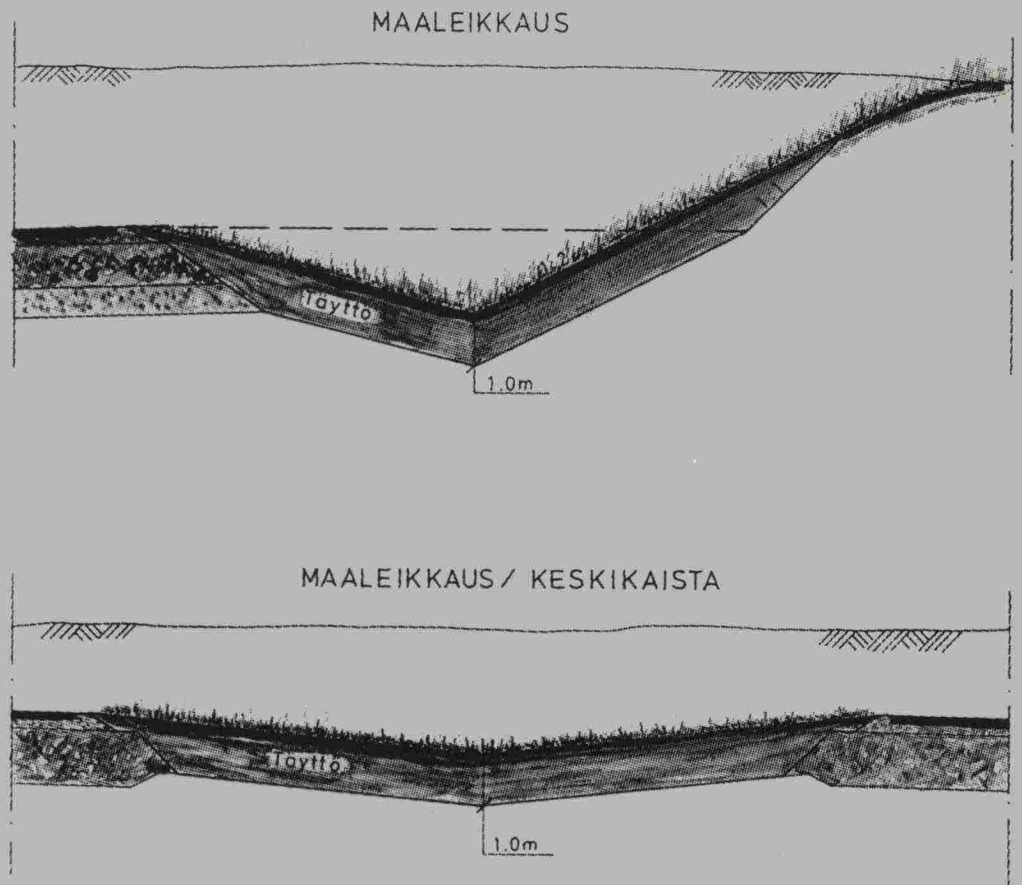


Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa



Tielaitoksen
selvityksiä

18/1991

Helsinki 1991

Tiehallitus
Kehittämiskeskus

Tielaitoksen selvityksiä
18/1991

Rathmayer Hans, Juvankoski Markku

**Pohjaveden suojaus maatiivisteellä
tien luiskassa**

Tielaitos
Tiehallitus, Kehittämiskeskus

Helsinki 1991

2. painos
ISBN 951-47-4372-5
ISSN 0788-3722
TIEL 3200017
Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1991

Julkaisua myy
Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos
Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 1541

Asiasanat pohjavesi, tie, luiskat, vesitiivis, saastuminen, suojaus

Tiivistelmä

Tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää Tiehallituksen ja Vesi- ja ympäristöhallituksen pohjavesiesiintymien suojelua tien kohdalla varten laadittavan ohjeen pohjaksi maa-aineksesta rakennettavalta luiskasuojaukselta vaadittavia ominaisuuksia. Luiskasuojauksella estetään pohjavettä muodostavilla alueilla ja pohjavedenottamoiden suoja-alueilla esimerkiksi säiliöauto-onnettomuuksien yhteydessä haitallisten aineiden pääsy pohjaveteen.

Raportissa on lyhyesti käsitelty kirjallisuuden pohjalta mineraalitiivisteiden toimintaan vaikuttavia tekijöitä, vedenläpäisevyyseroja maastossa - laboratoriokeudessa sekä roudan ja kemikaalien vaikutusta maamateriaalin vedenläpäisevyyteen. Kunkin tekijän vaikutus vedenläpäisevyyden kasvuun saattaa olla jopa 1000-kertainen.

Lisäksi on esitetty kirjallisuuteen pohjautuvia suolan leviämisestä tehtyjä havaintoja ja suolan vaikutusten arviointia. Paraikaa on Suomessa käynnissä selvitys talvisuolauksen vaikutuksesta pohjavesien suolapitoisuuteen.

Projektin yhteydessä tutkittiin valmiita luiskasuojauksia viidessä kohteessa. Kohteissa luiskasuojausmateriaalin vedenläpäisevyys määritettiin sekä maastossa että laboratoriossa. Laboratoriossa määritettiin maanäytteistä lisäksi rakeisuus, vesipitoisuus sekä maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus. Kemikaalien vaikutusta silttimoreenin ja savisen siltin läpäisevyyteen tutkittiin bensinillä, dieselöljyllä, suolaliuksella, ksyleenillä ja metanolilla. Jäätymis-sulamisvaihtelun vaikutusta maan vedenläpäisevyyteen tutkittiin kahden ja neljän jäädytys-sulatus -syklin jälkeen.

Kemikaalien läpäisevyyškokeiden perusteella ei tutkittujen kemikaalien voitu lyhytaikaisessa kokeessa yleensä huomata vaikuttavan läpäisevyyttä suurentaen, lukuunottamatta suolaliuosta, jolla läpäisevyys oli 7-kertainen vedenpääpäisevyyteen nähden. Jäädityssulatuskokeissa alunperin tiiviissä tilassa olleiden näytteiden läpäisevyysarvot kasvoivat kahden syklin jälkeen suurimmillaan 2.5-kertaisiksi ja neljän syklin jälkeen 1.9-kertaisiksi.

Maastossa suoritettujen vedenläpäisevyyškokeiden perusteella voidaan todeta, että tyydyttävään vedenläpäisevyyden arvoon voidaan laihoilla savilla ja silttimoreeneilla päästä, mikäli läpäisyprosentti raekoon 0.074 mm kohdalla on yli 70 % ja tiivysaste parannettuun Proctorkokeeseen nähden on vähintään 85 %. Läpäisyprosentin ollessa alle 70 %, mutta vähintään 60 %, on tiivysasteen oltava vähintään 90 %.

Materiaalin valintakokeissa vedenläpäisevyyden tulee olla laboratoriossa 90 %:n Proctor-tiiviydessä optimivesipitoisuudessa pienempi kuin 5×10^{-8} m/s. Tämä arvo on sadasosa maastossa tavoitellusta läpäisevyyden enimmäisarvosta 5×10^{-6} m/s, joka on laskettu 12 tunnin läpäisy aikaotaksuman pe-

rusteella. Tällöin on otettu huomioon mahdolliset kuivumishalkeamat, erilaiset tiivistystavat maastossa ja laboratorioissa, jäätymissulamsvaihtelut, rakeisuuden lievät vaihtelut ja kemiallisten aineiden vaikutukset.

Valmiina olevien luiskasuojausten tutkimisen yhteydessä tuli ilmi monia nykyisen käytännön mukaan rakennettavien luiskasuojausten puutteita, mm. tiivistysaste luiskasuojuuksissa oli verraten alhainen. Luiskasuojuuksessa olevan materiaalin kunnollinen tiivistäminen on aina välttämätöntä. Luiskasuojausrakenteista havaituista puutteista vakavampia olivat vesieroosion aiheuttamat syöpymisreitit luiskasuojuuksessa, joita oli havaittavissa uusissa keskeneräisissä luiskasuojauskohteissa, joissa tie on perustettu louhepenkereelle. Louhepenkereelle rakennettujen teiden luiskasuojuuksessa on käytettävä louheen ja luiskasuojausmateriaalin välissä VTT/GEO-luokituksen mukaista IV-luokan kuitukangasta.

Erityisen vaativissa kohteissa tiivisterakenteen pitkäaikaistoimivuuden varmistamiseksi suositellaan bentoniittimaton, vähintään 1,0 mm paksuisen muovikalvon tai bitumilla käsitellyn IV-luokan kuitukankaan asentamista mineraalitiivisteen alle.

Key words groundwater, road, slopes, watertight, contamination, protection

Abstract

On behalf of the National Road Administration and the National Board of Waters and the Environment a code of practice for the protection of groundwater reservoirs in connection with road constructions has been elaborated. The aim of this research work was to set demands for mineral liners for slope protection of roads.

A slope protection as a constructive measure shall prevent the migration of pollutants to the groundwater in areas of virgin groundwater formation or in the protective zone of water supply stations in cases like accidents of oil lorries etc.

Based on a literary survey some parameters influencing the behaviour of mineral liners, like the influence of frost and chemical actions or differences between field and laboratory measurements on the water permeability, are dealt with shortly. Each of these factors might cause an increase of the water permeability up to 1000 times.

Complementary literature is reviewed on observations of migration and outspreading of road salt as well as judgements on the influence of the salt. At present, the influence of winter salting on the salt content in the groundwater is studied in Finland.

Five existing slope protection structures were studied and their water permeability values determined both in field and in laboratory. In addition, granulometry, natural water content, maximum dry density and corresponding optimum water content were determined. The influence of chemicals on the permeability of silt moraine and clayey silt was studied using gasoline, diesel petrol, salt solution, xylene and methanol. The influence of frost-thaw periods on the water permeability was studied after 2 and after 4 freeze-thaw cycles.

According to the permeability tests with different chemicals, no significant increase in permeability could be observed in short-term tests, except with salt solution, which resulted in 7 times higher permeability values.

During freeze-thaw cycles with initially dense samples the permeability increased and was after 2 cycles up to 2,5 times and after 4 cycles up to 1,9 times the initial value.

The field permeability tests performed allow the conclusion that for clayey soils and silt moraines sufficiently low permeabilities can be achieved, if the fines content at $\phi = 0,074$ mm is > 70 % and the modified Proctor density higher than 85 %. For fines content < 70 % but > 60 %, a modified Proctor density better than 90 % is required.

In laboratory tests to be performed for the selection of suitable materials a permeability value of $< 5 \cdot 10^{-8}$ at a modified Proctor density of 90 % and optimum water content is required. The value is 1/100 of the maximum permeability value $5 \cdot 10^{-6}$ required in field conditions to meet a 12 hours water retention demand. These requirements imply possible shrinkage cracks, differences resulting from field or laboratory compaction, freeze-thaw cycles, variations in granulometry and in the behaviour of different chemicals.

Existing slope protections showed several weak points in common construction practice, especially a relatively low degree of compaction. Careful compaction of the slope protection material is always essential. The most critical faults in slope protections were the erosion channels, which could be observed especially in recently constructed protective layers resting on crushed rockfill. Such a structure requires a class-IV geotextile (according to VTT-GEO classification) as a separator between rockfill and protective layer.

In most demanding cases and to ensure the long-term functioning of the liner it is recommended to use a bentonite-filled composite geotextile, a geomembrane of a thickness $> 1,0$ mm or a bituminized class-IV geotextile underneath the mineral liner.

Alkusanat

"Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tienluiskassa" on tarkoitettu palvelemaan Tielaitoksen vastaavan suosituksen laatimista. Tutkimuksessa on tarkasteltu jo olemassa olevia luiskasuojauksia ja selvitetty niitä vaatimuksia, joita tyydyttävästi toimivalta luiskasuojaukselta edellytetään.

Tässä lyhytraportissa on esitetty tutkimuksen oleellisin sisältö. Tutkimuksen ovat tehneet erikoistutkija Hans Rathmayer ja tutkija Markku Juvankoski Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorista.

Tutkimuksen on tilannut tiehallituksen kehittämiskeskus.

Sisältö

1 TUTKIMUKSEN TAVOITE	11
2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS	11
3 TUTKITUT MAA-AINEKSISET LUISKASUOJAUSKOHTEET	15
4 MAASTO- JA LABORATORIOKOKKEET	16
5 LUISKASUOJAUSKOHTEIDEN ARVIOINTI	21
6 JOHTOPÄÄTÖKSET LUISKASUOJAUSOHJETTA VARTEN	21
KIRJALLISUUS	23

1 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää pohjavesiesiintymien suojelua varten maa-aineksesta rakennettavalta luiskasuojaukselta vaadittavia ominaisuuksia. Tutkimus liittyy Tiehallituksen ja Vesi- ja ympäristöhallituksen yhteisen suojausohjeen laatimiseen.

Pohjavettä muodostavilla alueilla ja pohjavedenottamoiden suoja-alueilla luiskasuojauksilla estetään esimerkiksi säiliöauto-onnettomuuksien yhteydessä haitallisten aineiden pääsy pohjaveteen. Suojauksen tulee estää haitallisten nesteiden pääsy pohjamaahan n. 12 tunnin ajan, jona aikana torjuntakalusto on kerännyt maastoon levinnyttä ainetta, estänyt sitä leviämistä lisää ja poistanut saastuneen maakerroksen.

2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS

Projektin alkuvaiheessa tehtiin kirjallisuushaku useasta alan kirjallisuutta sisältävästä tietokannasta (VANYTT, RSWIB, ICONDA, GEOMECH. ABSTRACTS, GEOREF, POLLUTION, ENVIROLINE, IRRD). Raportissa on lyhyesti käsitelty kirjallisuuden perusteella maa-ainestiivisteiden toimintaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi on esitelty kirjallisuuteen pohjautuvia suolan leviämistä tehtyjä havaintoja ja suolan vaikutusten arviointia.

Mittakaavatekijät, vedenläpäisevyserot maastokokeessa ja laboratoriokokeessa

Monissa tapauksissa on osoittautunut, että tiivisterakenteen vedenläpäisevyys maastossa on ollut suurempi kuin laboratoriokokeiden mukaan on voitu arvioida. Häiriintymättömät pienet maanäytteet eivät yleensä sisällä halkeamia siinä määrin kuin maastossa testattavat maakerrokset. Samasta syystä maastossa suoritetuissa kokeissa suuremman mittauspinta-ala omaavalla tutkimuslaitteella saadaan suurempia vedenläpäisevyyksiä kuin pienemmillä. Samoin tiivistysmenetelmät, -välineet, tiivistystyö ja tiivistettävän materiaalin vesipitoisuus laboratoriossa ja maastossa poikkeavat toisistaan.

Maastossa, lähinnä vesialtaista (tiivistemateriaalina käytetty savea) mitatut vedenläpäisevyyden arvot ovat olleet keskimäärin 6...300 /20/ ja 10...1000 /8/ -kertaisia (n. 12 tapausta), laboratoriossa mitattuihin arvoihin nähden. Mitattujen vedenläpäisyyksien vaihteluväli on kuitenkin ollut 5...100 000 -kertainen laboratoriossa saatuihin vedenläpäisyyksiin nähden. Vedenläpäisyn on todettu tapahtuvan pääasiassa suurien rakojen ja halkeamien kautta.

Roudan vaikutus vedenläpäisevyyteen

Maatiivisteiden toistuva jäätyminen ja sulaminen aiheuttavat savissa ja silteisissä vedenläpäisevyyden kasvamista. Sulan maan vedenläpäisevyyteen nähden toistuvasti jäätyneen ja sulaneen maan vedenläpäisevyyden on todettu olevan 2...10 -kertainen /19,15/, jopa 1000 -kertainen /5/.

Siltissä jäätyminen ja sulamisen vaikutus suojauksen toimintaan saattaa olla jopa pahempi kuin savessa, koska siltissä jäälinssejä voi muodostua helpommin kuin savella, jonka vedenläpäisevyys on pienempi. Toistuva jäätyminen ja sulaminen vaikuttavat savisten silttien rakenteeseen rakeistamalla maan rakennetta, jolloin tehokas huokostilavuus ja sulaneen maan vedenläpäisevyys kasvavat. Kutistumishalkeamia savisissa silteissä ei kuitenkaan ole ilmennyt, kuten savessa, vaan läpäisevyyden suureneminen johtuu savilajitteen tilavuuden pienemisestä huokostilassa /15,5/. Savella vedenläpäisevyyden muutokset voivat olla karkeasti jopa 1000 -kertaisia vesipitoisuuden ollessa lähellä juoksurajaa ja 10-kertaisia lähellä kieritysrajaa /5/. USA:ssa vaarallisten jätteiden peittämiseen käytettävien savikerrosten on myös havaittu sulamisen ja jäätyminen jälkeen johtavan vettä 100-kertaa paremmin kuin ennen jäädyttämistä /5/.

Kemikaalien vaikutus maamateriaalin vedenläpäisevyyteen

Kirjallisuudesta käy ilmi, että kemikaalien vaikutus maan läpäisevyyteen ei ole täysin selvä. Toiset nesteet saattavat suurentaa läpäisevyyttä ja toiset pienentää. Suurimmillaan kemikaalien vaikutuksen saven läpäisevyyttä suurentaen on raportoitu olevan 100...1000 -kertaisen /13/. Joissain kokeissa saven läpäisevyyden on kylläkin havaittu jopa pienentyneen, kun kemikaaleja on käytetty läpäisevyysarvon määrittämiseen. Kokeen suorituslaitteistolla on myös merkitystä, koska näytteet voivat kutistua jäykkäseinäisessä läpäisevyyden määrittämlaitteistossa /11,1/. Jäykkäseinäisellä määrittämlaitteistolla suoritettu koe kuvaa kuitenkin parhaiten savitiivisteelle tulevaa pahinta tapausta eli tapausta, jossa maan päällä ei ole juurikaan kuormitusta /1/. Myös kokeen suoritustapa vaikuttaa lopputuloksiin (esim. veden kyllästämä maa / kuivattu maa kokeen alussa /9/).

Myös läpäisevyyden määrittäksessä käytetyn nesteen konsentraatio vaikuttaa läpäisevyyden muutoksen suuruuteen, muttei kuitenkaan yksikäsitteisesti. Alhaisilla nesteen konsentraation arvoilla läpäisevyydet jopa pienenevät /11/. Nesteen konsentraatiota suurempi merkitys lienee nesteen dielektrisen vakion suuruudella. Jos nesteen dielektrinen vakio on alle 35, on nesteellä huomattava vaikutus läpäisevyyden kasvamiseen. Sen sijaan läpäisevyyden kasvua ei ole havaittu nesteillä, joiden dielektrinen vakio on yli 40. Kahdella savilaadulla suoritetuissa kokeissa vielä 80 %:sella metanolilla läpäisevyys ei muuttunut, mutta 100 %:sella metanolilla läpäisevyys jäykkäseinäisellä laitteistolla suoritettussa kokeessa oli 5,6...7,5 -kertainen vedenläpäisevyyteen nähden. Puhtaalla trikloorietyleenillä läpäisevyydet olivat 140...500 -kertaiset. Joustavaseinäisellä laitteistolla suoritetuissa kokeissa läpäisevyyden kasvua ei juuri havaittu tai läpäisevyys jopa pieneni. Pienemmillä konsentraatioilla ei myöskään ollut ratkaisevaa merkitystä läpäisevyyden kasvuun. Veden dielektrinen vakio on 80,1, metanolin (100 %) 33,6 ja trikloorietyleenin 3,4 /1/.

Myös nesteen maahan joutumistapa vaikuttaa maan läpäisevyyteen. Viitteen /9/ mukaan saven vedenläpäisevyyden havaittiin kasvavan arvosta $5 \cdot 10^{-8}$ arvoon $1 \cdot 10^{-3}$ cm/s, kun nesteen dielektrinen vakio laski arvosta 80 arvoon 2. Kokeissa näyte valmistettiin sekoittamalla maa siihen nesteeseen, jonka läpäisevyyttä tutkittiin.

Vedellä kyllästetyn näytteen läpäisevyyttä tutkittaessa monet kemikaalit eivät lisänneet läpäisevyyttä pienestä dielektrisyydestään huolimatta (mm. benseeni, 2.23). Metanoli ja etanoli (25) kasvattivat läpäisevyyden kuitenkin n. 10 -kertaiseksi kokeen aikana (n. 4 päivää). Läpäisseeistä nesteestä mitattu metanolin konsentraatio oli kuitenkin vain 80 % /9/.

Ensin vedellä kyllästetyn, sitten alkoholilla kostutetun ja vielä yksinkertaisilla aromaattisilla liuoksilla läpäistyn näytteen vedenläpäisevyydeksi on mitattu kuitenkin 10000 -kertainen arvo pelkästään veden läpäisevyyteen verrattuna, mikä vastaa lähes puhdasta kuivaa maata ja benseeniä sekoitettaessa saadun näytteen läpäisevyyden arvoa. Tämä johtunee siitä, että etanoli on sekä veteen että benseeniin liukenevaa ja korvaa veteen liuennutta etanolia maassa /9/. Maan huokosissa oleva vesi siis suojaa maata muiden nesteiden maata rakeistavaa ja kutistavaa vaikutusta vastaan.

Johtopäätöksiä kirjallisuuden perusteella

Edellä käsiteltyjen, maatiivistyksen toimivuuteen mahdollisesti epäedullisesti vaikuttavien, kaikkien tekijöiden maksimaalinen huomiointi ei taloudellisen lopputuloksen aikaansaamiseksi ole mahdollista. Kirjallisuudessa esitetyt tiedot ovat lisäksi - jos eivät aivan ristiriitaisia, niin kuitenkin paljon toisistaan poikkeavia. Riittävän varman, muttei kuitenkaan ylimitoitettun ratkaisun löytämiseksi on maatiivisteiden optimoinnissa nojaututtava melko vahvasti olemassa olevien luiskasuojauksen tutkimustuloksiin.

Suolan vaikutus maaperään

Viitteen /3/ mukaan talvisuolauksen vaikutuksia ei tavallisesti voida jäljittää yli 25 metrin etäisyydelle tien reunasta. Myös muiden tutkimusten /25,4/ mukaan suolan vaikutusalueen tien linjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa on todettu olevan verraten kapea.

Suurin osa talvisaikaan käytetystä suolasta varastoituu lumikinoksiin alle kolmen metrin etäisyydelle tien reunasta /4/. Jo vuorokausi sulamisen alkamisesta tien reunoilla on kuitenkin mitattu korkeita suolapitoisuuksia jopa 60 cm:n syvyydellä /25/. Suurimmat pitoisuudet on yleensäkin mitattu 50...70 cm syvyydellä maanpinnasta /3,4/. Tosin maaperä näyttää vaikuttavan pitoisuuksien maksimiarvojen sijaintiin. Eräissä tapauksissa on suolan havaittu kerääntyvän vuodesta toiseen maahan, mikä on johtanut suuriin suolapitoisuuksiin. Luiskasuojauksista käytettäessä on ilmeistä, että suolaa kerääntyy jonkin aikaa luiskasuojausmateriaaliin ja valuminen alaspäin alkaa vasta myöhemmin.

Suolan vaikutus pinta- ja pohjavesiin

Eräiden mittausten perusteella suolauksen vaikutus pintavesien kloridipitoisuuteen on vähäinen /4/. Eräissä Tukholman alueen vesivarastona toimivassa järven rannalla moottoritie E3/E4 kulkee, on 20 vuoden aikana havaittu kloridipitoisuuden nousseen arvosta 8...10 mg/l arvoon 15 mg/l. Kaukana suolankäyttökohteesta olevassa pohjavesiesiintymästä mitattujen kloridiarvojen on Ruotsissa todettu kasvaneen kuudessa vuodessa ar-

vosta n. 35 mg/l arvoon n. 49 mg/l tiesuolauksesta johtuen /2/. On kuitenkin huomattava, että suolapitoisen veden tiheys on suurempi kuin puhtaan veden tiheys. Tästä syystä suola kerääntyy vesitaskuihin, maapohjassa oleviin syvänteisiin, joissa virtausnopeudet ovat pienet. Suola siis rikastuu maapohjaan tietyissä olosuhteissa ja raja-arvojen ylittyminen on siten vain ajan kysymys.

Talvisuolauksen aiheuttaman pohjavesien saastumisvaaran arvellaan Ruotsissa olevan melko pieni /3/. Ruotsissa suolasta aiheutuneita pohjaveden saastumistapauksia on todettu n. 40 tapausta 10 vuodessa. Muissa Euroopan maissa kokemukset ovat hyvin olleet samantapaisia. USA:ssa on kuitenkin osavaltioita, joissa on satoja saastumistapauksia /4/. Syynä tähän ovat USA:ssa käytetyt suuremmat suolamäärät ja se, että jo hyvinkin alhaiset natriumpitoisuudet luetaan saastumistapauksiksi.

Tiesuolauksen vaikutusta pohjavesien suolapitoisuuteen tutkitaan paraikaa myös Suomessa Salpausselän alueella /22/. Salpausselkä on tärkein pohjavesialue Suomessa. Salpausselän alueella pohjaveden suolakonsentraatiot ovat kasvaneet moninkertaisiksi 1960-luvulta lähtien, jolloin suolausta alettiin yleisesti käyttää teiden liukkauden torjuntaan.

Geologiset olosuhteet vaikuttavat ratkaisevasti suolan kulkeutumiseen ja kerääntymiseen aqviferissa. Kapealla harjua-alueella, jossa kerrostumat ovat selvärajaisia ja joissa tie on välittömästi kerrostuman päällä, suolan kerääntyminen aqviferiin on luonnollisesti suurempaa kuin laaja-alaisissa pohjavesiesiintymissä. Jos pohjavesialue on pieni, on suolakonsentraation kasvu nopeaa /22/.

Tutkimuksessa on seurattu kloridipitoisuuksia useissa pohjavesivarastoissa ja yleisesti ottaen pitoisuudet ovat nousseet lähes kaikissa kohteissa. Salpausselän alueella pohjavesien kloridipitoisuudet ovat noin kymmenkertaiset vertailuarvoon nähden. Pohjavesin luonnollinen kloridipitoisuus on n. 1.5 mg/l. Yksittäisissä kaivoissa kloridikonsentraatiot saattavat olla jopa yli 1000 mg/l. Tutkimuksen ennakkotietojen mukaan jatkuva teiden talvisuolaus on merkittävin pohjaveden laatua uhkaava tekijä Suomessa /22/.

Suolan vaikutus kasvillisuuteen

Yksikäsitteistä yhteyttä levitetyn suolamäärän ja kasvillisuusvaurioiden välillä ei ole havaittu /3/. Toisissa paikoissa kohtuullinen suolamäärä on aiheuttanut kasvillisuusvaurioita, kun taas huomattavasti suuremmat suolamäärät joillakin muilla alueilla eivät ole aiheuttaneet mitään havaittuja vaikutuksia. Muut tekijät, kuten geologiset ja hydrologiset tekijät ovat ratkaisevampia /3/.

Kasvillisuusvauriot, etupäässä havupuille, rajoittuvat n. 10 /3/...20 /2/ metrin etäisyydelle tien reunasta, minkä takia mahdollisesti vaurioituva puumäärä on vähäinen.

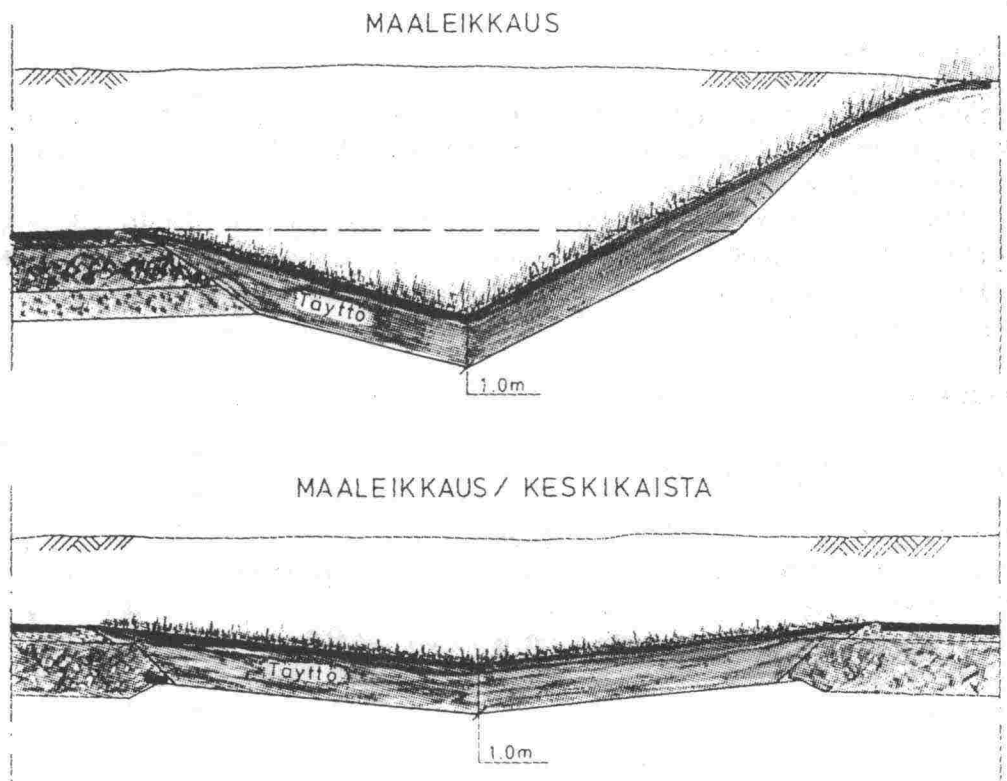
3 TUTKITUT MAA-AINEKSISET LUISKASUOJAUSKOHTEET

Tämän selvityksen yhteydessä tutkittiin valmiita luiskasuojauksia kaikkiaan viidessä kohteessa. Näistä kolme sijaitsee Valtatie 3:lla (Noppo, Karhunkorpi, Herajoki). Nämä kohteet ovat uusia, vuonna 1989 rakennettuja. Vanhempia luiskasuojauskohteita tutkittiin Rajamäellä Alkon tehtaiden lähistöllä ja Porvoon moottoritillä, Fazerin tehtaiden lähistöllä. Vt 3:lla käytettyjen luiskasuojauksen periaatepiirroksia on esitetty kuvassa 1.

Vt 3:n työselityksessä on esitetty vaatimukset luiskasuojauksessa käytettävän materiaalin vedenläpäisevyydelle. Vedenläpäisevyyden tulee työselityksen mukaan olla alle 10^{-7} m/s. Täyttönä voidaan käyttää savista silttiä tai silttiä. Myös hienorakeista moreenia voidaan käyttää, jos se täyttää vedenläpäisevyydelle asetetut vaatimukset. Maa-aineksen tasoitus on esitetty suoritettavaksi telapuskutraktorilla, joka myös tiivistää maakerroksen.

Muita erityisiä materiaalivaatimuksia tai fysikaalista tiivistys- tai tiiviyssastevaatimusta ei työselityksessä ole esitetty.

Vt 3:n eri kohteiden työpäälliköiden kertoman mukaan luiskasuojauksissa käytetystä materiaalista on yleensä määritetty vain rakeisuus. Vedenläpäisevyyksiä on yleensä arvioitu vain rakeisuuteen perustuen. Luiskasuojausmateriaali on yleensä vain levitetty kaivinkoneella tai puskutraktorilla ja tiivistetty kaivinkoneen kauhalla; luiskan tasoitus on tehty luiskantasauskoneella. Tiivistystyön yhteydessä ei ole suoritettu mitään tiivistyksen laadunvalvontaa.



Kuva 1. Vt 3:lla käytettyjen luiskasuojauksen periaatekuva.

4 MAASTO- JA LABORATORIOKOKKEET

Vedenläpäisevyyskokeet

Maastossa luiskasuojauksen vedenläpäisevyys määritettiin tätä tutkimusta varten rakennetulla kaksirenkaisella suodatusmittauslaitteistolla. Laboratoriossa tutkittiin luiskasuojauskohteista otetuista maanäytteistä rakeisuus, vesipitoisuus sekä maksimikuivatilavuuspaino ja optimivesipitoisuus (parannettu Proctorkoe). Laboratoriokokeiden suoritus on kuvattu mm. julkaisussa /10/.

Vedenläpäisevyyden määrittämisessä käytettiin Proctorselliä, johon tutkittava maanäyte sullottiin. Sullonnassa maamassa oli luonnontilaisessa kosteudessaan. Tilavuuspainoksi pyrittiin saamaan luonnossa mitattu tilavuuspaino. Joitain kokeita suoritettiin myös luonnontilaista suuremmassa tilavuuspainossa. Lisäksi määritettiin muutamasta häiriintymättömästä maanäytteestä vedenläpäisevyys kolmiakselilaitteistolla.

Läpäisevyyskokeet kemikaaleilla

Kemikaalien vaikutusta siltimoreenin ja savisen siltin läpäisevyyteen tutkittiin ödometrinrenkaaseen tiivistetyn luonnontilaisessa kosteudessa olevan näytteen avulla. Kokeita suoritettiin bensiinillä (siMr, saSi), dieselöljyllä, suolaliuksella (5 % vuorisuola), ksyleenillä ja metanolilla. Nesteiden valinnassa otettiin huomioon nesteiden yleisyys ja kuljetusmäärät (suolaliuos, bensiini, dieselöljy) ja yleinen haitallisuus (bensiniin ja öljyn pieni makurajakynys vedessä) sekä nesteen vaarallisuus maamateriaalin mikrorakenteelle (ksyleenin dielektrinen vakio 2.5, metanoli vesiliukoinen).

Jäädytys-sulatuskokeet

Jäätymis-sulamisvaihtelun vaikutusta maan vedenläpäisevyyteen tutkittiin kolmiakselikoelaitteistolla samoilla maamateriaaleilla kuin kemikaalien läpäisevyyttä. Näyte rakennettiin kolmiakselikoelaitteistoon, jossa sen vedenläpäisevyys ensin määritettiin. Koko kokeen ajan näyte oli isotrooppisesti kuormitettu sellipaineen ollessa 80 kPa. Kokeita suoritettiin sekä tiiviissä (D=97.2 %) että löyhässä (D=80.1 %) tilassa olevalle siltimoreenille ja saviselle siltille (D=101.1).

Maasto- ja laboratoriokokeiden tulokset

Vedenläpäisevyyskokeet

Mitoitusotaksuman mukaiselta luiskasuojaukselta, jossa suojauksen ehjä paksuus on 0.7 metriä, ja jonka päällä on 30 cm:n paksuinen kerros nestettä, materiaalilta vaadittava vedenläpäisevyys on pienempi kuin 9.1×10^{-6} m/s, kun sallittu läpäisevyysaika on 6 tuntia. Vastaavasti vaaditaan 4.5×10^{-6} m/s ja 2.3×10^{-6} m/s, kun sallittu läpäisy aika on 12 ja 24 tuntia.

Maastossa suoritetuissa 12:ssa vedenläpäisevyysskoeksessa vedenläpäisevyydelle saatu arvo täytti 24 tunnin läpäisevyydelle asetetun vaatimuksen kuudessa kokeessa. Yhteistä näille kohteille oli se, että luiskasuojusmateriaalin läpäisyprosentti raekoon 0.074 mm kohdalla oli yli 72 % ja keskiarvo 81 % (läpäisyprosentin vaihteluväli 72 %...100 %). Mitattu tai arvioitu tiiviyssaste oli vähintään 87 % ja keskiarvo 92 % (tiiviyssasteen vaihteluväli 87 %...100 %). Maastokokeiden vedenläpäisevyyksien keskiarvo oli 1.8×10^{-7} m/s. Laboratoriossa saatiin vastaavien kohteiden näytteiden vedenläpäisevyyksien keskiarvoksi 5.4×10^{-8} m/s. Maastossa mitattujen vedenläpäisevyyksien keskiarvo oli siis noin kolme kertaa laboratoriossa mitattuja läpäisevyyksien keskiarvoa suurempi. Kokeissa maamateriaali vaihteli laihasta savesta silttimoreeniin.

Lopuissa kuudessa kokeessa vedenläpäisevyyssarvot eivät täyttäneet edes kuuden tunnin sallitun läpäisevyyssajan läpäisevyyssarvovaatimusta. Näille kohteille oli yhteistä se, että läpäisyprosentti raekoon 0.074 mm kohdalla oli alle 94 %, keskiarvo 70 % (vaihteluväli 47 % ... 94 %) ja tiiviyssaste (mitattu tai arvioitu) alle 80 %, keskiarvo 78 % (vaihteluväli 76 %...80 %). Maastossa mitattujen läpäisevyyksien keskiarvo oli 4.0×10^{-5} m/s ja laboratoriossa mitattujen läpäisevyyksien keskiarvo 2.3×10^{-7} m/s. Maastomittauksien keskiarvo oli siis n. 170 kertaa laboratoriomittauksen keskiarvoa suurempi. Materiaalit näissä kohteissa vaihtelivat laihasta savesta silttiseen hiekkamoreeniin.

Maasto- ja laboratoriokokeiden tulokset on esitetty tutkimuskohteittain yhteenvetona taulukossa 1.

Kemikaalienläpäisevyysskoeket

Kemikaalien läpäisevyysskoekiden perusteella ei tutkittujen kemikaalien voitu huomata vaikuttavan läpäisevyyttä merkittävästi suurentaen. Ainoana poikkeuksena oli suolaliuos, jolla saatu läpäisevyyssarvo oli yli 7-kertainen pelkällä vedellä saatuun läpäisevyyssarvoon nähden. Bensiinillä ja vedellä läpäisevyyssarvojen suhde oli 0.44; ksyleenillä ja metanolilla 0.36 ja dieselöljyllä vain 0.1. Kemikaalien läpäisevyysskoekiden tulokset on esitetty taulukossa 2.

Jääditys-sulatuskokeet

Kolmiakselilaitteistossa suotitettujen kokeiden tulosten perusteella voidaan todeta, että alunperin löyhässä tilassa olleen silttimoreeni-näytteen läpäisevyys laski kahden jääditys-sulatus -syklin jälkeen noin puoleen ja edelleen kahden syklin jälkeen n. 40 %:iin alkuperäisestä läpäisevyydestä. Läpäisevyyden pieneneminen johtuu todennäköisesti kokeen aikana tapahtuneesta tiiviyssasteen kasvamisesta eli näytteen ulkoisen tilavuuden pienenemisestä näytteen konsolidoituessa jäätymisen ja ulkoisen paineen takia. Savien jäätymissulamiskonsolidoitumista on tarkasteltu mm. viitteessä /26/.

Sen sijaan alunperin tiiviissä tilassa olleiden näytteiden läpäisevyysarvot kasvoivat kahden syklin jälkeen 1.5 (SiMr)...2.5 (saSi) -kertaisiksi ja neljän syklin jälkeen arvot olivat vastaavasti 1.0...1.9 -kertaisia. Suurentuneet läpäisevyyden arvot kuvaavat suuresta alkuperäisestä tiiviysasteesta johtuen pikemminkin näytteiden raerungossa tapahtuneita muutoksia kuin mahdollista tiiviysasteen kasvua. Tulosten perusteella näyttää kuitenkin siltä, että alunperin löyhässä tilassa oleva näyte tulee tiiviimmäksi ja tiivissä tilassa ollut näyte läpäisevämmäksi jäädytys-sulatussykliä johdosta. Jäädytys-sulatuskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 1. Maasto- ja laboratorikokeiden yhteenveto.

Rajamäki			
	Koekuoppa 1 saSiMr	Koekuoppa 2 siHkMr	Koekuoppa 3 saSi
hyväksytty	-	-	+
k_{maasto}	3.64×10^{-5}	5.85×10^{-5}	5.74×10^{-8}
γ_d	15.62	15.23	14.34
D	79.8	77.7	> 100
# 0.074 l-%	55.0	47.0	82.0
k_{lab}	1.36×10^{-6}	1.28×10^{-8}	2.21×10^{-7}
D	92.1	85.7	91.3
Karhunkorpi			
	PI 32 620 laSa	PL 32 640 laSa	PL 32 660 laSa
hyväksytty	-	+	-
k_{maasto}	4.3×10^{-5}	2.56×10^{-7}	3.53×10^{-5}
γ_d	11.68	13.00	11.08
D	80.0	89.0	75.9
# 0.074 l-%	94.0	72.0	89.0
k_{lab}	2.95×10^{-10}	1.76×10^{-8}	1.48×10^{-10}
D	86.2	88.8	85.1
Herajoki			
	PI 58 847 HkMr	PI 59 027 SiMr	PL 59 107 SiMr
hyväksytty	-	+	+
k_{maasto}	-	8.66×10^{-8}	4.44×10^{-7}
γ_d	18.71	16.22	15.61
D	-	91.3	87.8
# 0.074 l-%	24.5	82.0	72.0
k_{lab}	4.1×10^{-7}	6.86×10^{-8}	1.51×10^{-8}
D	-	80.1	97.2
Noppo			
	PL 1735 saSi	PL 1750 saSi / saSiMr	
hyväksytty	+	-	
k_{maasto}	6.9×10^{-8}	2.54×10^{-5}	
γ_d	13.43	16.51	
D	91.9	-	
# 0.074 l-%	100.0	79.0 / 70.0	
k_{lab}	1.53×10^{-9}	1.43×10^{-8}	
D	101.2	102.4	
Fazer			
	Koekuoppa 1 saSiMr	Koekuoppa 2 laSa	
hyväksytty	-	+	
k_{maasto}	$2.05 \dots 5.89 \times 10^{-5}$	1.63×10^{-7}	
γ_d	15.38	15.67	
D	-	-	
# 0.074 l-%	57.0	79.5	
k_{lab}	8.50×10^{-9}	2.05×10^{-10}	

Taulukko 2. Kemikaalien läpäisevyyskokeiden tulokset.

Neste	γ_d	k	D
SiMr (Herajoki, PI 59 107)			
vesi -			
- laboratorioskoe	16.53	1.51×10^{-8}	93.0 %
- maastokoe	15.61	2.81×10^{-7}	87.2 %
- vertailukoe	14.12	2.45×10^{-8}	79.4 %
suolaliuos 5 %	14.16	1.80×10^{-7}	79.7 %
suolaliuos/vesi ¹⁾			7.35
bensiini	13.86	1.08×10^{-8}	78.0 %
bensiini/vesi ¹⁾			0.44
dieselöljy	14.25	2.32×10^{-9}	80.2 %
dieselöljy/vesi ¹⁾			0.09
ksyleeni	14.06	8.73×10^{-9}	79.2 %
ksyleeni/vesi ¹⁾			0.36
metanoli	14.10	8.85×10^{-9}	79.3 %
metanoli/vesi ¹⁾			0.36
saSi (Noppo, PI 1735)			
vesi -			
- laboratorioskoe	14.77	1.54×10^{-9}	101.1 %
- maastokoe	13.43	6.90×10^{-8}	91.9 %
bensiini	14.15	5.34×10^{-10}	96.9 %
bensiini/vesi ¹⁾			0.35

¹⁾ kemikaalin ja veden läpäisevyysarvojen suhde

Taulukko 3. Jäädytys-sulatuskokeiden tulokset.

Näytteen tila	γ_d	k_{lab}	D
SiMr (Herajoki, PI 59 027)			
sula näyte	17.26	1.73×10^{-8}	97.2 %
2 kert. jääd.		2.66×10^{-8}	
4 kert. jääd.		1.80×10^{-8}	
sula näyte	14.23	6.86×10^{-8}	80.1 %
2 kert. jääd.		3.14×10^{-8}	
4 kert. jääd.		2.68×10^{-8}	
saSi (Noppo, PI 1735)			
sula näyte	14.77	1.54×10^{-9}	101.1 %
2 kert. jääd.		3.90×10^{-9}	
4 kert. jääd.		2.93×10^{-9}	

Taulukoiden 1...3 merkinnät:

hyväksytty + vedenläp. täyttää 12 h vaatimuksen 4.5×10^{-6} m/s

k_{maasto} maastossa mitattu vedenläpäisevyys, m/s

k_{lab} laboratoriossa mitattu vedenläpäisevyys, m/s

γ_d kuivatilavuuspaino, kN/m³

D tiiviysaste, %

0.074 l-% läpäisyprosentti raekoon 0.074 mm kohdalla

5 LUISKASUOJAUSKOHTEIDEN ARVIOINTI

Valmiina olevien luiskasuojauksen tutkimisen yhteydessä tuli ilmi monia nykyisen käytännön mukaan rakennettavien luiskasuojauksen puutteita. Luiskasuojauksen vedenläpäisevyyttä ajatellen voidaan luiskasuojauksissa havaitut puutteet jakaa toisaalta itse maakerroksen vikoihin ja toisaalta itse tiivistyrakenteessa havaittuihin puutteisiin.

Lähes kaikissa tutkituissa kohteissa maamateriaali oli rakeisuudeltaan luiskasuojausmateriaaliksi sopivaa. Sensijaan Proctorkokeessa määritettyihin tai arvioituihin maksimikuivatilavuuspainoihin nähden luiskasuojauksen kuivatilavuuspaino oli verraten alhainen. Uusissa kohteissa luiskasuojauksen tiivistämättömyys tuli esiin myös maastoauton ja kaivinkoneen liikkuessa luiskasuojauksen päällä. Karhunkorvessa kaivinkone painoi maata kasaan pyöriensä alla jopa 15...20 cm.

Itse rakenteista havaituista puutteista vakavampia olivat vesieroosion aiheuttamat syöpymisreitit luiskasuojauksessa. Tällaisia syöpyneitä kohtia oli rakennustyön aikana havaittavissa kaikissa uusissa luiskasuojauskohteissa (Karhunkorpi, Noppo, Herajoki). Näissä kohteissa tie on perustettu louhepenkereelle. Kaikissa näissä kohteissa oli monia tällaisia veden tekemiä koloja. Jotkut niistä ulottuivat selvinä koko luiskasuojauksen läpi, niin että louheen lohkat ja niiden väliset tyhjätilat olivat selvästi nähtävissä. Nopossa, jossa päällysteen ja luiskasuojauksen yhtymäkohtaan oli tehty bitumiimeytys, vesi oli kuljettanut myös imeytyksen päällä olevaa luiskasuojausmateriaalia runsaasti pois. On huomattava, että edellä kuvatut kohteet olivat tarkasteluhetkellä keskeneräisiä.

Toukokuun alussa suoritettujen luiskasuojauksen tarkastuksien yhteydessä yhteydessä havaittiin lähes kaikissa kohteissa kuivumishalkeamia, joiden syvydeksi mitattiin 20...30 cm. Kohteiden maastotutkimusten aikaan kuivumishalkeamia ei ollut silmämääräisiin havaintoihin perustuen yhtä runsaasti. Koekuoppia kaivettaessa näyttivät halkeamat maassa jatkuvan monin paikoin vielä koekuopan pohjan tasoakin syvemmälle (noin 20...50 cm maanpinnasta). Nämä halkeamat vaikuttivat kuitenkin pikemminkin maakappaleiden väliin jääneiltä raoilta kuin kuivumishalkeamilta. Niissä kohteissa, joissa jo kasvoi nurmi, halkeamien esiintyminen maan pinnassa oli huomattavasti vähäisempää kuin paljailla alueilla.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET LUISKASUOJAUSOHJETTA VARTEN

Valmiina olevista luiskasuojauskohteista tehtyjen havaintojen perusteella kaikissa luiskasuojauksissa on puutteita. Suuri osa puutteista voidaan poistaa yksinkertaisilla parannuksilla ja tehostamalla valvontaa.

Luiskasuojaukseen käytettävän materiaalin laatua on valvottava. Valvonta tulisi aloittaa inventoimalla tiivistämateriaalin ottopaikat tarkoin jo ennakolta ja suorittamalla luiskasuojauksen valvonnassa tarvittavat laboratorioskokeet samassa yhteydessä. Materiaalin valintakokeiden tulee sisältää rakeisuusmääritykset, maksimikuivatilavuuspainon ja optimivesipitoisuuden määrittämisen parannetulla Proctorkokeella sekä vedenläpäisevyysskokeet laboratoriossa. Luiskasuojaukseen valittavan materiaalin hienoainespitoisuuden tulee olla vähintään 60 %. Vedenläpäisevyyden tulisi 90 %:n Proctor-tiiviydessä

olla laboratorioskokeissa optimivesipitoisuudessa pienempi kuin $5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Tämä arvo on sadasosa maastossa tavoitellusta läpäisevyyden enimmäisarvosta $5 \cdot 10^{-6}$ m/s, joka on laskettu 12 tunnin läpäisy aikaotaksuman perusteella 0.7 metriä paksulle ehjälle suojauskerrokselle. Tällöin on otettu huomioon mahdolliset kuivumishalkeamat, erilaiset tiivistystavat maastossa ja laboratoriossa, jäätymissulamsvaihtelut, maarakeiden rajapinnat, rakeisuuden lievät vaihtelut ja kemiallisten aineiden vaikutukset.

Luiskasuojauksessa olevan materiaalin kunnollinen tiivistäminen on aina välttämätöntä. Tiiviyssasteen tulee olla vähintään 90 %, kun hienoainespitoisuus on vähintään 60 %. Hienoainespitoisuuden ollessa vähintään 70 %, riittää tiiviyssaste 85 %. Tiivistämisellä on todennäköisesti suotuisa vaikutus myös eroosion estämisessä ja kuivumishalkeamien syntymisen estämisessä.

Kohteen vastaanottotarkastuksen tulisi sisältää myös maastossa suoritettavia vedenläpäisevyyksikoiteita. Luiskasuojauksen laadunvalvonnasta laaditaan erillinen ohje, jossa luiskasuojauksen laatuvaatimukset ja tarvittavien kokeiden määrä esitetään. Luiskasuojauksen laadunvalvonnan tulee sisältää suojauskohteiden työnaikaisen tarkastuksen, kohteen yleistarkastuksen suojauksen valmistumisen jälkeen ennen nurmetuksen tekoa, jossa mahdollisesti havaitut viat tulee korjata sekä säännöllisin välein tehtävät jälkitarkastukset. Nurmetuksen jälkeen kohteessa tulee suorittaa tihennetyin välein tarkastukset, kunnes nurmetus on päässyt varmasti alkuun. Tarkastusten yhteydessä mahdollisesti havaittavat puutteet korjataan saattamalla luiskasuojaus asianmukaiseen kuntoon.

Louhepenkereelle rakennettujen teiden luiskasuojauksessa on käytettävä louheen ja luiskasuojausmateriaalin välissä kuitukangasta. VTT/GEO-kuitukangasluokitus edellyttää käytettäväksi tällöin IV-luokan kuitukangasta. Kankaan käytöllä estetään luiskasuojausmateriaalin valuminen louheen tyhjiöihin. Hankalissa paikoissa luiska on suojattava veden kuluttavaa vaikutusta vastaan ohjaamalla pintavesiä tiettyihin purkupaikkoihin tien tai maanpinnan muotoilulla tai pintavesikouruin.

Päällysteen ja maa-aineksisen luiskasuojauksen liitoskohdassa on suositeltavinta käyttää bentoniittimattoa tai muovikalvoa. Vilkkaasti liikennöidyillä teillä vedenottamoiden lähistöllä on syytä käyttää bentoniittimatolla tai muovilla kokonaisuudessaan vahvennettua maa-aineksista luiskasuojauksena.

Luiskasuojauksen ehjyys (eroosion jäljiltä) sekä suunnittelussa edellytetyn vedenläpäisevyyssarvon pysyvyys on tarkistettava myös valmiissa kohteissa säännönmukaisin välein (esim. 2 vuoden välein alkukesällä). Havaitut virheet on korjattava välittömästi esim. lisätiivistämisellä tai paikattava lisämateriaalilla. Erityisen vaativissa kohteissa tiivisterakenteen pitkäaikaistoimivuuden varmistamiseksi suositellaan bentoniittimaton, vähintään 1,0 mm paksuisen muovikalvon tai bitumilla käsitellyn IV-luokan kuitukankaan asentamista maatiivisteiden alle.

Nurmetuksen pysyvyyden varmistamiseksi (eroosiosuojauksen varmistamiseksi), suositellaan I-luokan geotekstiilin tai vastaavan sitovan harsokerroksen asentamista humuskerroksen alle (nurmen juurivyöhykkeelle); myös valmiiden nurmimattojen käyttö tulee kysymykseen.

KIRJALLISUUS

/1/ Bowders, J., et al, Hydraulic conductivity of compacted clay to dilute organic chemicals, Journal of Geotechnical engineering, vol 113, no 12, December 1987. p. 1432...1448.

/2/ Bäckman, L., et al Vägars inverkan på omgivande natur, Sammanfattning, Naturvårdverket, rapport 1177, 1979. 29 s.

/3/ Bäckman, L., Vintervägsaltets miljöpåverkan, Statens väg och trafikinstitut, VTI Rapport 197, Lindköping 1980, 62 s.

/4/ Bäckman, L. et al., Vägars inverkan på omgivande natur, Vegetation, mark och grundvatten, Statens väg- och trafik institut, VTI Rapport, Lindköping 1979, 103 s.

/5/ Chamberlain, E., Physical changes in clays due to frost action and their effect on engineering structures, International Symposium, Frost in geotechnical engineering. Volume 2, Saariselkä, Finland, 13...15 March. 1989, p. 863...893.

*/6/ Daniel, D. E., In Situ Hydraulic Conductivity Tests for Compacted Clay. Journal of Geotechnical Engineering. Vol 115, No. 9, September 1989.

*/7/ Daniel, D., E., Can Clay Liners Work ?, Civil Engineering ASCE (1985) Vol 55, Nr. 4, s. 48...49.

/8/ Daniel, D.E., Predicting hydraulic conductivity of clay liners, Journal of Geotechnical Eng, 110(2) 1984, p 285...300.

/9/ Fernandez. F., Hydraulic conductivity of natural clays permeated with simple liquid hydrocarbons, Canadian geotechnical journal, Vol 22, no 2, Mai 1985. s. 205-214.

/10/ Geotekniset laboratorio-ohjeet. 1. Luokituskokeet. Suomen geoteknillinen yhdistys ry. Rakentajain kustannus Oy. Helsinki 1985. 107 s.

/11/ Hamidon, A. & Ali, F., Organic leachate effects on permeability of compacted kaolinite, Soils and Foundations, Vol 29, no 2, June 1989, p. 15-23.

*/12/ Hettiaratchi, J., Considerations of soil shrinkage in designing clay liners for municipal solid waste landfills. 9th Southeast Asian Geotechnical conference, Bangkok, Thailand, 7-11 December 1987.

/13/ Janardhanam, O.U. & Stephenson, R. W., Permeability of Clays under Organic Permeants, Journal of Geotechnical Engineering, vol 115, no 1, January 1989. p. 115-131.

*/14/ Karlqvist, L., Vinteravfallet från väg och dess fixering i markprofilen. Uppsala universitet, kvartärgeologiska avdelningen, Forskningsrapport 54, 1974, 11 s.

*/15/ Konrad, J.-M., Physical processes during freeze-thaw in clayey silts, *Cold Regions Science and Technology*, 16(1989), p 291-303

*/16/ Ledskog, L. & Lundgren, T., Olje- och kemikalieutsläpp i jord, Statens Räddningverk, Statens Geotekniska Institut, Lindköping 1989, 39 s.

*/17/ Morrison, A., Hazardous waste landfills: Can clay Liners Prevent Migration of toxic leachate, *Civil Eng. ASCE*, vol 51, no 7 pp 60-63.

*/18/ Permealibilitet och kapillaritet. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 8. Bygghöjnings informationsblad B 7:1972. Sveriges Geotekniska Institut. 36 s.

*/19/ Reuter, E., Frostempfindlichkeit mineralischer Deponieabdichtungen, *Wasser und Boden* 41(1989) nr 3. s 134-136.

/20/ Rogowski, A., et al, Permeability assessment in a compacted clay liner, *Univ. of Wisconsin, 8th Municipal & Industrial cong. Madison*, sep 18...19, p. 315 - 338.

*/21/. Sellberg, S., Bensinens spridning i jordlager, *Oljeskydd* 14/1977, nr 1. s 6, 12...13.

/22/ Soveri, J. & Vesterinen, J., Effects of Road Salting on Groundwater Quality in Salpauselkä Area in Southern Finland. *Nordisk hydrologisk konferens, Kalmar, Sverige 1990.*

*/23/ Soveri, U., Kauranne, L.K., *Rakennusgeologia I, Suomen rakennusgeologia, Otakustantamo, Espoo 1975.* 194 s.

*/24/ Vanhala, P. Öljyn imeytyminen maahan, diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1972.

/25/ van de Voorde, H., et al., Effects of road salt in winter, *Environmental pollution* 5(1973), s. 213...218.

/26/ Vähäaho, I., et al., Thaw consolidation of frozen clays of post-glacial origin in Helsinki. *International Symposium, Frost in geotechnical engineering. Volume 2, Saariselkä, Finland, 13...15 March, 1989*, p. 583...601.

* ei viittausta lyhytraportissa

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1991 Satelliitteihin perustuvasta paikannusjärjestelmästä. TIEL 3200001
- 2/1991 Autokanta ja liikenne OECD-maissa. TIEL 3200002
- 3/1991 Tiesalajien toimivuus ja kunnossapito. TIEL 3200003
- 4/1991 Suolauksen vaikutukset tienvarsikasvillisuuteen. TIEL 3200004
- 5/1991 Reunapaalujen vaikutus ajokäyttäytymiseen ja liikenneonnettomuuksiin. TIEL 3200005
- 6/1991 Yleiskaavoituksen ja tien yleissuunnittelun kytkeä. TIEL 3200006
- 7/1991 Teiden esisuunnittelu Pohjoismaissa. TIEL 3200007
- 8/1991 Palvelutasomittareiden seuranta tiensuunnittelussa. TIEL 3200008
- 9/1991 Luonnonolojen seuranta tiensuunnittelussa. TIEL 3200009
- 10/1991 Tielaitoksen laatujärjestelmän kehittäminen; suunnittelun laatujärjestelmä, esiselvitys. TIEL 3200010
- 11/1991 Ympäristövaikutusarviot pääsuuntaselvityksissä. TIEL 3200016
- 12/1991 Selvitys nopeuden alentamiskeinoista taajamateillä. TIEL 3203613
- 13/1991 Selvitys nopeusrajoitusten määrittämisestä ja vaikutuksista. TIEL 3200011
- 14/1991 Jalankulkijan ja pyöräilijän vammautumisesta liikennealueilla. TIEL 3200012
- 15/1991 Liikenneinvestoinneista päättäminen; Arvio suunnittelunäkemyksestä. TIEL 3200013
- 16/1991 Paristotyyppin ja ympäristön lämpötilan vaikutus varoitusvilkun toimintaan. TIEL 3200014
- 17/1991 The Effect of Battery Type and Ambient Temperature on the Operation of Warning Flashers. TIEL 3200015E