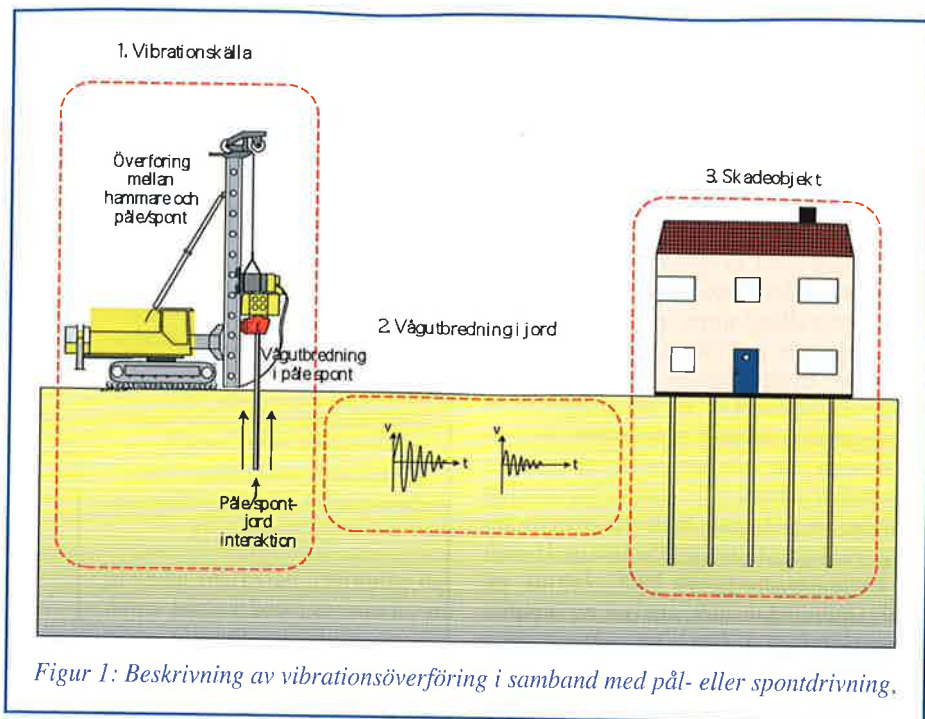


# Markvibrationer vid spontning för Karlstad teater

En genomgående tendens i dagens byggande är ökade krav på kvalitet, kortare byggtid och minskad omgivningspåverkan. Dessutom går byggandet idag mer och mer mot att vi bygger i redan bebyggda områden, ofta nära befintliga konstruktioner. På- och spontdrivning är i dagsläget en av de viktigaste källorna till vibrationer i tätbebyggda områden. Vid på- eller spontdrivning uppstår vibrationer vid samverkan mellan hammare och påle/spont, varefter vibrationerna sprids vidare genom pålmaterialet. Genom interaktion mellan påle/spont och jord överförs vibrationer till jorden både längs manteln och vid spetsen. Vibrationerna utbredds i jorden som vågor som slutligen når fram till ett potentiellt skadeobjekt, se figur 1.

Vibrationsöverföringsprocessen är en viktig del i förståelsen för problemet vibrationer från på- och spontdrivning i tätbebyggda områden.

Den här artikeln är en del i det forsknings- och utvecklingsarbete som bedrivs vid Kungliga Tekniska högskolan, Jord- och Bergmekanik med syfte att öka kunskaperna och förståelsen inom ämnet vib-



Figur 1: Beskrivning av vibrationsöverföring i samband med på- eller spontdrivning.

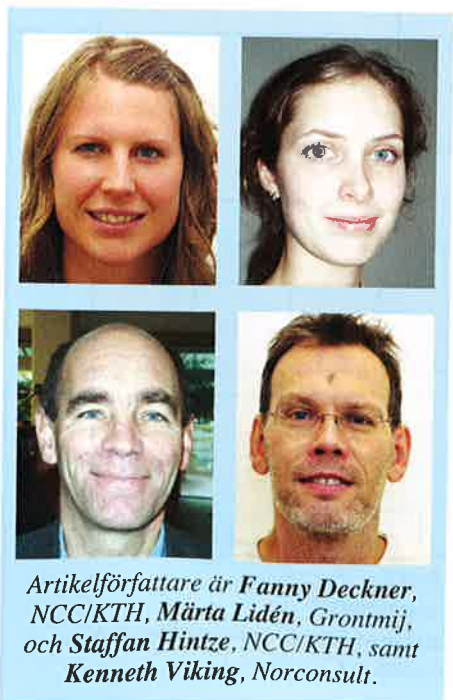
ationer i samband med på- och spontdrivning i tätbebyggda områden. Del av arbetet har tidigare diskuterats bland annat i Deckner et al (2010 och 2012) där fokus varit problemställningen och hur denna ska angripas samt prognostisering av vibrationer. Forskningen finansieras av SBUF, NCC och KTH. Doktorand i projektet är Fanny Deckner, huvudhandledare är Staffan Hintze och biträdande handledare är Kenneth Viking.

I den här artikeln beskrivs mätningar och resultat från vibrationsmätningar som

gjordes i samband med en provspontning inför planerad utbyggnad av Karlstad teater. Artikeln syftar till att öka förståelsen för vibrationer i samband med vibrodrivning av spont samt att belysa vilka parametrar som kan vara intressanta att studera vidare. Mer utförliga resultat och analyser är publicerade i Lidén (2012).

## Karlstad teater

Karlstad teater ligger intill Klarälven i centrala Karlstad, se figur 2. Teatern och flera av de närliggande byggnaderna är



Artikelförfattare är Fanny Deckner, NCC/KTH, Märta Lidén, Grontmij, och Staffan Hintze, NCC/KTH, samt Kenneth Viking, Norconsult.



Figur 2: Placering av Karlstad teater ([www.eniro.se](http://www.eniro.se)).



FOTO: KENNETH VIKING

Figur 3: Kraftaggregat, vibrator och spontmaskin som användes vid provspontningen.

uppförda under slutet av 1800-talet. Teatern är grundlagd direkt på mark utan pålar. Med tanke på teatern och de omkringliggande byggnadernas känslighet var omgivningspåverkan en stor fråga då en utbyggnad av teatern planerades. För att undersöka om vibrodrivning av spont i omedelbar närhet till teatern var möjligt utfördes den 4 maj 2010 en provspontning. Provspontningen utfördes av Hercules Grundläggning och NCC Teknik utförde mätningar och analys av omgivningspåverkan i form av vibrationer i samarbete med Bergsäker.

**Beslut om utrustning och utförande är viktigt**

En viktig uppgift för att minimera vibrationerna var att besluta om lämplig utrustning och lämpligt utförande vid spontinstallationen.

Drivutrustningen som användes för provspontningen bestod av en vibrator av typen Dieseko 2316VM. Vibratorn var en frihängande modell med variabel frekvens, som i det här fallet var monterad på gejder. Vibratorn var monterad på en Banutmaskin, som också kan användas för slagning av pålar och spont, se figur 3.

Provspontningen utfördes strax väster om teaterbyggnaden där fyra spontprofiler av typ PU12 installerades med ovan beskrivna utrustning. Spontprofilernas drivordning och inbördes placering illustreras i figur 8. Spontprofil nr 0 drevs först och därefter i ordning nr 1, 2 och 3. Sponten drevs till ett djup av 10,5 till 11 m, ner i det första lagret av sand och siltig sand, se figur 4.

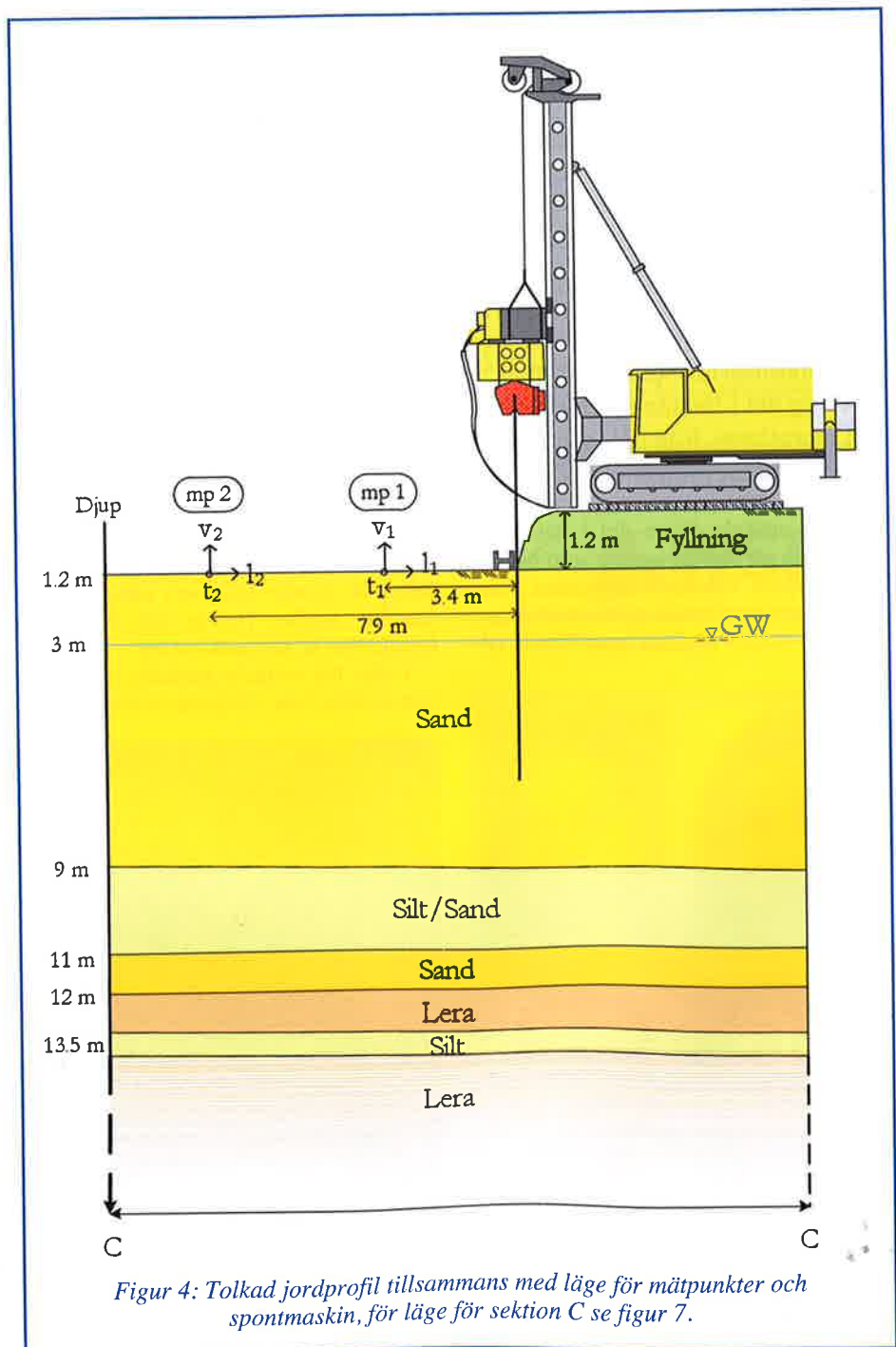
**Geotekniska förhållanden på platsen**

En geoteknisk undersökning utfördes av Sweco 2006, som underlag för projektering av ombyggnaden av Karlstad Teater, Sweco (2006). Figur 4 visar en tolkad jordprofil tillsammans med position av mät- och drivutrustning.

Den tolkade jordprofilen består överst av cirka 1,2 m fyllning. Denna bortschaktades inför provspontningen. Under fyllningen består jorden av naturliga avlag-

ringar av lös sand med tunna skikt av gyttja och växtrester, sandlagret har en mäktighet på cirka 8 m. Därunder består

jorden av tunnare lager av silt, sand och lera innan ett mäktigare lerlager tar vid. Lerlagret fortsätter till ett djup av cirka 25



Figur 4: Tolkad jordprofil tillsammans med läge för mätpunkter och spontmaskin, för läge för sektion C se figur 7.



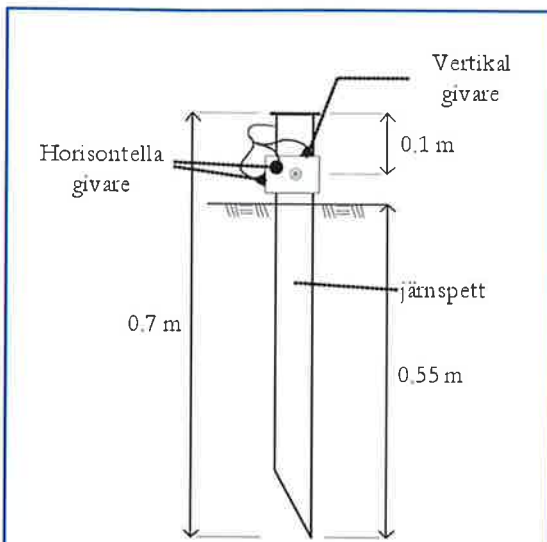
FOTO: KENNETH VIKING

nerna kopplades till en utrustning som registrerade med en frekvens av 750 Hz under ett begränsat tidsintervall på 70 sekunder. Den enaxiella geofonen var kopplad till en utrustning som enbart registrerade maxvärden. Mätdata överfördes via GSM för lagring i en databas. Geofonerna monterades på 0,7 m långa järnspett som slogs ner cirka 0,5 m i jorden. Geofonerna var i sin tur monterade 0,1 m under järnspettets topp, se figur 5 och figur 6.

Läget för mätpunkter, drivutrustning och området där fyllningen var bortschaktad visas i figur 7. De treaxiella geofonerna placerades i mätpunkt 1 (mp 1) och mätpunkt 2 (mp 2), på ett avstånd av 3,4 m respektive 7,9 m från spontlinjen. Den enaxiella geofonen i mätpunkt 3 (mp 3) var placerad på ett avstånd av cirka 15 m från spontlinjen. I figur 8 syns en förstoring av mp 1 och mp 2 för att tydliggöra mätriktningarna.

Mätningarna av vibrationshastigheten i mp 1 och 2 startade då neddrivningen av spontprofilen startade och fortsatte därefter under 70 sekunder. I samtliga fall varade drivningen av sponten längre än 70 sekunder vilket resulterade i att slutet (i ett fall början) av drivningen inte registrerades. Mätningar utfördes under drivning av spontprofil nr 1, nr 2 och nr 3, se figur 8.

För att registrera nedträngningsdjup och drivningshastighet av respektive spontprofil användes en videokamera



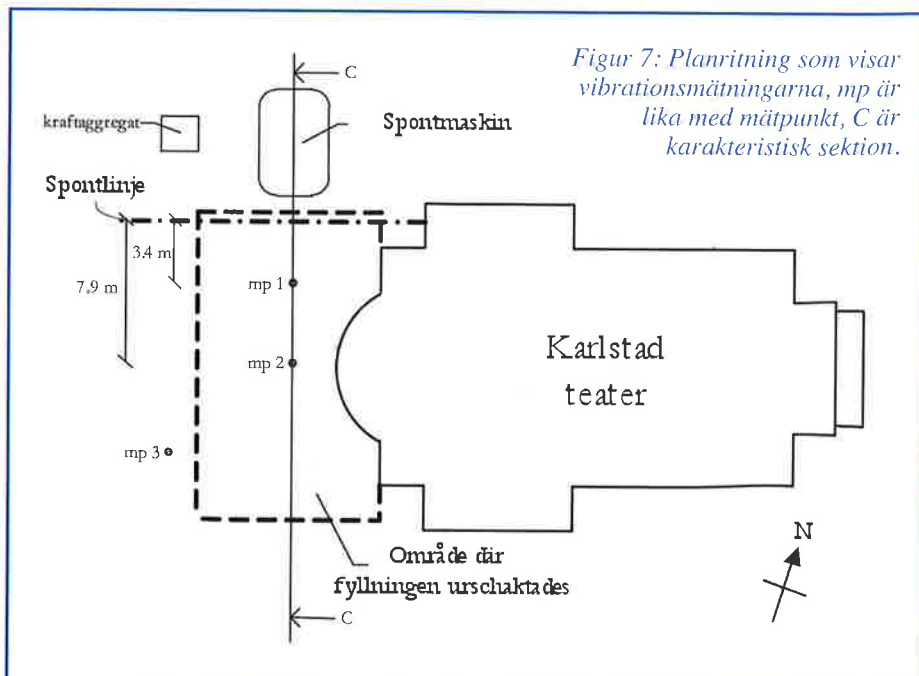
Figur 5: De treaxiella geofonerna med tillhörande insamlingsboxar, i bakgrunden syns spontlinjen.

m under markytan. Därunder bedöms jorden bestå av morän på berg. Grundvattennivån är tolkad till cirka 3 m under befintlig markyta.

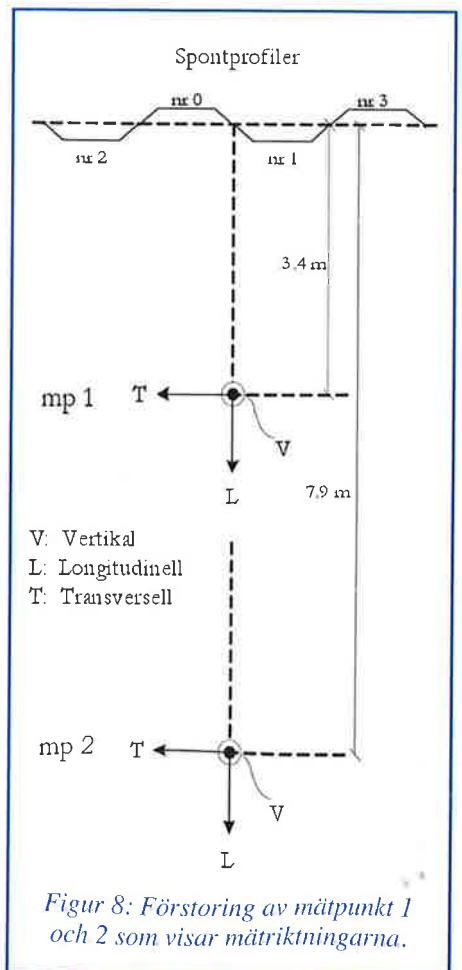
#### Givare och mätutrustning

Mätutrustningen för vibrationsmätningen i samband med provspontningen tillhandahölls av Bergsäker. Utrustningen bestod av två treaxiella geofoner och en enaxiell geofon. De treaxiella geofonerna mätte i vertikal, transversell och longitudinell riktning medan den enaxiella geofonen endast mätte i vertikal riktning. De treaxiella geofo-

Figur 6: Montering av geofonerna gjordes på järnspett i jorden.



Figur 7: Planritning som visar vibrationsmätningarna, mp är lika med mätpunkt, C är karakteristisk sektion.



Figur 8: Förstoring av mätpunkt 1 och 2 som visar mätriktningarna.



FOTO: KENNETH VIKING

Figur 9: Kamera, geofoner och spontlinje.

som dokumenterade hela drivningsprocessen, se figur 9. Spontprofilerna hade djupmarkeringar och utifrån filmen uppskattades nedträngningsdjup och drivningshastighet.

### Resultaten visar stora horisontella vibrationer

Det vanligaste sättet att presentera vibrationer är i tidsdomänen, vilket i det här fallet visar hur partikelhastigheten varierar med tiden. Figur 10 och figur 11 redovisar typiska tidshistorier i samband med installation av spontprofil nr 3. I mp 1 har de horisontella vibrationerna en magnitud av cirka 10 mm/s, den transversella komponenten något större än den longitudinella, medan den vertikala komponenten har en magnitud på mindre än 5 mm/s, se figur 10. I mp 2 kan vi istället notera att den vertikala komponenten är större än de horisontella samt något större än i mp 1. De horisontella vibrationerna har här avtagit till långt under 5 mm/s, se figur 11. Formen på kurvorna överensstämmer väl med varandra, med ökning i vibrationsnivåerna vid samma tid i alla riktningar.

Resultat från drivning av de andra spontprofilerna visar liknande tendenser, med störst vibrationer i horisontell riktning, i alla fall närmast sponten. Resultat skiljer sig från andra publicerade fältstudier som rapporterar att de vertikala vibrationerna är de dominerande, speciellt vid korta avstånd till sponten, till exempel Viking et al (2000), Ahlquist & Enggren (2006) och Whenham et al (2009). En vanlig relation är att de horisontella vibrationerna är ungefär 30 till 50 procent av de vertikala, Massarsch 2000).

Jorden i det aktuella lagret består av lös sand, vilket medger större horisontella rörelser än en fastare jord. Drivutrustningens griplö håller spontprofilen i li-

vet och inte i det neutrala lagret, vilket leder till att drivkraften appliceras excentriskt, se figur 13. De horisontella rörelserna av spontprofilen från griplöns utformning tillsammans med den lösa jorden är en trolig orsak till de stora horisontella vibrationerna i mp 1.

Resultat från drivningen av spontprofil nr 2 vid mp 1 skiljer sig från övriga mätningar, se figur 12. Denna mätning startar

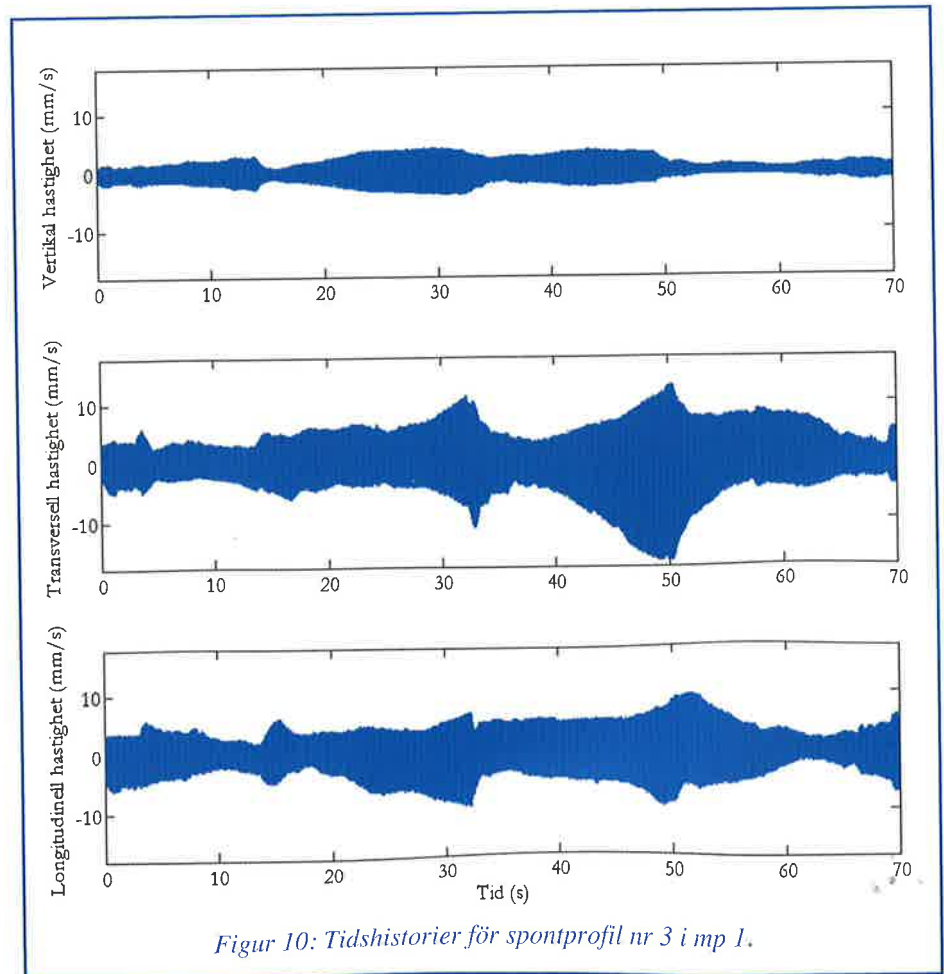
senare än övriga mätningar och registrerar slutet av drivningen. Resultaten visar på stora vibrationer i jämförelse med de andra mätningarna. Partikelhastigheten i den longitudinella riktningen överskrider mätutrustningens gränsvärde på 27 mm/s och uppskattas till 40 mm/s.

De maximala vibrationerna uppstår då spontprofilen når ett djup av cirka 11 m. De geotekniska undersökningarna visar på ett fastare jordlager på detta djup, vilket kan vara en förklaring till de höga vibrationsnivåerna. Det är intressant att notera att den vertikala komponenten i det här fallet inte skiljer sig från de andra mätningarna, den visar fortfarande på nivåer under 5 mm/s. Det fastare jordlagret verkar således inte påverka de vertikala vibrationerna i lika hög grad som det påverkar de horisontella vibrationerna. På grund av bland annat sättet att hålla sponten är horisontella vibrationer redan närvarande och då sponten når ett fastare lager kan det tänkas att det ökande spetsmotståndet får spontprofilen att böja ut ännu mer, schematiskt illustrerat i figur 13 på sidan 30.

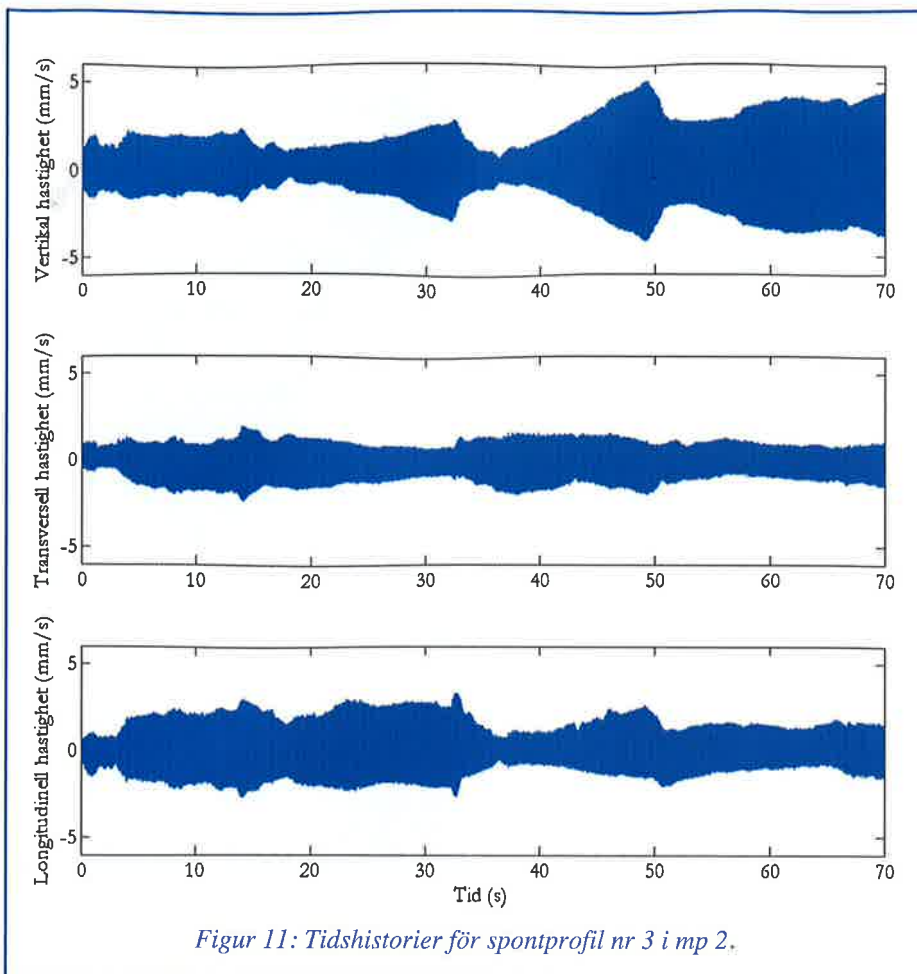
### Slutsatser

De presenterade vibrationsmätningarna visar flera intressanta resultat. De huvudsakliga slutsatserna från den här studien är:

- Mätning och vibrationsanalys ska omfatta samtliga riktningar. Olika faktorer kan orsaka horisontella vibrationer av större magnitud än de vertikala.

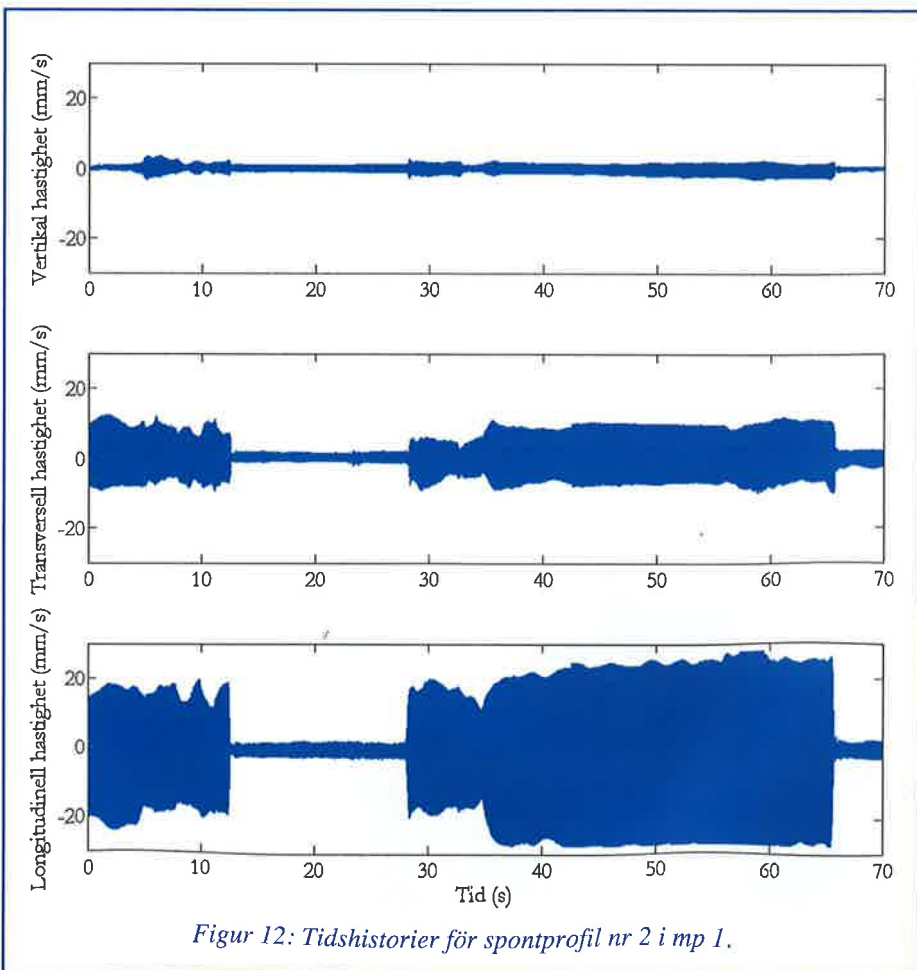


Figur 10: Tidshistorier för spontprofil nr 3 i mp 1.



Figur 11: Tidshistorier för spantprofil nr 3 i mp 2.

● Eftersom vibrationen som induceras är uppkomsten av de horisontella vibrationerna intressant. Horisontella vibratio-



Figur 12: Tidshistorier för spantprofil nr 2 i mp 1.

ner kan föras in i sponten på grund av drivutrustningens utformning. En annan utformning av gripklon som istället håller sponten i dess neutrala lager skulle kunna minska de horisontella rörelserna.

● Jordförhållandena påverkar storleken på vibrationerna. Den lösa sanden i Karlstad ger litet motstånd mot horisontella rörelser av sponten och då spontfoten når ett fastare lager ökar storleken på de horisontella vibrationerna. Det är intressant att notera att vibrationen i den vertikala riktningen inte alls påverkas på samma sätt.

Markvibrationer inducerade under spont- och påldrivning är en komplex process och det är mycket som fortfarande är okänt och oklart. För att öka förståelse inom området finns behov av fler utökade fältstudier. ■

## Referenser

Ahlqvist, A. & Enggren, E. (2006). *Impact on Surrounding Environment from Vibro Driven Sheet Piles*. Master of Science thesis 06/01, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Deckner, F., Hintze, S. & Viking, K. (2010). *Miljöanpassad pål- och spontdrivning i tätbebyggt område*. Bygg & teknik, Vol. 102, No. 1, pp. 12–20.

Deckner, F., Viking, K. & Hintze, S. (2012). *Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – prediction models of today*. Proceedings of the European Young Geotechnical Engineers Conference, Gothenburg, Sweden, 26–29 August 2012, pp. 107–112.

Hintze, S., Liedberg, S., Massarsch, K.R., Hanson, S., Elvhammar, S., Lundahl, B. & Rehman, S-E. (1997). *Omgivningspåverkan vid pål- och spontslagning*. Pålkommisionen, rapport nr 95, Stockholm.

Lidén, M. (2012). *Ground Vibrations due to Vibratory Sheet Pile Driving*. Master of Science Thesis 12/06, Division of Soil- and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Massarsch, K.R. (2000). *Vibratorers användningsmöjligheter vid drivning av pålar och spont*. Pålkommisionen rapport 99, Linköping.

NCC Teknik (2010). *MEMO Utbyggnad teater i Karlstad – omgivningspåverkan*, daterat 2010-05-05.

Sweco (2006). *Geoteknisk undersökning nummer 233.4606*, daterat 2010-05-02.

Viking, K. (2002). *Vibro-drivability – a field study of vibratory driven sheet piles in non-cohesive soils*. Doktorsavhandling 1002, Avdelningen för jord- och bergmekanik, KTH, Stockholm.

Viking, K., Green, J. & Nilsson, C.-O. (2000). *Genererade och uppmätta markvibrationer vid vibrodrivning av spont*.

# Nästa nummer

av Bygg & teknik handlar om

## OMBYGGNAD OCH RENOVERING

utgivning vecka 10

För annonsering:

08-612 17 50

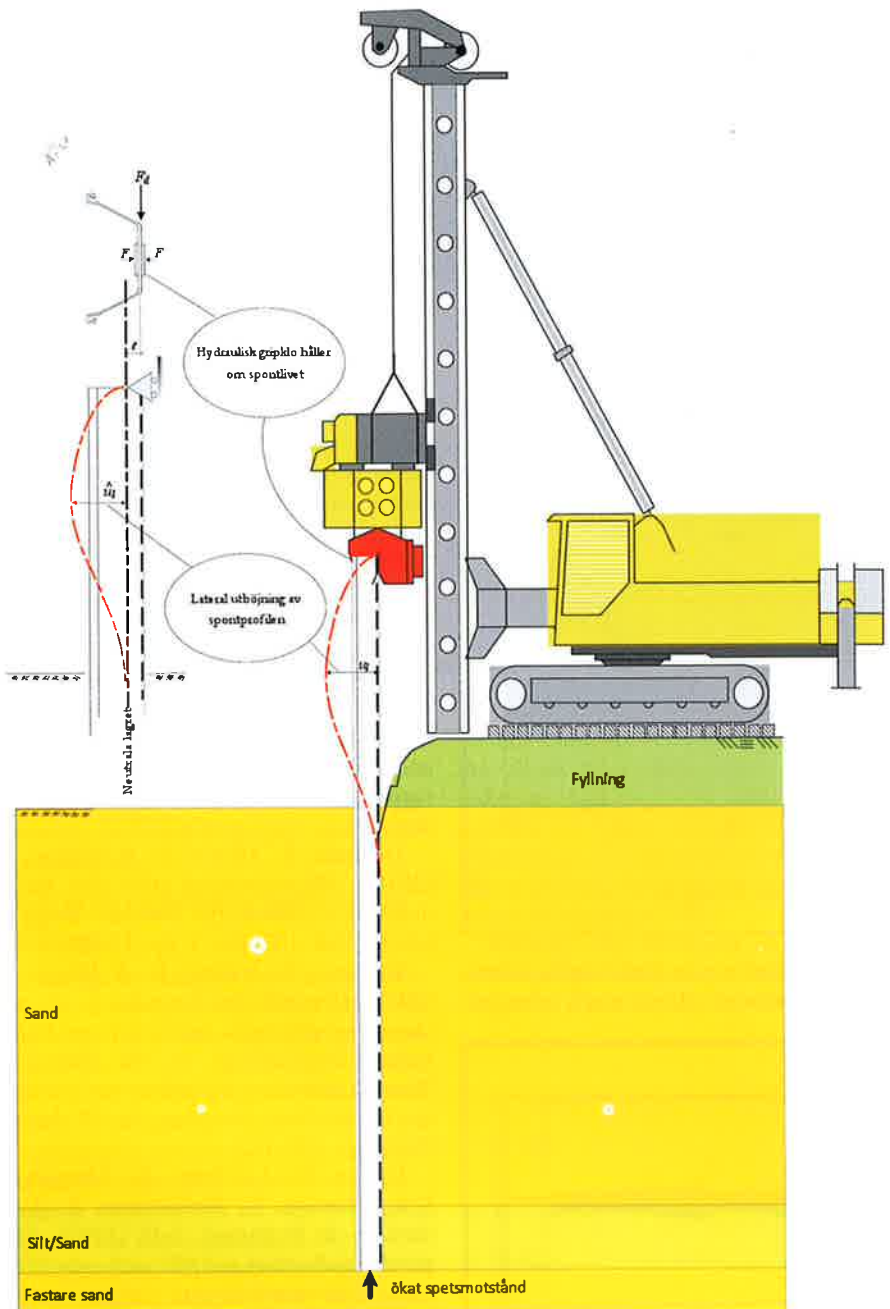
Roland Dahlin: roland@byggteknikforlaget.se  
Marcus Dahlin: marcus@byggteknikforlaget.se

## Bygg & teknik direkt på nätet

Årgångarna 2006 till och  
med 2/2012 av Bygg & teknik  
finns nu att läsa i fulltext på  
vår hemsida:  
[www.byggteknikforlaget.se](http://www.byggteknikforlaget.se)

Konferenshandlingar för det 13:e Nordiska Geoteknikermötet, Helsingfors, Finland, 5–7 juni 2000, pp. 291–299.

Whenham, V., Areias, L., Rocher-Lacoste, F., Vié, D., Bourdouxhe, M-P. & Holeyman, A. (2009). *Full scale sheet pile vibro-driving tests. Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp 1354–1357.



Figur 13: Illustration visande införandet av excentriska krafter på grund av sättet att hålla sponten samt utböjning på grund av ökat spetsmotstånd i det fastare sandlagret.



## Berg & GrundSäkring

Hogenäs Industriområde 5, 456 91 Kungshamn  
Telefon 0523-66 77 33, Fax 0523-325 30  
[www.bgs.se](http://www.bgs.se) - [info@bgs.se](mailto:info@bgs.se)

- Betongpålning
- Borrade stålplålar
- Grundförstärkning
- Skruvpålar
- Stålplålar
- Villapålning

