

INGENIØRGEOLOGISKE FORHOLD FOR UNDERSJØISKE TUNNELER

Bjørn Nilsen, Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU, 7491 Trondheim



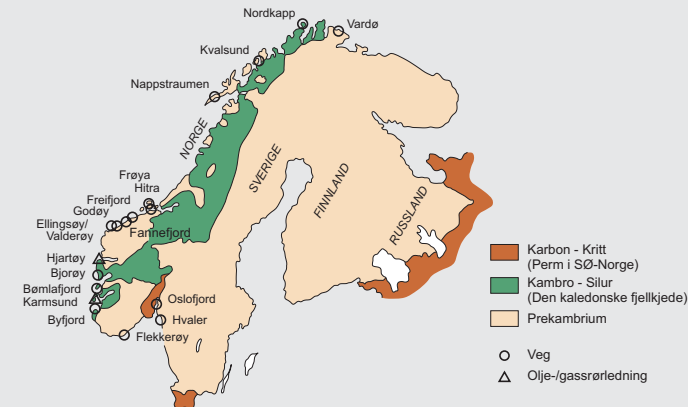
Forskning og oppfølging knyttet til ingeniørgeologiske forhold for norske undersjøiske tunneler har pågått kontinuerlig de siste 15 år ved institutt for geologi og bergteknikk, for en stor del i samarbeid med SINTEF Bergteknikk.

Forskningsaktiviteten har i hovedsak vært konsentrert om:

- Samsvaret mellom resultater fra forundersøkelser og faktiske ingeniørgeologiske forhold, og muligheter for forbedring av undersøkelsesmetodikk.
- Effekten av saltvannsmiljø på bergsikkerhet.
- Problemstillinger knyttet til stabilitet og innlekkasje, med spesiell vekt på optimalisering av minste bergoverdekning.

Til sammen ca. 20 diplomoppgaver, et tilsvarende antall prosjektoppgaver og ett doktorgradsarbeid har blitt gjennomført som resultat av denne aktiviteten.

BELIGGENHETEN TIL EN DEL AV DE NORSKE UNDERSJØISKE TUNNELNE



NOEN NØKKELDATA

Nr.	Prosjekt	Ferdig drevet	Hovedbergarter	Tverrsnitt m ²	Total lengde km	Minste bergoverdekning, m	Laveste nivå under sjøen
1	Varde	1981	Skifer, sandstein	53	2,6	28	68
	Kamsund	1984	Grønnstein, meta-sandstein, fylitt, gneis	27	4,7	58	180
2	Hjørteøy	1986	Gneis	26	2,3	26	110
3	Ellingsøy	1987	Gneis	68	3,5	42	140
3	Valderøy	1987	Gneis	68	4,2	34	137
4	Kvalsund	1988	Gneis	43	1,6	23	56
5	Godøy	1989	Gneis	52	3,8	33	153
6	Hvaler	1989	Gneis	45	3,8	35	121
7	Flekkerøy	1989	Gneis	46	2,3	29	101
8	Nappstraumen	1990	Gneis	55	1,8	27	63
9	Fannestford	1990	Gneis	54	2,7	28	100
10	Freiluft	1992	Gneis	70	5,2	30	100
11	Byfjord	1992	Fyllitt	70	5,8	34	223
12	Hitra	1994	Gneis	70	5,8	38	264
13	Bjørøy	1996	Gneis	53	2,0	35	82
14	Nordkapp	1999	Skifer, sandstein	50	6,8	49	212
15	Frøya	2000	Gneis	52	5,2	41	157
16	Oslofjord	2000	Gneis	79	7,2	32	130
17	Bømlafjord	2000	Grønnstein, gneis og fylitt	74	7,9	35	260

Langs kysten av Norge er det de siste 20 år bygd mer enn 30 undersjøiske tunneler.

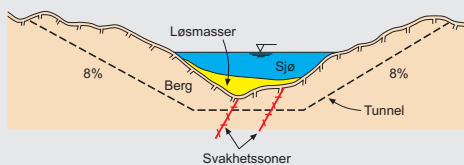
De fleste av disse er veg-tunneler (2 og 3 felts), men det er også bygd en rekke ilandføringstunneler for olje og gassrør-ledninger samt vann- og avløpstunneler. Alle tunnelene er drevet ved konvensjonell boring og sprengning.

De fleste av tunnelene er drevet i harde grunnfjellsbergarter. Dette er tilfelle bl.a. for Norges (og verdens) hittil dypeste undersjøiske tunnel; Hiltratunnelen, som går ned til 264 m under havets overflate. Noen tunneler er drevet i relativt svake sedimentære bergarter som f.eks. leirskifer. Dette er tilfelle bl.a. for Nordkapp-tunnelen, som med sine 6,8 km er en av de lengste undersjøiske vegtunnelene.

Undersjøiske tunneler er på mange måter spesielle sammenlignet med "konvensjonelle tunneler" under land. Med hensyn til ingeniørgeologi og bergteknikk er de viktigste særtrekk at:

- Størstedelen av prosjektområdet er dekket av vann. Spesielle undersøkelsesmetoder må derfor benyttes, og tolkningen av undersøkelsesresultatene er generelt mer usikker enn for konvensjonelle prosjekter.
- Beliggenheten til fjorden og sund er ofte bestemt av regionale forkastninger eller svakhetssoner. Den dypeste delen av fjorden, og dermed den mest kritiske del av tunnelen, faller ofte sammen med spesielt markerte soner.
- Potensialet for innlekkasje er ubegrenset, og pga. linjeføringen må alt lekkasjevann pumpes ut av tunnelen.
- Lekkasjevannets korrosive karakter medfører betydelige problemer for tunneldriving og -sikring.

TYPISK LINJEFØRING FOR UNDERSJØISK VEGTUNNEL



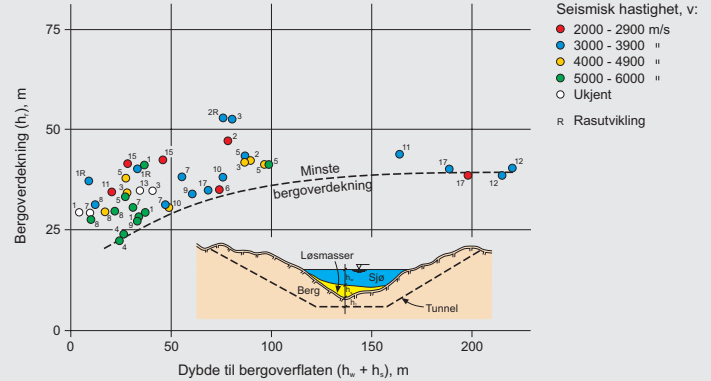
Optimalisering av minste bergoverdekning er en viktig del av planleggingen. Økt overdekning vil gjøre tunnelen unødvendig lang. Dette vil medføre ekstra byggekostnader samt økte drifts- og trafikk-kostnader over prosjektets levetid. For liten overdekning vil kunne medføre alvorlige stabilitetsproblemer, uakseptabel arbeidssikkerhet og store vanninnbrudd som kan medføre behov for omfattende injeksjon og høye pumpekostnader. Dette vil kunne ha store økonomiske konsekvenser, og i verste fall vil en kunne risikere å miste kontroll med stabiliteten.

For å analysere betydningen av minste bergoverdekning er det i hovedsak benyttet tre metoder:

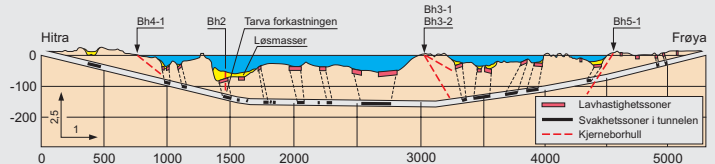
- 1) Beregning av maksimal forplantningshøyde av potensielle utrasninger.
- 2) Numerisk analyse av innlekkasje som funksjon av overdekning.
- 3) Empirisk analyse basert på resultater fra fullførte prosjekter.

Minste bergoverdekning under sjøen er for flere av de norske undersjøiske tunnelene mindre enn 30 m, og for en av tunnelene mindre enn 25 m. Den empiriske analysen viser at lokaliteten med minste overdekning ofte faller sammen med seismiske lavhastighetssoner. I tilfeller med tendenser til rasutvikling har bergoverdekningen vært relativt stor.

MINSTE BERGOVERDEKNING UNDER SJØEN, VEGTUNNELER



FRØYATUNNELN - LENGDEPROFIL



Leirinfisert berg i Frøyatunnelen

Frøyatunnelen er et eksempel på at når de ingeniørgeologiske undersøkelser og prosjekteringen er av god kvalitet, kan undersjøiske tunneler fullføres innenfor planlagte tids- og kostnadsrammer, selv under svært vanskelige ingeniørgeologiske forhold. For denne tunnelen ble det under forundersøkelsene konstatert svært vanskelige grunnforhold, med høy-permeabilitetssoner såvel som svakhetssoner med svært løst sandig materiale og ekstremt aktiv sveleleire. Tunneldrivingen startet tidlig i 1998 og ble, i stor grad som et resultat av god planlegging og grundig oppfølging under driving, fullført med godt resultat i september 1999.

SIKRINGSOMFANG OG INNLEKKASJE

Tunnel	Inndrift m/uke	Boller antall/m	Sprengte-setning m/m	Betong-utsetning % av L	Injeksjon (sement) kg/m	Innlekkasje ved åpning L/min km
Varde	17	6,5	1,0	21	32	460
Kamsund	34	1,5	0,7	15	13	
Hjørteøy	40	1,6	0,8	12	15	
Ellingsøy	28	6,4	0,5	3	99	300
Freiluft	45	5,3	1,4	2	14	500
Kvalsund	56	4,0	0,3	0	0	320
Hitra	46	4,2	1,4	0,2	11	60
Frøya	37	5,0	2,9	5	197	120
Bømlafjord	55	3,8	1,9	0	36	<50
Oslofjord	47	4,0	1,7	1	165	150
Nordkapp	18/56	3,4	4,0	34	10	60

Et hovedprinsipp i forbindelse med sikring er at denne alltid tilpasses de faktiske ingeniørgeologiske forhold. Tung sikring benyttes bare der hvor forholdene tilsier at dette er nødvendig. Sikringsomfanget for fullførte prosjekter varierer derfor betydelig og gjenspeiler den ingeniørgeologiske vanskelighetsgraden.

Av viktige konklusjoner fra denne forskningsaktiviteten fremheves spesielt:

- Hovedutfordringen for undersjøiske tunneler består i de fleste tilfeller av markerte forkastninger eller svakhetssoner.
- Leirmaterialet i svakhetssonene har ofte et høyt innhold av spesielt aktiv smekttitt.
- Den mulige forplantningshøyden av utrasninger fra svakhetssoner er større enn vanlig minste bergoverdekning under sjøen.
- Det er generelt vanskelig å utarbeide sikre prognoser for vannlekkasje, og vannlekkasjene er ofte like store under land som under sjøen.

For å sikre best mulig teknisk-økonomisk resultat er det avgjørende med:

- Grundige og hensiktsmessige forundersøkelser i tilstrekkelig omfang.
- Grundig ingeniørgeologisk oppfølging under driving.
- Høy grad av beredskap for å kunne takle uforutsette hendelser under driving.
- Nøye kvalitetssikring og -kontroll i alle ledd av undersøkelser, planlegging og bygging.

Utvalte referanser:

Blindeheim, O.T. & B. Nilsen 2001. Rock cover requirements for subsea tunnels. Proc. Int. Symp. Strait Crossings 2001, Bergen: 439-448.

Dahlø, T.S. & B. Nilsen 1994. Stability and rock cover of hard rock subsea tunnels. Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 9, Number 2: 151-158.

Kocheise, R.-C. 1994. Sveleleire i undersjøiske tunneler. Dring-avhandling 1994:124, NTH, Institutt for geologi og bergteknikk. 321 s.

Nilsen, B., M. Maage, T.S. Dahlø, T.A. Hammer & S. Smeplass 1989. Undersea tunnels in Norway, state of the art study. Tunnels & tunneling, Vol. 20, Number 9: 18-22.

Nilsen, B. 1993. Empirical analysis of minimum rock cover for subsea rock tunnels. Proc. Int. ITA Conf. Options for Tunneling, Amsterdam: 677-687.

Nilsen, B. 1994. Analysis of potential cave-in from fault zones in hard rock subsea tunnels. Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 27, Number 2: 63-75.

Nilsen, B. 1999. Key factors determining stability and water leakage of hard rock subsea tunnels. 37th US Rock Mech. Symp., Vol. 593-599.

Nilsen, B., A. Palmström & H. Stille 1999. Quality control of a subsea tunnel project in complex ground conditions. Proc. ITA World Tunnel Congress, Oslo. 137-144.

Nilsen, B. & A. Palmström 2001. Stability and water leakage of hard rock subsea tunnels. Proc. ITA Conf. Modern Tunneling Science and Technology, Kyoto. 497-502.