

Intern rapport nr. 1891

**Jordtrykk på betongelementtunneler -
Artikkel til Nordisk Geoteknikermøte,
Reykjavik 1996**



August 1996

Veglaboratoriet

Jordtrykk på betongelementtunneler - Artikkel til Nordisk Geoteknikermøte, Reykjavik 1996

Sammendrag

I 1992 ble det bygd to betongelementtunneler for henholdsvis ny E6 og jernbanen ved Medby i Saltdal. Løsningen ble benyttet som alternativ til en 100 m lang pelefundamentert bru, og det ble oppnådd en kostnadsbesparelse på 3 millioner kroner eller 40 % av brukostnaden.

Tunnelene består av to sideelementer og et topelement med betongtykkelse 26 cm og tunnelbredde 9,7 m. Betongelementene er relativt tynnveggede, og kombinert med leddet mellom sideelementet og topelementet, medfører dette samvirke med omkringliggende masser.

Grunnen består av fast leire og betongelementene er fundamentert på stripefundamenter. Jordtrykket ble målt under lagvis oppfylling av masser rundt tunnelene og det er utført langtidsmålinger i en periode på over 3 år. Det er foreslått en metode for beregning av aksialkraften i betongelementtunneler.

Det må utvises spesiell varsomhet ved skjevbelastning, dette krever en grundig geoteknisk vurdering. Spesielt brukt som rasoverbygg i skråterreng må det påses at konstruksjonene får skikkelig sidestøtte.

Ved dårlige grunnforhold må det vurderes å bruke hel bunnplate istedenfor stripefundamenter. Setninger (spesielt skjevsetninger) må vurderes nøye ved bruk av metoden.

Emneord: *Betongelementtunnel, jordtrykk, instrumentering*

Seksjon: *Geologi- og geoteknikkontoret*

Saksbehandler: *J. Vaslestad, T. H. Johansen*

Dato: *August 1996*

/BN

Statens vegvesen, Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo
Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Jordtrykk på betongelementtunneler

Jan Vaslestad
Vegdirektoratet, Veglaboratoriet, Oslo

Tor Helge Johansen
Vegdirektoratet, Veglaboratoriet, Oslo

SAMMENDRAG: I 1992 ble det bygd to betongelementtunneler for henholdsvis ny E6 og jernbanen ved Medby i Saltdal. Løsningen ble benyttet som alternativ til en 100 m lang pelefundamentert bru, og det ble oppnådd en kostnadsbesparelse på 3 millioner kroner eller 40 % av brukostnaden. Tunnelene består av to sideelementer og et topelement med betongtykkelse 26 cm og tunnelbredde 9,7 m. Betongelementene er relativt tynnveggede, og kombinert med leddet mellom sideelementet og topelementet, medfører dette samvirke med omkringliggende masser. Grunnen består av fast leire og betongelementene er fundamentert på stripefundamenter. Jordtrykket ble målt under lagvis oppfylling av masser rundt tunnelene og det er utført langtidsmålinger i en periode på over 3 år. Det er foreslått en metode for beregning av aksialkraften i betongelementtunneler.

1. VALG AV LØSNING

I 1992 ble det bygd to betongelementkulverter for henholdsvis ny E6 og jernbane ved Medby i Saltdal. Opprinnelig var det planlagt en 100 m lang bru som skulle krysse både jernbanen og ny E6. Etter forslag fra Veglaboratoriet ble det valgt to betongelementkulverter istedenfor bru.

En pelefundamentert 100 m lang bru ble kostnadsregnet til 7 millioner kroner.

Løsningen med to betongelementkulverter ble kostnadsregnet til 4 millioner kroner, dvs. en besparelse på 3 millioner kroner, Steinsgård (1992).

Et tverrsnitt av den ene betongelementtunnelen er vist på Figur 1.

Tunnelene består av to sideelementer og et topelement (Type Matière) og ble levert av Partek Østspenn.

Betongelementene er relativt tynnveggede (tykkelse 260 mm) og kombinert med ledd mellom sideelementet og topelementet medfører dette samvirke med omkringliggende masser.

Kostnadene for selve betongelementene var kr. 33000 pr. lm ferdig montert inkl. tetting av skjøter. Fleksible stålrørsbuer på betongfundamenter ble vurdert, og kostnadsregnet til kr. 29000 pr. lm ferdig montert. Stålrørene krever 90 cm mere overdekning enn betongelementene og var ikke aktuelle pga. for stor byggehøyde. For en mere detaljert beskrivelse av betongelementer og fleksible stålrør vises det til Vaslestad (1993).

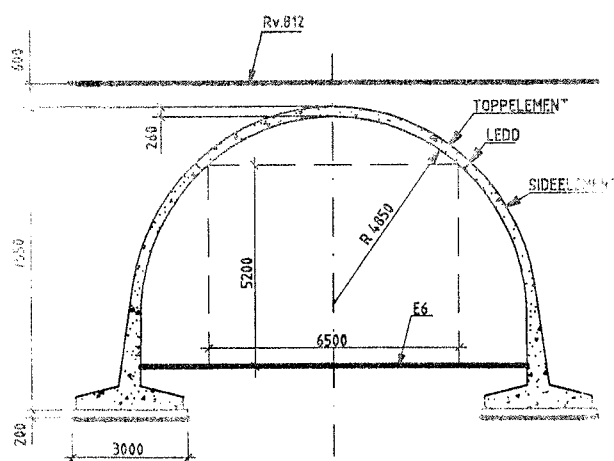


Fig. 1 Tverrsnitt av betongelementtunnelen for E6

2. GRUNNFORHOLD

Grunnen består av 3 til 4 m sandige og grusige masser over leire og siltig leire til stor dybde. En boring er avsluttet 53,8 m under terreng uten at fjell er påtruffet. Leira er lite sensitiv med en udrenert skjærstyrke i området 40 til 100 kPa, dvs. i hovedsak fast leire.

Treaksialforsøk viste følgende styrkeparametre for leira:

- Attraksjon $a = 12 \text{ kN/m}^2$
- Friksjonsvinkel $\varphi = 30^\circ$

Ødometerforsøk viste at leira var normal-konsolidert med modultall $m = 40 - 50$ og konsolideringskoeffisient $c_v = 25 - 80 \text{ m}^2/\text{år}$ i det aktuelle spenningsområdet. Grunnvannstanden ble målt til å ligge 2 til 2,5 m under terreng. Grunnforholdene er beskrevet av Sleipnes (1990).

3. UTFØRELSE

Elementene ble transportert med jernbane til byggeplassen. Som fundament ble det plasstøpt en 3 m bred og 200 mm tykk betongplate etter en avretting med 50 mm magerbetong.

Før montering av betongelementene ble det lagt ut inntil 40 mm fin sand for avretting. Betongelementene ble montert i januar 1992. Krav til trykkfasthet for betongelementene var 55 Mpa og ble utført i klasse MA med armeringsoverdekning på 40 mm. Kontroll av betongtrykkfasthet på i alt 52 prøver viste en midlere trykkfasthet på 68,8 Mpa. Figur 2 viser montering av vegtunnelen etter at jernbanetunnelen er montert.

Etter montering ble den ytre delen av fundamentene med bredde 1,1 m plasstøpt.

Betongelementene har bredde 2,5 m og etter montering ble det lagt membran av type Icopal PMA 250 med bredde 500 mm over alle elementskjøter. Ytterligere tetting ble utført ved at det ble lagt armert plastfolie mellom 2 lag fiberduk som ble plassert i massene 200 mm over tunneltaket.

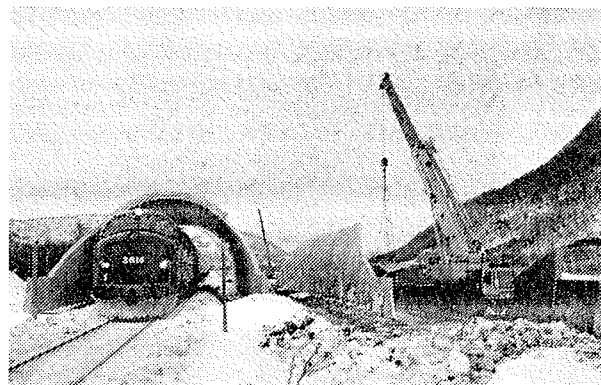


Fig. 2 Montering av betongelementer

Det ble brukt velgradert grus som omfyllingsmasser rundt tunnelene. Grusen ble lagt ut i maksimalt 300 mm tykke lag ved hjelp av dozere. Maksimal høydedifferanse på hver side av tunnelene var 300 mm.

I en sone på 3 m fra tunnelveggen ble det brukt telefrie (T1) masser. Utenfor 3 m sonen ble det brukt noe telefarlige (T2) masser.

Til komprimering ble det benyttet en 6 t vibrerende slepevals av type Dynapac CH 47 som gikk 6 overfarter på hvert lag. Nærmest betongelementene (1 m sone) ble det benyttet platevibratorer.

Dimensjonerende krav til komprimeringsgrad var 97 % Standard Proctor. Krav til middelvei av enkeltmålinger var 98 % Standard Proctor. Kontroll av komprimeringsgrad ble utført med Troxler 3411 B, totalt 32 målinger.

Målingene viser en komprimeringsgrad mellom 100 og 102 % Standard Proctor. Den høye komprimeringsgraden skyldes lett komprimerbare velgraderte grusmasser. Maksimal kornstørrelse var 63 mm. Kontrolldataene er beskrevet av Breivik (1993).

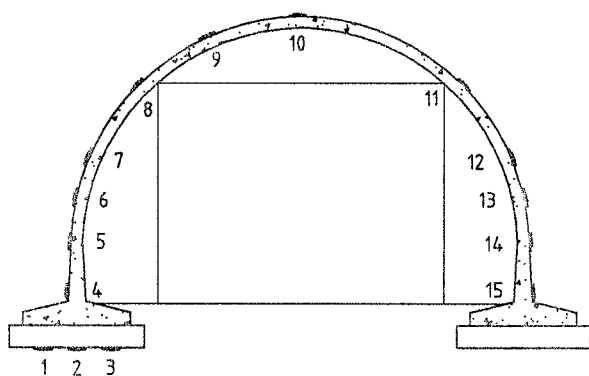
4. INSTRUMENTERING

Til måling av jordtrykk ble det montert 15 stk. jordtrykksceller av type Gløtzl på tunnelen for E6. Jordtrykkscellene er hydrauliske og fungerer ved at olje pumpes inn i en tilløpsslange. Når oljetrykket overskrider jordtrykket mot cella, åpnes en membran og oljen kan strømme tilbake til oljepumpa via en returslange. Trykket blir registrert på et

manometer som sitter på oljepumpa. Erfaringene er gode med hydrauliske jordtrykksceller av denne typen brukt til langtidsmålinger, Vaslestad (1993).

De tre første jordtrykkscellene (celle nr 1 til 3) ble lagt ut i massene 100 mm under magerbetongen i vestre fundament for vegtunnelen.

De 12 andre jordtrykkscellene (celle nr. 4 til 15) ble montert på betongveggen. Plassering av jordtrykkscellene er vist på Figur 3. Det ble montert temperaturfølere ved celle nr. 4, 6, 8 og 10.



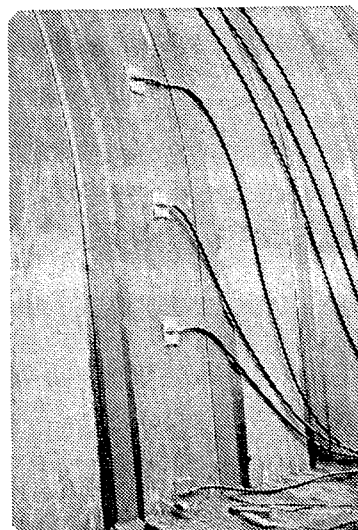
Figur 3 Plassering av jordtrykksceller

Mellom betongveggen og jordtrykkscellene ble det påført epoxy for å få en jevn anleggsflate. Cellene ble deretter festet i hvert hjørne med ekspansjonsbolter.

Slangere fra jordtrykksceller og ledninger fra temperaturfølere ble samlet i et måle-skap.

Langtidsmålinger er foretatt av mannskap fra Statens vegvesen Nordland.

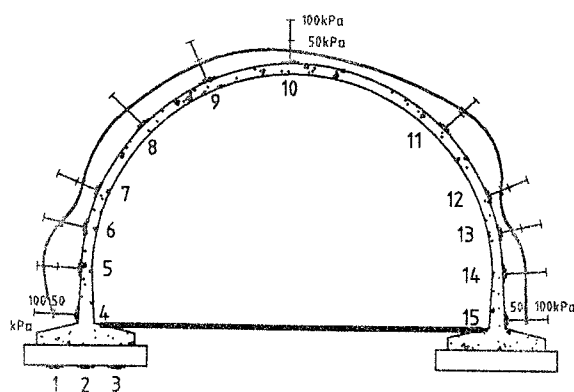
Jordtrykkscellene nr. 4 til 7 er vist på Figur 4. Figuren viser også den 0,5 m brede membranen som ble montert over skjøtene.



Figur 4 Jordtrykksceller ferdig montert på betongtunnelen

5. RESULTAT AV INSTRUMENTERING

Det målte jordtrykket 3 år etter at tunnelene er ferdig tilbakefylt (august 1995) er vist på Figur 5.

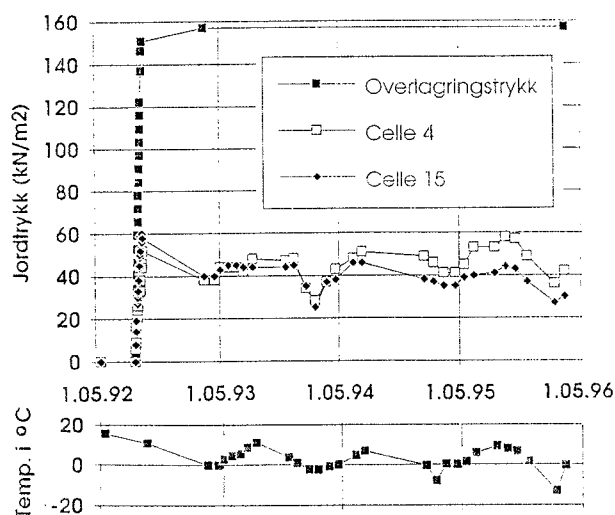


Figur 5 Målt jordtrykk rundt tunnelen (august 1995)

Jordtrykket rundt tunnelene er ellers relativt symmetrisk bortsett ifra jordtrykkscellene 5 og 6 på venstre side (mot jernbanetunnelen) som viser en del høyere jordtrykk enn jordtrykkscellene 13 og 14 på høyre side. Dette kan skyldes en bedre komprimering mot celle 5 og 6 pga. innspenning mot jernbanetunnelen.

Jordtrykket på celle 7 og 12 (under leddet) er relativt lavt i forhold til celle 8 og 11 (over leddet). Tilsvarende jordtrykksfordeling er tidligere målt på en instrumentert Matièrekulvert i Irland, Orr og O'Neill (1993).

På figur 6 er det vist hvordan jordtrykket varierer over årstidene med temperaturen for celle 4 og 15. Det er montert temperaturføler ved celle nr. 4.



Figur 6 Målt jordtrykk for celle 4 og 15

Figur 6 viser at jordtrykket er lavest ved lave temperaturer, spesielt temperaturer under 0° Celsius. Overlagringstrykket (γH) ved cellene er også tegnet inn. Et midlere målt jordtrykk på 45 kPa tilsvarer en målt horisontal jordtrykkskoeffisient $K = 0,29$. Med en friksjonsvinkel på 38° er aktiv jordtrykkskoeffisient $K_A = 0,24$ for ruhet $r = 0$.

6. DIMENSJONERING

Betongelementtunneler av type Matière dimensjoneres ved hjelp av et program utviklet i Frankrike, Programmet er nærmere beskrevet i Bro (1989).

Geotekniske parametre i programmet er basert på grunnundersøkelser med pressiometer, som ikke brukes i Norge. Det er derfor laget en veiledning for bestemmelse av geotekniske parametre som skal brukes i programmet, Grøner (1995).

Det er ønskelig å kunne utføre en bestemmelse av snittkrefter i konstruksjonen

uten tilgang til dette programmet.

For bestemmelse av aksialkraften i denne type konstruksjoner kan det benyttes en metode som beskrevet av Vaslestad (1993). Metoden er opprinnelig utviklet for fleksible stålrør.

Disse betongelementene er tynnveggede og ved å bestemme fleksibilitetstallet, kan det sees at konstruksjonen er fleksibel.

Fleksibilitetstallet kan bestemmes av følgende formel, Leonhardt (1979):

$$\eta = \frac{EI}{MR^3} \quad (1)$$

der E = elastisitetsmodulen for betong = $30 \cdot 10^6$ kPa, I = treghetsmomentet = $1,465 \cdot 10^{-3}$ mm⁴/m, M = ødometermodulen = 40 Mpa for komprimerte grusmasser og R = radius = 4,85 m

Innsatt i (1) fåes $\eta = 0,01$.

Leonhardt (1979) brukte følgende inndeling av fleksibilitet:

Fleksibel $\eta < 0,1$

Middels $\eta = 0,1 - 1$

Stiv $\eta > 1$

I følge denne definisjonen er konstruksjonen fleksibel.

For fleksible konstruksjoner kan jordtrykkskoeffisienten for horisontalt jordtrykk beregnes av følgende uttrykk, Vaslestad (1990):

$$K = \frac{0,18 + \eta K_A}{0,18 + \eta} \quad (2)$$

der K_A = aktiv jordtrykkskoeffisient for ruhet $r = 0$

Med friksjonsvinkel $\varphi = 38^\circ$ fåes $K_A = 0,24$.

Innsatt i (2) fåes $K = 0,96$.

For store fleksible stålrør er jordtrykkskoeffisienten målt til $K = 1 - 1,3$,

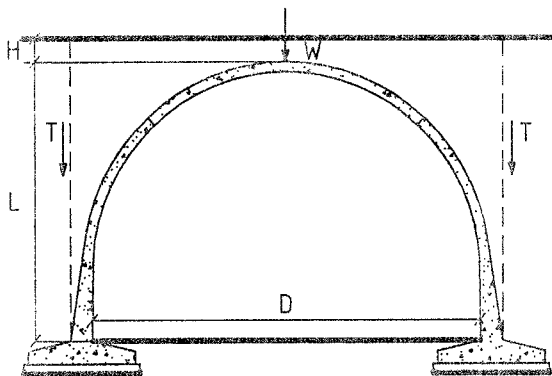
Vaslestad (1993).

Ved å se på det målte jordtrykket over leddet på konstruksjonen (celle 8 og 11), kan det sees at den målte jordtrykk-skoeffisienten ligger rundt $K = 0,80 - 1,10$ avhengig av årstiden.

Aksialkraften kan beregnes fra følgende formel:

$$P = 1/2 \gamma [D (H + 0,2L) + S_{vn} (H+L)^2] \text{ [kN/m]} \quad (3)$$

Aksialkraften P består av halve tyngden W av jordmassene over tunnelen, i tillegg til en nedadrettet skjærkraft T , som vist på Figur 7.



Figur 7 Aksialkraft i betongelementtunnel

I formel (3) er

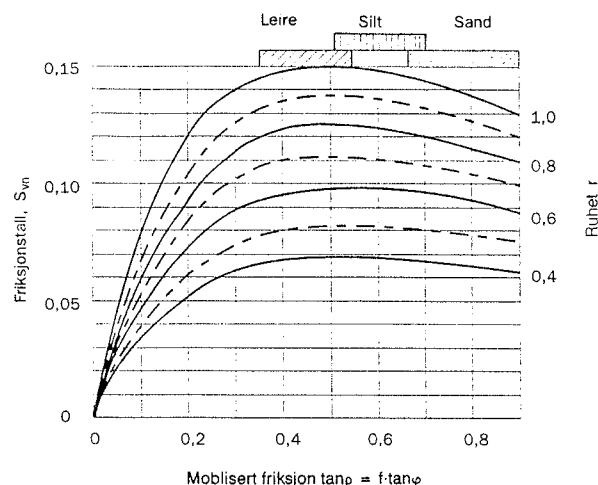
$$\begin{aligned} \gamma &= \text{tyngdetetthet av masser [kN/m}^3\text{]} \\ S_{vn} &= \text{friksjonstall etter Janbu (1976)} \end{aligned}$$

Friksjonstallet S_{vn} er en funksjon av mobilisert friksjonsvinkel $\tan \rho$ og ruheten r og kan finnes fra Figur 8.

Mobilisert friksjonsvinkel $\tan \rho = f \tan \phi$. Med en mobiliseringsgrad $f=0,71$ ($\gamma_m=1/f=1,40$) fåes $\tan \rho = 0,55$. Figur 8 gir $S_{vn} = 0,125$ for en ruhet $r = 0,8$.

Med tyngdetetthet $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, overdekning $H = 0,6 \text{ m}$, avstand $L = 7,0 \text{ m}$, bredde $D = 9,7 \text{ m}$ fåes innsatt i (3):

$$P = 266 \text{ kN/m}$$



Figur 8 Friksjonstallet S_{vn} , etter Janbu (1976)

Maksimal aksialkraft i betongtunnelene i bruksgrensetilstand i henhold til Aadnesen (1991) er i samme størrelsesorden uten trafikklast.

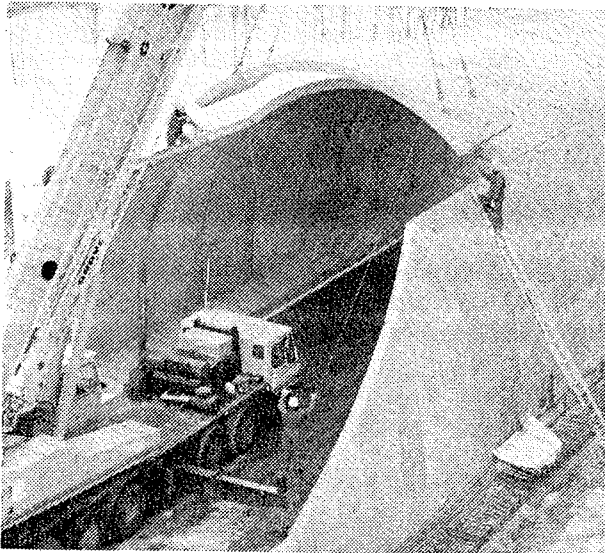
7. KONKLUSJON

Betongelementtunneler av denne typen har kort byggetid og kan være et gunstig alternativ til plasstøpte tunneler eller mindre bruer, se Figur 9 til 11.

Konstruksjonene av tynnveggede betongelementer er fleksible og krever en godt komprimert omfylling (Minimum 97 % Standard Proctor komprimeringsgrad).

Jordtrykkmålinger viser en gunstig jordtrykksfordeling rundt tverrsnittet.

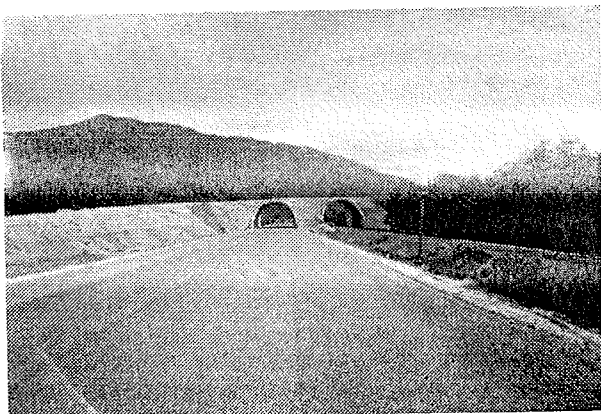
Det må utvises spesielle varsomhet ved skjevbelastning, dette krever en grundig geoteknisk vurdering. Spesielt brukt som rasoverbygg i skråterreng må det påses at konstruksjonene får skikkelig sidestøtte. Ved dårlige grunnforhold må det vurderes å bruke hel bunnplate istedenfor stripefundamenter. Setninger (spesielt skjevsetninger) må vurderes nøye ved bruk av metoden.



Figur 9 Montering av toppement



Figur 10 Betongelementtunneler før tilbakefylling



Figur 11 Ferdig tilbakefylte betongelementtunneler

REFERANSER

- Breivik, A., (1993). *Komprimering Matière kulverter, E6 HP18, parsell Pothus - Rognan*. Kontrollrapport. Statens vegvesen Nordland, Laboratoriet. Oppdrag 01293
- Carl Bro A/S, (1989). *Perstrup Matière Tunnel. Statistiske beregninger*. Rapport november 1989.
- Grøner A/S, (1996). *Matière tunnelsystem. Bestemmelse av geotekniske data til dimensjoneringsprogrammet Robot*. Rapport januar 1996.
- Janbu, N. (1976). Static bearing capacity of friction piles, *Proceedings 6. European conference on SMFE, Wien, Vol 3*, pp.479-488.
- Leonhardt, G., (1979). *Die Erdlasten bei überschütteten Durchlässen*. Die Bautechnik, Vol.56, No.11, pp361-367.
- Orr, T. and O'Neill, H. (1993). *Precast concrete culverts*. The Engineers Journal. Journal of the Institution of Engineers of Ireland, pp.47-49, October 1993.
- Sleipnes, A., (1990). Rv812-01: Medby x E6 - Skar. Ny bru over E6/jernbanen. Profil 6150-6450. Statens vegvesen Nordland, Laboratorieavdelingen.
- Steinsgård, A., (1992) Tunneler isteden for bro i Saltdal: Ny løsning sparte oss for 3 millioner kroner. Skvættlappen (Bedriftsavis for Statens vegvesen Nordland), Nr. 2/92
- Vaslestad, J., (1993). *Stål- og betong-elementer i løsmassetunneler*. Publikasjon nr. 69, Vegdirektoratet. Veglaboratoriet.
- Vaslestad, J. (1990). *Soil-structure interaction of buried culverts*. Doktor ingeniøravhandling 1990:7. Institutt for geoteknikk, Norges Tekniske Høgskole.
- Aadnesen, L., (1991). *Statistiske beregninger for Matière-tunneler ny E6 Medby - Kvalnes*. Rapport til Statens vegvesen Nordland, 2. juli 1991.