



Statens vegvesen



TBM teknologi for løsmasser

NBG TBM seminar Mosjøen 10.–11.september

Pål Drevland Jakobsen



Introduksjon

Innhold

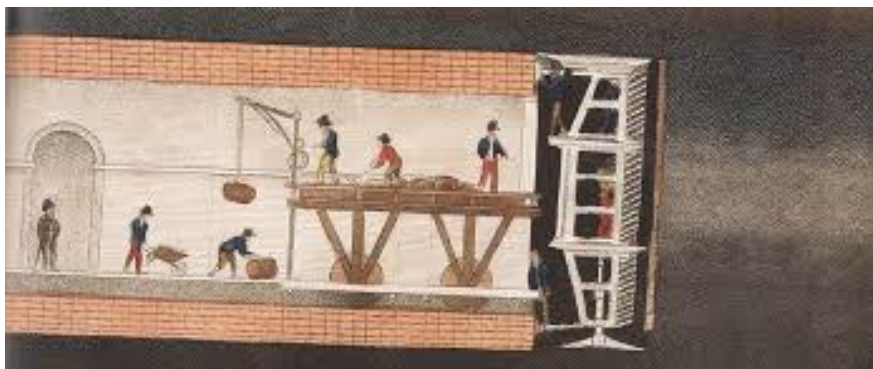
- Introduksjon
 - Historisk utvikling og milepæler
 - Tunneltyper og størrelser
 - TBM-er for løsmasser
- Anleggsteknikk
 - Byggetid
 - Forundersøkelser og oppfølging under driving
 - Grunnforhold
 - Slitasje
- Kostnader
- Bruk av TBM i løsmasser i Norge...?
- Oppsummeringer



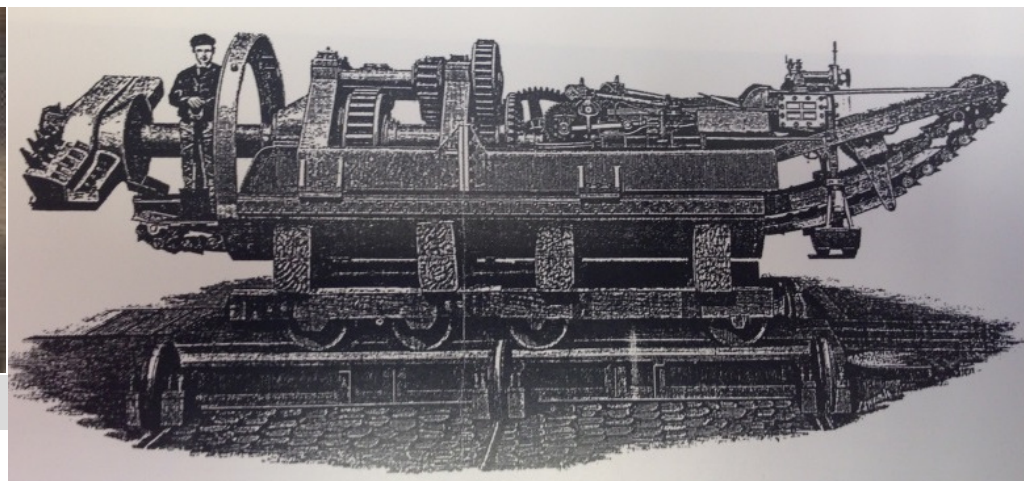
Introduksjon

Historisk utvikling av mekanisert tunneldrift i løsmasser

- Teknologitvutvikling startet på 1800 tallet
 - Brunels tunnel skjold (1825)
 - Maus i fra Belgia
 - Beaumont / English maskiner (1875)
 - Stuffstabilisering med trykkluft i fra tidlig 1900 tall i Berlin og Hamburg
 - Graving med hånd i fra trykksatt kammer/stuff.



2015-03-12





Introduksjon

«Moderne løsmasse TBM-er»

- Slurry shield TBM-er utviklet parallelt i Japan, Tyskland og Stor-Britannia på 60-tallet
- Earth pressure balance shield (EPB) TBM utviklet i fra tidlig 70 tall
- Rørtrykkingsmaskiner (pipe-jacking) med slurry utviklet av Herrenknecht på 70 tallet



1991
Taipei
6,26 m

2000
Madrid
9,33 m

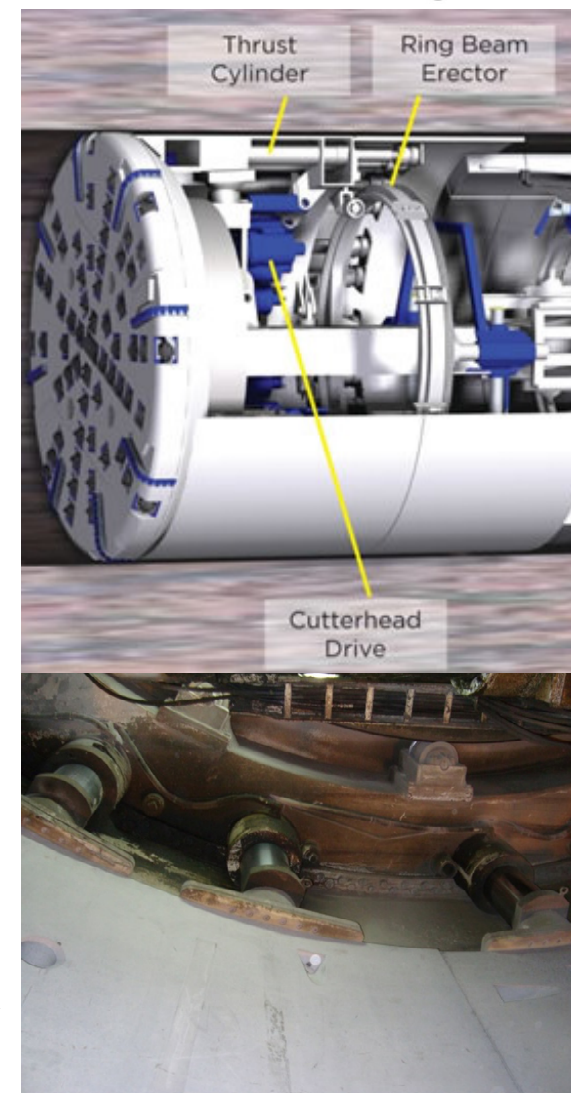
2003
Barcelona
12,06 m

2006
Madrid
15,20 m

2010
Sparvo
15,50 m



Statens vegvesen



Introduksjon

TBM-er for løsmasser

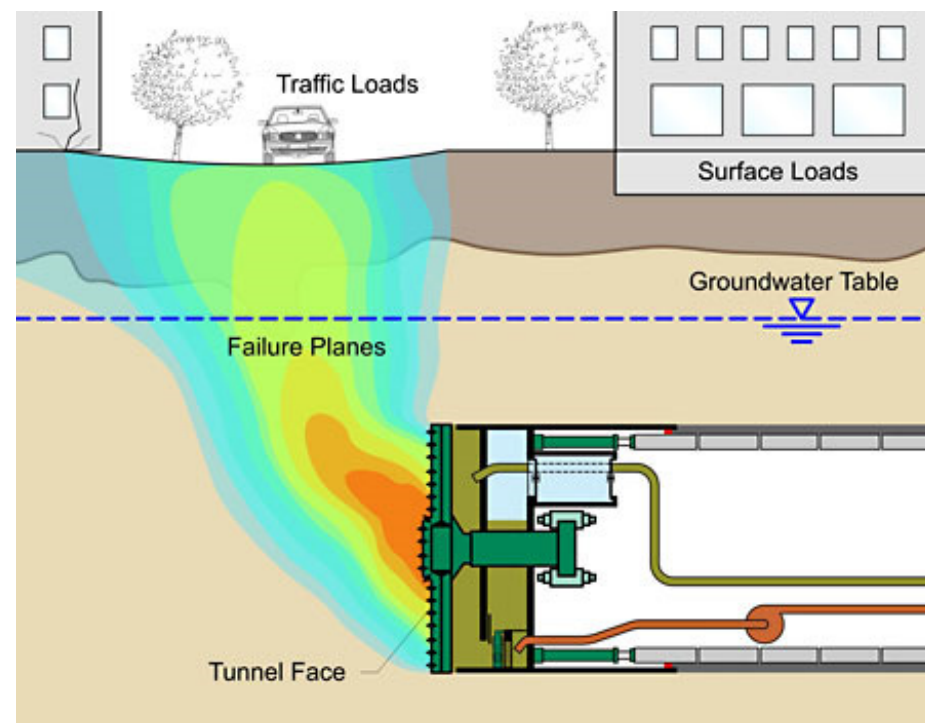
- PRINSIPP: Vann- og jordtrykk må stabiliseres for å unngå:
 - Kollaps av stuff
 - Vannproblematikk i tunnel
 - Setninger
 - «Fastkjøring av TBM» og «clogging»
- Tunnelen må sikres med lining (som regel betongelementer, av og til stål eller keramikk)
- Prinsippet er enkelt, men
 - Tidevannsproblematikk endrer vanntrykket kontinuerlig
 - Varierende overdekning endrer jordtrykk



Introduksjon

TBM-er for løsmasser (Figur i fra www.facesupport.org)

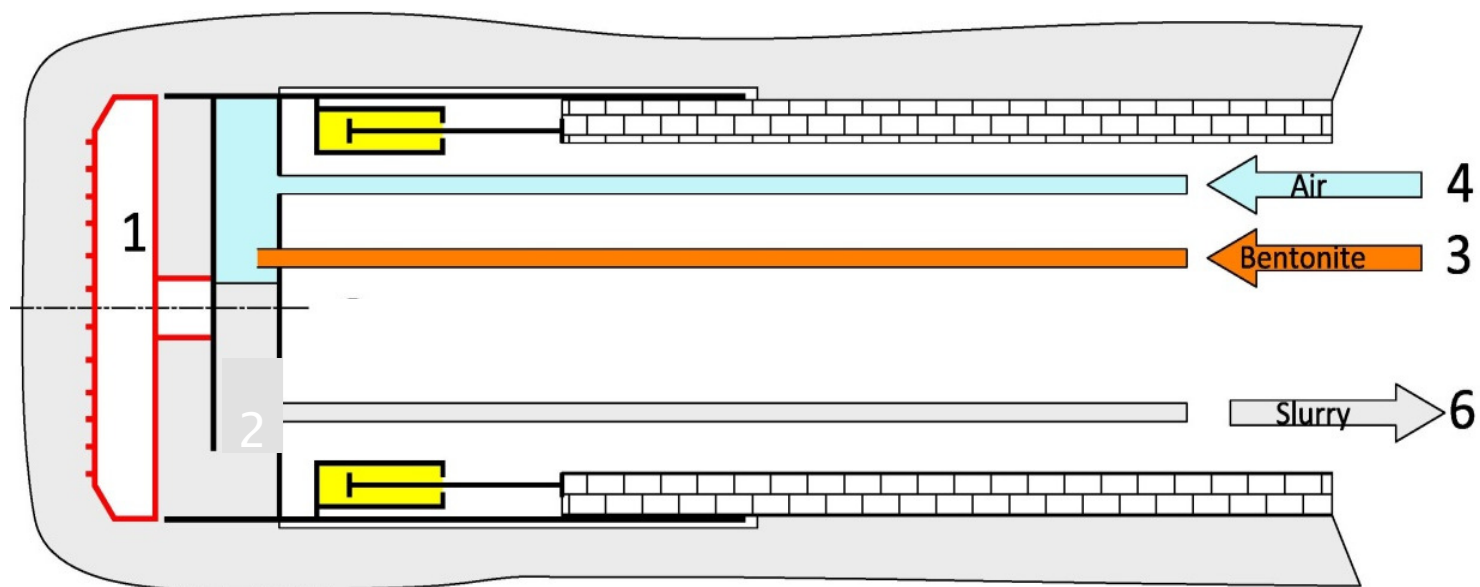
- Variabler
 - Overdekning
 - Tunneldiameter
 - Densitet på masse
 - Grunnvannstand
 - Toleranser/sikkerhets-konstant
 - Metode for stoffstabilisering
- Ansvar
 - Byggherre?
 - Entreprenør?
 - Konsulent?





Introduksjon

Slurry shield/Mixshield/Benton® Air TBM-er

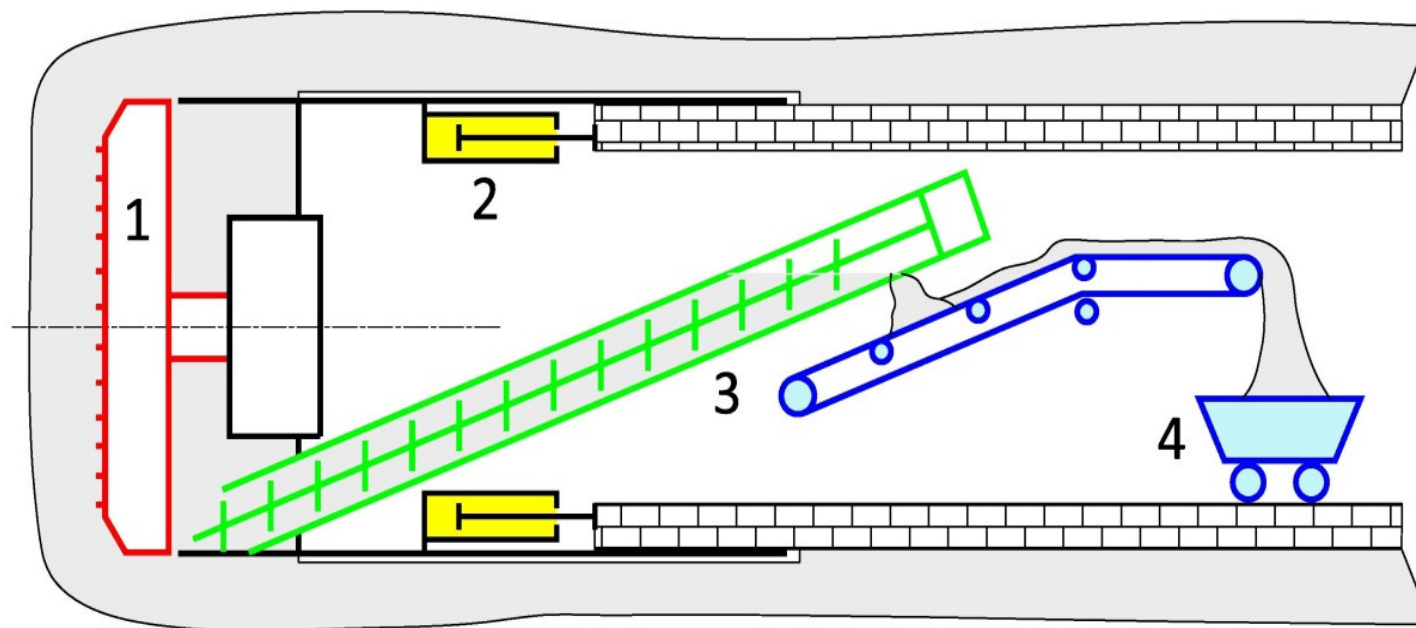


- 1) Roterende kutterhode med verktøy
- 2) Kutterkammer (trykksatt med bentonitt og evt. luft)



Introduksjon

Earth Pressure Balance (EPB) Shield TBM

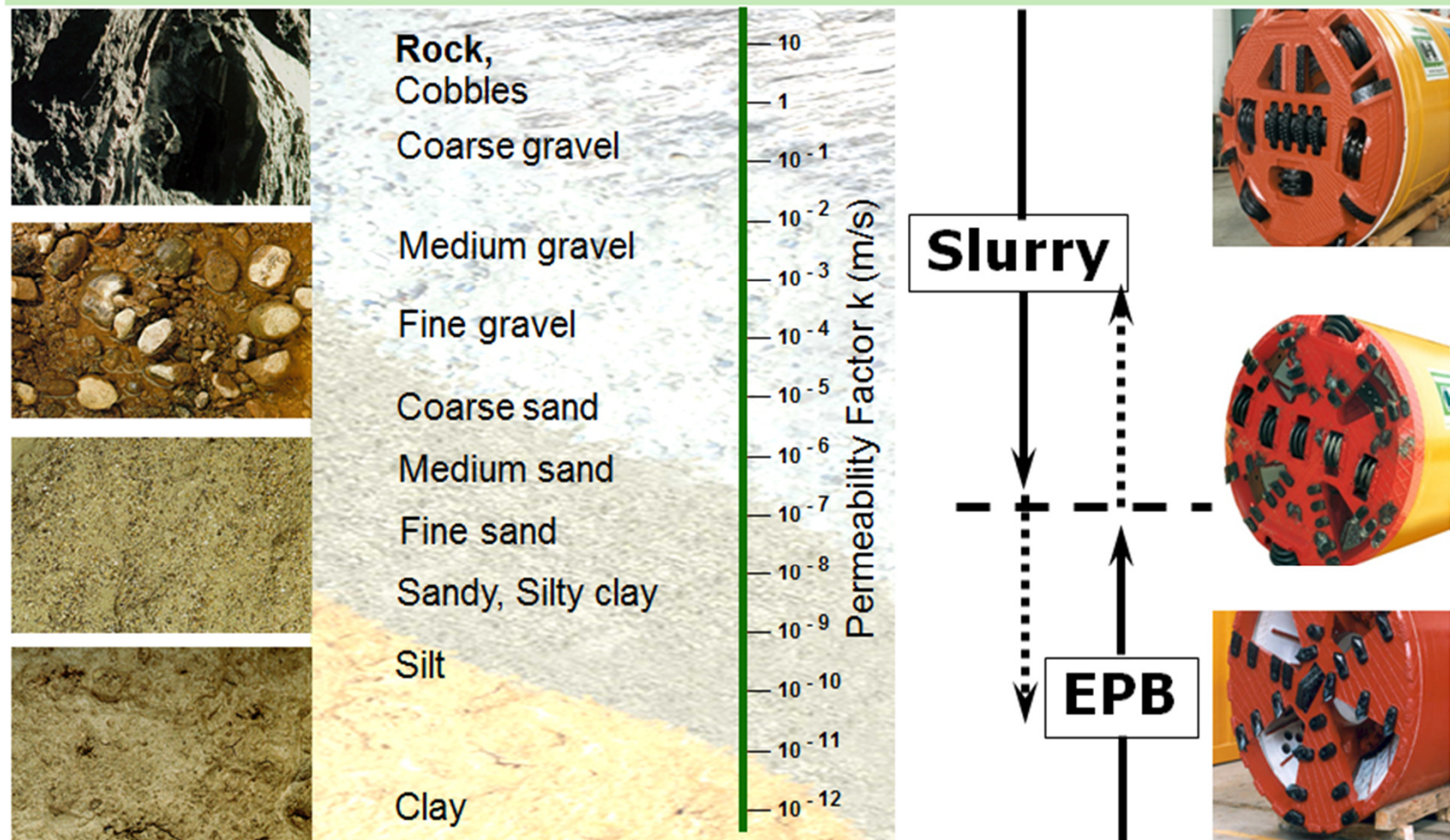


- 1) Roterende kutterhode med kutterverktøy
- 2) Jekker som skyver TBM i fra betongelement
- 3) Skrue (screw conveyor) som reduserer trykk i utdrevet masse til atmosfærisk trykk
- 4) 4 transportband/tog transport av masse.



Introduksjon

Grunnforhold og (overordnet) valg av TBM





Statens vegvesen

Introduksjon Tunneltyper og størrelser



Kabler
Gassrør
Vann
Avløp
Metro
Veg
Jernbane

Diameter fra
0,2 – 17,5 m.





Anleggsteknikk

Byggetid

- TBM leveranse ca 1 år på diametere over 6–7 m
- TBM leveranse små tverrsnitt er kortere
 - Entreprenører eier ofte små maskiner, og mye «ledig kapasitet» i eks. Tyskland
- «Netto inndrift» avhenger mer på slurry eller EPB skrue kapasitet. «Borsynkindeks» benyttes ikke.
- «Netto inndrift» er ca 5 – 15 mm/rev → 15 – 150 mm/min.
- Byggetid er avhengig av boretid (utnyttelsesgrad)



Anleggsteknikk

Byggetid (store tverrsnitt)

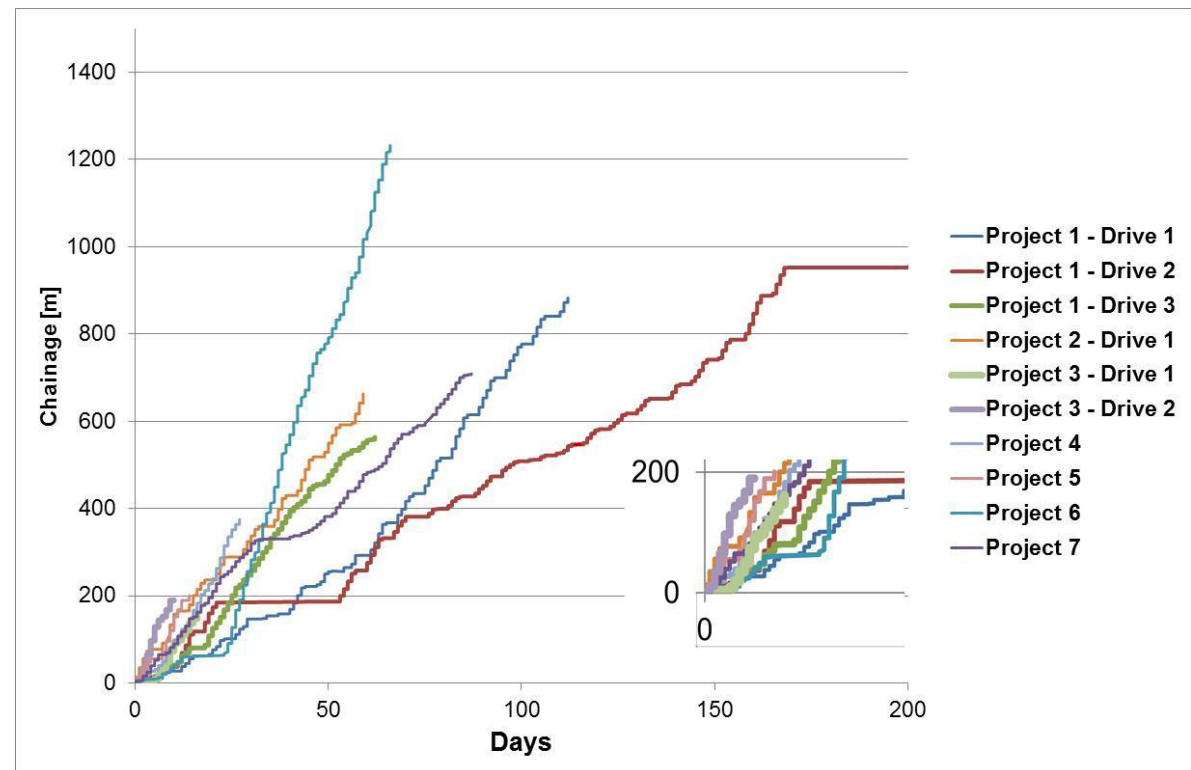
- Weser tunnel: 4,9 m i snitt per døgn (inkl rigging og demontering). Enkelte døgn 15–20 m
- Malmø city tunneln
 - TBM1: 18,5 m per døgn (eksl. Rigging og demontering)
 - TBM 2: 17,7 m per døgn (eksl. Rigging og demontering)
- Wisla river crossing 1,34 m/h netto inndrift linje 1
 - 35 minutter for å bygge en ring
- Wisla river crossing linje 2, redusert tidsforbruk for ringbygging og høyere netto inndrift jf. linje 1.
- Alaskan way ca 2 m produksjon per dag i 6 mnd
 - Lengre nedetid etter ca 340 m.



Anleggsteknikk

Byggetid (små tverrsnitt)

- Logistikk-utfordringer
- Vanskeligere med parallelle aktiviteter
- «Rekord» 51 ringer a 1,15 m på 20 timer i 2,5 m EPB TBM
- Variasjon fra 27 m per dag til 4,5 m per dag





Anleggsteknikk

Forundersøkelser og oppfølging under driving

- Forundersøkelser
 - Grunnvann
 - Forurensninger i massen
 - Deformasjonsmodul / E-modul
 - Svellepotensiale
 - Adhesjonspotensiale (stickiness/clogging)
 - In-situ densitet av materialet
 - Siktekurver (viktig: stor-stein, pilarer og «gamle byggverk»)
 - Permabilitet
 - Kompaktering
 - Plastisitetsgrenser
 - Skjærparametere (friksjon/kohesjonsvinkel)
 - Jordtrykk
 - Flytepotensiale



Anleggsteknikk

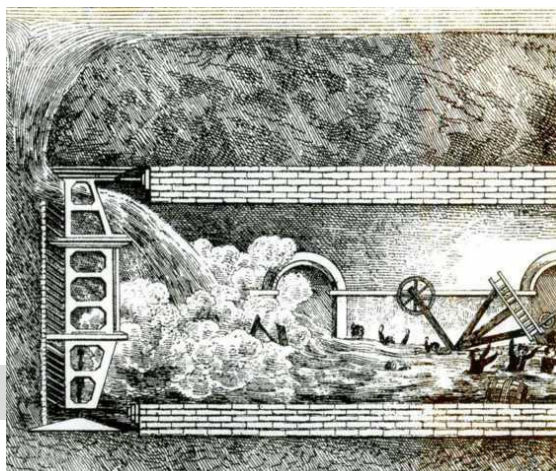
Forundersøkelser og oppfølging under driving

- Oppfølging under driving
 - Lite ordinær geologisk kartlegging
 - Siktekurver som sammenlignes mot anbudsgrunnlag
 - Mineralogi som sammenlignes mot anbudsgrunnlag
 - Lite/ingen sonderboring
 - Oppfølging av setninger/deformasjoner på bygg (streklapper, laser, nivelering)
 - Poretrykksmålinger
 - Oppfølging på slurry/skum tilsetningsstoff
 - Oppfølging av kvalitet på betonglining



Anleggsteknikk

Eksempel på store setninger og lekkasjer





Anleggsteknikk

Mulige grunnforhold



- Worst case grunnforhold:
 - Ensgradert sand eller grus (permeabel masse) med høyt vanntrykk
 - Stor stein med permeabel matrix (eks velgraderte morenemasser med stein)
 - Mixed face med variasjoner i materialegenskaper



Anleggsteknikk

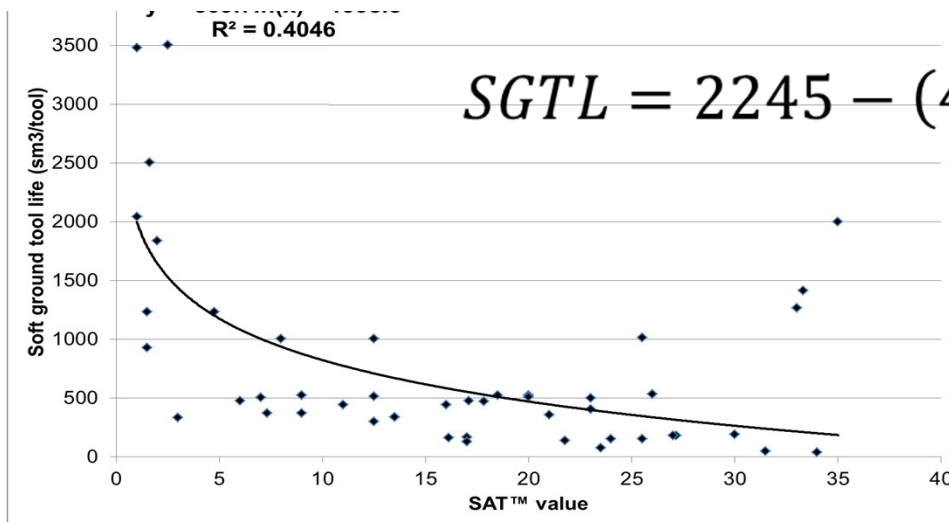
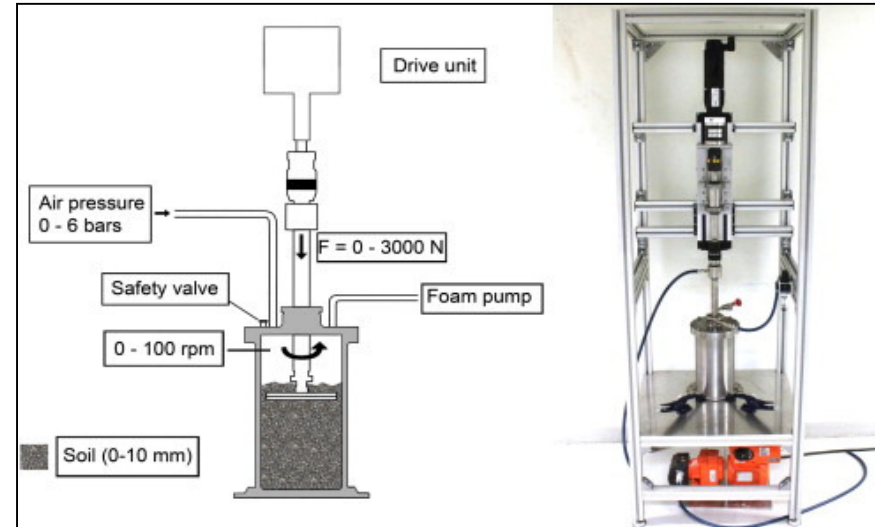
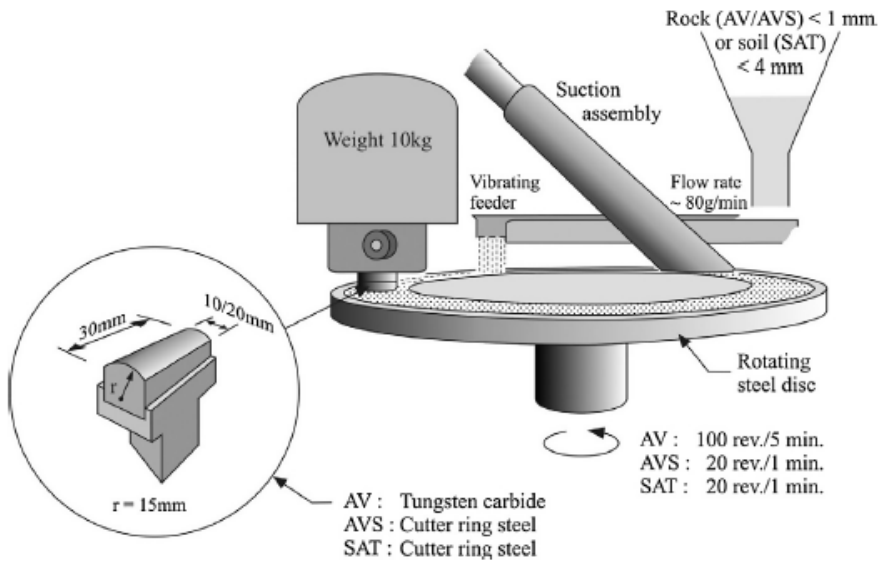
Verktøyslitasje

- Mye forskning (Pennstate University, NTNU, TU München, Iranske universiteter, Østeriske jernbaneverk, maskinleverandører)
- Få kvantitative modeller for estimering
- Sprikende erfaringer – antageligvis pga varierende empiriske data
- Mange variabler
 - TBM og kutterverktøy
 - Kompaktering / densitet
 - Soil conditioning additives og bentonitt
 - Operatør
 - Grunnforhold (kornstørrelse, gradering, mineralogi, kornform etc.)



Anleggsteknikk

Verktøyslitasje NTNU

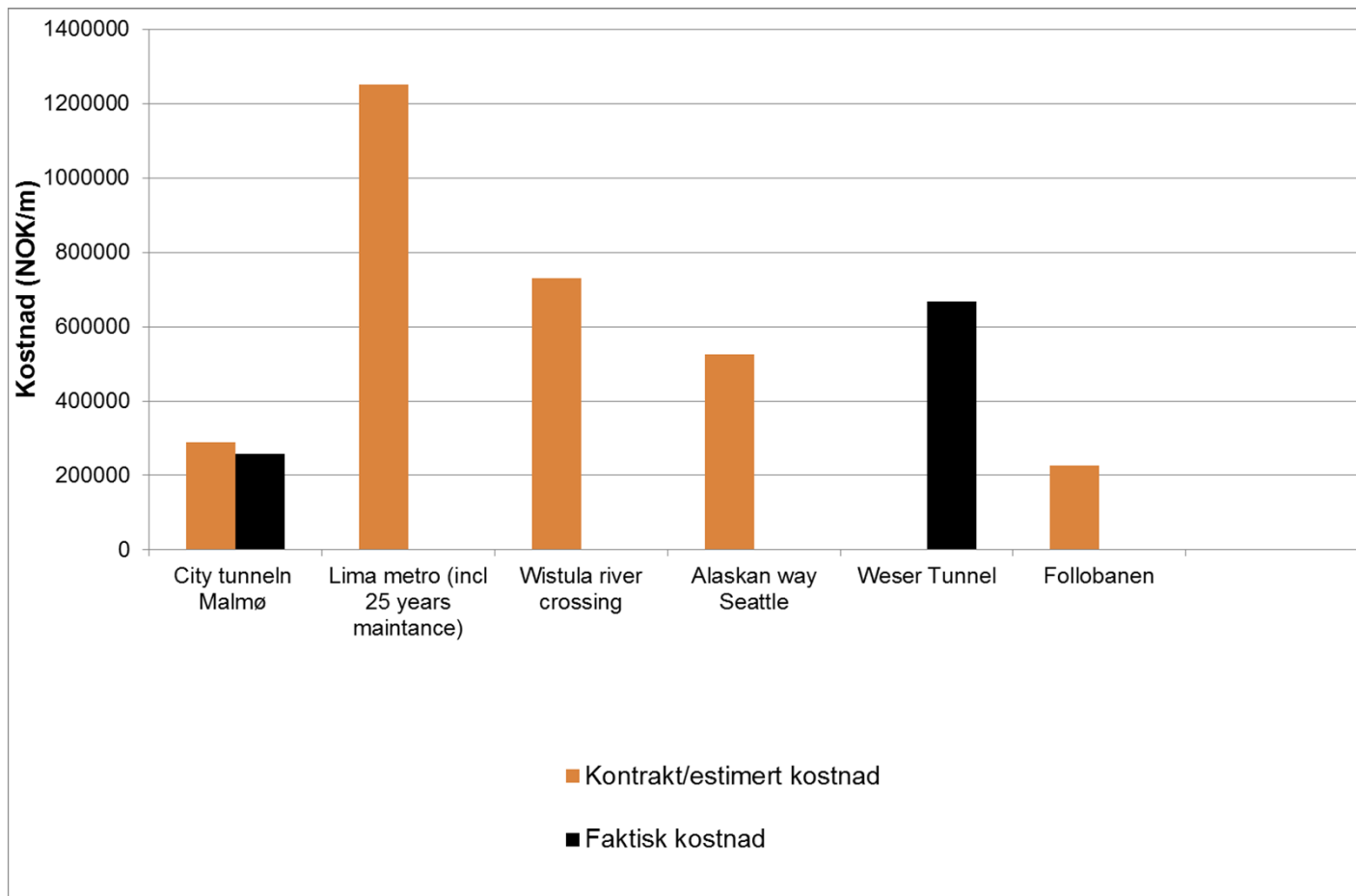


$$SGTL = 2245 - (44.7 * SAT^{TM}) - (180.3 * C_u)$$



Kostnader

Infrastruktur tunneler i løsmasser og svakt berg





Kostnader

«Tysk tommelfingerregel» små tverrsnitt

- Små tverrsnitt (<3 m) 1€ * diameter i mm per meter tunnel
 - Kostnader for TBM
 - Slitasje
 - Betongelement
 - Massetransport ut av tunnel
 - Bentonittslurry
 - Tunnellengde og grunnforhold justerer tommelfingerregelen



Bruk av løsmasse TBM i Norge?

For og i mot

- Kan gi kortere og grunnere tunneler
- Reduksjon av forstyrrelses på trafikk, bygg og infrastruktur kontra graving
- Enklere vedlikehold av infrastruktur (rør, kabler) i tunnel kontra nedgravd

- Norge består stort sett av berg
- Ny teknologi
 - Hvordan skal jobben beskrives av byggherre/konsulent?
- Kostnader
- Risiko





Bruk av løsmasse TBM i Norge?

Aktuelle prosjekter

- Kabel, vann og rørtunneler i bynære strøk
 - Ny vannledning fra Lade til Ranheim (Trondheim)
 - Midgardsormen, Oslo
- Ny vestgående jernbane fra Oslo S
 - Dyp tunnel i berg
 - Grunn tunnel i løsmasser og mixed face
 - Grunn tunnel med cut and cover
- Husk: I noen tilfeller kan den høyemeter prisen for en løsmassetunnel forsvares med kortere tunnel og mindre forstyrrelser på eksisterende infrastruktur, byggverk etc.



Oppsummering

- TBM-er i løsmasser er teknologi som har eksistert siden slutten av 60 tallet.
- TBM-er i løsmasser brukes til kabler, vann/kloakk, metro, veg etc.
- TBM-er for løsmasser p.t. er hovedsakelig
 - Slurry shield TBM (også omtalt som mixshield og bentonair TBM-er)
 - Earth Pressure Balance shield TBM (EPB TBM)
- Byggetid er i stor grad avhengig av logistikk og evne til å drive uten setninger og lekkasjer
 - 2 m per dag til 50 m per dag
- Grundige forundersøkelser er viktig for valg av TBM og estimering av byggetid/kostnader
- «Alle løse grunnforhold» kan drives. Begrensning på vann/jord trykk
- Bygging av tunneler i løsmasser koster 20 000 kr ~ 1 000 000 kr per meter, og er avhengig av
 - Tunnelstørrelse
 - Grunnforhold
 - Dyktighet/kompetanse
 - Marked
 - Atkomst
 - +++



Referanser

Babendererde, T. (2010). "Difference in wear types and recognition in data monitoring." BASF TBM Conference, London Oct. 2010.

DWA-A-A 125E. Pipe Jacking and related techniques. German Standard

Burger, W. (2010). "TBM Development And Application Over The Last 20 Years." NFF TBM seminar Bergen.

Home, L. (2010). "Trends in the use of TBMs worldwide." Presented at NFF TBM seminar Bergen 2010.

Maidl, B., Herrenknecht, M. and Anheuser, L. (1996). Mechanised Shield Tunnelling, Wiley.

Robbins, D. (2013). "A Tradition of Innovation – The Next Push for Machine Tunnelling." Muir Wood Lecture ITA-Aites



Statens vegvesen

Takk for oppmerksomheten



2015-03-12