

# Digital tunnelhverdag

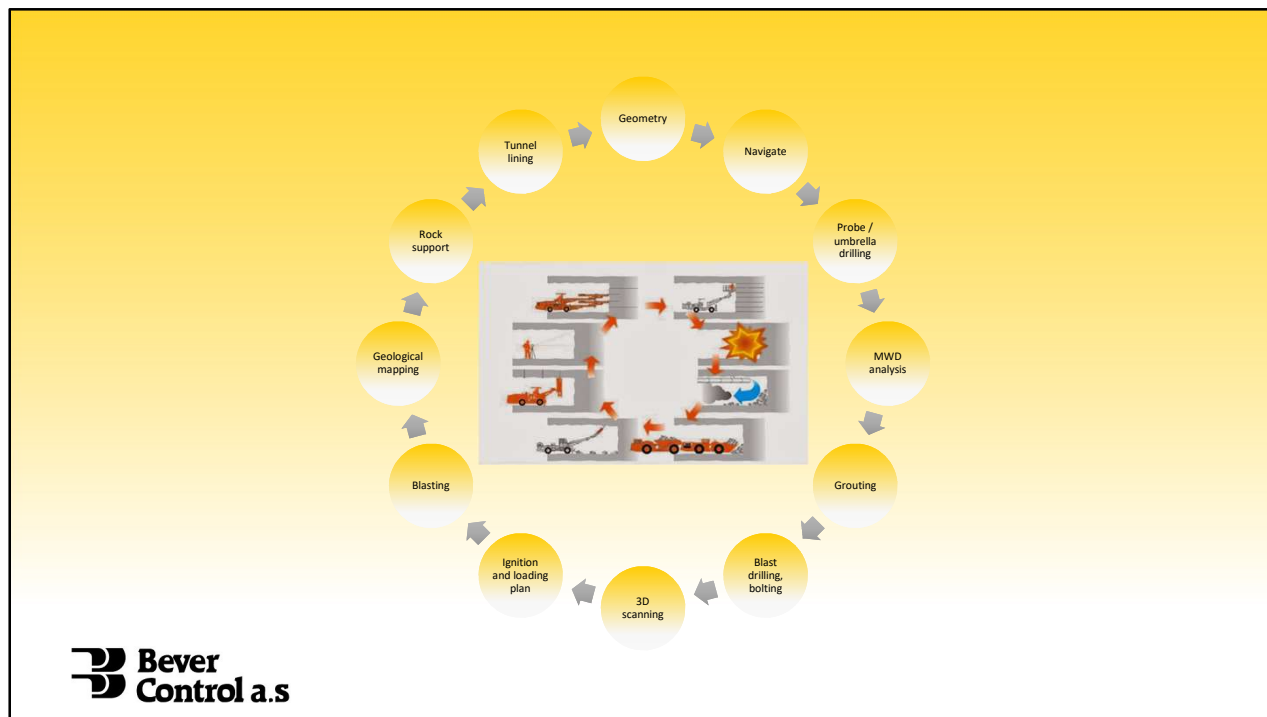
Silje Hatløy Hagen  
silje.hagen@bevercontrol.com



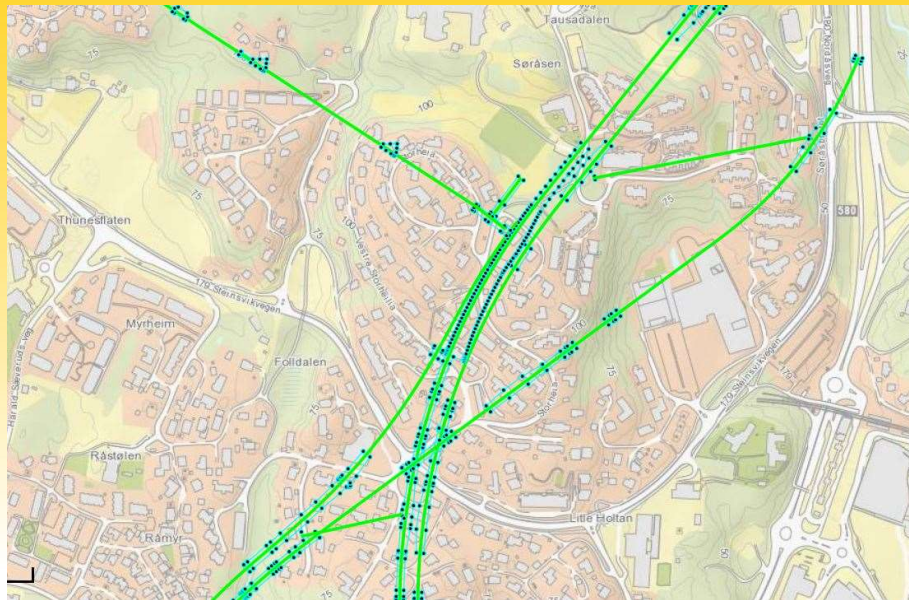
## Digital tunnelhverdag

I tunnelen er det for tiden mye snakk om BIM – Building Information Modeling, noe av det som en konsekvens av at vi nå kan måle mange flere parametre innenfor tunneldrivingen enn tidligere, og vi har lyst til å samle så mye av informasjonen som mulig i ett for å kunne nyttiggjøre oss av det. Tanken er at man både skal kunne bruke informasjonen under drivingen, og også etterpå i for eksempel vedlikeholdsarbeid.

Tenkte derfor vi kunne se på hvilken informasjon som for tiden er tilgjengelig, hva vi kan bruke den til, og vil også fortelle vår opplevelse av hvor mye det brukes.

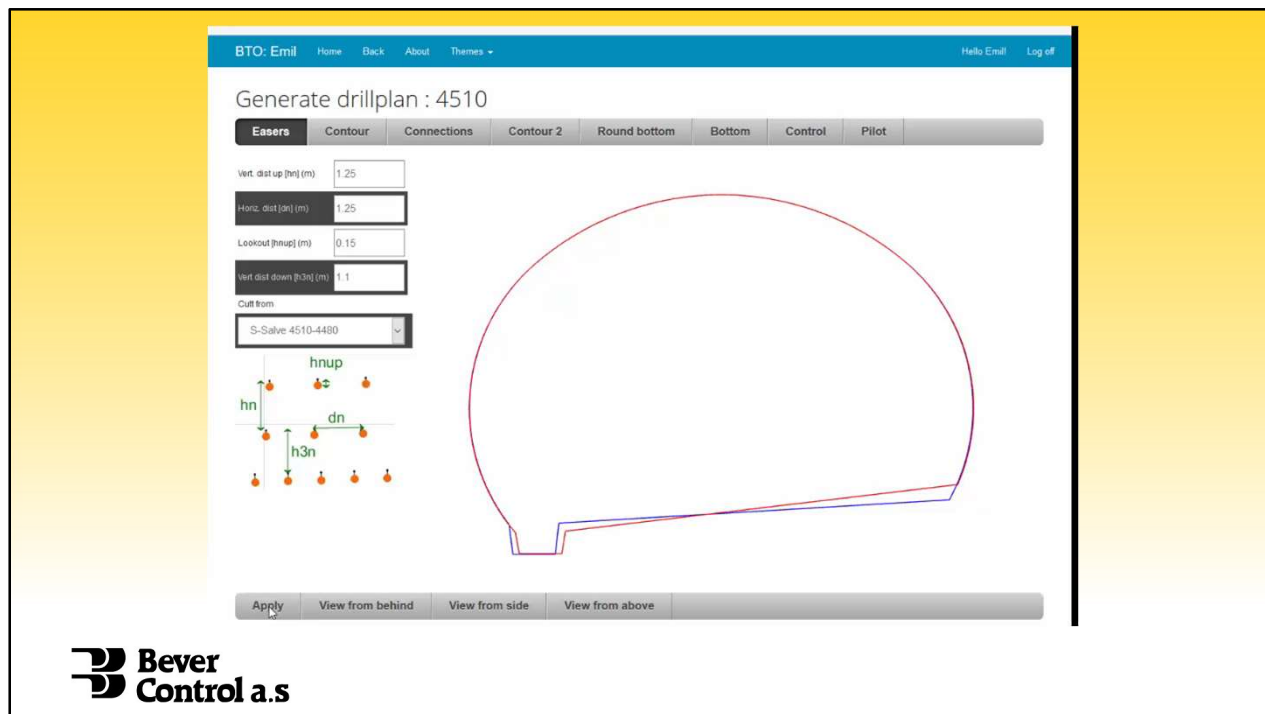


Bever Control AS der jeg jobber, har siden tidlig på 80-tallet spesialisert seg i utstyr og software til tunneldriving. Det startet med å lage styresystemer til tunnelborerigger, og har seinere eskalert til andre typer maskiner, og annen software, men alt innen tunneldriving.



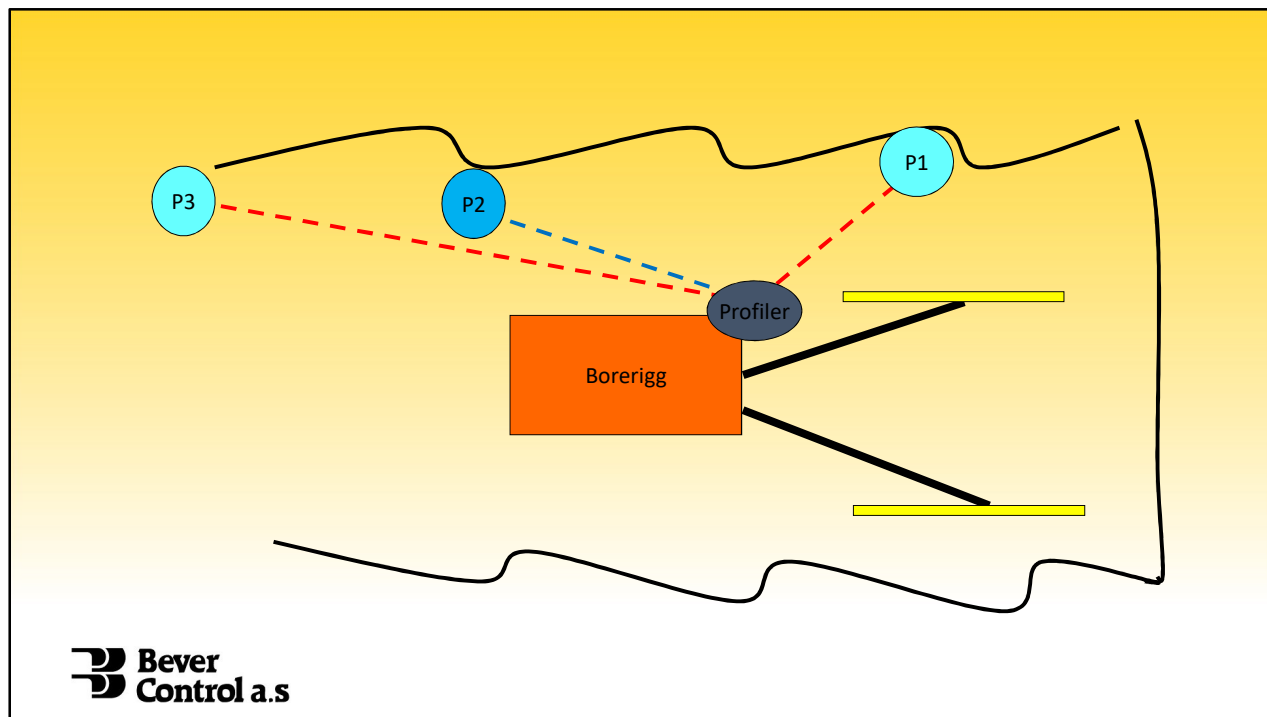
**Bever**  
**Control a.s**

Hvis vi starter helt på begynnelsen av et prosjekt, så kan man faktisk prosjektere tunnelen sin i Bever Team Online. Det mest vanlige er imidlertid at man prosjekterer i NovaPoint Tunnel, eller Powel Gemini, og så tar vi det inn derfra. Vi har hele veien samarbeid med andre softwareleverandører for å gjøre overganger mellom formater og programmer så smidige som mulig. Her ser vi tunnellinjene på E04 Ryfast, slik de ser ut i Bever Team Online. Disse tunnellinjene forteller oss forholdet mellom pelnummer og absoluttkoordinater, og så henges det på en kontur som relateres til pelnummerne på linja.

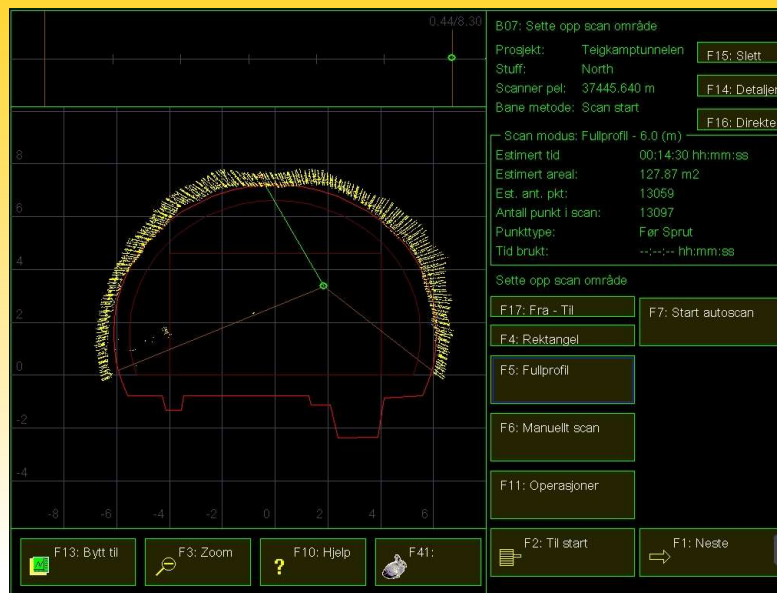


Et pelnummer med kontur kan vises herfra. Helt i starten av syklusen så kan man jo si at vi vil bore, men for å kunne bore med hjelp fra datastyring, så må du ha en boreplan. Derfor har vi laget en start på automatisk generert borplan. Man erstatter ikke erfaringen som går inn i å lage en god borplan for den fjelltypen, men man gjør det lettere når hensiktsmessige hullavstander er etablert, å få en pen borplan som passer på det tverrsnittet man til en hver tid befinner seg på. Det er så klart også andre programmer som man kan lage borplaner i, for eksempel Atlas Copco /Epiroc sin Underground Manager, men fordelene med Bever Team Online er at du kan eksportere til alle merkene av borerigg som brukes i skandinaviske prosjekter, altså både AMV, Atlas og Sandvik. Mange entreprenører har jo flere fabrikanter av borerigg etter hvert, så det er kjekt å ha noe som passer til alle.

Noen lurer på om ikke operatøren kan få generere borplan direkte på riggen, mens de likevel sitter der, og det går an. Men foreløpig er det ikke gjennomført noe sted ettersom borplaner skal godkjennes av byggherren opptil flere døgn på forhånd. Her kunne det hende man kunne spare stikkeren for noe arbeid.

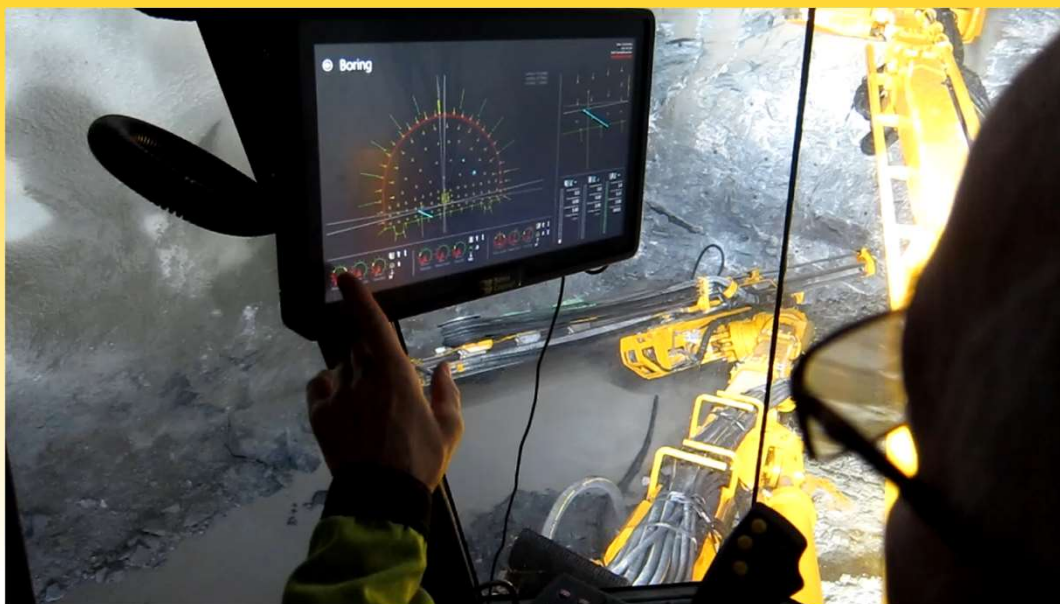


I alle fall så sender vi boreplanen som er generert ut til riggen over Wifien som finnes i tunnelen. Det begynner å bli ganske standard nå ettersom det er så utrolig praktisk for alle. All informasjon flyter mye raskere. Men for å kunne nyttiggjøre oss av denne informasjonen så holder det heller ikke at vi vet hva vi har planlagt, vi må vite hva som faktisk blir gjort også. Derfor er det helt nødvendig å navigere boreriggen. Det kan gjøres på flere måter, men ett av de største produktområdene våre er 3D-profileren som monteres på boreriggen. Da kan basen selv montere blinker å sikte på som stikkeren på forhånd har installert fester til, sikte sjøl, og navigere sjøl. Ganske sjølberga.



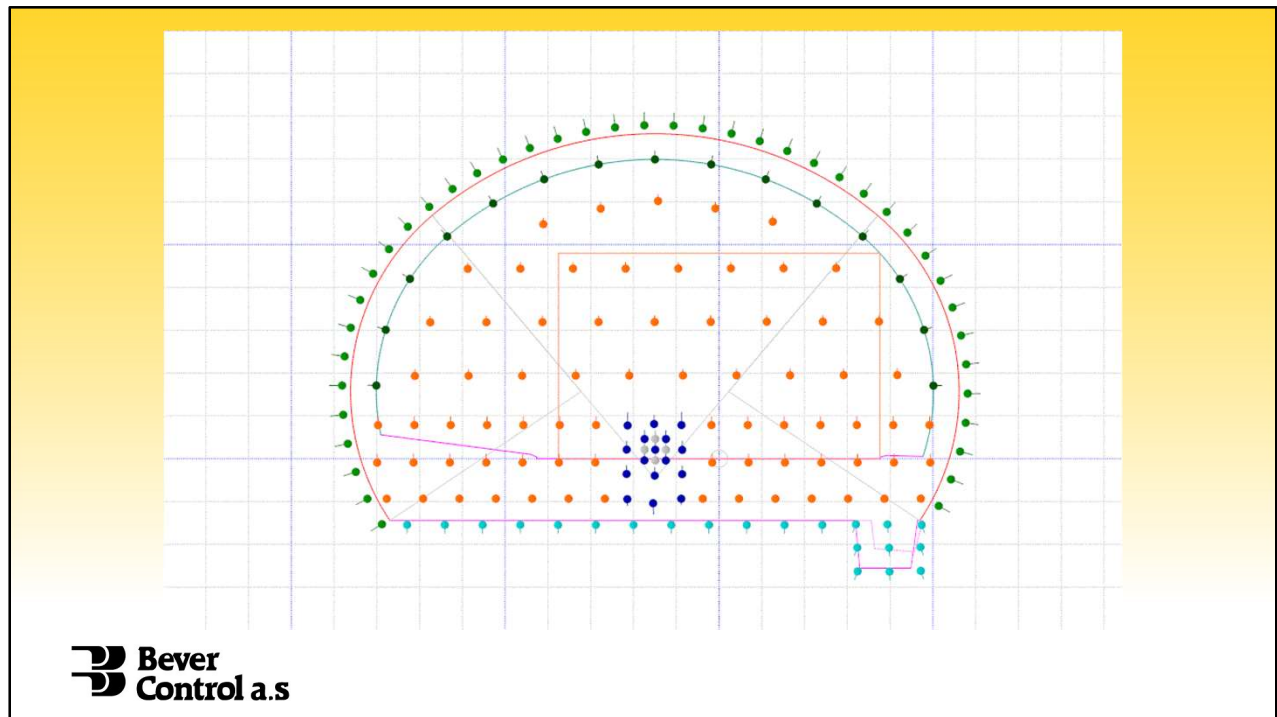
**Bever**  
Control a.s

Profilen brukes også til å scanne fjellet, for å sjekke om forrige salve er innenfor teoretisk tunnelprofil. Om noen deler av den er det, kan man sette på et ekstra hull eller to, og sprengre sammen med den nye salva.



**Bever**  
**Control a.s**

Klar for å bore, med nytt styresystem, v. 6 som ble sluppet i fjor høst. Her er det touchskjermer som dere ser, og man kan dra inn den informasjonen man trenger. Man kan også be riggen bore hull selv, og velge en sekvens for bommene mens man selv holder på med vanskeligere boring. Typisk vil konturboringen fortsatt ville være manuell/halvautomatisk, på grunn av kollisjonsfare med hengen, mens annen boring kan settes opp med inntil 10 hull som den skal bore uten å trenge input fra boreren. Om to bomber kommer for nært hverandre vil den i bevegelse stoppe, da kan man velge å «skippe» det hullet og komme tilbake til det senere, når det er bedre plass.



**Bever**  
**Control a.s**

Sammen med boreplan har vi også lade- og tennplan, og vi er i kontakt med de større sprengstoffleverandørene for å kunne bestemme mengder sprengstoff per hull, eller per hullgruppe, for å få ytterligere kontroll på forbruk og fordeling her. Dette er foreløpig på et tidlig stadium.



| Depth(m) | Penetration<br>(m/min) | Rotation<br>pressure (bar) | Feeder<br>pressure (bar) | Hammer<br>pressure (bar) | Rotation<br>speed (rpm) | Water<br>pressure (bar) | Water flow<br>(l/min) |
|----------|------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 0,351    | 1,9                    | 89                         | 53                       | 111                      | 268                     | 25                      | 120                   |
| 0,401    | 1,8                    | 95                         | 54                       | 111                      | 271                     | 25                      | 119                   |
| 0,454    | 2,0                    | 94                         | 58                       | 121                      | 271                     | 25                      | 120                   |
| 0,505    | 2,5                    | 89                         | 64                       | 149                      | 272                     | 25                      | 120                   |
| 0,556    | 2,9                    | 90                         | 68                       | 168                      | 272                     | 25                      | 118                   |
| 0,609    | 3,6                    | 90                         | 71                       | 176                      | 272                     | 25                      | 116                   |
| 0,66     | 3,5                    | 99                         | 77                       | 180                      | 272                     | 25                      | 116                   |
| 0,71     | 3,4                    | 108                        | 79                       | 182                      | 268                     | 25                      | 117                   |
| 0,761    | 3,4                    | 109                        | 79                       | 180                      | 266                     | 25                      | 116                   |
| 0,813    | 3,5                    | 111                        | 78                       | 184                      | 266                     | 25                      | 116                   |
| 0,866    | 3,4                    | 108                        | 78                       | 182                      | 266                     | 25                      | 116                   |
| 0,918    | 3,3                    | 107                        | 78                       | 183                      | 267                     | 25                      | 116                   |
| 0,972    | 3,4                    | 103                        | 77                       | 185                      | 274                     | 25                      | 116                   |
| 1,024    | 3,5                    | 105                        | 77                       | 184                      | 274                     | 25                      | 115                   |
| 1,078    | 3,5                    | 106                        | 78                       | 181                      | 274                     | 25                      | 116                   |
| 1,13     | 3,4                    | 110                        | 78                       | 181                      | 274                     | 25                      | 116                   |
| 1,181    | 3,4                    | 109                        | 77                       | 180                      | 272                     | 25                      | 116                   |
| 1,233    | 3,3                    | 106                        | 77                       | 183                      | 272                     | 21                      | 112                   |
| 1,284    | 3,3                    | 104                        | 77                       | 181                      | 272                     | 20                      | 104                   |
| 1,334    | 3,2                    | 96                         | 77                       | 180                      | 272                     | 19                      | 103                   |
| 1,388    | 3,0                    | 102                        | 77                       | 180                      | 271                     | 20                      | 103                   |
| 1,441    | 3,1                    | 104                        | 77                       | 181                      | 271                     | 19                      | 102                   |
| 1,494    | 3,1                    | 104                        | 78                       | 181                      | 271                     | 19                      | 102                   |
| 1,546    | 3,5                    | 106                        | 78                       | 182                      | 271                     | 19                      | 101                   |
| 1,597    | 3,7                    | 110                        | 77                       | 183                      | 270                     | 19                      | 101                   |
| 1,649    | 3,5                    | 106                        | 77                       | 181                      | 270                     | 19                      | 101                   |

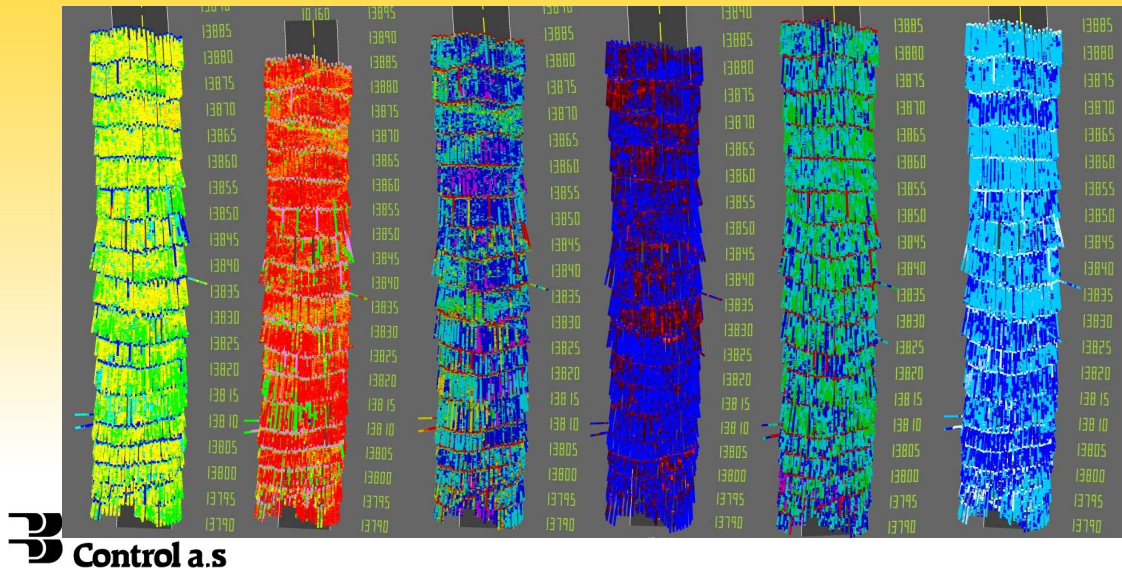


Vel sprengt, så foregår utlasting og pigging, og her er det foreløpig stille fra Bever Control. Her har vi fokusert mer på hvilken bruk ingeniørgeologene kan få av dataene som er samlet inn.

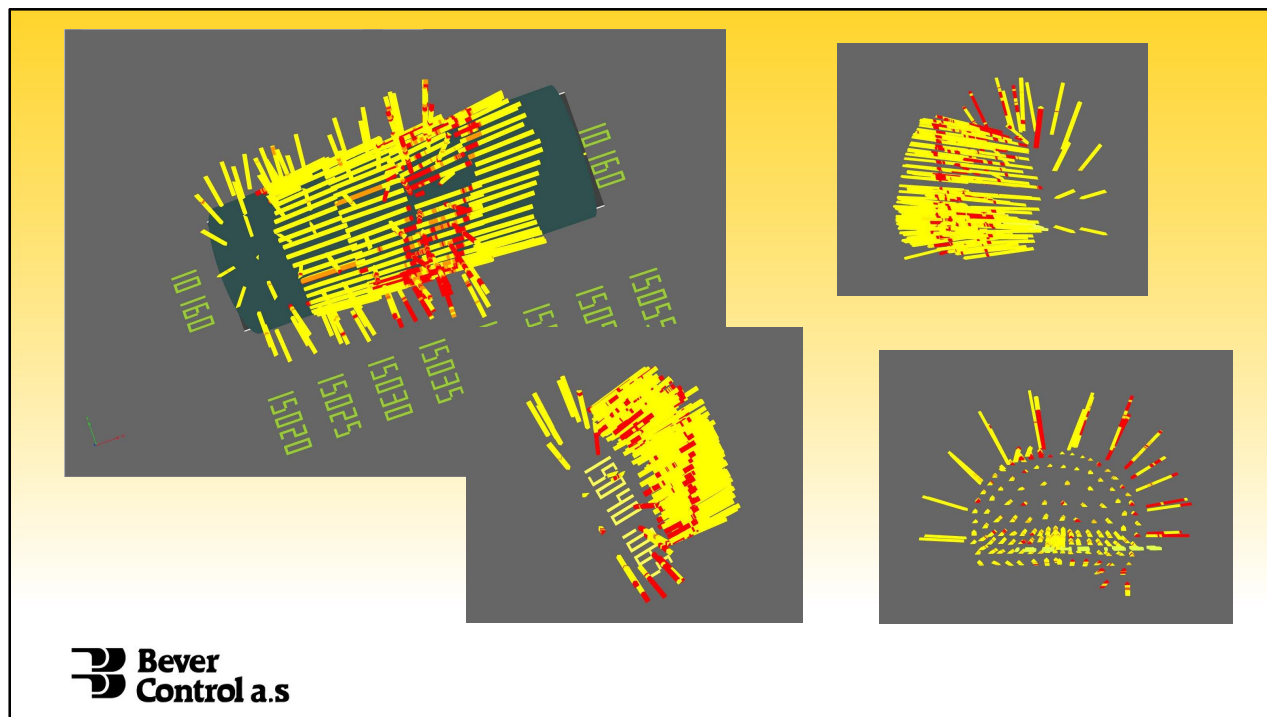
Med Measurement While Drilling (MWD), kan vi måle hver enkeltparameter på hver bom, hver cm den borer seg inn i fjellet, og dette kan vi sende over trådløst nett, automatisk, til en server som analyserer dataene. De analyserte dataene kan så finnes igjen i vår skybaserte løsning Bever Team Online, hvor du med innlogging og bare et visst innslag av 3G eller tunnel-wifi, kan laste ned det du har lyst til å se på.

Typiske data som registreres av sensorer på hver bormaskin på boreriggen er i øverste rad her, fra venstre penetrasjonsrate, rotasjonstrykk, matetrykk, slagtrykk, rotasjonshastighet, vanntrykk og spylevannsmengde. Disse tallene beskriver hva som må til av ytelse for at akkurat den bormaskinen skal spise seg gjennom akkurat det fjellet.

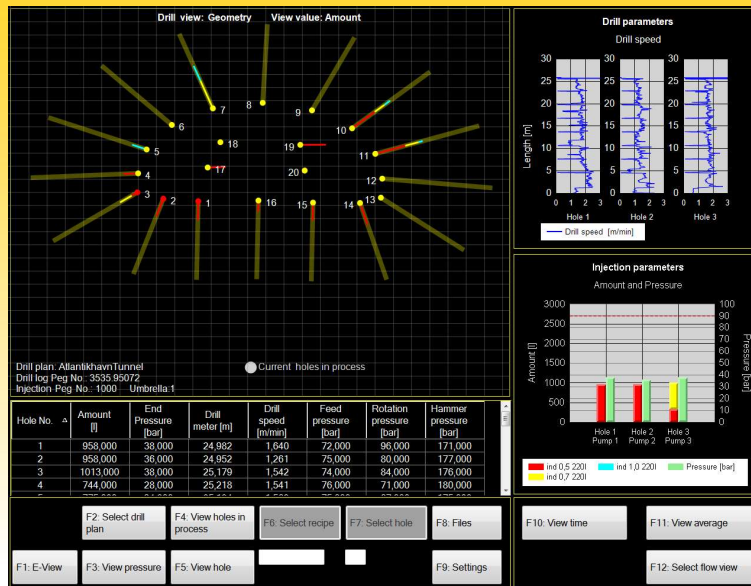
## Rådata



Hver enkelt parameter kan så klart vises for seg, men uten å slå sammen dataene og filtrere dem, er det vanskelig å se noe spesifikt mønster. I dette eksempelet er det også bare en borerigg på stuffen, hvis to hadde byttet på ville loggene antakelig vært en del mer stripete, for eksempel på grunn av forskjellig alder og kraft på boremaskinene, eller ulike innstillinger, eller ulike borere. Det er altså selve analysen av tallene som er viktig her.



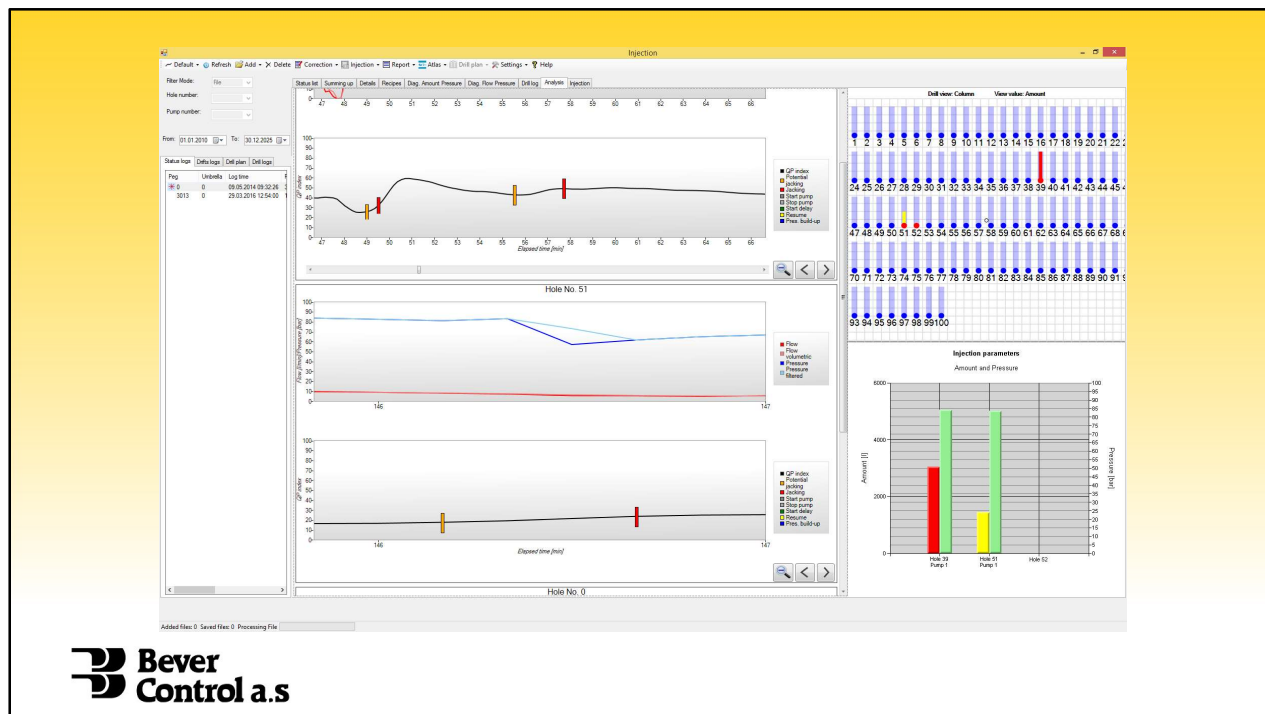
Tid fra ferdig boret enkelthull til du kan ha resultatet klart på tableten eller telefonen som du har med deg i tunnelen, er bare avhengig av hvor ofte vi sier at scriptet skal oppdatere fra server. For tiden ca. hvert 5. minutt. Sonderhull, og egentlig også salveboring, blir som forundersøkelser for fjell i umiddelbar nærhet. Historisk har MWD vært brukt til å forsvare sikringsmengdene som er satt fordi resultatene kom, tja, innen klokka 18 dagen etter. Nå som det er såpass real-time, er det et beslutningsverktøy for å gjøre bedre/ mer riktige valg, for eksempel om man ønsker flere sonderhull for å se nærmere på en svakhetsone, før den kommer. Kanskje man senere kan bruke det til å tilpasse avstand mellom borhull ved endrede fjellforhold?



**Bever Control a.s**

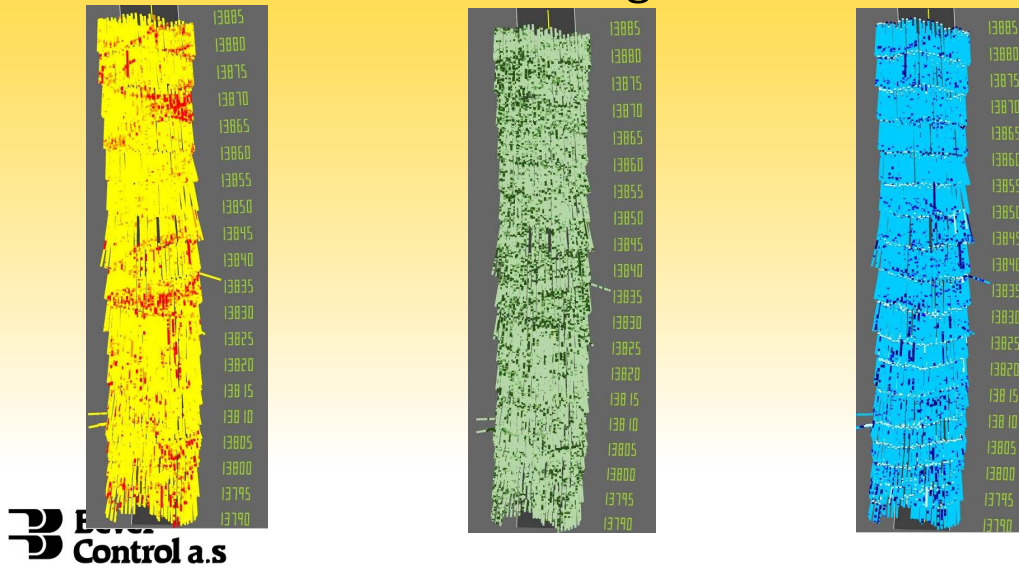
Bever Control leverer, i tillegg til styresystemer for borerigger, styresystemer for injeksjonsrigger, og dette bildet er hva operatøren får se i nåværende program. Hull fra borelogg, med MWD-data på siden, og de ulike reseptene med mengder i hvert hull, både som grafer og tabeller.

Fremover skal dette knyttes nærmere MWD slik at man kan få mer hjelp til å finne den beste injeksjonsprosedyren på hver enkelt injeksjonsskjermer.

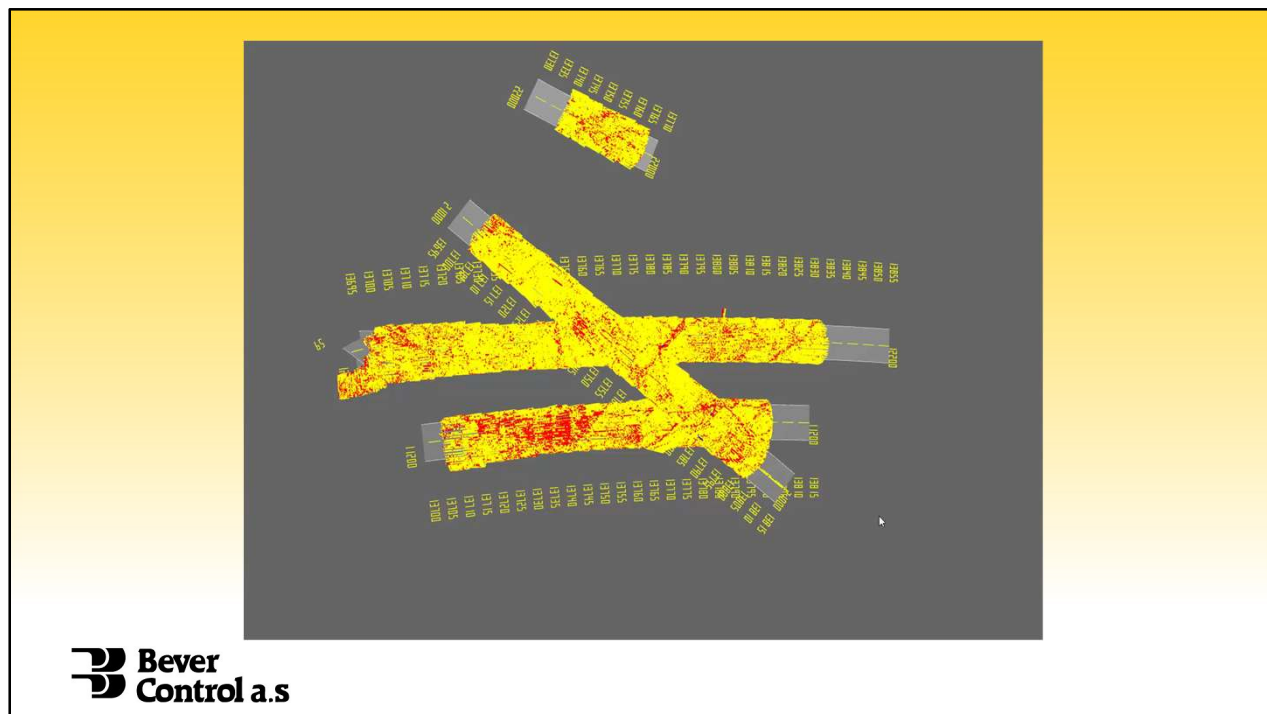


Trykk-tid-grafene er under spesiell oppsikt for tiden, ettersom Bever Control er med i TIGHT-prosjektet, som ønsker å optimalisere injeksjonsprosessen for å spare råmaterialer og tid, samtidig som man sikrer et godt og tett resultat av injeksjonen. PhD-kandidat Helene Strømsvik ser på trykk-tid-grafer sammen med Bever Control for å bestemme tilfeller av hydraulisk jekking, som av noen identifiseres som en ekstra tidkrevende og materialkonsumerende faktor.

## Tolkninger

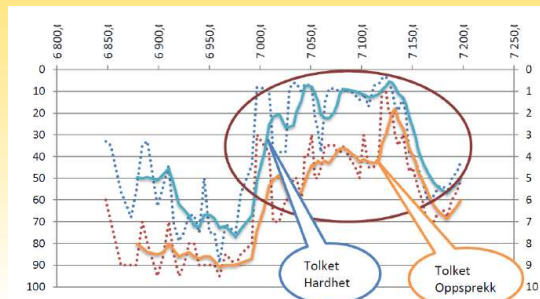
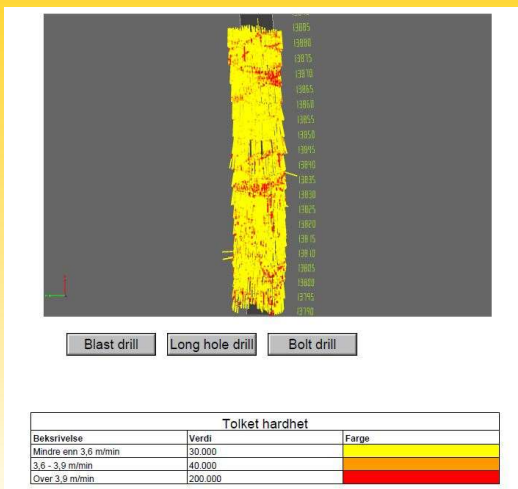


Den klassiske dokumentasjonen med flere tolkningsmodeller har også sin plass. Til høyre har vi en vannmodell, som viser vannforstyrrelser på spylevannet i det mørkeblå, i midten oppsprekkingen, og til venstre den mest populære, «Tolket hardhet», hvor den har funnet sprekker til oss markert i rødt.



Med flere tunneler nær hverandre kan vi også bruke data fra de andre tunnelene til å spå hvor svakhetssonene vil treffe. 3D gir også et mye klarere bilde av situasjonen, ettersom man kan studere tunnelen fra hvilken vinkel man vil. Dette er, som de andre stillbildene har vært, 3D-pdf, som kan åpnes av hvem som helst, og enkelt sendes til aktuelle personer. Så, sitter du der i tunnelen med sonderhulla dine og lur på hva du skal gjøre, kan du sende til ingeniørgeologisk ansvarlig, for eksempel, for å spørre om råd.





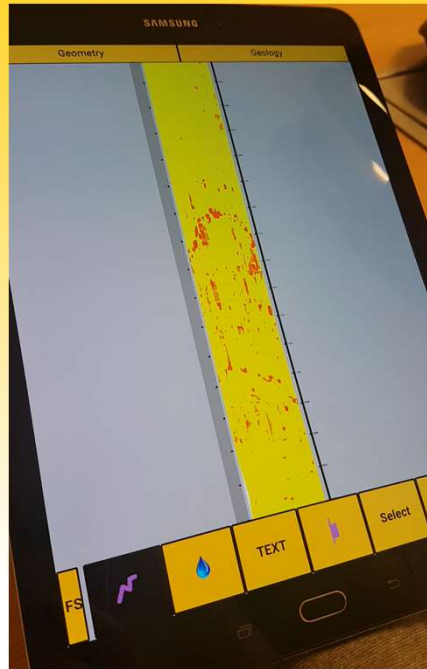
Injeksjonskjem fra 6993 til 7015  
Geologens kartlegging Q og RQD  
sammenlignet med MWD tolkning

..... RQD ..... Q-verdi

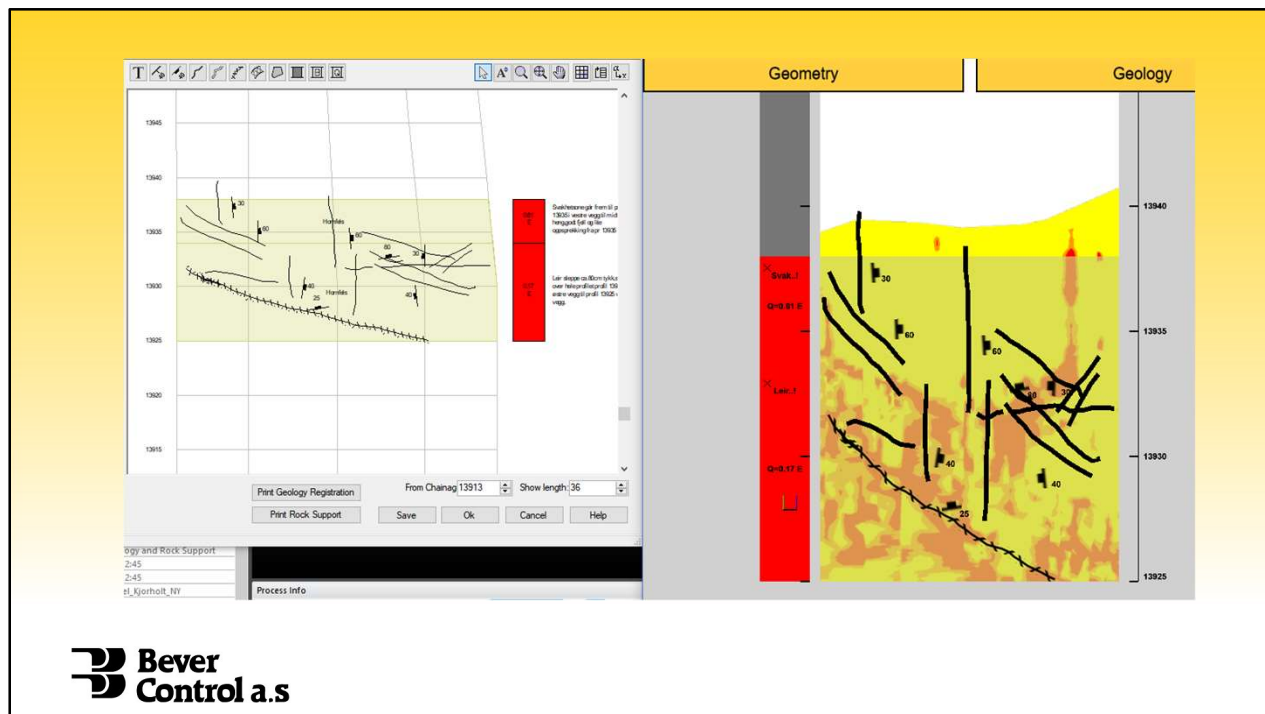


Men, som vi har sett på foregående slides er MWD, uansett hvordan vi vrir på det, en samling av pent visualiserte tall, som må kalibreres, filtreres og, foreløpig, tolkes visuelt av mennesker. Man kan si at det er korrelasjoner mellom tolkningene og parametere fra Q-metoden, som vi har til hjelp for å bestemme sikringsomfanget, men den røde fargen i 3D-modellen vil aldri definitivt være  $Q = 1,5$ . Også fordi Q settes over et antall tunnelmeter, og består av ting vi ikke kan se med MWD, for eksempel spenningsforhold og ruhet på sprekker.



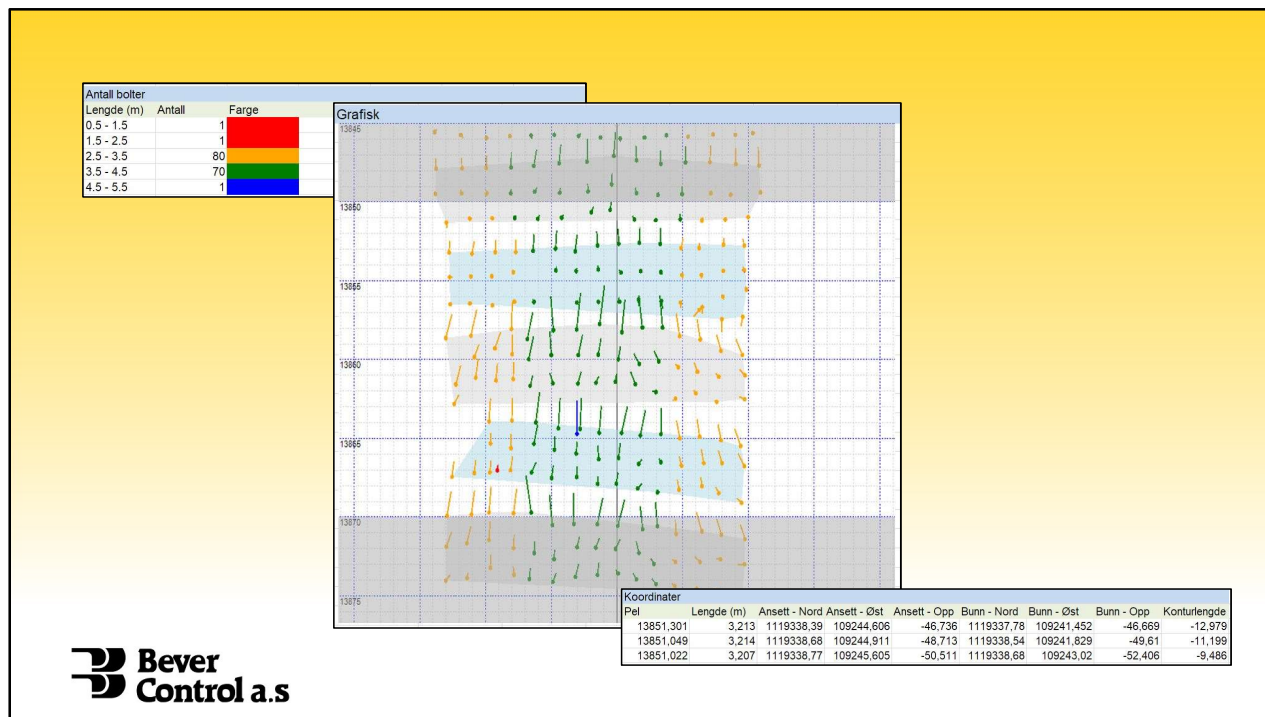


Så, det er altså ikke nok å bare se på, og lagre, MWD-dataene. Vi må ha menneskelig input også. Tidligere har tunnelkartlegging vært gjort på papir, for så å legge inn kartleggingene i Trimble ViaNovas Novapoint Tunnel. Sammen med Nye Veier har vi flyttet kartleggingen over på tablet- vi kan få både MWD som bakgrunnsbilde, og dermed plassere sprekker mer nøyaktig, jobben er gjort idet du forlater tunnelen, og vått papir med uleselige kråketær fra forrige kartør er en ikke lenger et irritasjonsmoment. 3D-visning hjelper ytterligere til med kvalitetssikringen av kartleggingen. Her er kartleggingen drapert over teoretisk kontur for det stedet i tunnelen. Vi håper at dette verktøyet kan hjelpe oss med å til en viss grad ta tilbake det å bygge i fjell, i stedet for å bygge i betong og oversikre. Hvis du kan se akkurat hvor bolten bør settes for å låse blokkene du har registrert, så kan du sette den bolten i kartet, med rett lengde og ønsket vinkel, og overføre boltemønsteret ditt direkte til boreriggen over wifi. Da vil man antakelig ikke trenge systematisk 1,5 m x 1,5 m for å være «sikker».

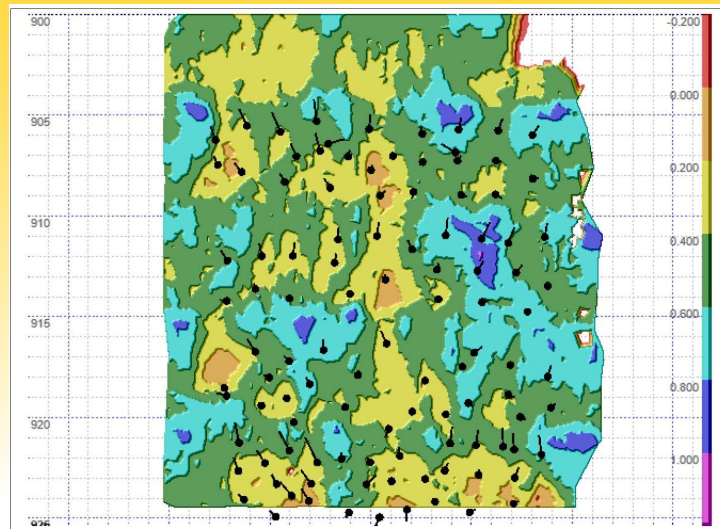


**Bever**  
**Control a.s**

Ekstra kjekt er det at alle registreringene som gjøres, kan overføres som gruppe, for eksempel for ei uke av gangen, til Novapoint Tunnel. Vi kjenner igjen enkeltelementene fra kartleggingen til høyre, og ser at de havner på samme sted, dog noe mer strukket ut i Novapoint. Alle elementene er objekter med egenskaper. Kommentaren til kartleggingen som ofte havner i dagens Word-dokument på eRoom, ligger nå trygt plassert ved kartlegginga, slik det burde være.

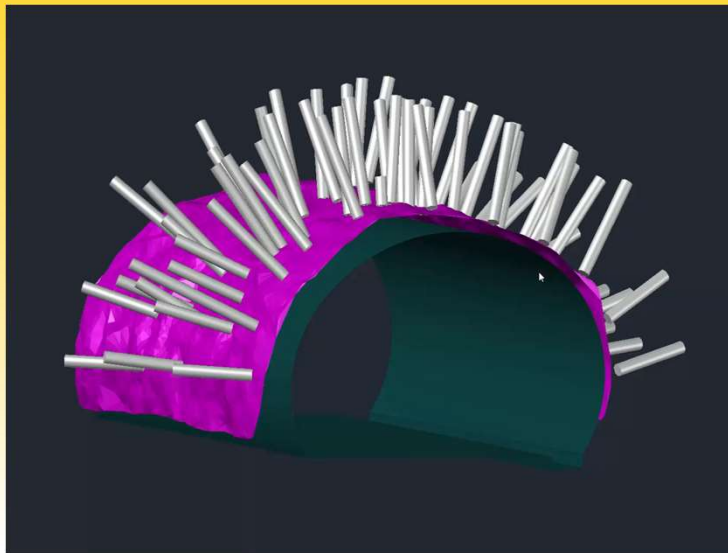


Når du har georefererte MWD-data så kan de også brukes til andre ting. Her er for eksempel et boltekart, som presenterer plassering av bolter, retning og boret lengde på disse. Kan ikke definitivt si at den lengden som er boret er den lengden bolt som er satt, men er et godt verktøy for å hjelpe til med telling og kontroller. Nederst ser man også absoluttkoordinatene til boltene, og de kan eksporteres til .kof, i tilfelle man ønsker å finne dem igjen senere.



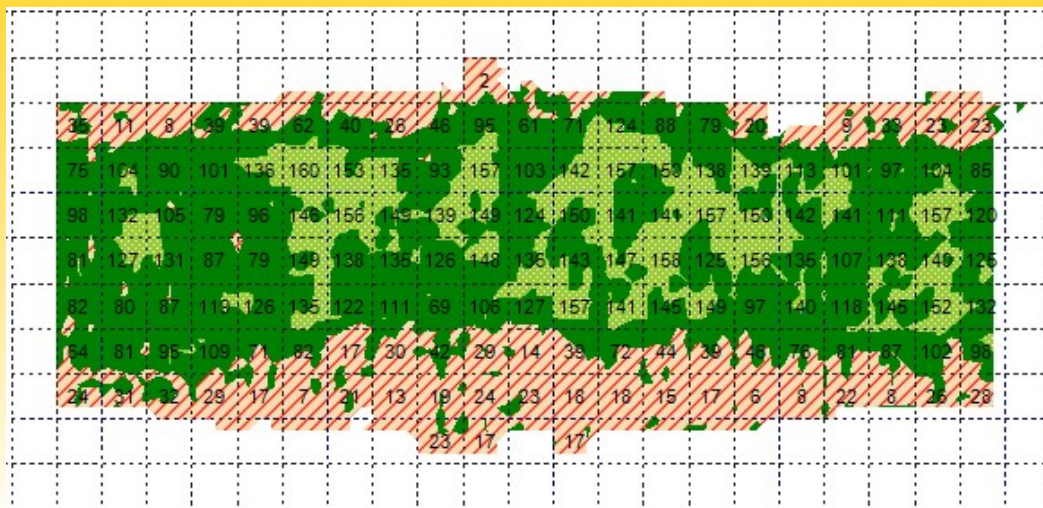
**Bever**  
**Control a.s**

Her er bolteplasseringen satt sammen med scannerdata – og sammenligner teoretisk kontur med faktisk kontur, altså over- eller undermasse.



 **Bever  
Control a.s**

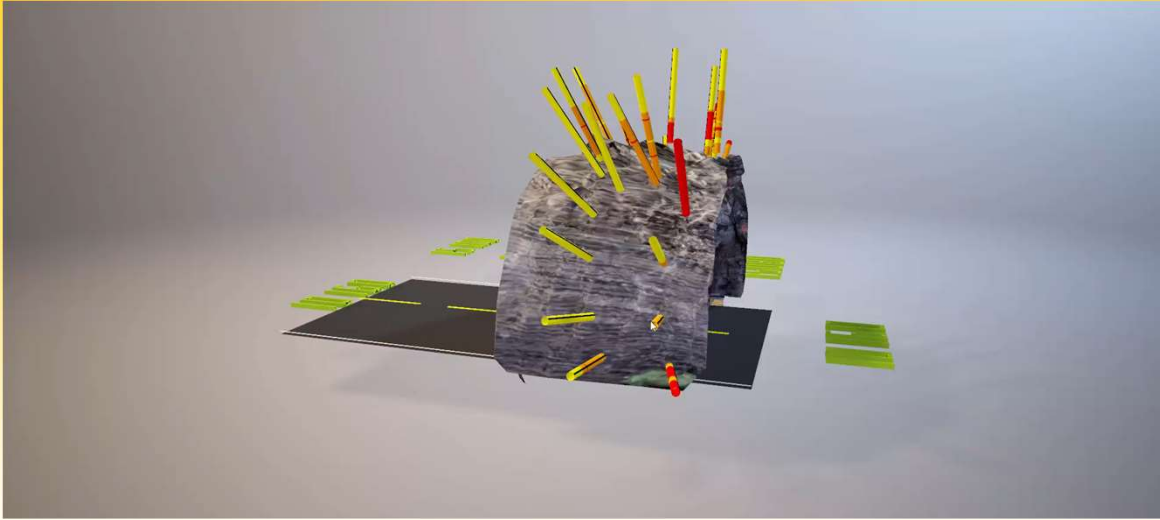
Det går også an å se på dette i 3D. Det her krever faktisk 0 i innsats, dataene samles inn av maskin, dataflyten går automatisk så lenge wifien går, og rapporteringen er helautomatisk. Det frigjør kapasitet fra å sette sammen rapporter til å faktisk analysere dem, og se etter forbedringspotensialer.



**Bever**  
**Control a.s**

Et godt eksempel er dette, sprutscanning, at prosjektene som går inn for dette har spart 20% av betongmengden ved å optimalisere mønstre og betongbestillinger. Knip litt til i bestillinga, for når du vet hvor du mangler noe, er det ikke vanskelig å legge på mer senere.

Scan med faro etc vil kunne gi samme, men foreløpig sensitivt utstyr som helst skal kalibreres så fort det er flytta. Og her vil det flyttes mye. Kan monteres på spruteriggen, stå der permanent, får små nok filer til at det kan brukes seinere. Og er nøyaktig nok mtp hva som for tiden er standard. +- 10 mm var altfor dårlig mente de, så var tykkelsesavviket ikke sjeldent over 10 cm. Ikke så populært ennå pga betalingsmodellene for sprutebetong, men tenker at byggherren snart må begynne å kreve det pga enorm kostnadsbesparelse og miljøgevinst.



 **Bever  
Control a.s**

Testversjon av kartleggingsprogram

<http://tinyurl.com/bevmapdemo>