



Näkymä Naissaaresta kohti pohjoista. Kuva: Keijo Nenonen, kesäkuu 2016

Pietarin ja Tallinnan kambrikautisesta savikivestä

KEIJO NENONEN, MIA TILJANDER, KARI KINNUNEN JA OSSI IKÄVALKO

Pietarissa ja Tallinnassa on pintaan puhkeavana tai rakennusten perustamissyvytydellä kambrikautinen savikivi. Savikivi on teknisiltä ominaisuuksiltaan varsin edullinen rakennuspohja kantavuutta vaativille rakenteille tai tunnelin tekoon.

Pietarissa mm. maanalainen metrotunneliverkosto on rakennettu tähän kambrikautiseen savikiveen (kuva 1). Pietarissa savikivipatjan paksuus on n. 50–120 m. Alakambriin ajoitettu sininen silttinen savikivi on iältään n. 530 miljoonaa vuotta. Kirjallisuuden mukaan savimineralogia on pääosin illiittiä, kaoliiniittia ja kloriittia. (Gorokhov *et al.* 1994,

Raidla *et al.* 2006). Pietarissa savikivi on vaihtelevan paksuisten kvartääristen hiekka- ja moreenikerrostumien peittämää. Pietarin historiallisessa keskustassa kambrisaven yläpinta on yleensä 12–30 m syvyydellä (Hakulinen 2015). Ensimmäisenä kambrisaveen tunkeutuivat metron rakentajat 1950-luvulla. Myöhemmin metron tunneliporaustekniikoilla rakennettiin kokoojaviemäreitä. Nykyään ja yhä enemmän tulevaisuudessa sinne porautuvat raskaiden rakennusten paalut. Kambrisavikeroksen merkitys pohjarakentamisessa on kasvanut jatkuvasti ja kasvaa myös tulevaisuudessa. Ainakaan toistaiseksi ei Pietarin pohja- tai tunnelirakenteita ole ulotettu sedimenttikivi-

en alapuoliseen peruskallioon, joka on parin sadan metrin syvyydessä (Hakulinen 2015).

Viron rannikon kambrikautinen Lontova-muodostuman sininen savi on Pohjois-Virossa ns. Baltic Klintin paksuin (n. 75 m) sedimenttikivikerrostuma, ja paikoin myös vanhin paljastuneena tavattava kerrostuma. Tallinnassa sininen savikivi on paljastuneena mm. Viimsin niemellä, jonne Helsinki–Tallinnatunnelin suunnitellaan nousevan, mikäli sitä tulevaisuudessa ryhdytään rakentamaan (kuva 2). Tallinnan sedimenttikivien stratigrafia on samanlainen kuin Pietarissa ja kiteinen, proterotsooinen peruskallio on noin 120–150 m syvyydessä (Ikävalko *et al.* 2013). Lontovavien iäksi on määritetty 545–524 miljoonaa vuotta (Moczydlowska ja Vidal 1988).

Sininen savikivi on paljastuneena myös useissa paikoin Pohjois-Viron kambri–ordoviikkikautisten sedimenttikivitörmien pohjaosissa ja lukuisissa savikivilouhoksissa mm. Kundassa (kuva 3). Savikivessä on vaaleita, silikaattisia ja litistyneitä pohjaeläinten, varhaisen foraminiferien onkaloita. Savessa tavataan myös rikkikiisulla täyttyneitä ryömisjälkiä. Savikiveä hyödynnetään tiilien teossa ja sementtiteollisuudessa (Suuroja 2006).

Savikivinäytteiden analyysit

Pietarin ja Kundan savikivinäytteet tutkittiin ja määritettiin röntgendiffraktiolla (XRD) GTK:n tutkimuslaboratoriossa Otaniemessä. XRD-menetelmää käytetään mineraalien tunnistuksessa, ja se soveltuu erinomaisesti etenkin savimineraalien tunnistamiseen. Menetelmän avulla voidaan savimineraalien tunnistamisen lisäksi selvittää myös niiden paisumisomaisuuksia. Savimineraalit esiintyvät myös usein erilaisina useampien savimineraalien yhdistelminä (seoshilamineraaleina), joita on erittäin hankala tunnistaa muilla menetelmillä. Savimineraalien tunnistamisessa näytteille

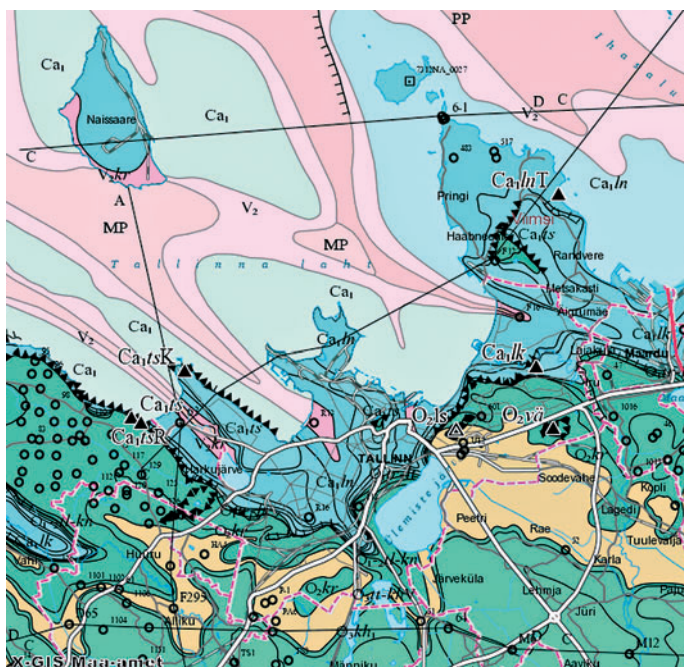


Kuva 1. Metrotunneli jyrsitään Pietarissa koko-profiilikoneella kuvan kambrikautiseen, kuivaan ja tiiviiseen savikiveen. Savikiven hienosyinen kerrosrakenne näkyy selvästi tuoreissa leikkauksissa. Kambrikautinen savikivikerrostuma on Pietarissa noin 50 m paksu ja paksuimmillaan 120 m. Tällainen savikivi on ideaalia materiaalia tunnelin jyrsimiseen, ja siinä on saavutettu tuotantoennätys 1250 m kuukaudessa. Kuvat: Keijo Nenonen

Figure 1. In St. Petersburg, the metro tunnels are dug with tunnel boring machines (TBMs) in the dry and consolidated Cambrian clay formation. The texture of the fine laminated claystone can be observed in the fresh cuttings of the tunnel. The Cambrian clay formation in St. Petersburg is from 50 m to 120 m thick. This type of consolidated clay is ideal material for TBM tunnel boring, and a record boring rate of 1250 m in a month has been achieved here. Photos: Keijo Nenonen

joudutaan yleensä tekemään erilaisia käsitteilyjä laboratoriossa.

GTK:lla Otaniemessä käytetään Brukerin D8 Discover A25 -laitteistoa, jossa anodimateriaalina on kupari. Mineraalien tunnistaminen tapahtuu vertaamalla XRD-laitteiston tuottamaa spektriä ICDD:n (International Center for Diffraction Data) mineraalitietokantaan PDF-4 Minerals. XRD-analyysia varten näytteistä irrotettiin pienet palat, jotka jau-



Kuva 2. Kartta Tallinnan alueen kallioperästä (Estonian Land Board Geoportal 2011). Siniset värisävyt kuvastavat kambrikautisia hiekkaja savikiviä (sinisavi), vihreät ja ruskeat värisävyt ordoviikkikautisia kalkkikiviä. Punaisella on karttaan merkitty kiteistä kallioperää ja sen päällä olevia alimman Vendin kiviä. Näissä kohdissa on edustettuna myös syvälle kuluneet hiekan ja soran täyttämät hautautuneet laaksot (buried valleys). Oikealla kartassa näkyy Viimsin niemi, jonne Helsinki-Tallinna-tunnelin on suunniteltu nousevan.

Figure 2. Map of the bedrock geology in Tallinn (Estonian Land Board Geoportal 2012). Blue colouring shows Cambrian sand and claystone sediments, and green colouring indicates Ordovician limestone. Red and

pink colours denote Vendian and Proterozoic rocks at the bottom of the deeply eroded buried valleys dating back to the Pleistocene Ice Age. On the right is the Viimsi peninsula where the Helsinki-Tallinn tunnel is planned to rise.

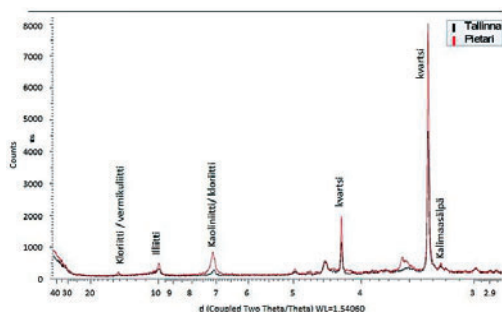
hettiin hienoksi jauheeksi käsin huhmareessa, kiinnitettiin asetonin avulla lasilevyllä ja ajettiin kulmaväliltä $2-70^\circ 2\Theta$. Generaattorin asetukset olivat 40 kV / 40 mA, mittaussäili 0.02° ja mittausaika 0,2 s.

Pietarin näyte on Prospect Slavyn metroasemalta ja Tallinnan näyte Kundasta. Molemmat näytteet sisältävät kvartseja, kalimaasälpää, illiittia, kaoliniittia sekä kloriitti-vermikuliittia (kuva 4). Kummassakaan näytteessä ei ole mukana paisuvia (smektiittiryhmän) mineraaleja. Kloriitti-vermikuliitti seoshilamineraalin tunnistus varmentui Tallinnan näytteelle tehdyillä laboratoriokäsittelyillä. Pietarin näytteessä on selvästi enemmän kvartseja ja kaoliniittia kuin



Kuva 3. Kundan savikivilouhoksen vaakakerroksellinen Lontova blue clay. Kuvassa Margus Raha pystyssä ja Heidi Soosalu kumartuneena tutkimaan savikiveä. Louhoksen savikiveä käytetään tiilien teossa ja betonin täyteaineksenä. Kuva: Keijo Nenonen

Figure 3. The Kunda claystone quarry and an exposure where the horizontal bedding of the Lontova blue claystone can be seen. Margus Raha is standing and Heidi Soosalu is kneeling and studying the claystone. Photo: Keijo Nenonen



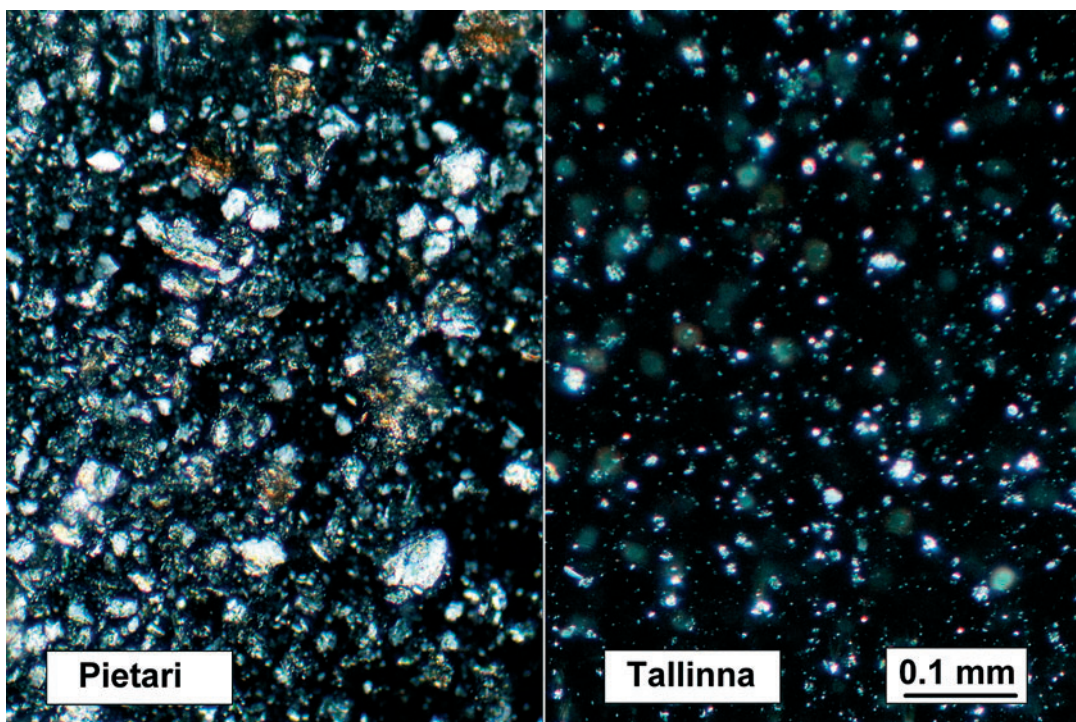
Kuva 4. Tallinnan Lontovan savikiven ja Pietarin metrosavikiven XRD analytiikalla tutkitut näytteet olivat mineralogialtaan huomattavan samankaltaisia. XRD ajot: Mia Tiljander

Figure 4. Diagrams from the XRD analysis of blue claystone from Lontova, Tallinn, and St. Petersburg show that their mineralogy is notably similar. XRD analyses by Mia Tiljander

Tallinnan näytteessä. Sama havaittiin polarisaatiomikroskoopilla Lontovan näytteistä tehdyistä immersio preparaateista (vrt. Raidla *et al.* 2006).

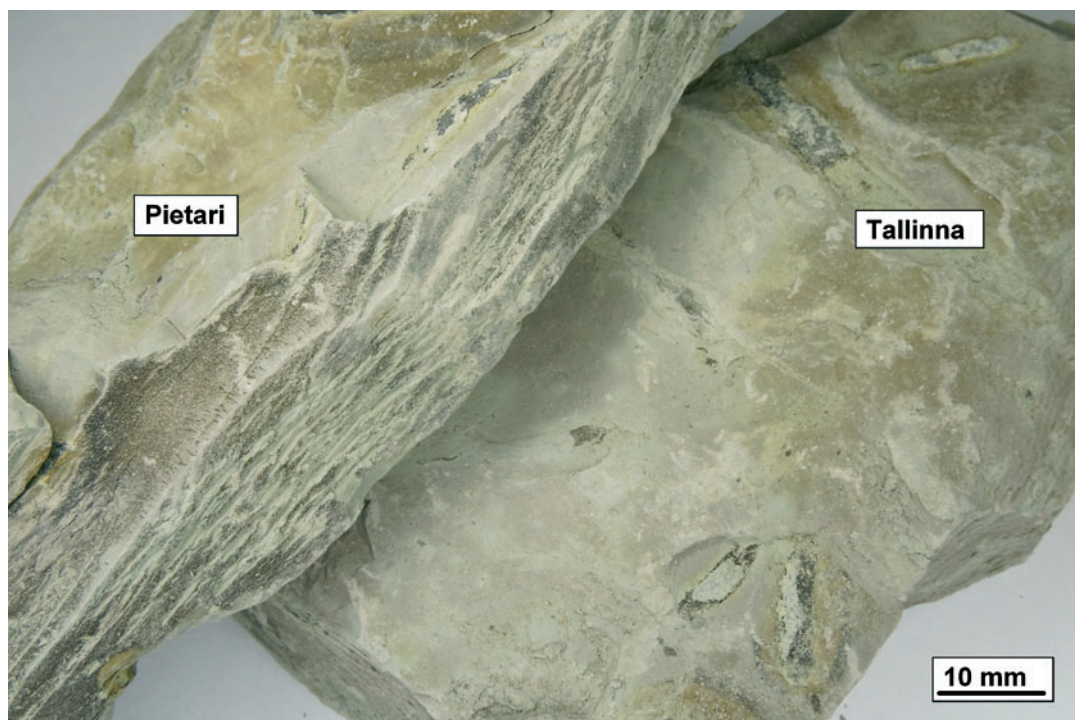
Pietarin savikivinäytteen detritaalisten, särmikkäiden kvartsirakeiden raekoko vaihtelee välillä 2–40 μm . Tallinnan näytteessä ne ovat pienempiä: 1–20 μm . Mittaus tehtiin polarisaatiomikroskoopilla immersionäytteistä. Voluumiltaan eniten on Pietarin näytteessä noin 20–30 μm kvartsirakeita, kun taas Tallinnan näytteessä 5 μm kvartsirakeita (kuva 5)

Lukumääräisesti eniten on kummassakin näytteessä kaikkein hienoimpia raekokoja. Kairauksen kuluttavuudelle voi Lontovan savikiven kohdalta käyttää alustavasti arviota



Kuva 5. Kairausta hidastavien kvartsirakeiden määrä ja koko on Tallinnan Lontovan savikivessä merkittävästi pienempi Pietariin verrattuna. Detritaalin kvartsi on polarisaatiomikroskoopin kuvissa valkoisen harmaa. Kuvat: Kari Kinnunen

Figure 5. Quartz content and grain sizes in relation to drilling budgets are significantly smaller in the Lontova claystone of Tallinn compared to the St. Petersburg claystone. Detrital quartz is light grey in polarizing microscope images. Photos: Kari Kinnunen



Kuva 6. Ulkoasultaan Tallinnan ja Pietarin kambrikautiset savikivet ovat hyvin samankaltaisia ja kuivina varsin kiinteitä, vedenläpäisevyys on alhainen ja huokostilavuus pieni. Savikivi on myös varsin tasalaatuista ja helppoa työstää. Hyvin märkänä savikivi liettyy pinnaltaan mutta säilyttää kuitenkin kantavuutensa. Nuoriin postglasiaaliisiin saviin verrattuna savikivi on kiinteää eikä myöskään muokattavissa tai märkänä juoksevaa. Kuva: Kari Kinnunen

Figure 6. The Cambrian claystones at Tallinn and St. Petersburg closely resemble each other. They are well consolidated when dry, and their water permeability and porosity are low. The Cambrian claystone is homogeneous and easy to cut and work with. Compared to unconsolidated postglacial young clays, Cambrian claystone is compact and tight and its plasticity is low. Photo: Kari Kinnunen

5 mikrometriä. Raekoko on mitattu Image Java -kuva-analyysiohjelmalla ristiinpolarisoiduista digikuvista. Detritaalisien kvartsien raekoko on Pietarin savikivessä keskimäärin 0,02–0,03 mm, mikä osoittaa savikivessä olevan runsaasti (40–45 %) hiesua tai hienosilttiä ja savipitoisuus on yli 50 % kiven massasta.

Yhteenveto

Pietarin ja Tallinnan kambrikautiset savikivet ovat ulkoasultaan, ominaisuuksiltaan, koostumukseltaan, stratigrafiselta asemaltaan ja kerrospaksuudeltaan ällistyttävän samankaltaisia

(kuva 6). Koska ne sijaitsevat Fennoskandian peruskallioalueen lähinaapurissa ja peittävät sen liepeitä, voidaan merkittävän osan niiden sisältämästä mineraaliaineksesta ajatella olevan peräisin kilpialueelta. Savikiven häiriintymätön rakenne, plastinen tekstuuri ja alhainen diagenesis viittaavat alueen pitkään ja rauhalliseen geologiseen historiaan. Fennoskandian kilven muodostumisen jälkeen on seurannut pitkä jakso kilven rapautumista, kulutusta ja aineksen kulkeutumista muinaisiin Itämeren vaiheisiin. Yksi tämän geologisen kehityksen ja prosessien tuloksista on nyt tutkittu Pietarin ja Tallinnan kambrikautinen savikivi. Meil-

lä todisteita samoista prosesseista löytyy mm. Vaasan Söderfjärdenin meteoriittikraatterin kambrikautisista silttikivistä (Lauren *et al.* 1978), Virtasalmelta kaoliinirapautumista (Sarapää 1996), Naakkiman meteoriittikraatterin Vendikautisista sedimenteistä (Elo *et al.* 1993) ja Taivalkosken Saarijärven meteoriittikraatterista (Tynni ja Uutela 1985).

Ajankohtainen yhteneväisyys Pietarin ja Tallinnan savikivillä on niiden soveltuminen tunnelirakentamiseen. Pietarissa koko 116 km:n metroverkosto on rakennettu ja kokoprofiiliporattu kambrikautiseen savikiveen. Siellä on myös saavutettu 1981 kokoprofiiliporauksen ennätys metrolinjan teossa, 1250 m kuukaudessa. Epäilemättä Tallinnassakin, Lontovan sinisessä savikivessä, voidaan päästä vastaavanlaisiin tunneliporaussuorituksiin nykyaikaisella TBM kalustolla. Kovaan peruskallioonkin uudet Hard rock TBM -tunnelinpo-

rauslaitteet pystyvät, mutta niissä eteneminen on hitaampaa, 13–15 m päivässä eli noin 300 m kuukaudessa (vrt. Nenonen ja Ikävalko 2012).

KEIJO NENONEN

MIA TILJANDER

KARI KINNUNEN

OSSI IKÄVALKO

Geologian tutkimuskeskus, Espoo

PL 96

02150 Espoo

Keijo Nenonen on johtava asiantuntija tieteellisessä tutkimuksessa GTK:ssa, Mia Tiljander erikoistutkija mineralogisissa tutkimuksissa ja GTK:n röntgendiffraktiolaboratoriossa, Kari Kinnunen erikoistutkija mineralogisissa tutkimuksissa ja Ossi Ikävalko erikoisasiantuntija maaperän rakennettavuusselvityksissä, mm. Tallinna-tunnelin toteutettavuusselvityksissä.



Rantaa Viimsin niemellä, jossa vain ohut moreeni verhoaa kambrikautisen savikiven törmää. Rannan lohkkareikko on Suomesta ja Suomenlahden pohjalta jäätikön irrottamaa ja kuljettamaa proterotsooista kiviainesta. Kuva: Keijo Nenonen, kesäkuu 2016

Summary:

The Cambrian claystone in St. Petersburg and Tallinn

The St. Petersburg blue clays are a part of a clay–sandstone sedimentary series over the Archaean–Precambrian craton of the Baltic Shield. With a thickness of up to 120 m, they outcrop on the southern shore of the Baltic Sea in the area of St. Petersburg (under Quaternary deposits) as a 30–50 km strip. According to the grain-size distribution, more than 50 % (weight) of the particles are clays. A silty fraction of more than 30 % may classify them as silty clays. The mineralogy of the clayey phase is illite, kaolinite and sub-ordinated chlorite. Other major minerals are quartz and pyrite as a heavy mineral (Gorokhov *et al.* 1994, Raidla *et al.* 2006).

The Cambrian clays in Tallinn, Estonia, are typically also soft (non-lithified) sediments. The Estonian Lontova Formation belongs to Lower Cambrian Lontova Stage and is composed of blue clay, being the thickest (up to 75 m) rock complex in the North Estonian klint zone. The Lontova Stage is also the oldest rock complex outcropping in the scarp of the North Estonian Klint. The Lontova blue claystone crops out in several places on the North Estonian Klint at the foot of the Cambrian–Ordovician or Cambrian escarpment, but also in claystone quarries. The blue claystone contains masses of white flattened siliceous tubelets of the earliest foraminifers, and additionally abundant pyritized crawling fossil tracks. It is also the rock underpinning the Estonian structural clay products industry. Blue clay is an illite clay, i.e. a fusible clay (Suuroja 2016).

In this study, samples of both blue claystone formations were analysed with a Bruker D8 Discover A25 X-ray diffraction

instrument and studied microscopically using image analysis software. Both samples were found to contain quartz, K-feldspar, illite, kaolinite and mixed clay chlorite-vermiculite. Swelling clay minerals were not identified. The petrography was examined with a polarizing microscope using oil immersion preparations. Both blue claystones are surprisingly similar in their texture, granulometric composition, formation thickness, mineral contents, including detrital quartz proportions, and stratigraphic position.

The large metro network in St. Petersburg has been dug in this Lower Cambrian claystone. It has proven to be favourable for using tunnel boring machines (TBMs), as well as a good foundation to pile the ground for taller buildings. Evidently, the Lower Cambrian Lontova blue claystone at Tallinn could offer a similar basement for starting the construction of an undersea tunnel towards Helsinki, if this is eventually realised (Ikävalko *et al.* 2013).

Kirjallisuus

- Elo, S., Kuivasaari, T., Lehtinen, M., Sarapää, O. ja Uutela, A., 1993. Iso-Naakkima, a circular structure filled with Neoproterozoic sediments, Pieksämäki, southeastern Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 65:3–30.
- Estonian Land Board Geoportal, 2011. Ote Tallinnan alueen kallioeräkartasta. <http://geoportaal.maaamet.ee/eng/Map-Server-p35.html> [17.9.2017]
- Gorokhov, I.M., Clauer, N., Turchenko, T.L., Melnikov, N.N., Kutiyavin, E.P., Pirrus, E., *et al.*, 1994. Rb–Sr systematics of Vendian–Cambrian claystones from the East European platform implication for a multi-stage illite evolution. *Chemical Geology* 112:71–89.
- Hakulinen, M., 2015. Vaativaa pohjarakentamista Pietarissa. Opetusmoniste 93 s. <http://personal.inet.fi/yritys/geomatti/Pietarin%20vaativaa%20pohjarakentamista%206.5.2015.pdf> [17.9.2017]
- Ikävalko, O., Vähäaho, I. ja Suuroja, S., 2013. Soil and bedrock conditions to be expected in Tallinn–Helsinki tunnel construction. *Strait Crossings* 2013, Statens Vegvesens Rapport Nr. 213, 790–799.

- Lauren, L., Lehtovaara, J. ja Boström, R., 1978. On the geology of the circular depression at Söderfjärden, western Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 297, 5–38.
- Moczydlowska, M. ja Vidal, G., 1988. How old is Tommotian? *Geology* 16:166–168.
- Nenonen, K. ja Ikävalko, O., 2012. Tunneli läpi harmaan kiven Tallinnaan. *Geologi* 64:75–80.
- Raidla V., Kirsimäe, K., Bitukova, L., Jeleht, A., Shogenova, A. ja Šliaupa, S., 2006. Lithology and diagenesis of the poorly consolidated Cambrian siliciclastic sediments in the northern Baltic Sedimentary Basin. *Geological Quarterly* 50: 395–406.
- Sarapää, O., 1996. Proterozoic primary kaolin deposits at Virtasalmi, southeastern Finland. Geological Survey of Finland, Special Publication 18 b. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 152 s.
- Suuroja, K., 2006. North-Estonian Klint as a symbol of Estonian nature. Keskonna-ministeerium & GeoTrail, Tallinn, 224 s.
- Tynni, R. ja Uutela, A., 1985. Late Precambrian shale formation of Taivalkoski in northern Finland. *Geologi* 37:61–65.

Millainen geologinen kuvakulma voi pysäyttää 16-vuotiaan?

Kansikuvakilpailu

Geologi lähettää vuoden 2017 viimeisen numeronsa Suomen lukioihin, minkä kunniaksi toimitus ja SGS:n hallitus järjestävät kansikuvakilpailun. Kilpailuun voi osallistua perinteisillä maisemaotoksilla, kenttätyökuvilla ja tietysti persoonallisilla ideoilla ja mittakaavoilla höystetyillä teoksilla.

Lähetä seisauttava, lumoava tai persoonallinen ehdotuksesi 30.10.2017 mennessä sähköpostitse seuran sihteerille (sihteer@geologinenseura.fi), mukaan kuvaajan nimi, päivämäärä ja kuvan nimi sekä halutessa enintään yhden lauseen selitys.

Paras kuva pääsee kanteen ja parhaimmisto lehden sivuja koristamaan.