



Viipurin rapakivigraniitin lämmöntuotto Kymenlaaksossa

Geotieteiden kandiohjelma

Kandidaatintutkielma

Laatija:

Topias Järvinen

Ohjaajat:

Tuija Luhta

Professori Johanna Salminen

20.04.2026

Helsinki

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Osasto/Institution– Department Geotieteiden ja maantieteen osasto
Tekijä/Författare – Author Topias Järvinen		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Viipurin rapakivigraniitin lämmöntuotto		
Oppiaine /Läroämne – Subject Geotieteet		
Työn laji/Arbetets art – Level Kandidaatintutkielma	Aika/Datum – Month and year 04/2026	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of 27 + 1 liite (6 s.)
Tiivistelmä/Referat – Abstract Radiogeenisten alkuaineiden hajoamisesta vapautuva lämpö muodostaa merkittävän osan kallioperän geotermisestä potentiaalista. Tässä työssä tarkastellaan Viipurin rapakivibatoliitin lämmöntuottoa Kymenlaakson alueella ja arvioidaan alueen geotermisen energian hyödyntämismahdollisuuksia. Lämmöntuottopotentiaali laskettiin kentällä mitattujen uraanin (U), toriumin (Th) ja kaliumin (K) pitoisuuksien sekä aikaisemmassa tutkimuksessa mitatun alueen kallioperän tiheyden avulla. Tuloksista havaitaan eri kivilajien välillä selviä eroja lämmöntuottoarvoissa, mikä ilmenee Kymenlaaksossa arvojen alueellisena vaihteluna. Korkeimmat lämmöntuoton arvot ovat porfyryrisen ($7,94 \mu\text{W m}^{-3}$) ja tasarakeisen ($7,37 \mu\text{W m}^{-3}$) rapakivigraniitin vyöhykkeillä. Matalimmat lämmöntuoton arvot ovat viborgiitin vyöhykkeillä ($3,60 \mu\text{W m}^{-3}$). Kymenlaakson lämmöntuottopotentiaalia verrataan muihin Viipurin batoliittialueella litogeokemiallisin menetelmin tehtyihin tutkimuksiin. Tässä työssä mitattujen lämmöntuottoarvojen keskiarvo ($4,77 \pm 2,11 \mu\text{W m}^{-3}$) on virhemarginaalien puitteissa suhteessa muiden alan tutkimuksien tuloksiin ($3,6 \pm 1,2 \mu\text{W m}^{-3}$, $3,4 \pm 1,2 \mu\text{W m}^{-3}$). Tässä työssä tunnistetaan Valkmusan kansallispuiston itäpuoli sekä Kouvolan luoteis- /pohjoispuoli potentiaalisiksi kohteiksi geotermisen energian tuotantoon.		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Lämmöntuotto, Rapakivi, Uraani, Torium, Kalium		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information		

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	4
2. RADIOAKTIIVISET MENETELMÄT LÄMPÖPOTENTIAALIN ARVIOINNISSA.....	5
3. VIIPURIN RAPAKIVIBATOLIITIN GEOLOGINEN TAUSTA.....	6
4. AINEISTO JA MENETELMÄT	8
5. TULOKSET	10
6. TULOSTEN TARKASTELU.....	17
6.1 Viipurin rapakivibatoliitin lämmöntuotto.....	17
6.2 Viipurin rapakivibatoliitin lämmöntuoton vertailu aiempiin tutkimuksiin.....	21
6.3 Magmapulssin yhteys lämmöntuottoon.....	21
6.4 Tulosten vertailu lentogeofysiikan radiogeenisiin mittauksiin Kymenlaakson alueelta.....	22
7. JOHTOPÄÄTOKSET	25
8. KIITOKSET	26
VIITEET	27
LIITE 1	1

1. JOHDANTO

Energialähteet ovat keskeinen ja ratkaiseva resurssi ihmiskunnalle. Kiinnostus uusiutuviin energialähteisiin on kasvanut ilmastonmuutoksen hillitsemisen sekä luonnonvarojen kestävä käytön tarpeiden vuoksi. Geotermistä energiaa pidetään tulevaisuuden merkittävänä energialähteenä. Siinä suuri osa lämmöntuotosta aiheutuu radioaktiivisten isotooppien hajoamisesta. Radioaktiivinen lämmöntuotto syntyy uraanin (^{238}U ja ^{235}U) ja toriumin ^{232}Th hajoamissarjoista sekä kaliumin (^{40}K) yksivaiheisesta hajoamisesta. Fennoskandian kilven kallioperä on tunnettu yleisesti matalasta lämpövuostaan, mutta sen alueella löytyy poikkeuksia, joissa uraanin ja toriumin pitoisuudet ovat poikkeuksellisen korkeita (Veikkolainen ja Kukkonen 2019). Nämä alueet voivat muodostaa potentiaalisia alueita esimerkiksi geotermisen energian hyödyntämisen kannalta.

Mesoproterotsooinen Viipurin rapakivibatoliitti (1,67–1,62 Ga) on korkeiden uraani- ja toriumpitoisuuksiensa vuoksi lämmöntuotoltaan poikkeuksellinen alue Fennoskandian kilvessä (Veikkolainen ja Kukkonen 2019). Kaakkois-Suomessa ja Venäjän puolella sijaitseva batoliitti kattaa Kymenlaakson kallioperäalueen lähes kokonaan. Batoliitin kehitys on jaettu kolmeen peräkkäiseen magmapulssiin, joiden kehittyneisyysaste eroaa toisistaan (Rämö et al. 1991). Magmapulssien väliset erot näkyvät radiogeenisten alkuaineiden (U, Th ja K) pitoisuuksien vaihteluna batoliitin eri osissa ja heijastuvat alueen kivilajijakaumaan.

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena on arvioida Viipurin rapakivibatoliitin radiogeenistä lämmöntuottopotentiaalia Kymenlaakson alueella. Tutkielmassa tarkastellaan erityisesti eri kivilajien uraani-, torium- ja kaliumpitoisuuksia sekä verrataan alueen kokonaislämmöntuottoa aiempiin tutkimuksiin.

2. RADIOAKTIIVISET MENETELMÄT LÄMPÖPOTENTIAALIN ARVIOINNISSA

Radioaktiiviset alkuaineet tuottavat lämpöä hajoamisprosessinsa aikana, jossa epästabiili ydin siirtyy stabiilimpaan tilaan vapauttaen energiaa (Schön 2011, s. 107). Vapautuva energia ilmenee hiukkas- ja gammasäteilynä, jotka vuorovaikuttavat aineen kanssa muuttaen energian liike-energiaksi ja lämmittäen ympäröivää materiaalia kuten kiveä (Jiang et al. 2025). Merkittäviä lämpöä tuottavia radioaktiivisia alkuaineita ovat uraanin ^{238}U -ja ^{235}U -isotoopit, toriumin ^{232}Th -isotooppi sekä kaliumin ^{40}K -isotooppi (Veikkolainen ja Kukkonen 2019). Uraanin ja toriumin radioaktiivisten isotooppien hajoaminen koostuu useista peräkkäisistä alfahajoamisista, joissa ytimeä emittoituu alfahiukkanen (^4He -ydin) ja vapautuu runsaasti liike-energiaa (Schön 2011, p.108, 109). Kaliumin radioaktiivinen isotooppi hajoaa beetahajoamisella, jossa emission seurauksena vapautuu liike-energiaa (Schön 2011, s. 109). Hajoamisprosesseissa syntyvän gammasäteilyn avulla voidaan määrittää hajoavan radioaktiivisen alkuaineen pitoisuus esimerkiksi gammaspektrometrin avulla. Nämä pitoisuudet ovat radioaktiivisen lämmöntuoton suhteen keskeisessä asemassa, sillä lämmöntuotto (A) [μWm^{-3}] saadaan ratkaistuksi Rybachin (1976) kaavalla:

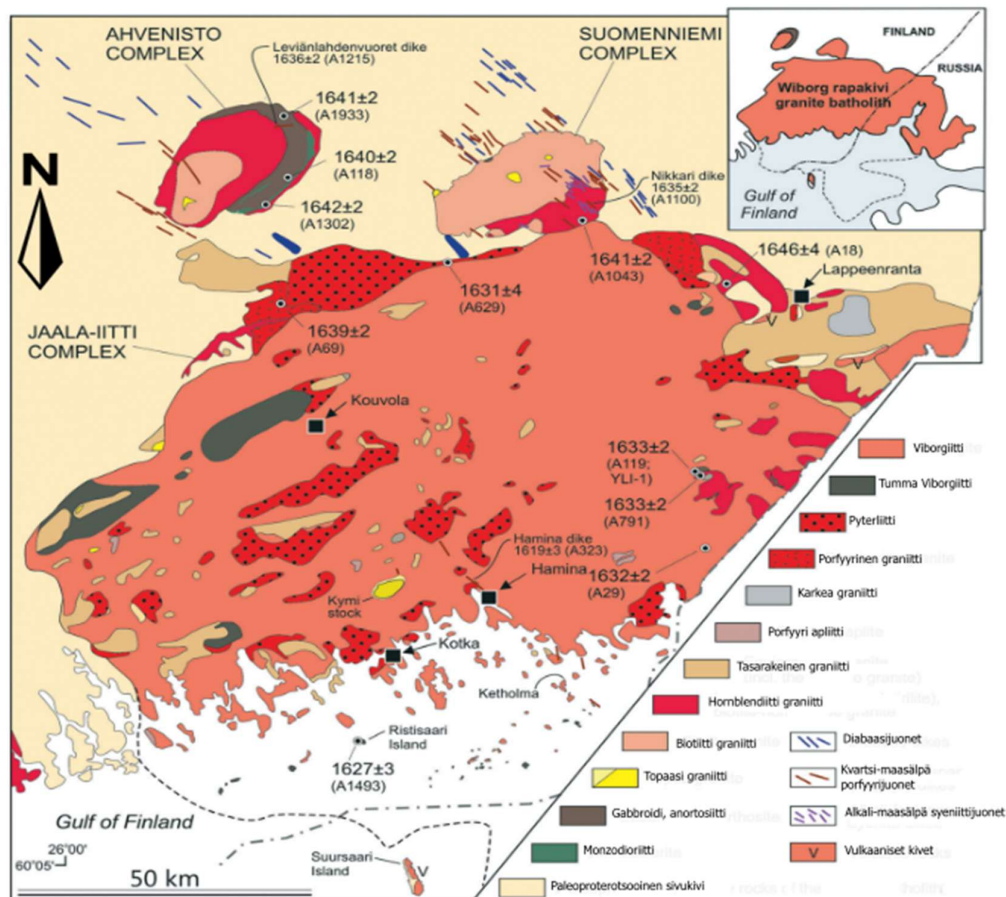
$$A = \rho(9.52C_U + 2.56C_{Th} + 3.48C_K) \times 10^{-5} \quad (1)$$

missä ρ on kallioperän tiheys [kgm^{-3}], C_U on uraanin pitoisuus [ppm], C_{Th} on toriumin pitoisuus [ppm] ja C_K on kaliumin pitoisuus [%].

Schönin (2011 s. 113) mukaan graniittisilla kivillä on tyypillisesti korkeimmat radioaktiivisten alkuaineiden pitoisuudet. Graniittisten kivien keskimääräinen kaliumpitoisuus on 4,11 [%], uraanipitoisuus on 4,35 [ppm] ja toriumpitoisuus on 15,2 [ppm]. Koska graniittisten kivien radioaktiivisten alkuaineiden pitoisuudet ovat korkeita, ovat myös lämmöntuoton arvot korkeita. Graniitin lämmöntuotto on keskimäärin 3,00 [μWm^{-3}] (Schön 2011).

3. VIIPURIN RAPAKIVIBATOLIITIN GEOLOGINEN TAUSTA

Viipurin rapakivibatoliitti on laajin rapakivialue koko Fennoskandian kilven alueella (Rämö et al. 2014). Batoliitti sijaitsee Kaakkois-Suomessa, ja osa siitä on Venäjän puolella (Kuva 1) (Rämö et al. 2014). Suomen puolelle sijoittuu noin 75 % Viipurin batoliitista, mikä vastaa noin 18 000 km² pinta-alaa (Rämö et al. 2014). Batoliitti on syntynyt noin 1,67–1,63 miljardia vuotta sitten anorogeenisessä vaiheessa, kun felsinen magma tunkeutui metamorfiseen kuoreen kuoren alaosan lämpenemisen seurauksena (Rämö et al. 1991).



Kuva 1. Geologinen kartta Suomen puoleisesta Viipurin rapakivibatoliitista, joka esittää vulkaanisten, plutonisten ja subvulkaanisten kivilajien levinneisyyden (muokattu Rämö et al. 2014). Karttaan on merkitty näytepisteitä, joista on saatu U-Pb-zirkoni-iat määritettyä.

Viipurin batoliitti on syntynyt Svekofennisen orogeenin (1,92–1,77 Ga) (Korja et al. 2006) jälkeisessä anorogeenisessä vaiheessa, ja sen kehitys voidaan jakaa kolmeen eri magmapulssiin (Rämö et al. 1991). Ensimmäinen magmapulssi tapahtui noin 1,67–1,66 Ga ja koostui pääosin anortosiiteistä ja diabaasijuonista, jotka tunkeutuivat jo intruusion varhaisessa vaiheessa Svekofenniseen kuoreen. Batoliitin muodostumisen päävaihe oli toinen magmapulssi (1,645–1,635 Ga), jolloin muodostui suurin osa tällä hetkellä paljastuneesta kallioperästä. Toinen magmapulssi koostui pääosin viborgiitista, pyterliitistä ja tummasta viborgiitista. Tämä oli merkittävä vaihe, sillä viborgiitti muodostaa noin 80 % koko batoliitin kallioperästä (Rämö et al. 1991). Toiseksi ja kolmanneksi yleisimmät batoliitin kivilajit ovat pyterliitti (n. 6 %) ja tumma viborgiitti (n. 5 %) (Rämö *et al.* 2014). Toisena tämän vaiheen merkittävänä tekijänä voidaan pitää magmapulssin yhteydessä esiintyviä laajoja kvartsi-maasälpäporfyryjuoniparvia sekä epätasaisesti kiteytyneitä graniitteja, jotka kuvaavat magman laajan leviämisen kuoreen (Rämö et al. 1991). Kolmas magmapulssi (1,625–1,620 Ga) koostuu pääosin tasarakeisista graniiteista ja kvartsi-*porfyry*juonista, jotka sisältävät batoliitin kaikkein kehittyneintä magmaa. Kehittyneisyys näkyy magmassa kemiallisesti eri alkuaineiden pitoisuuksissa, esimerkiksi tinan (Sn), sinkin (Zn), fluorin (F) ja rubidiumin (Rb) pitoisuudet ovat aiempia pulsseja korkeammat ja puolestaan bariumin (Ba), raudan (Fe), kaliumin (K), magnesiumin (Mg) ja fosforin (P) pitoisuudet ovat aiempia pulsseja matalampia (Haapala 1977). Pitoisuuksien kohoaminen näkyy erityisesti alueen malmipotentialissa, sillä kolmanteen pulssiin liittyy sekä sinkin että tinan mineralisaatiota (Rämö et al. 1991). Tasarakeisia graniitteja esiintyy Rämön (1991) mukaan Kymenlaaksossa esimerkiksi Suomenniemen alueella ja Kymin alueella.

Magmapulsseista syntyneen rapakivigraniitin tunnistaa rapakivitekstuuristaan. Rapakivien tapauksessa tämä on kivilajikohtainen (Rämö et al. 1991). Viborgiitin tunnistaa soikeista alkalimaasälpäkiteistä, joita ympäröi plagioklaasista koostuva kehä (Kuva 2). Pyterliitillä on viborgiittia muistuttava tekstuuri, mutta siitä puuttuu viborgiitille tunnusomainen plagioklaasikehä. Rapakivessä maasälvät ovat esiintyvyydeltään keskeisimmät mineraalit. Alkalimaasälvän ja plagioklaasin lisäksi batoliitin alueella yleisimmät mineraalit ovat kvartsi, biotiitti ja sarvivälke. Plagioklaasi esiintyy erilaisina pitoisuuksina kivilajin mukaan. Esimerkiksi tummassa viborgiitissa plagioklaasi on kalsiumpitoisempaa ja esiintyy vieraskiteinä, mikä viittaa sen olevan peräisin emäksisemmästä magmasta (Rämö et al. 1991).

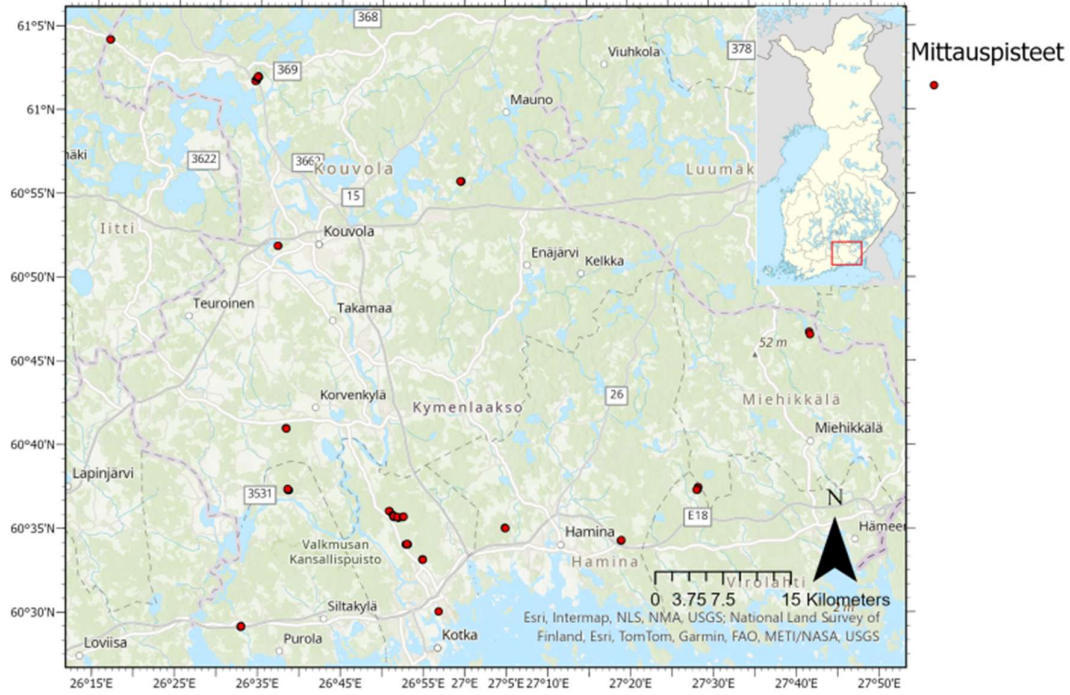


Kuva 2. Viborgiitti Peippolan alueella Kotkassa. Kuva Topias Järvinen. Koordinaatit: 6713110 N, 495159 E.

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

Kenttätyö tehtiin Kymenlaakson alueella elokuussa 2025 osana Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) projektia Geofysiikan menetelmien kehitys 3 (GeKe3). Mittaukset tehtiin ennalta valituilla kalliopaljastumilla (Kuva 3), joilla tehtiin 4–12 mittausta riippuen kalliopaljastuman koosta. Uraani-, torium-, ja kaliumpitoisuudet sekä annosnopeus määritettiin gammaspektrometrillä (RS-230 BGO-spektrometri) ja paikannus toteutettiin tarkkuus-GPS-laitteella (Trimble R12). Mittauspaikoissa

suoritettiin alustavat kenttähavainnot, jossa dokumentoitiin ja kirjattiin kalliopaljastuman kivilajit (Taulukko 1).



Kuva 3. Mittauspisteet Kymenlaakson alueella (mukaillen Newwebcreations 2025).

Taulukko 1. Mittaaminen Kymenlaakson alueella kivilajeittain.

Kivilaji	Mittauspaikkojen määrä	Mittausten määrä
Viborgiitti	13	76
Pyterliitti	2	11
Tasarakainen rapakivigraniitti	1	12
Porfyyrinen apliitti / Viborgiitti	2	13
Mikrokliinigraniitti	1	6
Porfyyrinen rapakivigraniitti	2	15
	21	133
		Yhteensä

Gammaspektrometrin tuloksista määritettiin Kaavan 1 avulla mittauspisteiden lämmöntuoton arvot. Kallioperän tiheys (ρ) seurailee Veikkolainen ja Kukkonen (2019) arvoja. Tässä tutkielmassa käytettiin koko Kymenlaakson alueen kallioperän keskitiheyttä eli $2650 \text{ [kgm}^{-3}\text{]}$. Uraanin, toriumin, kaliumin, annosnopeuden ja lämmöntuoton tulosten keskihajonta määritettiin otoskeskihajontana. Mittauspisteiden koordinaatit, gammaspektrometrin tulokset, sekä määritetyt lämmöntuoton arvot visualisoitiin ArcGIS Pro – sovelluksessa. ArcGIS Pro – sovelluksen pohjakartan lisäksi tuotiin GTK:n Hakkupalvelusta Kallioperänpohjakartta (1: 200 000) (viimeisin päivitys 1.6.2022). Lämpöarvon tuloksia myös analysoitiin ANOVA-testillä, joka suoritettiin Python-ohjelmointikielellä. Testin raakadatana käytettiin kivilajikohtaisia otosmääriä (Taulukko 1), keskiarvoja ja otoskeskihajontaa (Taulukko 2).

5. TULOKSET

Suurin lämmöntuotto on porfyyrisen ja tasarakeisen rapakivigraniitin alueilla (Taulukko 2). Porfyyrinen rapakivigraniitti erottuu erityisesti korkeilla uraani- (11,95 ppm) ja toriumarvoillaan (66,18 ppm), mikä johtaa suurimpaan laskettuun lämmöntuottoarvoon ($7,94 \mu\text{W m}^{-3}$). Tasarakeisen rapakivigraniitin uraani- (16,13 ppm) ja toriumarvot (42,53 ppm) ovat myös korkeita, ja sen lämmöntuotto on toiseksi suurin ($7,37 \mu\text{W m}^{-3}$). Pyterliitissä ja mikrokliinigraniitissa radioaktiivisten alkuaineiden pitoisuudet ovat pienempiä kuin tasarakeisella rapakivigraniitilla, joilla lämmöntuotto asettuu välille $5,71\text{--}5,78 \mu\text{W m}^{-3}$. Porfyyrisen apliitin lämmöntuoton arvo on matalampi ($4,74 \mu\text{W m}^{-3}$). Viipurin rapakivibatoliitin matalin lämmöntuotto on viborgiitissa ($3,60 \mu\text{W m}^{-3}$). Uraanin, kaliumin, toriumin ja annosnopeuden keskihajonnat heijastuvat kivilajin lämmöntuoton keskihajontaan. Lämmöntuoton keskihajonnassa havaitaan suuri ero viborgiitin ja kaikkien muiden tutkittujen kivilajien välillä. Viborgiitilla on selvästi matalin keskihajonta (0,54), jota seuraa tasarakeinen rapakivigraniitti (0,77) ja mikrokliinigraniitti (1,38). Korkeimmat lämmöntuoton keskihajonnat ovat porfyyrisellä rapakivigraniitilla (3,00) ja pyterliitillä (2,10).

Taulukko 2. Viipurin rapakivibatoliitin radioaktiivisten alkuaineiden pitoisuudet ja lämmöntuottoarvot.

Kivilaji	Kalium [%]	Uraani [ppm]	Torium [ppm]	Annosnopeus [nSv/h]	Lämmöntuotto [μWm^{-3}]
	$\bar{x} / \sigma$	$\bar{x} / \sigma$	$\bar{x} / \sigma$	$\bar{x} / \sigma$	$\bar{x} / \sigma$
Viborgiitti	4.64 / 0.28	6.03 / 1.13	24.35 / 4.43	184.2 / 29.39	3.60 / 0.54
Pyterliitti	4.99 / 0.30	9.65 / 2.71	41.54 / 21.75	270.9 / 85.68	5.71 / 2.10
Tasaraakeinen rapakivigraniitti	4.58 / 0.35	16.13 / 2.62	42.53 / 7.42	302.7 / 40.48	7.37 / 0.77
Porfyrynen apliitti / Viborgiitti	4.41 / 0.86	9.19 / 2.95	29.64 / 13.65	218.3 / 65.42	4.74 / 1.63
Mikrokliinigraniitti	4.95 / 0.46	9.10 / 2.66	44.68 / 10.73	278.1 / 47.52	5.78 / 1.38
Porfyrynen rapakivigraniitti	4.74 / 0.32	11.95 / 6.76	66.18 / 20.27	359.5 / 109.12	7.94 / 3.00

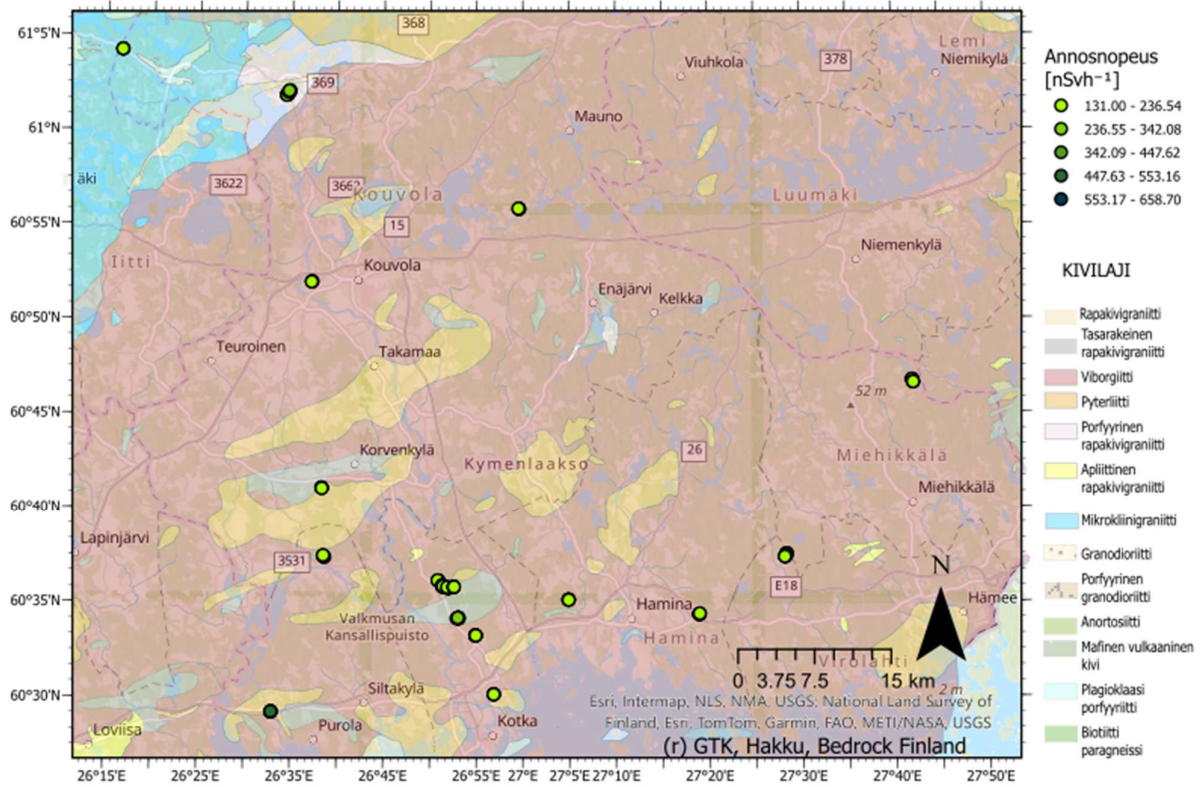
Missä: $\bar{x}$ = keskiarvo ja σ = Keskihajonta.

Viipurin rapakivibatoliitin radioaktiivisten alkuaineiden pitoisuuksista ja lämmöntuottoarvoista tehtiin ANOVA-testi, joka osoittaa, että kivilajien väliset erot lämmöntuotossa ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0,001$). Kaikkien mittauspisteiden laskettu lämmöntuotto on keskimäärin $4,77 \mu\text{Wm}^{-3}$ (Taulukko 3). Lämmöntuoton keskihajonta on $2,11 \mu\text{Wm}^{-3}$ ja minimi- ja maksimiarvot ovat $2,35$ ja $16,22 \mu\text{Wm}^{-3}$. Mittauspisteiden uraanin, toriumin ja kaliumin pitoisuudet ovat keskimäärin $8,29$ ppm, $33,17$ ppm ja $4,66$ %, vastaavasti.

Taulukko 3. Viipurin rapakivibatoliitin radioaktiivisten alkuaineiden pitoisuuksien ja lämmöntuoton tilastolliset tunnusluvut.

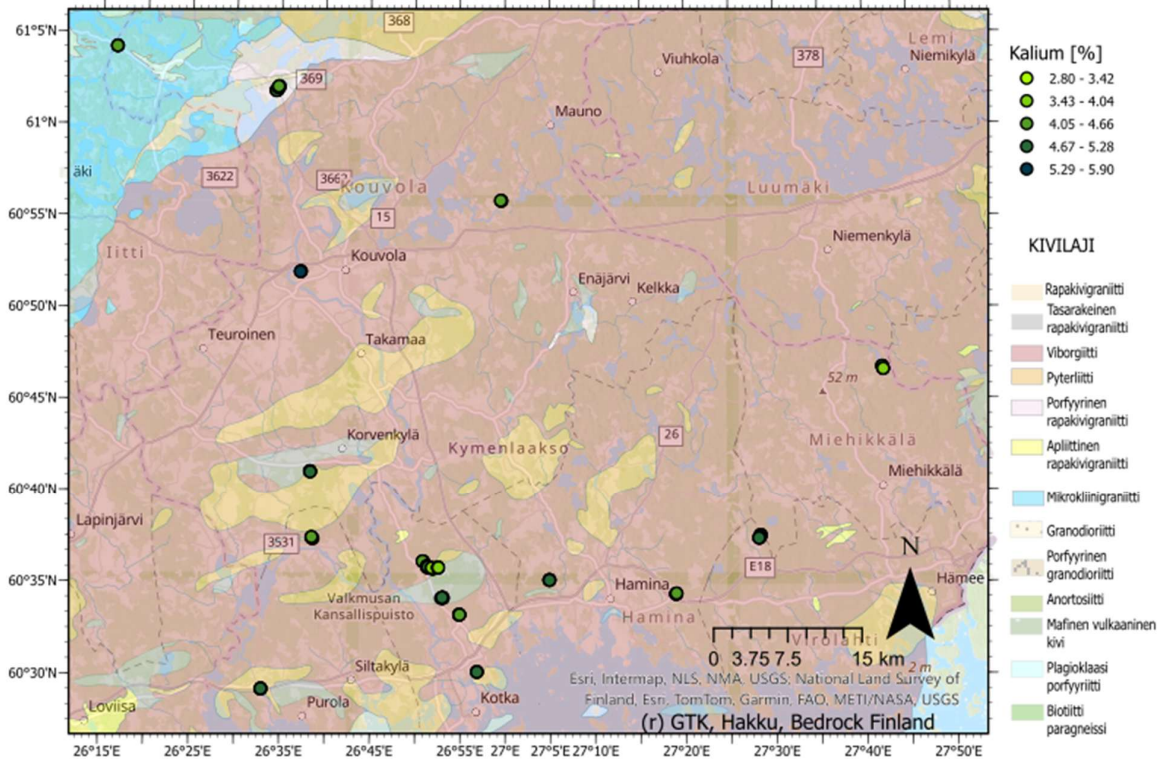
	Annosnopeus [nSv/h]	Kalium [%]	Uraani [ppm]	Torium [ppm]	Lämmöntuotto [μWm ⁻³]
Keskiarvo	229.05	4.66	8.29	33.17	4.77
Mediaani	197.00	4.70	6.90	26.00	3.91
Maksimiarvo	658.70	5.90	32.40	118.10	16.22
Minimiarvo	131.00	2.80	3.20	7.80	2.35
Keskihajonta (otos)	79.43	0.42	4.25	17.35	2.11

Annosnopeus vaihtelee eri puolilla Viipurin batoliittia kivilajin mukaan (Kuva 4). Suurin osa alueesta on viborgiittia, jossa arvot ovat matalia (131-342,08 nSv h⁻¹). Porfyirisestä rapakivigraniitista, tasarakeisesta rapakivigraniitista ja mikrokliinigraniitista mitattiin korkeimmat annosnopeuden arvot (236,55-658,70 nSv h⁻¹), josta porfyirisellä rapakivigraniitilla on suurin arvo (658,70 nSv h⁻¹). Maantieteellisesti Kotkan itäpuolella ei havaittu suuria annosnopeussarvoja, koska alueen mittauspisteet ovat pääosin viborgiittia. Yksittäisiä suuria annosnopeuden arvoja puolestaan sijaitsee likimain Kouvolan luoteis-/pohjoispuolella (porfyyrinen rapakivigraniitti), Kotkan pohjoispuolella (tasarakeinen rapakivigraniitti) sekä Purolan länsipuolella (pyterliitti).



Kuva 4. Kannettavalla gammaspektrometrillä määritetty annosnopeus Viipurin rapakivibatoliitissa. ArcGIS-pohjakarttana kallioperäkartta (Hakkupalvelusta, GTK).

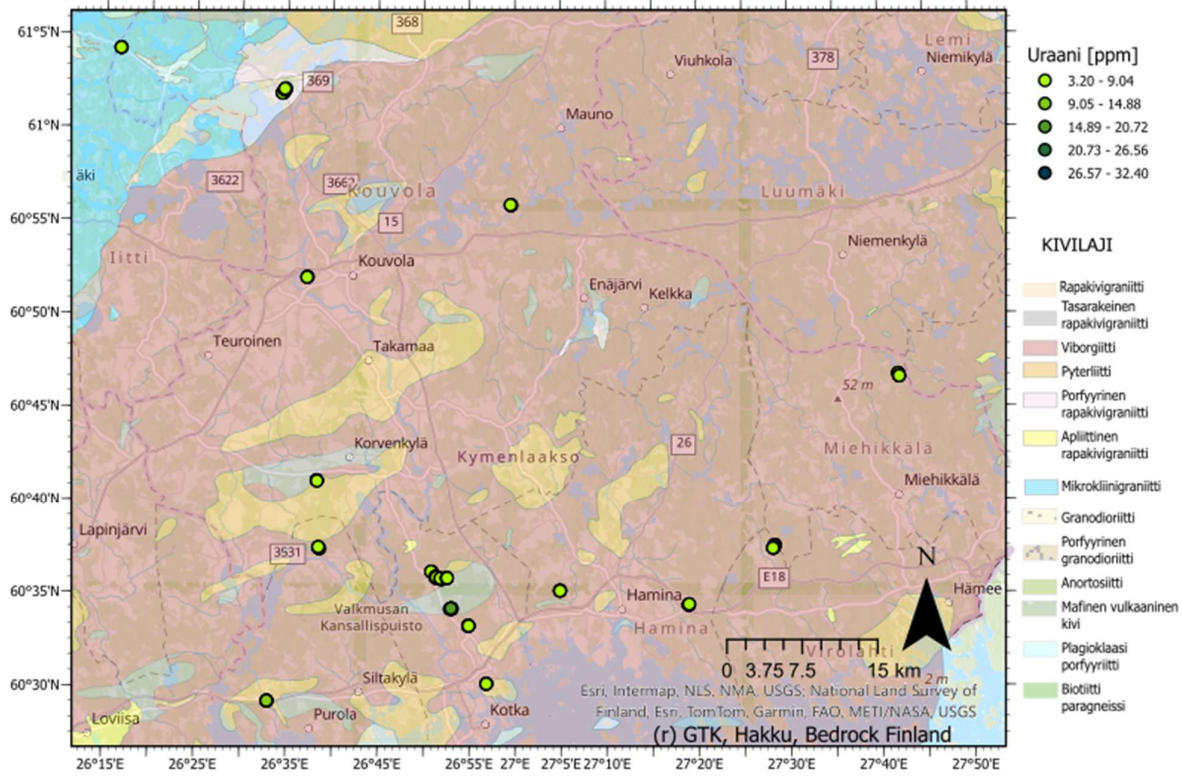
Korkeimmat kaliumarvot mitattiin pyteriittisestä rapakivigraniitista (4,05–5,90 %) (Kuva 5). Merkittäviä eroja ei esiintynyt kivilajien välillä. Yksittäisiä korkeita kaliumin pitoisuusarvoja sijaitsee Kotkan alueella (pyteriitti, viborgiitti), Kouvolan länsipuolelta (viborgiitti), Purolan länsipuolelta (pyteriitti) ja Haminan länsipuolelta (viborgiitti).



Kuva 5. Kannettavalla gammaspektrometrillä määritetty kaliumpitoisuus Viipurin rapakivibatoliitissa. ArcGIS-pohjakarttana kallioperäkartta (Hakkupalvelusta, GTK).

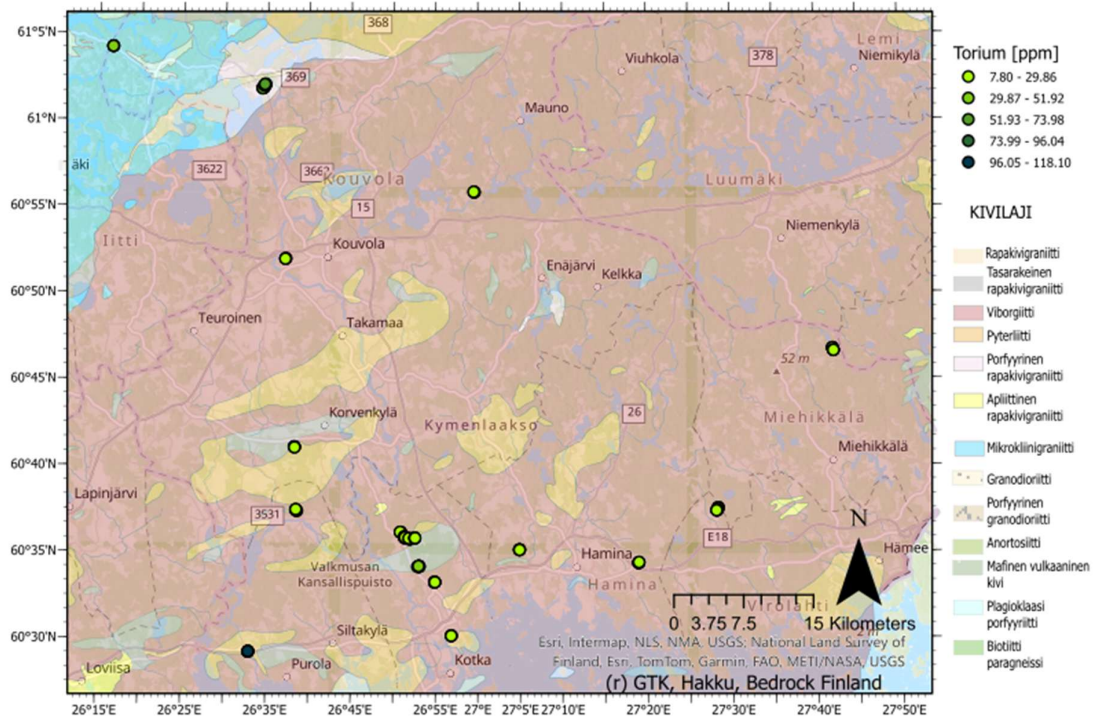
Suurimmat uraanipitoisuudet esiintyvät porfyirisellä ja tasarakeisilla rapakivigraniitin vyöhykkeillä, joissa havaitaan myös eniten kivilajin sisällä esiintyvää arvojen vaihteluja (Kuva 6). Etenkin Kouvolan luoteis-/pohjoispuoleisella porfyirisellä rapakivigraniitin vyöhykkeellä uraanipitoisuudet eroavat kivilajin sisällä (3,2–32,40 ppm). Viborgiitin ja apliittisten rapakivigraniittien uraanipitoisuudet ovat Viipurin batoliitin heikoimpia (3,2–14,88 ppm). Yksittäisiä korkeita arvoja Kouvolan luoteis-/pohjoispuolen lisäksi sijaitsee Valkmusan kansallispuiston itäpuolella (tasarakeinen rapakivigraniitti) ja Purolan länsipuolella (pyterliitti).

Toriumpitoisuuksien jakauma (Kuva 7) muistuttaa uraanipitoisuuksien jakaumaa (Kuva 6). Suurimmat pitoisuusarvot esiintyvät porfyirisellä ja tasarakeisella rapakivigraniitin, pyterliitin ja mikrokliniigraniitin alueella. Viborgiitin ja apliittisen rapakivigraniitin alueilla pitoisuudet ovat alhaisemmat. Yksittäinen suurin arvo (118,10 ppm) sijaitsee Purolan länsipuolella (pyterliitti).

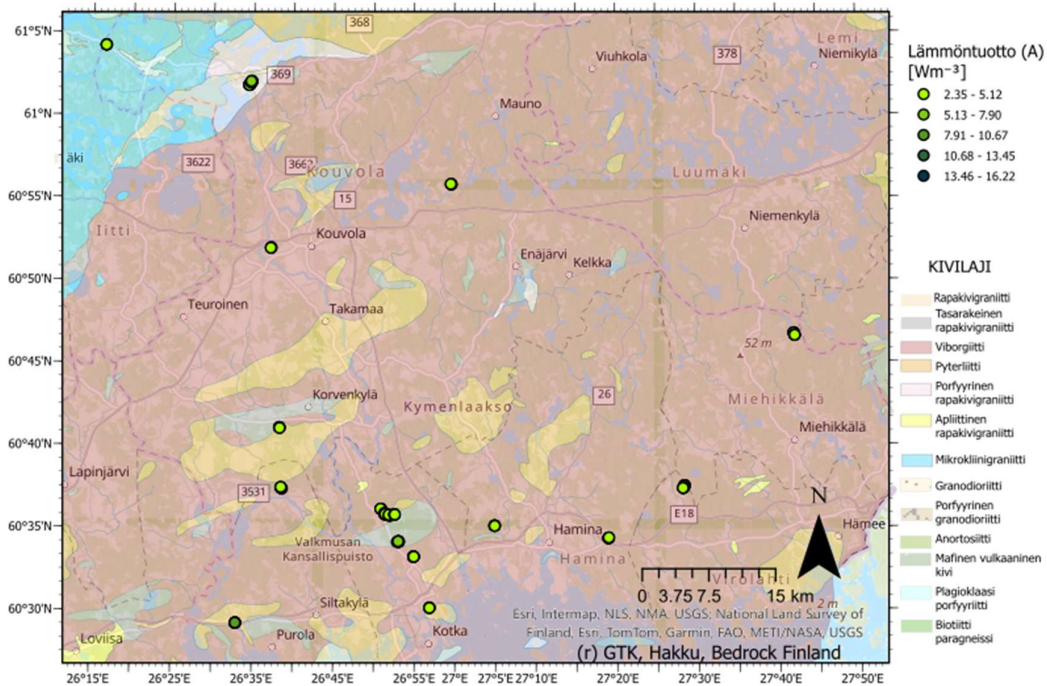


Kuva 6. Kannettavalla gammaspektrometrillä määritetty uraanipitoisuus Viipurin rapakivibatoliitissa. ArcGIS-pohjakarttana kallioperäkartta (Hakkupalvelusta, GTK).

Viipurin batoliitin lämmöntuoton arvot (Kuva 8) seuraavat kartalla kivilajien rajoja ja eri kivilajit erottuvat toisistaan lämmöntuoton suuruuden perusteella. Tutkimusalueen suurimmat arvot ovat porfyryisen ja tasarakeisen rapakivigraniitin ($5,13\text{--}16,22 \mu\text{Wm}^{-3}$) alueilla. Yksittäisiä suuria arvoja havaittiin myös pyteriitin ($7,91\text{--}10,67 \mu\text{Wm}^{-3}$) (Purolan länsipuolella) ja mikrokliinigraniitista ($5,13\text{--}7,91 \mu\text{Wm}^{-3}$). Viborgiitin lämmöntuoton arvot ovat kartassa batoliitin matalimmat ($2,35\text{--}5,12 \mu\text{Wm}^{-3}$).



Kuva 7. Kannettavalla gammaspektrometrillä määritetty toriumpitoisuus Viipurin rapakivibatoliitissa. ArcGIS-pohjakarttana kallioperäkartta (Hakkupalvelusta, GTK).



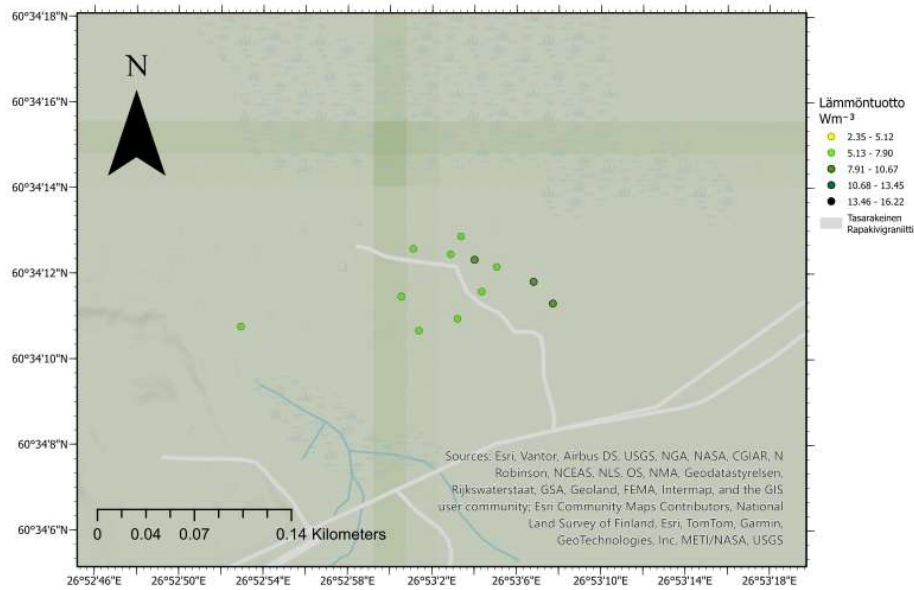
Kuva 8. Kaliumin-, uraanin- ja toriumpitoisuuksista määritetty (Kaava 1) lämmöntuotto Viipurin rapakivibatoliitissa. ArcGIS-pohjakarttana kallioperäkartta (Hakkupalvelusta, GTK).

6. TULOSTEN TARKASTELU

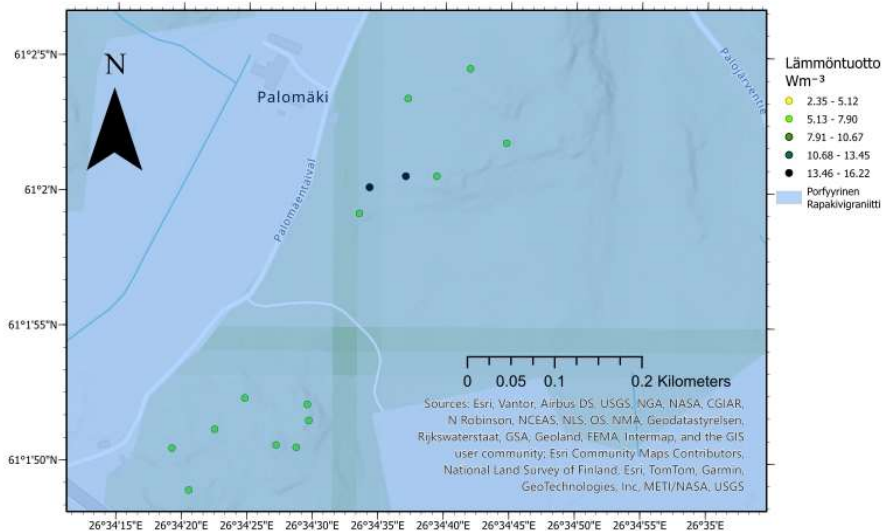
6.1 Viipurin rapakivibatoliitin lämmöntuotto

Koska viborgiitti on hallitseva kivilaji Viipurin batoliitissa (Rämö et al. 1991), mittauspisteet sijoittuivat pääosin viborgiittialueelle (Taulukko 1). Tämä mahdollistaa viborgiitin tuloksille realistisemmat tulkinnat sen selvästi suurimman otoskoon ansiosta. Muilla tämän työn kivilajeilla mittauksia on vain 1–2 kalliopaljastumalta (Taulukko 1), mikä heikentää muiden kivilajien tuloksien edustavuutta. Viborgiitin lämmöntuoton keskiarvot ($3,60 \mu\text{Wm}^{-3}$) jäivät kuitenkin selvästi alle koko tutkimusalueen keskiarvon ($4,77 \mu\text{Wm}^{-3}$) (Taulukko 3).

Porfyirisellä ja tasarakeisella rapakivigraniitilla oli suurimmat lämmöntuoton arvot, joissa porfyirisellä rapakivigraniitilla oli $7,94 \mu\text{Wm}^{-3}$ ja tasarakeisella rapakivigraniitilla $7,37 \mu\text{Wm}^{-3}$. Tämä ylittää selvästi koko tutkimusalueen keskiarvon ($4,77 \mu\text{Wm}^{-3}$) (Taulukko 3). Alueellisesti Kymenlaaksossa potentiaalisimmat geotermisen energian alueet sijaitsivat Purolan länsipuolella (pyterliitti), Valkmusan kansallispuiston itäpuolella (tasarakeinen rapakivi) (Kuva 9) ja Kouvolan luoteis-/pohjoispuolella (porfyyrinen rapakivi) (Kuva 10). Saadut tulokset tarjoavat perustan Kymenlaakson geotermisen energiapotentiaalin arvioinnille ja auttavat samalla tunnistamaan potentiaalisimmat mittauspaikat jatkotutkimuksia varten.

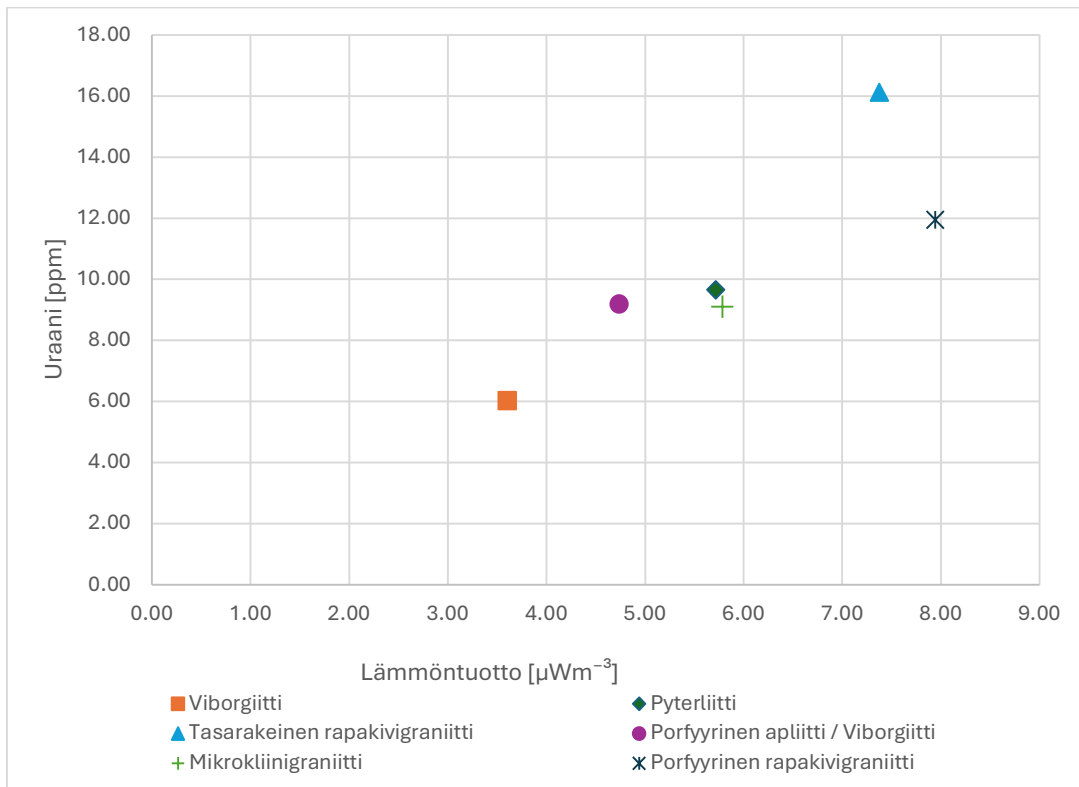


Kuva 9. Kaliumin-, uraanin- ja toriumpitoisuuksista määritetty (Kaava 1) lämmöntuotto Valkmusan kansallispuiston itäpuolella (tasaraakeinen rapakivigraniitti). ArcGIS-pohjakarttana kallioperäkartta (Hakkupalvelusta, GTK).

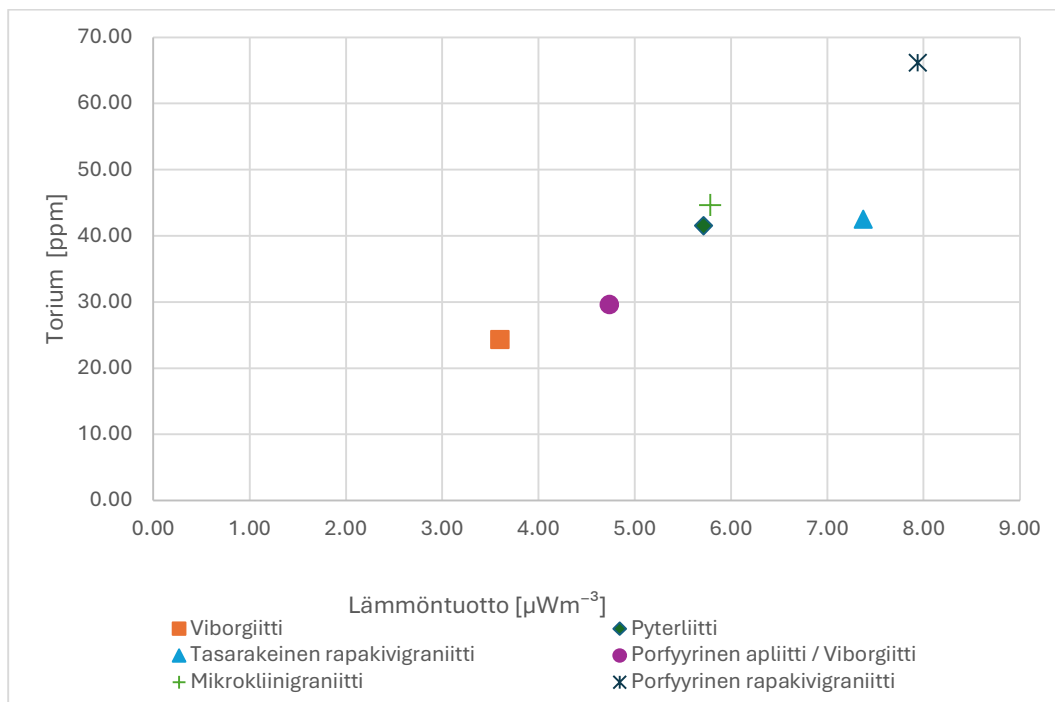


Kuva 10. Kaliumin-, uraanin- ja toriumpitoisuuksista määritetty (Kaava 1) lämmöntuotto Kouvola luoteis-/pohjoispuolella (porfyryinen rapakivigraniitti). ArcGIS-pohjakarttana kallioperäkartta (Hakkupalvelusta, GTK).

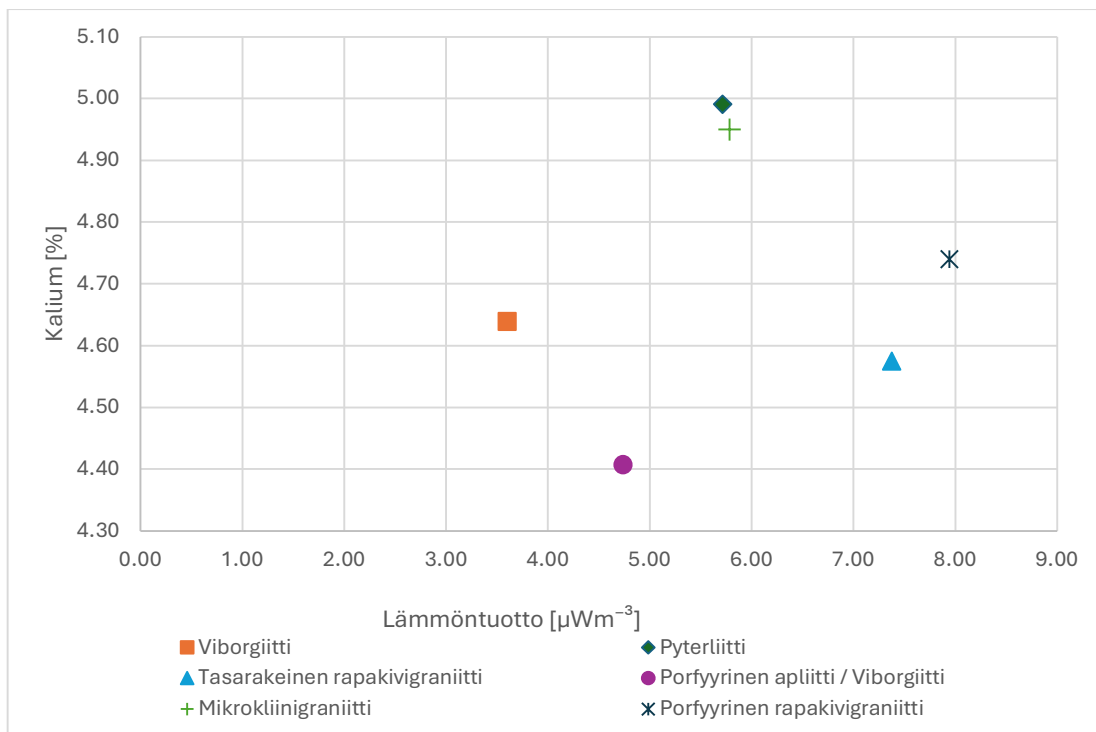
Viipurin rapakivibatoliitin kivilajien radiogeenisen lämmöntuoton havaitaan vaihtelevan merkittävästi uraanin ja toriumin pitoisuuksien mukaan (Kuvat 11 ja 12), kun taas kaliumpitoisuuden vaihtelu on suhteellisen vähäistä eikä näytä vaikuttavan lämmöntuottoon yhtä selkeästi (Kuva 13). Tämä havainto selittää, miksi porfyryinen ja tasarakeinen rapakivigraniitti tuottavat korkeimmat lämmöntuottoarvot alhaisesta kaliumpitoisuudestaan huolimatta, mikä selittyy niiden korkeilla uraani- ja toriumpitoisuuksilla.



Kuva 11. Viipurin rapakivibatoliitin eri kivilajien uraanipitoisuuden verrannollisuus lämmöntuottoon.



Kuva 12. Viipurin rapakivibatoliitin eri kivilajien toriumpitoisuuden verrannollisuus lämmöntuottoon.



Kuva 13. Viipurin rapakivibatoliitin eri kivilajien kaliumpitoisuuden verrannollisuus lämmöntuottoon.

6.2 Viipurin rapakivibatoliitin lämmöntuoton vertailu aiempiin tutkimuksiin

Viipurin batoliitista on tehty useita tutkimuksia alueen lämmöntuotosta. Käyttäen litogeokemiallista aineistoa Veikkolainen et al. (2021) määrittivät Viipurin rapakivialueen lämmöntuoton keskiarvoksi $3,6 \pm 1,2 \mu\text{Wm}^{-3}$. Saman menetelmän avulla Veikkolaisen ja Kukkosen (2019) työssä saatiin Viipurin rapakivialueen lämmöntuoton tulokseksi $3,4 \pm 1,2 \mu\text{Wm}^{-3}$. Vaikka tässä työssä määritetyt lämmöntuoton arvojen keskiarvot havaitaan olevan edellisiä tutkimuksia korkeampia ($4,77 \pm 2,11 \mu\text{Wm}^{-3}$), ovat tulokset virhemarginaalien puitteissa. Aiempien tutkimuksien tulokset vastaavat jokseenkin tämän työn viborgiitin lämmöntuottoa (Taulukko 2). Tulosten välinen ero keskiarvossa ja keskihajonnassa voi johtua käytettyjen menetelmien eroista. Tämän työn tulokset on tuotettu maastossa gammaspektrometrimittausten avulla, kun taas aiempien tutkimuksien tulokset on tuotettu litogeokemiallisin menetelmin eli tutkimalla kivilajia geokemiallisesti laboratoriossa. Keskihajonnan ero voi myös johtua mittauspisteiden kivilajijakaumasta, sillä Viipurin rapakivibatoliittialue koostuu 80 % viborgiitista (Rämö et al. 1991) ja tässä työssä viborgiitin osuus oli noin 58 % mittauspisteistä (Taulukko 1). Viborgiitti eroaa muista kivilajeista matalammalla lämmöntuoton keskiarvolla sekä pienemmällä keskihajonnalla (Taulukko 2), mikä voi edustavuuden kannalta vaikuttaa tuloksiin.

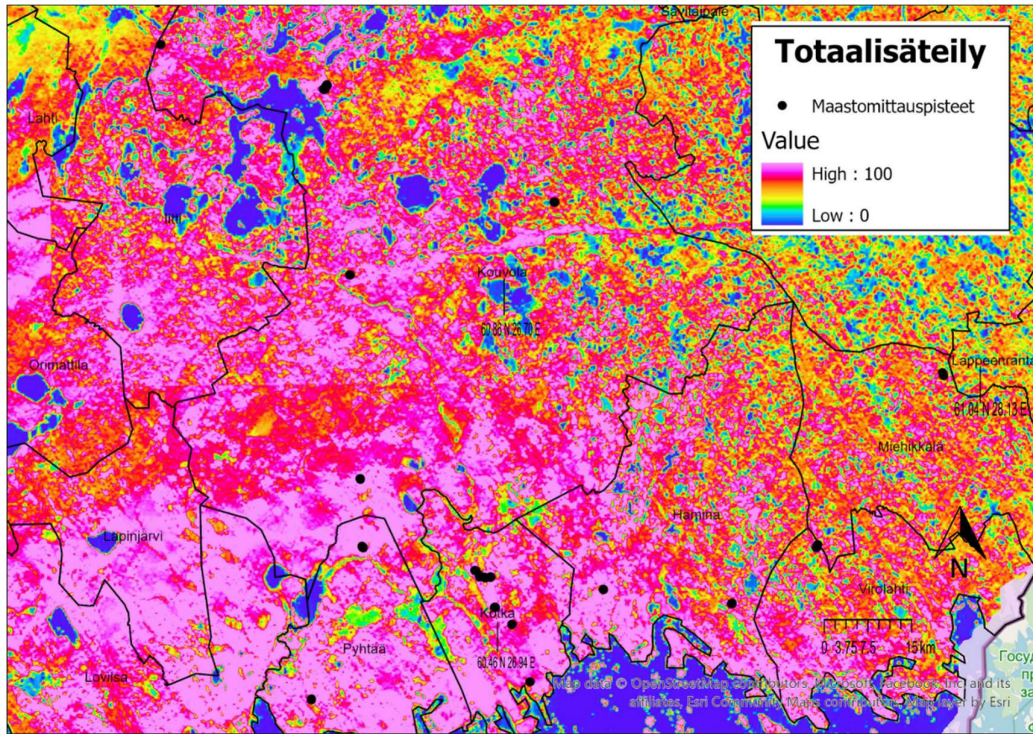
6.3 Magmapulssin yhteys lämmöntuottoon

Viipurin rapakivibatoliittialueen syntyyn liittynyt viimeisin eli kolmas magmapulssi oli kaikista voimakkaimmin fraktioitunut (Rämö et al. 1991). Kolmannella magmapulssilla voi olla yhteyttä uraanin ja toriumin pitoisuuksiin. Magman kehittyessä voimakkaasti yhteensopimattomat alkuaineet, kuten uraani ja torium, rikastuvat fraktioivaan magmaan (Peate ja Hawkesworth 2005). Tämä tekee siitä todennäköisimmän uraanin ja toriumin rikastumisen lähteen rapakivissä. Tähän pulssiin liittyvä kivilaji, kuten tasarakeinen rapakivigraniitti, osoittaa korkeampia lämmöntuoton arvoja verrattuna viborgiittiin, joka on muodostunut pääosin toisen magmapulssin yhteydessä. Tämä havainto tukee käsitystä, että magman fraktioitumisen voimakkuudella voisi olla yhteys radiogeenisten alkuaineiden pitoisuuksiin ja siten kivilajin lämmöntuottopotentiaaliin.

6.4 Tulosten vertailu lentogeofysiikan radiogeenisiin mittauksiin Kymenlaakson alueelta

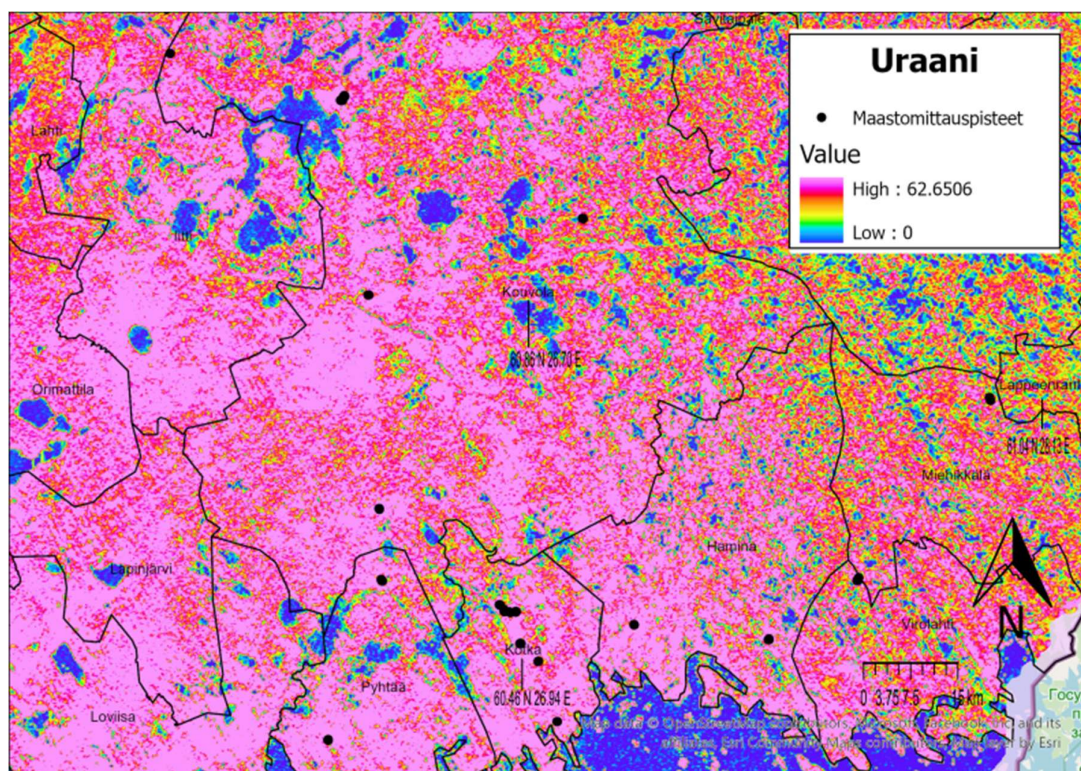
Radiogeenisten alkuaineiden pitoisuuksia pystyy myös määrittämään erilaisten ilma-alusten avulla. Lentokoneilla ja lennokeilla pystyy suorittamaan esimerkiksi ilmakuvausta, lämpökuvausta sekä magneettisia ja radiometrisiä mittauksia (Salmirinne et al. 2017). Näistä ominaisuuksista radiometrisellä menetelmällä mitataan alueelta käsigammaspektrometrin tavoin gammaspektrometrillä, mutta huomattavasti korkeammalta lentokoneesta. Suurin osa gammasäteilystä on peräisin ylimmästä 30 senttimetrin kerroksesta, jolloin tulokset saattavat kertoa enemmän maaperän kuin kallioperän ominaisuuksista (Hautaniemi et al. 2005). Suomessa mittauksia vaikeuttaa merkittävästi jäätikkökerrostumat, jotka saattavat paksuudellaan peittää radioaktiivisiin alkuaineisiin liittyvät signaalit (Hautaniemi et al. 2005).

Geologian tutkimuskeskus suoritti 1972–2004 välisenä aika lentokonemittauksia, joista osa tapahtui Kymenlaakson alueella (Hautaniemi et al. 2005). Lentokuvauksissa (Kuva 14) kokonaissäteilyn määrä mitattiin yksikössä μR (mikroröntgen), mikä on noin kymmenkertainen tämän työn annosnopeuden tuloksissa käytettyyn yksikköön nSv h^{-1} verrattuna. Numeerisesti lentokonemittausten arvot ovat tämän työn tuloksia korkeampia, mutta alueellisesti korkea-arvoiset alueet Kuvassa 4 vastaavat lentokuvan (Kuva 14) korkea-arvoisia alueita.

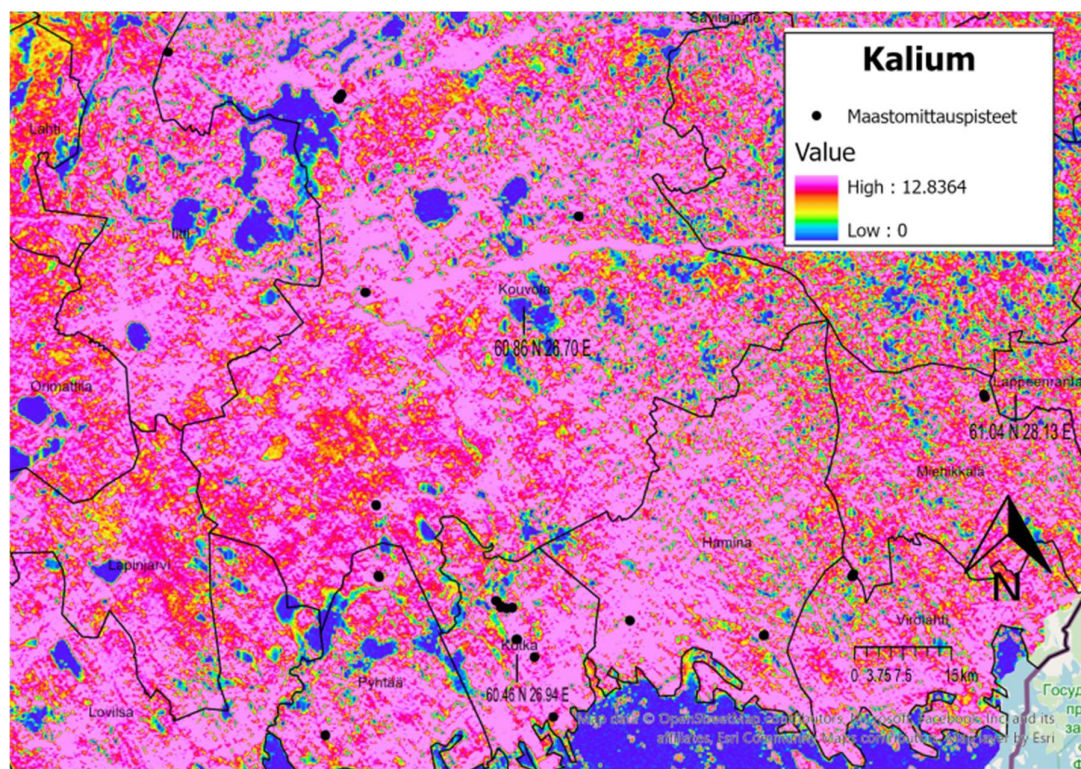


Kuva 14. Lentomittauksilla määritetty kokonaissäteily [μR] Viipurin rapakivibatoliitin alueella.

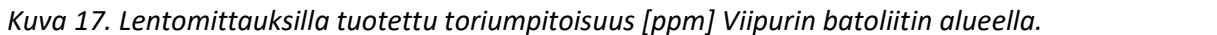
Lentokoneella mitatut uraani- ja kaliumpitoisuudet [ppm, %] (Kuvat 15 ja 16) ovat tämän työn arvoja selvästi korkeampia. Myös toriuminpitoisuudet [ppm] (Kuva 17) ovat lentokonemittauksissa keskimäärin korkeampia kuin tässä työssä. Tämän työn maastomittauksilla saatiin lentokonemittauksia korkeampi toriumpitoisuuden maksimiarvo, kuitenkin keskimäärin lentokonemittauksien toriuminpitoisuus on mittauspisteiden alueilla korkeampi. Mittaustulosten erot voi johtua muun muassa lentokoneen mittauslaitteen ja kallion välisen kasvuston määrällä, mittauslaitteen ja kallion välisellä etäisyydellä sekä mittauslaitteen mittausajalla mittauspisteessä. Kaikkien lentomittauksien radiogeenisten alkuaineiden pitoisuudet vastaavat pääosin tämän työn korkeimpien tulosten alueellista jakaumaa, mutta samalla ne korottavat merkittävästi myös matalimpien arvojen tuloksia.



Kuva 15. Lentomittauksilla tuotettu uraanipitoisuus [ppm] Viipurin batoliitin alueella.



Kuva 16. Lentomittauksilla tuotettu kaliumpitoisuus [%] Viipurin batoliitin alueella.



amat kuin muissa tutkimuksissa esitetyt litogeokemiallisesti tuotetut tulokset, ja vastaavat lentokonemenetelmin tuotettujen tulosten korkeiden arvojen alueellista jakaumaa. Kolmannella ja voimakkaimmin fraktioituneimmalla magmapulssilla havaittiin olevan yhteys kohonneisiin radiogeenisten alkuaineiden pitoisuuksiin.

Tämän työn tulosten perusteella Kymenlaakson alueella potentiaalisimmat geotermisen energian kohteet sijaitsevat porfyyrisen ja tasarakeisen rapakivigraniitin vyöhykkeillä, erityisesti Purolan länsipuolella, Valkmusan kansallispuiston itäpuolella sekä Kouvolan luoteis- /pohjoispuolella. Tulokset tukevat aiempia tutkimuksia ja täydentävät tietoa Suomen rapakivialueiden lämpögeologisesta potentiaalista. Tutkimus tarjoaa pohjatietoa geotermisen energiapotentiaalin arvioinnille Kymenlaakson alueella. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa olisi tärkeää saada lisämittauksia myös muilta rapakivilajeilta kuin viborgiitilta.

8. KIITOKSET

Haluan kiittää Helsingin yliopistoa ja Geologian tutkimuskeskusta minulle suodusta mahdollisuudesta suorittaa kandidaatintutkielman aineiston kenttäolosuhteissa. Erityisesti haluaisin kiittää Johanna Salmista, Tuija Luhtaa ja Toni Luotoa heidän tuestaan ja ohjauksistaan tutkimuksen toteuttamisessa.

VIITEET

- Geologinen tutkimuskeskus 2022. Hakkupalvelu. Sivulla vierailtu 12.09.2025
<https://hakku.gtk.fi/fi/locations>.
- Haapala, I. 1977. The controls of tin and related mineralizations in the rapakivi-granite areas of south-eastern Fennoscandia, *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 99:2, 130-142, DOI: 10.1080/11035897709455007.
- Hautaniemi, H., Kurimo, M., Multala, J., Leväniemi, H., Vironmäki, J. 2005. The "Three in one" aerogeophysical concept of GTK in 2004. Geological Survey of Finland, Special Paper 39, 21-74.
- Jiang, X., Zhu, C., Luo, L., Sun, S., Li, D., Fan, K., Xie, F. ja Sun, Y. 2025. Radiogenic heat production and its contribution to terrestrial heat flow in the eastern Ordos Basin. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 334, 4041–4052, doi: 10.1007/s10967-025-10153-8.
- Korja, A., Lahtinen, R. ja Nironen, M. 2006. The Svecofennian orogen: a collage of microcontinents and island arcs. Geological Society, London, *Memoirs*, 32, 561–578, doi: 10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.34.
- Newebcreations 2025. Uusi Suomi-kartta. Sivulla vierailtu 14.11.2025
<https://fi.maps-finland.com>.
- Peate, D.W. ja Hawkesworth, C.J. 2005. U series disequilibria: Insights into mantle melting and the timescales of magma differentiation. *Reviews of Geophysics*, 43, 2004RG000154, doi: 10.1029/2004RG000154.
- Rybach, L. 1976. Radioactive heat production in rocks and its relation to other petrophysical parameters. *Pure and Applied Geophysics*, 114, 309–317, doi: 10.1007/BF00878955.
- Rämö, O.T., Turkki, V., Mänttari, I., Heinonen, A., Larjamo, K. ja Lahaye, Y. 2014. Age and isotopic fingerprints of some plutonic rocks in the Wiborg rapakivi granite batholith with special reference to the dark wiborgite of the Ristisaari Island. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 86, 71–91, doi: 10.17741/bgsf/86.2.002.
- Rämö, O.T., Vaasjoki, M. ja Sakko, M. 1991. New U-Pb ages from the Wiborg rapakivi area: constraints on the temporal evolution of the rapakivi granite-anorthosite-diabase dyke association of southeastern Finland. *Precambrian Research*, 51, 227–243.
- Salmirinne, E., Hyvönen, E., Karinen, T., Konnuaho, J., Kurimo, M., Middleton, M., Niiranen, T., Panttila, H., Pasanen, A. ja Turunen, P. 2017. UAV-MEMO-projekti, osa I. Michittämättömät ilma-alukset malminetsinnässä ja kaivostoiminnassa. Tutkimusraportti 232 – Geological Survey of Finland, Report of Investigation 232, 71 s.
- Schön, S.J. 2011. Chapter 5 - Nuclear/Radioactive Properties. Teoksessa: Schön, S.J. *Handbook of Petroleum Exploration and Production*. Elsevier, 107–148, doi: 10.1016/S1567-8032(11)08005-0.
- Veikkolainen, T. ja Kukkonen, I.T. 2019. Highly varying radiogenic heat production in Finland, Fennoscandian Shield. *Tectonophysics*, 750, 93–116, doi: 10.1016/j.tecto.2018.11.006.
- Veikkolainen, T., Luhta, T. ja Kukkonen, I.T. 2021. Modelling geotherms of the Wiborg rapakivi batholith in southeastern Finland in light of seismic data. Julkaisussa; Kukkonen, I., Veikkolainen, T., Heinonen, S., Karell, F., Kozlovskaya, E., Luttinen, A., Nikkilä, K., Nykänen, V., Poutanen, M., Skyttä, P., Tanskanen, E & Tiira, T (toim.) 2021, *Lithosphere 2021: Eleventh symposium on structure, composition and evolution of the lithosphere*. Report S-71, Institute of Seismology, University of Helsinki, 143-14

LIITE 1

Taulukko 4. Tutkimuspisteiden sijaintitiedot, Kalium-, uraani- ja toriumpitoisuudet sekä laskennallinen lämmöntuotto tutkimusalueella.

	Pohjoinen	Itäinen	Korkeus (m)	Annosnopeus (nSv/h)	Kalium (%)	Uraani (ppm)	Torium (ppm)	Lämmöntuotto ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
Piste 1.1	6716671	504489.2	0	207	4.9	7.4	28.5	4.25219
Piste 1.2	6716674	504475.1	25.286	216.1	4.7	7.6	28.4	4.277418
Piste 1.3	6716686	504478.8	25.993	218	5.2	8.2	29.4	4.542736
Piste 1.4	6716697	504470.4	26.979	261.2	4.7	9.4	38.2	5.396354
Piste 1.5	6716678	504502.1	25.878	212.3	4.6	6.9	28.8	4.118736
Piste 1.6	6716661	504494.8	24.733	199	4.9	6.6	28	4.016446
Piste 2.1	6738409	538113.7	84.526	187	4.7	6.2	25.9	3.754626
Piste 2.2	6738404	538116.7	85.226	236.5	4.5	8.3	34.1	4.822258
Piste 2.3	6738412	538122.4	85.199	154	4.5	5.2	17.8	2.934398
Piste 2.4	6738418	538126	85.39	184.3	4.4	4.9	25.1	3.344724
Piste 3.1	6738156	538216.6	73.08	186.5	4.4	6.2	23.6	3.570928
Piste 3.2	6738153	538212.1	73.024	202	4.5	6.6	30.3	4.13559
Piste 3.3	6738144	538218.8	73.58	186	4.2	5.7	25	3.52132
Piste 3.4	6738151	538230	73.148	159.2	3.9	3.6	22.5	2.794266
Piste 4.1	6721233	525849.7	48.678	178.5	4.8	4.9	21.5	3.137388
Piste 4.2	6721217	525841.7	49.299	165	4.8	4.7	20.8	3.039444
Piste 4.3	6721204	525827.2	48.763	195.6	4.8	7	22.4	3.728232
Piste 4.4	6721183	525814.2	49.053	174	4.9	5.7	21.2	3.328082

	Pohjoinen	Itäinen	Korkeus (m)	Annosnopeus (nSv/h)	Kalium (%)	Uraani (ppm)	Torium (ppm)	Lämmöntuotto ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
Piste 4.5	6721162	525820.4	48.66	168	4.8	5.5	20.4	3.214132
Piste 4.6	6721209	525862.9	48.949	167.5	4.5	5.2	19.1	3.02259
Piste 4.7	6721192	525876.2	48.761	214	5	7.9	37.8	5.018464
Piste 5.1	6720990	525775.1	43.966	185.2	4.5	6.2	22.7	3.519094
Piste 5.2	6720980	525773	44.532	166	4.4	5.4	21.6	3.233424
Piste 5.3	6720952	525755.3	45.397	170.2	4.2	5	21.6	3.114068
Piste 5.4	6720956	525737.5	44.551	173	4.5	6	22.6	3.461854
Piste 5.5	6720950	525716.9	45.008	188.8	4.7	6.4	22.3	3.560858
Piste 5.6	6720933	525697.1	46.046	176	4.8	6	22	3.448816
Piste 5.7	6720942	525680.6	44.986	181.9	4.9	5.1	21.9	3.224202
Piste 5.8	6720927	525674.1	45.013	193	4.8	6.9	25.5	3.913308
Piste 6.1	6707451	497135.7	5.766	195	5.6	5.3	25.9	3.610572
Piste 6.2	6707451	497154.7	6.577	224	5.1	6.2	31.6	4.178202
Piste 6.3	6707448	497144.7	6.791	223	4.9	8.6	35.7	5.043374
Piste 6.4	6707436	497141.7	7.92	208.2	5.1	6	27.2	3.82925
Piste 7.1	6715301	517331.6	22.368	174	4.6	5.8	22.6	3.42062
Piste 7.2	6715279	517316.6	22.585	199.8	4.6	7.4	24.1	3.926028
Piste 7.3	6715276	517297.2	22.496	189	4.7	7.3	23.9	3.896454
Piste 7.4	6715285	517287.1	23.235	187.3	4.7	5.9	23	3.482206
Piste 7.5	6715298	517268.7	24.92	174	4.5	5.8	23.2	3.452102
Piste 7.6	6715333	517346.6	24.352	189	4.3	6.1	24.5	3.597534
Piste 7.7	6715350	517339.2	24.404	181	4.5	6.5	24.1	3.689754
Piste 8.1	6713177	495357.9	24.496	189.2	4.5	6.3	23.2	3.578242

	Pohjoinen	Itäinen	Korkeus (m)	Annosnopeus (nSv/h)	Kalium (%)	Uraani (ppm)	Torium (ppm)	Lämmöntuotto ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
Piste 8.2	6713184	495355.5	25.146	164	4.6	5.4	20.3	3.163676
Piste 8.3	6713197	495347.9	26.019	193.3	4.6	6.1	24.7	3.638768
Piste 8.4	6713213	495326.8	26.755	176	4.5	6.4	22.2	3.53563
Piste 8.5	6713202	495377.3	26.21	192	4.4	6.4	24.5	3.68244
Piste 8.6	6713196	495379.1	25.221	165	4.6	5.4	20.6	3.184028
Piste 8.7	6713187	495383.7	25.182	186.2	4.4	7.1	21.6	3.6623
Piste 9.1	6714913	493648.6	53.719	325.6	4.7	14.3	48.2	7.310926
Piste 9.2	6714926	493656.1	53.699	303	4.9	14.6	45.5	7.221886
Piste 9.3	6714909	493665.9	54.232	339	4.3	18.2	46.8	8.162954
Piste 9.4	6714904	493681.8	53.585	218	4.7	12.4	43.2	6.492394
Piste 9.5	6714893	493708.4	53.261	360.1	4.7	19	49.5	8.584834
Piste 9.6	6714877	493722.4	53.112	335	5.2	19	45.8	8.379936
Piste 9.7	6714886	493671.1	52.771	288.1	4.1	13.2	42	6.557478
Piste 9.8	6714866	493653.5	50.804	259	4.3	13.6	36	6.269794
Piste 9.9	6714858	493625.7	49.17	272.8	4.5	17.8	26.1	6.676198
Piste 9.10	6714861	493497.3	49.819	283	4	20.2	31.7	7.615464
Piste 9.11	6714883	493613	51.043	337.3	4.6	15.9	48.9	7.75284
Piste 9.12	6714917	493621.6	53.879	311	4.9	15.3	46.6	7.473106
Piste 10.1	6718526	491749.5	34.199	186	4.8	5.5	20.2	3.200564
Piste 10.2	6718539	491722.6	34.743	196.9	4.8	6.7	23.8	3.747524
Piste 10.3	6718547	491696.8	35.405	201.4	4.6	6.4	26.5	3.836564
Piste 10.4	6718566	491670.3	35.064	174	4.9	5.8	21.21	3.353988
Piste 10.5	6718583	491644.4	35.195	178.7	4.6	5.9	20.8	3.323736

	Pohjoinen	Itäinen	Korkeus (m)	Annosnopeus (nSv/h)	Kalium (%)	Uraani (ppm)	Torium (ppm)	Lämmöntuotto ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
Piste 11.1	6718103	492078.1	30.769	176.2	4.3	5.7	21.9	3.320238
Piste 11.2	6718071	492108.4	31.052	183	4.8	5.7	25	3.576652
Piste 11.3	6718042	492099.5	31.143	175	4.9	4.9	23.5	3.28229
Piste 11.4	6718017	492108.2	30.369	206.3	4.3	5.8	30.5	3.92889
Piste 11.5	6717952	492114.7	28.157	188.3	4.6	5.3	24.6	3.43016
Piste 11.6	6717916	492146.6	28.307	189	5.1	6.7	23.2	3.734486
Piste 11.7	6717971	492179.1	32.157	203	4.8	7.7	27.5	4.250812
Piste 11.8	6718001	492178.4	30.941	214.2	4.9	8.4	25	4.26703
Piste 12.1	6717814	492672.8	41.538	252	4.9	9	40.3	5.45635
Piste 12.2	6717818	492687.5	43.508	222.7	4.4	8.3	29.9	4.528108
Piste 12.3	6717814	492672.8	41.538	252	4.9	9	40.3	5.45635
Piste 12.4	6717839	492703.6	42.563	327	5.1	14.3	52.5	7.639526
Piste 12.5	6717859	492687	38.076	241	4.4	11.2	31.7	5.381832
Piste 12.6	6717865	492662.6	37.892	276	4.9	10.9	43.9	6.179906
Piste 12.7	6717899	492591.7	37.938	315.2	5.5	13.8	41.9	6.83117
Piste 12.8	6717911	492575.5	37.253	193	3.5	8.6	28.8	4.44617
Piste 13.1	6717888	493222.2	46.757	168	2.8	10.4	20.2	4.252296
Piste 13.2	6717942	493220.1	50.769	170.6	3.8	8.1	17.4	3.57432
Piste 13.3	6717934	493218.8	51.776	138	3.5	5.9	15.8	2.883094
Piste 13.4	6717959	493217.7	52.849	151.2	5.7	5.5	7.8	2.442346
Piste 13.5	6717931	493255.6	50	131	3.9	4.5	14.8	2.49895
Piste 14.1	6770820	460865.6	103.448	241.2	5	7.1	35.5	4.660608
Piste 14.2	6770808	460875.3	104.934	246.6	4.9	6.8	37.9	4.738518

	Pohjoinen	Itäinen	Korkeus (m)	Annosnopeus (nSv/h)	Kalium (%)	Uraani (ppm)	Torium (ppm)	Lämmöntuotto ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
Piste 14.3	6770798	460879.3	101.402	263	5.9	7.8	41.2	5.30689
Piste 14.4	6770801	460855.1	100.45	231.7	4.5	7.3	34.4	4.59033
Piste 15.1	6766331	477029.7	88.631	357	4.6	13.5	59.7	7.88004
Piste 15.2	6766312	477031.4	90.509	329	4.8	12.1	59.4	7.52494
Piste 15.3	6766281	477017	90.777	320	4.6	7.6	60.7	6.459428
Piste 15.4	6766284	476993.9	93.932	292	4.7	7	57.9	6.12733
Piste 15.5	6766338	476958.1	90.64	323.2	4.6	7.8	61.3	6.550588
Piste 15.6	6766302	476923.5	88.885	269	4.9	9.4	44.9	5.869326
Piste 15.7	6766281	476874.6	86.978	325.3	4.4	8.6	61.1	6.7204
Piste 15.8	6766233	476893.8	85.784	329.9	4.8	8.1	61.7	6.671852
Piste 16.1	6766549	477089.5	84.644	329.4	4.2	11.9	56.4	7.215632
Piste 16.2	6766579	477101.1	87.5	583	5.6	22	118.1	14.0785
Piste 16.3	6766592	477142.7	93.78	658.7	5.1	32.4	111.7	16.22192
Piste 16.4	6766592	477178.2	102.886	308	4.9	8.6	58.7	6.603694
Piste 16.5	6766629	477258.2	105.864	306	4.6	10.3	56.8	6.876008
Piste 16.6	6766715	477216.8	111.088	348	4.7	11.3	61	7.422438
Piste 16.7	6766681	477145.4	100.477	314	4.6	8.6	63.3	6.888092
Piste 17.1	6747942	479351.5	81.798	165.7	4.8	4.8	18.1	2.881504
Piste 17.2	6747970	479352.3	82.716	173	4.5	6.9	20.5	3.546442
Piste 17.3	6747969	479389.6	83.907	173.3	4.6	5.8	18.9	3.169612
Piste 17.4	6747935	479324	78.202	176	5.4	5.4	20.5	3.25102
Piste 18.1	6755052	499601	103.68	159.7	4.2	4.1	20.6	2.819176
Piste 18.2	6755085	499622.3	102.44	148	4.6	3.6	19	2.62138

	Pohjoinen	Itäinen	Korkeus (m)	Annosnopeus (nSv/h)	Kalium (%)	Uraani (ppm)	Torium (ppm)	Lämmöntuotto ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)
Piste 18.3	6755074	499638.8	100.759	147	4.4	5.4	15.9	2.846736
Piste 18.4	6755105	499560.1	95.415	143.3	4.2	3.2	17	2.3479
Piste 19.1	6727767	480267.4	55.091	189	4.9	7.1	23.6	3.84409
Piste 19.2	6727768	480245	54.803	204.4	4.5	7.3	26	4.020474
Piste 19.3	6727749	480292.4	54.898	197	5	7.2	25.3	3.993868
Piste 19.4	6727707	480292.9	53.61	200.7	4.8	6.5	24.9	3.771692
Piste 19.5	6727682	480294	53.996	205.1	4.7	7	26.2	3.976802
Piste 20.1	6720867	480552.2	52.518	173	4.4	5.7	23.5	3.438004
Piste 20.2	6720890	480504.3	52.034	187.4	4.4	5.7	24.6	3.512628
Piste 20.3	6720895	480466.8	51.72	189	4.5	5.5	28.9	3.763106
Piste 20.4	6720930	480473.6	52.456	211.8	4.4	5.9	32	4.0651
Piste 20.5	6720953	480431.6	56.119	183	4.7	5.7	25.6	3.608134
Piste 20.6	6720979	480406.2	57.191	187.6	4.3	5.6	25.2	3.518882
Piste 20.7	6721007	480407.7	55.206	186	4.7	5.2	27.2	3.590538
Piste 20.8	6721035	480418.5	53.04	189.5	4.4	4.6	27.7	3.445424
Piste 21.1	6705764	475240.6	5.694	329.3	5.6	12.1	49.5	6.9271
Piste 21.2	6705758	475266.9	13.326	281	5.1	11.7	42.9	6.332334
Piste 21.3	6705752	475280.9	12.017	329.5	5.2	12.2	51.5	7.05112
Piste 21.4	6705790	475280.5	15.888	302	5.3	12.4	47.8	6.85979
Piste 21.5	6705814	475281.6	18.43	272.3	4.8	9.3	41.2	5.583868
Piste 21.6	6705784	475257	11.97	470	5	13.4	98	10.48997