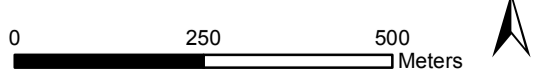
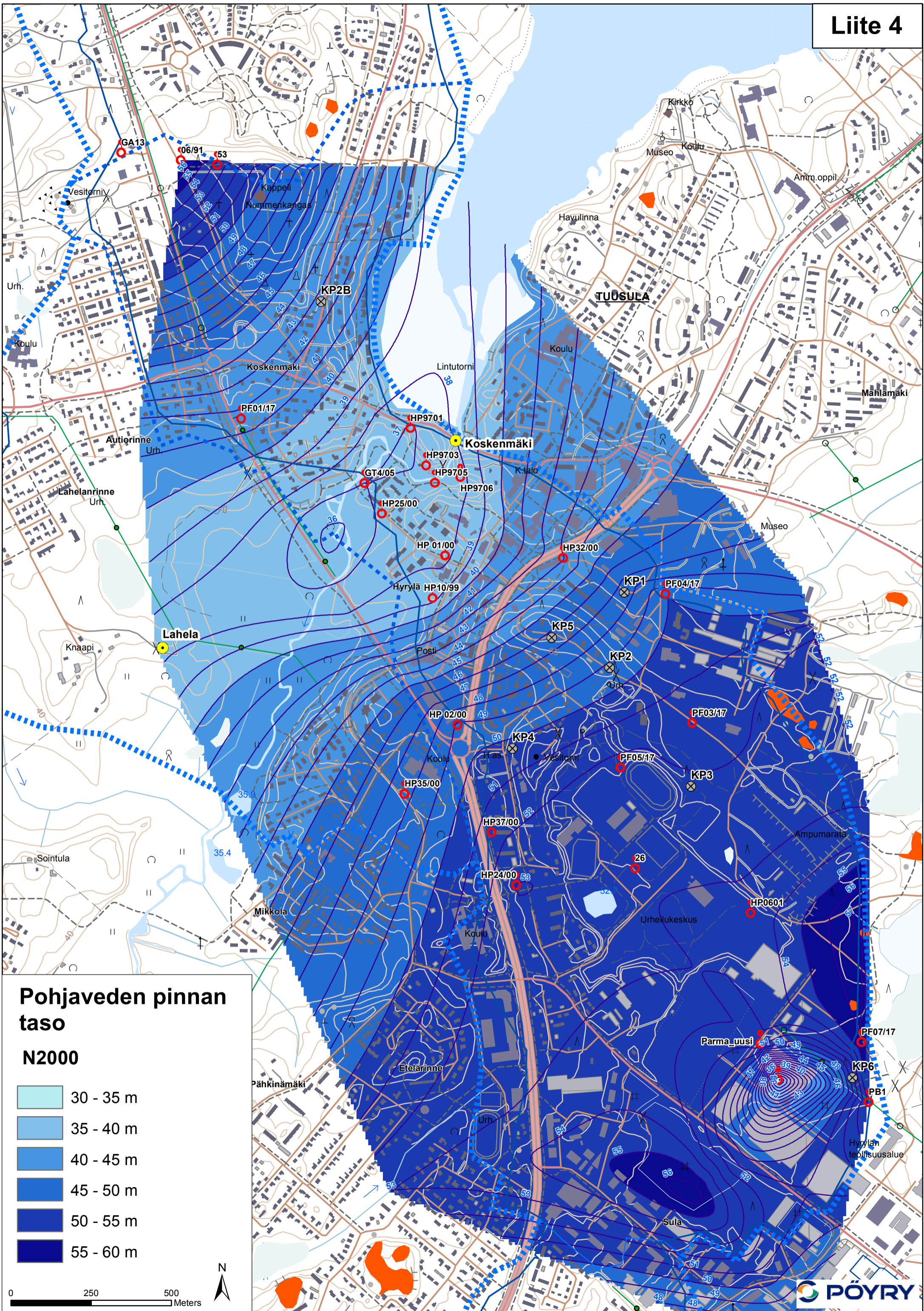


Kalliopinnan taso

N2000

- 45 - -30 m
- 30 - -15 m
- 15 - 0 m
- 0 - 15 m
- 15 - 30 m
- 30 - 45 m
- 45 - 60 m
- 60 - 75 m
- 75 - 85 m

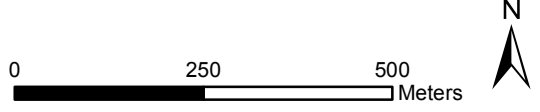


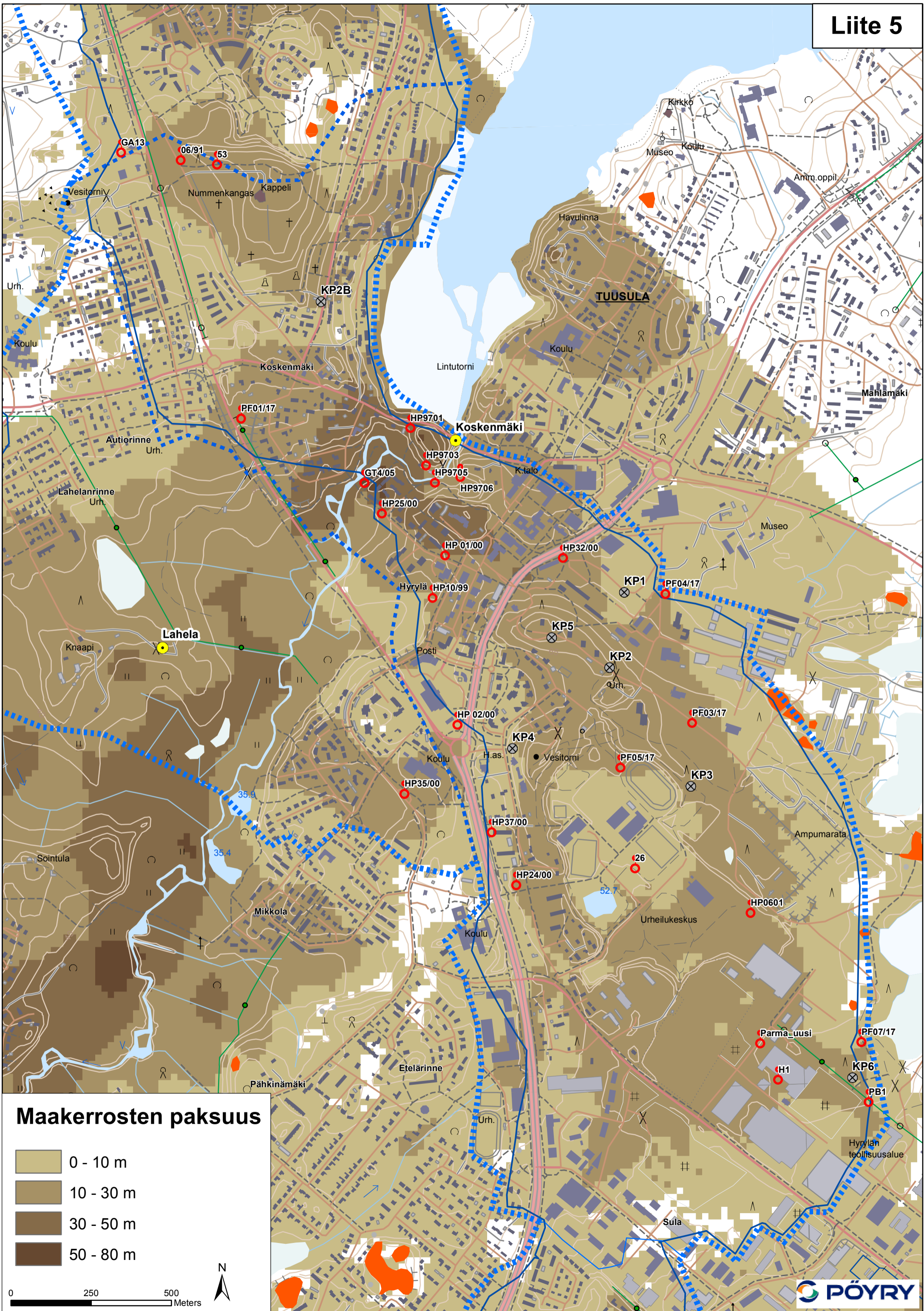


Pohjaveden pinnan taso

N2000

- 30 - 35 m
- 35 - 40 m
- 40 - 45 m
- 45 - 50 m
- 50 - 55 m
- 55 - 60 m



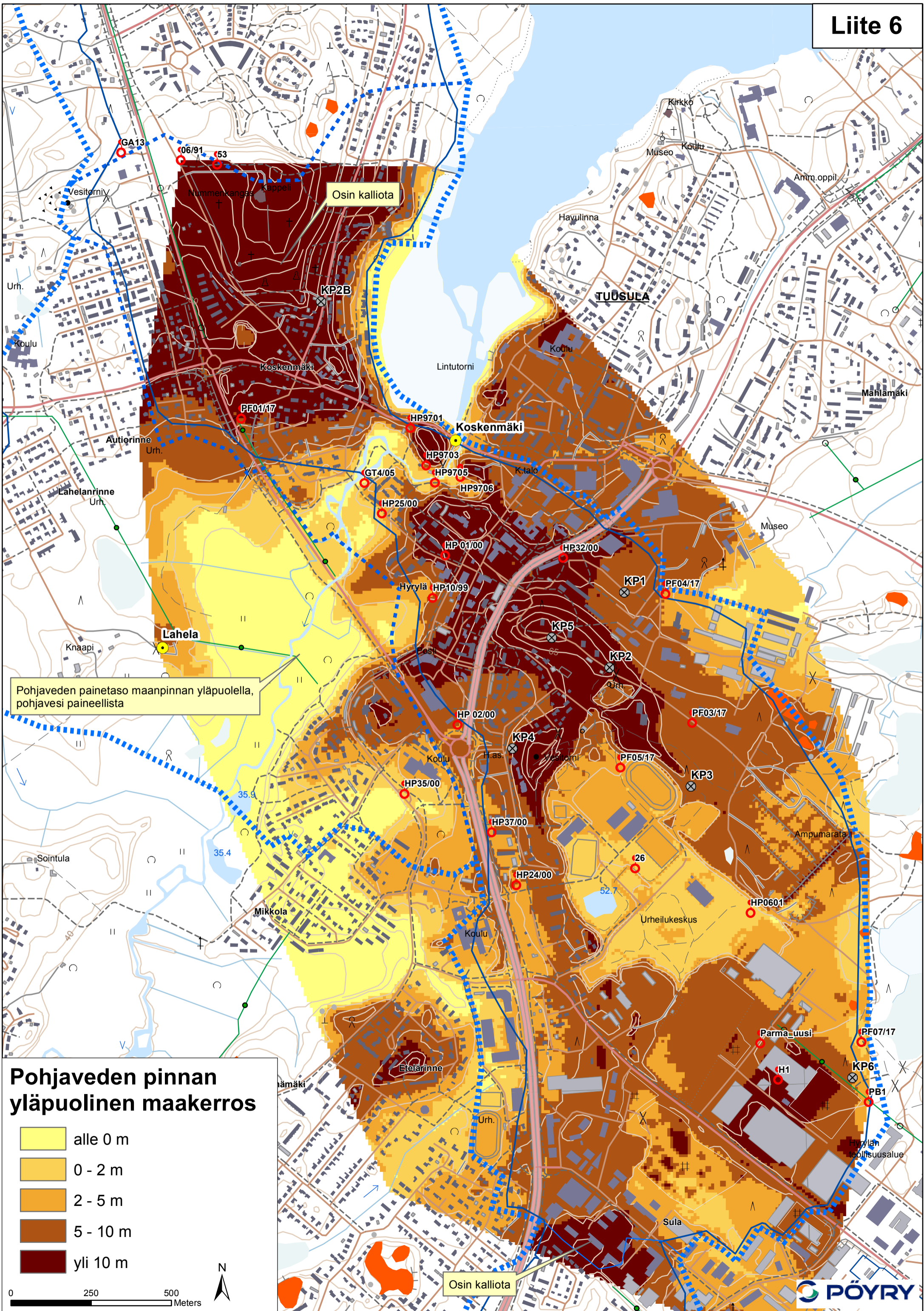


Maakerrosten paksuus

- 0 - 10 m
- 10 - 30 m
- 30 - 50 m
- 50 - 80 m

0 250 500 Meters

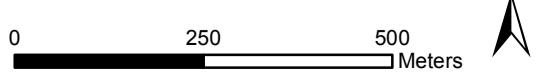


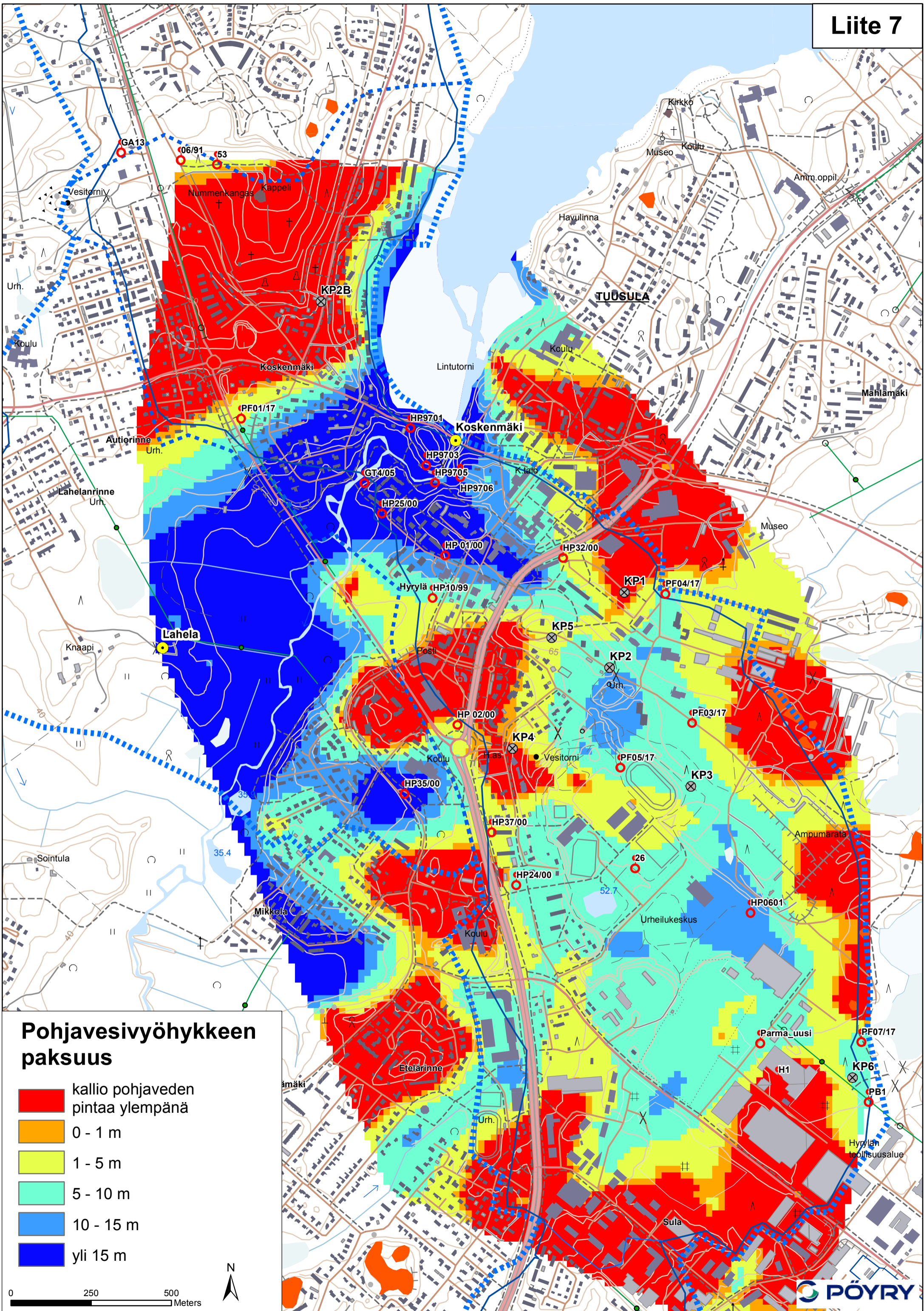


Pohjaveden painetaso maanpinnan yläpuolella, pohjavesi paineellista

Pohjaveden pinnan yläpuolinen maakerros

- alle 0 m
- 0 - 2 m
- 2 - 5 m
- 5 - 10 m
- yli 10 m



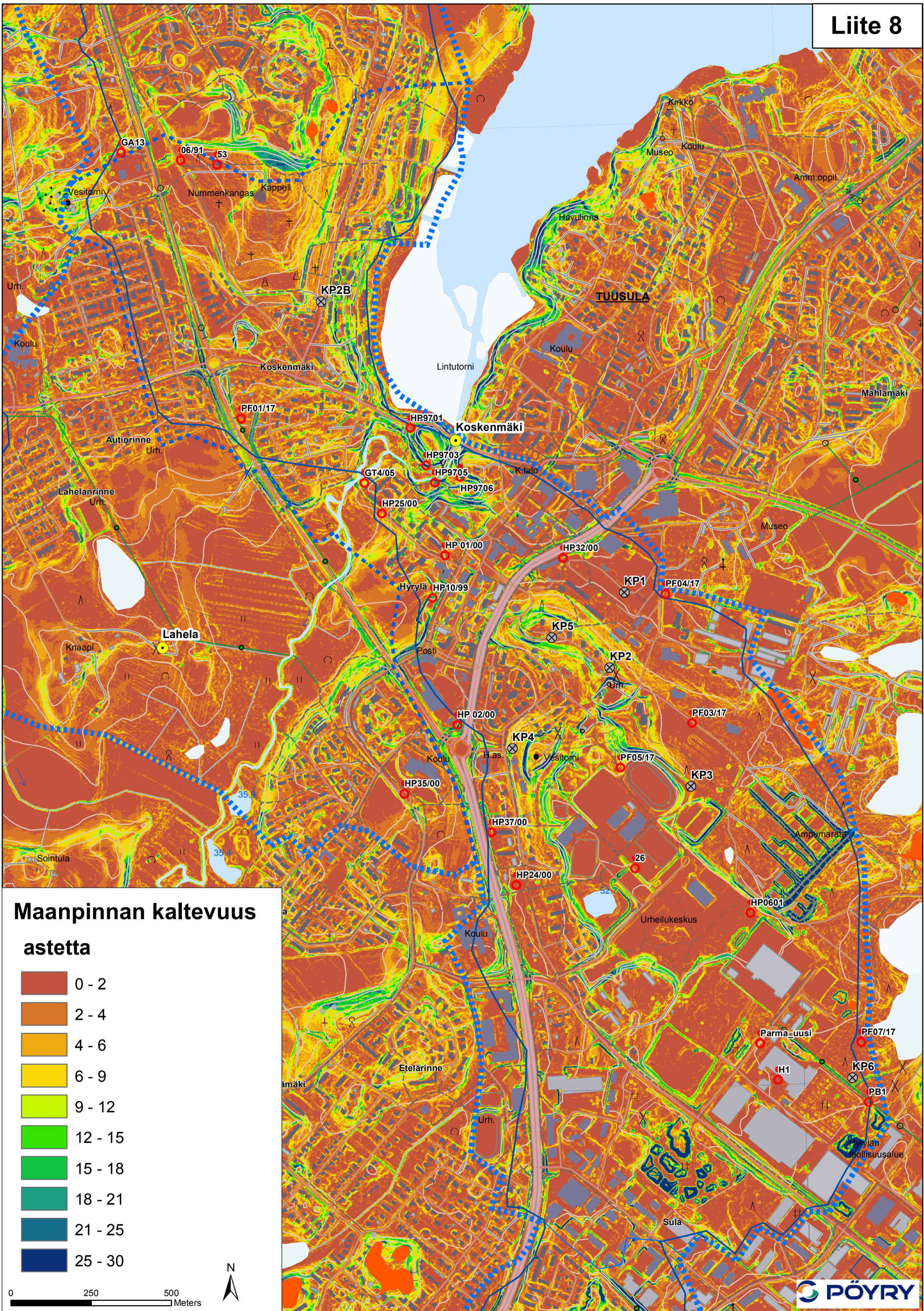


Pohjavesivyöhykkeen paksuus

- kallio pohjaveden pintaa ylempänä
- 0 - 1 m
- 1 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 15 m
- yli 15 m

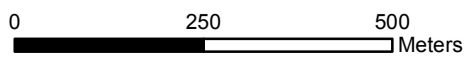
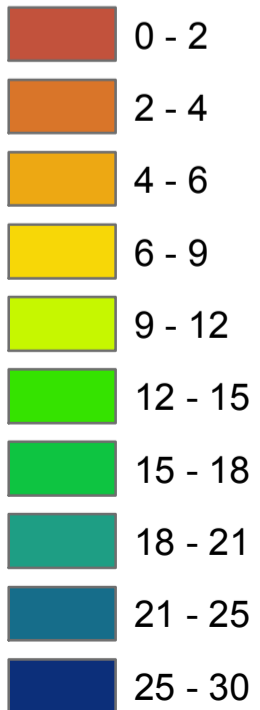
0 250 500 Meters

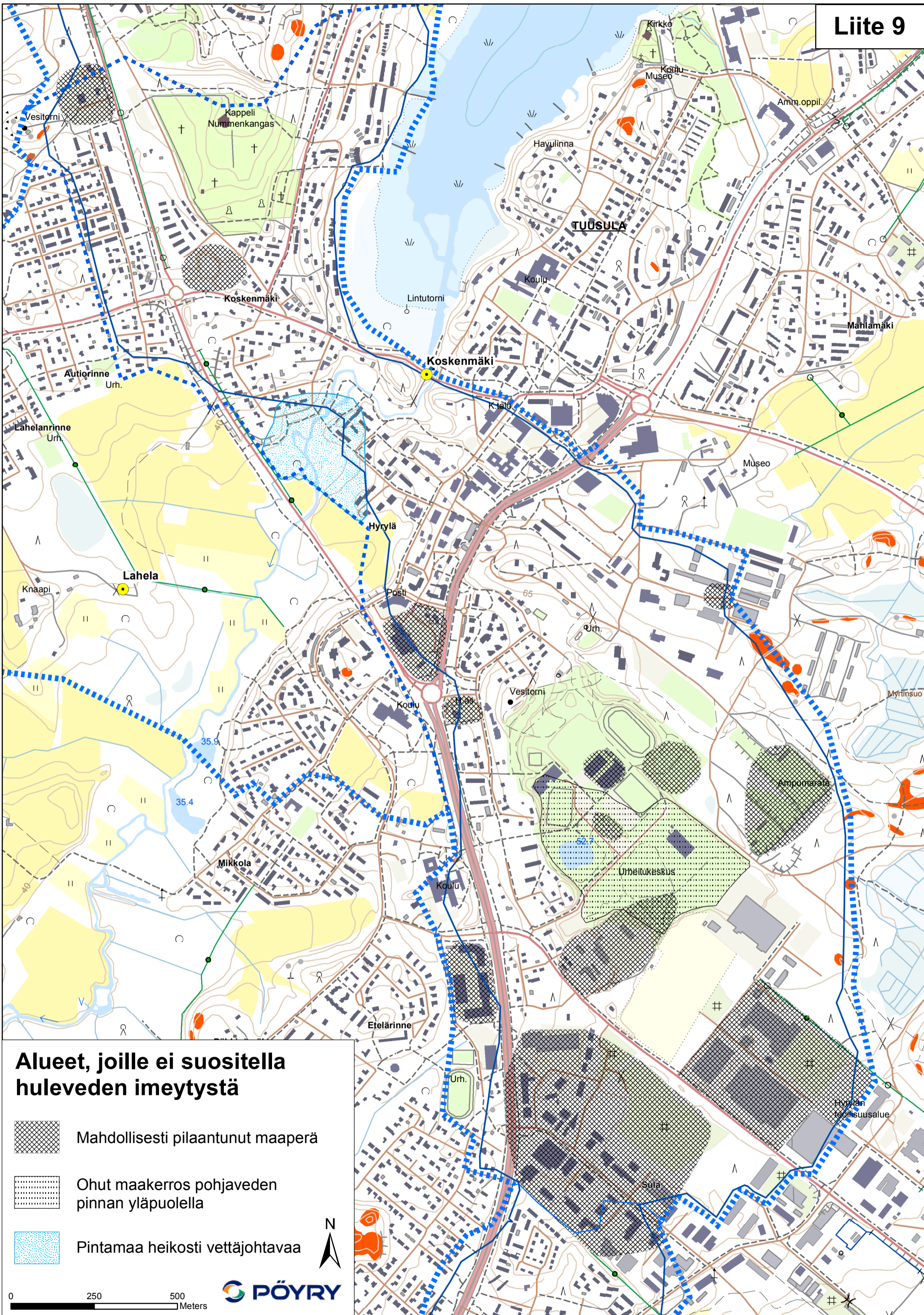





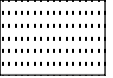
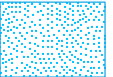
Maanpinnan kaltevuus

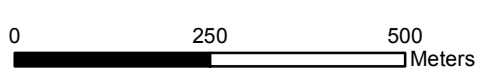
astetta





Alueet, joille ei suositella huleveden imeytystä

-  Mahdollisesti pilaantunut maaperä
-  Ohut maakerros pohjaveden pinnan yläpuolella
-  Pintamaa heikosti vettäjohtavaa



MAATUTKALUOTAUSTUTKIMUSRAPORTTI

Tuusulan kunta, Hyrylä

GWI-2018_021004/30.1.2018

GEO-WORK INFRA OY

Y-tunnus 2836113-1

terho.makinen@geo-work.com

tel. +358 (0)50 557 9098

Linjalantie 16, 05430 Nuppulinna

SISÄLLYSLUETTELO

- 1 MAATUTKALUOTAUS: Tuusulan kunta, Hyrylä**
- 1.1 Tehtävä**
- 1.2 Maastotyöt**
- 1.3 Mittauskalusto**
- 1.4 Tulostus**
- 1.5 Yleistä tulkinnasta**
- 1.6 Tulkinnat: Tuusulan kunta, Hyrylä**
- 2. Maatutkaluotauksen teoriaa**
- 2.1 Teoreettiset perusteet**
- 3. Linjakartta**
- 4. Luotausprofiilit**

1. MAATUTKALUOTAUS: Tuusulan kunta, Hyrylä

1.1 Tehtävä

Geo-Work Infra Oy suoritti Tuusulan kunnan toimeksiannosta maatutkaluotauksia Hyrylän alueella Tuusulassa. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pintaa rikkomattomalla menetelmällä, maatutkalla, maaperän laatua ja kallion ja pohjaveden syvyyttä tutkattavilla linjoilla.

1.2 Maastotyöt

Nyt tehdyt maastotyöt suoritettiin 24.-25.11.2017. Tilaajalta saatuja linjoja pyrittiin noudattamaan maastossa mahdollisuuksiensa mukaan, luotauslinjat oli suunniteltu pääsääntöisesti kulkuväylille. Linjoja tehtiin 7 kappaletta, yhteensä 5300 m. Linjat numeroitiin oheisen liitekartan mukaisesti.

1.3 Mittauskalusto

Mittauskalustona oli amerikkalaisen Geophysical Survey System Inc:n (GSSI) valmistama SIR-3000 maatutka. Antennina käytettiin GSSI:n 100 MHz:n antennia riittävän syvyysulottuvuuden, mutta tarkan kuvan takaamiseksi. Antennilaitteistoa vedettiin perässä ja luotaukset voitiin tehdä käytännössä jälkiä jättämättä.

1.4 Tulostus

CF-levykkeelle taltioitu tutkatulos siirretään tutkalta tietokoneelle tulostusta ja tulkintaa varten. Tulkinta ja tulostus tapahtuu jälkikäsitteilyä GeoDoctor-signaalinkäsittelyohjelmalla.

Leikkauskuvat on tulostettu 1:300/1:2000 (32/500m) pysty- ja vaakamittakaavassa. Maatutkaprofiilit ovat aika-asteikossa. Liitekarttaan on merkitty tutkitut linjat ja linjapisteiden paikat, jotka löytyvät myös profiilikuvista. Kairauspisteiden sijainti on merkitty profiileihin.

Tulkinnat ovat @NP-päätteillä GT-formaatissa ja kartoitustiedon mukaisesti TM35FIN ja N2000 -järjestelmissä. Linjojen paikannus on saatu maastossa suoritettua cm-tarkalla TRIMBLE R8-GPSIIä.

1.5 Pohjavesialueiden luotauksen tulkinnasta

Tässä kappaleessa pyritään selvittämään maatutkaluotauksen periaatetta hyvin yksinkertaisesti ja lyhyesti, mutta mahdollisimman selkeästi, jotta tulkinnan periaatteista pääsisi kiinni. Tämä lähinnä sen takia, että mikäli tulosta joudutaan myöhemmin tarkastelemaan uudelleen kairauksien ym. uusien tutkimuksien valossa pystyy myös tilaaja mahdollisesti suorittamaan tulkinnan täydentämistä ja parantamista.

Maatutkaluotausten kuvatulkinna perustuu ensisijaisesti vuosien tuomaan kokemukseen, allekirjoittaneella tulkintakokemusta on vuodesta 2007, vanhemmalla konsultilla Leevi Koposella kokemusta on jo yli 30 vuotta. Tässä yhteydessä on kuitenkin mainittava, että tutkatulos on aina oikein, tulkitsija voi tehdä virheitä.

1.51 Menetelmä

Maatutka (GPR, Ground Penetrating Radar) lähettää antenniyksikkönsä avulla lyhyitä (1-6 nanosekunnin pituisia) sähkömagneettisia pulsseja mitattavaan kohteeseen, maaperään. Nämä pulssit (sähköaallot) etenevät kohteen väliaineessa noin valon nopeudella ja aina väliaineen sähköisesti muuttuvasta rajapinnasta osa lähetetystä aaltoenergiasta palautuu takaisin. Tämän takaisin palautuneen aaltoenergian voimakkuus (amplitudi) ja edestakaiseen matkaan kulunut aika (nanosekuntia) rekisteröidään tutkalaitteiston avulla näytölle ja tallentimelle.

Kun tämä tapahtuma suoritetaan liikkeessä, saadaan rekisteröityä kohteesta poikkileikkaus kohtisuoraan antennin lähetuspintaa kohden. Eli vedettäessä tutkan antennia maalla, saadaan maaperän kerrosjärjestyksestä maatutkan informaatioon perustuva poikkileikkauskuva. Tulostettavien havaintopisteiden väli määritellään mittapyörän mittaaman matkaan perusteella ja se on ollut tässä tehtävässä 30 kpl/m. Myös rajapintojen voimakkuus ja syvyys (aika ns) on havaittavissa tulostuneelta maatutkaprofiililta.

1.52 Profiilitulkinta

Rajapinta- ja maa-ainestulkinta on tehty Geo-Doctor -ohjelmistolla. Leikkauskuvan yläreunaan on merkitty profiilin tunnusnumero, sidontapisteet ja juokseva paalulukema.

Topografiakorjatuissa leikkauskuvissa on korkeustasoa ilmaisevat asteikkoviivat. Profiilissa on maanpintaa eli 0-tasoa ilmaiseva viiva ja aika asteikkoviivat. (HUOM! Syvyysasteikko on tarkka vain

kuiville hiekka- ja sorakerrostumille, joskin pohjaveden alaisissa tulkinnoissa kosteus on pyritty huomioimaan eri dielektrisyysarvolla).

Profiililla hienomman lajittuneen materiaalin tunnusmerkkinä ovat rauhalliset rakenteet, tummat yhtenäiset välikerrokset. Nämä tummat siistit välikerrokset tulevat hienommista / silttisistä kerroksista, jotka pidättävät itseensä ympäristöään enemmän kosteutta. Näissä kerroksissa sähkönjohtokyky muuttuu huomattavasti muuhun ympäristöön nähden. Tällainen kerros (rajapinta) heijastaa runsaasti sähkömagneettista energiaa takaisin, jolloin se rekisteröityy voimakkaana amplitudina.

Tasarakeinen hiekkainen materiaali näyttää profiililta hyvin vaalealta, eikä siinä juurikaan näy rakenteita. Aivan kuten luonnosakin, se on puhtaan näköistä eikä siinä ole pohjaveden lisäksi muita kerroksia, joissa olisi suuria johtavuuden muutoksia. Tämä materiaali sijaitsee yleensä silttisten kerroksien välissä. Mikäli tällaisessa materiaalissa on pohjaveden pinnan taso, on se selvästi havaittava taso.

Karkeamman materiaalin (kHk,Sr) tunnistaa yleensä profiililta sekaisesta kuvasta, jossa on runsaasti kulmikasta parabeliä ja jyrkkiä rakenteita. Yleiskuvaltaan materiaali on levoton ja hieman "puuromainen". Mikäli karkea materiaali sijoittuu harjuyttimeen ja luotauslinja on poikittain jäätikön virtaussuuntaa kohti, reunustavat tällöin karkeaa materiaalia yleensä lievehiekat. Nämä lievehiekkajen rakenteet nousevat molemmilta puolilta karkeamman materiaalin kylkeen. Sorainen materiaali voi joskus sekoitua myös karkeaan moreeniainekseen tai päinvastoin. Yleensä kuitenkin moreeni sisältää enemmän hienoa ainesta, joka tekee siitä profiilikuvalla selvästi tummemman kuin sorasta. Moreenilla pohjaveden pintaa ei ole havaittavissa, ainoastaan heijasteiden paksuudesta voidaan saada viitteitä siitä. Tämä johtuu siitä, että materiaalissa on kapillaari-ilmiö eikä siinä ole selvää kuivan ja märän rajapintaa.

Profiileille on kirjainsymboleilla kuvattu maalajeja ja lajittuneessa materiaalissa suuntaa antavaa karkeusastetta:

Sa	Savi
Si	Siltti
SiHk	Siltti hiekka
hHk	Hieno hiekka
Hk	Hiekka
kHk	Karkea hiekka
srHk	Sorainen Hiekka
HkSr	Hiekkainen sora
Mr	Moreeni
Ka	Kallio

Tulkintaa luettaessa on huomioitava, että kirjainsymbolit ovat merkitty tukemaan ja selventämään tulkintaa ja antavat viitteen keskimääräisestä karkeusasteesta kyseisellä alueella. Esimerkiksi samalla hiekkaiseksi merkityllä kohdalla voi vertikaalisesti esiintyä myös jotain silttikerroksia ja mahdollisesti myös ohut sorainen välikerros, mutta kuitenkin pääasiassa kokonaisuus on hiekka. Samoin maa-aineksessa voi myös olla joukossa kiviä. Moreenin/kalliopinnan ollessa epävarma/kairaamaton, käytetään tekstiä Mr/Ka, varmempana pidettävä kallio on merkitty tekstillä KA?.

Harjun lievealueilla saattaa paikoin olla ohuelti savea, joka näkyy profiileissa huomattavana savikerroksen alapuolisten rakenteiden vaimenemisena. Savikerros ei itse erotu erillisenä rajapintana vaan se on tulkittava alapuolisten rakenteiden vaimenemisen perusteella. Ohut siltti tai savikerros ei välttämättä erotu porakonekairauksissa.

Kuvissa ylimpänä näkyy maanpinnan topografia ja sen alla punaisella tulkittu kallion/moreeninpinta. Vihreällä on kuvattu saveen ja siltin rajapintoja ja sinisellä turvealtaita.

Tulkinnoissa on otettu huomioon käytössä olleet kairaus- ja putkitiedot. Linjoilla L03-L05 jotkin tulkinnat hiukan muuttuivat korkeusasemaltaan ennakkotulkinnoista referenssitietojen valossa.

1.6 Tulkinnat: Tuusulan kunta, Hyrylä

Linjat L01-L05 tehtiin urheilupuiston alueelle ja Linjat L06-L07 hautausmaan alueelle. Luotausprofiilien tulkintaa voidaan yleisesti ottaen tässä kohteessa kalliopinnan suhteen paikoin hyvinkin haastavana, paikoin varmempana. Kallio on paikoin käytetyn tutkakaluston syvyysulottuvuuden alapuolella. On myös huomioitava, että kallioperä 'näyttää' tutkaprofiililla hyvin samanlaiselta kuin moreeniaines, jolloin kalliorajapinnan virhetulkinnan mahdollisuus lisääntyy.

Linjalla L01 Pohjavesi erottuu heikohkosti, mutta asettuu kuitenkin tulkintatopografian perusteella kauttaaltaan uskottavaan korkeusasemaan. Kallio vaikuttaisi olevan koko ajan tulkintasyvyvyydellä, pisteellä 67 mahdollisesti hyvinkin lähellä maanpintaa.

Linjalla L02 kallion on kaikkein varmimmin tulkittavissa ja mahdollisesti hyvinkin lähellä maanpintaa. Pistevälillä 95-90 syvyysulottuvuutta tulee kallionpintaan nähden ilmeisesti liikaa, heikosti tulkittavat rajapinnat liittyvät tällä kohdalla korkotason perusteella pohjaveteen. Referenssikairauksia tälle linjalle ei ollut käytettävissä.

Linjalla L03 kalliotulkintoja ei juuri ole. Pistevälillä 44-45 on hienompien hiekkojen reunustama karkeamman aineksen 'kumpu', mahdollisesti ydinharju, syvällä on joko karkeampaa ainesta tai kallio. Korkeimmalla kohdalla (pisteet 37-116) vaikuttaa olevan hyvin paksu harju-aines.

Linjalla L04 pohjavesitaso ja kallio on tulkittavissa Linjan L01 tapaan.

Linjalla L05 kalliopinta vaikuttaisi olevan syvällä ja toisaalta loppuosa linjasta menee paksujen harjumassojen alueelle. Pisteellä 84 on viitteitä samanlaisesta harjuytimen kohdasta kuin Linjalla L03. L05 mahdollisesti muutenkin kulkee osittain pitkin tuota ydintä, eikä se erotu kuvasta muualla. Olisi loogista, että Linjalla L04 vastaava kohta erottuisi esimerkiksi pistevälillä 36-38, mutta näin ei jostain syystä ole.

Linjat L06 ja L07 sijaitsevat pohjoisempana hautausmaan alueella. Tällä alueella harjuydin vaikuttaisi olevan tulkittavissa Linjalla L06 pistevälillä 6-7 ja Linjalla L07 korkeimmalla kohdalla kappelin edessä. Linjan L06 alkuosuus vaikuttaisi maa-aineksen puolesta lajittuneilta hiekka-aineksilta, mutta loppuosuus pl200> silttisemmältä/moreenimaiselta. Samankaltainen tekstuuri profiilikuvassa näkyy aivan linjan L07 lopussa. Kalliot vaikuttavat olevan alueella hyvin syvällä. Harjualueella luodattaessa kuva muuttuu joskus paljonkin, kun kulkusuuntaa vaihdetaan harjun suuntaan nähden. Tämä näkyy jonkin verran erityisesti linjalla L06, jossa hautausmaaolosuhteista johtuen linjat mutkittelevat.

Maatutkaluotausten tulkinta on aina suuntaa-antava, joskin luonnollisesti varsinkin referenssipisteiden läheisyydessä tulos on hyvinkin tarkka. Lisäämällä referenssikairauksia tuloksia voidaan entisestään tarkentaa. Kallion pinnaksi on pyritty aina tulkitsemaan ylin mahdollinen rajapinta ts. tällä pyritään siihen, että moreeni/kallio on korkeintaan tulkitulla korkeustasolla. Tulkitun rajapinnan koodi on aina 10(kallio) txt-muotoisissa tulkintatiedoissa. Dielektrisyysarvona on tulkinnassa kokemukseen perustuen käytetty lukuja 6-16. Noudatamme Konsulttitoiminnan yleisiä sopimusehtoja KSE2013.

Tuusulassa 30.1.2018

Terho Mäkinen
Toimitusjohtaja, Maanmittausinsinööri (AMK)
Geo-Work Infra Oy

2. MAATUTKALUOTAUKSEN TEORIAA

Maatutka on radiotaajuusaluetta käyttävä sähkömagneettinen luotauslaite. Siinä lähetinantennilla lähetetään väliaineeseen sähkömagneettisia pulsseja ja vastaanotinantennilla rekisteröidään väliaineen sähköisiltä rajapinnoilta takaisinheijastuneet aallot. Luotaus voidaan tehdä joko tutkittavan väliaineen pinnalta tai väliaineen sisältä. Ensimmäinen tapa on yleisimmin käytetty ja siinä mittauslaitteiston ei tarvitse välttämättä koskettaa tutkittavaa väliainetta. Jälkimmäistä tapaa käytetään reikäutkassa.

Maatutkan kehitys on seurannut läheisesti muiden tutkamenetelmien teknistä ja tulkinnallista kehitystä. Pulssitutka kehitettiin 1920-luvun lopulla, mutta vasta 1950-luvun vaihteessa tehtiin ensimmäiset onnistuneet mittaukset. 1970-luvun alussa tutkaluotausta sovellettiin maassa olevien kaapeleiden, putkien ja esineiden paikannukseen. Tämän jälkeen mittalaitteiden kehitys on ollut ja sovellukset ovat lisääntyneet. Tutkaa sovelletaan geologisten kohteiden lisäksi mm. tie- ja betonirakenteiden tutkimiseen, vesistö- ympäristö- ja arkeologisiin tutkimuksiin. Kivi- tutkimukset ovat maatutkan uusimpia sovelluskohteita.

2.1 Teoreettiset perusteet

Maatutkaluotauksen periaate on melko yksinkertainen. Tutkalaitteen antenni lähettää väliaineeseen lyhytkestoisen sähkömagneettisen pulssin radiotaajuudella. Kun pulssi kohtaa väliaineessa sähköisen rajapinnan, osa aaltoenergiasta heijastuu takaisin osan jatkaessa etenemistään. Tutka-antennilla mitataan takaisin heijastuneen aallon lähtöhetkestä paluuhetkeen kulunut aika ja amplitudi. Tutkan liikkuessa tätä toistetaan nopeassa tahdissa ja muodostettavat tulostussignaalit eli pyyhkäisyt piirretään intensiteetti- ja amplitudipiirillä tiheästi peräkkäin, jolloin tuloksena saadaan jatkuva profiili väliaineessa olevista sähköisistä rajapinnoista.

Sähkömagneettisen aallon käyttäytyminen väliaineessa on esitetty monissa tutkaluotaukseen liittyvissä julkaisuissa. Yleistäen voidaan todeta, että aallon etenemisnopeuteen ja heijastumiseen vaikuttavat väliaineen dielektrisyys ja susceptibiliteetti. Väliaineen sähkönjohtavuus vaikuttaa aallon vaimenemiseen ja sillä on vähäinen vaikutus heijastumiseen. Jos susceptibiliteetin ja dielektrisyyden yhteisvaikutusta kuvataan suurella ϵ , voidaan käytännön maatutkaluotauksessa pitäytyä yksinkertaisiin kaavoihin:

Aallon etenemisnopeus (1)	$v=c/e$
Rajapinnan syvyys (2)	$s=v*t/2$
Heijastuskerroin (3)	$K=(e_2-e_1)/(e_2+e_1)$
Läpäisykerroin (4)	$R=1-K$
Vaimeneminen väliaineessa (5)	$A=1635* e$
Aallonpituus (6)	$l=1000*c/(f*e)$

joissa c =valon nopeus tyhjiössä (0,3 m/ns)
 e = aallon etenemisnopeuteen vaikuttava suure
 t = kulku aika väliaineessa ($ns=10E-9$ s)
 A = vaimeneminen väliaineessa (dB)
 $=$ väliaineen sähkönjohtavuus (S/m)
 f = taajuus (MHz)

Aallonpituus vaikuttaa ohuiden kerrosten erotuskykyyn. Maatutkaluotauksessa lähetetään puolitoista jaksoa sinimuotoista pulssia. Korkeataajuisilla antennilla, 500 MHz:stä alkaen, saadaan hyvä ohuiden kerrosten erottelukyky. Toisaalta syvyysulottuvuus pienenee myös merkittävästi. Matalataajuisilla antennilla erottelukyky on karkeampi, mutta syvyysulottuvuus on huomattavasti parempi kuin korkeataajuisilla antennilla.

Jos oletetaan väliaineen magnetoitumiskyky eli susceptibiliteetti pieneksi, eli väliaineessa ei ole magnetoituvia ainesosia, em. kaavat 1-4 riippuvat pelkästään dielektrisyydestä. Kuivien aineiden dielektrisyyden on noin 4. Ilman dielektrisyyden on 1 ja veden 81. Veden ja ilman määrän vaihtelu huokoisessa väliaineessa vaikuttavat ratkaisevasti sähkömagneettisen aallon etenemisnopeuteen ja rajapinnalla tapahtuvaan aallon heijastumiseen.

Sähkömagneettisen aallon vaimeneminen väliaineessa on suoraan verrannollinen väliaineen sähkönjohtavuuteen. Jokaisella sähköisellä rajapinnalla tapahtuu sen luonteesta riippuva jakautuminen heijastuvan ja läpäisevän aallon osiin. Lisäksi aalto edetessään leviää suuremmalle alalle, joten energia pinta-alayksikköä kohden pienenee.

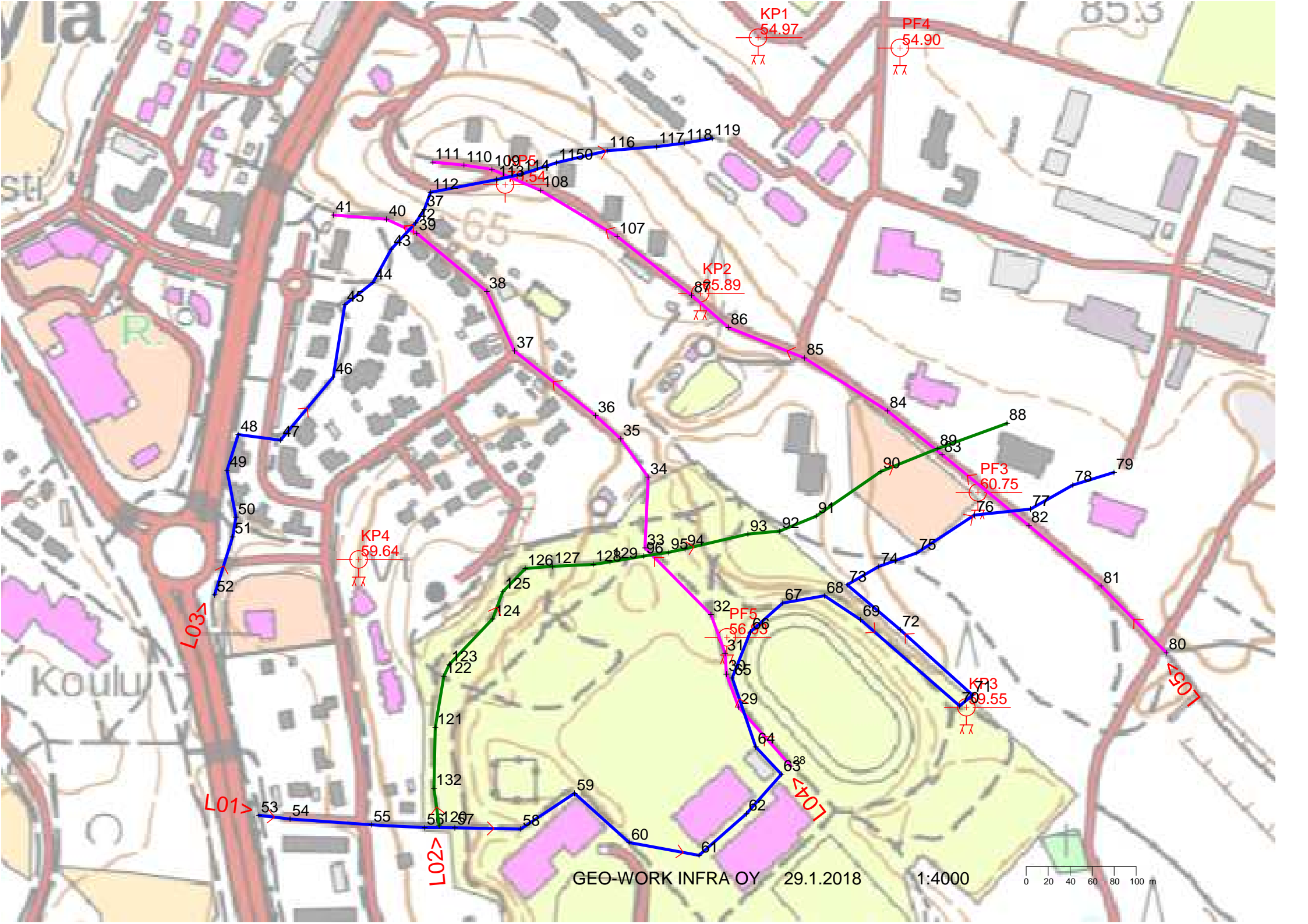
Sähköä hyvin johtavissa väliaineissa (johtavuus yli 10nS/m) on

vaimeneminen väliaineessa merkittävää. Jos väliaineen johtavuus on pieni, mutta sähköisiä rajapintoja on runsaasti, vähentävät moninkertaiset heijastukset maatutkauksen tunkeutumissyvyyttä. Kun johtavuus on pieni ja heijastavia rajapintoja vähän (esim. ehjä kallio), aalto vaimenee antennin ja heijastavan rajapinnan etäisyyden funktiona. Sähkömagneettinen aalto heijastuu ja läpäisee jokaisen rajapinnan myös ylöspäin saapuessaan.

Koska antennien keilakulma on $n \approx 45^\circ$, antenni rekisteröi linjalla olevat heijastavat kappaleet ennen ja jälkeen niiden todellista paikkaa ja havaitsee myös sivulla olevat kohteet. Suoraan mittauslinjalla oleva aallonpituuteen nähden suuri kappale vaikuttaa alla olevien rajapintojen muotoon. Esimerkiksi järven pohjalla oleva kivi aiheuttaa tutkakuvassa järven pohjan "hyppäämisen ylös". Mittauslinjan sivulla oleva heijastava kohde näkyy tutka-profiilissa yhdessä antennin alta saapuvien heijastuksien kanssa. Useimmiten sivuheijasteiden merkitys on mitätön.

Jos välikerros on paksuudeltaan alle puolitoista aallonpituutta, vaikuttavat peräkkäiset heijastukset toisiinsa. Heijastuksen taajuus muuttuu ja peräkkäiset heijastukset saattavat vaimentaa toisensa. Ilmiö riippuu sähkömagneettisen aallon rajapintojen välissä kuluttamasta ajasta sekä rajapinnoilla tapahtuvasta vaihekulmien muutoksista.

Kohdatessaan sähköisen rajapinnan korkeataajuinen sähkömagneettinen aalto taittuu ja heijastuu optiikan lakien mukaan. Koska aaltoa heijastavalla pinnalla täytyy olla myös tietty laajuus (pinta-ala), maatutkalla ei voida havaita pystyjä tai lähes pystyjä kapeita rakenteita, jos mittaus tehdään väliaineen pinnalta. Tämä koskee kuitenkin lähinnä tavanomaista maatutkaluotausta, jolloin mittaus tapahtuu tasolta ja lisäksi mittausnopeus on hyvin suuri pystyrakenteen kokoon nähden.



Via

Sti

Koulu

L03

L01

L02

L04

L05

KP1
54.97

PF4
54.90

PF1
53.34

KP2
57.89

PF3
60.75

KP4
59.64

PF5
56.69

KP3
59.55

GEO-WORK INFRA OY 29.1.2018

1:4000

0 20 40 60 80 100 m



L07 >

45

L06 >

Kappeli

Hav

Lintutorni

PF1
52.24

PF2
59.18

GEO-WORK INFRA OY 29.1.2018 1:4000

0 20 40 60 80 100 m

