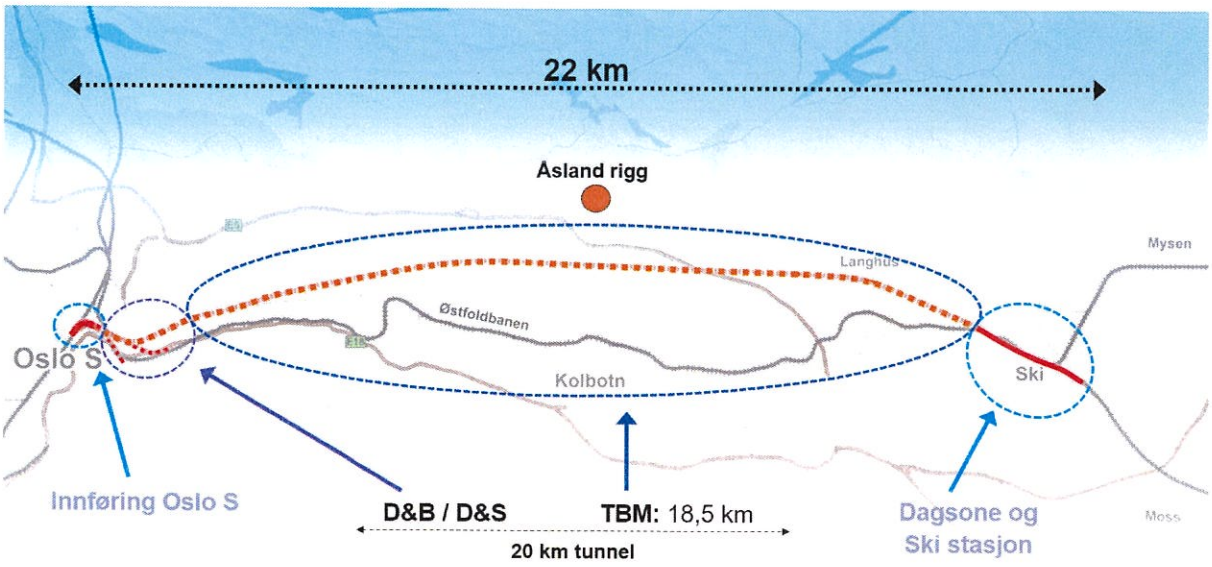
TBM på Follobanen

Mer enn 2x18 km av de to Blixtunnelenes totale lengde på ca. 2x20 km ble fullprofilboret i harde granittiske gneisbergarter, med fire Herrenknecht dobbelskjold tunnelboremaskiner med diameter 9,96m. De øvrige ca. 2x2 km av tunnelene ble drevet med konvensjonell boring og sprengning, i kombinasjon med splitting av berget i partier med nærføring til andre sensitive installasjoner.

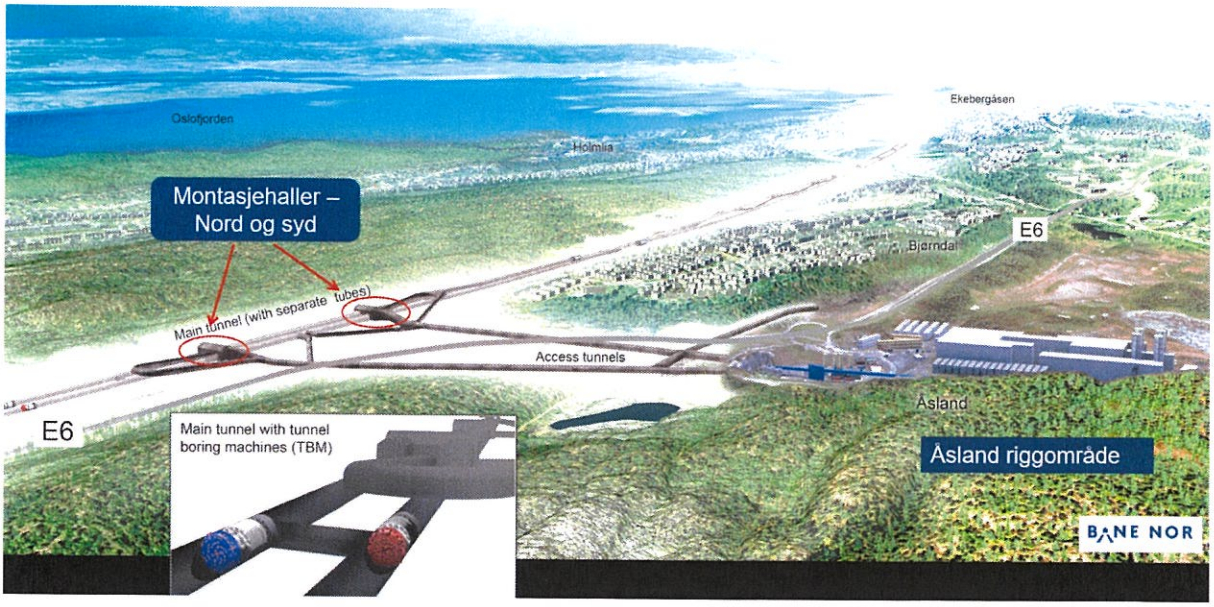


Figur 1: Den 22 km lange Follobanen består av to 20 km lange tunneler. Mer enn 18 km av hver av tunnelene er boret med TBM. Den resterende strekningen ble drevet med sprengning (D&B) og splitting (D&S)

Blixtunnelen består av to parallelle enkeltspors tunneler, hver på ca. 20km, med tverrforbindelser for hver 500m. Tverrforbindelsene har en del jernbanetekniske installasjoner og skal i tillegg benyttes under evakuering av togpassasjerer fra det ene tunnelløpet til det andre.

For adkomst ned til monteringskamrene for TBM-ene, ble det drevet to atkomsttunneler, hver ca. 1000 m lange, på synk 1:10 fra riggplassen på Åsland. I tillegg ble det sprengt ut ytterligere fire transport- og logistikk tunneler inn til to montasjekammere. Hver av disse var ca 24 meter brede, 54 meter lange og 22 meter høye. De to maskinene som skulle bore mot Oslo, ble montert og startet opp fra det nordre av disse kamrene, mens de to maskinene som skulle bore mot Ski, ble montert og startet opp fra det søndre kammeret.

Alle de fire TBM-ene boret ca 9 km hver, og opererte ut fra ett sentralt anleggsområde på Åsland. Her foregikk alle aktiviteter relatert til tunneldrivingen, inklusive produksjon av 161.000 elementer til innvendig kledning av tunnelen. All massen ble transportert på transportbånd fra de fire TBM'ene og lagt ut innenfor riggområdet, som byggegrunn for fremtidig boligutvikling i det samme området.



Figur 2: Atkomst- og logistikktunneler mellom riggområdet på Åsland og de to montasjekamrene hvor de fire TBM'ene startet opp boring mot hhv Oslo og Ski

Maskinene mot Oslo ble oppkalt etter dronninger, som levde deler av sine liv i Oslo:

- Tunnel nr. 1, østre løp, inngående mot Oslo: TBM «Dronning Eufemia»
- Tunnel nr. 2, vestre løp, utgående fra Oslo: TBM «Dronning Ellisiv»

Maskinene mot Ski ble oppkalt etter kjente kvinner som drev virksomhet i området over og til siden for Blixtunnelen:

- Tunnel nr. 3, østre løp, inngående mot Oslo: TBM «Magda Flåtestad»
- Tunnel nr. 4, vestre løp, utgående fra Oslo: TBM «Anna fra Kloppa»

«Dronning Eufemia» startet boringen 5. september 2016. Den neste maskinen «Ellisiv» startet boringen 1 måned senere. «Anna fra Kloppa» ble så igangsatt i begynnelsen av november i det vestre løpet mot Ski og 30.november startet den fjerde TBM-en, «Magda Flåtestad», slik at samtlige maskiner var i drift før jul 2016.

TBM-ene som boret mot Oslo, «Dronning Eufemia» og «Dronning Ellisiv» hadde dobbelt gjennomslag inne i en fjellhall i Ekebergåsen den 11. september 2018 med få minutters mellomrom og mer enn 5 måneder før tidsplanen. Gjennomslaget mot syd i TBM-tunnelene kom 26. februar 2019, da «Anna fra Kloppa» og «Magda Flåtestad» omtrent samtidig boret gjennom til dagen ca. 2 km nord for Ski stasjon.

Dersom tunneldrivingen, inklusive driving av atkomsttunneler, skulle vært gjennomført like raskt ved konvensjonell sprengning, måtte det vært etablert seks eller sju tverrslag, med tilhørende anleggsområder. Flere av disse lokalisert i tett befolkede områder. Valg av TBM for Follobanen, med tilgang til det store riggområdet sentralt på tunnelstrekningen, hvor massene, 9 millioner tonn, kunne gjenbrukes som byggegrunn for et fremtidig boligområde, ga en reduksjon av CO_2 utslipp på ca 27.000 tonn, sammenliknet med konvensjonell sprengning fra flere anleggspunkter.

Follobanens prosjektorganisasjon med egenkompetanse fra tunnelboring i harde bergarter spilte en proaktiv rolle ved spesifikasjon av TBM-ene og i den videre oppgradering av de TBM-tekniske spesifikasjoner i forbindelse med endelig design av de fire tunnelboremaskinene.

Hovedlagerets diameter ble utvidet og lagerets L10 levetid økt. Borhodet ble forsterket og antall kuttere på borhodet ble øket for å redusere avstanden mellom kuttersporene, for derved å oppnå øket borsynk. I tillegg ble det stilt en rekke andre krav til utstyret.

Maskinspesifikasjoner

Boret diameter: 9.960 mm med nye kuttere

Antall kuttere: 4 stk. center (x 2 ringer) + 48 stk. face + 15 stk. gauge kuttere = 71 stk. kuttende ringer

Last per kutter ring (maks.): 315kN

Maks. anbefalt kutterhode last: 71 x 315 = 22.365kN

Kutterhode vekt med kuttere: 265 tonn

Installert effekt på borehodet: 13 stk. VFD motorer x 350 kW = 4.550 kW

Totalt installert effekt TBM og bakrigg: ca. 6.900 kW

Kutterhodets omdreiningstall: 0 – 6,06 omdr./min

Nominelt/ maks. dreiemoment: 11.115 kNm / 16.672 kNm

Hovedlager: 3-aksielt rulle lager, 6.600 mm (utvendig diameter)

Hovedlager L10 levetid: > 20.000 timer

Total lengde TBM + bakriggsystem: ca. 150 meter

Total skjold lengde: 14.415 mm

Vekt TBM: 1.430 tonn

Total vekt, TBM + bakrigg: ca. 2.400 tonn

Hver av TBM-ene var utrustet med 2 stk. borerigger med borstangmagasin, montert på en 360-graders ring, for boring av opptil 35-40 m lange 64mm hull for sonder- og forinjeksjon gjennom 38 stk. åpninger i gripperskjoldet med 11 graders vinkel med tunnelaksen og/eller gjennom 8 stk. åpninger i kutterhodet. En full injeksjonsskjerm besto vanligvis av 20 hull, men det var mulig å utvide med ytterligere 26 hull. 7.600 m av totalt 36.000 m TBM tunnel ble forinjisert mellom Oslo og Ski. De to sydgående maskinene hadde flere runder med forinjeksjon enn de to nordgående maskinene.

Innvendig tunneldiameter etter utforing med 40 cm tykke betongsegmenter er 8,75 m. Dette gir et gap mellom betongsegmentringen og boret tunnel på 205 mm, som ble fylt med en to-komponent-mørtel. Begge komponentene, ble hver for seg pumpet i rør fra dagen helt frem til TBM-en.

De daglige produksjonsresultatene var bl.a avhengig av omfanget av forinjeksjon, men uten forinjeksjon var produksjonen relativt god, tatt de harde bergforholdene i betraktning:

- Beste dag: 36 m
- Beste uke: 162 m
- Beste måned: 583 m (Gjennomsnittlig månedsproduksjon for de enkelte maskinene var i størrelsesorden: 315 -380 m)

Tunnelboringen på Follobanen i de harde, massive og slitende granittiske gneisbergartene ble en suksess og må i stor grad tilskrives byggherrens kravspesifikasjoner og designendringer.