

## Landstreamer-system för seismiska markundersökningar i urbana miljöer

En landstreamer har utvecklats av Uppsala Universitet med syfte att förbättra seismiska mätningar i utmanande miljöer såsom städer, tunnlar och gruvor där elektriskt brus och logistiska utmaningar är vanligt förekommande. Landstreamern har testats vid flera infrastrukturprojekt och i tunnel- och gruvmiljöer. Resultaten visar att metoden har stor potential och att landstreamerns sensorer är mindre känsliga för elektriskt brus. I kombination med trådlösa enheter kan landstreamern användas på ett effektivt sätt också i komplicerade situationer.

### Bakgrund

Seismiska metoder ger högupplösta bilder av jordens inre. Seismiskt data tillhandahåller geometrisk information om geologiska strukturer, men också om fysikaliska egenskaper. I vanliga seismiska mätningar måste sensorerna placeras fast i marken. Detta är ofta en av de mest tidskrävande delarna av en fältmätning. Detta gäller särskilt om sensorerna måste flyttas flera gånger under mätningarna, vilket ofta är fallet. I stadsmiljöer är fast placering av sensorer besvärlig på grund av att markunderlaget ofta består av asfalt. Dessutom kan det vara logistiskt utmanande att mäta profiler över stora vägkorsningar eller järnvägsspår.

### Syfte

Ett ökat behov av markundersökningar i urbana miljöer har kommit tack vare stora satsningar på avancerade infrastrukturprojekt såsom till exempel omfattande tunnelbyggen. För att överkomma svårigheter vid seismiska mätningar i urbana miljöer har en modern landstreamer utvecklats vid Uppsala Universitet. En seismisk landstreamer är en array av sensorer monterade på slädar som sitter ihop. Dessa behöver inte placeras fast i marken och kan därför dras, till exempel efter en bil, och kan därmed flyttas snabbt och effektivt (Fig. 1).

Den nuvarande konfigurationen av landstreamern på Uppsala Universitet består av fem segment med sammanlagt 100 trekomponents-sensorer placerade på 2-4 meters avstånd och med en total längd på 240 meter. Sensorerna är baserade på så kallad MEMS-teknik (Mikroelektromekaniska system) vilket gör dem mindre känsliga för elektriskt brus. Landstreamern kan också användas tillsammans med trådlösa enheter. Detta ger stor flexibilitet där svårpasserade glapp kan överbryggas (till exempel stora vägkorsningar eller järnvägsspår). Landstreamern tillsammans med de trådlösa enheterna har stora fördelar i stadsmiljöer tack

vare (i) låg känslighet för elektriskt brus (ii) ingen fast placering av sensorer i marken (iii) flexibilitet i utmanande trafikmiljöer.



Figur 1. Landstreamern dras av en bil längs en grusväg och trådlösa enheter är placerade vid sidan av vägen.

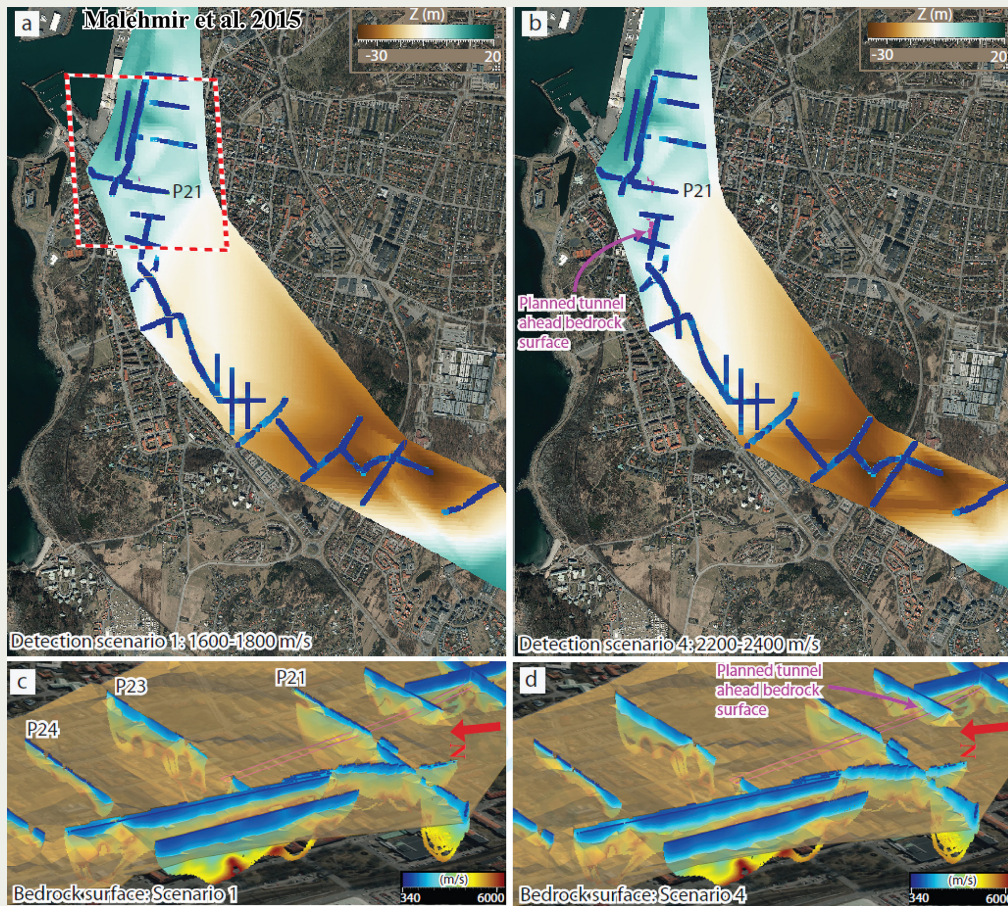
## Genomförande

Med stöd från SBUF och andra samarbetspartners inom TRUST (Transparent Underground Structure) har landstreamern testats på flera platser och i olika miljöer i både Sverige, Norge och Finland. Dessutom har flera tester gjorts hemmavid för att utveckla och testa olika seismiska källor. De skarpa projekten där landstreamern har använts innefattar flera områden (i) infrastrukturprojekt såsom Förbifart Stockholm, Varberg tunnel och Oslo E18, Norge (ii) mineralprospektering och gruvplanering i Laisvall,

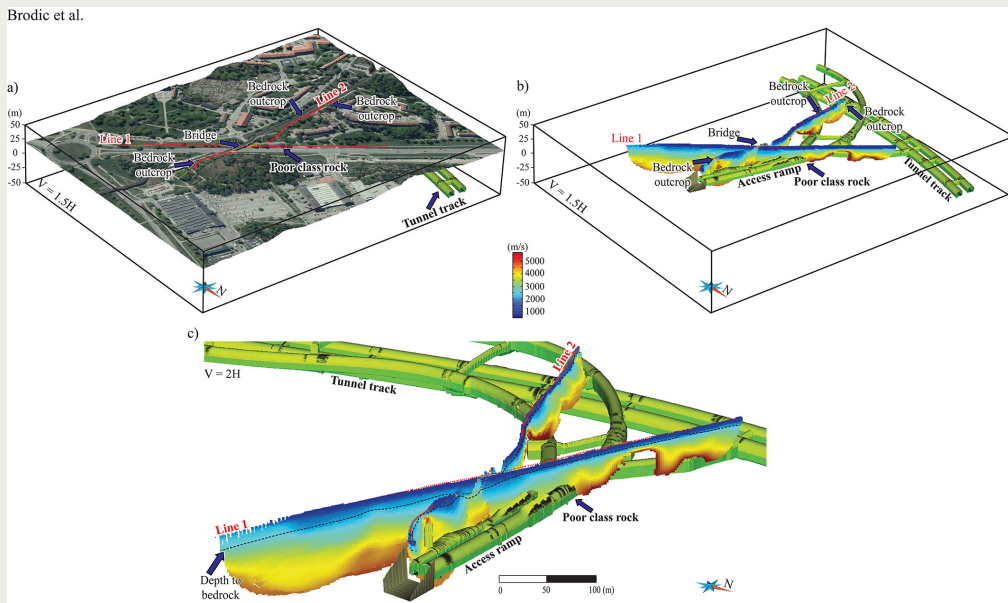
Ludvika och Malmberget och Siilinjärvi, Finland (iii) kontaminerad mark i Kristianstad (iv) vattenresurser i Åbo, Finland (v) geologiska utforskningar i Mora, Bollnäs och Äspö.

## Resultat

I Varberg mättes 25 profiler i stadsmiljö för att undersöka djup till berggrund och hitta eventuella sprickzoner i berget. Ett flertal borrhål kunde användas för att korrelera djup till berg. I Figur 2 visas resultatet av dessa mätningar i form av tolkat djup till berg baserat

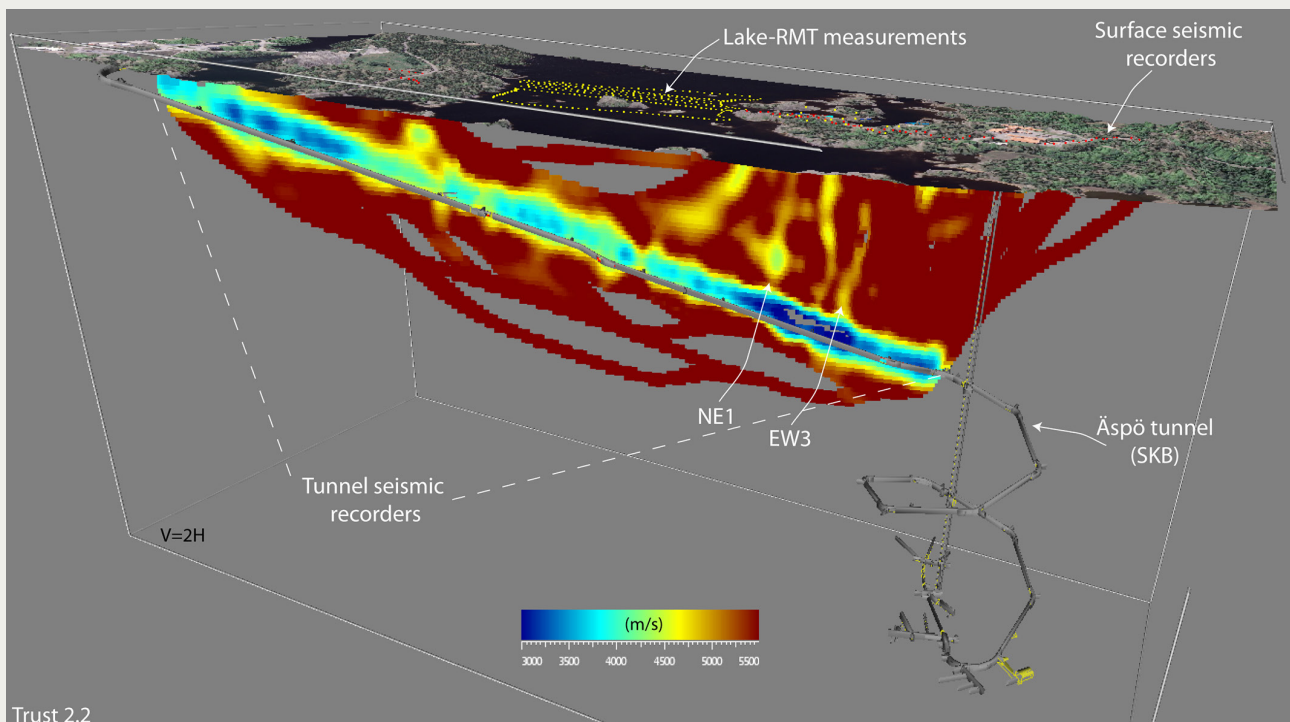


Figur 2. Seismiska mätningar i Varberg inför ett planerat tunnelbygge. Två scenarion för djup till berggrund redovisas i a) och b). Berggrundsytan har hämtats från de bergkastighetsmodeller som visas i c) och d). Det planerade tunnelspåret syns i c) och d) markerat med lila linjer.



Figur 3. Seismiska mätningar vid en accessramp till Förbifart Stockholm. Bergkastighetsmodellen visar lägre hastigheter i berget där planerade tunneln skär profilen. Detta kan indikera en lägre bergkvalitet i detta område.





Figur 4. Koordinerade mark och tunnelmätningar i Äspö. Berghastighetsmodellen visar flera zoner (i grönt/gult) med lägre hastighet än omgivande berg (i rött) vilka kan relateras till kända deformationszoner i berget.

på hastighetsmodeller framtagna ur det seismiska mätningarna. Flera potentiella deformationszoner kunde också identifieras från de seismiska mätningarna och dessa jämfördes senare med resultat från andra geofysiska mätningar och från borrhningar.

Under seismiska markundersökningar i Förbifart Stockholm mättes två profiler över en planerad accessramp. Resultaten visar på låga hastigheter i berget där tunneln skär profilerna, vilket kan indikera låg bergkvalitet och uppsprucket berg (se Figur 3).

I Äspö testades möjligheten att genomföra koordinerade seismiska mätningar på land och i tunnel. Sensorer placerades i tunneln och på land ovanför tunnelsträckningen och sedan aktiverades den seismiska källan både i tunneln och på landytan. Äspötunneln valdes som testplats eftersom flera kända deformationszoner skär tunneln. Resultaten visar att de seismiska mätningarna effektivt identifierar flera låghastighetszoner som kan relateras till de kända deformationszonerna. I figur 4 syns dessa zoner som gulgröna områden med lägre berghastighet än omgivande berg (i rött).

## Slutsatser

En trekomponents MEMs-baserad landstreamer har utvecklats för att förbättra möjligheterna att genomföra högkvalitativa seismiska mätningar i urbana miljöer. Landstreamerns konfiguration tillsammans med trådlösa enheter har visat sig ge stor flexibilitet i urbana miljöer. Dessutom ger de MEMs baserade sensorerna en bättre signal än konventionella geofoner i miljöer med omfattande elektriska störningar. Detta gör landstreamern till ett effektivt verktyg för seismiska markundersökningar i framförallt stadsmiljöer, tunnlar och gruvor, men också för andra ändamål.

## Ytterligare information

### Kontaktpersoner:

**Alireza Malehmir**, Uppsala Universitet, tel 018-4712335, e-post: Alireza.Malehmir@geo.uu.se.

### Litteratur:

- Multicomponent Broadband Digital-Based Seismic Landstreamer for near-Surface Applications. - Brodic, Bojan, Alireza Malehmir, Christopher Juhlin, Lars Dynesius, Mehrdad Bastani, and Hans Palm. 2015. *Journal of Applied Geophysics* 123 (December): 227–41. doi:10.1016/j.jappgeo.2015.10.009.
- Delineating Structures Controlling Sandstone-Hosted Base-Metal Deposits Using High-Resolution Multicomponent Seismic and Radio-Magnetotelluric Methods: A Case Study from Northern Sweden. - Malehmir, Alireza, Shunguo Wang, Jarkko Lamminen, Bojan Brodic, Mehrdad Bastani, Katri Vaittinen, Christopher Juhlin, and Joachim Place. 2015. *Geophysical Prospecting* 63 (4): 774–97. doi:10.1111/1365-2478.12238.
- Planning of Urban Underground Infrastructure Using a Broadband Seismic Landstreamer — Tomography Results and Uncertainty Quantifications from a Case Study in Southwestern Sweden. - Malehmir, Alireza, Fengjiao Zhang, Mahdieh Dehghannejad, Emil Lundberg, Christin Döse, Olof Friberg, Bojan Brodic, Joachim Place, Mats Svensson, and Henrik Möller. 2015. *GEOPHYSICS* 80 (6): B177–92. doi:10.1190/geo2015-0052.1.
- Multicomponent digital-based seismic land-streamer for urban underground infrastructure planning.- Brodic, Bojan. 2015. Licentiate thesis. Uppsala: Uppsala University, Department of Earth Sciences, 2015, 39 p.

### Internet:

<http://trust-geoinfra.se/delprojekt/2-2/index.html>