

Teräsbetonipaalujen säilyvyysuunnittelu

Teräsbetonipaaluja ympäröivän maaperän ominaisuudet saattavat vaikuttaa paalujen säilyvyyteen. Normaalitylanteessa paalut jäävät pohjaveden pinnan alle ja betoni karbonatoituu hyvin hitaasti, jos ollenkaan. Näin ollen raudotteet eivät ruostu ja paalut kestävät vaurioitumattomana hyvin pitkään. Toisaalta paalut ovat harvoja rakenteita, jotka ovat suojaamattomana alttiita maaperän kemiallisille rasituksille. Tyypillisenä esimerkkinä maaperän kemiallisesta rasituksesta on sulfaattirasitus. Lisäksi paaluja voi rasittaa myös pohjaveden normaalia korkeampi kloridipitoisuus.

Käytännössä suunnittelijat ovat päätyneet paalujen osalta varsin vaihteleviin rasitusluokkiin. Betoniyhdistyksen päivittäessä julkaisua *Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – Opas suunnittelijoille* (by68) myös paalut haluttiin ottaa mukaan osana esimerkkirakenteita, tavoitteena teräsbetonipaalujen säilyvyysuunnittelun yhtenäistäminen.

Normaalitapauksissa teräsbetonipaalut suunnitellaan 100 vuoden suunnitteluikäkäyttöille ja rasitusluokaksi riittää XC2, joka kattaa betonin karbonatoitumisen aiheuttaman teräskorroosioriskin.

Maaperäanalyysia suositellaan, mikäli on syytä epäillä, että paaluihin kohdistuu sulfaatti-, kloridi- tai muu kemiallinen rasitus. Analyysitulosten perusteella määritellään tarvittavat täydentävät rasitusluokat:

- Sulfaattien aiheuttama kemiallinen rasitus (XA1-XA3)
- Kloridien aiheuttama teräskorroosio (XS1-XS3)

Mikäli paaluihin kohdistuu muu kuin sulfaattien aiheuttama kemiallinen rasitus, tulee paalujen säilyvyysvaatimukset määrittellä

tapauskohtaisesti.

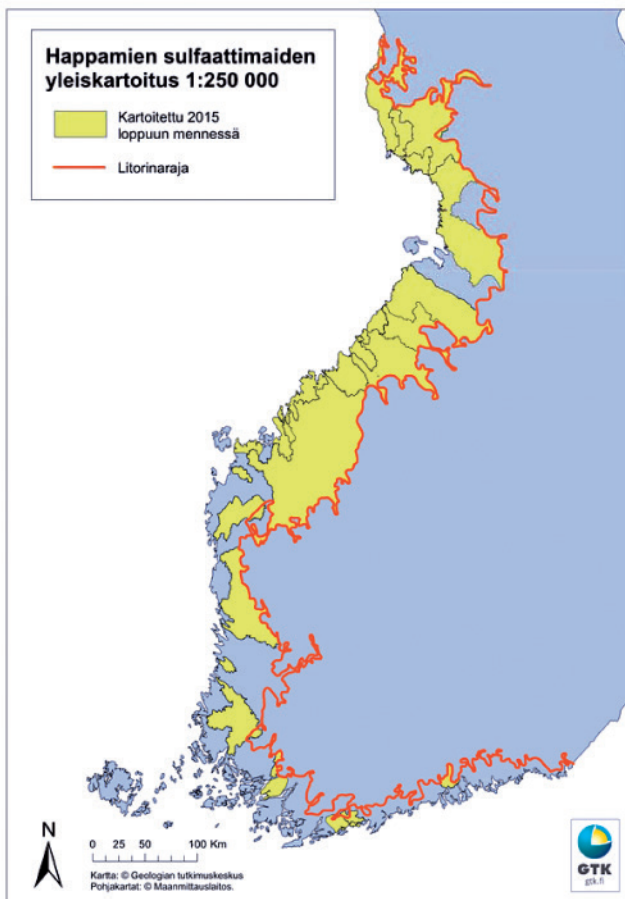
Muita rasitusluokkia ei paaluille tarvitse määrätä, ellei siihen ole hyvin perusteellisia syitä. Esimerkiksi pakkasrasitukselle paalut eivät normaalisti altistu maanalaisina rakenteina ja näin XF-rasitusluokkia ei tarvita. Myöskään jäänsulatusaineet (XD-luokat) eivät normaalisti aiheuta paaluihin rasituksia, vaikka paalut olisivat esim. tierakenteen yhteydessä. Mikäli paaluja käytetään esim. laiturirakenteissa niin, että paalut ovat alttiina merivedelle, on

säilyvyysuunnittelu tehtävä laiturirakenteiden periaatteiden mukaisesti.

Mikäli suunnittelukäyttöikä poikkeaa normaalista 100 vuodesta, on paalujen säilyvyysuunnittelu tehtävä tapauskohtaisesti.

Happamat sulfaattimaat

Suomessa esiintyy happamia sulfaattimaita, jotka ovat potentiaalisesti aggressiivisia paaluille ja muille suojaamattomille betonirakenteille. Happamia sulfaattimaita esiintyy erityisesti muinaisen Litorina-meren korkeimman



1 Happamien sulfaattimaiden tyypilliset esiintymisalueet. Geologian tutkimuslaitos, GTK. Happamat sulfaattimaat esiintyy yleensä Litorina-meren rantaviivan alapuolella, Etelä-Suomessa noin 40 m korkeuskäyrän alapuolella ja Pohjois-Suomessa noin 100 m korkeuskäyrän alapuolella.

Taulukko 1 Rasisitusluokkayhdistelmän valinta pohjaveden sulfaatti- ja/tai kloridipitoisuuden mukaan.

Pohjaveden sulfaattipitoisuus	Pohjaveden kloridipitoisuus	
	Kloridipitoisuus ≤ 1000 mg/l	Kloridipitoisuus > 1000 mg/l
Sulfaattipitoisuus ≤ 200 mg/l	XC2	XC2; XS2
Sulfaattipitoisuus: 200...600 mg/l	XC2; XA1	XC2; XS2; XA1
Sulfaattipitoisuus > 600 mg/l, mutta korkeintaan 3000 mg/l.	XC2; XA2	XC2; XS2; XA2

Pohjaveden sulfaattipitoisuus > 3000 mg/l (XA3-luokka) on käytännössä erittäin harvoin esiintyvä tilanne, tällöin paalujen vaatimukset tulee määrittellä tapauskohtaisesti, kuten myös XA-rasisitusluokan määräytyessä muun kuin sulfaattipitoisuuden perusteella. Kriittinen kloridipitoisuus on valittu niin, että vaikka betoni olisi kyllästetty pohjavedellä, jonka kloridipitoisuus on 1000 mg/l, vaaraa terästen korroosiolle ei ole.

rannan alapuolisilla alueilla, jotka ovat nousseet kuivalle maalle jääkauden jälkeisen maankohoamisen seurauksena. Kuvassa 1 on esitetty alueet, joissa happamia sulfaattimaita pääosin esiintyy. Geologian Tutkimuslaitoksen (GTK) Happamat sulfaattimaat -karttapalvelussa tarjotaan GTK:n tuottamaa kartoitustietoa happamien sulfaattimaiden esiintymisestä ja ominaisuuksista koko Suomen rannikkoalueella karkeasti muinaisen Litorina-meren korkeimpaan rantatasoon saakka.

Mikäli on mahdollista, että rakennuspaikalla esiintyy happamia sulfaattimaita, maaperä on tutkittava tarkemmin. Tällaiset maat voivat olla aggressiivisia paaluille ja muille vastaaville rakenteille, joissa maaperä on suoraan kontaktissa betonirakenteen kanssa. Ongelmia esiintyy lähinnä vain pohjavedenpinnan yläpuolisissa rakenteissa.

Paalujen rasisitusluokkayhdistelmät ja vaatimukset paaluille

Paalujen rasisitusluokat valitaan Taulukon 1 mukaisesti ja vastaavat teräsbetonipaalujen vaatimukset on esitetty Taulukossa 2.

Taulukossa 2 on esitetty myös käytettävät paalutyypit. Normaali paalu soveltuu olosuhteisiin, jolloin ei ole merkittäviä sulfaatti- tai kloridirasituksia. Sulfaatinkestävä paalutyyppi vaaditaan, mikäli pohjaveden sulfaattipitoisuus ylittää arvon 600 mg/l ja rasisitusluokaksi määrittyy XA2.

Sulfaatinkestävyyksivaatimus nostaa teräsbetonipaalun hintaa noin 10 %. E-Paalu vaaditaan, mikäli pohjaveden kloridipitoisuus on korkea (> 1000 mg/l). Tällöin betonipeitettä joudutaan kasvattamaan 45 mm:iin ja siten myös betonipaalujen teräsmäärät kasvavat. E-Paalu on noin 20% kalliimpi kuin normaalipaalu.

*Jouni Punkki, professori, TkT
Betoniviidakko Oy*

Taulukko 2. Teräsbetonipaalujen vaatimukset rasisitusluokkien perusteella. Suunnittelukäyttöikä on 100 v.

	Suunnittelukäyttöikä	Rauditustyyppi (tr = tavanomainen betoniraudoite)	Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] ¹⁾	Vesi-sementtisuhde	Sementtityyppi	Paalutyyppi
XC2	100 v	tr	C35/45	25	–	– ³⁾	Normaali
XC2; XA1	100 v	tr	C35/45	25	0,50	– ³⁾	Normaali
XC2; XA2	100 v	tr	C35/45	25	0,45	SR ⁴⁾	Sulfaatinkestävä
XC2; XS2	100 v	tr	C35/45	45 ²⁾	0,40	– ³⁾	E-Paalu
XC2; XS2; XA1	100 v	tr	C35/45	45 ²⁾	0,40	– ³⁾	E-Paalu
XC2; XS2; XA2	100 v	tr	C35/45	45 ²⁾	0,40	SR ⁵⁾	E-Paalu sulfaatinkestävä

1) Betonipeitteen sallittu mittapoikkeama on 5 mm ja raudoitteen mittapoikkeama sisäänpäin 10 mm. Mikäli käytetään poikkeavaa mittapoikkeaman arvoa, on myös betonipeitteen nimellisarvoa korjattava.

2) Paalun minimikoko on 300 x 300 mm².

3) Ei vaatimuksia sementtityypille; kaikki standardin SFS 7022 taulukon 2-FI mukaiset sementit

4) XA2 tai XA3-rasisitusluokan määräytyessä sulfaattipitoisuuden perusteella: Käytettävä sulfaatinkestävää SR-sementtiä (CEM I - SR3) tai sideaineen tulee sisältää masuunikuonaa vähintään 70 % sideaineen kokonaismäärästä.

5) XS2 & XA2-rasisitusluokkayhdistelmä: Sideaineen tulee sisältää masuunikuonaa vähintään 70 % sideaineen kokonaismäärästä tai jos käytetään sulfaatinkestävää SR-sementtiä (CEM I - SR3), suositellaan säilyvyyttä parantavien seosaineiden käyttöä. Liikenneviraston kohteissa sideaineen tulee sisältää 3..5% silikaa.