

**REDUKSJON AV SKADER FRA BORING AV PELER OG ANKERE.  
ANBEFALINGER FRA BEGRENSSKADE II****Limiting damage from overburden drilling of piles and ground anchors.  
Recommendations from BegrensSkade II**

*Einar John Lande, Avdelingsleder Landfundamentering, NGI*  
*Thomas Sandene, Senioringeniør, NGI*  
*Jenny Langford, Seniorspesialist, NGI*  
*Stefan Ritter, Senioringeniør, NGI*

**SAMMENDRAG**

Ved utgangen av oktober 2022 ble det bransjeomfattende FoU-prosjektet BegrensSkade II ([BegrensSkade II / REMEDY - Risk Reduction of Groundwork Damage \(ngi.no\)](#)) offisielt avsluttet. Denne artikkelen oppsummerer kort de mest sentrale resultat fra arbeidspakkene *WP1: Drilling for installation of piles and anchor tie-backs* og *WP2: Deep excavations and foundations*. Det vises for øvrig til prosjektets nettside for utfyllende informasjon om prosjektet, publiserte resultater og sluttrapport som oppsummerer de enkelte arbeidspakkene. I både WP1 og WP2 er det samlet inn og sammenstilt ytterligere måledata og erfaringer fra byggeprosjekter fra de siste år. Måledataene kan bidra til å øke kvaliteten på risikovurderinger, fortrinnsvis i tidlig fase av et prosjekt, for videre å kunne velge tekniske løsninger som reduserer risiko for skader. I WP1 er det utført modellforsøk med boring av miniatyrrpel i sand for å øke forståelsen av de fysiske mekanismene som kan bidra til å skape setninger i omkringliggende grunn. Resultat fra disse modellforsøkene og erfaringer fra prosjekter med boring har gitt grunnlag for å anbefale en forenklet metodikk for å velge boremetode og utførelse for å redusere risiko for uønskede setninger på omgivelser.

**SUMMARY**

By the end of October 2022, the R&D-project BegrensSkade II (Remedy – Risk Reduction of Groundwork Damage) was officially finished. This article summarizes the main findings in the work packages *WP1: Drilling for installation of piles and anchor tie-backs* and *WP2: Deep excavations and foundations*. For more information about the project, published results and final report (in Norwegian) it is referred to the project web page [BegrensSkade II / REMEDY - Risk Reduction of Groundwork Damage \(ngi.no\)](#). Both WP1 and WP2 have compiled and analyzed data from recent instrumented construction projects. The data may be used to raise the quality of risk assessments, preferably in an early stage of a project, to help choose technical solutions that reduce risk of damage. In WP1 an experimental model test with drilling of a pile in sand have been carried out to increase the knowledge of the physical mechanisms which can cause settlements in the surrounding ground. The results from the model tests and projects with pile drilling have been used to propose a simplified framework for choosing drilling method and procedure to reduce the risk of excessive ground settlements in the surroundings.

## INNLEDNING

BegrensSkade II (REMEDY) er oppfølgeren til det bransjeomfattende forskningsprosjektet BegrensSkade (2012-2015). BegrensSkade II er finansiert av Norges Forskningsråd og de 18 partnerne som vist i oversikt i figur 1. Motivasjonen for BegrensSkade II (og BegrensSkade) er relatert til at det har vært et høyt antall tilfeller der grunnarbeid i bygge- og anleggsprosjekter har ført til uventede skader på naboeiendommer og nærliggende infrastruktur. Hovedmålsetningen med BegrensSkade II har vært å bidra til å redusere risiko for uønsket skade som følge av grunnarbeid under og etter utførelsen av byggeprosjekter. Prosjektet har fokusert på de tre mest utbredte årsakene til skader som redegjort for i sluttrapporten i BegrensSkade I (Baardvik et al., 2016), samt to andre potensielle kilder:

1. Boring for fundamentpeler og ankere for støttekonstruksjoner som kan føre til erosjon og forstyrrelse av omkringliggende jord med påfølgende re-konsolidering av setningsømfintlige avsetninger.
2. Drenering av grunnvann inn i byggegropen som medfører senkning av poretrykk og konsolideringssetninger i bløt leire.
3. Mangel på tilstrekkelig risikovurdering som grunnlag for valg av tekniske løsninger.
4. Metoder for utførelse av dype byggegropen der det er økende behov for "nye" metoder for større og dypere byggegropen enn tidligere.
5. Vibrasjons-effekter fra anleggsaktiviteter som bergsprengning, pigging, komprimering eller peleramning.

Artikkelen redegjør innledningsvis for problemstilling relatert til påvirkning på omgivelser fra byggegrop, og ved utførelse av boring for peler og ankere. Videre presenteres oppdaterte databaser av målte setninger og redusert poretrykk relatert til utførelse av dype byggegropen i bløt leire. Deretter oppsummeres effekter fra boring på poretrykk som grunnlag for å vurdere risiko for å skape setninger. Avslutningsvis presenteres en metodikk for å velge boremetode basert på grunnforhold for å redusere risiko for uønskede setninger i omgivelsene.



Figur 1. Oversikt partnere i BegrensSkade II.

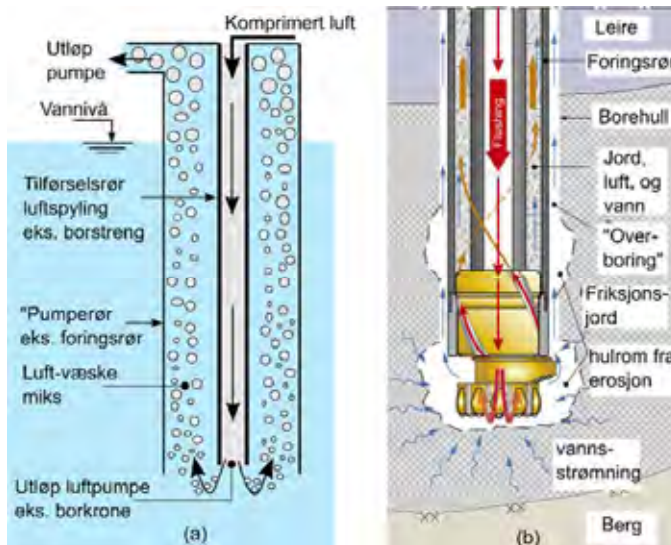
## PROBLEMSTILLING

Det er velkjent at grunnarbeider som omfatter etablering av dype byggegrop, fundamenter, samt ulike typer peler i løsmasser vil påvirke de nærliggende massene i større eller mindre grad. Utgraving av byggegrop under grunnvannsnivå, kan i tillegg påvirke poretrykksforholdene i berg og løsmasser i stor avstand fra der hvor arbeidene pågår. Summen av disse påvirkningene kan medføre skadelige deformasjoner (forskyvninger) på bygninger og infrastruktur dersom disse har fundamenter som gjør dem utsatt for denne type påvirkning.

Mens det internasjonalt normalt er vesentlig fokus på deformasjoner som følge av selve utgravingen, er det for vanlige norske grunnforhold (bløt leire med begrenset dybde til berg) ofte reduksjon av poretrykk ved berg som medfører betydelige setninger også i stor avstand fra byggegrop. I tillegg kan det ved ugunstig kombinasjon av grunnforhold, metode og utførelse forårsakes vesentlige setninger som følge av selve installasjonsarbeidene helt lokalt.

Gjennom studier i BegrensSkade fant Langford et al. (2015) og Karlsrud et al. (2015) en klar indikasjon på at boring av foringsrør for peler og ankere kunne føre til betydelig større setninger rundt byggegropene enn tidligere rapporterte studier hadde vist (Peck, 1969; Mana og Clough, 1981; Long, 2001; Karlsrud og Andresen, 2008). I takt med en generell økning i bruk av borede peløløsninger (Pålkommisjonen, 2022) i Skandinavia er det avgjørende å forstå installasjonseffekter og influens på omgivelsene fra boring for å kunne redusere risiko for skader på nærliggende bygg og infrastruktur.

Gjennom BegrensSkade-prosjektene, og ved hjelp av de mange partnerne, har man kunnet utføre en unik systematisk innsamling og analyse av måledata og erfaringer fra fullskala feltforsøk (Lande et al., 2020), samt en rekke bygge- og anleggsprosjekter i Norge der det har blitt utført boring for peler og/eller forankringer. I BegrensSkade II er det i tillegg utført modellforsøk med boring av minatyrpel i sand for å øke kunnskap og forståelse av de fysiske effekter på omkringliggende grunn ved spyling med vann under boring (Lande et al., 2021).



Figur 2. Illustrasjon av prinsipp for "Mammutpumpe" (a) og mulig erosjon av friksjonsmasser (silt/sand/grus) lokalt rundt borkrone som følge av boring med luftdrevet senkhammer (b).

Rapporterte feltforsøk (Lande et al. 2020; Ahlund og Ögren 2016) og prosjektstudier (Konstantakos et al. 2004; Küllingsjö 2007; Bredenberg et al. 2014; Haugen et al. 2015; Sandene et al. 2020) har indikert at boring av foringsrør med luftdrevet senkhammer (DTH-hammer) kan føre til betydelige setninger i omkringliggende grunn umiddelbart etter boring. Hypotesen er at disse setningene i hovedsak skyldes lokal erosjon og massetap rundt foringsrør for peler og/eller ankere, og at denne mekanismen ofte er observert når man har boret i siltige/sandige masser eller friksjonsmasser (morene) over berg. Massetapet er videre antatt å være knyttet til såkalt "mammutpumpe-effekt" (Bernoulli, 1738; Venturi, 1797) som fører til et undertrykk inne i foringsrør i forhold til poretrykket i grunnen, og dermed en potensiell vannstrømning inn mot borkrone som kan erodere silt og sand partikler som illustrert i figur 2.

## BYGGEGROPSDATABASE

I WP2 er måledata fra byggegroper som ble samlet inn i BegrensSkade ytterligere systematisert og beriket med tilgjengelig metadata om grunnforhold og byggemetoder, samt måledata fra langt flere byggegroper fra typisk norske grunnforhold. Det er i denne byggegropsdatabaseen imidlertid ikke kun fokusert på byggegroper som har medført registrert bygningsskade, men benyttet all mulig måledata som i sum kan bidra til et empirisk erfaringsgrunnlag for hvordan dype byggegroper og fundamenter i typisk norske grunnforhold med bløt leire kan påvirke omgivelsene. Databaseen inkluderer observasjoner fra setningsmålinger, inklinometer og poretrykksmålinger, men fordi setningsmålingene ofte er påvirket av konsolideringssetninger og inklinometermålingene er få, vil det være resultater fra poretrykksmålingene som er hovedfunnet i arbeidet.

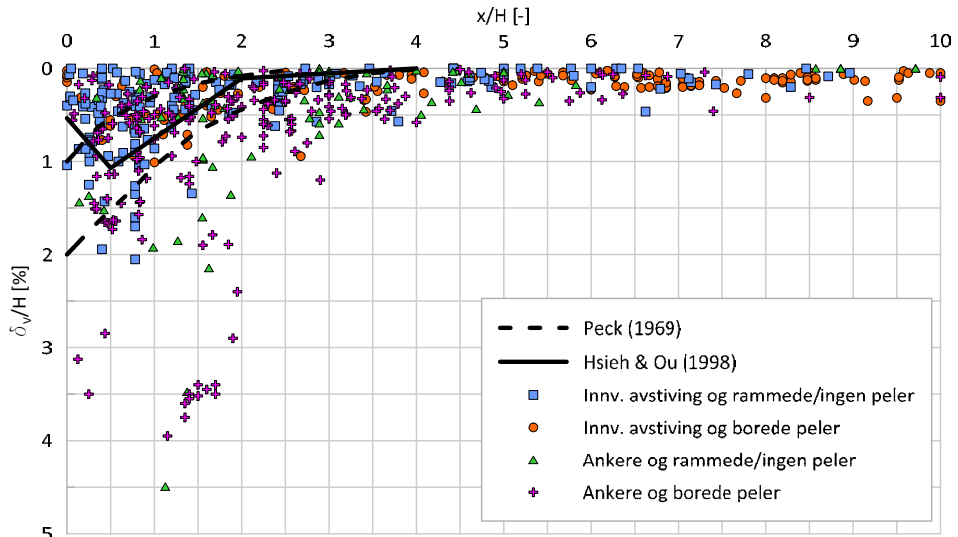
Figur 3 presenterer database for målte setninger relatert til avstand fra byggegrop. Målinger indikerer at store setninger nært inntil byggegroper ( $x/H < 2$  til 4) ofte er relatert til løsninger med borede ankere eventuelt i kombinasjon med borede peler. Det vurderes å mest sannsynlig være relatert til ovennevnte installasjonseffekter. Setninger i større avstand fra byggegrop ( $x/H > 4$ ) vurderes i hovedsak å skyldes konsolideringssetninger i leiravsetninger som følge av drenering til byggegroppen og reduksjon av poretrykk ved berg. Dette er forårsaket av frigraving av berg eller drenerende lag, men også av installasjon av ankere eller peler som har medført dreneringsveier fra morene og berg inn i byggegrop.

Figur 4 presenterer database over målte endringer i poretrykk (reduksjoner) ved berg relatert til avstand fra byggegrop. Målinger indikerer at byggemetoder som har potensiale til å forårsake drenering ved bergnivå, sannsynligvis vil medføre poretrykksreduksjon. Det legges ikke skjul på at det er en spredning i dataene, men trenden er klar. Byggegroper som har innvendig avstiving, rammede eller ingen peler og heller ikke har frigraving av berg medfører i svært liten grad poretrykksreduksjon i områdene rundt. Det vises ellers til sluttrapport i BegrensSkade II for ytterligere database og vurderinger av betydning av tiltak for å forebygge poretrykksreduksjoner.

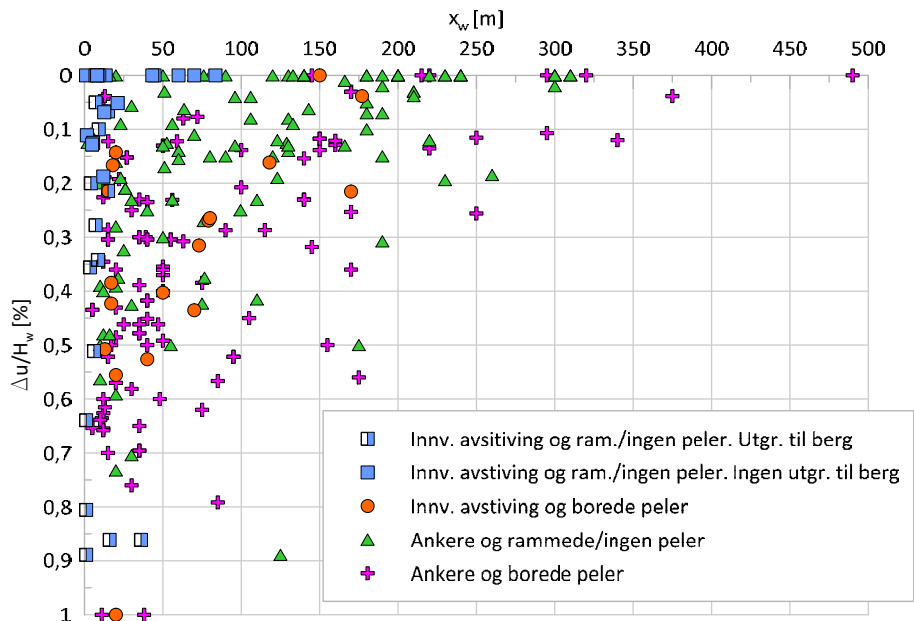
Problemstillingene som belyses i WP2 er sammensatt og kompleks, og det vil fortsatt være vanskelig å gjøre detaljerte vurderinger med høy presisjon for nye prosjekt. Måledata og prosjekterfaringer vil likevel i vesentlig grad kunne bidra til å øke kvaliteten på risikovurderinger som kan utføres spesielt i tidligfasen til et prosjekt. Databaseen vil gi et bedre grunnlag for:

- Å ta kunnskapsbaserte valg for avstiving, pelefundamentering og dybde til byggegroper basert på mulige konsekvenser og stedlige grunnforhold
- Å vurdere viktighet og omfanget av avbøtende tiltak hvis nødvendig

- Å kunne kvantifisere effektene en byggegrop kan ha på omgivelsene basert på erfaringsdata, også som et godt verktøy i kommunikasjon til beslutningstagere som ikke har geoteknisk fagkompetanse



Figur 3: Observasjoner av målte setninger ( $\delta_v$ ) og avstand fra byggegrop ( $x$ ) normalisert mot utgravingsdybde ( $H$ ) i byggegrop. Ulike symboler representerer type avstivings- og fundamenteringsmetoder.



Figur 4: Målt endring i poretrykk ( $\Delta u$ ) normalisert mot utgravingsdybde under grunnvannstand ( $H_w$ ) mot avstand fra byggegrop ( $x_w$ ). Ulike symboler representerer type avstivings- og fundamenteringsmetoder.

## MODELLFORSØK – BORING AV PEL I SAND

Ett av målene i WP1 var å utføre modellforsøk med boring under kontrollerte forhold for å øke kunnskap og forståelse knyttet til de fysiske mekanismer og effekter på omkringliggende grunn. Det var spesielt fokus på betydning av sentrale boreparametere som spylemedium og trykk, penetrasjon/borsynk og rotasjonshastighet, og deres betydning for graden av erosjon under boring. Det ble utført forsøk med boring av miniatyrrpel (diameter lik 30 mm) i middels fast sand ved bruk av vannspyling. Forsøk med bruk av luftspyling viste seg å ikke være mulig under de gitte betingelser i forsøkene, hvorav det generelle lave spenningsnivået i sandmodellen anses å være avgjørende. For utfyllende beskrivelse og resultater fra forsøkene vises det til artikkel av Lande et al. (2021). Det vises også til Msc. studie av Tyvold (2020) der det ble utført supplerende modellforsøk.

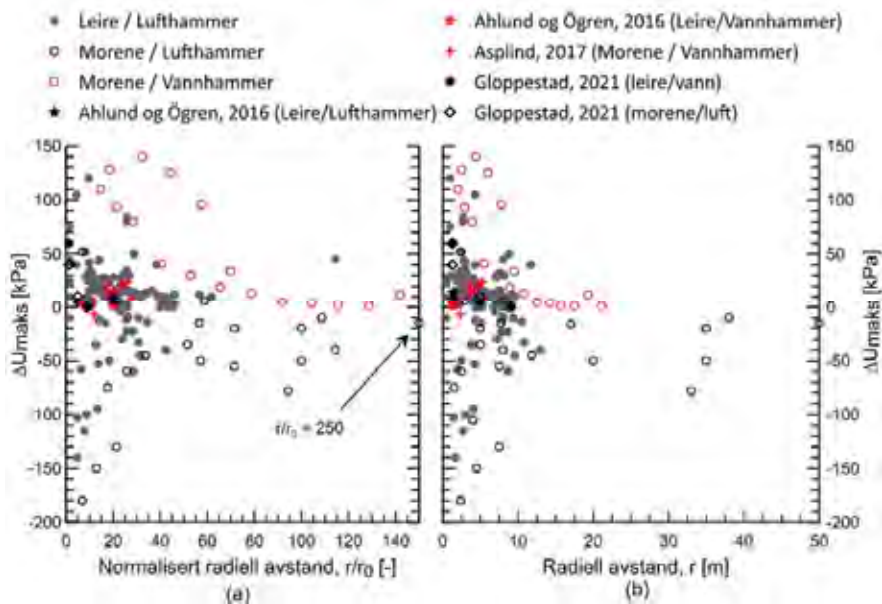
## PÅVIRKNINGER FRA BORING PÅ PORETRYKK

Figur 5 presenterer en sammenstilling av poretrykksmålinger utført i løsmasser ved boring av foringsrør for peler i 10 bygge- og samferdselsprosjekter i Norge. I tillegg er resultater rapportert av Ahlund og Ögren (2016), Asplind (2017) og Gloppestad (2021) inkludert. Figuren viser maksimale målte endringer i poretrykk ( $\Delta U_{\text{maks}}$ ) mot henholdsvis normalisert radiell avstand  $r/r_0$  (a) og avstand i meter (b) mellom poretrykksmåler og aktuelt foringsrør/pel. Det bemerkes at poretrykksmålerne (piezometere) i de aktuelle prosjekt har vært installert til ulike dybder i løsmassene. Det har ellers vært benyttet ulike loggeintervall i de ulike prosjektene, som trolig har medført at man ikke har klart å måle de faktiske ekstremverdiene i de fleste tilfellene.

Resultatene kan benyttes som veiledning i forbindelse med valg av boremetode og ikke minst ved evaluering av utførelse av boring og potensial for å skape uønskede setninger i omkringliggende grunn. Dataene viser følgende generelle trender:

- Boring gjennom leire (solide symboler) fører typisk til betydelige, men midlertidige, poretrykksøkninger (positive verdier for  $\Delta U_{\text{maks}}$ ). Det er i samsvar med resultater fra feltforsøk med boring av ankere i bløt leire som ble utført i BegrensSkade I (Lande et al., 2020; Lande et al., 2015b), samt forsøk for å sammenligne luft- og vanddrevet senkhammer i Sverige (Ahlund og Ögren, 2016). Trykkøkningene er vurdert å hovedsakelig skyldes høy borsynk som medfører varierende grad av massefortregning tilsvarende rammede lukkede peler. Effekt av kontinuerlig spyling med vann eller luft ved boring ser ut til å bidra til ytterligere trykkøkninger. Resultatene viser at poreovertrykk dissiperer relativt raskt etter at boring er avsluttet.
- Boring med luftdrevet senkhammer fører typisk til betydelig reduksjon i poretrykk (negative verdier for  $\Delta U_{\text{maks}}$ ) i piezometere installert i morene/sand/grus (åpne symboler). Disse resultatene underbygger hypotesen om at boring med luftdrevet borsystem medfører "mammutpumpe-effekt" som illustrert i figur 1 (Bernoulli, 1738; Venturi, 1797) I noen av disse prosjektene har man også målt relativt umiddelbare setninger i omkringliggende grunn under boringen. Erfaringer fra flere prosjekter som er fulgt opp i BegrensSkade-prosjektene tilsier at disse fysiske effektene fra boring med lufthammer generelt øker risiko for setninger i grunnen. Resultatene fra boring med vanddrevet senkborhammer (røde symboler) viser hovedsakelig midlertidige økte poretrykk (positive verdier for  $\Delta U_{\text{maks}}$ ), noe som underbygger at metoden ikke medfører tilsvarende pumpeeffekt som luftdrevet borsystem.

- Resultat fra poretrykksmålinger utført i morene/sand/grus med relativt høy permeabilitet viser at poretrykkene generelt reetablerer seg til omtrent referansetrykk kun få timer etter endt boring. Dette samsvarer med resultater fra Lande et al. (2020), Asplind (2017) og Ahlund og Ögren (2016). Poretrykksmålinger i løsmasser som er mer permeable enn leire kan gi indikasjon på om man borer i akvifer med stor vannstrømning. Hvis det er tilfelle, kan det medføre økt risiko for uønsket erosjon under boring og bør dermed tas i betraktning ved vurdering av boreprosedyre og eventuelt endring av boremetode.



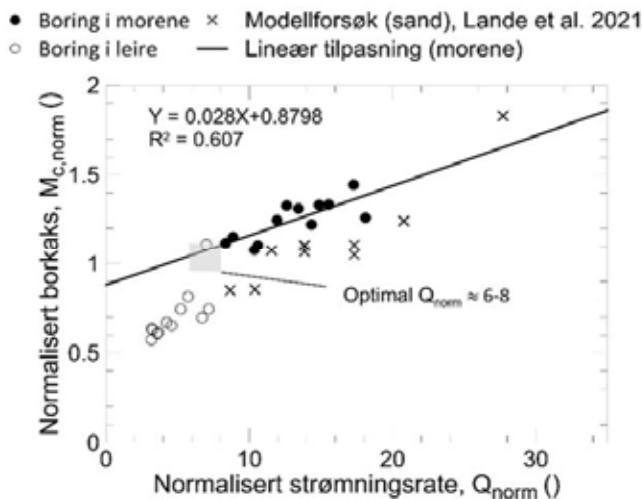
Figur 5. Maksimale endringer i poretrykk ( $\Delta U_{maks}$ ) målt ved boring av foringsrør for peler mot normalisert radiell avstand  $r/r_0$  (a) og radiell avstand  $r$  i meter (b). Måledata er fra X ulike prosjekter med diameter på foringsrør fra 140 mm til 710 mm, inkludert data rapportert fra to masteroppgaver i Sverige (Ahlund og Ögren, 2016 og Asplind, 2017). Symboler med rød farge er fra boring med vannhammer og svarte symboler er fra boring med lufthammer.

Som en del av BegrensSkade II er det samlet inn data fra boring med vandrevet senkhammer i leire- og moreneavsetninger for å kunne vurdere massebalansen av borkaks, og dermed også risiko for massetap med påfølgende setninger i omkringliggende grunn. Figur 6 presenterer resultat fra disse boringene i dimensjonsløst system som foreslått av Lande et al. (2021) basert på modellforsøk. Denne metoden muliggjør sammenligning av mengde borkaks med de mest sentrale boreparametrene ved å introdusere normalisert massebalanse ( $M_{c,norm}$ ) og normalisert strømningsrate ( $Q_{norm}$ ). Massebalanse er forholdet mellom volum borkaks (in-situ) og det teoretiske volum som foringsrøret opptar i grunnen. Verdi av  $M_{c,norm}$  under 1 indikerer at det oppstår noe massefortregning, mens verdi over 1 indikerer et netto massetap (volumtap). Normalisert strømningsrate er definert som følger:

$$Q_{norm} = \frac{q}{A_{pel} \times V_{pen}} \quad (1)$$

$Q$  er mengde spylevann ("flow rate") benyttet til å drive senkhammer og transportere borkaks opp av borhull gitt i  $\text{dm}^3/\text{minutt}$ .  $A_{\text{pel}}$  er tverrsnittsareal av foringsrør (pelerør) i  $\text{dm}^2$ , og  $V_{\text{pen}}$  er borsynk i  $\text{dm}/\text{minutt}$ .

De svarte solide symbolene viser resultat fra boring i morene, mens de åpne sirklene representerer boring gjennom leire. Den svarte linjen viser en lineær tilpasning til dataene for boring i morene. Resultat fra utførte modellforsøk er inkludert for sammenligning. Resultatene fra boring i både leire og morene viser en klar sammenheng i økende volum borkaks med økende grad av normalisert strømningsrate. Det er også i samsvar med modellforsøkene, men det ser imidlertid ut som resultat for normalisert massebalanse fra boring i morene konsekvent ligger noe over resultatene fra modellforsøk for tilsvarende verdier av normalisert strømningsrate. Dette er vurdert å være relatert til lave spenninger i jorda i modellforsøkene sammenlignet med fullskala boring, effekter av varierende grunnforhold, samt ulike dimensjoner på borkrone (inkludert spylekanaler) for fullskala boring og i modellforsøk.



Figur 6. Normalisert strømningsrate ( $Q_{\text{norm}}$ ) mot normalisert massebalanse ( $M_{c,\text{norm}}$ ) for foringsrør som er boret med vandrevet senkhammer.

## VALG AV BOREMETODE OG PROSEDYRE BASERT PÅ GRUNNFORHOLD

I sluttrapporten fra BegrensSkade ble det gitt anbefalinger for valg av boresystem og boreprosedyre basert på de erfaringene man hadde tilegnet seg fra feltforsøk og byggeprosjekt med boring for peler og ankere. Det ble også foreslått aktuelle metoder for å tette mot lekkasje av grunnvann opp langs foringsrør for peler og/ ankere. Nylige prosjekterfaringer presentert av Gloppestad (2021), van Raaij (2022) og Løyland (2022) kan tyde på at det er større fokus på problemstillingen, og at det i større grad iverksettes spesifikke tiltak for å redusere risiko for lekkasje av grunnvann fra borede foringsrør. Med tanke på valg av boremetode er det fortsatt meget få godt dokumenterte prosjekter hvor det er benyttet vandrevet senkhammer som alternativ til mer tradisjonell boring med luftdrevet senkhammer.

Basert på den samlede erfaringen fra BegrensSkade-prosjektene er det foreslått et enkelt flytdiagram som kan benyttes som veiledning for valg av boremetode under planlegging og gjennomføring av prosjekter, se Figur 7. Metodikken er i hovedsak ment for tilfeller der hensyn



til omgivelser/tredjepart vurderes viktig og/eller under spesielt krevende grunnforhold. De ulike steg i flytdiagrammet er beskrevet i det påfølgende:

### **1. Vurdering av grunnforhold.**

Erfaringer viser at boring for peler og ankere i grunnforhold der man har siltige/sandige masser medfører høy risiko for lokal erosjon og "tap" av jordvolum rundt foringsrør. Dersom disse lett eroderbare massene befinner seg i en vannførende akvifer eller i grunn med artesisk poretrykk, øker risikoen betraktelig.

Det er anbefalt at grunnundersøkelsene utføres med egnede metoder og i et slikt omfang at det er mulig å kartlegge om det er slike "problematiske" forhold. Dette kan eksempelvis medføre økt behov for sammenhengende prøveserier for å kunne bestemme jordart og korngradering, trykksonderinger, poretrykksmålinger og pumpetestet.

### **2. Valg av luft- eller vanddrevet borhammer**

Dersom man i GU i steg 1 avdekker lag med siltige/sandige masser i kombinasjon med lukkede akvifer med stor vannstrømning, anbefales det å velge vanddrevet borsystem som reduserer risiko for uønsket erosjon. Ved bruk av vanddrevet borsystem kan man benytte metode for vurdering av massebalanse som vist i figur 6 for tilpasning av boreprosedyre. Med tanke på meget begrenset datagrunnlag som ligger til grunn for metode for bestemmelse av massebalanse, anbefales det å utføre måling av totale mengder borkaks i et utvalg testpeler.

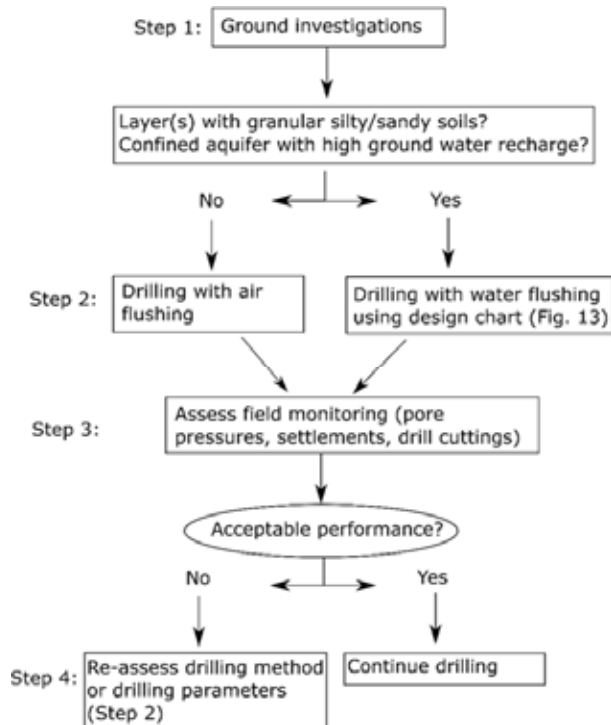
Dersom grunnforhold tilsier at det ikke er lett eroderbare masser er det mindre risiko forbundet med boring med lufthammer.

### **3. Analyse av resultat fra instrumentering.**

Uavhengig om det er valgt luft- eller vanddrevet borhammer bør det i forbindelse med oppstart av boring være etablert tilstrekkelig instrumentering til å kunne vurdere påvirkning på omgivelsene. Dette bør minimum omfatte måling av setninger i nærhet til der det bores, fortrinnsvis i flere dybder for å kunne fange opp eventuell erosjon. Poretrykksmålere er også anbefalt. Den beste metoden, men også mest omfattende, er å måle mengde borkaks som nevnt i pkt. 2 i et utvalg peler.

### **4. Revurdering av boremetode og prosedyrer**

Dersom man gjennom steg 3 kan dokumentere at valgt boremetode og prosedyre gir tilfredsstillende resultat, kan man fortsette uten endringer.



Figur 7. Foreslått flytdiagram for valg av boremetode for tilfeller der det skal bores i urbane setningsømfintlige miljø og/eller under krevende grunnforhold.

## REFERANSER

Ahlund, R. og Ögren, O. (2016) *Pore pressures and settlements generated from two different pile drilling methods*. Master of Science thesis. Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology KTH.

Asplund, M. (2017) *Pore water pressure and settlements generated from water driven DTH-drilling – a field study*. Master of Science thesis. Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology KTH.

Baardvik, G., Engen, A., Kalsnes, B., Karlsrud, K., lande, E.J., Langford, J., Simonsen, A.S., Tvedt, G. og Veslegard, G. (2016) *Begrensning av skader som følge av grunnarbeider. Sluttrapport*. Mars 2016.

Bernoulli, D. (1738) *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii: opus academicum ab auctore, dum Petropoli ageret, congestum* (In Latin, source ETH-Bibliothek Zürich, RAR 5503).

Bredenberg, H., Jönsson, M., Isa, R., Larsson, M. og Larsson, E.L. (2014) *Borrteknik för minimering av marksättningar vid borrarad grundläggning*. Tyresö, Stockholm: Bygg & Teknik 1/14.

Gloppestad, J.S. (2021) *Nyhavna Øvre – Pelefundamentering omforent med anstrengt områdestabilitet og In-Situ poreovertrykk i grunnen*. Geoteknikkdagen 26. november 2021, pp. 50.1-50.25.

Haugen, T., Ahmed, T., Olsson, A. og Lande, E.J. (2015) *E18 Knapstad – Retvet, Hobølelva bru. Erfaringer knyttet til boring av stålørspeler*. BegrensSkade rapport Delprosjekt 4: Dokumentasjon av metoder og tiltak.

Karlsruud, K., J. Langford, E.J. Lande, G. Baardvik. (2015) *Vurdering av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegroper*, BegrensSkade delrapport nr. 1+2.4.

Karlsruud, K. og Andresen, L. (2008) *Design and performance of deep excavations in soft clays*. In Proc., 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engineering., Arlington, VA: Missouri Univ. of Science and Technology.

Kempfert, H.G og Gebresellassie, B. (1999) *Effect of anchor installation on settlement of nearby structures in soft soils*. Proceedings of the international symposium on geotechnical aspects of underground construction in soft ground, 665-670. Tokyo/Japan 19-21 July 1999.

Konstantakos, D.C., Whittle, A.J., Regalado, C. og Scharner, B. (2004) *Control of ground movements for a multi-level-anchored, diaphragm wall during excavation*. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Eng. New York, Paper No. 5.68.

Kullingsjø, A. (2007) *Effects of deep excavations in soft clay on immediate surroundings – Analysis of the possibility to predict deformations and reactions against the retaining system*. Doctoral thesis Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2007. ISBN 978-91-7385-002-5.

Lande, E.J, Karlsruud, K., Langford, J. og Nordal, S. (2020) *Effects of drilling for tieback anchors on surrounding ground - results from field tests*. J. Geotech. Geoenviron. Eng. 146 (8): 05020007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002274](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002274).

Lande, E.J., Veslegard, G. og Simonsen A. (2015) *Forbedring og videreutvikling borede stag og peler. Metoder, utførelse og dokumentasjon*. BegrensSkade report 3.4.

Lande, E.J. and Karlsruud, K. (2015) *Feltforsøk stagboring*. Dokumentasjon av effekter ved boring i leire. BegrensSkade report 4.1.

Lande, E.J., Ritter, S., Tyvold, H. og Nordal, S. (2021) *Physical modelling of pile drilling in sand*. Canadian Geotechnical Journal. <https://doi.org/10.1139/cgj-2020-0373>.

Langford, J., Karlsruud, K., Lande, E.J., Eknes, A.Ø. og Engen, A. (2015) *Causes of unexpectedly large settlements due to deep excavations in clay*. In Proc., 16<sup>th</sup> European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Edinburg, 1115-1120. London: ICE Publishing. <https://doi.org/10.1680/ecsmge.60678.vol3.156>.

Long, M. (2001) *Database for Retaining Wall and Ground Movements due to Deep Excavations*. J. Geotech. Geoenviron. Eng. 127(3): 203-224.

Løyland, M. (2022) *Værstetorvet Syd – Bælsvær byggegrop med stålkjernepeler og fokus på poretrykksreduksjon*. Peledagen 28. september 2022, Oslo.

Mana, A.I. and Clough, G.W. (1981) Prediction of movements for braced cuts in clays. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 107 (6): 759-777.

Peck, R.B. (1969) Deep excavations and tunneling in soft ground. In Proc., *7<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 225-290. London: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

Pålkommisionen (2022) [Pålkommisionen \(palkommissionen.org\)](http://palkommissionen.org)

Rønning, S. (2011) E6 Trondheim-Stjørdal, Parsell Trondheim – Dagsone vest. Geotekniske aspekter knyttet til rørsput, noen erfaringer ved utførelsen. *Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk/geoteknikk*, 2011, Oslo.

Sandene, T., Ritter, S., og Lande, E.J. (2021) A case study on the effects of anchor drilling in soft, low sensitive clay and sandy, silty soils. *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*". *Elshafie, Viggiani and Mair (eds). 2021 ISSMGE, London, UK*. Taylor and Francis publishing. ISBN 978-0-367-33733-9.

Tyvold, H.F. (2020). *Small scale model test for drilling under realistic stress conditions*. Master of Science Thesis. Department of Civil and Environmental Engineering. Norwegian University of Science and Technology.

Venturi, G.B. (1797) *Récherches Experimentales sur le Principe de la Communication Laterale du Mouvement dans les Fluides appliqué a l'Explication de Differens Phenomènes Hydrauliques*

Van Raaij, E. (2022) *Lisvitenskapsbygget*. Peledagen 28. september 2022, Oslo.