



VTT Technical Research Centre of Finland

Glykoli uhkaa Kehäradan rakenteita

Carpén, Leena; Koskinen, Pertti; Rättö, Marjaana; Talja, Asko; Törnqvist, Jouko

Published in:
Liikenteen suunta

Published: 01/01/2012

[Link to publication](#)

Please cite the original version:
Carpén, L., Koskinen, P., Rättö, M., Talja, A., & Törnqvist, J. (2012). Glykoli uhkaa Kehäradan rakenteita. *Liikenteen suunta*, (3), 37-43.

VTT
<https://www.vttresearch.com>

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
P.O. box 1000
FI-02044 VTT
Finland

By using VTT Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.

Ajankohtaista



Glykoli uhkaa Kehäradan rakenteita

Kehäradan tunneliin tunkeutunut glykoli ja syntynyt mikrobikasvusto yllätti rakentajat vuonna 2010. Seurannan ja tutkimusten perusteella paikannetulle vuotoalueelle rakennetaan haitat eliminoiva suojarakenne. Kirjoituksessa tarkastellaan glykolivuotojen ja syntyvien mikrobikasvustojen rakennusmateriaaleille kohdistamia uhkia ja materiaalien säilyvyyttä syntyneissä olosuhteissa.

Glykoli tuli yllätyksenä

Kehärata on 18 kilometriä pitkä, poikittainen raideyhteys, joka yhdistää Vantaankosken radan lentoaseman kautta pääraataan Vantaan Hiekkaharjussa. Rata alittaa Helsinki-Vantaan lentoaseman alueen kahdeksan kilometriä pitkässä kaksoistunnelissa, johon rakennetaan kaksi tunneliasemaa, Aviapolis ja Lentoasema. Lentoaseman itäisen kiitotien alle louhittavasta tunnelista havaittiin vuoden 2010 kesällä runsasta mikrobikasvustoa, joka yllätti suunnittelijat ja rakentajat ulkonäöllään ja hajullaan. Tunneliin tihkuva glykolivesi loi erinomaisen kasvualustan mikrobeille. Jäänestossa käytettävä glykoli orgaanisena yhdisteenä on erinomainen ravinto monimuotoiselle mikrobikasvustolle.

Glykolia on pidetty luonnossa voimakkaasti biohajoavana. Esimerkiksi Oslon Gardermoen lentokentällä maaperässä tapahtuvan biohajoamisen on todettu olevan riittävää jopa jo ennen kuin se vajoaa pohjavesikerrokseen. Pohjaveden laatua seurataan siellä silti jatkuvasti, koska kenttä sijaitsee tärkeän pohjavesialueen päällä. Helsinki-Vantaan tunnelista otetuista vesinäytteistä havaittiin kuitenkin jo syksyllä 2010 tehdyissä esiselvityksissä, että hajoamiselle optimaaliset olosuhteet puuttuvat. Biohajoaminen tulee aistittavaksi vasta tunnelissa ja ilmenee siellä mikrobikasvustoina ja hajuna. Viitisentoista vuotta aikaisemmin käytöstä lopetettua etyleeniglykolia tihkuu edelleen tunneliin. Biohajoamisen hitaus tuli siis yllätyksenä.

Glykoliongelman muodostama rakenteellinen haitta ratkaistaan kalliotunnelin sisäpuolelle suunnitellulla ja rakennettavalla ilmatiiviillä eristerakenteella. Glykolin hajoamistuotteita kestävä betonirakenne rakennetaan noin 750 metrin matkalle molempiin ratatunneleihin. Hajuhaitta poistetaan alipaineistamalla kallion ja eristerakenteen välinen tila. Asematiloihin, pystykuiluihin ja jalankulkukäytäviin rakennetaan vastaavia eristysrakenteita. Lisäksi kalliota tiivistetään ja lujitetaan haponkestävin materiaalein.



Kuva 1., Kehärata kulkee tunnelissa lentoaseman alueella. Kuva: Liikennevirasto.

Glykoli on mikrobien ravinne

Etyleen- ja propyleeniglykolia käytetään lentokoneiden jäänestoon ja jäänpoistoon. Useat mikrobit pystyvät käyttämään glykoleja hiilen ja energian lähteenä ja glykolit hajoavat mikrobitoiminnan vaikutuksesta sekä hapellisissa että hapettomissa ympäristöissä. Hapellisissa olosuhteissa glykolien hajoaminen hiilidioksidiksi ja vedeksi on nopeaa. Puhtaiden glykolien myrkyllisyys vesieliöille on itsessään vähäinen, mutta pintavesiin joutuessaan suuret glykolimäärät voivat aiheuttaa happikatoa ja voimakkaasta mikrobikasvusta johtuvaa vaahtoamista, limoittumista ja hajuhaittoja.

Lämpimissä olosuhteissa maastoon imeytynyt glykoli hajoaa nopeasti ylemmissä maakerroksissa, mutta talvella hajoaminen hidastuu huomattavasti, jolloin glykolia ja sen hajoamistuotteita ehtii kulkeutua syvempiin maakerroksiin ja pohjaveteen. Glykoli on vettä tiheämpää. Myös joidenkin jäänestovalmisteissa käytettyjen lisäaineiden tiedetään olevan toksisia glykolin hajottajamikrobeille ja hidastavan biohajoamista.

Glykolivesien vuotaessa kehäradan tunneliin biohajoaminen jälleen voimistuu, ja glykolia ja sen hajoamistuotteita ravintonaan käyttävät mikrobit voivat muodostaa paksuja biofilmi-kasvustoja. Biofilmit ovat erilaisille rajapinnoille muodostuvia, rakenteeltaan monimutkaisia, yleensä usean eri mikrobilajin muodostamia yhteisöjä. Ne koostuvat mikrobisoluista ja solujen erittämästä polymeerimatriisista. Polymeerit mm. kiinnittävät biofilmin pintaan, sitovat vettä ja ravinteita sekä suojaavat soluja erilaisia

niille vahingollisia ympäristötekijöitä vastaan.



Kuva 2. Mikrobikasvustoa otetaan talteen tunnelin seinältä. Kuva: VTT.

Hapot ovat ensisijainen uhka tavanomaiselle betonille

Glykolit reagoivat betonimateriaalien sisältämän kalkin kanssa muodostaen helpoliukoisia yhdisteitä. Tästä aiheutuva syöpyminen on kuitenkin hyvin hidasta ja glykolireaktion on pahimmissakin tapauksissa todettu aiheuttaneen vain betonin pintakerrosten kuoriutumista. Sen sijaan glykoleista mikrobitoiminnan tuloksena syntyneet happamat yhdisteet ja hiilidioksidi, joiden pitoisuudet tunnelivesissä olivat paikoitellen varsin korkeita, ovat betonimateriaalien kestävyuden kannalta ongelmallisia. Muita betonirakenteiden säilyvyyteen oleellisesti vaikuttavia kemiallisia tekijöitä, sulfaattia, magnesiumia, ammoniumia ja kloridia, ei tunnelista otetuissa vesinäytteissä sen sijaan ole merkittävässä määrin todettu.

Betoninormeissa ympäristö on jaettu rasitusluokkiin kemiallisesti aggressiivisten tekijöiden pitoisuuksien perusteella. Normeissa on lisäksi annettu vaatimukset betonin koostumuksesta ja tavoiteltavista ominaisuusarvoista kussakin rasitusluokassa. Ohjeiden kantava ajatus on, että mitä rasittavampi ympäristö on kemiallisesti, sitä tiiviimpää ja lujempaa betonin on oltava. Materiaaliteknisesti pyritään siis toisaalta hidastamaan haitallisten komponenttien tunkeutumista rakenteeseen, toisaalta luomaan puskurikapasiteettia, eli tuomaan betoniin enemmän reaktiokykyisiä ainesosia.

Kehäratatunnelin tapauksessa kallioperä on kemialliselta rasittavuudeltaan alueella, joka on Betoninormeissa määriteltujen rajojen ja niihin liittyvien koostumussuosituksen äärirajoilla. Suunnittelun lähtökohdaksi olikin otettava se, että kohteeseen sijoitettavien betonirakenteiden koostumus ja ominaisarvot noudattavat korkeimman rasitusluokan (XA3) mukaisia vaatimuksia ja edellytyksiä. Toisena vaihtoehtona oli eristää betonirakenteet kallioperästä siten, että ne eivät joudu kosketuksiin kemiallisesti aggressiivisen pohjaveden kanssa.

Teräs hapettuu ja liukenee hapettomasti

Kuten betoninkin osalta, glykoli itsessään ei syövytä hiiliterästä merkittävästi. Sen sijaan glykolin hajoamisen välituotteina syntyvät orgaaniset hapot (etikkahappo ja voihappo) ovat terästä syövyttäviä. Myös hajoamisen tuotteena syntyvä hiilidioksidi voi suurina määrinä edesauttaa teräksen syöpymistä. Tunnelista otetuissa vesinäytteissä todettiin paikoin asetaldehydejä ja propioni-aldehydejä, jotka niinkään ovat terästä syövyttäviä.

Hapettomassa tilassa tapahtuva korroosio on suurin epävarmuustekijä Kehäradalla. Asiaa on insinööriteknisesti hyvin vaikea todentaa varmuudella ja edellyttää vielä lisää seurantaa. Riskialttiiksi todetuilla alueilla hiiliteräspultit on korvattu haponkestävällä teräksellä.

Sinkityn hiiliteräksen pinnoite suojaaa terästä aluksi, kunnes se on paikallisesti tai kokonaan liennut pois. Sinkin kestävyys mikrobiologista korroosiota vastaan on yleisesti ottaen parempi kuin hiiliteräksen. Mikäli mainittavaa mikrobiologista toimintaa kuitenkin metallin pinnalla tai sen läheisyydessä tapahtuu, sinkkipinnoite voi syöpyä paikallisesti hyvinkin nopeasti ja paljastuneen teräksen korroosio alkaa. Jatkuvasti vuotavista kohdista otetuista näytteistä voitiin todeta, että 60 % sinkkikerroksen paksuudesta eli 0,15 mm oli poistunut vuodessa eli nopeudella 15 mm/100 vuotta. Näissä olosuhteissa sinkin arvioitiin kokonaan poistuvan teräksen pinnalta runsaassa kahdessa vuodessa. Hiiliteräspultin perusaineen syöpymisen nopeudeksi arvioitiin mittausten perusteella aggressiivisimmissä kohdissa 40 mm/100 vuotta (ks. kuva 3).



Kuva 3. Vuoden vanhan kallioankkurin pää aluslevyineen.

Glykolivuotoalue on saatu rajattua

Glykolin vuotoalueen laajuus tunnelissa on käynnistetyllä seurannalla saatu rajattua noin kilometrin pituiselle alueelle. Maa- ja kalliopohjavedestä otettujen vesinäytteiden perusteella vaikuttaisi siltä, että

suuri osa tunneliin vuotavasta glykolista on ollut varastoituneena kalliorakoihin tai on ollut rikastuneena alavampien kalliopainanteiden alueille. Kun tunnelia rakennetaan ja tunneliin avautuu kalliorakoyhteyksiä, glykolivesi pääsee kulkeutumaan edelleen tunneliin mahdollisesti hyvinkin kaukaa. Tehtäväksi suunniteltu erityisrakenne, joka mahdollistaa vuotovesien hallinnan tunnelissa myös liikenteen aikana, on tämänhetkisten havaintojen perusteella sekä laajuudeltaan että sijainniltaan valittu onnistuneesti.

Rakenneratkaisun avulla voidaan tehdä toimenpiteitä kalliopinnan ja betonirakenteisen tunneliputken väliseen tilaan. Sen avulla myös hallitaan vuotovedet ja hajuhaittojen poisto alipaineilmanvaihdolla. Liikennealue on irrotettu vuotoalueesta omaan ”erillisputkeensa” kalliotunnelin sisällä.

Tulevaisuuden ennustamiseen sisältyy kuitenkin aina epävarmuuksia. Kallion tiivistämisestä huolimatta uudetkin vuodot ovat mahdollisia. On mahdollista, että jokin aikaisemmin tunnistamaton glykolin varastoitumisalue pääsee vielä purkautumaan tunneliin, jos esimerkiksi tausta-alueen olosuhteet muuttuvat. Epävarmuuksien hallinnan varalta on kuitenkin edelleen mahdollista toteuttaa tunnelin tausta-alueen kallioveden suojaumpppauksia, mikäli paikallisia ongelmia kaikesta huolimatta ilmaantuu.

Alueen rajauksen kannalta ongelmallisinta on toisaalta kuivatusjärjestelmään kulkeutuvien vesien hallinta ja toisaalta mikrobitoiminnan seurauksena muodostuvan hajun hallinta. Alhaisen virtaaman olosuhteissa mikrobikasvustot jäävät mattomaisesti ojien ja putkien pinnoille. Kasvustojen mekaaniseen poistamiseen on kuitenkin suunnittelulla varauduttu. Mikrobien kasvu ja sen myötä hajuhaitat kasvavat lämpötilan noustessa – rakentamisvaiheessa kesäisin ja mahdollisesti vielä käyttöönnoton yhteydessä.

Seuranta jatkuu

Glykolivuotoalueella seurannan yhtenä indikaattorisuureena oli ja on edelleen veden sähkönjohtavuus. Veden johtokyky kertoo liuenneiden suolojen määrästä. Johtokyvyn kasvaessa etenkin paikalliskorroosion todennäköisyys kasvaa. Tavanomaisia luonnon vesien johtokykyä nostavia aineita ovat kloridit ja sulfaatit, jotka kiihdyttävät teräksen korroosiota happipitoisissa olosuhteissa. Tunnelivesinäytteissä on paikoin todettu yllättävän suuria sähkönjohtavuusarvoja. Jos tällaisissa vesissä kloridien ja sulfaattien määrä verrattuna bikarbonaatin määrään on suuri, riski teräksen paikallisen korroosion esiintymiseen kasvaa. Veden syövyttävyyttä vähentävät veden sisältämät kovuussuolat (kalsium ja magnesium), jotka voivat muodostaa teräspinnoille suojaavia kerrostumia. Näiden kerrostumien muodostumista myös bikarbonaatti voi edistää.

Korkeat sähkönjohtavuudet Kehäradan tunnelissa – myös glykolivuotoisen alueen ulkopuolella ja kalliopohjavesissä tunnelien ulkopuolella – kuvastavat kohonnutta hiiliteräksen korroosioriskiä. Tilanne kuitenkin näyttää olevan samansuuntainen eräissä muissakin tunneleissa Suomessa. Hiiliteräskallioankkureiden suojaukseen tulee siis kiinnittää huomiota tunnelirakentamisessa yleisemminkin. Suojauksen kannalta tärkeää on tehdä huolellista ja laadukasta työtä ankkureita asennettaessa.

Tunnelivuotojen ja kalliopohjavesien seuranta tunnelien ulkopuolella jatkuu. Seurannalla pyritään varmistamaan, että rakenteita uhkaavat ja haittoja aikaansaavat tekijät kyetään eliminoimaan – tarvittaessa vielä ennen Kehäradan käyttöönottoa. Mikäli uusia ongelmia, uhkia tai uusia riski alueita ilmenee, rakennuttajan, suunnittelijan VTT:n asiantuntijoista muodostettu iskuryhmä on valmistautunut ratkomaan ongelmia lähes reaaliajassa.

Mitä opimme?

Tilanne, johon vuonna 2010 jouduttiin, oli kaikille osapuolille uusi ja outo. Käsikirjaratkaisuja ei tilanteeseen ollut, vaan ratkaisut jouduttiin hakemaan yhteistyötä lisäämällä ja keräämällä tietoa päätöksenteon tueksi laajalta joukolta asiantuntijoita. Vielä ei voi varmuudella sanoa, että tässä onnistuttiin, mutta pahimmat uhkakuvat on saatu eliminoitua.

Uudessa tilanteessa olennaisin puuttuva tieto oli se mistä glykolia tulee, paljonko sitä vielä tulee ja kuinka paljon ja missä muodossa se on varastoituneena ja kulkeutumassa maa- ja kallioperässä. Norjan Gardermoen glykolin biohajoavuusoleukset eivät päteneet Suomessa. Jälkiviisaasti voidaan todeta, että seikkaperäisemmän pohja- ja kalliovesiselvityksen avulla glykoliriski ehkä olisi saatu arvioitua, jolloin varautumista olisi kenties voitu tehdä ennakolta. Ei voida korostaa liikaa sitä, että olosuhteiden tunteminen on aina edellytys hyvälle suunnittelulle.

Mikrobiskasvuston aikaansaama jatkuvasti muuttuva ja paikoin erittäin aggressiivinen ympäristö tekee materiaalien turmeltumisen ennakoimisen erittäin haastavaksi. Ajasta riippuvien ilmiöiden kvantifioiminen insinöörien käyttämään ja ymmärtämään muotoon oli - ja on edelleen - haastavinta.

Näihin uusiin olosuhteisiin ideoituja ja kehitettyjä rakennevaihtoehtoja oli useita. Nyt toteuttava ratkaisu valittiin arvottamalla riskejä, teknisiä mahdollisuuksia ja kustannuksia. Ratkaisu ei ollut vaihtoehtoista halvin, mutta se eliminoi useimmat riskit minimiinsä. Tulevaisuus antaa lopullisen tuomion ratkaisun onnistumisesta.

Teksti: Leena Carpén, Pertti Koskinen, Marjaana Rättö, Asko Talja ja Jouko Törnqvist, VTT, Kuva: Liikennevirasto

Glykolin ominaisuuksia

Hapettomissa olosuhteissa glykolin hajoamisen välituotteina muodostuu alkoholeja ja orgaanisia happoja, joista olennaisimpia ovat etikkahappo ja propionihappo. Glykolit ja niiden hajoamistuotteet voivat edelleen hajota sulfaattia, mangaania tai rautaa pelkistävien mikrobien vaikutuksesta hiilidioksidiksi ja vedeksi, jolloin muodostuu pelkistyneitä yhdisteitä ja hapetuspotentiaali maassa laskee. Hajoamisen viimeisessä vaiheessa metanogeeniset mikrobit voivat pelkistää pienimolekyylisiä hiilyhdisteitä metaaniksi.

Glykolit hajoavat maaperässä useiden mikrobien yhteistoiminnan tuloksena ja ovat periaatteessa helposti biohajoavia. Mikrobien toimintaa voivat kuitenkin rajoittaa monet tekijät kuten alhainen lämpötila, toksiset yhdisteet, ravinteiden (typpi, fosfori) ja hajottamisreaktioissa tarvittavien elektronien vastaanottajien (happi, sulfaatti, Fe(III) ja Mn(IV)) puute. Tällöin ympäristöön kertyy glykoleja ja osittain hajonneita välituotteita, joiden hajotus voimistuu olosuhteiden muuttuessa suotuisammaksi.

Hapot uhkaavat betonia

Happojen vaikutus betonimateriaaleihin on seurausta niiden sisältämien vetyionien ja betonin, useimmiten sen sideaineen, sisältämien komponenttien välillä tapahtuvista vaihtoreaktioista. Sementistä muodostunut betonin sideainematriisi siis liukenee happoihin. Hapon vaikutus näkyy aluksi betonin lujuuden alenemisena, loppuvaiheessa sen täydellisenä tumeltumisena. Betonin syöpymisnopeus happoliuotuksessa riippuu paitsi vetyionikonsentraatiosta, eli pH:sta, niin myös vaikuttavan hapon laadusta. Hiilidioksidia sisältävä vesi, ns. hiilihappo, vaikuttaa betoniin periaatteessa samalla tavalla kuin muutkin hapot, mutta hiilidioksidista aiheutuvalla syöpymisellä on lisäksi tiettyjä omia piirteitään, minkä vuoksi se luetaan erilliseksi syöpymämekanismiksi. Veteen liuennut hiilidioksidi on yleensä peräisin ilmasta tai maa- ja kiviaineksen mineraaleista, mutta paikoitellen sitä voi esiintyä suurina pitoisuuksina myös biokemiallisen ja mikrobiologisen toiminnan seurauksena.

Teräs hapettuu ja liukenee hapettomasti

Metallien syöpyminen eli korrosio on luonteeltaan sähkökemiallista eli se tapahtuu vesiliuoksen välityksellä. Hiiliteräs syöpyy aina jossain määrin happipitoisen veden vaikutuksesta, mutta erityisen aggressiivisia teräkselle ovat happamat ja suolapitoiset vedet. Happipitoisuuden ja veden laadun lisäksi myös lämpötilalla on merkitystä; lämpötilan kasvaessa korrosio useimmiten nopeutuu. Samoin korrosio kiihtyy pH-arvon laskiessa ja vastaavasti hidastuu pH-arvon noustessa. Happamassa vedessä teräs voi syöpyä ilman happeakin. Neutraalialueella teräksen korrosio riippuu veden happipitoisuudesta. Hapellisissa luonnonvesissä hiiliteräksen korrosionopeudet ovat yleensä selvästi alle 0,1 mm vuodessa.

Hapettomassa vedessä teräksen korrosio on hyvin hidasta, mikäli vesi ei ole hapanta tai mikäli teräspinnoilla ei ole mikrobitoimintaa. Pinnoittamatonta terästä voidaan käyttää siten esimerkiksi suljetuissa lämmitysjärjestelmissä. Yleisesti ottaen järjestelmää pidetään suljettuna, kun veden happipitoisuus on alle 0,1 mg/l. Hapettomissakin olosuhteissa luonnonvesissä hiiliteräs voi syöpyä voimakkaasti mikrobiologisen korroosion (Microbiologically Influenced Corrosion, MIC) seurauksena. Metallien mikrobiologinen korrosio on prosessi, jossa mikrobit muuttavat joko fyysisesti tai kemiallisesti ympäristöolosuhteita sellaisiksi, että sähkökemialliset korrosioprosessit kiihtyvät. Näitä mikrobiologisen toiminnan vaikutuksia ei aina osata ottaa huomioon eikä kaikkia etukäteen tiedetäkään, jolloin vaurioituminen tulee yllätyksenä ja usein myös odottamattoman nopeasti.

Tunnelista otetut vesinäytteet sisälsivät sulfaattia pelkistäviä bakteereja (SRB) ja metanogeenejä, jotka voivat käyttää glykoleja energian ja hiilen lähteinä. Sulfaattia pelkistävät bakteerit voivat glykolin hajottamisen lisäksi pelkistää vedessä olevan sulfaatin rikkivedyksi tai raudan läsnä ollessa rautasulfidiksi ja tätä kautta aiheuttaa mikrobiologista korroosiota ja syöpymisnopeuden huomattavaa kasvua. Kokeellisesti on mitattu hiiliteräkselle syöpymisnopeuksia jopa 1 mm vuodessa SRB:n läsnäollessa ja olosuhteiden vaihdelta hapellisesta hapettomaan. Täysin hapettomissakin oloissa syöpymisen nopeudeksi on saatu 0,7 mm vuodessa. Aiemmin pidettiin sulfaattia pelkistäviä bakteereja pääasiallisimpina teräksen mikrobiologisen korroosion aiheuttajina hapettomissa olosuhteissa. Nytemmin on kuitenkin saatu tuloksia, joiden mukaan myös metanogeenit ovat osallisena korroosiotapahtumassa.

Lue lisää:

BY 50 Betoninormit 2012: