

## Poretrykksreduksjon og setninger som følge av byggegropsarbeider

En omfattende sammenstilling av erfaringer fra norske byggeproper  
Thomas Sandene, NGI

Med bistand fra Jenny Langford, Mats Kahlström, Stefan Ritter (m.fl) NGI og  
Mike Long, UCD

05.03.2024 NGF «Når telen går»

Arbeidet som her presenteres er planlagt publisert i internasjonal geoteknisk journal i løpet av 2024 avhengig av hvor lang tid det tar med selve publiseringen.

# Naboloven

## § 2.

Ingen må ha, gjera eller setja i verk noko som urimeleg eller uturvande er til skade eller ulempe på granneeigedom. Inn under ulempe går òg at noko må reknast for farleg.

I avgjerda om noko er urimeleg eller uturvande, skal det leggjast vekt på kva som er teknisk og økonomisk mogeleg å gjera for å hindra eller avgrensa skaden eller ulempa. Det skal jamvel takast omsyn til naturmangfaldet på staden.

I avgjerda om noko er urimeleg, skal det vidare leggjast vekt på om det er venteleg etter tilhøva på staden og om det er verre enn det som plar fylgja av vanlege bruks- eller driftsmåtar på slike stader.

Jamvel om noko er venteleg eller vanleg etter tredje stykket, kan det reknast som urimeleg så langt som det fører til ei monaleg forverring av brukstilhøva som berre eller i særleg grad råkar ein avgrensa krins av personar.

Byggegrups- og fundamenteringsarbeider kan meget godt påføre naboene skader, også betydelige. Er det noe naboen bare må regne med? Hva kan vi vanligvis forvente? Hva kan vi med rimelighet unngå eller begrense?



Man har ikke lov til å sette i gang arbeider som urimelig eller unødvendig er til skade på naboens eiendom. Men så er det nyanser, hvor det åpnes for en vurdering av hva som er teknisk og økonomisk mulig for å hindre eller begrense skade. Her ligger det også en vurdering av hva som er normalt å forvente etter forholdene (grunnforholdene?) på stedet. Tolkningen av jussen for øvrig bør sikkert overlates til andre, men i et byggeprosjekt kan dette leses som at man har en forpliktelse til å:

- Ha en formening om hvordan byggingen vil påvirke naboene (konsekvensene)
- Vurdere om konsekvensene er rimelige, forutsetningene tatt i betraktning
- Vurdere om konsekvensene kan unngås/redueres med rimelige tiltak innenfor prosjektets rammer

Referanser:

Lovdata (2016): «Lov om rettshøve mellom grannar (grannelova)».

<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1961-06-16-15>

## Problemstillingen

- Byggegroper og fundamenteringsarbeid påvirker omgivelsene. En av de mest direkte konsekvensene, som også kan medføre skader, er setninger på eksisterende bygg og infrastruktur.
- Setninger som følge av byggegrop- og fundamenteringsarbeider kan oppsummeres ved følgende 3 bidrag:
  - Setninger som følge av skjærdeformasjoner i grunnen
  - Setninger som følge av erosjon/utspyling av løsmasser for eksempel ved boring av ankere eller peler
  - Setninger som følge av konsolidering i bløte leirer forårsaket av drenering til byggegropen med påfølgende redusert poretrykk i løsmassene

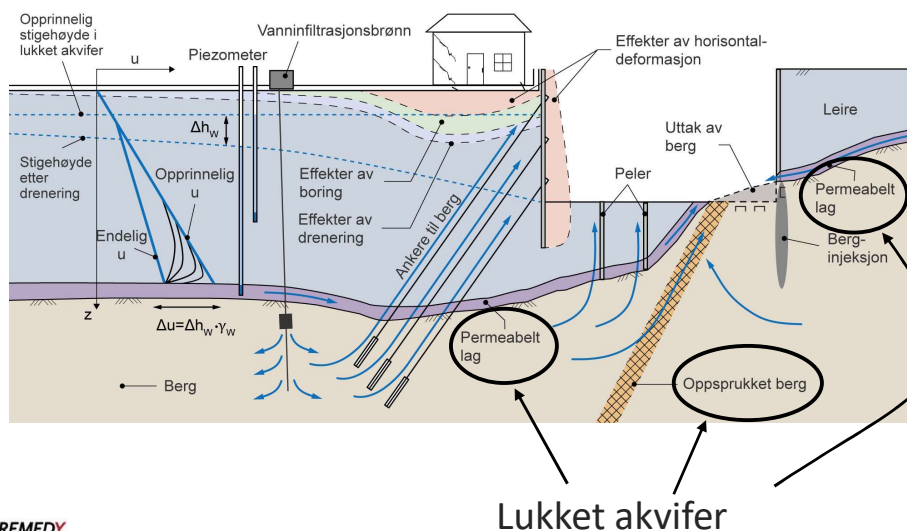


Det er tilnærmet umulig å gjennomføre en dyp utgraving uten at det påvirker skjærspenningene i grunnen, og da vil det bli deformasjoner i en eller annen størrelse avhengig av grunnens egenskaper, utgravings stabilitet, stivhet til byggegropsavstivingen osv. Spesielt for bløte leirer kan deformasjonene gjerne bli større fordi leira har lavere skjærstivhet. I tillegg til skjærdeformasjoner kan det også bli deformasjoner som følge av selve aktivitetene som gjennomføres, spesielt er det observert setninger i forbindelse med borearbeider under gitte forhold. I tillegg kan byggegropen drenere ut vann og redusere poretrykk i leira, og dermed forårsake konsolideringssetninger.

Referanser:

Langford, J., K. Karlsrud, E.J. Lande, A.Ø. Eknes og A. Engen. 2015. "Causes of unexpectedly large settlements induced by deep excavations in soft clay". Proc., 16th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Edinburgh. 1115-1120. London: ICE Publishing., doi:10.1680/ecsmge.60678

## Problemstillingen



- Skjærdeformasjoner normalt enkle å estimere
- Påvirkning fra boring vanskelig å estimere, men være obs på risikofaktorer
- Påvirkning på poretrykk og konsolideringssetninger kan estimeres, vi skal se nærmere på dette

Setninger som følge av skjærdeformasjoner i grunnen er som regel enkle å estimere, og lar seg beregne ved FEM-programmer som for eksempel Plaxis. En spunt til berg med begrenset lengde og fotbolt vil for eksempel være stivere enn en svevepunt i leire og dermed medføre mindre skjærdeformasjon. For svevepunt vil i tillegg mobiliseringsgraden til leira, eller sikkerhetsfaktoren til stabiliteten av byggegropa, i stor grad påvirke deformasjonen, hvor høyere sikkerhetsfaktor medfører mindre deformasjon. Avstivende tiltak, som tetthet mellom avstivingsnivå og for eksempel grunnforsterkning under traubunn, bidrar også til høyere sikkerhetsfaktor og mindre skjærdeformasjoner. Dette punktet tillegges ikke noe særlig mer oppmerksomhet i dette foredraget.

Det er ved flere anledninger vist en sammenheng mellom boring med spesielt luftdrevet senkborhammer og setninger som observeres bakenfor støttekonstruksjoner (ev. også innenfor byggegropa). Dette i hovedsak antatt forårsaket av at luftspylingen bidrar til erosjon og utspyling av masser, både at de suges eller blåses opp gjennom eller utenfor røret som bores, eller spyles ut gjennom andre punkt (for eksempel rør som allerede er boret). Fenomenet er i hovedsak gjeldende for friksjonsmasser, dvs. silt, sand og grus. Man vet at omfanget av setningene man kan observere kan påvirkes av in situ poretrykk (gjerne poreovertrykk) i friksjonsmassene, vanntilførsel i massene, kornfordeling, lagringstetthet, mektighet, hvor vanskelig det er å bore eller hvor lang tid man bruker, antall rør som bores og så videre. Siden det er mange faktorer og foreløpig begrenset kunnskap om temaet, er det vanskelig å estimere på forhånd hvor store setninger som kan forventes. Men man allikevel må være obs på problemstillingen ved boring gjennom slike løsmasselag i nærheten av

setningsømfintlige objekter.

Setninger som følge av poretrykksreduksjon forekommer fordi man punkterer den *lukkede akviferen* under den bløte leira som følge av drenasje til byggegrop. Den lukkede akviferen finnes typisk i morenemasser eller oppsprukket berg under leire, som på grunn av leiras lave permeabilitet har liten eller ingen kommunikasjon med vannstanden (eller trykket) som kan observeres høyere opp i eller over leira. I friksjonsmasser, morene eller i oppsprukket berg kan vannet strømme, og med mindre tilførselen av vann er stor nok vil trykket raskt avta dersom det blir en lekkasje. Trykkreduksjonen forplanter seg oppover i leira som begynner å konsolidere og det observeres setninger på overflaten. Hastigheten på hvor raskt trykkreduksjonen brer seg oppover vil avhenge av leiras permeabilitet, og derfor er det vesentlig at poretrykket måles så nær bunnen av leirlaget som mulig. Drenasje kan oppstå i og rundt borede rør og foringsrør som installeres til kontakt med den lukkede akviferen, og hvor toppen av røret er lavere enn den opprinnelige stighøyden. Det er også mulig at byggegropen går så dypt at man åpner opp forbindelse til akviferen ved å grave helt ned til det drenerende laget eller til eller i berg som kan være oppsprukket og vannførende. Det understrekes at vannmengdene som observeres kan være svært små eller praktisk usynlige i en stor byggegrop, og som regel ikke til hinder for selve utførelsen.

NB: Størrelse på deformasjoner i figuren er ikke i noen spesiell skala ut ifra hva man kan forvente, de er kun til illustrasjonsformål.

Referanser:

Baardvik, G. m.fl. (2016). «Begrensning av skader som følge av grunnarbeider. Sluttrapport». <https://www.ngi.no/prosjekter/begrensskade/>

Lande, E.J., K. Karlsrud, J. Langford og S. Nordal (2020). «Effects of drilling for tieback anchors on surrounding ground: Results from field tests». *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 146(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002274](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002274)

Lande, E.J., T. Sandene, J. Langford og S. Ritter (2022) «Reduksjon av skader fra boring av peler og ankere. Anbefalinger fra Begrensskade II»  
Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikkdagen 2022

Langford, J., G. Baardvik og K. Karlsrud. 2016. "Pore pressure reduction and settlements induced by deep supported excavations in soft clay". In Proc., 17th Nordic Geotechnical Meeting. 993-1002. Reykjavik: Icelandic Geotechnical Society

## En ny database for byggegroper

- Gjennom arbeidet med Remedy-prosjektet (BegrensSkade II) har det blitt samlet inn og systematisert data fra 48 ulike byggegroper og case-studier med typisk norske grunnforhold (bløt leire og begrenset dybde til fast berg, typisk 10 til 80 m)
- Dataene er tilgjengelige i litteraturen, er fra NGIs egne prosjekter, tilsendt NGI fra eksterne eller funnet i tidligere kurs og samlinger ol.
- Data for poretrykksreduksjon og setninger er systematisert inkludert en rekke ulike parametre
- Totalt ca. 1338 registreringer av punkter med setning eller poretrykk (og noen få inklinometer)
- Databasen inneholder nå data fra både prosjekter hvor det er registrert skader og prosjekter hvor det ikke er det.



Data for poretrykksreduksjon og setninger er systematisert inkludert en rekke ulike parametre, som dybder på byggegrop, grunnforhold, tiltak for å motvirke poretrykksreduksjon og setninger, typer avstiving, typer fundamentering i byggegrop osv. En lang rekke sammenhenger er studert, men mye er ikke relevant eller ikke funnet å ha noen tydelig sammenheng med observerte setninger og poretrykksreduksjon. I denne presentasjonen er kun de mest relevante funnene presentert.

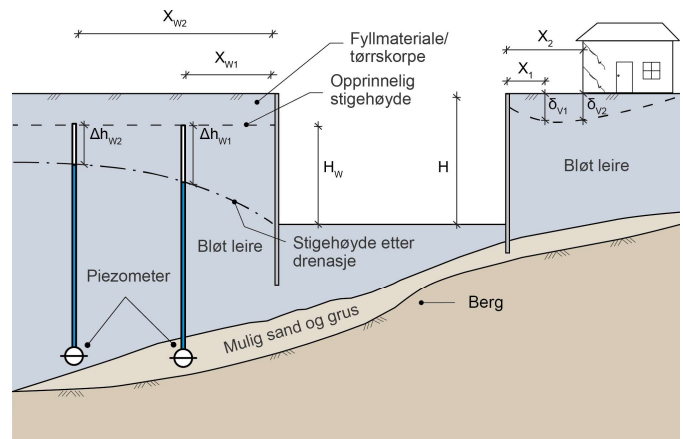
Databasen startet med utgangspunkt i arbeidet i BegrensSkade-prosjektet, hvor det i utgangspunktet ble samlet inn saker hvor det var registrert skadesaker. I den nye databasen derimot har det vært fokus på å samle inn så mye data som mulig, og hvorvidt det har blitt skade eller ikke er ikke relevant. Derfor anses den nye utvidede databasen i større grad å representere forventet respons for byggegrøpsarbeider under typisk norske grunnforhold.

Referanser:

Karlsrud, K., J. Langford, E.J. Lande og G. Baardvik (2015). «Vurdering av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegroper». BegrensSkade delrapport nr 1+2.4 <https://www.ngi.no/prosjekter/begrensskade/>

## Systematisering av poretrykk og setninger

- Maksimal målt setning og poretrykksreduksjon for hvert punkt inngår i databasen, inkludert avstand fra byggegrop
- Setninger  $\delta_v$  og avstand  $x$  normaliseres mot utgravingsdybde  $H$
- Poretrykksreduksjon (eller stighøydereduksjon)  $\Delta h_w$  normaliseres mot utgravingsdybde under stighøyde i lukket akvifer  $H_w$



Tegnforklaring til figur:

$\Delta h_w$	Største målte reduksjon i stighøyde til poretrykk ved/i lukket akvifer
$H_w$	Gravedybde (ev. dreneringsdybde) under opprinnelig målt stighøyde ved/i lukket akvifer
$x_w$	Avstand fra byggegrop til målepunkt for poretrykk
$\delta_v$	Målt setning i et punkt på bygning eller terreng
$H$	Total gravedybde i byggegrop
$x$	Avstand fra byggegrop til målepunkt for setninger

Fra databasen genereres det plot for setninger med avstand fra byggegrop og poretrykksreduksjon med avstand fra byggegrop. Det som er vanlig i litteraturen er at setninger normaliseres mot utgravingsdybde, og avstand til setningspunkt fra byggegrop også normaliseres mot utgravingsdybden. Det vil si at man plotter  $\delta_v/H$  mot  $x/H$ . For poretrykk er det valgt å normalisere maksimal målt poretrykksreduksjon mot utgravingsdybde under opprinnelig målt stighøyde i lukket akvifer, dvs.  $\Delta h_w/H_w$  mot avstand fra byggegrop  $x_w$  (uten normalisering). I databasen er det ikke tatt med poretrykksmålinger i leire, kun målinger ved berg eller morenelag.

For setninger i databasen er det lagt inn setninger som er antatt forårsaket av selve bygge- eller anleggsprosjektet. I enkelte tilfeller er det pågående krypsetninger før

prosjektet startet som er sett bort ifra der det er mulig. For poretrykk er det i databasen lagt inn den maksimalt målte poretrykksreduksjonen som er målt i løpet av byggeperioden, uavhengig av hvor lenge den varte.

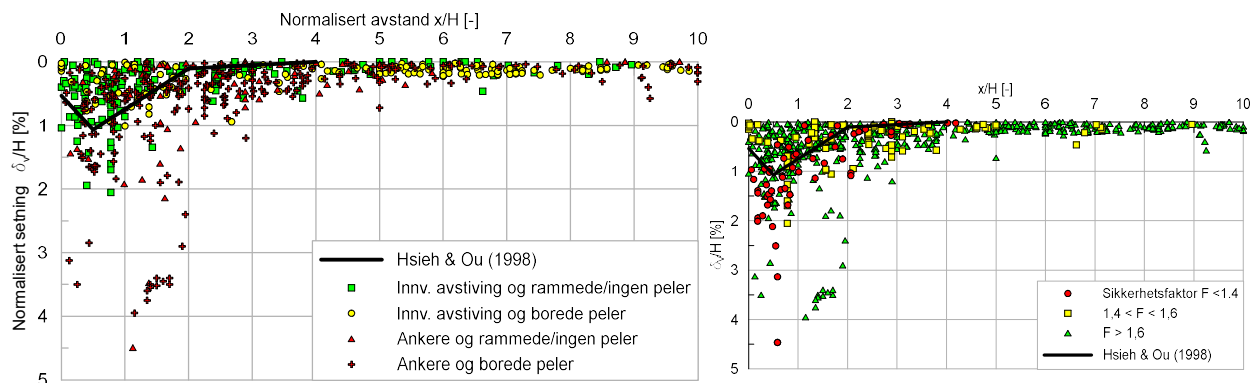
For å kunne ha et godt inntrykk av naturlig stighøyde, slik at  $H_w$  kan bestemmes, må det gjøres måling av poretrykk i eller svært nær den lukkede akviferen før prosjektet starter. Dette vil utgjøre en del av prosjekteringsgrunnlaget, på samme måte som dybder til berg, trykksonderinger, laboratorieforsøk osv. Det finnes sesongmessige variasjoner, men erfaringsmessig er disse ofte så små at de er langt mindre enn den poretrykksreduksjon som er nødvendig for å trigge konsolideringssetninger.

Stighøyde i nedre, lukket akvifer trenger ikke nødvendigvis ha noe med «grunnvannstand» eller vannstand i løsmasser over leire å gjøre. Trykket kan være lavere eller høyere (artesiske) enn det som observeres i og over leire. Dette vet man ikke uten å måle poretrykket på forhånd, og man må derfor måle poretrykket for å kunne vite noe om hvor stort potensiale man har for å redusere poretrykket ved drenering.

Det er også lagt inn resultater fra inklinometermålinger i databasen der hvor det er tilgjengelig. I internasjonal litteratur finnes det svært mye sammenstillinger av målinger av horisontaldeformasjon på støttevegger, mens i Norge er ikke praksisen at dette gjøres like ofte. Fordi det er ganske liten eller ingen kobling mellom horisontaldeformasjon og setninger som følge av borearbeider eller poretrykksreduksjon er imidlertid ikke dette studert noe videre i denne sammenhengen.



## Oppsummering av målte setninger



- Målte setninger i databasen viser et betydelig antall registreringer som overskrider forventede setninger på kanskje 0,5 til 1,0 %
- Spesielt tilfeller med borede løsninger kan slå dårlig ut
- Sikkerhetsfaktor tilsynelatende ikke direkte relevant



Alle figurene i presentasjonen er gitt i større format mot slutten av presentasjonsnotatene.

For en typisk byggegrop i bløt leire kan det forventes opp mot rundt 1,0 % av gravedybden i setninger som følge av skjærdeformasjon, eventuelt mindre for stivere løsninger og høyere sikkerhetsfaktor, eller noe større ved ugunstige forhold. Deformasjonen vil typisk avta til svært små verdier i avstand 2 x gravedybde og 0 i 4 x gravedybde (dette gjelder rene skjærdeformasjoner). Databasen inneholder eksempler som viser svært store setninger, forårsaket av boring av ankere og peler, innenfor 0 til 2 x gravedybden. I tillegg observeres det setninger opp mot 0,5 til 1 % av gravedybde i avstanden opp til 4-5 x gravedybde, og det er registrert setninger langt utover dette. Det er vurdert som at unormalt store setninger innenfor ca. 2 ganger gravedybden i hovedsak skyldes direkte effekter av boring, mens unormalt store setninger i avstand større enn 2 x gravedybden i hovedsak skyldes drenasje og poretryksreduksjon med påfølgende setninger i bløt leire. Databasen inneholder eksempler hvor det er målt setninger i avstand opp mot 20 ganger gravedybden, men plottene som er vist her er begrenset i utstrekning for å synliggjøre effekten nærmest byggegropen.

Sikkerhetsfaktor  $F$  mindre enn 1,4 er selvfølgelig ikke relevant i dag, men databasen

inneholder noen eksempler fra tidligere tider hvor regelverk og byggemetoder var annerledes, eventuelt at man hadde overvurdert sikkerhetsfaktor i design. I den venstre figuren er alle registreringer med  $F < 1,4$  utelatt, slik at denne omfatter kun registreringer som ville vært i henhold til dagens regelverk. Spuntvegger til berg med fotbolt er lagt inn med  $F > 1,6$  fordi løsningen generelt har relativt høy stivhet, med mindre det har vært noen åpenbare svikt i avstivingen el. (gjelder kun noen få punkter).

Som referanse er det lagt inn et empirisk forventet setningsprofil basert på forslag til Hsieh & Ou (1998), som er en typisk form som forventes observert på terrengsetninger inntil en dyp byggegrop med svevespunt. Den er lagt inn med maksimal setning 1,1 % som ifølge litteratur (Moorman, 2004) kan være et gjennomsnittlig estimat på maksimal observert setning som følge av skjærdeformasjoner i bløte leirer.

Det anbefales ikke å benytte målte setninger fra denne databasen som en grunnlag for å vurdere forventede deformasjoner fra nye byggegrøper, til det er det for mye usikkerheter og lokale forhold som spiller inn. Som man ser er det for eksempel tilfeller med borede ankere og peler over hele skalaen, og det kan ligge mye informasjon bak hvert punkt som generelt ikke kommer frem. Det man kan vurdere med disse plottene er imidlertid de setninger man eventuelt observeres i sitt eget prosjekt, og om hvor store disse eventuelt er sammenlignet med «forventet» respons. For eksempel kan det argumenteres for at setninger under 0,5 % av gravedybden vil være å anse som relativt liten setning i en avstand opp til 1 til 1,5 ganger gravedybde.

Referanser:

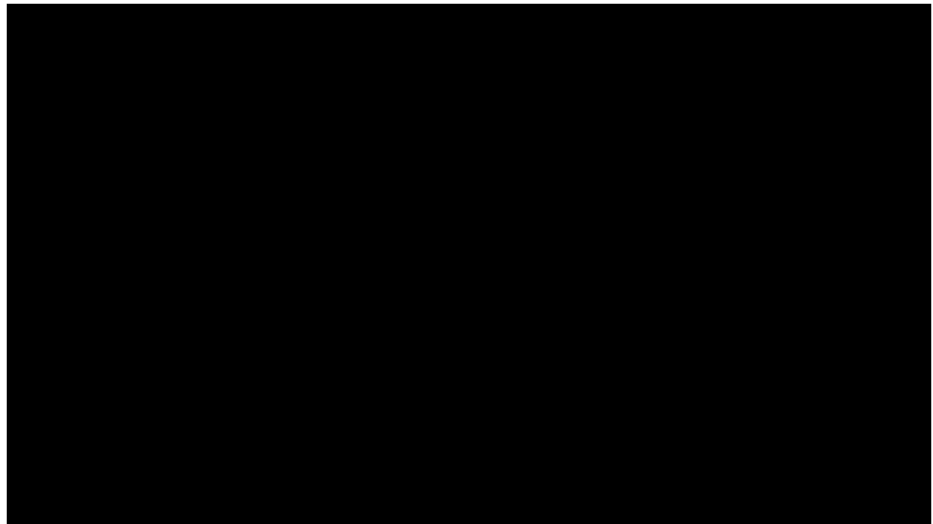
Hsieh, P.G. and C.Y. Ou (1998). "Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation." *Canadian Geotechnical Journal*, 35(6): 1004-1017.,  
<https://doi.org/10.1139/t98-056>

Baardvik, G. m.fl. (2016). «Begrensning av skader som følge av grunnarbeider. Sluttrapport». <https://www.ngi.no/prosjekter/begrensskade/>

Moorman, C. 2004. "Analysis of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on a new worldwide database." *Soils and foundations*, 44(1), 87-98.  
<https://doi.org/10.3208/sandf.44.87>

## Effekter av boring - Eksempel

Eksempel fra  
Nasjonalmuseet.  
Det trenger ikke  
nødvendigvis se så  
«ille» ut, men her er  
problemstillingen  
veldig visuell

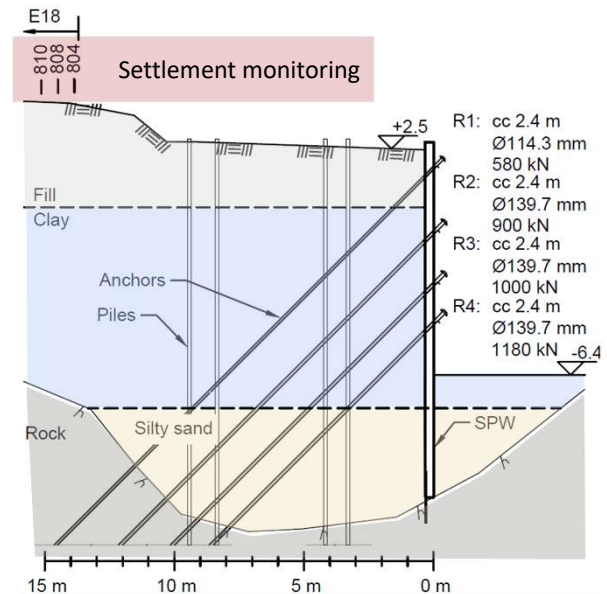
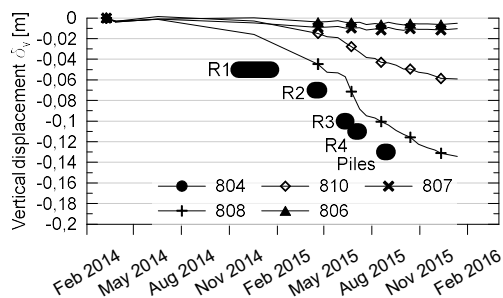


Vidoen viser at det under boring spyles ut masser opp gjennom foringsrør som forventet, men også rundt foringsrør (uheldig) og rundt og i andre foringsrør og dybelrør i området (ganske uheldig). Dette er en konsekvens av bruk av luftspyling i et siltig sandlag som fyller bunnen av en dyprenne det bores gjennom. Det er åpenbart at det sammen med vann og luft vil følge med en del masser underveis.

Selv om man ikke alltid kan se at det blåses ut masser både her og der, betyr det ikke at man ikke har et utfordring. Som geoteknikere er vi også ofte ikke til stede når dette foregår, vi kan ofte befinne oss i en helt annen landsdel for den saks skyld. Selv om man benytter såkalt reversibelt borsystem (hvor borkaks samles opp), så kan det «suges» opp mer masser enn det selve rørvolumet erstatter. Det er også observert ved reversibelt system at det kommer opp ganske mye mindre masser enn rørvolumet teoretisk skulle tilsi, som også kan indikere at påvirkningen i grunnen er ukjent. Hovedutfordringen er vist å være bruk av luftspyling og luftdrevet senkborhammer i friksjonsmasser, og dette gjelder også for type reversibelt borsystem som benytter luftdrevet utstyr og/eller luftspyling. Det vi kan gjøre noe med er å gjøre en vurdering av om denne problemstillingen er aktuell for vårt aktuelle prosjekt, og om det er objekter, konstruksjoner eller infrastruktur i nærområdet som vil kunne påvirkes negativt av eventuelle setninger.

## Effekter av boring - Eksempel

- Observert betydelige setninger > 10 cm på veifylling i sammenheng med ankerboring. Skyldes ikke poretrykksreduksjon eller deformasjoner i spunt



REMEDY

Samme tilfelle som ble vist i videoen er studert videre og publisert i et par artikler. Det ble observert en del setninger på terrenget bak spunt. Poretrykksmålinger indikerte at setningene i stor grad påløp før man observert en tilstrekkelig stor poretrykksreduksjon, og at poretrykksreduksjonen alene uansett ikke kunne forklare at setningene er så store. På grunn av overvurderte oppspenningslaster på ankere er også spunt trukket innover som følge av utgravingen (mot venstre i figuren), og deformasjonen på terreng kan derfor heller ikke forklares med utbøyning av spunt. Figuren til venstre, som viser setninger mot tid sammenstilt mot boring av de ulike ankernivåene, indikerer sammenfallende tidspunkt mellom boringen og påløpte setninger. Spesielt gjelder det de to siste ankerradene R3 og R4, samt foringsrør for stålkerneperler.

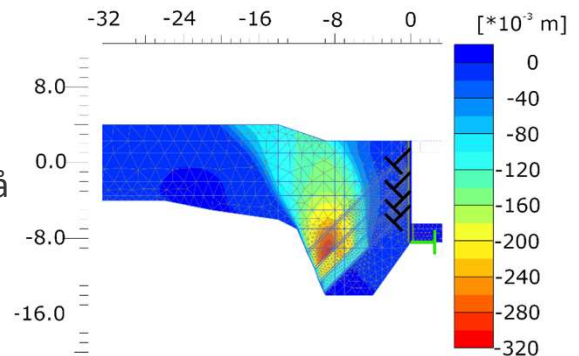
Referanser:

Sandene, T., E.J. Lande og H.A. Nøst (2023). "Calculation of soil volume loss caused by drilling of anchors", Proc. of 10th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, <https://doi.org/10.53243/NUMGE2023-34>

Sandene, T., S. Ritter og E.J. Lande (2021). "A case study on the effects of anchor drilling in soft, low sensitive clay and sandy, silty soils", Proc. of 10th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, <http://dx.doi.org/10.1201/9780429321559-85>

## Effekter av boring - Eksempel

- Tilbakeregning viser setninger i størrelsesorden 30 cm like i overkant av sandlaget forårsaket av volumtap rundt ankerne. Mindre setninger observert på overflaten.
- Estimert gjennomsnittlig volumtap på 0,24 m<sup>3</sup> løsmasser pr løpemeter foringsrør i sandlaget (!). Høyt tall, men går igjen i flere referanser
- Understreker at utførende entreprenør her ikke har gjort noe galt ut ifra forutsetningene som ble forelagt



Beregningen er utført ved å påføre en sone rundt ankerne negativ volumtøyning i samme sekvenser som ankere er installert og det er gravd ut i byggegrop. Ankerlaster og spuntdeformasjoner er samtidig korrelert mot faktiske målinger på ankerlastmålere og inklinometer. Setningene som måles i dybden, like over sandlaget, er betydelig større enn det som observeres på overflaten. Dette antyder at det foregår en del spenningsomlagring i grunnen som følge av volumtapet nedenfra. Det er ikke studert videre hvorvidt denne spenningsomlagringen kan medføre langvarige og mer langsomme setninger, men det kan ikke utelukkes. Det blir uansett vanskelig å vurdere et konkret omfang av slike eventuelle, langvarige setninger på forhånd.

En kvart kubikkmeter med løsmasser tapt pr løpemeter foringsrør kan høres mye ut, men samme størrelsesorden eller større tall er rapportert andre steder (f.eks. Konstantankos m.fl., 2004, Lande, 2009). Foreløpig eksisterer det ikke veldig mange studier på fenomenet. Det finnes også tilfeller av langt større setninger observert på overflaten, som direkte eller indirekte årsak til stagboringen. Man skal uansett være klar over problemstillingen ved boring med luftdrevet senkborhammer gjennom lag av friksjonsmasser.

Dette er ikke ment som et argument for å gå bort fra luftdrevet senkborhammer, som tross alt er meget utbredt og uproblematisk i bruk i mange sammenhenger. Men man

bør være klar over problemstillingen og kunne gjøre en vurdering dersom forholdene tilsier at det er nødvendig.

Referanser:

Konstantankos m.fl. (2004) «Control of Ground Movements for a Multi-Level-Anchored, Diaphragm Wall During Excavation», Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering,  
<https://scholarsmine.mst.edu/icchge/5icchge/session05/37/>

Kullingsjö, A. (2007). "Effects of deep excavations in soft clay on the immediate surroundings". PhD thesis. Chalmers University of Technology

Lande, E.J. (2009), "Uønskede effekter av stagboring; Volumreduksjoners innvirkning på terrengsetninger», Masteroppgave, NTNU

## Poretrykksreduksjon

- ↗ Det skal vanligvis svært liten vannlekkasje til før man ser en poretrykksreduksjon
- ↗ Ofte er det svært mange potensielle lekkasjepunkter, så summen kan bli stor om mange små lekkasjer tillates
- ↗ Som regel er poretrykksreduksjonen midlertidig, og tilbakeført når byggegrop ikke lenger dreneres



REMEDY

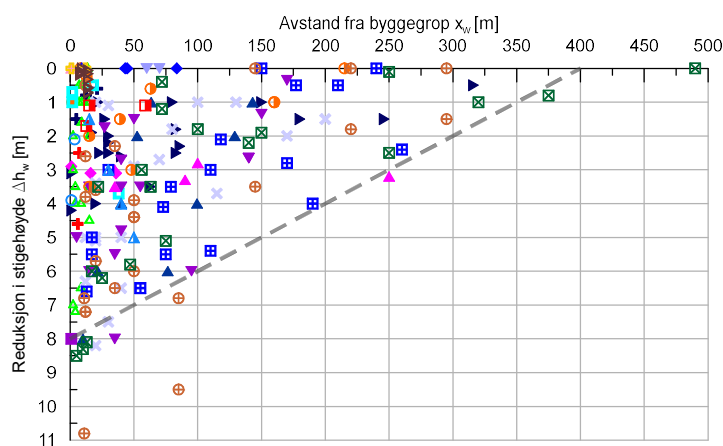
Lekkasjer som medfører poretrykksreduksjon vil som regel kunne være svært små. Når det i tillegg ofte kan være noen hundretalls peler og/eller ankere i en byggegrop, og det er mye ting som kan skjule lekkasjene, sier det seg selv at det er et omfattende arbeid å skulle forhindre slike lekkasjer. Det er allikevel mulig å tette det aller mest prekære, forutsatt at man har fokus på å beskrive tettetiltak, bruke metoder som reduserer eller ikke medfører lekkasjer samt utfører ettertetting ved behov. I tillegg må poretrykksrespons utenfor byggegrop måles så man ser effekter av utgraving og tettetiltak. I tillegg kan man i midlertidige faser benytte seg av vanninfiltrasjon i berg for å motvirke poretrykksreduksjonen.

I bildene vises øverst en del lekkasjer fra en spuntvegg, men akkurat hvor det lekker er på dette tidspunktet skjult av isolasjon. Antagelig er det i hovedsak lekkasjer i og rundt foringsrør for ankere, samt noe lekkasje ved selve spuntfotdrageren. Det kan i tillegg ses noe lekkasjer rundt bergbolter. Det er i dette tilfellet utført injeksjonsskjerm i berg under spunt, men boltene er så lange at de punkterer skjermen. Tetting av bergsikringsbolter må derfor også være et fokus i slike tilfeller. Nederst vises lekkasje gjennom foringsrør for anker i spunt, og til høyre lekkasje på utsiden av foringsrør for stålkjernepel.

Plottene som er vist i følgende slider kan benyttes til å estimere forventet poretrykksreduksjon fra et planlagt prosjekt, men kan også benyttes i ettertid til å sammenligne målt respons i et prosjekt med generelt grunnlag for å vurdere hvordan det «står seg» sammenlignet med et bredt erfaringsgrunnlag.

## Oppsummering av målt poretrykksreduksjon

- Databasen viser en stor variasjon i målt poretrykksreduksjon (eller redusert stighøyde) i den lukkede akviferen
- Det foreslås basert på registreringene at poretrykksreduksjon avtar med 2 m pr 100 m avstand fra byggegrop



Figuren viser alle registreringer av poretrykksreduksjon som absolutt reduksjon i stighøyde med avstand fra byggegrop. Basert på en tilsynelatende øvre grense anbefales det for praktiske vurderinger at man antar at poretrykksreduksjon avtar med ca. 2 m pr 100 m avstand fra byggegropa. Dette vil gjøre det enkelt å estimere aktuell influenssone for en byggegrop basert på utgravingsdybde under stighøyden i den lukkede akviferen (og hvor stor andel av dette man forventer å redusere poretrykket) samt grunnforhold for øvrig. Dette er også ekvivalent med tilsvarende funn og anbefalinger for poretrykksreduksjon som følge av tunnelarbeider, hvor det også er funnet at 2 m/100 m er en forsiktig men rimelig antagelse.

De lokale hydrogeologiske forholdene i hvert enkelt tilfelle kan ansees som svært kompliserte og tidkrevende både å kartlegge og modellere, og en slik utredning vil ikke være aktuell i langt de fleste prosjekter. Det vil også være vanskelig å kalibrere slike modeller uten faktisk målte data.

### Kilder:

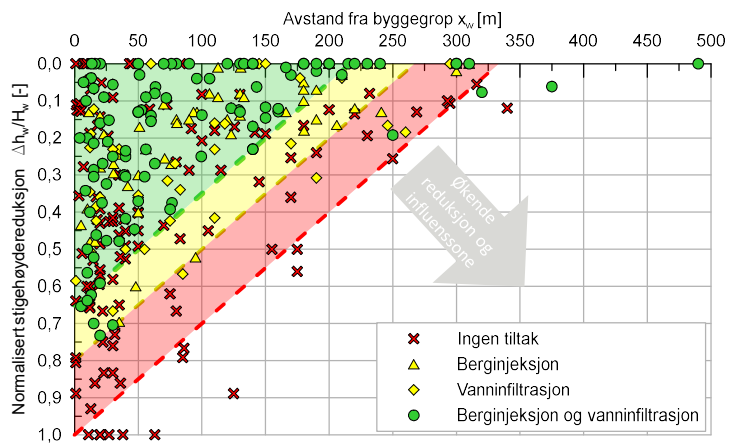
Karlsrud, K., L. Erikstad og P. Snilsberg (2003). «Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø». Miljø- og samfunnstjenlige tunneler publikasjon 103. <http://hdl.handle.net/11250/191106>

Langford, J., K.H. Holmøy, T.F. Hansen, K.G. Holter og E. Stein (2022) «Analysis of water ingress grouting effort, and pore pressure reduction caused by hard rock tunnels in the Oslo region», Tunneling and Underground Space Technology, Volume 130, 2022, 104762, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104762>



## Effekter av mottiltak

- Ved vanninfiltrasjon bores en brønn inn i berg hvor det pumpes inn vann for å motvirke poretrykksfall
- Ved berginjeksjon utføres det systematisk boring av injeksjonsskjerm i berg under spunt (mest aktuelt ved utgraving til/i berg)



De fargede områdene her antyder en sone hvor omtrent 90 % av punktene befinner seg innenfor hver sone. F.eks. ligger ca. 90 % av grønne punkter med berginjeksjon og vanninfiltrasjon ligger innenfor grønn sone.

Vanninfiltrasjonsbrønner er vanlige i forbindelse med tunneldriving i urbane strøk under dyprenner med leire, men har også stor nytteverdi i forbindelse med byggegrøper. Mekanismene for vannlekkasjer er de samme, og ved å infiltrere vann i berg er det mulig å opprettholde helt eller delvis poretrykket i området rundt brønnen. Løsningen må imidlertid ses som et midlertidig tiltak. Brønner kan være kostbare og krevende å installere i urbane strøk, spesielt utenfor tomte det bygges på. Man er avhengig av grunneiertillatelse, vanntilkobling, ikke kollisjoner med eksisterende infrastruktur, at brønnen treffer vannførende sprekkesett, at den har effekt i aktuell dyprenne og at den i det hele tatt fungerer (gir en ønsket poretrykksrespons) etter boring. Sammenlignet med mulige tvister og skadesaker er det imidlertid ofte at slike brønner er å foretrekke. Vanninfiltrasjonsbrønner må planlegges for på forhånd før man starter opp et prosjekt. Det kan være tidkrevende å finne en god plassering, skaffe alle tillatelser, bore og teste brønnen, og det har man ikke tid til når poretrykket begynner å falle. Infiltrasjonsbrønner i løsmasser anbefales ikke, blant annet fordi man kun kan infiltrere med svært begrenset trykk og vannmengde samt større fare for utvaskingskader fra selve brønnen. Man skal også

være obs på potensiell utvasking og skader fra brønner i berg, og installasjon og drift av slike brønner krever derfor tett oppfølging med blant annet poretrykksmålinger samt at man begrenser infiltrasjonen så mye som mulig samtidig som et forsvarlig poretrykksnivå skal opprettholdes.

En del av vanntettingen er normalt også å støpe en betongfotdrager ved spuntfot som tetter ev. gliper mellom spunt og berg i sonen hvor det kan være vannførende lag. Ofte, spesielt dersom det skal tas ut bergskjæring under spunt, vil det uansett være aktuelt å etablere fotdrager som sikring av spuntfot før skjæringen tas ut. Det er også praktisert i flere prosjekter å jetinjisere i denne glipen mellom spunt og berg, hvor det settes rader av jetpeler ned til berg og med god overlapp opp langs spunt for å tette ved spuntfot, siden jetpelen vil være lang mindre permeabel enn for eksempel sand- og grusmasser. Jetpeler kommer imidlertid med en ganske høy rigg- og enhetskostnad, miljøaspekt mht. sementbruk og mye annet, slik at det må vurderes spesielt om dette er kost-nytte effektivt for hvert enkelt prosjekt sett opp mot andre tiltak samt forventede konsekvenser. Det er ikke mulig å benytte databasen til å analysere effekter av tetting av spuntfot med spuntfotdrager og/eller jetpeler, det må generelt antas at tett spuntfot enten er en del av pakken eller ikke.

Berginjeksjon brukes normalt dersom det kan forventes oppsprukket/vannførende (ev. med vannførende soner) berg og man skal ta ut skjæringer i berg under spunt. Men det kan også være tilfeller hvor f.eks. rør for peler drenerer ut fra berg dersom det er oppsprukket, og at injeksjonsskjerm allikevel har en funksjon med å forlenge drenasjeveien. Igjen må dette vurderes ut ifra omfanget av byggegrøp, kostnaden til injeksjonsarbeidene samt konsekvens av vannlekkasje (sårbarhet til nærområdene). Vær obs på at foringsrør for ankere vil kunne drenere bakenfor en ev. injeksjonsskjerm, så disse må tettes uavhengig av den. Det er også observert, som vist i tidligere bilde, at bergbolter som punkterer injeksjonsskjermen kan virke drenerende.

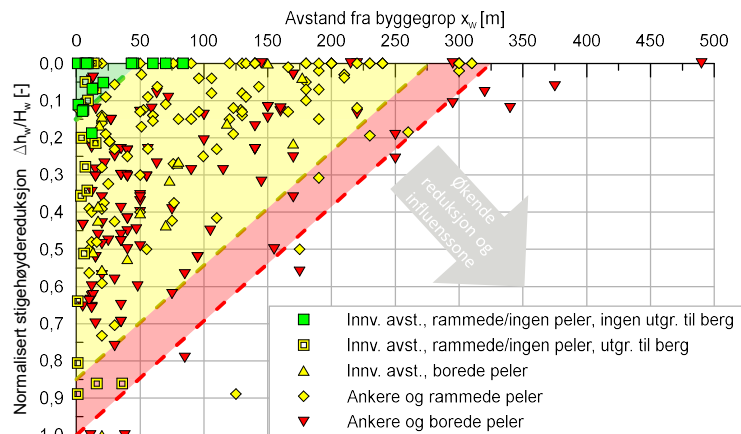
NB: Influenssone foreslås styrt av absolutt poretrykkreduksjon og avtar med 2 m/100 m som vist i tidligere slide. Ikke benytt influenssoner fra grafer som viser normalisert poretrykk-/stigehøydereduksjon.

Referanser:

Magnussen, A.W. (2003). «Vanninfiltrasjon – Erfaringer og anbefalinger». Miljø og samfunnstjenlige tunneler rapport nr. 30. [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/190424/intern\\_rapport\\_2324.pdf](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/190424/intern_rapport_2324.pdf)

## Effekter av byggemetode

- Byggemetoder som medfører drenasje fører også til større poretryksreduksjon
  - Utgraving til/i berg
  - Borede ankere og peler
- Byggegroper med innvendig avstiving og ingen drenasjeveier til berg medfører lite eller ingen poretryksreduksjon

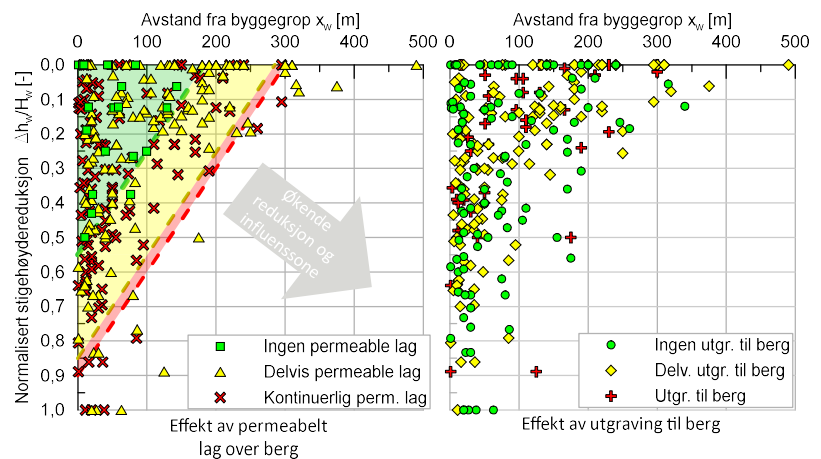


Resultater fra databasen viser at bruk av løsninger som kan medføre drenasje vil medføre større poretryksreduksjon. Det er vanskelig å skille mellom de ulike omfangene av «drenerende løsninger», selv om det antydes at kombinasjonen av borede ankere og borede peler kan forventes å gi størst reduksjon sammenlignet med andre alternativer. Løsninger som ikke drenerer, dvs. med innvendig avstiving, rammede eller ingen peler og ingen utgraving til berg, vil i svært liten grad påvirke poretrykkene i området. Det er få «grønne» punkter i databasen, men allikevel ganske entydige resultater.

NB: Influenssone foreslås styrt av absolutt poretryksreduksjon og avtar med 2 m/100 m som vist i tidligere slide. Ikke benytt influenssoner fra grafer som viser normalisert poretryksreduksjon.

## Effekter av grunnforhold

- Det er funnet at drenerende lag over berg har en betydning
- Drenering i berg kan ha en betydning, men dette er svært vanskelig å kartlegge både i databasen og i nye prosjekter
- Om det graves til/i berg eller ikke har ingen tydelig effekt, mulig fordi det overstyres av andre drenerende løsninger (borede ankere/peler)



Det er i databasen vanskelig å skille mellom effekter av kontinuerlig, sammenhengende permeabelt lag over berg og delvis forekommende permeable lag. Det kan skyldes måten man plasserer poretrykksmålere på, hvor det vanligvis søkes å plassere disse i dypprenene hvor de permeable lagene vanligvis er å finne. Derfor måler man som regel effekten i det permeable laget, og det er litt ukjent hvordan det ev. er i områder uten slikt lag i samme prosjektet. Det er imidlertid tydelig at det er en forskjell på om man har et permeabelt lag over berg eller om leira ligger helt ned på berg uten noe sand/grus/morenemasser mellom. Dersom leira ligger rett på berg kan det forventes mindre poretrykksreduksjon og mindre influenssone.

Utgraving til eller i berg ser ikke ut til å ha noen betydelig effekt isolert sett på poretrykksreduksjonen, hvor alle tre farger spenner over hele skalaen. Dette er tolket som at det å innføre potensielt drenerende løsninger, som borede ankere og peler, vil være minst like drenerende som det å eksponere selve bergoverflaten og/eller det drenerende laget over berg. Utgraving til berg må derfor ses i samme bilde som andre drenerende løsninger.

NB: Influenssone foreslås styrt av absolutt poretrykksreduksjon og avtar med 2 m/100 m som vist i tidligere slide. Ikke benytt influenssoner fra grafer som viser normalisert poretrykksreduksjon.

## Forslag til fremgangsmåte i nye prosjekter

- ↗ Kartlegging av grunnforhold
  - Løsmasstype (bløt leire?), ev. også egenskaper (spesielt OCR)
  - Dybde til berg
  - Poretrykksforhold
- ↗ Kartlegging av ev. setningsømfintlige bygg/infrastruktur i områder med stor leirmektighet
  - Fundamenteringsmetoder
- ↗ Hva er mulige konsekvenser av planlagt tiltak
  - Setninger?
  - Poretrykksreduksjon?
  - Mulig skade på bygninger og infrastruktur?
- ↗ Hvilke tiltak er fornuftige å innføre for å begrense konsekvenser
  - Utgravingsdybde, kan den begrenses?
  - Fundamenteringsløsning (borede eller rammede peler, ev. spesielle tiltak)
  - Avstivingsløsning (innvendig eller ankere til berg, ev. ankere i løsmasser)
  - Mottiltak (berginjeksjon, vanninfiltrasjon)
- ↗ Undersøkelsene, kartleggingen og tiltak som vurderes/innføres må være proporsjonale med prosjektet og konsekvensene man ønsker å motvirke
- ↗ Det *må* etableres måleprogram for å verifisere/kontrollere!



Bak dette kan det selvfølgelig ligge ganske mye arbeid. Bare på grunnundersøkelser kan omfanget raskt bli ganske stort dersom man ikke bare skal kartlegge for sitt eget prosjekt men også for områdene rundt. Her må NADAG og kommunale arkiver brukes godt, i tillegg vil det være vesentlig å identifisere områder og objekter som er spesielt sårbare for setninger (f.eks. dyprenner og direktefundamenterte og/eller gamle konstruksjoner og infrastruktur) slik at man kan spisse informasjonsinnhenting.

Det bør være ganske tydelig at dette er en prosess som med stor fordel *gjøres før* man har låst fundamenteringsmetoder, gravedybder, avstivingsmetoder osv. Kan man for eksempel løfte kjellergulvet 1,5 m, slik at man kan benytte innvendig avstiving i stedet for borede ankere? Kan det gjøres lignende tiltak for å redusere eller fjerne behovet for strekkpeler, slik at stålkjerner kan unngås? Aktuelt med spesielle metoder, for eksempel boring med vannhammer? Dersom man ser kun på sitt eget prosjekt først og deretter skal begynne å vurdere naboforholdene etterpå, kan det raskt hende det blir en ubehagelig (og dyr?) oppgave å skulle ivareta alle naboforhold dersom det medfører omfattende og kostbare tettetiltak (som kanskje ikke var med i de tidlige kalkylene heller). Samtidig er det selvfølgelig en iterasjonsprosess med hva som er ønsket å bygge, konsekvens for naboer og fornuftige tiltak.

Siden det alltid vil måtte forventes noe setninger vil det også være aktuelt å vurdere

hvorvidt setningene medfører skader (eller hvor store skader). Referansen som er gitt nedenfor inneholder en fylldig sammenstilling av ulike metoder for å vurdere generelle skader som kan oppstå på bygninger som følge av setninger i grunnen. Herunder ligger det også at fundamenteringsmetoder til omkringliggende bygg og infrastruktur må kartlegges, eventuelt også teknisk tilstand til kritiske bygg vil være aktuelt når det kommer til mer detaljerte vurderinger.

Dette foredraget har ikke til hensikt å pålegge et regime for tettingsarbeider eller å vanskeliggjøre bruk av borede løsninger for alle prosjekter, men det skal synliggjøre at de valgene man tar har konsekvenser og man kan vurdere i hvor stor grad disse valgene vil kunne forventes å påvirke nærområdene. Det er også vist at det er mulig å gjøre noe med effektene av en byggegrop, for eksempel redusere forventet poretryksreduksjon. Tiltakene man iverksetter for å motvirke setninger og poretryksreduksjon utenfor byggegrop må være proporsjonale med de konsekvensene man ønsker å unngå. Det har liten hensikt å bruke millioner på tettetiltak og vanninfiltrasjon hvis man kunne reparert alle skader i ettertid med kun å legge ny asfalt på en kort veistubb.

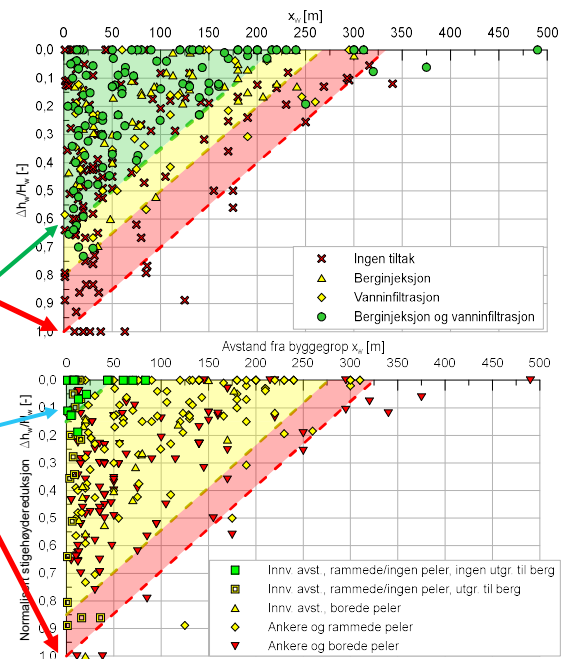
Tettetiltak, vanninfiltrasjon, berginjeksjon osv. kunne hver for seg vært egne foredrag med mye detaljer å gå gjennom, så beklager at det blir litt overordnet info i dette foredraget og notatene. Forhåpentligvis kommer det andre anledninger til å utdype slike temaer.

Referanser:

Karlsruud, K. (2015). «Metoder for vurdering av skader på bygninger som følge av deformasjoner i grunnen». BegrensSkade delrapport nr 1+2.5, 2016-05-25.  
<https://www.ngi.no/prosjekter/begrensskade/>

## Eksempel på vurdering

- Ved bruk av borede løsninger, ev. utgraving til berg, og ingen generelle mottiltak bør det forventes at poretrykket senkes til traubunn inntil byggegropen og deretter avtar reduksjonen med 2 m/100 m
- Vanninfiltrasjon (ev. også berginjeksjon) kan redusere reduksjonen med rundt 40 %
- Kan man unngå drenering?
- Reduksjon av utgravingsdybde?
- Konsolideringssetninger kan beregnes for forventet poretrykksreduksjon



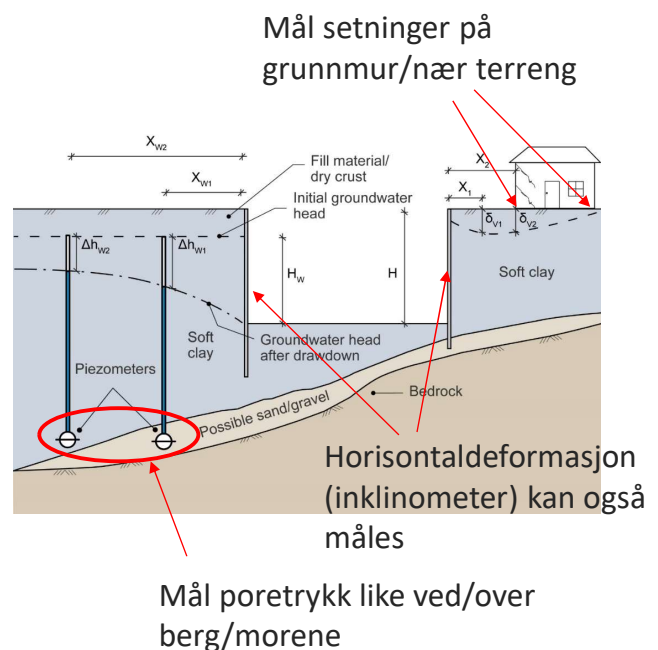
REMEDY

Normalt er poretrykksreduksjonen midlertidig i den fasen hvor byggegropa er drenert (man pumper ut vann og holder vannstanden nede til traubunn i selve gropa). Erfaringsmessig vil de fleste lekkasjer tettes og trykkene tilbakeføres i det kjellerkonstruksjonen (eller kulverten) er ferdig støpt, man slutter å pumpe ut vann, det tilbakefylles med masser og grunnvannet kommer tilbake. Man bør imidlertid være obs på dersom man starter med et artesisk trykk i den lukkede akviferen, da er det en risiko for at poretrykket kan reduseres permanent ned til hydrostatisk nivå og det kan gi setninger over tid.

For å kunne beregne setninger er det nødvendig å vite noe om setningsegenskapene til leira, hvor spesielt opprinnelig in situ spenningstilstand samt forkonsolideringstrykket  $p_c'$  er vesentlig for å vite hvor mye setninger man kan få av en poretrykksreduksjon. Omfanget av grunnundersøkelser bør, som for alle prosjekter, gjenspeiles i hvor kompleks og kritisk problemstillingen er i hvert enkelt tilfelle. Samtidig er det åpenbart at poretrykksmålinger, rutineundersøkelser og en form for undersøkelser som kan gi et grunnlag for å benytte empiriske korrelasjoner for setningsparametre og overkonsolideringsforhold OCR vil være et minimum for å kunne gjøre en kvalifisert setningsvurdering. Hvor mye detaljer man besitter for å gjøre disse vurderingene kan variere i ulike planfaser i et prosjekt.

## Måleprogram

- For å dokumentere enten det forventes lite eller mye setninger må man etablere et måleprogram
- Setninger må måles på flere punkter på en konstruksjon (f.eks. alle hushjørner), for det er differansesetninger som normalt er skadelig
- Poretrykk *skal* måles like over berg eller morene. Setninger som følge av utspyling av friksjonsmasser bør fortrinnsvis også måles i dybden, like over friksjonsmasselaget og eventuelt i flere dybder.



Poretrykket skal måles like over berg eller morenelag. Det kan også måles i leire, men det gir ingen direkte mulighet til å vurdere påvirkning fra byggegropa. Eventuelle målere i leire er kun for supplement og utvidet situasjonsforståelse. Dersom man måler en poretryksreduksjon av betydning høyt oppe i leira har man allerede har konsolidering og pågående setninger en god stund.

Det er ofte sesongmessige variasjoner i poretrykk, men samtidig bør ikke disse legges for stor vekt da poretrykket ofte er forholdsvis stabilt i nedre akvifer ganske mange steder. Samtidig må det som regel, med ofte forekommende grunnforhold og OCR-forhold, en reduksjon på minst 0,5 til 1,0 m i stighøyde før det begynner å bli setninger av betydning, og det er ofte mer enn eventuelle naturlige variasjoner. Dette må imidlertid dokumenteres i hvert enkelt prosjekt. Vi har svært sjelden anledning til å måle poretrykk i flere år før et prosjekt, og det anbefales å anta at de naturlige variasjonene er små inntil noe annet er bevist. Hvis man ser en tydelig reduksjon i poretrykk samtidig som det graves ut i en byggegrop, er det mest sannsynlig byggegropen som er årsaken og ikke at det har regnet lite eller ingenting den siste tiden. Poretryksreduksjon er normalt og forventet dersom en byggegrop forventes å være drenerende, slik det er vist i dette foredraget.

Setninger skal måles på flere steder på en konstruksjon, for eksempel hvert



hushjørne, hvert fundamenthjørne eller i ulike profiler eller snitt på tvers eller langs avhengig av hva som er aktuelt. Setninger måles fortrinnsvis på bolter montert på grunnmur og ikke på kledninger el. I mange tilfeller vil det være fordelaktig å starte målingene i god tid før byggearbeidene starter, for å dokumentere om det er pågående krepsetninger i området. Det kan da måles med typisk noen måneders mellomrom. I faser hvor det er forventet setninger som følge av byggearbeidene bør det måles hyppigere.

Generelt må det kunne forventes at noen poretrykksmålere og setningsbolter går tapt i løpet av et byggeprosjekt, så det er sjelden overvurdert å ha noen flere punkter enn man egentlig trenger.

Dersom det i tillegg måles med inklinometer på spuntvegger oppnår man et helhetsbilde av responsen til byggegrop, avstiving, grunn og omkringliggende bygninger og infrastruktur. Det gir, spesielt sammen med måling av laster i avstiving, en god mulighet til å overvåke laster og respons i støttekonstruksjon samt de verifisere eller justere de forutsetninger som er gjort i dimensjoneringen.

Referanser:

Lande, E.J., T. Sandene, J. Langford og S. Ritter (2022) «Reduksjon av skader fra boring av peler og ankere. Anbefalinger fra Begrensskade II»  
Fjellsprengningsteknikk/Bergmekanikk/Geoteknikkdagen 2022

## Kommunikasjon

- Som geoteknikere må vi også kommunisere med byggherre, totalentreprenør og ev. andre relevante samarbeidspartnere om at det vil kunne oppstå setninger og at setninger vil kunne medføre skader (og at dette er normalt)
- Tar man høyde for dette på forhånd, og at entreprenør/byggherre i tillegg kommuniserer og avklarer med berørte naboer, kan mye være løst uten konflikter og store kostnader
- Kostnader for reparasjoner er mer behagelige når de er med i budsjettet og forventningene på forhånd

Åpenhet på forhånd er alltid enklere enn at eventuelle setningsskader kommer som en «overraskelse» underveis eller i ettertid. Hvis man i tillegg måler poretrykk og setninger og har en ryddig dokumentasjon og sammenstiller med aktiviteter på byggeplass, er det ofte en enklere øvelse å avgjøre (og begrense) hva som skyldes påvirkning fra det aktuelle prosjektet og hva som ikke gjør det.

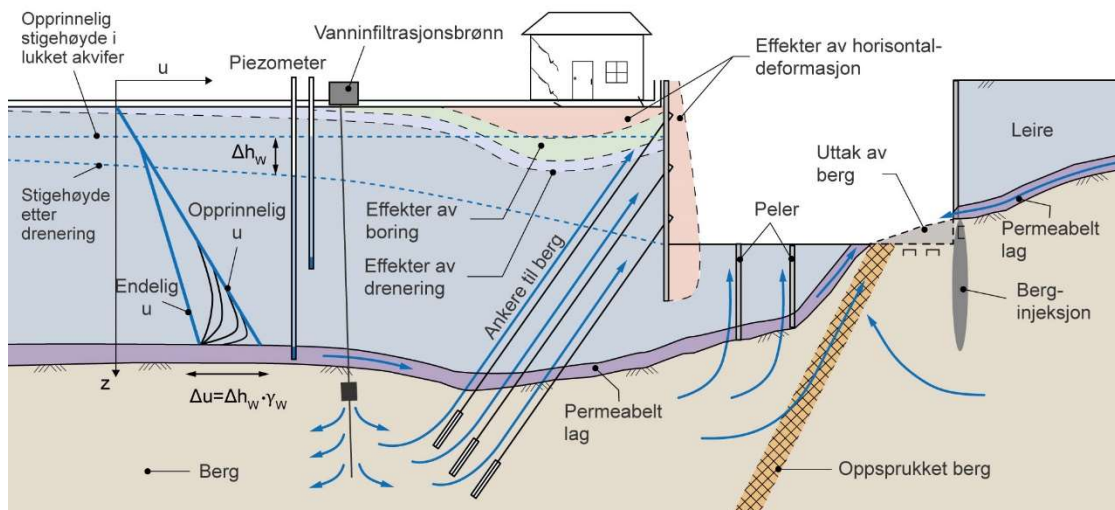


<https://www.ngi.no/prosjekter/remedy/>

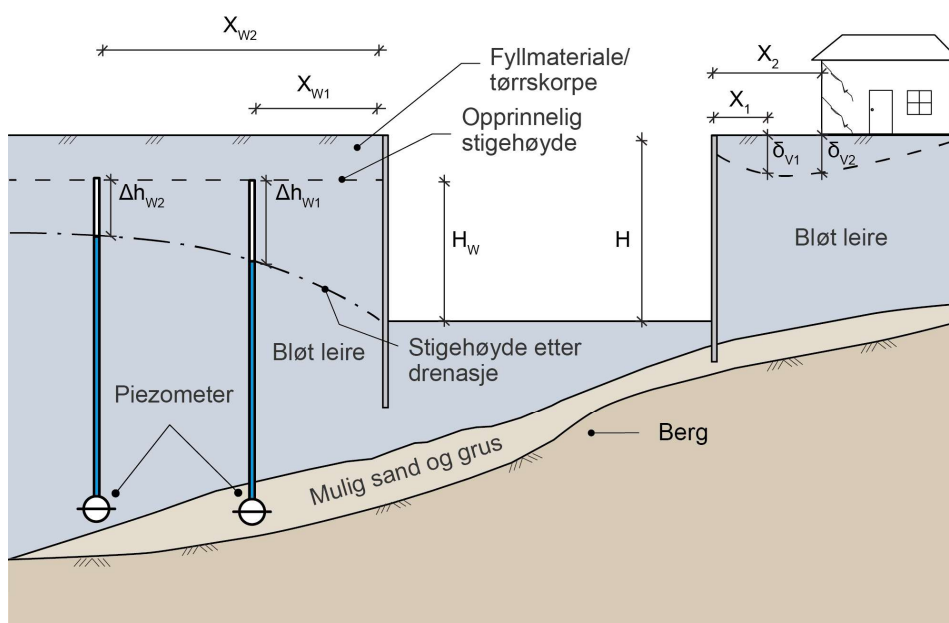


# NGI Poretrykksreduksjon og setninger som følge av byggegropsarbeider

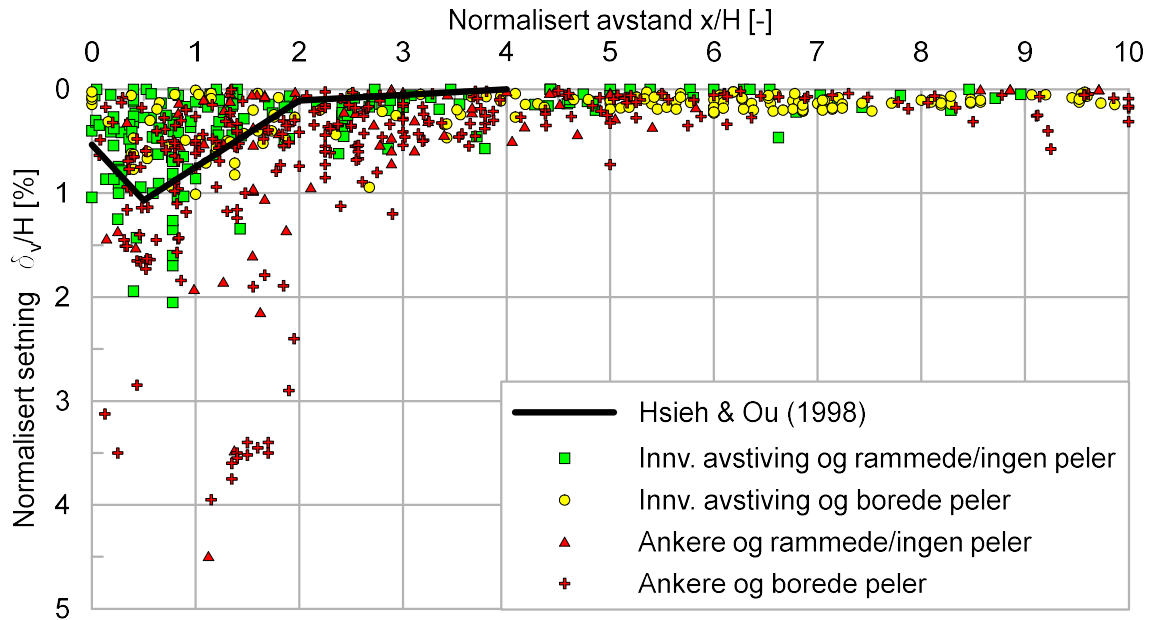
## Problemstillingen



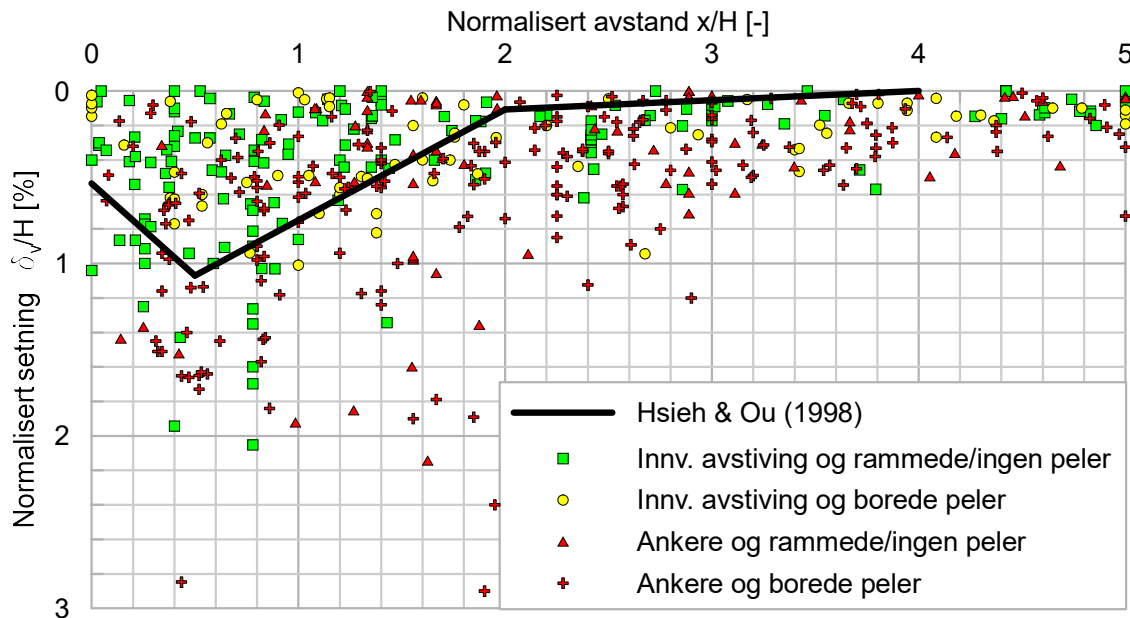
## Tegnforklaring



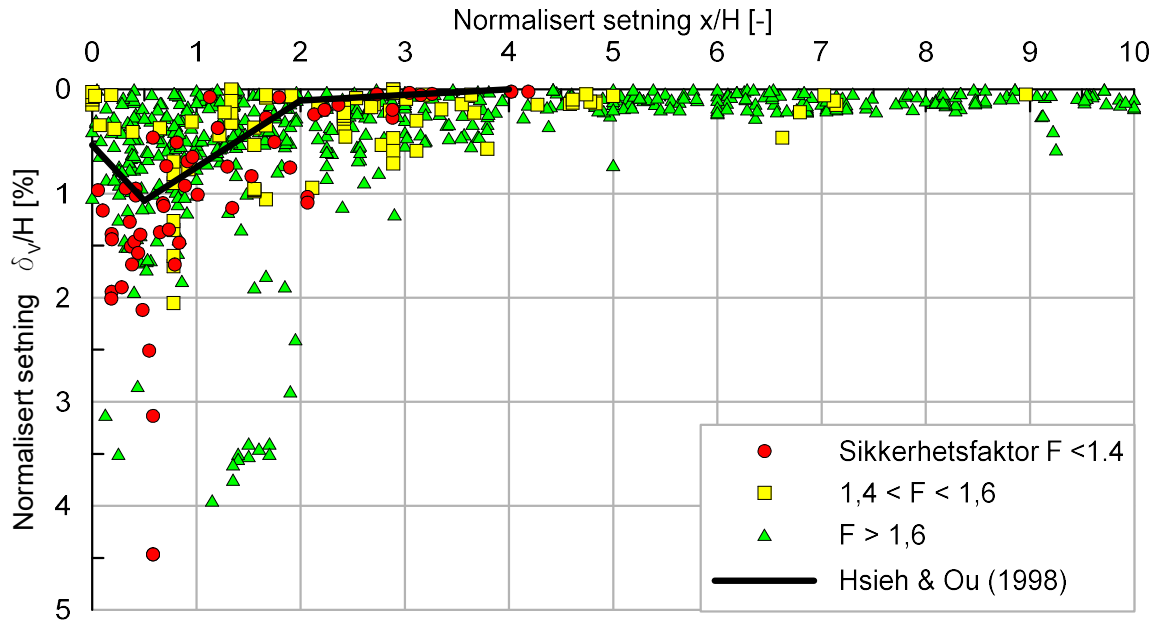
## Setning mot avstand og ulike byggemetoder



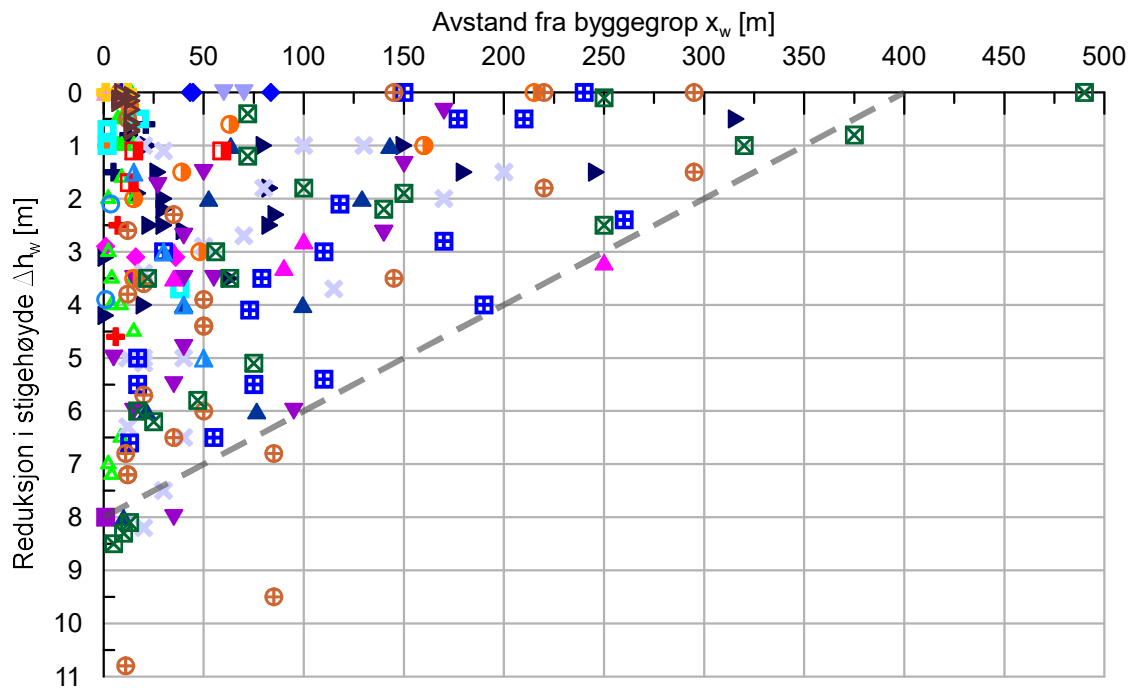
### Samme plot, men zoomet inn på «forventet» setningsområde



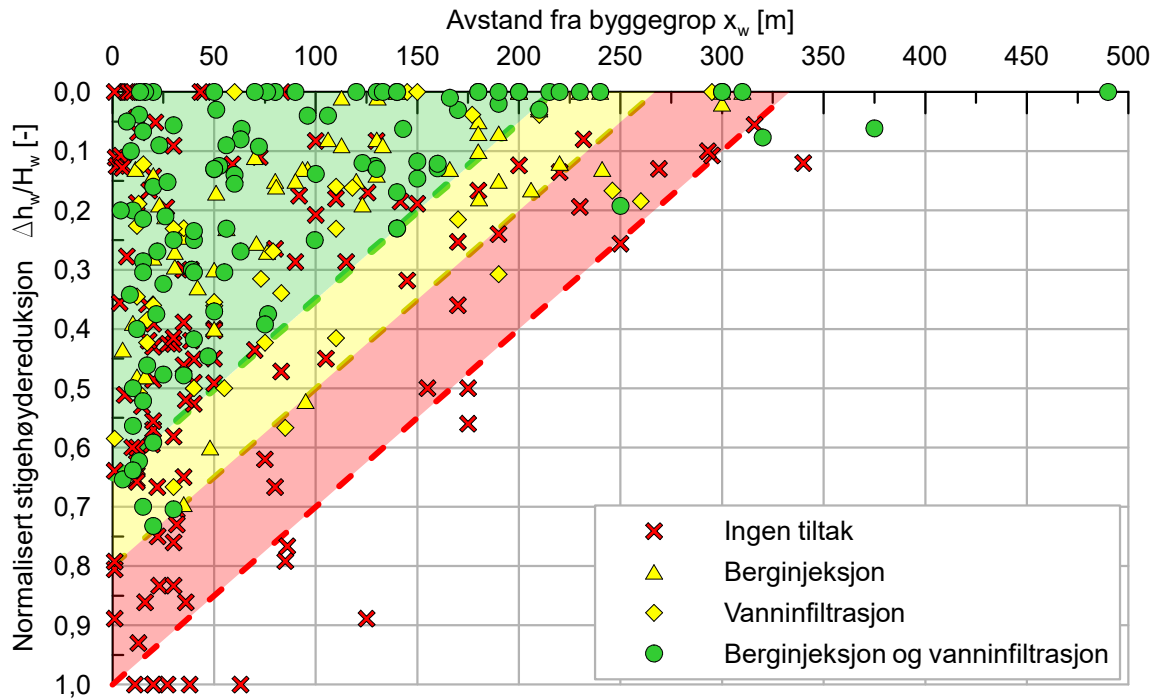
## Setning mot avstand og sikkerhetsfaktor



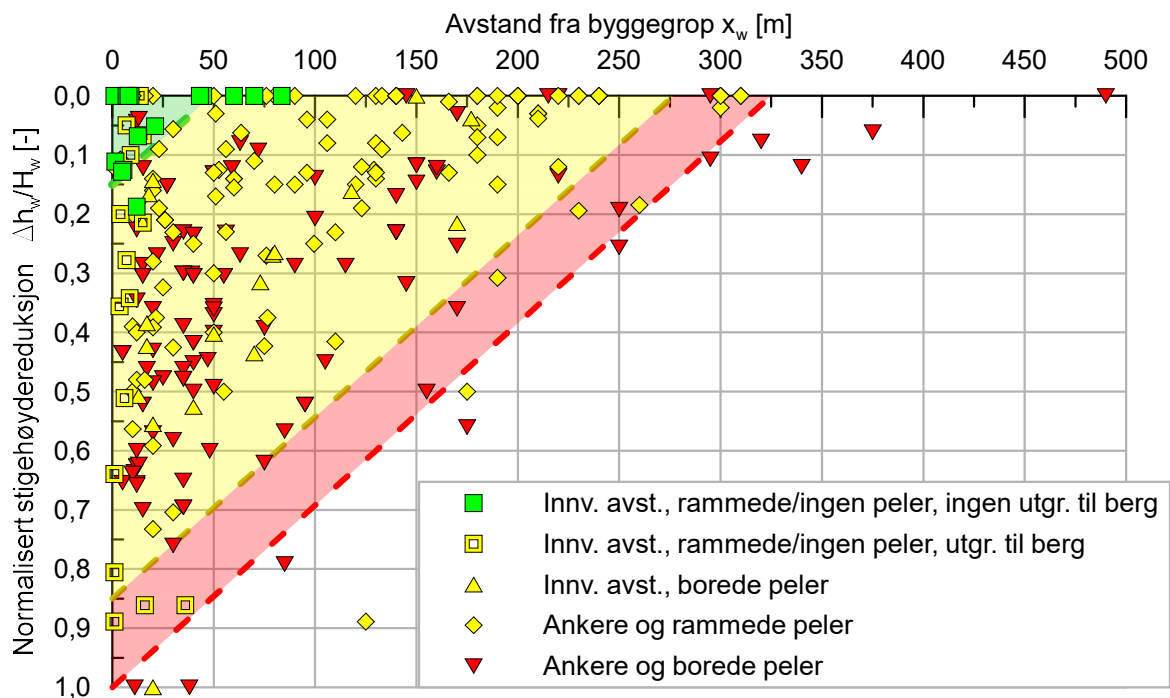
## Absolutt reduksjon i stige høyde mot avstand fra byggegrop



## Normalisert stighøydereduksjon mot avstand fra byggegrop og mottiltak mot poretrykksreduksjon



## Normalisert stighøydereduksjon mot avstand fra byggegrop og byggemetoder



## Normalisert poretrykksreduksjon mot avstand fra byggegrøp og effekter av permeabelt lag over berg og utgraving til berg

