

*Injektointimenetelmien
eroavaisuudet Suomen
ja Ruotsin välillä*

FANNY STRANDSTRÖM

Diplomityön tausta

- ▶ Sekä Suomessa että Ruotsissa injektoinnin päätavoitteena on **tiivistää kallio**
- ▶ Vaikka geologia ja kallioperä Suomessa ja Ruotsissa ovat samankaltaisia, niin injektointisuunnitelmat ja menetelmät eroavat toisistaan.
- ▶ Injektoinnin onnistuminen riippuu seuraavista:
 1. i. Kallioperän hydrogeologia
 2. ii. Injektointimenetelmä
 3. iii. Injektointimateriaali

Tutkimusmenetelmät ja työn tavoitteet

- ▶ Kirjallisuustutkimus ja Case-tutkimus
- ▶ Vastata kysymykseen miksi suunnittelutyö ja työn toteutus eroavat maiden välillä
- ▶ Millä metodilla saadaan paras tulos
- ▶ Plussat ja miinukset empiirisessä ja analyttisessä menetelmässä

Kirjallisuustutkimus

- ▶ Kallion tiivistäminen vesivuotojen ehkäisemiseksi
- ▶ Tiiveysvaatimukset Suomessa ja Ruotsissa
- ▶ Empiirisen menetelmän esittämien ja tähän menetelmään käytettävät avainparametrit ([Suomessa käytetty menetelmä](#))
- ▶ Analyttisen menetelmän esittämien ja tähän menetelmään käytettävät avainparametrit ([Ruotsissa käytetty menetelmä](#))

Case study

Länsimetro



Blå linjen



Posiva ONKALO testitunneli 2

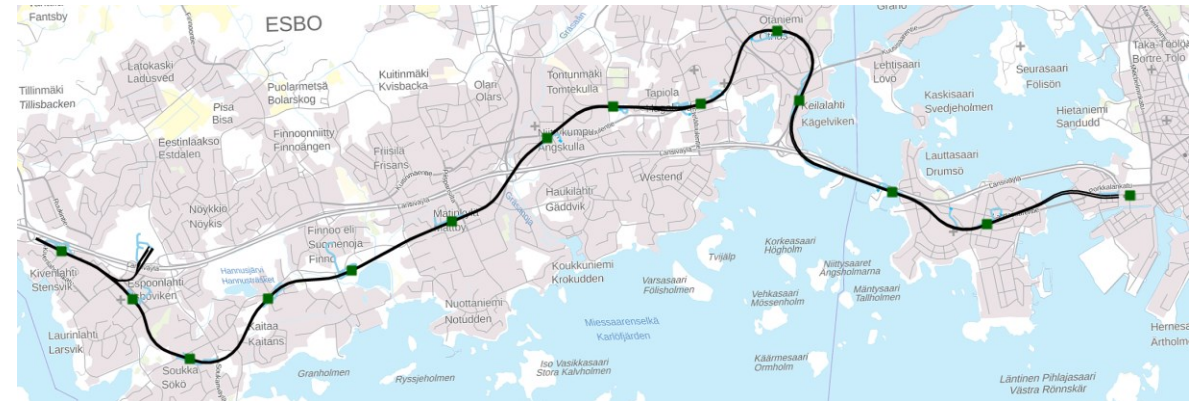


SKB TASS Tunneln



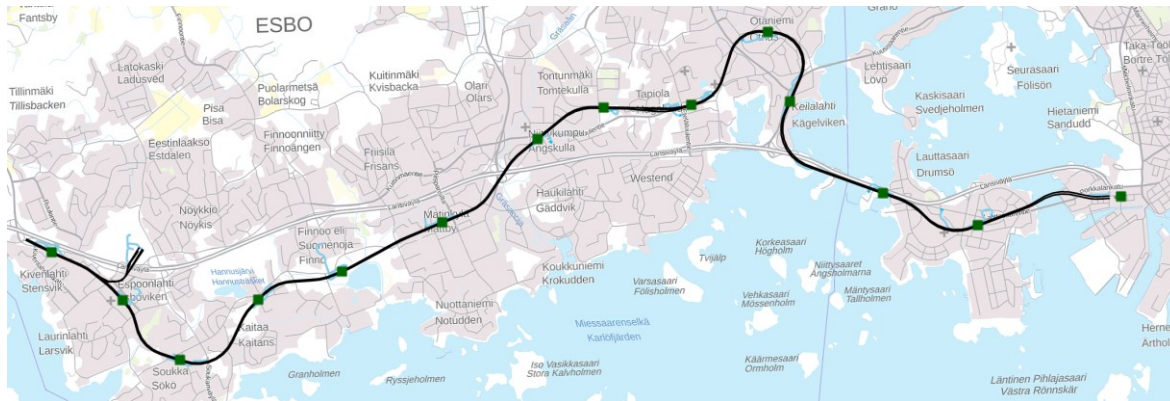
Länsimetro

- ▶ Pääkaupunkiseudun metron jatke
- ▶ 21 km ja 13 uutta asemaa
- ▶ Ruoholahti-Matinkylä laajennusosa tarkastelussa
- ▶ Kallio pääosin graniittia ja graniittigneisiä
- ▶ Vesimenekikokeiden tulokset: paikoitellen jopa 58 Lug.



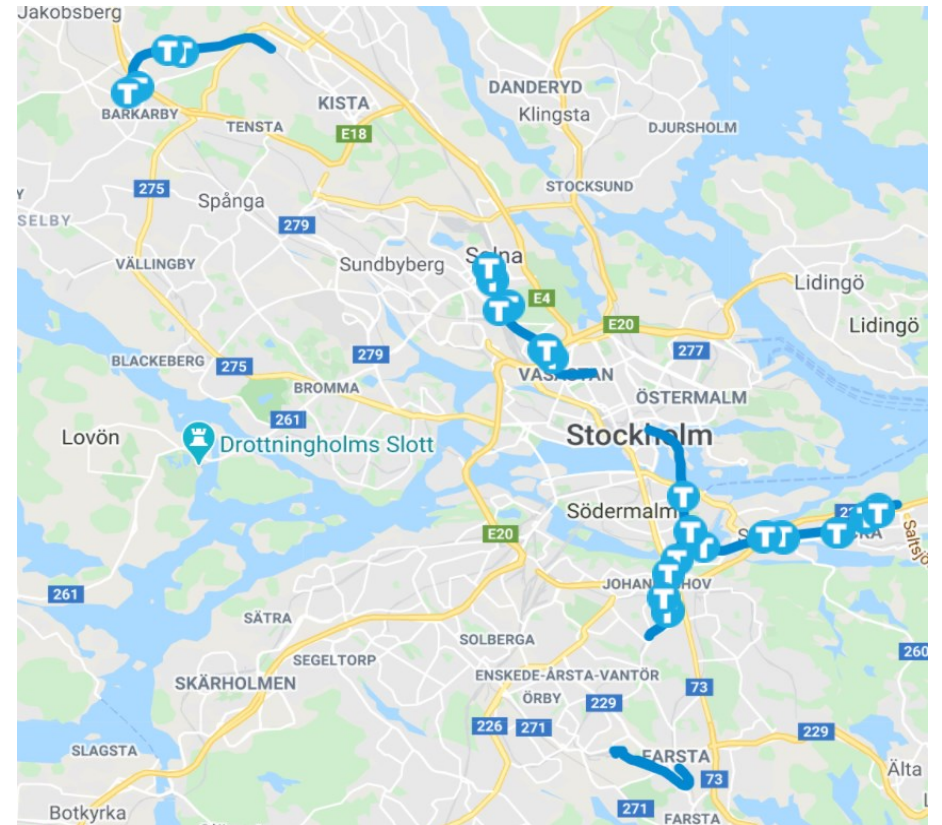
Länsimetro

- ▶ Injektointipaineet 3-7 MPa
- ▶ Vmax 100-400 litraa per porametri
- ▶ Injektointimassan keskimääräinen menekki 14.8 kg/porametri



Blå linjen

- ▶ Tukholman metron laajennus
- ▶ 19 km ja 10 uutta asemaa
- ▶ Kallio pääosin paragneissiä
- ▶ Hydrauliset avaukset 90 ja 400 µm välillä



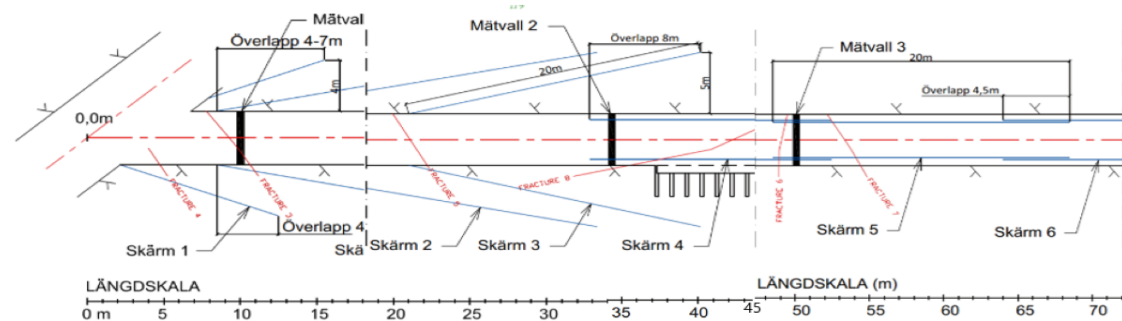
Blå linjen

- ▶ Injektointipaineet $\Delta P = 1\text{-}2\text{ Mpa}$
- ▶ $V_{\max} = 300$ litraa per 24 m (porareikä)
 - ▶ 15.5 l per pora-metri
- ▶ Lopetuskriteeri: Time Stop
- ▶ Arvioitu massamenekki per porametri: 2 l/porametri



SKB TASS tunneln

- ▶ 81 m pitkä tunneli 450 m syvyydessä missä testattiin injektointimenetelmiä jotka tullaan käyttämään loppusijoituslaitoksen rakentamisen yhteydessä
- ▶ Injektointimateriaali: Silica sol ja matala-pH sementti

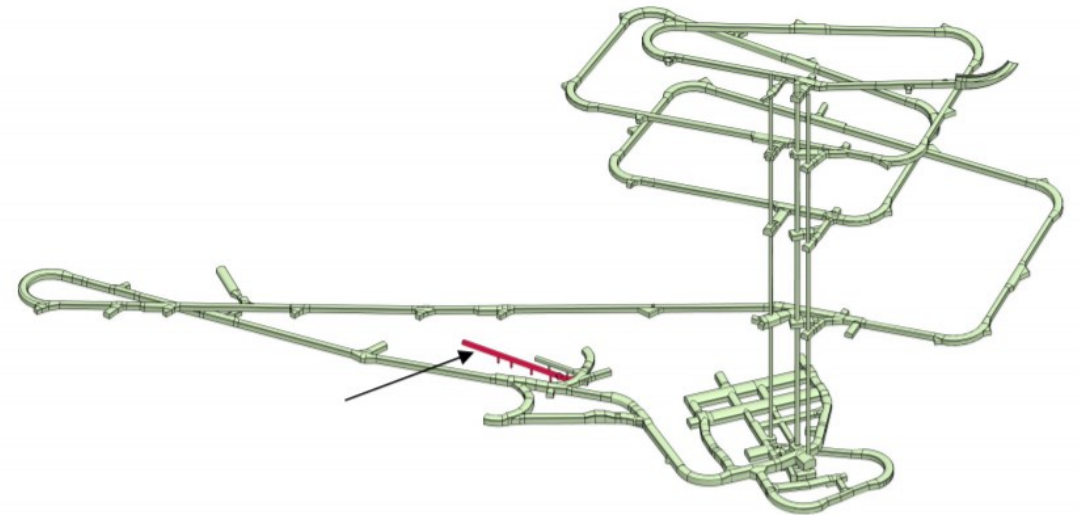


SKB TASS tunnelin injektointiparametrit

Hydraulinen (μm)	avauma	Injektointimateriaali	Yli-paine	Geelytymisaika	Tehokas injektointiaika
0-130		Silica sol with a long gelling time	$\Delta P=3\text{MPa}$	63 min	50 min
0-130		Silica sol with a long gelling time	$\Delta P=5\text{MPa}$	39 min	32 min
130-150		Silica sol with a shorter gelling time	$\Delta P=3\text{MPa}$	21 min	16min
>150		low pH-cement	$\Delta P=7\text{ MPa}$	-	45 min

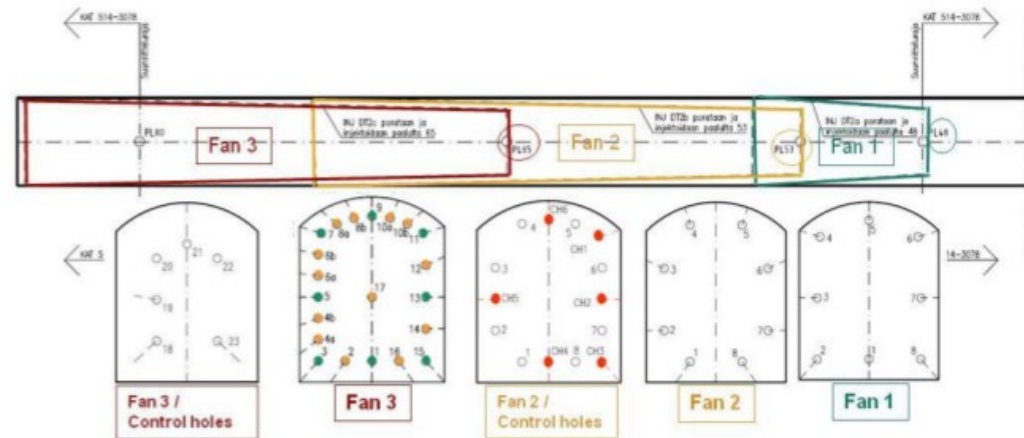
Posiva ONKALO testitunneli 2

- ▶ Syvyydellä 420 m
- ▶ Kallio: erilaisia graniitteja ja gneissejä
- ▶ avauma 20 μm
- ▶ injektointi materiaali: Silica sol



Posiva ONKALO testitunneli 2

- ▶ Injektointipaineet: 8-9.5 Mpa riippuen hydraulisten testien tuloksista
- ▶ Injektointiaika: 35-55 min



Pohdinta

- ▶ Kirjallisuuksien ja ohjeiden erot Suomessa ja Ruotsissa
- ▶ Länsimetro verrattuna Blå linjettiin
- ▶ SKB TASS tunneli verrattuna Posiva ONKALO testitunneli 2:een

Kirjallisuustutkimus

- ▶ Eri metodit tiiveysvaatimuksien määrittämisessä
- ▶ Injektointisuunnitelmien laatiminen ja lähestymistapa
 - ▶ empiirinen
 - ▶ analyttinen
- ▶ Pysähtymiskriteeri
- ▶ Peukalosäännöt

Länsimetro verrattuna Blå linjeiin

- ▶ Suunnittelun lähestymistapa
- ▶ Systemaattinen injektointi Blå linjenissä verrattuna Länsimetron lähestymistapaan jossa injektointiin pääosin tunnustelun perusteella (käytettiin myös systemaattista injektointitapaa)
- ▶ Korkeammat injektointipaineet Länsimetron projektissa
- ▶ Suuremmat maksimimassamenekit Länsimetron projektissa
- ▶ Jälki-injektointi

SKB TASS tunneli verrattuna Posiva ONKALO testitunneli 2

- ▶ Samat injektointimenetelmät (analyyttinen)
- ▶ Lugeon arvot vs. konduktiviteetti (vedenjohtavuus)
- ▶ Posivalla loppusijoituslaitos vesi-injektoidaan ennen varsinaista injektointia silicalla flokkulaation ehkäisemiseksi. Epäselvää jos SKB aikoo käyttää samaa menetelmää

Johtopäätökset

- ▶ Ruotsissa käytetään analyyttisiä menetelmiä injektointisuunnittelussa kun Suomessa taas käytetään empiirisiä menetelmiä
- ▶ Suomessa käytetään suurempia injektointipaineita
- ▶ Suomessa massameneikki on suurempi
- ▶ Eri lopetuskriteerit

Suosituksset

- ▶ Jos käytetään analyttisiä menetelmiä niin pitäisi tehdä enemmän ennakkokokeita ja tunnusteluporauksia
- ▶ Empiiristen menetelmien käyttö on suotavaa jos Kallio on heterogeeninen ja jos huomataan että Kallion olosuhteet eroavat ennakkotutkimuksista
- ▶ Analyttisten menetelmien käyttö on suotavaa kun Kallion olosuhteet ovat hyvin tiedossa



Lähteet

- ▶ [a map of Länsimetro's extension, Länsimetro seuranta. 2021, Available at: seuranta.lansimetro.fi](https://www.seuranta.lansimetro.fi)
- ▶ [Picture of Blå Linjen extension, Google Maps 2021, <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1uTQ1ZYHa6eG3SjnbR1uW8rqGtm8&ll=59.31410931732128%2C18.19057928072553&z=13>](https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1uTQ1ZYHa6eG3SjnbR1uW8rqGtm8&ll=59.31410931732128%2C18.19057928072553&z=13)
- ▶ [Picture of Blue line borerig, Region Stockholm 2021 <https://nyatunnelbanan.se/sv/file/veddesta-arbetstunnel20192jpg>](https://nyatunnelbanan.se/sv/file/veddesta-arbetstunnel20192jpg)
- ▶ [Picture of the TASS Tunnel <https://skb.se/upload/publications/pdf/R-10-35.pdf>](https://skb.se/upload/publications/pdf/R-10-35.pdf)
- ▶ Posiva demonstration tunnel 2 pictures from: Hollmén, K., Sievänen, U., Funehag, J., Granberg, N., Lyytinen, T., Syrjänen, P. & Säippä, J. 2013 *Colloidal silica-grouting in demonstration tunnel 2 in ONKALO*

Kiitos!



▶ Kysymyksiä?

