

TNO-rapport
2000-CON-DYN-R-2106

Instrumentatie statische meetring Botlekspoortunnel Leverings- en inbouwrapport

TNO Bouw

Contactpersoon
Dr.ir. G.P.C. van Oosterhout

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Datum
24 oktober 2000

Auteur(s)
Ir. D.J. Molenaar

Opdrachtgever : COB K300
Postbus 524
3190 AL HOOGVLIET

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksoopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Projectnaam : Botlek
Projectnummer : 006.01513.01.01

Aantal pagina's : 10
Aantal tabellen :
Aantal figuren :
Aantal bijlagen :

© 2000 TNO

Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

TNO Bouw verricht onderzoek en geeft advies over
bouwvraagstukken, voornamelijk in opdracht van onder
meer de overheid, grote en kleine ondernemingen in de
bouw, toeleveringsbedrijven en branche-instellingen.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksoopdrachten aan TNO,
zoals gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's Gravenhage.

Samenvatting

In het kader van de aanleg van de Betuwelijn is een tunnel gepland onder de Botlek nabij Hoogvliet. De tunnel wordt gebouwd door middel van boren. De Botlekspoortunnel is het tweede praktijkproject in Nederland op het gebied van geboorde tunnels. Bij het eerste project, de tweede Heinenoordtunnel, zijn twee geïnstrumenteerde tunnelringen geplaatst. De Tweede Heinenoordtunnel is net zoals de Botlekspoortunnel een gesegmenteerde lining. De belangrijkste waarneming in beide ringen was dat direct na het inbouwen reeds aanzienlijke krachten en momenten in de segmenten optreden. Bovendien blijkt uit de metingen, dat ook op de lange termijn een groot deel van deze zogenaamde montagespanningen in de lining aanwezig blijven.

Een belangrijk gevolg hiervan is dat conventionele rekenmodellen die worden gebruikt om tunnellingings te ontwerpen tot veel lagere krachten en momenten komen dan is gemeten in de Tweede Heinenoordtunnel. Er is daarom besloten om in het kader van K300 wederom de lining te instrumenteren, nu één meetring. Deze werd intensief gemonitord gedurende de eerste week na plaatsing. Het meten startte hierbij vanaf het moment dat een segment in de erector hing.

Dit rapport beschrijft de instrumenten en de wijze waarop de meetring is opgebouwd. De uitwerking van de resultaten staat in een meetrapport.

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Meetring	5
2.1	Instrumenten	5
2.2	Plaatsing aansluitkastjes in segmenten	6
2.3	Functionele test voorafgaand aan de inbouw	6
2.4	Functionele test na ontkisten	6
2.5	Vorbereiden Data Acquisitie Systeem	7
3	Bepaling van de E-modulus van het beton	8
4	Format ruwe data	9
	Literatuur	10

1 Inleiding

In het kader van de aanleg van de Betuwelijn is een tunnel gepland onder de Botlek nabij Hoogvliet. De tunnel wordt gebouwd door middel van boren. De Botlekspoortunnel is het tweede praktijkproject in Nederland op het gebied van geboorde tunnels. Bij het eerste project, de tweede Heinenoordtunnel, zijn twee geïnstumenteerde tunnelringen geplaatst. De eerste meetring werd nabij de noordelijke ingang geplaatst in april 1997. De tweede meetring werd nabij de zuidelijke ingang geplaatst, in november 1997. De Tweede Heinenoordtunnel is net zoals de Botlekspoortunnel een gesegmenteerde lining. De krachtswerking in de twee meetringen van de Tweede Heinenoordtunnel wordt gemeten met behulp van 100 rekopnemers in elke ring. In de zuidelijke meetring is ook de sluitsteen geïnstumenteerde, naar aanleiding van de ervaringen in de eerder geplaatste noordelijke meetring. De belangrijkste waarneming in beide ringen was dat direct na het inbouwen reeds aanzienlijke krachten en momenten in de segmenten optreden. Bovendien blijkt uit de metingen, die zullen voortduren tot 2002, dat ook op de lange termijn een groot deel van deze zogenaamde montagespanningen in de lining aanwezig blijven.

Een belangrijk gevolg hiervan is dat conventionele rekenmodellen die worden gebruikt om tunnellingings te ontwerpen tot veel lagere krachten en momenten komen dan is gemeten in de Tweede Heinenoordtunnel. Er is daarom besloten om in het kader van K300 wederom de lining te instrumenteren. Uit budgettaire overwegingen is er voor gekozen om met één meetring te werken en deze intensief te monitoren gedurende de eerste week na plaatsing. Het meten start hierbij vanaf het moment dat een segment in de erector hangt.

Deze meetring is zodanig uitgevoerd dat een beter inzicht in het ontstaan en de ontwikkeling van montagespanningen wordt verkregen. Een en ander is beschreven in een specificatierapport [1].

Dit rapport beschrijft de instrumenten en de wijze waarop de meetring is opgebouwd. De uitwerking van de resultaten staat in het meetrapport [2].

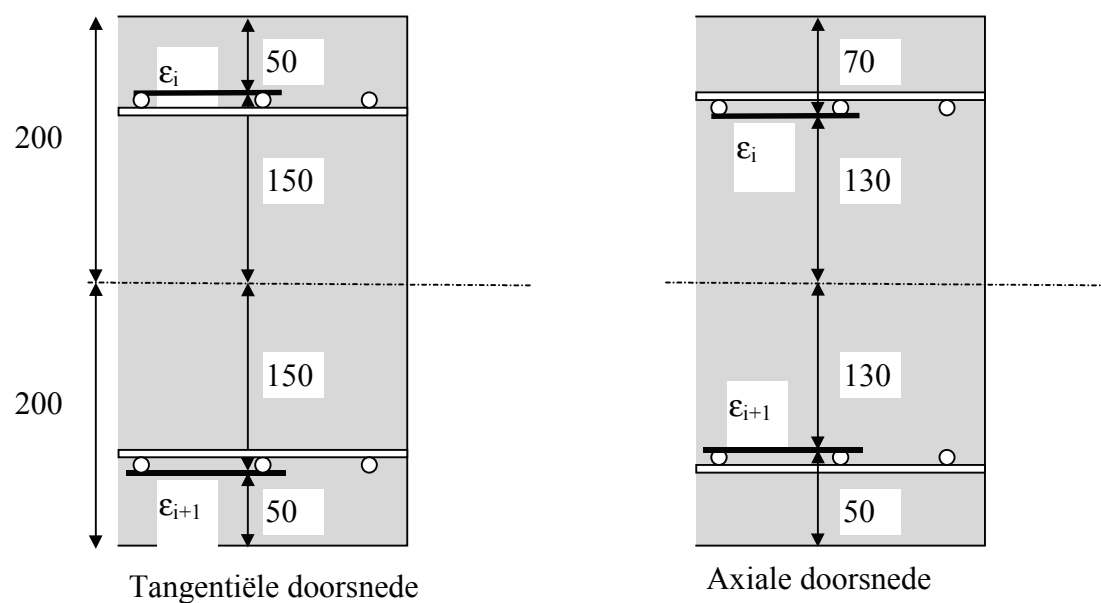
2 Meetring

2.1 Instrumenten

De meetring is uitgerust met 232 snaarrekonemers, conform de opnemersverdelingsvariant nummer 4 die is genoemd in het specificatierapport. Er is gebruik gemaakt van snaarrekonemers van de firma Geokon:

Fabrikaat:	Geokon, Lebanon, NH, USA
Type:	VCE 4200
Range:	$1500 \cdot 10^{-6}$ m/m
Resolutie:	$1,0 \cdot 10^{-6}$ m/m
Temperatuursrange	-20 tot +80 °C
Lengte:	153 mm
Middellijn:	16 mm

De opnemers zijn in het wapeningsnet geplaatst in de weken 15 tot en met 17 van 2000. De axiale opnemers werden onder het wapeningsnet geplaatst, de tangentiële opnemers boven het wapeningsnet, zoals geschetst in onderstaande figuur en foto 1. In de figuur zijn de afmetingen in mm gegeven. De precieze plaatsing van de opnemers in het wapeningsnet is geschetst in bijlage A.



De tangentiële opnemers zitten het dichtst bij de oppervlakte omdat in de tangentiële richting de grootste momenten worden verwacht. De opnemers werden geplaatst en genummerd in het wapeningsnet zoals geschetst in bijlage A.

2.2 Plaatsing aansluitkastjes in segmenten

Met kabels werden 16 snaarrekeners verbonden met een aansluitkastje dat zich aan de oppervlakte van de segmenten (binnenzijde) bevindt (foto 2 en 3). Elk segment, met uitzondering van de sluitsteen, heeft 2 aansluitkastjes. De kabeluiteinden werden in de kastjes gefixeerd en geseald in verband met het storten van de segmenten. De posities van de aansluitkastjes zijn geschetst in bijlage A.

Twee multiplexers waren onderling doorgekoppeld en per segment liep een kabel naar één van de dataloggers.

Voorafgaand aan de montage van het aansluitkastje aan de wapening werden de kabels zodanig uitgelegd in het segment dat er sprake was van voldoende betondoorsnede in het gehele segment. De ligging van de kabels is door middel van de as-built tekeningen van bijlage A vastgelegd. In bijlage B staat schematisch het data-acquisitiesysteem weergegeven.

De sensoren werden na het storten via de aansluitkastjes aangesloten op de multiplexers. Deze werden met verzamelkabels aangesloten op 4 data-loggers van de firma Campbell, type CR10-X.

2.3 Functionele test voorafgaand aan de inbouw

Voor de inbouw werden alle opnemers onderworpen aan een functionele test. De test vond plaats in de inbouwruimte bij TNO Bouw. Omdat de multiplexers pas na het instorten werden geplaatst, werden de opnemers afzonderlijk getest. De resultaten van deze test staan in bijlage C (waarde 1).

De opnemers werden uitgelezen met een daartoe geschikt afleeskastje van de firma Geokon.

2.4 Functionele test na ontkisten

Na het ontkisten hebben alle segmenten een functionele test ondergaan op 17 september 2000 met behulp van een Geokon instrument. De resultaten van deze test staan in bijlage C (waarde 2). Daarna werd op 24 september 2000 de werking van het complete data-acquisitie systeem getest. Daartoe werden de opnemers aangesloten op de multiplexers, waarna deze in de aansluitkastjes werden geplaatst. Vervolgens werden de multiplexers aangesloten op de meetkasten en meet PC. Op

deze manier is het gehele data acquisitie systeem getest. De resultaten van deze test staan in bijlage C (waarde 3).

2.5 Voorbereiden Data Acquisitie Systeem

Het uitlezen van de snaarrekopnemers door de data-loggers werd vooraf geprogrammeerd, evenals het uitlezen van de data-loggers door de meet PC en het automatisch genereren van back-ups. Tot slot kon op de meet PC een on-line presentatie van de ruwe data worden gemaakt, zodanig dat de meetploeg ter plekke de werking van het gehele meetsysteem kon verifiëren.

3 Bepaling van de E-modulus van het beton

Voor de bepaling van de E-modulus van het beton van de segmenten zijn bij TNO Bouw vijf kubussen met een riblengte van 150 mm afgeleverd. Omdat de afmetingen van de aangeleverde kubussen niet geschikt waren voor het direct bepalen van de E-modulus, werd gekozen voor indirecte bepaling op grond van de kubusdruksterkte met gebruikmaking van bekende relaties tussen E-modulus en druksterkte.

Van twee kubussen kon de sterkte niet worden bepaald in verband met de beperkte capaciteit van de drukpers in combinatie met de kennelijk relatief hoge druksterkte. De overige drie kubussen zijn verzaagd tot kubussen met een riblengte van 100 mm. Na het vlakken van de drukvlakken en gedurende 4 dagen bewaren onder water zijn de kubussen gedrukt op 31 oktober 2000. De proefresultaten zijn als volgt.

Kubus 1	93,7 MPa
Kubus 2	91,0 MPa
Kubus 3	91,5 MPa
Gemiddeld	92,1 MPa

De gemiddelde waarde wordt genormeerd naar de kubusdruksterkte behorend bij een riblengte van 150 mm door vermenigvuldiging met een factor 0,91 (art. 10.5.2, NEN 5950).

$$f_{cm}^* = 0,91 * 92,1 = 83,8 \text{ MPa}$$

Als karakteristieke waarde van de druksterkte wordt aangehouden:

$$f_{ck}^* = 83,8 - 8 = 75,8 \text{ MPa}$$

Met behulp van artikel 6.1.3 van CUR Aanbeveling 37 "Hoge sterkte beton" wordt gevonden:

$$E'_b = 35.900 + 40 * 75,8 = 38.900 \text{ MPa.}$$

De waarde van de elasticiteitsmodulus in de oorsprong van de spanning-rekrelatie volgt nu uit (toelichting art. 6.1.3, NEN 6720):

$$E'_{bo} = 38.900/0,9 = 43.200 \text{ MPa}$$

In verband met de gevonden spreiding in de E-modulus wordt geschat dat de waarde E'_{bo} zich bevindt binnen een range van 40.000 MPa tot 45.000 MPa.

4 Format ruwe data

De meetsoftware heeft de ruwe data in gestructureerde ASCII-files weggeschreven. De kolommen zijn door middel van komma's gescheiden. In de kolommen staat de volgende informatie:

Tabel 4.1: informatie kolommen ASCII-files

Kolom	Informatie	Opmerkingen
1	101	Dit getal is voor het onderzoek niet van belang
2	Kastnummer	
3	Aantal dagen van het jaar 2000	
4	Eerste twee cijfers: aantal uren van die dag Tweede twee cijfers: aantal minuten	Een nul wordt niet geschreven, dus bijvoorbeeld 154 betekent 1 uur en 54 minuten
5	Aantal seconden	
6 tot en met 69	Temperatuur [°C]	
70 tot en met 133	Frequentie [Hz]	

De uitgelezen frequenties van de snaarreknemers zijn omgezet in rekken door gebruik te maken van de volgende conversieformule [3]:

$$\varepsilon_i = f_i^2 \cdot GF - \varepsilon_0 + \alpha(T_i - T_0)$$

waarin

- ε_i is de rek van de opnemer in microrek (μ oftewel $1 \cdot 10^{-6}$) op tijdstip i ;
- ε_0 is de nulrek van de opnemer in microrek (μ) die is bepaald op het moment dat het segment aan de erector hing;
- f_i is de frequentie van de snaarreknemer in Hz, op tijdstip i ;
- T_i is de temperatuur in de opnemer in graden Celsius;
- T_0 is de nultemperatuur in de opnemer in graden bepaald op het moment dat het segment aan de erector hing;
- GF is een calibratiefactor, $0.003304 \mu/\text{Hz}^2$, volgens [4];
- α is een differentiële uitzettingscoëfficiënt, aangehouden is $+1.8 \mu/^\circ\text{C}$ ($+1.8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$) op basis van [4]. Deze coëfficiënt drukt het verschil uit in uitzetting tussen het beton en het staal waar de opnemer van is gemaakt.

De resultaten zijn weergegeven in het meetrapport [2].

Literatuur

- [1] G.P.C. van Oosterhout, F.M. Middeldorp, “Specificatie van de instrumentatie ten behoeve van de statische metring in de Botlekspoortunnel”, TNO-rapport 99-CON-DYN/R0093/K100-W-099, maart 1999
- [2] D.J. Molenaar, “Meetrapport metring Botlekspoortunnel”, TNO-rapport 2000-CON-DYN-R-2104, november 2000
- [3] G.P.C. van Oosterhout, “Ontwikkeling van drukken, krachten en momenten op en in de lining van de Tweede Heinenoordtunnel, Deel 1: Analyse”, TNO-rapport 99-CON-DYN/R0031/K100-W-099, maart 1999
- [4] F.T.M. Gozeling, “Afname rapport – Rekopnemers en gronddrukdozen instrumentatie metringen tweede Heinenoordtunnel, Fugro rapport P-587/01, 21 oktober 1996

Bijlage A Plaatsing opnemers

Bijlage B Schematische weergave DAS

Bijlage C Functionele tests snaarreknemers

Bijlage D Grafisch stappenplan



Foto 1

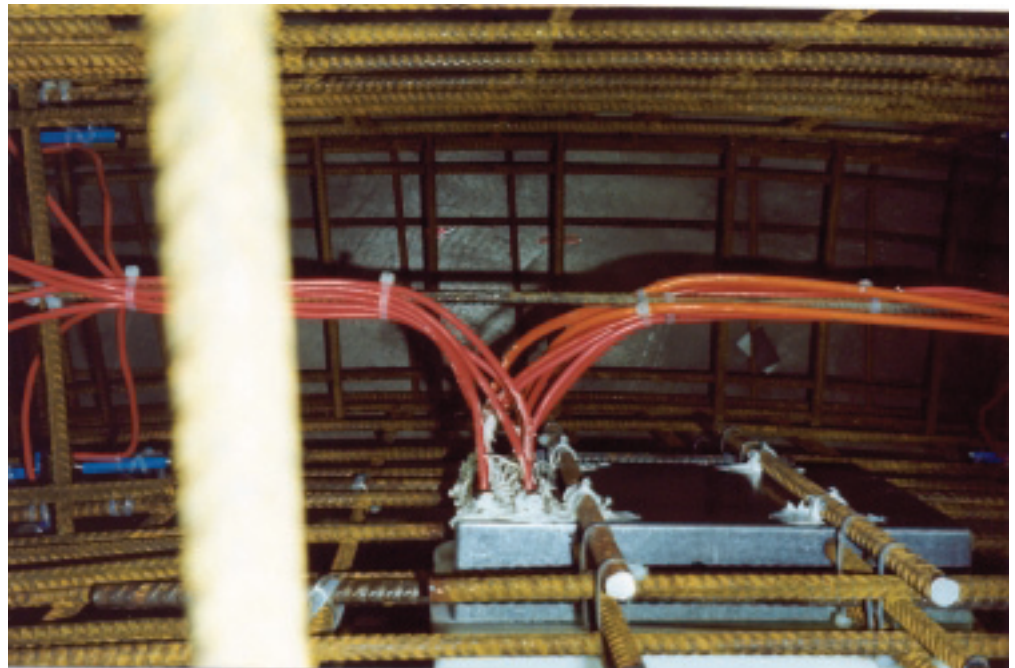


Foto 2

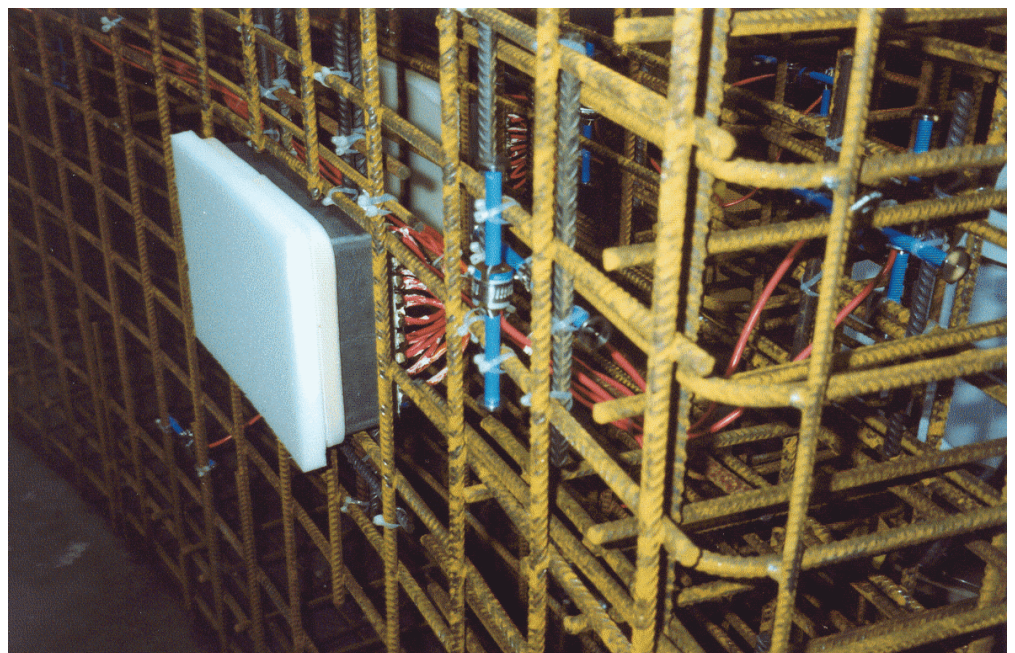


Foto 3