

19.11.2021

Geologian tutkimuskeskus
Energia ja rakentamisen ratkaisut
Kokkola
Annu Martinkauppi

ERI SYVYISTEN KAIVOJEN TUOTON ARVIOINTIA SIIJOITTELUN TUEKSI MUHOKSEN KIRKKOSAAREN ALUEELLA

PIENTALOT / SITOWISE

Nahkurintien läheisyydessä oleva pientaloalue (ALUE I)

Lähin oletus maankamaran rakenteesta perustuu heijastusseismisestä mittauksesta (MUSE1 -linja) tulkituun kerrosmalliin, jossa maapeitteen paksuus on noin 80 metriä ja savikivi ulottuu noin 275–360 metrin syvyyteen saakka. Tällöin matalien, 300 metrin pituisten lämpökaivojen tuottoa voidaan approksimoida skenaariolla, jossa maapeitteen paksuus on 80 metriä ja savikiveä on yli 250 metriä (kts. GTK:n Tutkimustyöraportin kuva 19). Kyseisessä skenaariossa yksi 300 metrin pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 15* MWh:a vuodessa (*kts. selitys lopussa). Lisäksi tehtiin uusi energiantuoton simulointi yksittäisestä 300 m pituisesta lämpökaivosta siten, että aluetta I sivuavien heijastusseismisten luotauspisteiden tulkinnoista laskettiin keskiarvot maapeitteen ja savikiven paksuudelle ja joille annettiin kirjallisuuteen perustuvat lämmönjohtavuudet. Näin saatiin approksimoitua maankamaran efektiiviseksi kokonaislämmönjohtavuudeksi 1,9 W/(m·K). Uudessa simuloinnissa huomioitiin GTK:n tutkimustyöraportin kuvan 25 mukainen energiankulutusjakauma. Tällöin yksittäinen 300 metrin pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 19,5 MWh/v, ja tähän lukemaan voidaan lisätä lämpöpumpun tuoman sähkötehon lisäys keskimääräisellä vuosilämpökertomella. Arvioitavaksi jää, mikä on alueen I pientalojen lämmitysenergiantarve ja kuinka monta matalaa lämpökaivoa tarvittaisiin sen kattamiseen. Talokohtaiset lämpökaivot voidaan asettaa riittävän etäälle toisistaan, mikä on suotavaa.

Geologista skenaariota approksimoiden, yksi 1 km:n pituinen keskisyvä kaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 180–220** MWh:a vuodessa (**kts. selitys lopussa) riippuen tilavuusvirrasta, 1 l/s vai 2 l/s. Arvioitavaksi jää, mikä on alueen I pientalojen yhteenlaskettu lämmitysenergiantarve ja riittääkö yksi keskisyvä (1 km) kaivo kattamaan sen. Yhtä 1 km:n pituisia keskisyviä kaivoja korvaamaan tarvittaisiin vähintään 12–14 kappaletta 300 metrin syvistä lämpökaivoja (riippuu kaivojen asettelusta ja etäisyydestä toisiinsa nähden), kun maankamaran fysikaaliset ominaisuudet (lämpötila ja lämmönjohtavuus) on huomioitu kirja-arvoina (todellista in-situ-tietoa ei ole käytössä). GTK:n tutkimustyöraportin taulukosta 5 nähdään, että syvemmillä noin 450–500 metrin pituisilla kaivoilla, kaivomäärä keskimäärin

19.11.2021

puolittuu verrattuna mataliin 300 metrin pituisiin kaivoihin, mutta tarkastelussa on huomioitava niiden olevan karkeita approksimaatioita. Yksi 2 km pituinen keskisyvä kaivo voisi puolestaan tuottaa noin 550** MWh/v.

Alueella I esiintyy epävarmuutta maapeitteen ja savikiven paksuudessa sekä niiden lateraaliossa vaihtelussa, koska seisminen heijastusluotauslinja MUSE1 vain sivuaa aluetta. Alueella olisi syytä tehdä testikairaus ja ADTS-mittaus kairanreiästä, jotta seismisen heijastusluotauksen tulkinta ja mallinnettujen rajapintojen syvyydet olisi mahdollista sitoa sekä näin varmistua heijastusseismisen menetelmän toimivuudesta Kirkkosaaren alueella. ADTS-mittauksella saadaan lisäksi selvitettyä väliaineen lämmönjohtavuus kerroksittain sekä lämpötila syvyyden funktiona. Savikiven huomattava paksuus huomioitaessa, tulisivat keskisyvä(t) kaivo(t) parhaiten kyseeseen tällä alueella. Alueelle on kuitenkin mahdollista porata 450–500 metrin pituisia kaivoja, mutta tällöin on huomioitava, että ne sijoittuisivat suurimmalta osalta savikiveen, samoin kuin vielä matalammat kaivot.

Kirkkosaaren pohjoisosa (ALUE II – IV)

Alueella II–IV maapeitteen ja savikiven paksuus vaihtelevat heijastusseismisten tulkintojen mukaan eniten. Maapeitteen paksuus vaihtelee Sitowisen pientaloversion kaavailemilla alueilla noin 25 metristä 80 metriin ja savikiven paksuus noin 120–380 metriin, joten huomattavia alueellisia eroja esiintyy, mikä lisää epävarmuutta arvioitaessa matalien ja keskisyvien kaivojen tuottoa. Tämänhetkisen tiedon perusteella alue II vaikuttaa heterogeenisimmältä. Alueeseen IV liittyy eniten epävarmuutta seismisten mittauspisteiden vähyyden vuoksi.

Alueella II maapeitteen paksuus vaihtelee noin 25–75 metriin ja savikiven paksuus noin 120–275 metriin. Skenaariolla, jossa maapeitettä on 30 metriä ja savikiveä 130 metriä, yksittäinen matala 300 metrin pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 24* MWh/v. Skenaariolla, jossa maapeitettä on 70 m ja savikiveä 275 m, yksittäinen matala lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 16* MWh/v. Vaihteluväli matalien kaivojen tuotossa alueella II on siis noin 16–24* MWh/v. Arviot perustuvat GTK:n tutkimustyöraportin kuvan 19 mukaisiin skenaarioihin. Lisäksi tehtiin uusi energiantuoton simulointi yksittäisestä 300 m pituisesta lämpökaivosta siten, että alueen II välittömässä läheisyydessä olevien heijastusseismisten luotauspisteiden tulkinnoista laskettiin keskiarvot maapeitteen ja savikiven paksuudelle ja niille annettiin kirjallisuuteen perustuvat lämmönjohtavuudet. Näin saatiin approksimoitua maankamaran efektiiviseksi kokonaislämmönjohtavuudeksi 2,0 W/(m·K). Uudessa simuloinnissa huomioitiin GTK:n tutkimustyöraportin kuvan 25 mukainen energiankulutusjakauma. Tällöin yksittäinen 300 metrin pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 19,5 MWh/v, ja tähän lukemaan voidaan lisätä lämpöpumpun tuoman sähkötehon lisäys keskimääräisellä vuosilämpökertomella. Arvioitavaksi jää, mikä on alueen II pientalojen lämmitysenergian tarve ja kuinka monta matalaa lämpökaivoa tarvittaisiin sen kattamiseen.

Geologisia skenaarioita approksimoiden, yksi 1 km pituinen keskisyvä kaivo voisi arviolta tuottaa lämmitysenergiaa noin 150–212** MWh:a vuodessa (**kts. selitys lopussa) sijainnista ja tilavuusvirrasta (1 l/s, 2 l/s) riippuen. Arvioitavaksi jää, mikä on alueen II pientalojen yhteenlaskettu lämmitysenergian-

19.11.2021

tarve ja riittääkö yksi keskisyvä (1 km) kaivo kattamaan sen. Yhtä 1 km pituista keskisyvää kaivoa korvaamaan tarvittaisiin vähintään 10–12 matalaa lämpökaivoa (riippuu kaivojen asettelusta ja etäisyydestä toisiinsa nähden), kun maankamaran fysikaaliset ominaisuudet (lämpötila ja lämmönjohtavuus) on huomioitu kirja-arvoina (todellista in-situ-tietoa ei ole käytössä). GTK:n tutkimustyöraportin taulukosta 5 nähdään, että syvemmillä noin 450–500 metrin pituisilla kaivoilla, kaivomäärä keskimäärin puolittuu verrattuna mataliin 300 metrin pituisiin kaivoihin, mutta tarkastelussa on huomioitava niiden olevan karkeita approksimaatioita. Yksi 600 metrin pituinen kaivo voisi tuottaa arviolta noin 98 MWh/v. Yksi keskisyvä 2 km:n pituinen kaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa arviolta noin 480–541** MWh/v.

Savikiven paksuus vaihtelee alueen II sisällä jopa 100 metriä. On mahdollista, että Sitowisen pientalo-kaavan kolmella rantaa lähimmällä tontilla maapeitteen ja savikiven paksuudet ovat pienemmät, jolloin matalammat kaivot voisivat tulla kyseeseen niillä (kartassa nämä tontit on esitetty ilman syvemmillä kaivoille soveltuvan alueen rasterointia). Siellä, missä savikiveä on paksummin, tulisivat keskisyvä(t) kaivo(t) parhaiten kyseeseen. Tämänhetkisen tiedon perusteella alueelle olisi mahdollista porata 450–500 metrin pituisia kaivoja tai 1 km keskisyvä kaivo. Mikäli esim. yksittäinen 1 km keskisyvä kaivo ei riitä kattamaan koko korttelin lämmitysenergiantarvetta, voisi pohjoisimpaan osaan korttelia sijoittaa lisäksi matalampia kaivoja.

Aluetta III voidaan approksimoida geologisella skenaariolla, jossa maapeitettä on 70–75 metriä ja savikiveä 320–350 metriä. Tällöin yksi matala, 300 m pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 15** MWh/v. Arvio perustuu GTK:n tutkimustyöraportin kuvan 19 mukaiseen skenaarioon. Lisäksi tehtiin uusi energiantuoton simulointi yksittäisestä 300 m pituisesta lämpökaivosta siten, että alueen III välittömässä läheisyydessä olevien heijastusseismisten luotauspisteiden tulkinnoista laskettiin keskiarvot maapeitteen ja savikiven paksuudelle, joille annettiin kirjallisuuteen perustuvat lämmönjohtavuudet. Näin saatiin approksimoitua maankamaran efektiiviseksi kokonaislämmönjohtavuudeksi 1,9 W/(m·K). Lisäksi huomioitiin GTK:n tutkimustyöraportin kuvan 25 mukainen energiankulutusjakauma. Tällöin yksittäinen 300 metrin pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 19,5 MWh/v, ja tähän lukemaan voidaan lisätä lämpöpumpun tuoman sähkötehon lisäys keskimääräisellä vuosilämpökertoimella. Arvioitavaksi jää, mikä on alueen III pientalojen lämmitysenergiantarve ja kuinka monta matalaa lämpökaivoa tarvittaisiin sen kattamiseen.

Yksi 1 km:n keskisyvä kaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa arviolta noin 180–220** MWh/v, ja sitä vastaamaan tarvittaisiin vähintään 12–14 matalaa 300 metrin pituista lämpökaivoa (riippuu kaivojen asettelusta ja etäisyydestä toisiinsa nähden), kun maankamaran fysikaaliset ominaisuudet (lämpötila ja lämmönjohtavuus) on huomioitu kirja-arvoina (todellista in-situ-tietoa ei ole käytössä). Yksi 2 km:n keskisyvä kaivo voisi tuottaa arvioilta noin 550** MWh/v.

Alueeseen III liittyy epävarmuutta maapeitteen ja savikiven paksuuden suhteen, koska alue on iso ja seisminen heijastusluotauslinja MUSE2 halkoo sen alueen keskeltä. Tämänhetkisen tiedon perusteella, maapeitteen ja savikiven huomattavat paksuudet huomioiden, alueelle soveliaimpia olisivat keskisyvä(t) 1–2 km kaivo(t). Alueella olisi syytä tehdä testikairaus ja ADTS-mittaus kairanreiästä, jotta seismisen heijastusluotauksen tulkinta ja mallinnettujen rajapintojen syvyydet voitaisiin sitoa, ja näin varmistua seismisen menetelmän tuottavan Kirkkosaaren alueella hyviä tuloksia. Alueelle on mahdollista

19.11.2021

sijoittaa 450–500 metrin pituisia kaivoja, mutta tällöin on huomioitava, että ne sijoittuisivat suurimalta osalta savikiveen.

Aluetta IV on haastava approksimoida geologisella skenaariolla, koska seisminen heijastusluotauslinja MUSE1 vain sivuaa sitä. Kyseisen linjan tulkinnan mukaan maapeitettä olisi noin 40 metriä ja savikiveä noin 150 metriä. Yksittäinen matala, 300 m pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 23** MWh/v. Arvio perustuu GTK:n tutkimustyöraportin kuvan 19 mukaiseen skenaarioon. Lisäksi tehtiin uusi energiantuoton approksimointi yksittäisestä 300 m pituisesta lämpökaivosta siten, että ei ainoastaan alueen IV läheisyydessä olevien heijastusseismisten luotauspisteiden tulkintoja huomioitu, vaan pyrittiin hieman ”ennustamaan” maapeitteen ja savikiven paksuudessa tapahtuvia muutoksia suhteessa alueisiin II ja III. Maankamaran lämmönjohtavuuden approksimoinnissa huomioitiin siten useamman luotauspisteen tulkinta, joista sitten laskettiin keskiarvot maapeitteen ja savikiven paksuudelle, ja joille annettiin kirjallisuuteen perustuvat lämmönjohtavuudet. Maankamaran efektiiviseksi kokonaislämmönjohtavuudeksi approksimoitiin 2,1 W/(m·K). Lisäksi huomioitiin GTK:n tutkimustyöraportin kuvan 25 mukainen energiankulutusjakauma. Tällöin yksittäinen 300 metrin pituinen lämpökaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa noin 20 MWh/v, ja tähän lukemaan voidaan lisätä lämpöpumpun tuoman sähkötehon lisäys keskimääräisellä vuosilämpökertoimella. Arvioitavaksi jää, mikä on alueen IV pientalojen lämmitysenergiantarve ja kuinka monta matalaa lämpökaivoa tarvittaisiin sen kattamiseen.

Karkeasti arvioiden, yksi 1 km:n keskisyvä kaivo voisi tuottaa noin 160–200** MWh/v ja sitä vastaamaan tarvittaisiin vähintään 10–12 matalaa lämpökaivoa (riippuu kaivojen asettelusta ja etäisyydestä toisiinsa nähden), kun maankamaran fysikaaliset ominaisuudet (lämpötila ja lämmönjohtavuus) on huomioitu kirja-arvoina (todellista in-situ-tietoa ei ole käytössä). Arvioitavaksi jää, mikä on alueen IV pientalojen yhteenlaskettu lämmitysenergiantarve ja riittääkö yksittäinen 1 km:n kaivo kattamaan sen. Yksi keskisyvä 2 km pituinen kaivo voisi tuottaa lämmitysenergiaa arviolta noin 480–500** MWh/v.

Aluetta IV on hankalin arvioida, minkä syvyiset kaivot tulisivat parhaiten kyseeseen, koska maapeitteen ja savikiven paksuuden lateraalisista vaihteluista ei ole varmuutta. Seisminen heijastusluotauslinja MUSE1 sivuaa aluetta pohjoisessa, joten luotauspisteitä on liian vähän. Maapeitteen ja savikiven paksuus Kirkkosaaren pohjoisosassa, rantaviivan suuntaisesti tulisi selvittää.

KERROSTALOT / LUKKAROINEN

Kerrostalojen osalta matalien (n. 300 m) ja keskisyvien (n. 450–2 000 m) kaivojen riittävää syvyyttä ja lukumäärää voidaan arvioida vasta, kun on tiedossa rakennusten lämmitysenergiantarve joko kerrostalokohtaisesti ja/tai korttelikohtaisesti. Samoin Kirkkosaaren pohjoisessa osassa tulisi selvittää maapeitteen ja savikiven paksuuden vaihtelu, mikäli kaivoja tultaisiin sijoittamaan sinne.

Lukkaraisen kerrostalokaavaan on merkitty alustavasti matalille ja keskisyville kaivoille soveltuvat alueet pohjautuen seismisten heijastusluotauslinjojen tulkintaan ja GTK:n tutkimustyöraportin energiansaannon simulointeihin (Taulukko 5). Yksittäisten keskisyvien kaivojen riittävä pituus ja matalista kaivoista koostuvien kaivokenttien oikea mitoitus tulee varmistaa tekemällä asianmukaiset, tarkentavat in-situ-tutkimukset (ensisijaisesti ADTS-mittaus, TRT-mittaus myös mahdollinen) ja simuloimalla niiden

19.11.2021

tuotto täsmentyneillä energiantarvetiedoilla. Riippumatta kaivojen syvyydestä, mitoitusta ei voida tehdä luotettavasti ilman oikeaa tietoa väliaineen fysikaalisista ominaisuuksista. Tämänhetkiset simuloinnit pohjautuvat kaikkienensa kirja-arvoihin maankamaran lämmönjohtavuudesta ja lämpötilasta. Maapeitteen ja savikiven paksuus vaihtelee Kirkkosaaren pohjoisosaan kaavailtujen kerrostalokorttelien alueilla huomattavastikin.

HUOMIOITAVAA JA JATKOTOIMET

Yksittäisen lämpökaivon tuotto riippuu kaivon syvyydestä ja siitä, miten maapeite, savikivi ja graniitti on suhteellisesti jakautunut (ja miten niiden todelliset lämmönjohtavuudet ovat jakautuneet) koko kaivon pituudella. Aivan Kirkkosaaren pohjoisosan pien- ja kerrostaloryppäessä maankamaran rakenne voi vaihdella lateraalisuunnassa huomattavastikin, joten lämpökaivojen tuotto vaihtelee sijainnin myötä. Epävarmuutta esiintyy maapeitteen ja savikiven paksuudessa. Tällainen heterogeenisuus huomioiden, lämpökaivoja ja -kaivokenttiä ei tulisi mitoittaa homogeenisen maan tavoin. Maapeitteen ja savikiven paksuuden arvioimiseksi muualla kuin seismisillä linjoilla, AMT-luotauksista ja heijastusseismisestä aineistosta tulkittujen rajapintojen luotettavuus tulisi tarkistaa esimerkiksi 1–2 testikairauksen avulla ja tekemällä kairanrei'istä ADTS-mittaus. ADTS-mittauksen etuna on, että se korvaa perinteisen TRT-mittauksen, joka edellyttää kaivon poraamista ja lämmönkeruuputkiston asentamista kaivoon.

ADTS:llä saadaan selvitettyä TRT-mittausta tarkemmin väliaineen lämmönjohtavuus kerroksittain (parhaimmillaan jopa 1 metrin tarkkuudella), vettä johtavat rakenteet ja lämpötila syvyyden funktiona, eli ne parametrit, joita käytetään energiakaivojen/-kaivokenttien mitoituksessa. ADTS-menetelmällä voidaan validoida seisminen tulkinta samalla, kun tehdään välttämättömät in-situ-tutkimukset. Mikäli testikairaus ja ADTS-mittaus korreloisivat hyvin AMT-luotausten ja heijastusseismisen aineiston kanssa niin, että tulkittujen rajapintojen syvyyksiä voitaisiin pitää luotettavina, olisi maapeitteen ja savikiven paksuuden vaihtelua muualla Kirkkosaassa helpompi arvioida. Tällä olisi suora hyöty kaivojen mitoitukseen kohdissa, joista ei ole mittaustietoa, eikä geofysikaalisia lisämittauksia välttämättä tarvittaisi lainkaan. Mikäli tulokset eivät korreloisi riittävän hyvin, niin sitten voisi miettiä geofysikaalisten lisämittausten tarvetta joissakin kohdin.

Yleisenä huomiona todetaan vielä, että pohjaveden pinta voi Kirkkosaassa sijaita 15–20 metrin syvyydellä, joten lämpökaivon aktiivisyvyyden varmistamiseksi, kaivoihin tulisi porata yhtä paljon lisämetrejä. Tämä korostuu matalissa lämpökaivoissa. Lämmönsiirto kaivossa tapahtuu parhaiten siinä osassa, joka on pohjaveden täyttämä. Pohjaveden pinnan yläpuolisessa osassa lämpö siirtyy heikommien, koska ilma on eriste.

Selitykset

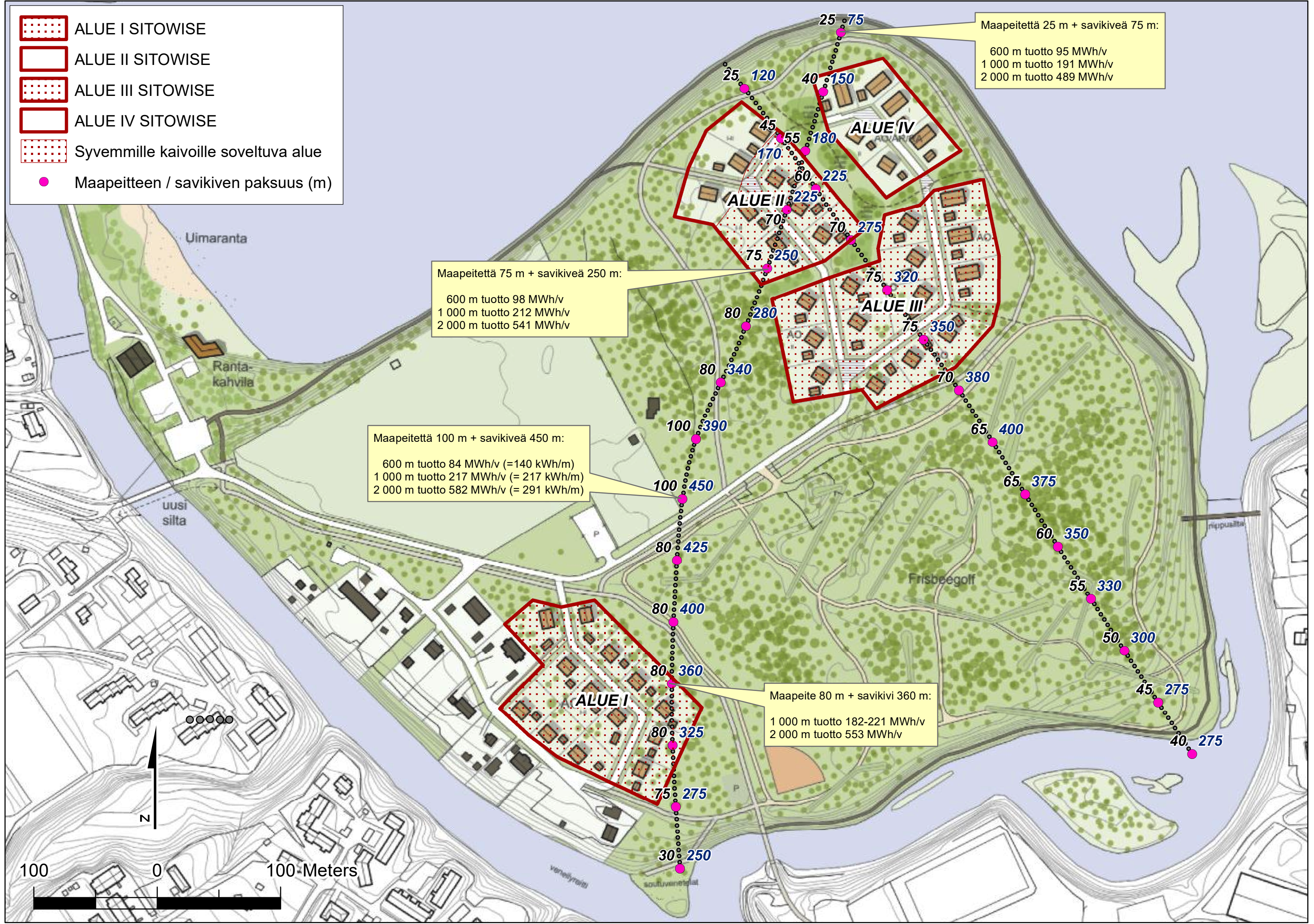
*Kyseinen energiamäärä on suoraan maankamarasta saatava geoenergian määrä (COP=0). Siihen voidaan vielä lisätä lämpöpumpun tuoman sähkötehon lisäys keskimääräisellä vuosilämpökertoimella.

19.11.2021

Tutkimusraportin kuvan 19 mukaiset matalan lämpökaivon laskelmat pohjautuvat tasaiseen lämmöntöön vakioteholla eikä kuukausittaista kulutusprofiilia (ml. talvikuukausien huipputehon tarve) näin ollen huomioitu. Mikäli vuosittainen kulutusprofiili huomioitaisiin, vuosittainen geoenergialla tuotetun lämmitysenergian määrä putoaisi hieman.

**Kyseinen energiamäärä on suoraan maankamarasta saatava geoenergian määrä (COP=0), joten siihen voidaan vielä lisätä lämpöpumpun tuoman sähkötehon lisäys keskimääräisellä vuosilämpökertoimella. Keskisyvien kaivojen laskelmissa on huomioitu tutkimusraportin kuvan 25 mukainen kulutusjakauma.

- ALUE I SITOWISE
- ALUE II SITOWISE
- ALUE III SITOWISE
- ALUE IV SITOWISE
- Syvemmille kaivoille soveltuva alue
- Maapeitteen / savikiven paksuus (m)



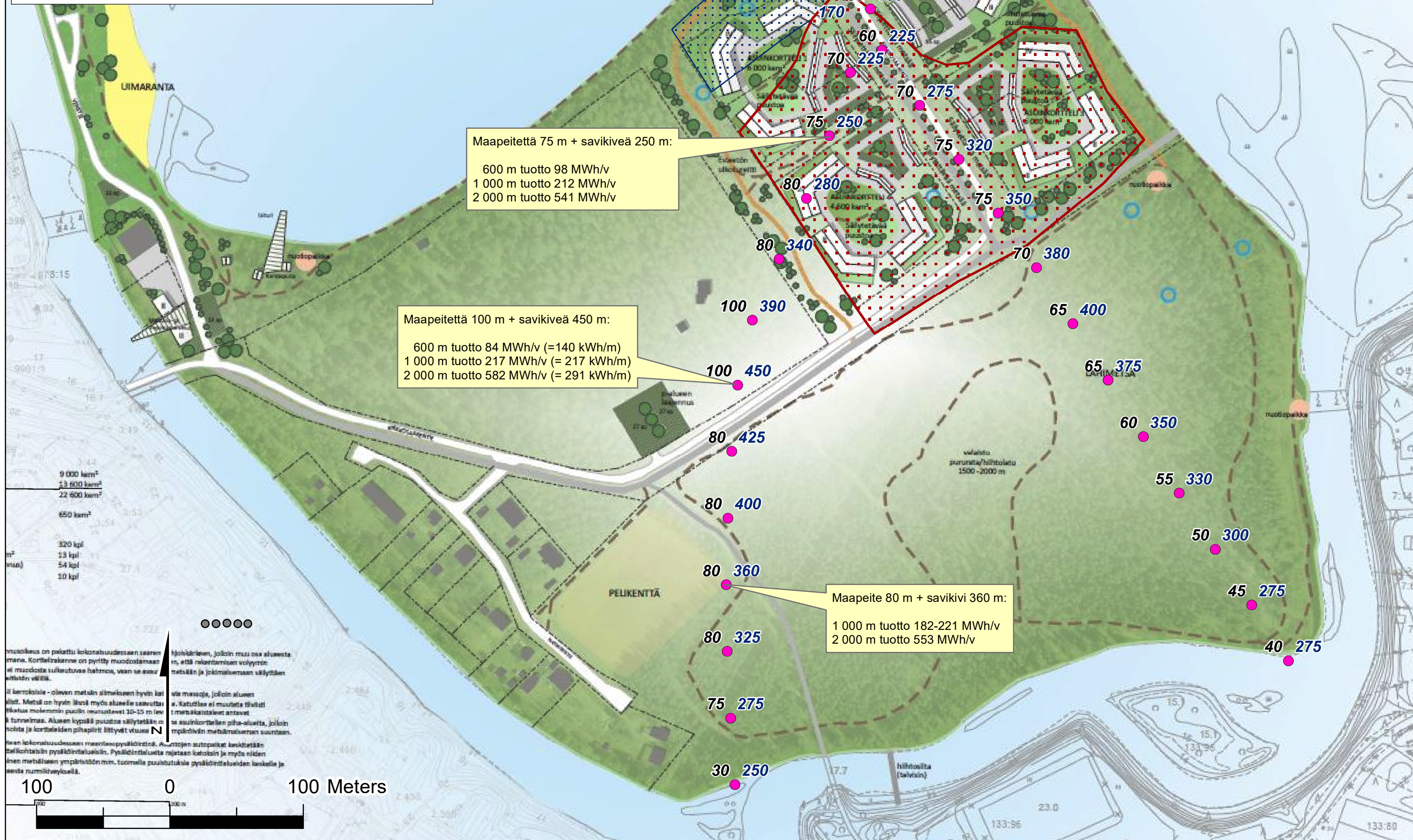
- Syvemille kaivoille soveltuva alue
- Matalammille kaivoille soveltuva alue
- Maapeitteen / savikiven paksuus (m)

Maapeitettä 25 m + savikiveä 75 m:
 600 m tuotto 95 MWh/v
 1 000 m tuotto 191 MWh/v
 2 000 m tuotto 489 MWh/v

Maapeitettä 75 m + savikiveä 250 m:
 600 m tuotto 98 MWh/v
 1 000 m tuotto 212 MWh/v
 2 000 m tuotto 541 MWh/v

Maapeitettä 100 m + savikiveä 450 m:
 600 m tuotto 84 MWh/v (=140 kWh/m)
 1 000 m tuotto 217 MWh/v (= 217 kWh/m)
 2 000 m tuotto 582 MWh/v (= 291 kWh/m)

Maapeite 80 m + savikivi 360 m:
 1 000 m tuotto 182-221 MWh/v
 2 000 m tuotto 553 MWh/v



9 000 km ²
13 600 km ²
22 600 km ²
650 km ²
320 kpl
13 kpl
54 kpl
10 kpl

muokkaukseen on perustuva kokonaisuudessaan saaren maan. Korttelirakennus on pyritty muokkaamaan ei muodosta sulkeutunutta hahmoa, vaan se avautuu ulkoiselle maailmalle.

Ilkioronkaisu - olevan metsän silmälakeen hyvin katkaisu. Metsä on hyvin läsnä myös alueen saarvuoissa kaksuus molemmiin puoliin neuvotavat 10-15 m leveä tunnelmas. Alueen kypäällä puustoa säilytetään on noista ja korttelien pihapiirit liittyvät viitaksi N

Maan kokonaisuudessaan maanrakennuspyrkimistään. Asuntojen autopaikat keskittetään pelikentän pylväikköalueillein. Pylväikköaluetta rajataan katoisin ja myös niiden linnen maillaan ympäristöön mm. tuomalla puustutuksia pylväikköaluiden keskelle ja seesta nurmikovyöhykellä.

Maanrakennuksen, jolloin muu osa alueesta on, että rakentamisen voimayrittä metsään ja jokimaiseman säilyttämisen välttäm.

Maanrakennuksen, jolloin alueen ei. Katutalua ei muuteta tiivistä maakaikastaluen antavat se asuin korttelien pihv-alueita, jolloin ympäröivän maanrakennuksen suuntaan.

