

20601168

Kuopio, Heinjoen ylijäämämaiden läjitysalueen suunnittelu, VE1 ja VE2

VE1

Radan rakenteet on mallinnettu turvekerroksen päälle, mutta todellisuudessa rata on ohuen turvekerroksen vuoksi todennäköisesti perustettu kovaan pohjaan. Stabiiliteettitarkastelussa sillä ei ole merkitystä, sillä liukupinnat eivät yletä radan rakenteisiin. Vaarallisimmat liukupinnat on haettu penkereen ja olemassa olevan pohjamaan rajan läheisyyteen. VE1 kasattavan penkereen korkeus on rataa nähden noin 15 metriä korkea. VE1 pengerrättävän materiaalin kokonaismäärä on noin 3 milj. kuutiota.

Leikkaus 1-1

Leikkaus 1-1 sijaitsee radanvarren kriittisimmällä osiolla, jossa turve-/suoalue sijaitsee. Penkereen luiskakaltevuus on noin 5 astetta eli luiska on yli 1:10 kaltevuudessa. Laskelmissa tarkasteltiin penkereen stabiiliteettiä kitkakulmalla 28 astetta, joka vastaa löyhän siltin tai häiriintymättömän saven avoimen tilan lujuutta (koheesio= 0) sekä kitkakulmalla 15, joka vastaa heikon materiaalin lujuutta ennen lujittumista. Stabiiliteetti on tarkasteltu avoimessa tilassa. Varmuudet ovat kitkakulmalla 28 pienimmillään 3,64 ja kitkakulmalla 15 pienimmillään 2,28, jotka ovat selvästi varman puolella. Turvekerrokset on mallinnettu penkereen alla suljetun leikkauslujuuden 35 kPa arvolla ja luonnontilainen turve leikkauslujuuden arvolla 7 kPa. Kitkamaalajit on mallinnettu hiekan ja moreenin tavanomaisilla kirjallisuusarvoilla. Hiekan kitkakulma $\phi = 32$ ja moreeni $\phi = 36$ astetta.

Leikkaus 2-2

Leikkaus 2-2 sijaitsee hiekka/moreenipitoisen pohjamaan päällä. Samoilla materiaaliparametreilla tulokset ovat vastaavia leikkauksen 1-1 kanssa. Penkereen kitkakulmalla 15 astetta penkereen varmuus on pienimmillään 2,18, joka on edelleen reilusti turvallisella puolella. Käytännössä kasattavan materiaalin oletetaan lujittuvan häiriintymisen jälkeen sen verran, että tätä alhaisempia lujuuden arvoja ei kannata käyttää koko penkereen tarkastelussa, vaikka lujuus on heti läjityksen jälkeen varmasti tätä pienempi.

Leikkaus 3-3

Leikkaus 3-3 sijaitsee myös hiekka/ moreenipitoisen pohjamaan päällä. Samoilla materiaaliparametreilla penkereen stabiiliteetti on turvallisella puolella hyvin heikollakin maan lujuudella. Kitkakulmalla 15 astetta tarkasteltuna varmuus on pienimmillään 2,00. Pienempi varmuus verrattuna leikkauksiin 1-1 ja 2-2 selittyy hieman jyrkemmällä luiskakaltevuudella (7 astetta).

VE2

VE2 kasattavan materiaalin luiskakaltevuus on jyrkimmillään noin 1:5 ja penkereen korkeus verrattuna rataa on noin 25 metriä. VE1 verrattuna tarkastelua on tarkennettu todelliseen tilanteeseen sopivammaksi, sillä stabiiliteetti on varmuudella heikompi jyrkemmän luiskakaltevuuden ja korkeamman penkereen takia. VE1 penkereen stabiiliteetti ei ole vaarallinen, vaikka se on mallinnettu arviolta todellisuutta heikommalla pengermateriaalilla. VE2 penkereen korkeus on noin 25 metriä rataa nähden ja läjitettävä kokonaismäärä on noin 6 milj. kuutiota.

Leikkaus 1-1

Leikkaus 1-1 sijaitsee radanvarren kriittisimmällä osiolla, jossa turve-/suoalue sijaitsee. VE2 penkereen mallinnukseen on haettu eri vaihtoehtoja laajemmin, jotta voidaan arvioida eri tilanteiden ja materiaalien vaikutusta penkereen stabiliteettiin.

Luiskan varmuus ei riitä samoilla penkereen lujuusarvoilla kuin VE1 tarkasteluissa ($F < 1,8$), joten penkereen on oletettu kehittyvän kuivakuorikerros, jolla on suurempi lujuus kuin penkereellä. Penkereen alapuolista turvekerrosta on myös vahvistettu, jonka oletetaan yltävän 50 kPa suljettuun leikkauslujuuteen korkean penkereen alla.

Penkereen stabiliteetti on turvallisen puolella, kun materiaaliparametreihin tehtiin pieniä variaatioita. PVP on ajateltu olevan pahin mahdollinen eli noin 2 metrin syvyydessä penkereessä ja suoalueella pinnassa. Kuivakuorikerroksen lujuus on 25 kPa ja turpeen lujuus on nostettu 50 kPa. Penkereen kitkakulma on 28 astetta, joka vastaa löyhän siltin ominaisuuksia. Tämä on arvio keskimääräisestä lujuudesta hyvin epähomogeeniselle läjitysmateriaalille. Penger materiaalin kitkakulma muuttaminen 30 asteeseen nostaa varmuutta hyvin vähän (1,80ä 1,84).

Muutamia tarkasteluja tehtiin myös huokosvedenpainekertoimella, joka kuvaa myötäävän saven heikentynyttä lujuutta penkereessä, mutta sen käyttäminen laskennoissa on enemmänkin arvailua, sillä todellisten parametrien arviointi on hyvin vaikeaa (häiritty materiaali ja uudelleen lujittuminen). Tällöin lujuudet jäävät alle vaaditus varmuustason, mutta laskelma on ns. hyvin karkea arvio/arvaus todellisesta tilanteesta.

Leikkaus 2-2

Leikkaus 2-2 sijaitsee hiekka/ moreenipitoisen pohjamaan päällä. Penkereen luiskakaltevuus on vastaava leikkauksen 1-1 kanssa. Samoilla materiaaliparametreilla laskettuna leikkaus 2-2 varmuus on pienimmillään 2,17, vaikka kuivakuorikerrosta ei ole huomioitu leikkauksen 1-1 tavoin.

Leikkaus 3-3

Leikkaus 3-3 sijaitsee myös hiekka/ moreenipitoisen pohjamana päällä, mutta luiskakaltevuus on hieman jyrkempi verrattuna leikkaus 1-1 ja leikkaus 2-2. Leikkaus 3-3 varmuus kitkakulmalla 28 tarkasteltuna on pienimmillään tasan 1,8. Mallissa on 2 m paksuinen kuivakuorikerros ja pvp kulkee sen alapuolella koko penkereessä, samoin kuin leikkauksen 1-1 mallinnuksessa.

Pohdintaa:

Stabiliteetin arviointia vaikeuttaa epähomogeenisen täyttömateriaalin mallinnus. Ongelmallista on kerrokset penkereen sisällä, joiden lujuus on selvästi pienempi kuin ympäröivän pengermateriaalin. Vaarallisin liukupinta tulee hakeutumaan näihin kerroksiin ja voi kulkea niitä pitkin koko penkereen halki. Pengerryksessä pitäisi keskittyä erilaatuisten materiaalin limittämiseen ja oikeaan sijoitteluun, jotta yhteneviä heikkoja kerroksia ei syntyisi penkereen sisälle. Penkereen rakenteesta tulee joka tapauksessa kerroksellinen sekä epätasainen lujuuden ja stabiliteetin osalta, joten erilaatuisten pengermateriaalien sijoittelu on ensiarvoisen tärkeää.

Toinen vaikea mallinnuksen kohde on pohjaveden asettuminen penkereessä. Laskelmissa on oletettu, että pohjaveden pinta tulee asettumaan noin 2 metriä penkereen pinnasta. Pengerrettävä materiaali on oletettavasti huonosti vettä läpäisevää ja kosteaa, eikä välttämättä ehdi kuivua haihtumalla ennen kuin uusi kerros pengermateriaali levitetään. Täten penkereen sisälle jää hyvin todennäköisesti orsivesikerroksia. Myös pohjaveden kapillaarinen nousu voi jollain savilla olla jopa 10 metriä, joten

pohjavesi ei tule asettumaan nykyiseen pohjavedenpintaan. Pohjavedenpinnan lopullinen sijoittuminen on vaikea arvioida. Läjityksen edetessä PVP oletetaan kehittyvän stabiliteetin kannalta positiiviseen suuntaan. Oletettavasti PVP nousee penkereessä sen lopulliseen asemaan ajan saatossa eli penkereen kuormitus laskee nosteen ansiosta. Vastakkainen asetelma olisi hyvin vaarallinen sillä, jos PVP laskee ajan saatossa penkereessä ennen materiaalin riittävää lujittumista, kuormitus kasvaa pengertämisen sekä pohjavedenpinnan laskun myötä.

Etenkin VE2 läjityksessä luiskien reuna-alueet tulisi läjittää lujemmalla materiaalilla ja aloittaa tuleva maisemointi jo rakennusvaiheessa, jotta luiskaa syntyisi sitova kasvukerros jo rakennusaikana. On hyvin mahdollista, että penkereen stabiliteetin kannalta vaarallisin tilanne on rakennusaikainen. Esimerkiksi VE2 luiskakaltevuus muuttuu loivemmaksi noin 10 metrin pengertämisen jälkeen. Luiskien reuna-alueille tulisi muutenkin sijoittaa materiaalia joka lujittuu nopeasti ja toimisi heti stabiliteettia nostava tekijänä. Yksi vaihtoehto voisi olla myös turpeen poistaminen luiskan reunan alta tietyltä matkaa, jolloin mahdollinen murtopinta ei kulkisi heikon alueen läpi.

Tarkasteluissa VE1 kanssa ei todennäköisesti tule ongelmia stabiliteetin kanssa, on pengermateriaali kuinka heikkoa tahansa, sillä luiskakaltevuus on niin loiva. VE2 leikkaus 1-1 ja 3-3 ovat kriittisimmät, sillä leikkaus 1-1 alla on turvetta ja leikkaus 3-3 penkereen luiskakaltevuus on jyrkin.

Mallinnukset ovat arvioita ns. huonoimmasta tilanteesta, joissa penkereen stabiliteetti on vielä riittävä. Todellisuudessa materiaali voi lujittua ja kuivua jo pengerrysvaiheessa niin paljon, että vaarallimmat liukupinnat syntyvät vasta pengertämisen jälkeen, kun kuormitusta ei enää lisätä ja PVP hakeutuu lopulliseen asemaan. Pengermateriaali tulee varmuudella painumaan hyvinkin paljon, sillä materiaalin tiivistyminen ja pengermateriaalin luonne (savi) on altis painumille. Epätasainen painuma ja savien hiipumisesta johtuva lujuuden heikkeneminen voi muuttaa merkittävästi luiskan stabiliteettia. Laskelmien tuloksia tulee arvioida niin, että ovatko ne todellisuutta vastaavia ja miten ne vastaavat pengerrättävän materiaalin ominaisuuksia. Laskelmien ja oletettavan pengermateriaalin ominaisuuksia arvioiden, pitäisiin laskelmia oikean suuntaisina ja molempia VE1 ja VE2 mahdollisina rakenteina. VE2 verrattuna VE1 vaatii tosin tarkempaa työaikaista seurantaa ja suunnittelua, sillä pengerkorkeus ja luiskakaltevuus on stabiliteetin kannalta kriittisemmät.

Stabiliteettitarkastelussa pengermateriaali on oletettu homogeeniseksi muiden kuin kuivakuoren osalta. Tämä on sinällään ongelma, koska materiaali levitetään löyhässä/häirityssä tilassa ja tiivistyminen tapahtuu vasta penkereen kasvaessa. Kuitenkaan kaikki pengerrättävä materiaali ei lujitu tiivistymisen myötä samalla tavalla tai samanaikaisesti, vaan esimerkiksi savet saattavat heiketä myötäämisen johdosta ennen kuin saavuttavat lepotilaa vastaavan lujuuden.

Penkereen jatkuva valvonta myös pintaeroosion ja sisäisen eroosion varalta on tärkeää. Epätasainen materiaali voi altistaa erilaisiin suotovirtauksiin penkereen sisällä, joka voi vaihdella hyvinkin merkittävästi eri materiaaleilla.

Turussa 8.8.2017,

Jouni Marjaniemi
Geotekninen suunnittelija, DI
Sweco Ympäristö Oy