

asiantuntijan avulla ja niillä pyrittiin saamaan edustava ote alueen geologiasta. Mittaukset ajoitettiin ajankohtaan, jolloin pintamaa oli jäässä, jotta saataisiin paras mahdollinen tulos. Mittaukset sujuivat hyvin suotuisissa olosuhteissa, poutaisessa pakkassäässä. Paikoitellen mitatut osuudet olivat lätköityneitä ja mutaisia, mikä vaikeutti tulkintatyötä jonkin verran.

Parhaat tulokset saavutettiin 100 MHz:n antennilla ja tässä raportissa käytetään esimerkkinä vain tämän antennin tuottamaa dataa.

## 4. Tutkimustulokset

### 4.1 Yleistä, maaperän ja kallioperän stratigrafia

Maatutkatulosten perusteella Tuhalan maaperän ja kallioperän stratigrafia on tyypillisesti seuraava:

#### 1. Glaciogeeniset ja postglasiaaliset pintamaat (1-3 m)

Tuhalan alueen maan pintaosan maakerrosten paksuus on tyypillisimmillään 1 m, mutta mittauksissa tavattiin paikoin jopa 3 m paksuja maakerroksia. Nämä maaperän kerrokset ovat syntyneet viimeisen jääkauden aikana tai sen jälkeen ja ovat koostumukseltaan moreeneja silttejä ja saveja tai turvetta.

#### 2. Rapautunut kallio (paikoin)

Maaperän alla ja kallion välissä tavataan paikoin rapautunutta kallioperää eli rapakalliota. Näillä alueilla maaperä kallio muuttuu alaspäin mentäessä kiinteäksi kallioksi. Rapakalliossa voidaan paikoin nähdä selkeitä sedimenttikivien rakenteita kuten kuva 4 osoittaa.

Võimalikult parema tulemuse saamiseks tehti mõõtmised ajal, mil pealmine pinnasekiht oli külmunud. Mõõtmised toimusid väga soodsates tingimustes, kuiva ja pakaselise ilmaga. Paiguti olid mõõdetud kohad mudased ja porilompidega, mis tõlgendamist mingil määral raskendas.

Parimad tulemused saadi 100 MHz antenniga ja käesolevas aruandes kasutatakse näidetena ainult selle antenniga saadud andmeid.

## 4. Uuringu tulemused

### 4.1 Üldist pinnase ja aluspõhja stratigraafiast

Georadaruuringute põhjal on Tuhala pinnase ja aluspõhja tüüpiline stratigraafia järgmine.

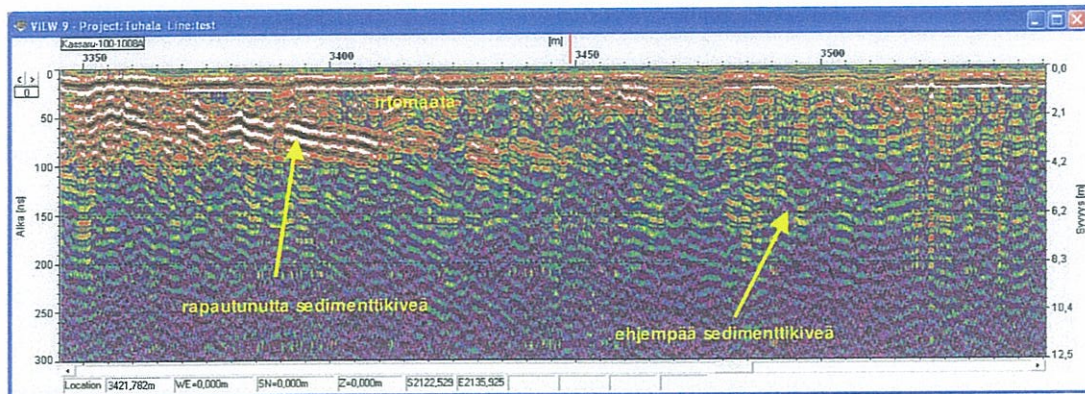
#### 1. Liustikutekkelised ja pärastjääaegsed pinnasekihid (1–3 m)

Tuhala piirkonna pindmiste pinnasekihtide paksus on enamasti 1 m, kuid mõõtmistel leiti kohati kuni 3 m paksuseid pinnasekihte. Need pinnasekihid on tekkinud viimase jääaja kestel või pärast seda ning need koosnevad moreenist, liivsavist ja savist või turbast.

#### 2. Murenenud aluskivim (kohati)

Pinnase all ja aluskivimi vahel leiti kohati murenenud aluspõhja ehk rabakivi. Nendes piirkondades muutub aluspõhi allapoole liikudes ühtseks aluskivimiks. Nagu joonisel 4 näha, on rabakivis kohati selgeid settekivimite struktuure.





Kuva 4. Sedimenttikivien rakenteita, jotka jatkuva kuvan yläosan rapakalliossa (alle 3 m:n syvyys).

### 3. Kiinteän kallio ja maanalaiset joet

Siellä missä maanalaisia jokia tavattiin oli kallioperän rakenne yleisesti seuraava:

Maatutkatulosten perusteella Tuhalan alueella tavattiin pinnassa yleisesti 3-4 m paksu kalliokerros, joka heijasteiden perusteella voitiin arvioida olevan suhteellisen ehjää kalkkikiveä.

Tämän kiinteän kallion alla oli huokoinen kalliohorisontti, jonka kivilaji lienee kalkkikiveä, mutta se voi olla myös kipsikiveä, jota tavallisimmin karstialueilla tavataan. Tämän kerroksen paksuus vaihteli välillä 2-4 m. Maatutkaluotausten perusteella tämä geologinen horisontti voitiin luokitella kolmeen luokkaan: a) kiinteämpi kallio, jossa ei näkynyt merkkejä ylimääräisestä vedestä, b) huokoisempi kallio, jossa saattoi olla paikallisesti vettä, mutta jolla ei näyttäisi olevan pitempää hydraulista yhteyttä ja c) huokoinen kallio, jolla on hydraulinen yhteys (maanalainen joki).

Huokoisen jokien alapuolella on jälleen tutkadataan perusteella kiinteämpää kalliota aina mittausyvyydelle saakka.

Yleisesti alueen kallioperän sedimentaatorakenteet ovat aika lailla vaakasuorassa, mikä tukee jokien syntymistä. Vioja rakenteita tavattiin suuremmassa määrin Kassarun metsässä ja Nomme-Tammikussa mitatuilla osuuksilla.

Seuraavissa kuvissa on esimerkkeinä rakennetta Nomme-Tammikun mittauslinjalta. Kuvassa 6 nähdään mm. paalulla 430 m maanalainen onkalo, jonka kattorakenne on romahtanut aikojen kuluessa.

rapautunutta sedimenttikiveä	murenenud sette kivimid
irtomaata	irdpinnas
ehjempää sedimenttikiveä	tervemad sette kivimid

Joonis 4. Settekivimistruktuurid, mis jätkuvad joonise ülaosa rabakivis (sügavus alla 3 m).

### 3. Ühtne aluskivim ja maa-alused jõed

Kohtades, kus leiti maa-aluseid jõgesid, oli aluspõhja struktuur üldiselt selline, nagu alljärgnevalt kirjeldatud.

Georadariga saadud tulemuste alusel leiti Tuhala piirkonna pinnases keskmiselt 3–4 m paksune aluspõhjakiht, mida peegelduste põhjal võis lugeda suhteliselt terveks lubjakiviks.

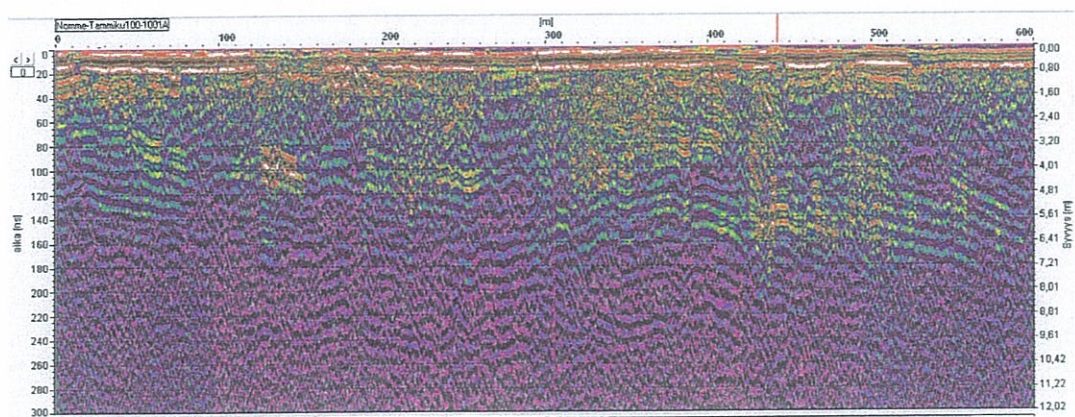
Selle ühtse aluskivimi all oli urbne aluspõhjajhorisont, mille kivimiliik on ilmselt lubjakivi, kuid see võib olla ka kipskivi, mis on karstialadel kõige tavalisem. Selle kihi paksus kõikus 2–4 m vahel. Georadariga tehtud mõõtmiste alusel sai selle geoloogilise horisondi jagada kolme klassi: a) tervem aluskivim, milles ei olnud märke liigsest veest, b) urbsem aluskivim, kus võis paiguti olla vett, kuid millel ei paistnud olevat kaugemaid veeühendusi ja c) urbne aluskivim, millel on veeühendused (maa-alune jõgi).

Urbes aluskivimis olevate jõgede all on radariga saadud andmete põhjal jälle tervem aluskivim kuni mõõtmisügavuse piirini välja.

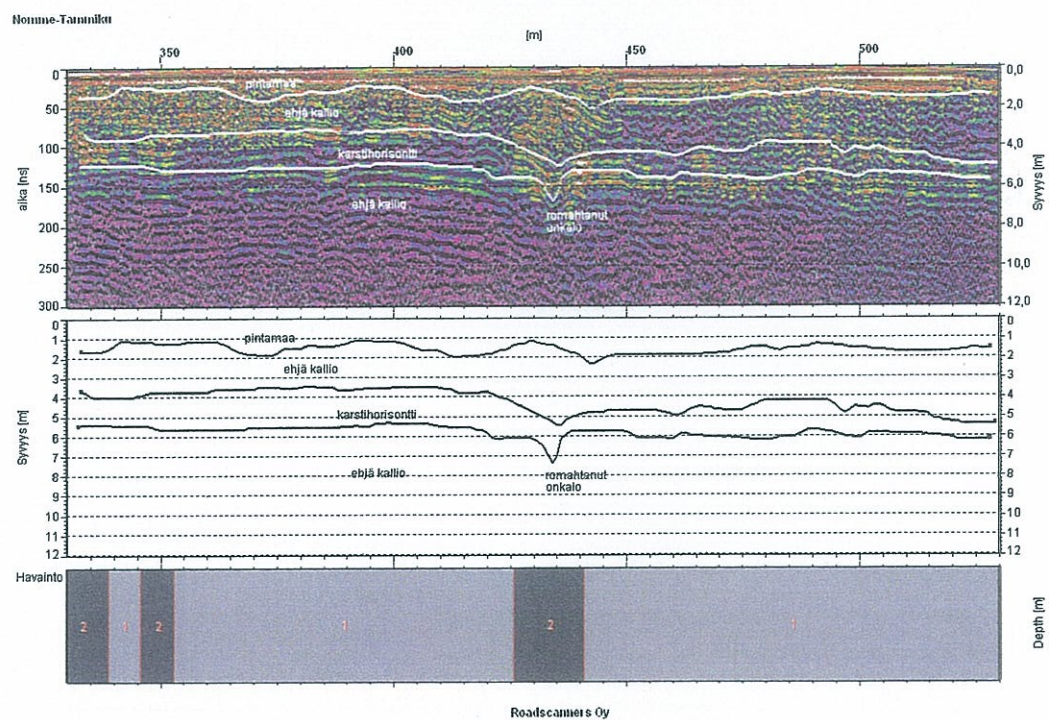
Üldiselt on piirkonna aluspõhja settestruktuurid üsna horisontaalsed, mis aitab kaasa jõgede tekkele. Kaldseid struktuure leiti suuremal hulgal Kassaru metsas ja Nõmme-Tammikul mõõdetud kohtades.

Järgmistel joonistel esitatakse näidetena struktuure Nõmme-Tammiku mõõtelinilt. Joonisel 6 on muu hulgas 430 m joonel näha maa-alune koobas, mille lagi on aegade jooksul sisse varisenud.





Kuva 5. Rakenteita Nomme-Tammikun mittalinjalta. Kun pituusmittakaavaa on suurennettu (500 m), erottuu sedimenttikivikerrosten aaltoilu (poimutus) selkeämmin.



Kuva 6. Profiilia Nomme-Tammikun linjalta. Keskellä olevassa ikkunassa tulkinta alueen geologisesta rakenteesta, alinna analysipalkisto, johon havaintoja on luokiteltu. Kohdassa 430 m on romahtanut onkalo, jonka vaikutus näkyy ylempien kerrosten taipumisena.

Joonis 5. Struktuure Nõmme-Tammiku mõõtelinilt. Kui pikkusmõõtkava suurendada (500 m), eristub settekivimite kihtide lainelisus (kurrutus) selgemini.

pintamaa	pealmine pinnasekiht
ehjä kallio	terve aluskivim
karstihorisonkti	karstihorizont
romahtanut onkalo	sisselangenud koobas

Joonis 6. Profiil Nõmme-Tammiku liinilt. Keskmises aknas piirkonna geoloogilise struktuuri tõlgendus, kõige all analüüsidiagramm, millel on leiud klassifitseeritud. 430 m joonel on varisenud koobas, mille mõju on näha ülemiste kihtide vajumisena.



## 4.2 Aluekohtaiset kuvaukset

### 4.2.1 Nomme-Tammiku

Erittäin selkeät sedimenttirakenteet. Helposti erottuva karstihorisontti ja vahvat merkit maanalaisesta joesta tai joista (karttaliite 1).

### 4.2.2 Lutsa

Häiriöistä aineistoa, heikommin erottuvat rakenteet kuin Tammikussa. Muutama huokoisen kallion alue (karttaliite 2).

### 4.2.3 Arusta

Heikosti erottuva karstihorisontti, ei vahvoja merkkejä maanalaisista joista (karttaliite 3)

### 4.2.4 Paekna

Erittäin selkeät rakentet. Useita mahdollisia maanalaisia jokia. Hyvin erottuva karstihorisontti (karttaliite 3)

### 4.2.5 Kirdalu/talo

Lyhyt linja, jossa vaatimattomasti erottuvat rakenteet. Mahdollisesti huokoista kalliota (karttaliite 4).

### 4.2.6 Kirdalu – metsä 1

Heikosti erottuvat rakenteet. Kaksi kohtaa, joissa mahdollisesti huokoista kalliota (karttaliitteet 4-5).

### 4.2.7. Kirdalu – Kassaru – metsä 2

Kohtalaisesti erottuvat rakenteet, useita kohtia, joissa mahdollisesti huokoista kalliota karstihorisontissa (karttaliitteet 4-6).

### 4.2.8. Kassaru – metsä

Varsin hyvin erottuvat rakenteet. Useita huokoisen kallion kohteita. Rapakalliota ja paikoin paksusti irtomaata. Sedimenttirakenteet kaltevia varsinkin linjan loppuosalla (karttaliite 6-7).

## 5. Yhteenveto

Tuhalan alueen maatutkaukset onnistuivat yllättävän hyvin ja maatutkaluotausten perusteella voitiin alueelta paikantaa ne geologiset horisontit, joissa maanalaisia jokia todennäköisesti esiintyy. Tutkimusten luotettavuutta nostaa erityisesti se, että onnistuneita referenssimittauksia voitiin tehdä Noiakaevon alueella ja tätä dataa voitiin käyttää analogiaperiaatteella muiden kohteiden tulkinnessa.

Tämän tutkimuksen perusteella alueella kannattaisi tehdä systemaattisempi ja laajempi tutkimus, jotta karstihorisonttien ja maanalaisten jokien jatkuvuus ja yhteydet selviäisivät. Kartalle siirrettynä näistä yhteyksistä saataisiin selkeä kuva. Näiden kokemusten perusteella työ voidaan tehdä nopeasti ja luotettavasti maatutkan avulla.

Jo tämä tutkimus kuitenkin osoittaa, että alueen geologia on mielenkiintoinen ja maanalaiset rakenteet monimuotoiset.



## 5. Kokkuvõte

Tuhala piirkonna uuringud georadariga õnnestusid üllatavalt hästi ja tulemuste põhjal suudeti positsioneerida geoloogilised horisondid, milles tõenäoliselt leidub maa-aluseid jõgesid. Uuringute usaldusväärsust tõstab eriti asjaolu, et Nõiaakaevu ümbruses sai teha õnnestunud võrdlusmõõtmisi ja neid andmeid võis kasutada analoogia põhimõttel teiste objektide tõlgendamisel.

Selle uuringu alusel tasuks teha süstemaatilisem ja ulatuslikum uuring, et selgitada välja karstihorisontide ja maa-aluste jõgede pidevus ning ühendused. Kaardile kantuna saaks nendest ühendustest selge ettekujutuse. Selle uuringu kogemuste põhjal saab georadariga kiiresti ja usaldusväärselt töötada.

Samas näitab juba seegi uuring, et piirkonna geoloogia on huvitav ja maa-alused struktuurid mitmepalgelised.