OÜ Inseneribüroo STEIGER

KVATERNAARI PÕHJAVEE GEOTERMAALENERGIA POTENTSIAALI EELUURING

Seletuskiri

Riigihange nr 255725

Tellija: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium
Töö nr: 23/4409

Tallinn 2023

PROJEKTI TEOSTAJAD:

Projekti meeskond tänab kõiki projektis osalenud osapooli.

NIMI	ROLL PROJEKTIS
Elizavetta Krjukova	GIS spetsialist / geoloog
Hardi Aosaar	Projektijuht / geoloog
Marge Uppin	Hüdrogeoloog
Helis Pormeister	Geoloog
Anna-Helena Purre	GIS ekspert
Margus Raha	Tellija esindaja

ANNOTATSIOON

2024. aastal saab 30 aastat teadaolevalt esimese soojuspuuraugu rajamisest Eestis [5]. Maasoojussüsteemid kui energeetiliselt kõige efektiivsemad soojuspumba tehnoloogial põhinevad kütte- ja jahutuslahendused on alakasutatud ressurss, mis aastaks 2050 kliima-neutraalsuse saavutamise eesmärki silmas pidades vajaks oluliselt laiemat kasutuselevõttu [6]. Maasoojussüsteemide kasutamine on keskkonnasõbralik alternatiiv ruumide kütmiseks ja jahutuseks.

Eestis on seni praktiliselt uurimata kvaternaarisetetes olev voolava põhjavee soojuspotentsiaal ning selle kasutusvõimalused nii üksikute eramajade maasoojuslahenduste kui ka suuremate tarbijate osas. Samas levivad kvaternaarisetted Eestis üle terve maa ning Lõuna-Eesti kõrgustikel ja mattunud orgudes võib jääajasetete paksus ulatuda kuni 200 meetrini. Seega on olemas potsentsiaali Eestis võtta kasutusele kvaternaarisetetes esinevat põhjavett ning käesolev eeluuringu töös neid soodsaid geoloogilisi ja hüdrogeoloogilisi tingimusi on otsitud.

Käesolev töö on koostatud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi tellimusel vastavalt riigihanke nr 255725 „Kvaternaari põhjavee geotermaalenergia potentsiaali eeluuring“ tehnilisele kirjeldusele.

Eeluuringu eesmärk oli anda eelhinnang geotermaalse energia kasutamisvõimaluste kohta sõltuvalt kvaternaargeoloogilisest situatsioonist Eesti linnade (v.a Tallinn, Tartu), alevite ning alevike piires. Tellija esitas projektiidee näitena Arlanda lennujaama kütte tarbeks kvaternaarisetetesse rajatud avatud süsteemi.

Käesoleva töö tulemusel selekteeriti algsest 246-st alast välja 23 ala/piirkonda, kus kvaternaari-setete paksus ja setete koostis viitavad suuremale perspektiivsusele geotermaalse energia kasutusele võtul. Samas lähtuvalt uuringu käigus ilmnenud vajakajäämistes seoses olemasolevate andmete vähesuse ja/või usaldusväärsusega, tuleb enne Kvaternaari veokompleksist geotermaalenergia tootmise põhjalikku planeerimist läbi viia perspektiivsete alade täiendavad uuringud.

Seletuskirja koostasid OÜ Inseneribüroo STEIGER eksperdid Elizavetta Krjukova (GIS spetsialist / geoloog), Hardi Aosaar (projektijuht / geoloog) ja Helis Pormeister (geoloog), keda toetasid Marge Uppin (hüdrogeoloog) ja Anna-Helena Purre (GIS ekspert).

SISUKORD

TERMINOLOOGIA 6
1. EELUURINGU EESMÄRK 7
2. TAUSTAINFO 8
2.1 AVATUD SOOJUSSÜSTEEMIDE (ATES) TÖÖPÕHIMÕTTED 8
2.2 EESTIS JA VÄLISRIIKIDES OLEMASOLEVATE SARNASTE AVATUD SOOJUSSÜSTEEMIDE PUURKAEVUDE PROJEKTID 10
2.3 AVATUD SOOJUSSÜSTEEMIDE KASUTAMISE POTENTSIAAL EESTIS 12
3. TÖÖ METOODIKA, RISKID JA KASUTATUD TARKVARA. PERSPEKTIIVSETE ALADE SELEKTEERIMINE 15
3.1 UURINGUTÖÖ TEGEVUSTE PLAAN 15
3.2 KASUTATUD TARKVARA 16
3.3 UURINGUTÖÖS ESINENUD RISKID 16
3.4 HALDUSÜKSUSTE ERALDAMINE 20
3.5 KVATERNAARISETETE PAKSUSE PÕHINE PERSPEKTIIVSETE ALADE SELEKTEERIMINE 21
3.6 KVATERNAARISETETE KOOSTISE PÕHINE PERSPEKTIIVSETE ALADE SELEKTEERIMINE 22
4. PERSPEKTIIVSETE ALADE GEOLOOGILINE JA HÜDROGEOLOOGILINE KIRJELDUS 25
4.1 AEGVIIDU ALEV 26
4.2 LOKSA LINN 28
4.3 KANGRU JA LUIGE ALEVIKUD 30
4.4 VÕSU ALEVIK 32
4.5 ELVA LINN 34
4.6 OTEPÄÄ LINN 36
4.7 TÕRVA LINN JA HELME ALEVIK 38
4.8 MISSO ALEVIK 40
4.9 RÕUGE ALEVIK 42
4.10 VASTSELIINA ALEVIK 44
4.11 VARSTU ALEVIK 46
4.12 VÕRU LINN 48
4.13 KOLGA ALEVIK 51
4.14 MAARDU LINN 53
4.15 NARVA JA NARVA-JÕESUU LINNAD 55
4.16 UHTNA ALEVIK 57
4.17 AUDRU ALEVIK 59
4.18 TÕSTAMAA ALEVIK 61
4.19 PÄRNU LINN JA SINDI LINN, PAIKUSE ALEV, SAUGA ALEVIK 63
4.20 PUKA ALEVIK 66
4.21 VALGA LINN 68
4.22 ABJA-PALUOJA LINN 70
4.23 SÕMERPALU ALEVIK 72

5. ETTEPANEKUD TÄIENDAVATEKS UURINGUTEKS 74
6. KOKKUVÕTE 76
7. KASUTATUD KIRJANDUS 77

TEKSTILISAD

Lisa 1 Põhiliste kasutatavate puuraukude kirjelduse kataloog
Lisa 2 Eestis töötavate avatud soojussüsteemide loend
Lisa 3 Uuringupunktid (lõplik andmebaas) 10.04.23 (*.*xlsx*)
Lisa 4 Kvaternaarisetete paksuse põhine perspektiivsete alade selekteerimine (*.*xlsx*)
Lisa 5 Kvaternaarisetete koostise põhine perspektiivsete alade selekteerimine (*.*xlsx*)
Lisa 6 Geoloogilise baaskaardi uuringupunktid (*.*xlsx*)

ELEKTROONILISED LISAD

Lisa 7 Avakoosolek (detsember)
Lisa 8 Jaanuari aruandlus
Lisa 9 Veebruari aruandlus
Lisa 10 Märtsi aruandlus
Lisa 11 Aprilli aruandlus

GRAAFILISED LISAD

Lisa 12 Geotermaalse energia potentsiaaliga geomorfoloogiliste struktuuride ülevaatekaart (Mõõtkava 1 : 200 000)
Lisa 13 Perspektiivsete alade plaanid ja läbilõiked
Lisa 14 Kvaternaarisetete paksuse muutlikkuse skeemid (101 ala) maakondade lõikes

TERMINOLOOGIA

Järgnevalt on selgitatud dokumendis kasutatava lühendid ja akronüümid.

LÜHEND/AKRONÜÜM	SELGITUS
ATES	*Aquifer thermal energy storage* (avatud soojussüsteemil põhinev soojusenergia salvestamise lahendus)
EELIS	Eesti Looduse Infosüsteem
EGF	Eesti Geoloogiafond
EGK	Eesti geoloogiline kaart
GIS	Geoinfosüsteem
KeA	Keskkonnaamet
MKM	Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium
VEKA	Veekasutuse infosüsteem
X-GIS	Maa-ameti geoportaal

1. EELUURINGU EESMÄRK

Eeluuringu eesmärk oli anda eelhinnang geotermaalse energia kasutamisvõimaluste kohta sõltuvalt kvaternaargeoloogilisest situatsioonist Eesti linnade (v.a Tallinn, Tartu), alevite ning alevike piires sh:

- olemasoleva andmestiku põhjal välja selgitada piirkonnad, mille osas on tarvis teostada täpsemad (ehitus)geoloogilised uuringud, et oleks võimalik nendes asulates üle minna sooja-majanduses lahendustele, mis baseeruksid kvaternaarisetete põhjavee geotermaalenergial;
- anda ülevaade kvaternaarisetete levikust ja litoloogilisest koostisest, võimalusel ka nendes lasundites leiduvate setete hüdrogeoloogilistest tingimustest konkreetsete asustatud piirkondade kohta.

Eeluuringu käigus oli hanke lähteülesande alusel muuhulgas vaja:

- süstemaatiliselt läbi töötada linnade (välja arvatud Tallinn ja Tartu), alevite ja alevike geoloogiline-hüdrogeoloogiline andmestik (Eesti geoloogiafondi ja keskkonnaregistrisse kantud puurkaevude baasil);
- koostada skemaatiline ülevaatekaart mõõtkavas 1 : 200 000, millel kajastatakse võimaliku geotermaalenergia potentsiaaliga sisaldavaid geomorfoloogilisi struktuure;
- koostada seletuskiri, milles esitatakse metoodika, mida kasutati potentsiaalsete geotermaalse energiaga piirkondade väljaeraldamisel, valitud alade geoloogilise ja hüdrogeoloogilise ehituse detailsem kirjeldus, skemaatilised geoloogilised kaardid ja läbilõiked;
- teha ettepanekud geotermaalse energia potentsiaali täiendavateks uuringuteks.

2. TAUSTAINFO

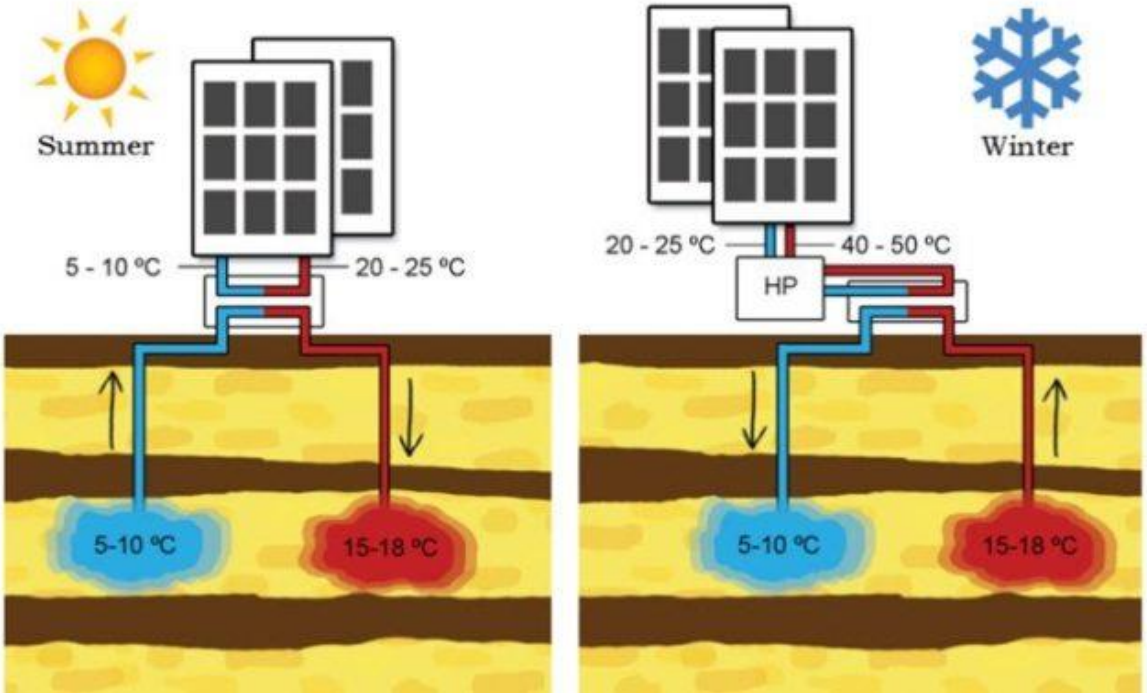
2024. aastal saab 30 aastat teadaolevalt esimese soojuspuuraugu rajamisest Eestis [5]. 2023. a alguse seisuga on keskkonnaregistri andmebaasis 92 avatud soojussüsteemi (ATES) puurkaevu (lisa 2) ja ligikaudu 2400 kinnise süsteemi soojuspuurauku.

Kuigi praegu on maailmas üle 3000 ATES-süsteemi, on need suures osas kasutusel vaid mõnedes riikides. Umbes 85% (2600 ATES-süsteemi) asub Hollandis, veel 10% Rootsis (220), Belgias (30) ja Taanis (55) [16].

2.1 AVATUD SOOJUSSÜSTEEMIDE (ATES) TÖÖPÕHIMÕTTED

Avatud süsteemi soojuspuurkaevude rajamine (puurimine, manteldamine, filtri paigaldamine, manteltorutaguse isoleerimine) ei erine veehaarde puurkaevude rajamisest. Rajamine on reguleeritud Riigikogu 11.02.2015. a ehitusseadustiku § 35 lõike 6, § 43 lõike 5, § 47 lõike 7 ja § 126 lõike 6 alusel kehtestatud keskkonnaministri 09.07.2015. määrusega nr 43 „Nõuded salvkaevu konstruktsiooni, puurkaevu või -augu ehitusprojekti ja konstruktsiooni ning lammutamise ja ümberehitamise ehitusprojekti kohta, puurkaevu või -augu projekteerimise, rajamise, kasutusele võtmise, ümberehitamise, lammutamise ja konserveerimise korra ning puurkaevu või -augu asukoha kooskõlastamise, ehitusloa ja kasutusloa taotluste, ehitus- või kasutusteatise, puurimispäeviku, salvkaevu ehitus- või kasutusteatise, puurkaevu või -augu ja salvkaevu andmete Eesti looduse infosüsteemi esitamise korra ning puurkaevu või -augu ja salvkaevu lammutamise teatise vormid“.

Avatud soojussüsteemi puhul pumbatakse ühest puurkaevust põhjavett, mis soojusvaheti läbimise järel juhitakse külmemana või soojemana teise puurkaevu kaudu samasse veekihti tagasi. Puurkaevude vahele jäävas lõigus on ring avatud ja osa ringlevast veest kandub regionaalse põhjavee liikumise käigus süsteemist kaugemale (joonis 2.1). [6, 7]



Joonis 2.1. Avatud soojussüsteemil põhinev soojusenergia hooajalise salvestamise lahendus. Autor: Martin Bloemendal, KWR/TU Delft

Avatud soojussüsteemid koosnevad vähemalt kahest puurkaevust – sisse- ja väljalaske puurkaevust, millest ühest võetakse põhjavett. Väiksemate süsteemide puhul (näiteks eramaja), kus soojuskasutuse maht on madal, piisab tavaliselt kahest puurkaevust. Suuremate tarbijate osas (tööstused, haiglad, koolid jne) võib vaja minna juba mitut kaevude paari. Avatud süsteemide puurkaevudega pumbatakse suhteliselt suuri veemahte, mis veekihist eemaldamise korral põhjustaks põhjavee koguse olulist muutust, mistõttu on oluline, et vesi saaks juhitud samasse veekihti tagasi. Puurkaevud peaksid avama kindla veekihi sama sügavusintervalli, sest ka sama veekihi erinevatesse intervallidesse põhjavee juhtimisel võivad tekkida lokaalsed alandus- ja survelehtrid, mille mõju võib ulatuda kinnistu piiridest oluliselt kaugemale. [6]

Kui rääkida avatud soojussüsteemide soojusvõimsusest: jäävad need 0,33 MW kuni 20 MW vahemikku [19]. Peamised soojusvõimsuse potentsiaali defineerivad tegurid on: settete kihi mineraloogiline koostis, selle tihenemine, kihistumine ja läbilaskvus. Lisaks mõjutavad ka vesi omadused, nagu selle temperatuur, soolsus ja lahustunud gaasid. Kõik need mängivad rolli soojuse salvestamise ja ülekande efektiivsuses.

Taaskasutuskoefitsient „*The recovery factor*“ on tüüpiline põhinäitaja, mis näitab soojalt või külmalt salvestatud soojusenergia taaskasutamise efektiivsust kogu laadimis- ja tühjendustsükli jooksul (tavaliselt nimetatakse seda üheks aastaks). Taaskasutuskoefitsient määratakse aastase tühjendatud ja laetud energia suhtega.

Järgmises tabelis 2.1 on näidatud laadimis- ja tühjendustsükli parameetrid Saksamaa asuvast Neubrandenburg ja Berliinis soojussüsteemidest ja Hollandis asuvast süüsteemist Koppert-Cress [17, 20, 21].

Tabel 2.1 Soojussüsteemide omadused, töötingimused ja iga-aastase laadimis- ja tühjendustsükli parameetrid [18].

Parameeter	**Ühik**	**Neubrandenburg (HT-ATES)**	**Berlin (LT-ATES)**		**Koppert-Cress (MT-ATES)**
Rajamise aasta	**aasta**	1987	2003		2015
Veekiht	**koostis**	Liivakivi	Liiv		Liiv
Kihi sügavus	**abs m**	1250	30 - 60		50 - 180
$T_{külm}$ / T_{soe}	**°C**	45 - 54 / 65 - 85	6 / 30		5 / 30 - 45
Laadimine	**MWh/a**	12,000	2,650	4,250	4,200
Tühjendus	**MWh/a**	8,600	2,050	3,950	3,750
Taaskasutus-koefitsient		0,72	0,77	0,93	0,89
Allikas		Paci 2016	Sanner 2005		Bloemendal 2020

* HT-ATES - kõrge temperatuuriga soojusenergia salvestamise soojussüsteem (> 60 °C)
LT-ATES - madal temperatuuriga soojusenergia salvestamise soojussüsteem (30 - 60 °C)
MT-ATES - keskmisetemperatuuri soojusenergia salvestamise soojussüsteem (< 30 °C)

2.2 EESTIS JA VÄLISRIIKIDES OLEMASOLEVATE SARNASTE AVATUD SOOJUSSÜSTEEMIDE PUURKAEVUDE PROJEKTID

Seisuga 01.04.2023 on Eestis 94 töötavat avatud soojussüsteemi puurkaevu (lisa 2). Ainult kaks neist kasutavad Kvaternaari põhjavett moodustades ühtse süsteemi, mis asuvad Laulasmaa külas, Harju maakonnas (tabel 2.2). Süsteemi kasutakse eraotstarbeks. Puurkaevude erideebit on 0,164 ja 0,433 l/s*m ja staatiline veetase 4,1 m ja 4,3 m.

Tabel 2.2. Kvaternaari põhjavett kasutatava avatud soojussüsteemi puurkaevude geoloogiline läbilõige

PK_50722		Koordinaadid:		X	6583768
				Y	512504
Fond	VEKA	Puuritud:			2011. a
Tüüp	Aluspõhja puurauk	Maapinna abs kõrgus, m:			4,5
GEOLOOGILINE LÄBILÕIGE					
Nr	Geoloogilise läbilõike kirjeldus	Geoloogiline indeks	Kihi tüsedus, m		Kihi lamami sügavus, m
1	Peenliiv kruusa vahekihtidega	QIVm	4,8		4,8
2	Savi hall pehmeplastne	QIIIgl-fgl	3,8		8,6
3	Liiv kruusa ja veeristega	QIIIgl-fgl	11,9		**20,5**
4	Savi liivakivi vahekihtidega	C1ln	2,9		23,3
PK_50721		Koordinaadid:		X	6583768
				Y	512 484
Fond	VEKA	Puuritud:			2011. a
Tüüp	Aluspõhja puurauk	Maapinna abs kõrgus, m:			4,5
GEOLOOGILINE LÄBILÕIGE					
Nr	Geoloogilise läbilõike kirjeldus	Geoloogiline indeks	Kihi tüsedus, m		Kihi lamami sügavus, m
1	Peenliiv kruusa vahekihtidega	QIVm	4,8		4,8
2	Savi hall pehmeplastne	QIIIgl-fgl	3,9		8,7
3	Liiv kruusa ja veeristega	QIIIgl-fgl	11,7		**20,4**
4	Savi liivakivi vahekihtidega	C1ln	3,1		23,5

VEKA andmebaasi analüüsi tulemus näitab, et tegelikkuses on avatud soojussüsteemide puurkaevude arv erinev, kui ametlikud numbrid näitavad. Andmebaasis on üle 30 kirje, mille andmed on ebatäpsed ja kahtlustäratavad.

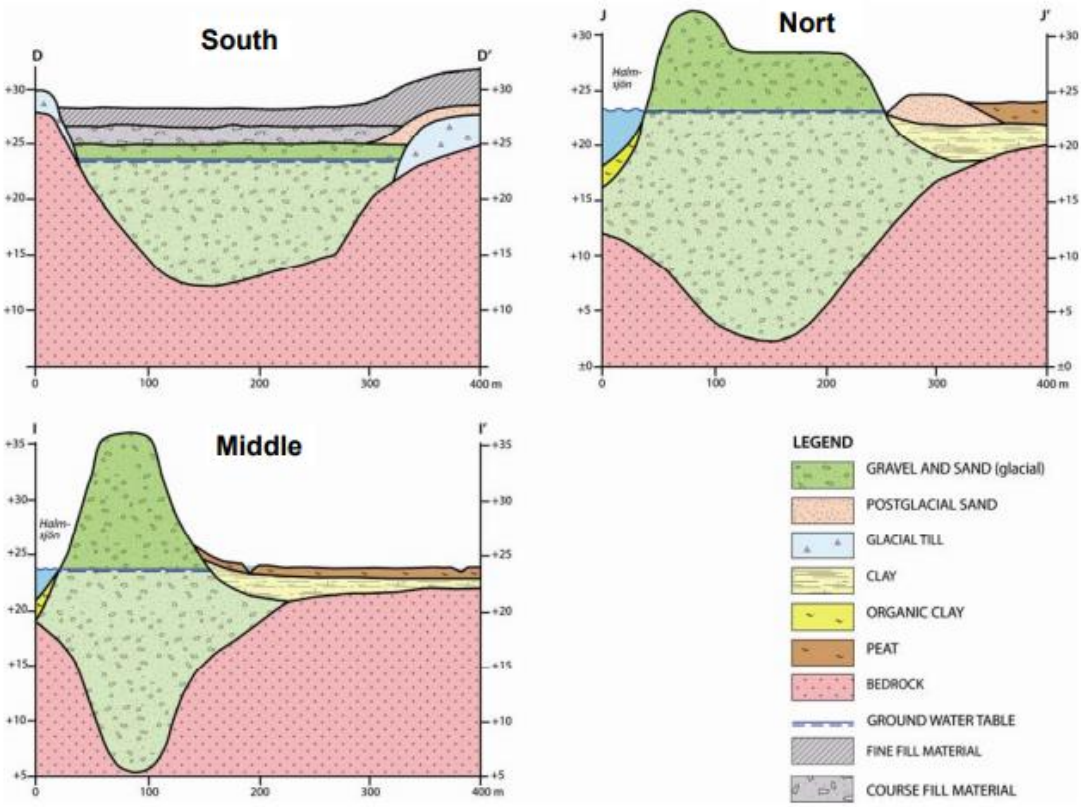
VEKA andmebaasis on ka avatud süsteemi puurkaevud, mida on konkreetsel kinnistul ainult üks, kuid avatud süsteem eeldab vähemalt kahe kaevu olemasolu. On tõenäoline, et „üksikute“ madalate (sügavus enamasti 12 - 40 m) puurkaevude puhul on registrisse teine kaev jäänud kandmata [6].

Avatud soojussüsteemide puurkaevusid on hinnanguliselt kokku 100. Puurkaevude keskmine sügavus on 55,5 m (vahemikus 10 - 238 m, valdavalt 30 - 70 m). Ühe süsteemi kaevude vahemaa on peamiselt 8 - 20 m.

Näide avatud soojussüsteemi projektist Stockholmi Arlanda lennujaamas [13].
Projekt, mida haldab LFV (Rootsi Lennuamet), sai alguse 2006. aastal. Lennujaama ehitatud soojussüsteem koosneb kahest kaevude rühmast, mis moodustavad põhjaveekihis lõunaosas

"sooja" ja põhjaosas "külma" rühma. Kaevud on ühendatud torusüsteemiga, mis on liidetud soojusjaotuskeskusega.

Projekteerimise etapi uuringu käigus rajati kvaternaari kihi koostise määramiseks 38 aluspõhjani ulatuvat puurauku. Teostati ka geofüüsikaline georadari uuring selleks, et kaardistada aluskorra struktuur ja tektoonilised rikked. Oluline osa uuringust oli kaks pikaajalist katsepumpamist põhjaveekihi hüdrogeoloogiliste omaduste hindamiseks. Täiendavalt tehti ka veekeemiline analüüs.



Joonis 2.2. Stockholmi Arlanda lennujaama ala geoloogilised läbilõiked

2.3 AVATUD SOOJUSSÜSTEEMIDE KASUTAMISE POTENTSIAAL EESTIS

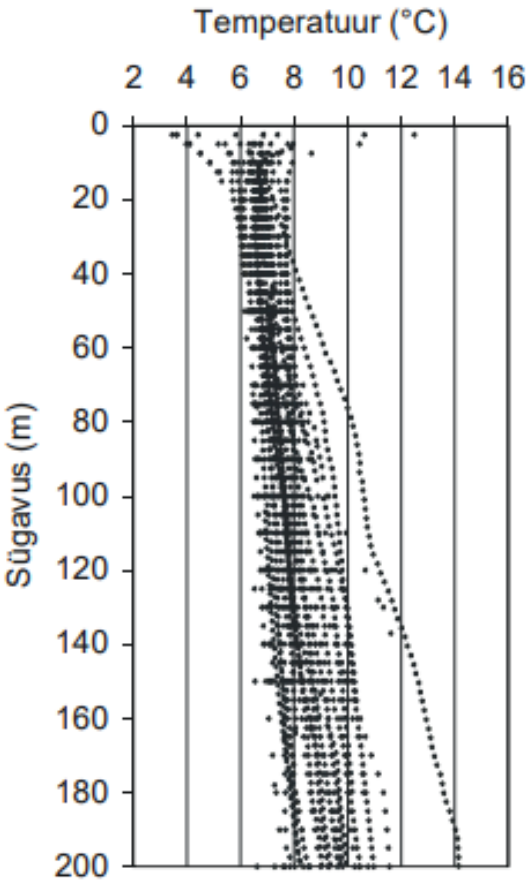
Soojuspuuraukude soojuslike tingimuste mõistmiseks on vaja tunda ka loodusliku soojusvälja. Temperatuurid maa sees sõltuvad peamiselt kahest parameetrist [4]:

- maapinna temperatuurist ja
- maasisese soojusvoo tihedusest.

Maapinna temperatuur on 1 - 2 kraadi kõrgem kui aasta keskmine õhutemperatuur. Eestis on keskmine pinnase temperatuur 6 - 8° C vahemikus.

Soojusvoo tihedus muutub sügavuti, kuid sadadesse meetritesse jäävate puuraukude puhul võib soojusvoo tiheduse lugeda konstantseks (joonis 2.3) [4]. Temperatuuri kasv sügavuse suunas on aeglane (saja meetri kohta lisandub 1 - 2 kraadi) ja ei anna soojuslikus mõttes olulist lisandväärtust [6]. Seega võiks avatud soojussüsteemide puhul kasutada maapinnale võimalikult lähimat põhjaveekihti, kust saab piisavalt vett.

Teine suurem soojusvoo häirete põhjustaja on voolav põhjavesi. Soojus kandub edasi konvektiivselt ehk koos liikuva ainesega. Kuna vee voolamine toimub kivimis sees, kus soojustasakaalu saavutamine käib väikestel vahemaadel (milli- kuni detsimeetrid) suhteliselt ruttu, siis ei erine kivimi ja vee temperatuur teineteisest märkimisväärselt [4].



Joonis 2.3. Mõõdetud temperatuuri gradient umbes 50 puuraugus üle Eesti [4]

Kuna avatud soojussüsteemi salvestuskeskkond on põhjavesi, on selle toimimise põhinõue piisav põhjaveeressursi olemasolu. Soodne tingimus avatud soojussüsteemide tööks on, kui ühe puurkaevu kaudu on tagatud tootlikkus (deebit) minimaalselt 2 l/s (~170 m^3/ööp). Samas produktiivsemateks võib nimetada puurkaevusid, mille tootlikus on valdavalt 5 - 15 l/s (~430 - 1300 m^3/ööp). Üle 40 l/s (3500 m^3/ööp) tootlikkusega puurkaevud on juba väga produktiivsed [14].

2021. aasta Eesti põhjaveevaru bilansi andmete põhjal on Kvaternaari põhjaveekihtide veevaru uuritud ja kinnitatud Vasavere ja Tartu (Meltsiveski) piirkondades. Tabelis 2.3 toodud andmetel on näha, et kõik Kvaternaari põhjaveekogumid, kus põhjaveevaru on kehtestatud, tagavad minimaalset vajalikku vee kogust (tootlikkust) avatud soojussüsteemide toimimiseks.

Tabel 2.3. Kehtestatud põhjaveevaru ja -veevõtt Kvaternaari põhjaveekogumite veehaaretest 2021. aastal

Põhjaveekogumi nimetus	**Põhjaveevaru kasutamise otstarve**	**Kehtestatud varu, m^3/ööp seisuga 31.12.21**	**Põhjaveevõtt, m^3/ööp 2021. aastal**	**Kasutamiseks olev vaba põhjavee kogus, m^3/ööp**
Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogum (28)	joogivesi	7500	6447,2	1052,8
Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum (27)	joogivesi	8000	6662,9	1337,1

Geneesi järgi on kõige perspektiivsemad setted liustikujõesetted (tabel 2.4), mis koosnevad valdavalt liivadest ja kruusadest, mille filtratsioonikoefitsient on ka kõige suurem (tabel 2.5). Ürgorgudes esinevad liustikujõesetted on tihti kaetud savikate jääjärve- või liustikusetetega, mistõttu vesi on nendes kihtides sageli ka surveline. Liustikujõesetete vett kasutavad suhteliselt suured ühisveehaarded on rajatud Jõhvi lähedal Vasaveres ja Tartus Raadi-Maarjamõisas ürgorule.

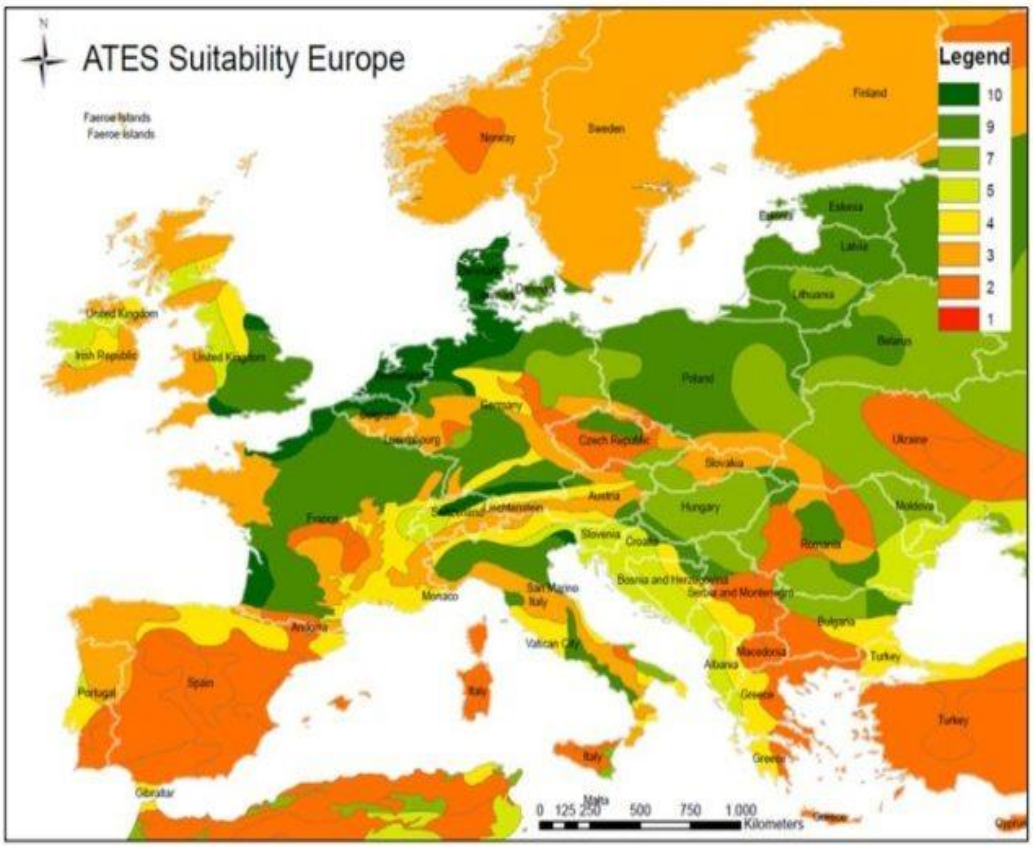
Tabel 2.4. Eesti Kvaternaari veekompleksi hüdrostratigraafiline liigestus [9]

Settetüüp	Valdav paksus, m	Veetase maapinnast, m	Deebit, l/s	Alandus, m	Erideebit, l/s*m
Soosetted bQ_{IV}	6 - 8	0,1 - 1,5	0,01 - 0,1	0,5 - 1,0	<0,1
Tuulesetted vQ_{IV}	5 - 10	2 - 10	0,01 - 0,06	0,3 - 1,0	<0,1
Järvesetted lQ_{IV}	0,5 - 5	0,5 - 2	0,01 - 0,2	0,2 - 1,2	<0,1
Jõesetted aQ_{IV}	2 - 6	0,1 - 2	0,02 - 0,1	0,4 - 0,8	<0,2
Meresetted mQ_{IV}	3 - 5	1 - 3	0,1 - 0,5	0,3 - 0,7	0,3 - 0,6
Jääjärvesetted lgQ_{III}	5 - 15	2 - 4	0,02 - 0,3	0,5 - 1,0	<0,2
Liustikujõesetted fQ_{III}	5 - 50	5 - 7	0,1 - 8,0	0,2 - 10	0,4 - 10,0
Liustiku setted qQ_{III}	2 - 10	1 - 4	0,1 - 0,2	0,5 - 1,0	<0,1

Tabel 2.5. Filtratsioonikoefitsient erinevates pinnastes [15]

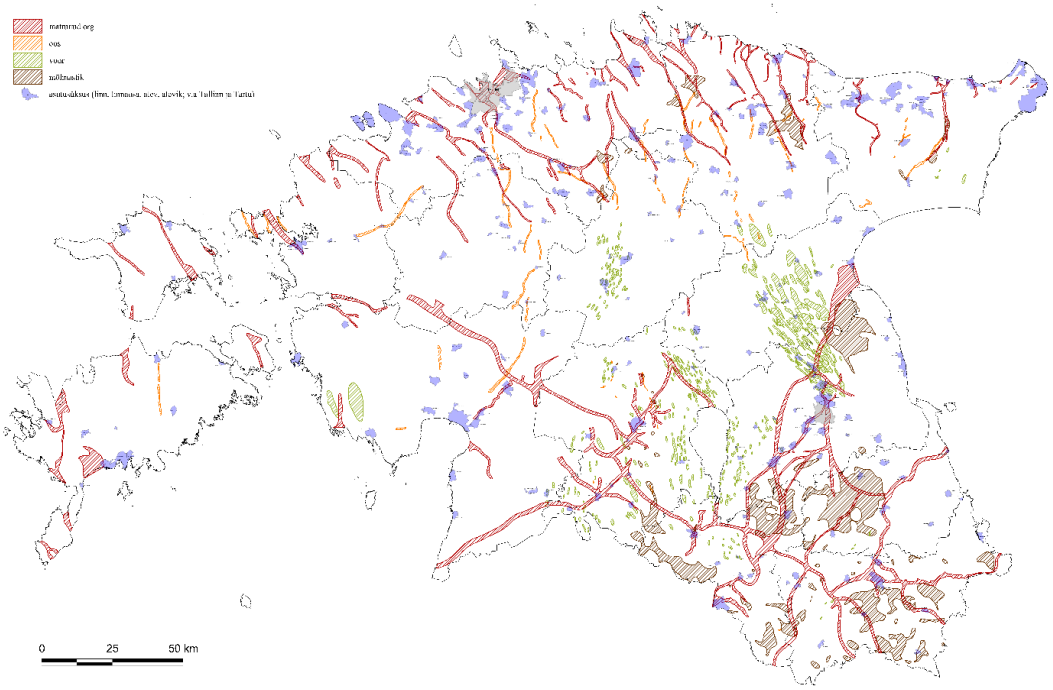
Pinnas	**Filtratsioonikoefitsient (K, cm/s)**	**Filtratsioonikoefitsient (K, m/ööpäevas)**
Hästi sorteeritud kruus	10^{-2} - 1	8,6 - 864
Hästi sorteeritud liiv	10^{-3} - 10^{-1}	0,9 - 86,4
Aleuriitne liiv, peenliiv	10^{-5} - 10^{-3}	0,01 - 0,9
Aleuriit, savikas liiv	10^{-6} - 10^{-4}	0,001 - 0,1
Savi	10^{-9} - 10^{-6}	0,000001 - 0,001

Arvestades Eesti pinnakatte geoloogilist ehitust ja hüdrogeoloogilisi tingimusi, on meie maapõu avatud soojussüsteemide jaoks hästi sobiv (joonis 2.4). Kvaternaari veekihid levivad erineva geneesiga soo-, tuule-, jõe-, mere-, jääjärve-, liustikujõe- ja liustikusetetes. Enamik kasutatavast põhjaveest saadakse liiva ja kruusa levikualadel. Geotermaalse energia potentsiaaliga pinnavorme levib laialdaselt üle kogu Eesti territooriumi (joonis 2.5), kuid lähtuvalt setete paksusest, koostisest ja hüdrogeoloogilistest tingimuste kokkulangevusest ei ole kindlasti kõik need alad potentsiaalsed.



Joonis 2.4. Potentsiaal pinnakattes avatud soojussüsteemide rajamiseks Euroopa riikide jaoks [15]

Geotermaalse energia potentsiaaliga geomorfoloogiliste struktuuride ülevaatekaart



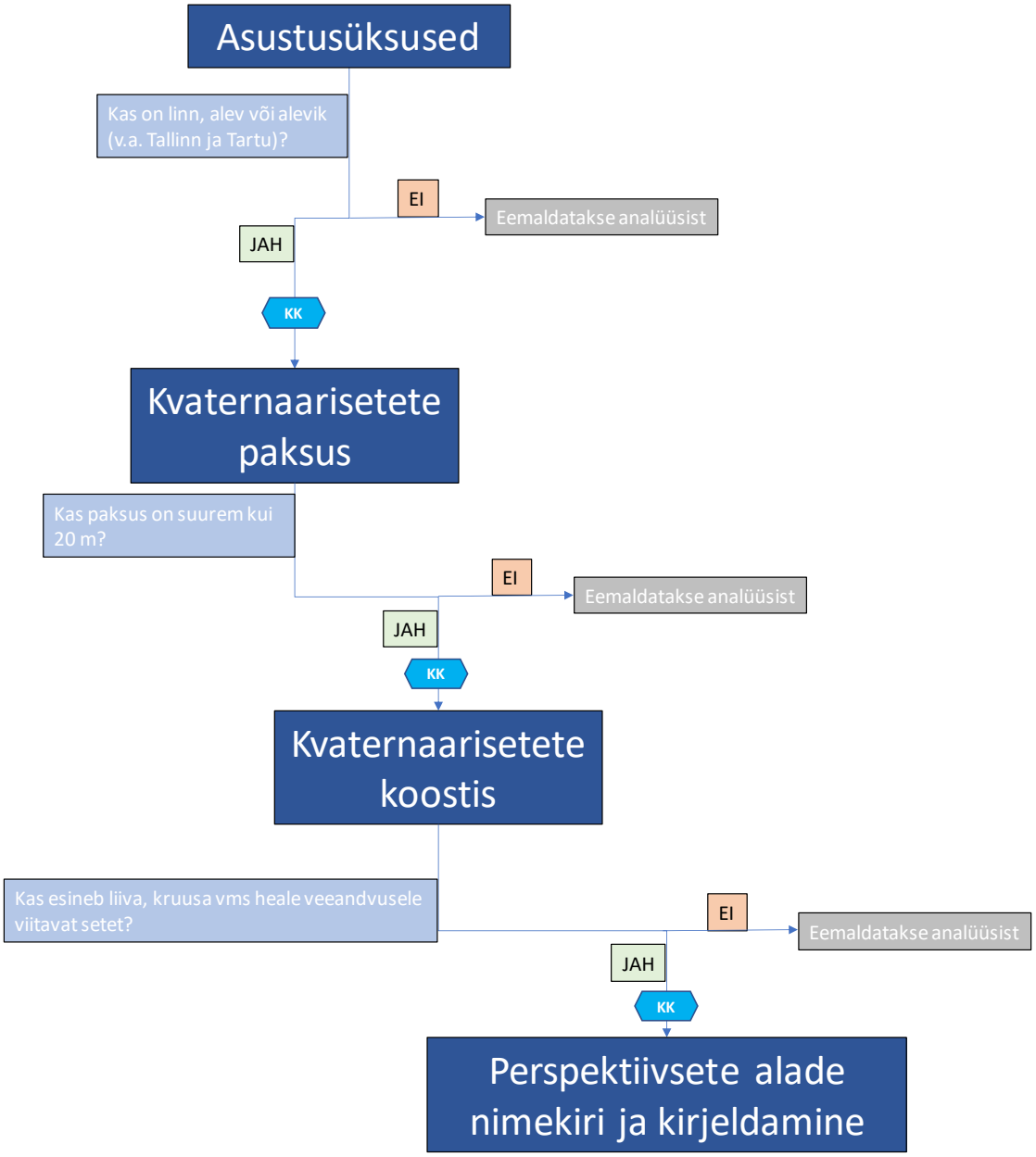
Joonis 2.5. Geotermaalse energia potentsiaaliga geomorfoloogiliste struktuuride ülevaatekaart. M 1 : 200 000

3. TÖÖ METOODIKA, RISKID JA KASUTATUD TARKVARA. PERSPEKTIIVSETE ALADE SELEKTEERIMINE

3.1 UURINGUTÖÖ TEGEVUSTE PLAAN

Kvaternaarisetete geotermaalenergia potentsiaali ülevaatekaardi koostamiseks ja perspektiivsemate alade kindlaks määramiseks defineeriti esmalt otsingukriteeriumid, analüüsiti andmestik ning selle põhjal viidi tulemused graafilisse vormi. Uuringu tegevuste üldine skeem on toodud joonisel 3.1.

Töö tulemusena selgitati välja kvaternaarisetete veekihi geotermaalse energia potentsiaal ja lähtuvalt asustusüksustest piiritleti potentsiaalsed alad geotermaalse energia kasutamisvõimaluste edasisteks uuringuteks.



Joonis 3.1. Eeluuringu tegevuste üldine skeem (KK=kooskõlastuse värav Tellijaga)

Kuna avatud soojussüsteemi salvestuskeskkond on põhjavesi, siis selle süsteemi toimimise põhinõue on piisava loodusliku põhjaveeressursi olemasolu. Sellest põhinõudest tulenevalt kaardistati ja määratleti kaks peamist geoloogilist/hüdrogeoloogilist otsingukriteeriumit, mis olid sisendiks perspektiivsete alade selekteerimisel. Need peamised aspektid on järgmised:

1. Vajaliku veekoguse tagamiseks on oluline piisava kvaternaarisetete paksuse olemasolu. Sarnaste avatud süsteemide puuraukude projektide (ptk 2: tabel 2.1 ja 2.2, joonis 2.2) läbitöötamise tulemusena defineeriti uuringus kasutatava kvaternaarisetete paksuse minimaalseks piirmääraks **20 meetrit**, mis kooskõlastati 13.12.2022 toimunud töökoosolekul koos Tellijaga.
2. Avatud soojussüsteemi puhul on oluline, et setete veejuhtivus oleks väga hea. Hea veejuhtivuse annavad liiva, kruusa litoloogilise koostisega kvaternaarisetete kihid ehk peamiselt **liustikujõesetted.** Lisaks eelnevale arvati koostise ja geneesi järgi perspektiivsete setetena uuringusse **meresetted, jõesetted ja tuulesetted**, mis kooskõlastati Tellijaga 15.03.2023.

3.2 KASUTATUD TARKVARA

Modelleerimiseks ja joonestamiseks kasutati rakendust MicroStation Bentley PowerCivil V8i (litsents 70000661800020). Bentley MicroStation on CAD-tarkvara professionaalsete inseneerirakenduste tarbeks, kus on võimalik ühildada CAD-i, BIM-i ja GIS-i projektid.

Uuringutöös kasutati eelnimetatud tarkvara allolevate tööde teostamiseks:
- mudelite koostamine (triangulatsiooni meetod);
- skemaatilise ülevaatekaardi koostamine mõõtkavas 1 : 200 000 (lisa 12);
- ruumianalüüsi rakendamine (alade välistused ja kaalumine);
- skemaatiliste geoloogiliste plaanide ja läbilõigete koostamine välja valitud perspektiivsete alade kohta (lisa 13, lisa 14).

Eesti Geoloogiafondi, Maa-ameti kaardirakenduse ja VEKA puurkaevude andmebaas töötati süstemaatiliselt läbi kasutades selleks matemaatilise statistika põhimeetodeid ja tarkvara Microsoft Office Excel.

3.3 UURINGUTÖÖS ESINENUD RISKID

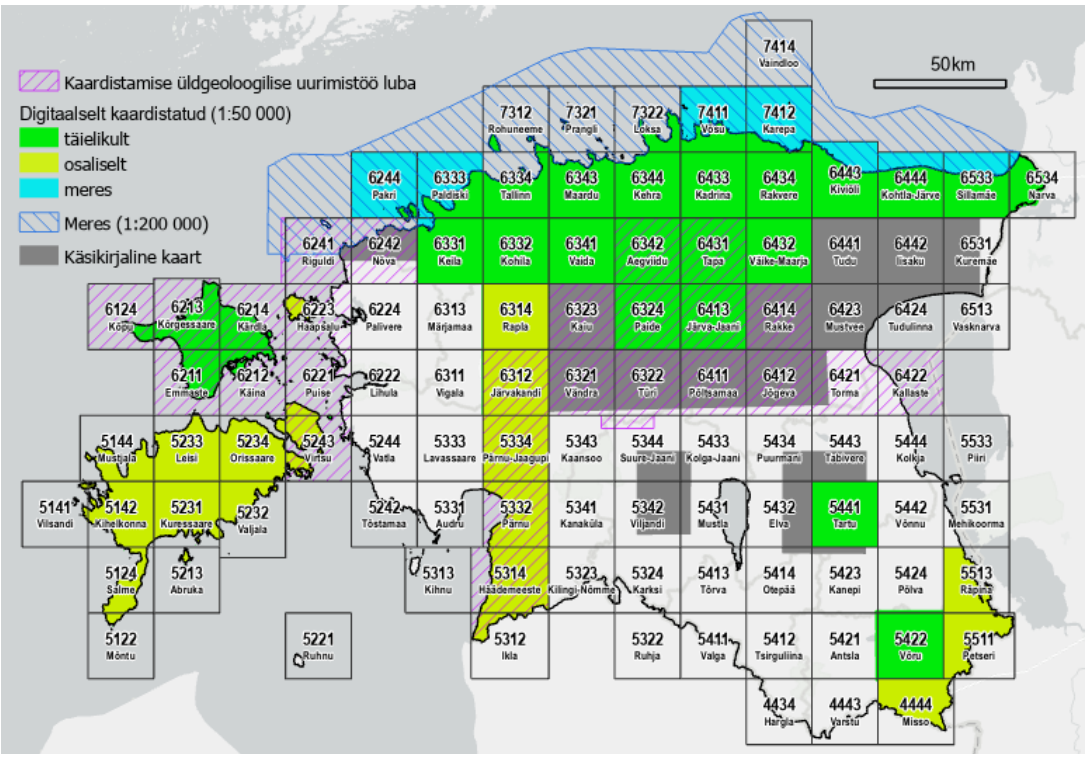
Järgnevalt on välja toodud uuringu eesmärgi saavutamiseks vajalike andmete töötlemise ja kasutamisega seotud olulised riskid, nende mõju ja maandamise viisid (tabelid 3.1, 3.2, 3.3). *Riski olulisuse* all on silmas peetud riski avaldumise mõju projekti edukusele ning lähtuvalt riski mõjust projekti eesmärgi täitmisele olid selle kategooriad:
- oluline
- väheoluline
- mitteoluline

Alljärgnevalt on välja toodud vaid olulised projekti riskid.

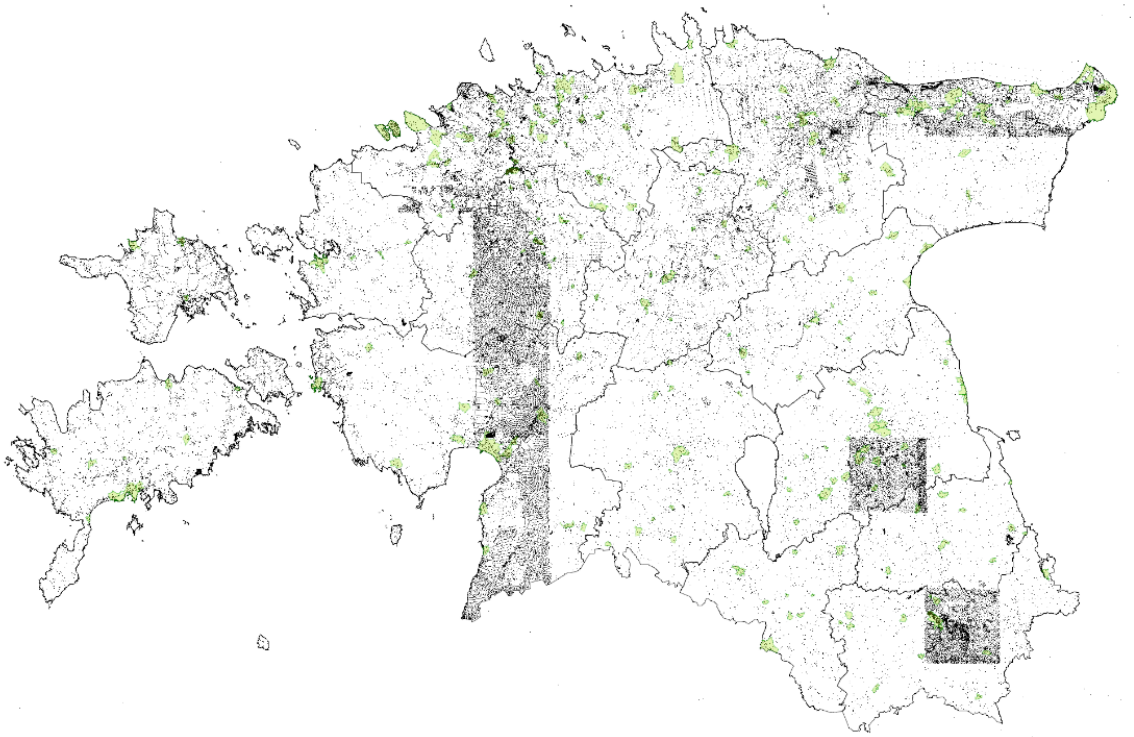
Tabel 3.1 Risk 1 (kvaternaarisetete paksus)

Risk:	OLEMASOLEVATE ANDMETE PUUDUS VÕI ANDMETE VÄHENE KÄTTESAADAVUS (KVATERNAARISETETE PAKSUS)
Olulisus:	Oluline
Riski kirjeldus:	Avatud maasoojussüsteemi rajamiseks kvaternaarisetetesse on oluliseks määrajaks nende setete paksus. Digitaalne kvaternaarisetete paksuse info on ainult kättesaadav 1 : 50 000 mõõtkavaga baaskaardil. Seisuga 01.01.2022 on digitaalse geoloogilise baaskaardiga osaliselt või täielikult kaetud 55 baaskaardi lehte (joonis 3.2). Muus osas on kvaternaari-

	setete paksuse informatsioon võetud EGF aruannetest ja VEKA-andmebaasist (joonis 3.3; lisa 3). Nende olemasolevate andmete põhjal koostati kvaternaarisetete paksuse mudel triangulatsiooni meetodiga (joonis 3.5).
Riski maandamise viis:	Kuna andmed on saadaval erinevas mahus ja usaldusväärsusega, **määrati 3 usaldusväärsuse taset** ja koostati vastav andmetabel (lisa 4)**:** 1. Kõige usaldusväärsem (1 : 50 000 EGK andmed + VEKA, EGF, X-GIS andmebaasi andmepunktid). 2. Keskmine usaldusväärsus (VEKA, EGF, X-GIS andmebaasi andmepunktid). 3. Puudub usaldusväärsus (vähem kui 5 andmepunkti VEKA, EGF, X-GIS andmebaasist).



Joonis 3.2. Geoloogiliste 1 : 50 000 kaardistustööde 2022. a seis



Joonis 3.3. VEKA, EGF ja X-GIS *punktide andmebaasiga kaetud ala*

Tabel 3.2 Risk 2 (kvaternaarisetete koostis)

Risk:	OLEMASOLEVATE ANDMETE PUUDUS VÕI ANDMETE VÄHENE KÄTTE-SAADAVUS (KVATERNAARISETETE KOOSTIS)
Olulisus:	Oluline
Riski kirjeldus	Avatud maasoojussüsteemi rajamise teine oluline kriteerium on setete koostis. Kõige täpsema pinnakatte ehituse info annab 1 : 50 000 mõõtkavaga EGK. Sealt digiteeriti töö käigus kõige ülemise pinnakatte kihi (v.a muld) litoloogiline ja stratigraafilis-geneetiline info. Samas on selle 1 : 50 000 mõõtkavaga kaetud vaid ~35% Eesti kogupindalast. EGK mõõtkavaga 1 : 400 000 annab info ainult geneetilistest settetüüpidest. Veel suurem risk on asjaolu, et kvaternaarisetete koostise info kirjeldab vaid maapinna-lähedast pinnakatte osa (v.a muld) ning seetõttu ei ole kirjeldatud kogu geoloogiline läbilõige.
Riski maandamise viis:	Eelnevast tulenevalt on arvestatud, et kasutatav avalik geoloogiline koostise info ei esinda tegelikkuses kogu geoloogilist läbilõiget ning sellistel juhtudel on kogutud info põhjal perspektiivsete alade elimineerimine või perspektiivseks märkimine ebatäpne. Tegelikku esinevat koostist on võimalik ja vajalik hinnata järgmise etapi uuringute käigus. VEKA, EGF, X-GIS andmebaasis olevad aluspõhja puuraugud annavad küll kogu vertikaalse geoloogilise läbilõike koostise kohta, aga uuringuvõrk on üldjuhul ebapiisav selleks, et teha usaldusväärne kokkuvõtte kvaternaarisetete koostise lateraalse ja vertikaalse muutlikkuse kohta. Kuna seda riski pole võimalik antud uuringus maandada, määrati **2 usaldusväärsuse taset** ja koostati vastav andmetabel (lisa 5)**:** 1. Kõige usaldusväärsem (1 : 50 000 + 1 : 400 000 mõõtkavaga EGK ja VEKA, EGF, X-GIS baasi andmepunktid) 2. Keskmine usaldusväärsus (1 : 400 000 mõõtkavaga EGK ja VEKA, EGF, X-GIS baasi andmepunktid)

Tabel 3.3 Risk 3 (uuringupunktide andmestik)

Risk:	OLEMASOLEVATE ANDMETE PUUDUS JA EBAKORREKTSUS (UURINGUPUNKTIDE ANDMESTIK)

Olulisus:	Oluline
Riski kirjeldus	Uuringu käigus kasutati uuringupunktide andmestikku (VEKA, EGF, X-GIS andmebaasi andmepunktid), mis on saadaval MS Exceli *.*xlsx* formaadis (lisa 6) ning kus on toodud uuringupunktide detailsem kirjeldus. Kasutatud andmestikus on kokku 105 921 andmerida (seisuga 10.04.2023). On oluline risk, et osa andmetest on ebakorrektsed, vananenud või puuduvad. Ka VEKA, EGF, X-GIS andmebaasi andmepunktid, millest on võetud geoloogiline kirjeldus, veetasemed jms, võivad olla ebakorrektsed, vananenud või puuduvad.
Riski maandamise viis:	Töötati läbi EGK uuringupunktide andmestik *.*xlsx* formaadis (tabel 3.4). Andmebaasist kustutati uuringupunktid, millel oli puudu (punase värviga): - kvaternaarisetete paksus (qp); - abs kõrgus (z) ja fondi lahtris märge „puudub või teadmata“ (näiteks 6343 AP_0002). Uuringupunktid, kus andmed on tõenäoliselt ebakorrektsed (näiteks uuringupunkt 5312Q_5011, kus kvaternaarisetete paksus on märgitud -2,75), võib eeldada, et see tegelik paksus on 2,75. Need read on andmebaasi jäetud, aga märgitud kui mittetäielik või ebatäpne (kollase värviga). **Andmete töötlemise tulemusel jäi andmebaasi 76 868 andmerida (lisa 3) ehk uuringupunkti (~73% algsest mahust). Neist täielikult usaldusväärseid andmeid on 35 765 andmerida ehk uuringupunkti (~34% algsest mahust).**

Tabel 3.4. VEKA, EGF ja X-GIS andmebaasi punktide väljavõte (kogu andmebaas toodud lisas 3)

nimi	nimi_fnr	x	y	z	qp	fond
VEEB28648	53	6413883.00	677927.00	72.2	-9999	Eesti Geoloogiafond
6314PK_1244	3004	6545734.00	530077.00	53.8	-9999	puudub või teadmata
5312Q_5011	1	6421516.00	523163.00	2.4	-2.75	Ehitusgeoloogia andmekogu
5314_0263	930	6429010.00	535376.00	43.3	13	puudub või teadmata
6343AP_0001	58	6591962.53	561659.99	-9999	-9999	puudub või teadmata
6343AP_0002	11	6589101.64	561473.49	-9999	1.2	puudub või teadmata
6343AP_0003	M12	6578090.00	553752.00	40	4.2	Eesti Geoloogiafond
6343AP_0004	M18	6578642.00	560929.00	41.5	15	Eesti Geoloogiafond
6343AP_0005	M16	6589685.00	562785.00	41.5	4	Eesti Geoloogiafond
6343AP_0006	M24	6579484.86	566850.20	37.5	9.5	Eesti Geoloogiafond
6343AK_0047	F117	6586910.69	561161.66	-9999	4	Eesti Geoloogiafond
6334AP_0001	HA3	6582224.93	532098.18	-9999	2	puudub või teadmata
6334AP_0002	D65	6579459.88	527368.90	-9999	3.5	puudub või teadmata
6334AP_0003	D76	6579140.29	536940.66	-9999	9.6	puudub või teadmata
6334AP_0004	64	6579286.76	545200.80	-9999	4.5	puudub või teadmata
6334AP_0005	M6	6578295.00	548209.00	41.5	3.8	Eesti Geoloogiafond
6334AP_0006	1100	6579302.82	531103.83	-9999	1.1	puudub või teadmata
6334AP_0007	63	6589002.00	532594.00	-9999	69	puudub või teadmata
6344AP_0001	M73	6581053.00	577706.00	48.5	1.5	Eesti Geoloogiafond
6344AP_0002	M42	6560769.00	584707.00	64	26.7	Eesti Geoloogiafond
6344AP_0003	44B	6581401.83	594432.67	-9999	-9999	puudub või teadmata
6344AP_0004	M48	6579150.00	590063.00	64	15	Eesti Geoloogiafond
6344AP_0005	M47	6590158.00	587546.00	60	-9999	Eesti Geoloogiafond
6344AP_0007	0182	6589329.36	587687.33	-9999	-9999	puudub või teadmata
6344AP_0008	0183	6590381.96	587499.81	-9999	4	puudub või teadmata
6344AP_0009	0184	6591261.45	587470.35	-9999	14	puudub või teadmata
6344AP_0010	245	6592073.91	587954.29	-9999	-9999	puudub või teadmata
6344AP_0011	244	6593436.84	587767.93	-9999	-9999	puudub või teadmata
6344AP_0012	293	6594124.34	587586.87	-9999	-9999	puudub või teadmata
6344AP_0013	242	6596166.66	587483.10	-9999	-9999	puudub või teadmata
6343NA_0119	M28	6585116.00	568370.00	45	-9999	Eesti Geoloogiafond
7322NA_0011	1Q	6611152.74	584562.71	-9999	-9999	puudub või teadmata
6344NA_0185	288	6597092.97	587929.45	-9999	-9999	puudub või teadmata
6344NA_0186	298	6596484.64	588426.74	-9999	-9999	Eesti Geoloogiafond
6334NA_0961	309	6588294.96	535909.07	-9999	1	puudub või teadmata
6334NA_0962	73	6589410.95	535492.00	-9999	1.5	puudub või teadmata

Punane rida – andmebaasist kustutatud
Kollane rida – jäetud alles, aga märgitud kui mittetäielik või ebatäpne

3.4 HALDUSÜKSUSTE ERALDAMINE

Selleks, et süstemaatiliselt läbi töötada linnade (välja arvatud Tallinn ja Tartu), alevite ja alevike geoloogiline-hüdrogeoloogiline andmestik ja välja selgitada kvaternaarisetete veekihi geotermaalse energia potentsiaal, eraldati töö esimeses etapis välja asustusüksuste piirid. Selle etapi tulemusel **selekteeriti välja 246 ala**. Nende valitud alade piires teostati kogu edasine geotermaalse energia kasutamisvõimaluste uuring (joonis 3.4).

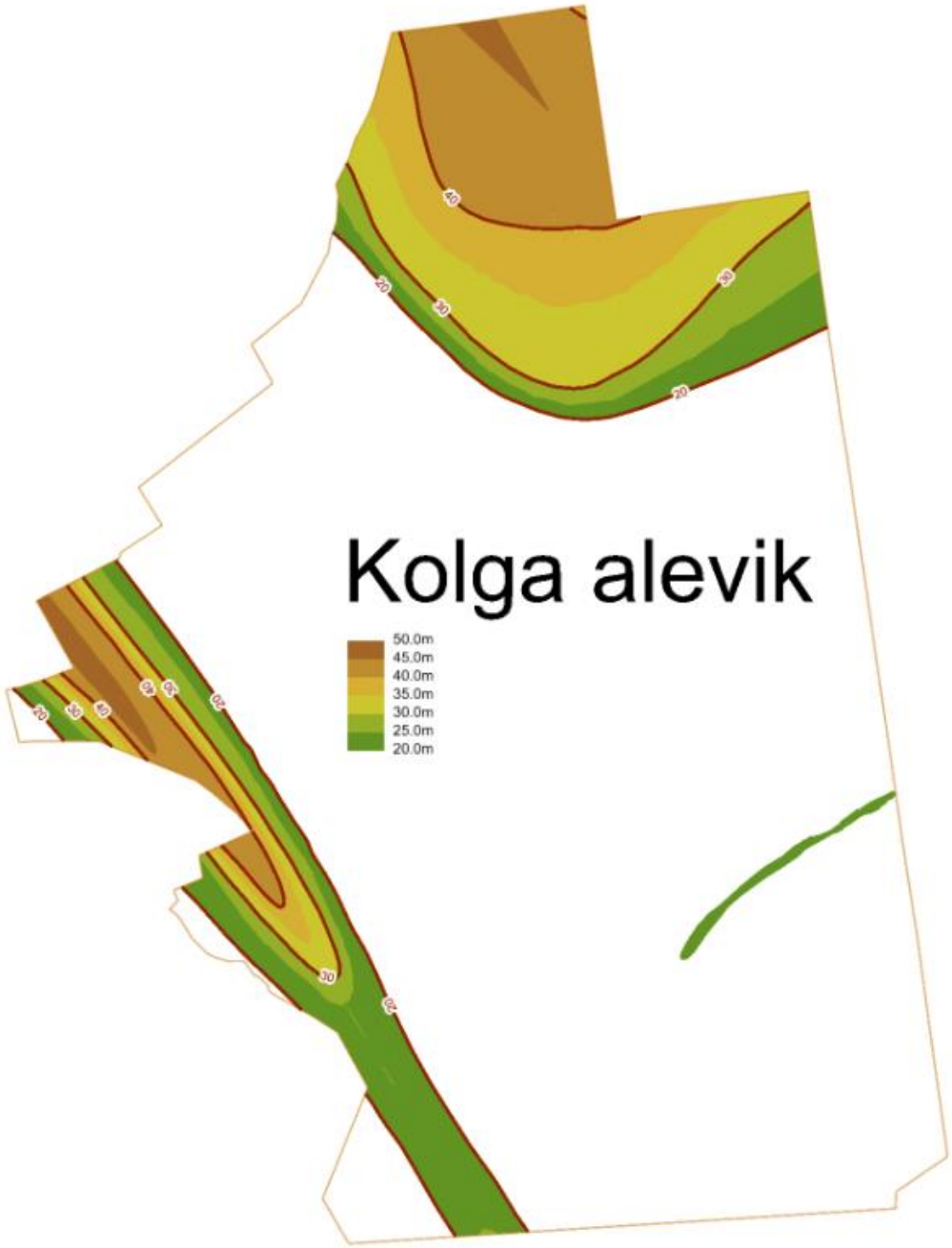


Joonis 3.4. Uuringus käsitletud asutuüksuste kaart

Täiendavalt koostati skemaatiline ülevaatekaart mõõtkavas 1 : 200 000, kus kajastati geotermaalse energia potentsiaaliga geomorfoloogilisi struktuure: täitunud mattunud orud ja teisi liustikujõelise geneesiga pinnavorme ehk liustikujõe mõhnastikud, oosid (lisa 9, joonis 2.5). Ülevaatekaardi aluseks on 1 : 400 000 mõõtkavaga geoloogilise kaardi andmed. Kaardile ei ole kantud sanduritasandikke ja deltasid, mis võivad olla samuti geotermaalse energia potentsiaaliga struktuurid, kuid mida ei olnud käesolevas analüüsis võimalik digitaalsete kaartide puudumise tõttu kuvada.

3.5 KVATERNAARISETETE PAKSUSE PÕHINE PERSPEKTIIVSETE ALADE SELEKTEERIMINE

Pärast haldusüksuste eraldamisest teostati kvaternaarisetete paksuste info koondamine ja eraldati välja alad, kus puudub 1 : 50 000 geoloogilise kaardi põhine paksuse info ning mille puhul on vajalik mudeldada paksused VEKA, EGF, X-GIS baasi uuringupunktide põhjal. Selle põhjal koostati kvaternaarisetete paksuste mudelid ning visualiseeriti selle muutlikkus. Kasutades Tellijaga 13.12.2022 toimunud avakoosolekul kooskõlastatud minimaalset 20 m paksuse piirmäära, **eraldati välja 101 perspektiivset asustusüksust**, kus see tingimus on täidetud, ja koostati ülevaatekaart koos nimekirjaga, mis kinnitati Tellija poolt 21.02.2023. Näide Aegviidu alevi kvaternaarisetete paksuse muutlikkusest on toodud joonisel 3.5 ja kõikide alade joonised maakondade lõikes on toodud lisas 14.

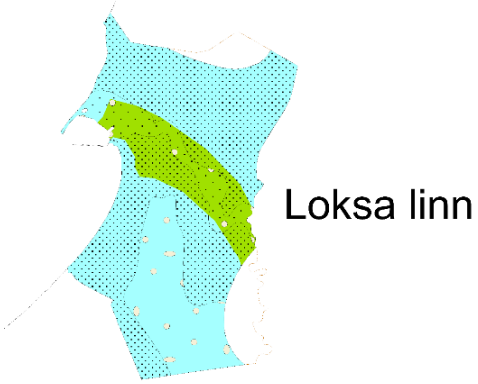


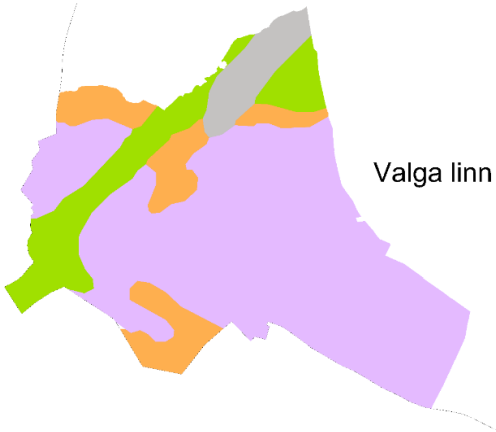
Joonis 3.5. Näide, kvaternaarisetete paksuse muutlikkus Kolga alevikus

3.6 KVATERNAARISETETE KOOSTISE PÕHINE PERSPEKTIIVSETE ALADE SELEKTEERIMINE

Kuna kvaternaarisetete koostise litoloogiline info ei ole ühtlaselt kogu Eesti vaates täielik, siis tegi Töövõtja ettepaneku viia koostise põhine selekteerimine läbi olenevalt setete geneesist, selle alusel on perspektiivsed alad need, kus esinevad (alustades kõige perspektiivsematest) liustiku-jõesetted, jõesetted ja meresetted. Vastab ettepanek kooskõlastati Tellija poolt 15.03.2023 toimunud koosolekul. **Kokku jäi seda valikukriteeriumit kasutades eelnevast 101-st alast alles 54 ala**, kus pinnakatte settetüüp on märgitud kui liustikujõesetted, jõesetted, meresetted

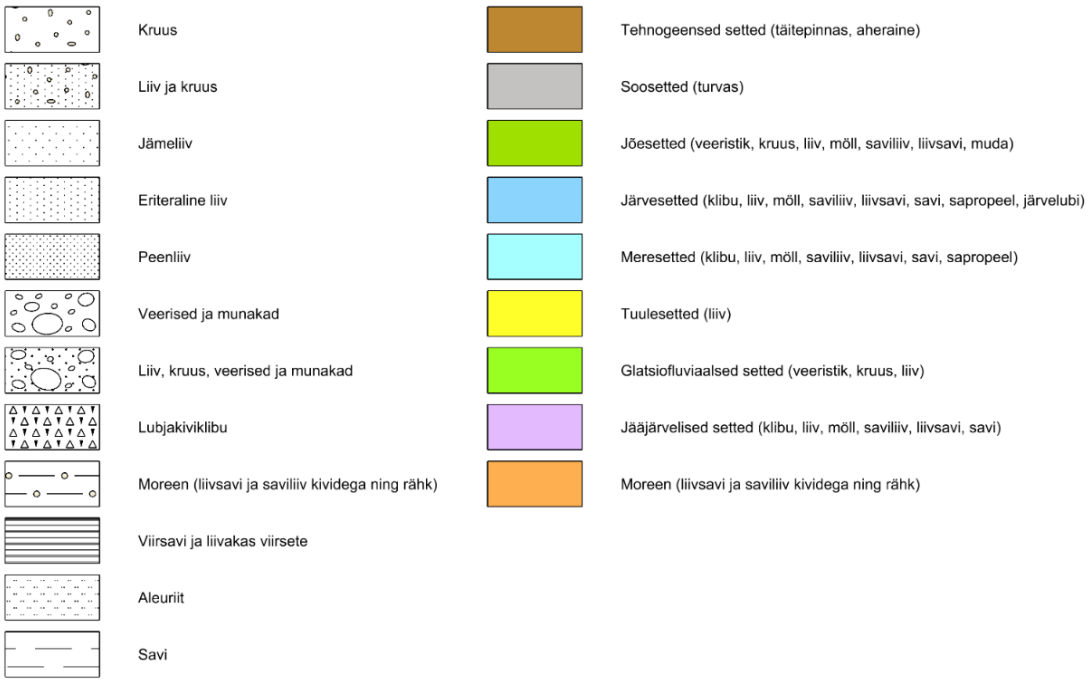
ja/või tuulesetted. Näide Loksa ja Valga linnade kvaternaarisetete koostisest on toodud joonistel 3.6. ja 3.7.





Joonis 3.6. Näide, kvaternaarisetete koostise muutlikkus Loksa linnas 1 : 50 000 ja 1 : 400 000 baaskaardi alusel

Joonis 3.7. Näide, kvaternaarisetete koostise muutlikkus Valga linnas 1 : 400 000 baaskaardi alusel



Joonis 3.8. Kvaternaarisetete kaardistamise legend

Lisaks lepiti Tellijaga kokku, et paralleelselt koostise põhise selekteerimisega vaatab Töövõtja üle ka valitud alade pindalad ning liiga väikeste alade puhul teeb Tellijale „*case by case*“ põhiselt ettepanekud, milliseid alasid pindala väiksuse tõttu täiendavalt valikust elimineerida. Väikese pindala tõttu otsustati järgmise töö etapi perspektiivsete alade nimekirjast välja jätta järgmised 21 ala:

< 10 ha	< 30 ha	< 50 ha
1. Kambja alevik	8. Toila alevik	15. Häädemeeste alevik
2. Võiste alevik	9. Sangaste alevik	16. Lüganuse alevik
3. Kose alevik (Harjumaa)	10. Lohusuu alevik	17. Voka alevik
4. Kose alevik (Võrumaa)	11. Alatskivi alevik	18. Laekvere alevik
5. Räpina linn	12. Kanepi alevik	19. Põlva linn
6. Ülenurme alevik	13. Karksi-Nuia linn	20. Suure-Jaani linn
7. Paralepa alevik	14. Antsla linn	21. Mustvee linn

Lisaks, andmete puudumise ja kvaternaarisetete koostise/paksuste ebapiisava/ebasoodsa info tõttu jäeti järgmise töö etapi perspektiivsete alade nimekirjast välja lisaks eelnevatele veel 4 ala:

1. Haapsalu linn
2. Lavassaare alev
3. Salme alevik
4. Kihelkonna alevik

Tellijaga 10.04.2023. toimunud projektikoosolekul vaadati ja arutati saadud tulemused läbi ning kinnitati lõplik perspektiivsete alade nimekiri, mille osas koostas Töövõtja projekti viimase etapi lõikes igale valitud alale geoloogilised ja hüdrogeoloogilised kirjeldused. Kokku lepiti kokku nimekirjas, mis sisaldas 29 perspektiivset ala, kuid kuna osad alad piirnevad üksteisega ja moodustavad ühe üksuse, siis otsustati neid alasi vaadelda ja kirjeldada koos. Ühtse üksuse moodustavad alad on järgmised:

- Narva ja Narva-Jõesuu linnad;
- Pärnu linn, Sindi linn, Paikuse alev, Sauga alevik;
- Tõrva linn ja Helme alevik;
- Kangru ja Luige alevikud.

Eelpool nimetatud alade kooskäsitlemise tõttu on järgmises peatükis 4 välja toodud kokku 23 ala(peatükki). Nende alade perspektiivsust hinnati detailse geoloogilise ja hüdrogeoloogilise kirjeldamise käigus kogutud ja analüüsitud täiendava info põhjal.

4. PERSPEKTIIVSETE ALADE GEOLOOGILINE JA HÜDRO-GEOLOOGILINE KIRJELDUS

Perspektiivsete alade geoloogilise ja hüdrogeoloogilise kirjelduse koostamisel on eelkõige lähtutud VEKA, EGF ja X-GIS andmebaasi punktide andmetest ning vastavat ala hõlmavate geoloogiliste, ehitusgeoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste uuringute tööde tulemustest. Täiendavalt on kasutatud üldiste kirjelduste tegemisel 2012. a põhjaveekogumite kontseptuaalsete mudelite koostamise aruannet [9] ning samuti üldisi hüdrogeoloogilisi ülevaateid [11].

Kuna oluline oli koguda adekvaatset infot just kvaternaarisetete iseloomustamiseks, siis ei saanud kirjelduste koostamisel süstemaatiliselt kasutada käesolevas töös koostatud andmebaase (lisad 3 - 6), vaid tuli teha valik olemasolevatest andmetest. Näiteks veetasemete kirjeldamisel ei ole kasutatud aluspõhja puuraukude infot, vaid ainult salvkaevude andmeid ja/või konkreetsete geoloogiliste, ehitusgeoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste uuringute andmeid. Samuti tuli kriitiliselt hinnata puurkaevude andmebaasis geoloogilise läbilõigete kirjeldusi ja võimalusel võrreldi neid geoloogiafondis olevate rakendusuuringute andmetega.

Lisaks kirjeldustele (ptk 4.1…4.23) on koostatud iga väljavalitud perspektiivset ala iseloomustav pinnakatte kaart, millel on kujutatud kvaternaarisetete samapaksusjooned, setete geneesi tüüp (avamus) ja olemasolevad usaldusväärsed andmepunktid (puuraugud, puurkaevud), ning ala iseloomustavad geoloogilised läbilõiked. Läbilõigetele on kantud käesolevas töös kogutud andmete põhjal olemasolevad puurkaevud ning litoloogiline ja stratigraafilis-geneetiline andmestik. Illustratiivselt on joonised lisatud alljärgnevate kirjelduste juurde, kuid on lisatud detailsemalt vaatamiseks seletuskirja graafiliste lisadena (lisad 13).

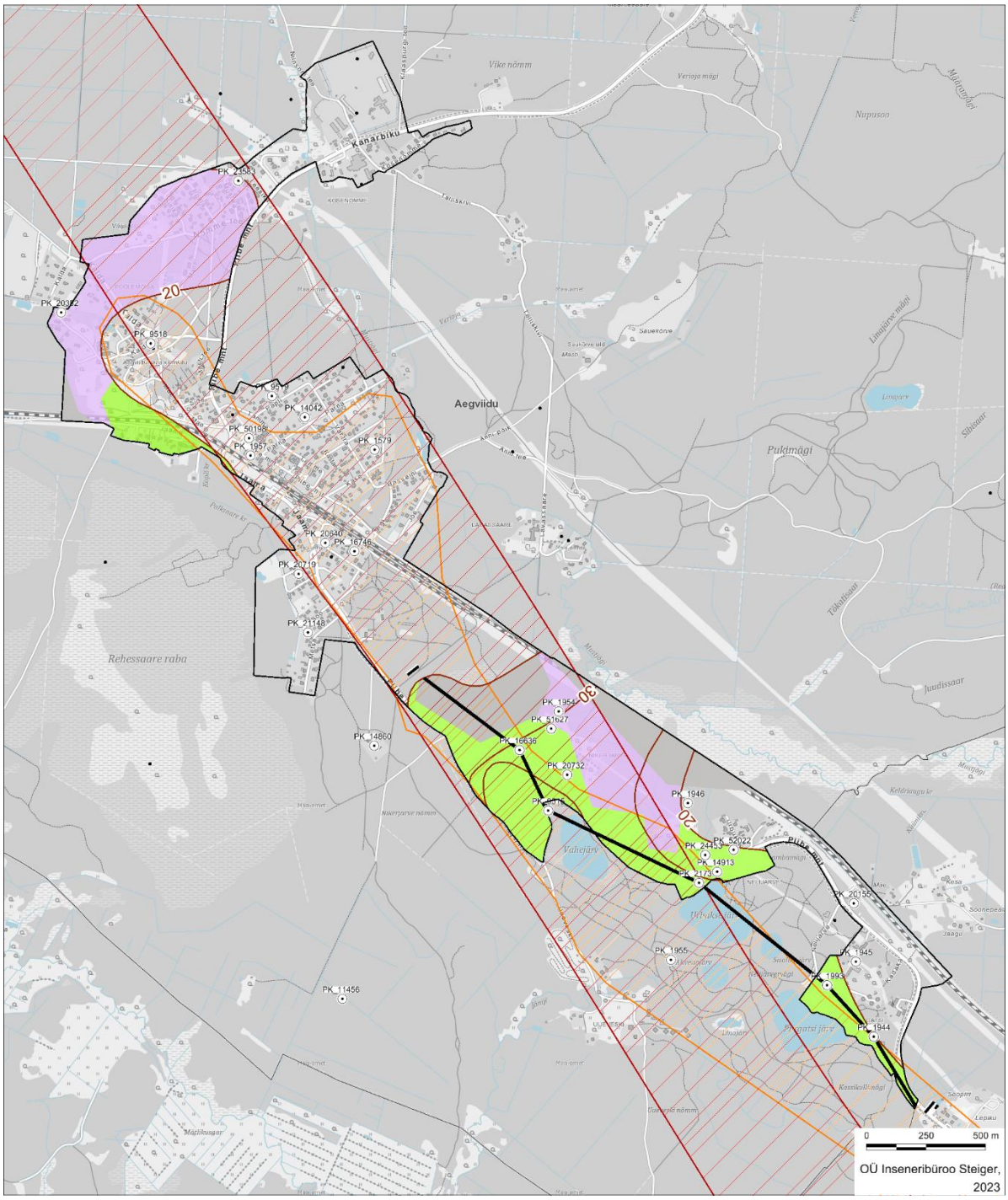
Geoloogilise ja hüdrogeoloogilise kirjelduse osa koosneb järgmistest punktidest:
1. kvaternaarisetete levik ja paksus (sh vettandvate setete paksus geoloogilises läbilõikes);
2. litoloogiline koostis (põhjaveekogumi moodustava sette või kivimi tüüp ja litostratigraafia);
3. hüdrogeoloogilised tingimused sh Kvaternaari veekompleks;
4. lamav veepide (põhjaveekogumi all olev veepide, mis eraldab seda teistest põhjaveekogumitest või kogumisse mittekuuluvast põhjaveest).

Kirjeldatavad alad jagati kogutud andmete põhjal omakorda kahte hinnangulise perspektiivsuse klassi (I - perspektiivne, II - vähem perspektiivne) vastavalt geoloogilise ehitusele ja hüdrogeoloogilistele tingimustele (tabel 6.1). Perspektiivseks on hinnatud alad, mida töö autorid julgevad soovitada edasisteks uuringuteks, vähem perspektiivsete alade puhul on geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused mõnevõrra ebasoodsamad või ebaselgemad.

4.1 AEGVIIDU ALEV

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 7593 ja Anija valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2017 - 2028 (OÜ Vetepere).

Kvaternaarisetete kihi paksus keskmiselt on 15 m, kuid mattunud oru suunas suureneb see 45 meetrini (joonis 4.1).



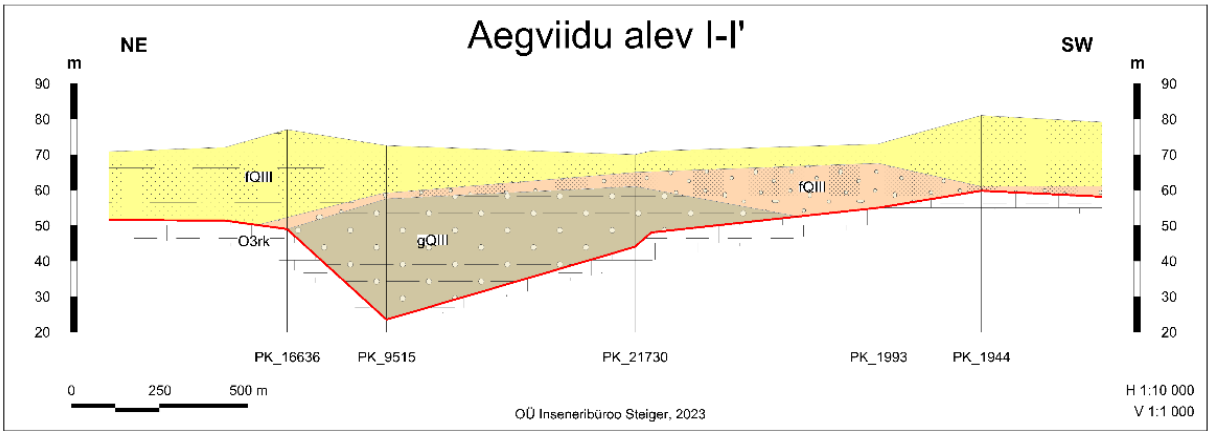
Joonis 4.1. Aegviidu alevi pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Aegviidu piirkonna lainjat reljeefi iseloomustavad otsamoreenid, vallseljakud ja väikevoored. Positiivsete pinnavormide vahel paiknevad järved, jõed ning rabamaastikud. Aegviidu asub geomorfoloogiliselt mitmekesisel alal. Aegviidu alevi keskust hõlmav ja Nelijärvest põhja poole jääv künkliku reljeefiga jääjõeline mõhnastik, kus esinevad põhiliselt tolm-, peen- ja keskliivad, mille paksus on keskmiselt 8 - 10 m. Aegviidu raudteejaamast lõuna ja lääne pool asuv tasane piirkond, kus asenduvad liustikujärve savid, liivsavid, saviliivad ja tolmliivad jämepurrurikka (20 - 40%) saviliivmoreeniga, mille paksus on alla 20 m.

Aluspõhja moodustavad Ülem-Ordoviitsiumi Rakvere lademe mikrokristalsed lubjakivid, mis lamavad kogu piirkonnas absoluutkõrgusel 10 - 45 m (joonis 4.2).

Aegviidu puurkaevude analüüsil nähtub, et ülemine kiht paksusega 5 - 20 m on enamasti liivane. Liivaka kihi all esineb ka munakaid, kruusa ja veeriseid.

Eriteralistest liivadest koosneva kihi filtratsioonikoefitsient on 5 - 10 m/ööp, kruusa liivades ja kruusas see suureneb kuni 20 m/ööp.



Joonis 4.2. Aegviidu alevi läbilõige I-I'

Kohati vettpidavaks kihiks on moreenid (K=0,1^{-1} m/ööp), aga moreeni võib käsitleda ka suhtelise (nõrga) veepidemena kuni väga väikese läbilaskvusega veekihina.

Vesi on HCO_3-SO_4-Ca-Mg-tüüpi, mage, suure rauasisaldusega (mattunud orgudes kohati üle 1 mg/l).

Kvaternaarisetete vett Aegviidu aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Suuremal osal alast on veekiht survetu, kuid mattunud orgudes on vesi surveline. Tarbevee saamiseks on peamiselt rajatud kuni 5 m sügavusega salvkaevusid. Kindlad andmed kvaternaarisetetes veetasemete kohta puuduvad, aga lähiümbruse kaevude andmete põhjal on **veetase ~2 m sügavusel maapinnalt.**

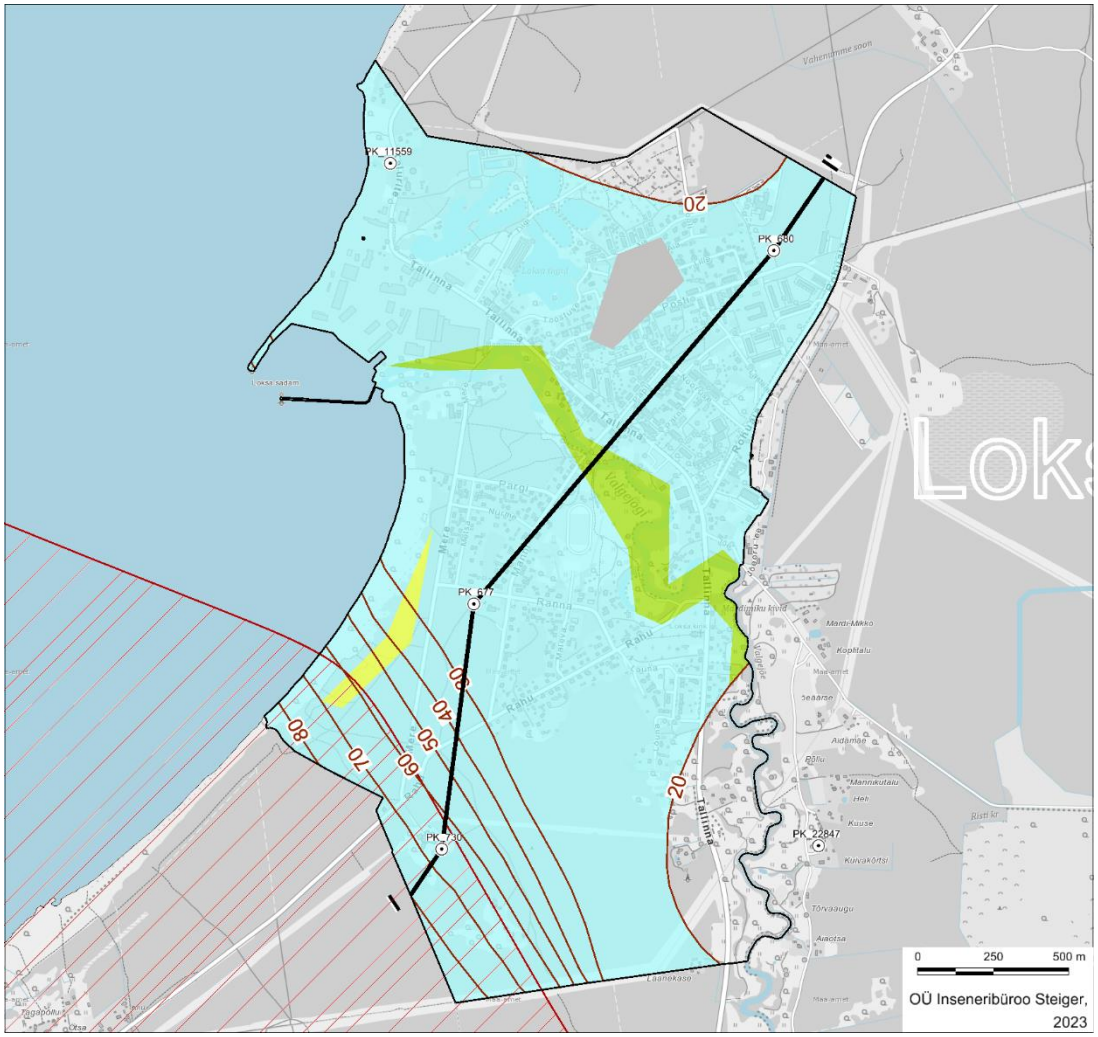
Ala on perspektiivne, tase I.

4.2 LOKSA LINN

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruandeid nr 4415, 7495.

Loksa linn asub Pärispea poolsaare lõunaosas Hara lahe ääres, kus pinnamood on suhteliselt tasane ja absoluutkõrgused ei ületa 10 meetrit. Kõrgem reljeef (absoluutkõrgused kuni 15 m) on Loksa linna lõunaosas, kuhu jäävad põhja-lõunasuunalised rannavallid, mis jätkuvad linnast lõuna suunas. Linna edelaserva jääb mattunud org.

Kvaternaarisetete kihi paksus on valdaval osal linna territooriumist 20 - 30 m, kuid mattunud oru suunas suureneb see üle 80 meetri (joonis 4.3). Meresetted avanevad pea kogu linna territooriumil, vaid Valgejõe ümbruses levivad jõesetted.



Joonis 4.3. Loksa linna pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Aluspõhja reljeef on linna piires usaldusväärsete puurkaevude andmetel valdavalt - 30 m kuni -20 m absoluutkõrgusel, mattunud orus sukeldub ligikaudu -60 m absoluutkõrgusele.

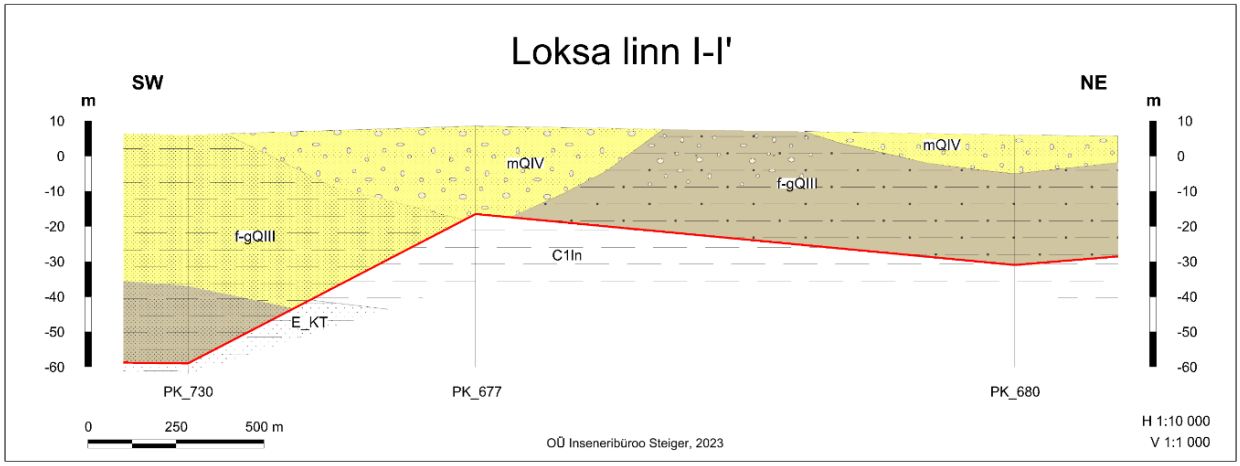
Meresetetes on vettkandvateks seteteks peene- ja keskteralised kruusakad liivad. Põhjavesi on survetu ja põhjavee tase, olenevalt reljeefist, on kuni 5 m maapinnast. Valdavalt esinevate peenliivade filtratsioonikoefitsient on suurusjärgus 1 m/ööp, kuid kruusakate liivadel ulatub

see kuni 15 m/ööp. Veekihi laialdasemat tarbimist takistab kõrge reostustundlikkus. Meresetete veekiht toitub peamiselt sademete veest.

Veetarbimises on olulisemaks mattunud orus levivad liustikujõesetted, mis lamavad mere- ja tuulesetete all. **Liustikujõesetete veekiht on survetu ja veetase asub ~5 m sügavusel maapinnast.** Selle kihi allosas esinevad saviliivad, aga ülemine kiht paksusega ~40 m on peamiselt liivakas (joonis 4.4), kus filtratsioonikoefitsient võib jääda vahemikku 1 - 5 m/ööp. Põhjavesi on väikese mineraalsusega (alla 0,2 g/l), rannikulähedases mattunud orus ulatub mineraalsus juba 0,6 - 0,8 g/l. Veekihti tarbitakse tänapäeval väheste salvkaevudega. Põhiliselt on vee esinemine seotud alumise lokaalmoreeni esinemisega.

Veepideme moodustavad Lontova lademe savid (K ~10^{-3} m/ööp).

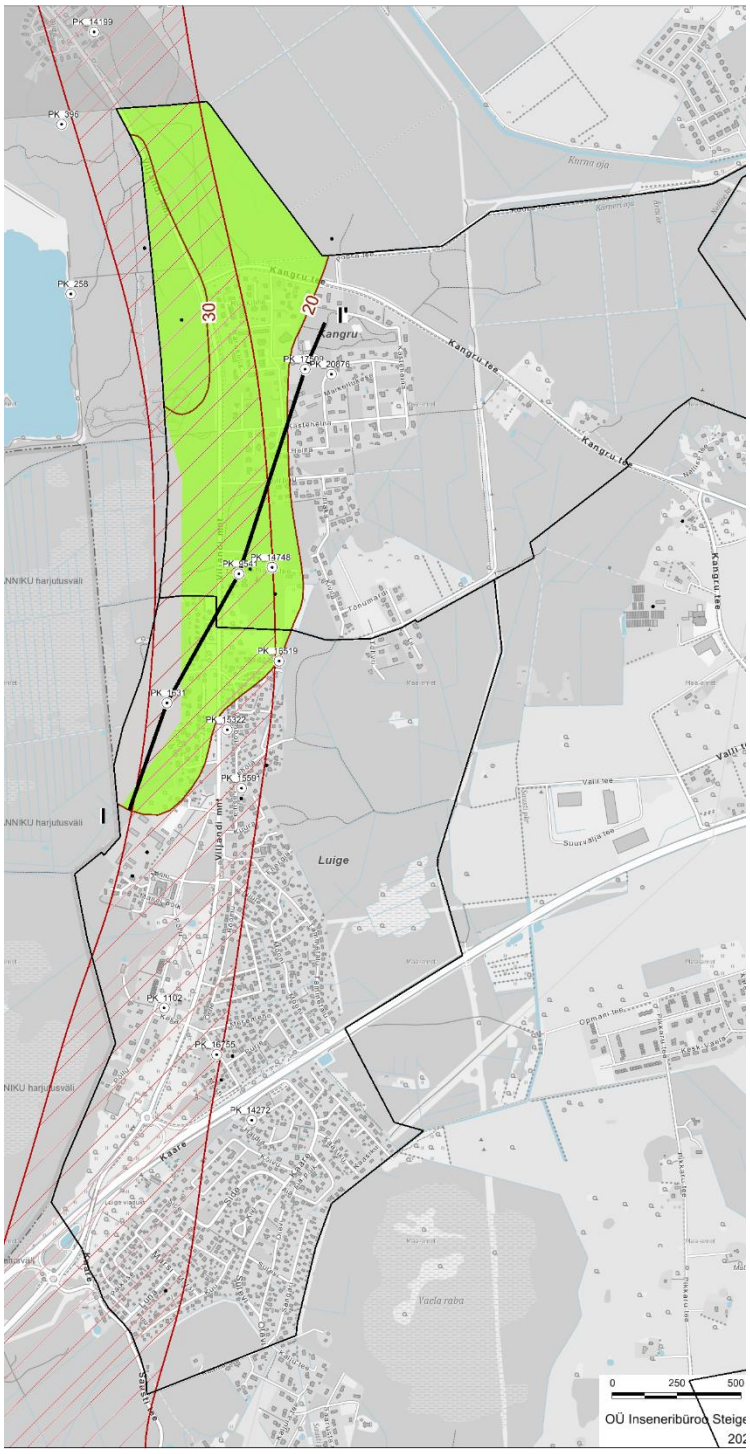
Ala võib olla piiratud pindalal perspektiivne, tase I.



Joonis 4.4. Loksa linna läbilõige I-I'

4.3 KANGRU JA LUIGE ALEVIKUD

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruandeid nr 8450, nr 5818.



Maapinna reljeef on tasane jäädes ~50 m absoluutkõrgusele.

Kangru aleviku lääneserv ja Luige aleviku loodeosas levivad liustikujõesetted, mis puurkaevude kirjelduste põhjal koosnevad kogu läbilõike ulatuses peamiselt peene- kuni keskmiseteralise liiva ja kruusana. Kirjeldatud on ka liivast koosnevaid liustikusetteid.

Kvaternaarisetete paksus alevike piires on 5 - 31 m.

Perspektiivne ala kattub nii mattunud ürgoru kui ka marginaalse oosiga, mis on seotud vahetult alast läänes paikneva liustiku staadiumi piiriga.

Aluspõhja reljeef jääb absoluutkõrgustele 20 - 30 m.

Kangru ja Luige alevikud asuvad Männiku-Pelguranna põhjaveekogumi kaguosas ja ühtlasi Nõmme-Männiku liustikujõgede mattunud orus (joonis 4.5).

Liustikujõesetete (liiv, kruus ja veeristik) filtratsioonikoefitsient on valdavalt 5 - 10 m/ööp.

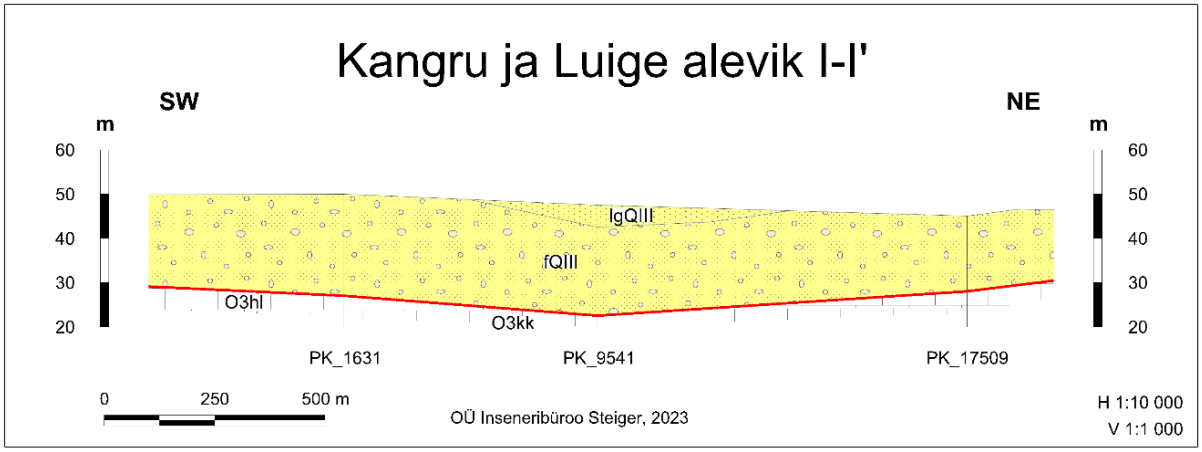
Joonis 4.5. Kangru ja Luige pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Põhjavee toitumine toimub sademetest. **Põhjavee tase on 10 - 15 m, maksimaalselt 25 m maapinnalt.** Veetasemete kõikumise aastaringne amplituud ületab harva 0,5 - 1,5 m.

Põhjavee liikumise suund on määratud Nõmme-Männiku sandurvälja kui põhilise toiteala asendiga, kust põhjaveevool toimub põhja suunas Kopli ja Kakumäe lahe poole [9].

Põhjavesi on valdavalt HCO_3-Ca-Mg-tüüpi, vähese vees lahustunud mineraalainete sisaldusega 0,2 - 0,3 g/l.

Kangru ja Luige aleviku ala on perspektiivne, tase I.



Joonis 4.6. Kangru ja Luige aleviku läbilõige I-I'

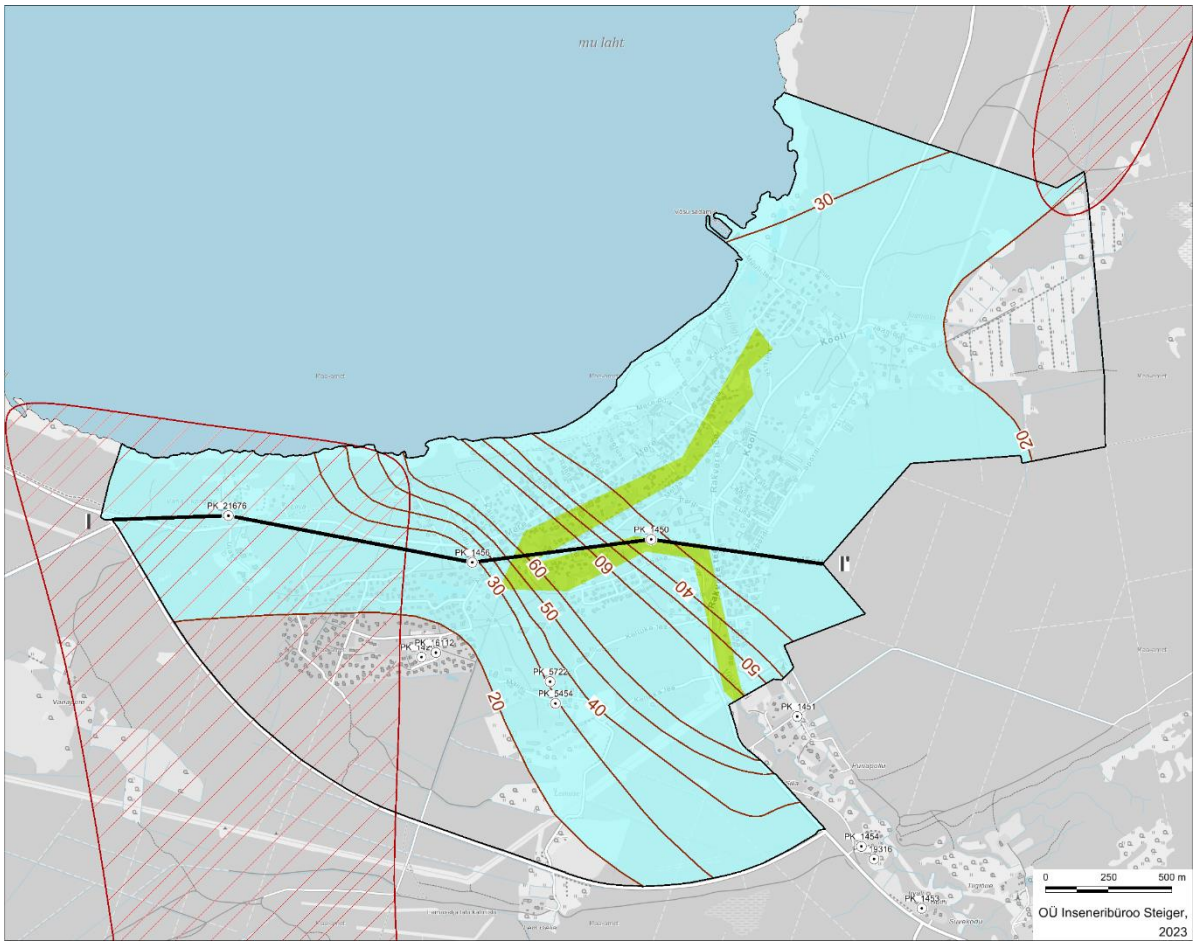
4.4 VÕSU ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruandeid nr 7609, 7625, 7704.

Võsu alevik asub Käsmu lähe ääres. Pinnamood on suhteliselt tasane ja absoluutkõrgused jäävad 5 - 15 meetri vahemikku. Käsmu mattunud org jääb aleviku keskele loode-kagu-suunaliselt. Aluspõhja reljeef on aleviku piires -10 m kuni -65 m absoluutkõrgusel (sukeldub mattunud orus).

Perspektiivsel aleviku alal avanevad valdavalt meresetted, mis koosnevad peene- ja keskmiseteralisest kruusakast liivast (joonis 4.7). Jõesetted avanevad kitsa lookleva ribana Võsu jõe sängis. Puurkaevude andmetel esinevad meresetete all jääjärve- ja liustikusetted.

Kvaternaarisetete kihi paksus on Võsu aleviku piiris on 5 - 64 m vahemikus.



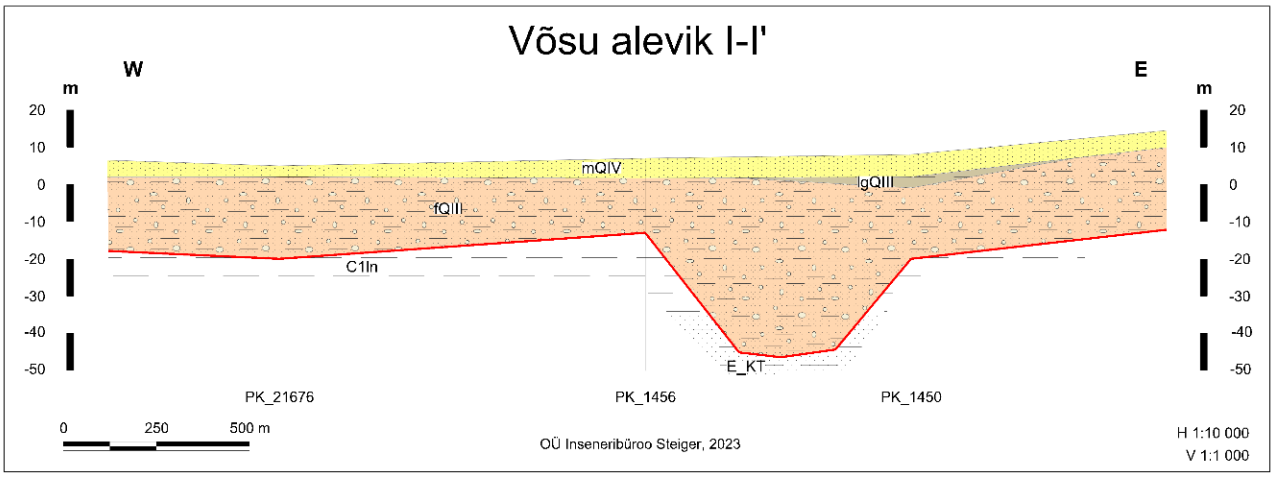
Joonis 4.7. Võsu aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Esinevate liivade filtratsioonikoefitsient on suurusjärgus ~1 m/ööp, kuid kruusakate liivadel ulatub see kuni 15 m/ööp.

Meresetete veekiht toitub peamiselt sademete veest ja lisaks aluspõhja veekompleksidest nende väljealal. Veetarbimises on olulisemaks mattunud orus levivad liustikujõesetted, mis lamavad meresetete all (joonis 4.8). Veekiht paksusega 5 - 60 m on esindatud eriteralise liiva

ning savika peene kruusaga, mille lamamiks on Lontova lademe savid ja Vendi liivakivid. Liustikujõesetete veekiht on survetu ja **veetase asub ~5 m sügavusel maapinnast**. Survetu Kvaternaari veekompleksi põhjavesi leiab kasutamist hajaasustuses eratarbijate (talud) arvukate salvkaevudega.

Veekihi vesi on lahustunud mineraalainete üldsisaldusega 0,1 - 0,3 g/l HCO_3-Ca-Na-tüüpi ning iseloomulik on kõrge Fe^{2+} sisaldus.



Joonis 4.8. Võsu aleviku läbilõige I-I'

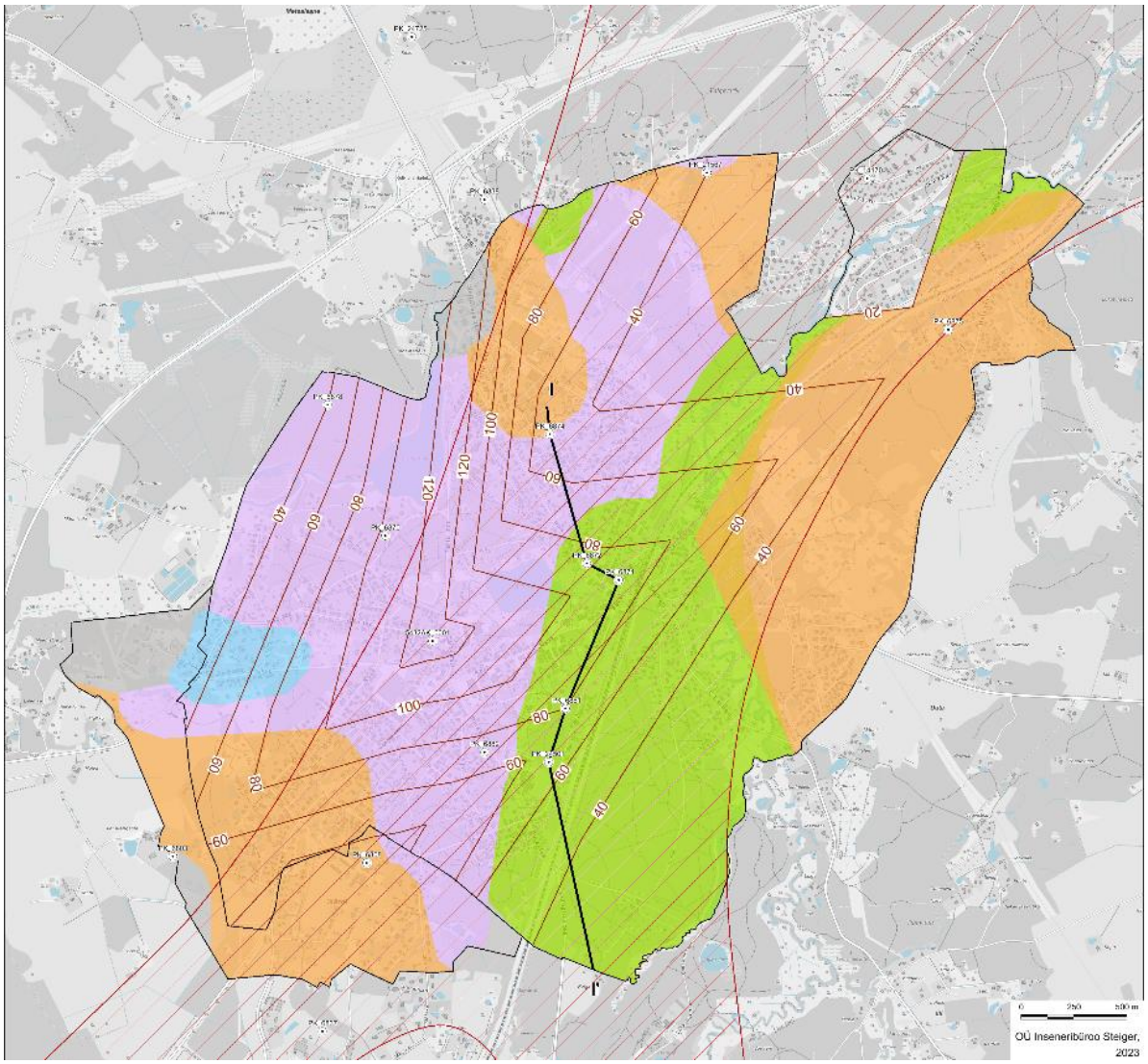
Ala on mattunud oru ja koostise alusel perspektiivne, tase I.

4.5 ELVA LINN

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 3166, 6825, 8450.

Elva linn ja selle ümbrus asub Otepää kõrgustiku loodeservas. Pinnamood on siin põhiliselt künklik moreenreljeef. Linn jääb valdavalt põhja-lõunasuunalise mattunud oru piiresse (joonis 4.1). Mattunud oru kohale on kujunenud järvenõod (Verevi, Arbi järv) ja Elva jõe säng. Maapinna absoluutkõrgused jäävad piirkonnas 40 - 65 m vahemikku.

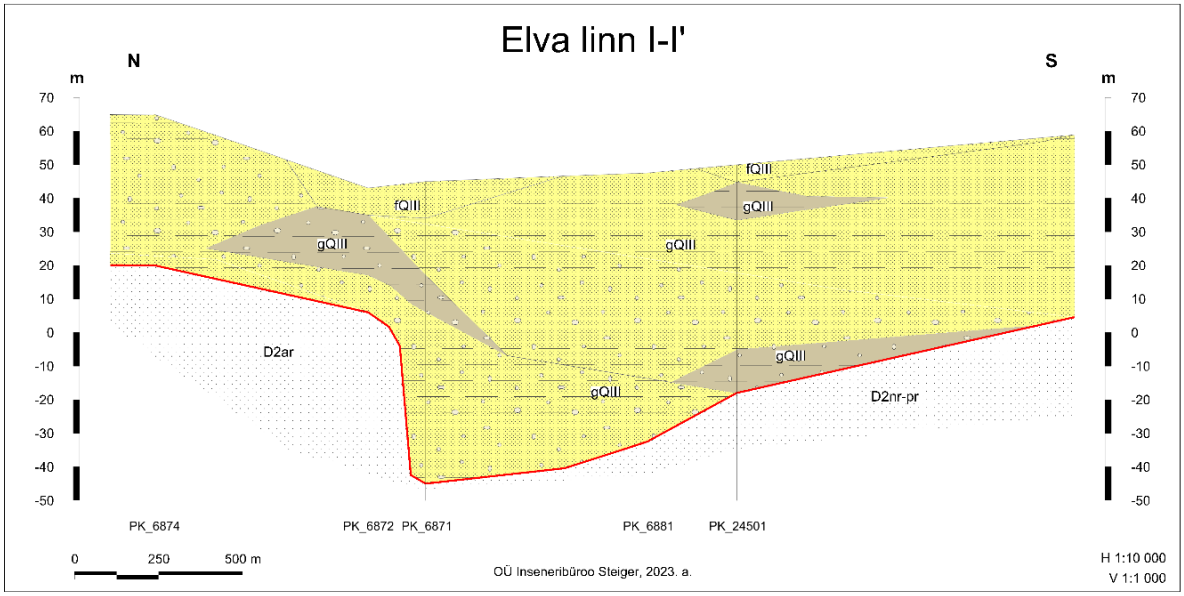
Kvaternaarisetete kihi kogupaksused jäävad 20 - 129 meetri vahemikku, keskmiselt 60 m (joonis 4.9).



Joonis 4.9. Elva linna pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

Varasemate uuringute andmetel on mattunud org põhiliselt täitunud jääjärveliste (savikas aleuriit või aleuriit saviga) setetega, milles esinevad liustikujõe- (liiv veeristega, segateraline liiv) ja liustikusetete (moreen) vahekihid. Linna territooriumile jäävate puurkaevude andmetel aga esinevad alal peamiselt liustiku- ja liustikujõesetted, mis koosnevad valdavalt liivsavist

ja saviliivast, kuid on esindatud kruusa, veeriste ja munakatega ning peeneteralise liiva vahekihtidega (joonis 4.10).



Joonis 4.10. Elva linna läbilõige I-I'

Aluspõhja pealispind Kesk-Devoni lavamaal on Elva piirkonnas absoluutkõrgusel 40 - 60 m. Mattunud orus on aluspõhja pealispind -30 m kuni -78 m absoluutkõrgusel. Elva linna piiresse jäävate usaldusväärsete puurkaevude andmetel jääb aluspõhja lasum -60 m kuni 40 m absoluutkõrgustele.

Kvaternaari veekiht levib kirjeldataval alal kõikjal. Vettkandvateks seteteks on moreeni-sisesed liiva- ja kruusaläätsed. Mattunud oru piires on vettkandvaks kihiks liustikujõesetted. Üksikute salvkaevude andmetel lasub **veetase maapinnast 2 - 10 m sügavusel**.

Kvaternaari veekompleksi deebitid on 1,67 - 6,66 l/s, alandused 1,75 - 10 m, erideebitid 0,17 - 0,99 1/s*m. Veekompleksi põhjavesi on vabapinnaline, mattunud oru piires võib olla kohati surveline. Kuna veekompleks on looduslikult kaitsmata, on võimalik selle põhjavee pindmine reostus. Veekompleks toitub sademetest, äravool toimub reljeefi madalamate osade (jõed, järved) suunas. Põhjavesi on HCO_3-Ca-Mg-tüüpi, mage, mineraalainete sisaldusega 0,5 - 0,61 g/l. Veekompleks on hüdrauliliselt seotud all-lasuva Kesk-Devoni veekompleksiga, mille vettkandvateks kivimiteks on liivakivid. Kvaternaari veekompleksi põhjavett kasutatakse Elva linna üksikute ettevõtete, elamukooperatiivide veeühistute ja eramaja-pidamiste tarbeks.

Ala on perspektiivne, tase I.

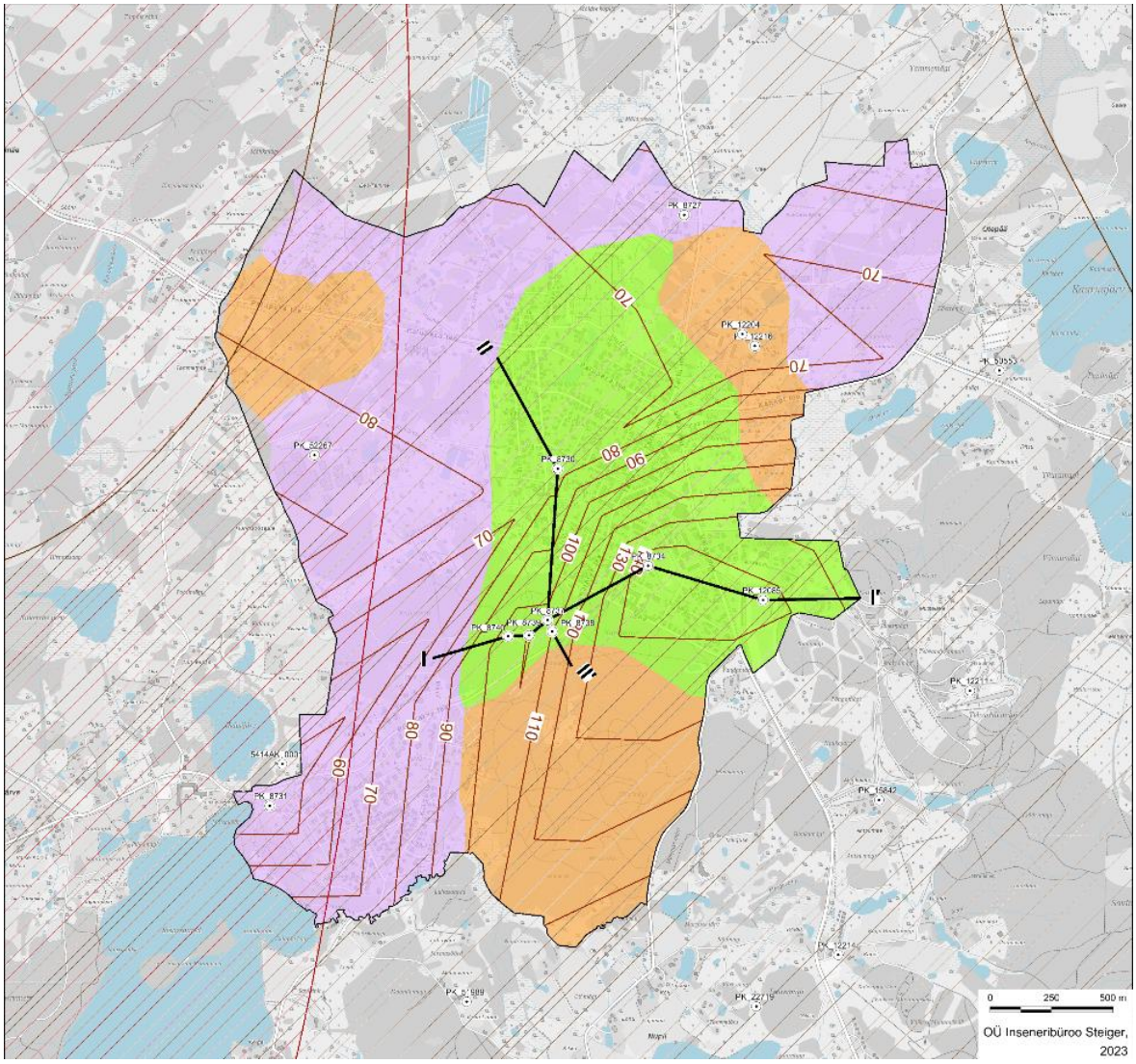
4.6 OTEPÄÄ LINN

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 4612, nr 8450.

Otepää linn jääb Otepää kõrgustikule künklikul moreenmaastikul, kus on piirkonnale iseloomulik väga liigestatud reljeef, esineb mõhnastik ja muutlik geoloogiline ehitus. Maapinna absoluutkõrgused on ~120 - 170 m vahemikus. Linna lääneservas paikneb mattunud ürgorg.

Pinnakatte kihi paksuste alusel on perspektiivne kogu Otepää, kuid setete levik on väga muutlik nii pindalalises levikus kui ka vertikaalses läbilõikes. Kvaternaarisetetena avanevad maapinnal nii liustikujõe-, jääjärve- kui ka liustikusetted (joonis 4.11).

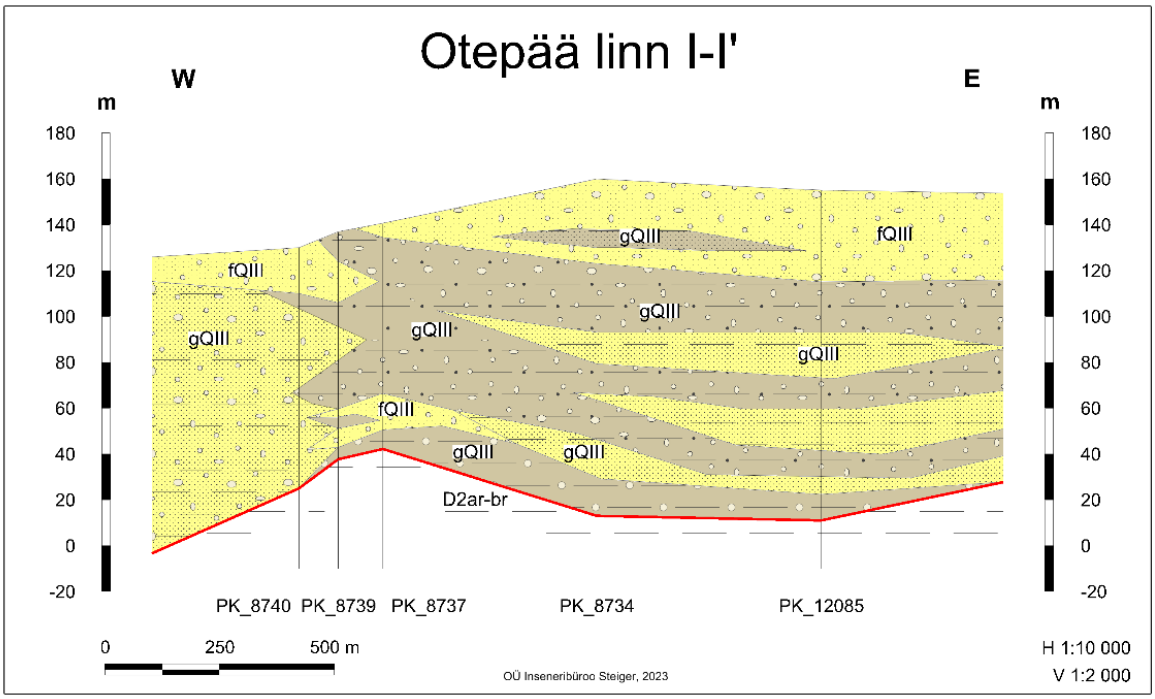
Puurkaevude andmetel varieerub **setete kogupaksus aluspõhjani 66 - 147 m vahemikus.**



Joonis 4.11. Otepää linna pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

Vertikaalses läbilõikes esinevad hea veejuhtivusega liivad ja kruusad nii maapinnalähedastes kihtides kuni 20 m sügavusel kui ka sügavamates intervallides liivsavi/saviliiva/moreeni

kihtide vahel/all ~10 - 20 m paksusena (joonis 4.12). Valdavalt aga võib eeldada liustikusetteid.



Joonis 4.12. Otepää linna läbilõige I-I'

Kvaternaarisetete põhjavett saab jaotada kolmeks: moreenide peal lasuvas jääjärve- ja liustikujõesetete veekiht (vahetult maapinna lähedal), liustikusetete veekiht ning moreenide vahel jääjärve- ja liustikujõesetete veekiht. Kahe viimase veekihi puhul paikneb vesi moreeni sees liiva ja kruusa läätsedes.

Põhjavee tase on 1 kuni 25 m maapinnast, keskmiselt 10 m. Veetasemete kõikumise amplituudid jäävad enamasti vahemikku 0,5 - 2,0 m, keskmiselt 1 m.

Kvaternaari veekompleks on seotud Kesk-Devoni veekompleksiga ja veepidet nende vahel ei ole.

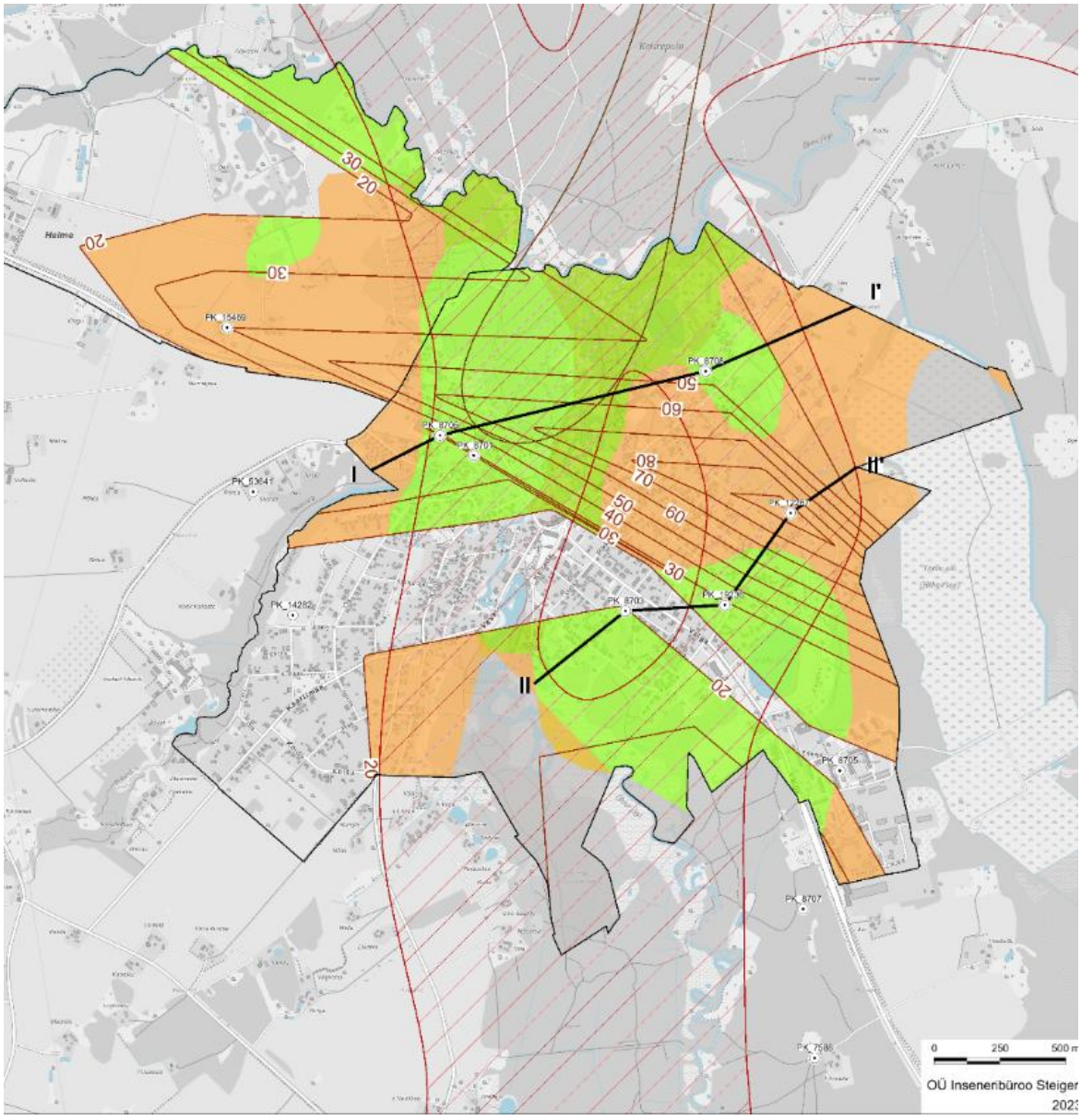
Ala on perspektiivne, tase I.

4.7 TÕRVA LINN JA HELME ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 4408 ja Tõrva valla ühisveevärgi ja kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2019-2031 (2019).

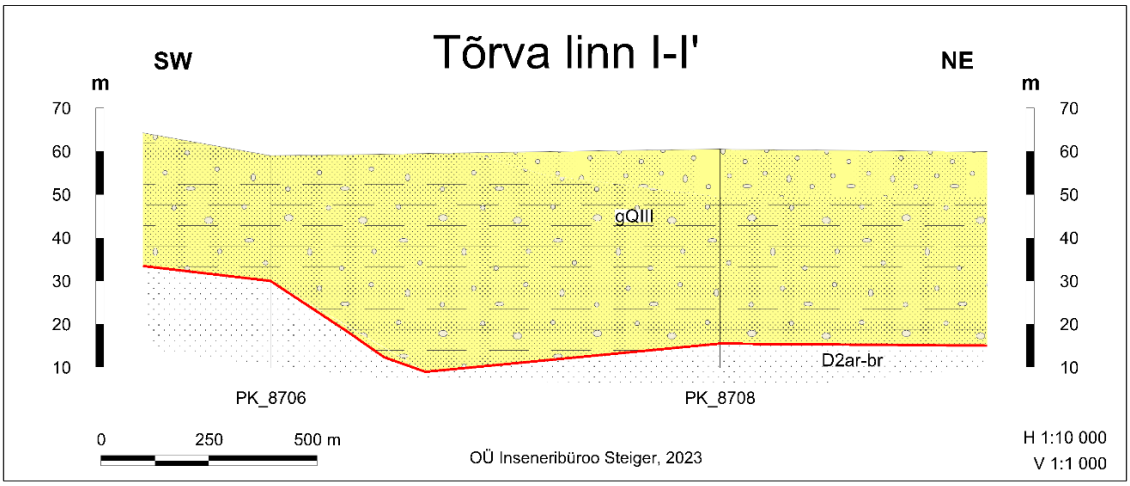
Tõrva linna ja Helme alevik asuvad Sakala kõrgustiku kaguosas, kus maastik vaheldub moreentasandike, mõhnastike, ooside, jõeorgude ja järvedega. Maapinna absoluutkõrgused jäävad siin 45 - 80 m vahemikku, madalaim on reljeef jõeorgudes (Helme ja Õhne jõgi).

Üksteisega külgnevate Tõrva linna ja Helme aleviku territooriumist ligikaudu pool on kvaternaarisetete paksust ja koostist arvestades perspektiivne, eriti Tõrva linna põhjaosa ja Helme aleviku idaosa (joonis 4.13). Pinnakatte avamuses on nii liustiku-, liustikujõe- kui ka jõesetted.
Tõrva linna läbib mattunud org, kus **kvaternaarisetete paksus ulatub kuni 96 meetrini**.

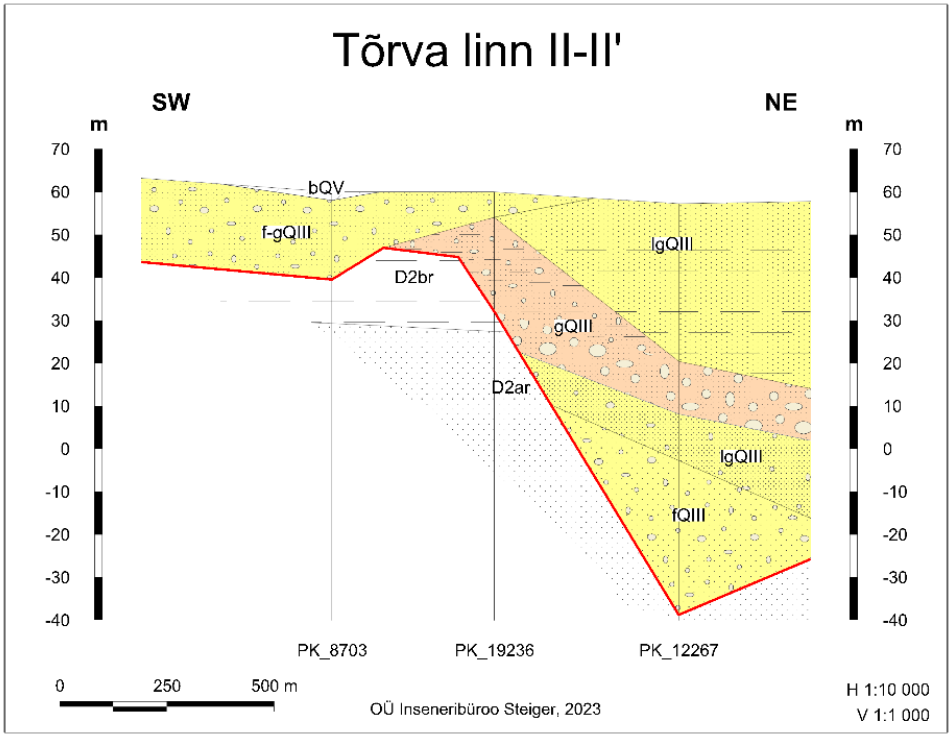


Joonis 4.13. Tõrva linna ja Helme aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

Läbilõikes on setted muutlikud ja vahelduvad peeneteraline liiv, kruus, liivsavi/saviliiv ja veeristik erinevates omavahelistes kombinatsioonides (joonis 4.14, 4.15).



Joonis 4.14. Tõrva linna läbilõige I-I'



Joonis 4.15. Tõrva linna ja Helme aleviku läbilõige II-II'

Liivikivi aluspõhja reljeef on muutlik mattunud oru tõttu ja selle lasum jääb 30 m kuni -40 m absoluutkõrguste vahemikku.

Kvaternaari veekompleks levib kirjeldataval alal kõikjal, välja arvatud aluspõhja paljandid. Vettkandvateks kivimiteks liustikusetete veekihis on moreenisisesed liiva- ja kruusaläätsed. Savimoreen katab aluspõhjalisi kõrgendikke kuni 15 m paksuse kihina. Põhjavett ammutatakse 2 - 24 m sügavustest salvkaevudest, kus **veetase on maapinnast 0,8 - 12 m sügavusel.**

Ala on perspektiivne, tase I.

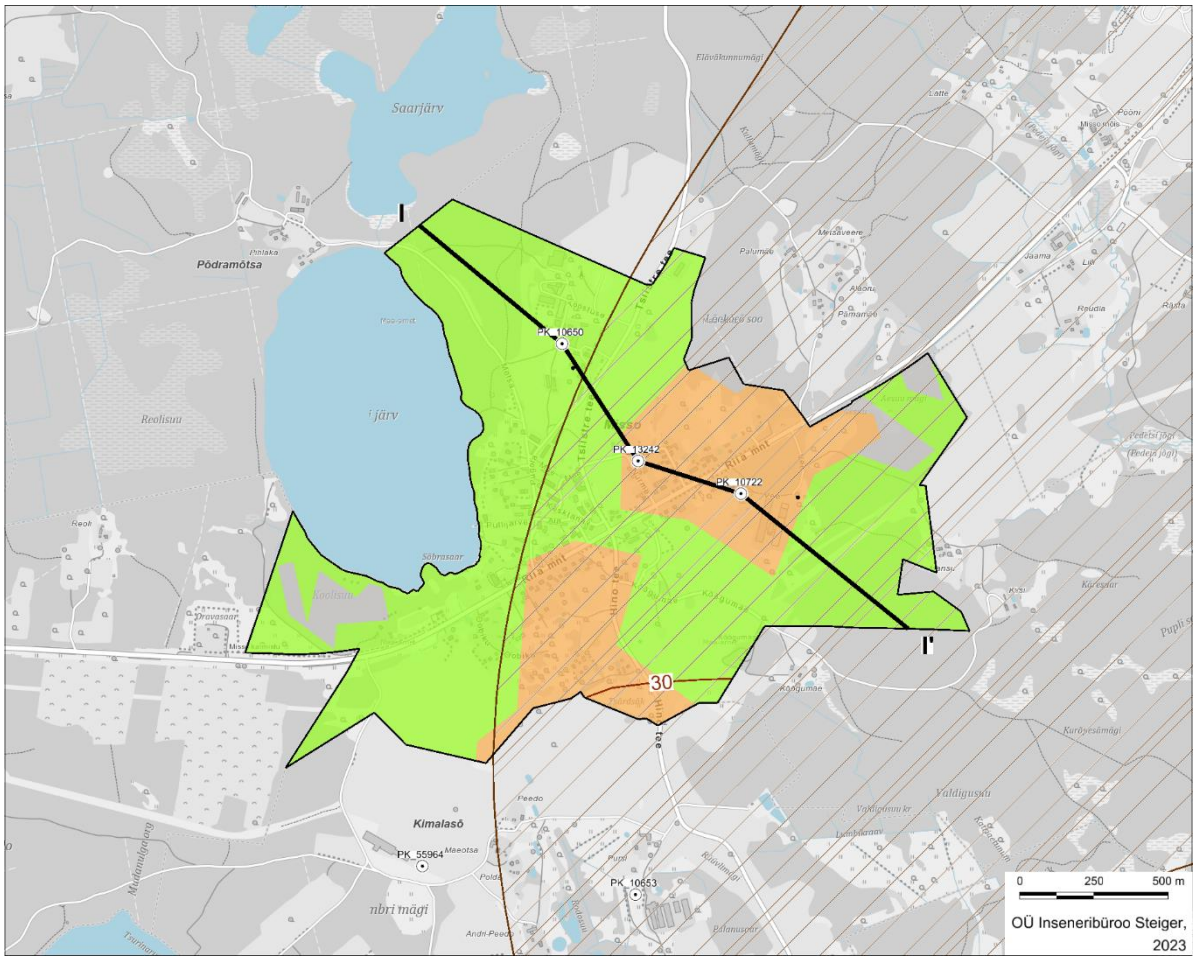
4.8 MISSO ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruandeid nr 7603, nr 8450.

Misso alevik asub Haanja kõrgustiku mõhnastikul. Maapinna absoluutkõrgused jäävad siin valdavalt 180 - 195 m vahemikku.

Mandrijäätumise Haanja staadiumil kujunes liustikuline pinnamood. Pinnakatte avamuses esinevad liustikujõe- ja liustikusetted (joonis 4.16). Pea kogu Misso aleviku territoorium kujutab endast mõhnastiku, mis koosneb väga muutliku koostisega setetest: vahelduvad erineva sorteerituse astme ja terajämedusega liivad-kruusad, aleuriidid, savid, veerised, kruus.

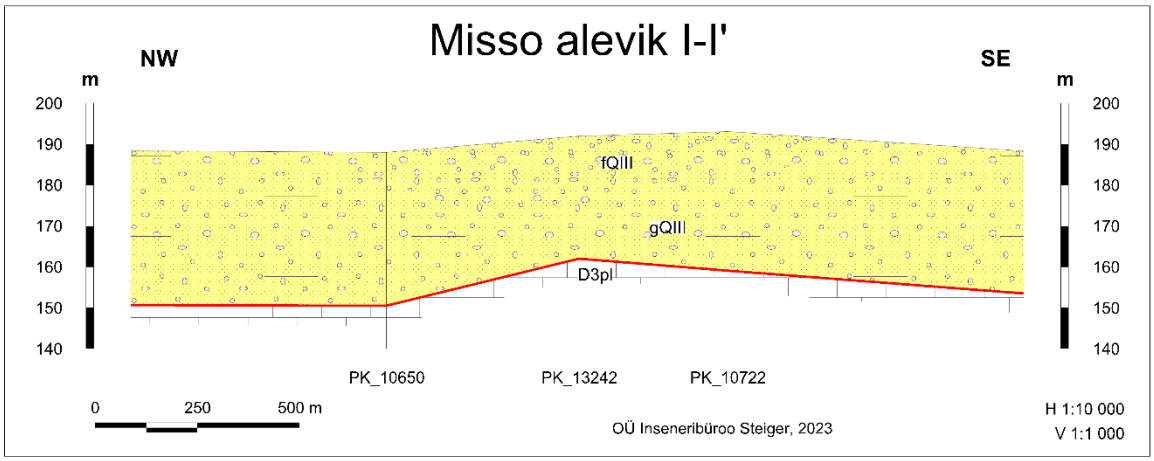
Kvaternaarisetete kihi paksus on ühtlane ja jääb puurkaevude andmete põhjal vahemikku 34 - 38 m.



Joonis 4.16. Misso aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Aluspõhja pealispind Kesk-Devoni lavamaal on Misso piirkonnas absoluutkõrgusel 150 - 160 m (joonis 4.17).

Kvaternaarisetete veekompleksi moodustavad samuti liustiku- ja liustikujõesetted. Aleviku ümbrusesse jäävate väheste puuraukude andmetel koosnevad setted peamiselt liiva-kruusa, veeriste ja munaka materjalist (joonis 4.30), mida võib esineda kuni ~20 m paksuses ülemises kihis. Sellise materjali filtratsioonikoefitsient on vahemikus ~1 - 10 m/ööp.



Joonis 4.17. Misso aleviku läbilõige I-I'

Veekompleks toitub sademeist ning survelisest Ülem-Devoni veekompleksist. Kvaternaari veekompleksi levikuala langeb kokku toitumisalaga.

Kvaternaarisettete vett Misso aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt salvkaevudega. Kindlad andmed veetasemete, deebitite, alanduste ja filtratsiooni-koefitsientide kohta puuduvad

Puurkaevude andmeid on vähe, kuid olemasolevate kirjelduste järgi on koostise põhjal perspektiivi. **Ala on perspektiivne, tase I.**

4.9 RÕUGE ALEVIK

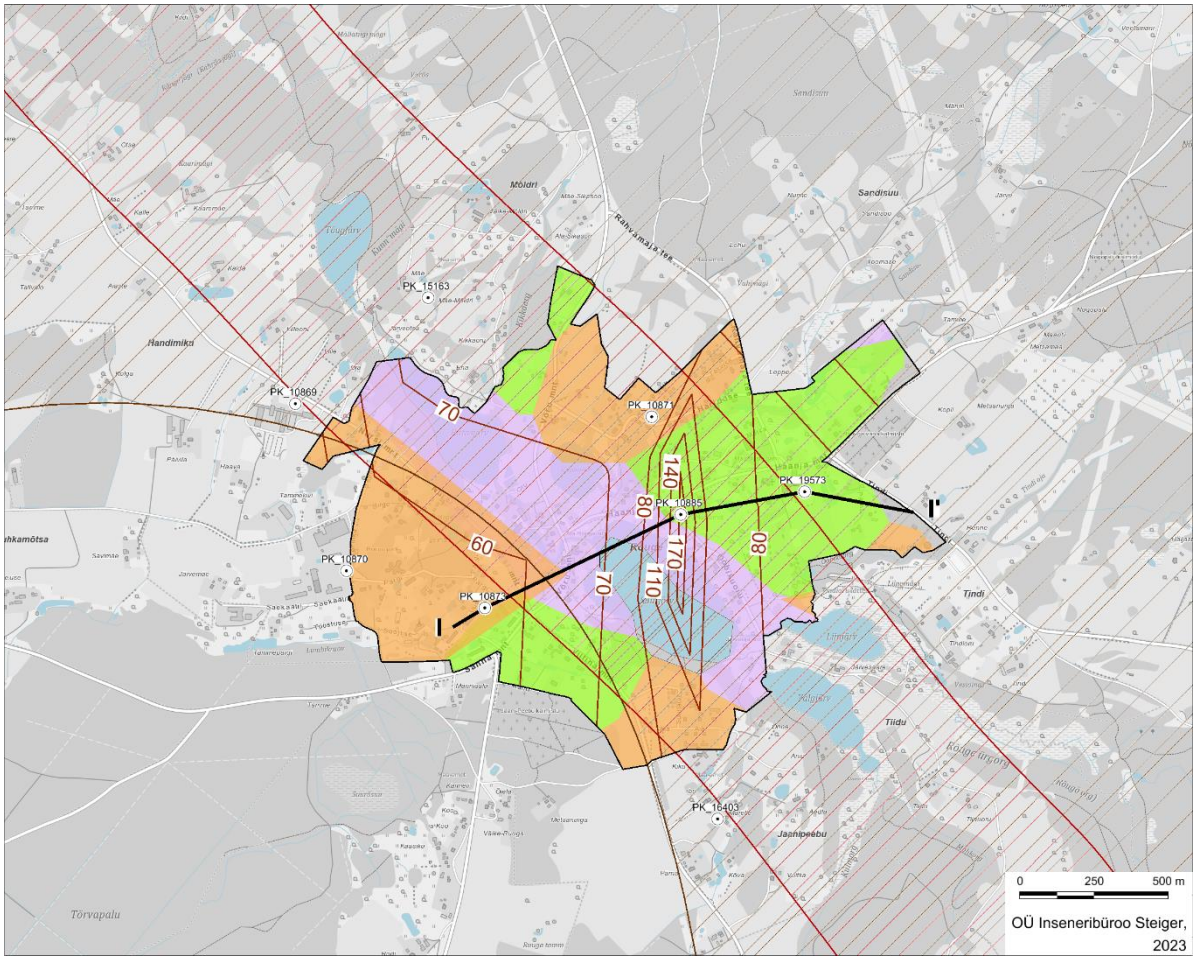
Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 8450 ja Rõuge valla ühisveevärgi ja-kanalisatsiooni arendamise kava 2021 - 2032.

Rõuge alevik asub Haanja kõrgustiku loodeosas, mida iseloomustab künklik moreenreljeef ja alevikku läbiv Rõuge mattunud ürgorg. Maastiku ilmestavad Rõuge ürgorus mitmed järved: Rõuge Suurjärv, Kaussjärv ja Ratasjärv. Kui ürgorus jäävad maapinna absoluutkõrgused 110 - 120 m piiresse, siis kõrgemad alad aleviku kirde- ja edelaosas jäävad 140 - 150 m absoluutkõrguste vahemikku.

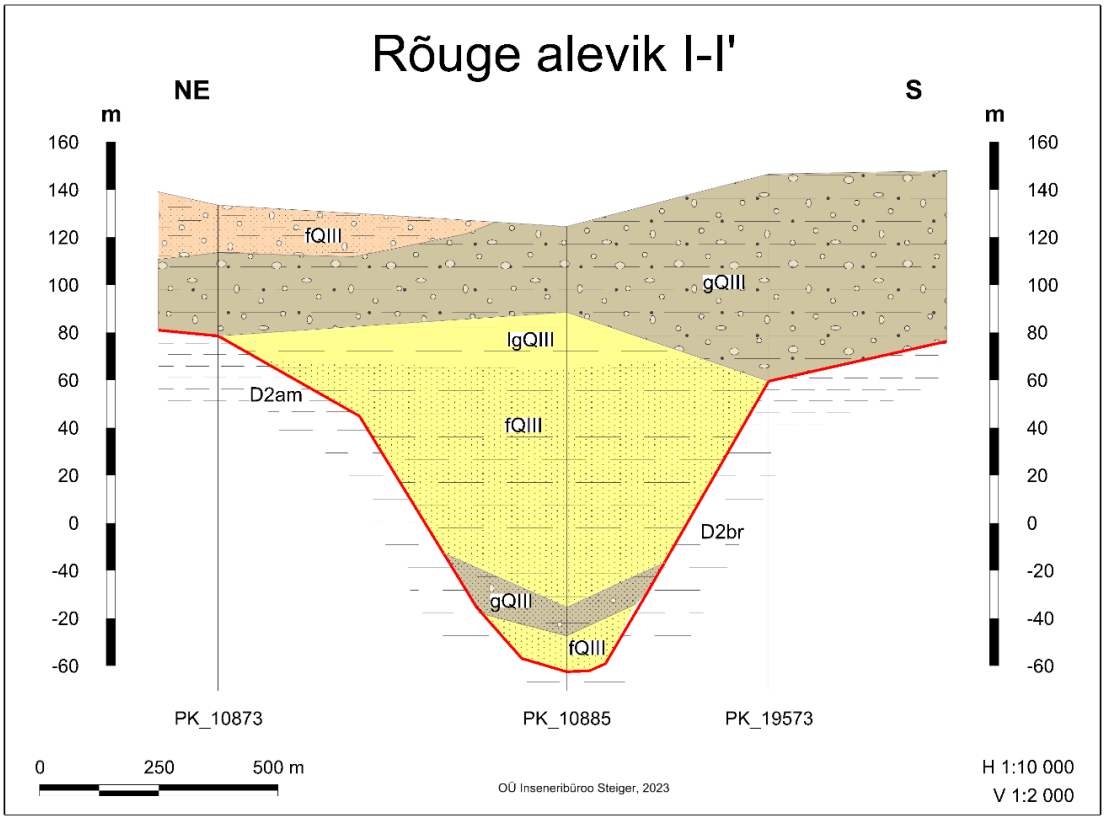
Pinnakatte avamuses on Rõuges jääjärve-, liustiku- ja liustikujõesetted (joonis 4.18).

Kvaternaarisetete kihi paksus puurkaevude andmete põhjal on valdavalt 50 - 80 m, mattunud orus 187 m (puurkaev PK_10885).

Puurkaevude andmete põhjal on setted muutliku koostisega, kus valdavaks setteks on liivsavi/saviliiv kruusa, veeriste ja munakatega, aleviku lääneosas on kirjeldatud 20 m ulatuses liustikujõelist kruusa ja ürgorus ~100 m ulatuses peenliiva (joonis 4.19).



Joonis 4.18. Rõuge aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)



Joonis 4.19. Rõuge aleviku läbilõige I-I'

Kvaternaari ülemine põhjaveekiht toitub positiivsetel reljeefivormidel vahetult sademetest ja allub kergesti igasugusele reostusele. Vihma- ja sulamisvee pinnasesse imbumine (infiltratsioon) on kõrgendikel ja enamliigestatud aladel suurem. Põhjaveest toituvad ka jõed, ojad ja järved.

Kvaternaari veekompleks toitub sademeist ning survelisest Kesk-Devoni veekompleksist. Kvaternaarisetete vett Rõuge aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt salvkaevudes. Elanikkond tarbib valdavalt maapinnalähedast kvaternaarisetete vett 3 - 10 m sügavustest kaevudest.

Kindlad andmed kvaternaarisetete veetasemete kohta puuduvad.

Kuigi kogutud andmeid on vähe, siis mattunud org ja olemasolevate puurkaevud info pinnaste koostise kohta võiksid anda alale pigem perspektiivi. **Ala on perspektiivne, tase I.**

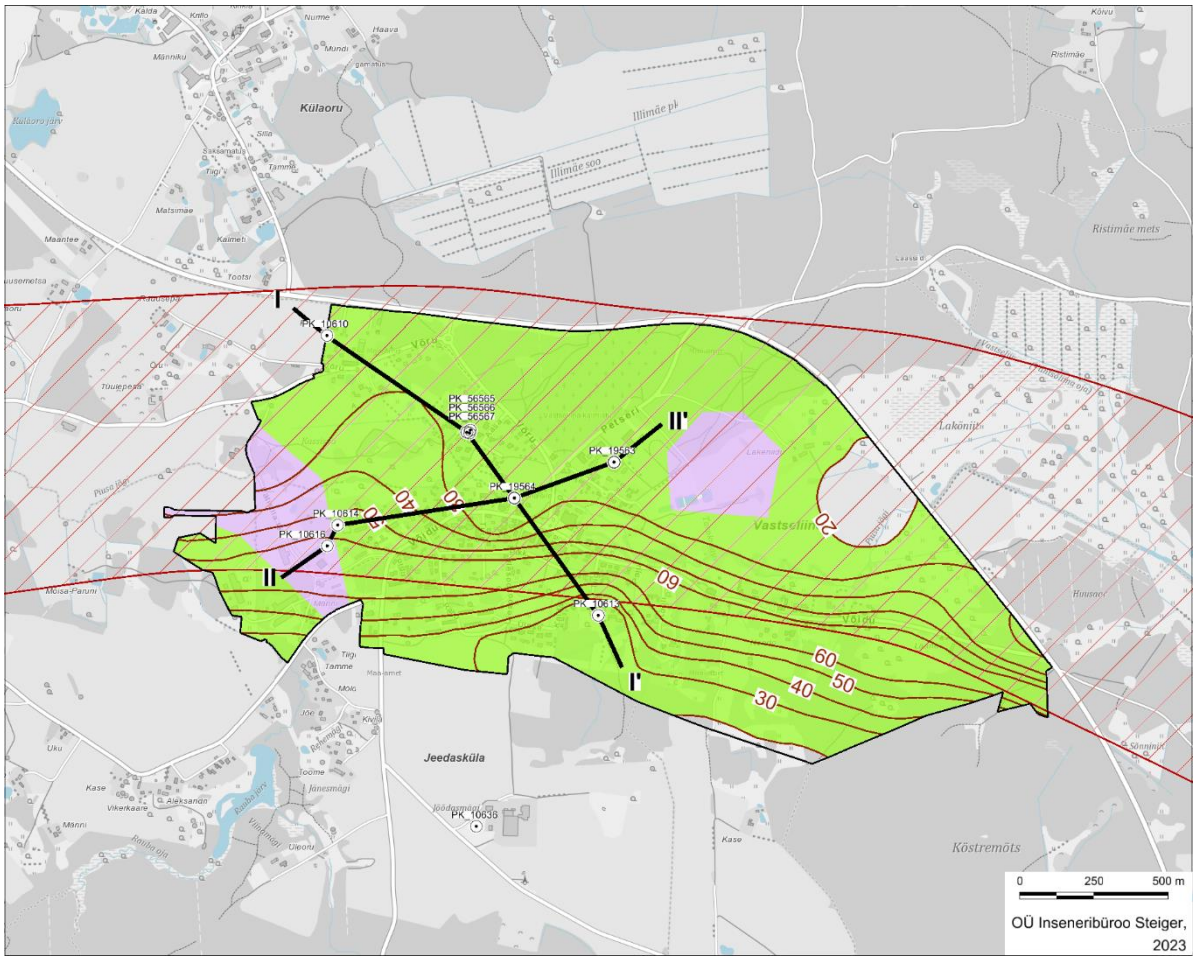
4.10 VASTSELIINA ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 8022, 8760 ja Vastseliina valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arengukava (2013 - 2025).

Vastseliina alevik jääb Haanja kõrgustiku kirdeosasse, kuid on suhteliselt liigestamata reljeefiga. Läbi aleviku voolab Piusa jõgi, koos sellega ka jääb alale Vastseliina ürgorg. Maapinna absoluutkõrgused jäävad 130 - 160 m vahemiku.

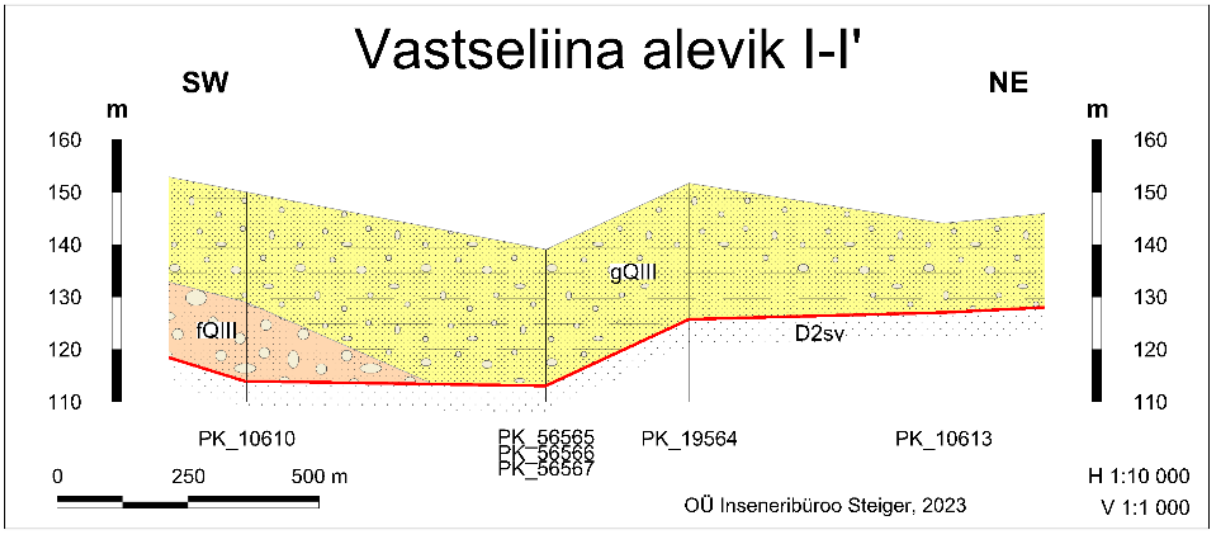
Pinnakatte avamuses on peamiselt liustikujõesetted (joonis 4.20). **Kvaternaarisetete kihi paksus on 20 - 60 m vahemikus, kohati kuni 86 m** (puurkaev PK_10616). Suuremad paksused seostuvad ürgoru asukohaga. Puurkaevude andmete põhjal koosnevad kvaternaarisetted liustiku- (saviliiv veerise ja kruusaga) ja liustikujõesetetest (liiv, kruus).

Aluspõhja absoluutkõrgused jäävad 100 - 130 m vahemiku, langedes ürgorus ~50 m absoluutkõrgusele (joonised 4.20, 4.21).

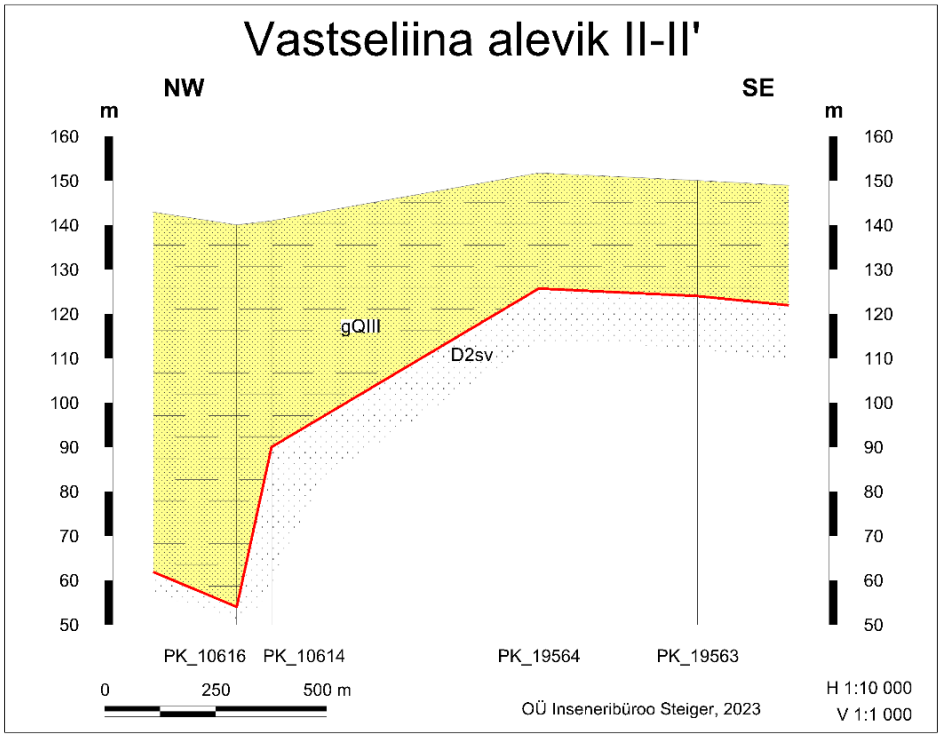


Joonis 4.20. Vastseliina aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Kvaternaari veekompleks toitub peamiselt sademetest, suurvee ajal ka pinnaveest. Kvaternaarisetete veekihi all oluline lamav veepide puudub. Seetõttu on Kvaternaari veekiht ühendatud Kesk-Devoni veekompleksiga.



Joonis 4.21. Vastselinna aleviku läbilõige I-I'



Joonis 4.22. Vastselinna aleviku läbilõige II-II'

Vastselinna aleviku Kvaternaari vett tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Elanikkond tarbib kvaternaarisetete vett kuni 10 m sügavustest kaevudest.

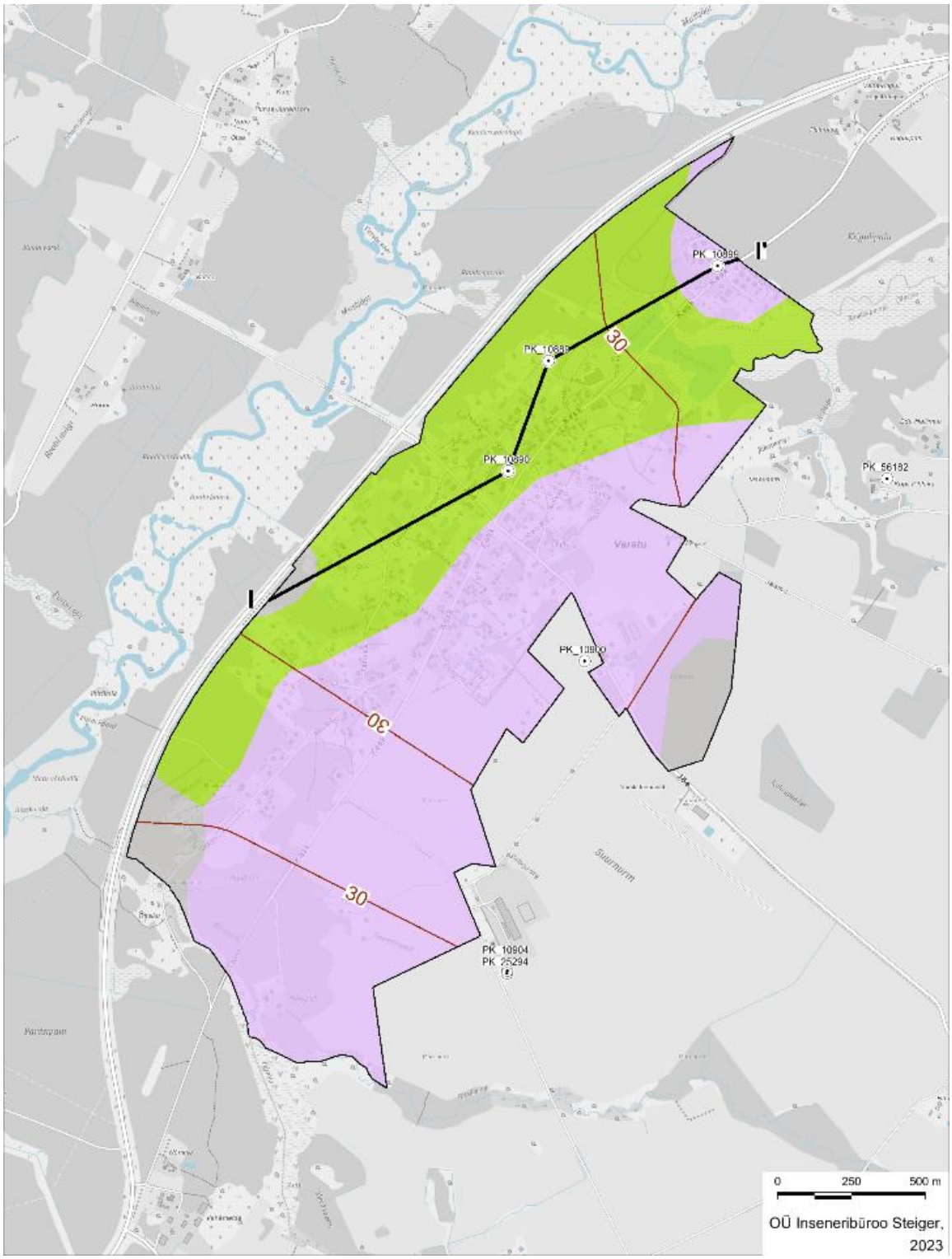
Kindlad andmed kvaternaarisetete veetasemete kohta puuduvad.

Kuigi kogutud andmeid on vähe, siis soodsad pinnavormid (mattunud org, delta) ja olemasolevate puurkaevud info pinnaste koostise ja paksuse kohta annavad alale pigem perspektiivi. **Ala on perspektiivne, tase I.**

4.11 VARSTU ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Rõuge valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava 2021 - 2032.

Varstu alevik asub Haanja kõrgustiku lääneservas Mustjõgi jõeoru servas. Maapinda iseloomustab künklik moreenreljeef, kus absoluutkõrgused jäävad 60 - 90 m piiresse.

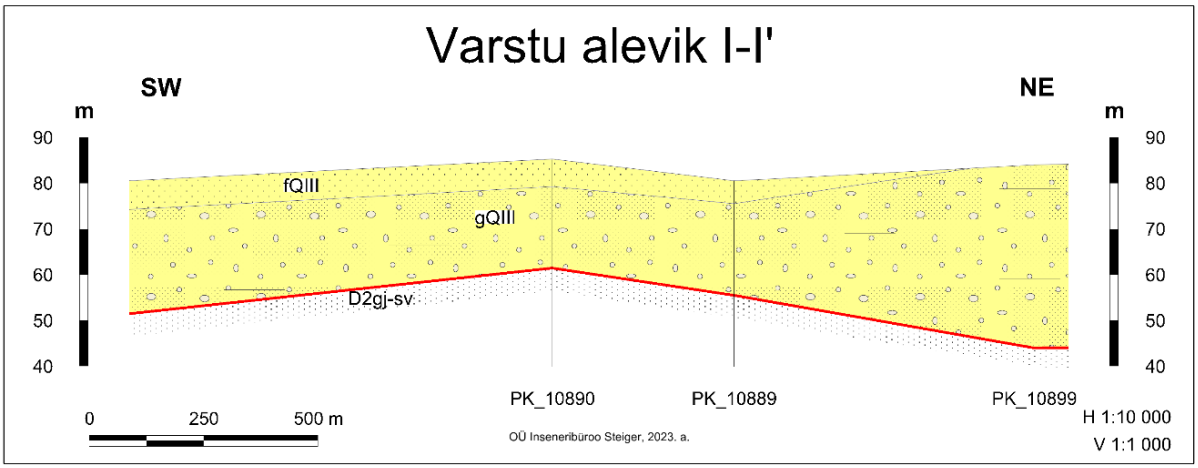


Joonis 4.23. Varstu aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

Pinnakatte avamuses on Varstu alevikus peamiselt jääjärve- ja jõesetted (joonis 4.23). Puurkaevude andmete põhjal koosneb aga ülemine kiht liustikujõesetetest (liiv ja liiv kruusaga) paksusega ~5 m, mille all lasuvad liustikusetted (liivasavi/saviliiv veeriste ja munakatega) keskmise paksusega ~22 m. Kohati võivad liustikusetted esineda kogu vertikaalses läbilõikes (joonis 4.24).

Kvaternaarisetete kihi kogupaksus puurkaevude andmete põhjal on 24 - 40 m.

Kesk-Devoni aluspõhjaliste kivimite lasumi absoluutkõrgused jäävad 45 - 60 m vahemikku.



Joonis 4.24. Varstu aleviku läbilõige I-I'

Kvaternaari ülemine põhjaveekiht toitub sademetest ja allub kergesti igasugusele reostusele. Vihma- ja sulamisvee pinnasesse imbumine (infiltratsioon) on kõrgendikel ja enamliigestatud aladel suurem. Põhjaveest toituvad ka jõed, ojad ja järved.

Kvaternaari veekompleks toitub sademeist ning survelisest Kesk-Devoni veekompleksist. Kvaternaarisetete vett Varstu aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt salvkaevudes. Elanikkond tarbib valdavalt maapinnalähedast Kvaternaari põhjavett kuni 10 m sügavustest kaevudest.

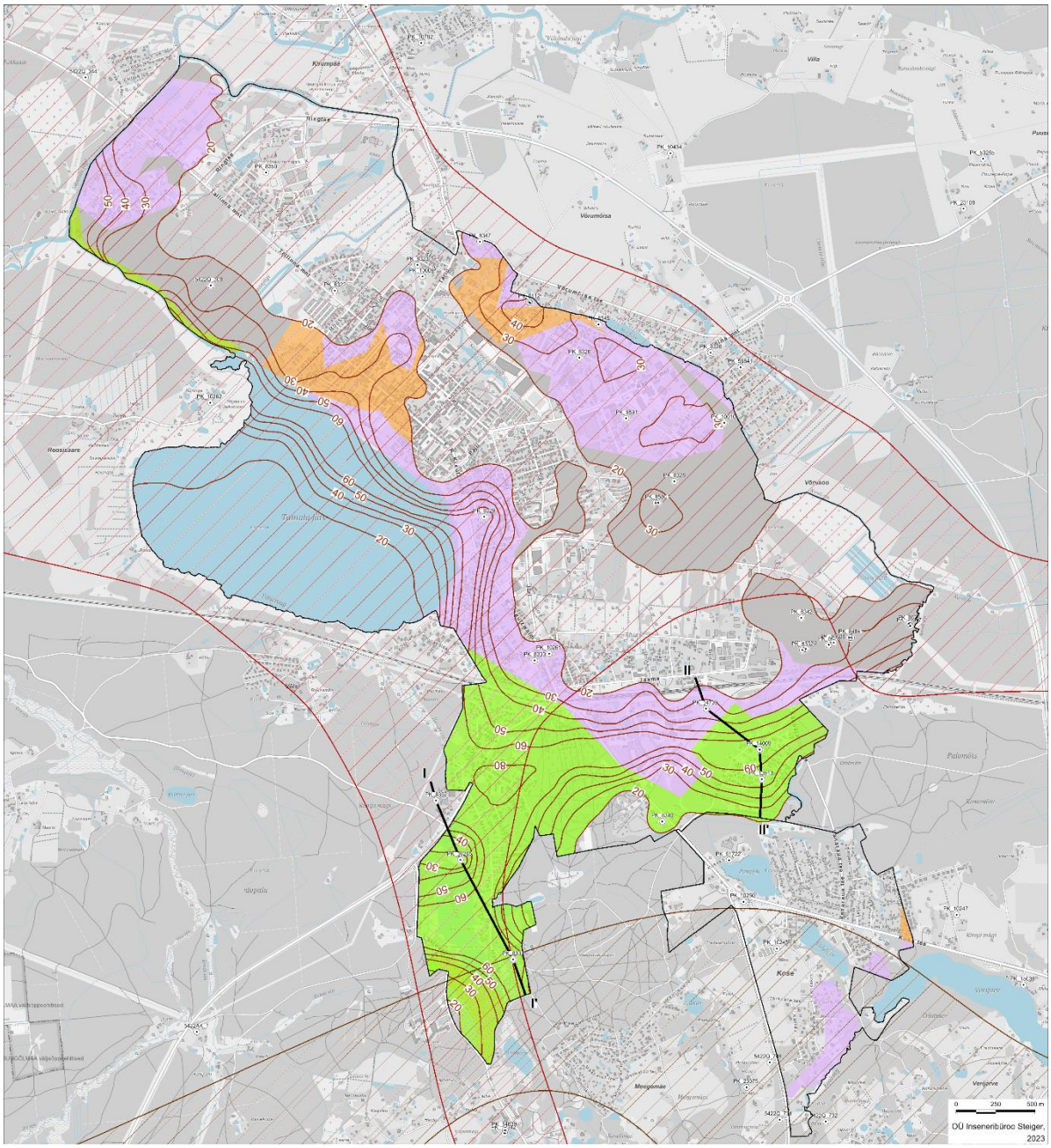
Kindlad andmed kvaternaarisetete veetasemete kohta puuduvad.

Kuigi kogutud andmeid on vähe, aga olemasolevate puurkaevude info pinnaste koostise kohta võiksid anda alale pigem perspektiivi**. Ala on perspektiivne, tase I.**

4.12 VÕRU LINN

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 8450, 8760.

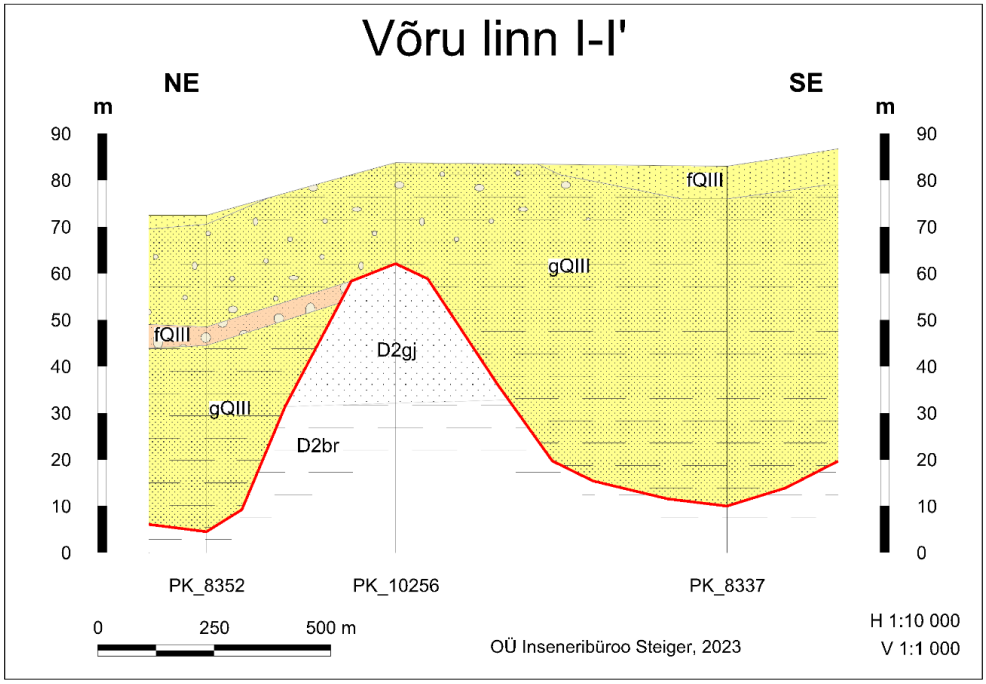
Võru linn jääb Haanja kõrgustiku põhjaservale jäädes mattunud ürgoru piirkonda. Samas pole kogu linn käesoleva töö vaates perspektiivne, vaid see ala moodustab umbes poole linna territooriumist. Asudes kunagise jõeoru alal, on maapinna reljeef suhteliselt tasane jäädes linnas valdavalt ~70 - 80 m absoluutkõrgustele.



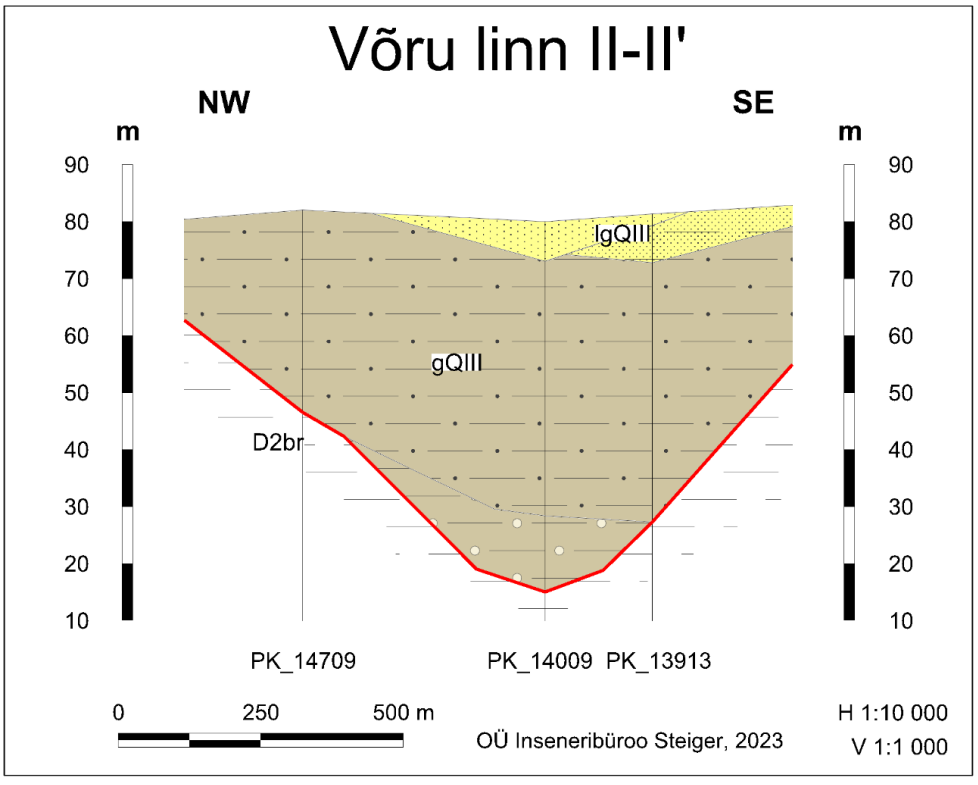
Joonis 4.25. Võru linna pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Linna piires on kvaternaarisetete paksus ~5 - 80 m vahemiku. Pinnakatte paksusi arvestades on kõige perspektiivsem linna lõunaosa, mis kattub ka 1 : 50 000 geoloogilise kaardi alusel

mattunud oruga. **Peamiselt levivad liustikujõe- ja liustikusetted, mille paksused jäävad keskmiselt 30 - 60 m vahemikku, maksimaalse paksusega kuni 86 m** (joonis 4.22). Puurkaevude andmetel esinevad linna lõunaosas vertikaalses läbilõikes nii liiv ja kruus munakatega kui ka moreen munakatega (joonis 4.23, 4.24).



Joonis 4.26. Võru linna läbilõige I-I'



Joonis 4.27. Võru linna läbilõige II-II'

Suurema kui 20 m paksusega kvaternaarisetteid (kuni ~50 m paksuses) levib ka Võru linna lääneosas Tamula järve ääres, kus võib puukaevude kirjelduste põhjal leiduda maapinna ülemises kihis ka kuni 25 m paksuses liiva kruusaga. Valdavalt aga esineb seal liivsavi/saviliiv ja liivsavimoreen. Linna põhjaosas levib peamiselt jääjärvelised setted kuni 50 m paksuses. Linna idaosas on liustikusetete (saviliiv/liivsavi, kruus munakatega) paksus kuni 40 m.

Aluspõhja reljeef on muutlik ja järgib mattunud oru kvaternaarisetete lamami reljeefi.

Kvaternaari veekompleksi vettkandvad setted on väga muutliku koostisega: vahelduvad erineva sorteerituse astme ja terajämedusega liivad-kruusad, savid ja vähem sorteeritud moreen, turvas. Veekompleks toitub sademeist ning survelisest Ülem- ja Kesk-Devoni veekompleksist.

Veetarbimise mõttes on olulisemad liustikujõe- ja liustikusetted. Liustikujõesetete vabapinnaline veekiht on seotud eelkõige keskmise- ja jämeteraliste liivadega, milles sageli esineb suurel hulgal kruusa ja veeriseid. Vettkandvate setete filtratsioonikoefitsient jääb vahemikku 2 - 10 m/ööp. Liustikusetete veekiht levib moreeni saviliivastes erimites ja moreenisisestes liiva- ja kruusaläätsedes. Moreeni veeandvus on väike, vettandvate setete filtratsioonikoefitsient jääb tavaliselt vahemikku 0,2 - 0,7 m/ööp. Moreenide vahel levida võivate kruusakihtides aga on filtratsioonikoefitsiendiks saadud 16 - 27 m/ööp.

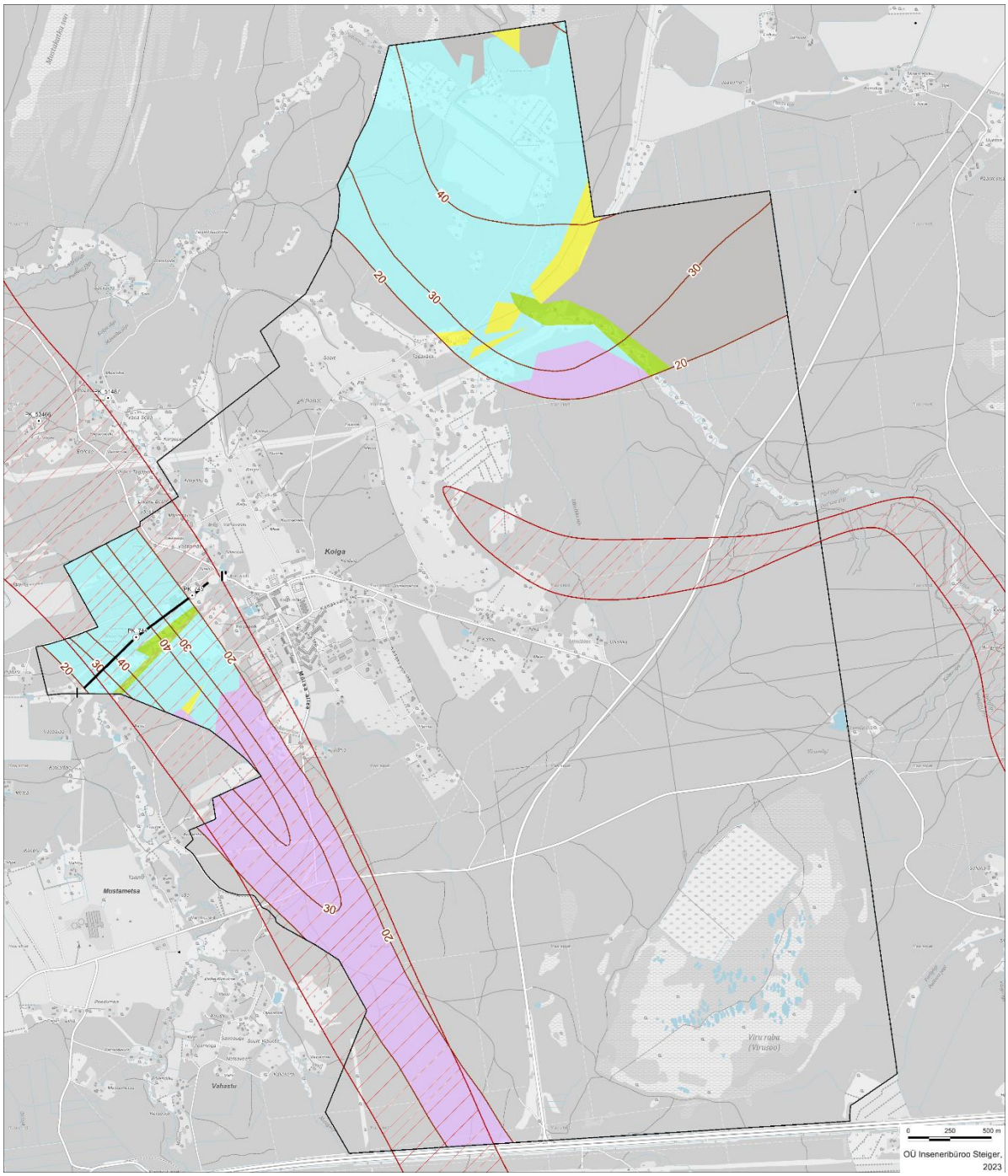
Veetaseme sügavus maapinnast ulatub kuni ~10 meetrini.

Ala (eriti linna lõunaosa) on perspektiivne, tase I.

4.13 KOLGA ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 7495 ning Kuusalu valla ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2016 - 2027.

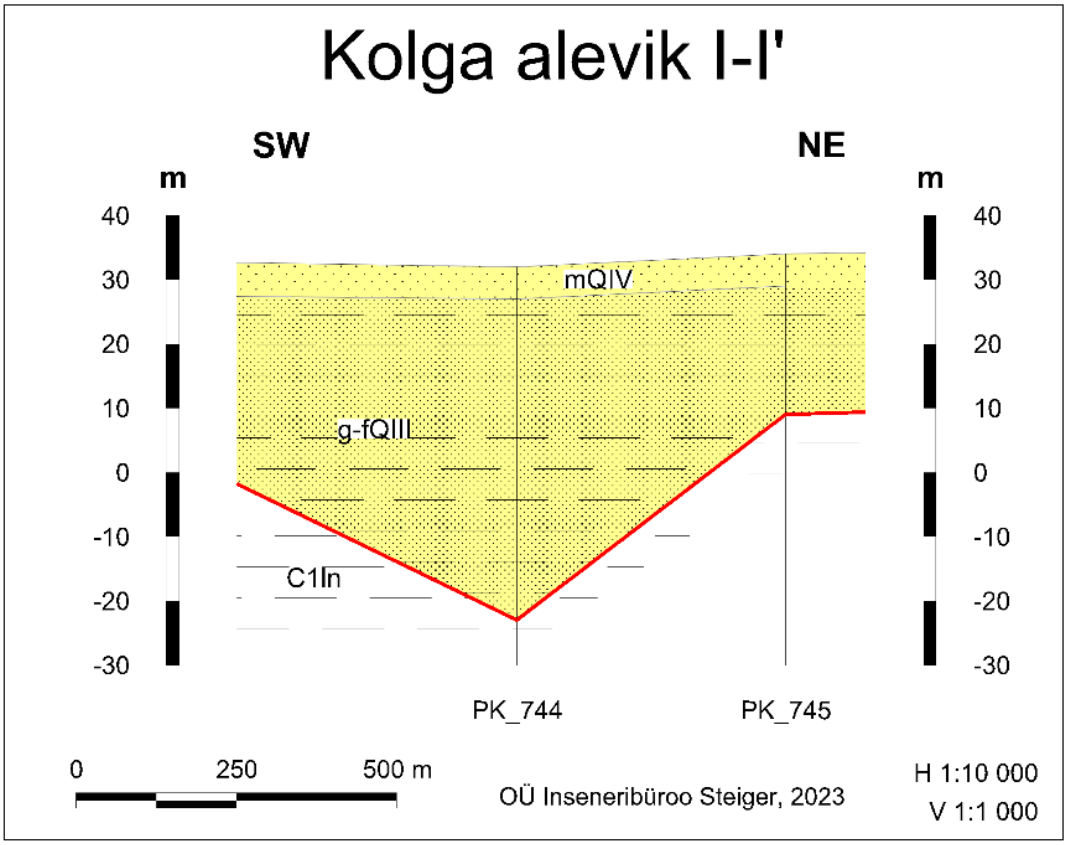
Kolga aleviku perspektiivne ala moodustab linna territooriumist ~30%. Kõige huvipakkuvam on aleviku lääneosa, kus on mattunud org, ja põhjaosa, kus aga puuraugud ja neist saadav andmestik puudub (joonis 4.28). Ala reljeef tõuseb põhjast lõuna suunas 25 - 55 m absoluutkõrguste vahemikus.



Joonis 4.28. Kolga aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Perspektiivsel alal levivate **kvaternaarisetete kogupaksus on 7 - 55 m.** Kolga aleviku reljeefi ilmestab kunagise Antsülusjärve kaldajoon, millest põhjapool levivad liiva ja kruusa sisaldavad meresetted, kaldajoonest lõunapoole aga jääjärve- ja liustikujõesetted (joonis 4.27). Mattunud ürgoru põhjaosas lasuvad puurkaevude andmete põhjal kogu läbilõike ulatuses liustikujõesetted ja liustikusetted (eriteralised liivad veeriste ja munakatega, savikad liivad).

Aluspõhja reljeefi muutlikkus on seotud mattunud oruga, aluspõhja lasum on absoluutkõrguste vahemikus -20 m kuni 30 m (joonis 4.29).



Joonis 4.29. Kolga aleviku läbilõige I-I'

Meresetete veekihis on vettkandvaks peene- ja keskmiseteralised liivad. Kihi paksus puuraukude põhjal on ~5 m. Veetase maapinnalt olenevalt reljeefist on 1 - 3 m sügavusel. Peenliivade filtratsioonikoefitsient on suurusjärgus 1 m/ööp, ulatudes kohati esinevais kruusakates erimeis ~10 m/ööp.

Veetarbimise mõttes on olulisemad aga mattunud orgude liustiku- ja liustikujõesetted, mille veekiht on survetu ja **veetase on 2 - 5 m sügavusel maapinnast**. Setete kihi paksus on kuni 50 m, filtratsioonikoefitsient 5 m/ööp. Põhjavee mineraalsus mattunud orus on 0,6 - 0,8 g/l ja rauasisaldus üle 1 mg/l. Veekiht toitub peamiselt sademete veest.

Veepideme moodustavad Lontova lademe savi ja aleuroliit (K ~10^{-3} m/ööp).

Veekihi vett tarbitakse tänapäeval väheste salvkaevudega. Veekiht on tavaliselt veevaene ning salvkaevud tihti kuivavad suviti.

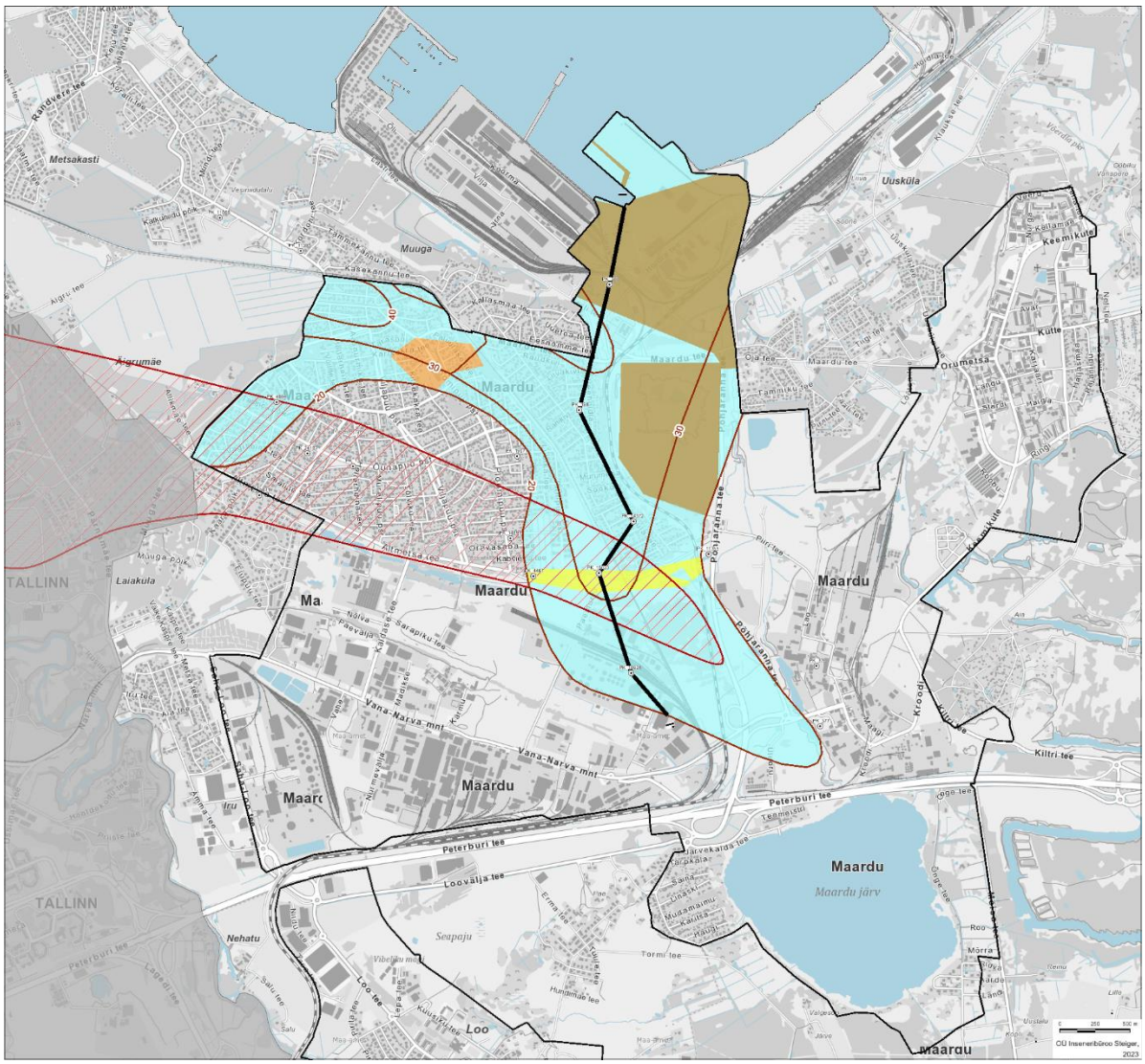
Ala on vähem perspektiivne, tase II.

4.14 MAARDU LINN

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 4436, 7475.

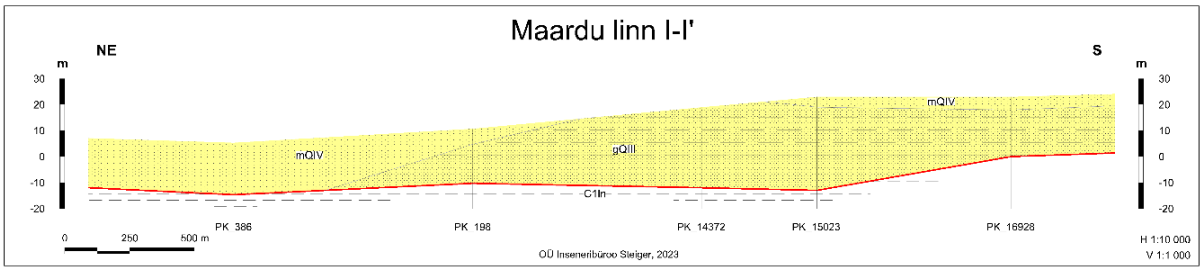
Maardu linna perspektiivne ala moodustab linna territooriumist ~30%. Selle keskosasse omakorda jääb kunagine tööstuslik ladustamispaik ja põhjaossa jääb Muuga sadama territoorium. Ala reljeef tõuseb põhjast lõuna suunas kuni ~30 m absoluutkõrguseni.

Perspektiivsel alal **levivad 5 - 42 m paksuselt kvaternaarisetted**, kus avanevad valdavalt peenliiva sisaldavad meresetted, laiguti ka tuulesetted (joonis 4.30). Nende all on puurkaevude andmetel valdavalt liivsavi ja saviliiva sisaldavad liustikusetted, kuid kohati ka liustikujõesetted. Tööstuslikus piirkonnas esinevad tehnogeensed setted. Ala piiresse jäävad mattunud orud.



Joonis 4.30. Maardu linna geoloogiline kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Aluspõhja lasum järgib muuhulgas maapinna reljeefi ja on absoluutkõrguste vahemikus -10 m kuni 0 m (joonis 4.31).



Joonis 4.31. Maardu linna läbilõige I-I'

Meresetete veekiht levib peamiselt kogu alal, vettkandvaks on peene- ja keskmiseteralised liivad. Veetase maapinnalt olenevalt reljeefist on 1 - 3 m. Peenliivade filtratsioonikoefitsient on suurusjärgus 1 m/ööp, ulatudes kohati esinevais kruusakates erimeis ~10 m/ööp.

Veetarbimise mõttes on olulisemad aga mattunud orgude liustikujõesetted, mille veekiht on survetu ja **veetase on 2 - 5 m sügavusel maapinnast**. Setete kihi paksus on kuni 10 m, filtratsioonikoefitsient 5 m/ööp. Põhjavesi on väikese mineraalsusega (alla 0,2 g/l) HCO_3-Ca-Mg-tüüpi, rannikulähedases mattunud orus ulatub mineraalsus juba 0,6 - 0,8 g/l ja vee tüüp muutub HCO_3-Cl-Ca-Na-Mg ning iseloomulik on NH_4^+ ja rauasisaldus üle 1 mg/l. Usaldusväärsete puurkaevude kirjelduste järgi esineb liustikujõesetteid vaid üksikutes puurkaevudes koos liustikusetetega. Valdavaks settetüübiks on Maardu perspektiivsel alal kirjeldatud liustikusetteid.

Tuulesetete luidetes, mis esinevad Põhja-Eesti panga esisel alal, on põhjavee esinemine väga haruldane (tavaliselt vettpidav lamam puudub). Filtratsioonikoefitsient ulatub 2 - 3 m/ööp ja setted on olulised põhjavee kujunemisel sademete filtreerijana.

Kvaternaari veekihti tarbitakse tänapäeval üksikute salvkaevudega. Veekihi laialdasemat tarbimist takistab kõrge reostustundlikkus ja kihi väike tüsedus (vaid mattunud orgudes ~10 m). Põhiliselt on vee esinemine seotud alumise lokaalmoreeni või setete suurema paksuse puhul liivaläätsedega. Veekiht on tavaliselt veevaene ning salvkaevud tihti kuivavad suviti.

Veepideme moodustavad Lontova lademe savi ja aleuroliit (K ~10^{-3} m/ööp).

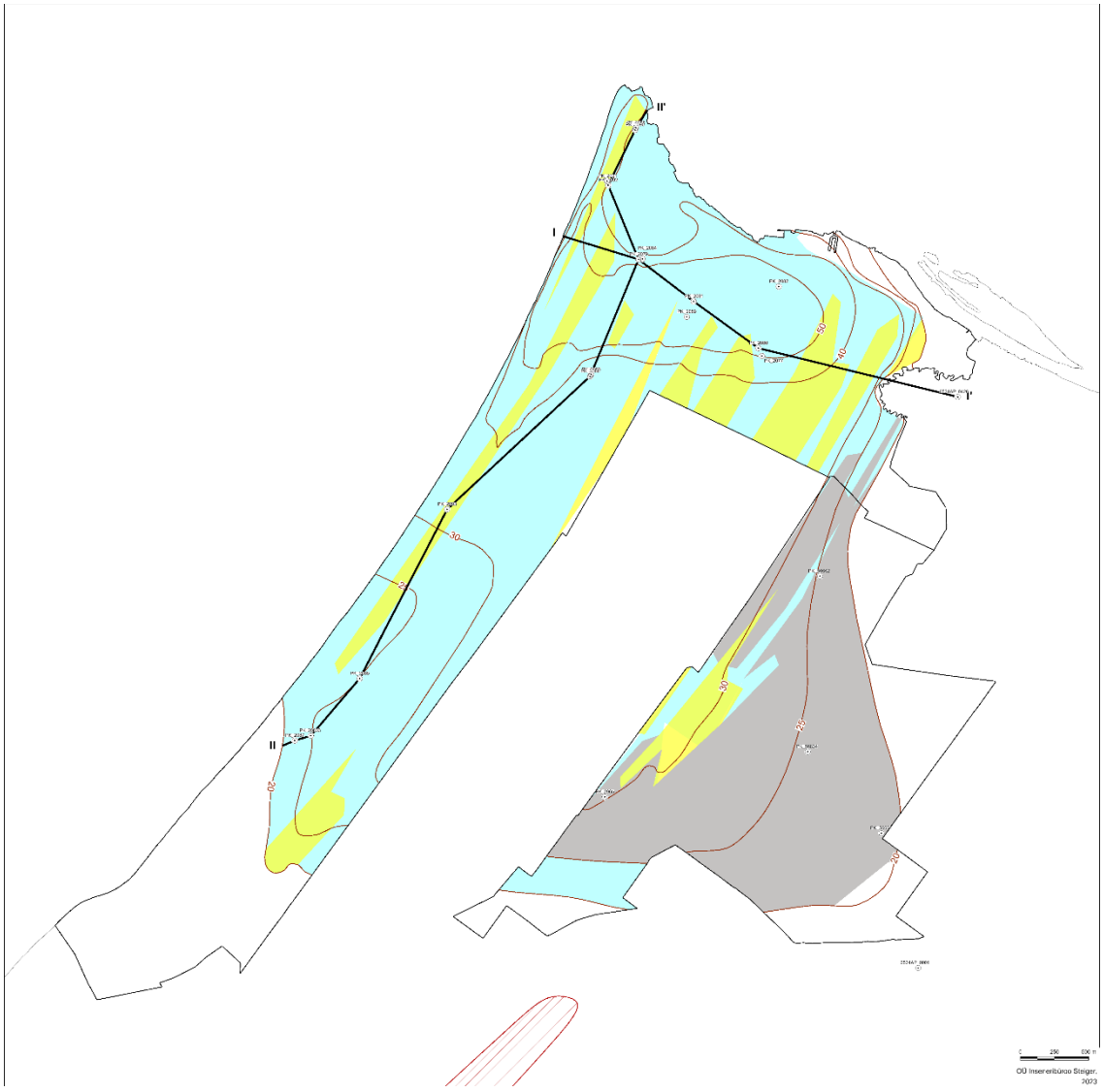
Ala on vähem perspektiivne, tase II.

4.15 NARVA JA NARVA-JÕESUU LINNAD

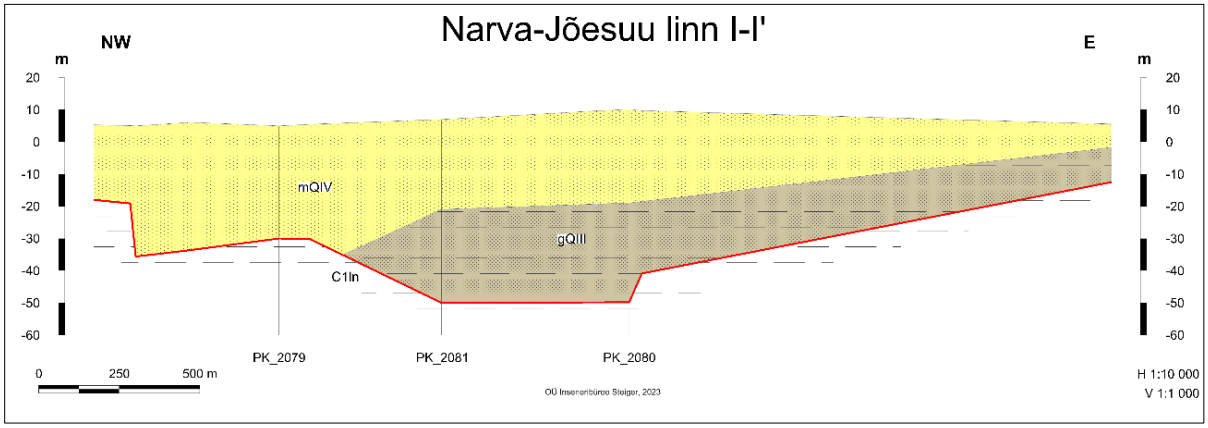
Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 8073, 9525.

Narva linna perspektiivsemaks alaks on valitud linna põhjapoolseim lahustükk, mis kujutab endast suvilate ja aiamaade rajooni, koos Narva-Jõesuu linnaga. Ala on väga tasase reljeefiga, kus maapinna absoluutkõrgused ei ületa 10 meetrit.

Eriti perspektiivne on just Narva-Jõesuu kesklinna piirkond, kus **vett juhtivate kvaternaarisetete paksus ulatub 30 - 40 m piiresse, kogu pinnakatte paksus aga kuni 60 m**. Sellesse piirkonda jääb ka mattunud org, kus aluspõhja reljeef „kukub“ -40 m absoluutkõrgusele, kuid valdavas osas on aluspõhja lasum -20 m kuni -10 m absoluutkõrguste piires. Perspektiivsel alal levivad valdavalt meresetted, Narva-Jõesuus ka kirde-edelasuunaliselt tuulesetted ja Narva linna piires ka õhuke soosetete kiht (joonis 4.9). Veetarbimise mõistes võiksid olla perspektiivsed meresetete liivad ja selle all levivad ~20 - 30 m paksuses liustikujõe- ja/või liustikusetted, mis on esindatud veeriseid ja munakaid sisaldava liiva ja kruusaga. Meresetted võivad esineda ka kogu läbilõike ulatuses (joonis 4.32, 4.33).



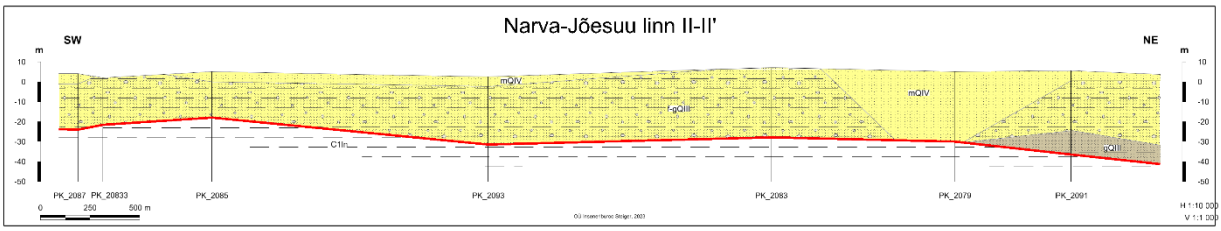
Joonis 4.30. Narva ja Narva-Jõesuu linna pinnakatte kaart (aluskaart puudu antud piirkonna kohta) (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)



Joonis 4.32. Narva-Jõessuu linna läbilõige I-I'

Meresetetes on **põhjavee tase 0,5 - 3 m maapinnast.** Praktilist kasutust leiab veekiht vaid eraisikute salvkaevudes.

Kvaternaari veekompleksi geomorfoloogiline piiritleja on mattunud Narva-Jõesuu org. Kvaternaarisetetesse tungib kogu infiltratsioon ja seda läbib suurem osa põhjavee äravoolust. Peamiselt on pinnakatte setted sügavamasse Ordoviitsiumi veekompleksi filtreeruvate sademete regulaatoriks. Narva-Jõesuu mattunud orus võib vaid kohati glatsiofluviaalsetes setetes paiknev veekiht olla alternatiiviks aluspõhja veekihile. Kvaternaari veekompleksi suurimaks puuduseks on selle väike reostustaluvus.



Joonis 4.33. Narva-Jõessuu linna läbilõige II-II'

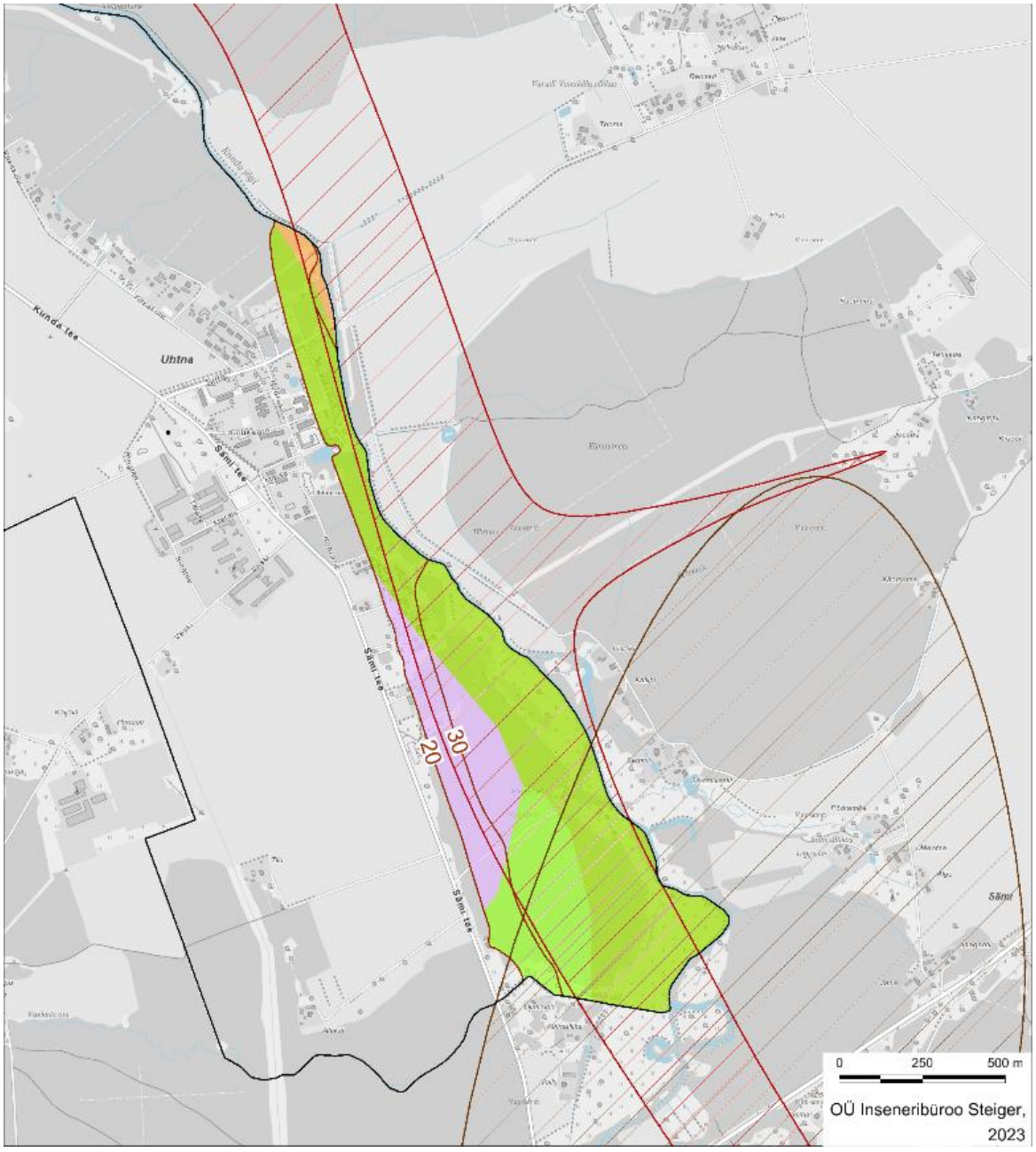
Ala on vähem perspektiivne, tase II.

4.16 UHTNA ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 7812 ja Sõmeru valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2016 - 2028 (AS Infragate Eesti).

Uhtna alevik asub Pandivere kõrgustiku kirdeosa jalamil. Pinnamood on suhteliselt tasane, reljeefi muutusi iseloomustab Kunda jõgi ja selle jõeorg. Aleviku idaosa läbib mattunud org. Maapinna absoluutkõrgused jäävad aleviku perspektiivsel alal 50 - 60 m vahemikku.

Ligikaudu 20% aleviku territooriumist on pinnakatte paksust arvestades perspektiivne. **Kvaternaarisetete kihi paksused aleviku piires mattunud ürgorus aga ei ületa 30 meetrit** (joonis 4.34).



Joonis 4.34. Uhtna aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Alal avanevad valdavalt mere- ja jõesetted. Kuna puuraugud ja varasemad uuringud konkreetsel alal puuduvad, on ala geoloogilise läbilõike kirjeldamisel kasutatud Eesti geoloogilise baaskaardi 1 : 50 000 Rakvere lehe seletuskirja. Selle põhjal on mattunud org põhiliselt täitunud jääjärveliste (savikas aleuriit või aleuriit saviga) setetega, milles esinevad liustikujõe- (liiv veeristega, segateraline liiv) ja liustikusetete vahekihid. Mattunud oru piires on vettkandvaks kihiks liustikujõesetted (liiva- ja kruusaläätsed).

Uhtna aleviku Kvaternaari veekompleks lasub Ordoviitsiumi veekompleksi peal ja on viimasega hüdrauliliselt seotud, mistõttu nende veetasemed ühtivad ja jälgivad maapinna reljeefi. Sellest tulenevalt läheb ligi 40% infiltreerumise teel põhjaveest sügavamate põhjaveekihtide toiteks.

Kvaternaarisettete vett Uhtna aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt salvkaevudega.

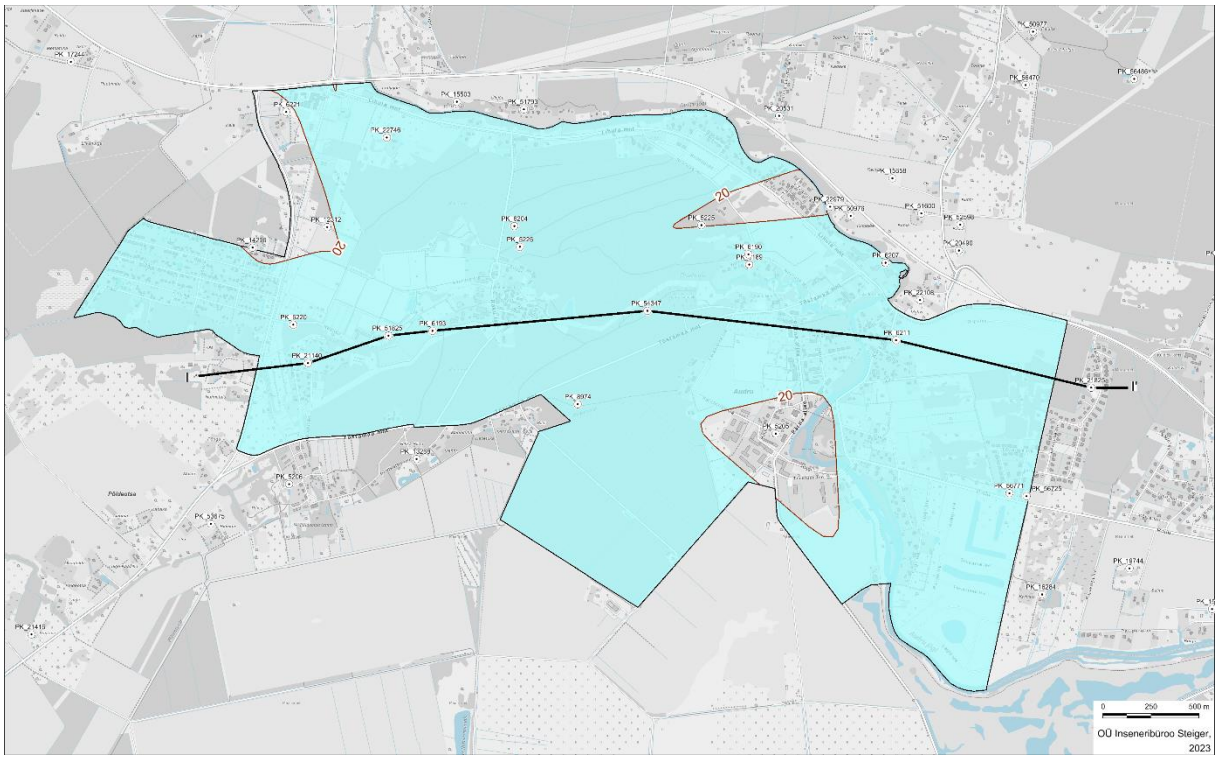
Ala on vähem perspektiivne, tase II.

4.17 AUDRU ALEVIK

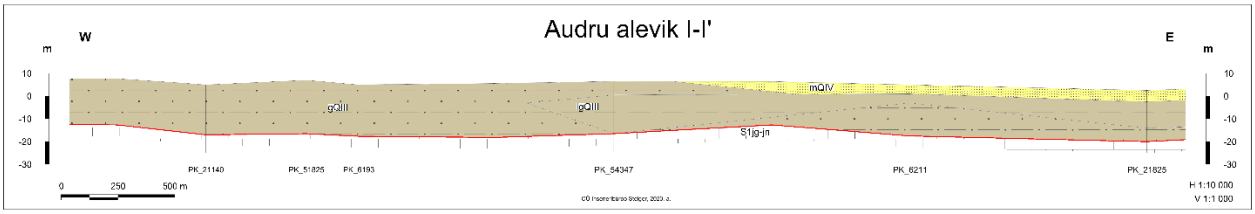
Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 7542 ja Audru valla ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2013 - 2025 (TMT PRO OÜ).

Audru alevik ja selle ümbrus asub Liivi lahe rannikul. Maapinna absoluutkõrgused jäävad piirkonnas 3 - 10 m vahemikku. Geoloogilise aluspõhja Audru alevikus moodustavad Jaagarahu lademe dolokivid. Aluspõhja reljeef on tasane, selle lasum jääb -20 m kuni -10 m absoluutkõrgustele.

Pinnakatte avamuses levivad meresetted, valdavalt liiv ja liiv kruusa vahekihtidega (joonis 4.39). Selle all aga koosnevad kvaternaarisetted puuraukude andmetel põhiliselt liustikusetetest (peamiselt liivsavi/saviliiv, kohati kruusa ja munakatega) ja jääjärvesetetest (savi). Paiguti võivad esineda ka liustikujõesetted kruusakate kihtide näol. **Kvaternaarisetete kihi kogupaksused jäävad 17 - 24 meetri vahemikku, keskmiselt 20 m** (joonis 4.35, 4.36).



Joonis 4.35. Audru aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)



Joonis 4.36. Audru aleviku läbilõige I-I'

Kvaternaarisetete veekihi moodustavad liiva-kruusa ja eriteralised liivasetted ehk meresetted ning mõned liiva-kruusa koostisega läätsed liustikusetetes. Selliste kihtide paksus on 2 - 3 m,

puuraukude põhjal maksimaalselt 5 m (PK_21825). Audru valla ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kava põhjal jääb **põhjavee tase 0,4 - 3 m sügavusel maapinnast**.

Pinnasevee seisund sõltub ilmastikutingimustest ning veetase kõigub väga suure amplituudiga. Vee mineraalsus on valdavalt 0,3 - 0,4 g/l. Vee kõrgendatud mineraalsus on seotud mere mõjuga.

Kvaternaarisettete vett Audru aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutavad väiketarbijad ja veevõtuks on rajatud salvkaevud. Tihti jäävad põuaperioodil majapidamiste salvkaevud kuivaks, mis teeb selle vee kasutamise keerukaks

Kvaternaari veekiht on hüdrauliliselt seotud all lasuva Siluri-Ordoviitsiumi veekompleksiga, kus vesi levib lõhelistes karbonaatkivimis.

Ala on vähem perspektiivne, tase II.

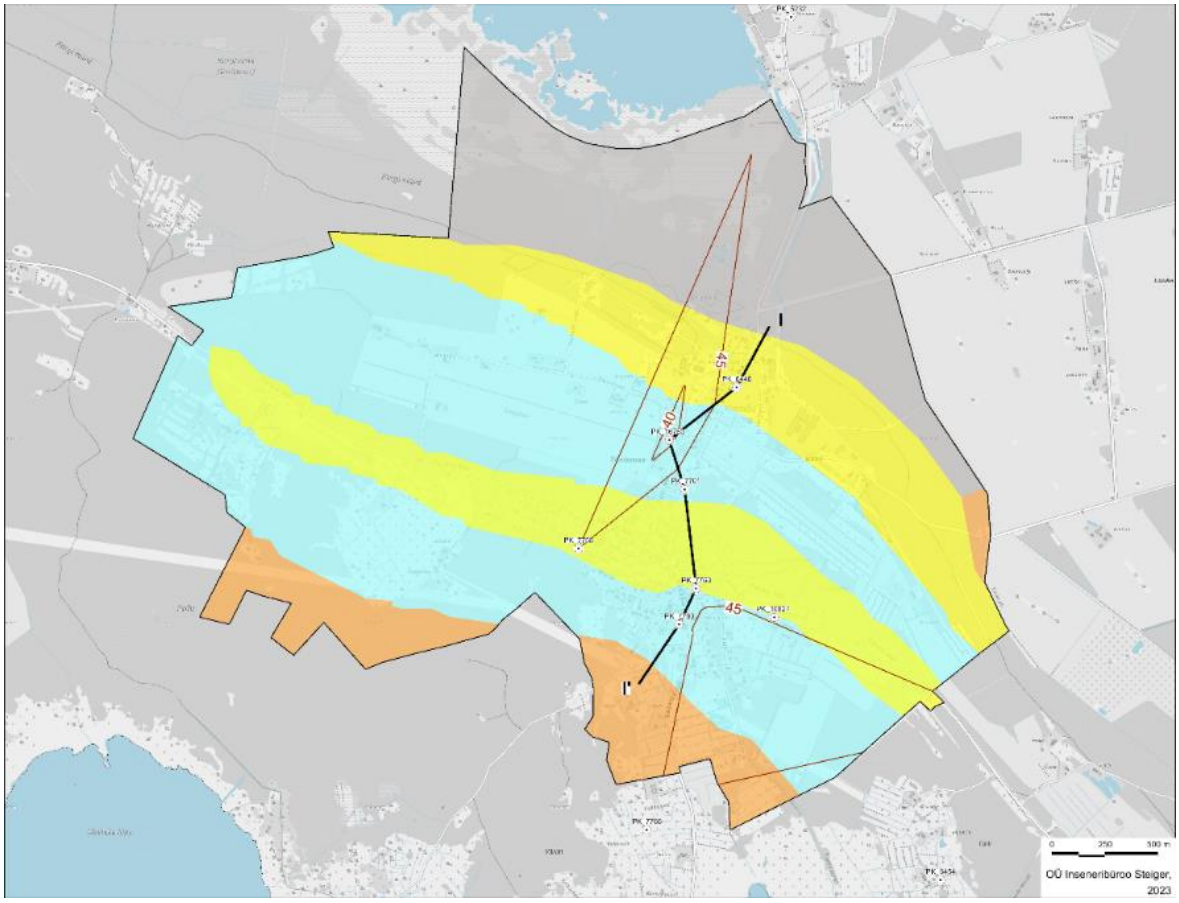
4.18 TÕSTAMAA ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 7542 ja Tõstamaa valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2016 - 2028 (OÜ Alkranel).

Tõstamaa alevik ja selle ümbrus asub Liivi lahe rannikul. Siin asuvad Mandri-Eesti kõrgemad luited suhtelise kõrgusega üle 20 m. Maapinna absoluutkõrgused jäävad piirkonnas 5 - 20 m vahemikku, alanemisega mere poole. See on seotud aluspõhja Tõstamaa paekõrgendikuga, mis madaldub ka mere poole. Paekõrgendik on ümbritsetud rannavallide ja astangutega.

Tõstamaal levivad pinnakatte avamuses peamiselt mere- ja tuulesetted, põhjaosas ka laialdaselt soosetted. Aleviku piiresse jäävad vähesed usaldusväärsed puuraugud, kuid nende andmetel on **kvaternaarisetete paksused ühtlaselt 39 - 50 m vahemikus** (joonis 4.37). Nende puuraukude andmetel on kvaternaarisetted põhiliselt moodustatud meresetetest (peeneteraline liiv, liiv kruusaga) ja liustikusetetest (kruusane liivsavimoreen, saviliiv, savikas kruus munakatega), milles võivad esineda jääjärveliste (savi, saviliiv) ja liustikujõesetete (kruus) vahekihid (joonis 4.38).

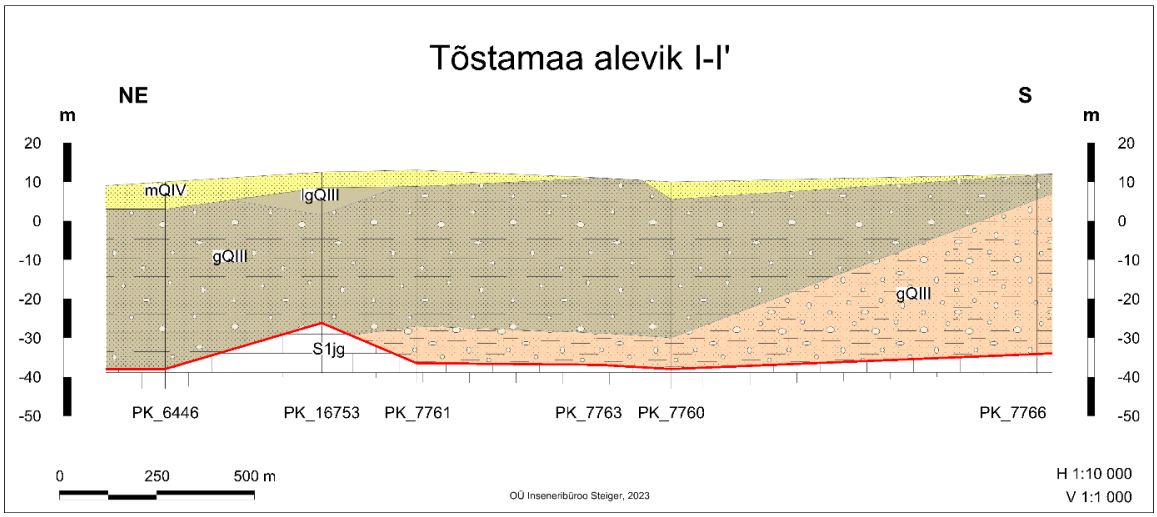
Aluspõhja reljeef jääb puuraukude andmetel valdavalt -50 m kuni -30 m absoluutkõrguste vahemikku.



Joonis 4.37. Tõstamaa aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

Kvaternaari veekiht levib kirjeldataval alal kõikjal. Vettkandvateks seteteks on peeneteraline liiv, kruusane liivsavimoreen, saviliiv, liivsavi ja kruusaläätsed.

Veekihi põhjavesi on vabapinnaline. Kuna veekiht on looduslikult kaitsmata, on võimalik selle põhjavee pindmine reostus. Veekiht toitub sademetest, äravool toimub reljeefist tulenevalt mere suunas. Veekihi põhjavesi on valdavalt HCO_3-Ca-Mg tüüpi mineraalsusega 0,1 - 0,5 g/l. Veekiht on hüdrauliliselt seotud all lasuva Siluri-Ordoviitsiumi veekompleksiga, kus vesi levib lõhelistes karbonaatkivimis. Hea veepide puudub.



Joonis 4.38. Tõstamaa aleviku läbilõige I-I'

Kvaternaarisetete vett Tõstamaa aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt hajaasustuses salvkaevudega.

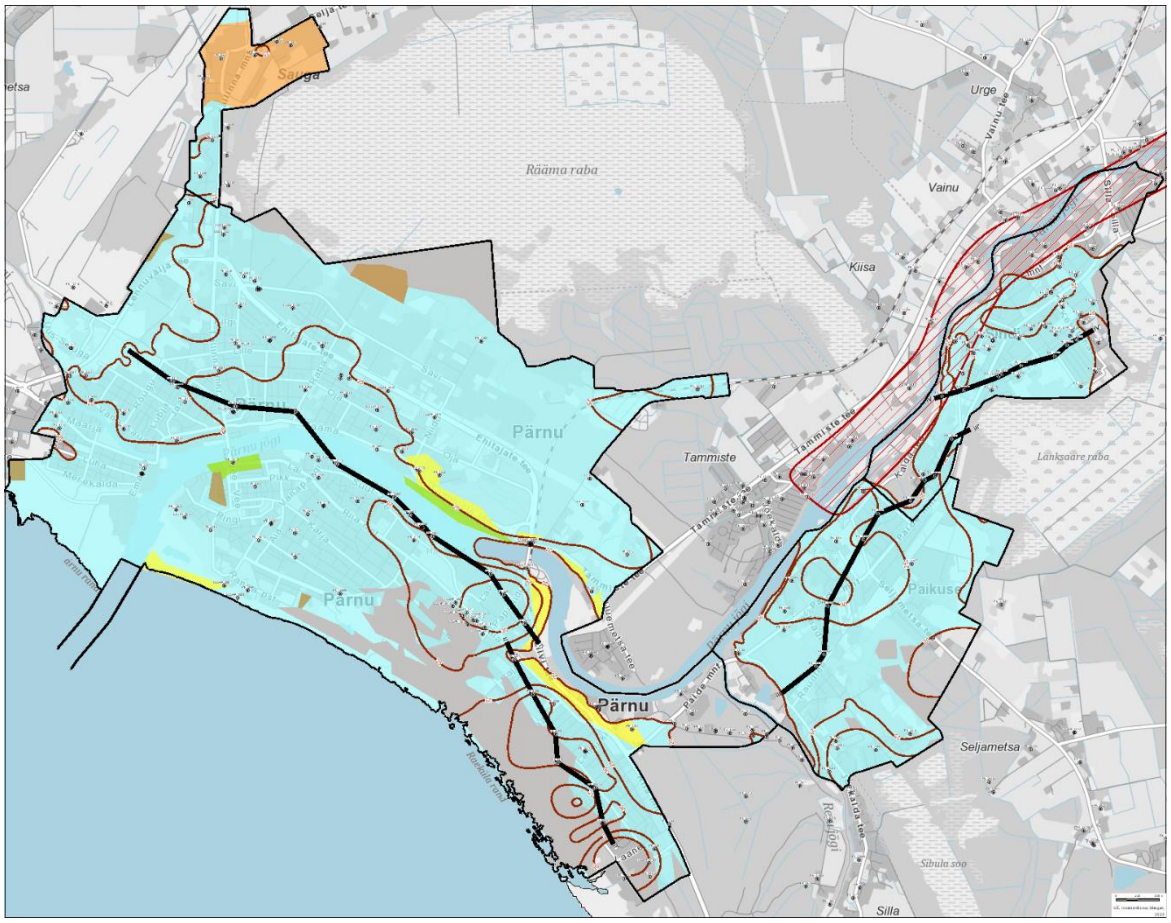
Kindlad andmed kvaternaarisetete veetasemete kohta puuduvad.

Olemasolevate puurkaevude kirjelduste järgi ei ole pinnaste koostise põhjal perspektiivi. **Ala on vähem perspektiivne, tase II.**

4.19 PÄRNU LINN JA SINDI LINN, PAIKUSE ALEV, SAUGA ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 1584, 3771, 7542, 7640 ja Pärnu linna üldplaneeringu ehitus- ja hüdrogeoloogiliste tingimuste osa (OÜ Geoengineering, 2012), Pärnu maakonna põhjavee kvaliteet uute puurkaevude andmete põhjal aastatel 2007–2017 (EESTI MAAÜLIKOOL, 2017).

Pea kogu Pärnu ja Sindi linna, Paikuse alevi ja Sauga aleviku piires avanevad pinnakattes õhukese kihina (<10 m) valdavalt merelised setted (joonis 4.39), mille all levib nii liustikusetete moreeni, liustikujõelisi liivasid kui ka jääjärvelisi viirsavisid (joonis 4.40…4.43). **Pinnakatte paksus on 5 - 35 m, keskmiselt ~25 m.**



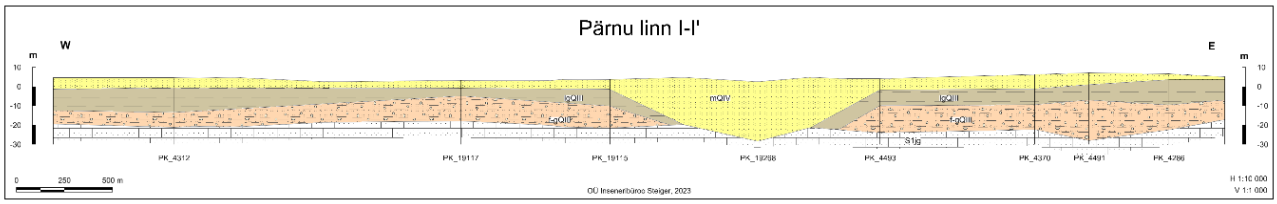
Joonis 4.39. Pärnu jõe alamvesikonna pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 1, koostise usaldusväärsus 1)

Sindi linnas on kvaternaarisetete kogupaksus 20 - 25 m vahemikus. Ülemise kihi moodustavad valdavalt peeneteralised liivad (meresetted), kuid ülejäänud läbilõige on muutlik, kus esineb savi ja saviliivmoreeni kruusakate vahekihtidega. Aluspõhja reljeef jääb -10 m kuni 0 m absoluutkõrguste piiresse.

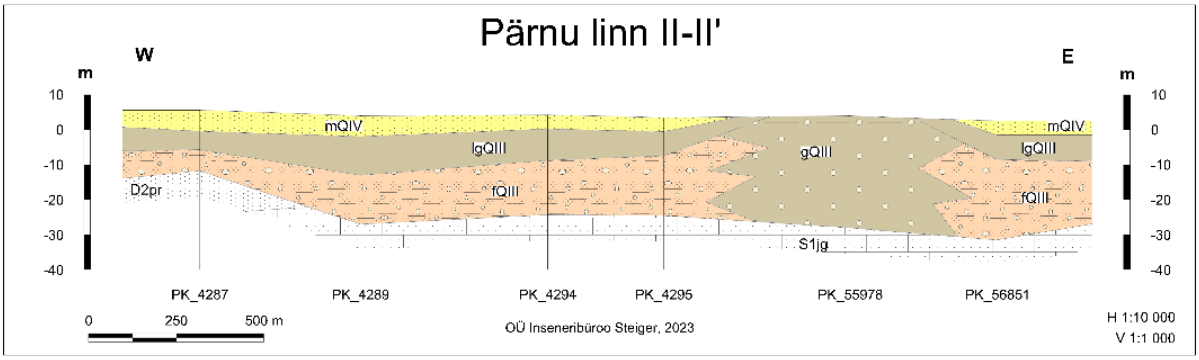
Paikuse alevis on kvaternaarisetete kogupaksus 20 - 30 m vahemikus. Ülemise kihi moodustavad peeneteralised liivad, kuid valdava osa pinnakatte läbilõikest moodustavad liivsavi ja moreen. Aluspõhja reljeef jääb -20 m kuni -10 m absoluutkõrguste piiresse.

Sauga alevikus on kvaternaarisetete kogupaksus ~25 m olles esindatud valdavalt aleuriidi, liivsavi ja saviga, milles võivad esineda kruusakad vahekihid. Aluspõhja reljeef jääb ligikaudu -20 m kuni -10 m absoluutkõrguste piiresse.

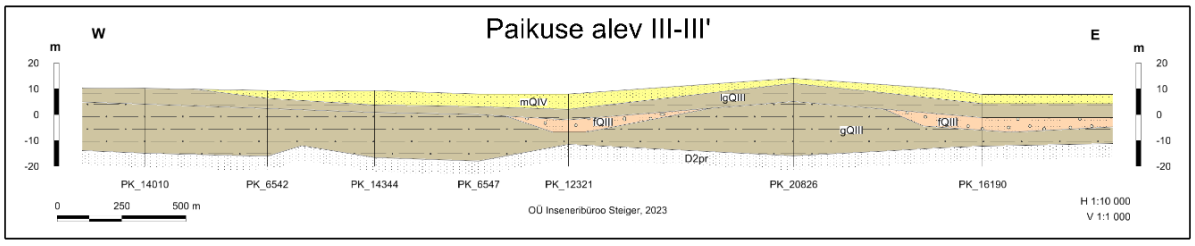
Pärnu linnas ulatuvad kvaternaarikihi paksused ligikaudu 30 meetrini. Linna puurkaevude andmetel on läbilõike ülemises kihis peeneteralised meresetted, mille all levib savi ja selle all omakorda kuni aluspõhjani kruus (munakatega). Aluspõhja reljeef on suhteliselt tasane jäädes -20 m absoluutkõrgustele.



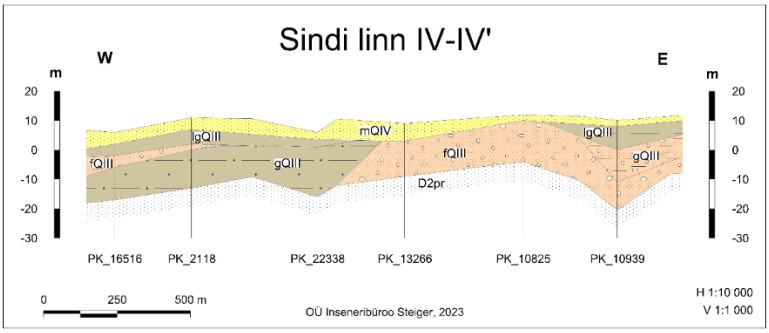
Joonis 4.40. Pärnu linna läbilõige I-I'



Joonis 4.41. Pärnu linna läbilõige II-II'



Joonis 4.42. Paikuse alevi läbilõige III-III'



Joonis 4.43. Pärnu linna läbilõige IV-IV'

Kvaternaarisetetega seotud veekiht levib üle kogu Pärnu jõe alamvesikonna. Veekihti tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Piirkonnas kasutatakse Kvaternaari veekompleksi vett salvkaevude ja üksikute puurkaevudega, kuid antud veekasutus pole laialdane, kuna liivpinnaste levik on mosaiikne ja tegemist on väikese veevõtuga.

Vaadeldava ala piires esineb kvaternaarisetetes kaks veekihti. Esimene mereliivades lasuv surveta veekiht ja teine viirsavi lamamis lasuv surveline veekiht. Esimese kihi veetase asub **1 m sügavusel maapinnast** (Pärnu jõe kallastel võib olla sügavamal) ja on sõltuvuses sademete hulgast ning aastaajast. Teine, surveline veekiht levib moreenis ning liustikujõesetete liivas ning on seotud Siluri veekompleksiga. **Teise kihi põhjavee tase jääb sügavusele 5 kuni 10 m maapinnast, keskmiselt 7 m.**

Peamiselt kvaternaarisetete koostist ja veetasemeid arvestades on tegemist vähem perspektiivse alaga, tase II.

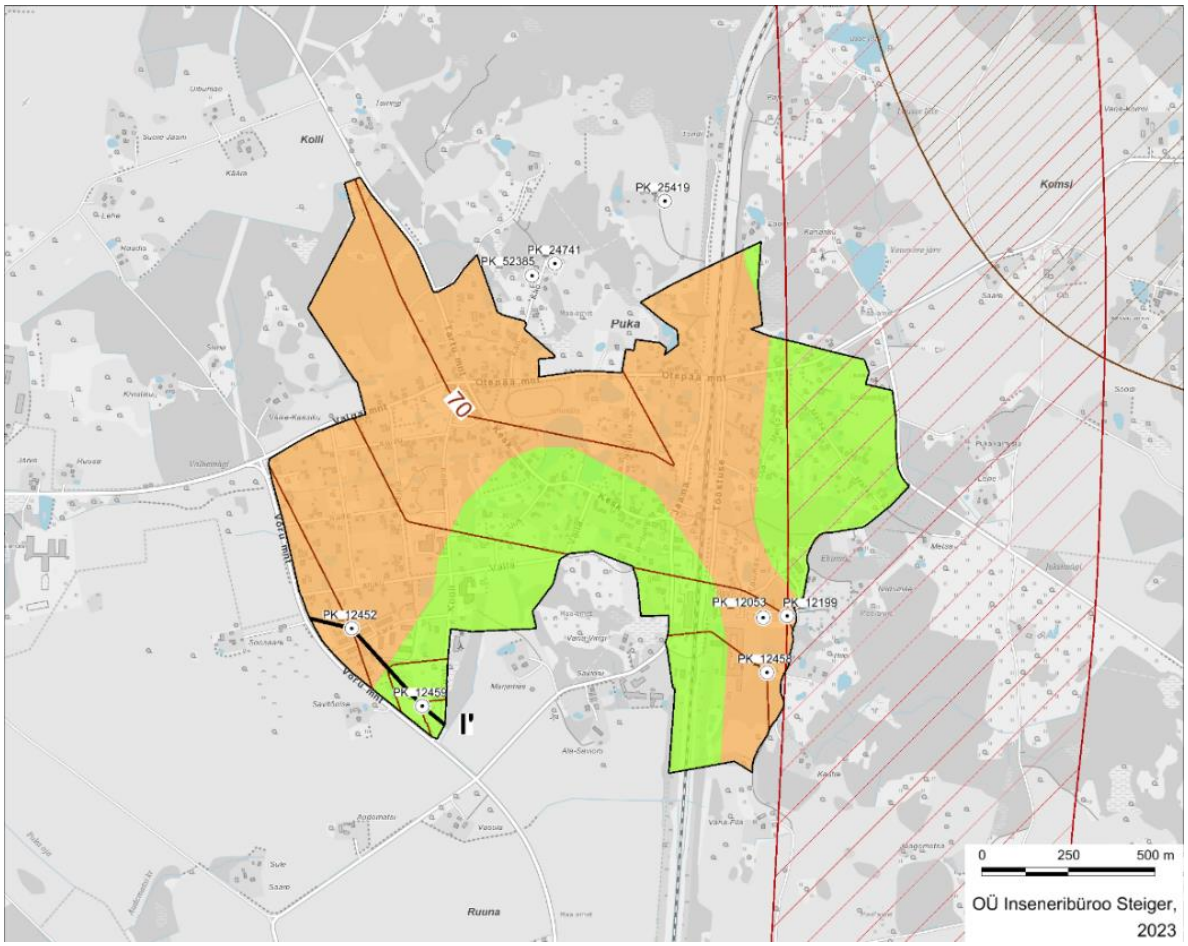
4.20 PUKA ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 8450 ja Puka valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2017 - 2028 (Kompaktfilter OÜ).

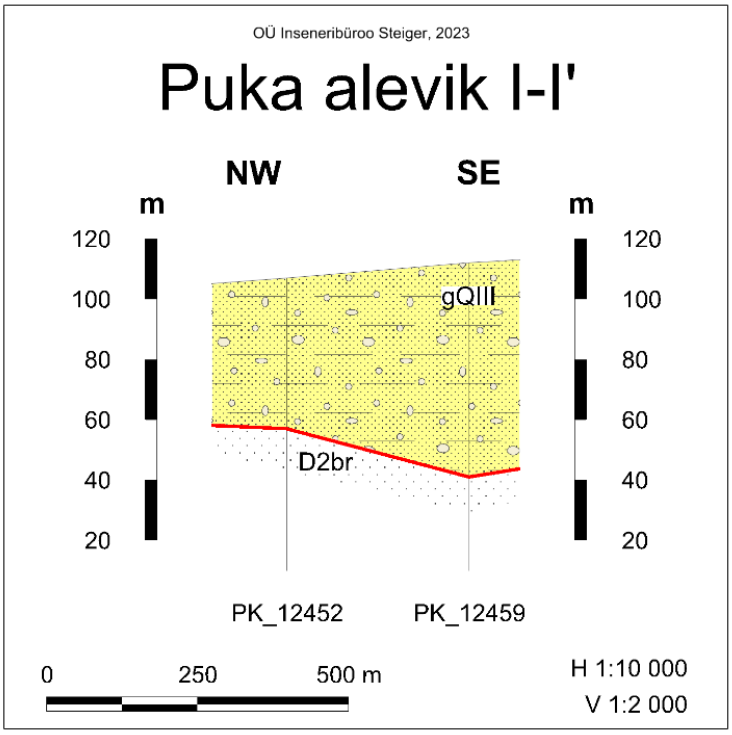
Puka alevik asub Otepää kõrgustiku lääneservas. Pinnamood on siin kõrgustikule iseloomulikult künklik moreenreljeef. Maapinna absoluutkõrgused jäävad piirkonnas 110 - 130 m vahemikku.

Kvaternaarisetetena avanevad maapinnal liustikujõe- ja liustikusetted (joonis 4.44). Mattunud ürgorg, mis asub ala idapool, on aga täitunud peamiselt liustikusetetega. Väheste puuraukude andmetel esinevad läbilõikes peamiselt liustikusetted (saviliiv/liivsavi kruusaga kuni munakatega ja liivsavimoreen). Puka aleviku piires jäävad **kvaternaarisetete kihi kogupaksused 50 - 71 meetri vahemikku**, keskmiselt 60 m (joonis 4.43).

Aluspõhja pealispind Kesk-Devoni lavamaal on Puka piirkonnas absoluutkõrgusel 40 - 60 m.



Joonis 4.44. Puka aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)



Joonis 4.45. Puka aleviku läbilõige I-I'

Kvaternaari veekompleks toitub sademeist ning survelisest Kesk-Devoni veekompleksist. Veekompleksi levikuala langeb kokku toitumisalaga.

Kvaternaarisettete vett Puka aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt salvkaevudes. Seetõttu kindlad andmed veetasemete, deebitite, alanduste ja filtratsioonide kohta puuduvad.

Puurkaevude andmeid on väga vähe, olemasolevate kirjelduste järgi ei ole koostise põhjal perspektiivi. **Ala on vähem perspektiivne, tase II.**

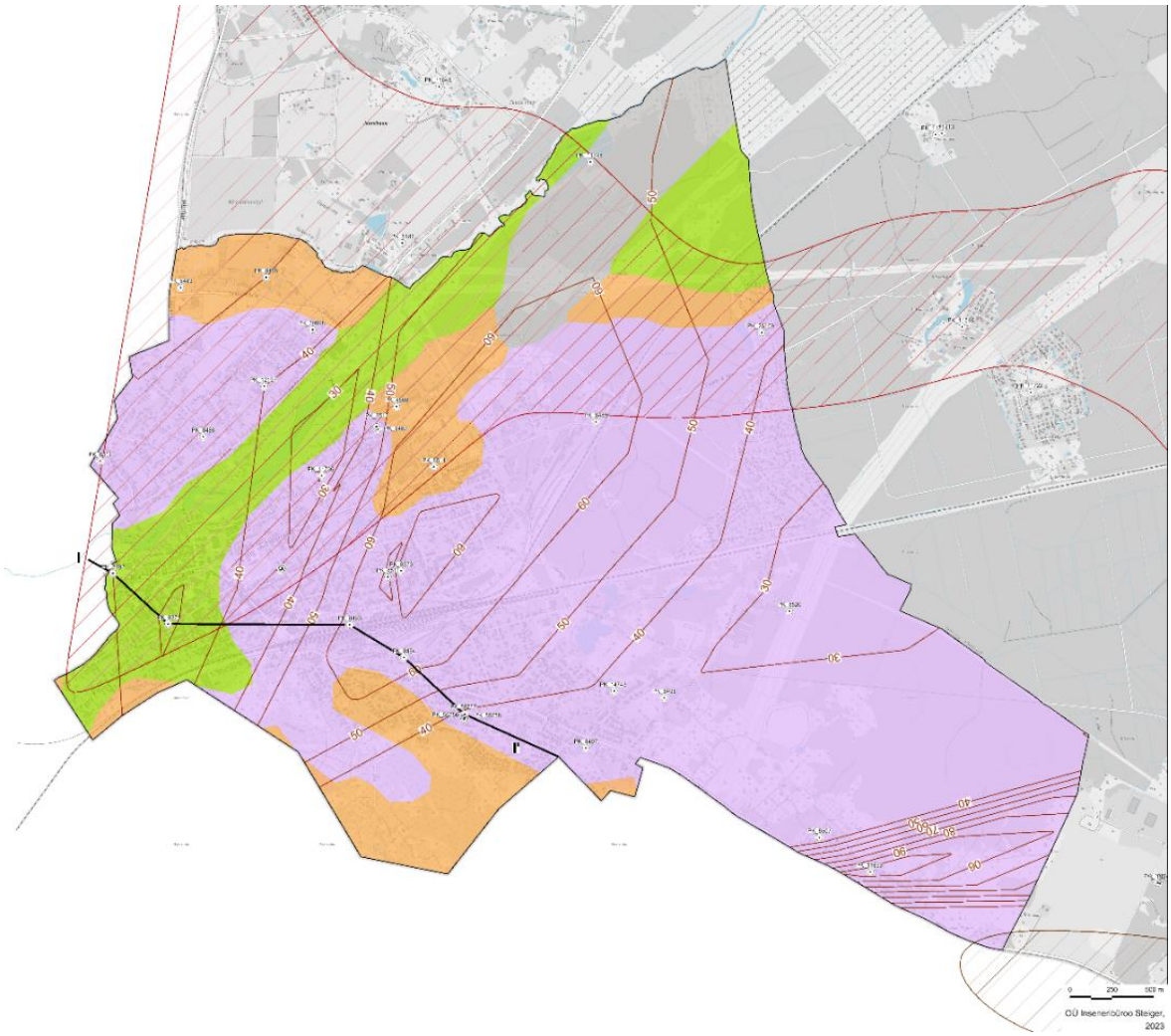
4.21 VALGA LINN

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 4221 ja Valga valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava 2022-2035 (2021).

Valga linn läbib Pedeli jõgi ja selle jõeorg, mis on ümbritsevast reljeefist paarkümmend meetrit madalamal. Üldiselt on tegemist suhteliselt tasase moreentasandikuga.

Pinnakatte paksuse järgi on Valga linn kogu territooriumil perspektiivne, kus levivad üle 20 m paksused kvaternaarisetted. **Kvaternaarisetete paksus puurkaevude andmete ulatub kuni 108 meetrini**, maksimaalsed paksused on peamiselt seotud mattunud ürgoru olemasoluga. Valga linna piires avanevad geoloogilise kaardi alusel peamiselt jääjärvelised setted, jõeorus ka jõesetted ja laiguti liustikusetted (joonis 4.46).

Valga linna piiresse jäävate usaldusväärsete puurkaevude andmetel jääb aluspõhja lasum valdavalt -10 m kuni 40 m absoluutkõrgustele.



Joonis 4.46. Valga linna pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

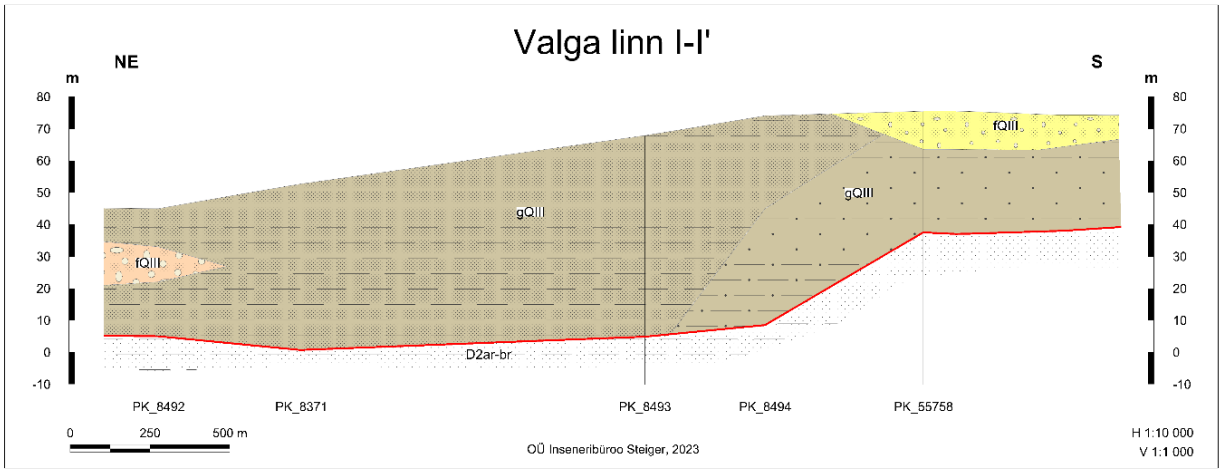
Mattunud ürgorg, mis asub linna põhjaosas on täitunud peamiselt liustikusetetega. Setted on väga ühtlasega koostisega: saviliiv, liivsavi, liivsavimoreen ja moreen (joonis 4.47).

Filtratsioonikoefitsient on vahemikus 0,5 - 1,0 m/ööp. Kõige suurema levikuga on liustikusetetest moreen ja jääjärvelistest setetest liivsavi, mille peal esinevad kohati soosetted ja kuni 15 m paksusused liustikujõesetete läätsed (erineva terasusega liivad ja kruus). Liustikujõesetete filtratsioonikoefitsient on vahemikus 5 - 10 m/ööp. Veed on magedad HCO_3-Ca-Mg-tüüpi üldmineralisatsiooniga 0,2 - 0,3 g/l.

Kvaternaari veekompleks toitub sademeist ning survelisest Kesk-Devoni veekompleksist. Veekompleksi levikuala langeb kokku toitumisalaga.

Valga linnas on Kvaternaari veekompleks üldiselt seotud peamiselt liustikuliste moreenide vaheliste liustikujõeliste setetega. Peamiselt veekompleksi vett kasutatakse salvkaevudega. Salvkaevudes veetase sõltub maapinna reljeefist (peamiselt jäädes 1 - 5 m sügavusel), kaevude erideebitid on vahemikus 0,01 - 0,1 l/s×m.

Lamavaks veepidemeks on tavaliselt moreen ja savi.



Joonis 4.47. Valga linna läbilõige I-I'

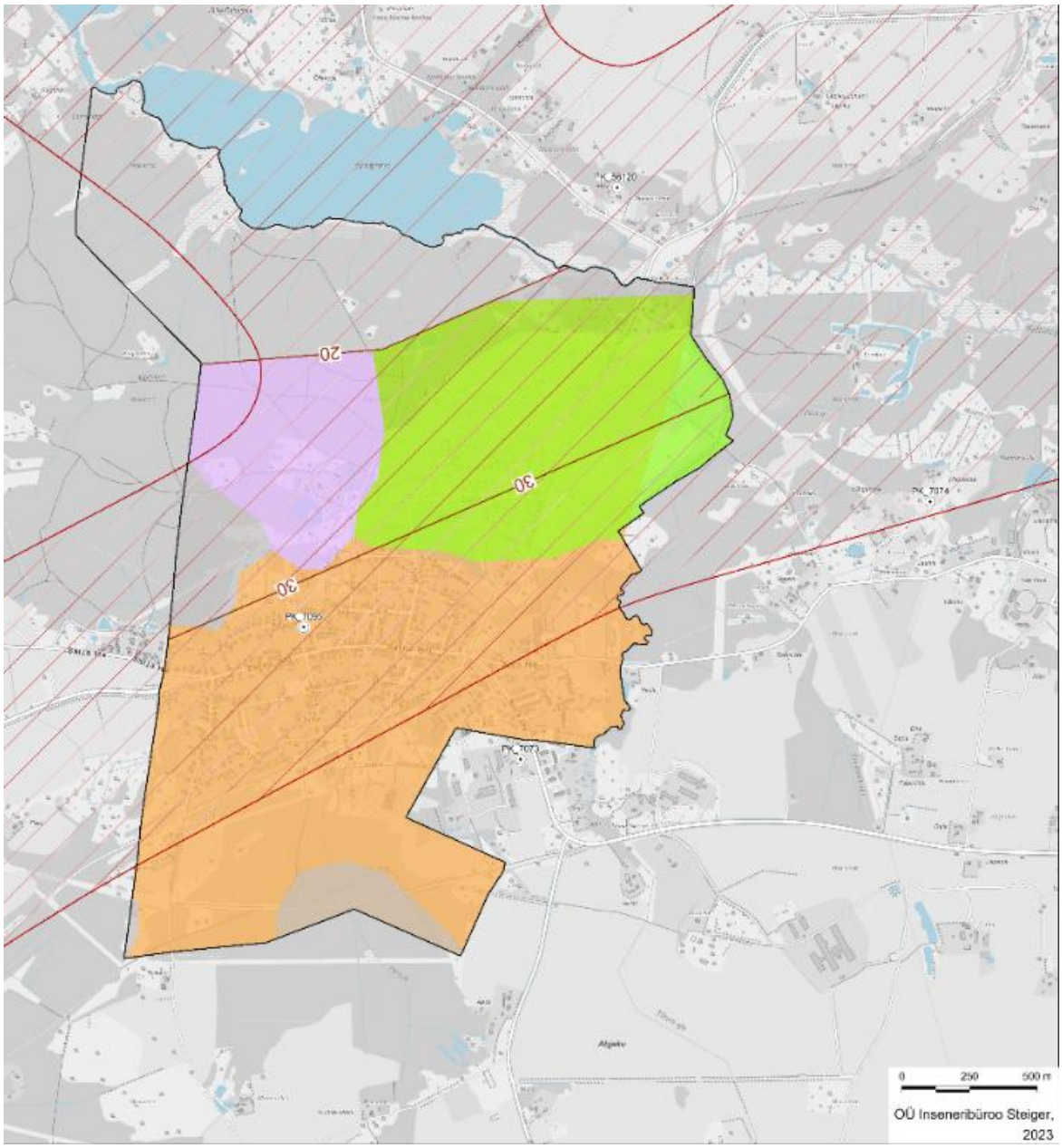
Ala on vähem perspektiivne, tase II.

4.22 ABJA-PALUOJA LINN

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Mulgi valla ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2019 - 2030 (EUROPOLIS OÜ).

Abja-Paluoja linn ja selle ümbrus paikneb Sakala kõrgustikul, mis on kujunenud Kesk-Devoni liivakiviplatoost, pinnamoelt orgudega liigestunud lainjas-künklik lavamaa, maastik on siin vahelduv ja eriilmeline. Jääaegadel tugevasti kulutatud aluspõhjale on peamiselt viimasest liustikust jäänud mõne meetri paksune punakaspruunist moreenist koosnev pinnakate. Mattunud oru kohale on kujunenud järvenõod (Kariste järv)

Maapinna absoluutkõrgused jäävad 30 - 40 m piiresse Halliste jõeorus ja Kariste järve ümbruses, kõrgemaal lavamaal linna lõunaosas 50 - 80 m piiresse (joonis 4.48).



Joonis 4.48. Abja-Paluoja linna pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

Abja-Paluoja linna piires ja vahetusläheduses on käesolevas töös usaldusväärseteks hinnatud 2 aluspõhja puurauku (muidu on 3 puurauku):
1. Nuia tee (Töökoja) puurkaev, katastri nr 7073), mis katab hetkel kogu ühisveevärgi veevajaduse;
2. Aia ja Pargi tn (Veetorni) puurkaev (katastri nr 7095), on hetkel reservis.

Puuraugu 7095 andmete põhjal kvaternaarisetete paksus on 180 m, aga töö autorite hinnangul on seal tegemist eksliku stratigraafilis-geneetilise settetüübi definitsiooniga, kus Devoni aleuroliidikas liivakivi on kirjeldatud kui peeneteralise savikae liivana. Sama kinnitab ka ~1 km kaugusel puuraugu 7073 andmed, mille põhjal on kvaternaarisetete kihi paksus siiski 31 m. **Kvaternaarisetete paksus on keskmiselt 20 - 37 m.**

Abja-Paluoja kvaternaarisetted koosnevad peamiselt savikatest moreensetetest, mis enamasti on vähe vett juhtivad, kohati isegi praktiliselt vettpidavad. Vettkandvaiks kihtideks osutuvad selles kompleksis vaid liiva ja kruusa vahekihid ning kohati ka moreeni kruusakamad erimid.

Veekiht toitub peamiselt sademetest, mistõttu veepinna kõikumise amplituudid on suured. Veekompleks on ühendatud Kesk-Devoni veekompleksiga.

Kvaternaarisettete vett Abja-Paluoja aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt salvkaevudega.

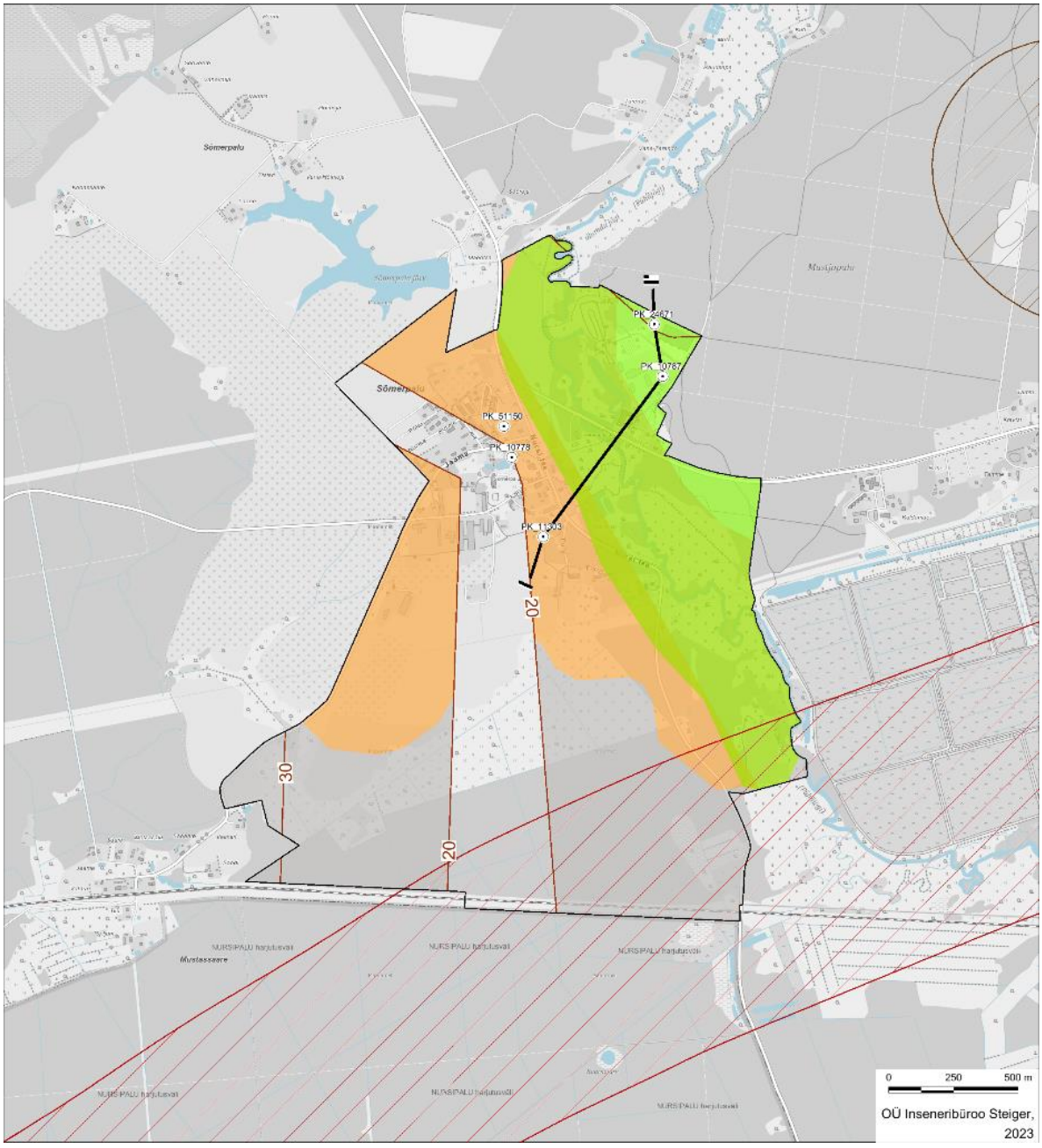
Kindlad andmed kvaternaarisetete veetasemete kohta puuduvad.

Ala on vähem perspektiivne, tase II.

4.23 SÕMERPALU ALEVIK

Kirjelduse koostamisel on kasutatud lisaks geoloogilistele kaartidele ja VEKA andmebaasi punktidele ka Eesti geoloogiafondi aruannet nr 8450.

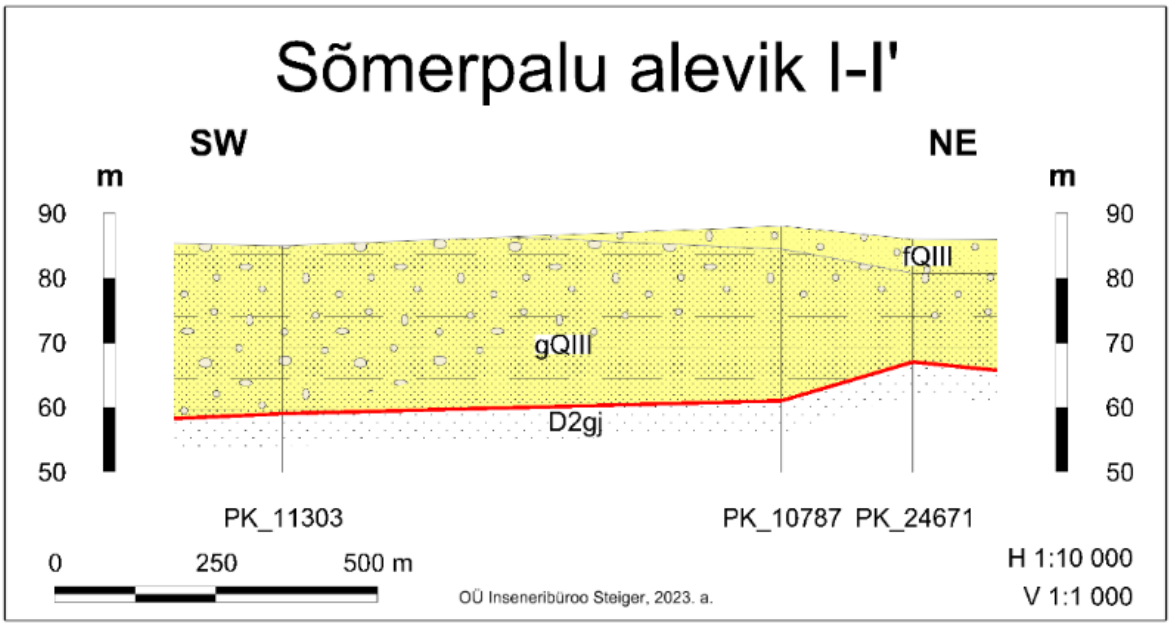
Sõmerpalu alevik asub Otepää, Haanja ja Karula kõrgustike vahel, rohkem Otepää kõrgustiku jalami poole. Aleviku lõunaserv ulatub Võru orundisse jäädes mattunud ürgoru piiresse. Aleviku lõunaosas ürgorus avanevad soosetted, kuid sügavamate kihtide kohta andmed on puudulikud. Ülejäänud osas levivad pinnakatte avamuses jõe- ja liustikusetted ning vähemal määral ka liustikujõesetted (joonis 4.49).



Joonis 4.49. Sõmerpalu aleviku pinnakatte kaart (paksuse usaldusväärsus 2, koostise usaldusväärsus 2)

Kvaternaarisetete paksus jääb 17 - 27 m vahemikku (joonis 4.50). Setetest on valdav saviliiv ja liivsavi kruusa ja veeristega ning (saviliiv)moreen. Liiva ja kruusa võib esineda maapinnalähedastes intervallides või läätsedena moreeni sees.

Aluspõhja reljeef jääb väheste olemasolevate puurkaevude andmetel 50 - 70 m absoluutkõrguste vahemikku.



Joonis 4.50. Sõmerpalu aleviku läbilõige I-I'

Kvaternaari veekompleks toitub peamiselt sademete veest, suurvee ajal ka pinnaveest. Veekompleks on ühendatud Kesk-Devoni veekompleksiga. Kvaternaarisetete veekihi all lamav veepide puudub. Kvaternaarisetete vett Sõmerpalu aleviku tsentraalses veevarustuses ei kasutata. Vett kasutatakse peamiselt salvkaevudes.

Kindlad andmed kvaternaarisetete veetasemete kohta puuduvad.

Puurkaevude andmeid on väga vähe, olemasolevate puurkaevude kirjelduste järgi ei ole pinnaste koostise põhjal perspektiivi. **Ala on vähem perspektiivne, tase II.**

5. ETTEPANEKUD TÄIENDAVATEKS UURINGUTEKS

Lähtuvalt peatükis 3.3 välja toodud käesoleva uuringu käigus esinenud riskidest, mis on seotud peamiselt andmete vähesuse ja/või usaldusväärsusega on ilmne, et enne Kvaternaari veekompleksi geotermaalenergia tootmise infrasturktuuri rajamist on vajalik läbi viia perspektiivsete alade täiendavad uuringud. Seetõttu on soovitatav järgmises uuringu etapis läbi viia järgnevad tegevused:

- läbi viia peatükis 4 välja toodud perspektiivsete (tase I) alade kaugkütte tootmisviiside (fossiilne vs taastuv) ning hindade analüüs selgitamaks välja, milliste välja valitud asustusüksuste piirides võiks geotermaalenergia käesoleval hetkel või lähitulevikus olla konkurentsis seal hetkel kasutatava küttelahendustega. Analüüsi käigus vaadata ühtlasi välja konkreetsed asustusüksuste sisesed asukohad, mis võimaldaksid rajada geotermaalenergia kasutusele võtuks vajalikku infrastruktuuri. Konkreetsed asukohad on soovitatav võimalusel valida sinna, kus antud uuringutöö käigus koostatud kvaternaari-setete paksuste mudelid on näidanud suurimat võimalikku paksust.
- koostada igale välja valitud konkreetsele asukohale detailsed ehitusgeoloogiliste uuringute programmid ja kooskõlastada need maaomanikega. Kuna uuringute programmi detailne sisu sõltub konkreetsest asukohast ja geofüüsikaliste uuringute tulemustest, siis on järgevalt välja toodud uuringu etapid üldised ja soovituslikud:
  - viia läbi geofüüsikalised uuringud kombinatsioonis georadari ja seismomeetriaga (peegeldunud ja/või murdunud lainete meetodil) eesmärgiga täpsustada pinnakatte paksused ja koguda indikatiivset infot konkreetse asukoha vertikaalse läbilõike kohta;
  - puurida kaks lähestikku (>5 m) paiknevat suure diameetriga (>120 mm) pinnakatte südamikpuurauku (uurimissügavusega 2 m aluspõhja kivimitesse). Puurimiste eesmärgiks on täpsustada pinnakatte litoloogilist koostist ja läbilõiget. Puuritud materjal tuleb kirjeldada ja nende alusel koostada puuraugu litoloogilised tulbad eraldamaks välja perspektiivsed vett andvad vertikaalse läbilõike osad;
  - juhul, kui geoloogiline läbilõige on muutlik (vettandvad ja vettpidavad kvaternaari-setete kihid vaheldumisi) on soovituslikult teostada puuritud puuraukudes loodusiku gamma karotaaž;
  - puuritud materjalist võtta esinduslikus koguses proovid, milles teostada terastikulise koostise ja filtratsiooni laboratoorsed analüüsid selgitamaks välja puuritud kvaternaarisetete parameetrid ning sellest tulenevalt määrata läbilõikes esinevate litoloogiliste üksust klassifikatsioon;
  - puuraugud rajada ja puhastada nii, et neist oleks peale südamiku võtmist võimalik läbi viia pumpamiskatseid, vajadusel tamponeerida puuraugu alumine ebasobiv osa kinni ja paigutada puuraugu vett andvasse avatud ossa sobiliku pilusuurusega filter (soovituslikult 0,5 mm piluavaga) või peenema kvaternaarisetete fraktsiooni korral lisaks paigutada filtrile sukk ning paigaldada filtri ümber kruusapistest padi. Juhul, kui konkreetse asukoha (hüdro)geoloogilistest tingimustest tulenevalt ei ole südamikpuurauku võimalik pumpamiskatseteks kasutada, siis puurida selleks eraldiseisvad suurema diameetriga katsepumpamise puuraugud kasutades sobilikumaid kaevupuurimise meetodeid;
  - viia uuringupuuraukudes läbi hüdrogeoloogilised katsepumpamised eesmärgiga täpsustada põhjaveekihti moodustavate setete hüdrodünaamilisi omadusi ja tegelike puurkaevude erideebiteid. Katsepumpamist tuleb teostada tootlikkusel, mis tagab veetaseme alanemise vähemalt 1 meeter. Katsepumpamist tuleb teostada veetaseme stabiliseerumiseni;
  - pumpamiskatsete käigus võtta veeproovid ning teostada vee keemiline analüüs. Avatud soojussüsteemi puurkaevust võetakse veeproovid keskkonnaministri 09.07.2015. a määruse 43 lisa 4 punktides 5.1…5.2 nimetatud näitajate analüüsimiseks;

- ehitusgeoloogiliste uuringute tulemused võtta kokku aruandes vastavalt Majandus- ja taristuministri 24.04.2015. a ehitusseadustiku § 14 lõike 4 punkti 2 alusel kehtestatud „Ehitusgeoloogilisele uuringule esitatavad nõuded“ määrust nr 32.

- lähtuvalt ehitusgeoloogiliste uuringute tulemustest projekteerida endiselt perspektiivseks osutunud asukohtadesse ATES maasoojussüsteemid arvestades Riigikogu 11.02.2015. a ehitusseadustiku § 35 lõike 6, § 43 lõike 5, § 47 lõike 7 ja § 126 lõike 6 alusel kehtestatud keskkonnaministri 09.07.2015. a määrusega nr 43.

6. KOKKUVÕTE

Käesoleva töö tulemusel selekteeriti algsest 246-st alast välja 23 ala/piirkonda (tabel 6.1), kus kvaternaarisetete paksus ja setete koostis viitavad suuremale perspektiivsusele geotermaalse energia kasutusele võtul. Samas lähtuvalt uuringu käigus ilmnenud vajakajäämistes seoses olemasolevate andmete vähesuse ja/või usaldusväärsusega, tuleb enne Kvaternaari veekihist geotermaalenergia tootmise põhjalikku planeerimist läbi viia perspektiivsete alade täiendavad uuringud. Kuna alasid on arvestataval hulgal, siis soovitavad Töö autorid järgmises etapis keskenduda peamiselt perspektiivsuse tasemega I alade uuringutele.

Tabel 6.1 Perspektiivsete alade jaotus

Asustusüksus	**Perspektiivsuse tase**	**Kvaternaarisetete võimalik paksus, m**	**Maakond**
Aegviidu	I	10,0 - 45,0	Harju
Loksa	I	15,0 - 80,0	Harju
Kangru ja Luige	I	5,0 - 31,0	Harju
Võsu	I	5,0 - 64,0	Lääne-Viru
Elva	I	20,0 - 129,0	Tartu
Otepää	I	66,0 - 147,0	Valga
Tõrva ja Helme	I	0,5 - 96,0	Valga
Misso	I	34,0 - 38,0	Võru
Rõuge	I	50,0 - 187,0	Võru
Vastseliina	I	20,0 - 86,0	Võru
Varstu	I	24,0 - 40,0	Võru
Võru	I	10,0 - 86,0	Võru
Kolga	II	7,0 - 55,0	Harju
Maardu	II	5,0 - 42,0	Harju
Narva, Narva-Jõesuu	II	0,3 - 60,0	Ida-Viru
Uhtna	II	0,5 - 30,0	Lääne-Viru
Audru	II	17,0 - 24,0	Pärnu
Tõstamaa	II	39,0 - 50,0	Pärnu
Pärnu, Sindi, Paikuse, Sauga	II	5,0 - 35,0	Pärnu
Puka	II	50,0 - 71,0	Valga
Valga	II	25,0 - 108,0	Valga
Abja-Paluoja	II	20,0 - 37,0	Viljandi
Sõmerpalu	II	17,0 - 27,0	Võru

7. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Karise V., Metsur M., Perens R., Savitskaja L., Tamm I. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Eesti Põhjaveekomisjon, 2008.
2. Keskkonnaagentuur. Aasta põhjaveevaru bilanss, 2021.
3. Sotsiaalministri 31.07.2001 määrus nr 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid“.
4. Jõeleht, A. Soojuspuuraukude mõju keskkonnale; Tartu Ülikool Geoloogia osakond, Tartu; 2007.
5. Jõeleht, A. Geotermaalenergia senine kasutamine Eestis. Eesti geoloogide aprillikonverents „Kuhu rändab Eesti geoloogia?“. Tartu, 2023.
6. Jõeleht, A., Paat, R. Maasoojussüsteemide rajamisega seotud seadusandlik regulatsioon ja selle muutmise vajadus. Tartu, 2021.
7. Jõeleht, A., Gaškov, M., Polikarpus, M. Soojussüsteemi puurkaevu ja -augu mõju põhjavee pinnase füüsikalistele omadustele ning põhjavee keemilisele koostisele Eesti tingimustes. Tartu, 2012.
8. Perens, R. Eesti põhjavee kaitstuse kaart 1:400 000. Eesti Geoloogiakeskuse hüdrogeoloogia osakond. Tallinn, 2001.
9. Perens, R., Savitski, L., Savva, V, Jaštšuk, S., Häelm, M. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. Tallinn, 2012. EGF nr 8450.
10. Türk, K. Põhjaveekogumite seisundi hindamine I etapp, 2014.
11. Vallner, L. Eesti hüdrogeoloogiline mudel ja selle kasutamine. Eesti Geoloogia Selts, Tartu Ülikooli geoloogia instituut, 2003;
12. Vatalin I. Elva linna veehaarde uuringud ja põhjaveevaru hindamine, 2000. EGF nr 6825.
13. Wigstrand I., The ATES project – a sustainable solution for Stockholm-Arlanda airport LFV. Sweden, 2007.
14. Stemmle, R., Potential of low-temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES) in Germany, 2022.
15. Fetter C. W. Applied Hydrogeology. New Jersey, 2001.
16. Europe wide use of soil energy ATES;

URL: https://www.deltares.nl/en/expertise/projects/europe-wide-use-soil-energy-ates;

17. Bloemendal, M., Beernink, S., Bel, N. van, Hockin, A., Schout, G., (2020). Open bodemenergiesysteem Koppert-Cress met verhoogde opslagtemperatuur, KWR, 2020.
18. Bloemendal M., Kleyböcker A., Factsheet – Aquifer thermal energy storage (ATES), 2020.
19. Fleuchaus, P., Godschalk, B., Stober, I., Blum, P. (2018). Worldwide application of aquifer thermal energy storage – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94, 861- 876.
20. Paci, L., Pasquinelli, L., Fabricius L. (2016). Overview of high temperature aquifer thermal energy storage (HT-ATES): Challenges and strengths, Center for energy Resources engineering and Technical University Denmark,
21. Sanner, B., Kabus, F., Seibt, P., Bartels, J. (2005). Underground thermal energy storage for the German parliament in Berlin, system concept and operational experiences. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 24.-29. April 2005.