

NORGES STATS BANER  
HOVEDADMINISTRASJONEN — OSLO 1

Telegr.adr.: Jernbanestyret  
Postadresse: Storgaten 33  
Telefon: (02) 20 95 50

4065.1  
Gjenpart: Bgk, Bvk, Saken.

Bilag (antall)

1

Forsker J. Frøysland  
Institutt for veg og jernbane

7034 NTH TRONDHEIM

Deres ref. og datum

Eget saknr. og ref.

Datum

8300/18 B/H.N.

-7. SEP. 1976

Sak

UTVIKLINGSPROSJEKT VED SINTEF/NTH  
SPENNINGER OG DEFORMASJONER I GRUNNEN VED DYNAMISK BELASTNING  
FRA JERNBANETOG

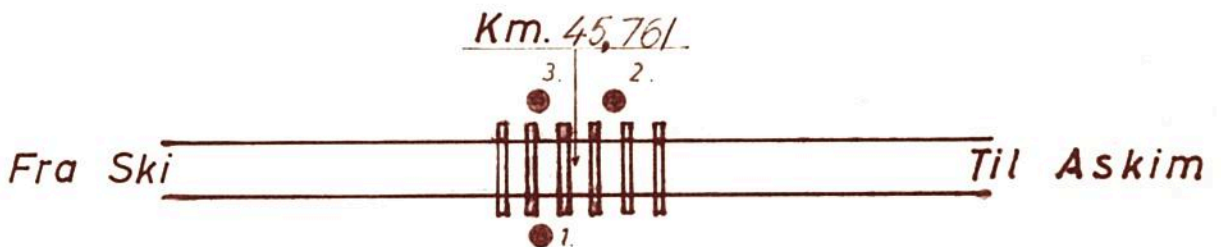
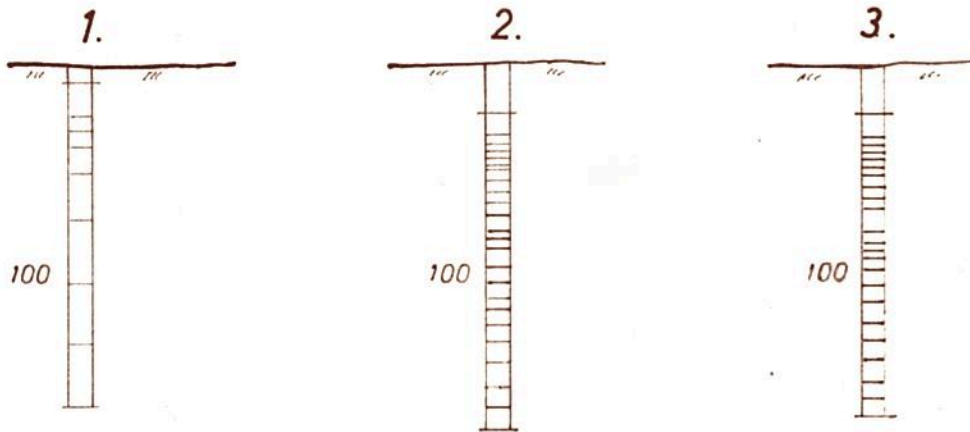
Romvektbestemmelse av grus, dreiesondering og prøvetaking av leire, fra Østfoldbanen Ö. linje km 45,761, er utført. Resultatene er fremstilt på vedlagte tegning Gk 4065,1.

Prøvene som er tatt med 54 mm prøvetaker er sendt til Deres adresse. I samme forsendelse er sendt endel pukkprøver. Stålkassene bes vennligst tilbakesendt til NSB, Geolageret, Tomtekaia 21, Oslo. Forsendelsen går fraktfritt som ekspressgods.

Pukklaget er ca. 0,45 m tykt. Derunder er det grus til ca. 1,30 m med underliggende leire, fast lagret. Grusens (sandens) romvekt er funnet å være 1,61 og 1,55 t/m<sup>3</sup> i henholdsvis fuktig og tørr tilstand.

NSB imøteser med interesse den videre bearbeidelse av materialet.

For Generaldirektøren



Sand (underbalast)

Romvektbestemmelse.

Fuktig: 1,61 t/m<sup>3</sup>

Törr : 1,55 — —

Tegnforklaring: N.G.F. 1974.

En boringsbok.

21,471 km fra Ski

<b>Ballast-trykkmålinger</b> <b>Grunnundersøkelse</b> Oppdrag av N.T.H. Østfoldb. Ö.l. Km. 45,761.	Målestokk 1:200	Boret Aug. 76. Kpv. Tegnet — " — <i>H. Nilssen</i>
	Situasjonsplan. Tre dreiesonderinger.	Søk nr. <b>Gk. 4065</b>



# Påkjenninger i grunnen ved toggang

av Harald Brennodden, SINTEF avd. Vegteknikk

## Innledning

Denne artikkelen tar for seg måling av spenninger og deformasjoner i en jernbanekonstruksjon ved trafikkbelastning. Det er en del av et prosjekt som NSB finansierer ved SINTEF's avdeling for vegteknikk. Prosjektet starta i 1976 sammen med lignende prosjekt støttet av Vegdirektoratet og NTNf. «Dynamisk belastning av trafikkanlegg» er fellesnevneren for disse prosjektene. De undersøker hovedsakelig de dynamiske egenskapene til aktuelle materialer for veg- og jernbanebygging. Tidligere anvendte man statiske laster ved dimensjonering.

Jon Frøisland var saksbehandler for NSB det første året hvor innledende teoretiske betraktninger og laboratorieforsøk ble utført. Undertegnede overtok etter Frøisland som gikk over til NSB, Bergen Distrikt. Prosjektet skal avsluttes innen utgangen av 1981.

SINTEF-avdelinga er sterkt integrert i Institutt for veg- og jernbanebygging ved NTH. Således blir begge styrket faglig. Professor Nordal, professor Svennar og dosent Noss er nyttige rådgivere på NSB-prosjektet i tillegg til de SINTEF-ansatte.

## Målsetting

I dag er dimensjonering av nyanlegg og forsterkning basert på erfaringsdata. Dette begrenses på grunn av bestemte forutsetninger og vil være usikker ved nye forhold. Det blir da til at en overdimensjonerer rikelig for å være på den sikre siden. Knapphet på egnede materialer sammen med begrensninger i økonomi tvinger en over til vurderingsmetoder som kan brukes ved flere forskjellige forhold og som inneholder en riktigere bedømmelse av materialene.

Ut fra analyse av et vanlig tverrprofil skal prosjektet prøve å etablere generelle sammenhenger mellom aksellast, hastighet, over-/underbygning og påkjenninger i grunnen. En håper å gi et bidrag til en mer økonomisk

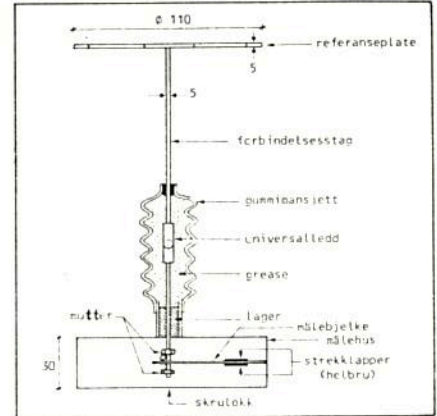


Fig. 3. NSB-toyngningsmåler.

utnyttelse av grus- og steinmaterialene i en jernbanekonstruksjon, spesielt ved vanskelige grunnforhold.

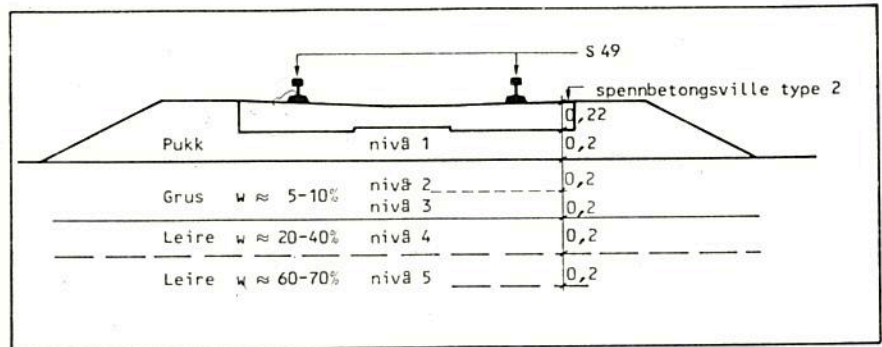
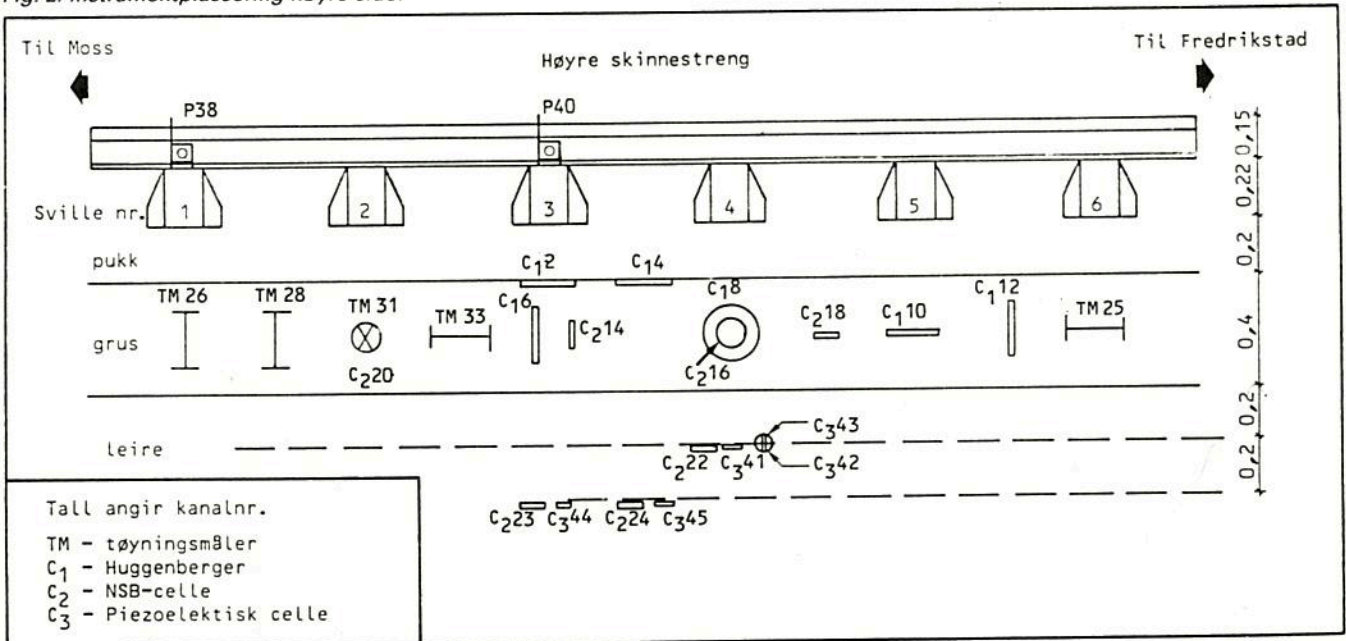


Fig. 1. Tverrprofil km 87,6 Onsoy

Fig. 2. Instrumentplassering høyre side.





### Prosjektets 3 deler

Prosjektet består av:

- Laboratorieundersøkelser på leire, grus og pukk fra det utvalgte tverrprofil
- Måling av spenninger og deformasjoner i sporet ved trafikkbelastning
- Teoretiske analyser på EDB

Del a) går ut på å fastlegge styrkeparametre ved dynamiske belastningsforsøk i triaksialapparat. Interessante data er dynamisk deformasjonsmodul (resilient modul), tverrkontraksjon, mobiliseringsgrad og utvikling av plastisk deformasjon. Modul og tverrkontraksjon er nødvendige inngangsdata ved etterberegning av spenninger og deformasjoner som også blir målt i og under sporet (del b)).

Del c) baseres hovedsakelig på et EDB-program som indirekte foretar en tre-dimensjonal analyse av jernbansporet ved gitte forhold. Programmet er utviklet i Illinois spesielt for jernbane, og bygger på elementmetoden og elastisitetsteorien. Utgangsdata kontrolleres med feltmålingene.

### Feltmålinger

I dette arbeidet har en vært helt avhengig av hjelp fra Geoteknisk kontor og Teknisk laboratorium ved NSB. Banedirektør Hartmark (leder av Geoteknisk kontor fram til årsskiftet 79/80) og avd.ing. Nilsen fra Geoteknisk kontor har vært sentrale personer ved oppløring av målested og praktisk gjennomføring av feltmålingene. Laboratoriesjef Bøhn, avd.ing. Høgvard og laborant Crowo ved Teknisk laboratorium har lagt ned et stort arbeid ved utvikling av nye instrumenter og ved gjennomføring av målingene. Banemestrene i Stjørdal og Moss har også vært meget hjelpsomme.

Forsøkene startet i Stjørdal med spenningsregistrering og måling av svillebevegelse. Høy grunnvannstand gjorde instrumenteringsarbeidet vanskelig så forsøkene ble avsluttet våren 1978.

Etter testing av måleutstyr i et sidespor ved Teknisk laboratorium på

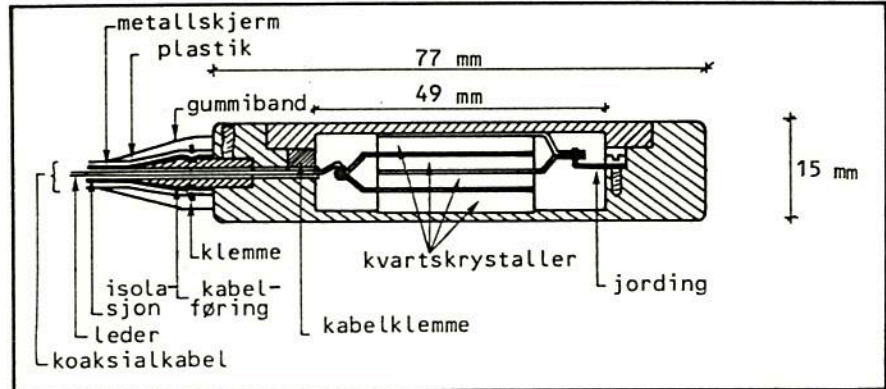


Fig. 6. Snitt piezoelektrisk jordtrykkcelle.

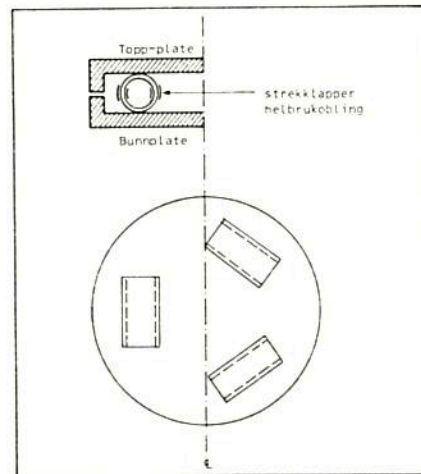


Fig. 4. Snitt av Huggenberger jordtrykkcelle.

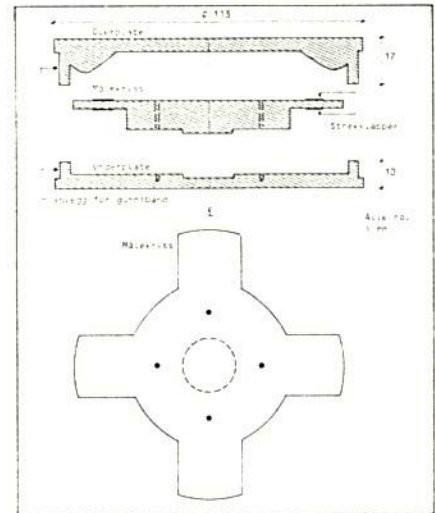


Fig. 5. Prinsipiell oppbygging av NSB-trykkcelle for grus.

Onsdag 25/10 (1 dag etter innbygging), 28/11 (ca 1 mnd. etter innbygging)

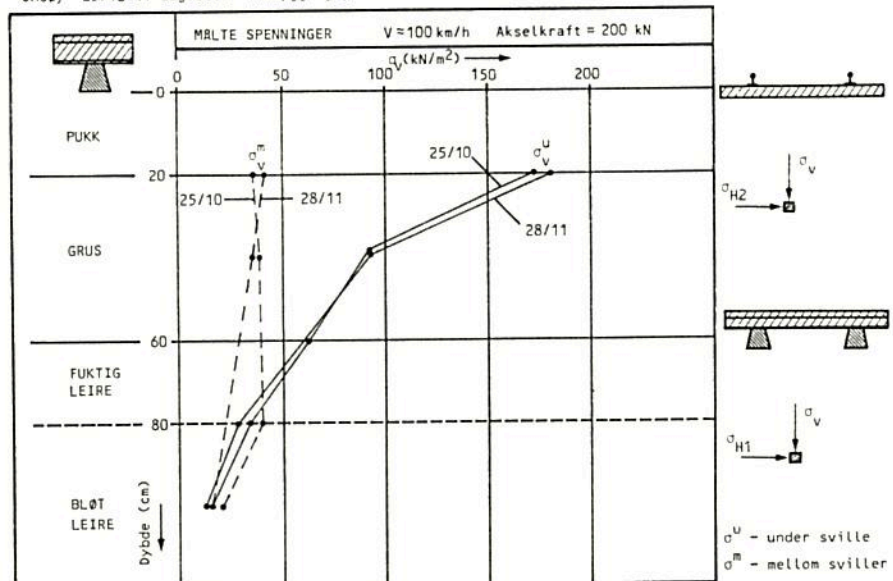


Fig. 7. Vertikalspenningens variasjon med dybden. Belastning EI 16.

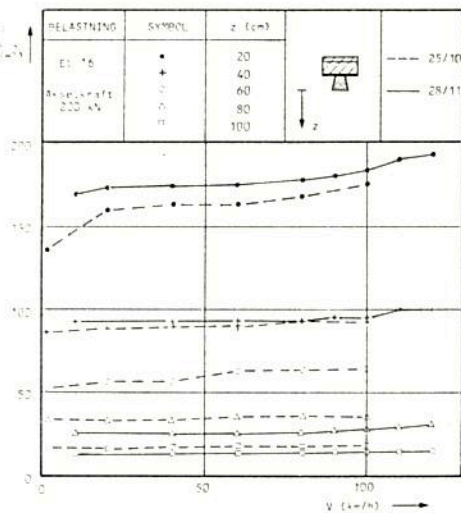


Fig. 8. Vertikalspenning i flere dybder ved forskjellig hastighet.

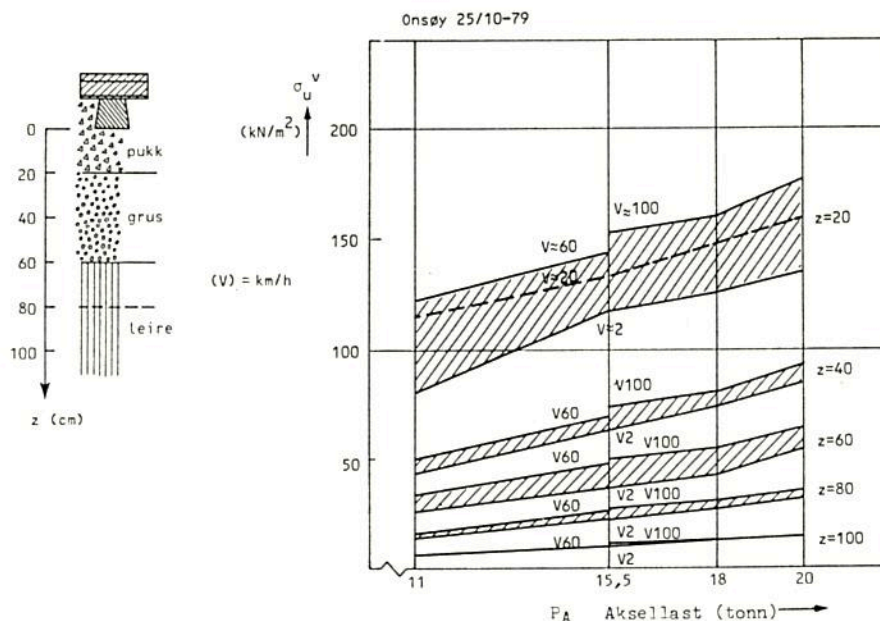


Fig. 9. Vertikalspenning ved forskjellig aksellast 1 dag etter innbygging

Grorud, ble feltmålingene flyttet til Onsøy ved Fredrikstad (km 87,6).

Sporet går her i lav skjæring på leirundergrunn og er rettlinjet og horisontalt. Fig. 1 viser et tverrprofil fra målestedet. Grus fungerer som filterlag mellom ballast og leire. Under et tørrskorpeaktig lag på ca. 20 cm, er leira bløt med uomrørt skjærstyrke omkring 10 kN/m<sup>2</sup>.

Det ble instrumentert i 5 nivåer rett under sville/skinne på begge sider. Til å måle svillebevegelsene benyttet en potensiometre. Fig. 2 viser oppsettet under høyre skinnestreg. P angir potensiometer, TM står for tøyningsmåler og C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> og C<sub>3</sub> er spenningsmålere. I gruslaget og øvre del av leira registreres horisontale spenninger i lengde- og tverretning i tillegg til vertikaltretningen. Bare gruslaget har tøyningsmålere. Også de registrerer i to horisontale retninger i tillegg til den vertikale.

Tøyningsmålerne er utviklet av Teknisk laboratorium. Relativ bevegelse mellom referanseplate og målehus registreres via strekkplapper på en fast innspent målebjelke (fig. 3).

Av spenningsgiverne er C<sub>1</sub> (fig. 4)

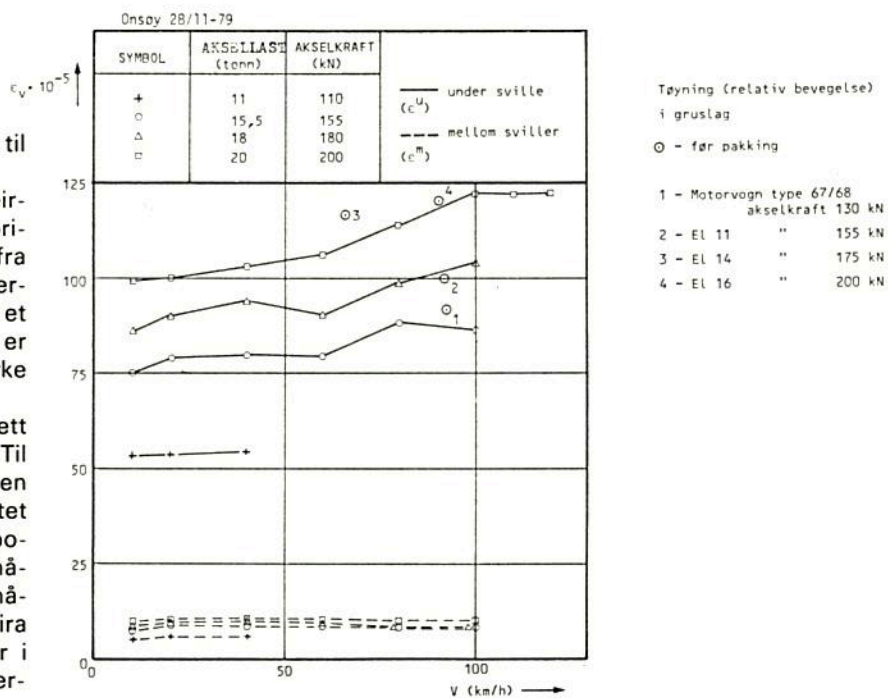


Fig. 10. Maksimal vertikaltøyning ca. 1 mnd. etter innbygging.

og C<sub>2</sub> (fig. 5) basert på strekkplapper. C<sub>1</sub> er benyttet tidligere ved Hartmarks målinger i Spydeberg. C<sub>2</sub> er nylig utviklet ved Teknisk laboratorium. Den tredje typen er utlånt fra Veglaboratoriets bærelagsseksjon i

Oslo (fig. 6). I denne piezoelektriske cella produserer kvartskrystallene ladning når de belastes. Ladningen omformes til et målbart spennings-signal av en ladningsforsterker.

Målearbeidet ble konsentrert tak-





A STUDY OF THE BEARING CAPACITY OF A RAILWAY  
TRACK SUPPORT SYSTEM

Harald Brennodden    Geotechnical Division  
                          The Norwegian Institute of Technology  
                          Trondheim

SUMMARY

The permanent railway of the Norwegian State Railways (NSB) is requested to carry greater loads at higher speeds, which leads to requirements for greater stability and more durable railway track support. It is, therefore, of great importance that the behaviour of soils under repeated loads is fully understood.

The present article describes a project initiated and financed by NSB, and carried out in the period from 1976 to 1981 at SINTEF/NTH.

The project can be divided into three parts:

- laboratory testing of soil materials
- field measurements of stresses, strains and deflections
- analytical approach with:
  - the finite element method
  - the Boussinesque/Burmister - theory
  - simplified hand-calculations.

The result indicated that stresses, strains and rail-deflection were directly related to the axle load and speed. The effect of increased axle loads and speed was strongly reduced with depth.

A fair agreement between observed and calculated static stresses and strains were found. Rough hand-calculations could also give a reasonable estimate of the static stress level.

1. INTRODUCTION

The main objective was to study the static and dynamic soil reactions in a railroad track support system during train loading in order to better estimate the bearing capacity. The problem is complex and has to be approached from at least three directions:

1. Laboratory tests on soil and crushed rock materials to establish strength parameters for input in EDB-programs.
2. Field measurements of stresses, strains and rail-deflection to reveal the influence of axle loads and speed.
3. Calculations of stresses, strains and rail deflection with three dimensional EDB-programs. The geometry of the models



are calibrated by field tests and the results can finally be used to calibrate rough estimates.

Three-dimensional analyses are too expensive for common use, and the requirements for simple forecast methods of the dynamic bearing capacity are obvious.

The following sections will give a summary of the work carried out and the main results achieved (Ref. 1).

## 2. LABORATORY TESTS

A straight and horizontal section, a few kilometers north of Fredrikstad, was chosen as a test field. The track support consisted of ballast and sand overlying marine clay with a dry crust at the top.

The clay and sand material were tested in a triaxial apparatus, both under static and dynamic loading, whereas the ballast was tested by plate loading. The stress-levels in the tests were according to the field test results. The main results from the laboratory tests are:

<u>Clay:</u>	"dry" crust	soft clay
• water content	$w = 37\%$	$w = 65\%$
• plasticity index	$I_p = 28\%$	$I_p = 41\%$
• undrained shear strength	$s_u = 85\text{kPa}$	$s_u = 18\text{kPa}$
• sensitivity	$S_t = 2$	$S_t = 5$
• clay content $< 2 \mu\text{m}$	40%	59%
• preconsolidation pressure	$p'_c \approx 150 \text{ kPa}$	$p'_c \approx 150 \text{ kPa}$
• dynamic deformation modulus at in-situ stress level	$M = 30 \text{ MPa}$	$M = 20 \text{ MPa}$

### Ballast:

- main minerals: Quartz 27%, Feldspar 63%, Biotite 10%
- grain size : 70% in 30-60 mm - fraction  
30% in 10-30 mm - fraction
- deformation modulus:  $M = 69 + 0.30 \cdot \sigma_1$



Sand:

- water content in the test :  $w = 8.5\%$
  - unit weight (dry) :  $\gamma_d = 20.3 \text{ kN/m}^3$
  - unit weight of solid particles :  $\gamma_s = 26.9 \text{ kN/m}^3$
  - percent in sand fraction < 2 mm :  $\approx 73\%$
  - dynamic deformation modulus at in-situ stress level :  $M = 92 + 0.24\theta$
- where  $\theta = \sigma_d + 3\sigma_3$   
 $\sigma_d = \text{deviatoric stress}$

3. FIELD MEASUREMENTS

Stresses were measured at 5 levels below the railway track, whereas strain was measured only in the middle of the sand (blanket) layer. Installing strain gauges in ballast and clay is difficult and would involve considerable uncertainties in the measured values.

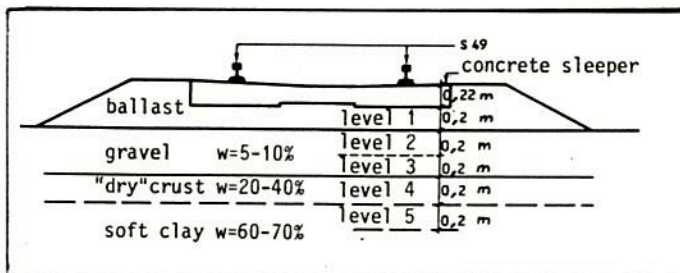


Fig. 3.1 Cross-section of the railway track support system.

Two different sensor units were applied for stress measuring. One type of earth pressure cell contained strain gauges, whereas the other type contained a piezoelectric (quartz-crystal)

sensor unit. Relative displacements in the sand layer were measured over a length of 200 m with devices containing sensor units with strain gauges. Sleeper deflection was registered by potentiometers.

With assistance from NSB, 5 measuring periods were carried out in the period 1979 to 1981. In order to concentrate the measuring period, four connected vehicles with axle loads varying from 110 kN to 200 kN passed the test site with varying speeds up to 120 km/hour.

Typical vertical stresses due to a static axle load of 200 kN are shown in Fig. 3.2. The largest stresses were found beneath each axle. The stress decrease with depth is considerable.

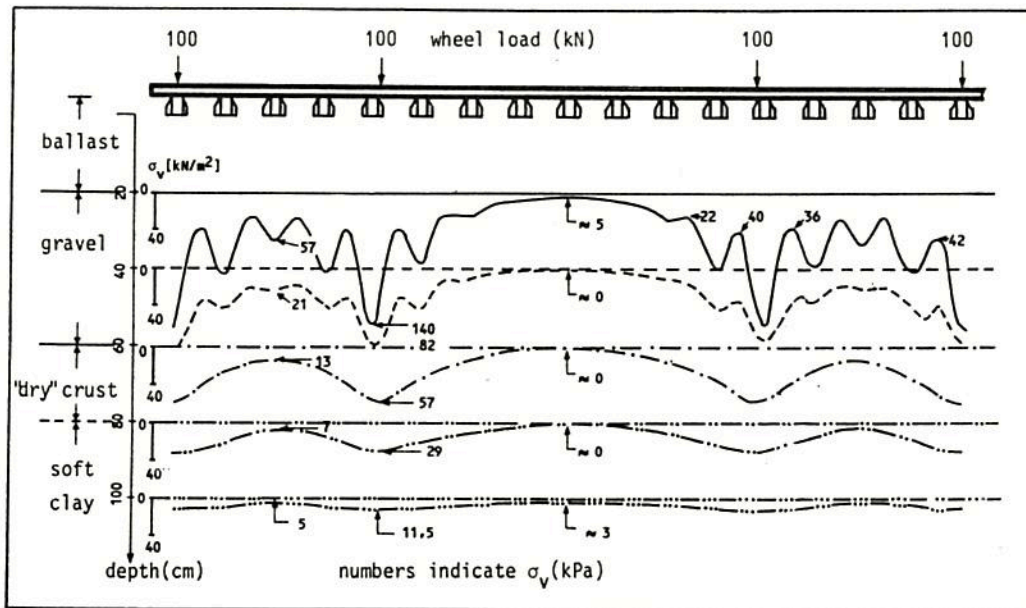


Fig.3.2  $\sigma_v$ -distribution due to static loading.

The results showed that the vertical stress in the upper layer was strongly influenced by the axle load and speed. In the clay the influence of speed was less dominant. Horizontal stresses were less dependent on the axle load and speed than the vertical stresses.

Vertical relative displacements (strains) in the sand layer were dependent on the axle load and speed, whereas horizontal strains in sand were little influenced. Measured values ranged from  $0.5 \cdot 10^{-3}$  to  $1.0 \cdot 10^{-3}$ . Corresponding Poisson's ratios were 0.2 to 0.3 in the transversal direction and 0.1 to 0.2 in the longitudinal direction of the railway.

The rail/sleeper deflection was almost linearly correlated to the axle load and speed.

#### 4. ANALYTICAL APPROACH

The railway track support system was modelled for a 3-dimensional finite element analysis with the EDB-program SESAM (Ref.2).

The basis-element is hexagonal with 20 joints, each with 3 degrees of freedom. The horizontal and vertical boundaries of



the model have been chosen according to field results in order to minimize boundary effects. The model consisted of 843 basis-elements connected by 4622 joints which resulted in 13866 degrees of freedom. (Fig. 4.1).

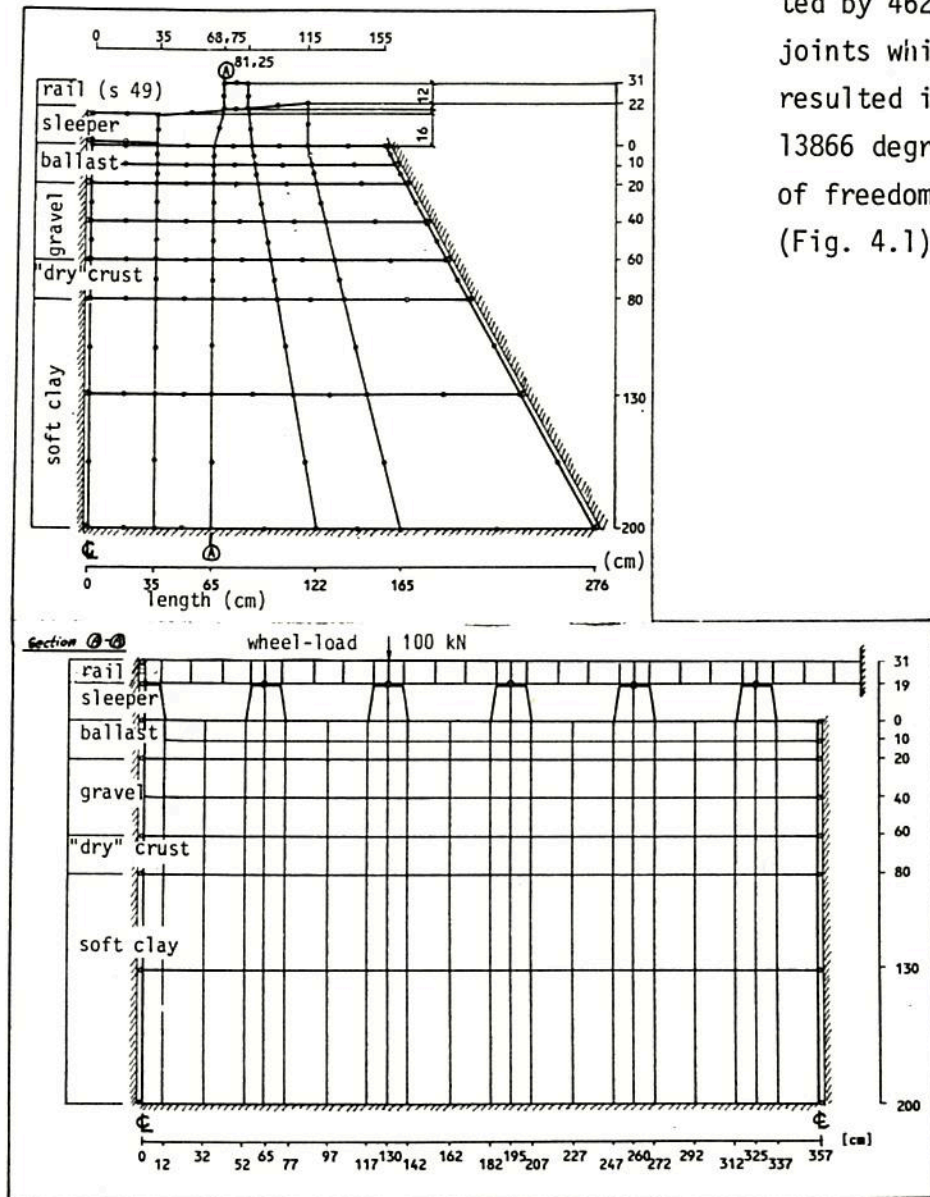
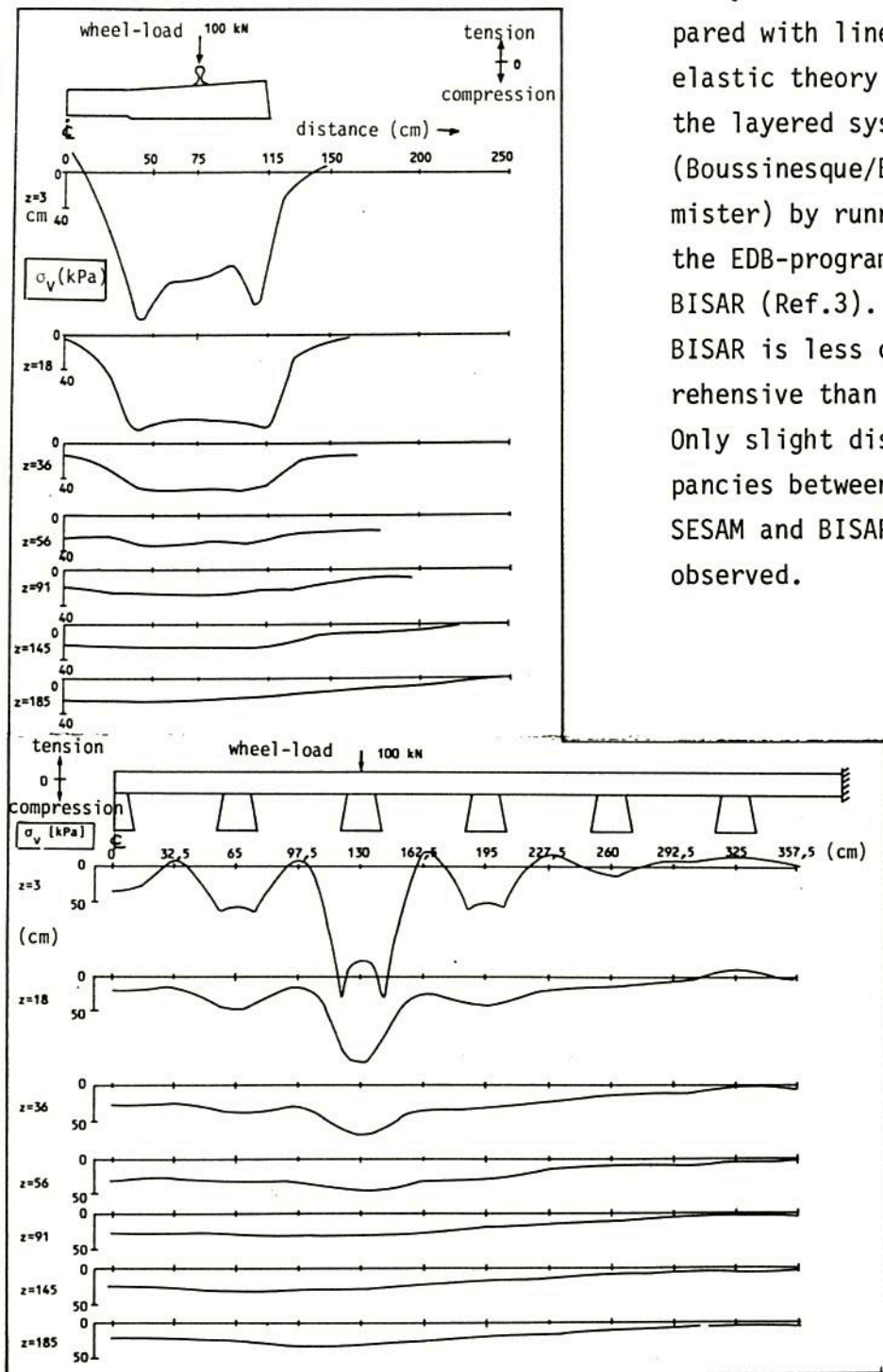


Fig. 4.1. Cross- and longitudinal section of the finite element grid.

The calculations were expensive and could be carried out for only one static load (i.e. 100 kN wheel force). By means of the super element technique, heavily stressed volumes could be recalculated independent of the rest of the volume, as to adjust the modulae to the stress level. Typical results are shown in Fig. 4.2.



The finite element analyses were compared with linear elastic theory in the layered system (Boussinesque/Burmister) by running the EDB-program BISAR (Ref.3). BISAR is less comprehensive than SESAM. Only slight discrepancies between SESAM and BISAR were observed.

Fig.4.2. Vertical stresses computed by SESAM.

In the rough estimate we have assumed that 50% of the wheel load is transferred to the soil through the sleeper beneath the wheel and 25% is transferred through the next sleeper on each side.



In test 1, the vertical stress-distribution is 1:1.4 in the ballast and 1:1 in the underlying layers. In test 2 all layers distribute vertical stress horizontally according to a 1:1 inclination.

Comparing measured and calculated stresses and strains due to static loading (Fig.4.3) the best agreement in vertical stress is found in the dry crust and in the upper soft clay. Calculated strains coincide fairly well in the sand layer.

One may conclude that the rough method is good enough as a forecast method in order to estimate acting vertical stresses in the subgrade due to static loading. Results showed that the stress increase due to vehicle speed is well accounted for by ORE - Office of Research and Experiment in Utrecht (Ref.4).

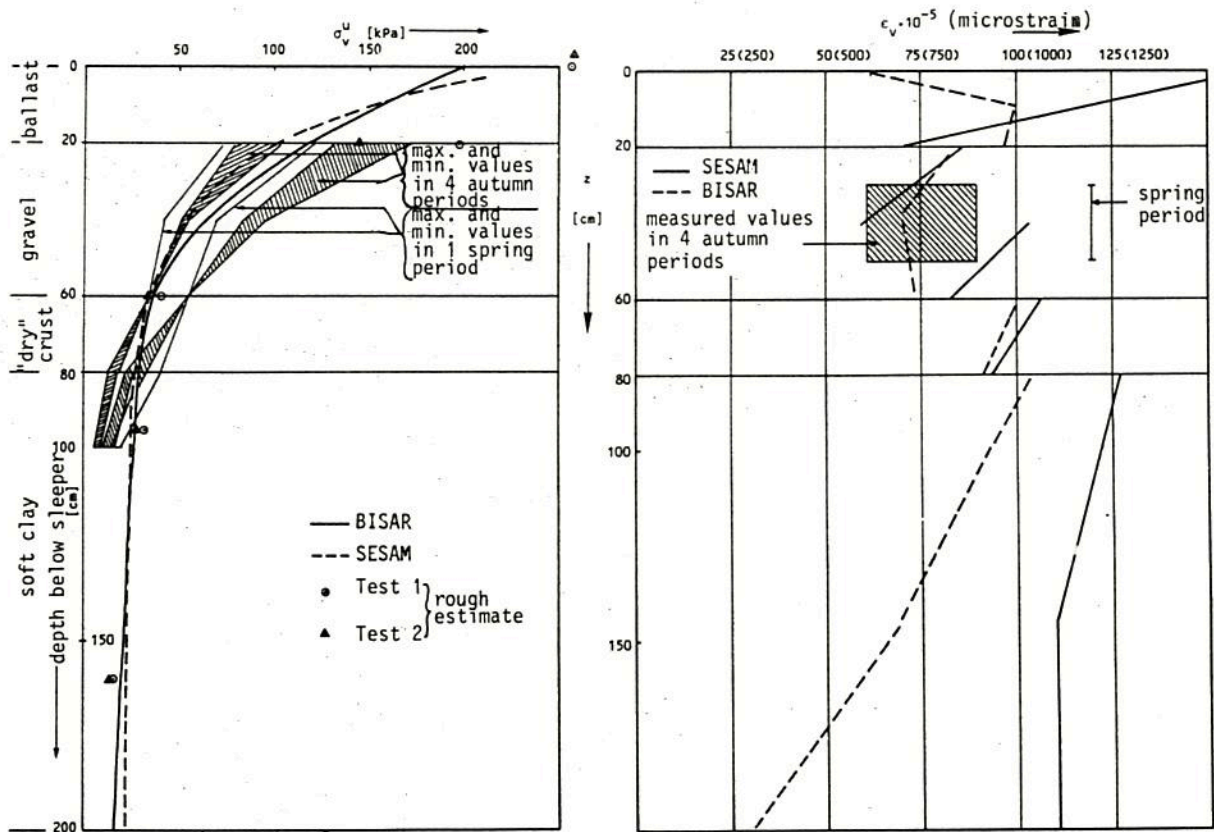


Fig. 4.3. Vertical stress and strain, computed and measured.

The results from the laboratory tests indicated that the degree of mobilization ( $f$ ) was highest in the soft clay. 100 kN wheel-load repeated 100 times (frequency 10 Hz) caused about 10% increase in

the mobilization level.

If the maximum degree of mobilization was set to 0.8 (i.e.  $F = 1.25$ ), a maximum speed of 130 km/h would be recommended for a vehicle with 200 kN axle force on the track at the test-site. A corresponding increase in vertical stress in the clay was estimated to about 40%.

The results from these tests can not be extrapolated to other conditions without knowledge of the dynamic strength of the layer material (different layer system) and the force transfer on inner and outer rail (curves).

#### 5. REFERENCES:

- (1): Brennodden, H. "Spenninger og deformasjoner i grunnen ved togbelastning". Dr.ing.thesis in norwegian. NTH, 1981.
- (2): Det norske Veritas. User's manual - SESAM 69, NV 130C, NV 333C, NV 336C, NV 3406. Computas, Det norske Veritas, Oslo.
- (3): Shell Research N.V. BISAR-manuals. Koninklijke/Shell - Laboratorium, Amsterdam.
- (4): ORE. "Beanspruchung der Schienen", Frage D71/RP 1/D. Office of Research and Experiment, Utrecht 1965.