

RT:n teräsbetonipaalut: Täydentäviä ohjeita teräsbetonipaalutuksen suunnitteluun ja toteutukseen.

Olli Asp, Suunnittelujohtaja, DI,
pohjarakenteet, A-Insinöörit,
olli.asp@ains.fi

Hyvä paalutussuunnitelma?

Huolellisesti laadittu ja dokumentoitu paalutussuunnitelma vähentää suunnitteluvirheitä, mahdollistaa tarkemman määrä- ja kustannuslaskennan sekä tarkoituksenmukaisen toteutuksen. Paalutussuunnitelmasta tulee käydä ilmi käytettävät paalutyypit ja niihin liittyvä varusteet sekä työn toteuttamiseen ja laadunvalvontaan liittyvät ohjeet. Paalujen määrittäminen -rasitusluokka mukaan lukien- tehdään pääsääntöisesti valitsemalla sopiva paalu RT ry:n Betonipaalu Tuotelehdessä (ladattavissa betoni.com sivustolta) esitetyistä vaihtoehdoista. Paalut varustetaan PO-2016 mukaisesti pääsääntöisesti kalliokärjin. Kalliokärkiä käyttämällä voidaan vähentää paalujen rikkoutumisriskiä paalutustyön ja loppulyöntien aikana sekä varmistaa luotettava tukeutuminen kalliioon kaikissa tapauksissa.

Suunnitelmissa käytettävät RT Betonipaalujen® tuotemerkinnät on esitetty Tuotelehdessä, tässä esimerkki:

RTB-300-16SR, missä

- RTB on RT Betonipaalun® tyyppi (RTB, RTC), kirjaintunnus B tai C osoittaa paalun kantavuusluokkaa
- 300 on paalun poikittaismitta (250 mm, 300 mm, 350 mm)
- 16 tarkoittaa, että tuote on paalutusohjeen PO-2016 mukainen
- SR rasitusluokka (muu kuin XC2), sulfaatinkestävyysvaatimus (-, SR, E, SRE)

Paalutuksen toteutuksen ohjeistukseen kuuluu paalutustyöluokan määrittäminen, sallittujen toleranssien määrittäminen, paalutusjärjestys, mahdollinen koepaalutus, PDA-mittaus- tai loppulyöntiehto sekä suurin paalukuorma murtorajatilassa (F_{cd}). Suunnitelmadokumenteista tulee käydä ilmi paalujen numerointi, sijainti, tyyppi, kärki, kaltevuudet, tavoite- ja katkaisutaso.

Toteuttamisen turvallisuuden kannalta suunnitelmassa on otettava kantaa paalutusalustan suunnitteluun. Työalustan ollessa epähomogeenista tai kivistä maa-ainesta, voivat paalujen sijaintipoikkeamat kasvaa tavanomaisesta, kivien kammetessa paalua asemastaan lyönnin aikana. Liian ohuen ja epävakaan paalutusalustan seurauksena on paalutuskoneen asemoinnin vaikeutuminen sekä ei-toivotut liikkeet työn aikana. Useimmissa tapauksissa paalutusalustan paksuus vaihtelee noin 0,5 metrin ja 1,2 metrin välillä.

Poikkeamiin varautuminen

Paalutustyössä tapahtuvat poikkeamat ovat tavallisia johtuen asennuksen aikana tapahtuneista siirtymistä sekä ennakoimattomista poikkeamista pohjaolosuhteissa. Paalut voivat siirtyä, pyöriä akselinsa ympäri tai kallistua suunnittelusta asemasta maan siirtymisen tai paalun tielle osuvan esteen vuoksi. Paalut voivat upota syvemmälle kuin suunnitelmissa on oletettu tai ne voivat pysähtyä korkeammalle ennalta-arvaamat-

tomasti. Paalut voivat myös rikkoutua lyöntityön aikana.

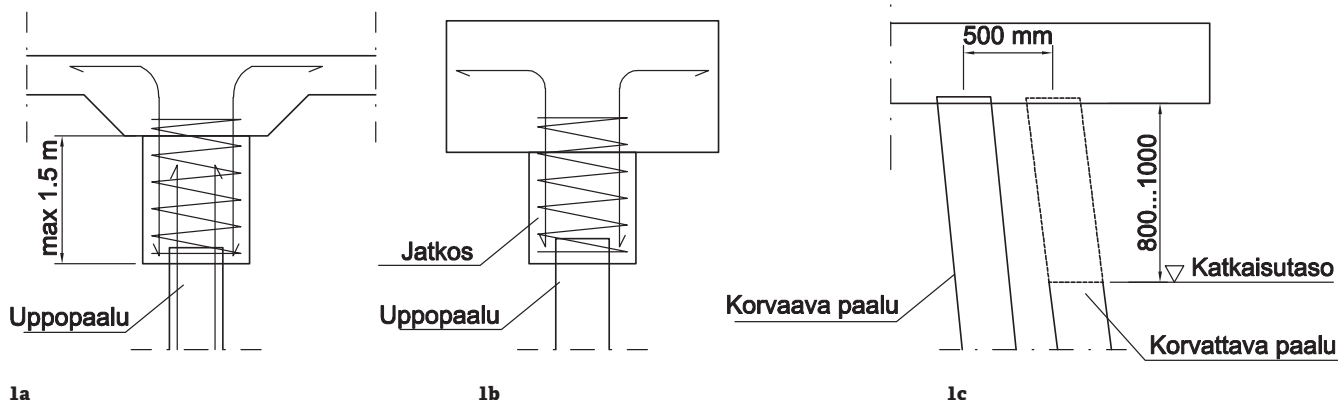
Mikäli paalu todetaan rikkoutuneeksi, tulee se korvata uudella paalulla suunnittelijan antamien ohjeiden mukaisesti. Tyypillistä on katkaista hylätty paalu noin 800...1000 mm peruslaatan alapinnasta ja lyödä korvaava paalu hylätyn paalun viereen kuvan 1c) mukaisesti. Vino- ja reunapaalujen tapauksessa tavanomainen menettely on lyödä korvaava paalu hylätyn taakse jyrkemmässä kulmassa, sekä etäämmälle perustuksen reunasta.

Joissain tapauksissa paalu uppoaa ennakoimattomasti työn aikana ts. paalujen kärki saavuttaa riittävän kantavuuden ennakoitua tavoitetasoa alempana. Teräsbetonipaalun normaali jatkoksen tulee olla aina ennalta suunniteltu ja jatkosien asennettu valmistuksen yhteydessä, joten ennakoimaton jatkamistarve paalutustyömaalla täytyy ratkaista muilla keinoin. Tässä tapauksessa paaluun voidaan tehdä jatkos, jolla paalun yläpää saadaan kytkettyä rakenteeseen. Paalun työmaajatkoksen tapauksessa kiinnityksen joko rakenteeseen tai paalun jatkokseen on suositeltavaa olla jäykkä, jotta mekanisminmuodostus vältetään.

Kun paalun tukeutumistaso on ennakoitua alempana, suunniteltu paalupituus ei riitä ja paalun yläpää päättyy paalutustason alapuolelle. Kuvatussa tapauksessa asennus on tehty todennäköisesti apupaalua käyt-

1 a) ja b) Ennakoitua syvemmälle tunkeutuneen paalun jatkaminen tai **c)** paalun korvaaminen hylätyn paalun tapauksessa ja hylätyn paalun katkaisu.

2 Asiantunteva ja huolellinen perustussuunnittelu varmistaa turvallisen ja tehokkaan paalutustyön.



täen, jolloin paalun yläpää tunkeutuu paalutusalustan alapuolelle. Paalun yläpää tulee kaivaa esiin riittävästi, piikata esiin teräkset (kuva 1a) ja valmistella valumuotti paalun jatkamista varten. Vaihtoehtoisesti voidaan paalu ulottaa noin 50–100 mm jatkoksen sisään paljastamatta teräksiä (kuva 1b) ja käsitellä liitosta nivelellisenä. Tässä tapauksessa pitää jatkos kiinnittää yläpuoliseen rakenteeseen jäykästi.

Jos paalu painuu ennakoimattomasti syvemmälle kuin 1,5...2 metriä suunnitellusta pinnasta, vaikeutuu paalun esiin kaivaminen, koska kaivantoa täytyy joko tukea tai tehdä se hyvin laajana. Tällöin todennäköisesti taloudellisempi vaihtoehto paalun jatkamiselle on hylätä uppopaalu ja asentaa uusi korvaava paalu, jossa tunkeutumistason poikkeamaan on paalun pituudessa varauduttu. Korvattavan paalun osalta menetellään kuten muunkin hylättävän paalun tapauksessa (kuva 1c), lyömällä viereen uusi paalu. Korvaavan paalun sijainnin vaikutus yläpuoliseen rakenteeseen on huomioitava tapauskohtaisesti.

Paalun pyörähtäminen akselinsa ympäri asennuksen aikana ei yleensä aiheuta toimenpiteitä, sillä paalun geotekninen sekä rakenteellinen kantavuus eivät tästä heikenny. Sen sijaan, mikäli paalun sivuvastuksella otetaan vaakakuormia tai paalun jäykkää kiinnitystä anturaan hyödynnetään tiettyyn suuntaan vaikuttavalle taivutusmomentille, tulee taivutusmomenttikapasiteetti tarkastaa vinolle taivutukselle. RT ry:n Betonipaalu Tuoteleh-



Taulukko 1

Kloridi- ja sulfaattirasituksen vaikutus paalulle valittaviin rasitusluokkiin.

		Pohjaveden kloridipitoisuus	
		Kloridipitoisuus ≤ 1000 mg/l	Kloridipitoisuus > 1000 mg/l
Pohjaveden sulfaattipitoisuus	Sulfaattipitoisuus ≤ 200 mg/l	XC2	XC2 ; XS2
	Sulfaattipitoisuus 200...600 mg/l	XC2 ; XA1	XC2 ; XS2 ; XA1
	Sulfaattipitoisuus 600...3000 mg/l	XC2 ; XA2	XC2 ; XS2 ; XA2
Maaperän sulfaattipitoisuus	Sulfaattipitoisuus < 2000 mg/kg	XC2	XC2 ; XS2
	Sulfaattipitoisuus 2000...3000 mg/kg	XC2 ; XA1	XC2 ; XS2 ; XA1
	Sulfaattipitoisuus 3000...12000 mg/kg	XC2 ; XA2	XC2 ; XS2 ; XA2

dessä on esitetty normaalivoiman ja taivutumsmomentin yhteisvaikutuskäyrästä sekä paalun sivun että diagonaalin suunnassa.

Paalujen säilyvyysuunnittelu

Normaalitapauksissa betonipaalu suunnitellaan 100 vuoden käyttöäälle rasitusluokassa XC2, joka on tarkoitettu betonin karbonatisoitumisen aiheuttaman teräskorroosioriskin kattamiseen. Muina, paalujen yhteydessä kyseeseen tulevia rasitusluokkia ovat – erikseen perustellusti – sulfaattien aiheuttama kemiallinen rasitus XA1...3 sekä kloridien aiheuttama teräskorroosio XS1...3. Muut rasitusluokat ovat maahan asennettujen paalujen yhteydessä harvinaisia, esimerkiksi XF- ja XD-luokat tulevat kyseeseen vain erikseen perustelluissa tapauksissa (esimerkiksi laiturit). Tierakenteissa paalujen ei katsota altistuvan jäänsulatusaineille. Raja-arvot kloridi- ja sulfaattipitoisuuksille eri rasitusluokissa on esitetty maan- ja pohjaveden osalta julkaisuissa By65 sekä NCCI7.

Pohjaveden sulfaattipitoisuus ylittää harvoin 3000 mg/l. Tämän vuoksi XA3 rasitusluokka on hyvin harvinainen tilanne. Tällaisessa tapauksessa, kuten myös muusta kemiallisesta rasituksesta johtuva XA3-luokan määrittely tulee tehdä tapauskohtaisesti. Savimaat, joiden läpäisevyys on alle 10^{-5} m/s voidaan luokitella edullisempaan luokkaan maaperän sulfaattipitoisuuden perusteella tehtävässä rasitusluokan määrittelyssä. Betonin toistuva kastuminen ja kuivuminen saattavat aiheuttaa sulfaatti-ionien kasaantumisen, jolloin raja-arvoa tulee tarkastaa.

Paalujen XC2:sta poikkeavien rasitusluokkien tulisi perustua riittäviin pohjatutkimuksiin ja maaperäanalyyseihin, jotka ovat avainasemassa paalujen säilyvyysuunnittelun lähtökohtien määrittelyssä. Maaperä- ja pohjavesinäytteiden ottamista suositellaan, mikäli on epäily maaperän epätavanomaisista kemiallisista olosuhteista, tässä yhteydessä on huomioitava raja-arvojen eroavaisuus maa- ja vesinäytteelle (taulukko 1). Happamien sulfaattimaiden esiintymistä Suomessa on kartoitettu ja tietoa näistä on julkisesti saatavissa Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) ylläpitämässä karttapalvelussa. Happamat sulfaattimaat Suomessa esiintyvät pääosin muinaisen Litorina-meren korkeimman rantaviivan alapuolisilla alueilla.

Laajemmin paalujen säilyvyysuunnittelua sekä rasitusluokkien yhdistelmiä on käsitelty Paaluinfoissa 2/2016 ja 1/2019, jotka ovat ladattavissa betoni.com sivustolta.

Työkalut suunnittelijalle

Paaluperustusten suunnittelun tueksi RT Betonipaaluilla® on julkaistu tavanomaisimpien ohjelmistojen kanssa yhteensopivia työkaluja, joita käyttäen suunnittelutyö tehostuu. RT:n teräsbetonipaaluperustuksille on suunniteltu tyyppirakenteiksi vakiopaaluanturat raudoiteluetteloineen sekä seinä- että pilariperustukselle. Vakiopaaluanturoille on valmiiksi lasketut momentti-normaalivoimakapasiteetikäyrästä sekä suunnitteluohjeet, joiden käyttäminen tekee sopivan anturan valinnasta yksinkertaista. Suunnitteluohjeen valintakäyrästä on edellisestä

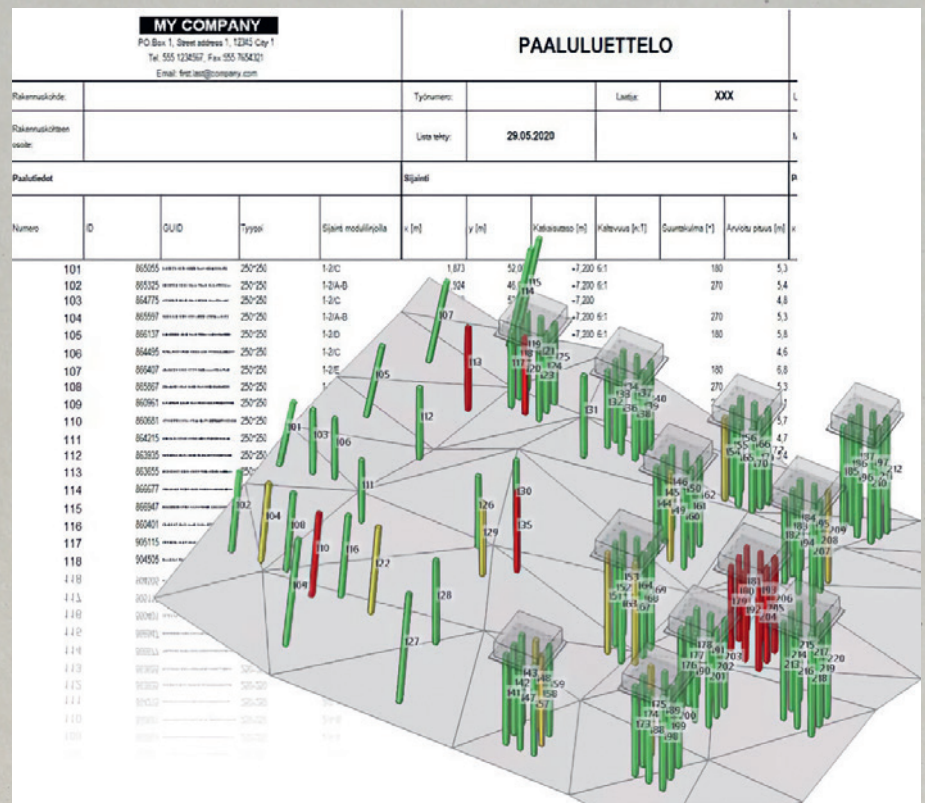
painoksesta poiketen huomioitu paalun sijaintipoikkeaman vaikutus. Autocad-blokit ja Tekla Structures -työkalut helpottavat suunnitteluaineiston laatimista. Autocad-blokit ovat ladattavissa betoni.com sivustolta ja Tekla Structures sovellus Tekla Warehousesta nimellä BEC Pile (RT Betonipaalut).

Autocad-blokit on toteutettu hyödyntäen blokkien dynaamisia ominaisuuksia ja automaattisesti täydentyviä tekstikenttiä. Lisäksi blokkeihin on sisällytetty täydennettäviä attribuutteja, joita voidaan hyödyntää luettaessa tietoa suunnitelmassa esiintyvistä blokeista paaluluettelon luomista varten.

Tietomallipohjaisen suunnittelun myötä paaluluetteloiden tulostaminen suoraan suunnitteluaineistosta on tehty yksinkertaiseksi. Lisäksi tärkeänä yksityiskohtana on mahdollisuus tiedonsiirtoon toteuma-aineistosta eli paalutuspöytäkirjoista takaisin malliin. Tämän ominaisuuden avulla voidaan helposti visualisoida paalujen poikkeamia suunnitellusta sekä näiden vaikutusta samalla automatisoiden toteumamallin luomista. Tekla Structures sovellukseen sisältyvä paaluluettelo on Suomen Geoteknillisen Yhdistyksen paalutuspöytäkirjalomakkeen mukainen.

3 Tekla Structures sovelluksen BEC Pile (RT Betonipaalut) tuloksena saadaan myös paaluluettelo.

4 Teräsbetonipaaluperustus on taloudellinen ja turvallinen ratkaisu, joka kestää hyvin erilaisissa olosuhteissa.



3



4