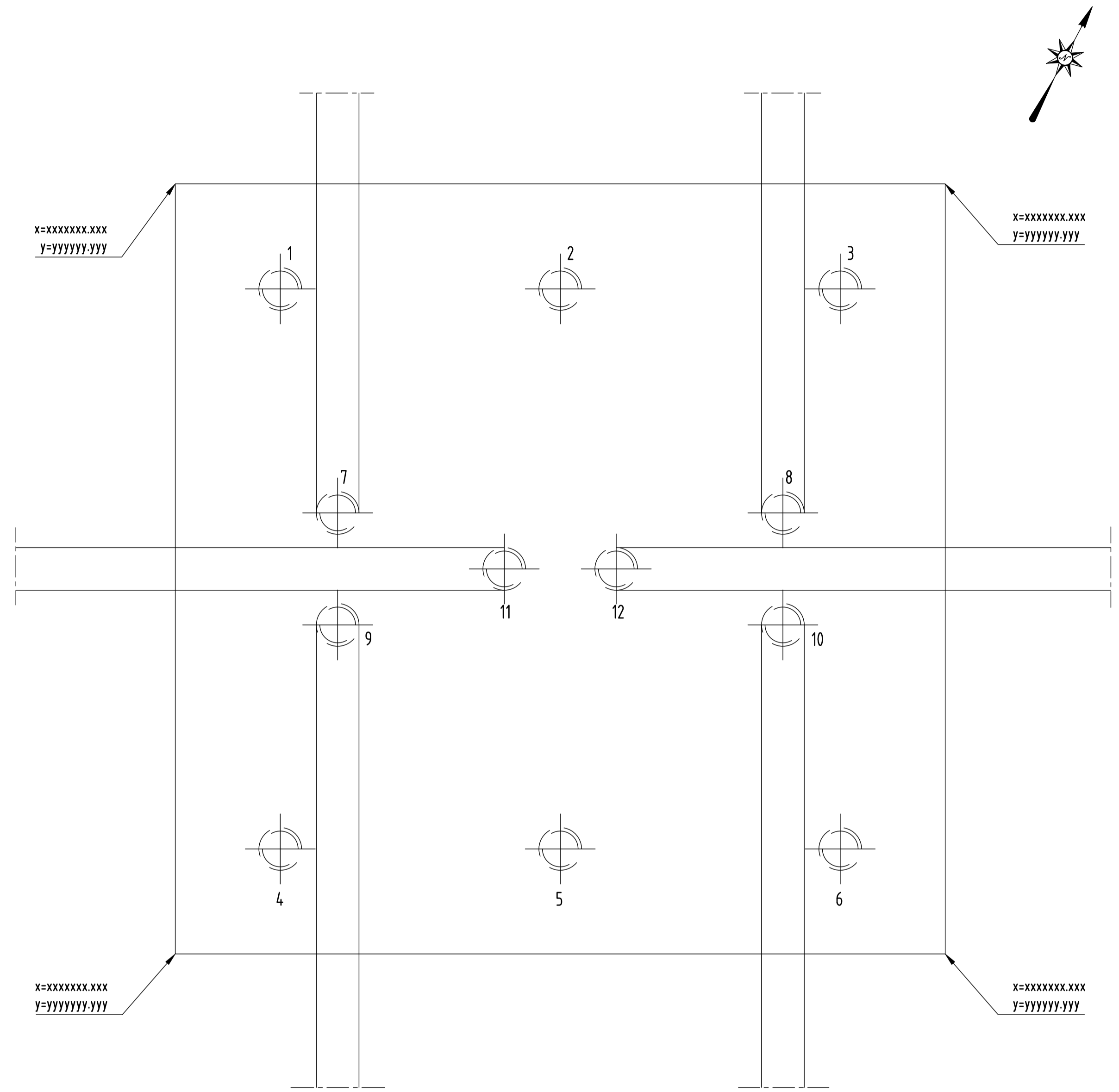
HÖJDSYSTEM RH2000
KOORDINATSYSTEM SWEREF99 18 00



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM
TEKNIKGRUPP K-KONSTR		GODKÄND BESTÄLLARE	
ADRESS		INNEHÅLL	
SVERIGE		PONTON ALTERNATIV, JÄMFÖRELSE VATTENHÖJDER HHW, MW, LLW	
SEKTIONS-RITNING		SKALA BÅT 1:100	
UPPDRAG NR		PROJEKT NR	BET
1384		2018	-
DATUM	KONSTR AV	RITAD AV	GODKÄND
2019-03-14	TQV	KRA	KAB

BORRPÅLAR 1-12, S355J2H, 12 ST.

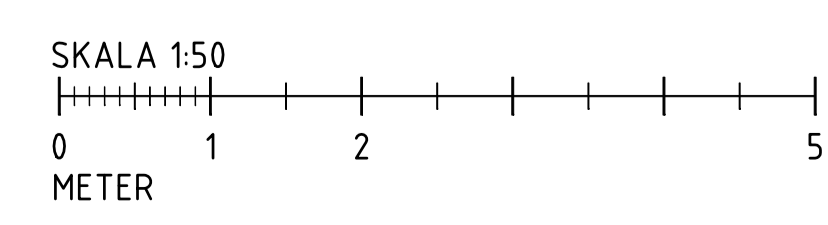
PÅL-Nr. SYMBOL	X-KOORDINAT	Y-KOORDINAT	Z - NIVÅ PÅLE ÖK	NIVÅ PÅLSPETS (x)	RÖRPÅLE D x t (mm)	Pmax/Pmin 2) (kN)	BORRAS I FRISK BERG	OBS.	LUTNING
1	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.90	-27.8	610x16	+1200/+250	1,8		VERTIKAL
2	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.90	-29.8	610x16	+1200/+250	1,8		VERTIKAL
3	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.90	-31.6	610x16	+1200/+250	1,8		VERTIKAL
4	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.90	-27.3	610x16	+1200/+250	1,8		VERTIKAL
5	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.90	-29.2	610x16	+1100/+250	1,8		VERTIKAL
6	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.90	-31.0	610x16	+1200/+250	1,8		VERTIKAL
7	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.98	-28.1	610x16	+900/+150	1,8		4:1
8	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.98	-32.0	610x16	+900/+150	1,8		4:1
9	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.98	-27.0	610x16	+1100/+200	1,8		4:1
10	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.98	-30.7	610x16	+1100/+200	1,8		4:1
11	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.98	-25.8	610x16	+900/+200	1,8		4:1
12	xxxxxxx.xxx	yyyyyy.yyy	+1.98	-34.0	610x16	+900/+200	1,8		4:1



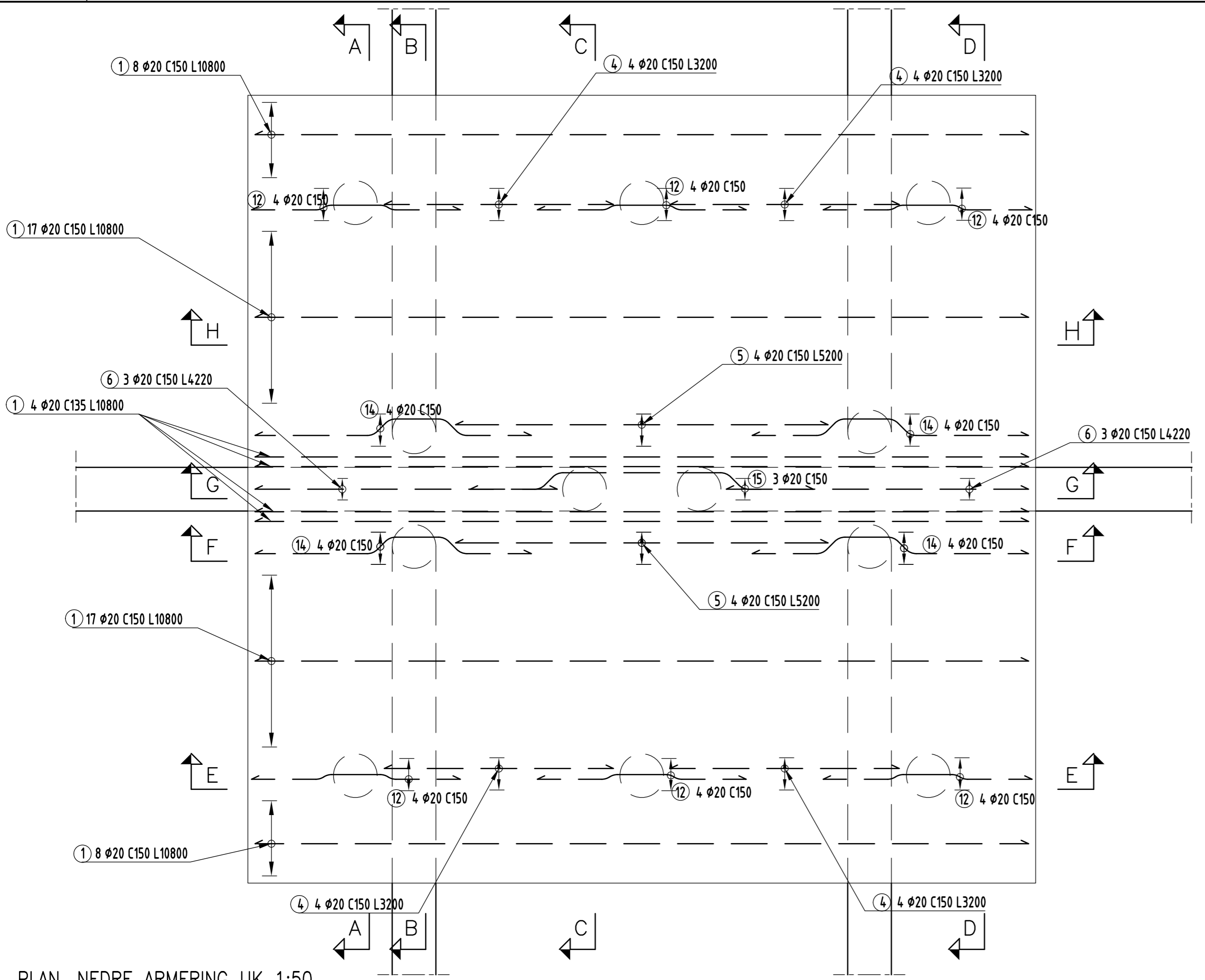
PLANRITNING 1:50

SE OCKSÅ RITN:
 2018-K-200-5-000-0014
 2018-K-200-6-000-0016
 2018-K-200-6-000-0017
 2018-K-200-2-000-0018
 2018-K-200-2-000-0019
 2018-K-200-6-000-0020

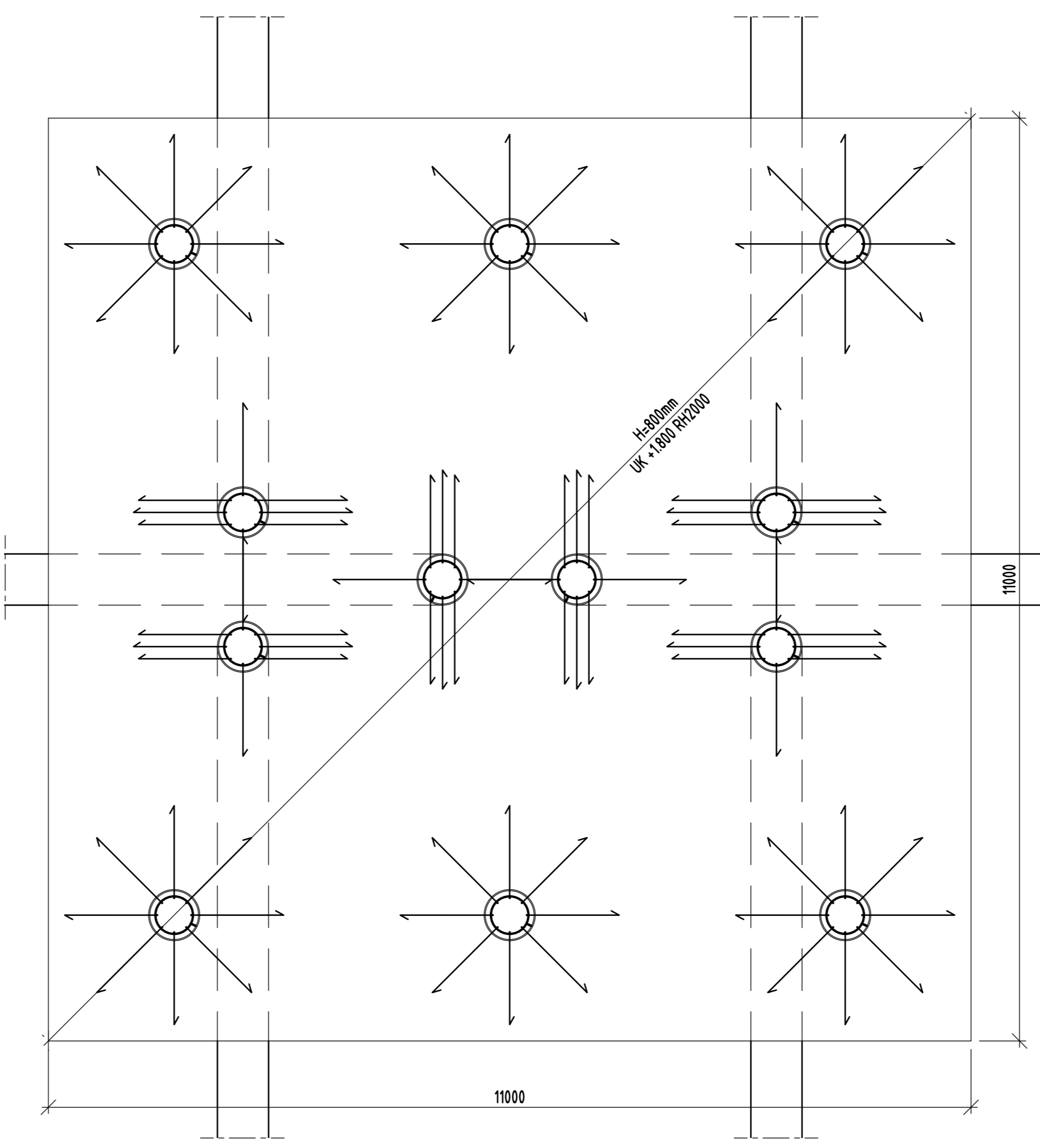
HÖJDSYSTEM RH2000
 KOORDINATSYSTEM SWEREF99 18 00



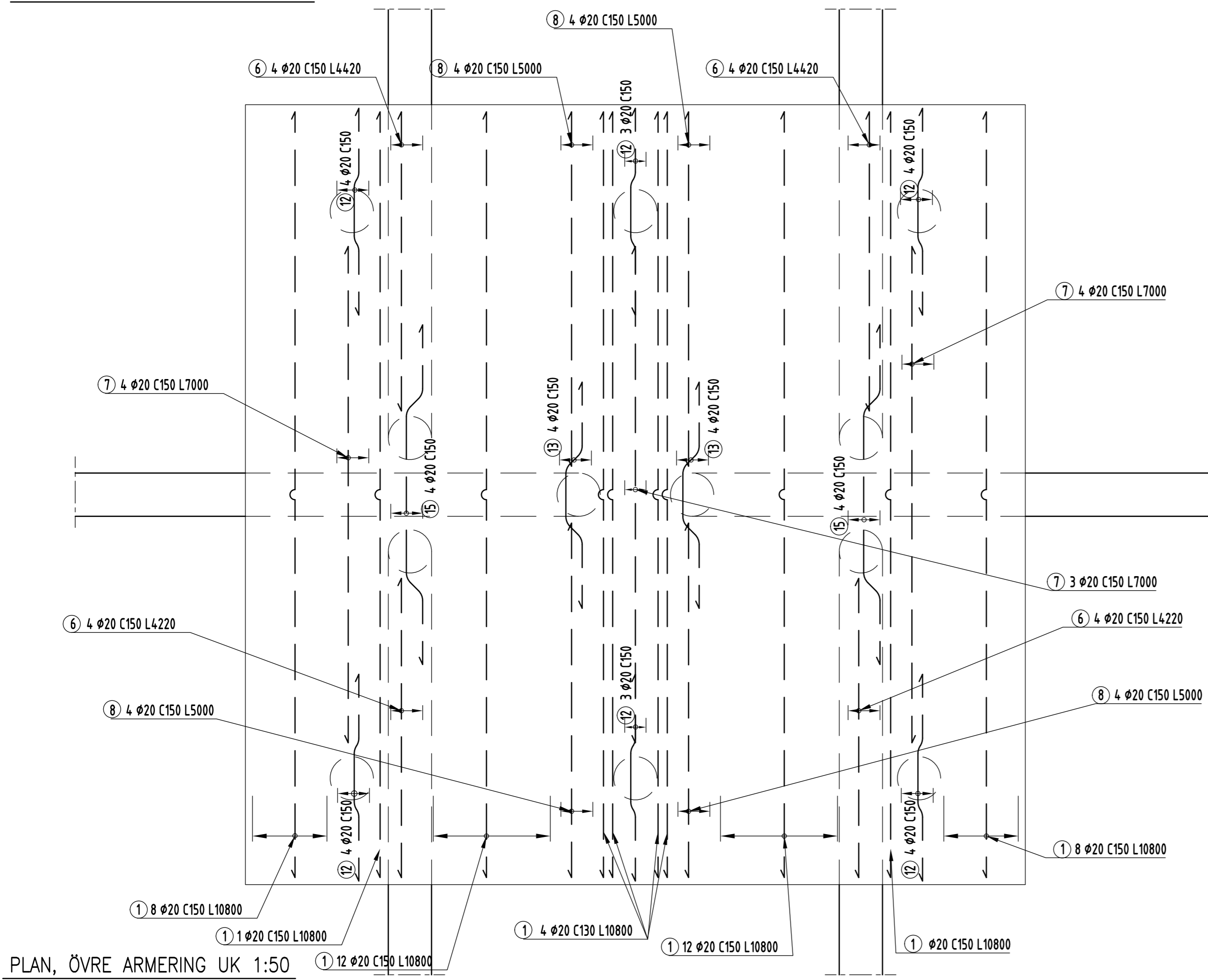
BET	ANT	ÄNDRINGEN ÅRSER	DATUM
TEKNIKOMRÅDE		GODKÄND BESTÄLLARE	
K-KONSTR		NUMMER	
ADRESS		INNEHÅLL	
SVERIGE		RAMPFUNDAMENT FÖR ANGÖRINGPONTON	
NRC Group		PÅLPLAN	
NRC ARCUS OY		FÖRTECKNINGSRITNING	
SLOTTSGATAN 16		UPPDRAG NR	
20100 ÅBO		1384	
tel.: 02-2747050		PROJEKT NR	
		2018	
		BET	
		-	
DATUM		RITNING TYP	
2019-03-14		KONSTR AV	
		TQV	
		GRANSKAD	
		KRA	
		GODKÄND	
		KAB	
		KONSTR	



PLAN, NEDRE ARMERING UK 1:50



PLAN, MÄTT OCH PÄLARNAS ARMERING I PLATTAN 1:50



PLAN, ÖVRE ARMERING UK 1:50

ARMERING ÖK SE RITNING
2018-K-200-6-000-0017

SEKTIONER SE RITN:
2018-K-200-2-000-0018
2018-K-200-2-000-0019

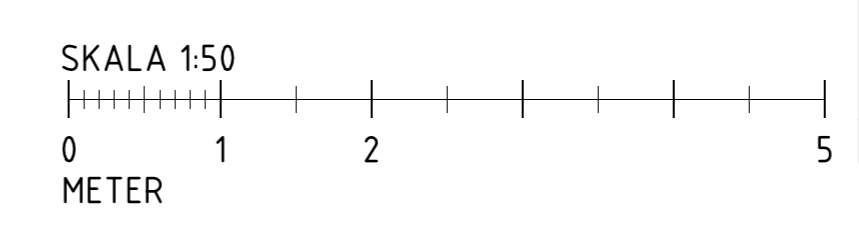
PÅLPLAN SE RITN:
2018-K-200-5-000-0015

DETALJRITN. FÖR PÄLAR:
2018-K-200-6-000-0020

--- = ÖVRE STÅNG I UK

MAX STÅNGLÄNGD HAR ANTAGITS VARA 12000 mm
HÖGST 50 % AV STÅNGER FÅR SKARVAS I SAMMA SNITT
Ø12 SKARVL. ≥400
Ø16 SKARVL. ≥600
Ø20 SKARVL. ≥900
Ø25 SKARVL. ≥1100

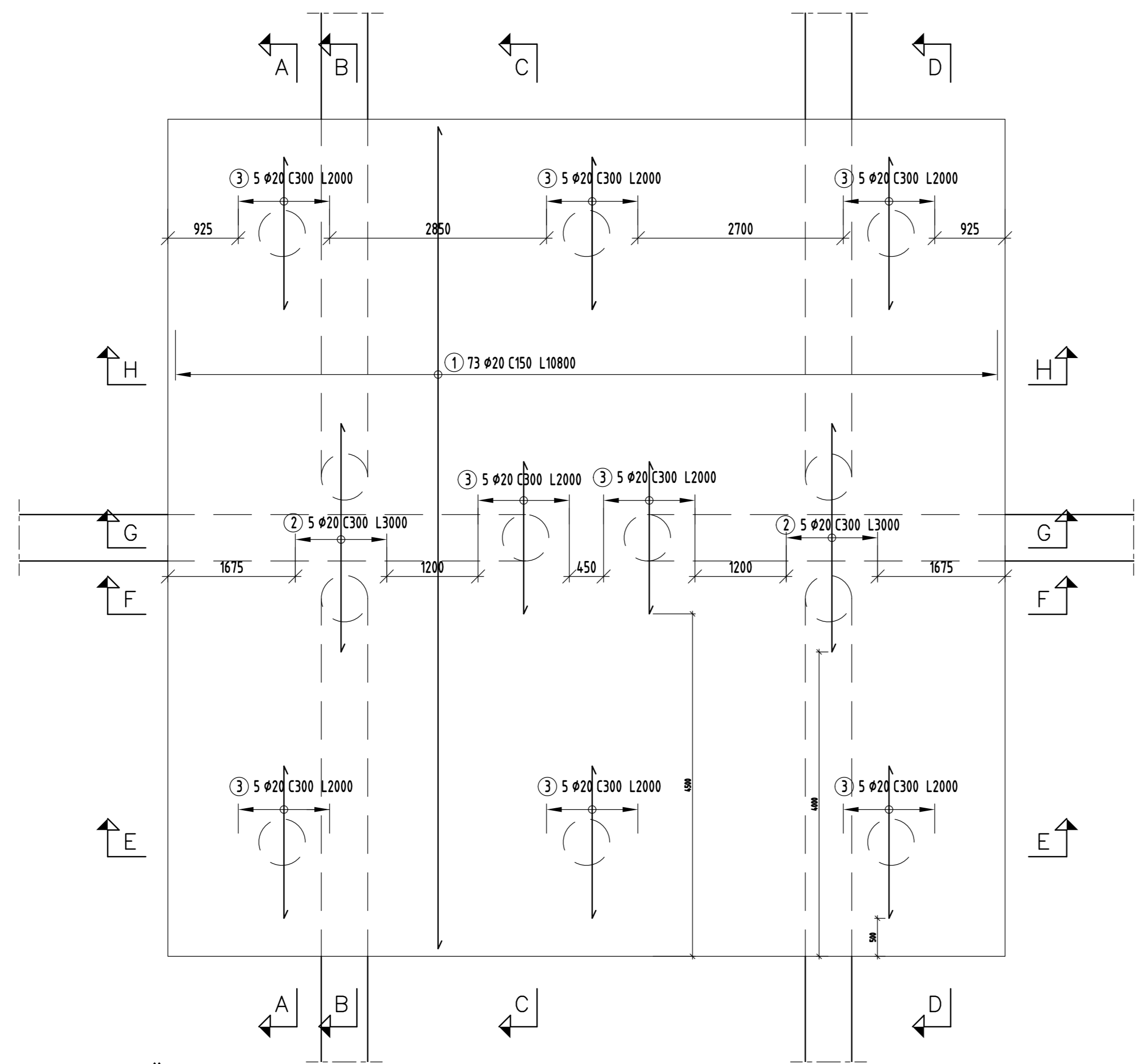
HÖJDSYSTEM RH2000
KOORDINATSYSTEM SWREF99 18 00



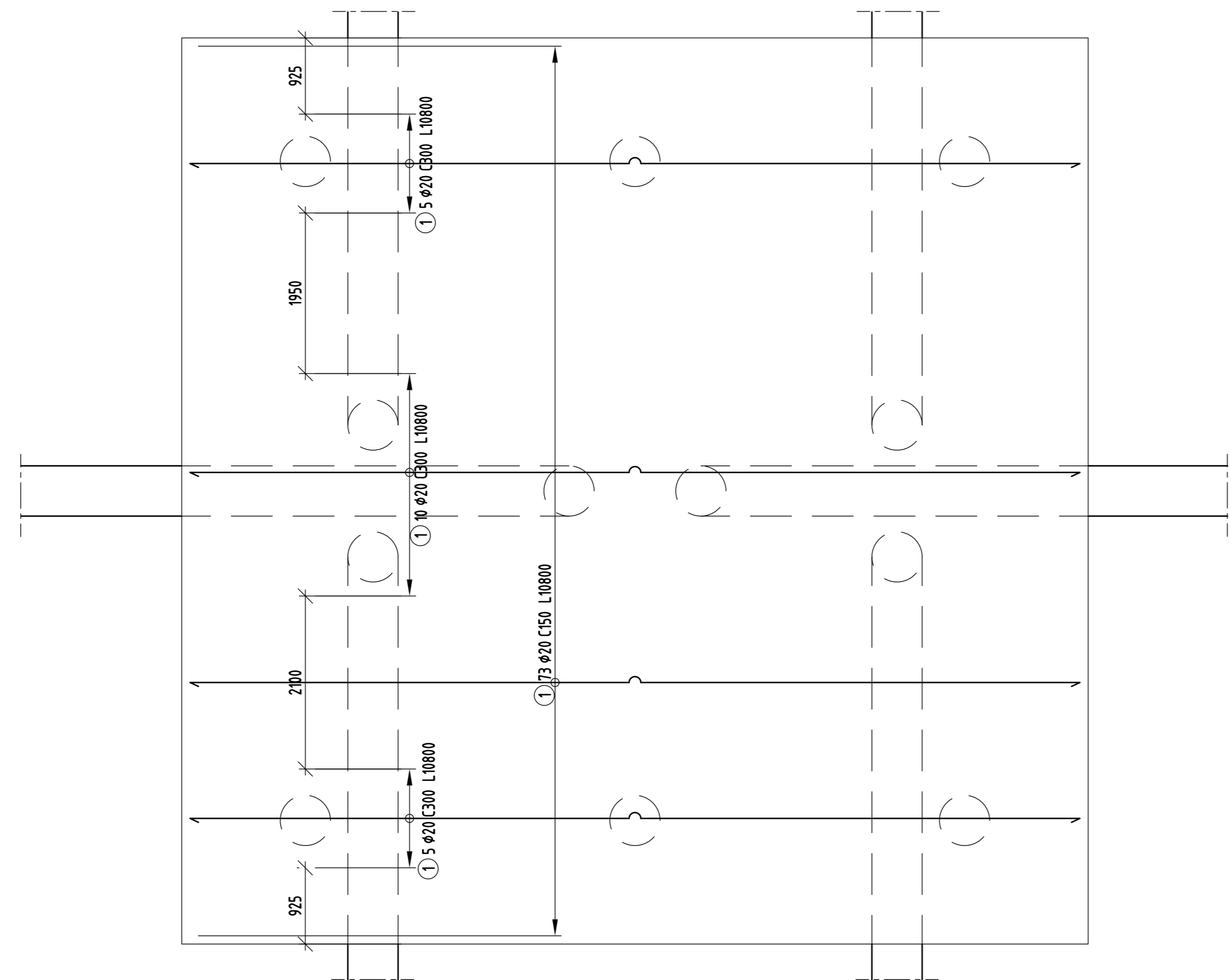
BETONGARMERING: Ø=K500C-T	BETONG: C35/45
BETONGSKIKT: 60 mm	VC _{max} =0.40 XS3, XD3, XF4, LUFTHALT 4.0 %
MÄTTAVVIKELSE: 10 mm	TOLERANSKLASS 1 ENLIGT SS-EN 13670 KAP. 10
	BETONGTYR KLASS 3C

ARMERINGSFÖRTECKNING								
Nr.	TYP	FIGUR OCH DELMÅTT	Ø	ST.	KLIPP-LÄNGD (mm)	TOTAL LÄNGD (m)	VIKT (kg)	TOTAL VIKT (kg)
1	A	10800	20	266	10800	2872,8	26,7	7096
2	A	3000	20	10	3000	30,0	7,4	74
3	A	2000	20	40	2000	80,0	4,9	198
4	A	3200	20	16	3200	51,2	7,9	126
5	A	5200	20	8	5200	41,6	12,8	103
6	A	4220	20	22	4220	92,8	10,4	229
7	A	7000	20	11	7000	77,0	17,3	190
8	A	5000	20	16	5000	80,0	12,4	198
9	B	900	16	16	1800	28,8	2,8	46
10	C	800	16	146	2260	330,0	3,6	521
11	C	800	16	146	2220	324,1	3,5	512
12	J	900	20	46	2940	135,2	7,3	334
13	J	900	20	8	3320	26,6	8,2	66
14	J	1570	20	16	3990	63,8	9,9	158
15	J	900	20	11	4920	54,1	12,2	134
							9984	

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM
TEKNIKOMRÅDE K-KONSTR		GODKÄND BESTÄLLARE	NUMMER
ADRESS		INNEHÅLL RAMPFUNDAMENT FÖR ANGÖRINGSPONTON ARMERING UNDERKANT	SKALA 1:50
SVERIGE		DETALJRITNING	RITNINGSTYP
UPPDRAK NR 1384		PROJEKT NR 2018	BET -
RITAD AV TOV		GRANSKAD KRA	GODKÄND KAB
DATUM 2019-03-14		KONSTR AV TOV	



PLAN, NEDRE ARMERING ÖK 1:50



PLAN, ÖVRE ARMERING ÖK 1:50

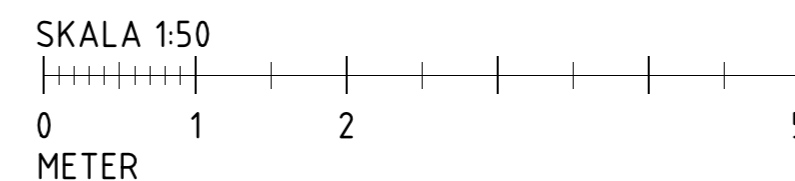
ARMERING UK SE RITNING
2018-K-200-6-000-0016

SEKTIONER SE RITN:
2018-K-200-2-000-0018
2018-K-200-2-000-0019

— = ÖVRE STÅNG I ÖK

MAX STÅNGLÄNGD HAR ANTAGITS VARA 12000 mm
HÖGST 50 % AV STÄNGER FÅR SKARVAS I SAMMA SNITT
Ø12 SKARVL. ≥400
Ø16 SKARVL. ≥600
Ø20 SKARVL. ≥900
Ø25 SKARVL. ≥1100

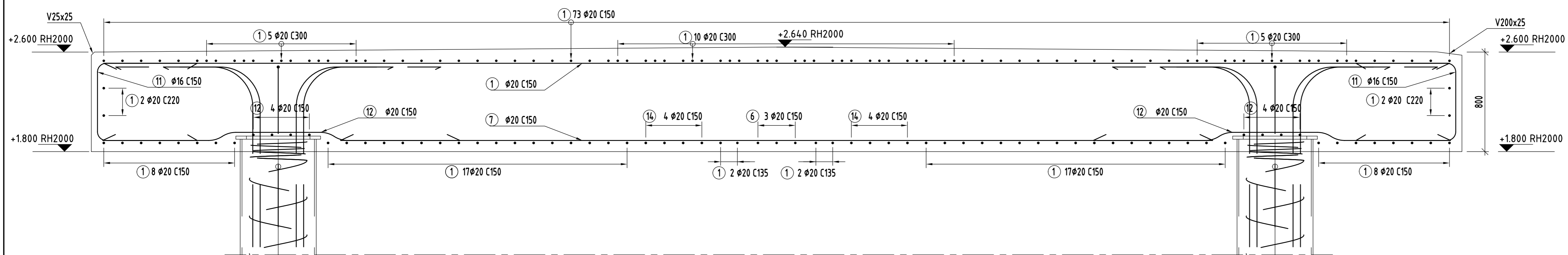
HÖJDSYSTEM RH2000
KOORDINATSYSTEM SWEREF99 18 00



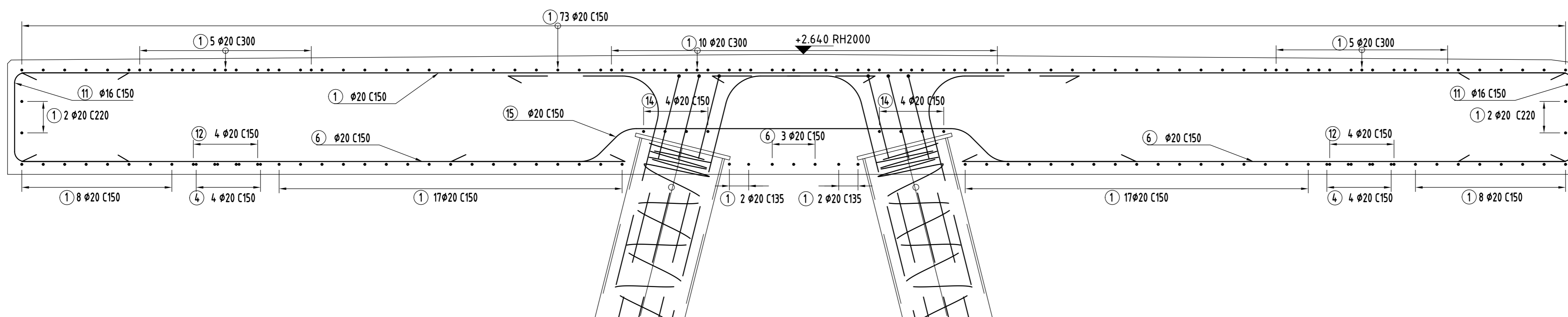
BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM
TEKNIKOMRÅDE		GODKÄND BESTÄLLARE	NUMMER
K-KONSTR		INNEHÅLL	SKALA 0/1
ADRESS		RAMPFUNDAMENT FÖR ANGÖRINGPONTON	1:50
SVERIGE		ARMERING ÖVERKANT	
		DETAILRITNING	RITNING TYP
UPPDRAG NR		PROJEKT NR	BET
1384		2018	—
RITAD AV		GRANSKAD	GODKÄND
TQV		KRA	KAB
DATUM		KONSTR AV	
2019-03-14		TQV	



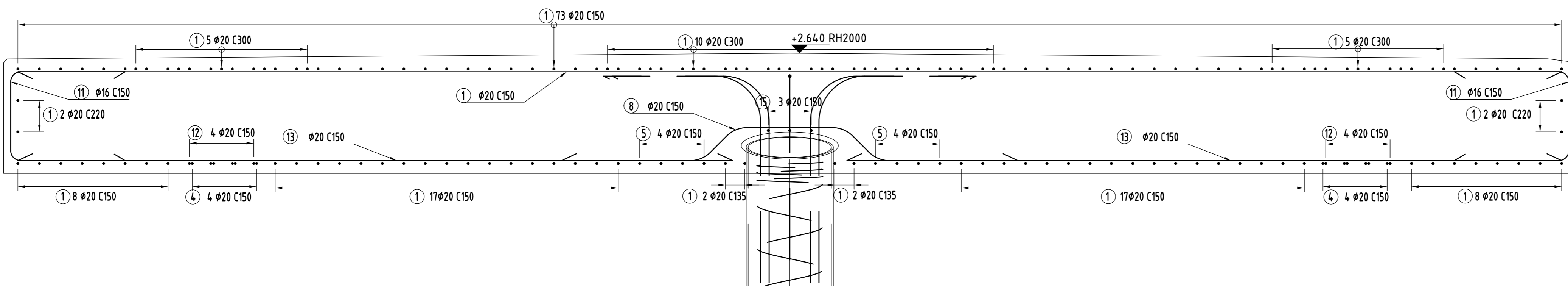
NRC ARCUS OY
SLOTTSGATAN 16
20100 ÅBÖ
tel.: 02-2747050



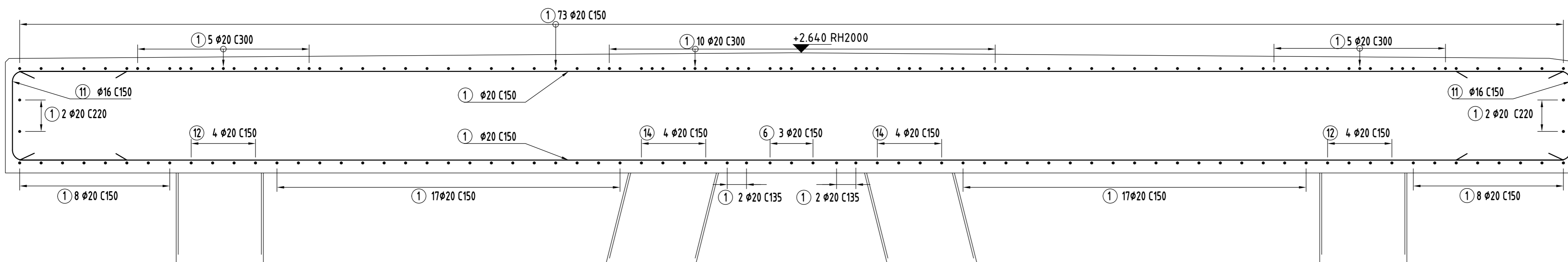
SEKTION A-A 1:20



SEKTION B-B 1:20



SEKTION C-C 1:20

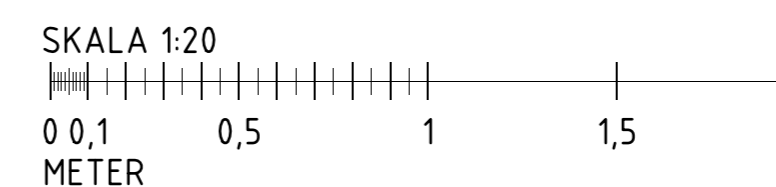


SEKTION D-D 1:20

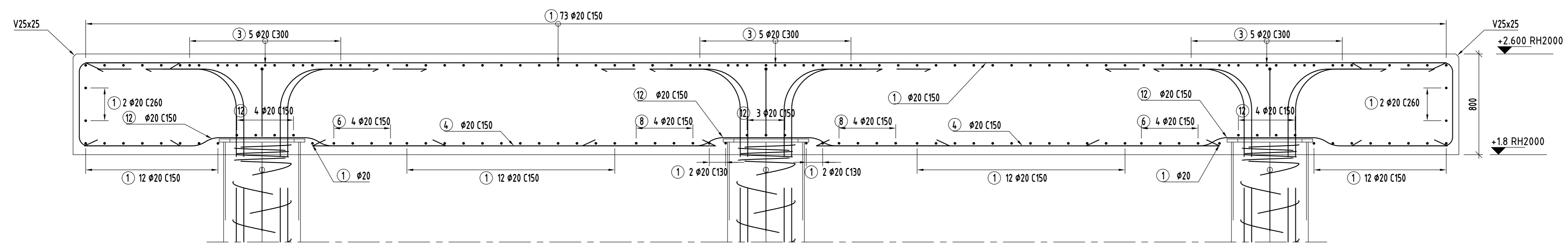
MAX STÅNGLÄNGD HAR ANTAGITS VARA 12000 mm
 HÖGST 50 % AV STÄNGER FÅR SKARVAS I SAMMA SNITT
 Ø12 SKARVL. ≥400
 Ø16 SKARVL. ≥500
 Ø20 SKARVL. ≥900
 Ø25 SKARVL. ≥1100

HÖJDSYSTEM RH2000
 KOORDINATSYSTEM SWEREF99 18 00

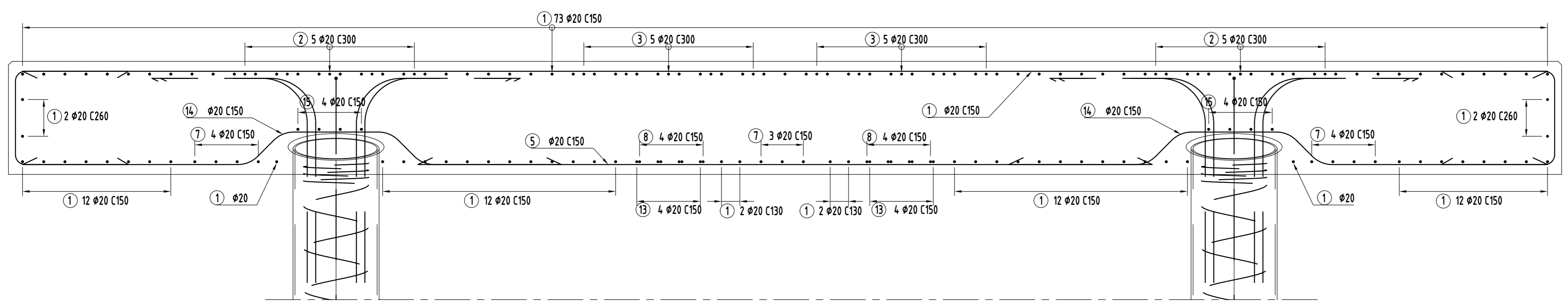
ARMERING SE RITN:
 2018-K-200-6-000-0016
 2018-K-200-6-000-0017
 SEKTIONER E-E...H-H SE RITN:
 2018-K-200-2-000-0019



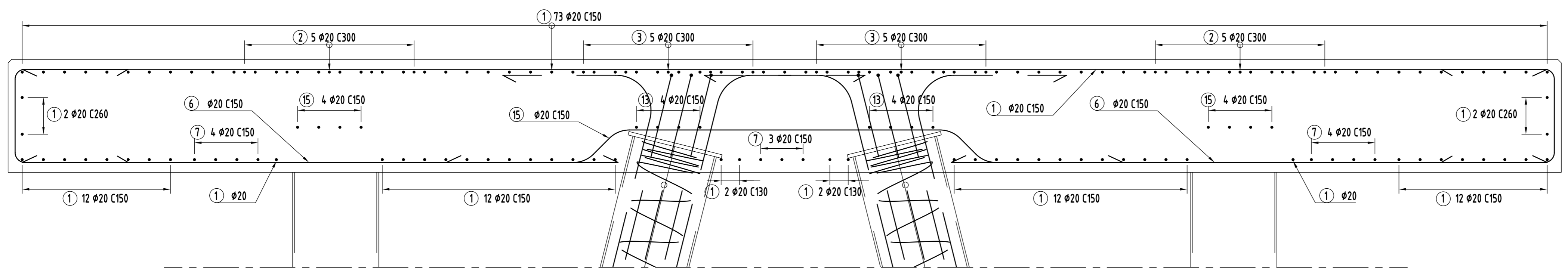
BET	ANT	ÄNDRINGEN ÅISER	DATUM
TEKNIKOMRÅDE K-KONSTR		GODKÄND BESTÄLLARE	NUMMER
ADRESS		INNEHÅLL RAMPFUNDAMENT FÖR ANGÖRINGSPONTON ARMERING SEKTIONER A-A...D-D	SKALA 0/1 1:20
SVERIGE		DETAILRITNING	RITNING TYP
UPPDRAG NR 1384		PROJEKT NR 2018	BET -
DATUM 2019-03-14		KONSTR AV TQV	GODKÄND KAB
RITAD AV		GRANSKAD KRA	GODKÄND KAB



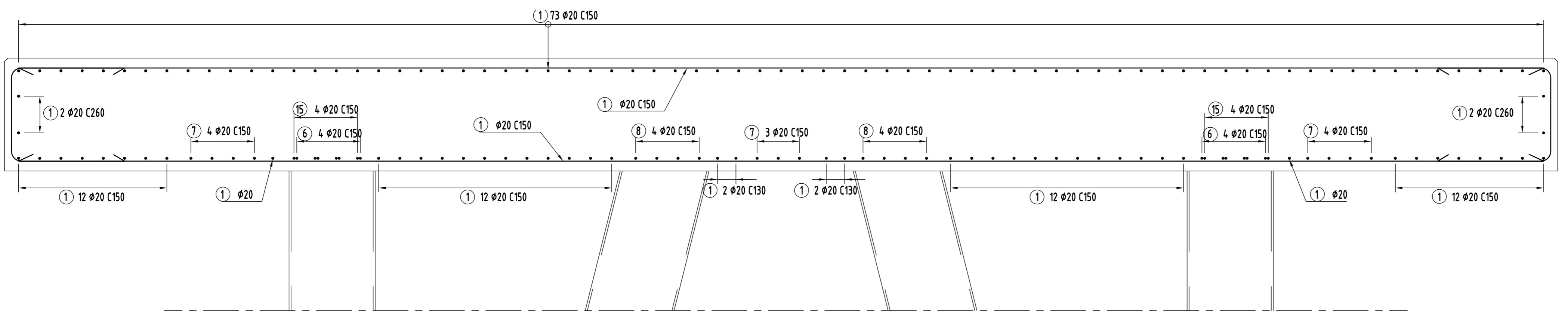
SEKTION E-E 1:20



SEKTION F-F 1:20



SEKTION G-G 1:20



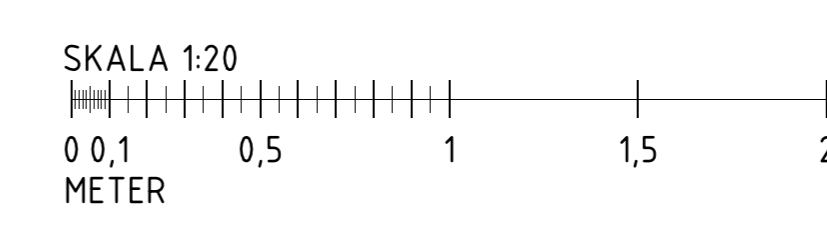
SEKTION H-H 1:20

MAX STÅNGLÄNGD HAR ANTAGITS VARA 12000 mm
 HÖGST 50 % AV STÅNGER FÅR SKARVAS I SAMMA SNITT
 Ø12 SKARVL. ≥400
 Ø16 SKARVL. ≥600
 Ø20 SKARVL. ≥900
 Ø25 SKARVL. ≥1100

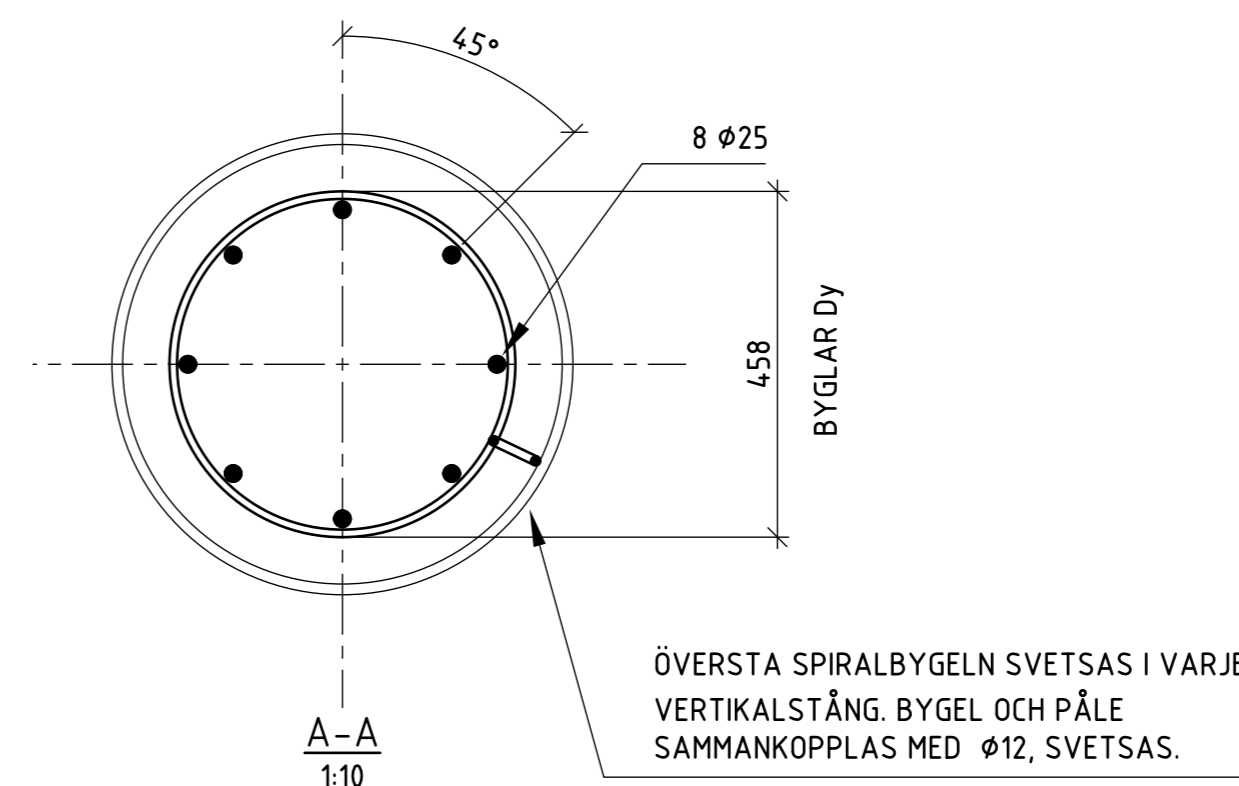
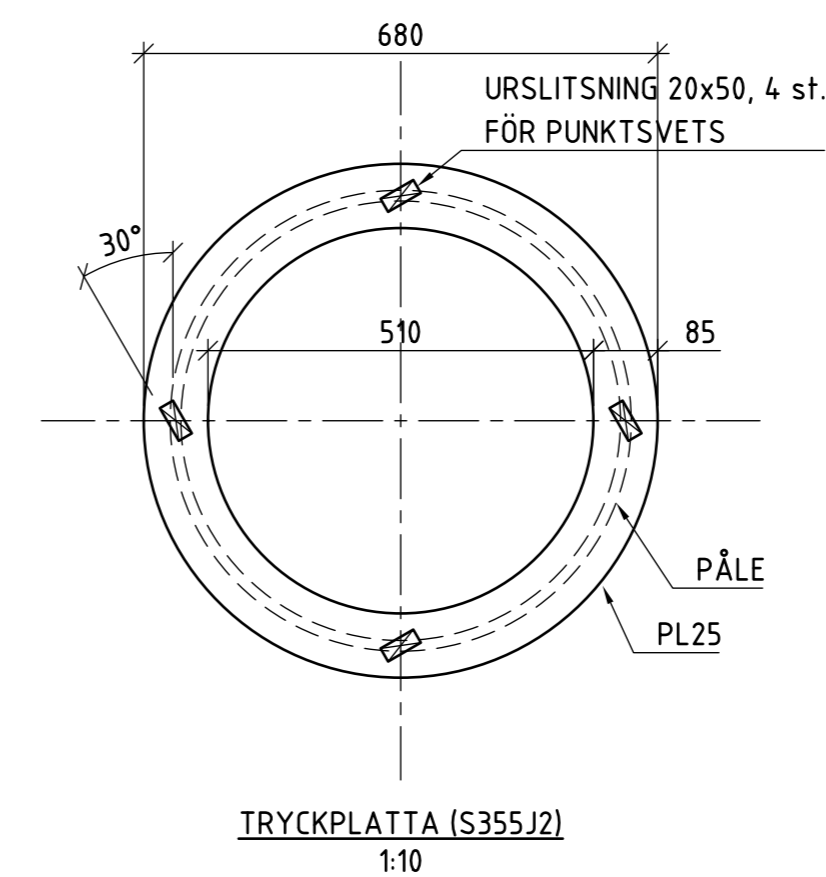
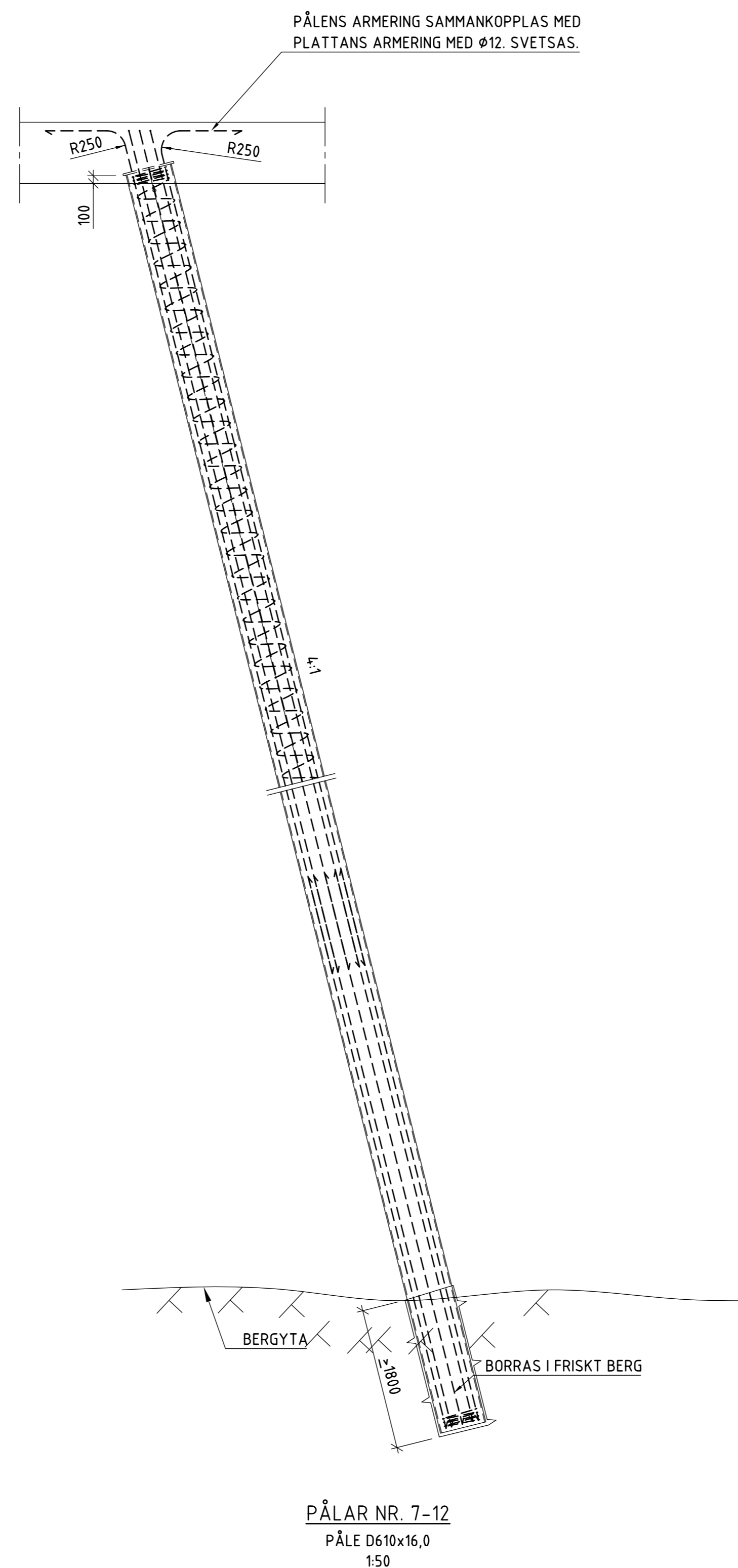
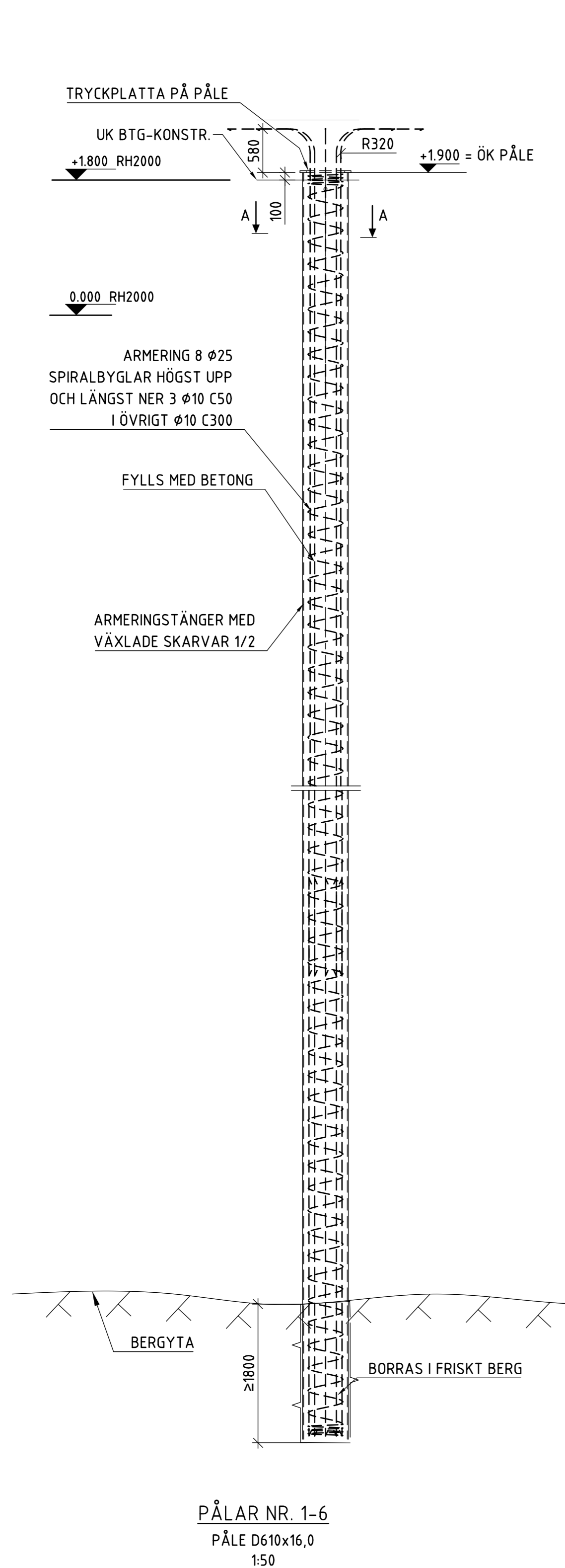
HÖJDSYSTEM RH2000
 KOORDINATSYSTEM SWREF99 18 00

ARMERING SE RITN:
 2018-K-200-6-000-0016
 2018-K-200-6-000-0017

SEKTIONER A-A, D-D SE RITN:
 2018-K-200-2-000-0018



BET	ANT	ÄNDRINGEN ÅISER	DATUM
TEKNIKOMRÅDE K-KONSTR		GODKÄND BESTÄLLARE	NUMMER
ADRESS		INNEHÅLL RAMPFUNDAMENT FÖR ANGÖRINGSPONTON ARMERING SEKTIONER E-E...H-H	SKALA 0/1 1:20
SVERIGE		DETAILRITNING	RITNING TYP
NRC ARCUS OY SLOTTSGATAN 16 20100 ÅBO tel.: 02-2747050		UPPRÅD NR 1384	PROJEKT NR 2018
DATUM 2019-03-14	KONSTR AV TQV	GRANSKAD KRA	GODKÄND KAB
		BET -	RITNING TYP KONSTR



ANVISNINGAR:
LIVSLÄNGDSKLASS L50
SÄKERHETSKLASS 3
GEOTEKNISKA BÄRFÖRMÅGA:
VERIFIERINGSNIVÅ TRVFS (PK-R106) NIVÅ 3, Rd,max = 0,55 x Fstuk
UTFÖRANDEKLASS FÖR STÅL EXC2
GEOTEKNISK KLASS GK2

MINSTA TÄCKANDE BETONGSKITT FÖR ARMERING I PÅLAR ÄR 60 mm

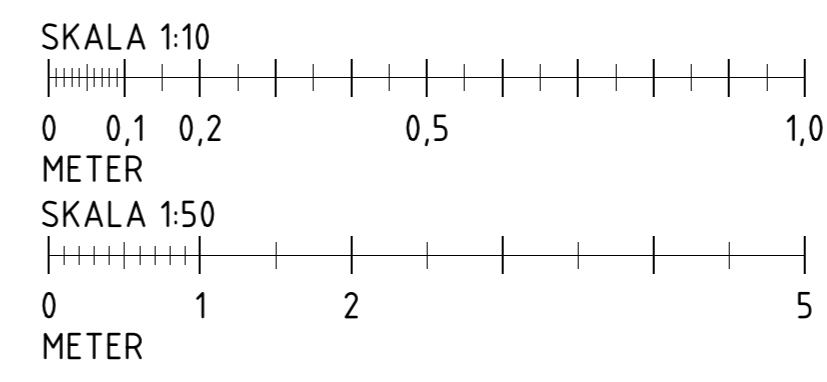
STÅLRÖRSPÅLAR PROFIL Ø610x16 mm
PÅLMATERIAL- STÅL S355J2H
AVROSTNING 3,5 mm

SVETSAR ENL. SS-EN 1090-2
SVETSNINGSKLASSER B PÅLAR OCH C FÖR TRYCKPLATTA

BETONG: C35/45
XS3, XD3, XF4, LUFTHALT 4,0 %

PLANRITNING SE RITN. 2018-K-200-5-000-0014
PÅLPLAN SE RITN. 2018-K-200-5-000-0015
SEKTIONER SE RITN. 2018-K-200-2-000-0018
2018-K-200-2-000-0019

HÖJDSYSTEM RH2000
KOORDINATSYSTEM SWEREF99 18 00



BET	ANT	ÄNDRINGEN AISER	DATUM
TEKNIKOMRÅDE K-KONSTR		GODKÄND BESTÄLLARE	NUMMER
ADRESS		INNEHÅLL RAMPFUNDAMENT FÖR ANGÖRINGPONTON PÅLAR RD600	SKALA 0/1 1:50 1:10
SVERIGE		DETLJRITNING	RITNING TYP
UPPDRAG NR 1384		PROJEKT NR 2018	BET -
RITAD AV TQV		GRANSKAD KRA	GODKÄND KAB
DATUM 2019-03-14		KONSTR AV TQV	KONSTR KONSTR