

IFCO Funderingsexpertise BV

**Limaweg 17
2743 CB Waddinxveen
Postbus 429
2740 AK Waddinxveen**

**Tel: (0182) 646 646
Fax: (0182) 646 654
E-mail: mail@ifco.nl**

**KvK: Gouda 290 32656
BTW: NL 8022.86.586.B-01
Bank: RABO 36.24.02.000**

**INVLOED VAN DE SLAGKRACHT OP
DE BREEDTE VAN HET INGANGS-
SIGNAAL VAN HET IT-MEETSIGNAAL**

2 DECEMBER 1998

Opdrachtgever: Intern Rapport



INHOUDSOPGAVE:

1	INLEIDING.....	3
2	THEORETISCHE BESCHOUWING.....	3
3	HET ONDERZOEK.....	5
3.1	DE MEETAPPARATUUR.....	5
3.2	DE DOORGEMETEN PALEN.....	5
3.3	DE UITGEVOERDE METINGEN.....	5
3.3.1	<i>De metingen op de prefab betonpalen.....</i>	<i>5</i>
3.3.2	<i>De metingen op de vibropalen.....</i>	<i>6</i>
3.4	DE VERWERKING VAN DE MEETRESULTATEN.....	6
3.4.1	<i>De meetresultaten van de prefab betonpaal 1.....</i>	<i>6</i>
3.4.2	<i>De meetresultaten van de vibropalen.....</i>	<i>6</i>
4	CONCLUSIE'S EN AANBEVELINGEN.....	6
4.1	CONCLUSIE'S.....	6
4.2	AANBEVELINGEN.....	7
4.3	VERVOLG ONDERZOEK.....	7
	BIJLAGEN.....	9

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de resultaten van het onderzoek naar verbeteringen van het IFCO IT-Systeem. Gedurende de onderzoeksperiode zijn akoestische metingen met een 'standaard' IT-Systeem op zowel een prefab betonpaal als op vibropalen uitgevoerd. Het doel van deze metingen is om de invloed van de slagkracht op de breedte van het ingangssignaal te onderzoeken, waarvoor drie verschillende hamers zijn gebruikt.

Voorafgaande aan de beschrijving van het onderzoek, volgt een samenvatting van de theoretische beschrijving van de voortplanting van spanningsgolven in palen. Hierin wordt ingegaan op het detectievermogen van akoestische meetsignalen om defecten in de paalschacht op te sporen. Deze samenvatting is ontleend aan het artikel "Paalschachtcontrole met behulp van spanningsgolven" door dr. ir. A.J.G. Schellingerhout en ir. T.K. Muller uit het technisch vakblad CEMENT, nummer 4, 1996.

2 Theoretische beschouwing.

De meettechniek is gebaseerd op de ééndimensionale golftheorie voor een lineair medium. In deze beschouwing wordt, in tegenstelling tot de praktijk, gesimuleerd aan een paal zonder schacht- en voetweerstand, welke inhoudt dat de golf zich zonder enig energieverlies kan voortplanten in de paal. Het weglaten van de schacht- en voetweerstand zorgt voor een zuiverder signaal, welke tevens een goede simulatie van een signaal uit de praktijk is.

In Bijlage I is de gereflecteerde amplitude als functie van de lengte van het defect in grafieken uitgezet. De defecten bestaan uit een abrupte verkleining van het paaloppervlak, zoals rechts naast de grafiek is weergegeven. Deze berekening is uitgevoerd voor vijf verschillende verhoudingen van het oppervlak van het defect met het oppervlak van de paal. De figuur toont een aantal belangrijke eigenschappen:

- Alleen bij een grote lengte van het defect wordt de reflectieamplitude volgens de impedantieformule ($v_{reflex} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot v_{inkomend}$) gemeten. Deze amplitude wordt in de figuur weergegeven met een onderbroken lijn.
- Bij één bepaalde reflectieamplitude is een groot aantal verschillende lengten van het defect mogelijk, met bijpassend insnoeringspercentage.
- De amplitude van de reflectie gaat voor een kleine defectlengte altijd naar nul.

Indien de lengte van het defect ruim onder één meter blijft, is de defectvorm niet meer eenduidig te bepalen. De genoemde afstand van één meter wordt bepaald door de in de simulaties gebruikte lengte van de inkomende golf ($\lambda = 0,8$ meter). Een kortere duur van de golf (dus een kleinere golflengte λ) verhoogt namelijk de resolutie van de meettechniek.

NB: De resolutie (ofwel het oplossend vermogen) van een meetsysteem is een maat voor de fijnheid van de instelbaarheid of de afleesbaarheid van het meetsysteem. De resolutie wordt bepaald door de kleinste verandering Δx in de te meten grootte x die nog juist een verandering van het meetresultaat geeft. De grootte van de resolutie R is daarbij gegeven door $R = x/\Delta x$.

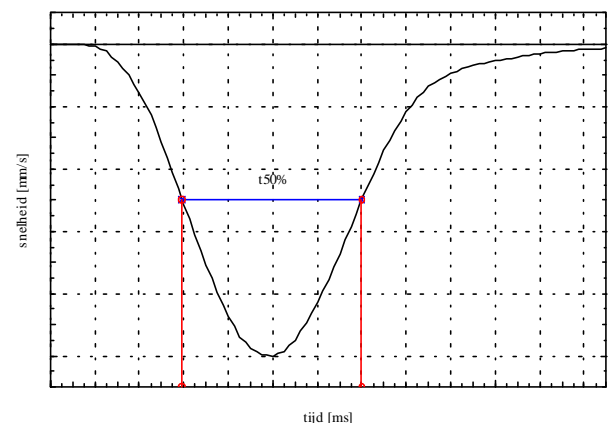
Het oplossend vermogen van een integriteitsmeting en daarmee het opsporen van defecten wordt beperkt door de relatief grote lengte golflengte λ van de opgewekte spanningsgolf. Het verkleinen van de golf levert dan ook een hogere resolutie op. In bijlage II is dit weergegeven. Met een klapproef van 0,4 meter is het detectievermogen 4 maal groter dan met een klapproef van 1,6 meter. Dit inzicht is al sinds de eerste integriteitsmeting bekend. De reden dat er op dit vlak nog weinig vooruitgang is geboekt, is dat de meettechniek is gebaseerd op een vlakke longitudinale golf. Deze golf wordt opgewekt door te slaan op een enkel punt op de paalkop.

Indien de opgewekte golflengte groot is ten opzichte van de diameter van de paal kan deze vlakke golf ontstaan. Dit probleem is numeriek opgelost voor een ééndimensionale ronde staaf die gemaakt is van een gas of een vloeistof. Om alleen een vlakke golf op te wekken moet aan de relatie $I > 1,71 \cdot D$ worden voldaan, waarin D de paaldiameter is. Deze relatie geeft een beperking van de kortste golflengte die een vlakke golf opwekt. Hierdoor wordt de maximaal haalbare resolutie van de meettechniek begrensd. Wordt de inkomende golflengte kleiner dan 1,71 maal de diameter, dan zullen er driedimensionale effecten gaan plaatsvinden welke het signaal zullen verstoren.

Uit deze theoretische beschouwing blijkt dat hoe dichter de klapproef de 1,71 maal de paal diameter bereikt, hoe beter het detectievermogen van het IT-Systeem. De praktijk laat zien dat het merendeel van de meetsignalen vaak blijf geven van een breed ingangssignaal. Er is derhalve onderzocht waar de breedte van het ingangssignaal van afhankelijk is en hoe deze breedte eventueel geminimaliseerd kan worden.

Definitie:

1. De slagkracht wordt op het 'standaard' IT-systeem weergegeven met de Stroke. De Stroke geeft in procenten weer hoe groot de slagkracht van het verkregen meetsignaal is binnen het detectiebereik van het IT-systeem.
2. De breedte van het ingangssignaal wordt weergegeven met de $t_{50\%}$. De $t_{50\%}$ geeft in milliseconden de tijdsduur van het ingangssignaal op de halve hoogte van het krachtsignaal. Dit is weergegeven in de figuur.



3 Het onderzoek

3.1 De meetapparatuur

Tijdens de experimenten zijn de metingen uitgevoerd met het IFCO IT-Systeem. Voor het opwekken van de spanninggolven in de gemeten palen zijn drie hamers gebruikt, die verschillen in grootte, massa en/of materiaal. De visuele verschillen van de hamers zijn weergegeven op de onderstaande foto. De "kleine hamer", rechts op de foto, en de "standaard hamer", links op de foto, zijn van het zelfde materiaal vervaardigd. De "harde hamer", midden, is vervaardigd van een iets harder materiaal.

De massa's van de hamers (inclusief versnellings-sensoren) zijn:

- "kleine hamer": 190 gram
- "standaard hamer": 705 gram
- "harde hamer": 590 gram

De versnellingsensoren, die aan de achterkant van de hamers gemonteerd zijn, worden bij dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.



3.2 De doorgemeten palen

Voor het onderzoek is prefab betonpaal 1 achter het IFCO-kantoor doorgemeten. Prefab betonpaal 1 is de rechter paal van de in totaal drie testpalen, welke zich bevinden voor het fietsenhok achter het IFCO-kantoor. De paal heeft een afmeting ~ 250 mm. De vibropalen bevinden zich op het veilingterrein in Honselersdijk.

3.3 De uitgevoerde metingen

3.3.1 De metingen op de prefab betonpalen

Paal 1 achter het kantoor van IFCO is 9 maal doorgemeten met de kleine hamer, de standaard hamer en de harde hamer. Om na te gaan wat de relatie tussen de slagkracht en de klapbreedte is, is gevarieerd in de slagkracht. Het eerste signaal dat is opgeslagen heeft een slagkracht van ca. 20%, vervolgens oplopend met stappen van ca. 10% naar het negende signaal van ca. 100%.

3.3.2 De metingen op de vibropalen

Voor het onderzoek zijn vijf vibropalen doorgemeten, waarbij elke paal 9 maal akoestisch is doorgemeten met de kleine hamer, de standaard hamer en de harde hamer. Paal 2 is is als één van de laatste palen van het hele veld vervaardigd. Het onderzoek is erop gericht om de relatie tussen de breedte van het ingangssignaal en de slagkracht op de paal te onderzoeken. De slagkracht varieerde hierbij van ca. 15% tot ca. 100%. Een slagkracht van ca. 15 % is de ondergrens, welke nog net geregistreerd kan worden door het IT-systeem.

3.4 De verwerking van de meetresultaten

3.4.1 De meetresultaten van de prefab betonpaal 1

Per type hamer zijn van de verkregen meetsignalen op paal 1 de breedte van het ingangssignaal uitgezet tegen de slagkracht en gepresenteerd in Bijlage III. Door de 9 verkregen punten per type hamer is een beste rechte getrokken.

3.4.2 De meetresultaten van de vibropalen

Voor elke doorgemeten vibropaal is van de verkregen meetsignalen per type hamer de breedte van het ingangssignaal uitgezet tegen de slagkracht. De grafieken van de vijf palen zijn gepresenteerd in Bijlage IV. Door de 9 verkregen punten per hamer is een beste rechte getrokken.

4 Conclusie's en Aanbevelingen.

4.1 Conclusie's

Naar aanleiding van de verwerking van de meetresultaten met betrekking tot dit onderzoek wordt het volgende geconcludeerd:

- De kleine hamer levert de smalste ingangssignalen en de standaard hamer genereert de breedste ingangssignalen. De breedte van de ingangssignalen van de harde hamer bevinden zich tussen de verkregen resultaten van de kleine hamer en de standaard hamer.
- De breedte van het ingangssignaal van de metingen met de kleine hamer, voor zowel de prefab betonpaal als de vibropalen, is ongeveer constant. Hieruit kan worden opgemaakt dat de breedte van het ingangssignaal voor de akoestische metingen met de kleine hamer slechts in geringe mate afhankelijk is van de slagkracht.
- De breedte van de ingangssignalen van de metingen met de standaard hamer, voor zowel de prefab betonpaal als de vibropalen, neemt ca. 30% af wanneer de slagkracht toeneemt van 0% naar 100%.

- De breedte van de ingangssignalen van de metingen met de harde hamer, voor zowel de prefab betonpaal als de vibropalen, neemt ca. 35% af wanneer de slagkracht toeneemt van 0% naar 100%.

Algemeen

- Het gebruik van de kleine hamer genereert, voor zowel de prefab betonpaal als de vibropalen, een breedte van het ingangssignaal die kleiner is dan de breedte van het ingangssignaal bij de standaard en harde hamer. Hieruit volgt, in samenhang met de beschreven theoretische beschouwing, dat de kleine hamer een hogere resolutie geeft, lees: een groter detectievermogen voor defecten, dan de signalen van de standaard en de harde hamer.
- Bij het gebruik van de standaard hamer en de harde hamer geldt dat bij een hardere slagkracht de breedte van het ingangssignaal afneemt. Hieruit volgt, in samenhang met de theoretische beschouwing, dat bij een toenemende slagkracht een groter detectievermogen van defecten wordt verkregen.

4.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de verwerking van de meetresultaten en de bovengenoemde conclusie's worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Uit het onderzoek blijkt dat de breedte van het ingangssignaal, bij gebruik van de standaard hamer en de harde hamer, kleiner wordt naarmate de slagkracht groter is, wat een groter detectievermogen van het akoestisch signaal bewerkstelligt. Geadviseerd wordt derhalve bij het akoestisch doormeten met het IFCO IT-Systeem een signaal op te slaan met een zo groot mogelijke stroke. De grootte van de stroke is af te lezen op de display van het systeem, voordat een signaal wordt opgeslagen in het geheugen van het systeem.
- Bij het gebruik van de kleine hamer is de breedte van het ingangssignaal kleiner dan bij de harde hamer en de standaard hamer, waardoor het detectievermogen van de akoestische meting groter is. Geadviseerd wordt om, indien mogelijk, met de kleine hamer door te meten.

4.3 Vervolg onderzoek

Naar aanleiding van dit onderzoek komen de volgende punten voor verder onderzoek in aanmerking:

- Er dient te worden onderzocht of het mogelijk is om het IFCO IT-systeem aan te passen, zodat alleen meetsignalen met een hoge slagkracht kunnen worden opgeslagen.



Verder dient te worden onderzocht in hoeverre de breedte van het ingangssignaal met toenemende slagkracht bij het gebruik van de standaard hamer en harde hamer afneemt. Verwacht wordt dat bij deze hamers ook een niveau wordt bereikt, waar de breedte van het ingangssignaal niet meer varieert met de slagkracht, zoals het geval is met de metingen verkregen met de kleine hamer. Als in dit gebied wordt doorgemeten, is de invloed van de slagkracht gering, zodat elk meetsignaal dezelfde resolutie oplevert.

- Er dient te worden onderzocht of de uithardingsduur van de beton van invloed is op de breedte van het ingangssignaal. Naar aanleiding hiervan kan eventueel een minimale uithardingstijd worden opgelegd voor het doormeten van in-de-grond-gevormde betonpalen.

Waddinxveen, 2 december 1998

M.G.G. Raupp
IFCO Funderingsexpertise BV

dr. ir. A.J.G. Schellingerhout

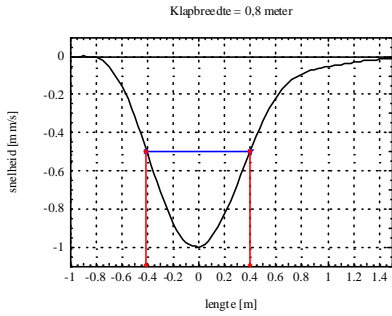


Bijlagen

- I gereflecteerde amplitude als functie van de lengte van het defect (klapbreedte = 0,8 meter)
- II gereflecteerde amplitude als functie van de lengte van het defect
(klapbreedte = 0,4 en 1,6 meter)
- III verhouding t50% – Stroke voor prefab betonpaal
- IV verhouding t50% – Stroke voor vibropalen

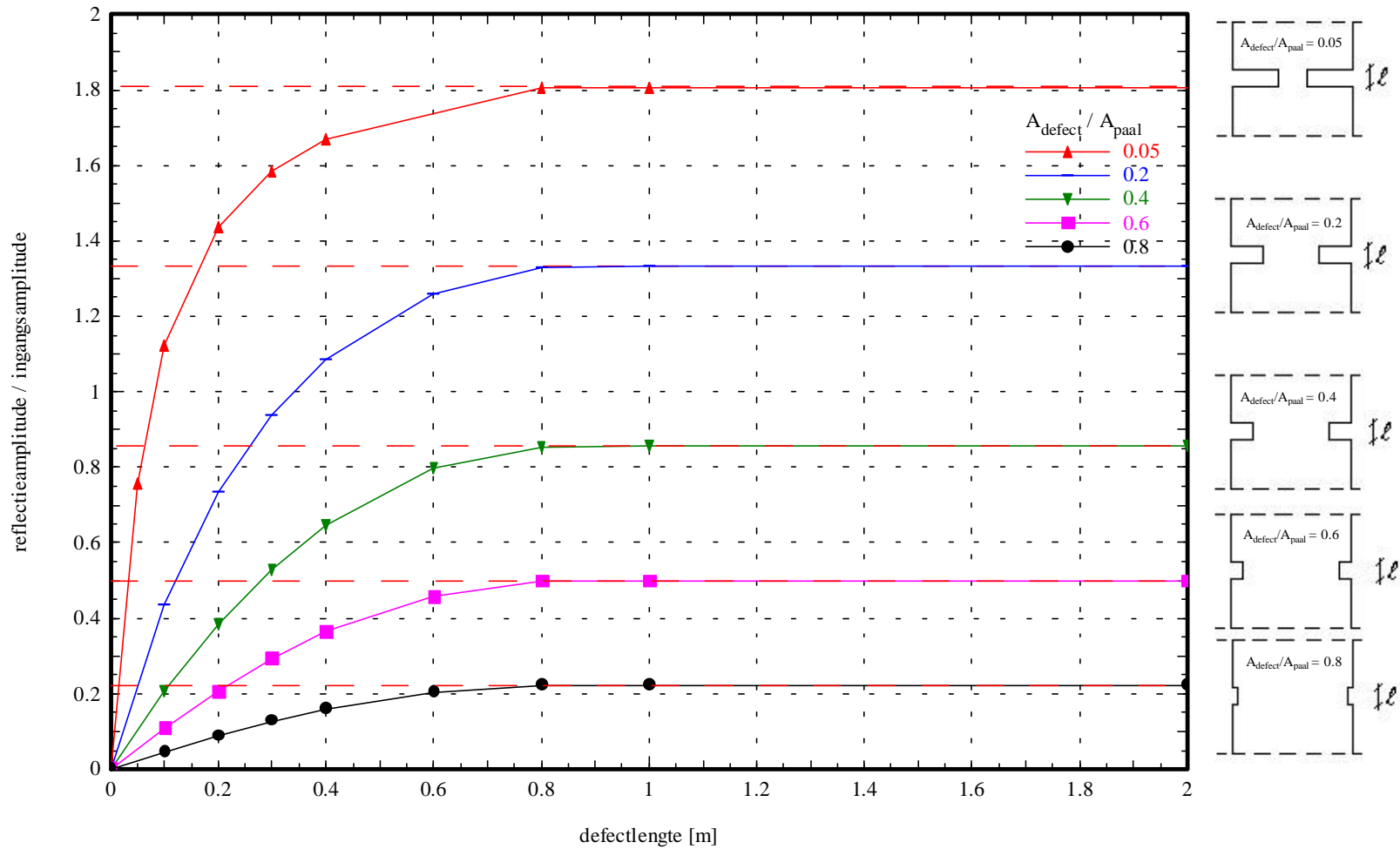
BIJLAGE I

**gereflecteerde amplitude als functie van de lengte
van het defect (klapbreedte = 0,8 meter).**



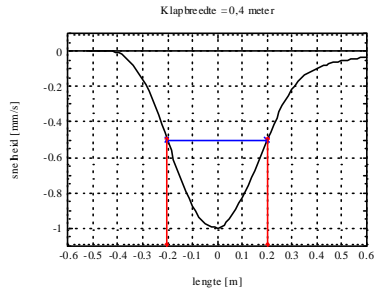
Verhouding reflectieamplitude - ingangsamplitude als functie van de defectlengte (klapbreedte = 0,8m)

ℓ = defectlengte



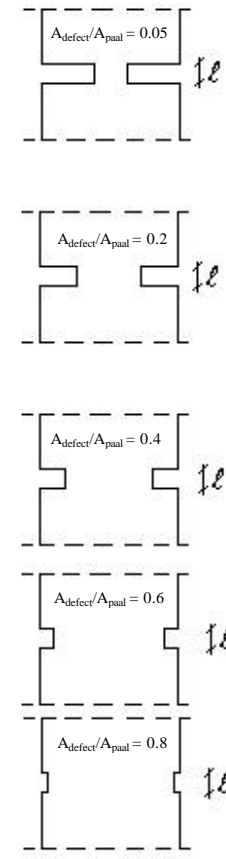
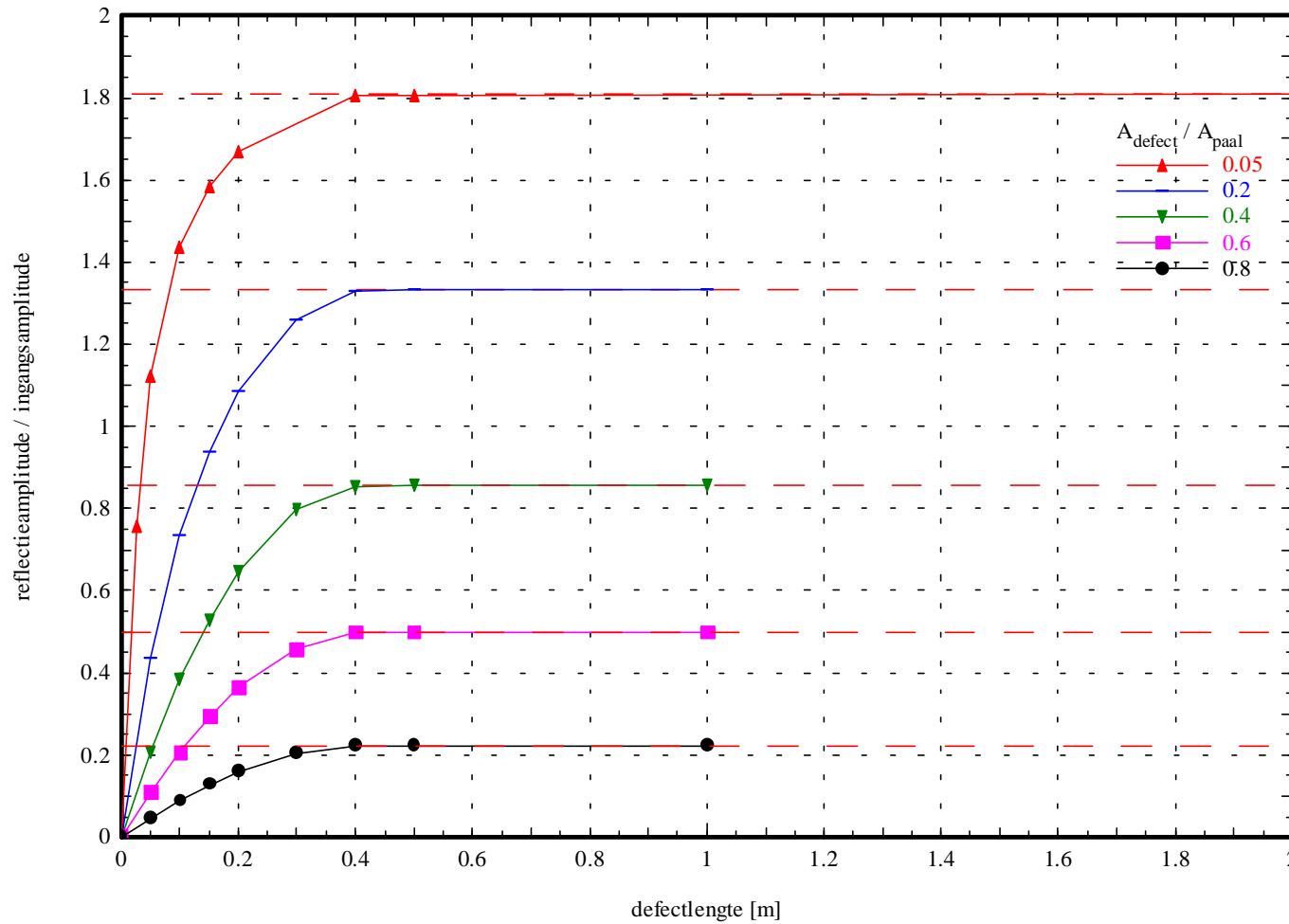
BIJLAGE II

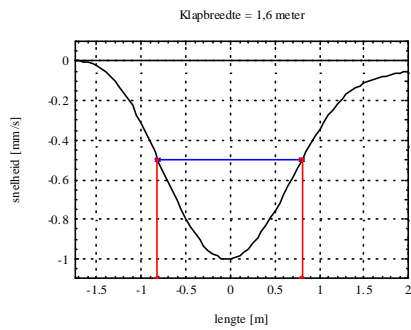
**gereflecteerde amplitude als functie van de lengte
van het defect (klapbreedte = 0,4 en 1,6 meter).**



Verhouding reflectieamplitude - ingangsamplitude als functie van de defectlengte (klapbreedte = 0,4m)

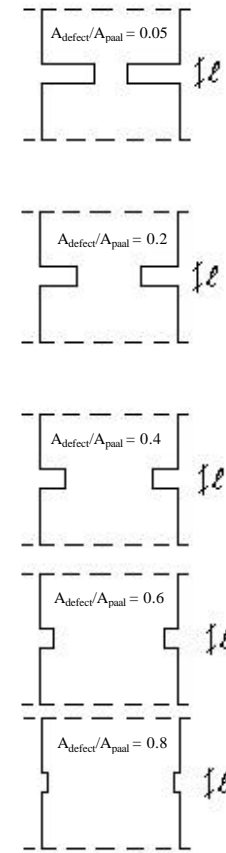
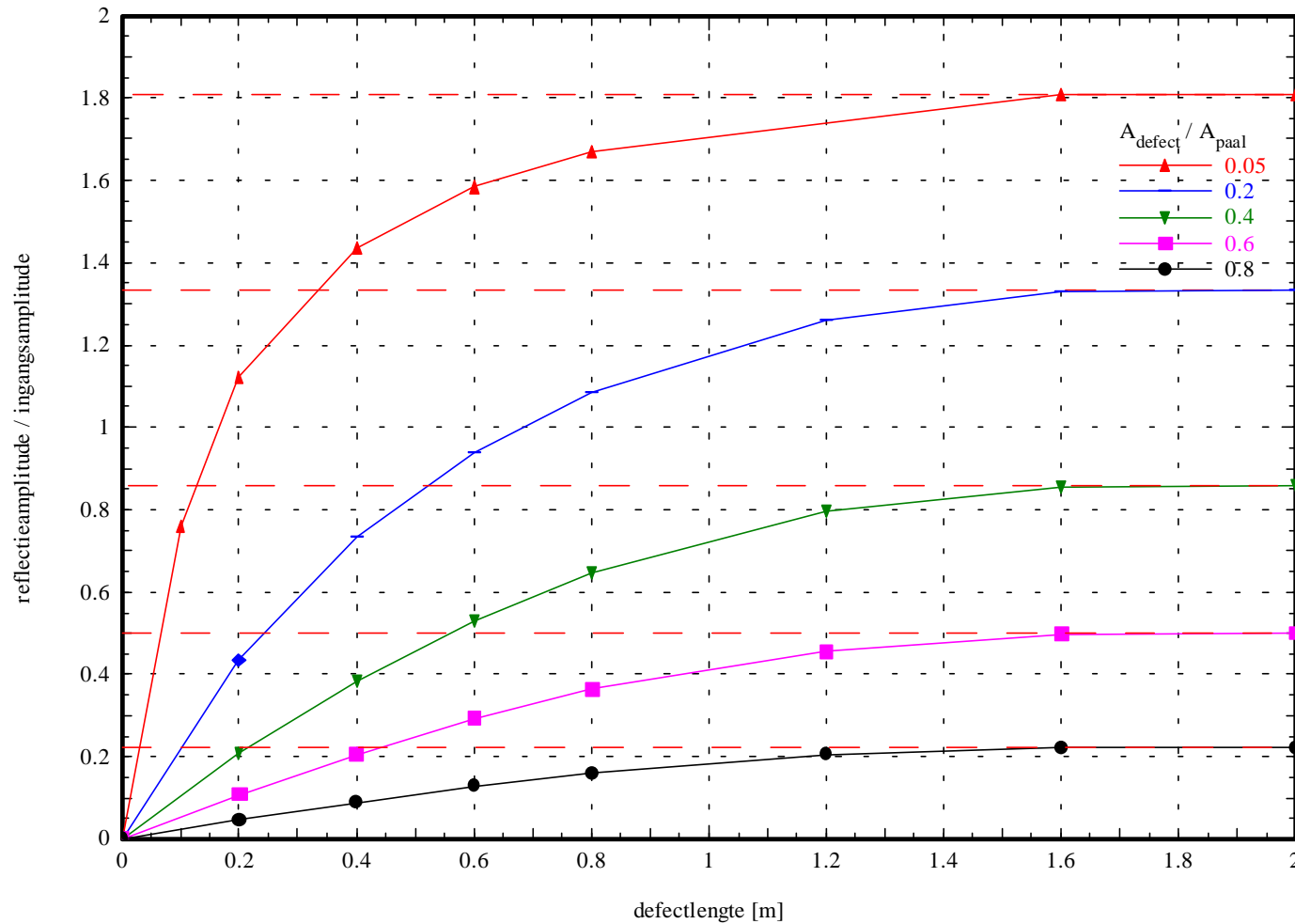
ℓ = defectlengte





Verhouding reflectieamplitude - ingangsamplitude als functie van de defectlengte (klapbreedte = 1,6m)

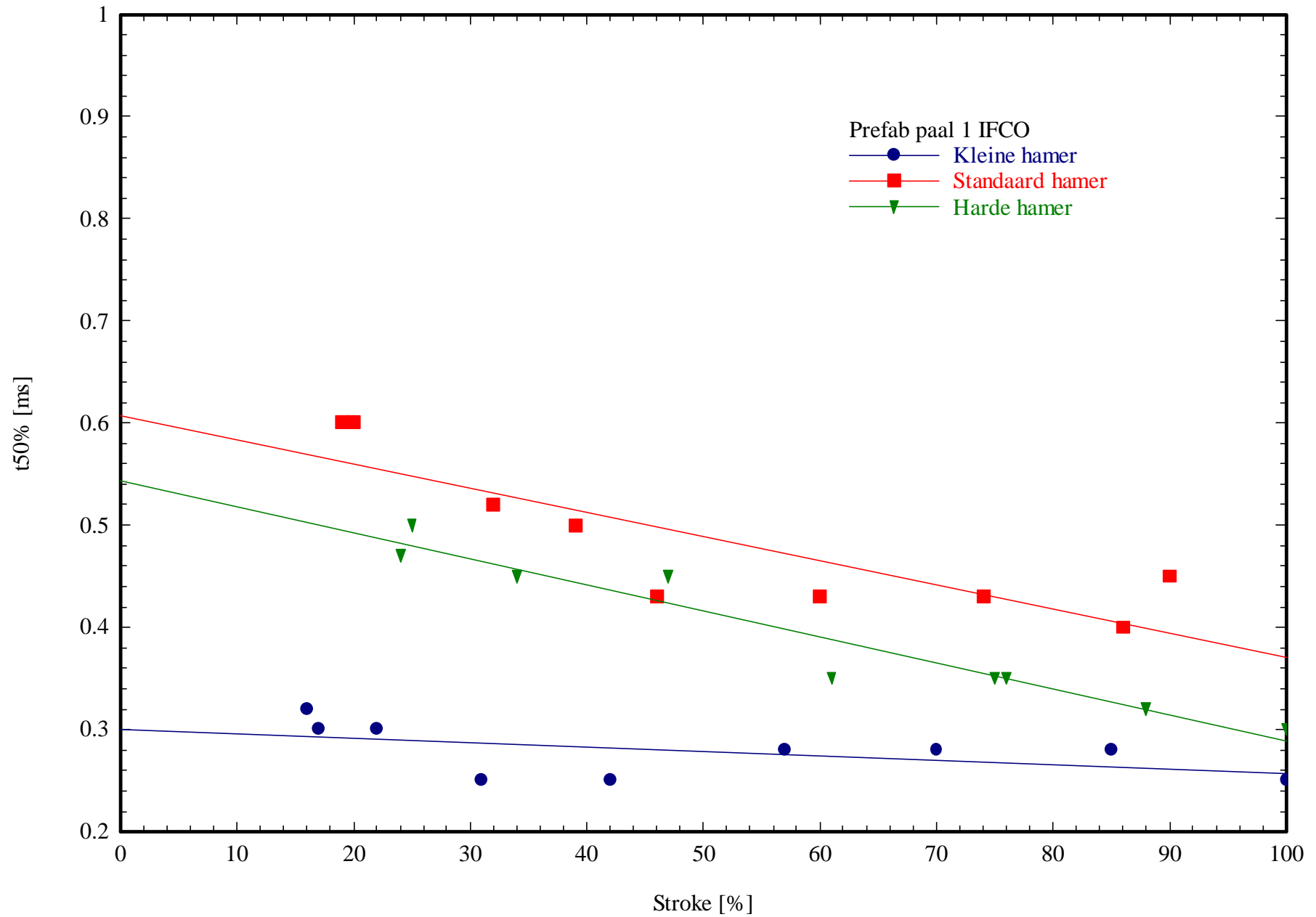
ℓ = defectlengte



BIJLAGE III

verhouding t50% – Stroke voor prefab betonpaal

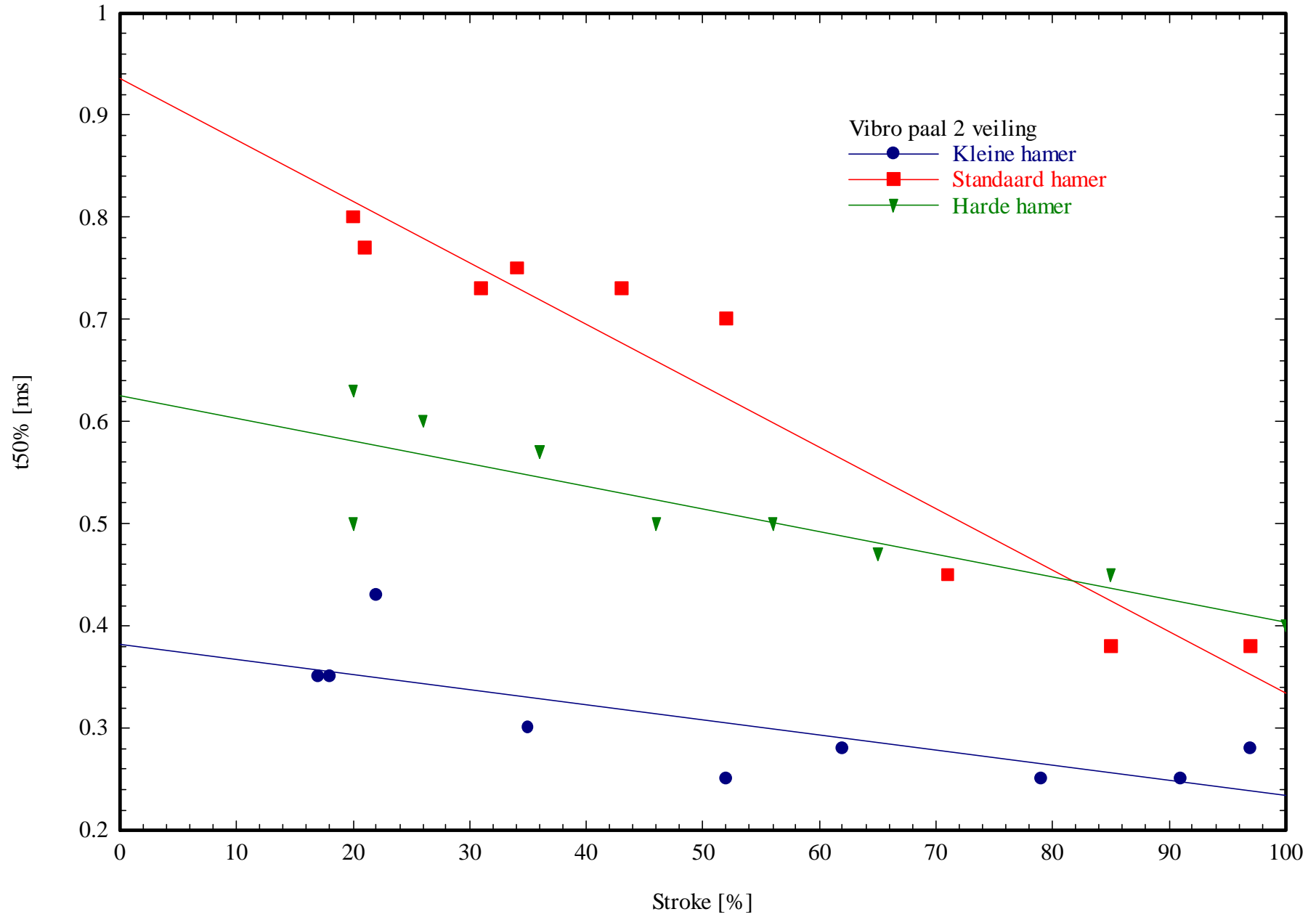
t50% [ms] - Stroke [%]



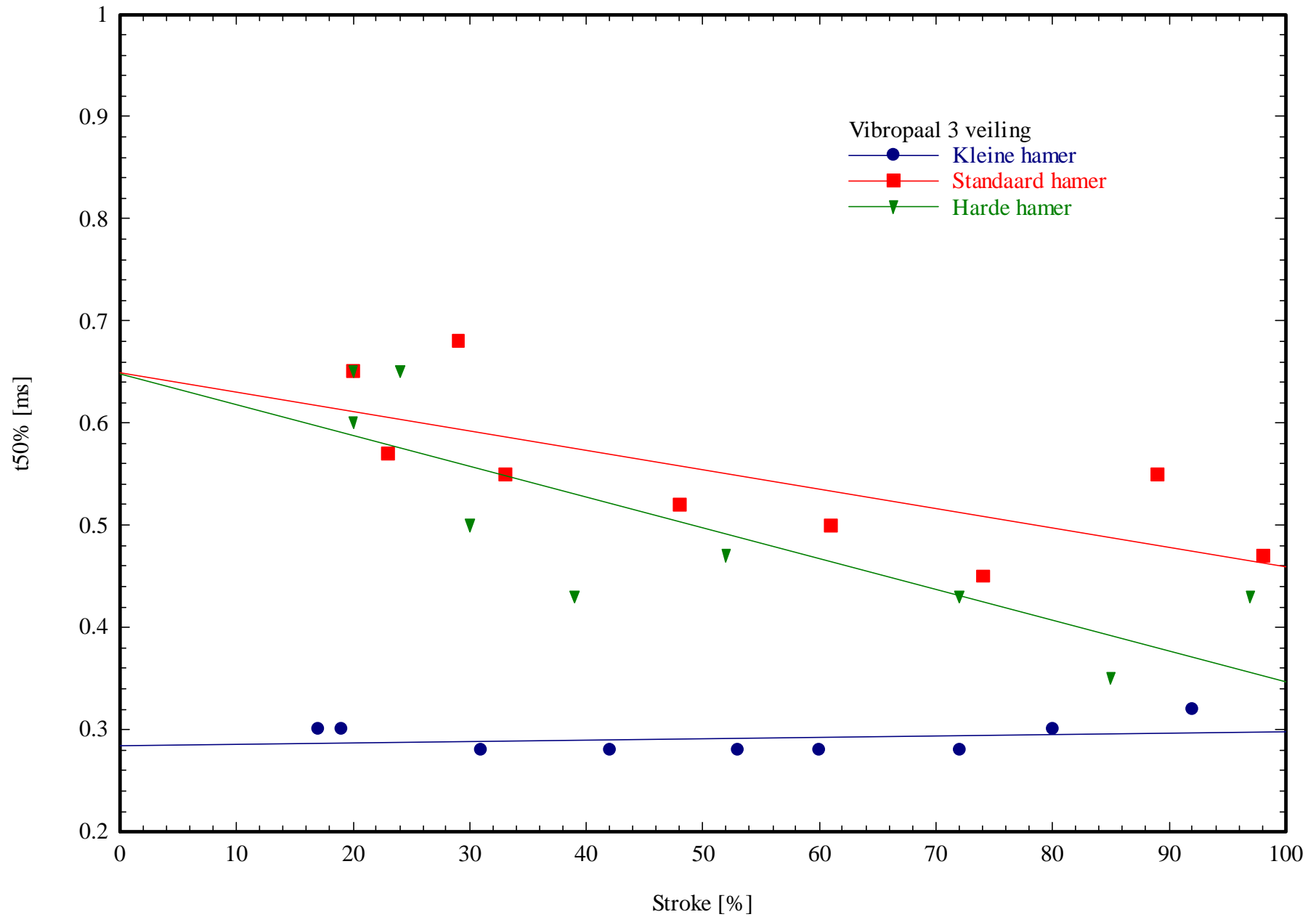
BIJLAGE IV

Verhouding t50% – Stroke voor vibropalen

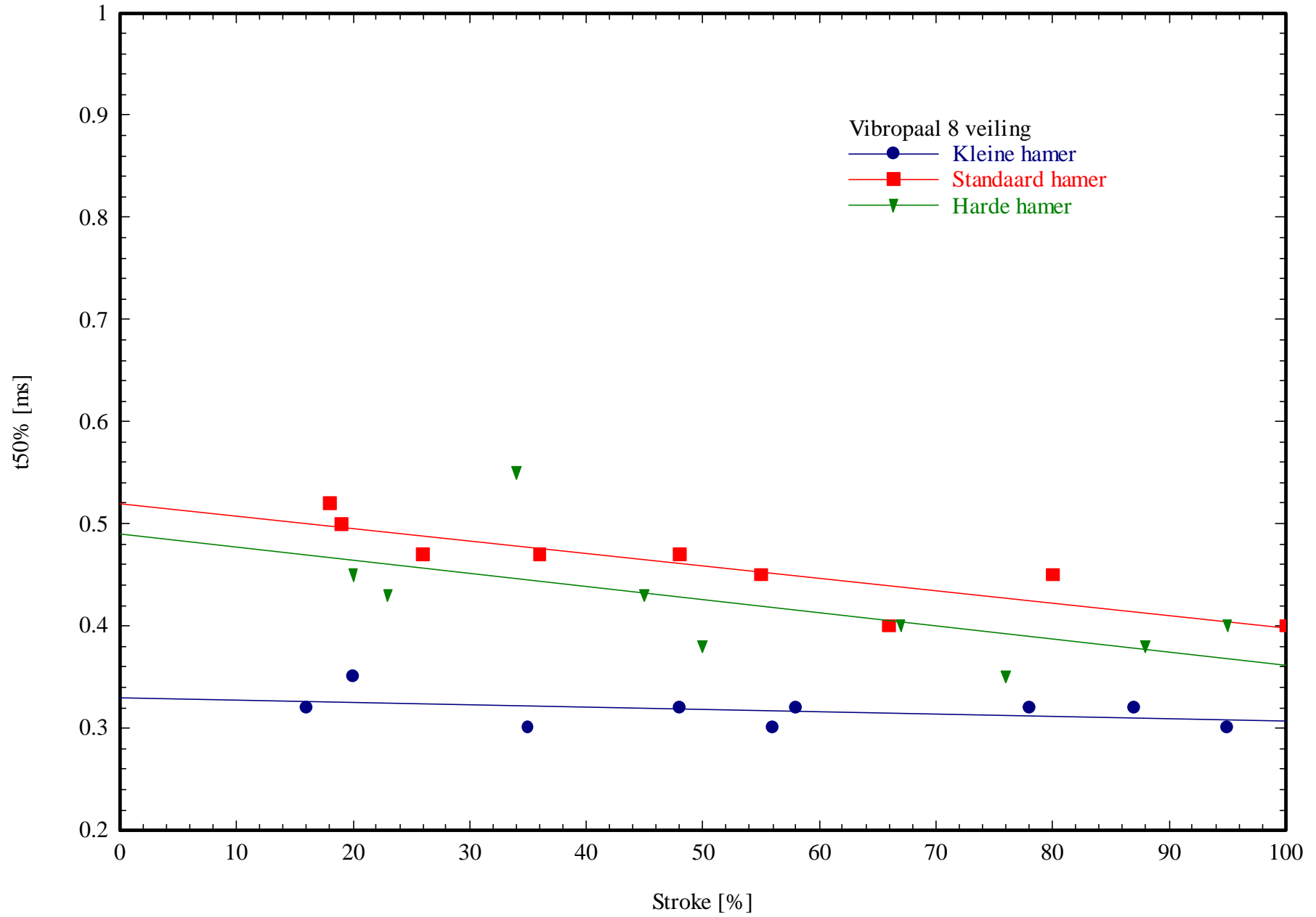
t50% [ms] - Stroke [%]



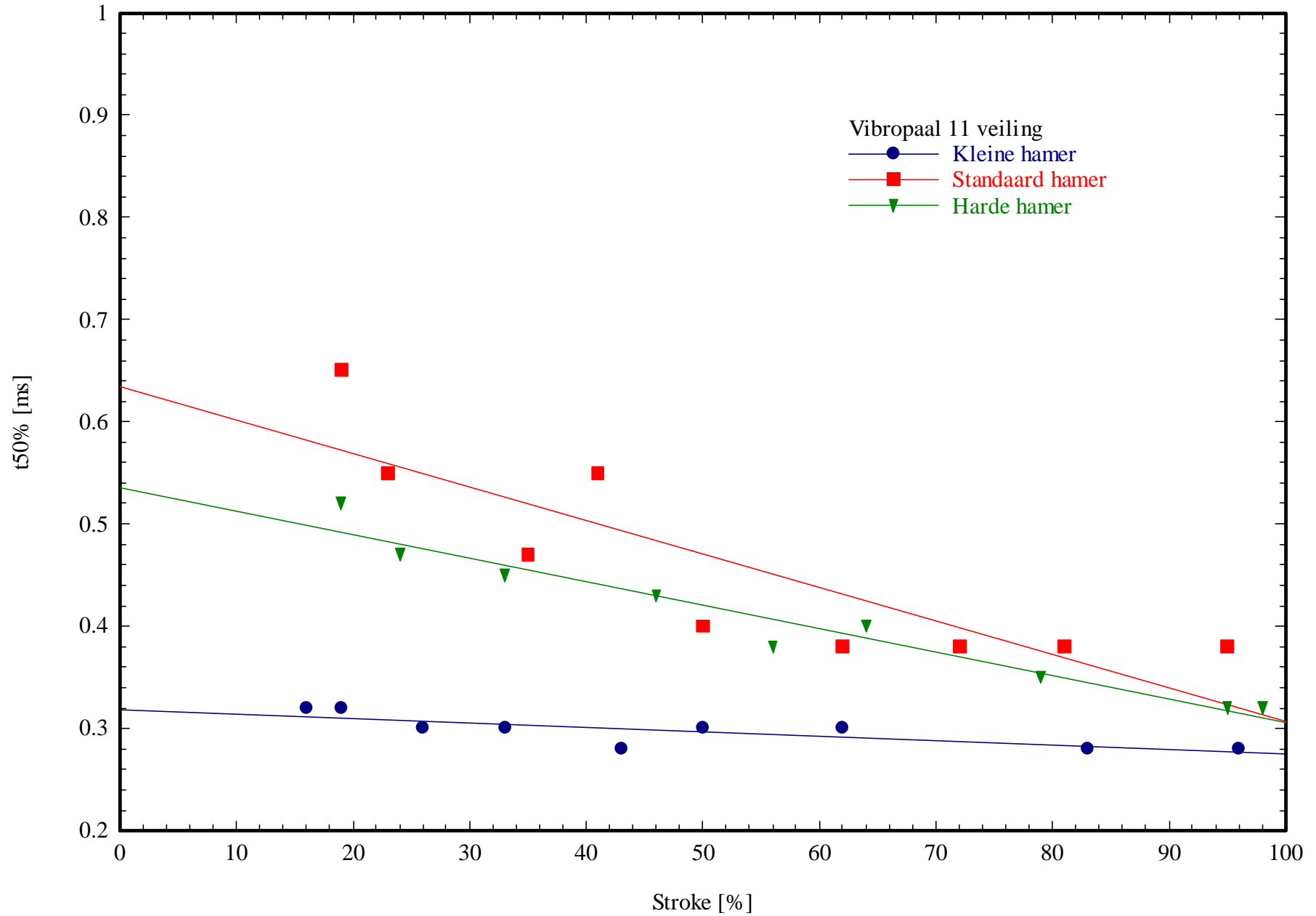
t50% [ms] - Stroke [%]



t50% [ms] - Stroke [%]



t50% [ms] - Stroke [%]



t50% [ms] - Stroke [%]

