

Uraanin esiintyminen Fennoskandian kilven alueella

Olli Äikäs



GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS • GEOLOGISKA FORSKNINGSCENTRALEN • GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND

PL / PB / P.O. Box 96
FI-02151 Espoo, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 12

PL / PB / P.O. Box 1237
FI-70211 Kuopio, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 13

PL / PB / P.O. Box 97
FI-67101 Kokkola, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 5209

PL / PB / P.O. Box 77
FI-96101 Rovaniemi, Finland
Tel. +358 20 550 11
Fax +358 20 550 14

Y-tunnus / FO-nummer / Business ID: 0244680-7 • www.gtk.fi

Ei-julkinen/Confidential Vapautuu 1.1.2013
M60/2007/1

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

Päivämäärä / Dnro
30.11.2007

Tekijät Olli Äikäs		Raportin laji Arkistoraportti	
		Toimeksiantaja AREVA Resources Finland Oy/Dnro K 129/53/2004	
Raportin nimi Uraanin esiintyminen Fennoskandian kilven alueella			
Tiivistelmä Raportti on yhteenveto Fennoskandian kilven alueella Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja Venäjän federaation luoteisissa osissa viimeisten 50 vuoden aikana löydetystä uraaniesiintymistä, uraanivarannoista ja lyhyesti myös uraaninetsinnästä. Aineisto on koottu pääasiassa kansallisten tutkimuslaitosten (NGU, SGU, GTK, VSEGEI) materiaalista sekä OECD/NEA:n ja IAEA:n toimittamista ns. Punaisen kirjan eri laitoksista. Katsaus on tarkoitettu pohjaksi vuonna 2004 alkaneelle uudelle uraaninetsinnälle. Siinä esitetään myös huomioita ja näkemyksiä potentiaalisimmista malmityypeistä ja etsintäalueista pääasiassa Suomen näkökulmasta.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Uraani, uraanimalmi, uraaniesiintymät, Fennoskandian kilpi			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Fennoskandia, Suomi, Ruotsi, Norja, Venäjän federaatio			
Karttalehdet			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi Arkistoraportti, malmitutkimukset		Arkistotunnus M60/2007/1	
Kokonaissivumäärä 20	Kieli Suomi	Hinta	Julkisuus Vapautuu 1.1.2013
Yksikkö ja vastuualue Itä-Suomen yksikkö, Kallioperä ja raaka-aineet 401		Hanketunnus 1901006 FinU1	
Allekirjoitus/nimen selvennys Olli Äikäs			

GEOLOGICAL SURVEY OF FINLAND DOCUMENTATION PAGE

Date / Rec. no.
30.11.2007

Authors Olli Äikäs		Type of report Unpublished report	
		Commissioned by AREVA Resources Finland Oy/Dnro K 129/53/2004	
Title of report Occurrence of uranium in the Fennoscandian Shield			
Abstract This report is a summary of uranium deposits, uranium resources and also – briefly – of uranium exploration in the Fennoscandian Shield, discovered and carried out in Norway, Sweden, Finland, and in the northwestern parts of the Russian Federation during the past 50 years. The material is mainly from the archives and publications of the national surveys NGU, SGU, GTK and VSEGEI and from several editions of the "Red Book", jointly edited by OECD/NEA and the IAEA. The purpose of the compilation is to serve as background information for the new stage of uranium exploration which commenced in 2004. Comments on potential ore deposits types and target areas are presented, mainly from the Finnish point of view.			
Keywords Uranium, uranium deposits, Fennoscandian Shield, Baltic Shield			
Geographical area Fennoscandia, Finland, Sweden, Norway, the Russian Federation			
Map sheet			
Other information			
Report serial Unpublished reports, exploration		Archive code M60/2007/1	
Total pages 20	Language Finnish	Price	Confidentiality Public 1.1.2013
Unit and section Eastern Finland, Bedrock Geology & Resources, 401		Project code 1901006 FinU1	
Signature/name Olli Äikäs			

Sisällysluettelo

1	URAAIN ESIINTYMINEN FENNOSKANDIAN KILVEN ALUEELLA	7
1.1	Kilpialueet	7
1.2	Aikaisemman uraaninetsinnän tulokset	7
1.3	Uraani Fennoskandian malmiesiintymätietokannassa	15
2	HUOMIOITA UUDEN ETSINNÄN PERUSTAKSI FENNOSKANDIAN KILVELLÄ	18
	KIRJALLISUUSLUETTELO	20

Ei-julkinen/Confidential Vapautuu 1.1.2013
M60/2007/1

1 URAANIN ESIINTYMINEN FENNOSKANDIAN KILVEN ALUEELLA

1.1 Kilpialueet

Suuri osa maailman uraanivarannoista on löydetty kilpialueilta eli alueilta, joiden kallioperän muodostavat prekambriset kiteiset kivilajit. Fennoskandian kilpi (aikaisemmin myös: Baltian kilpi) on yksi näistä kilpialueista, ja sen pääasiassa myöhäisarkeinen ja varhaisproterotsooinen prekambriininen kallioperä on paljastunut noin miljoonan neliökilometrin laajuudelta. Suomi sijaitsee Fennoskandian kilven keskellä. Etelässä ja idässä Fennoskandian kilven kallioperä painuu Venäjän laakion ja Viron huomattavasti nuorempien sedimenttikivien alle. Lännessä ja luoteessa kilven prekambriset kivilajit rajautuvat nuorempaan Kaledonidien vuorijonoon.

Itä- ja Pohjois-Suomessa sekä Fennoskandian kilven Venäjän federaatioon kuuluvilla alueilla arkeisen ja proterotsooisen kallioperän raja on laajalti seurattavissa. Tämän rajan ikä on noin 2,5 miljardia vuotta. Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä esiintyvät proterotsooiset sedimenttikivet, metamorfiset kivet ja syväkivet ovat tätä nuorempia ja ovat syntyneet tai muokkautuneet monivaiheisissa maankuoren prosesseissa, joista yksi merkittävimpiä tapahtui 1,97–1,86 miljardia vuotta sitten. Tämän jälkeisistä etenkin syväkivien muodostukseen kuuluvista prosesseista on laajalti merkkejä koko kilvellä noin 1,8–1,7 miljardia vuotta sitten. Nuorimpia prekambrisia kiviä edustavat rapakivigraniittien esiintymät (1,64–1,59 miljardia vuotta) sekä useissa paikoin mutta enimmäkseen kuitenkin merien pohjassa esiintyvät ns. Jotuniset sedimenttikivet, joiden kerrostuminen tapahtui rapakivien kiteytymisen jälkeen mutta ennen kuin diabaasimagmat tunkeutuivat niihin kuten Satakunnassa esimerkiksi noin 1,27 miljardia vuotta sitten.

Fennoskandian kilven alueelta ei ole toistaiseksi löydetty sellaisia maailmanluokan uraanesiintymiä kuin vastaavilta kilpialueilta Kanadassa ja Australiassa. Merkittäviä uraanesiintymiä on prekambrikilpien alueilla muuallakin, mm. Ukrainassa, Brasiliassa ja Altailla Venäjän federaatiossa. Mitään geologista syytä taloudellisten uraanesiintymien puuttumiselle Fennoskandian kilven alueelta ei ole, pikemminkin päinvastoin: kivilajien, geologisten muodostumien iän ja geokemiallisten sekä geofysikaalisten kartoitusten perusteella koko Fennoskandian kilpi on otollinen monentyyppisten uraanesiintymien löytämiselle. Malminetsinnälle tämä on vakava haaste, johon vastataan perehtymällä aikaisempiin löytöihin sekä koko kilven alueen geologiaan ja malmipotentialiin sekä suuntaamalla etsintä uusimpia malmigeneettisiä malleja soveltamalla lupaavimmille kohdealueille niin Suomessa kuin muuallakin Fennoskandian kilven alueella.

1.2 Aikaisemman uraaninetsinnän tulokset

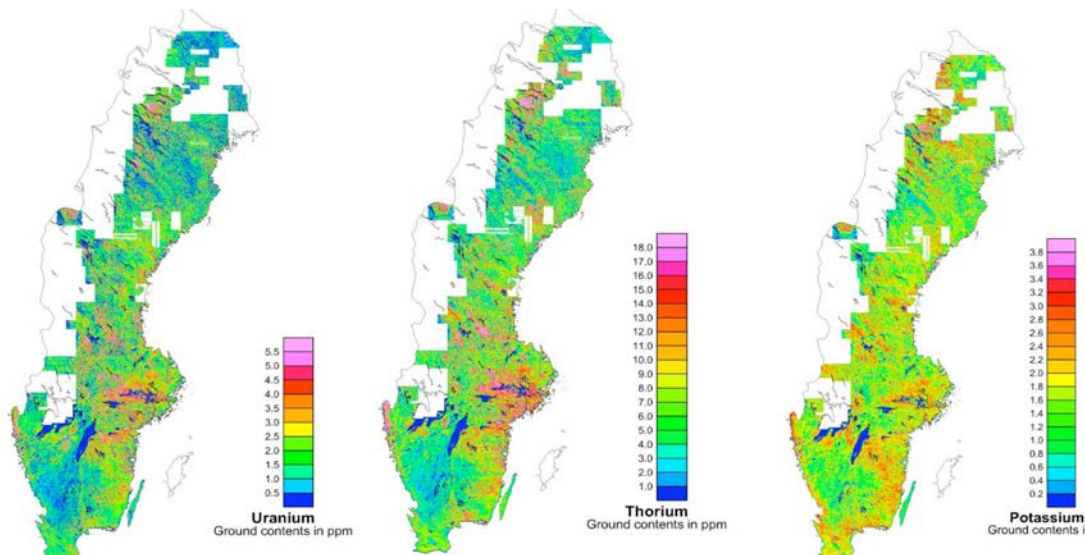
Norjassa NGU etsi uraania 1975–1985. Menetelmät olivat alueellisia ja puolialueellisia geokemiallisia ja radiometrisia kartoituksia. Etsintään käytetty panostus oli suhteellisen vähäinen. Norjasta tunnetaan vähäisiä uraanesiintymiä pääasiassa prekambrisissa ja nuoremmissa graniitoideissa, muutamia pieniä hydrotermisiä rikastumia ja lisäksi matalan uraanipitoisuuden esiintymiä nuoremmissa sedimenttikivissä. Norjalla on huomattavat toriumvarannot pääasiassa alkalikivissä. Kansainvälisesti Norja ei ole raportoinut uraanivarantoja yhtään, vuoden 1983 IUREP-yhteenvedossa siellä on arvioitu olevan 10 000–60 000 tU spekulatiiviset varannot yhteensä 12 kohteessa. Lisäksi alunaliuskeissa on arvioitu olevan 10 000–50 000 tU varannot.

Ruotsissa uraaninetsintää harjoitettiin jo aikaisemmin, vuodesta 1950 myös noin vuoteen 1985. Billingenin alunaliuskeista tuotettiin 200 tonnia uraania vuosina 1965–1969. Etsintä painottui 1970-luvun lopulle, jolloin SGU löysi useita pienehköjä esiintymiä. Maassa on neljä erityistä uraanesiintymien aluetta:

- Yläkambristen/Alaordovikikautisten sedimenttien jaksot Etelä-Ruotsissa ja Keski-Ruotsin Kaledonidien rajalla; näissä raskasmetalleja sisältävä yläkambrinen alunaliuske (mustaliuske) on laajalti esiintyvä uraanipitoinen kivilaji. Toinen uraanipitoinen kivilaji on ordovikikauden fosforiitti.
- Napapiirin korkeudella Arjeplog-Arvidsjaur-Sorsele -alue sisältää Ruotsin suurimman esiintymän (Pleutajokk) sekä yli 20 pienempää esiintymää. Nämä ovat juoni- ja pirotetyyppejä graniiteissa ja vulkaniiteissa, usein natriummetasomatosiin liittyviä.
- Keski-Ruotsissa Östersundin tasalla on useita lähinnä juonityyppisiä esiintymiä Kaledonidien sisällä sijaitsevan prekambriksen kallioperän ikkunan alueella (Hotagen; "Oldenin ikkuna").
- Åselen lähellä Pohjois-Ruotsissa on neljäs esiintymien alue (Punainen kirja 2001), jonka tunnetuin esiintymä on Björkråmyran.

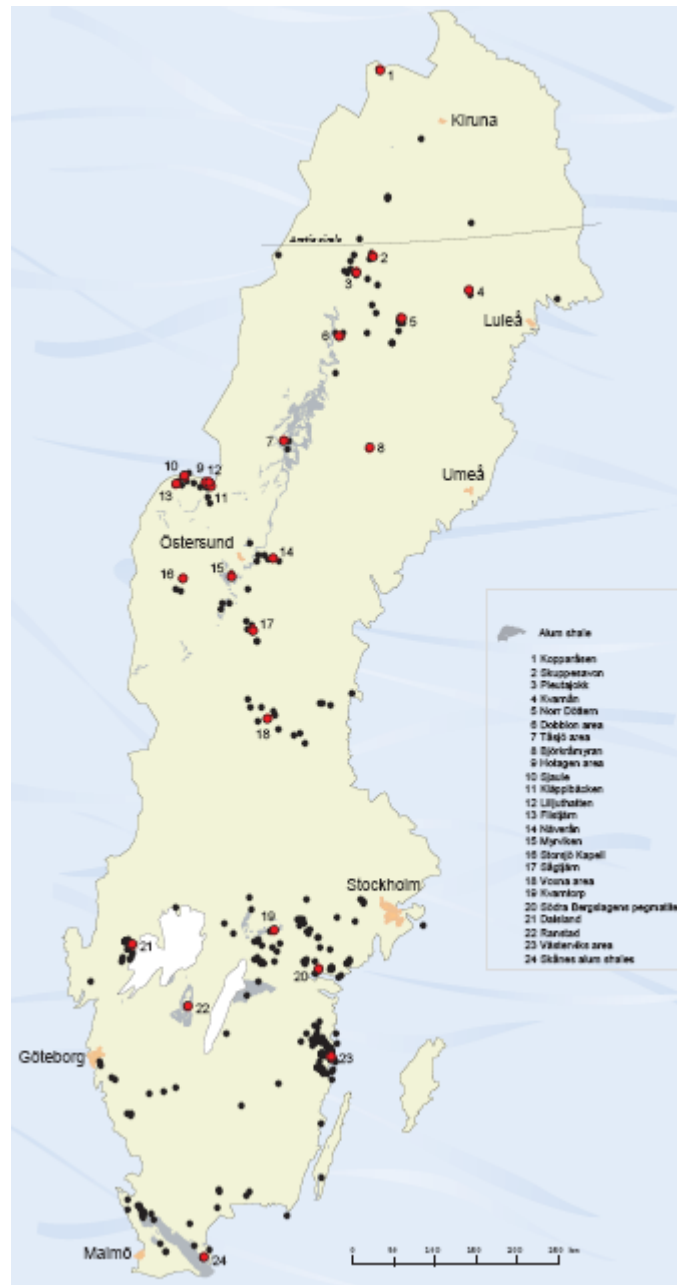
Pleutajokk'in esiintymässä uraanimineralisaation ikä on 1,74 miljardia vuotta ja ympäristön antottomien graniittien ikä 1,69 miljardia vuotta. Yksi Pleutajokk'in kahdeksasta erillisestä malmiosta on ollut koelouhinnassa, ja siinä on laskettu olevan 2 000 tU keskipitoisuudella 0,1 % U. Toinen Ruotsin kahdesta suurimmasta esiintymästä on Lilljuthatten Östersundista länteen vuorilla lähellä Norjan rajaa. Malmityyppi on hydroterminen juoni/breksia graniitissa, mineralisaation ikä 420 miljoonaa vuotta. Varannoksi on laskettu 2 000 tU keskipitoisuudella 0,2 % U.

Ruotsissa on suuret uraanivarannot prekambriksen kallioperän päälle kerrostuneissa nuoremmassa sedimenttikivissä. Ranstadin esiintymän Billingenissä arvioidaan sisältävän 250 miljoonaa tonnia kiveä, joka keskipitoisuudella 0,034 % U sisältää 75 000 tU sekä lisäksi vanadiinia, molybdeenia ja harvinaisia maametalleja. Karkeampien arvioiden mukaan Ruotsin alunaliuskeissa on kaikkiaan 300 000 tU keskipitoisuudella 0,03 % U.



Kuva 1. Ruotsi: eU (ppm), eTh (ppm) ja K (%) maa- ja kallioperän pintaosassa (20 cm syvyyteen) gammaspektrometrin lentomittausten perusteella (Thunholm et al. 2004).

Kansainvälisissä tilastoissa Ruotsi raportoi 4 000 tU varmistettuja varantoja sekä 6 000 tU heikommin tunnettuja lisävarantoja. Ruotsin vuotuinen polttoainetarve sähköntuotantoon ydinvoimaloissa on 1 400 t luonnonuraania.



Kuva 2. Ruotsi: tunnettujen uraani esiintymien ja uraanimalmiaisheidien sijainti (SGU, FEM 2007 Rovaniemi 27.11.2007).

Suomessa uraaninetsintää on aikaisemmin harjoitettu noin vuodesta 1955 noin vuoteen 1985. Enon Paukkajanvaaran kaivos ja Askolan Lakeakallion louhos rikastamoinen ovat tunnetuimmat esimerkit 1950-luvun lopun koetoiminnasta tällä alalla. Pitkäjärven Outokumpu Oy malminetsinnän työ 1960-luvulta 1970-luvulle ja sen jälkeen GTK:n pääasiassa alueellisten menetelmien antamiin anomalioihin perustunut työ ovat tuottaneet suurimman osan tunnetuista uraani esiintymistä ja uraanimalmiaisista. Ruotsin tapaan Suomessakin on voitu tunnistaa neljä uraani esiintymiselle otollista aluetta:

- Kolarin-Kittilän alue, jossa sijaitsevat kerrossidonnainen, kvartsiitissa sijaitseva Kesänkitunturin uraaniyesiintymä sekä juonityyppinen, sulfidimalmien välissä grafiitti- ja kiisupitoisissa liuskeissa sijaitseva Pahtavuoman uraaniyesiintymä.
- Kuusamon alue, jossa uraanin mineraalisaatio on laajalti sidoksissa kallioperän natriummetasomatoosiin ja mm. kullan esiintymiseen. Kuusamossa tunnetaan Kouvervaaran kerrosmyötäinen uraaniyesiintymä kvartsiitissa sekä useita monimetaalliesiintymiä ja pieniä uraanimalmiaiheita eri kivilajiyksiköissä. Kuusamon liuskejakson uraaniyesiintymille tunnetaan vastineita liuskejakson jatkeella Venäjän federaation puolella Paanajärveltä Kuolajärvelle.
- Kolin-Kaltimon jakso Pohjois-Karjalan kvartsiittien yhteydessä varhaisproterotsooisien ja arkeisien kallioperän rajan tuntumassa muodostaa oman alueensa, jolla näyttää olevan jatkuvuutta kaakkoon Venäjän federaation puolelle. Toistaiseksi löydetyt ja tutkitut esiintymät ovat osoittautuneet pieniksi, mutta alueella on löydetty niin rikkaita malmiviitteitä kalliosta, että mahdollisuudet taloudellisen esiintymän löytämiseksi ovat yhä olemassa.
- Uudellamaalla ja Itä-Uudellamaalla uraanin pitoisuudet maankamarassa ovat poikkeuksellisen korkeita koko maahan verrattuna. Tämä on osoitettu gammasäteilymittauksilla, pohjavesien koostumusta kartoittamalla ja huoneilman radonpitoisuuksia tutkimalla. Tunnettuja mutta kooltaan vaatimattomia uraaniyesiintymiä ovat Itä-Uudenmaan historialliset löydöt Askolassa, Mäntsälässä ja Pernajassa. Erittäin tärkeä, sekä taloudellisesti että tieteellisesti mielenkiintoinen malmiviite on ns. Alhon lohkarie Porvoosta. Lohkareen löysi Imatran Voima 1950-luvulla, ja sen määritettiin sisältävän yli 30 % U. Isotooppigeokemiallisissa tutkimuksissa Alhon lohkarieen mineralisaation iäksi on saatu noin 450 miljoonaa vuotta, mikä Suomessa on hyvin poikkeuksellista. Läntisellä Uudellamaalla sijaitsee Suomen toistaiseksi suurimmaksi todettu ja tarkimmin tutkittu Palmotun esiintymä, jossa on laskettu olevan 1 000 tU keskipitoisuudella 0,1 % U. Palmottu kuuluu graniittijuonien ja migmatiittien intrusiiviseen malmityyppiin. Kiskossa erään historiallisen rautamalmikaivoksen näytteistä on löydetty uraanipitoisuuksiltaan rikkaita juonia, jotka osoittavat myös tämän alueen merkitykselliseksi yhtä lailla taloudellisesti kuin tieteellisestikin.

Suomi raportoi kansainvälisesti 1 500 tU varmistettuina varantoina (*in situ*). Aikaisemmissa arvioissa on myös ilmoitettu 2 900 tU varannot kustannuksiltaan kalliimmassa luokassa, mutta näistä osa on pysyvästi pois taloudellisen toiminnan piiristä (Kesänkitunturi ja Koli ovat nyt kansallispuistoja; Vihanti on suljettu kaivos). Suomen vuotuinen polttoainetarve sähköntuotantoon ydinvoimaloissa on 522 t luonnonuraa.

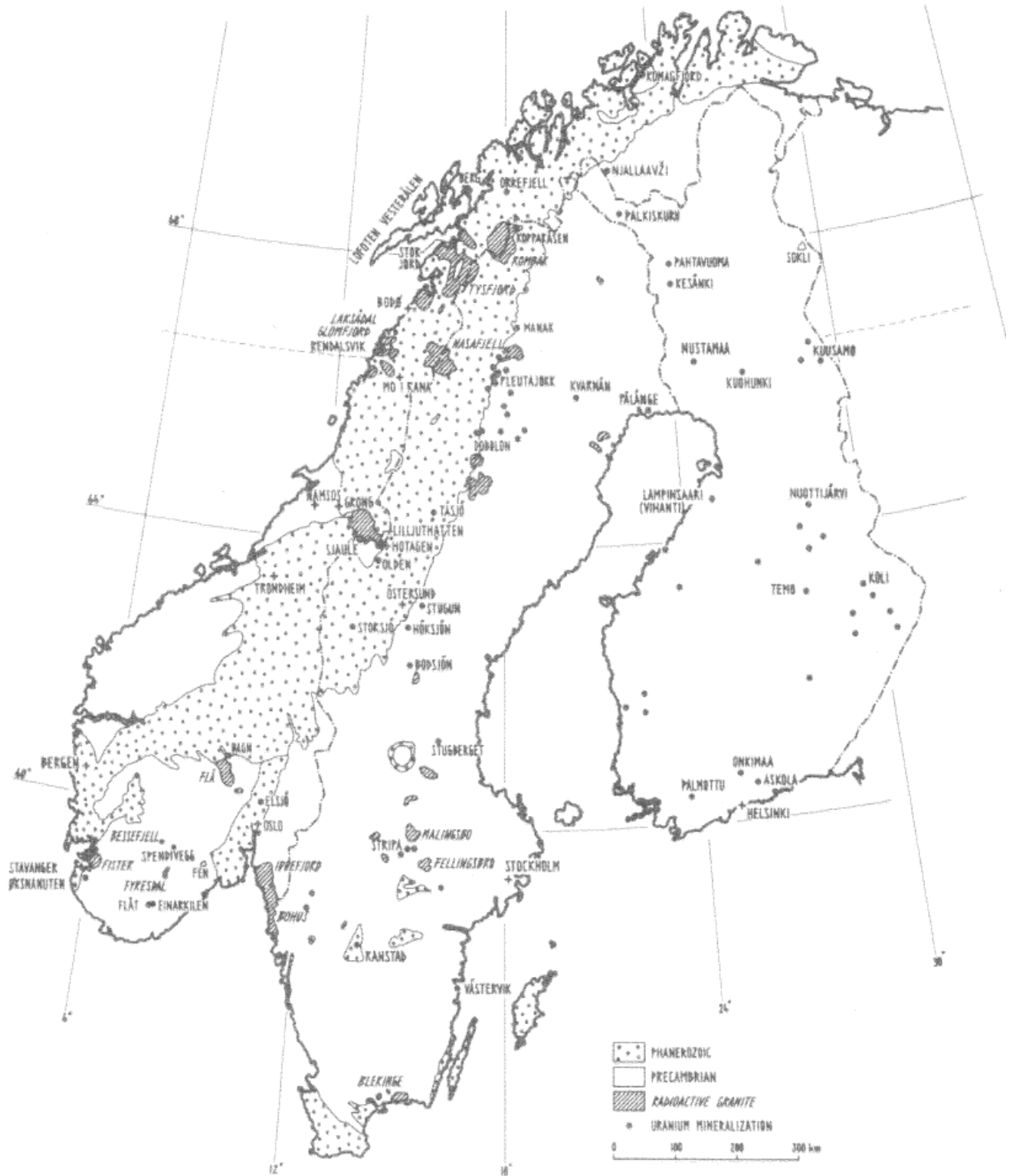
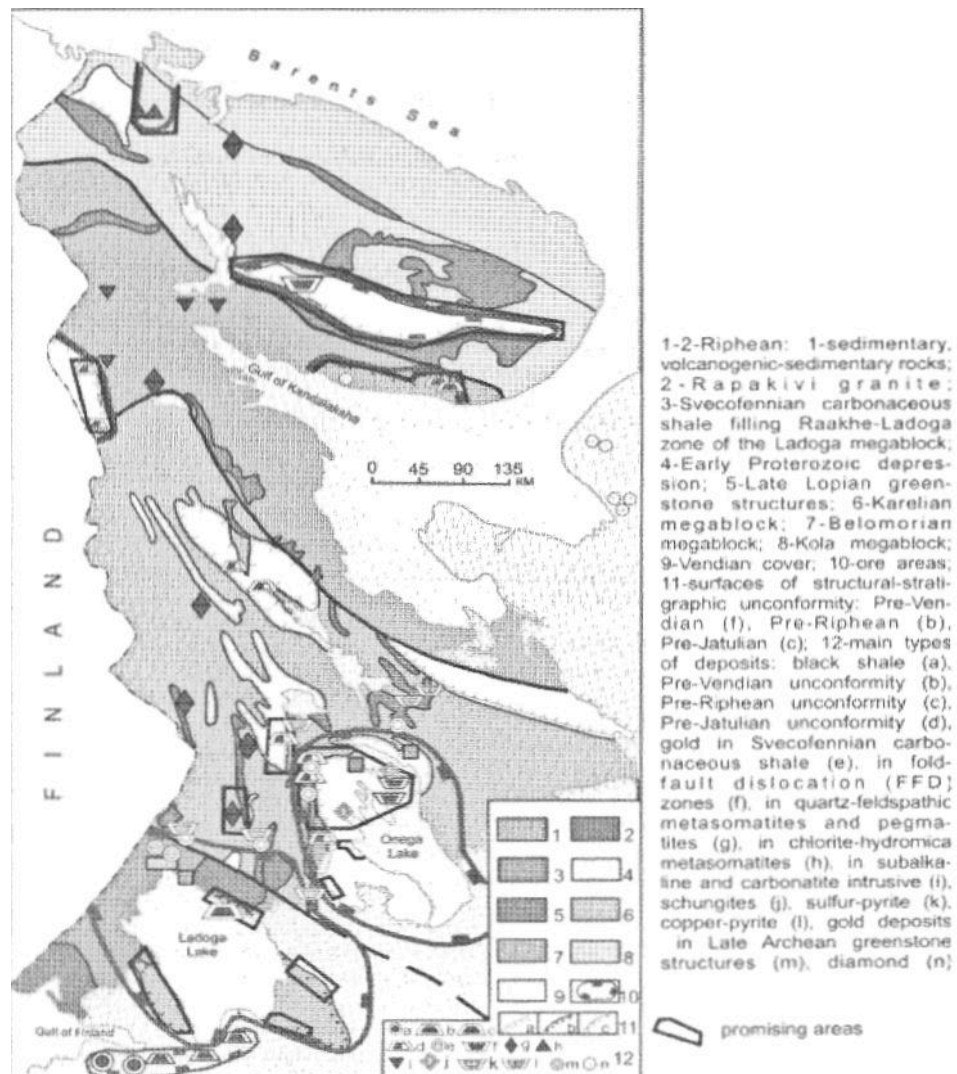


Fig. 3. Uranium occurrences and enrichments in Scandinavia.

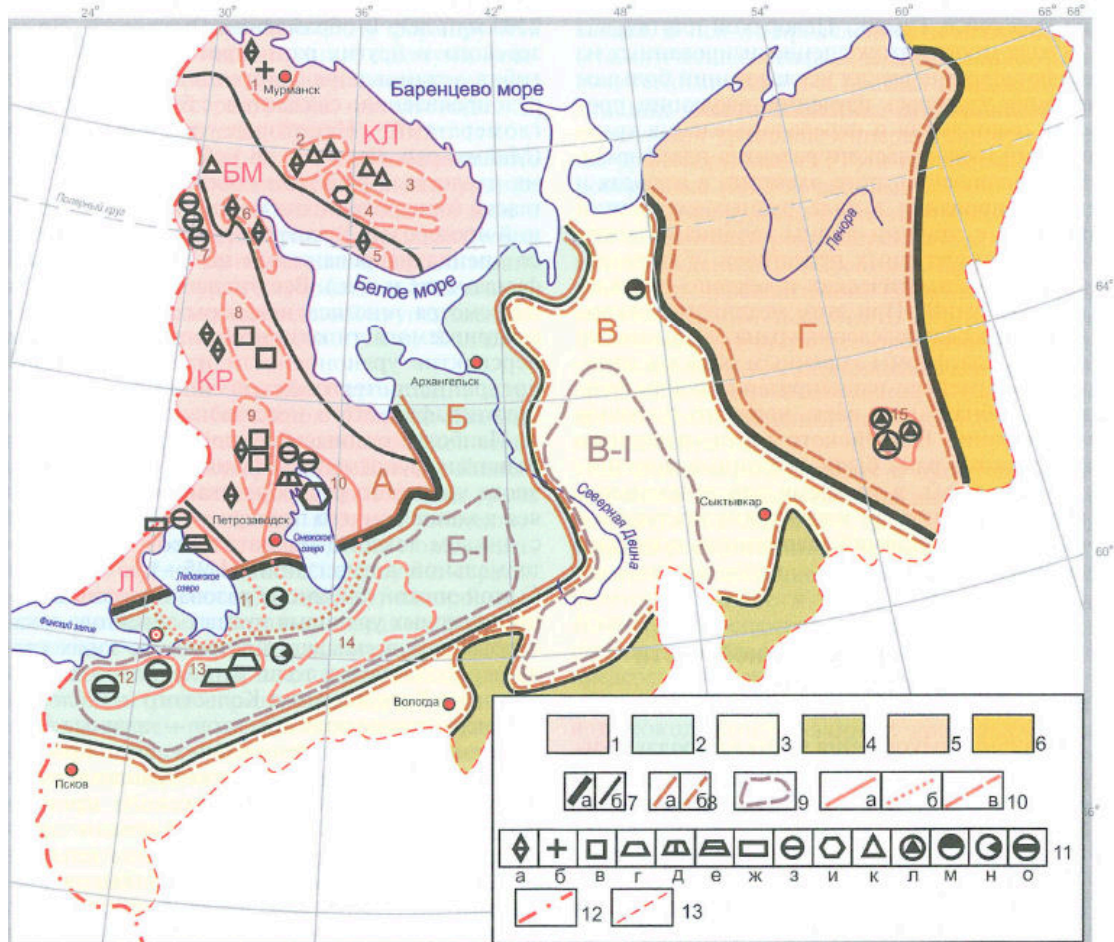
Kuva 3. Uraaniesiintymiä Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa (OECD 1983).

Venäjän federaation alueella sijaitseva Fennoskandian kilven osa on ollut uraaninetsinnän kohteena kohta toisen maailmansodan jälkeen. Vastaavaa taukoa kuin Suomessa ja Skandinavian maissa 1980-luvulta 2000-luvun alkuun ei Venäjällä uraaninetsinnässä ole ollut. 1990-luvun alussa julkaistu löytö Salmin pitäjän Karkunkylästä Laatokan koillisrannalta osoittaa, että Kanadan kilvellä esiintyvien uraanimalmien geologista mallia voidaan menestyksellä soveltaa myös Fennoskandian kilvellä.

Karkun esiintymä on tutkittu kairaamalla Jotunisten sedimenttien ja laavojen (tai kerrosjuonien) läpi niiden korkeammin metamorfiseen Paleoproterotsooiseen ja arkeeseen alustaan. Esiintymässä on viisi laakean linssimäistä malmiota, paksuudeltaan 1-20 m. Niissä todetut uraanipitoisuudet ovat keskimäärin 0,2–0,5 %, mutta parhaimmillaan jopa 19 %. Karkussa havaittu vanhin uraanimineralisaation ikä on 1,405 miljardia vuotta. Karkun ennakoituksi varannoiksi on ilmoitettu 7 000 tU keskipitoisuudella 0,1 % U, todetut varannot ovat noin puolet tästä. Karkun esiintymä kuuluu ns. unconformity-tyyppiin, vastaaviin esiintymiin kuin Kanadasta löydetty ja siellä tuotannossa olevat erittäin taloudelliset uraniesiintymät.



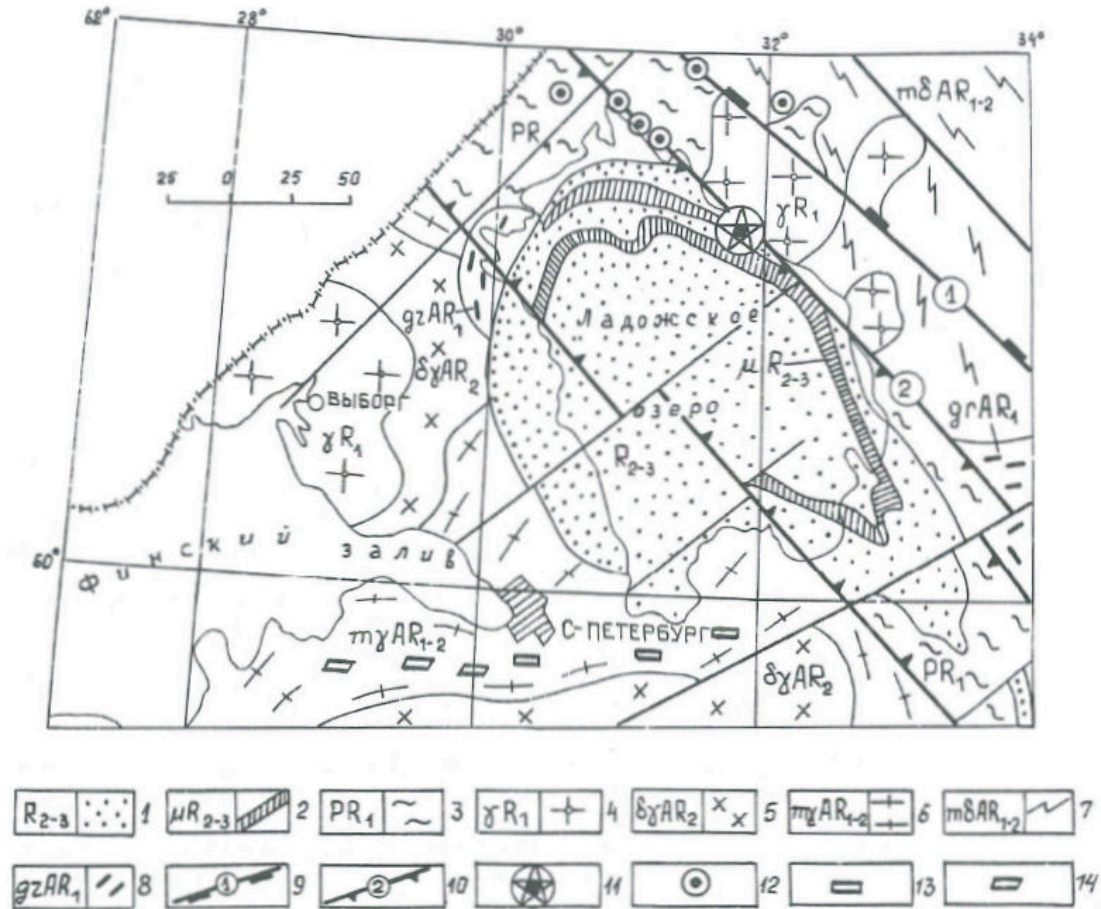
Kuva 4. Venäjän federaatioon kuuluvan Fennoskandian kilven itäosan uraanipotentialiset alueet (Afanasieva et al. 2007).



Kuva 5. Uraaniesiintymien vyöhykkeitä Fennoskandian kilven itäosassa ja muilla luoteisilla alueilla Venäjän federaatiossa. Numeroituja osa-alueita (rajon; legendassa 10a): 1) Litsevski (Litsa), 2) Hibinsko-Lovozerski, 3) Keivski, 4) Imandra-Varzugski, 5) Terskoberežni, 6) Notozerski, 7) Pana-Kuolajarvinski, 8) Šombozersko-Lehtinski, 9) Jangozerski, 10) Onežki (Ääninen), 11) Ladožki (Laatokka), 12) Nevsko-Volhovski, 13) Leningradski. Legendan pisteiviiva 10b osoittaa alueiden jatkumisen platformisedimenttien alle. Kartta: Mihailov et al. (2007).

Karkun esiintymän ja vastaavassa geologisessa asemassa olevien etsintäkohteiden lisäksi Venäjällä tunnetaan uraaniesiintymiä ja urania sisältäviä monimetalliesiintymiä Petroskoin lähellä Äänisniemellä ja yleensäkin Äänisen alueella. Äänisniemen Srednaja Padman esiintymässä on vadaniinia, platinaryhmän metalleja ja urania siirrosten ja poimutuksen muokkaamissa hiililiuske- ja dolomiittikivissä. Padmassa on ollut maanalaista koelouhintaa.

Venäjän puolella potentiaalisiksi arvioidut alueet ovat Laatokan ympäristössä, Äänisen ympäristössä ja Kuolan niemimaalla. Merkittävää uraanin rikastumista on havaittu myös Fennoskandian kilpeä reunustavissa, sen päälle kerrostuneissa nuoremmista sedimenteissä vastaavasti kuin Ruotsin alunaliuskeissa. Tuotannossa olevia uranikaivoksia ei Venäjän puoleisella Fennoskandian kilven osalla ole eikä tiettävästi ole ollut aikaisemminkaan.

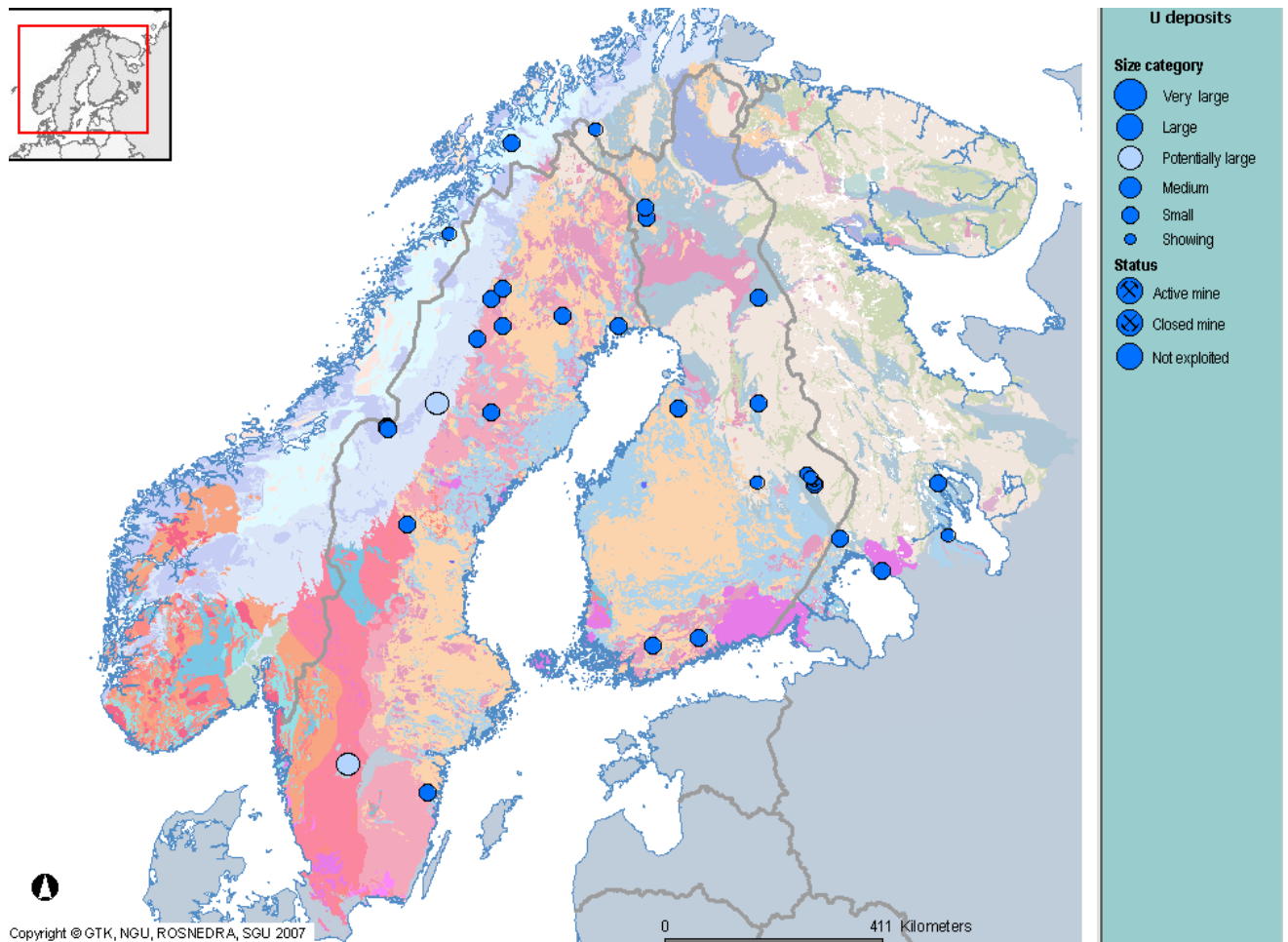


Kuva 6. Laatokan repeämisvyöhykkeen (riftogennaja zona) geologiaa ja rakenteita ilman Vendin ja nuorempien kausien sedimenttipeitettä. Rifeiset vulkaanis-sedimenttiset kivilajit (Jotuni): 1) konglomeraattia, hiekkakiveä, savikiveä; 2) gabro-doleriittia, montsodioriittia. Alaproterotsooisia, amfiboliittifasiuksen oloissa metamorfoituneita vulkaanis-sedimenttisiä komplekseja: 3) biotiitti-amfiboligneissia ja grafiittia sisältävää liusketta. Rapakiveä: 4) mikrokliinigraniittia, granodioriittia. Arkeoisia komplekseja: 5) gneissigraniittia, graniittigneissia, granodioriittia; 6) migmatiittista kiteistä liusketta ja gneissia; 7) metamorfisia ja migmatiittisia plagiograniittikomplekseja; 8) granaatti-amfiboli- ja granaattipyrokseenigneissia, granuliittia. Rakenteet: 9) Jänisjärven blokin rajaava siirros, 10) Ruskealan repeämävöhyke (riftoobrazujuštšaja zona). Uraaniesiintymät: 11) Karkku, 12) hydrotermis-metasomaattisia ja muita uraanimalmiaihteita, 13) hydrotermisiä uraaniesiintymiä Vendin pohjaosassa, 14) uraaniesiintymiä ordovikikauden Diktyonemaliuskeessa. Kartta: Kušnerenko et al. (2004).

Edellä mainitut Pietarin etelä- ja lounaispuolella paikannetut uraania sisältävät liuskeet jatkuvat **Viroon**, jossa alunaluskeesta on erotettu uraania vuosien 1948 ja 1963 välillä Sillamaen laitoksella. Kiveä louhittiin maanalaisista kaivoksista ja sitä käsiteltiin kyseisenä aikana kaikkiaan 240 000 tonnia. Uraanipitoisuus oli matala, tuotannon metallisisältö oli vain 65 tU, mikä vastaa alunaluskeen keskipitoisuutta 0,03 % U.

1.3 Uraani Fennoskandian malmiesiintymätietokannassa

GTK:n verkkosivuilla on 27.11.2007 julkistettu kansainvälisenä yhteistyönä laadittu Fennoskandian malmiesiintymätietokanta (<http://en.gtk.fi/ExplorationFinland/fodd/>). Kannassa on 33 esiintymää, joiden päämetallina on uraani sekä 16 esiintymää, joissa uraani on yksi muista mineraaleista (Taulukko 1). Uraanin keskipitoisuus esiintymissä vaihtelee pääasiassa välillä 0,03–0,1 % U. Esiintymien totaalimalmivarannot vaihtelevat suuresti.



Kuva 7. FODD-esiintymät (päämetallina uraani) Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja Venäjän federaatiossa Fennoskandian litologisen kartan päälle sijoitettuina (<http://en.gtk.fi/ExplorationFinland/fodd/>).

ID	Country	Name	Main_metals	Other_metals	Total_tonnage_Mt	U_pc	Hostrock1	Genetic_type
31	Finland	Sivakkaharju	Au	Co,U,Cu	0.028	0.03	Sericite schist	Orogenic gold (\pm Cu,Co)
34	Finland	Hangaslampi	Au,Co	U	0.176	0.03	Sandy siltstone	Orogenic gold (\pm Cu,Co)
63	Finland	Palmottu	U		1.018	0.11	Granite	Vein uranium
64	Finland	Onkimaa	U		2.7	0.01	Pegmatite granite	
232	Finland	Vihanti U	U		2.59	0.028	Felsic tuff	Stratiform phosphate
244	Finland	Ruunaniemi	U		0.112	0.14	Quartzite	Unconformity
245	Finland	Paukkajanvaara	U		0.04	0.14	Conglomerate	Unconformity
246	Finland	Ipatti	U		0.071	0.083	Conglomerate	Stratabound clastic-hosted U, Pb, Cu
265	Finland	Nuottijärvi	U		2.5	0.04	Skarn (calc-silicate rock)	Stratiform phosphate
336	Finland	Kouvertaara U	U		0.3	0.04	Sericite quartzite	Stratabound clastic-hosted U, Pb, Cu
340	Finland	Kesänkitunturi	U		1.4	0.065	Quartzite	Stratabound clastic-hosted U, Pb, Cu
341	Finland	Pahtavuoma U	U	Cu,Ag,Co,Ni,Pb	0.14	0.39	Mica schist	Vein uranium
375	Finland	Sokli	Nb,Zr,Ta	U	250	0.01	Carbonatite	Carbonatite associated (Cu, Fe, Ti, V, Nb-Ta, REE, U)
402	Finland	Temo	U		0.05	0.03	Skarn	Stratiform phosphate
409	Finland	Hermanni-2	U		0.02	0.08	Conglomerate	Unconformity
1085	Sweden	Duobblon	U		16.2	0.03	Volcanic breccia	
1087	Sweden	Ranstad	U		200	0.03	Black shale (alum shale)	
1089	Sweden	Tåsjö	U,REE		75	0.03	Shale	
1108	Sweden	Sågtjärnen	U		1.03	0.06	pegmatite	
1113	Sweden	Pålänge	U		6	0.03	Sedimentary rock	
1116	Sweden	Pleutajokk A	U		4	0.05	vein quartz	
1117	Sweden	Björkråmyran	U	Zr	1.09	0.14	Granite	
1118	Sweden	Virka	U		1.5	0.06	Mylonite	
1121	Sweden	Lilljuthatten	U		1.05	0.19	Dolerite, granite	
1122	Sweden	Nöjdfället	U		1.13	0.07	granite	
1123	Sweden	Kläppibäcken	U		0.93	0.09	Granite	
1125	Sweden	Olserum SV	U	REE	0.8	0.05	Sedimentary quartz-feldspar gneiss	
1127	Sweden	Skåpie	U		0.5094	0.1	Felsic volcanic rock	
1134	Sweden	Kvarnån	U		1.18	0.1	Sedimentary rock	
1353	Russia	Zheleznye Vo- rota	Au	U,Th	0.000001		Polymictic conglomerate	Clastic metasedimentary-hosted Ag-Pb-Zn
1389	Russia	Maimjarvinskoe	Au	U,Th,Cu,V	0.000003		Quartz conglomerate	Clastic metasedimentary-hosted Ag-Pb-Zn
1396	Russia	Pazhskoe	PGE	Au,Ag,Mo,Ni,U	0.02		Tuffite	Magmatic Ni-Cu-PGE
1397	Russia	Shulginovskoe	V	U,Cu,Au,PGE,Mo	6.424		Siltstone	Stratabound clastic hosted U, Pb, Cu

ID	Country	Name	Main_metals	Other_metals	Total_tonnage_Mt	U_pc	Hostrock1	Genetic_type
1398	Russia	Unitzko	U	V,Cr,Cu,Au,PGE,Mo	0.07	0.161	Siltstone	Unconformity
1401	Russia	Kovkozero	V	U,Mo	0.2		Siltstone	Stratabound clastic hosted U, Pb, Cu
1402	Russia	Srednjaja Padma	V	U,Au,PGE,Mo,Ag,Cu	4.59		Metasomatic rock	Stratabound clastic hosted U, Pb, Cu
1403	Russia	Vesennee	V	U,Au,PGE,Mo,Ag,Cu	1.291	0.046	Siltstone	Stratabound clastic hosted U, Pb, Cu
1404	Russia	Verhnjaja Padma	V	U,Au,PGE,Cu,Mo,Ag	0.565	0.043	Siltstone	Stratabound clastic hosted U, Pb, Cu
1415	Russia	Tzarevskoe	V	U,PGE,Cu,Mo,Au,Ag	3.378		Siltstone	Clastic metasedimentary-hosted Ag-Pb-Zn
1416	Russia	Kosmozero	V	U,Au,PGE,Cu,Mo,Ag	1.419		Siltstone	Clastic metasedimentary-hosted Ag-Pb-Zn
1417	Russia	Velikogubskoe	V	U	0.04		Albite-carbonate rock	Clastic metasedimentary-hosted Ag-Pb-Zn
1434	Russia	Mramornaya Gora	U	REE	0.06	0.65	Marble	Skarn (Zn-Pb-Ag, Cu, Au, Fe, W)
1447	Russia	Ptitzefabrika	U	Mo,Ag,Zr	0.05	0.06	Quartzite	Stratabound clastic-hosted U, Pb, Cu
1463	Russia	Karhu	U	Zn,Pb,Mo,Ag	0.3099	0.132	Sandstone	Stratabound clastic-hosted U, Pb, Cu
1639	Norway	Harelifjell	U					Vein uranium
1640	Norway	Njallaavzi	U				Albite diabase	Vein uranium
1649	Norway	Søve	Nb,Ta	Th,U,REE	0.7			
1747	Norway	Høgtuva	Be	REE,Zr,U,Nb	0.35	0.0321	Granitic gneiss	Peralkaline rock-associated rare metals (Nb-Ta,REE, Zr)
1765	Norway	Orrefjell	U		0.15	0.0615	Granite	Vein uranium

Taulukko 1. FODD-aineistosta poimittuja esiintymiä, joissa uraani on päämetalli tai yksi muista metalleista. Access-kannan voi ladata GTK:n verkkosivuilta (<http://en.gtk.fi/ExplorationFinland/fodd/>).

2 HUOMIOITA UUDEN ETSINNÄN PERUSTAKSI FENNOSKANDIAN KILVELLÄ

Viime vuosikymmeninä Fennoskandian kilven geologian, geokemian ja myös geofysiikan tuntemus on lisääntynyt oleellisesti kansainväliseen yhteistyöhön perustuneen korreloinnin ja karttojen julkaisemisen ansiosta. Kun tähän geotieteelliseen perustaan peilataan nykyisin sovellettavia malmimalleja sekä tunnetuista uraniesiintymistä koottua aineistoa, voidaan laatia yleisiä kehyksiä uutta uraaninetsintää varten:

- 1) Uraaniesiintymien luokitteluun on maailmalla vakiintunut OECD/NEA:n ja IAEA:n luettelo, joka perustuu esiintymien geologiseen asemaan, metallogeniaan ja suuresti myös taloudelliseen merkitykseen. Tämän mukaisesti tärkeimpiä tyypejä ovat unconformity-esiintymät, hiekkakivityypin esiintymien eri variaatiot sekä hematiittibreksiakompleksien esiintymät. Tämä luokittelu on kovin yleistetty eikä sellaisenaan käy kaikille maapallon kilpialueille sovellettavaksi. Täällä Karhun esiintymä osoittaa, että ainakin jonkinlaisia unconformity-tyyppiin luettavia esiintymiä Fennoskandian kilvellä on, mutta toisaalta taas hiekkakivityypin esiintymille tyypillisiä hiekkakiviä täällä ei ole.
- 2) Fennoskandian kilven alueella uraanin metallogeniaa tulee tarkastella paikallisemmasta näkökulmasta. Ukrainan kilvellä metasomaattisten uraaniesiintymien osuus on ollut tärkeä koko uraanintuotannon ajan, ja on esitetty ajatuksia, että vastaava metasomaattisten/hydrotermisten esiintymien vyöhyke jatkuisi Fennoskandian kilvellä kaakosta luoteeseen, Suomessa siis Kuusamosta Kittilään ja edelleen Käsivarren kautta Norjaan.
- 3) Unconformity-tyypin esiintymien mahdollisuutta Laatokalta eteläisen Suomen kautta Ruotsiin ja mahdollisesti Viroon tulee edelleen testata, etenkin alatyyppejä ”basement-hosted deposits”. Yhdeksi työhypoteesiksi on kehittymässä kaukaisempi variaatio tästä tyypistä, joka ajoittuisi 450–420 miljoonan vuoden taakse: havainnot tämän ikäisestä uraanin luonnollisesta rikastumisprosessista on eri puolilta Fennoskandian kilpeä: Suomessa Itä-Uudeltamaalta, Ruotsissa Östersundin länsipuolen vuorilta, Kuolan niemimaan Litsavuonolta ja myös Laatokan luoteispuolelta.
- 4) Kullan etsinnässä sovelletaan mm. Länsi-Lapissa ja vastaavalla alueella Ruotsissa rautaoksidi-kupari-kultaesiintymien mallia. Tämä malli on johdettu alun perin uraanin hematiittibreksiakompleksiesiintymistä, mikä käytännössä tarkoittaa Australian Olympic Dam –esiintymää. Tämä on maailman suurin yksittäinen uraaniesiintymä, mutta silti siinä uraanin tuotannon taloudellisuus perustuu useiden metallien (kupari, kulta uraani) tuottamiseen rinnakkain. Monimetalliesiintymien tuleekin olla yksi uraaninetsinnän kohde koko Fennoskandian kilvellä, esimerkkejä on jo runsaasti niiden potentiaalisuudesta (Kuusamo: kulta, koboltti, uraani; Äänisen alue: vanadiini, platinaryhmän metallit, uraani).
- 5) Uraanin talteenotto sivutuotteena voi nykyisillä nousevilla hinnoilla tulla kannattavaksi esiintymissä, joissa uraanipitoisuus on matala, mutta käsiteltävät massat suuria tai prosessin liuokset sellaisia, että uraanin saostaminen on mahdollista tai jopa hyödyllistä muista syistä. Vastaavasti nykyisessä hintakehityksessä tulisi ha-

kea uusia näköaloja uraania sisältävien kosteikkojen (soiden) ja jopa uraanipitoisten pohjavesien testaamisessa uraanintuotannon kannalta. Näitäkin tiedetään esiintyvän koko Fennoskandian kilven alueella.

- 6) Fennoskandian mitassa tarkasteltuna voidaan Suomesta erotella muutamia potentiaalisia uraanin esiintymisalueita etsintäkohteiksi:
 - a) Kuusamon tasalta Kittilään ja edelleen luoteeseen jatkuva jakso, jolla voi esiintyä metasomaattisen/hydrotermisen tyyppin uraani- ja monimetalli-esiintymiä. Kontrollaivina tekijöinä ovat muuttuminen (albiitti, kloriitti), tektoniset rakenteet ja litologiset kontrastit.
 - b) Rautaoksidi-kupari-kultaesiintymien vyöhykkeet Muoniosta Kolariin ja toisaalta Misissä Rovaniemen itäpuolella.
 - c) ”Lapin kolmion” alue Peräpohjan liuskealueen kohdalla ja sen jatkeet Ruotsiin (jossa U-esiintymät Pålång & Kvarnån). Kontrollaivina tekijöinä ovat arkeisen ja proterotsooisien kallioperän kontakti (unconformity), kvartsiitti-dolomiitti-mustaliuskeseurannot U-P-esiintymiseen, radioaktiiviset liuskeita leikkaavat granitoidit etenkin länsiosassa ja lisäksi muuttuminen ja tektoniset rakenteet.
 - d) Kainuun liuskejaksossa yhteydet Kuusamon jakson albiittituneisiin kiviin ja toisaalta 1,8 miljardin vuoden ikäinen ja sitä nuorempi graniittinen magmatismi sekä vastaavat suuren kokoluokan siirrokset liuskejaksosta poikki ja halki.
 - e) Pohjois-Karjalan liuskejakso ja sen jatkeet kaakkoon Jänisjärven taakse.
 - f) Etelä-Suomen voimakkaasti radioaktiiviset ja uraanipitoiset vyöhykkeet Uudellamaalla ja edelleen vastaavia kohteita Lahden-Heinolan tasalle. Väkeviä malmiviitteitä ja osoituksia koko kilven mitassa nuoresta uraanin rikastumisprosessista, jota pitäisi selvittää sekä taloudellisesta että tieteellisestä näkökulmasta.
 - g) Kuopiosta länteen Pohjanmaalle on hajanaisia havaintoja vähäisistä uraaniesiintymistä, joiden joukossa on kuitenkin monia uraani-fosforityypin esiintymiä, suurin Vihannin suljetussa kaivoksessa.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Afanasieva, E.N., Mikhailov, V.A., Lipner, A.A., Pimenov, A.F. & Serov, L.V. 2007. East Baltic Shield: Uranium Potential. S. 1119-1123 teoksessa Andrew, C.J. et al. 2007. Digging Deeper. Proceedings of the Ninth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Dublin, Ireland 20th-23rd August 2007, Vol. 2. IAEG. 1633 s.

Kušnerenko, V.K., Petrov, J.V., Pitšugin, V.A., Gromov, J.A., Šurilov, A.V., Polehovski, J.S., Tarasova, I.P. & Britvin, S.N. 2004. Geologitšeskoe stroenie i posledovatelnost epigenetitšeskogo mineraloobrazovanja uranovogo mestoroždenija Karku (severo-vostotšnoe Priladože). Materialy po geologii mestoroždenij urana, redkih i redkozemelnyh metallov 146, 11-23.

Mihailov, V.A., Afanasjeva, E.N., Mironov, J.B. & Kušnerenko, V.K. 2007. Metallogenitšeski potentsial urana severo-sapadnogo regiona Rossijskoj Federatsii. Regionalnaja geologija i metallogenija 32, 20-27.

OECD 1983. IUREP Orientation Phase Mission. Summary Report. Norway. Pariisi. 23 s.

OECD 2004. Uranium 2003: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Pariisi. 288 s.

OECD 2006. Uranium 2005: Resources, Production and Demand. A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Pariisi. 388 s.

Shurilov, A.V., Cuney, M. & Kister, Ph. 2007. Evolution of uranium enrichment in the Ladoga region (Russia). S. 1115-1118 teoksessa Andrew, C.J. et al. 2007. Digging Deeper. Proceedings of the Ninth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits. Dublin, Ireland 20th-23rd August 2007, Vol. 2. IAEG. 1633 s.

Thunholm, B., Lindén, A.H. & Gustafsson, B. 2005. Concentrations of uranium, thorium and potassium in Sweden. SSI rapport 2005:04, 54 s.

Äikäs, O. 2006. Uraaninetsintä havahtui Ruususen unesta nykypäivään. Materia 3/2006, 8-12.

Linkit

<http://en.gtk.fi/ExplorationFinland/fodd/> Fennoskandian malmiesiintymätietokanta.