



Tunneli läpi harmaan kiven Tallinnaan

KEIJO NENONEN
JA OSSI IKÄVALKO

Ajatus ratayhteydestä Suomenlahden ali Tallinnaan on taas noussut esiin, kun laajempia suunnitelmia Baltian rautatieyhteyksistä keskiseen Eurooppaan kaavaillaan. Ajatus junatunnelista on pyörinyt kalliorakentajiemme ja suunnittelijoiden seminaareissa ja selvityksissä jo parikymmentä vuotta. Rautatieyhteys tunnelin tai junalautojen avulla on ajankohtainen kun Baltian nopea ratayhteys Keski-Eurooppaan, Rail Baltika on toteutumassa EU:n osittain rahoittamana. Geologian tutkimuskeskuksen GTK 2030 ulottuvassa visiossa Tallinna tunneli tuli jälleen esiin. Rautatieyhteys toteuttaisi pääkaupunkiemme vision kaksoiskaupungista (Helsinki, Talsinki), kun nopeilla junilla voitaisiin vahaassa tunnissa kiittää Suomenlahden ali keskustasta keskustaan. Samalla nopeat junayhteydet keskiseen Eurooppaan tarjoaisivat päästöttömän ja turvallisen tavan matkustaa muutamassa tunnissa vaikka Varsovaan tai Berliiniin. Ratayhteys tarjoaisi myös jatkuvan ja nopean raskaamman lastin tavarankuljetuksen Suomen ja muun Euroopan välille. Rautatievaihhtoehto helpottaisi nykyisiä satamien purkuliikenteen vaikeuksia molemmissa pääkaupungeissa. Ratayhteys todellakin integroisi meitä entistä paremmin Eurooppaan. Ihmistien, tavarin ja pääoman sujuva liikkuvuus toteutuisi (Katainen 2012).

Louhintatekniikassa on uusia mahdollisuuksia

Louhintatekniikan kehittyminen tuo vision jo lähemmäksi vakavasti otettavaa liikennevaihtoehtoa. Suomessa vuorimiehemme ovat tottuneet rakentamaan pitkiäkin tunneleita kovaan kallioperäämme. Tästä on osoituksena Päijänne-tunneli, jota pitkin pääkaupunkiseutu saa raakavetensä Päijänteestä 120 km päästä. Espoon Länsimetro on modernin osoitus louhintatekniikan etevyydestä, siinä 13,9 km:n metrojärjestelmä valmistuu noin viidessä vuodessa ja itse tunnelin louhinta noin kolmessa vuodessa. Suomessa tunnelit on tähän asti tehty louhimalla, siis poraamalla ja räjäyttämällä. Kova kiteinen kallioperämme mahdollistaa laajojen avoimien tilojen louhimisen kallioon, kuten jäähallien, uimahallien ja suurten kalliosäiliöiden tekemisen maanalaisina. Usein maanalainen tila tulee edullisemmaksi kuin maanpäällinen, erityisesti yläpito-kustannuksiltaan ja samalla rakennusalaan vapautuu muuhun käyttöön.

Maailmalla liikennetunnelien ja vesitunnelien teossa käytetään nykyään yhä enemmän tunnelien porausta – jyräntää suurilla täysprofiilikoneilla l. TBM-porauksella (Lach et.al.2000) (Kuva 1). Yleisintä täysprofiilikoneiden käyttö on pehmeissä kerrostumissa, sedimenttikivissä, mutta koviin kiviin kehitettyjen koneiden käyttö lisääntyy jatkuvasti. Jyräntäporakoneiden leikkauspäät kovia kivilajeja varten ovat kulutusta kestäväällä volframikarbidilla paranneltuja kovametallirullia. Satojen

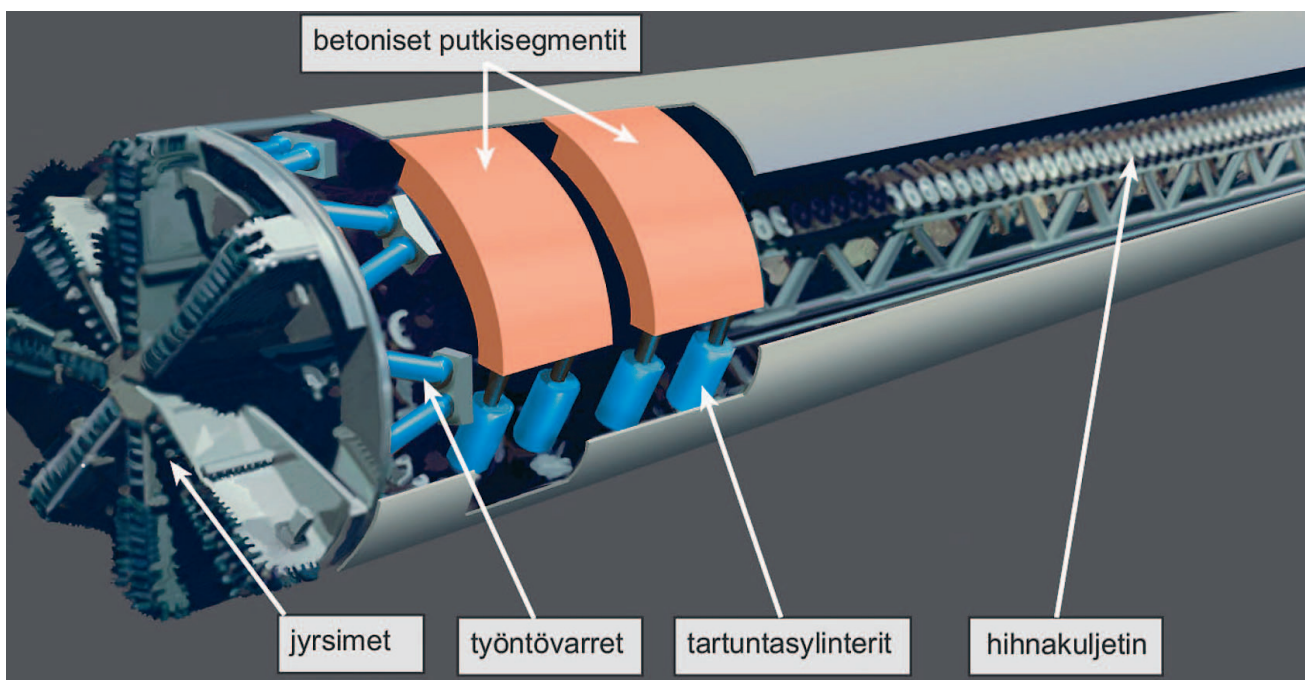


Kuva 1. Täysprofiilikone Robbins TMB (Tunnel Boring Machine) jyrsimässä tunnelia Chicagossa USA:ssa siluuri-kautiseen kovaan dolomiittikalkkikiveen (Lach et al. 2000).

Fig. 1. Robbins Tunnel Boring Machine TBM entering the main line tunnel in Chicago USA through Silurian hard dolomite rock (Lach et al. 2000).

tonnien painoinen laitteisto painaa ja pyörittää kymmeniä jyrsinrullia sisältävää leikkauspäätä vasten kalliota, jolloin kallio murenee sepeliksi. Ruuvikuljettimien avulla sepeli syötetään hihnakuuljettimille ja kuormataan edelleen pois tunnelista (Kuva 2). Tuloksena on siisti putkimainen tunne-

li, jonka läpimitta voi olla enimmillään jopa 15 m. Täysprofiiliporauksella kiteiseen kovaan kalliopereään tehty tunneli on turvallisempi kuin louhimalla ja räjäyttämällä tehty, koska kallioon ei synny yhtä paljon uusia halkeamia ja irtonaisia lohkeita (komuja) kattoon ja seiniin. Porattujen tunneleiden



Kuva 2. Periaatekuva tunnelia jyrsivän TMB täysprofiiliporauslaitteiston toiminnasta (Harri Kutvonen). Profiiliporaukseen etuosassa olevat kovametalliset jyrsimet rikkovat kalliota ja irrottavat tunnelin rintamuksesta kivimurskaa, joka ohjataan siitä välppien ja kourujen kautta hihnakuuljettimelle. Hihnakuuljetin syöttää jyrsityn kivimurskan edelleen kuorma-autoihin tai kuljetusvaunuihin poistettavaksi tunnelista.

Fig. 2. A principle illustration how a tunnel boring machine TBM operates (Harri Kutvonen). Hard rock TBMs excavate rock using hard metal disc cutters mounted in the cutter head. The disc cutters create compressive stress fractures in the rock, causing it to chip away from the rock in front of the machine, the tunnel face. The excavated rock is transferred through openings in the cutter head to a belt conveyor, where it runs through the machine to a system of conveyors for removal from the tunnel.

lujittamistarve ja työmaa-aikainen tärinä, meluhaitta ja tuuletustarve ovat huomattavasti louhintamenetelmällä tehtyjä vähäisemmät. Porausmenetelmällä tunnelin teko on tiettävästi 2–3 kertaa nopeampaa kuin louhimalla, mutta poraamalla ei kuitenkaan voida tehdä hallitiloja tai muita avonaisia maanalaisia louhoksia. Norjalaisten esimerkkien mukaan poraamalla tunneli etenee noin parin metrin tuntivauhtia kovissa kivissä kuten graniiteissa ja gneisseissä. Täysprofiilikoneet ovat kooltaan luokkaa 500 tonnia ja niiden ajamiseen tarvitaan kymmenhenkinen miehistö per työvuoro. Mikäli Tallina tunnelin teossa käytetään täysprofiiliporausta, niin arviolta noin 60 km linjauksesta tehtäisiin kovaan kiteiseen kiveen ja vajaa 20 km porattaisiin pehmeisiin sedimenttikiviin. Pehmeissä kivissä täysprofiiliporaustekniikka on muutenkin ainoa käyttökelpoinen menetelmä ja niissä tunneli vuorataan yleensä betonielementeillä.

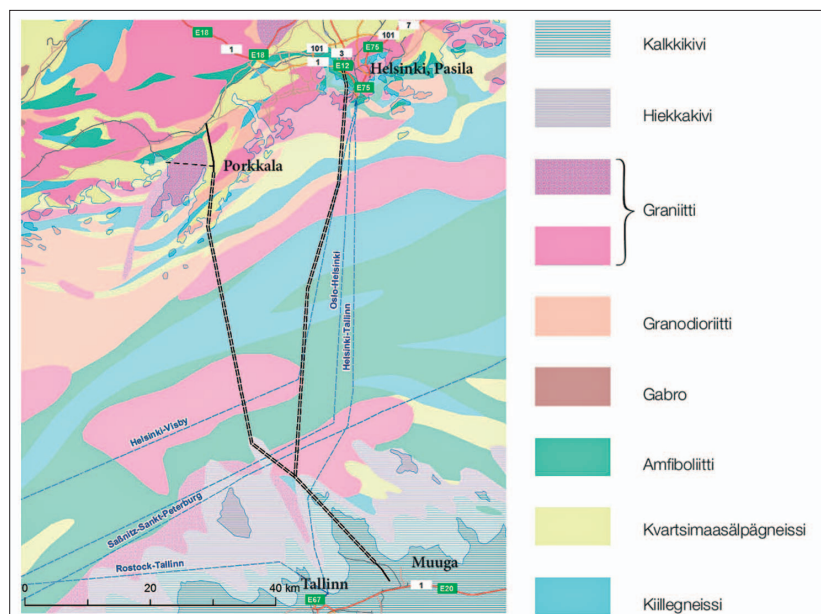
Suomenlahden pohjan kallion ominaisuudet

Geologialtaan kallioperä Suomenlahden pohjalla on GTK:n tutkimusten mukaan meille kotoisia kiteisiä peruskallion kiviä; graniitteja, seoskiviä, gneissejä, kiilleliuskeita, amfiboliitteja ja Viron puolella myös rapakiveä (Koistinen 1996) (Kuva 3). Kiteiseen kovaan peruskallioon tunnelit ja tuuletuskuilut voidaan tehdä tavanomaisesti louhimalla tai täysprofiiliporauksella. Kallioperässä esiinty-

viä rikkonaisuusvyöhykkeitä ei tarkkaan tunneta Suomenlahden alueella. Rakentaminen edellyttää tutkimuksia merialueella. Tunneli tulee lävistämään lukuisia kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeitä - ruhjeita, joiden läpi mentäessä tunnelia täytyy lujittaa ja tiivistää erityisen hyvin.

Naissaaren tasalla Virossa löyhät irtomaakerrostumat ja sedimenttikivet peittävät kiteistä kovaa kallioperää jo runsaan 140 m paksuna muodostumana Eesti Geoloogiakeskuksen (EGK) mukaan (Estonian Land Board 2012) (Kuva 4). Siitä noin 100 m on löyhiä, lähinnä kambrikautisia sedimenttikiviä, jotka sisältävät n. 60 m paksun kerroksen sinistä "savikiveä" ja sen päällä kambrikautista hiekkakiveä ja ylinnä noin 40 m jääkautisia irtomaakerroksia, moreenia, hiekkaa ja soraa. Peruskallion ja savikiven välissä on useita kymmeniä metriä paksu huokoinen hiekkakivi, joka on hyvin vettä johtavaa (Kuva 5). Sedimenttikiviin tunneli ja tuuletuskuilut pitää tehdä täysprofiiliporauksena jyrsimällä ja verhoilemalla tunneli samanaikaisesti betonielementeillä.

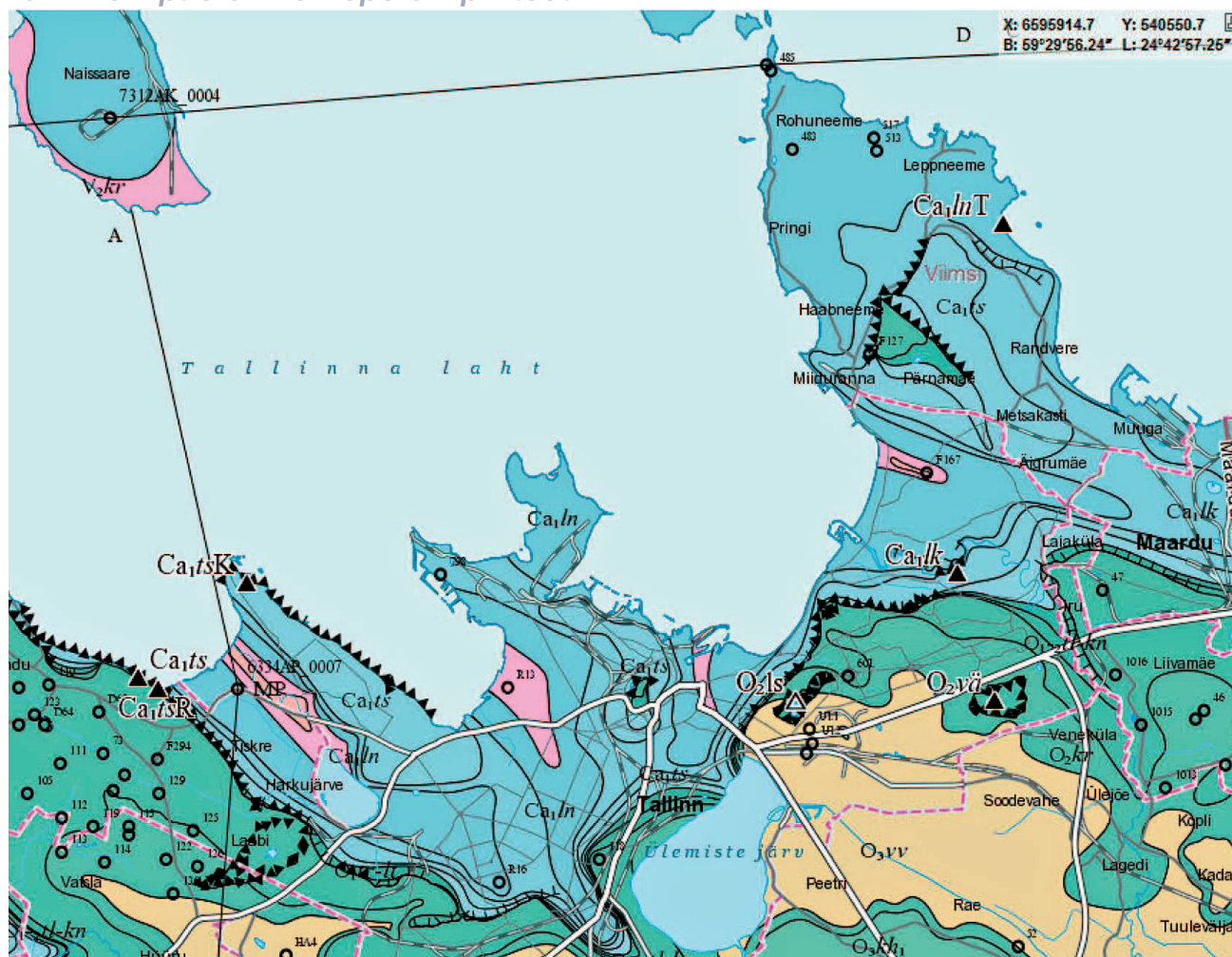
Viron rannikolla muinaisen jyrkän rantatörmän mm. Vanhan kaupungin Toonpean-mäellä, muodostaa runsaasti fossiileja sisältävä ordovikikalkkikivi, joka kattaa kovana kantena em. kambrikautisia sedimenttikiviä. Rantatörmä on tyypillinen Suomenlahden etelärannalla ja Gotlannissa ja sitä kutsutaan Baltic Klintiksi. Jääkauden sulamisvesivirrat ovat uurtaneet löyhään sedimentti-



Kuva 3. Tunnelivaihtoehdot Helsingistä ja Porkkalasta Tallinaan Anttikosken (2008) mukaan Suomenlahden ja ympäristön 1:1 milj. kallioperäkartalla (Koistinen, 1996)

Fig. 3. Alternative tunnel courses from Helsinki and Porkkala to Tallinn according to Anttikoski (2008) drawn on the map of Precambrian basement of the Gulf of Finland and surrounding area 1 : 1 mill (Koistinen, 1996).

Tallinnan puolen kallioperän piirteet



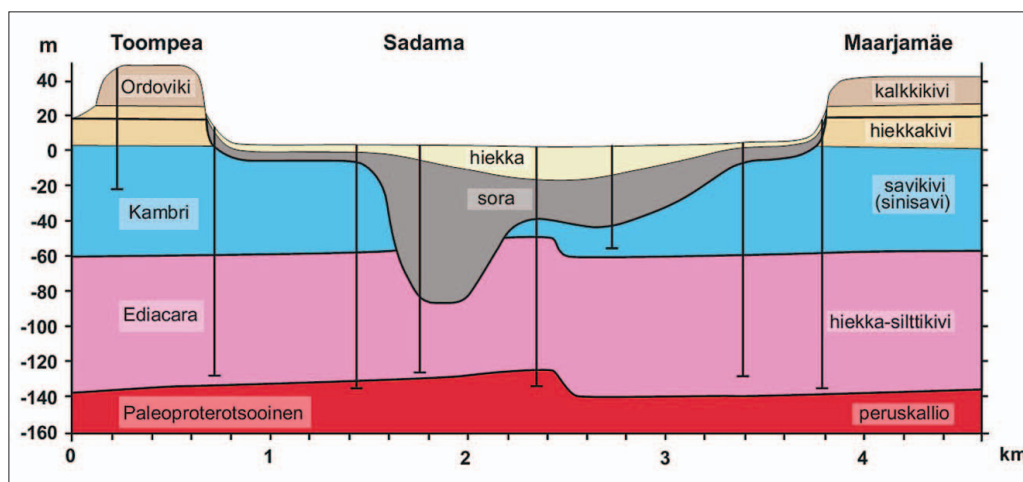
Kuva 4. Karttakuva Tallinnan alueen kallioperästä, Eesti geoloogiakeskuksen karttapalvelin (Estonian Land Board 2012). Siniset värisävyt kuvastavat kambrikautisia hiekka- ja savikiviä (sinisavi), vihreät ja ruskeat värisävyt ordovikikautisia kalkkikiviä. Punaisella merkitty kiteistä kallioperää ja sen päällä olevia alimman vendin kiviä. Näissä kohdissa on edustettuna myös syvälle kuluneet jääkautiset hiekan ja soran täyttämät hautautuneet laaksot (buried valleys).

Fig. 4. Map of bedrock geology in Tallinn according to the Estonian Geological Survey map server (Estonian Land Board 2012). Blue coloring on the map shows Cambrian sand- and clay stone-sediments, green coloring the Ordovician limestone. Red and pink colors on the map shows the Vendian and Proterozoic rocks at the bottom of the deeply eroded buried valleys dating back to the Pleistocene Ice Age.

kivipohjaan syviä lähinnä luode-kaakko suuntaisia jokiuomia, jotka ovat täyttyneet löyhillä sedimenteillä, hiekalla, soralla ja moreenilla. Jopa yli 100 m syvät hautautuneet jokiuomat ovat tunnelin teon kannalta hankalia paikkoja ja niitä on syytä välttää mahdollisimman tarkoin (Vaher et al. 2009). Niidenkin läpi kuitenkin päästään tarvittaessa jäädyttämällä ja jyrsimällä betonielementeillä vuorattu tunneli löyhän kohdan läpi.

Meren pohja Helsingin edustalla on muuta-

mia kymmeniä metrejä matalaa ja Viron rannikolla meri on syvää 80–90 m. Helsingistä lähtiessä tunneli laskisi loivasti noin 200 m:n syvyyteen Viron aluevesirajan tuntumassa ja nousisi sieltä noin 30 km:n matkalla pintaan mahdollisesti Muugan sataman tuntumassa, jossa tiivis savikivi, sinisavi on paljastuneena. EGK on tutkinut ja aikanaan kairannut Tallinnan aluetta tarkasti ja sen perusteella Tallinnan nykyisen sataman alueella on erisuuntaisia soralla ja hiekalla peittyneitä laakso-



Kuva 5. Leikkauskuva hautautuneesta Jääkaulisesta laaksoista Tallinnan alueella Vaher, et al. (2009).

Fig. 5. A sketch illustrating the position of the ancient Pleistocene buried valley in the city of Tallinn according to Vaher et al. (2009).

ja, joita tunnelin linjauksessa on syytä välttää. Helsingissä tunneli voitaisiin yhdistää suunnitteilla olevaan maanlaiseen rataverkkoon. Tärkein periaate tulisi olla liikenneyhteyden luominen keskustasta keskustaan, jotta kaksoiskaupunki visio toteutuisi mahdollisimman hyvin.

Tiedot Suomenlahden pohjan kallioperästä on kerätty tutkimuslaitostemme geologisen kartoituksen yhteydessä ja tarkemmat geotekniset tiedot on selvitettävä tarkemmin eri linjausvaihtoehtojen suunnasta syväluotaamalla ja kairaamalla mantereella ja matalikoille.

Tähän mennessä on ollut esillä kolme tunnelin linjausta (Asunmaa 2009):

- Pasila, Ruoholahti, Rohuniemi Viimsissä ja sieltä Maardun kautta Tallinnaan
- Pasila, Porkkala, Rohuniemi, jne.
- Pasila, Seutulan lentokenttä, Porkkala, Naissaari, josta siltayhteys mantereelle.

Merenalaista tunnelia on Ruoholahti-vaihtoehdossa 66 km, Porkkala–Rohuniemi -vaihtoehdossa 50 km ja Porkkala Naissaari vaihtoehdossa n. 40 km.

Mitä tunneli maksaisi

Nyt kun uusi teknologia on tullut avuksi, ajatus Suomenlahden merenalaisesta ratayhteydestä alkaa tuntua realistiselta. Rahaa ja resursseja toki tarvitaan, mutta ne ovat samassa suhteessa nykyisen meriliikenteen kulujen kanssa. Nyt runsas seitsemän miljoonaa matkustajaa + rahat kuljetetaan Suomenlahden yli runsaalla puolella miljardilla eurolla vuodessa, viidellä autolautalla ja joukolla

pika-aluksia kolmen modernin sataman kautta. Rinnakkaiset junaliikennetunnelit saa tehtyä todennäköisesti Vuosaaren sataman junatunnelin tasoisena hintaan noin 20 milj. €/km tai Espoon metron tasoisena ehkä 51 milj. €/km. Paritunnelin rautatietä varten tarvitaan 80 km ja mikäli lisäksi tehdään huoltotunneli tietoliikennekaapeleita ym. varten, tarve on lisäksi ajoneuvotunnelia 80 km. Hintahaarukka on eri laskelmien mukaan 2–3 miljardin euron välillä (Asunmaa 2009, Anttikoski 2005). Huomattakoon, että kallioperään rakennettu tunneli on käytännössä ikuinen ja tämän tyyppisen liikenneinfrastruktuurin käyttöäksi tulee arvioida 200 vuotta. Itse tunnelin louhiminen tai poraaminen voi kestää runsaat kymmenkunta vuotta, jos käytettävissä on tarpeeksi kalustoa ja resursseja. Yhdellä kalustolla tunnelia syntyy arviolta noin 5 km vuodessa. Junatunneli ei kuitenkaan poista lauttaliikenteen tarvetta, risteilyliikenne lahden yli varmaan jatkuu, joskin entistä enemmän vapaa-ajan viihdykkeenä. Rautatietunnelivaihtoehdossa kyseessä on hyvä kestävä kehityksen ja käytön mukainen rakenne. Sitä voi verrata vaikutukseltaan ja merkitykseltään vaikkapa uuteen ydinvoimalaan, jonka hinta on samaa luokkaa.

Kirjallisuus

- Anttikoski, U. 2005. Suomenlahden rautatietunnelin rakennettavuuden arviointia. Muistio 22.1.2005 verkkojulkaisuna: <http://baltirail.wordpress.com/kirjoituksia/anttikoski-usko/>
- Anttikoski, U. 2008. Tunneliyhteys mahdollinen, autoreferatti seminaarista: Rail Baltica Rautatieseminaari Tallinnassa 22.5.2008. Verkkojulkaisussa:

<http://baltirail.wordpress.com/kirjoituksia/antti-koski-usko/>

- Asunmaa, M. 2009. BALTIRAIL-oikotie Euroopan sydämeen. Verkkajulkaisussa: Estonian verkkolehti ja Viro-portaali. <http://viro.org/vanha/tunneli.htm>
- Estonian Land Board 2012. Maa-ameti Geoportaal, Geoloogia. Viron geologisten karttojen verkkoportaali; <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGIS>
- Katainen, J. 2012. Jyrki Katainen - Miksi tuen Rail Baltikaa? <http://baltirail.wordpress.com/kirjoituksia/jyrki-katainen/#comment-27>
- Koistinen, T. J. (ed.) 1996. Explanation to the map of Precambrian basement of the Gulf of Finland and surrounding area 1 : 1 mill. Geological Survey of Finland. Special Paper 21. Espoo: Geological Survey of Finland. 141 p. + 1 app. map.
- Lach, J., Fashimpaur, D., Florian, R., Kucera M., Laughton, C., Lucas, P., Shea, M., Budd, T. and Johnson, J. 2000. Instrumentation of a Reconditioned Robbins Tunnel Boring Machine, p. 325–340. Fermilab, Batavia IL 60510. <http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-wp-018-ch24-Lach.pdf>
- Vaher, R., Miidel, A., Raukas, A., Tavast, E. 2009. Ancient buried valleys in the city of Tallinn and adjacent area, Estonian Journal of Earth Sciences, 59,1, 37–48.

English Summary:

A Tunnel connection to Tallinn through the hard grey bedrock

In the early 1990s the Geological Survey of Finland published maps of the Baltic Sea's geology, which generated interest in the construction of undersea tunnels from Finland to

Estonia. Several seminars on the construction of the railway tunnel across the Gulf of Finland were organized during last 15 years with tunnel experts. The engineers and geologists drew up a joint statement and conclusion expressing that it would be technically possible to build an undersea tunnel but the question is primarily a financial one. The project was positively received amongst logistic and engineering experts. In Finland, however, it did not receive the backing of the Ministry of Transport and Communications. For this reason, crucial geological surveys and studies from the point of view of transportation economics have not been conducted.

Today new methods for tunnelling are rising; Using big tunnel boring machines (TMB) are common practice in railway tunnels. Tunnel boring machines are used as an alternative to drilling and blasting methods in hard rock. TBMs have the advantages of limiting the disturbance to the surrounding bedrock and producing a smooth tunnel wall. This significantly reduces the cost of lining the tunnel, and makes them suitable to use in heavily urbanized areas. The major disadvantage is the upfront cost. TBMs are expensive to construct, and can be difficult to transport. However, as modern tunnels become longer, the cost of tunnel boring machines versus drill and blast is actually less – this is because tunnelling with TBMs is much more efficient and results in a shorter project.

Finland's Precambrian hard (granite) bedrock is bare on the Finnish coast and the islands. It is evident that similar bedrock exists under the seabed where the railway routes are proposed. On the other hand, soft sedimentary rock (sandstone and limestone) covers the hard basement bedrock in the southern coast of Gulf of Finland. A thick layer (100-150 m) of soft sedimentary rock (sandstone, claystone and limestone) covers the hard granite bedrock on the city of Tallinn area.

The tunnels to be dug for railway lines across the Gulf of Finland under the sea range between 40 km and 66 km. In the case of the railway tunnels, the construction costs of the connection across the Gulf of Finland range possibly between 2 and 3 billion Euros. The construction time needed for the connections would be round 15 years. Next step would be more detailed geological and geotechnical studies along the most suitable courses for Tallinn tunnel alternatives

KEIJO NENONEN JA

OSSI IKÄVALKO

keijo.nenonen@gtk.fi

ossi.ikavalko@gtk.fi

Geologian Tutkimuskeskus (GTK),
Etelä-Suomen Yksikkö