ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde Delft
archief Asfalt in de Waterbouw
W - 2 BSW 87

[redacted]

asfalt

bouwspeurwerk

31 dec. 1987

FYSISCH-MECHANISCH MATERIAAL-ONDERZOEK WATERBOUWASFALTBETON.

BSW-WSW 87-24

RAPPORT-NR.: BSW/WSW 87-24
Datum: 31-12-87
Auteur: E. Troost

INHOUDSOPGAVE:

Voorwoord blz. 1

1. Inleiding blz. 2

2. Beproevingstechnieken en monstergegevens

2.1. Mogelijkheden blz. 3
2.2 Variabelen blz. 4
2.3. Herkomst monsters blz. 5

3. Beproevingsschema

3.1. Algemeen blz. 6
3.2. Vervormingsgestuurde proeven naar bezwijken blz. 6
3.3. Spanningsrelaxatie-proeven blz. 7
3.4. Hoogfrequente vervormingsgestuurde proef blz. 8

4. Resultaten

4.1. Vervormingsgestuurde proeven naar bezwijken blz. 10
4.2. Spanningsrelaxatie-proeven blz. 12
4.3. Hoogfrequente vervormingsgestuurde proef blz. 16

5. Conclusies blz. 18

BIJLAGENLIJST:

bijlage 1	lijst gebruikte monsters.
bijlage 2	samenstelling monsters.
bijlage 3 t/m 9	vervormingsgestuurde proeven naar bezwijken.
bijlage 10 t/m110	spanningsrelaxatie-proeven.
appendix 1	tabellen resultaten spanningsrelaxatieproeven.

Voorwoord:

Het hiervoor U liggende Bouwspeurwerk-rapport is tevens het tweede deel van het verslag van mijn afstudeerwerk aan de Technische Universiteit Delft, afdeling der Civiele Techniek. Dit afstudeerwerk is gedaan in het kader van algemeen onderzoek naar het vervormingsgedrag van bitumineuze constructies in de waterbouw.
Het afstudeerwerk stond onder supervisie van dr.ir. P.A. Vermeer. Verder wil ik ing R. Termaat bedanken voor zijn ondersteuning bij de realisering van dit project, en de mensen van de onderafdeling MAOB van de DWW voor hun hulp bij de voorbereiding en uitvoering van de proeven.

1. Inleiding:

Voor de ontwikkeling van een twee-dimensionaal (vlakke vervormingstoestand) fysisch-mechanisch materiaalmodel voor asfaltbeton dienen een aantal aanvullende materiaalproeven te worden uitgevoerd.
Het te ontwikkelen materiaalmodel dient met name geschikt te zijn voor het simuleren van het materiaalgedrag onder cyclisch belasting.
Om deze reden zijn zowel de visco-elastische als de visco-plastische vervormingen van groot belang. Dit in tegenstelling tot statische belasting waarbij men de visco-elastische term buiten beschouwing kan laten (zie elasto-viscoplastisch model voor zandasfalt; Schotman,Vermeer 1985).
De in dit rapport beschreven proevenserie dient te worden gezien als een eerste aanzet in het kader van een meerjarig onderzoeksprogramma. In tweede instantie zal met name aandacht worden besteed aan meer-dimensionale proeven.
Het meerjarig onderzoeksplan waarin het doel en de verdere planning van dit onderzoek is weergegeven, is notitie BSW/WSW 87-24.

2. Beproevingstechnieken en monstergegevens:

2.1. Mogelijkheden:

Er zijn verschillende methoden om het materiaal mechanisch te beproeven. Er zijn echter twee hoofdgroepen te onderscheiden; te weten:

- vervormingsgestuurde beproevingsmethoden.
- krachtgestuurde beproevingsmethoden.

In principe kunnen beide groepen zowel in één als in meerdere dimensies worden toegepast.
Voor proeven waarbij men het materiaalgedrag onder een meer-dimensionale spanningstoestand wil bepalen kan gebruik worden gemaakt van:

- het triaxiaalapparaat, hierbij is Sigma(2)=Sigma(3).
- het biaxiaalapparaat, hiermee kan een vlakke vervormingstoestand worden gesimuleerd; dat wil zeggen Eps(3)=0 en Sigma(1) en Sigma(2) zijn regelbaar met behulp van een kracht- dan wel vervormingsgestuurde opstelling.

In het kader van dit onderzoek wordt het beproevingsschema in eerste instantie beperkt gehouden tot één dimensie.
Het doel van deze proevenserie is namelijk het verkrijgen van inzicht in het fysisch-mechanisch gedrag van asfaltbeton, waarbij het werken met meerdere dimensies, gezien het grote aantal variabelen, het geheel nodeloos complex zou maken.
Bovendien zijn er zeer weinig meer-dimensionale proefopstellingen die geschikt zijn voor het beproeven van asfaltbeton beschikbaar. Dit daar we te maken hebben met een materiaal waarvan het materiaalgedrag sterk temperatuurafhankelijk is, en de proeven dus onder geconditioneerde klimaatvoorzieningen moeten worden uitgevoerd. Om deze reden zijn één-dimensionale proeven ook op praktische gronden gekozen. Met name de temperatuursafhankelijkheid van de verschillende materiaalparameters is met behulp van één-dimensionale proeven goed vast te stellen.

Over het algemeen wordt bij asfaltonderzoek een krachtgestuurde proef (te weten de éénassige kruipproef) gebruikt voor de karakterizering van het fysisch-mechanisch gedrag van het materiaal. Het toepassen van éénassige vervormingsgestuurde proeven heeft echter een aantal praktische en theoretische voordelen boven de éénassige kruipproef; te weten:

- bij belasten tot bezwijken heeft men minder beproevingstijd nodig. Dit brengt dus zowel een efficiënter gebruik van de betreffende proefopstelling als een minder gecompliceerde klimaatregeling rondom het monster met zich mee.
- vervormingsgestuurde proeven leveren voor elke vervormingssnelheid een directe Sigma-Eps relatie.

- eventuele spannings- danwel vervormingsafhankelijkheid van verschillende materiaalparameters kunnen met behulp van vervormingsgestuurde proeven goed worden aangetoond.

Om reden van deze voordelen en ter verkrijging van een goede aansluiting op in de constructieleer gebruikelijke methoden voor expirimenteel mechanisch onderzoek, is in dit onderzoek gekozen voor vervormingsgestuurde proeven.

2.2. Variabelen:

Bij de uitvoering van materiaalproeven hebben we te maken met allerlei condities (omstandigheden waaronder de proef wordt uitgevoerd) die van invloed kunnen zijn op het fysisch-mechanisch materiaalgedrag van het betreffende materiaal.
Bij het materiaal asfaltbeton hebben we te maken met de volgende variabelen:

- Temperatuur.
  De temperatuur waarbij de proef wordt uitgevoerd is zeer belangrijk,voor met name de visceuze termen. Zelfs binnen het in absolute zin zeer smalle temperatuurbereik waaraan asfaltconstructies in Nederland worden blootgesteld (ruwweg tussen -10 en +40° C.) kan het vervormingsgedrag aanzienlijk (orden) verschillen.
- Spanningsrichting.
  Doordat het materiaal in één richting sterk wordt verdicht kan er in de verticale richting een duidelijk ander vervormingsgedrag worden verwacht dan in de horizontale richting. Het is niet zonder meer duidelijk of we hierbij in hoofdzaak met materiaalgedrag te maken hebben dat kan worden weergegeven met behulp van een anisotrope benadering, danwel dat we te maken met een materiaal dat in de verschillende hoofdspanningsrichtingen aan verschillende begintoestanden onderhevig is waardoor een materiaalgedrag ontstaat dat gelijkenis vertoond met anisotropie.
- Belastingsniveau.
  Met name onder drukspanning wordt het materiaal gekenmerkt door niet-lineair [plastisch] materiaalgedrag.
- Herbelasten.
  Het materiaal heeft het kenmerk dat het onder een volgende belasting niet identiek reageert als onder de voorgaande belasting.
- Belastingsduur.
  Daar het materiaalgedrag wordt gekenmerkt door tijdsafhankelijke vervormingen is ook de belastingsduur een belangrijke variabele.
- Steundruk.
  Het al dan niet aanwezig zijn van een zijdelingse steundruk heeft een relatief geringe invloed op het vervormingsgedrag.

2.3. Herkomst monsters:

De monsters die voor deze proevenserie zijn gebruikt zijn afkomstig van een dijkvak van de Westkapelse Zeedijk. Dit dijkvak werd in augustus 1987 voorzien van een nieuwe asfaltbekleding.
Deze asfaltlaag is op de in de waterbouw gebruikelijke wijze aangebracht en verdicht.
Uit deze in principe nog onbelaste asfaltlaag zijn monsters geboord met een diameter van ca. 100 mm en een lengte van ca. 200 mm, door variaties in de laagdikte bleek de genoemde 200 mm echter niet overal haalbaar.
Voor nadere gegevens betreffende de diameter, de lengte en het volumegewicht van de monsters wordt verwezen naar bijlage 1.
Voor de samenstelling van de monsters (d.w.z. korrelverdeling granulair materiaal, percentage aan holle ruimte en het gebruikte type bitume) wordt verwezen naar bijlage 2.

3. Beproevingsschema:

3.1. Algemeen:

De opzet van deze proevenserie is om met zo min mogelijk proeven toch een redelijk inzicht te verkrijgen van het materiaalgedrag. Zodat een eerste materiaalmodel kan worden opgesteld, en kan worden aangegeven op welke onderdelen een volgend materiaalonderzoek zich dient te concentreren.
In dit onderzoek zijn uit praktische overwegingen alleen één-dimensionale proeven uitgevoerd.
De proeven die in het kader van dit onderzoek zijn uitgevoerd kunnen worden onderverdeeld in drie groepen; te weten:

- vervormingsgestuurde proeven waarbij zowel op druk- als trekspanning wordt belast tot bezwijken.
- spanningsrelaxatie-proeven. Hierbij wordt het monster belast met een bepaalde vervormingssnelheid (zowel in positieve als in negatieve richting) die na een bepaalde tijd plotseling stop wordt gezet; hierna relaxeert de in het materiaal aanwezige spanning tot een minimumwaarde.
- vervormingsgestuurde proef, waarbij het materiaal aan een sinusvormige belasting wordt blootgesteld met een zeer hoge frequentie. Dit zodat de werkelijke elasticiteitsmodulus van het materiaal kan worden bepaald.

3.2. Vervormingsgestuurde proeven naar bezwijken:

Er zijn vervormingsgestuurde proeven uitgevoerd waarbij de monsters via druk- danwel trekspanning tot bezwijken worden gebracht.
Hierbij is tevens onderscheid gemaakt tussen:

- zogenaamde verticale monsters; dat wil zeggen monsters die loodrecht op het normaalvlak van de asfaltlaag uit de constructie zijn geboord.

- zogenaamde horizontale monsters; dat wil zeggen monsters die evenwijdig aan het normaalvlak van de asfaltlaag uit de constructie zijn geboord.

Programma bezwijken via drukspanning:

Verticale monsters:

- belasten door middel van 3 verschillende vervormingssnelheden; te weten:
  - v-pers = 50 mm/min ==> 4.4×10^{-3} s^{-1}
  - v-pers = 5 mm/min ==> 4.4×10^{-4} s^{-1}
  - v-pers = 0.5 mm/min ==> 4.4×10^{-5} s^{-1}

- alle proeven bij 4 verschillende temperaturen uitvoeren; te weten: 10, 20, 30 en 40° C.
- steundruk is constant (atmosferische druk).

Horizontale monsters:

- belasten door middel van 2 verschillende vervormingssnelheden; te weten:
  - v-pers = 50 mm/min ==> 4.4×10^{-3} s^{-1}
  - v-pers = 5 mm/min ==> 4.4×10^{-4} s^{-1}
- de temperatuur waarbij deze proeven zijn uitgevoerd is niet gevarieerd. De proeven zijn uitgevoerd bij 20° C.
- steundruk is constant (atmosferische druk).

In totaal zijn dit 14 proeven voor bezwijken op drukspanning.

Programma voor bezwijken via trekspanning:

Verticale monsters:

- belasten door middel van 3 verschillende vervormingssnelheden; te weten:
  - v-pers = 50 mm/min ==> 4.4×10^{-3} s^{-1}
  - v-pers = 5 mm/min ==> 4.4×10^{-4} s^{-1}
  - v-pers = 0.5 mm/min ==> 4.4×10^{-5} s^{-1}
- alle proeven bij 2 verschillende temperaturen uitvoeren; te weten: 20 en 30° C.
- steundruk is constant (atmosferische druk).

Horizontale monsters:

- er zijn geen horizontale monsters via trekspanning tot bezwijken gebracht.

In totaal zijn dit 6 proeven voor bezwijken op trekspanning.

3.3. Spanningsrelaxatie-proeven:

Teneinde inzicht te krijgen in het viscoplastische gedeelte van de vervorming zijn een aantal spanningsrelaxatie-proeven uitgevoerd. Hiermee kan worden aangetoond of het materiaal een zogenaamde vloeispanning (cq. zwichtspanning) kent en of deze een functie is van een aantal variabelen. Hierbij kan men denken aan de temperatuur, de spanningstoestand en de vervormingstoestand.

Programma spanningsrelaxatie-proeven:

In bijlagen 10 en 11 is een beknopte lijst van de in dit kader

uitgevoerde proeven weergegeven.
Hierna volgt een beschrijving van deze proevenserie in woorden.

Verticale monsters:

A: Belasten op drukspanning.

- Elk monster wordt onderworpen aan drie belastingcycli. Eén belastingscyclus wil zeggen dat het monster door middel van een bepaalde vervormingssnelheid een van te voren vastgestelde vervorming krijgt opgelegd, waarna de vervorming wordt vastgezet zodat het monster kan relaxeren.
- De vervormingssnelheid waarmee de opgelegde vervorming wordt bereikt wordt driemaal gevarieerd. Uit praktische overwegingen zijn hiervoor dezelfde vervormingssnelheden gekozen als bij de vervormingsgestuurde proeven naar bezwijken.
- Alle proeven worden bij 4 verschillende temperaturen uitgevoerd; te weten: 10, 20, 30 en 40° C.

B: Belasten op trekspanning.

- Elk monster wordt onderworpen aan drie belastingcycli.
- De vervormingssnelheid waarmee de opgelegde vervorming wordt bereikt wordt tweemaal gevarieerd. Hiervoor zijn de snelheden 50 en 0.5 mm/min gebruikt.
- Alle proeven worden bij 4 verschillende temperaturen uitgevoerd; te weten: 10, 20, 30 en 40° C.

Horizontale monsters:

A: Belasten op drukspanning.

-Elk monster wordt onderworpen aan drie belastingscycli.
-De vervormingssnelheid waarmee de opgelegde vervorming wordt bereikt wordt driemaal gevarieerd.
-De proeven worden bij één temperatuur; te weten 20° C uitgevoerd.

B: Belasten op trekspanning.

- Er zijn geen relaxatieproeven uitgevoerd op horizontale monsters, waarbij het proefstuk op trekspanning wordt belast.

3.4. <u>Hoogfrequente vervormingsgestuurde proef:</u>

Teneinde inzicht te krijgen in de 'werkelijke' elasticiteitsmodulus van het materiaal is één monster belast door een hoogfrequente (50 Herz) sinusvorminge belasting.
Bij een voldoende hoge frequentie van de belasting kan de werke-

lijke elasticiteitsmodulus van het materiaal worden bepaald, die op zich onafhankelijk van de temperatuur is.
Bij zeer snel wisselende belastingen kan het materiaalgedrag goed worden benaderd met een massa-veer-systeem.

4. Resultaten:

4.1 Vervormingsgestuurde proeven naar bezwijken:

De resultaten van de in dit kader uitgevoerde proeven zijn in de vorm van Sigma-Epsilon diagrammen weergegeven op de bijlagen 3 tot en met 9. In deze paragraaf worden enige afgeleiden van deze diagrammen nader bekeken.
In de hiernavolgende tabel is het verloop van de bezwijkspanning en de breukrek voor, door middel van verschillende vervormingssnelheden, op druk belaste verticale monsters weergegeven.

DRUK	vervormingssnelheid $=-4.4\times10^{-3}$ s^{-1} (50 mm/min)			
Temperatuur (°C)	10	20	30	40
Max. Sigma(1) in kPa	5925.	2063.	1130.	544.
Breuk rek (%)	4.	3.7	4.2	4.3
	vervormingssnelheid $=-4.4\times10^{-4}$ s^{-1} (5 mm/min)			
Max. Sigma(1) in kPa	2850.	1213.	562.	366.
Breuk rek (%)	4.	4.3	4.	3.
	vervormingssnelheid $=-4.4\times10^{-5}$ s^{-1} (0.5 mm/min)			
Max. Sigma(1) in kPa	1720.	605.	387.	190.
Breuk rek (%)	4.	3.5	4.4	3.3

Hieruit blijkt dat de vervormingssnelheid een grote invloed heeft op de bezwijkspanning, het belang van de visceuze termen wordt hiermee aangetoond. Opvallend is echter dat deze invloed bij 10° C aanmerkelijk groter lijkt te zijn dan bij 30 en 40° C.
Daar hiervoor geen duidelijke fysisch-mechanische verklaring is te geven, wordt dit voorlopig verklaard door spreiding in de monstersamenstelling.
De breukrek blijkt onafhankelijk te zijn van zowel de temperatuur als de vervormingssnelheid.

In de hiernavolgende tabel zijn de resultaten van de op druk belaste horizontale monsters weergegeven.

	Temperatuur 20° C.	
	verv.snelh.=-4.4×10^{-3} s^{-1}	verv.snelh.=-4.4×10^{-4} s^{-1}
Max.Sigma in kPa	2682.	1294.
Breuk rek in %	4.3	3.2

Het verschil in bezwijkspanning en breukrek tussen horizontale en verticale monsters blijkt mee te vallen. In tegenstelling tot een verwachte lagere bezwijkspanning (door een reeds aanwezige voorbelasting en een andere opbouw van het granulaire materiaal in horizontale danwel verticale richting) wordt juist in beide gevallen een hogere bezwijkspanning gevonden.
Gezien deze resultaten lijkt het verantwoord om het materiaalgedrag in eerste instantie als zijnde isotroop te benaderen.

In de hiernavolgende tabel zijn de resultaten van de op trek belaste verticale monsters weergegeven.

TREK	vervormingssnelheid = 4.4×10^{-3} s^{-1} (=50 mm/uur)	
Temperatuur (°C)	10	30
Max. Sigma(1) in kPa	2050.	213.
Breuk rek (%)	1.	2.5
	vervormingssnelheid = 4.4×10^{-4} s^{-1}	
Max. Sigma(1) in kPa	--	96.
Breuk rek (%)	--	2.6
	vervormingssnelheid = 4.4×10^{-5} s^{-1}	
Max. Sigma(1) in kPa	325.	44.
Breuk rek (%)	2.	2.3

De trekproef bij 10° C en een vervormingssnelheid van 4.4×10^{-4} s^{-1} is mislukt, om deze reden zijn hiervoor geen bezwijkspanning en bezwijkrek ingevuld.
De treksterkte van het materiaal is duidelijk lager dan de druksterkte in tegenstelling tot materialen zoals beton en klei is de

treksterkte echter niet verwaarloosbaar.
Daar het bezwijken van de monsters onder trekspanning sterk wordt beïnvloed door de aanwezigheid van microscheurtjes in het materiaal, is de te verwachten spreiding bij de proeven relatief groot. Het verschil kan worden verklaard door het feit dat met name de elasticiteitsmodulus van het materiaal door de aanwezigheid van het korrelskelet onder drukspanning factoren (factor 3 à 4, voor t-->0 kan de E-modulus worden afgeleid uit de betreffende Sigma-Epsilon diagrammen) groter is dan onder trekspanning.

4.2. Spanningsrelaxatie-proeven:

De resultaten van deze proevenserie zijn in grafische vorm (sigma-tijd diagrammen) weergegeven in de bijlagen 12 tot en met 110. Voor meer gedetailleerde informatie is het verloop van de verschillende karakteristieke grootheden in de tijd in tabelvorm weergegeven in appendix 1.
In de hiernavolgende tabel is het verloop van de restspanning en voorzover mogelijk de relaxatietijd ten gevolge van de opgelegde vervorming voor op druk belaste monsters, bij de 4 gemeten temperaturen, weergegeven.
Bij een relatief groot aantal proeven kan de relaxatietijd niet worden bepaald, daar bij deze proeven de opgelegde verplaatsing niet samenvalt met de maximale spanning. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij de uitvoering van deze proeven de grenzen van de mogelijkheden van de gebruikte beproevingsapparatuur worden bereikt. Bij de proeven waarbij dit probleem zich heeft voorgedaan is in de tabellen voor de relaxatietijd een * ingevuld.

	Temperatuur = 10°C.							
rek (%)	0.45	0.85	0.90	1.22	1.36	1.44	1.71	2.44
max. sp. (kPa)	698.5	1000.1	750.5	587.3	776.5	636.2	1083.4	921.0
rest sp. (kPa)	11.3	19.6	23.6	24.1	32.5	28.3	45.3	64.5
relax. tijd (s)	*	*	*	*	*	ca.380	*	*

	Temperatuur = 10°C.							
rek (%)	2.56	2.85	3.63	4.20				
max. sp. (kPa)	1077.4	994.1	1032.1	1108.8				
rest sp. (kPa)	80.8	92.9	124.3	160.5				
relax. tijd (s)	*	1500	*	*				
	Temperatuur = 20°C.							
rek (%)	0.30	0.51	0.55	0.72	0.83	0.90	1.03	1.44
max. sp. (kPa)	268.7	77.0	279.5	147.3	312.6	313.2	145.1	221.3
rest sp. (kPa)	1.6	3.2	6.1	3.3	8.2	10.3	15.9	14.4
relax. tijd (s)	*	*	*	ca.120	*	*	*	ca.300
	Temperatuur = 20°C.							
rek (%)	1.54	1.78	2.16	2.65				
max. sp. (kPa)	210.7	444.4	295.5	523.9				
rest sp. (kPa)	32.5	35.3	27.5	68.7				
relax. tijd (s)	*	*	ca.540	*				
	Temperatuur = 30°C.							
rek (%)	0.3	0.6	0.9	1.2	1.6	2.4	3.2	3.7
max. sp. (kPa)	123.7	123.2	121.5	120.0	139.8	120.0	272.7	120.0
rest sp. (kPa)	0.	1.5	0.	4.5	30.2	25.0	26.9	18.0
relax. tijd (s)	1	*	4	35	840	38	2880	?

	Temperatuur = 30°C.							
rek (%)	4.8							
max. sp. (kPa)	234.7							
rest sp. (kPa)	13.6							
relax. tijd (s)	289							
	Temperatuur = 40°C.							
rek (%)	1.04	1.60	2.08	3.30	4.80			
max. sp. (kPa)	58.2	38.3	112.0	48.7	62.0			
rest sp. (kPa)	12.6	4.3	9.0	8.0	10.3			
relax. tijd (s)	3350	184	2093	300	280			

Hieruit blijkt dat de grootte van de opgelegde vervorming een grote invloed heeft op de na relaxatie overblijvende spanning. Het materiaalgedrag wordt dus gekenmerkt door een duidelijk verstevigingsgedrag (hardening).
Ten aanzien van de relaxatietijd wordt een nogal wisselend beeld verkregen. De resultaten wisselden zelfs bij dezelfde temperatuur soms met enige factoren. Wel is er een zekere trend aan te geven, daar de relaxatietijd over het algemeen toeneemt naarmate de opgelegde vervorming groter wordt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het tempo waarmee de viscoplastische term naar zijn limietwaarde loopt afhankelijk is van de opgelegde vervorming. Dit effect kan men toeschrijven aan een toenemende invloed van de plastische term als functie van de vervorming; anders gezegd het toenemen van het volume in de spanningsruimte waarin alleen elastische en visco-elastische vervormingen optreden.
Hiermee is ook de toename van de restspanning als functie van de vervorming verklaard, omdat deze restspanning in feite de plastische term in het materiaalgedrag vertegenwoordigd.

In de hiernavolgende tabel is het verloop van de restspanning en de relaxatietijd ten gevolge van de opgelegde vervorming voor op <u>trek</u> belaste monsters, bij de 4 gemeten temperaturen, weergegeven.

	Temperatuur = 10°C.							
rek (%)	0.26	0.52	0.54	0.79	1.07	1.61		
max. sp. (kPa)	475.6	513.8	253.8	518.2	303.6	343.9		
rest sp. (kPa)	12.0	12.3	8.9	13.7	13.4	17.8		
relax. tijd (s)	*	*	65	*	26	54		
	Temperatuur = 20°C.							
rek (%)	0.31	0.62	0.92	1.09	2.19	3.29		
max. sp. (kPa)	379.4	377.5	375.0	78.3	119.2	146.2		
rest sp. (kPa)	1.3	2.0	3.2	6.5	12.3	19.3		
relax. tijd (s)	*	*	*	46	65	145		
	Temperatuur = 30°C.							
rek (%)	0.31	0.62	0.92	0.92	1.84	2.76		
max. sp. (kPa)	121.3	114.1	121.9	8.2	19.0	36.5		
rest sp. (kPa)	2.7	2.7	3.0	2.0	2.7	4.5		
relax. tijd (s)	*	*	1	54	165	413		
	Temperatuur = 40°C.							
rek (%)	0.72	1.08	1.43	2.04	2.19	3.26		
max. sp. (kPa)	26.5	3.0	--	43.4	?	15.7		
rest sp. (kPa)	2.5	1.2	3.0	3.0	2.4	4.2		
relax. tijd (s)	*	*	*	1	*	7000		

Hierbij blijkt de restspanning nagenoeg onafhankelijk te zijn van de opgelegde spanning. De relaxatietijd blijkt hierbij echter ook in zekere mate afhankelijk te zijn van de opgelegde vervorming. Dit duidt op niet-lineair gedrag van de visceuze termen; kennelijk kan de viscositeit van het materiaal niet als een constante worden gezien.

In de hiernavolgende tabel is het verloop van de restspanning en de relaxatietijd ten gevolge van de opgelegde vervorming voor op druk belaste horizontale monsters, bij 20° C weergegeven.

	Temperatuur = 20°C.							
rek (%)	0.22	0.35	0.42	0.63	0.70	1.06	1.85	3.71
max. sp. (kPa)	257.7	274.6	305.8	335.8	372.2	431.8	577.3	680.2
rest sp. (kPa)	5.0	12.0	8.0	16.0	25.0	40.0	86.0	**
relax. tijd (s)	*	*	*	*	*	*	*	*

Bij de proef waarbij een rek van 3.71 % werd opgelegd bezweek het proefstuk, om deze reden is voor de restspanning een ** ingevuld. De restspanningen bij de horizontale monsters blijken duidelijk hoger te zijn dan de restspanningen, die bij dezelfde temperatuur en vervormingstoestand, die in de verticale monsters zijn gemeten. Dit verschil is alleen te verklaren door een verschil in stijfheid van het korrelskelet in de beide richtingen.
Voor het overige is het beeld identiek aan dat van de verticale monsters die zijn belast door een drukspanning.

4.3. Hoogfreguente vervormingsgestuurde proef:

Proefstuk H-02 is belast met een sinusvormige vervorming met een frequentie van circa 50 Herz en een amplitude van circa 0.05 mm. Bij deze proef is het verloop van de kracht (c.q. spanning) ten gevolge van het opgelegde vervormingssignaal gemeten. Met behulp van fourieranalyse kunnen voor zowel het vervormingsgedrag als het spanningsgedrag harmonische functies worden bepaald. Als deze harmonische functies bekend zijn kan de faseverschuiving tussen de beide functies worden bepaald. Bij een volledig elastisch systeem moet de faseverschuiving (fasehoek) nul zijn. Indien de fa-

sehoek gering is, kan de te berekenen elasticiteitsmodulus als een redelijke benadering van 'echte' elasticiteitsmodulus worden beschouwd.
Bij deze proef was de fasehoek 7°.
De amplitude van de verplaatsing was 0.047 mm, en de amplitude van de kracht is 1400 N.

Opmerking:

De bepaling van de waarden van de verschillende materiaalparameters is direct gekoppeld aan de keuze van het materiaalmodel, om deze reden wordt de bepaling van de waarden van de verschillende materiaalparameters behandeld in rapport BSW/WSW 87-25 waar wordt ingegaan op de materiaalmodellering.

5. Conclusies:

-Voor een eerste materiaalmodellering kan worden volstaan volstaan met een isotroop materiaalgedrag. Bij de viscoplastische vervorming dient echter te worden opgemerkt dat de hoek van inwendige wrijving van het korrelskelet in de horizontale richting een duidelijk grotere waarde heeft dan in de verticale richting.
-Het relaxatiegedrag van het materiaal wisselt sterk, zelfs bij hetzelfde proefstuk. Dit kan echter voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan de gebruikte proefopstelling, die niet specifiek voor dergelijke proeven is opgezet.
-Ook bij hoogfrequente belastingen (50 Herz, denk aan golfklappen) kan het materiaalgedrag niet als zijnde zuiver elastisch worden benaderd.
-Er dient nader onderzoek te worden verricht naar onder praktische omstandigheden optredende ruimtelijke spanningstoestanden (d.w.z. orde van grootte druk- en trekspanningen), zodat het te onderzoeken spanningstraject kan worden vastgesteld.
-Bij dit materiaal hebben we te maken met twee "vloei"-functies. De eerste vloeifunctie geeft de scheiding aan tussen reversibele en gedeeltelijk niet-reversibele rekken (elastisch-viscoelastisch en elastisch-viscoelastisch-viscoplastisch). En de tweede vloeifunctie geeft de scheiding aan tussen plastisch en viscoplastisch gedrag (boven deze grens treedt scheurvorming op).
-Teneinde de vorm van de beide functies beter vast te kunnen leggen is een tweede proevenserie nodig. Deze proevenserie dient te bestaan uit triaxiaal- of biaxiaalproeven.
Bij deze proevenserie kan worden volstaan met één temperatuur, en wel om de volgende reden:
-het oppervlak in de spanningsruimte waarboven plastische rekken (scheurvorming) een rol gaan spelen is praktisch onafhankelijk van de heersende omgevingstemperatuur.
-het oppervlak in de spanningsruimte waarboven viscoplastische rekken een rol gaan spelen is alleen in een zeer beperkt gebied (d.w.z. hoofdspanningen naderen tot nul en we hebben alleen te maken met een schuifspanning, deze schuifspanning (=de zuivere cohesie) is wel afhankelijk van de temperatuur) afhankelijk van de temperatuur.
-Het materiaal vertoont een duidelijk verstevigingsgedrag (hardening), voor een goede materiaalmodellering is het noodzakelijk dat dit fenomeen bij de materiaalmodellering wordt betrokken.
-De breuk- ofwel bezwijkrek van het materiaal is vrijwel onafhankelijk van de beproevingstemperatuur en de vervormingssnelheid. En bedraagt bij deze mengselsamenstelling circa 4 %.
Dit in tegenstelling tot de breuk- c.q. bezwijkspanning die in sterke mate afhankelijk is van zowel de beproevingstemperatuur als de opgelegde vervormingssnelheid.

MONSTER	HOOGTE(mm)	DIAMETER(mm)	GEWICHT(gr.)	VOLUMEGEWICHT(kN/m³)
V-01	186.0	100.0	3411.1	23.35
V-02	187.0	101.0	3446.2	23.00
V-03	184.1	100.0	3381.5	23.39
V-04	193.0	100.0	3544.0	23.38
V-05	184.0	100.0	3388.6	23.45
V-06	173.0	100.0	3169.0	23.32
V-07	183.9	100.0	3387.5	23.45
V-08	185.5	100.0	3404.1	23.37
V-09	194.4	100.0	3587.4	23.50
V-10	183.5	100.0	3375.0	23.42
V-11	189.1	100.0	3489.4	23.50
V-12	188.2	100.0	3462.4	23.42
V-13	191.4	100.1	3542.1	23.56
V-14	195.5	100.0	3588.7	23.37
V-15	189.4	100.0	3483.5	23.42
V-16	194.5	100.0	3580.1	23.44
V-17	183.0	100.0	3361.6	23.39
V-18	194.0	100.0	3561.3	23.37
V-19	189.8	100.0	3495.2	23.45
V-20	183.0	100.1	3377.2	23.45
V-21	195.1	100.5	3613.1	23.35
V-22	194.9	100.3	3597.0	23.36
V-23	195.0	100.2	3610.0	23.48
V-24	196.3	100.4	3625.0	23.33
V-25	192.7	100.1	3568.0	23.53
V-26	195.8	100.1	3622.1	23.51
V-27	196.9	102.8	3850.6	23.56
V-28	193.7	102.3	3792.2	23.82
V-29	195.3	102.4	3816.3	23.73
V-30	137.1	102.6	2670.9	23.56
V-31	137.4	102.7	2677.7	23.53
V-32	137.3	102.7	2672.3	23.50
V-33	137.8	102.7	2683.4	23.51
V-34	197.6	102.6	3851.1	23.57
V-35	196.9	102.7	3843.2	23.56
V-36	160.1	102.6	3218.8	24.32
V-37	165.0	102.6	3231.8	23.69
V-38	163.5	102.7	3182.3	23.50
V-39	160.0	102.5	3221.7	24.40
V-40	162.3	102.7	3171.2	23.59
V-41	162.4	102.8	3173.8	23.55
H-01	187.0	100.0	3468.6	23.62
H-02	186.5	100.9	3496.2	23.44
H-03	187.0	101.0	3516.3	23.47
H-04	183.5	101.2	3456.6	23.42
H-05	187.8	101.0	3532.9	23.48
H-06	188.2	101.0	3552.9	23.56

bijlage 1

Samenstelling monsters:

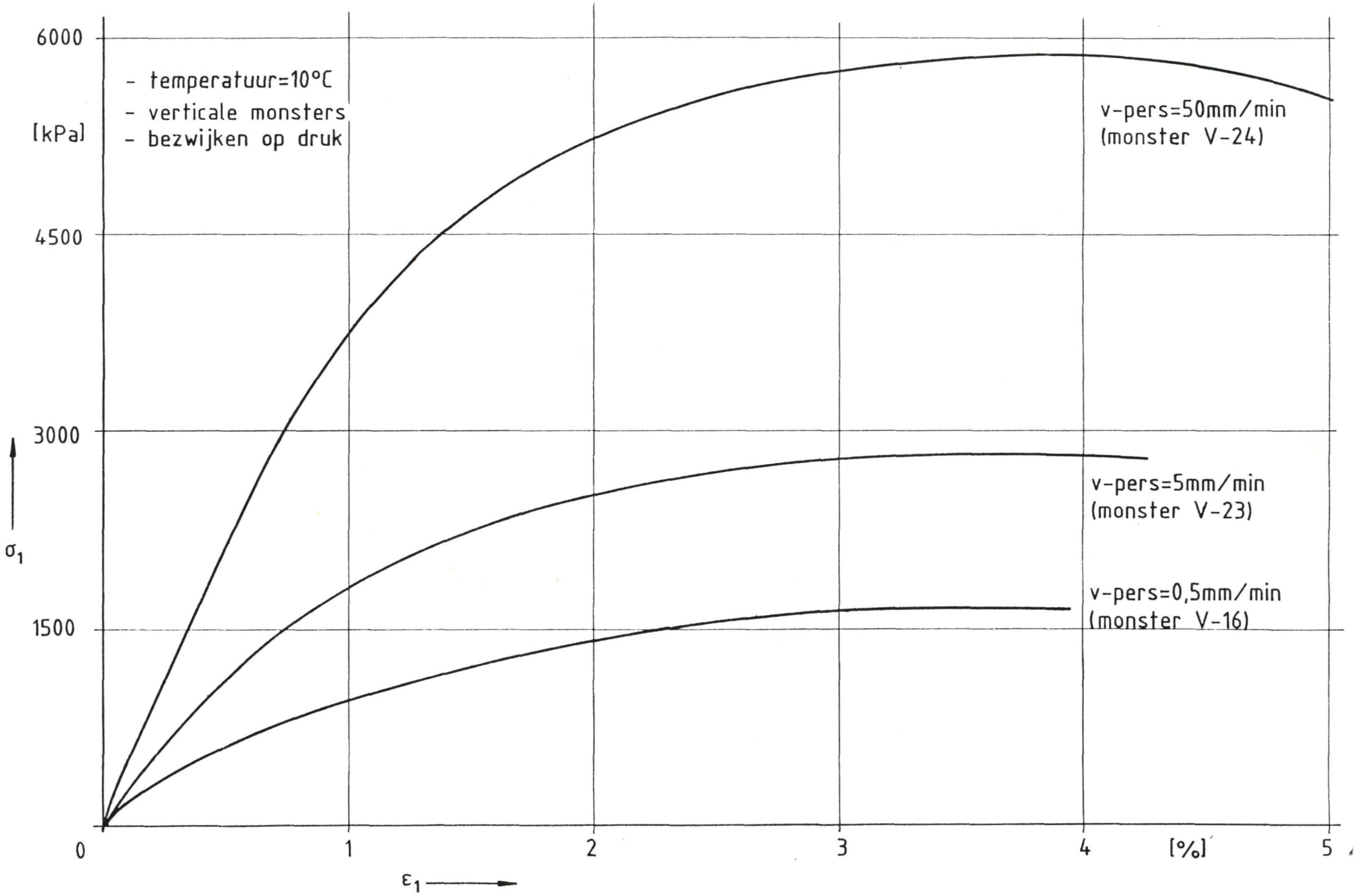
Er zijn steeksproefgewijs een aantal monsters beproefd op bitume- en aggregaatsamenstelling.

Resultaat t.a.v. bitume:

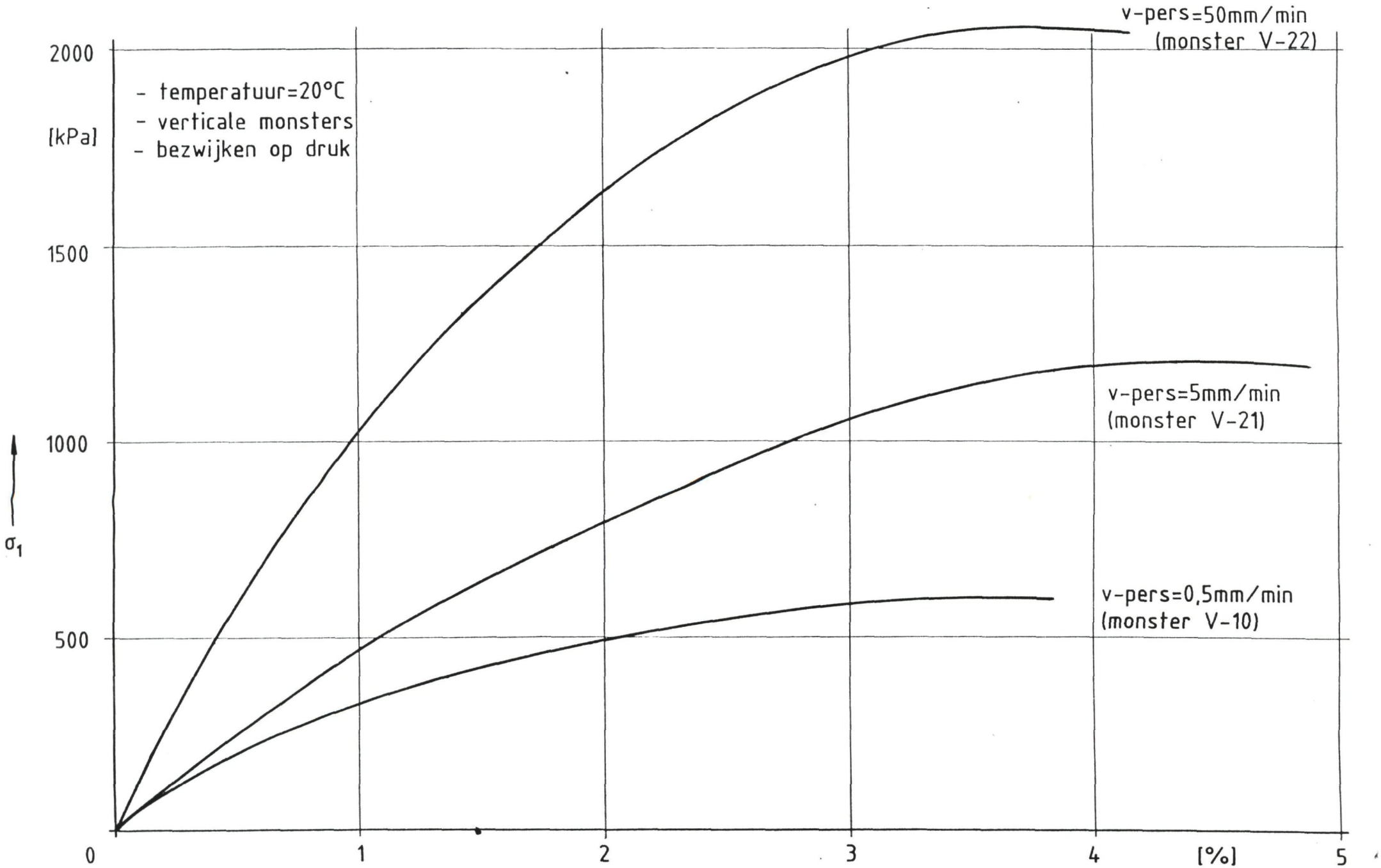
monster	bitumegeh. (%)	penetratie (0.1 mm)	verwekingspunt (°C)	PI
V-04	6.63	68	51.0	-.20
V-09	6.60	70	50.5	-.25
V-14	6.73	59	50.5	-.69
V-18	6.77	72	50.0	-.30
V-22	6.64	65	51.0	-.32
V-24	6.69	67	52.0	.01
V-28	6.73	82	49.0	-.21
V-29	6.49	71	50.0	-.34
V-34	6.62	75	49.5	-.32
V-35	6.77	72	49.5	-.43
H-04	6.74	59	51.5	-.44
H-06	7.04	62	51.0	-.44
gemiddeld	6.70	68.5	50.5	-.33

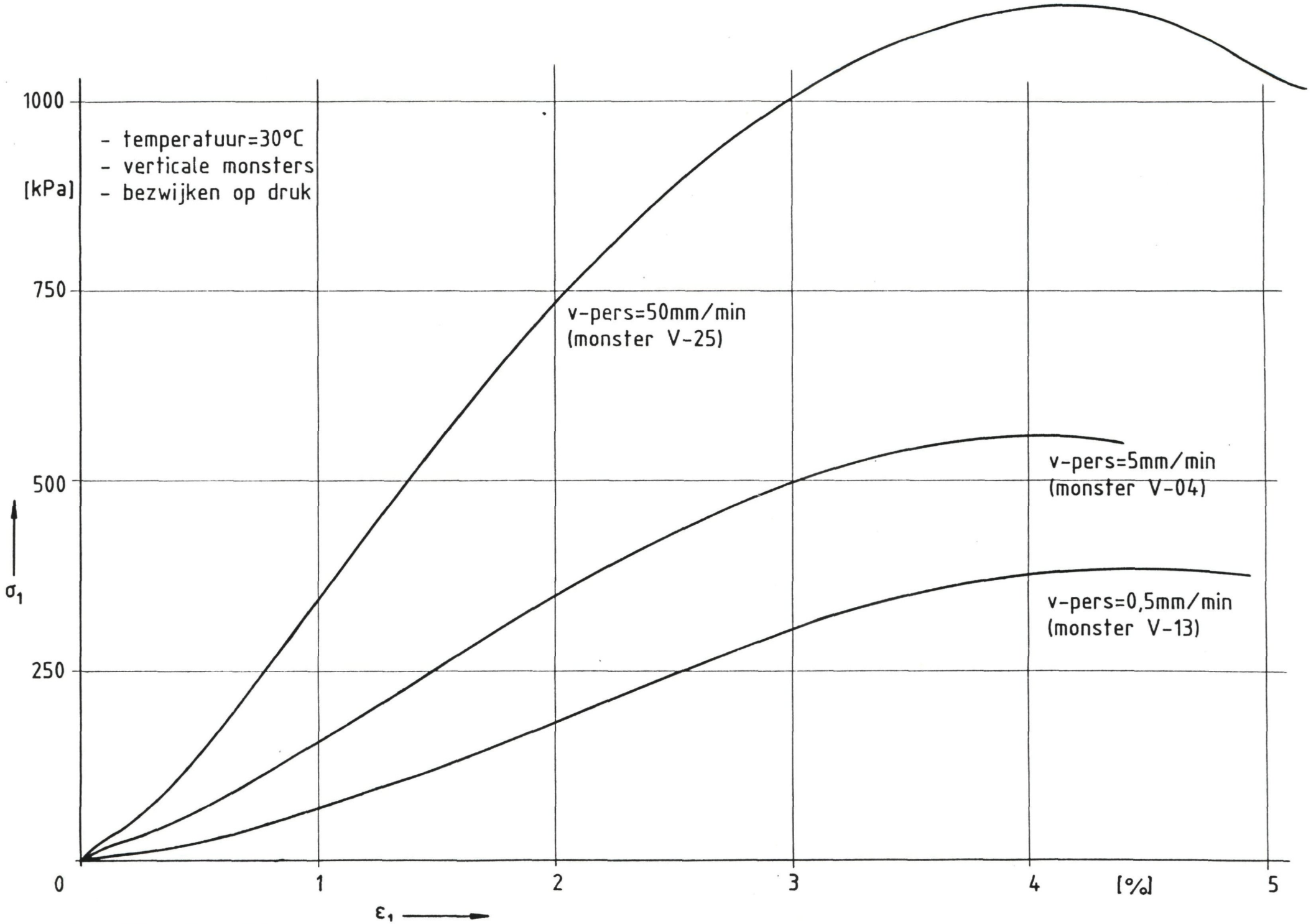
Resultaten t.a.v. het aggregaatmateriaal (alle waarden in procenten):

mon-ster	zeef C 16	zeef C 11.2	zeef C 8	zeef C 5.6	zeef 2 mm	zeef .5 mm	zeef .18 mm	zeef .063mm	vulst
V-04	0.0	13.0	28.8	40.3	47.9	54.8	79.3	92.7	7.3
V-09	0.5	8.9	31.0	43.5	50.4	55.9	78.0	92.8	7.[illegible]
V-14	0.0	9.5	27.4	40.8	47.9	54.5	76.7	92.4	7.6
V-18	0.6	11.7	29.2	40.4	48.1	53.9	77.4	93.1	6.9
V-22	1.9	12.9	29.5	42.1	49.4	55.8	77.4	92.8	7.[illegible]
V-24	0.0	11.2	29.2	41.2	49.3	55.9	80.9	93.3	6.[illegible]
V-28	0.0	9.2	24.6	41.1	48.2	54.7	76.5	92.3	7.7
V-29	0.0	9.2	28.3	43.3	50.2	56.8	77.8	92.6	7.4
V-34	0.0	9.3	26.4	41.4	49.0	55.7	77.6	92.5	7.[illegible]
V-35	0.8	10.1	26.8	40.5	48.0	55.5	78.3	93.2	6.8
H-04	0.0	11.8	26.9	39.9	45.5	52.7	77.1	93.0	7.0
H-06	0.0	9.8	26.3	39.0	47.3	53.6	76.3	92.4	7.[illegible]
gem.	0.1	10.6	27.9	41.1	48.4	55.0	77.8	92.8	7.2

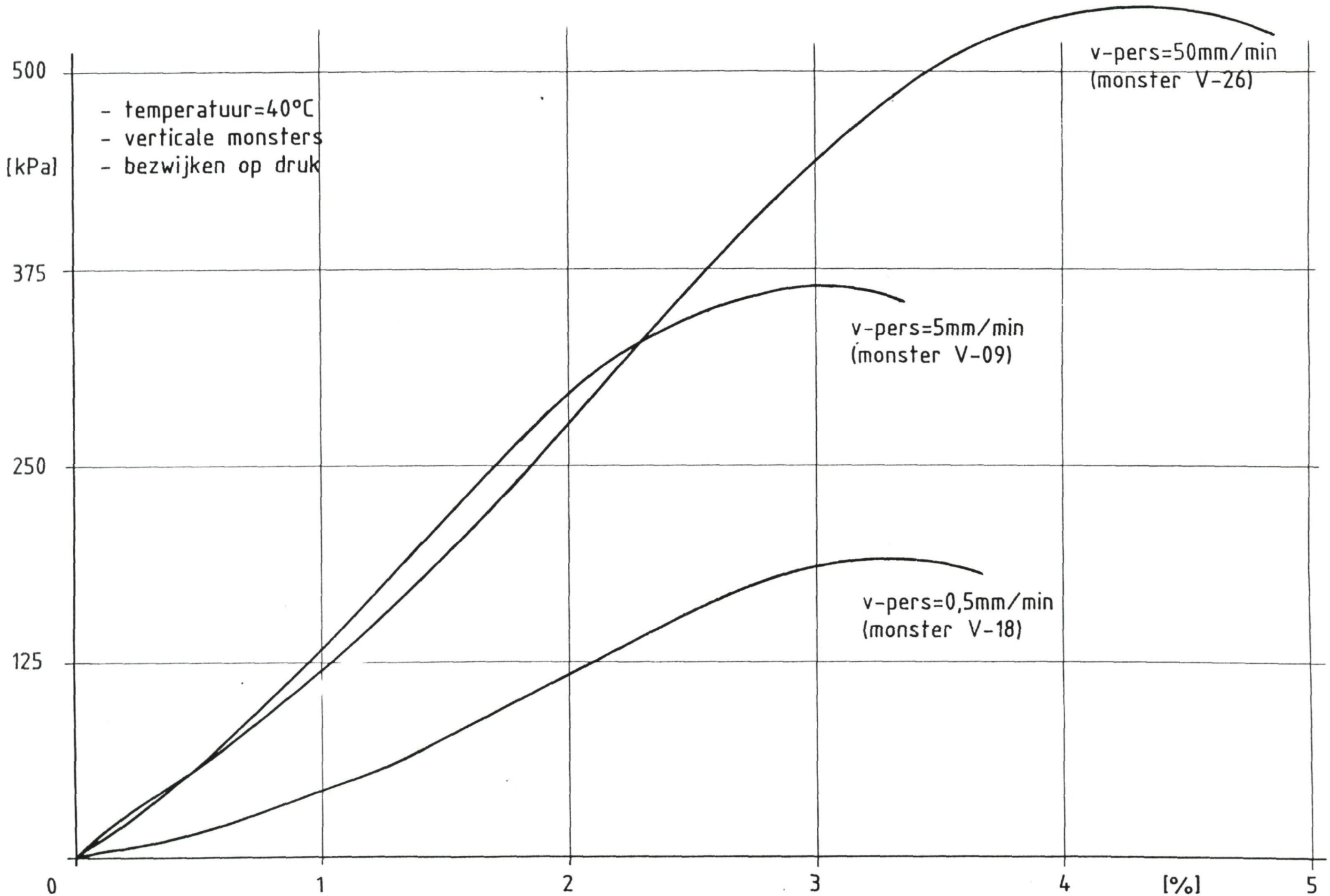

6000
4500
3000
1500
0
[kPa]
σ_1
- temperatuur=10°C
- verticale monsters
- bezwijken op druk
v-pers=50mm/min
(monster V-24)
v-pers=5mm/min
(monster V-23)
v-pers=0,5mm/min
(monster V-16)
1
2
3
4
[%]
5
ε_1

Bijlage 3

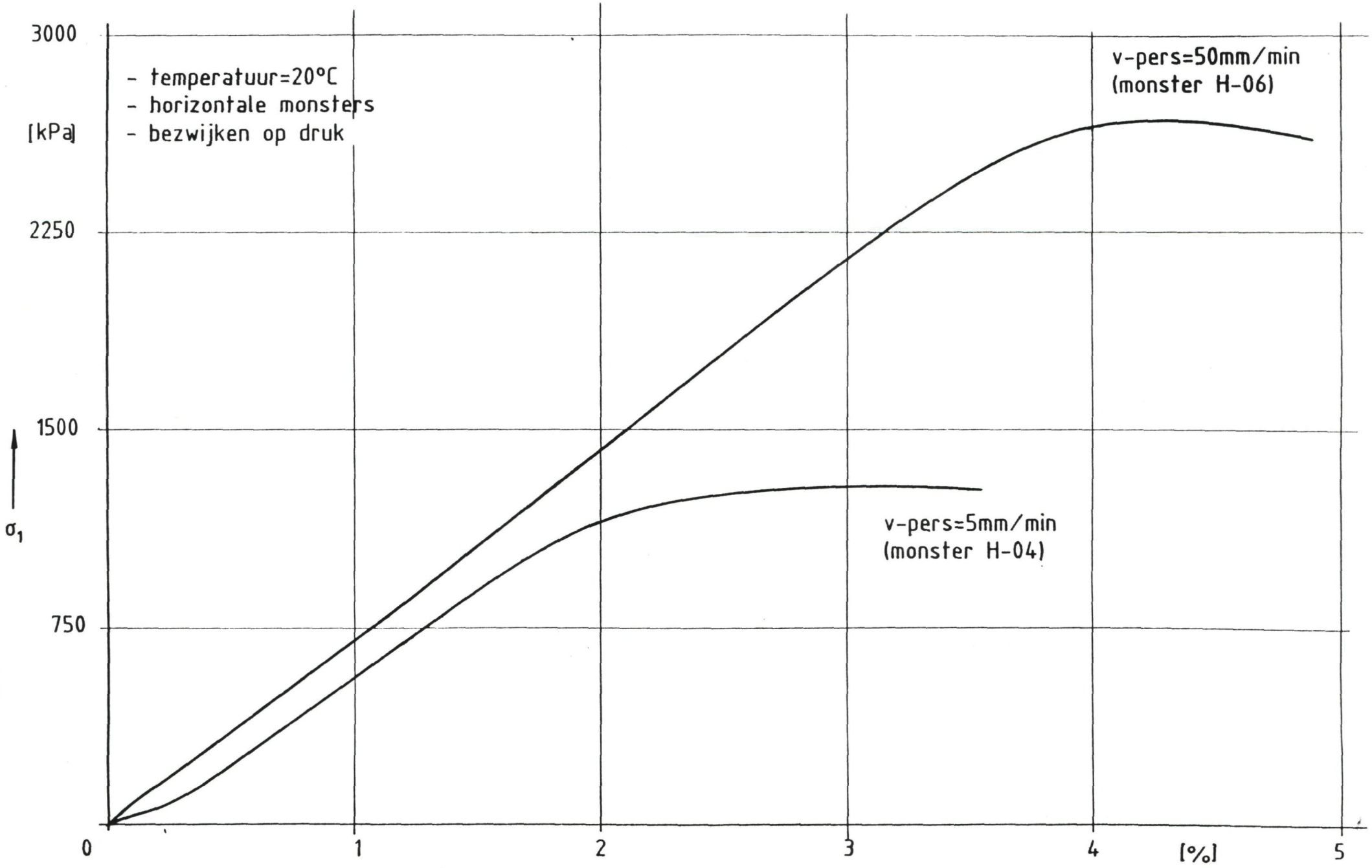

v-pers=50mm/min
(monster V-22)
v-pers=5mm/min
(monster V-21)
v-pers=0,5mm/min
(monster V-10)
- temperatuur=20°C
- verticale monsters
- bezwijken op druk
2000
1500
1000
500
[kPa]
σ1
0
1
2
3
4
5
[%]


1000
750
500
250
0
[kPa]
σ1
- temperatuur=30°C
- verticale monsters
- bezwijken op druk
v-pers=50mm/min
(monster V-25)
v-pers=5mm/min
(monster V-04)
v-pers=0,5mm/min
(monster V-13)
1
2
3
4
[%]
5
ε1

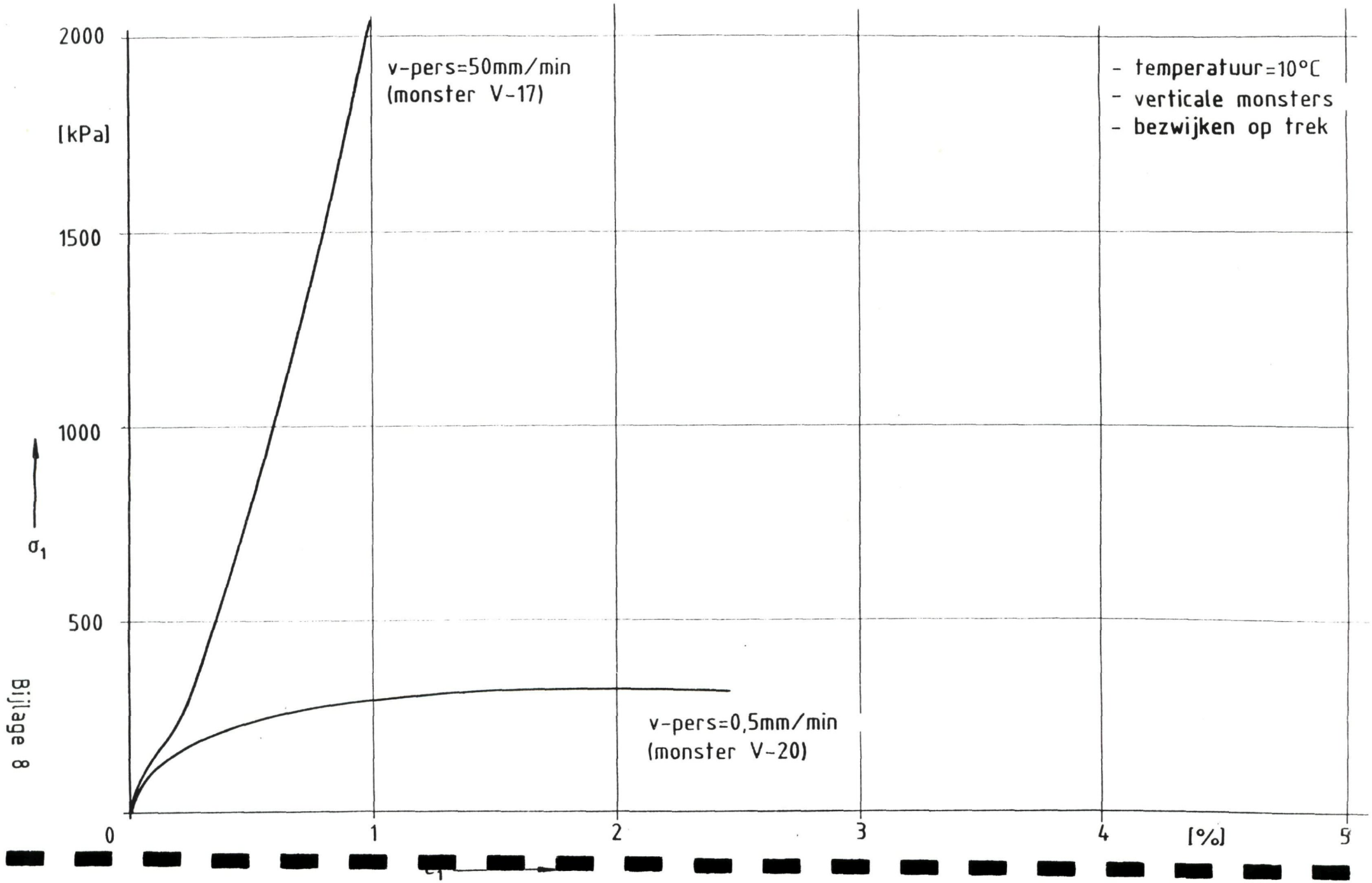
Bijlage 5


500
375
250
125
[kPa]
σ_1
- temperatuur=40°C
- verticale monsters
- bezwijken op druk
v-pers=50mm/min
(monster V-26)
v-pers=5mm/min
(monster V-09)
v-pers=0,5mm/min
(monster V-18)
0
1
2
3
4
[%]
5
ε_1

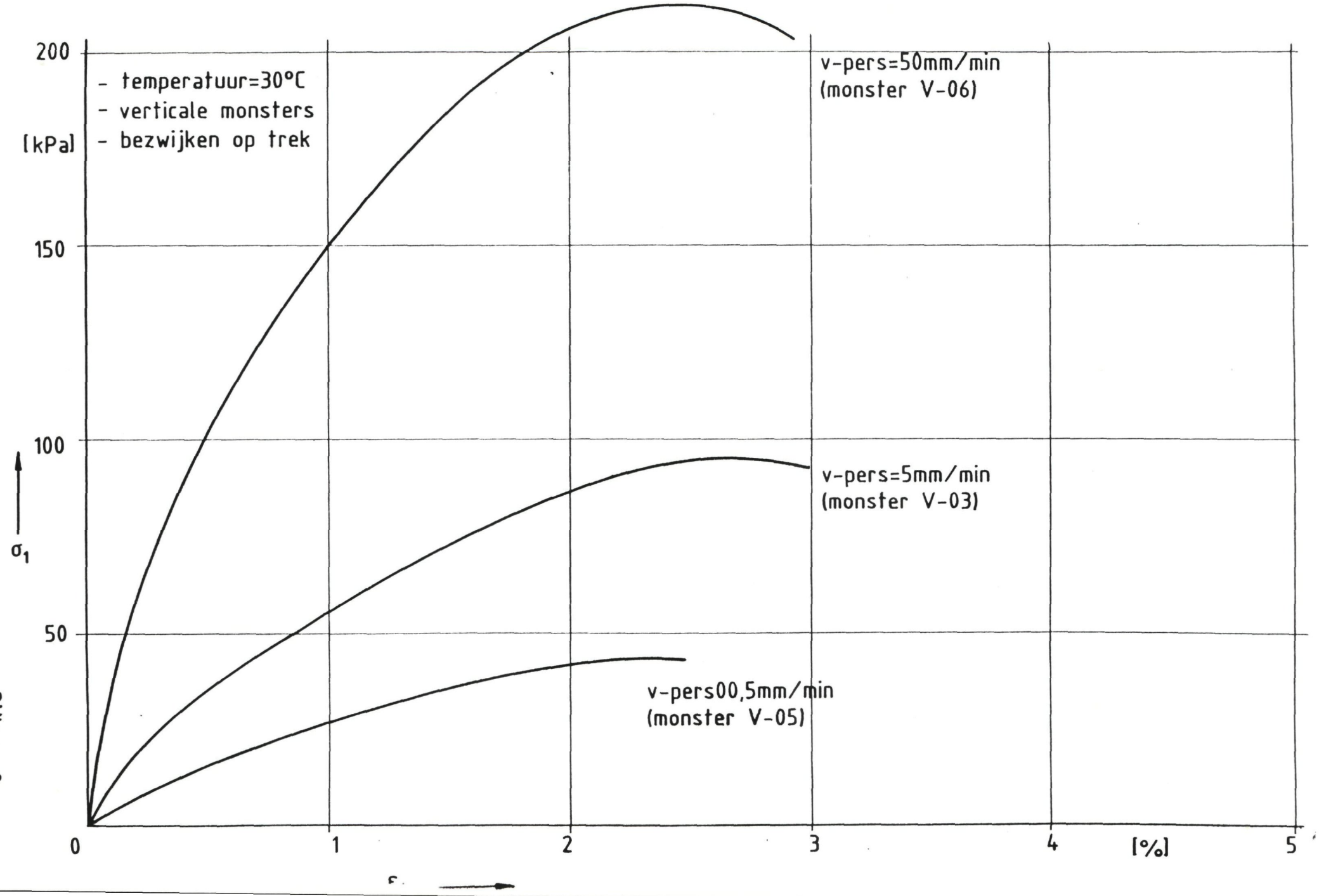
Bijlage 6


3000
[kPa]
2250
1500
750
0
1
2
3
4
[%]
5
σ1
- temperatuur=20°C
- horizontale monsters
- bezwijken op druk
v-pers=50mm/min
(monster H-06)
v-pers=5mm/min
(monster H-04)

Bijlage 7


2000
[kPa]
1500
1000
500
σ_1
0
1
2
3
4
[%]
5
ε_1
v-pers=50mm/min
(monster V-17)
v-pers=0,5mm/min
(monster V-20)
- temperatuur=10°C
- verticale monsters
- bezwijken op trek

Bijlage 8


200
150
100
50
0
[kPa]
σ_1
- temperatuur=30°C
- verticale monsters
- bezwijken op trek
v-pers=50mm/min
(monster V-06)
v-pers=5mm/min
(monster V-03)
v-pers00,5mm/min
(monster V-05)
1
2
3
4
5
[%]
ε

Bijlage 9

Spanningsrelaxatieproeven:

proef nr.	Temp. °C.	rek1 (%)	tijd1 (sec.)	rust1 (uren)	rek2 (%)	tijd2 (sec.)	rust2 (uren)	rek3 (%)	tijd3 (sec.)	rust (uren
1A-D	10	0.45	0.2	20	0.89	0.2	30	1.35	0.2	40
1B-D	10	0.85	4.0	20	1.70	4.0	30	2.55	4.0	40
2A-D	40	1.60	40.0	10	3.25	40.0	15	4.90	40.0	23
2B-D	40	1.05	24.0	10	2.10	24.0	15	3.15	24.0	23
3A-D	10	1.24	240.0	20	2.46	240.0	30	3.67	240.0	40
3B-T	10	0.26	0.6	20	0.52	0.6	30	0.79	0.6	40
4A-D	40	1.04	240.0	10	2.10	240.0	15	3.14	240.0	23
4B-T	40	0.72	1.8	10	1.43	1.8	15	2.15	1.8	23
5A-T	10	0.54	120.0	2	1.07	120.0	6	1.61	120.0	13
5B--	10	niet uitgevoerd.								
6A-D	30	0.31	0.6	13	0.62	0.6	20	0.93	0.6	30
6B-D	30	1.22	24.0	13	2.45	24.0	20	3.68	24.0	30
7A-DH	20	0.21	0.72	15	0.42	0.72	20	0.63	0.72	35
7B-DH	20	0.35	24.0	15	0.71	24.0	20	1.07	24.0	35
8A-D	30	1.59	360.0	13	3.20	360.0	20	4.81	360.0	30
8B--	30	niet uitgevoerd.								
9A-DH	20	1.85	420.0	15	3.73	420.0	20	5.62	420.0	35
9B	20	niet uitgevoerd.								
10A-T	20	1.09	180.0	2	2.19	180.0	6	3.29	180.0	13
10B-T	20	0.32	0.6	2	0.63	0.6	6	0.93	0.6	13
11A-T	30	0.92	180.0	2	1.84	180.0	6	2.76	180.0	13
11B-T	30	0.31	0.6	2	0.62	0.6	6	0.92	0.6	13

Spanningsrelaxatieproeven:

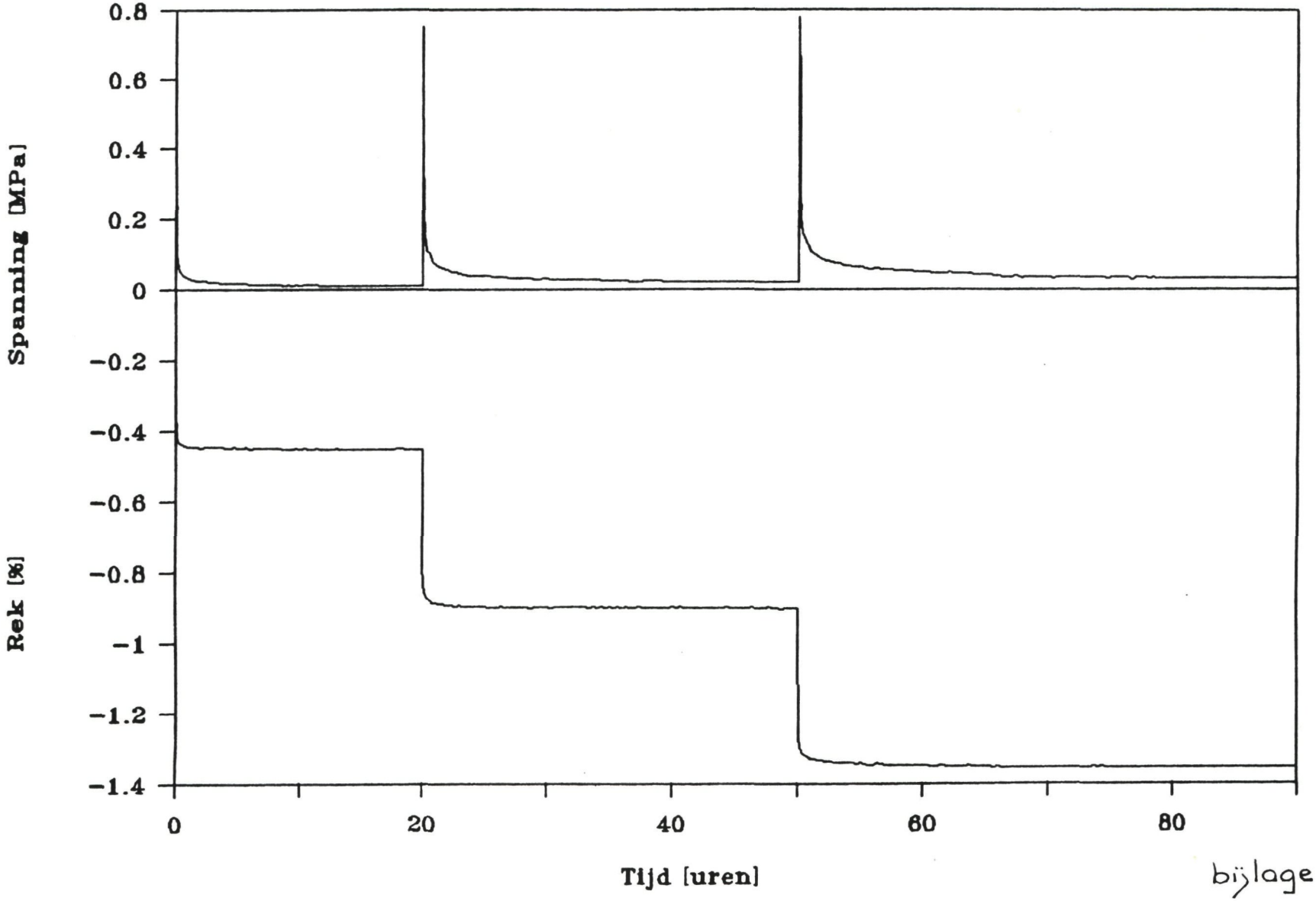
proef nr.	Temp. °C.	rek1 (%)	tijd1 (sec.)	rust1 (uren)	rek2 (%)	tijd2 (sec.)	rust2 (uren)	rek3 (%)	tijd3 (sec.)	rust3 (uren)
12A-T	40	1.08	60.0	2	2.19	300.0	6	3.26	720.0	15
12B--	40	niet uitgevoerd.								
13A-D	20	0.51	120.0	15	1.03	120.0	20	1.54	120.0	40
13B-D	20	0.29	0.6	20	0.55	0.6	25	0.83	0.6	30
14A-D	20	0.879	20.09	24	1.763	20.09	24	2.642	20.09	24
14B-D	20	niet uitgevoerd.								

D = drukproef
T = trekproef
DH = drukproef op horizontaal monster.

Een aantal proeven zijn tweemaal uitgevoerd. Dit daar de opgelegde vervor ming bij een aantal proeven niet binnen de gewenste tijd is gerealiseerd. Daar er niet voldoende monsters meer beschikbaar waren is besloten slecht een beperkt aantal proeven overnieuw te doen; de betreffende proeven zijn 3A, 4A en 13A. De desbetreffende resultaten hebben in de appendix het achtervoegsel X.
Proef 2B is mislukt en is verder buiten de evaluatie gehouden.

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

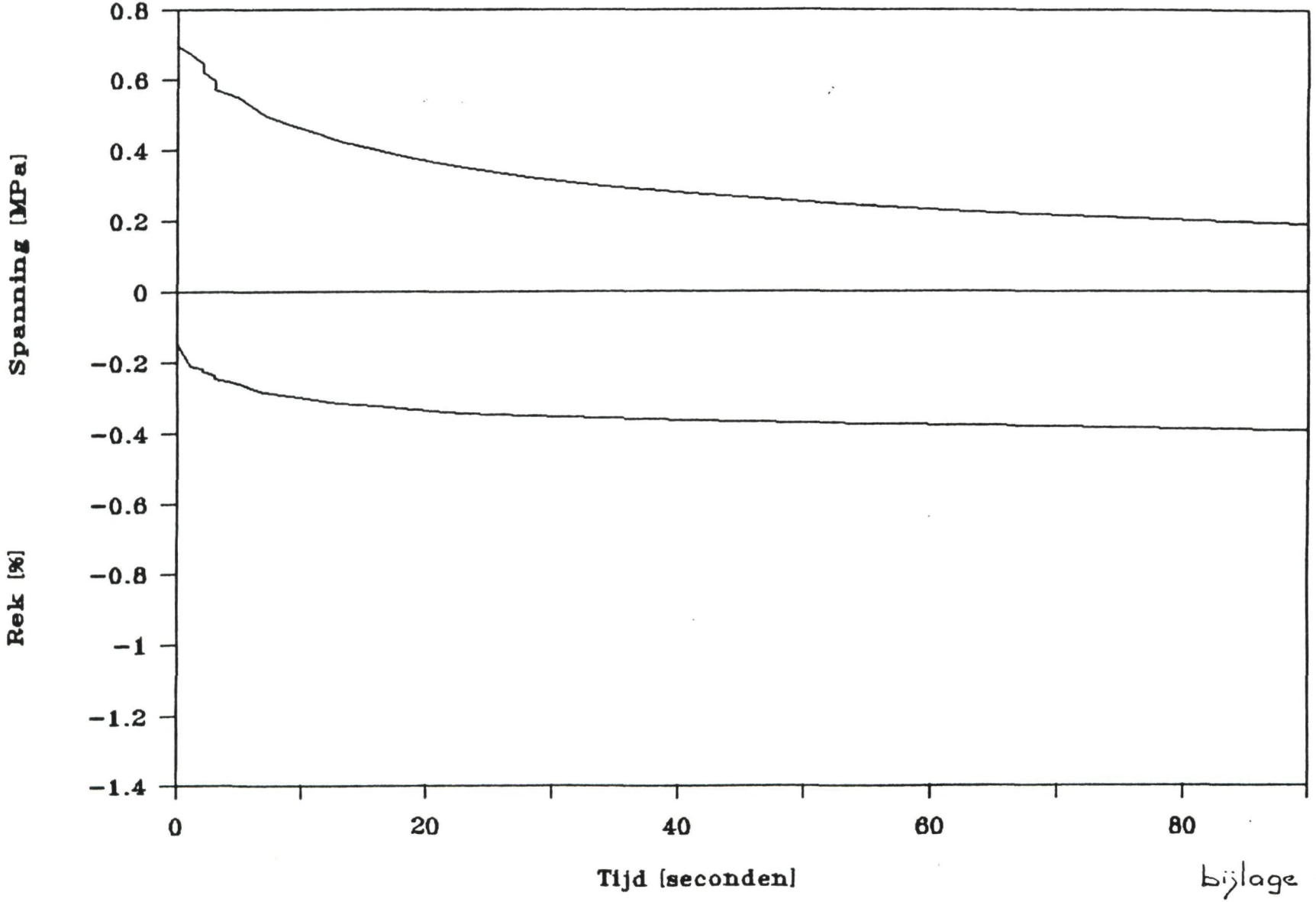
DRUK 10 °C Proef 1A V-34



bijlage 12

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

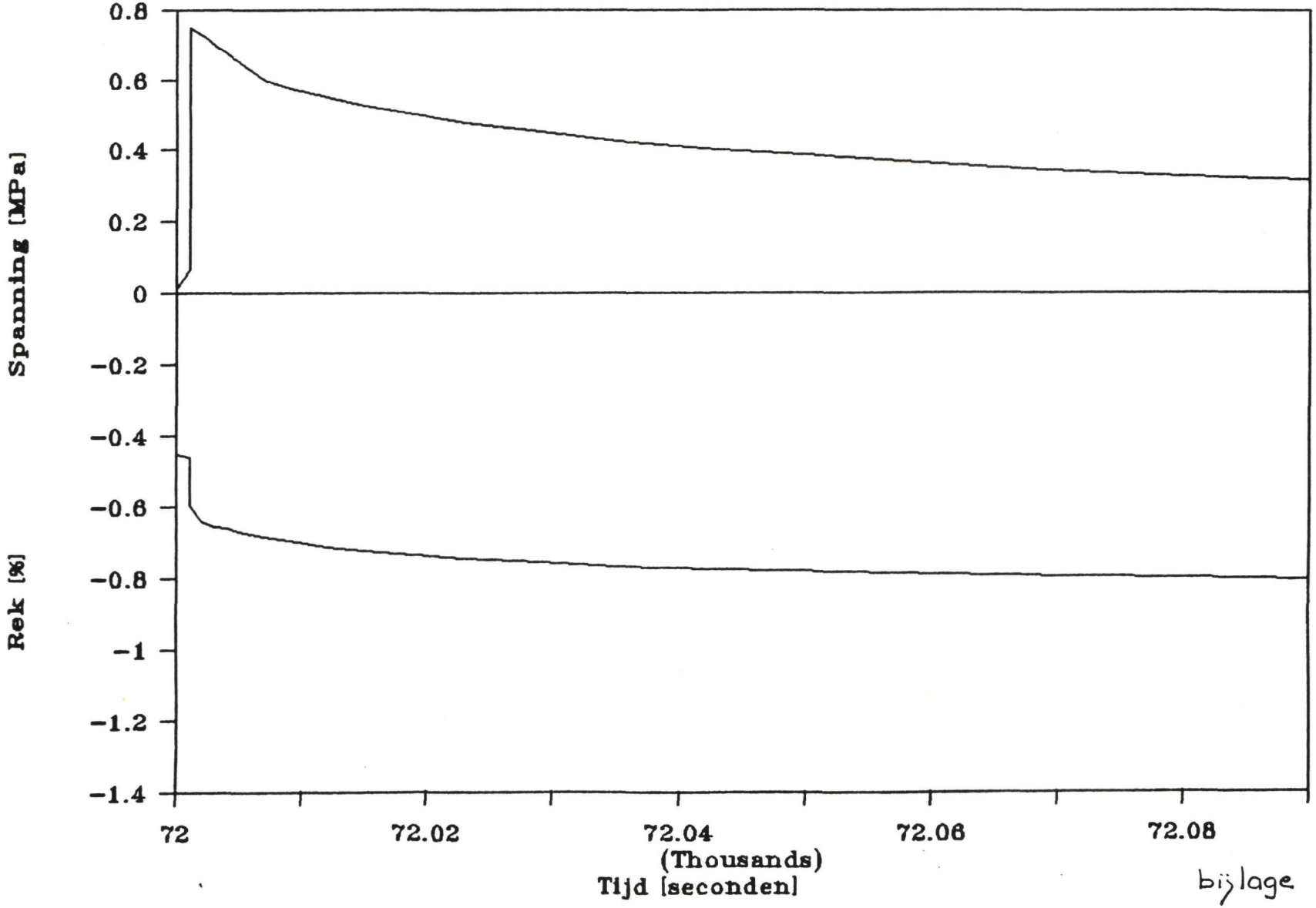
DRUK 10 °C Proef 1A V-34



bijlage 13

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

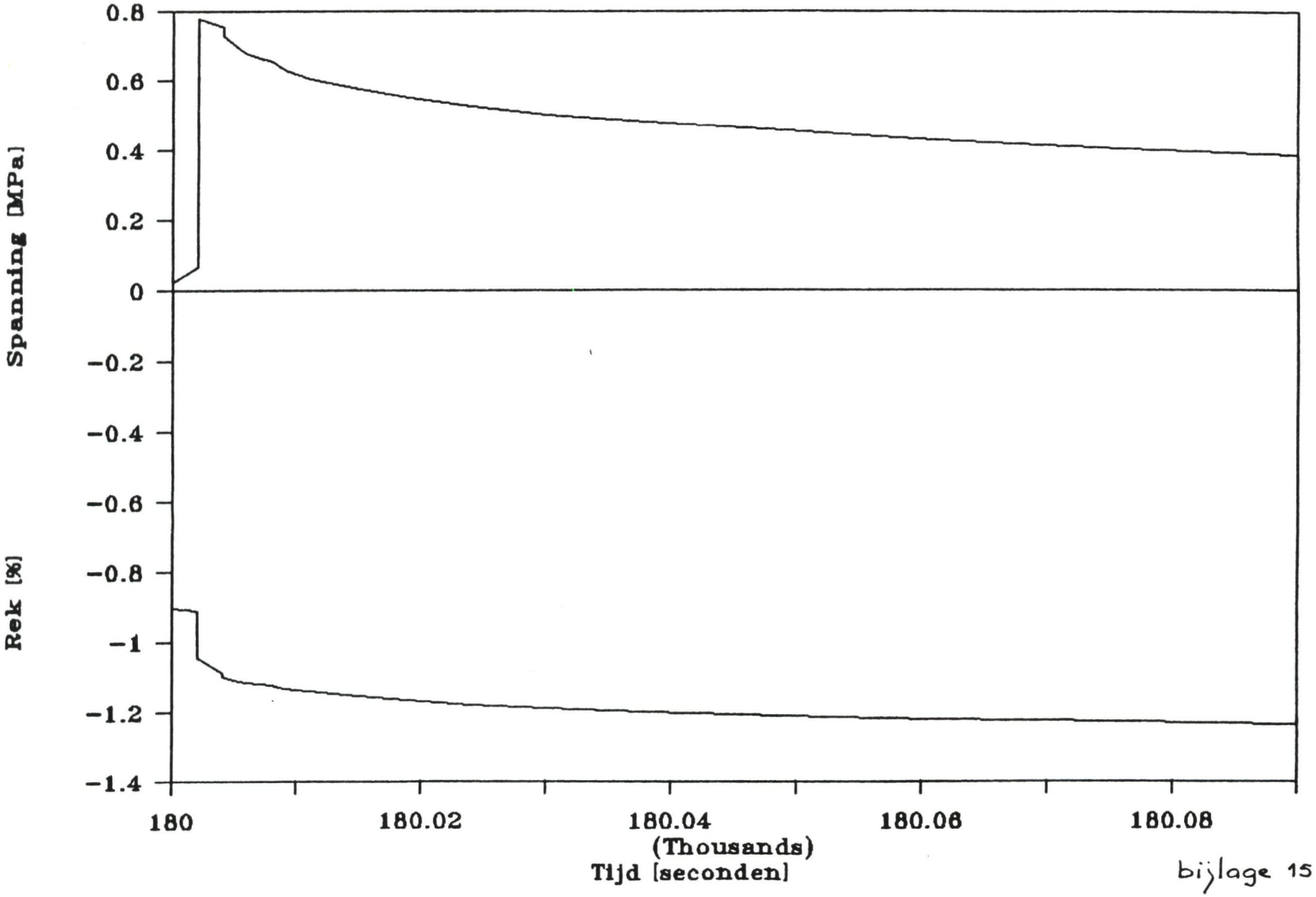
DRUK 10 °C Proef 1A V-34



bijlage 14

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

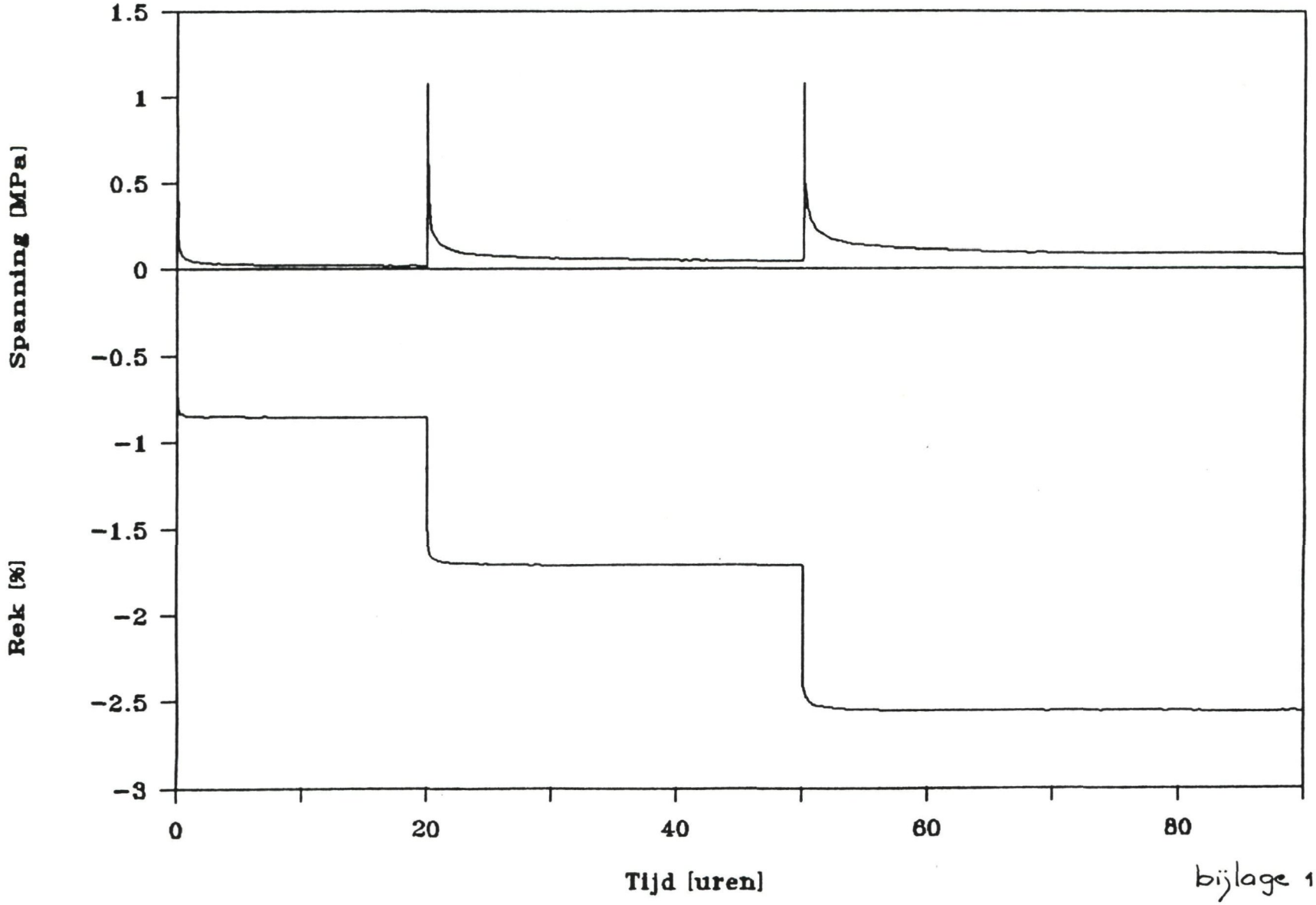
DRUK 10 °C Proef 1A V-34



bijlage 15

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

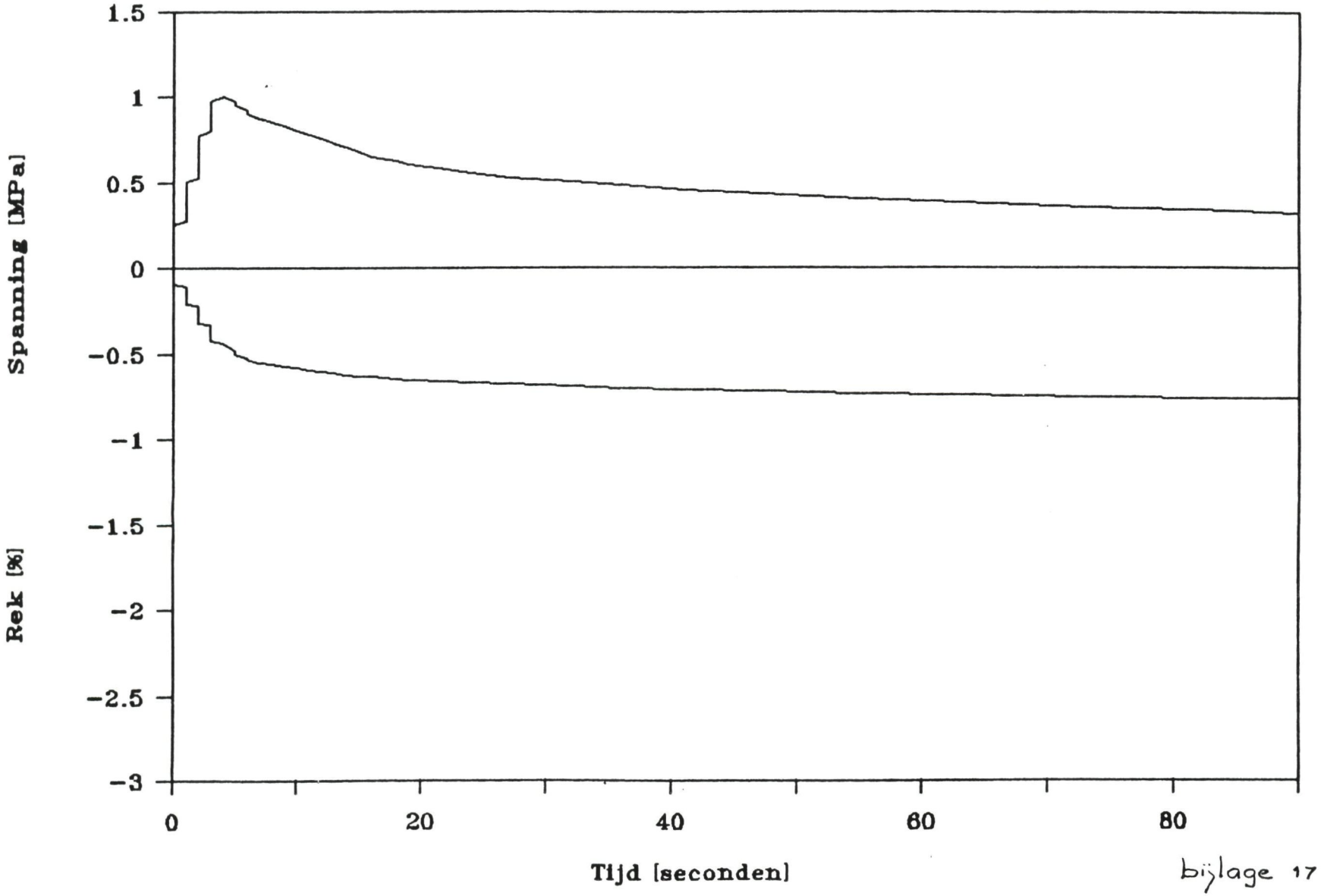
DRUK 10 °C Proef 1B V-35



bijlage 16

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

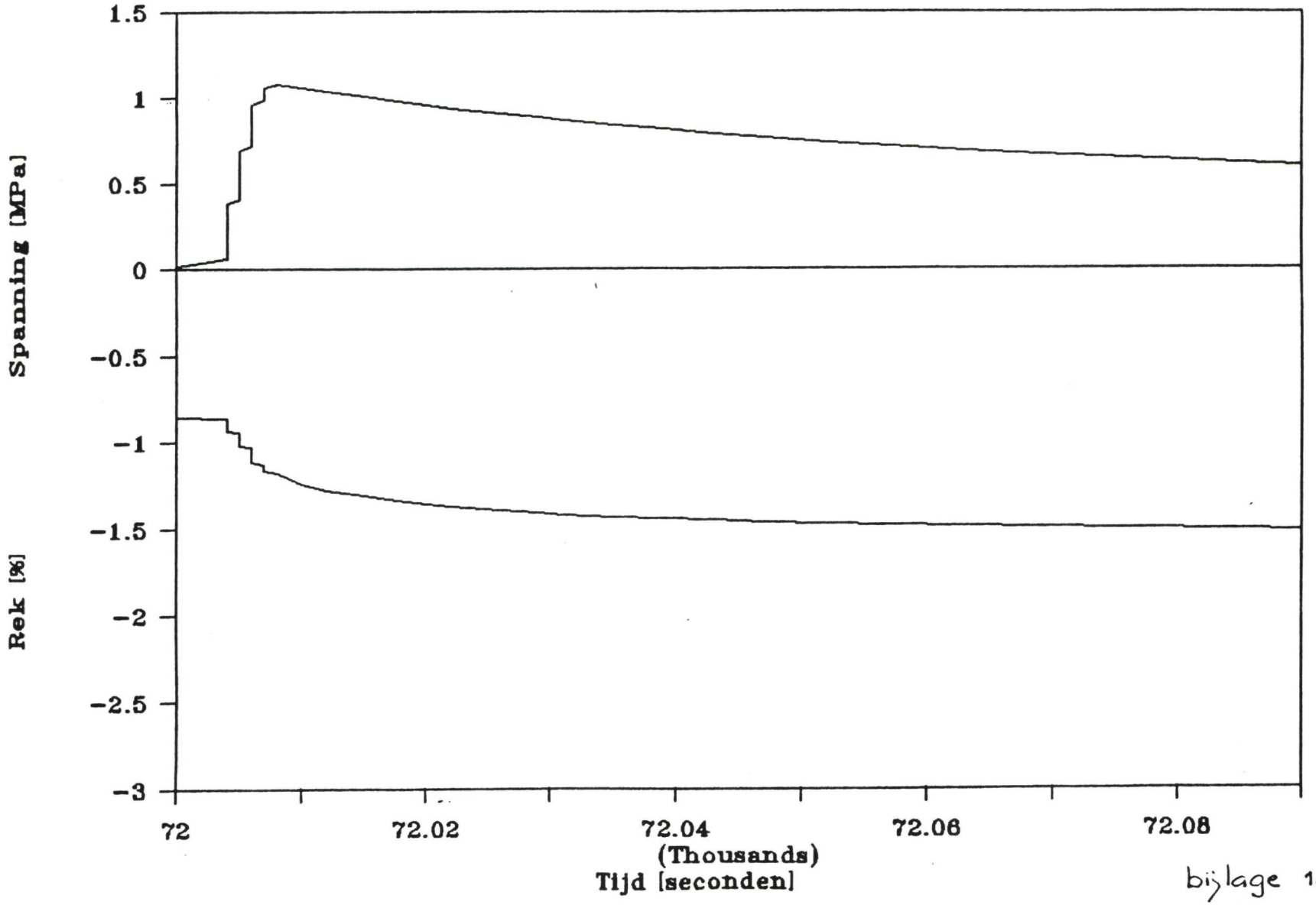
DRUK 10 °C Proef 1B V-35



bijlage 17

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

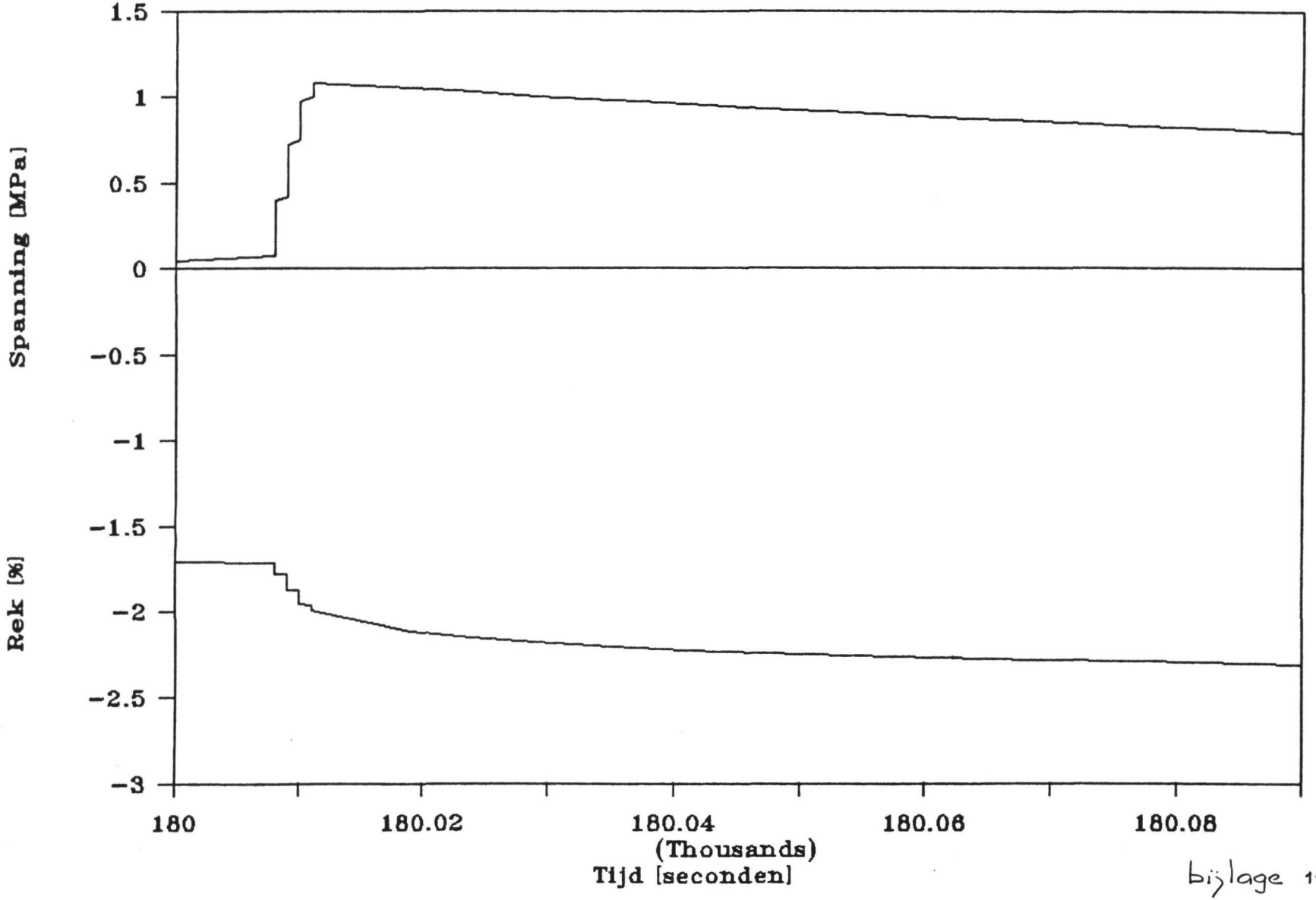
DRUK 10 °C Proef 1B V-35



bijlage 18

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

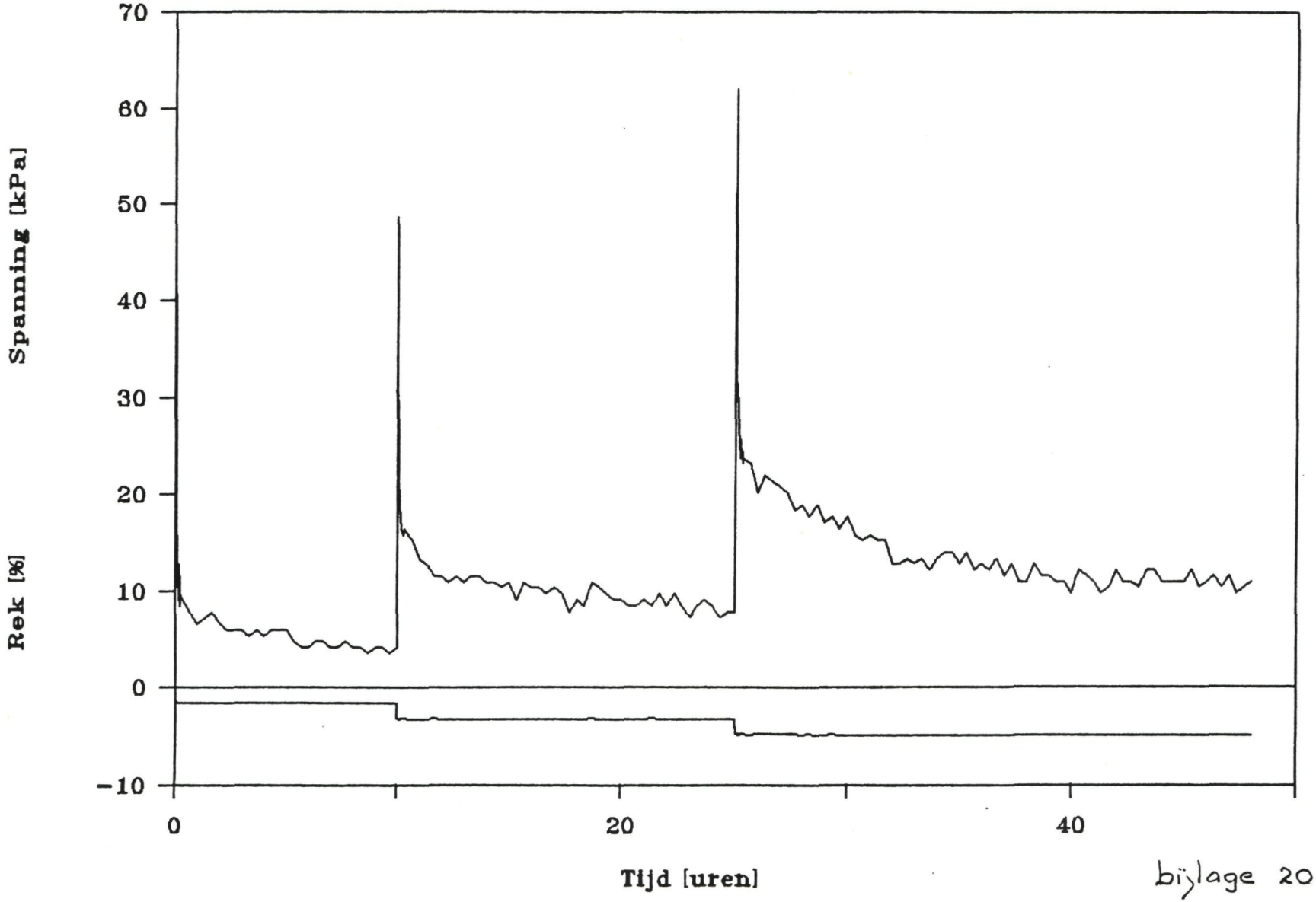
DRUK 10 °C Proef 1B V-35



bijlage 19

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

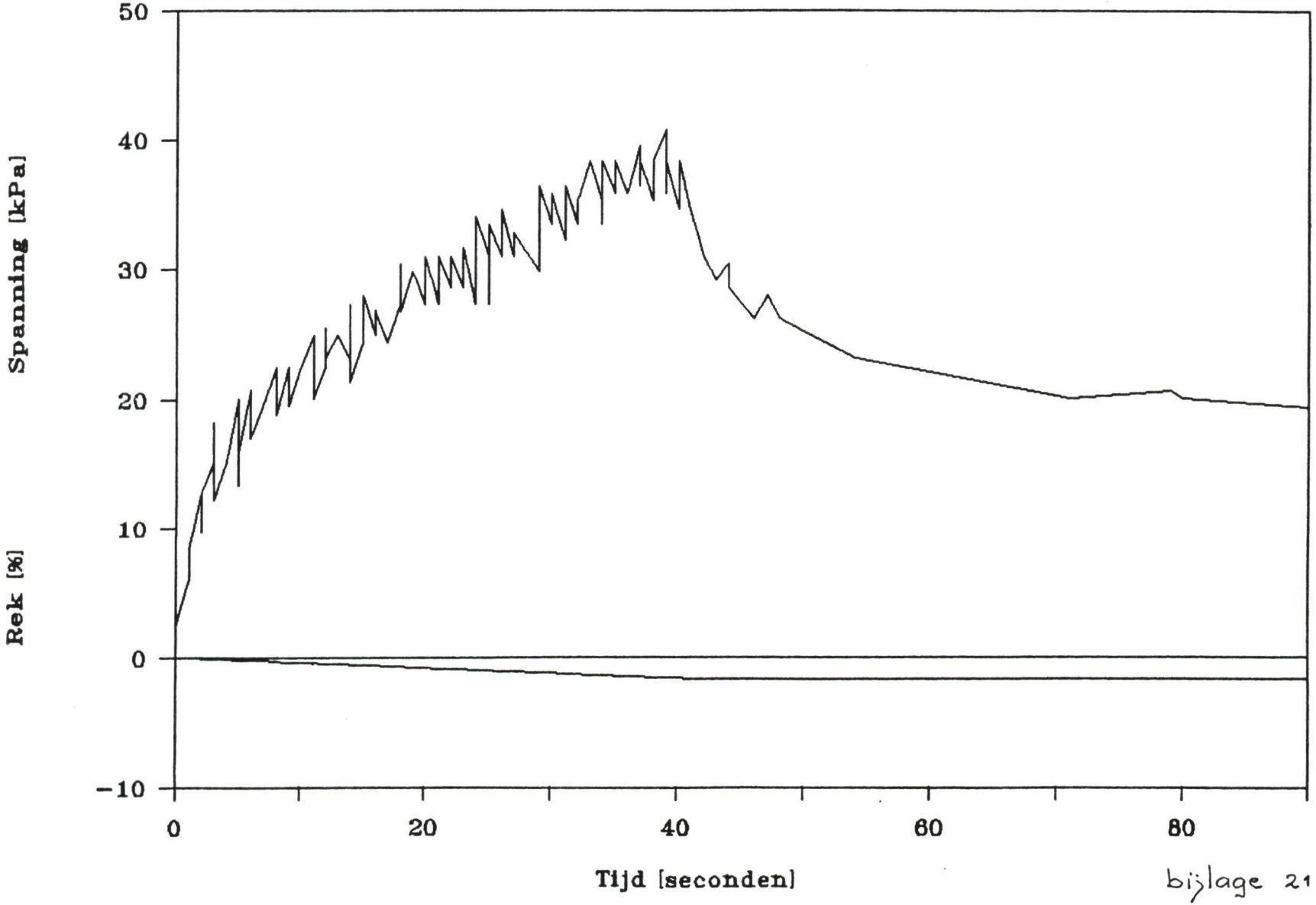
DRUK 40 °C Proef 2A V-28



bijlage 20

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

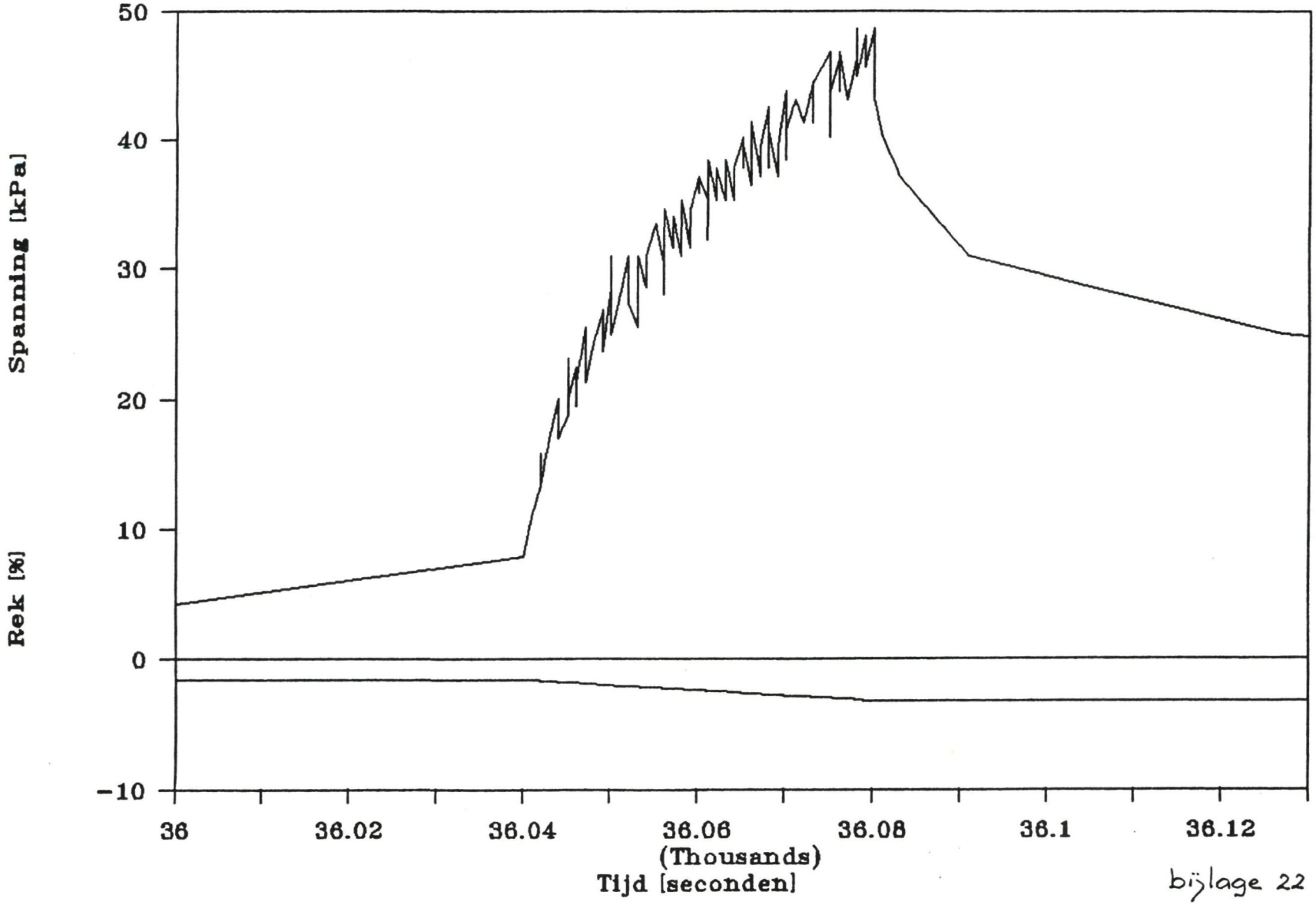
DRUK 40 °C Proef 2A V-28



bijlage 21

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

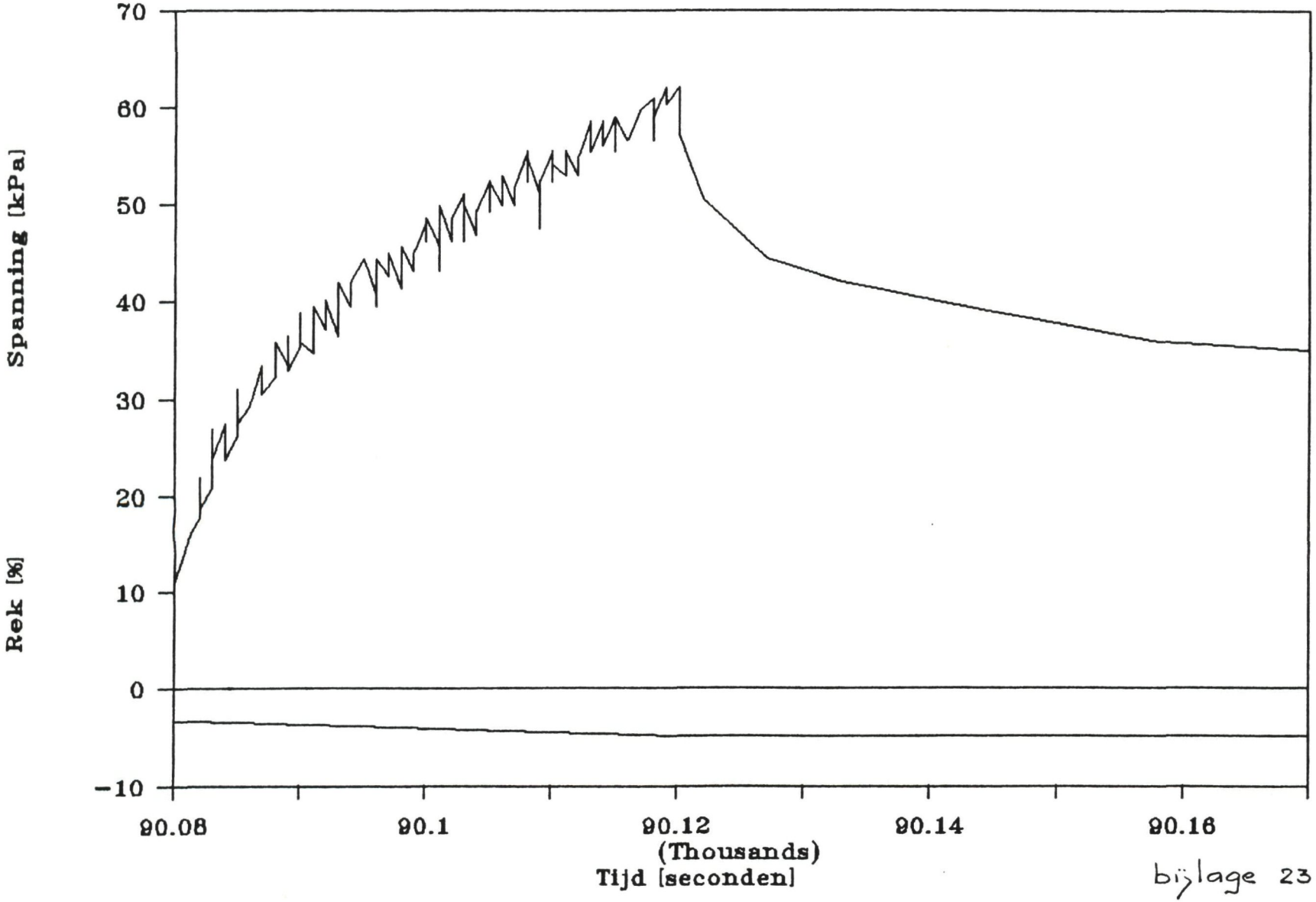
DRUK 40 °C Proef 2A V-28



bijlage 22

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

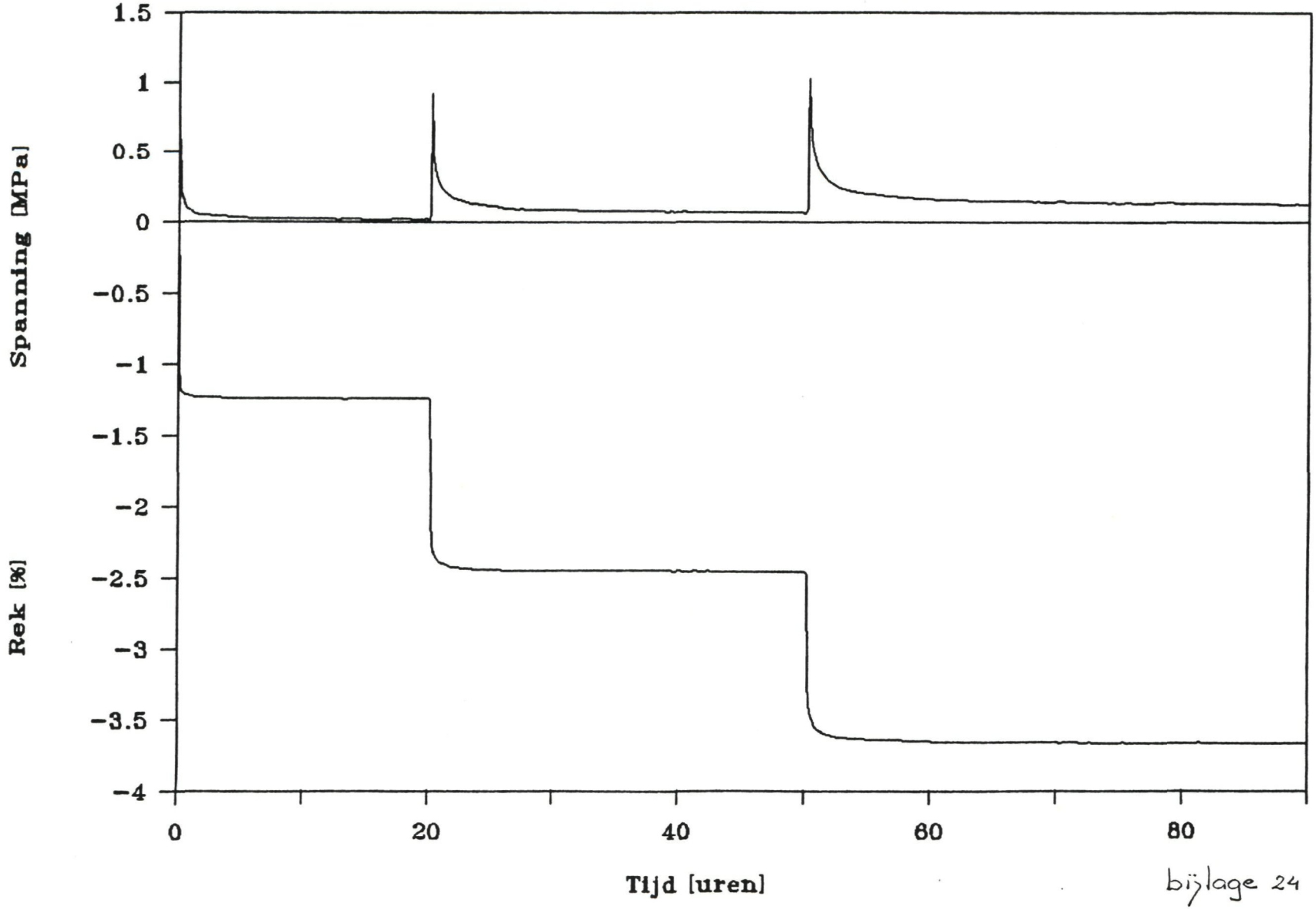
DRUK 40 °C Proef 2A V-28



bijlage 23

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

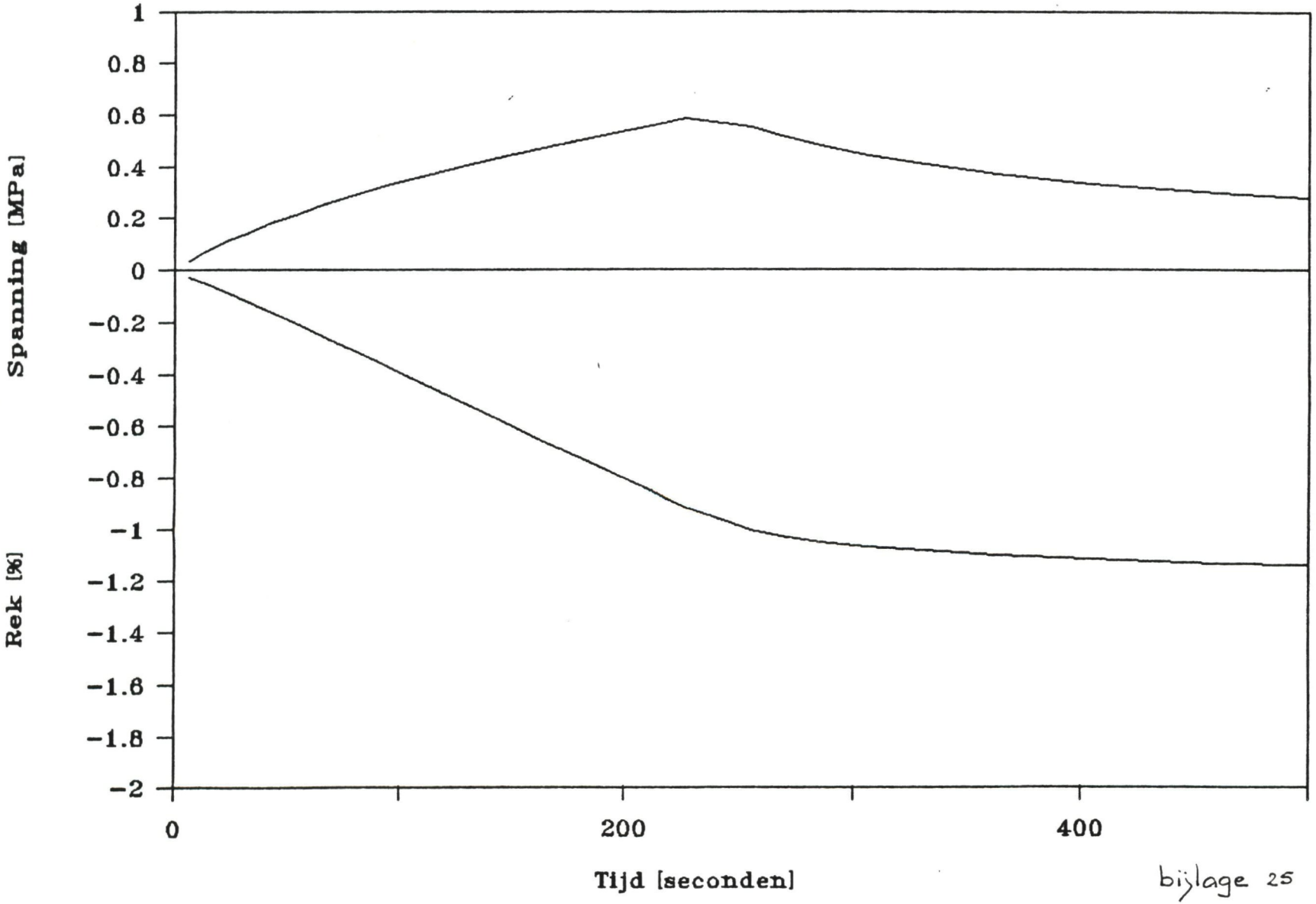
DRUK 10 °C Proef 3A V-40



bijlage 24

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

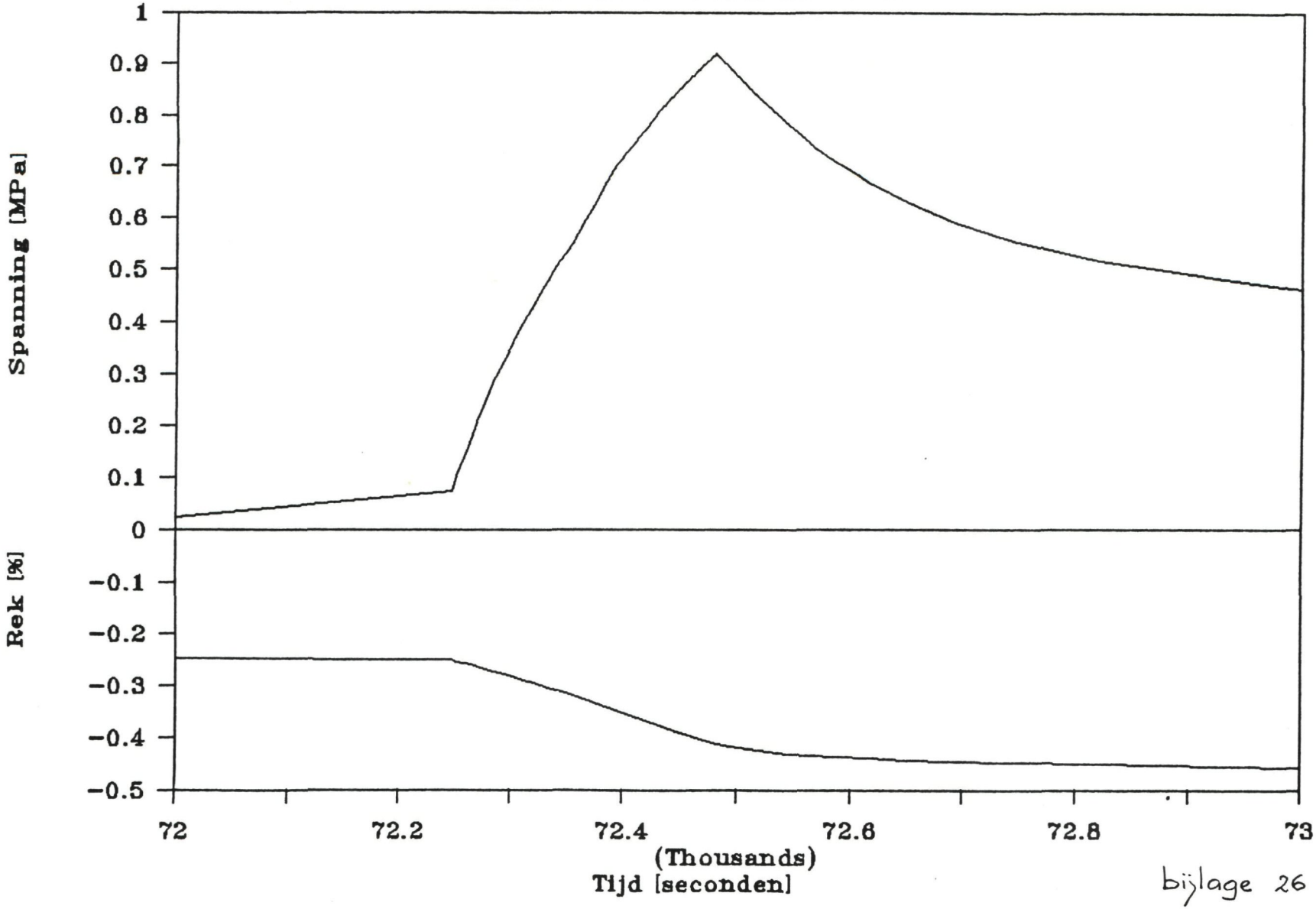
DRUK 10 °C Proef 3A V-40



bijlage 25

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

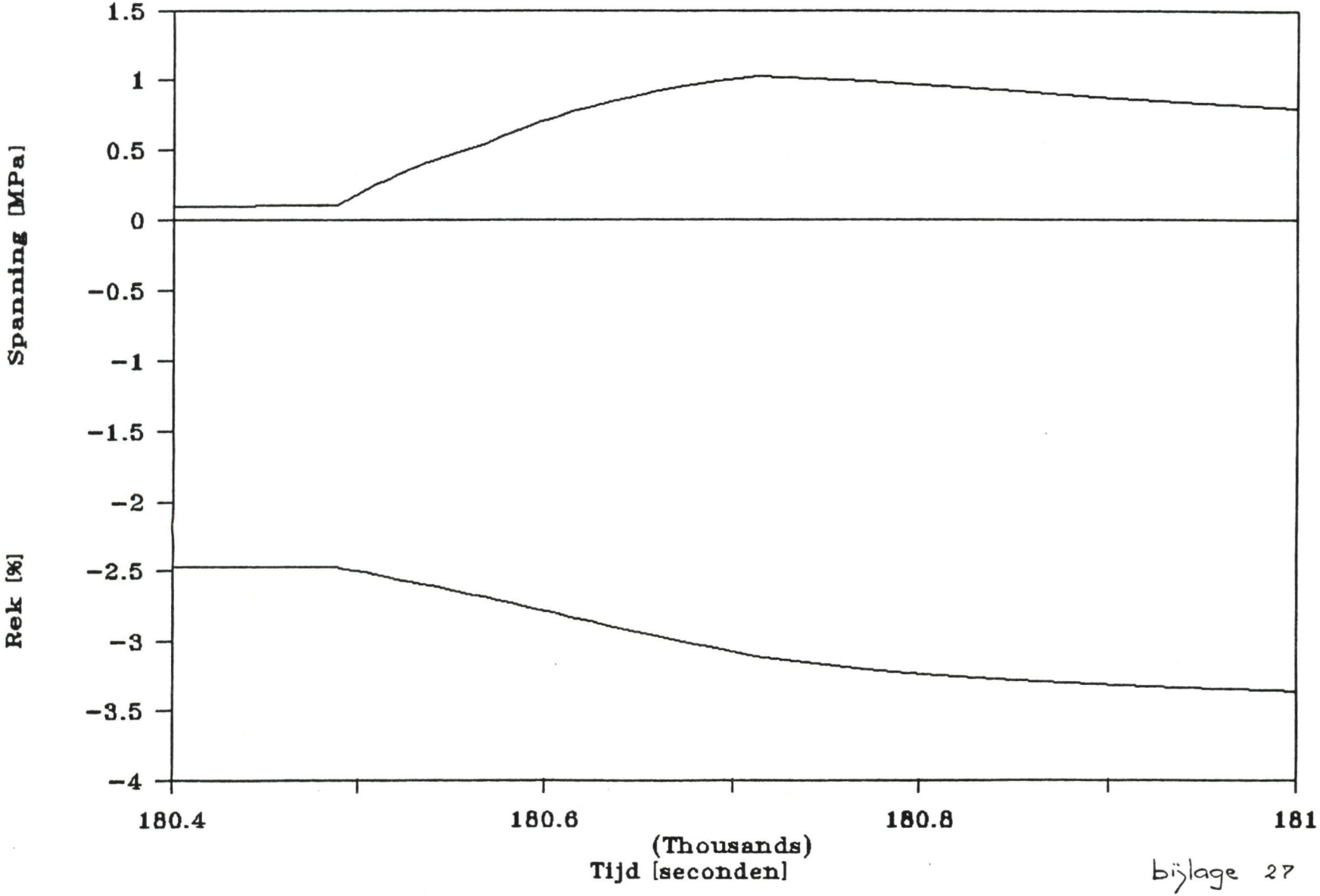
DRUK 10 °C Proef 3A V-40



bijlage 26

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

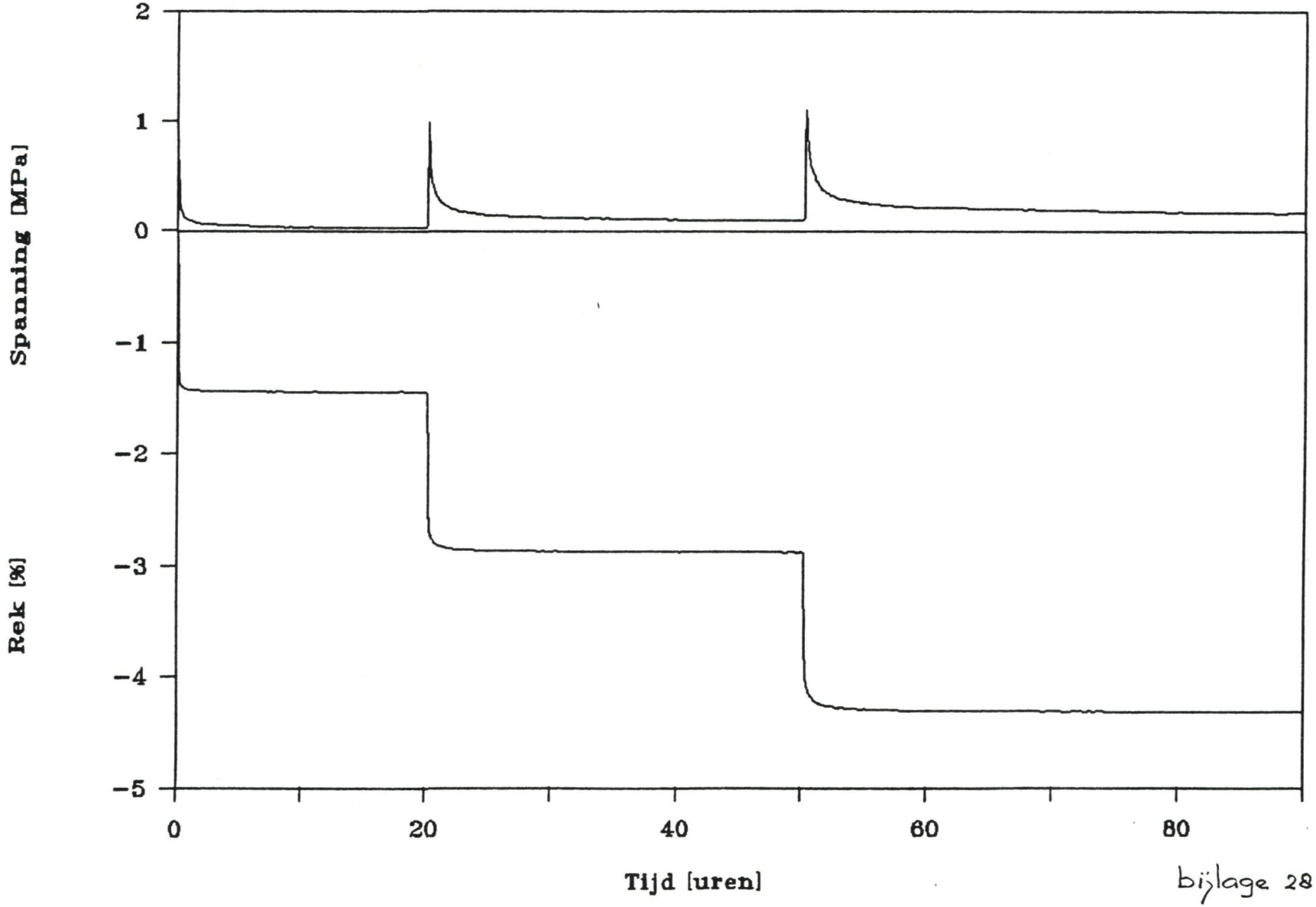
DRUK 10 °C Proef 3A V-40



bijlage 27

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

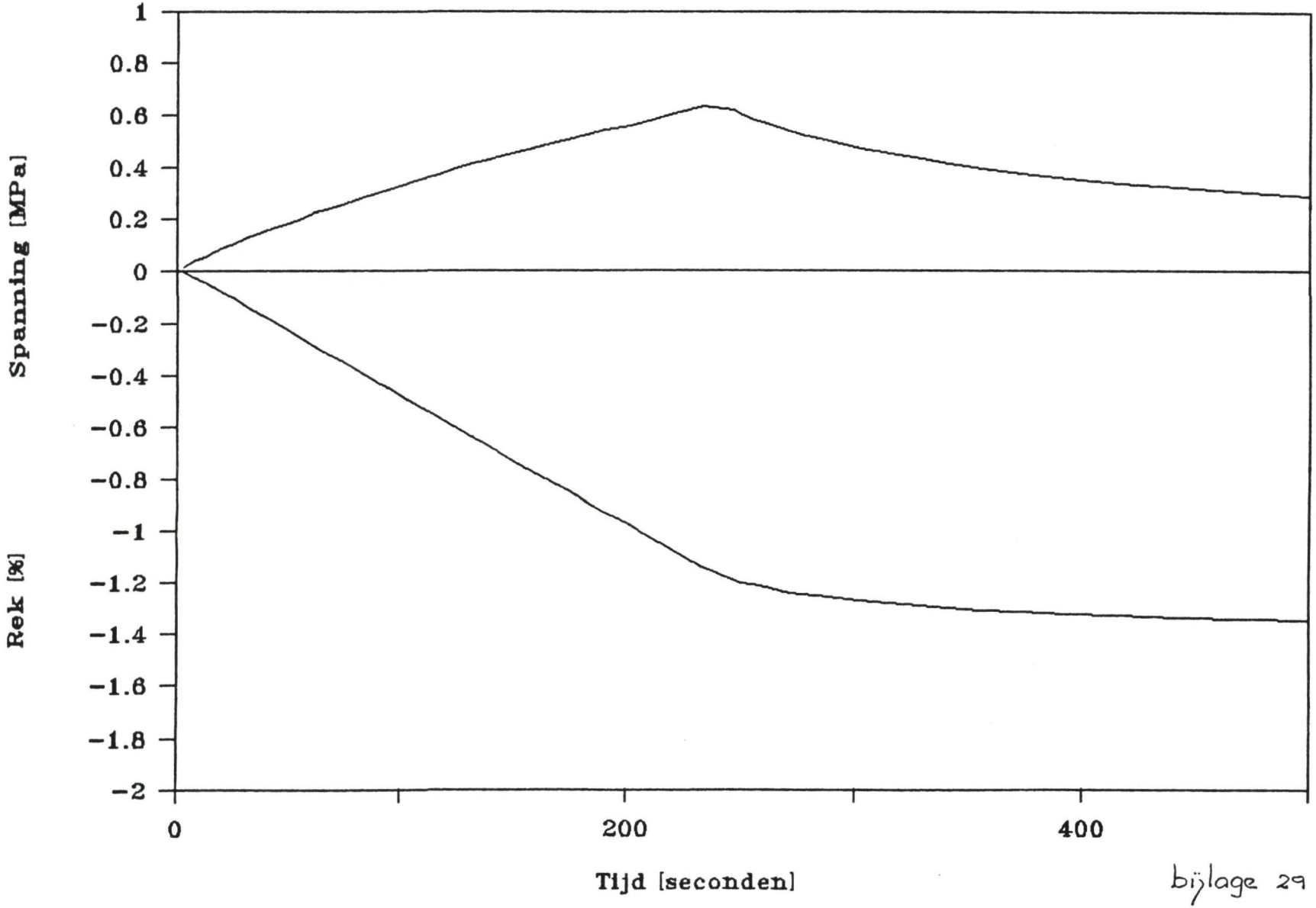
DRUK 10 °C Proef 3AX V-32



bijlage 28

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

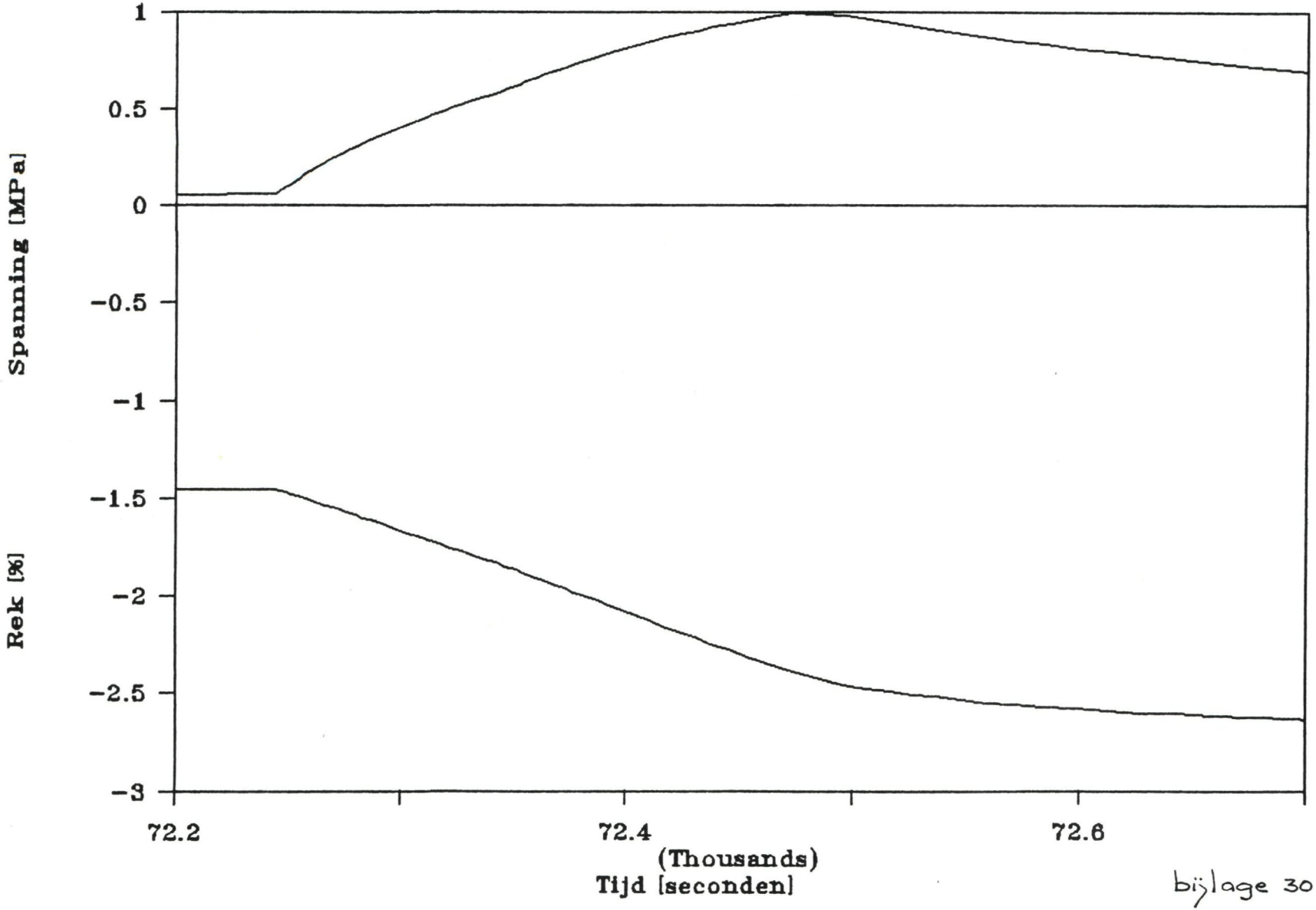
DRUK 10 °C Proef 3AX V-32



bijlage 29

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

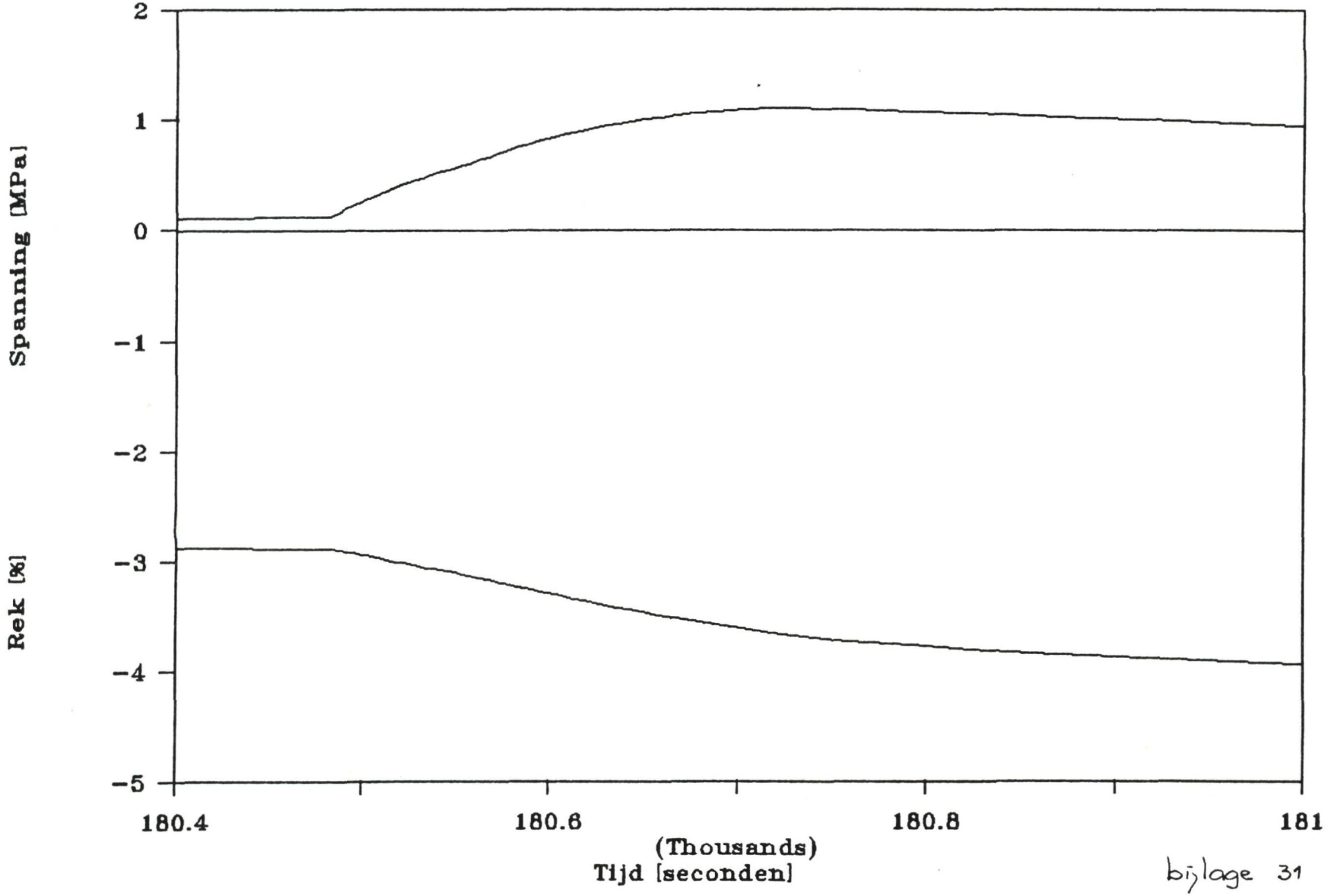
DRUK 10 °C Proef 3AX V-32



bijlage 30

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

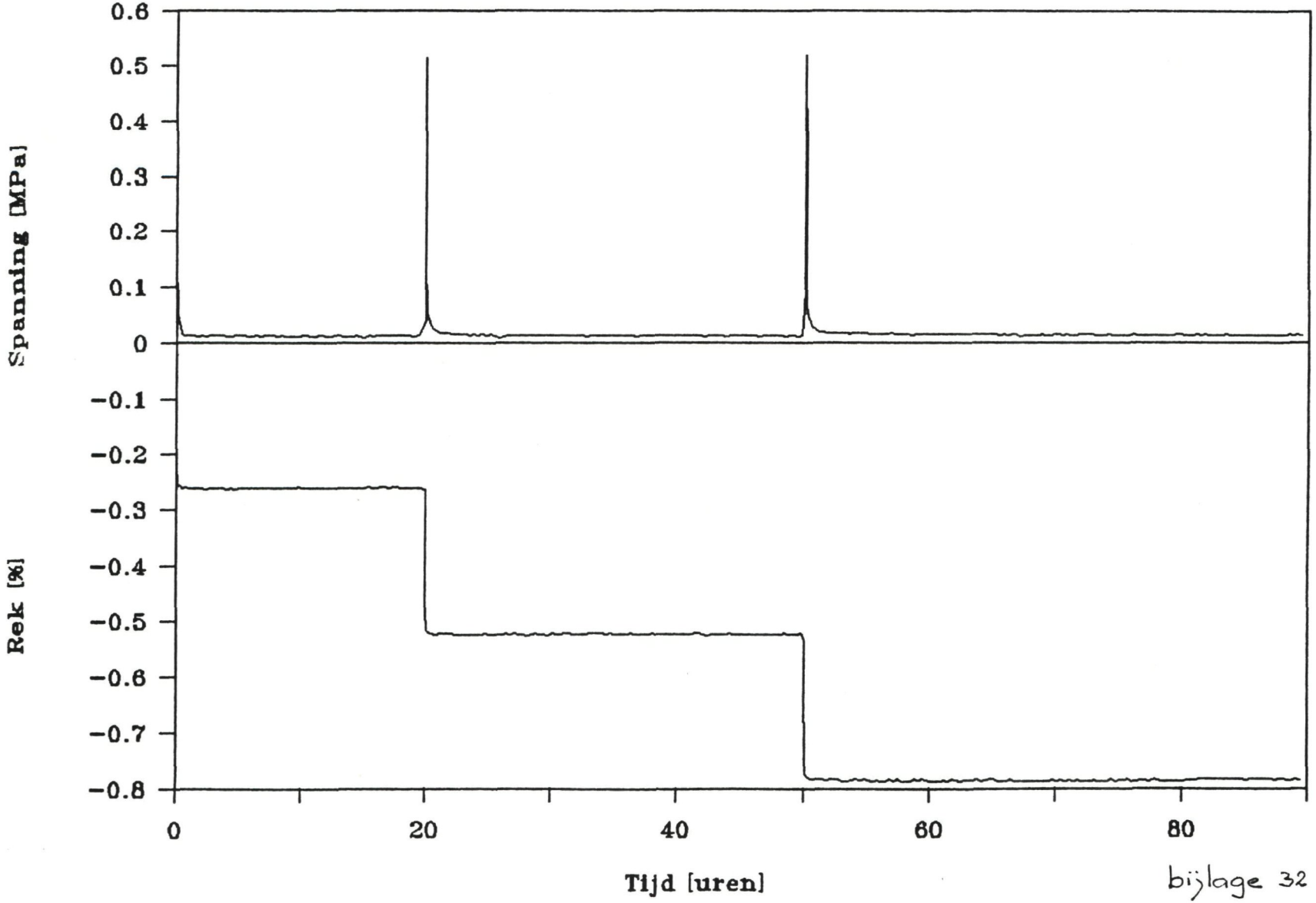
DRUK 10 °C Proef 3AX V-32



bijlage 31

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

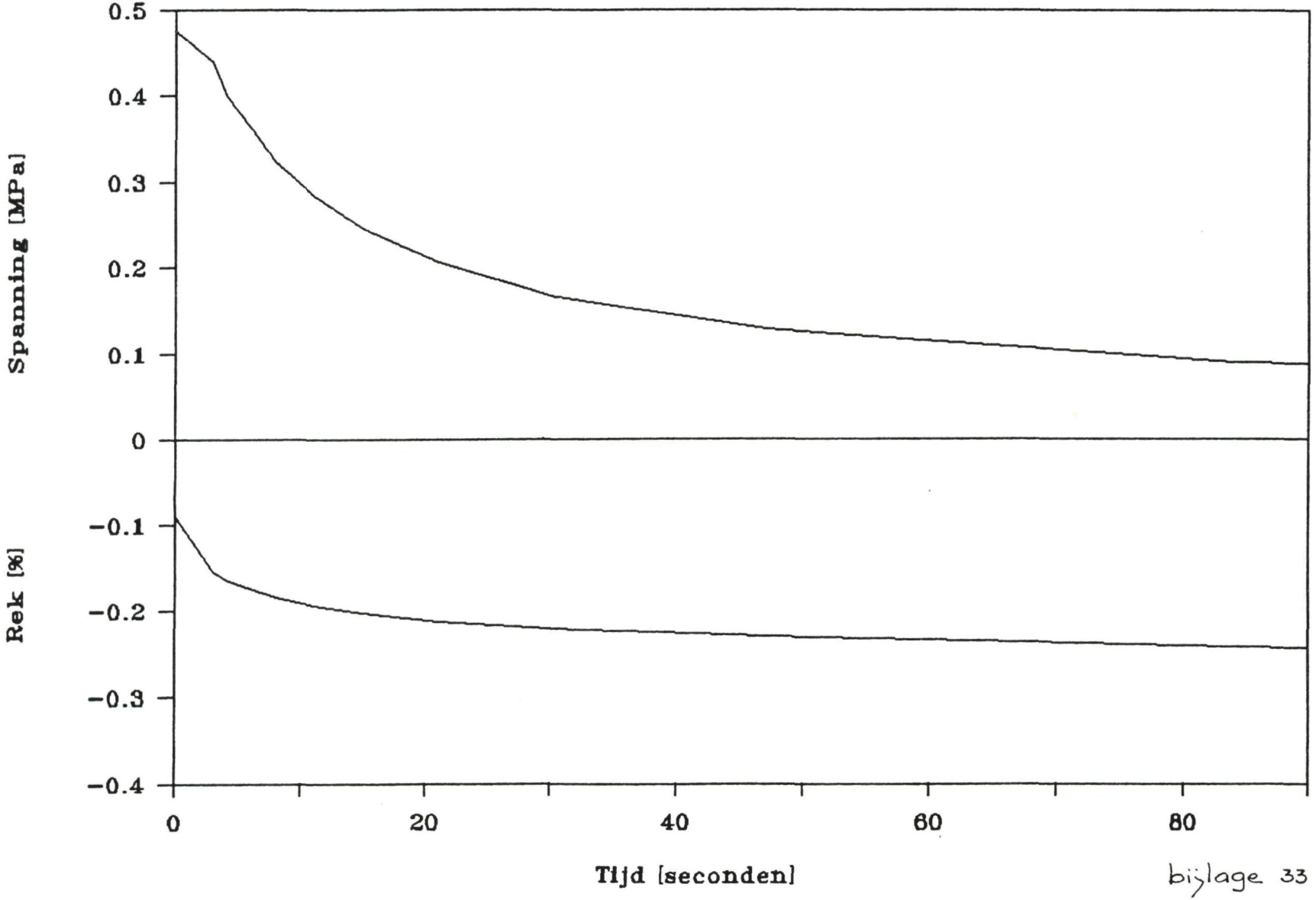
TREK 10 °C Proef 3B V-15



bijlage 32

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

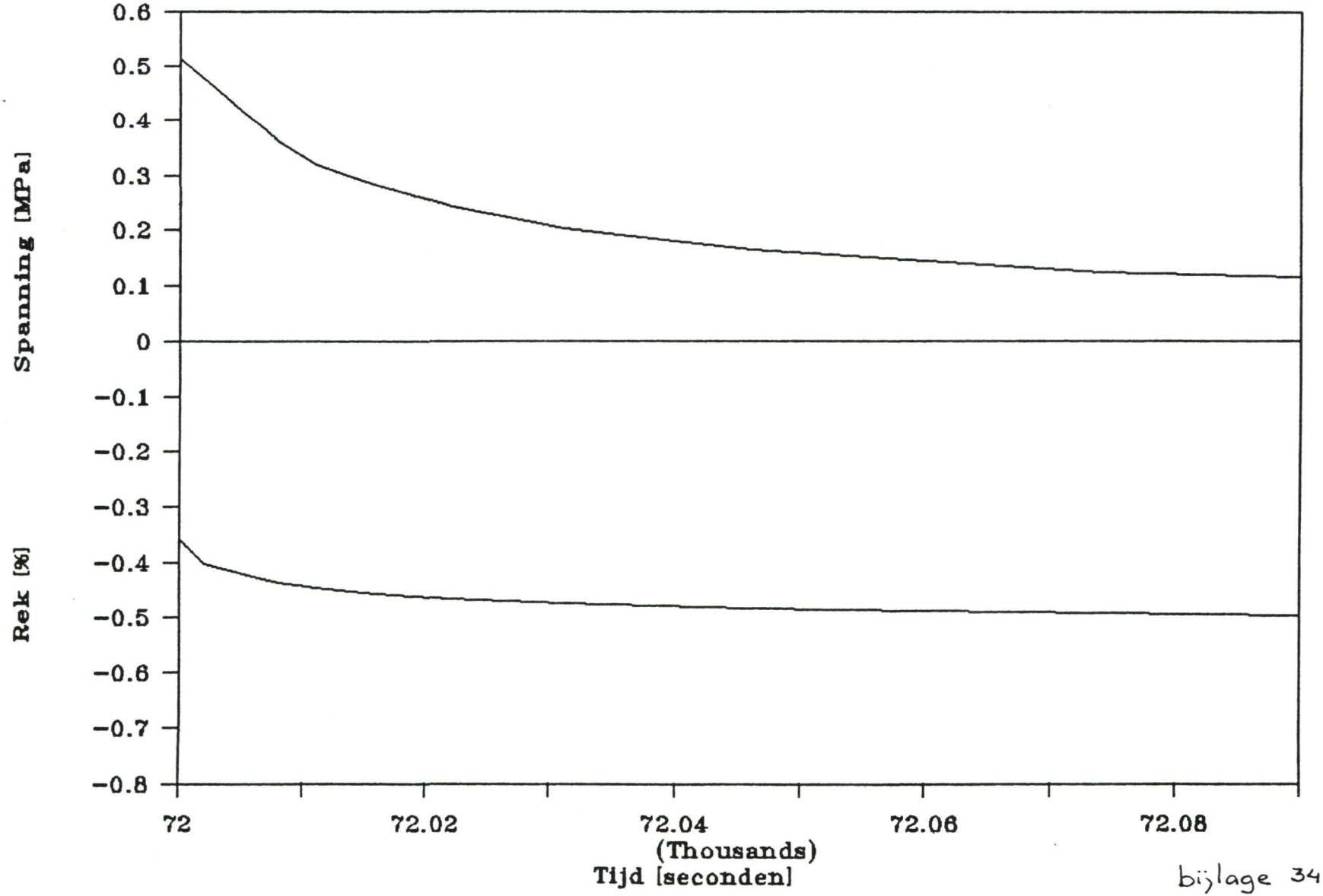
TREK 10 °C Proef 3B V-15



bijlage 33

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

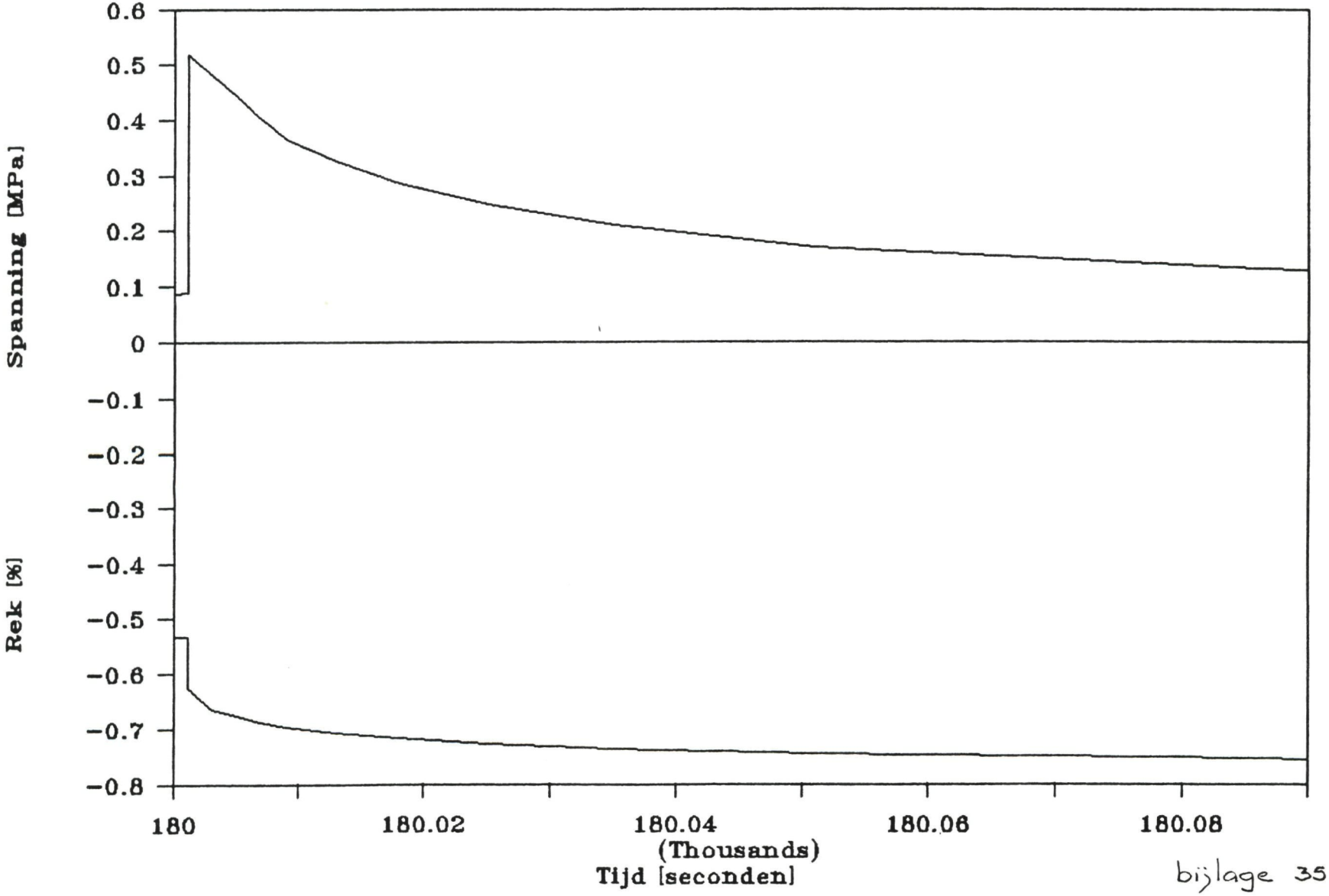
TREK 10 °C Proef 3B V-15



bijlage 34

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

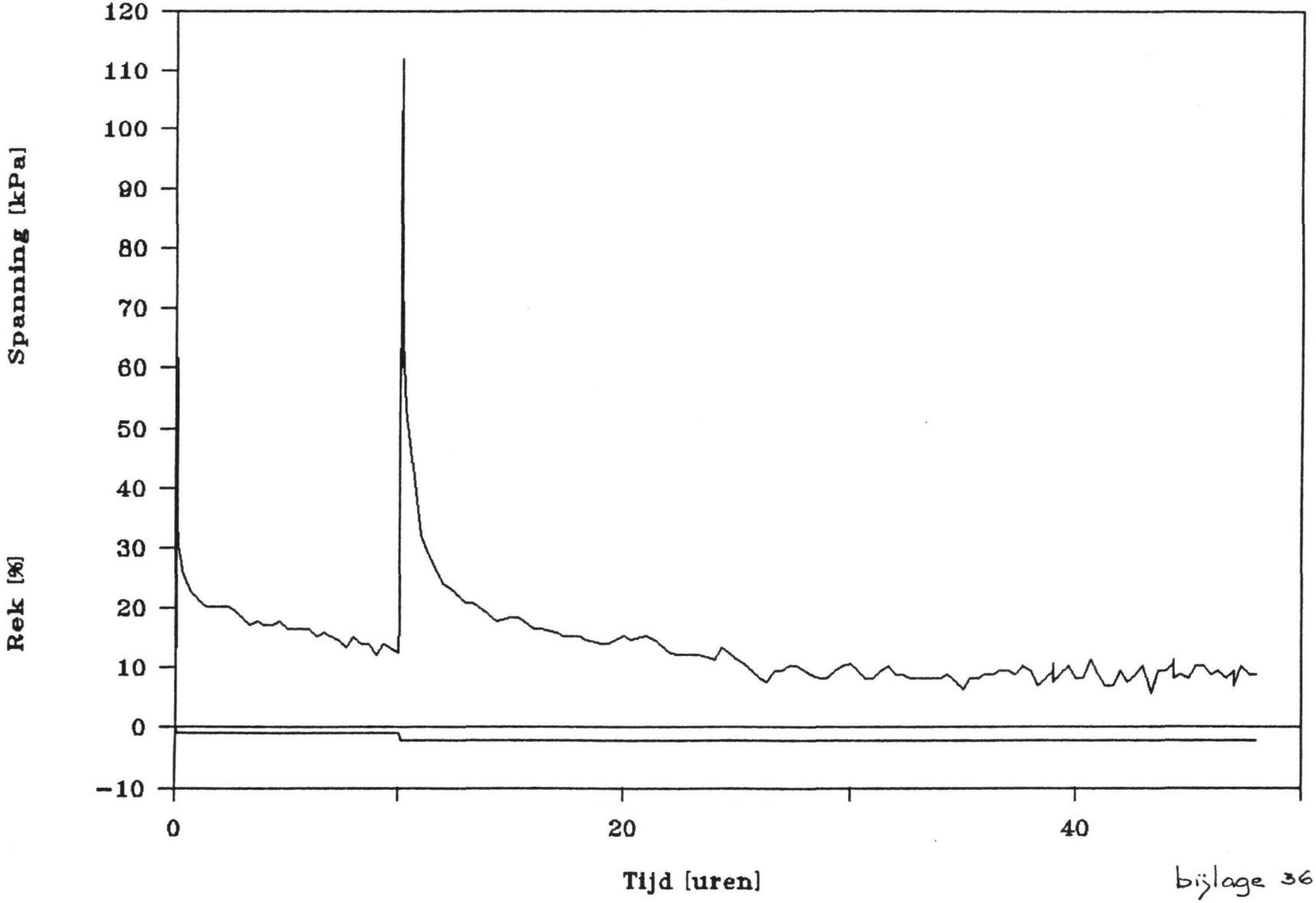
TREK 10 °C Proef 3B V-15



bijlage 35

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

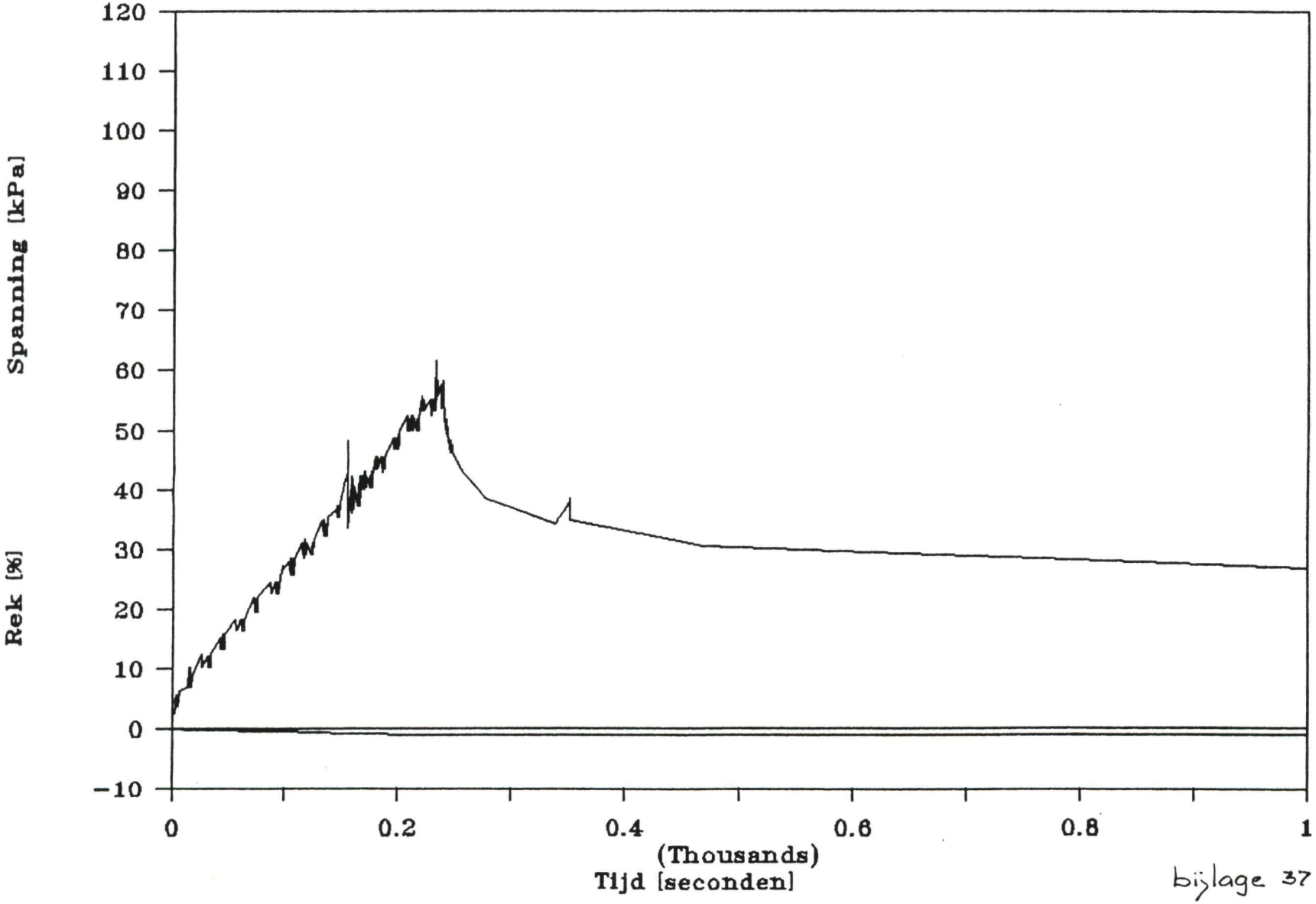
DRUK 40 °C Proef 4A V-11



bijlage 36

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

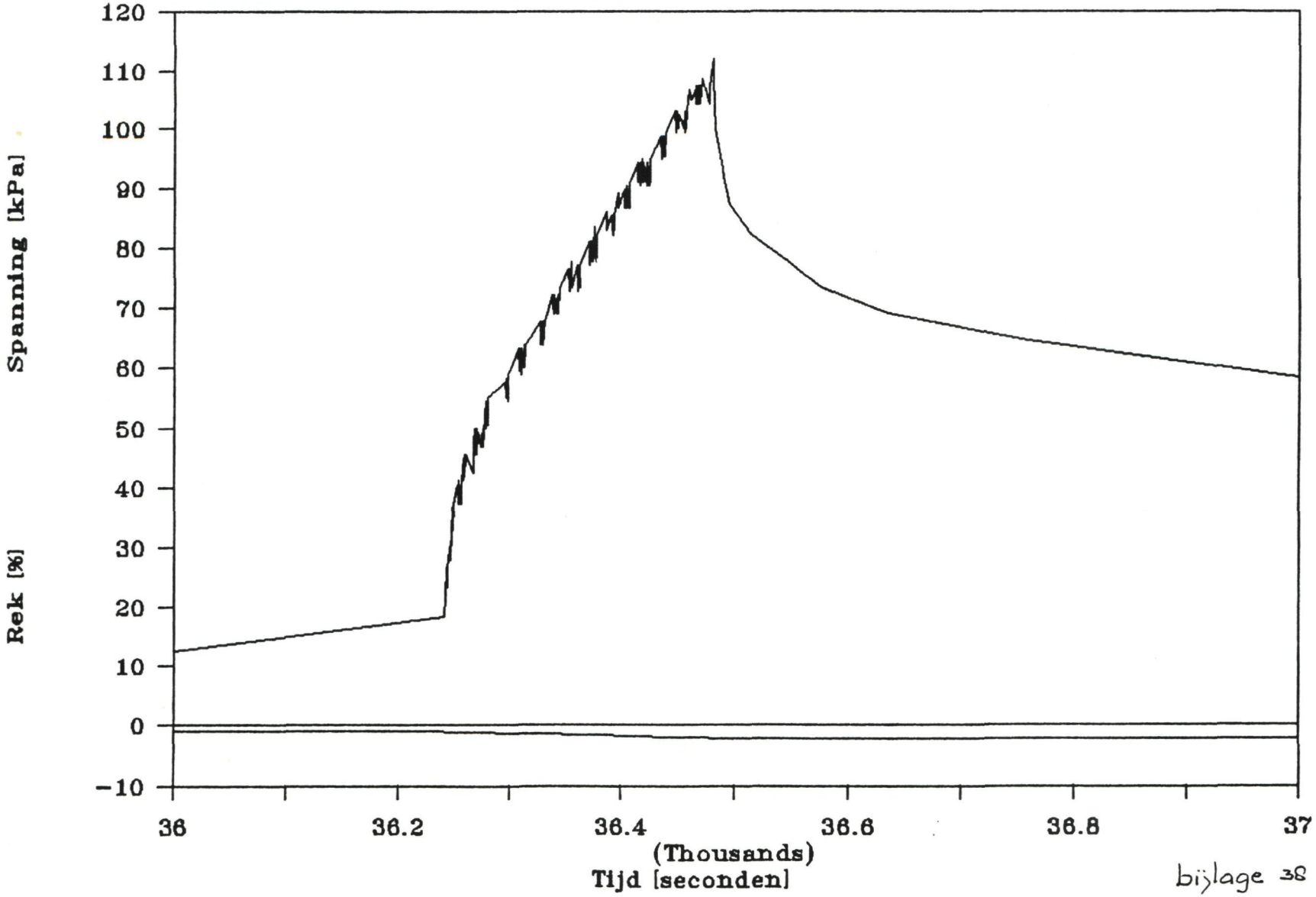
DRUK 40 °C Proef 4A V-11



bijlage 37

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

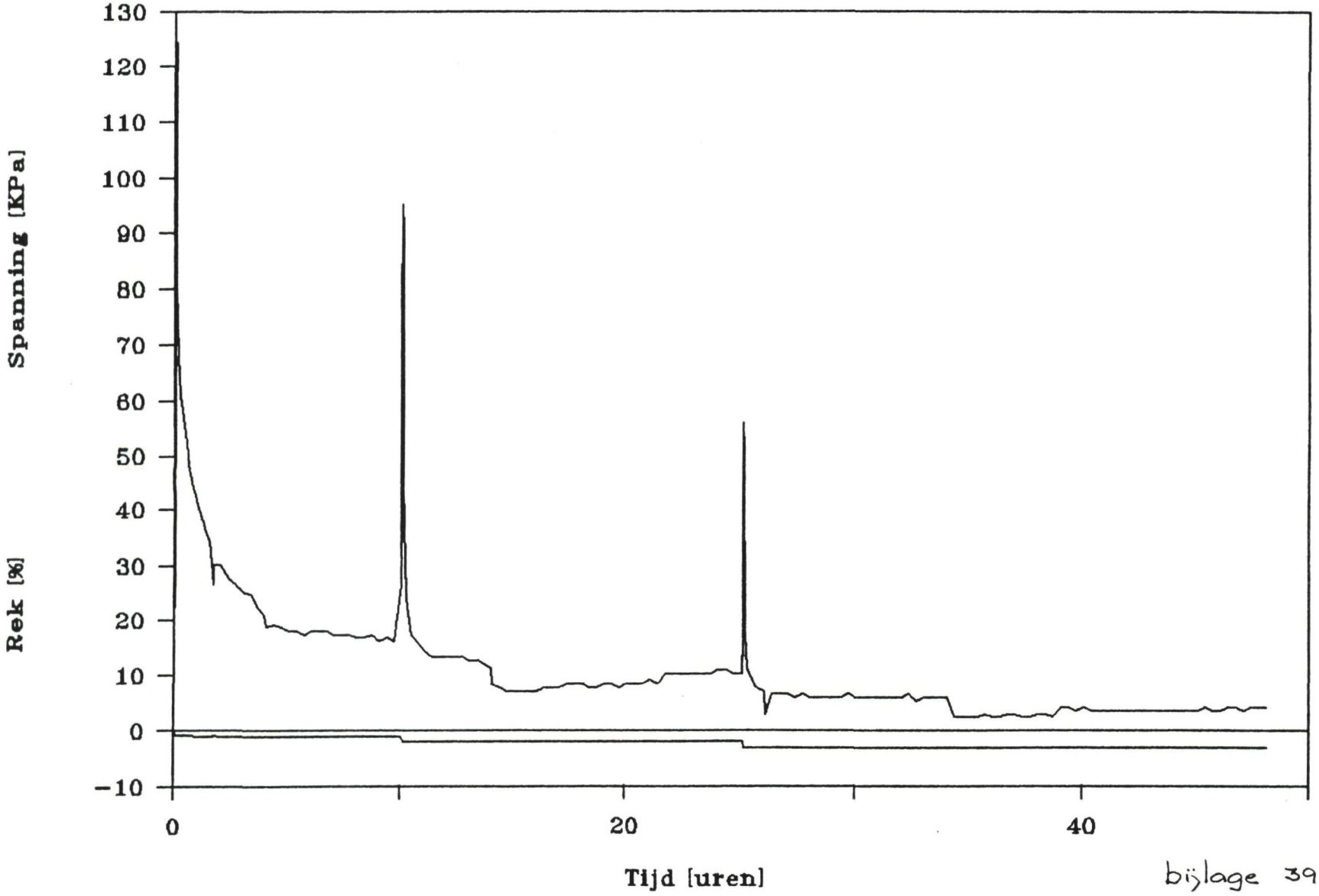
DRUK 40 °C Proef 4A V-11



bijlage 38

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

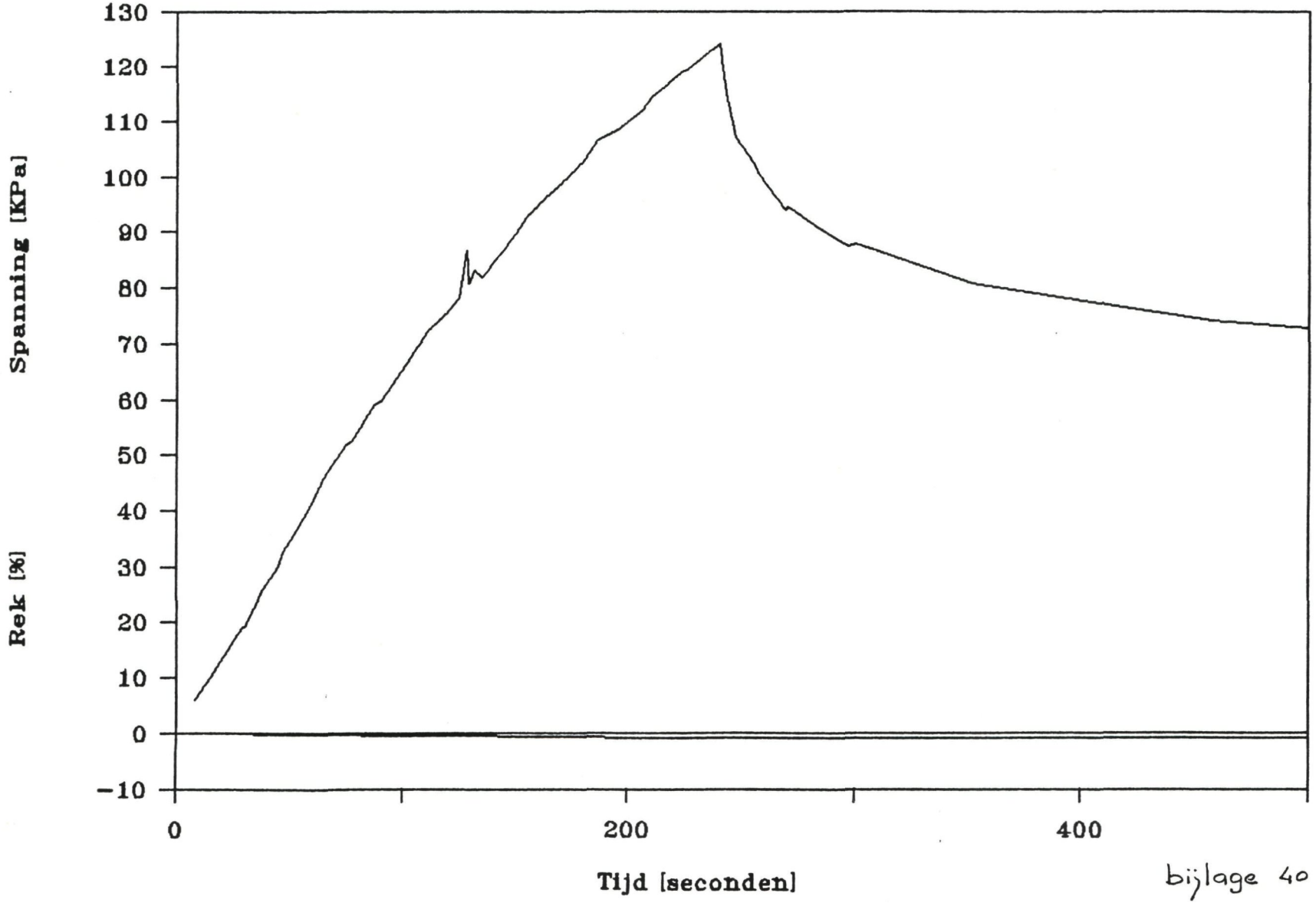
DRUK 40 °C Proef 4AX V-01



bijlage 39

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

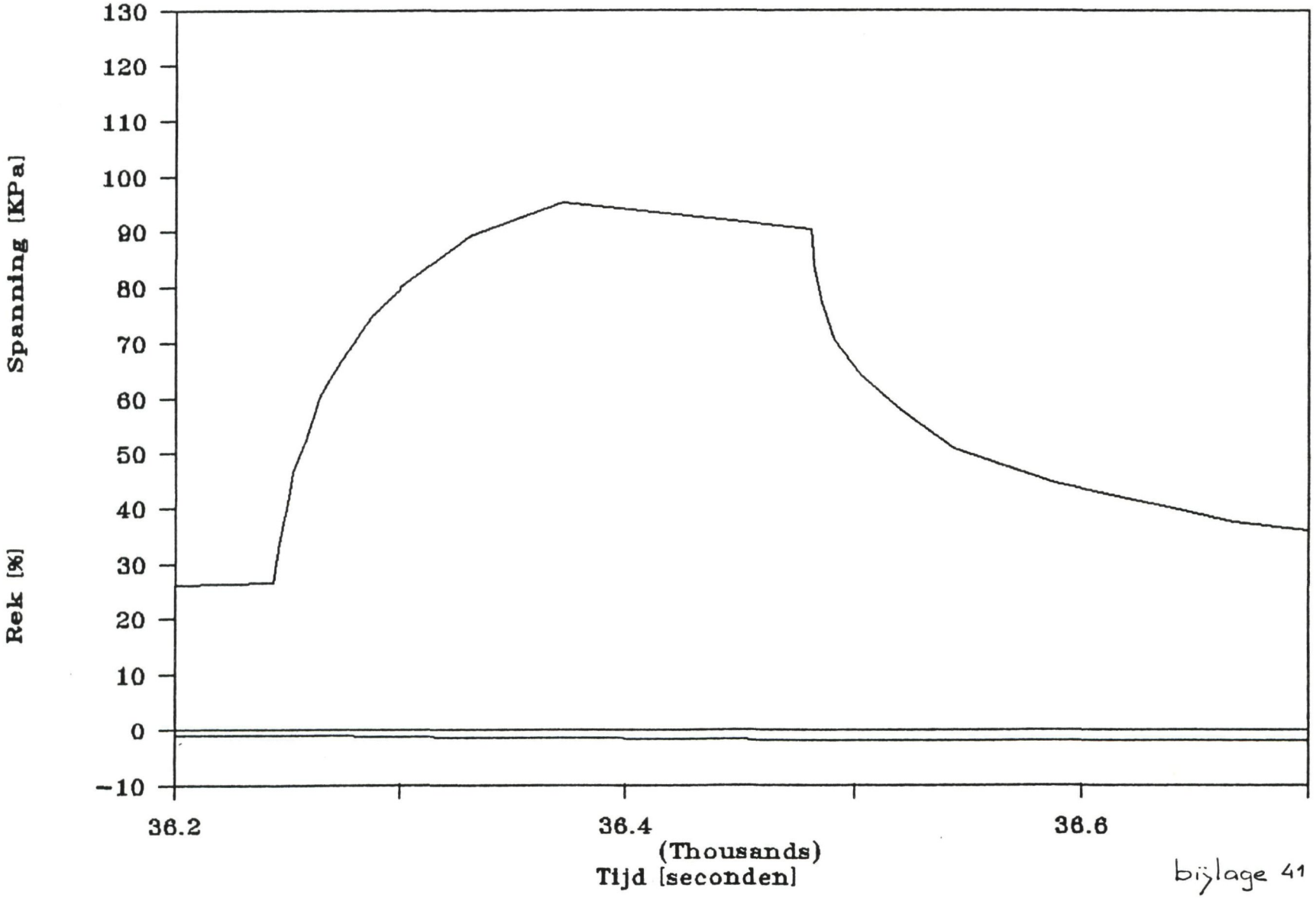
DRUK 40 °C Proef 4AX V-01



bijlage 40

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

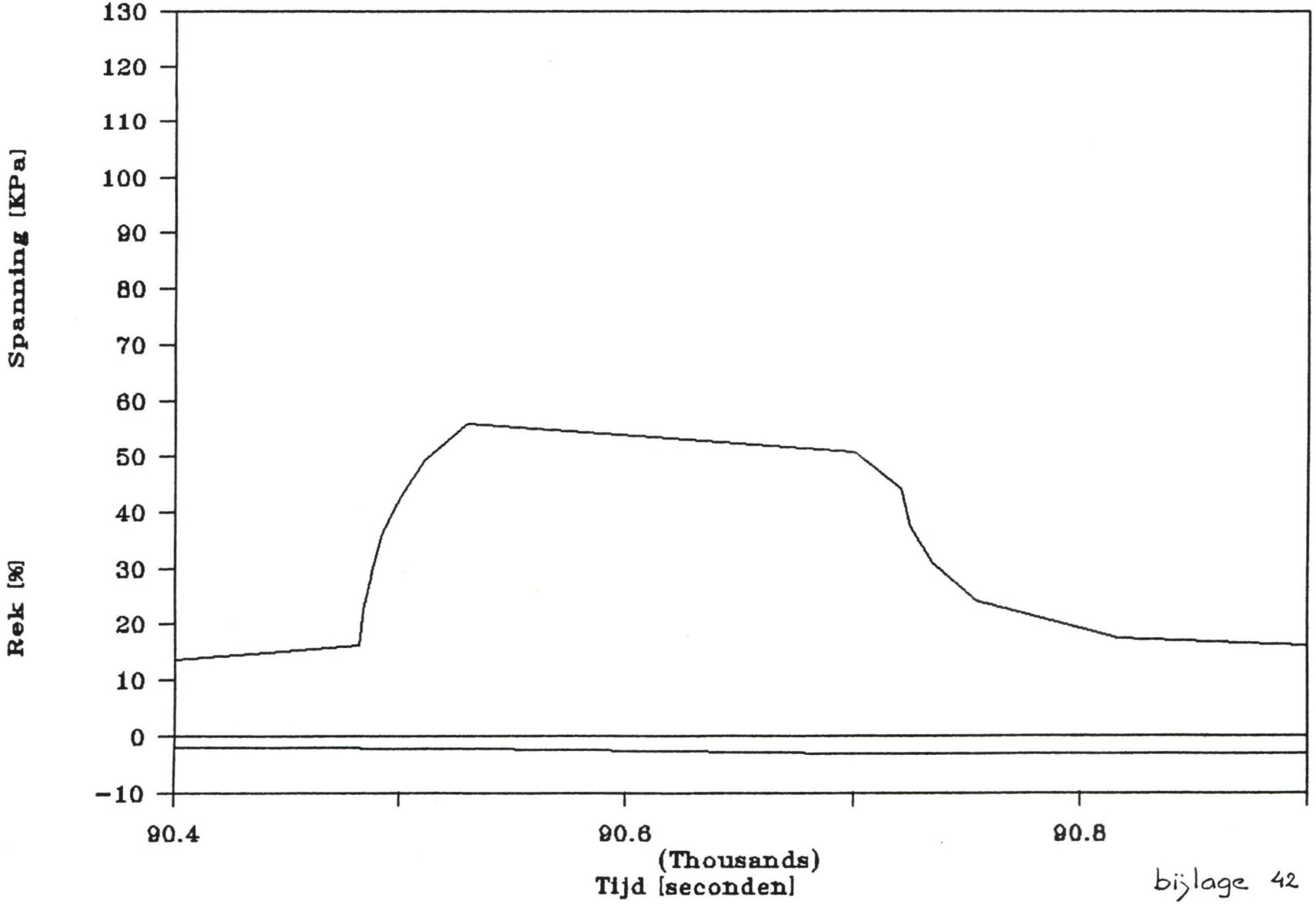
DRUK 40 °C Proef 4AX V-01



bijlage 41

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

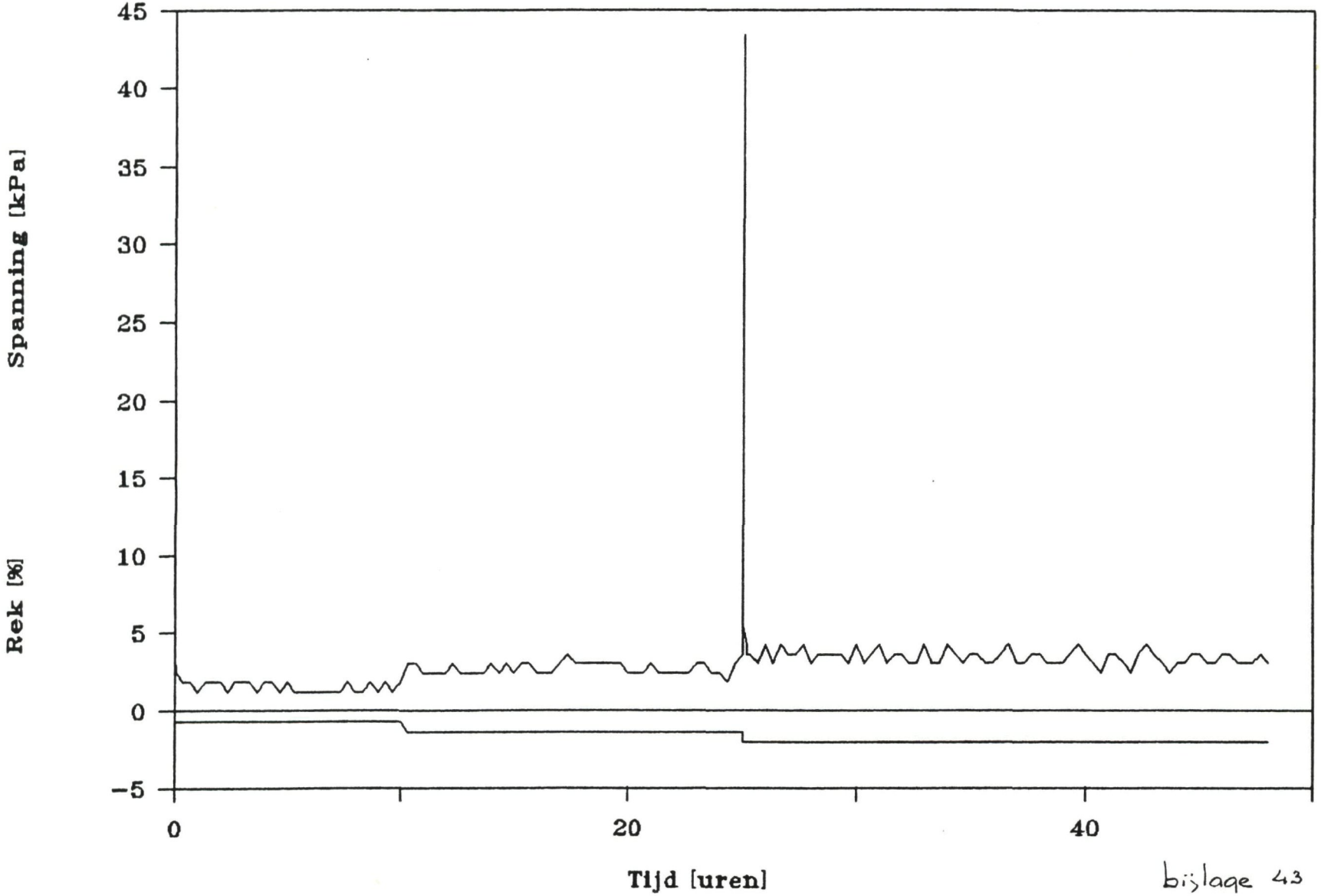
DRUK 40 °C Proef 4AX V-01



bijlage 42

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

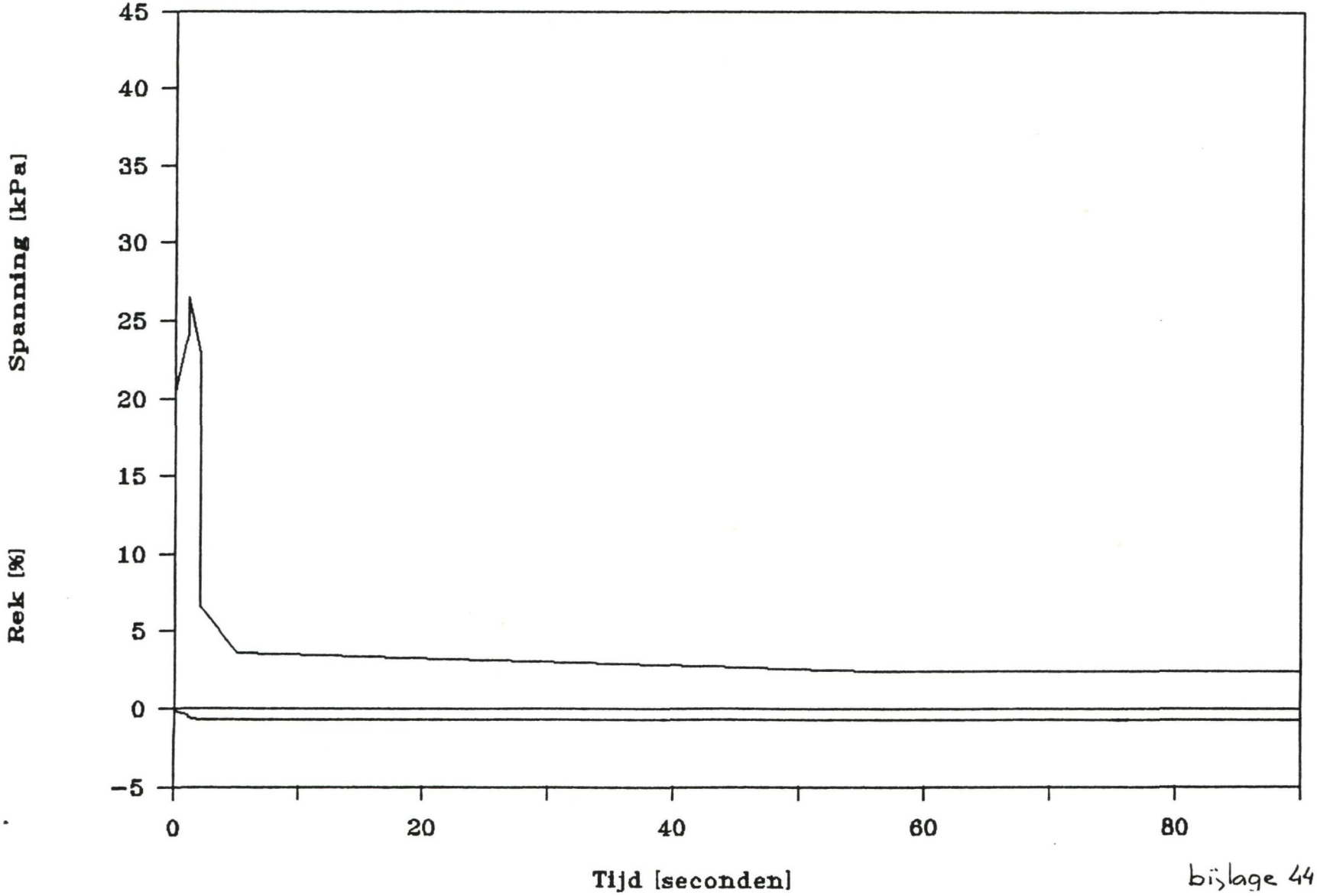
TREK 40 °C Proef 4B V-27



bijlage 43

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

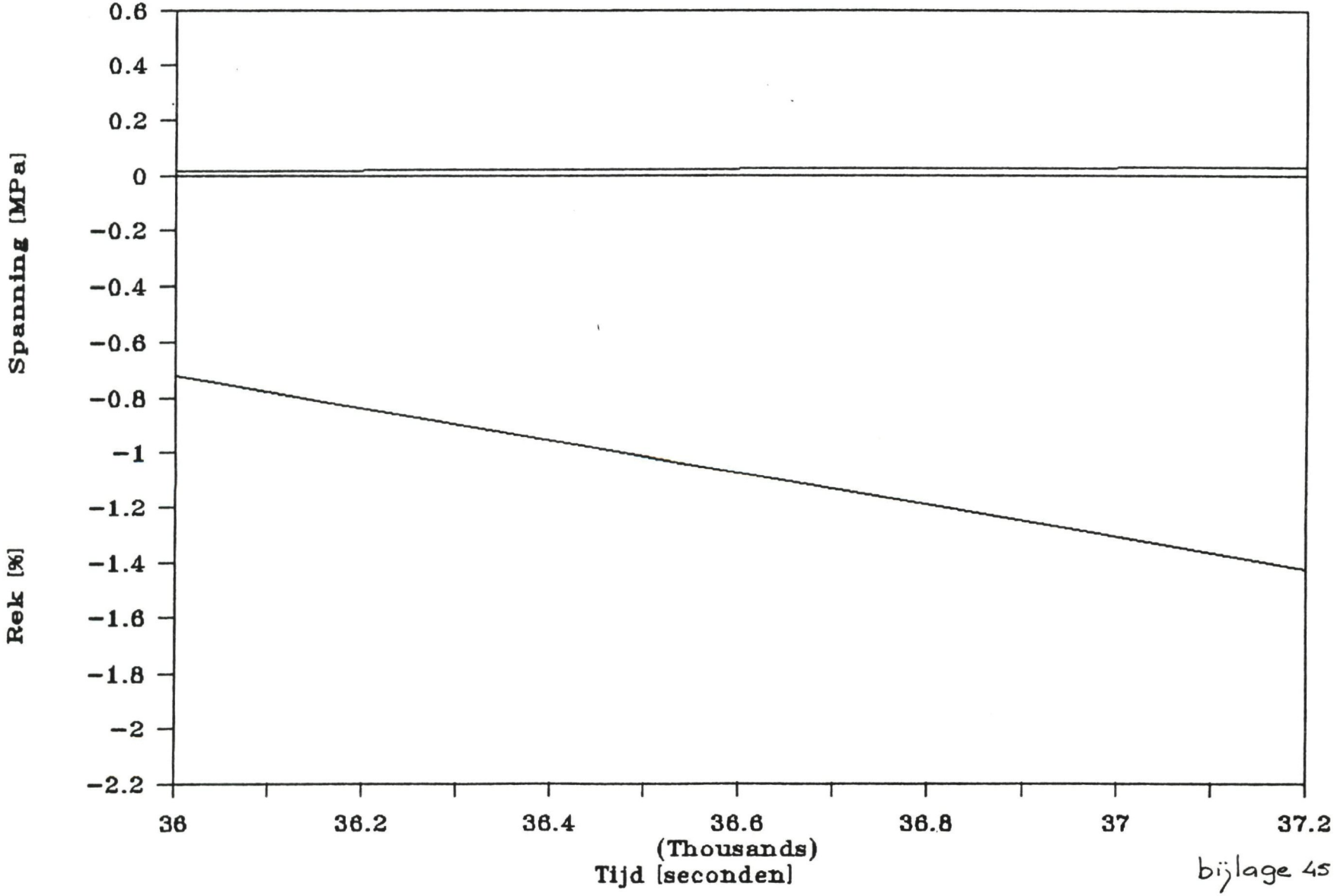
TREK 40 °C Proef 4B V-27



bijlage 44

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

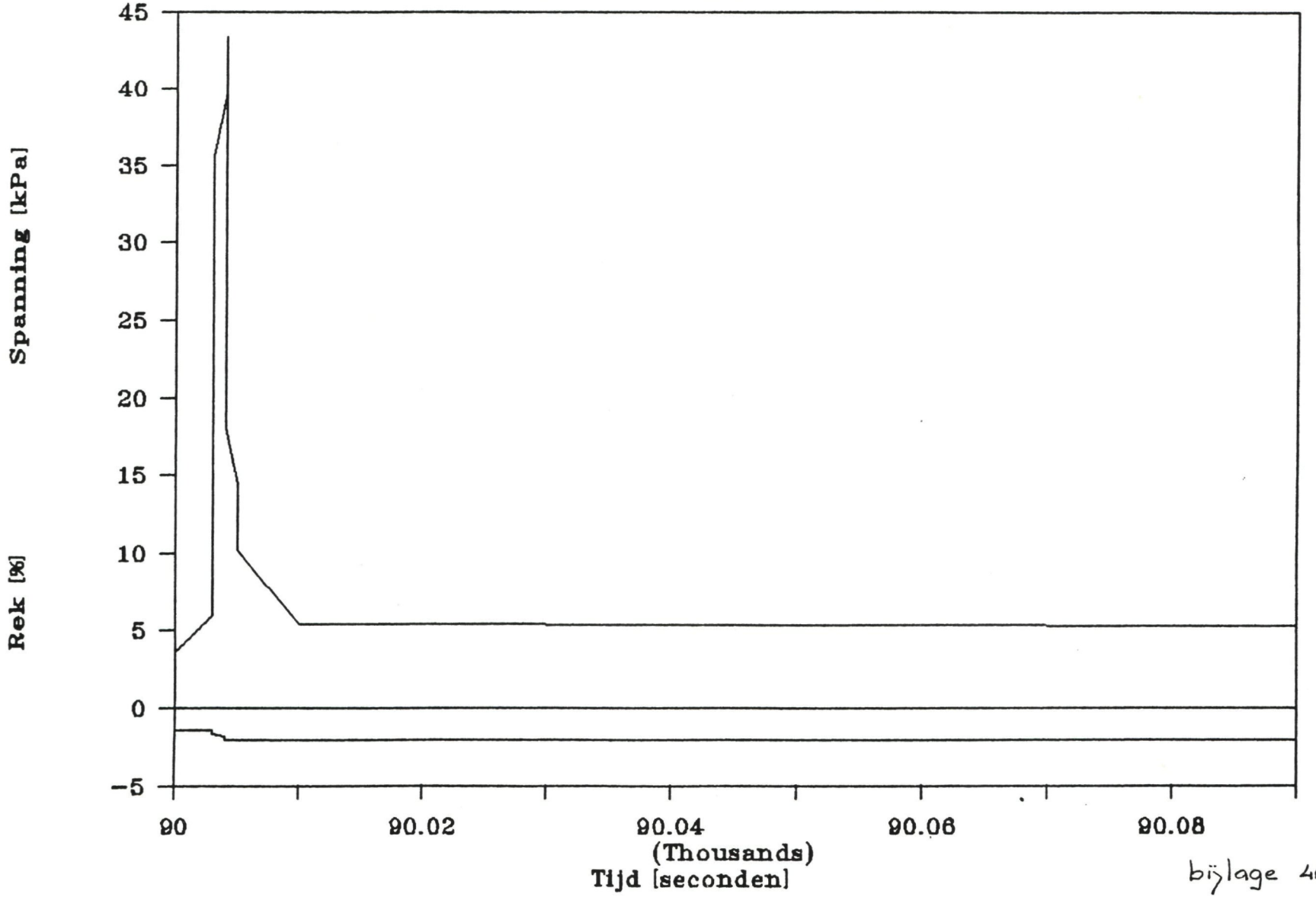
TREK 40 °C Proef 4B V-27



bijlage 45

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

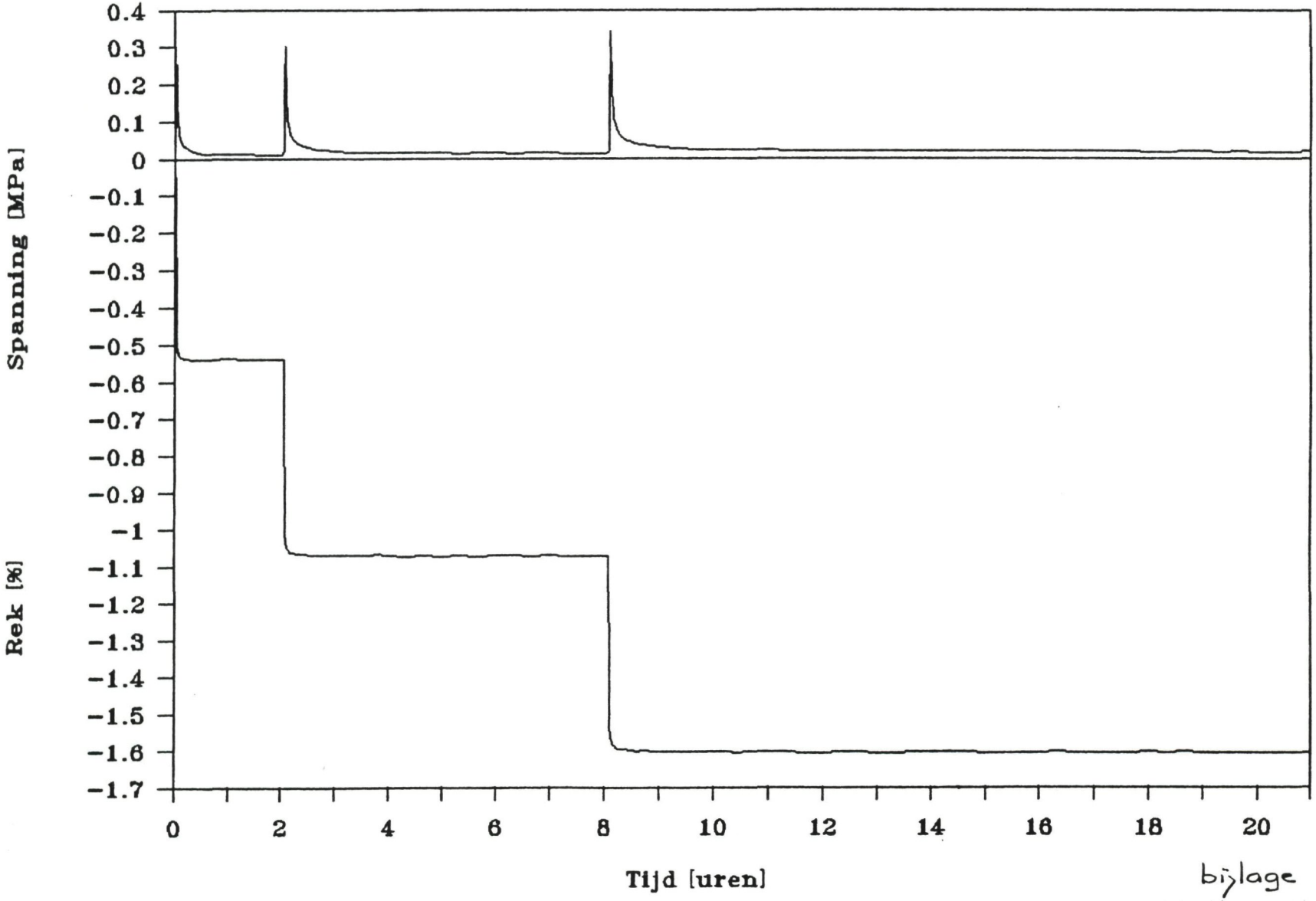
TREK 40 °C Proef 4B V-27



bijlage 46

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

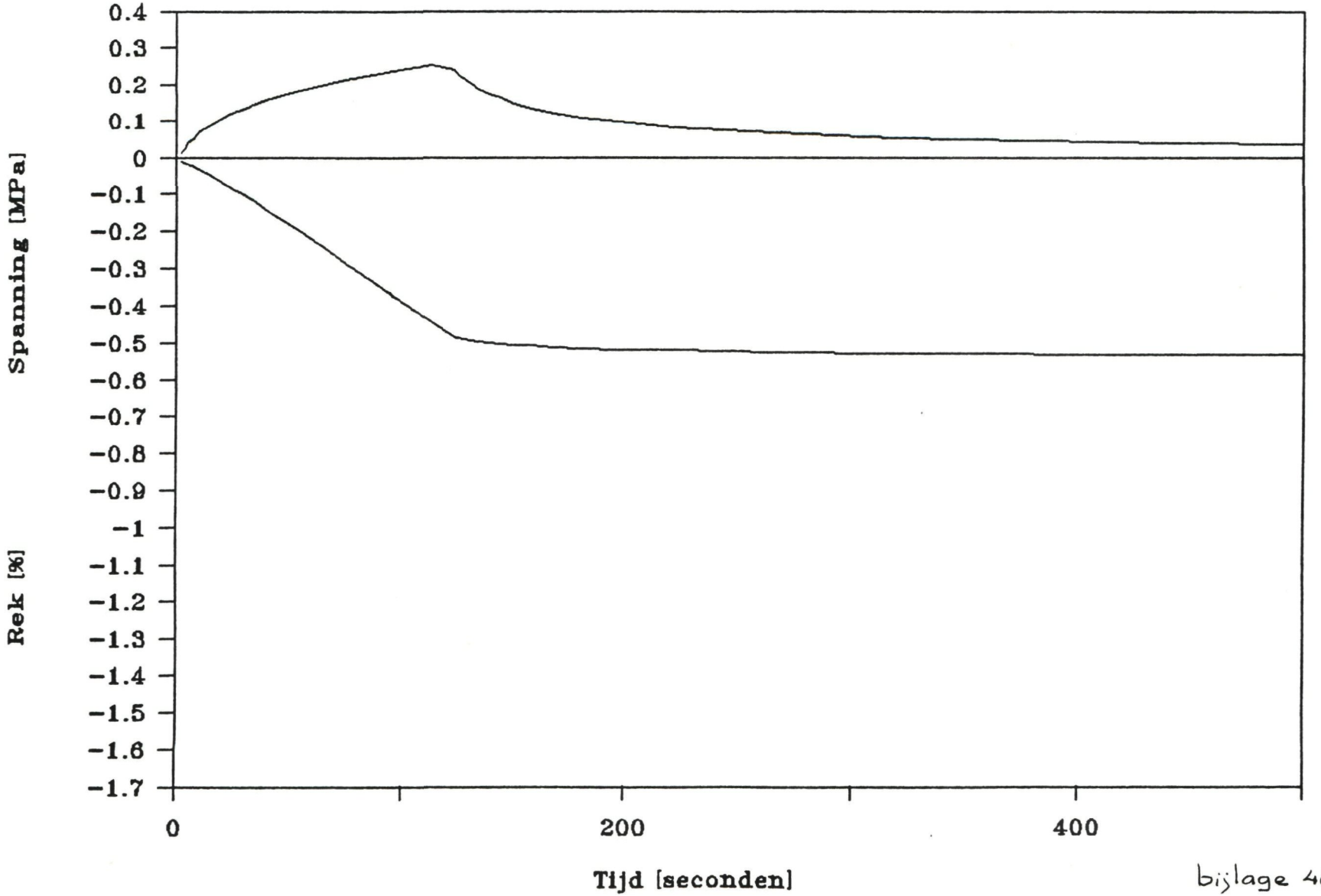
TREK 10 °C Proef 5A V-12



bijlage 47

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

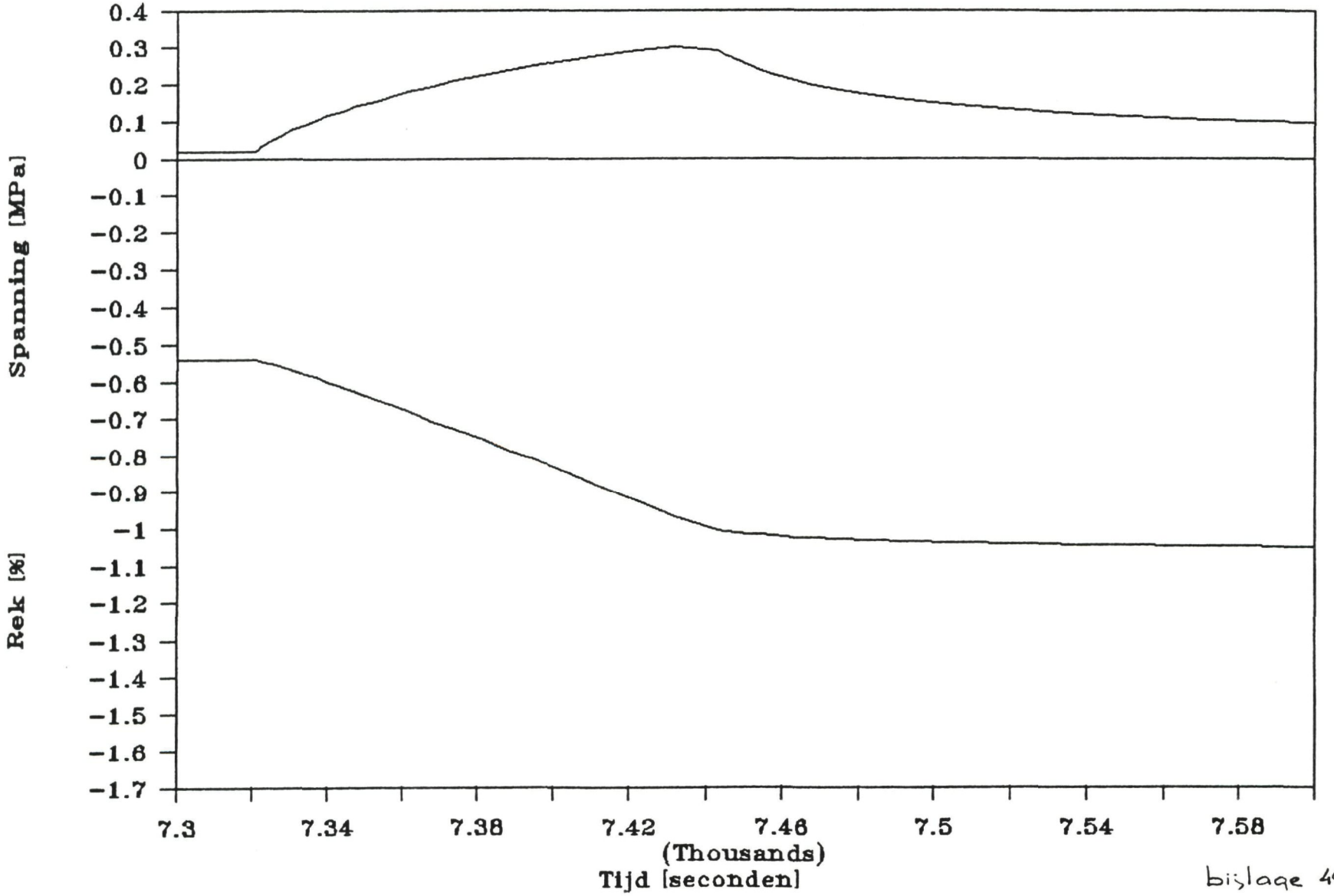
TREK 10 °C Proef 5A V-12



bijlage 48

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

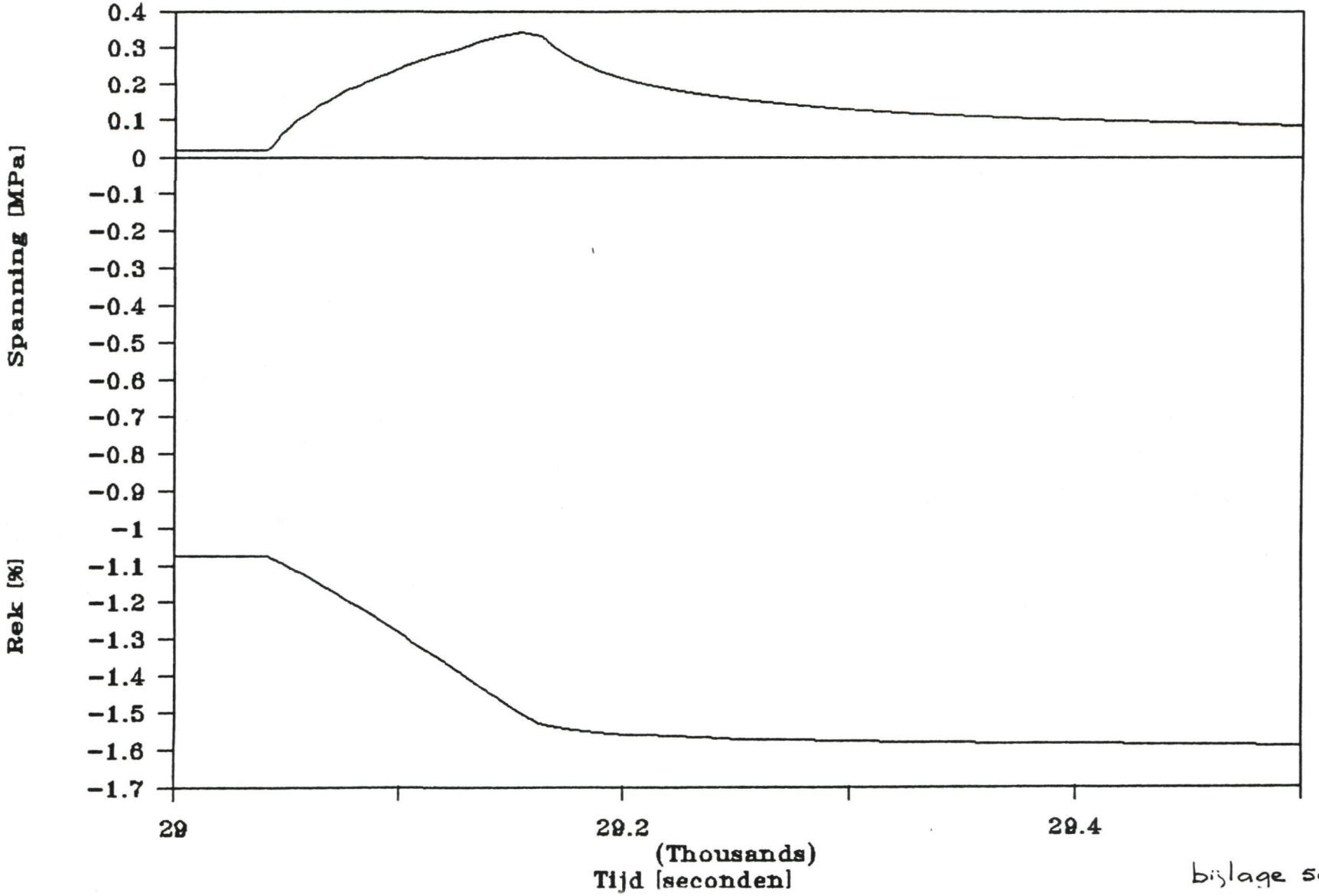
TREK 10 °C Proef 5A V-12



bijlage 49

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

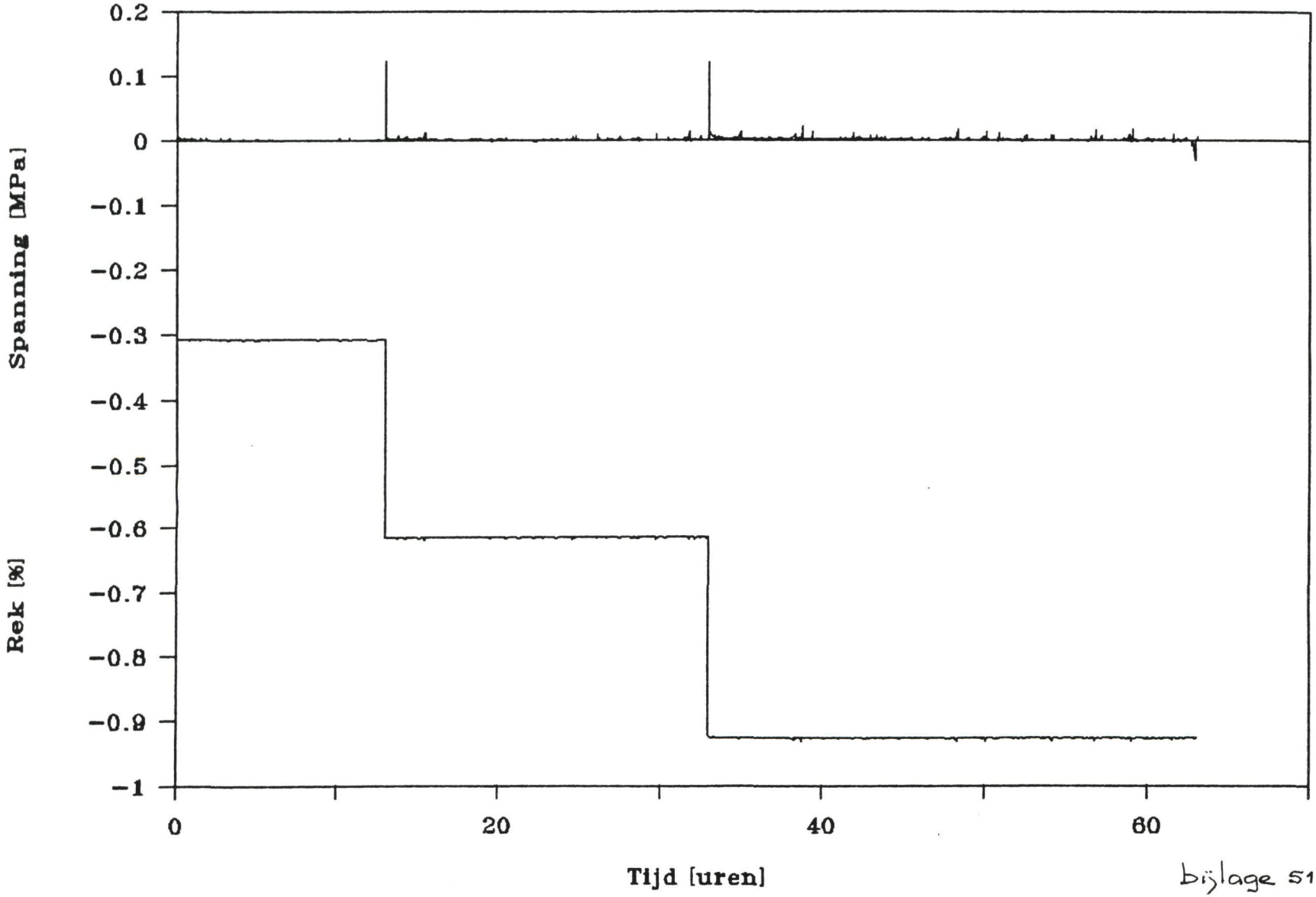
TREK 10 °C Proef 5A V-12



bijlage 50

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

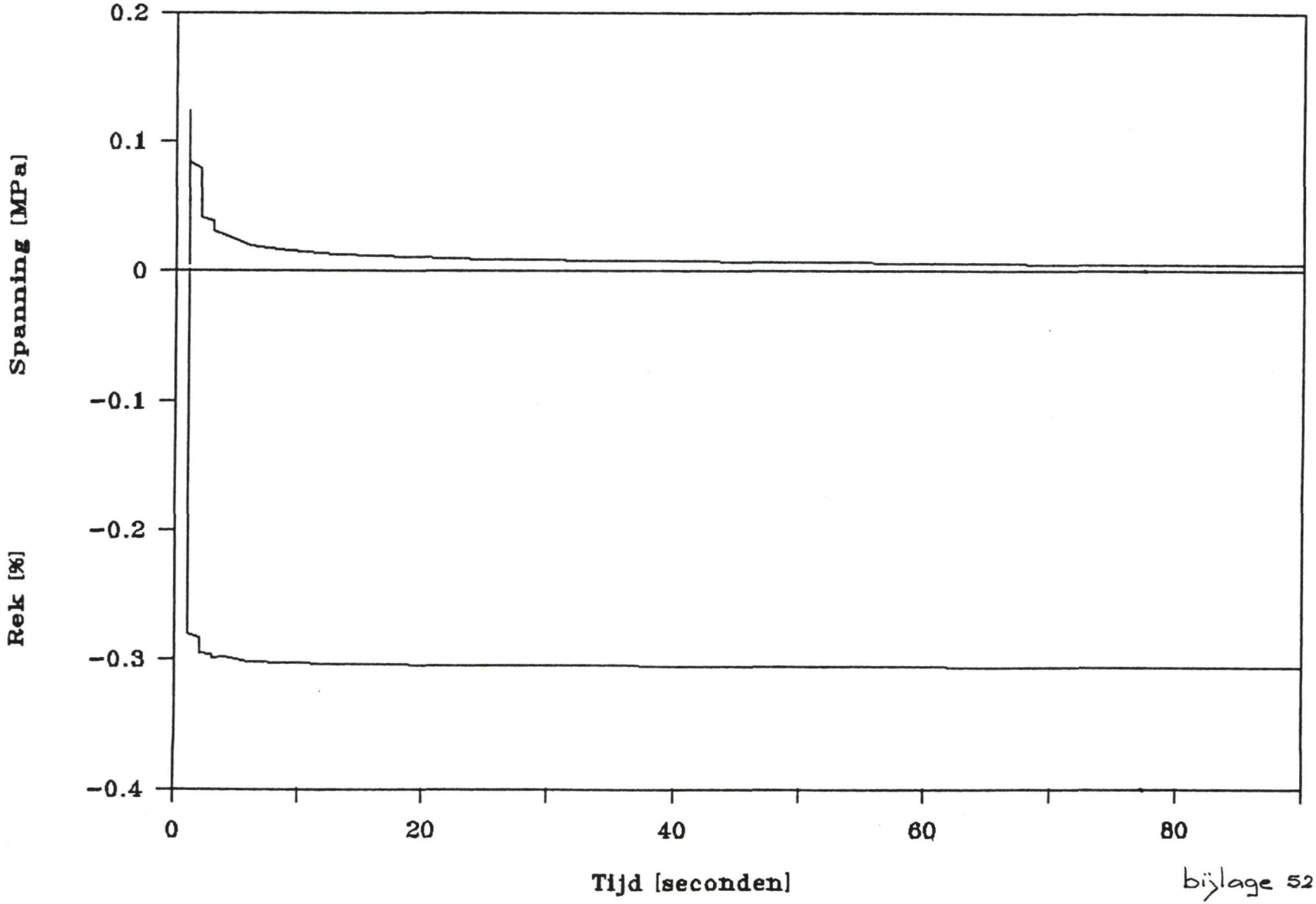
DRUK 30 °C Proef 6A V-39



bijlage 51

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

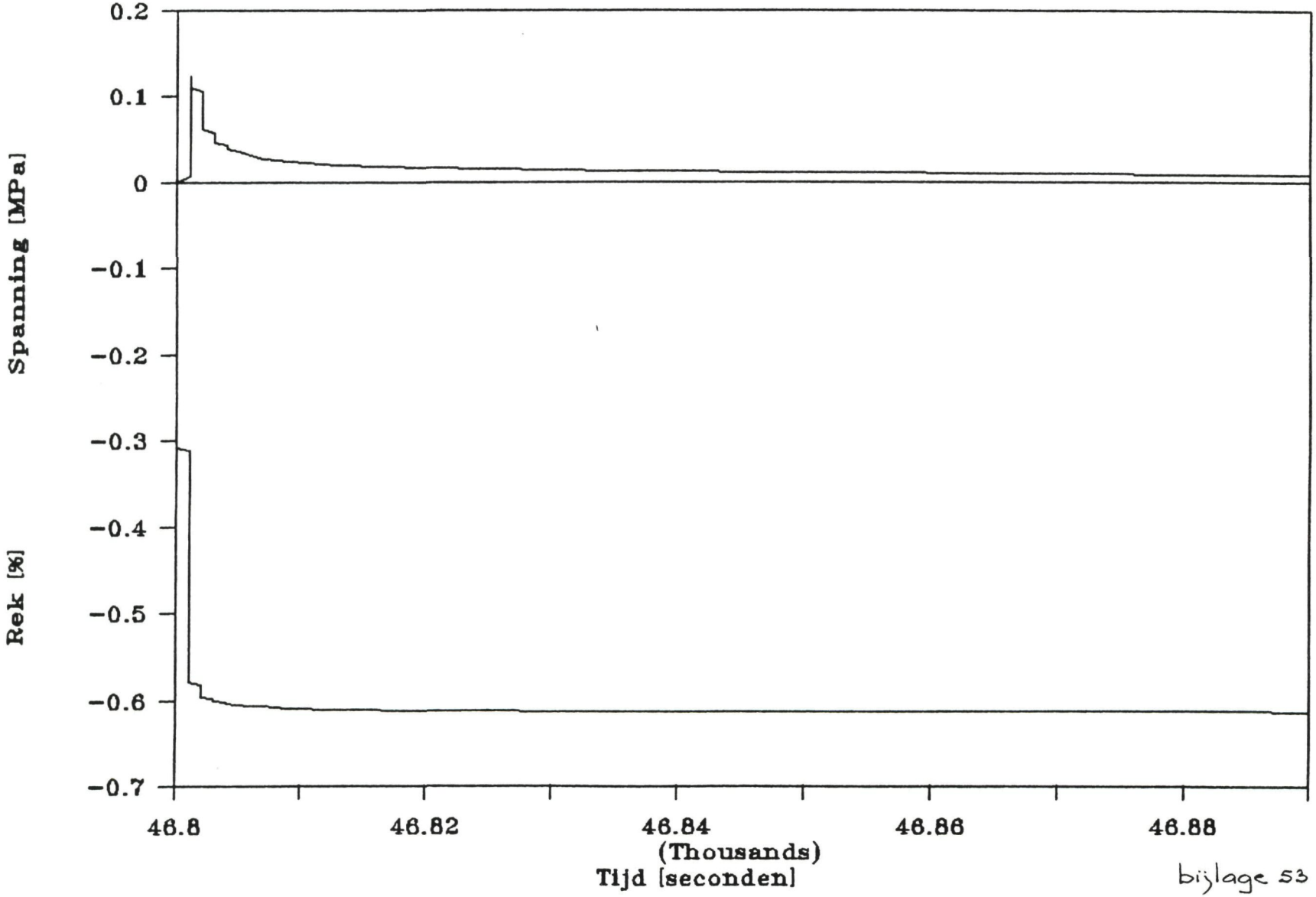
DRUK 30 °C Proef 6A V-39



bijlage 52

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

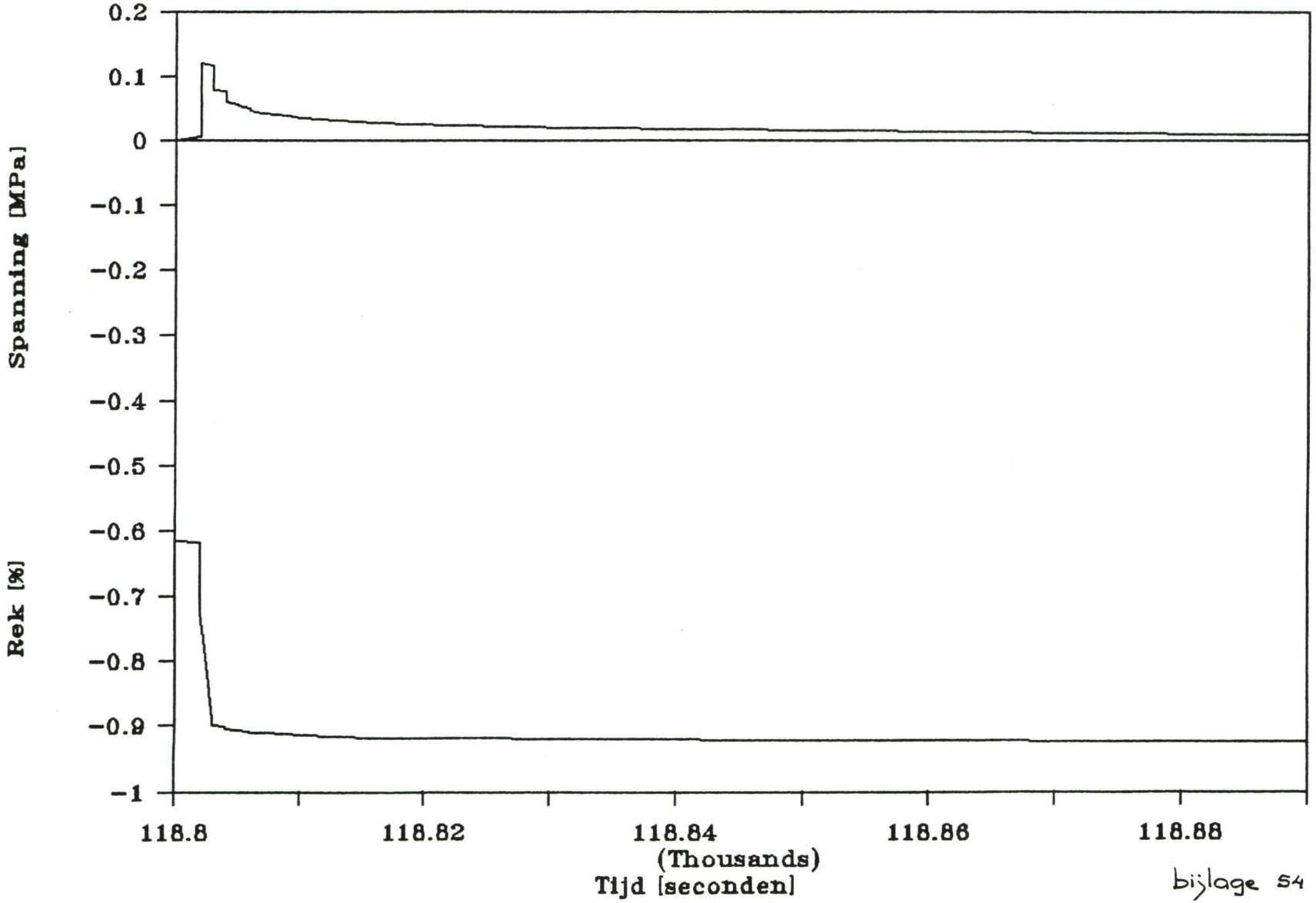
DRUK 30 °C Proef 6A V-39



bijlage 53

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

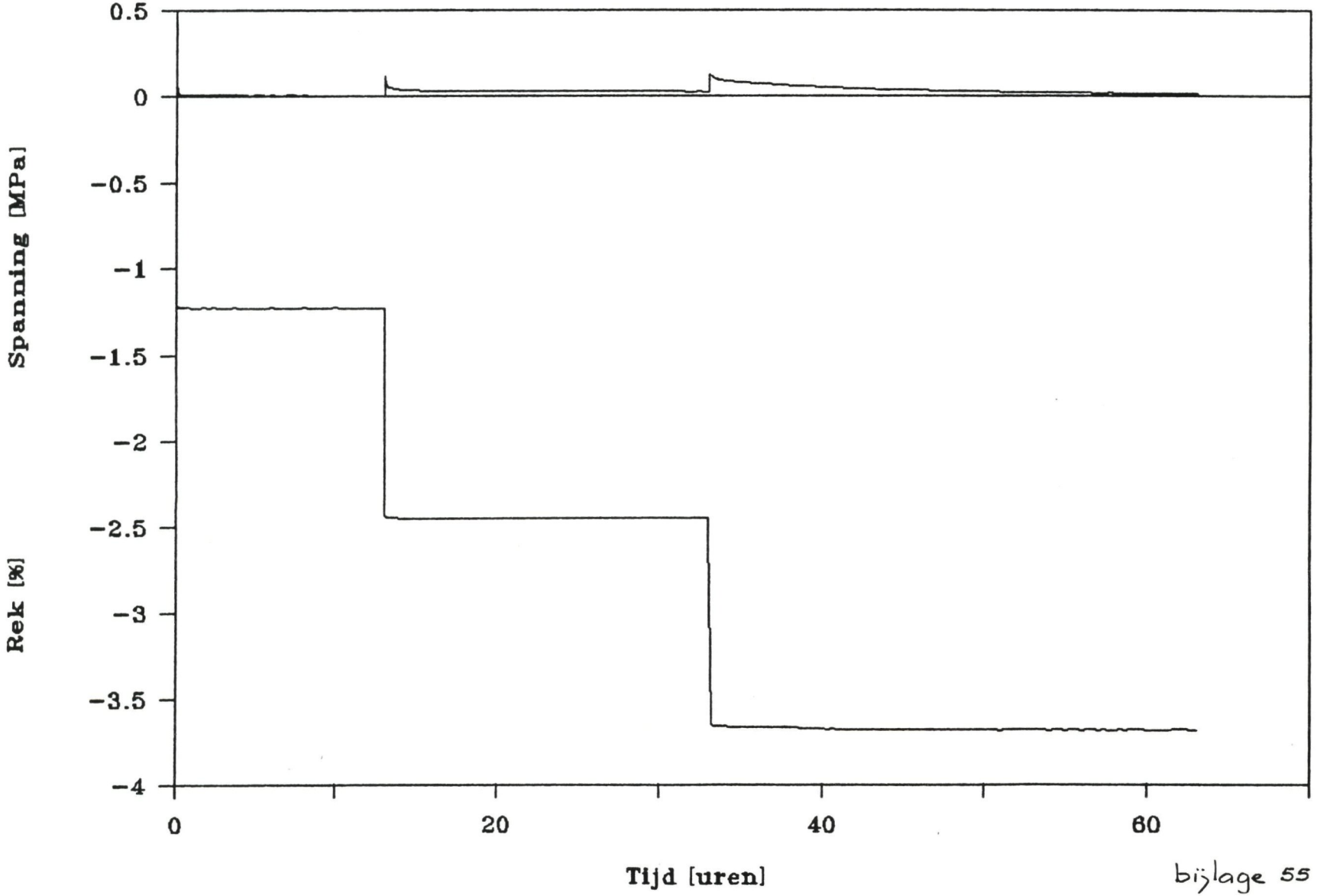
DRUK 30 °C Proef 6A V-39



bijlage 54

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

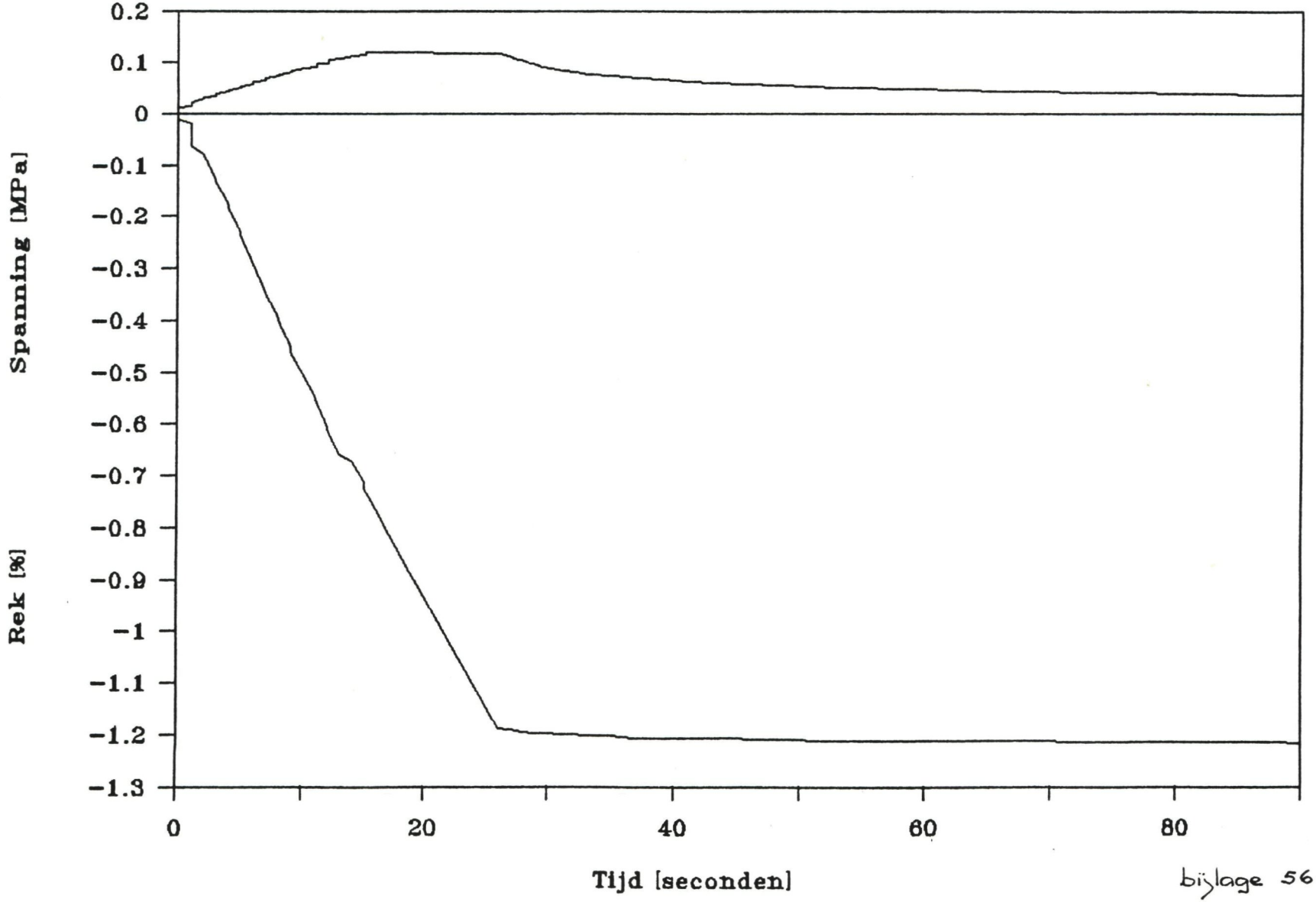
DRUK 30 °C Proef 6B V-41



bijlage 55

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

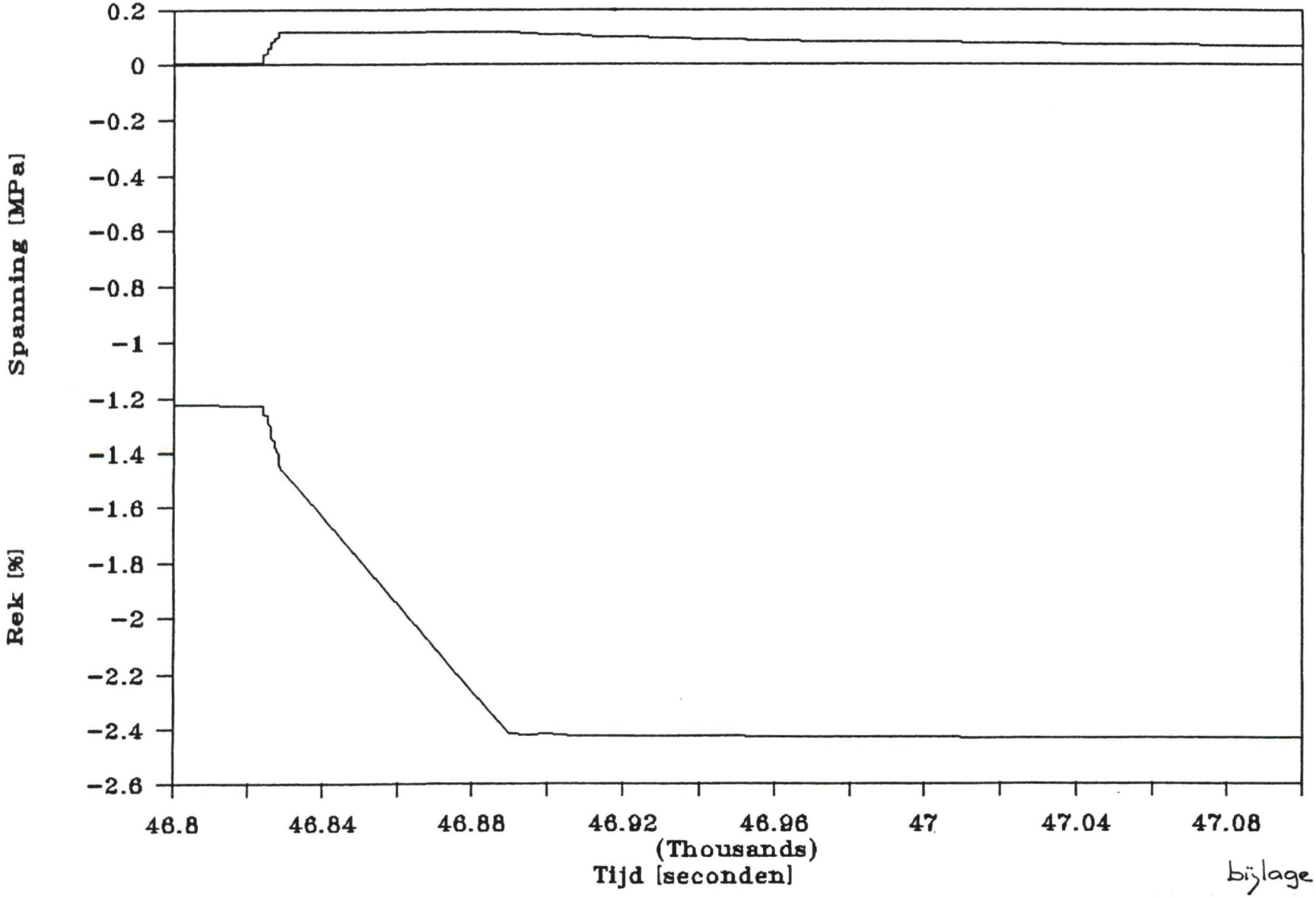
DRUK 30 °C Proef 6B V-41



bijlage 56

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

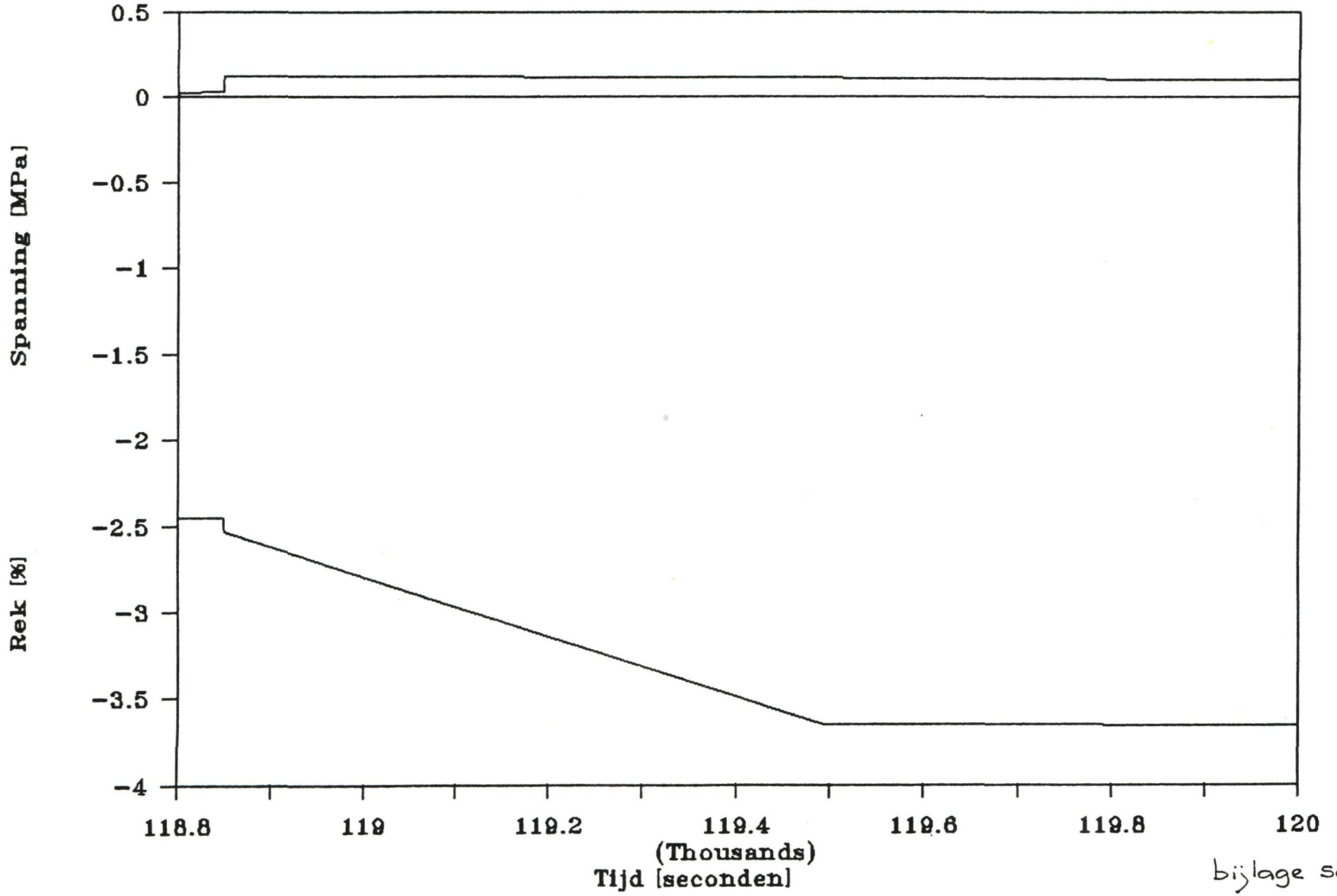
DRUK 30 °C Proef 6B V-41



bijlage 57

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

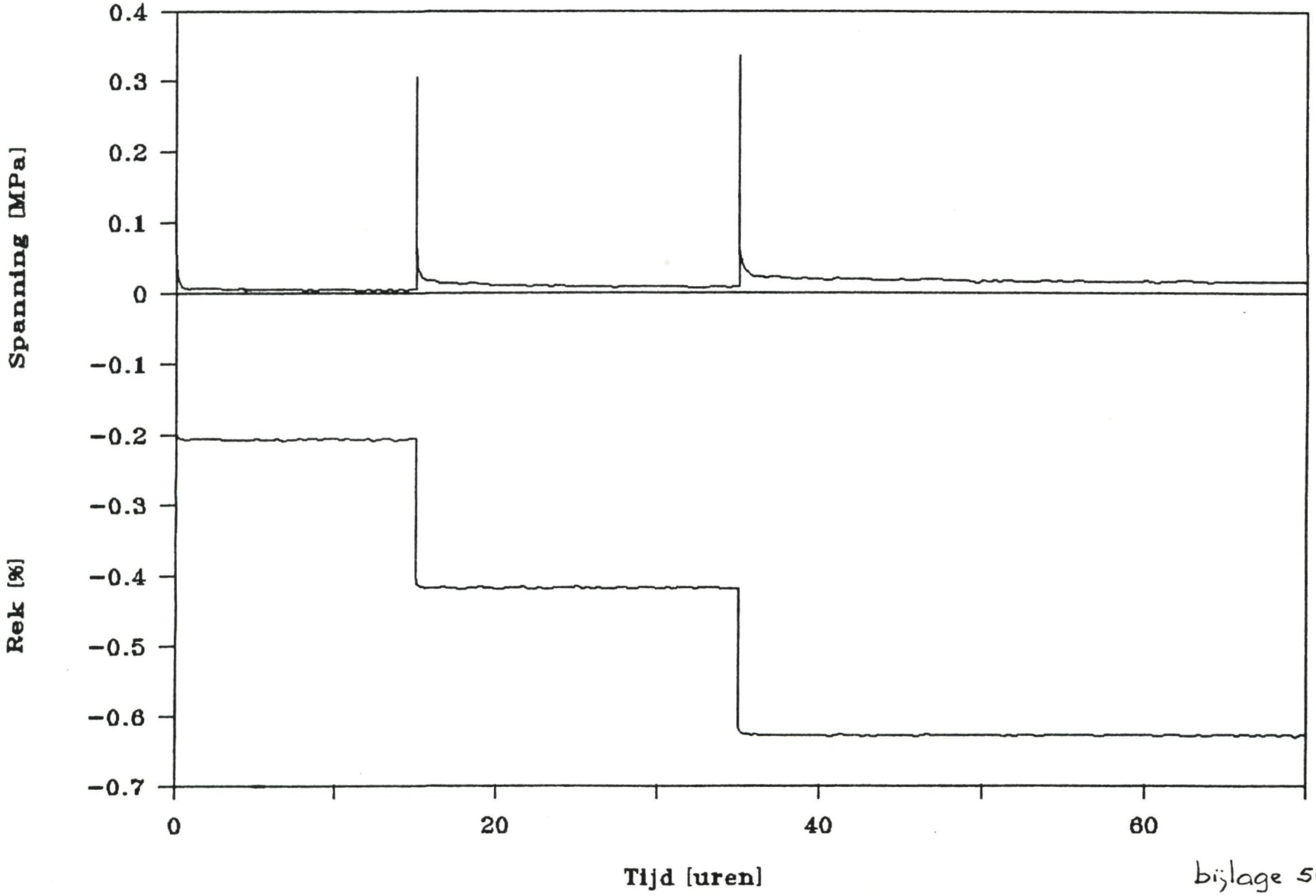
DRUK 30 °C Proef 6B V-41



bijlage 58

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

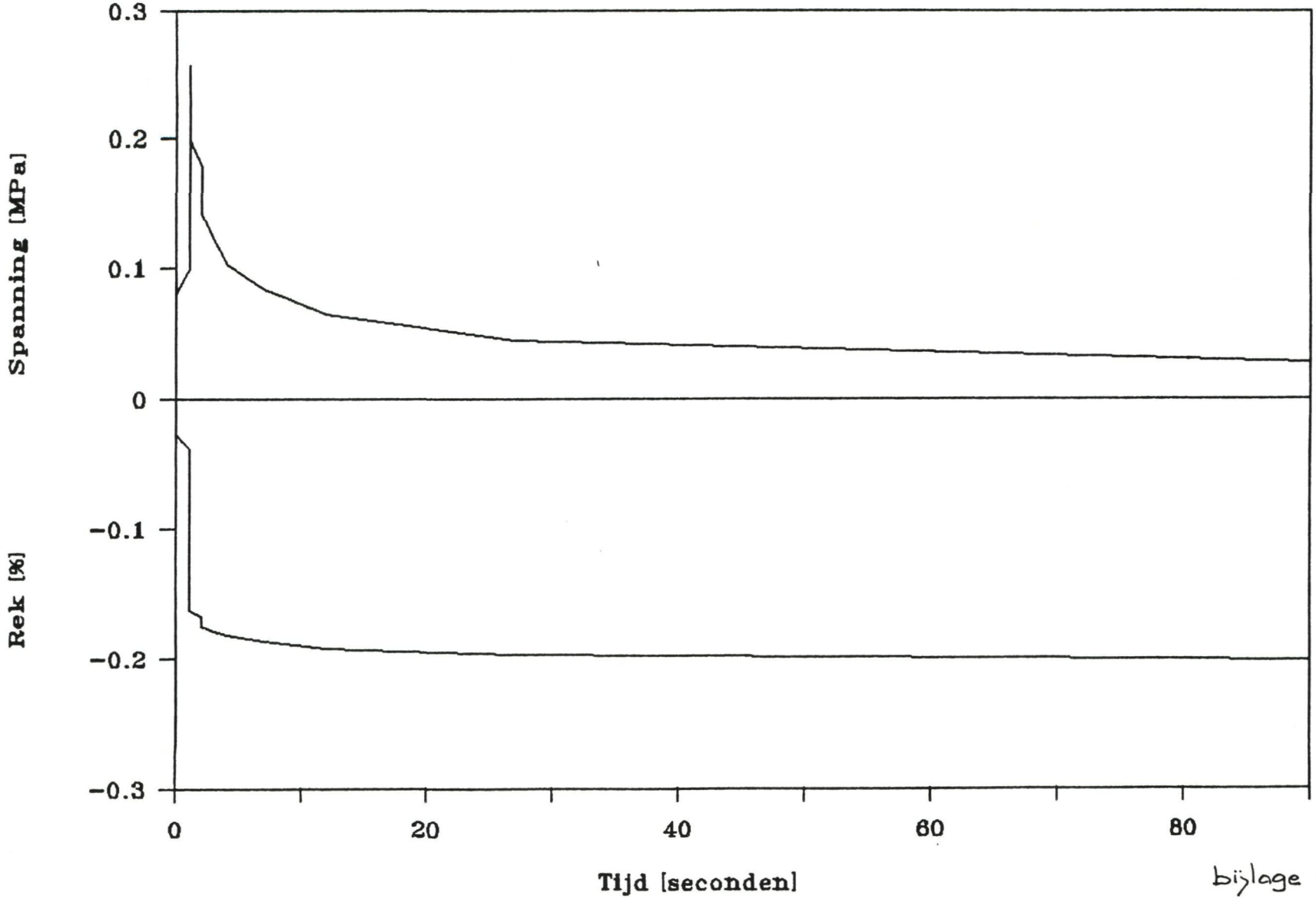
HOR DRUK 20 °C Proef 7A H-05



bijlage 59

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

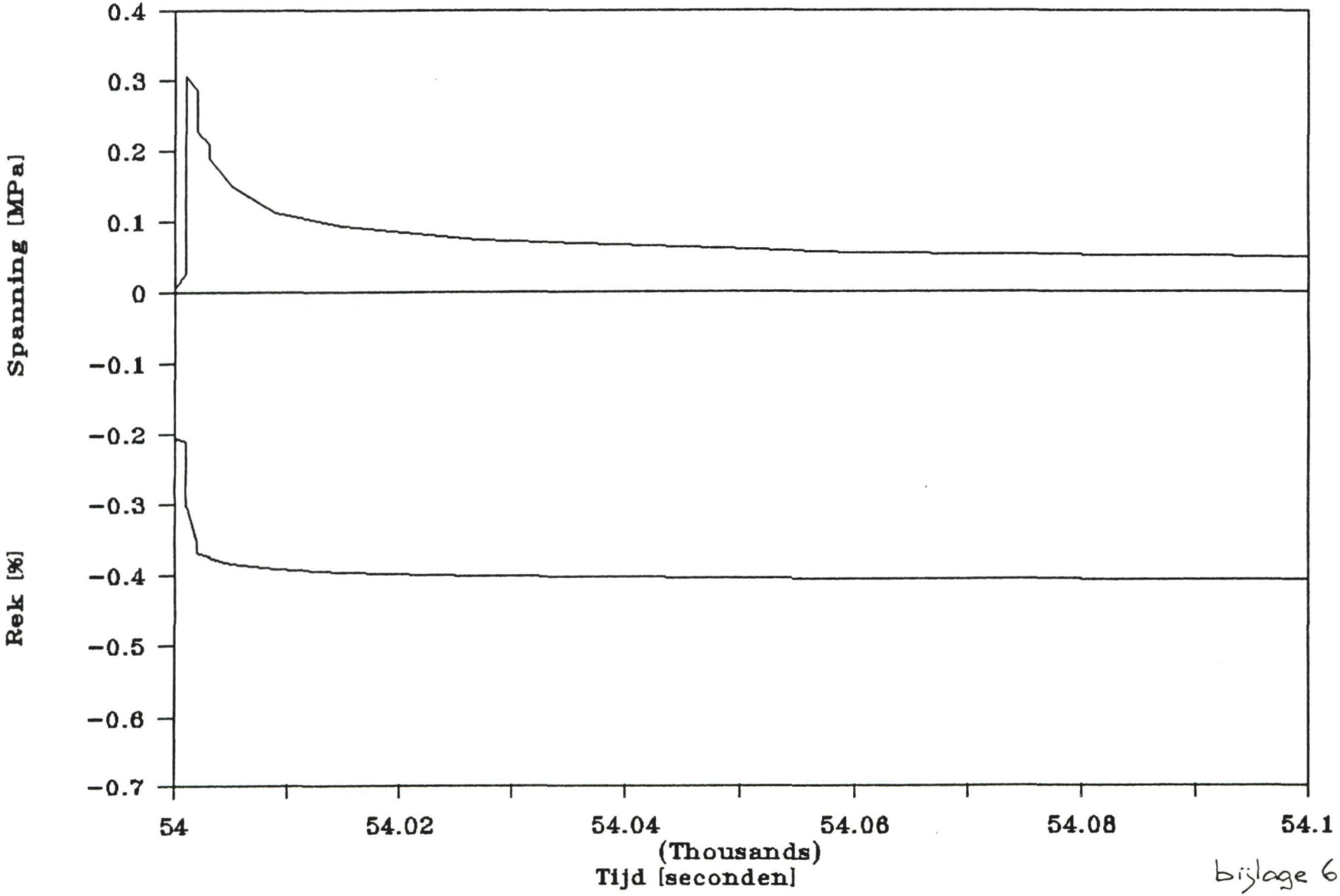
HOR DRUK 20 °C Proef 7A H-05



bijlage 6o

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

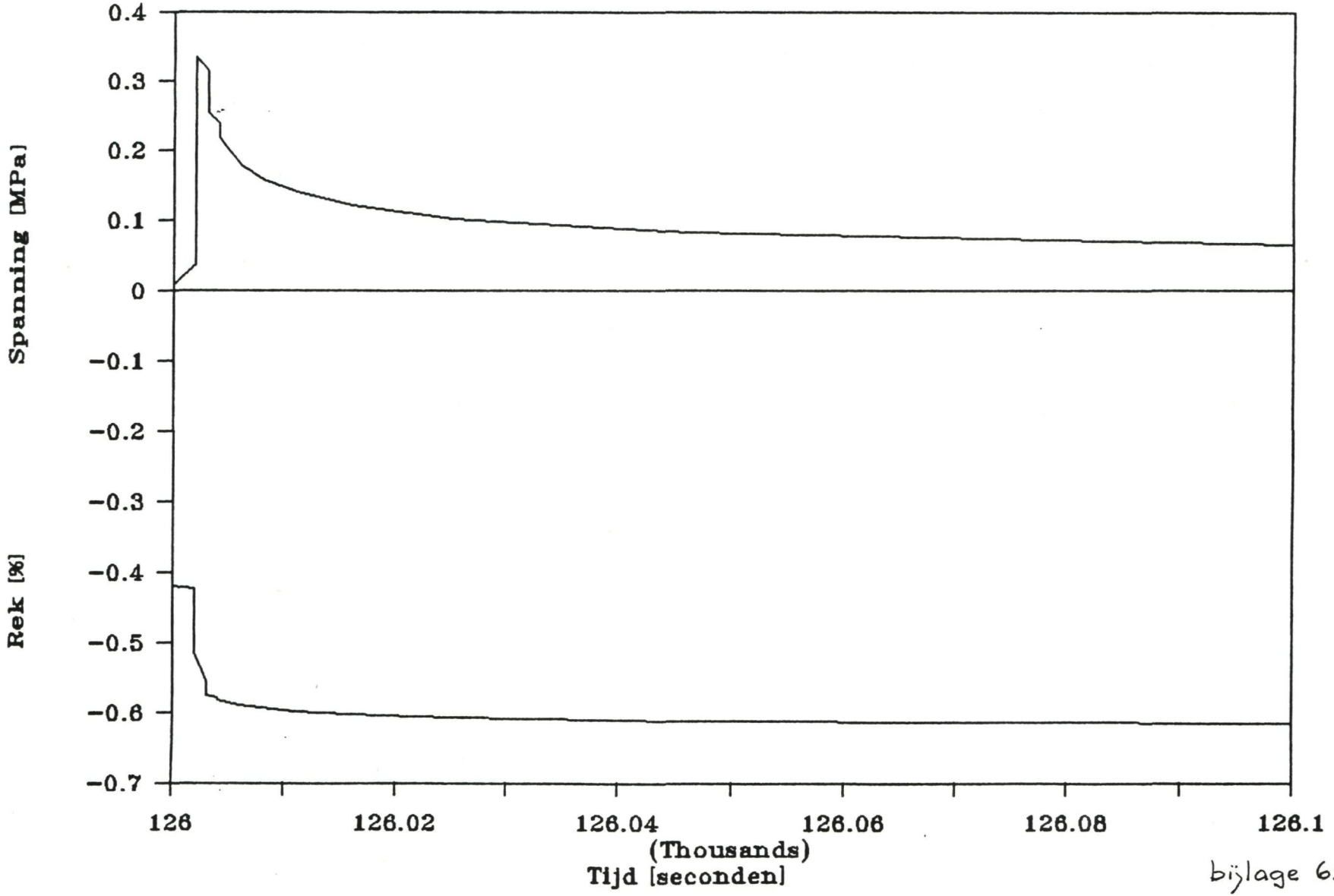
HOR DRUK 20 °C Proef 7A H-05



bijlage 61

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

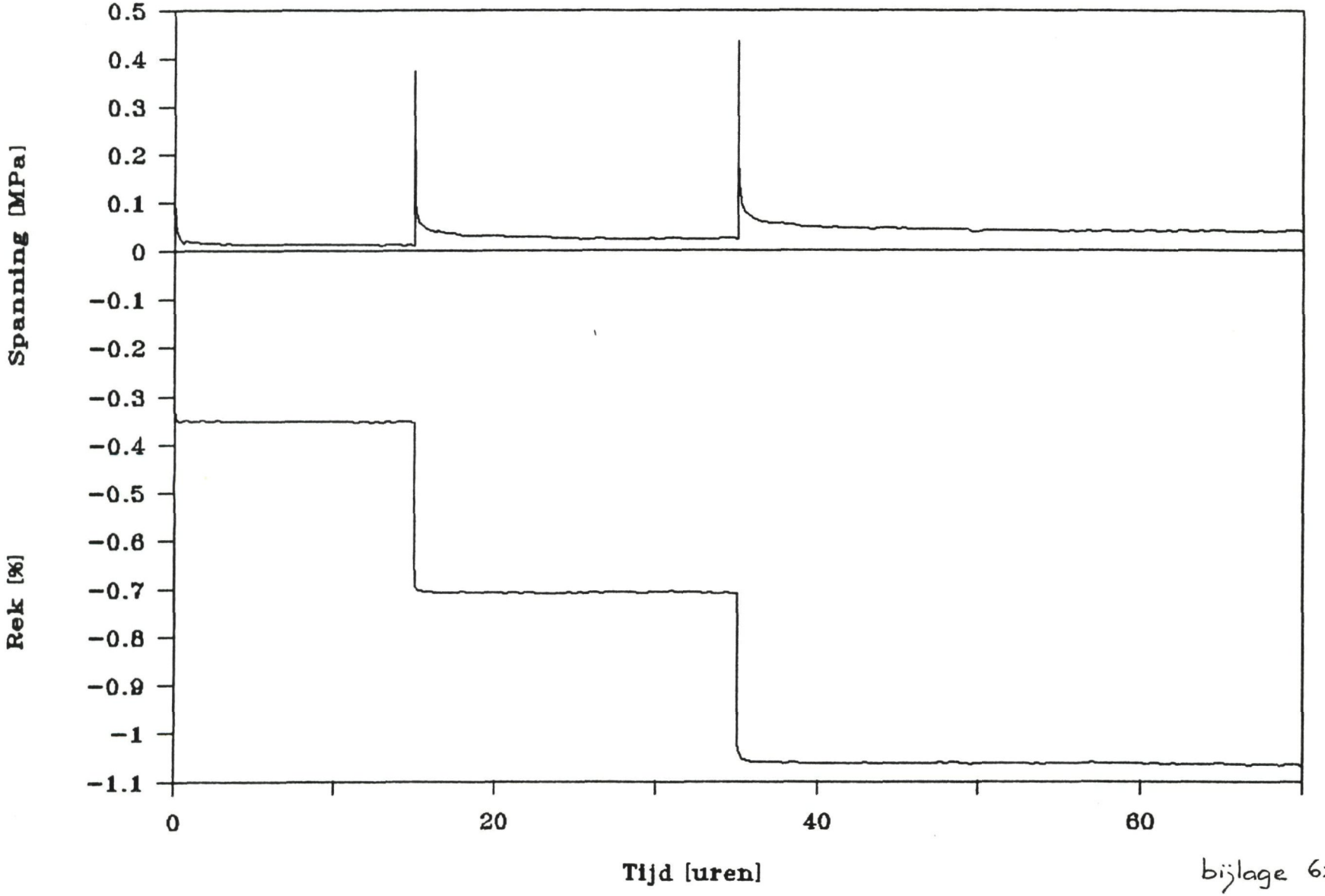
HOR DRUK 20 °C Proef 7A H-05



bijlage 62

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

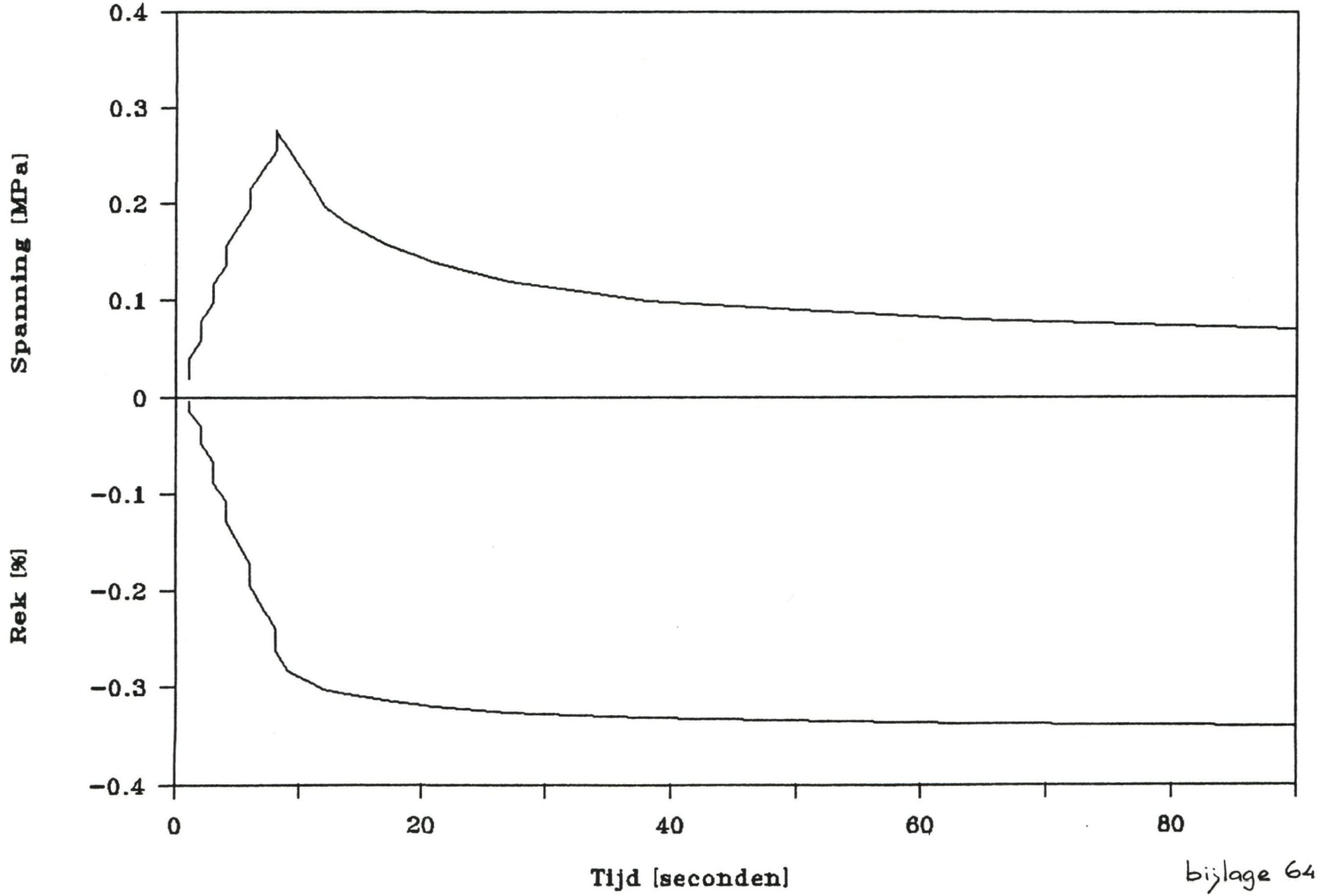
HOR DRUK 20 °C Proef 7B H-01



bijlage 63

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

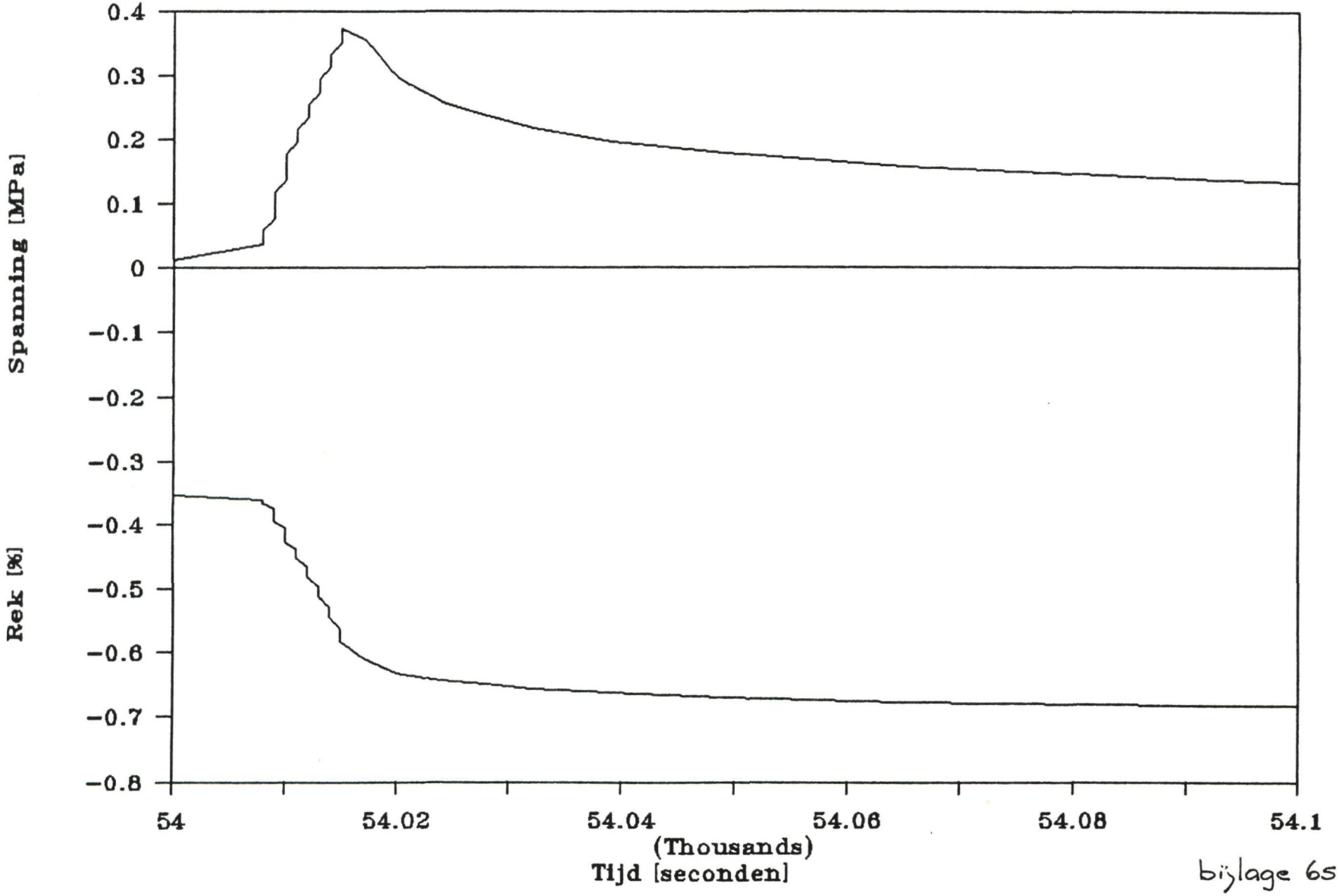
HOR DRUK 20 °C Proef 7B H-01



bijlage 64

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

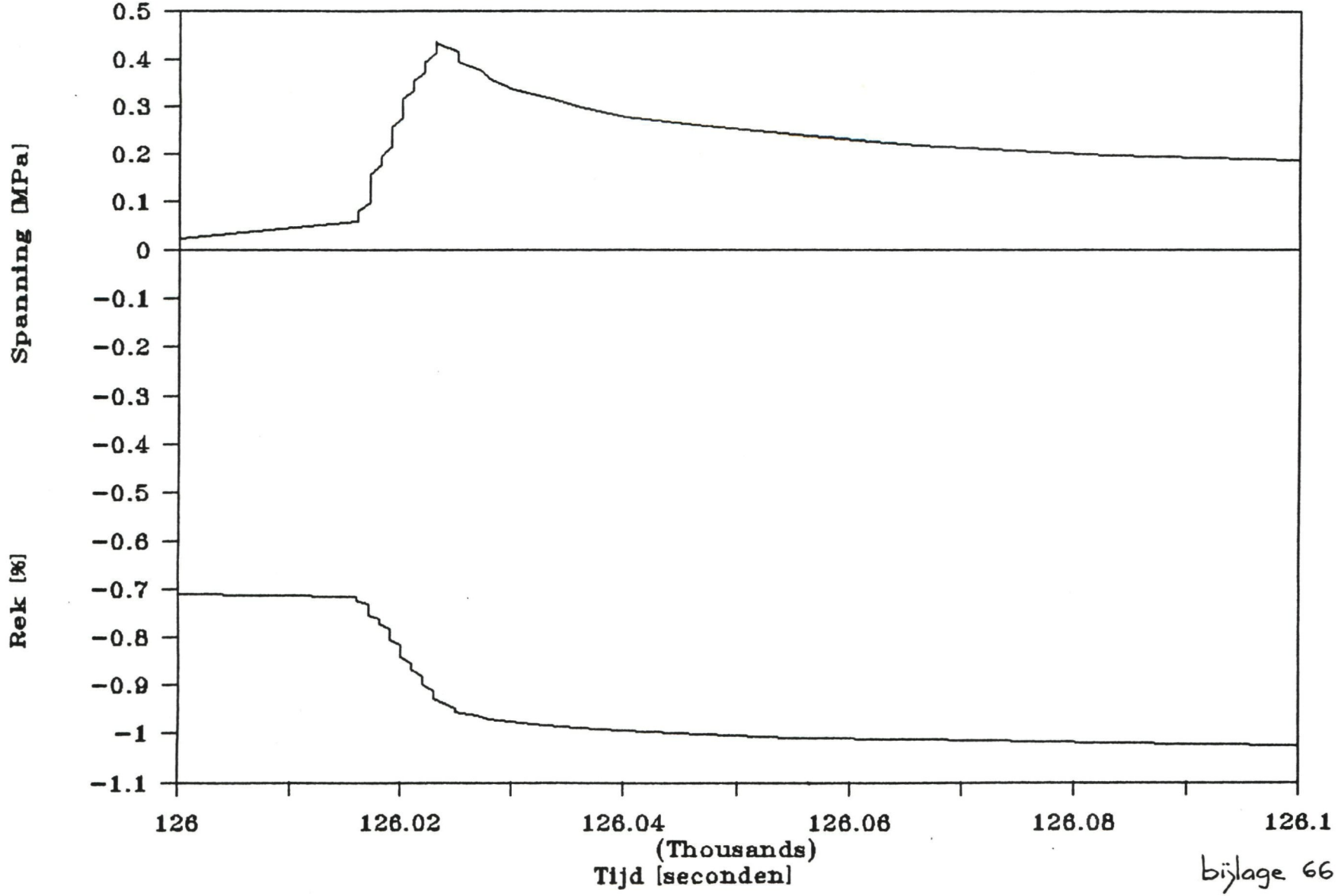
HOR DRUK 20 °C Proef 7B H-01



bijlage 6s

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

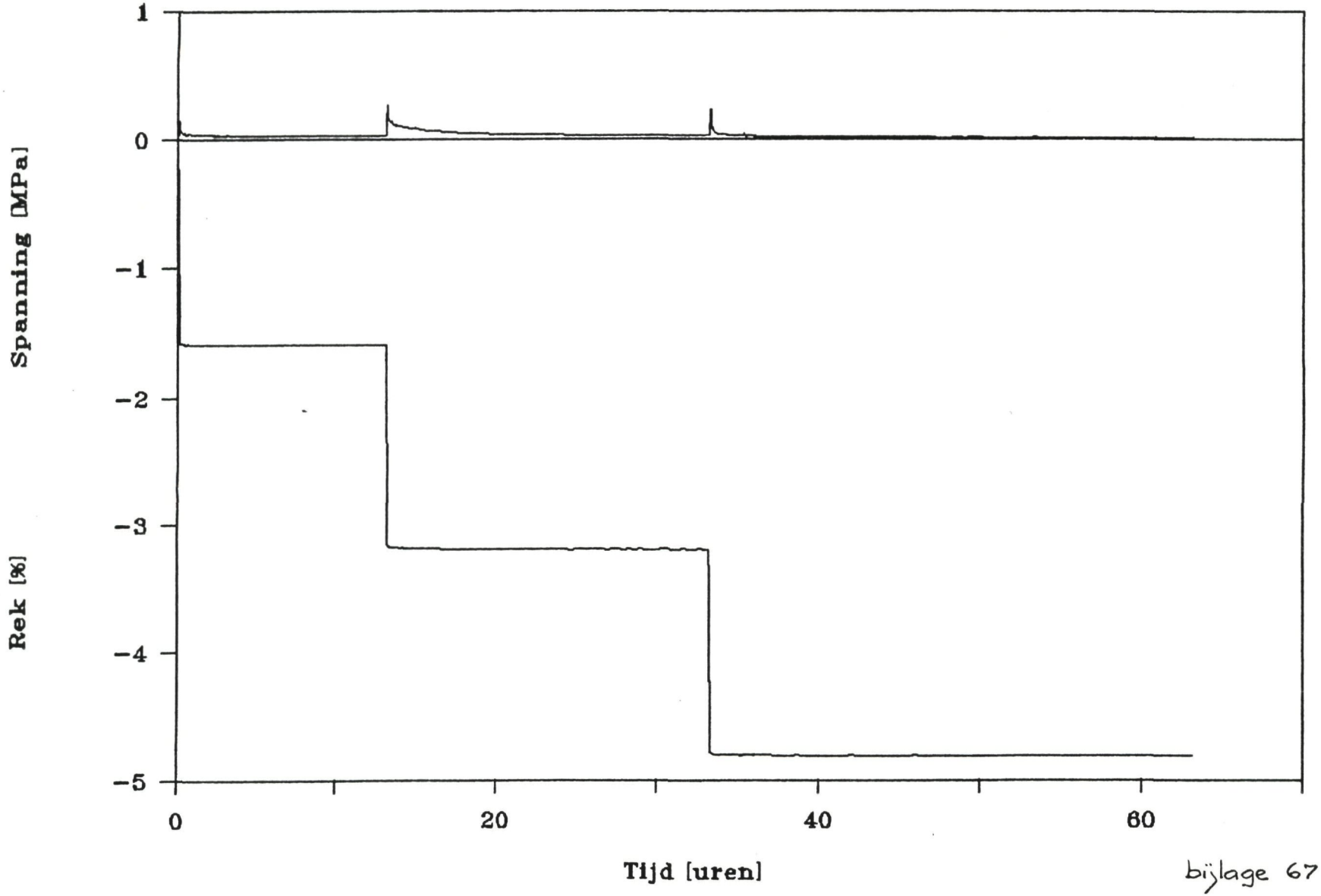
HOR DRUK 20 °C Proef 7B H-01



bijlage 66

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

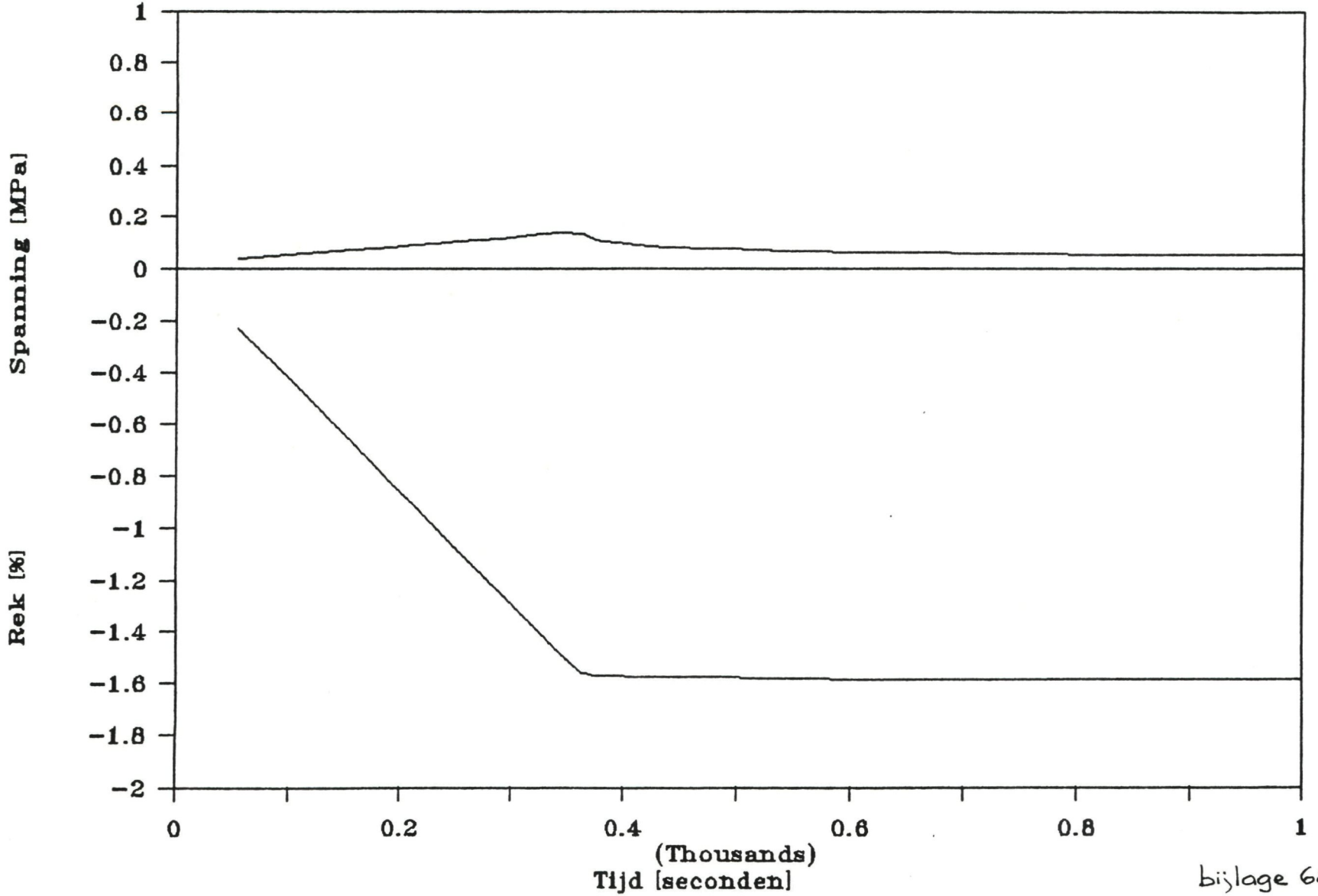
DRUK 30 °C Proef 8A V-02



bijlage 67

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

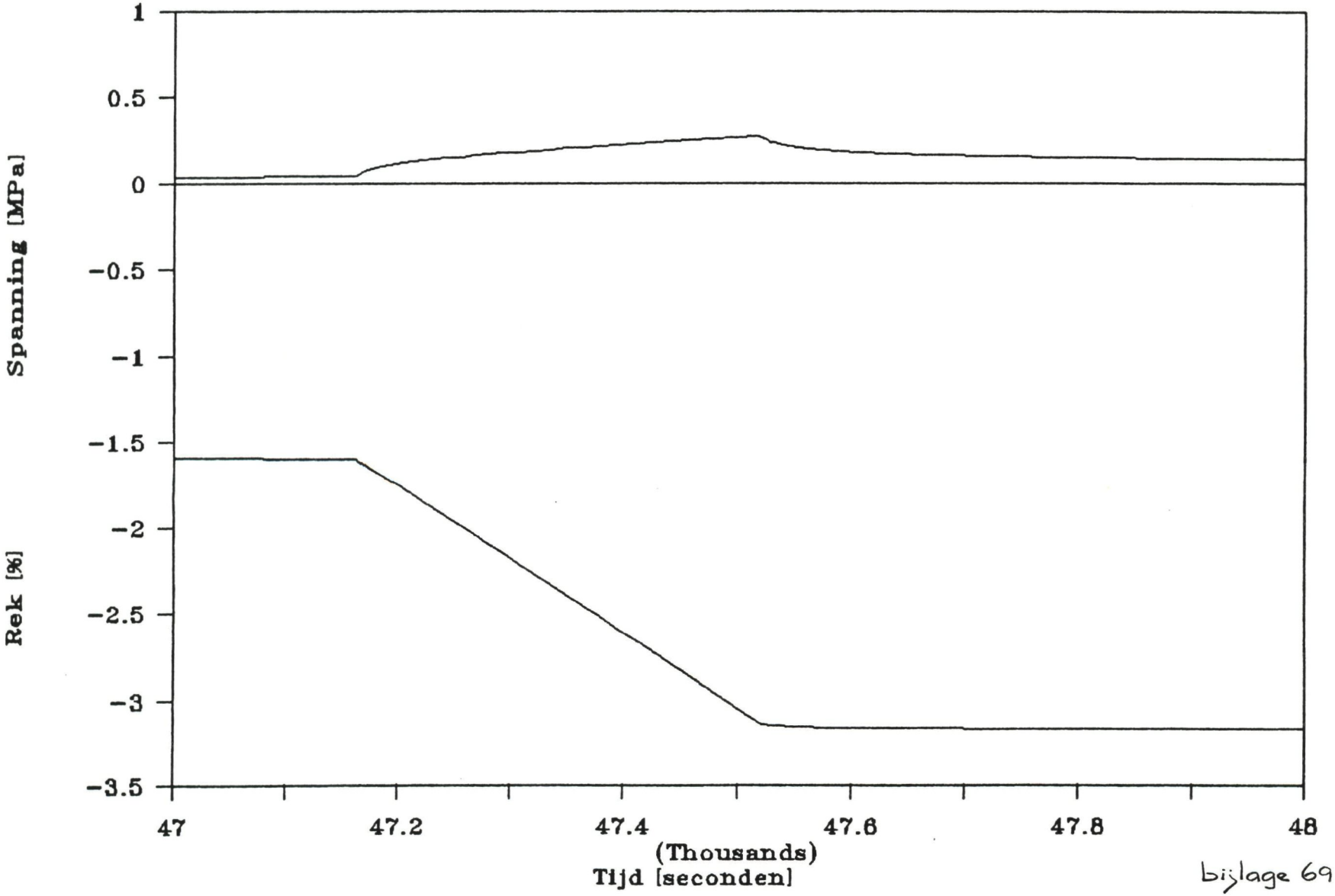
DRUK 30 °C Proef 8A V-02



bijlage 68

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

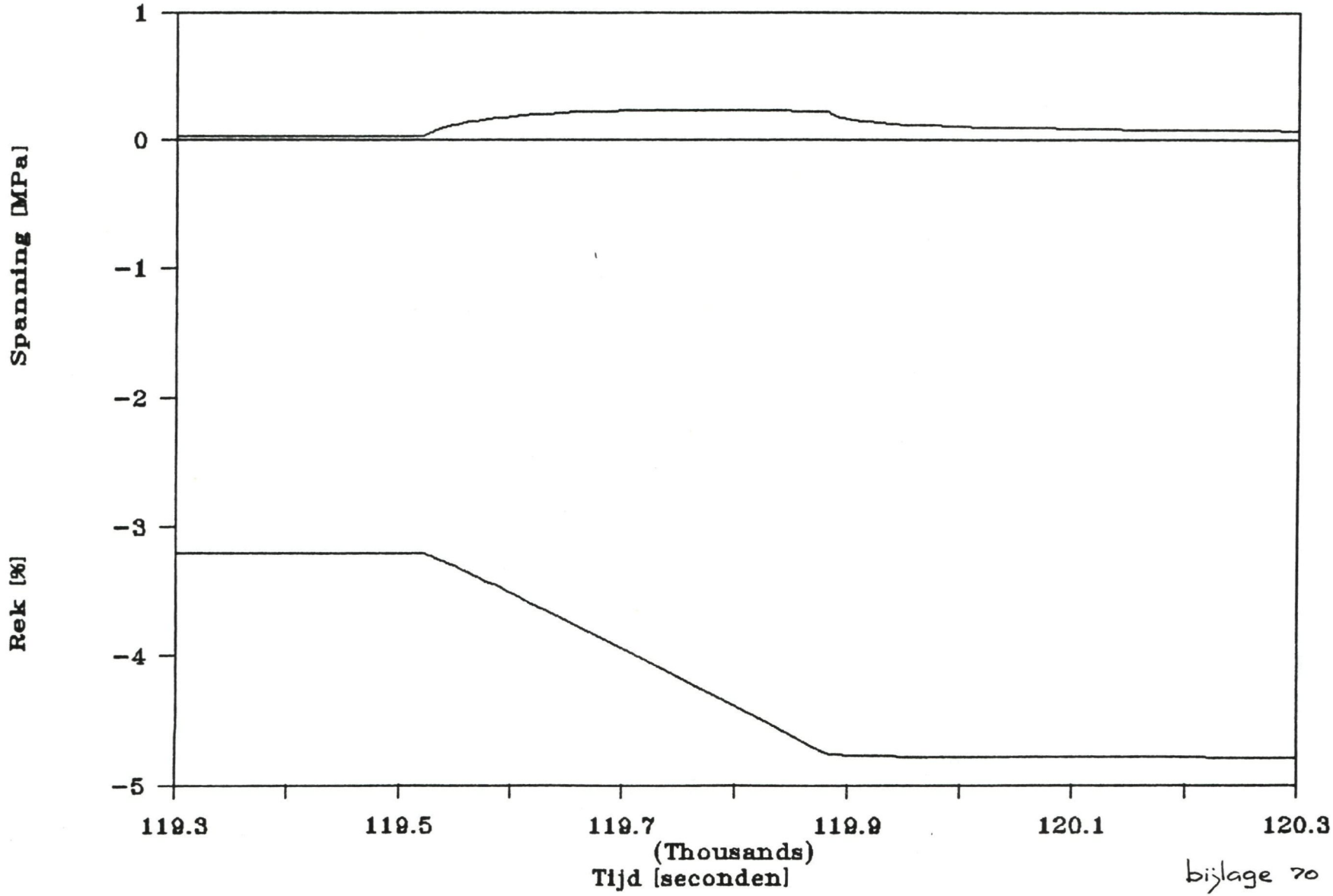
DRUK 30 °C Proef 8A V-02



bijlage 69

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

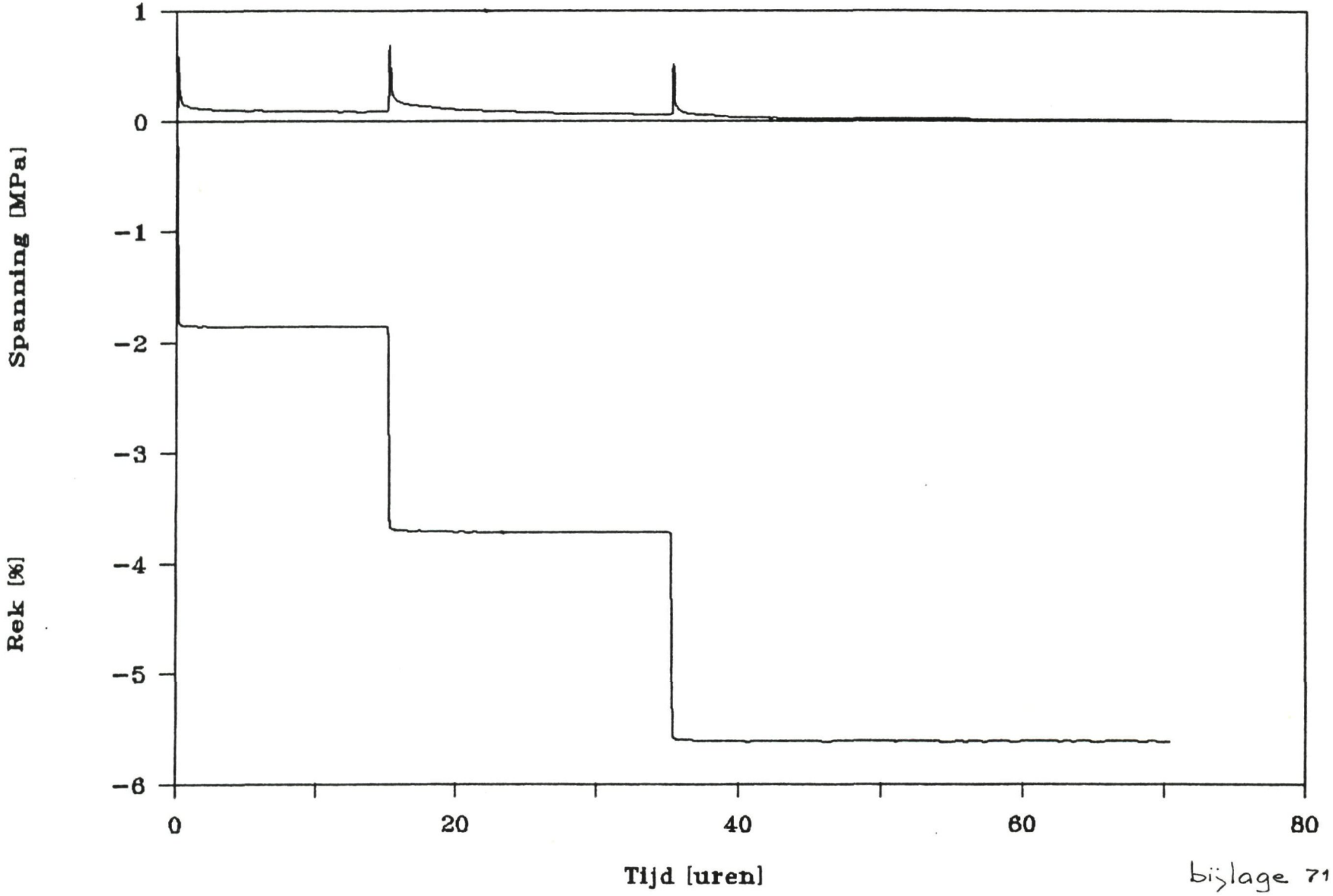
DRUK 30 °C Proef 8A V-02



bijlage 70

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

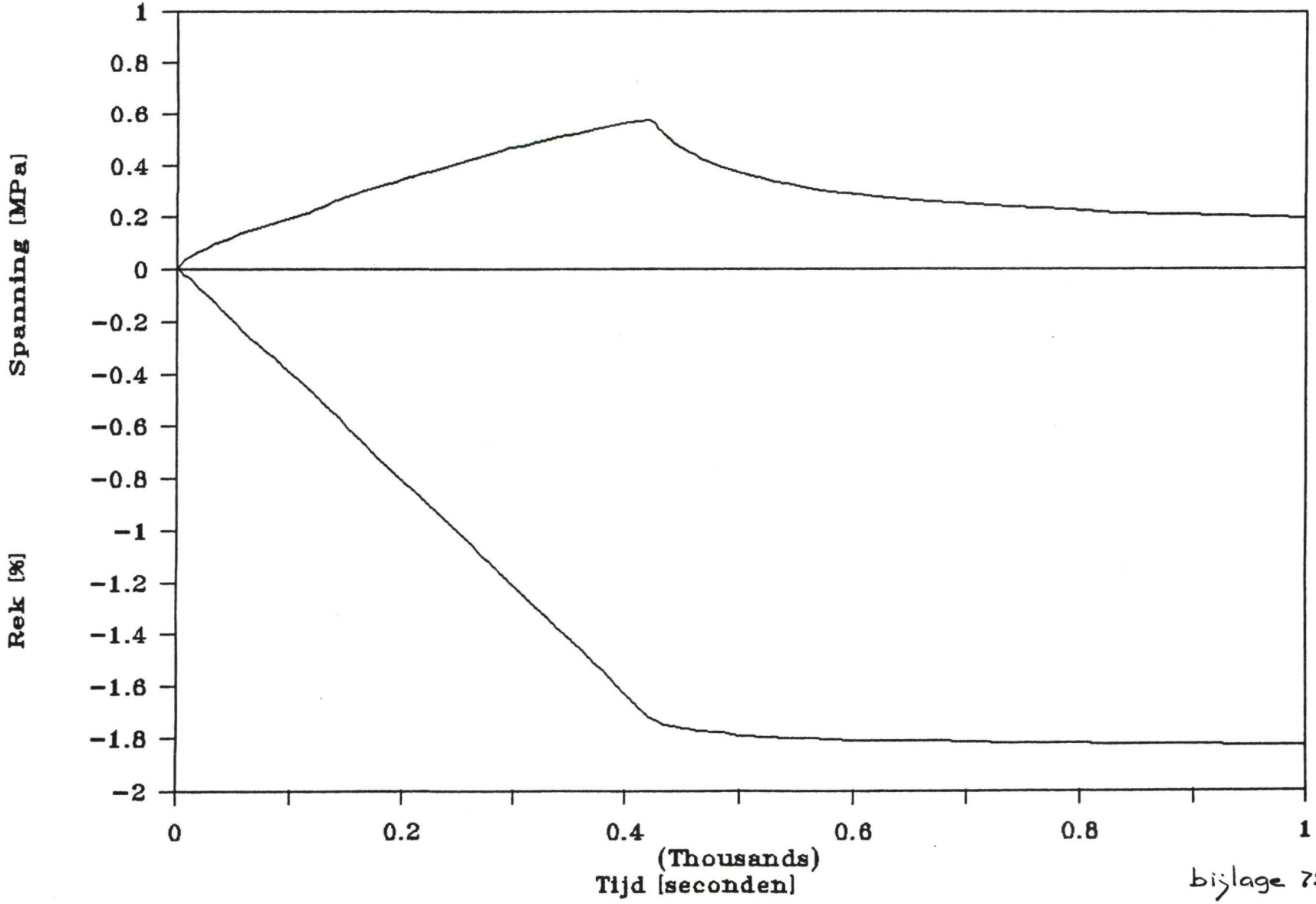
HOR DRUK 20 °C Proef 9A H-03



bijlage 71

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

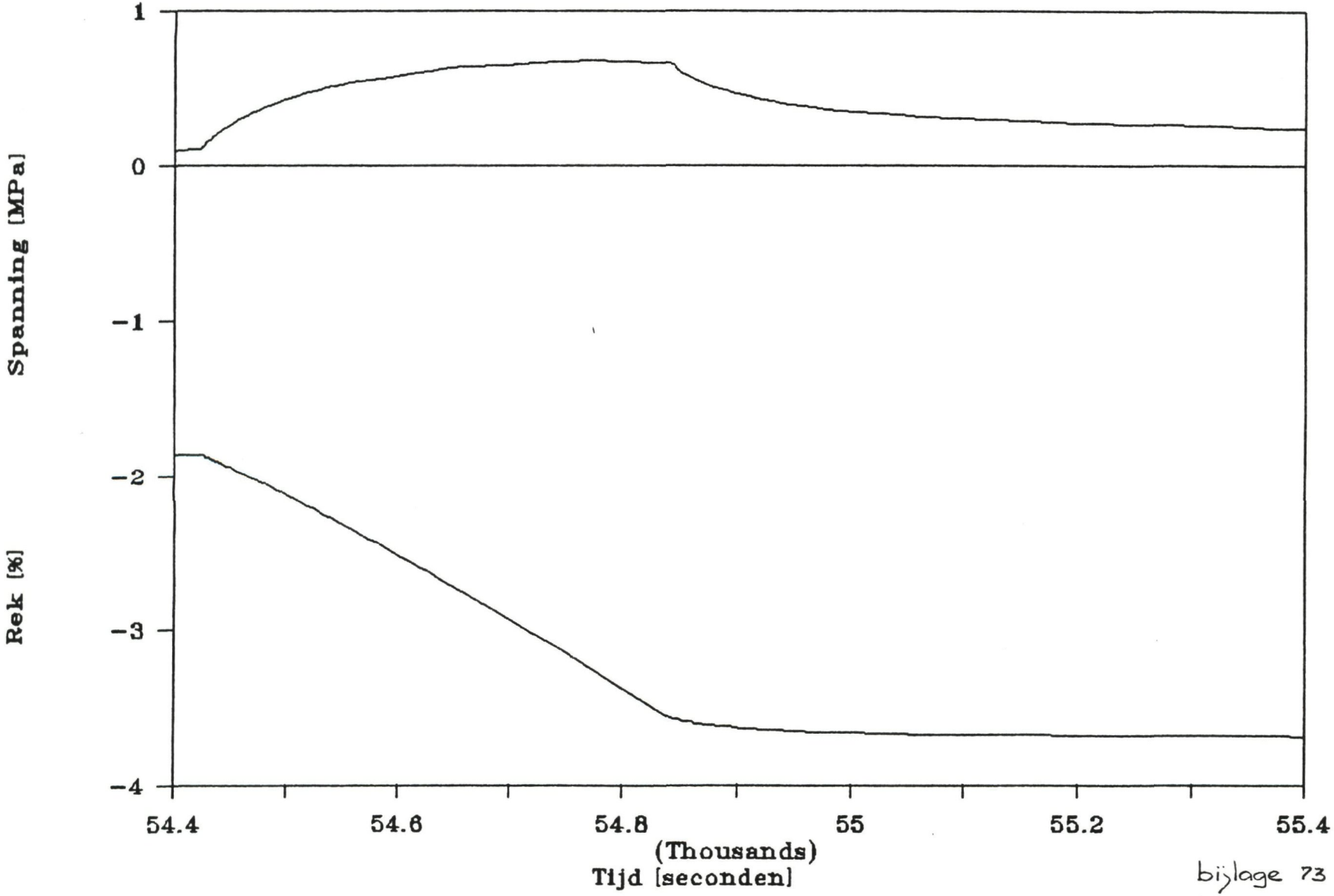
HOR DRUK 20 °C Proef 9A H-03



bijlage 72

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

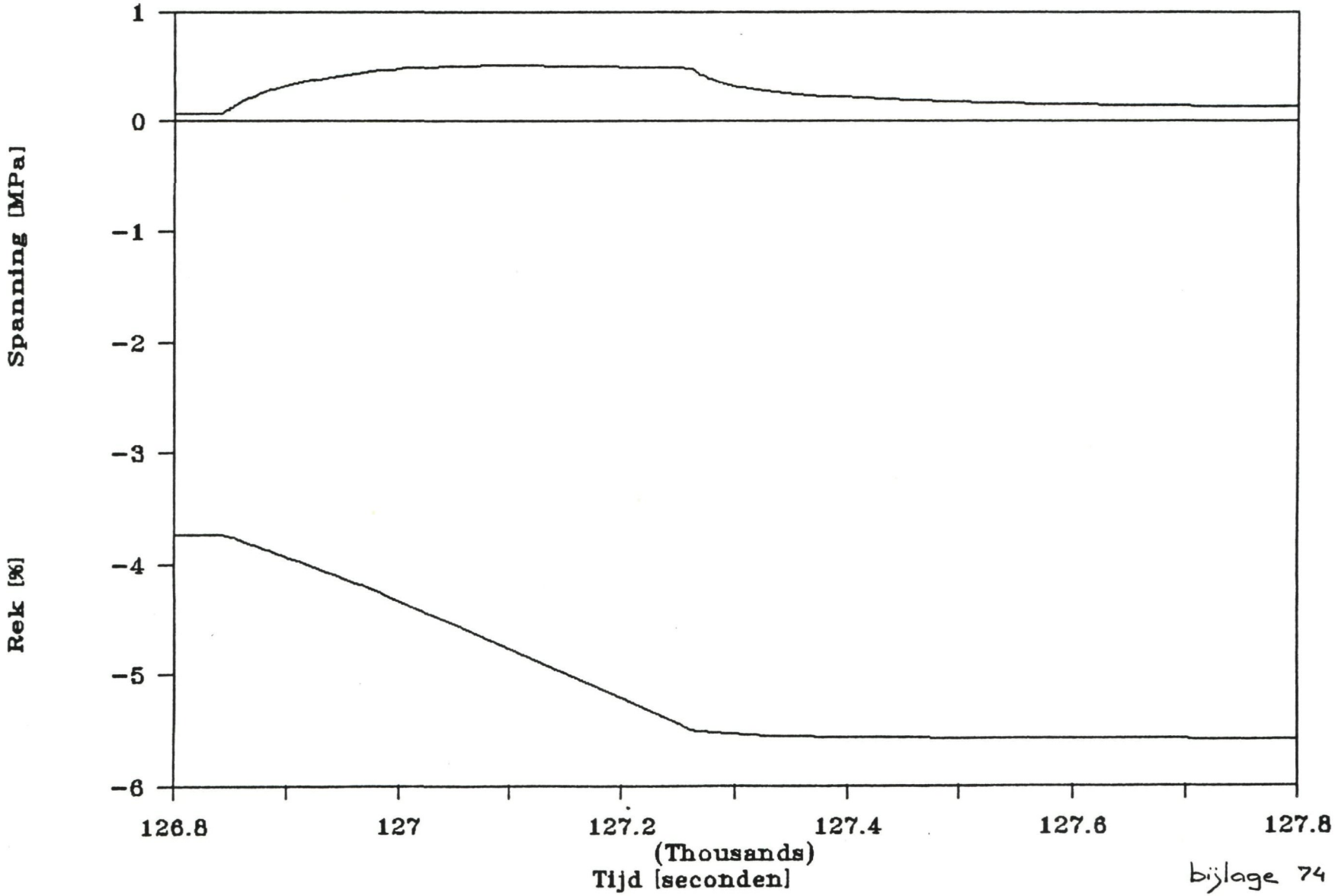
HOR DRUK 20 °C Proef 9A H-03



bijlage 73

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

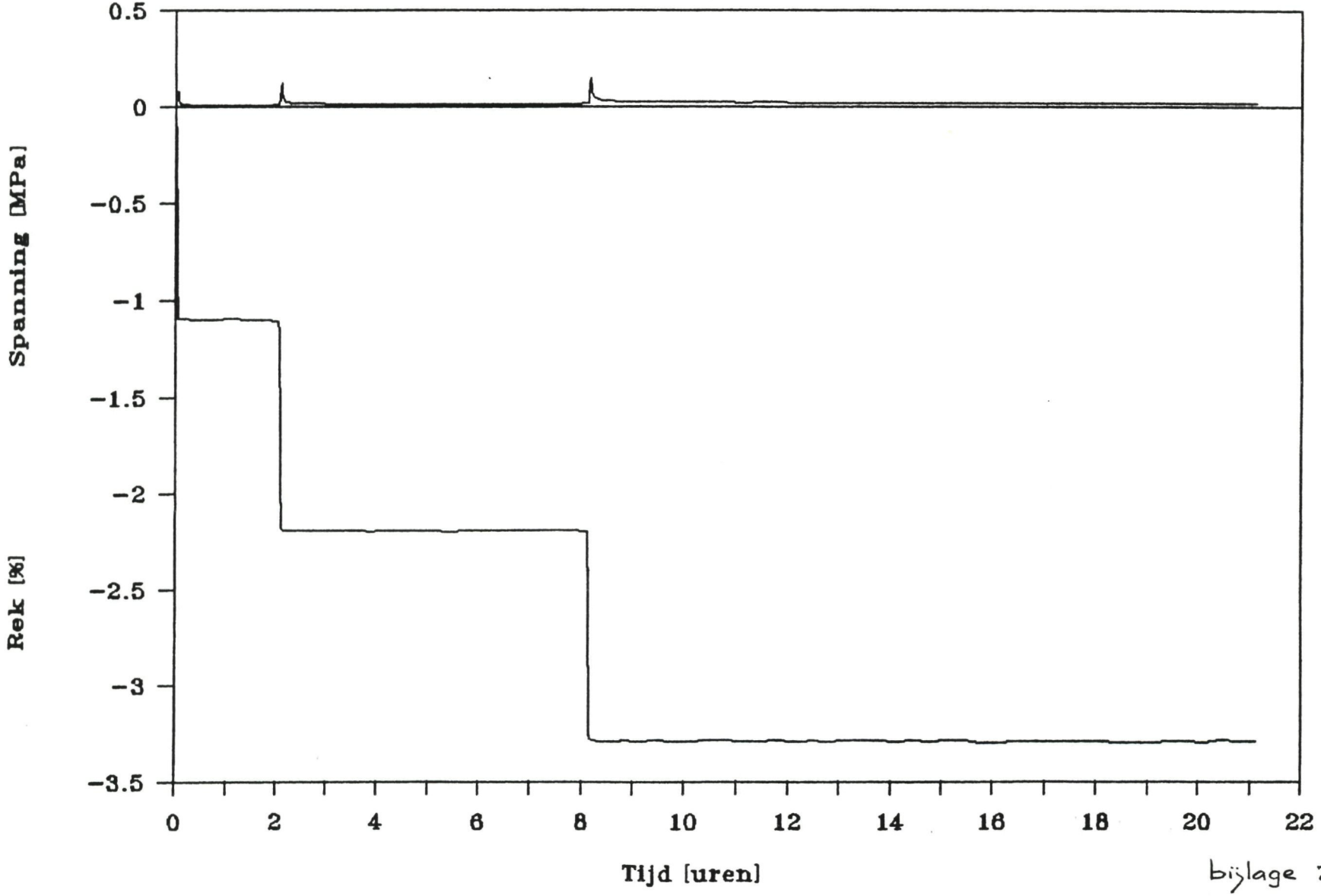
HOR DRUK 20 °C Proef 9A H-03



bijlage 74

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

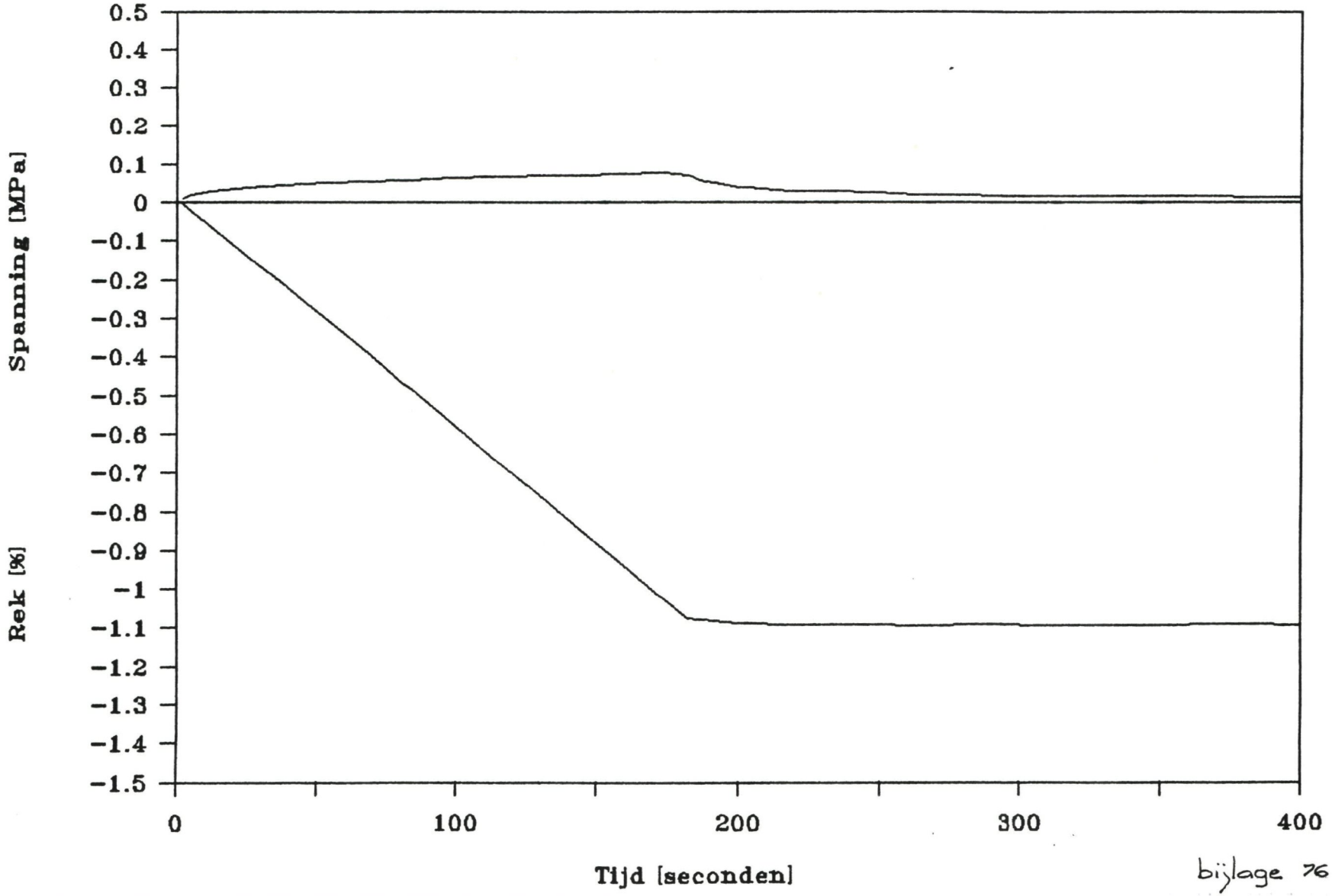
TREK 20 °C Proef 10A V-30



bijlage 75

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

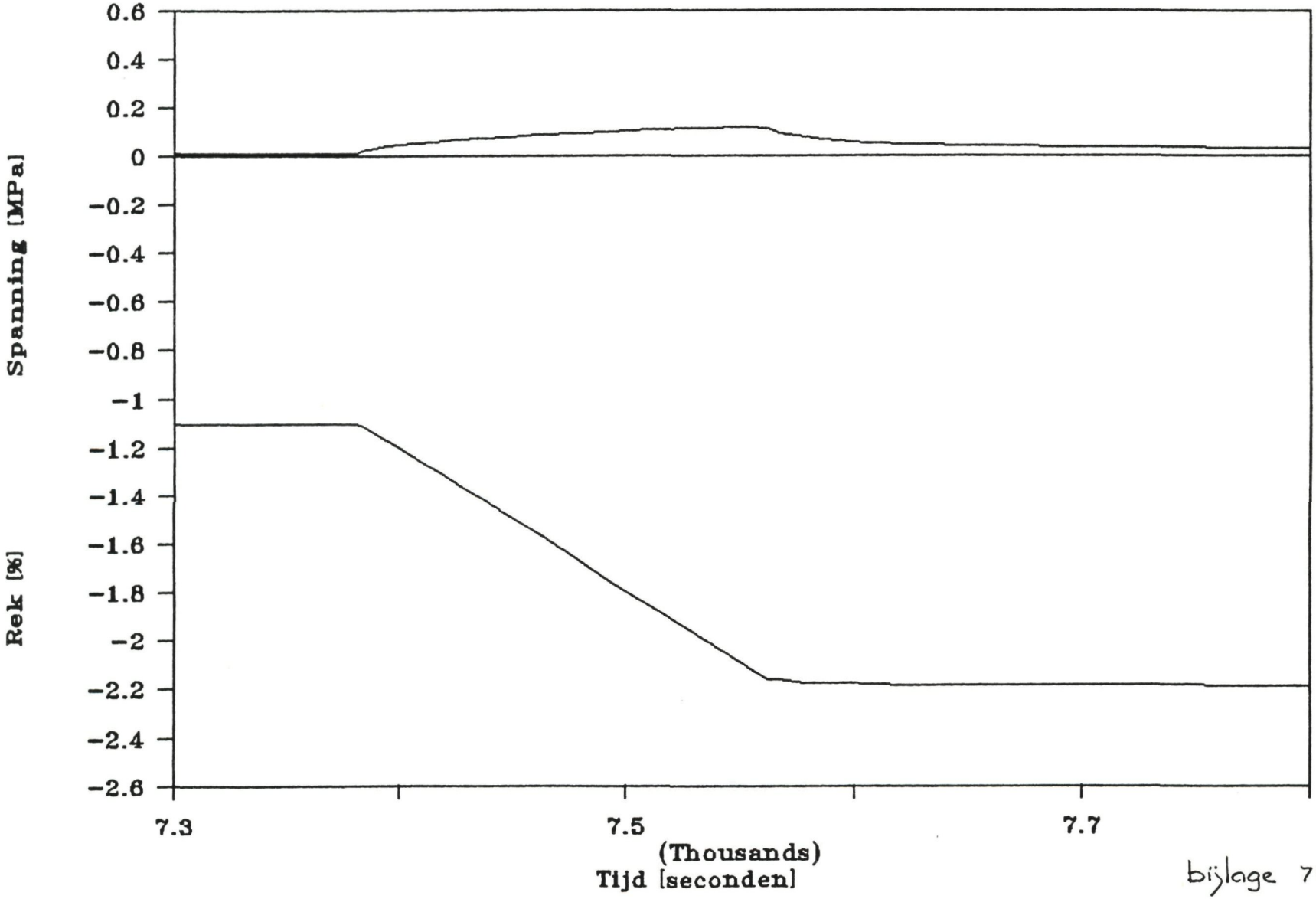
TREK 20 °C Proef 10A V-30



bijlage 76

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

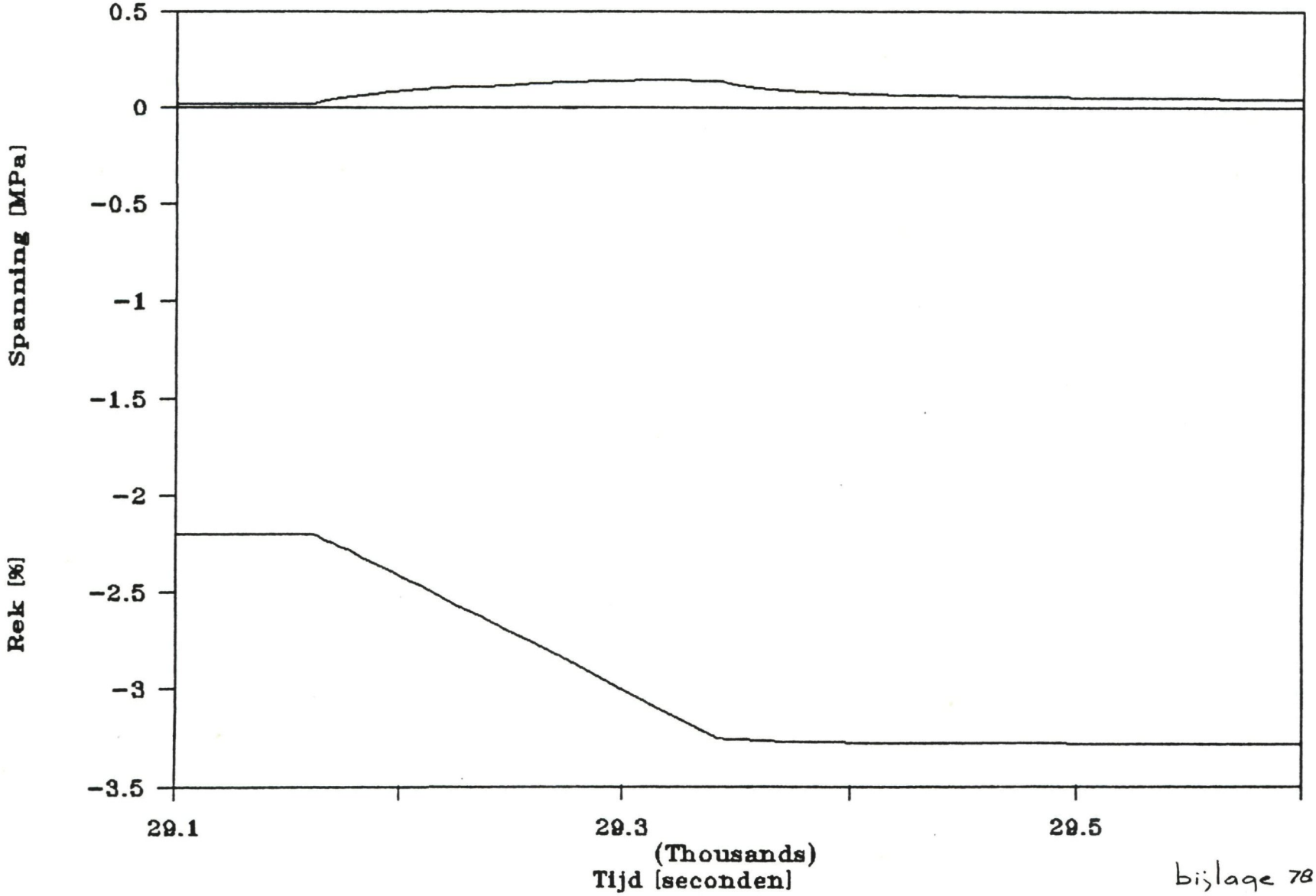
TREK 20 °C Proef 10A V-30



bijlage 77

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

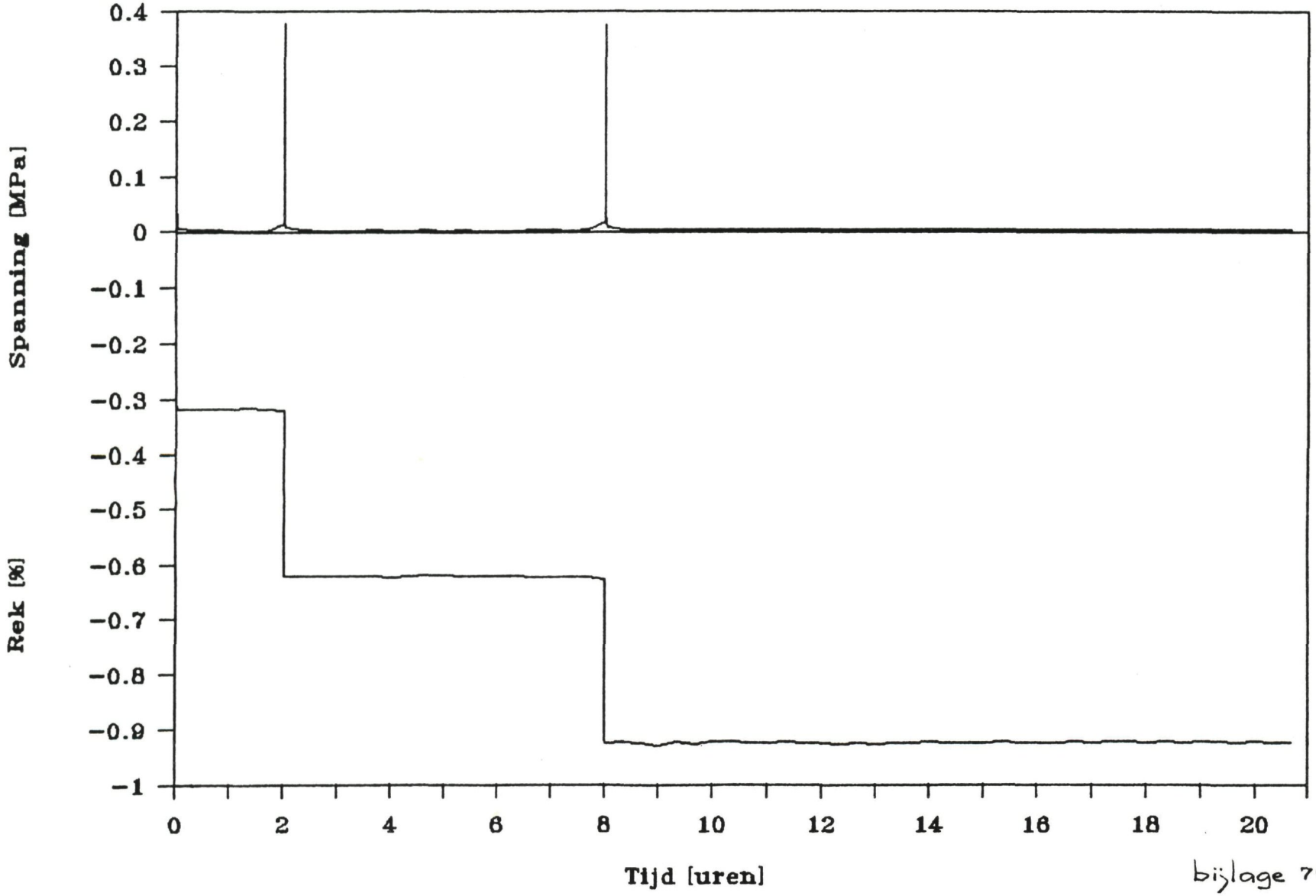
TREK 20 °C Proef 10A V-30



bijlage 78

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

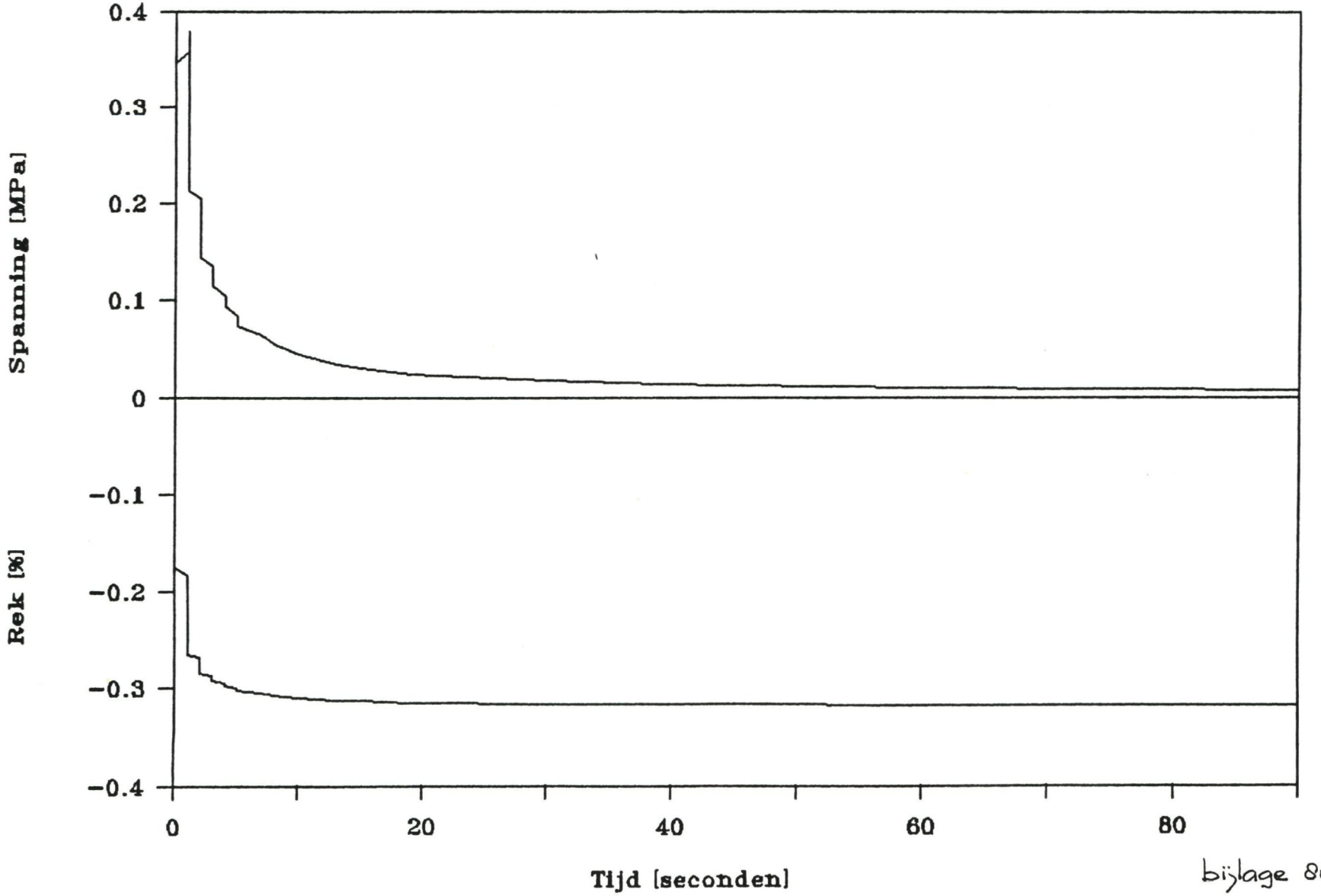
TREK 20 °C Proef 10B V-36



bijlage 79

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

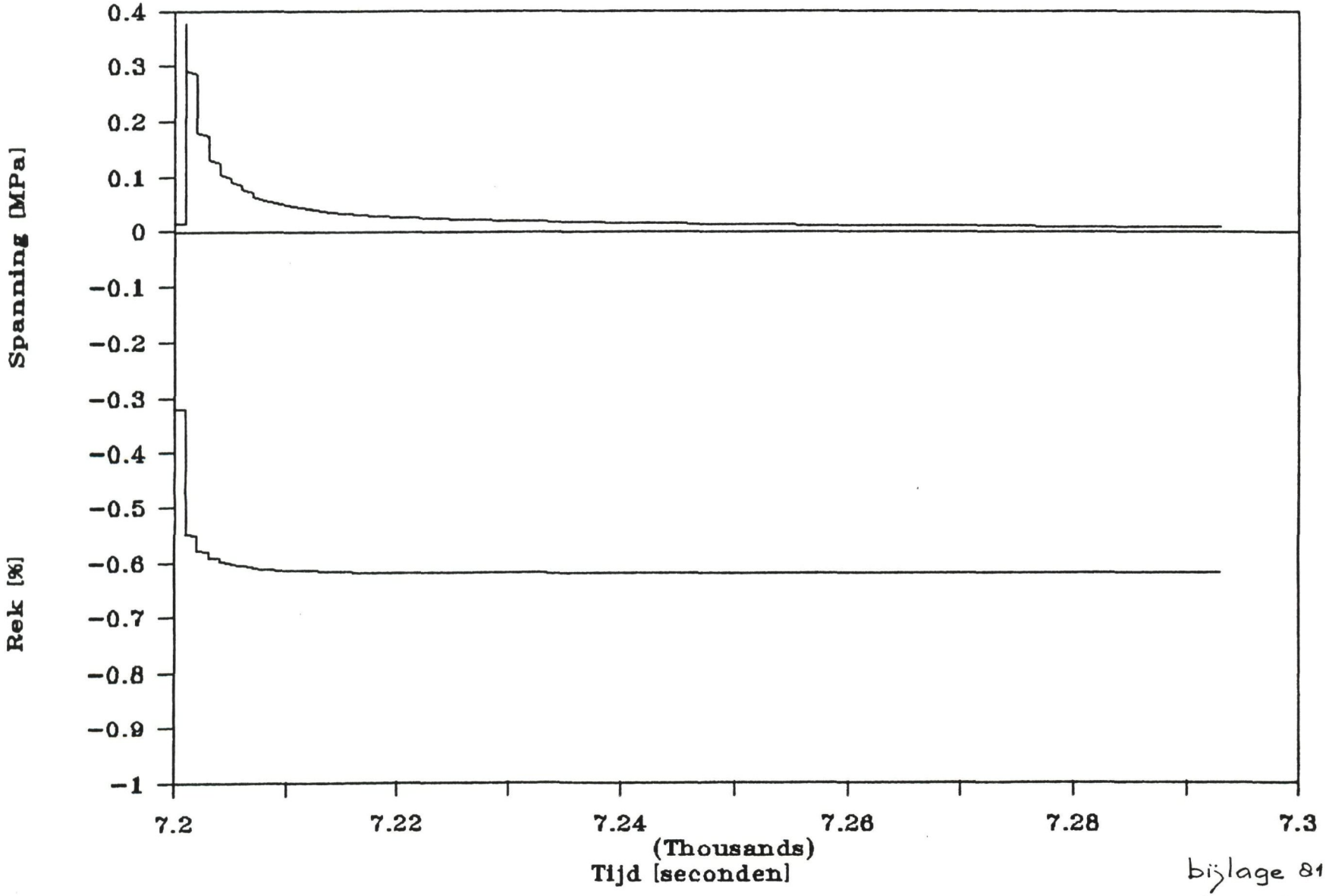
TREK 20 °C Proef 10B V-36



bijlage 80

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

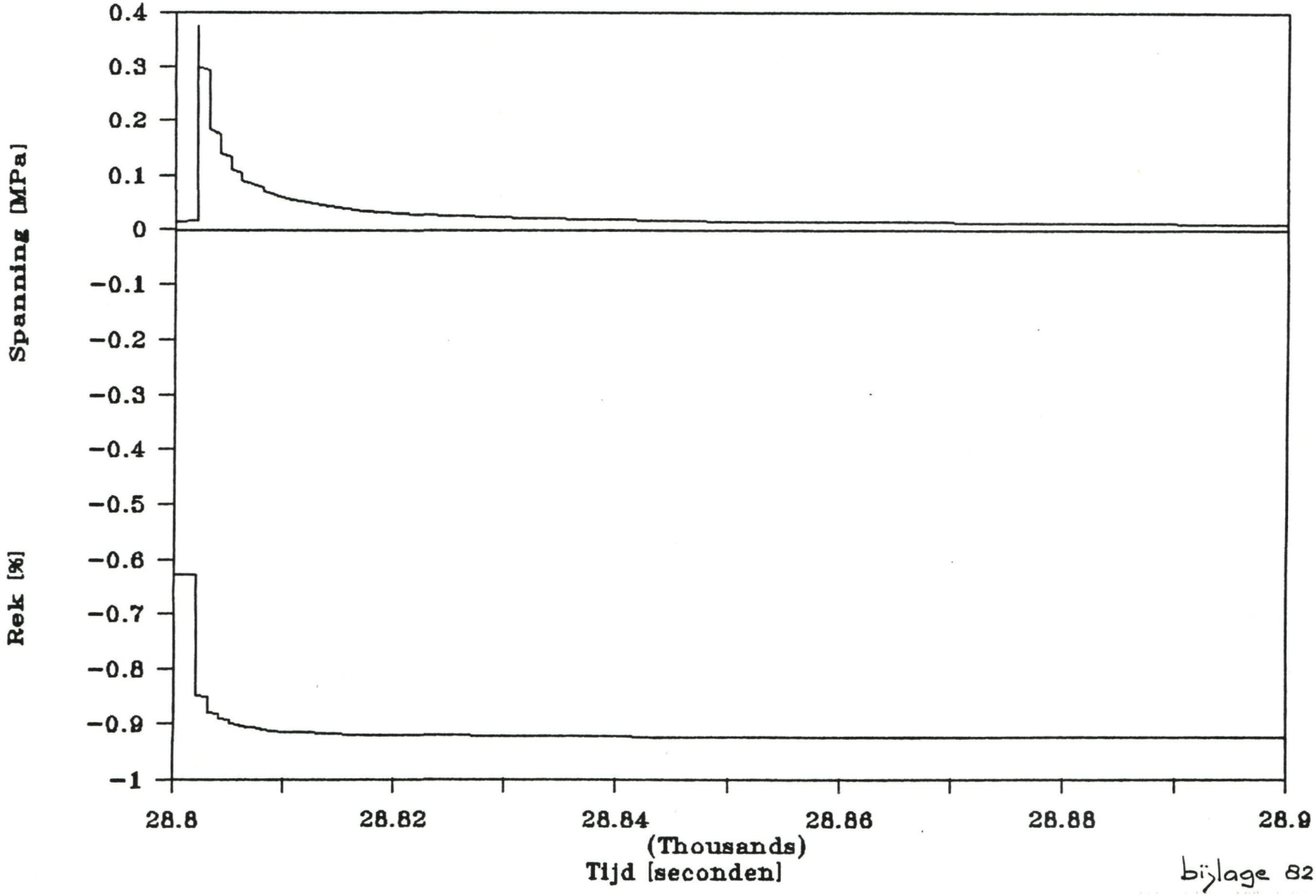
TREK 20 °C Proef 10B V-36



bijlage 81

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

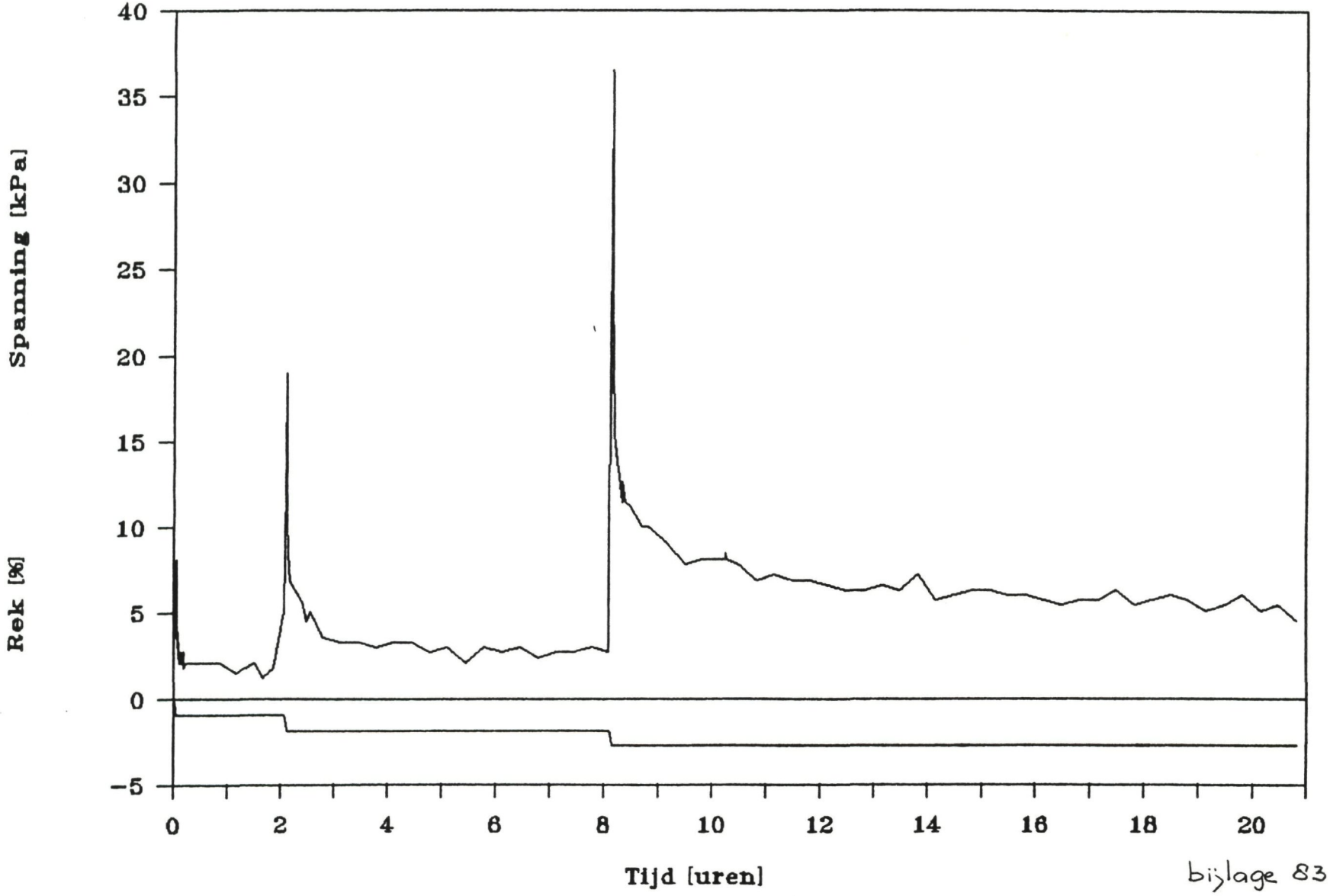
TREK 20 °C Proef 10B V-36



bijlage 82

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

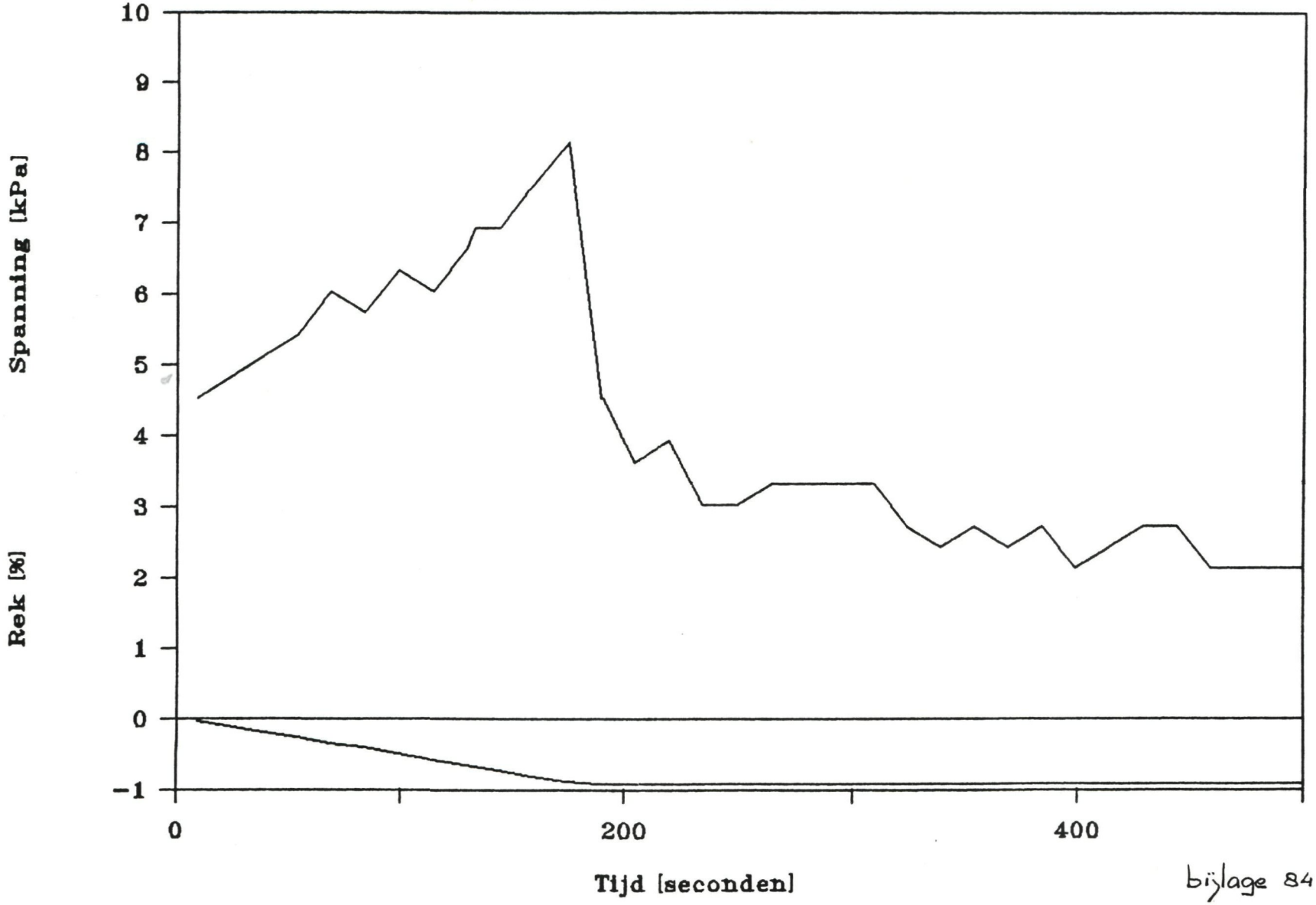
TREK 30 °C Proef 11A V-37



bijlage 83

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

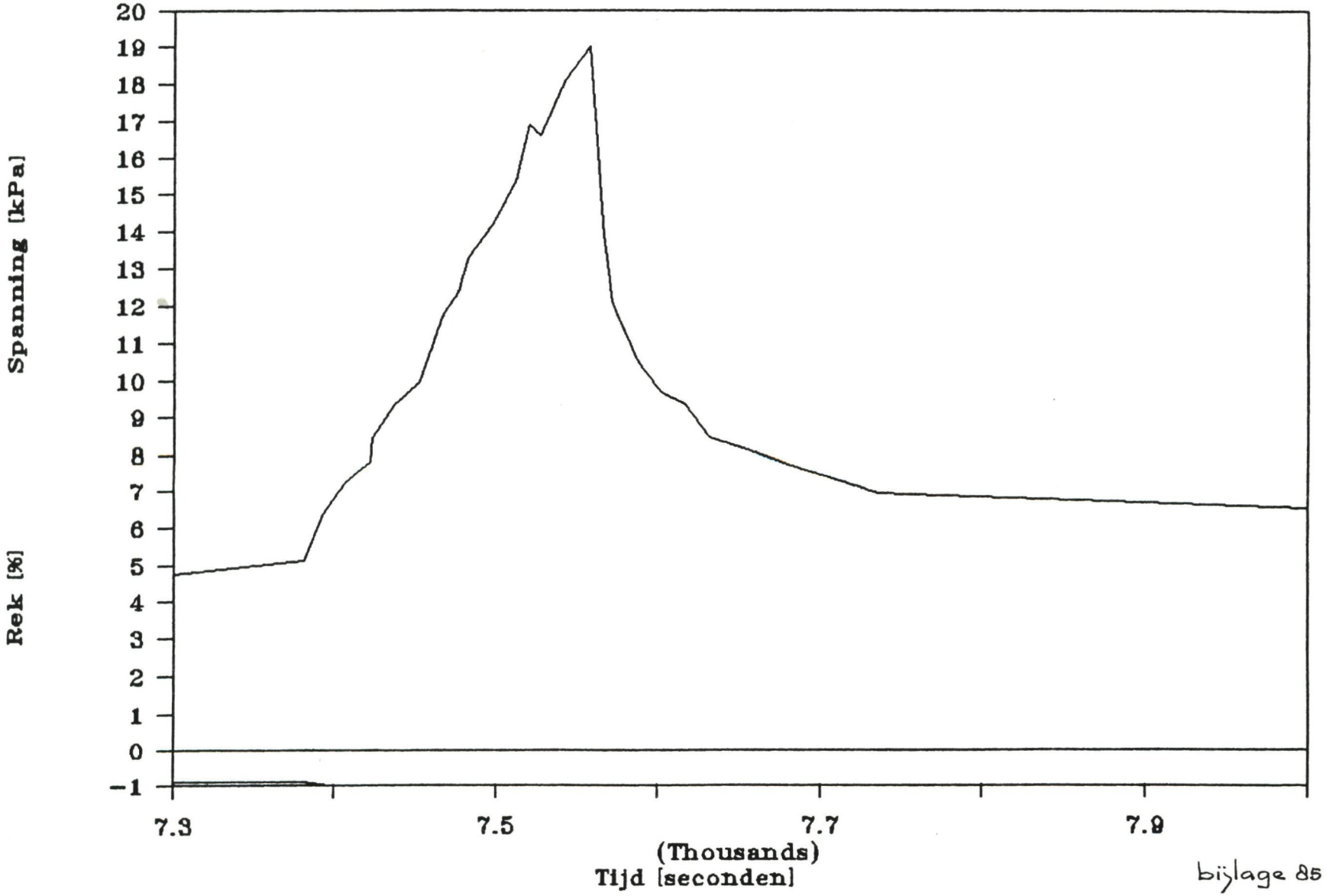
TREK 30 °C Proef 11A V-37



bijlage 84

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

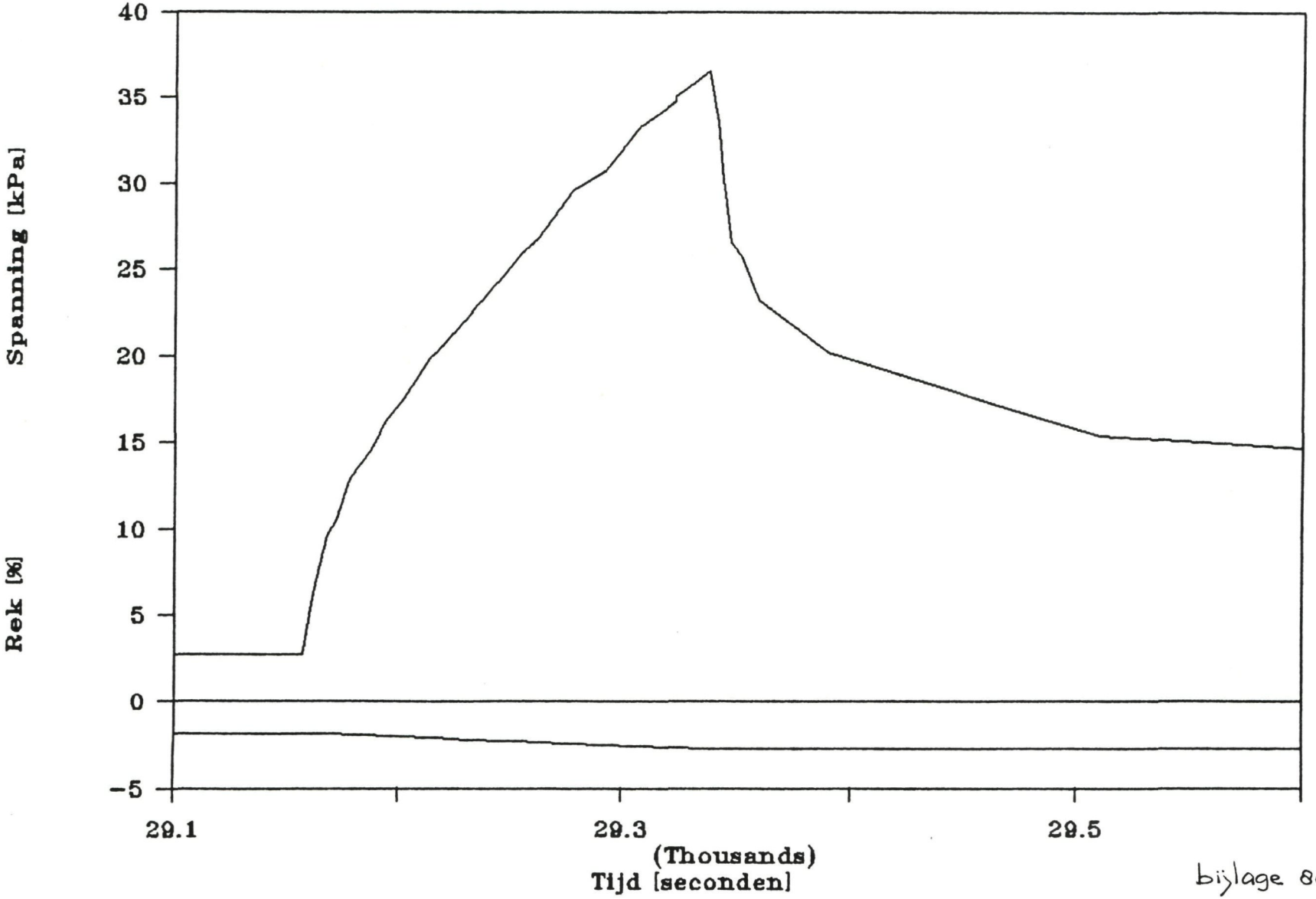
TREK 30 °C Proef 11A V-37



bijlage 85

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

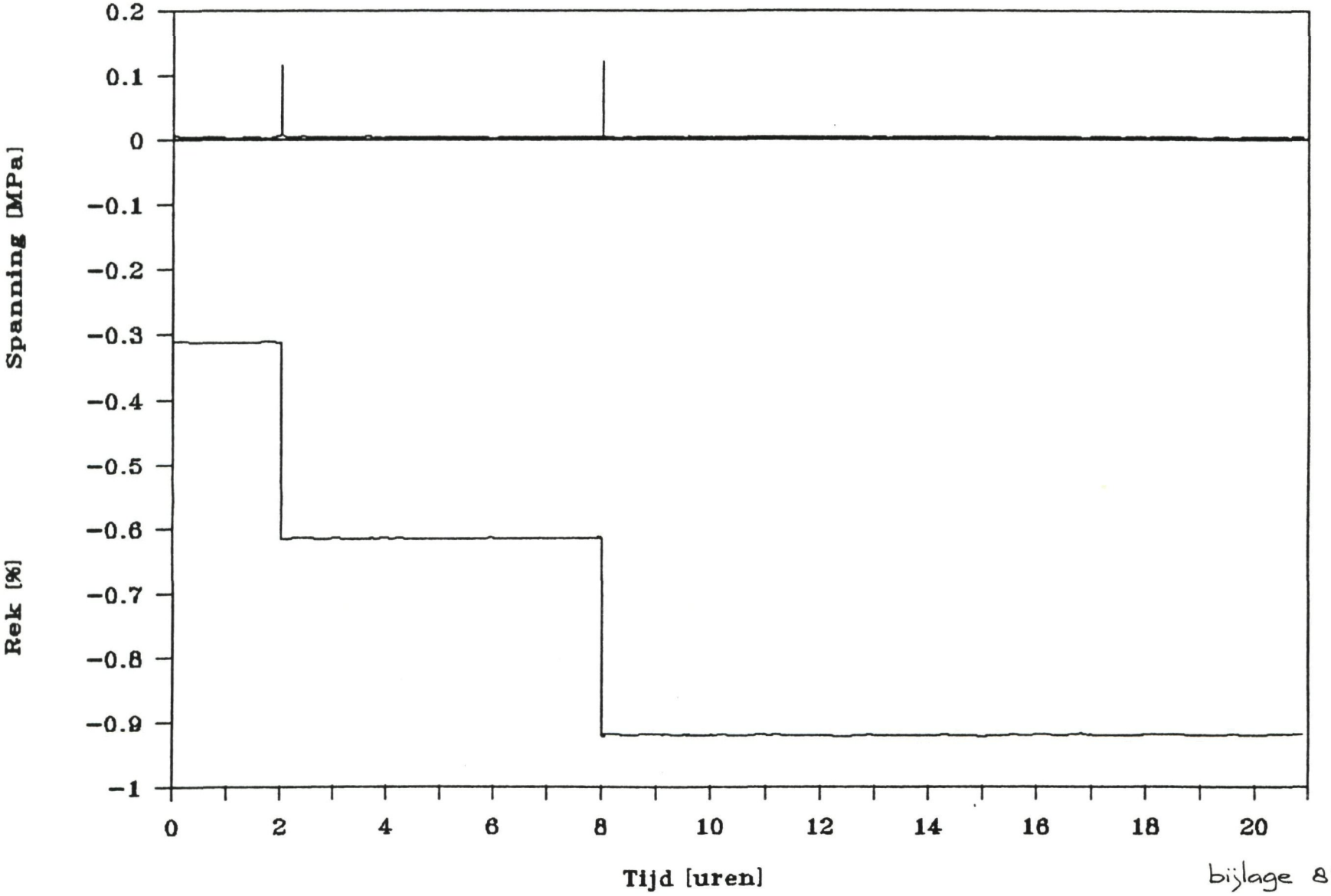
TREK 30 °C Proef 11A V-37



bijlage 86

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

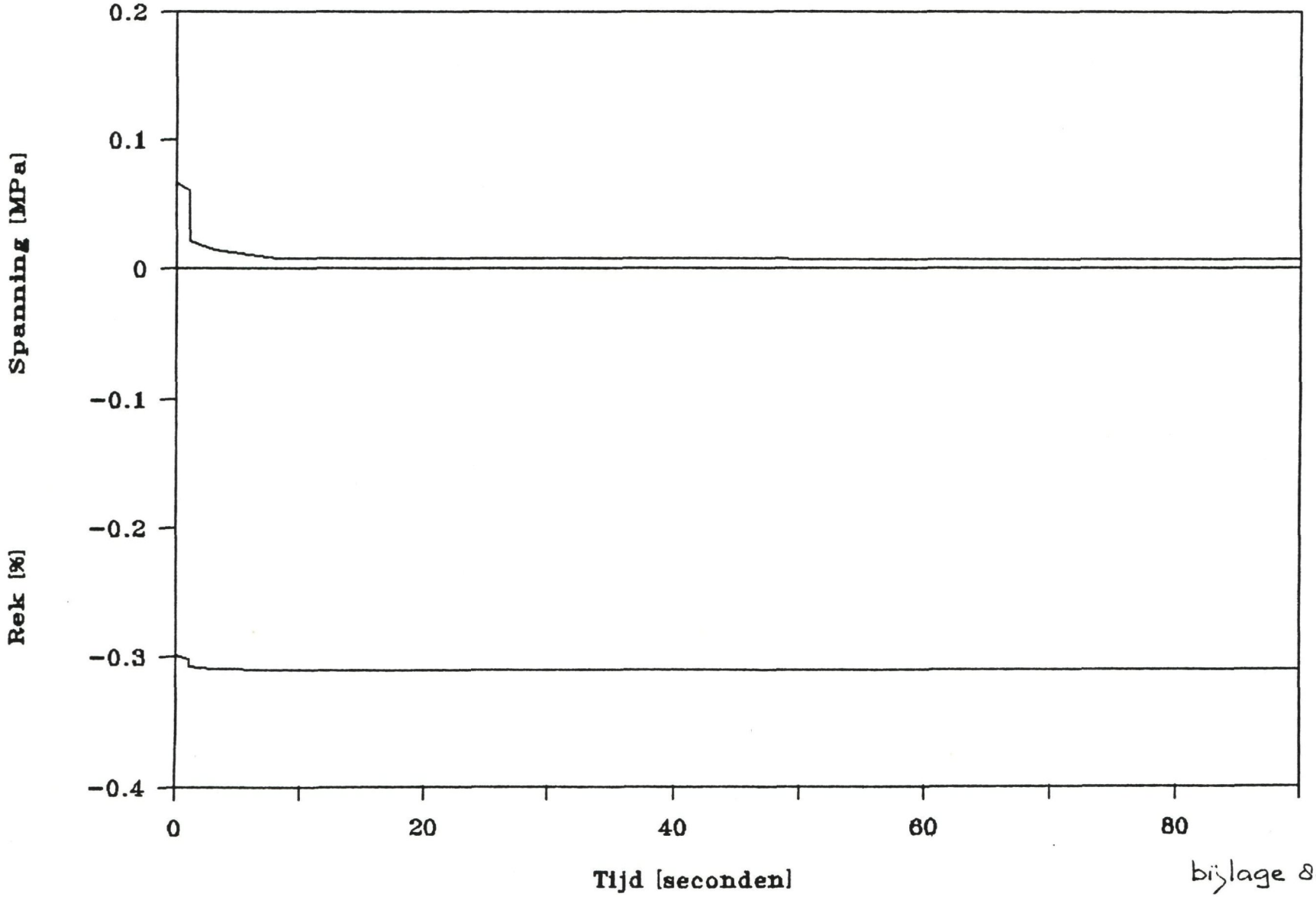
TREK 30 °C Proef 11B V-38



bijlage 87

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

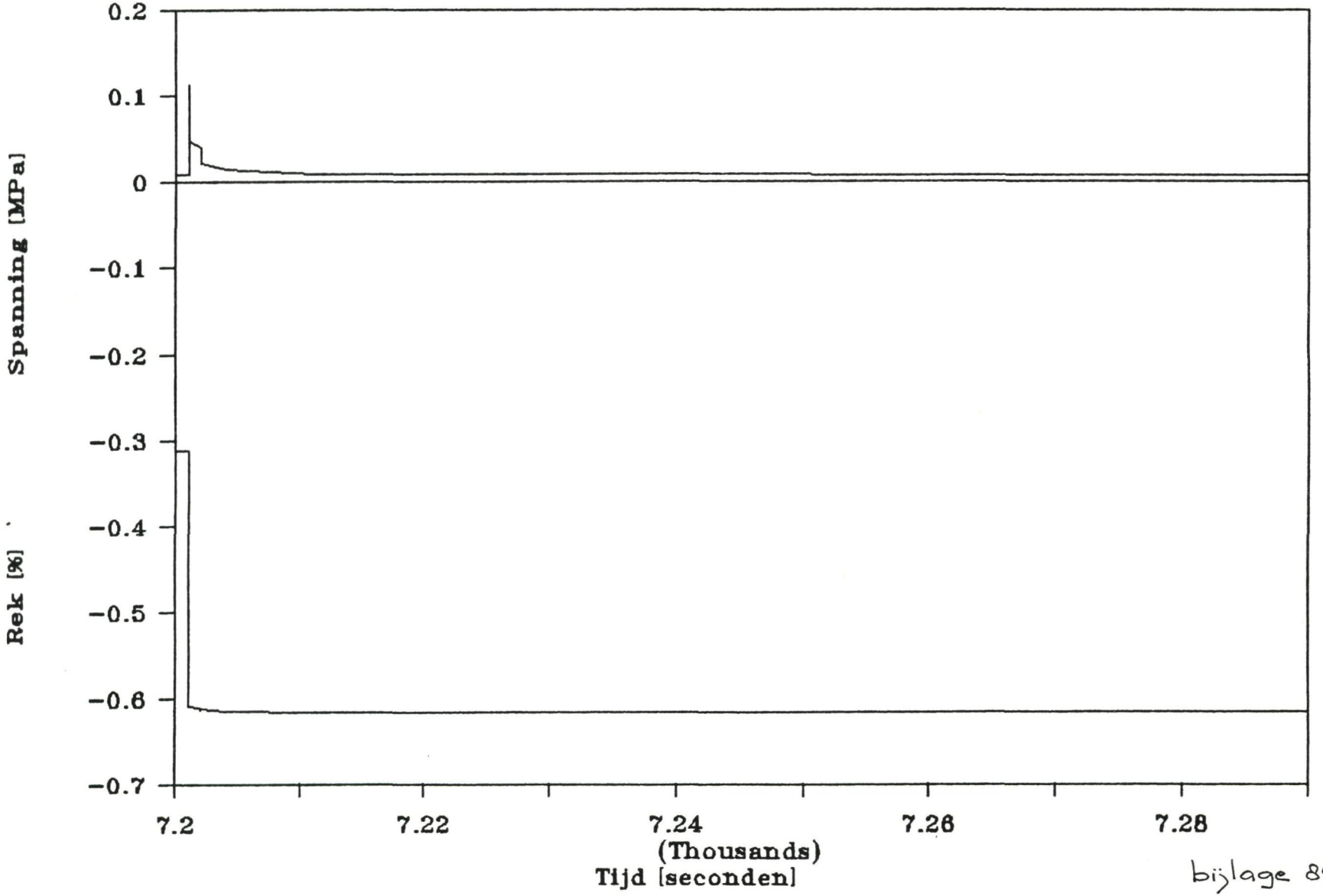
TREK 30 °C Proef 11B V-38



bijlage 88

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

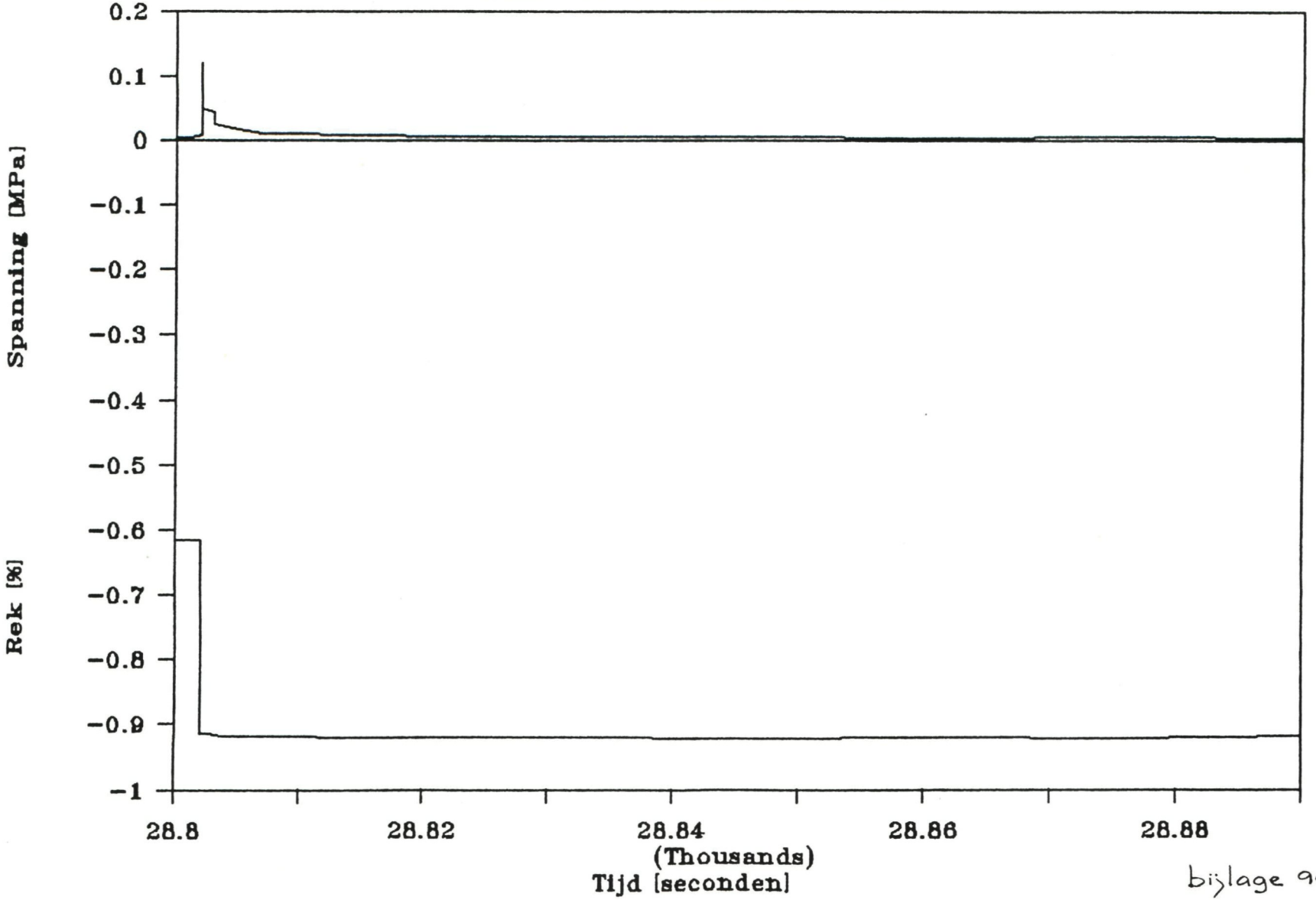
TREK 30 °C Proef 11B V-38



bijlage 89

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

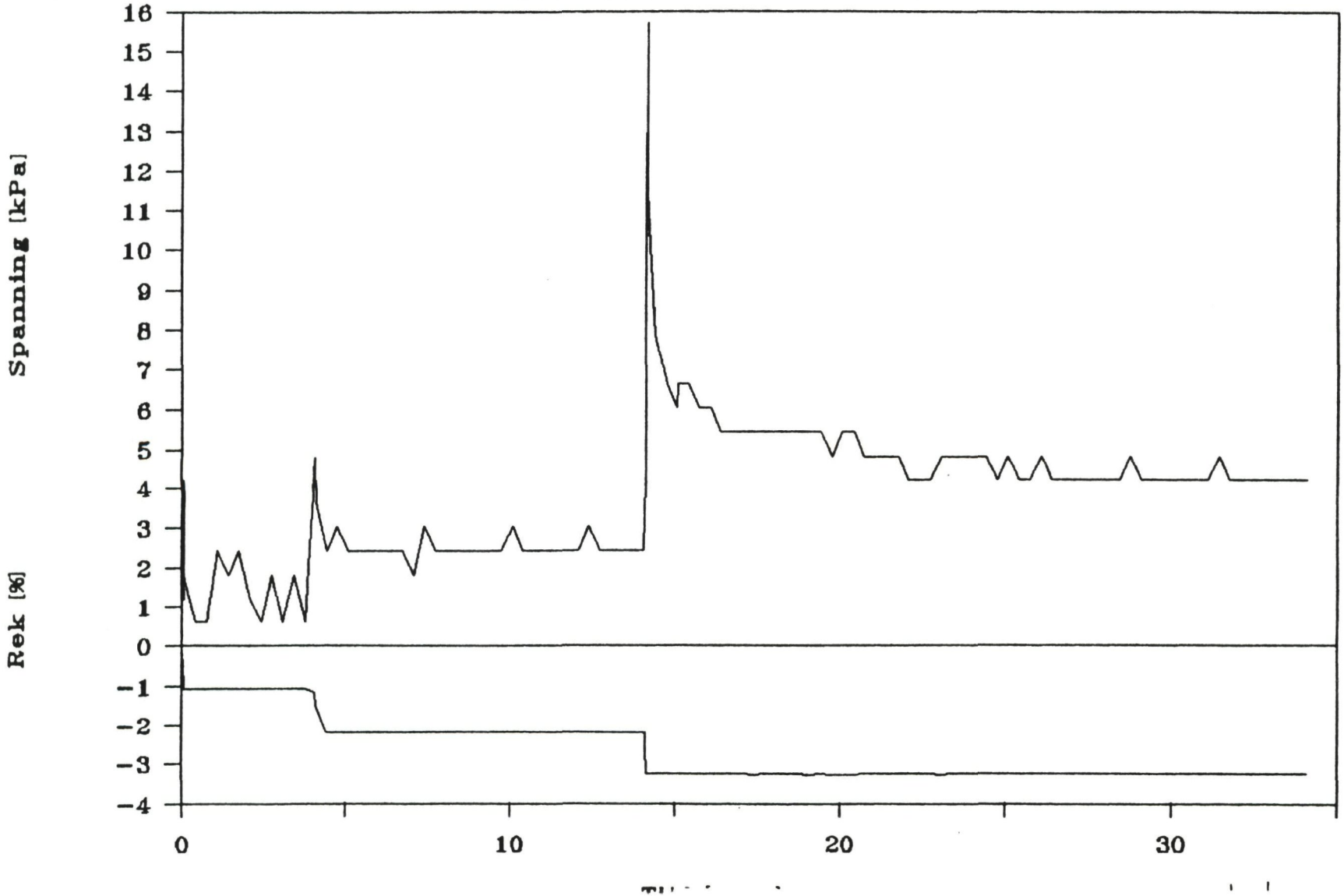
TREK 30 °C Proef 11B V-38



bijlage 90

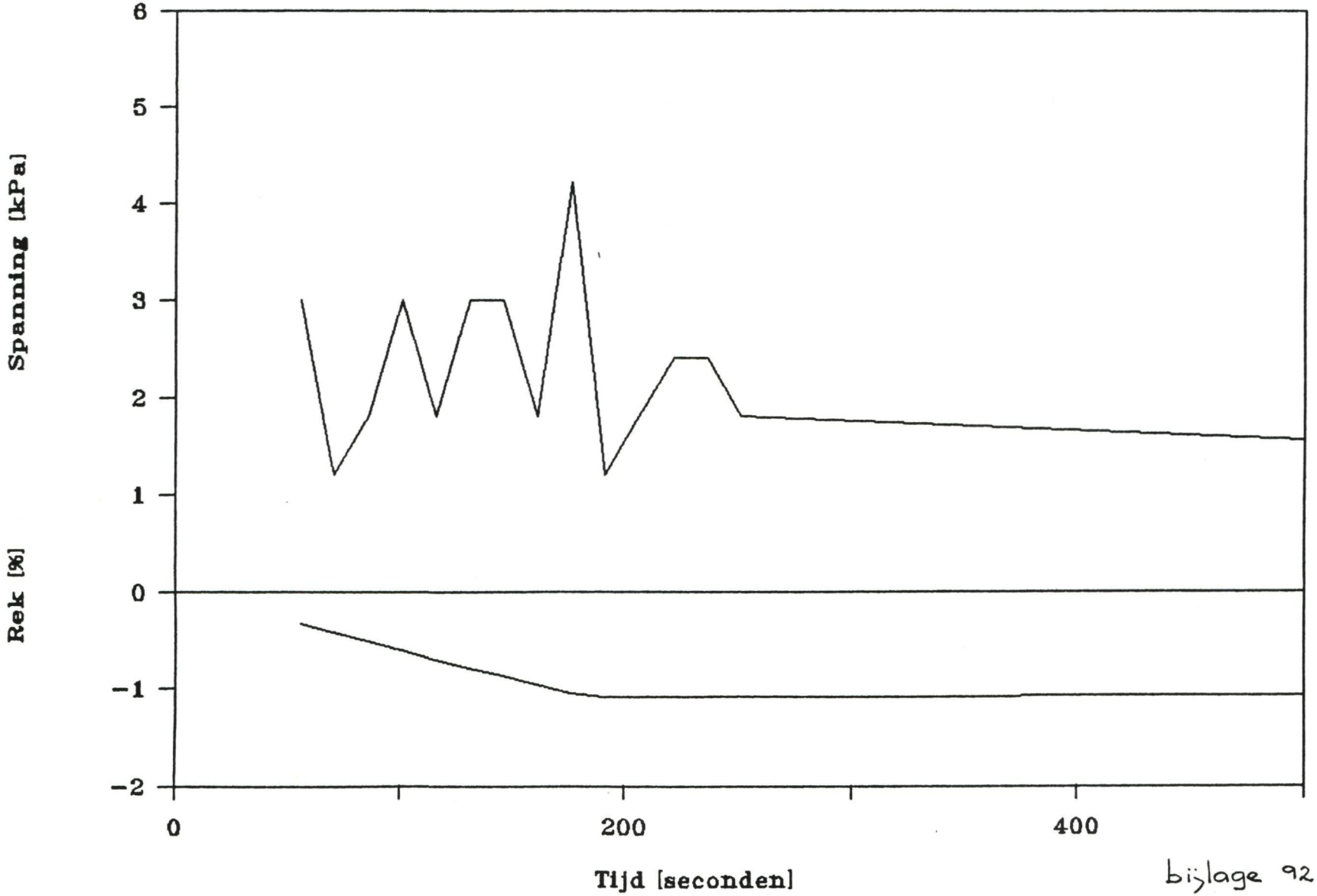
NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

TREK 40 °C Proef 12A V-33



NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

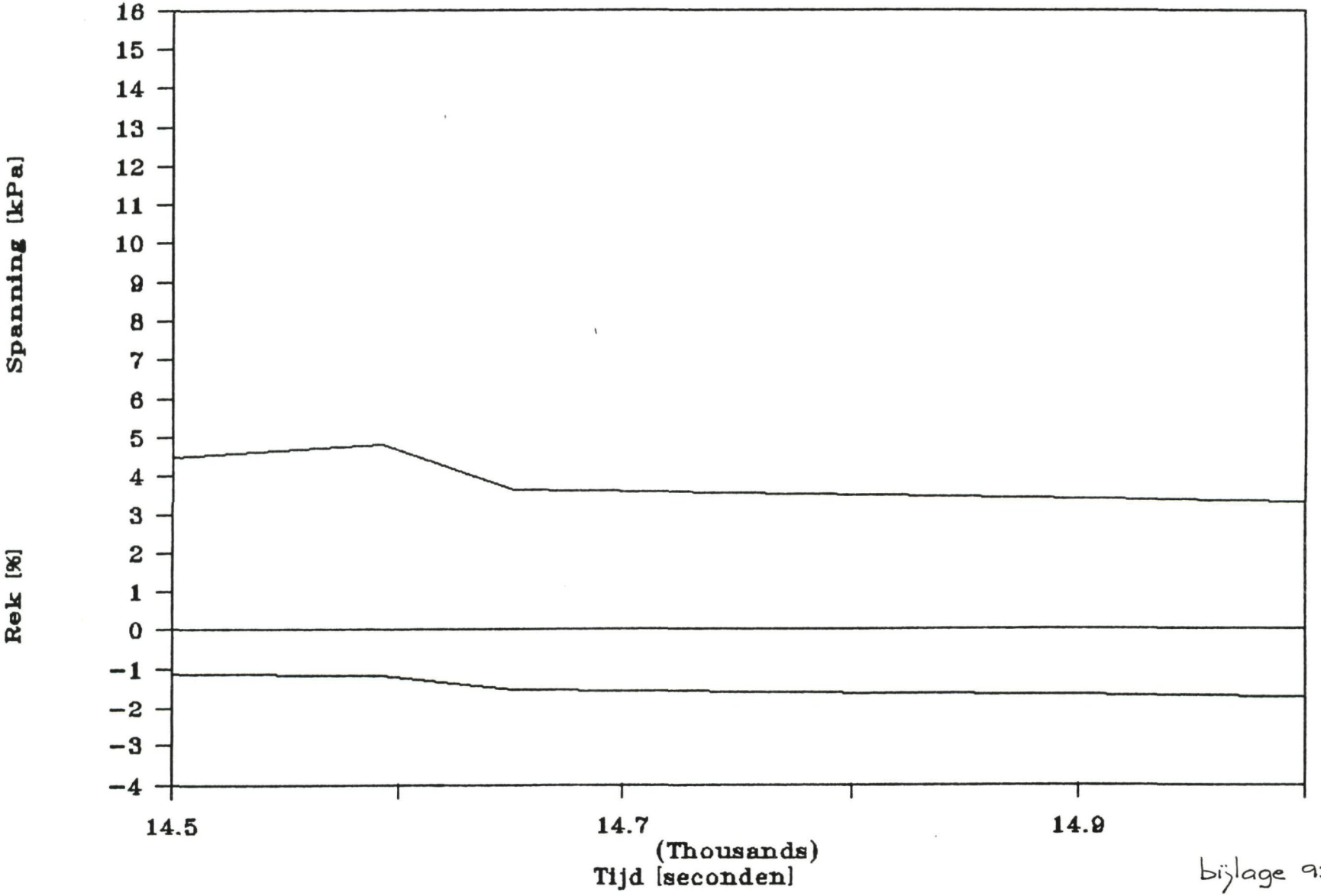
TREK 40 °C Proef 12A V-33



bijlage 92

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

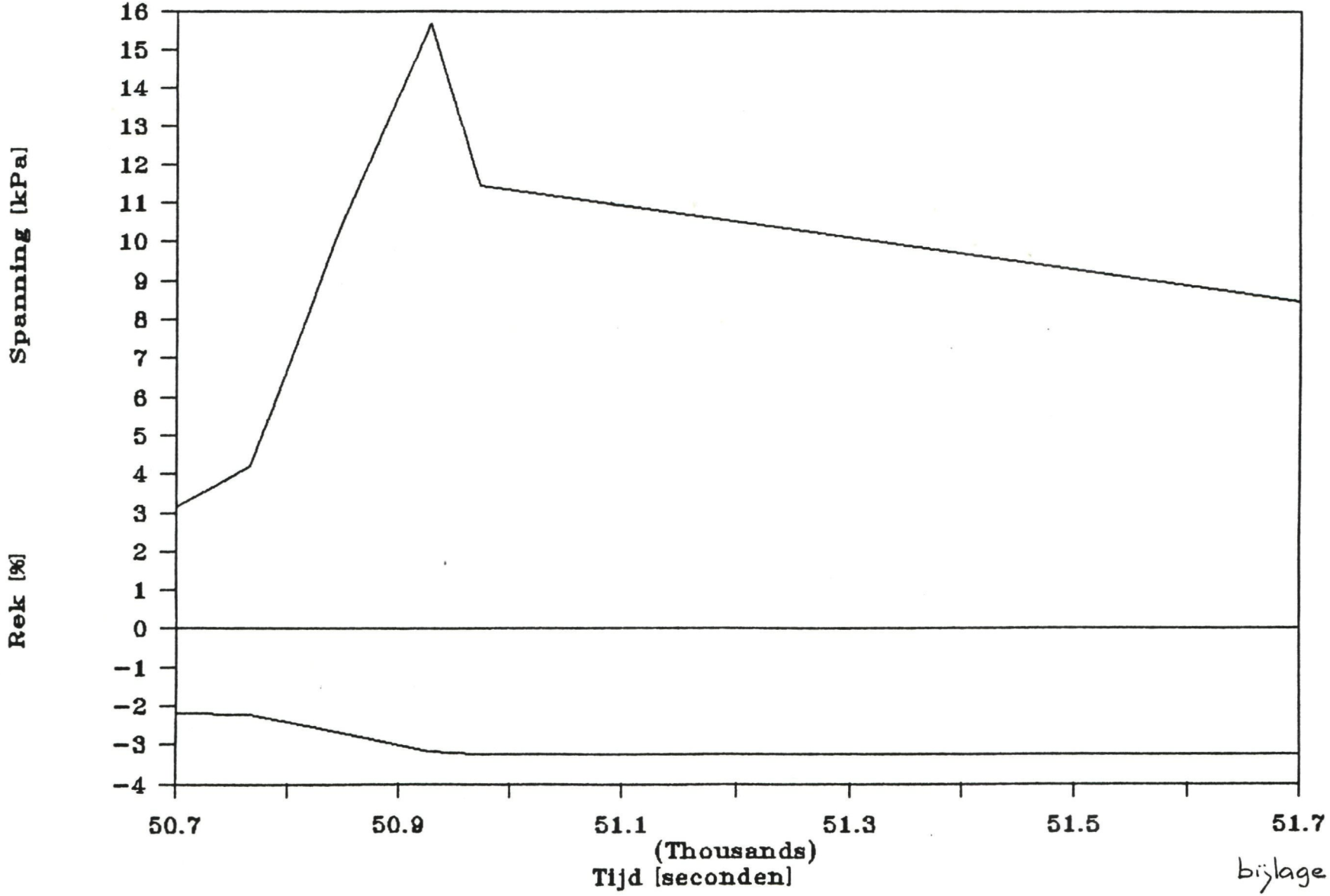
TREK 40 °C Proef 12A V-33



bijlage 93

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

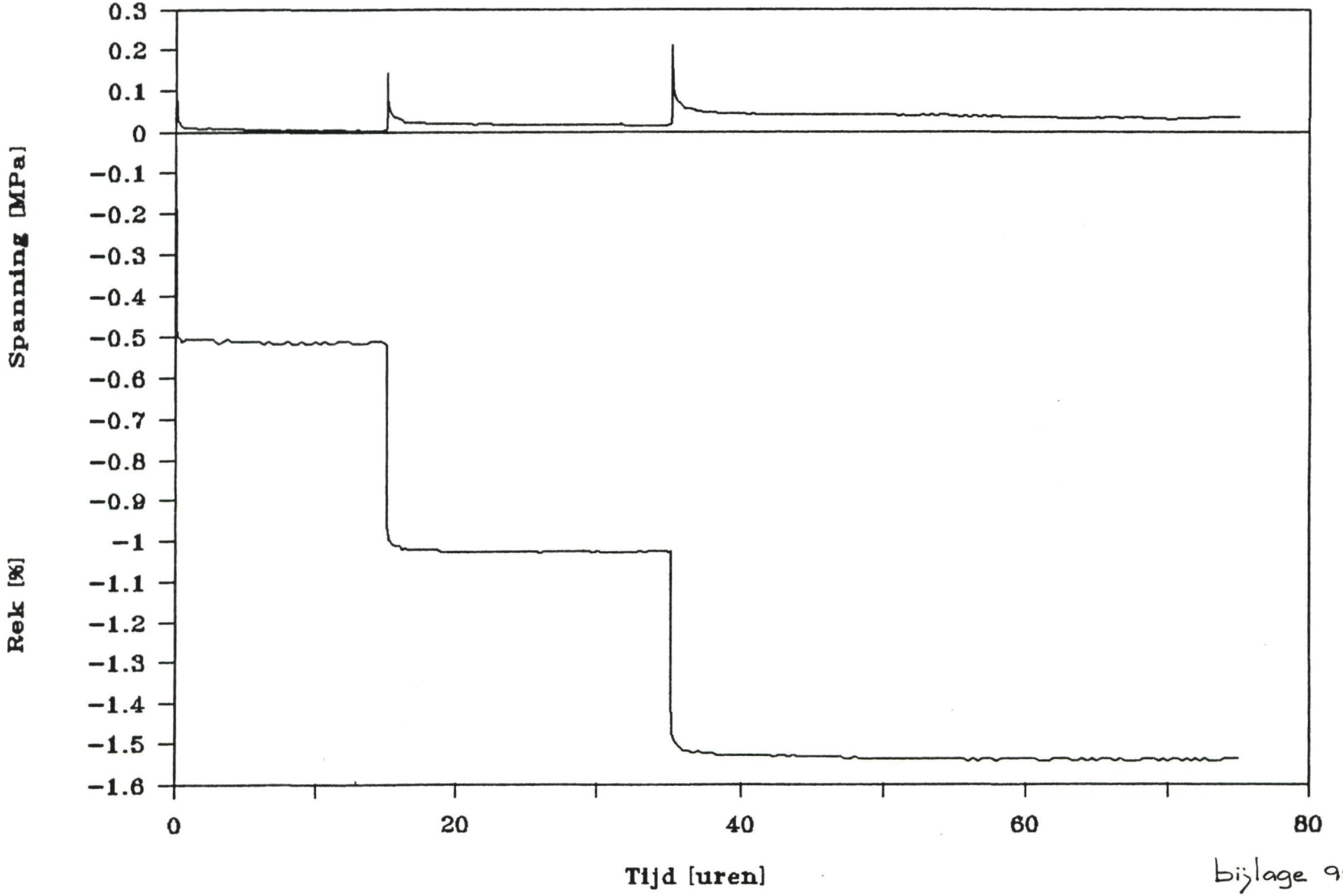
TREK 40 °C Proef 12A V-33



bijlage 94

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

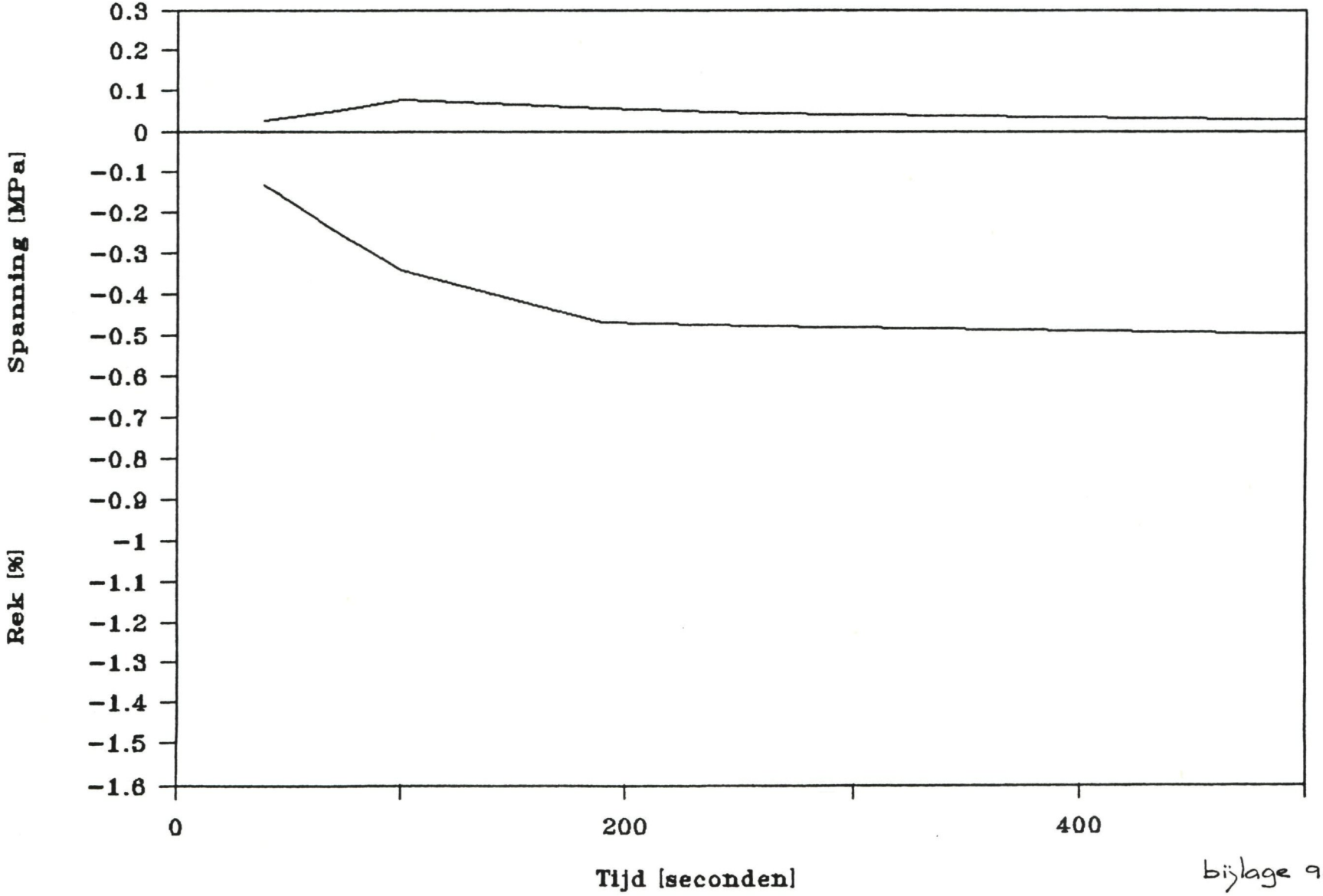
DRUK 20 °C Proef 13A V-19



bijlage 95

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

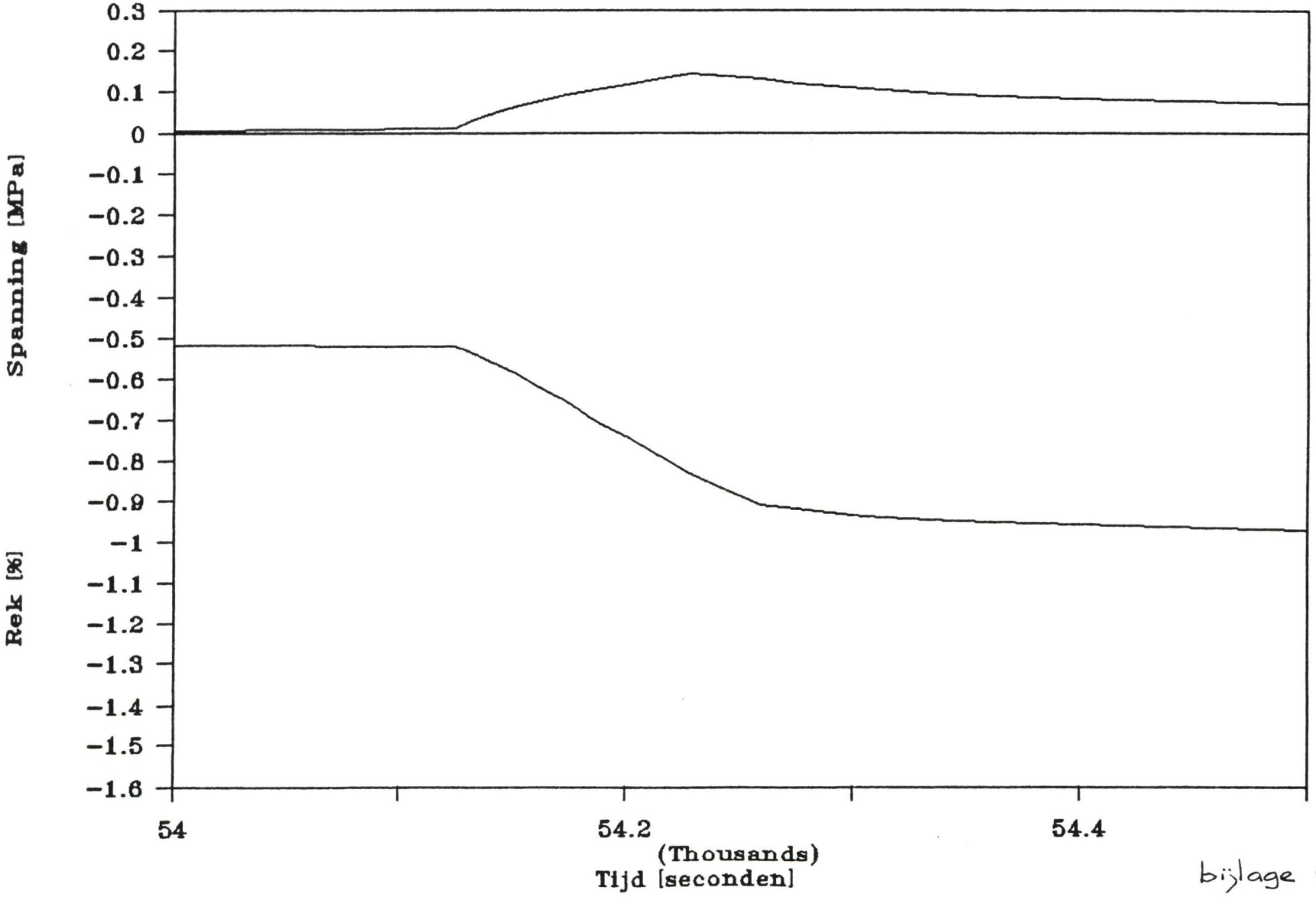
DRUK 20 °C Proef 13A V-19



bijlage 96

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

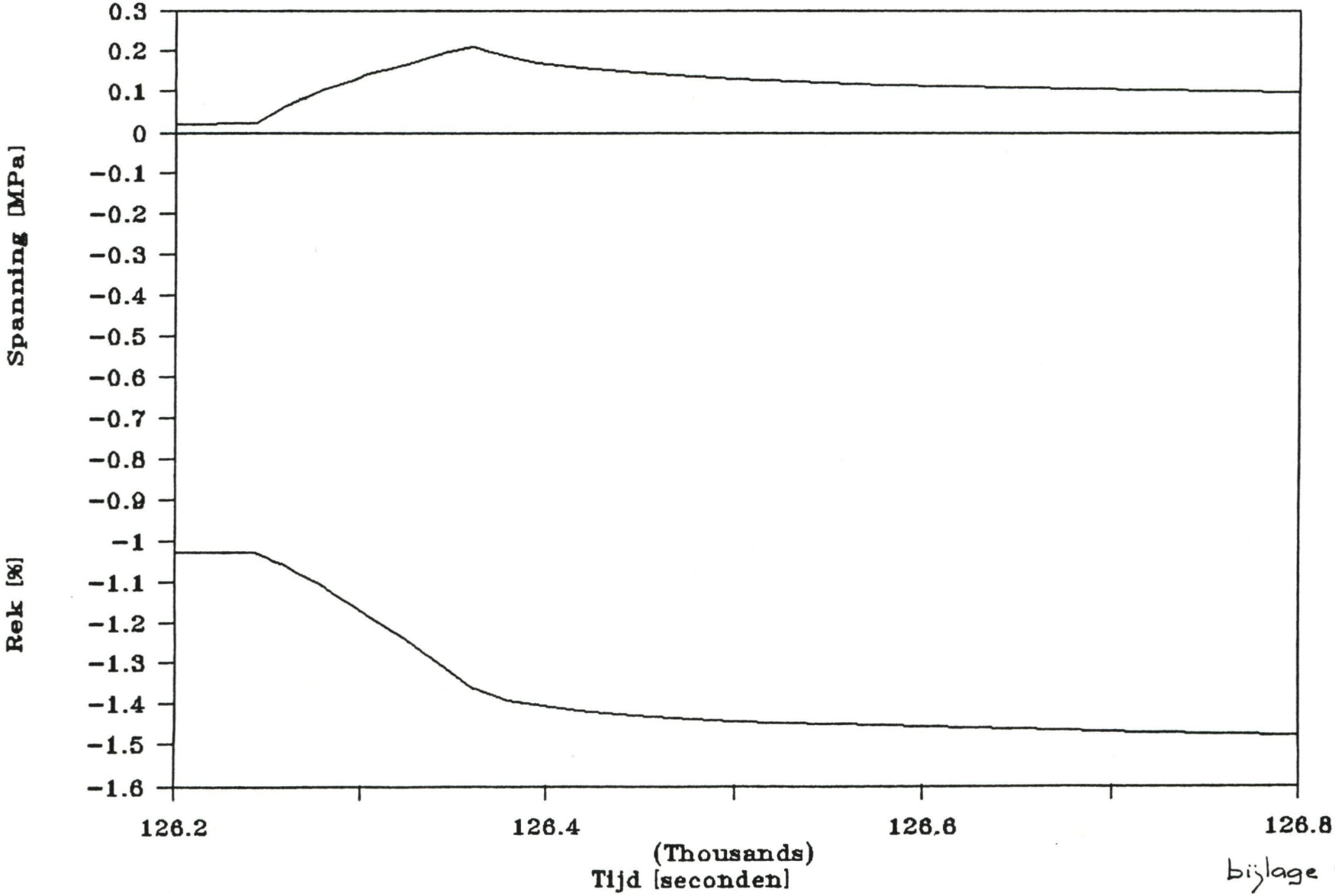
DRUK 20 °C Proef 13A V-19



bijlage 97

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

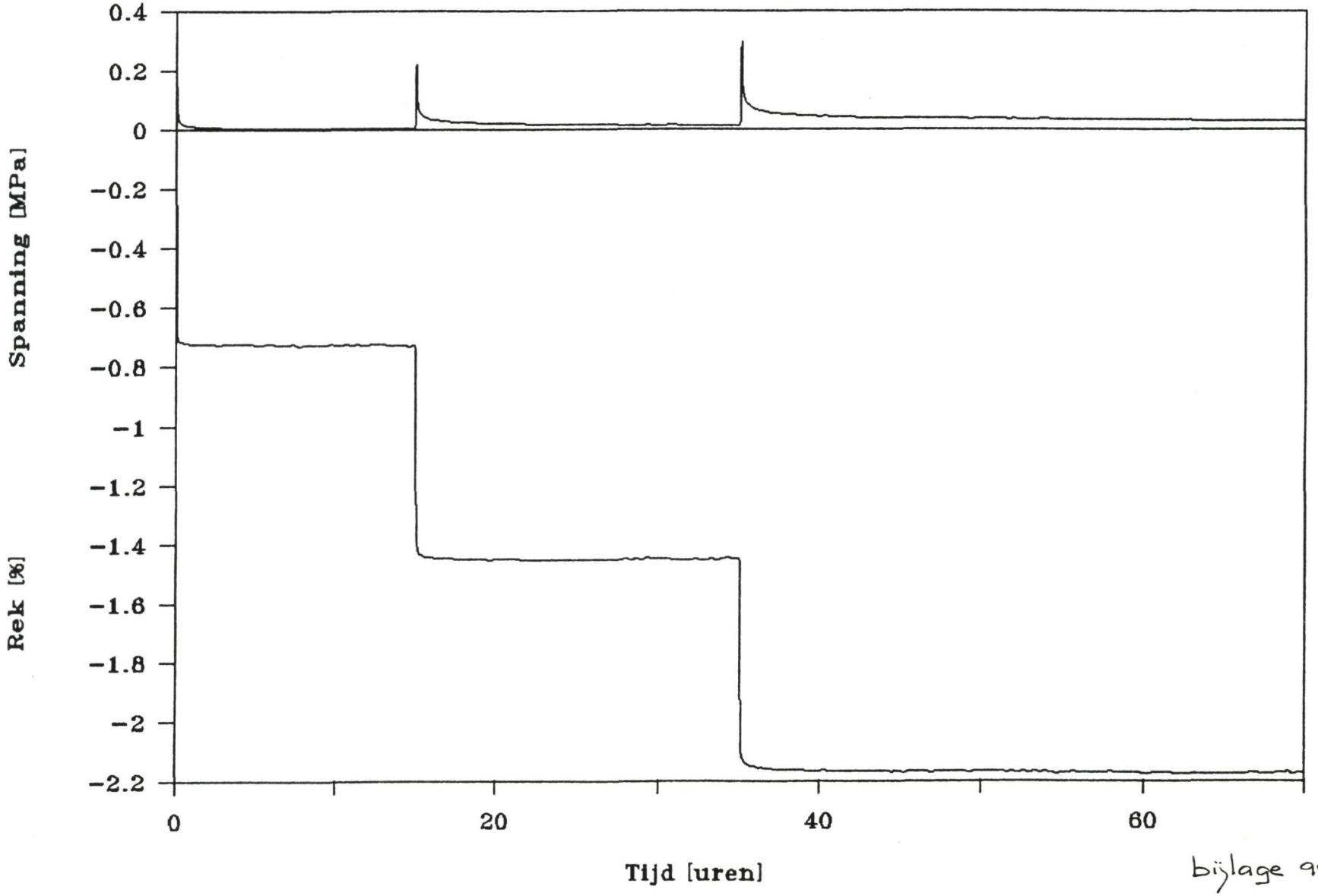
DRUK 20 °C Proef 13A V-19



bijlage 98

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

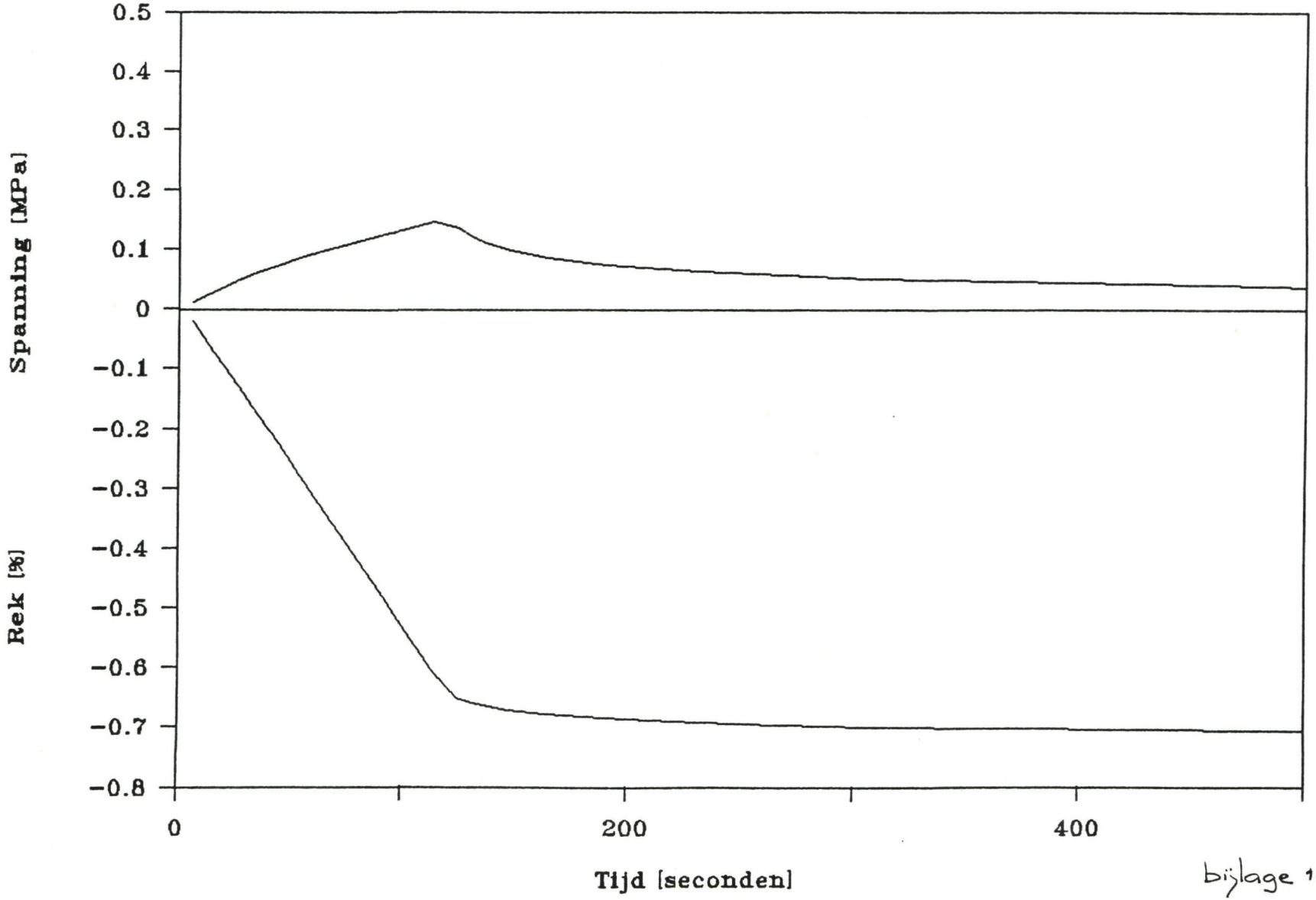
DRUK 20 °C Proef 13AX V-31



bijlage 99

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

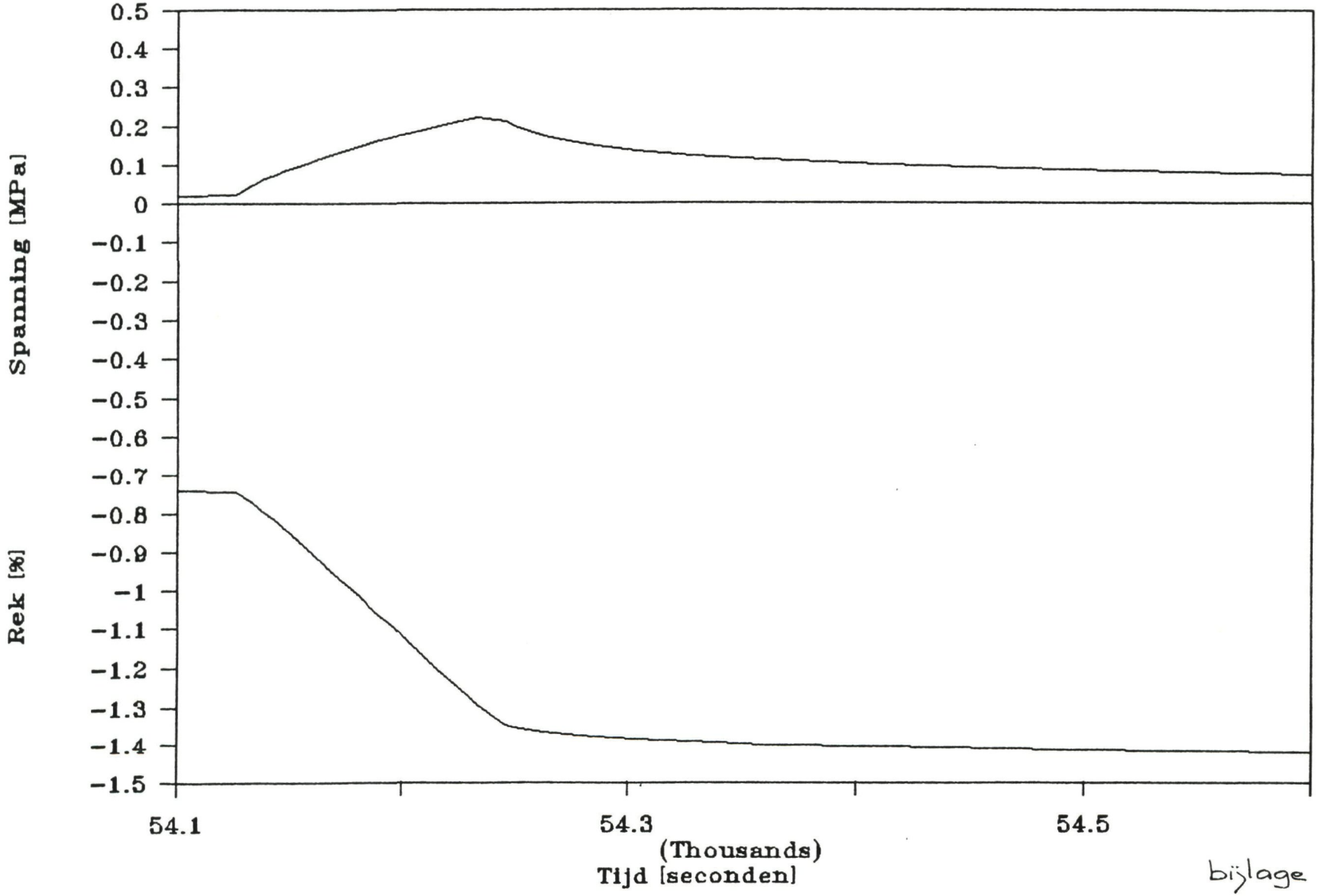
DRUK 20 °C Proef 13AX V-31



bijlage 100

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

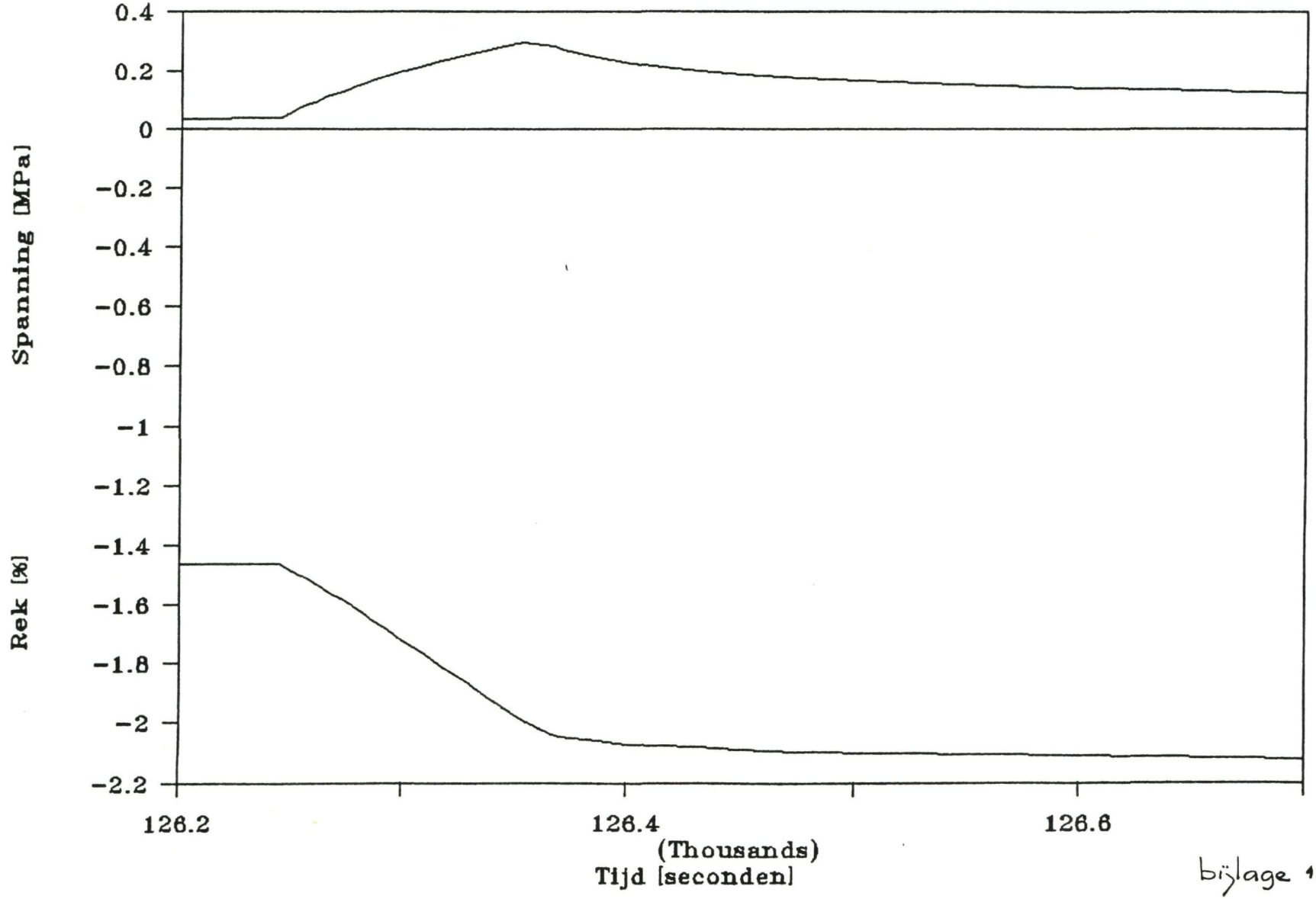
DRUK 20 °C Proef 13AX V-31



bijlage 101

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

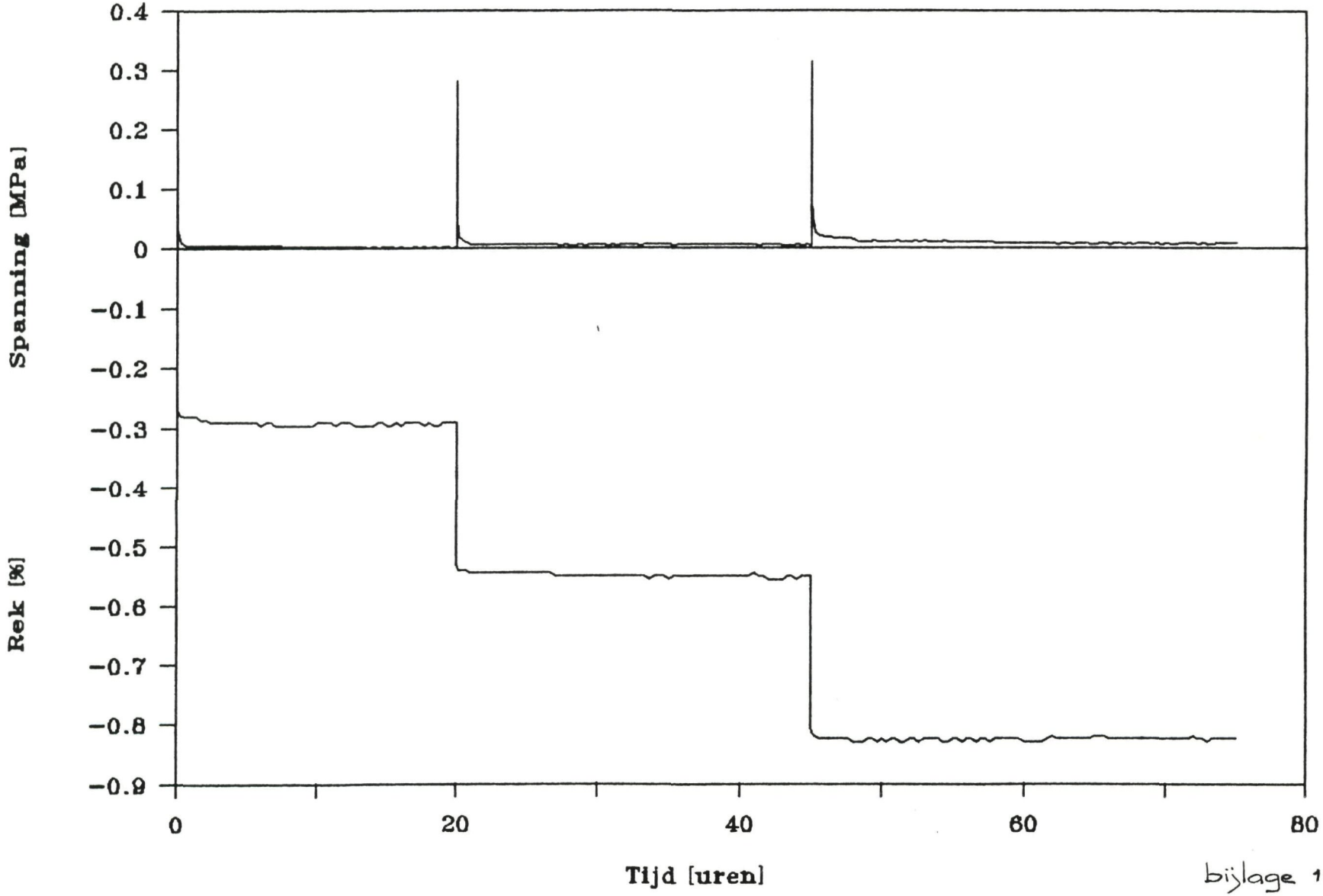
DRUK 20 °C Proef 13AX V-31



bijlage 102

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

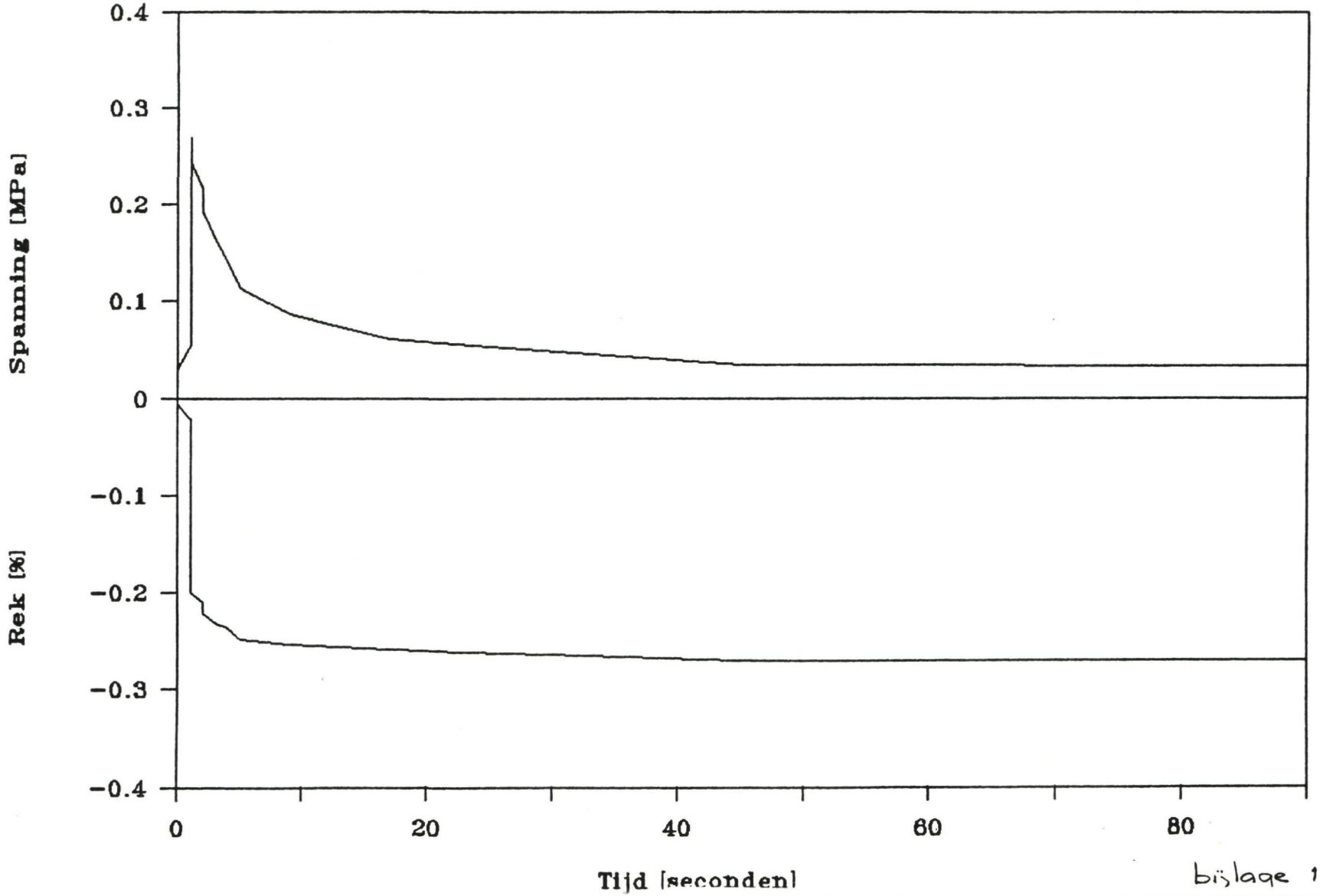
DRUK 20 °C Proef 13B V-08



bijlage 103

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

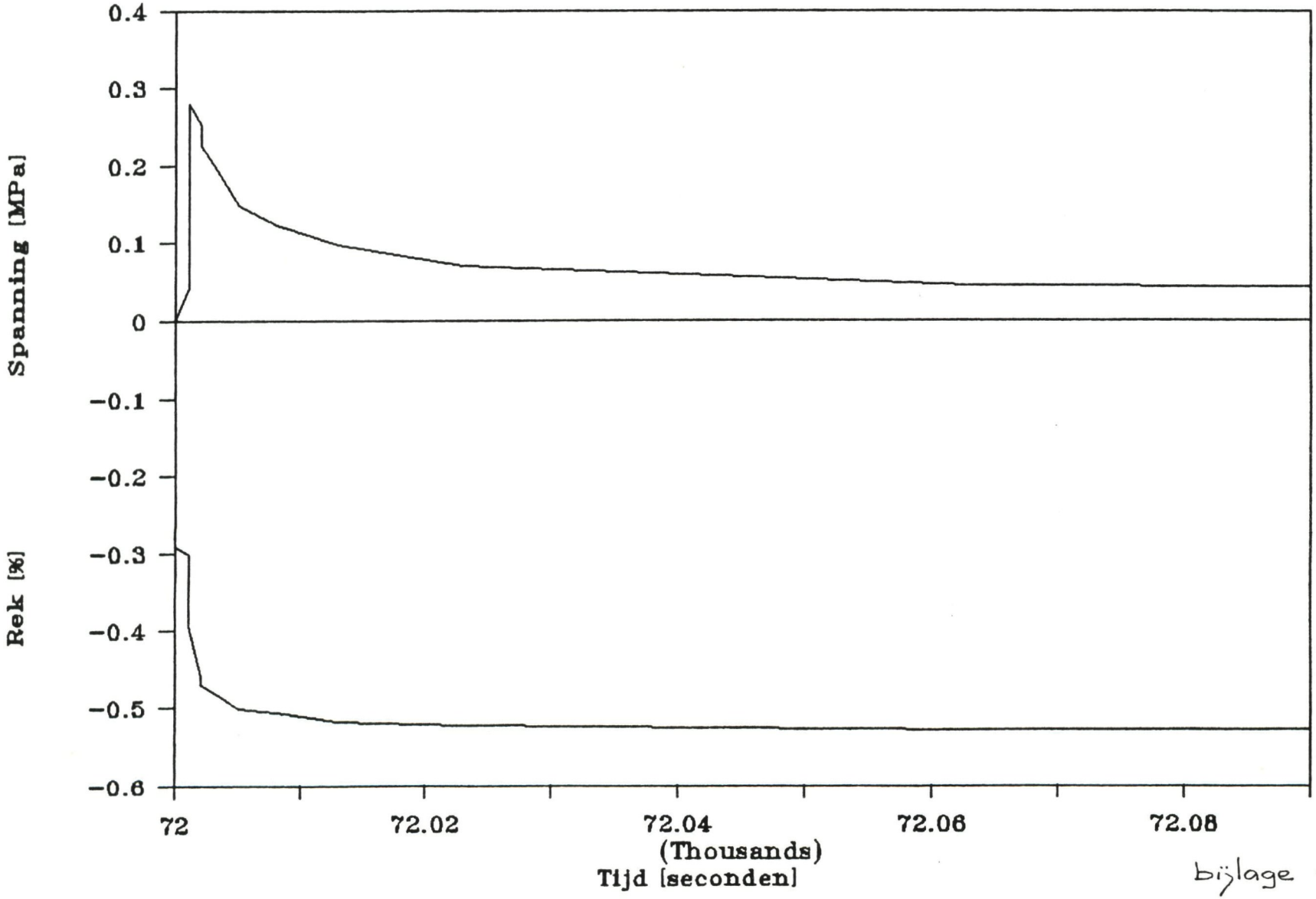
DRUK 20 °C Proef 13B V-08



bijlage 104

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

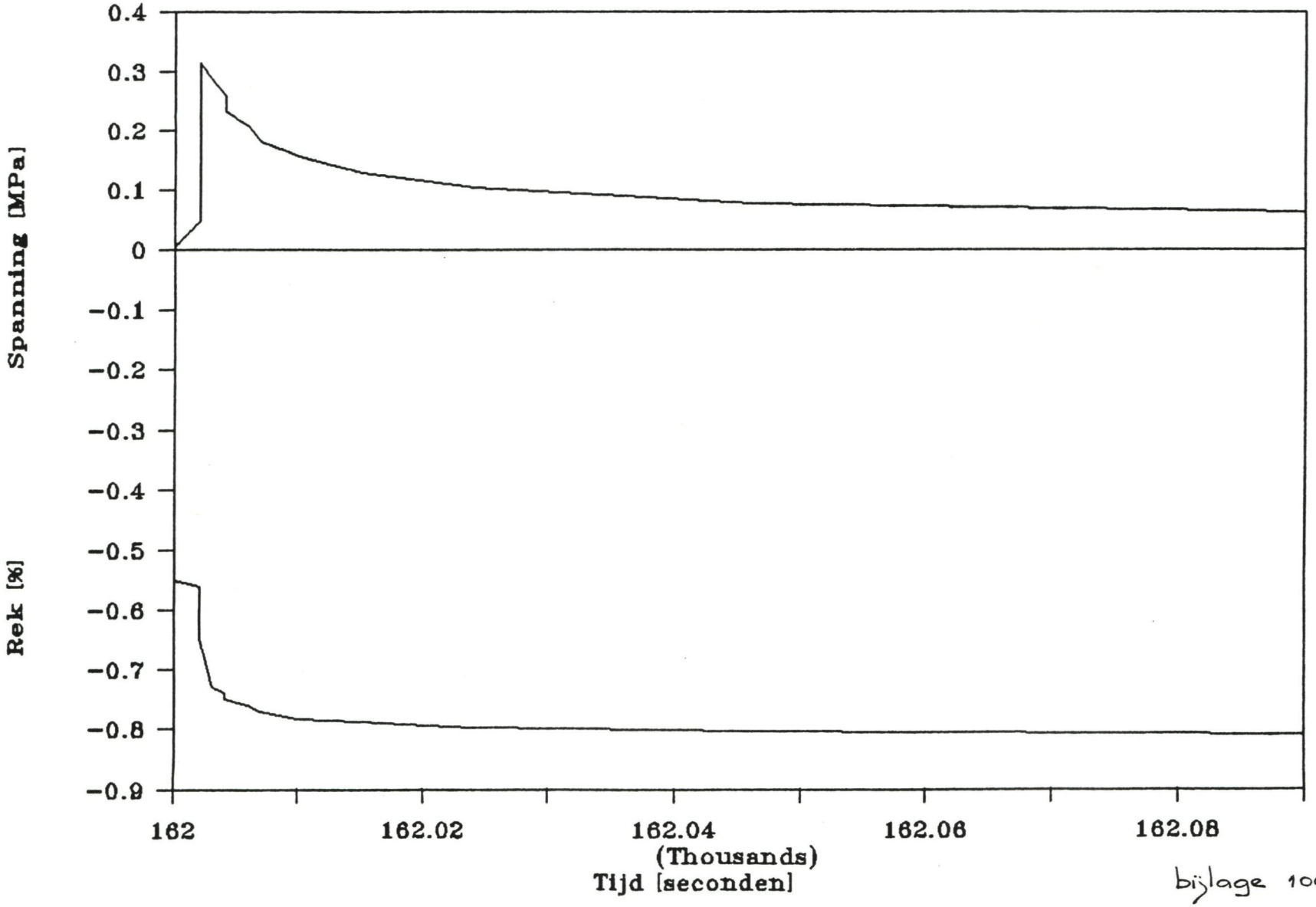
DRUK 20 °C Proef 13B V-08



bijlage 105

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

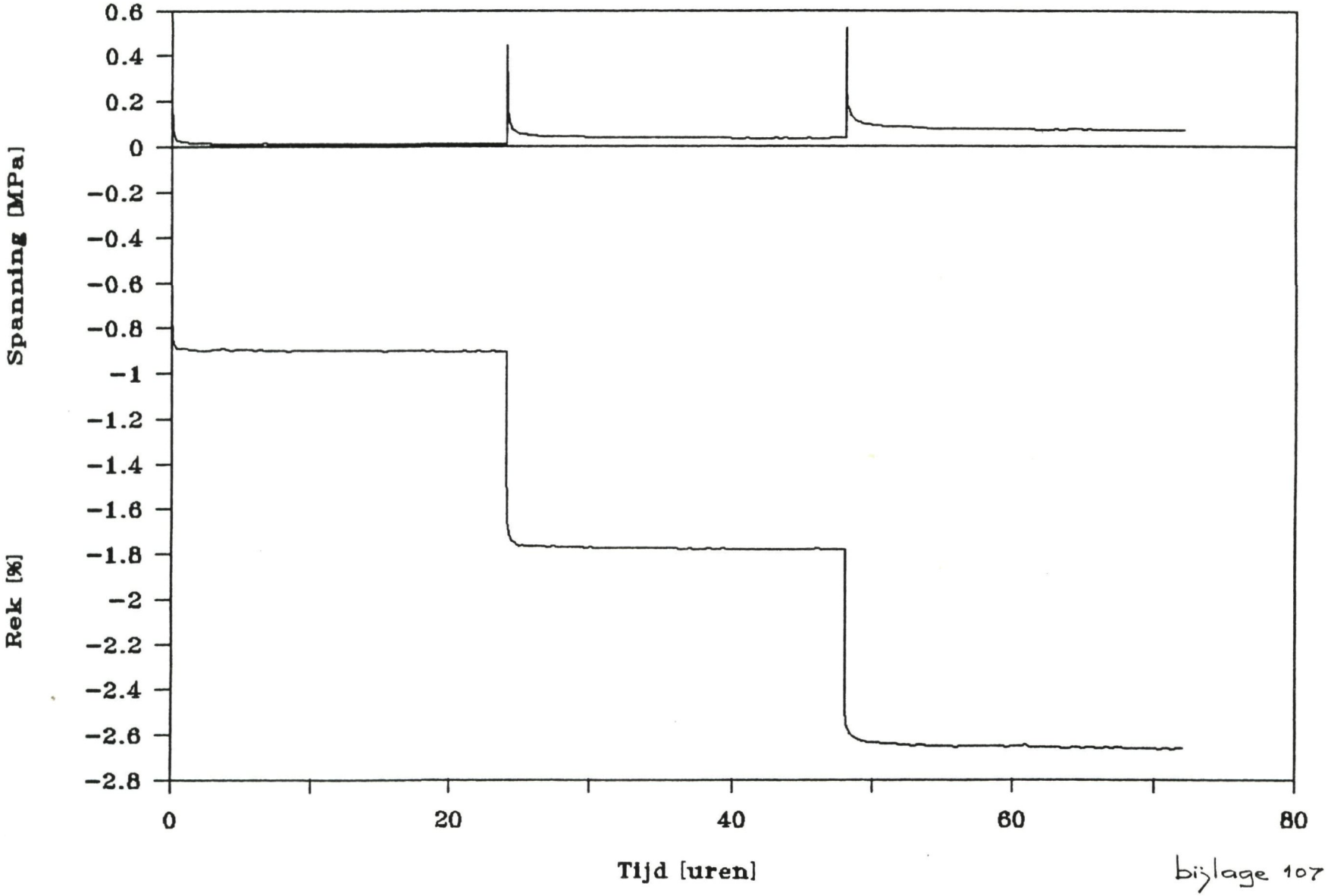
DRUK 20 °C Proef 13B V-08



bijlage 106

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

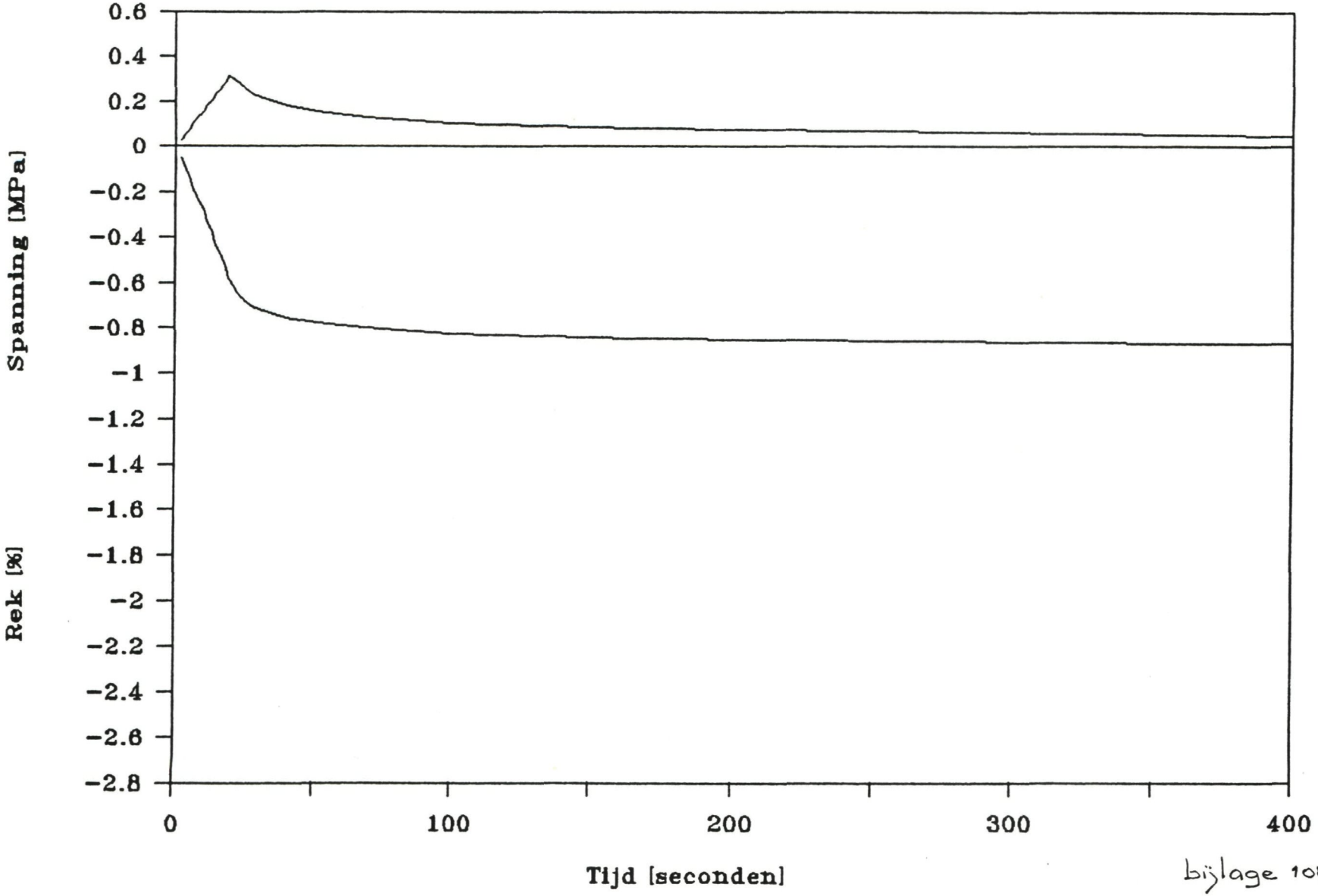
DRUK 20 °C Proef 14A V-12



bijlage 107

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

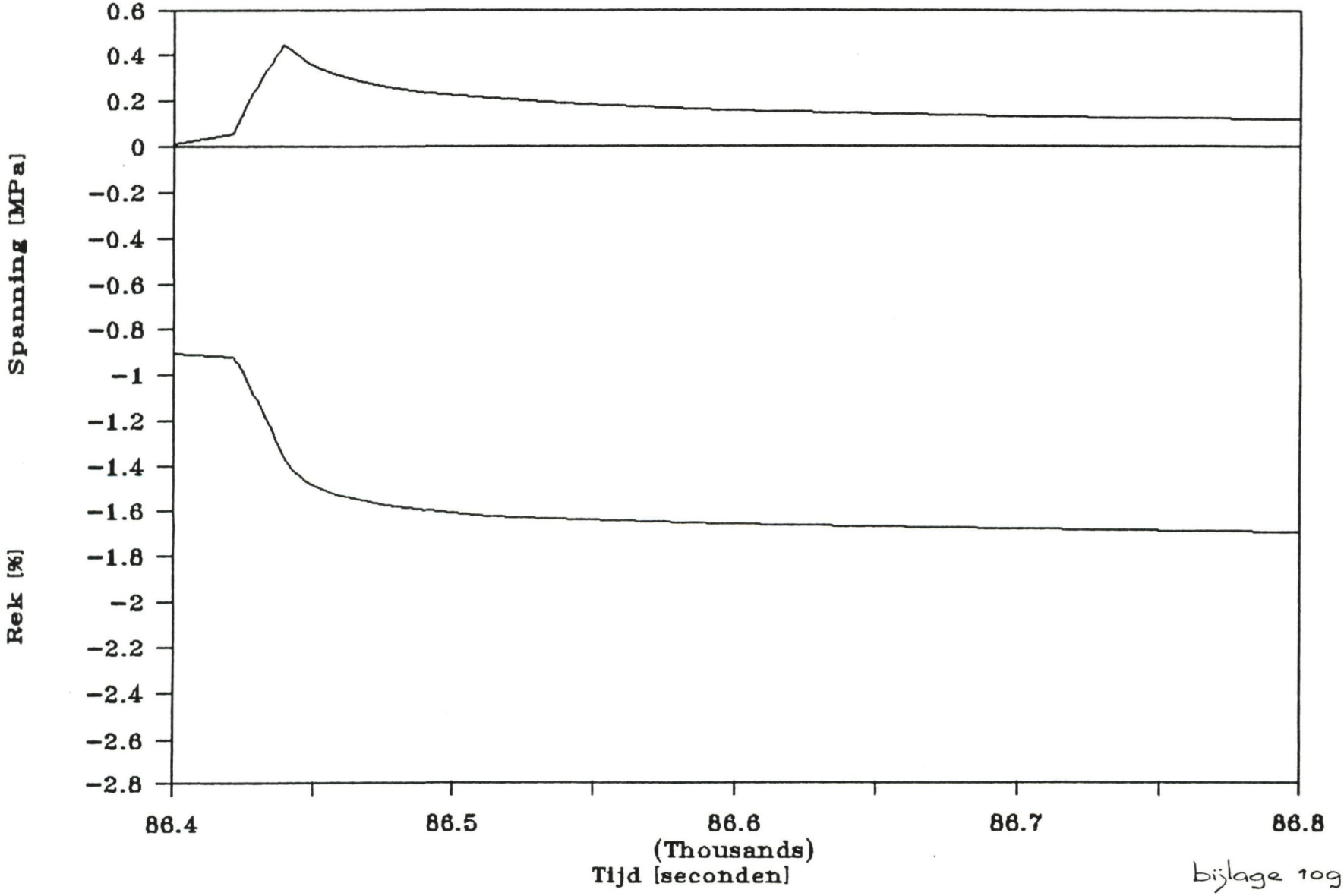
DRUK 20 °C Proef 14A V-12



bijlage 108

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

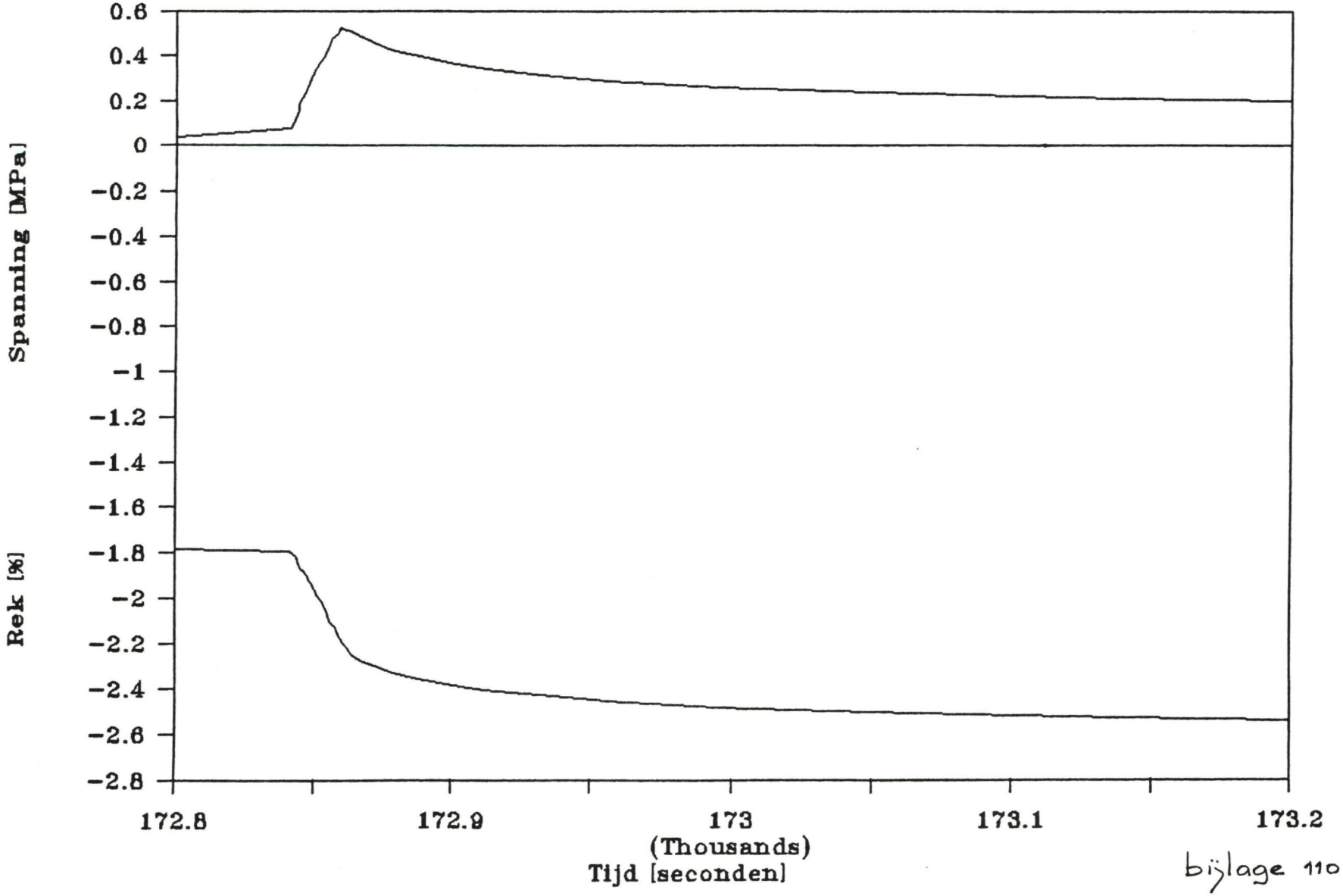
DRUK 20 °C Proef 14A V-12



bijlage 10g

NETHERLANDS PAVEMENT CONSULTANTS

DRUK 20 °C Proef 14A V-12



bijlage 110

APPENDIX 1: