Technisch Infoblad
Dynamische Plaatbelastingsproef

Kiwa KOAC
Schumanpark 43
7336 AS Apeldoorn
Nederland
www.kiwa-koac.com

Contact

Road Testing
roadtesting@kiwa-koac.com
088 - 562 26 72

Gerelateerde producten

- Valgewichtdeflectie-metingen
- Stroefheidsmetingen 86% vertraagd wiel
- Langsvlakheidsmetingen

De dynamische plaatbelastingsproef is een snelle proef die opgang maakt voor het meten van de draagkracht van funderingsconstructies en onderfunderingen. Helaas zijn van de dynamische plaatbelastingsproef in Nederland en het buitenland weinig ervaringscijfers voorhanden. Om die reden zijn voor de diverse materialen en wegconstructies nog geen data beschikbaar om grenswaarden of minimaal te behalen stijfheidsmoduli uit de meetdata af te leiden. Deze grenswaarden zijn wel beschikbaar voor de statische plaatbelastingsproef. De meest bekende draagkrachtparameters van statische plaatbelastingsproeven zijn de zogenaamde Ev2-vervormingsmodulus behorend bij de Duitse uitvoering van de statische plaatbelastingsproef en het beddingsgetal k.

Dit technisch infoblad beschrijft de procedure van het bepalen van de vervormingsmodulus E_{v2} en het beddingsgetal k beide behorend bij de statische plaatbelastingsproef maar dan uitgevoerd door middel van de dynamische plaatbelastingsproef. Dit technisch infoblad beschrijft ook de uitvoering van de dynamische plaatbelastingsproef.

Statische plaatbelastingsproef

1.1 Algemeen

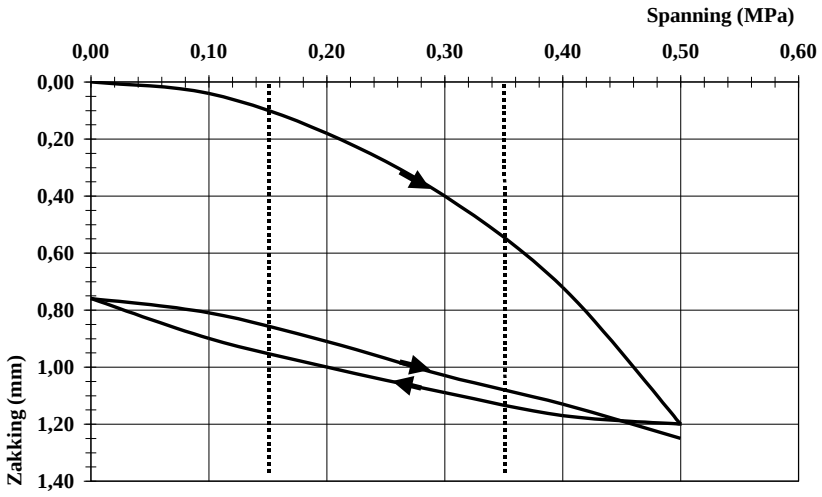
De statische plaatbelastingsproef (SPB) is een proef waarbij een (weg)fundering, zandbed of ondergrond via een cirkelvormige voetplaat door middel van een druk- of belastingsinstallatie stapsgewijze wordt belast en ontlast. De gemiddelde contactdruk onder de voetplaat en de bijbehorende zakking van de voetplaat worden in een diagram uitgezet. De afzonderlijke meetpunten worden met een lijn verbonden. De exacte uitvoering van de procedure verschilt van land tot land. In Nederland is met name de Duitse versie van de proef (DIN 18 134) in gebruik of liever in gebruik geweest. Bij deze versie moet in principe een stijve voetplaat worden gebruikt met een diameter van 762 mm.

Aan de statische plaatbelastingsproef kleven een aantal nadelen:

- Het grootste nadeel is dat de proef zeer tijdrovend is. Per werkdag kunnen slechts vijf tot tien meetpunten worden aangedaan. Tijdens de proef bestaat de kans dat een van de eetklokjes verschuift of aangeraakt wordt waardoor het meetresultaat onnauwkeurig en onbetrouwbaar wordt en de proef opnieuw moet worden uitgevoerd.
- Oneffenheden in het onderzochte materiaal moeten worden geëgaliseerd door middel van en gipsbrij of fijn zand. Daarna moet de voetplaat precies horizontaal in de gipsbrij of het fijne zand worden gedrukt.
- Bij de proef is altijd een ballastwagen nodig om de belastingsinrichting te kunnen afstempelen. Dit houdt in dat ten allen tijde twee mensen minimaal nodig zijn voor de uitvoering van de proef.

1.2 vervormingsmodulus E_{v2}

Per belastingscyclus wordt de belasting trapsgewijze (meestal ongeveer zes lasttrappen) via een eenvoudige hydraulische pers opgevoerd tot een maximaal spanningsniveau van 500 kPa. Wanneer een zakkingsniveau van ongeveer 5 mm wordt gevonden, wordt de belastingscyclus bij een lager spanningsniveau afgebroken. Daarna wordt een trapsgewijze ontlasting uitgevoerd en wordt de belastingcyclus herhaald. Figuur 1 toont een voorbeeld van een geregistreerde zakkingslijn.



Figuur 1 **Zakkingslijn statische plaatbelastingsproef bij bepaling vervormings-modulus E_{v2}**

Bij de Duitse versie is de vervormingsmodulus E_v een maat voor de vervormbaarheid van de fundering, het zandbed of de ondergrond. Deze vervormingsmodulus wordt zowel in de eerste als de tweede belastingstrap bepaald uit de helling van de secanten tussen de punten 30% van opgelegde maximale spanning en 70% van opgelegde spanning (zie Figuur 1).

De vervormingsmodulus wordt per belastingscyclus als volgt bepaald:

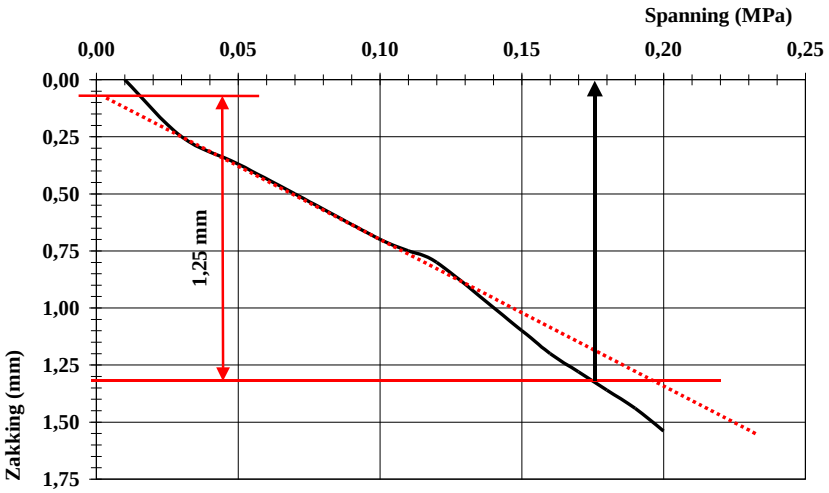
$$E_{vi} = 1{,}5 \cdot a \cdot \frac{\Delta\sigma_i}{\Delta d_i}$$

waarbij Evi = Vervormingsmodulus van belastingscyclus i (MPa)
a = Straal voetplaat (mm)
$\Delta\sigma_i$ = Spanningsinterval (70% - 30% van maximale spanning) in belastingscyclus i (MPa)
Δdi = Zakkingsinterval in belastingscyclus i (mm)

Met name aan de waarden van de E_{v2}-vervormingsmodulus worden grenswaarden gesteld. Deze modulus is kenmerkend voor de elastische en vervormingseigenschappen van het onderzochte medium. De verhouding tussen E_{v1} en E_{v2} geeft een indicatie voor de plastische eigenschappen en de verdichting van het onderzochte materiaal.

1.3 Beddingsgetal k

Voor het bepalen van het beddingsgetal wordt de belasting trapsgewijze (meestal 40 kPa, 80 kPa, 140 kPa en 200 kPa) via een eenvoudige hydraulische pers opgevoerd tot ten minste een zakking van 1,25 mm is verkregen.



Figuur 2 Nulpuntscorrectie op zakkingslijn voor bepaling beddingsgetal k

Het beddingsgetal wordt als volgt bepaald:

$$k = \frac{\sigma}{d_{1,25}}$$

waarbij k = Beddingsgetal (N/mm3)
σ = Opgelegde spanning benodigd voor een zakking van 1,25 mm (MPa)
$d_{1,25}$ = Zakking van 1,25 mm

Indien het begin van het zakkingsdiagram een buiging vertoont, dan is een nulpuntscorrectie noodzakelijk. Figuur 2 geeft hiervan een toepassingsvoorbeeld. Uit Nederlandse praktijkgevallen blijkt dat deze nulpuntscorrectie vrijwel nooit nodig is. In de regel wordt eerder een voetplaat met een diameter van 300 mm toegepast dan een plaat met een diameter van 762 mm. Bij de kleinere diameter zijn de eisen die gesteld moeten worden aan de belastingsinstallatie een stuk lichter.

Het zakkingsdiagram bestaat meestal uit een redelijke rechte lijn. In dit soort gevallen mag het beddingsgetal ook als volgt worden berekend:

$$k = \frac{\Delta\sigma}{\Delta d}$$

waarbij $\Delta\sigma$ = Opgelegde spanning (MPa)
Δd = Zakking veroorzaakt door opgelegde spanning (mm)

Indien bij het meten van het zakkingsdiagram een plaatdiameter anders dan 762 mm wordt gebruikt, kan het beddingsgetal k_{762} eenvoudig als volgt worden berekend:

$$k_{762} = \frac{a_1}{a_{762}} \cdot k_1$$

waarbij k_{762} = Beddingsgetal bij een voetplaat met diameter van 762 mm (N/mm3)
k_1 = Beddingsgetal bij een voetplaat met diameter a_1 (N/mm3)
a_{762} = Plaatstraal 762 mm
a_1 = Straal van meetplaat (mm)

2 Dynamische plaatbelastingsproef

2.1 Algemeen

Met de opkomst van de valgewichtdeflectiemeters voor het meten van de deflecties van weg- en vliegveldverhardingen, is ook een meetuitvoering ontwikkeld die als dynamische plaatbelastingsproef kan worden gebruikt.

De dynamische plaatbelastingsproef (DPB) heeft een aantal voordelen ten opzichte van de statische plaatbelastingsproef:

- Voor de bediening is slechts één persoon nodig.
- Er is geen ballastwagen nodig, maar er kan eenvoudig gebruik worden gemaakt van een valgewichtdeflectiemeter.
- Per werkdag kunnen meer dan 100 meetpunten worden beproefd, waardoor per meetpunt minder meettijd nodig is en per wegvak een beter inzicht in de variatie in draagkracht van het onderzochte materiaal wordt verkregen.
- Er is geen gipsbrij of fijn zand nodig om oneffenheden te egaliseren omdat per meetpunt meerdere meetklappen kunnen worden geprogrammeerd die ervoor zorgen dat oneffenheden worden weggewerkt.

2.2 Uitvoering

In Europees verband wordt gewerkt aan een geharmoniseerde meet- en verwerkingsprocedure. In Duitsland is al enige jaren ervaring opgedaan met de DPB. De Duitse uitvoering wijkt op een aantal punten van de concept Europese uitvoering af. De door Kiwa KOAC gehanteerde meetmethode komt zoveel mogelijk overeen met de Europese methode, maar maakt gebruik van de Duitse ervaringen en correlaties mogelijk.

Bij de meting wordt een cirkelvormige voetplaat met een diameter van 300 mm gebruikt. Door een gat in het midden van de plaat rust een deflectieopnemer op het testmedium. Een valmassa wordt van een vooraf ingestelde valhoogte losgelaten. De valmassa valt op een set rubberen buffers die de lastpuls via de voetplaat doorgeven. De deflectie wordt door de centrumdeflectieopnemer gemeten. Krachtsignaal en deflectiesignalen worden door een PC gemeten en opgeslagen. Figuur 3 toont de uitvoering van de dynamische plaatbelastingsproef met de valgewichtdeflectiemeter.

De valmassa en valhoogte worden normaliter afgesteld om een krachtniveau te genereren dat resulteert in een gemiddelde contactspanning onder de voetplaat van tussen 100 kPa en 150 kPa. Per meetpunt worden tenminste zes klappen gegeven, waarvan klap 4, 5 en 6 dienen voor bepaling van de dynamische modulus. Vooruitlopend op de Europese procedure gebruikt Kiwa KOAC per meetpunt echter altijd twaalf meetklappen.

Voor elk meetvak moeten bij voorkeur tien meetpunten of een veelvoud daarvan worden geselecteerd. Per serie van tien meetpunten worden het gemiddelde, de standaardafwijking en de variatiecoëfficiënt van de dynamische stijfheidsmodulus gepresenteerd.

Figuur 3 **Dynamische plaatbelastingsproef door Kiwa KOAC**

2.3 Uitwerking

2.3.1 Algemeen

De volgende bewerkingstappen worden uitgevoerd om de meetresultaten uit te werken:

- bepaal per meetklap en per meetpunt de gemiddelde waarde van de piekwaarden van deflectie van de drie deflectiesensoren op de voetplaat
- bepaal van de meetklappen 4, 5 en 6 de gemiddelde waarde van de gemeten waarden van de contactspanning
- normaliseer de deflectieniveaus uit de eerste analysestap naar het gemiddelde spanningsniveau uit de tweede stap onder gebruikmaking van lineaire interpolatie
- bepaal de gemiddelde waarde van het deflectieniveau van de drie meetklappen
- bepaal per meetpunt de dynamische vervormingsmodulus als volgt:

$$E_{vd} = 1{,}5 \cdot a \cdot \frac{\sigma_i}{d_i}$$

waarbij E_{vd} = Dynamische vervormingsmodulus van meetklap i (MPa)
a = Straal voetplaat (mm)
σ_i = Contactspanning van meetklap i (MPa)
d_i = Centrumdeflectie van meetklap i (mm)

2.3.1 vervormingsmodulus

Momenteel zijn nog geen algemeen bruikbare minimum acceptatiewaarden voor de dynamische vervormingsmodulus bekend. Van de statische vervormingsmodulus E_{v2} daarentegen zijn uit de Duitstalige literatuur tal van referentiewaarden voorhanden. Op basis van vergelijkingsonderzoeken [1, 2] heeft Kiwa KOAC een omrekening opgesteld om uit de dynamische vervormingsmodulus E_{vd} de waarde van de statische vervormingsmodulus E_{v2} te bepalen.

$$E_{v2} = c_1 \cdot E_{vd} + c_2$$

waarbij c_1 = Constante (-)
c_2 = Constante (MPa)

Er zijn geen bruikbare correlatiedata beschikbaar om uit de dynamische plaatbelastingsproef een betrouwbare schatting te kunnen doen van de verhouding E_{v1}/E_{v2}.

Tabel 1 toont een voorbeeld van de uitwerking van een serie meetpunten. Tabel 2 presenteert het gemiddelde, de standaardafwijking en de variatiecoëfficiënt voor de meetpunten. Bij de standaarduitwerking van de meetdata wordt ook een grafiek met de waarden van dynamische en statische vervormingsmodulus afgebeeld. Deze grafiek geeft snel inzicht in de spreiding van resultaten over de lengte van een meetvak.

2.3.3 Beddingsgetal k

Op basis van tal van proefprojecten heeft Kiwa KOAC een relatie vastgesteld tussen de dynamische vervormingsmodulus en het beddingsgetal k, beide met dezelfde plaatdiameter. De relatie heeft de volgende basisvorm:

$$k = c_3 \cdot E_{vd} + c_4$$

waarbij	k	=	Beddingsgetal voor plaatdiameter van 300 mm (N/mm^3)
	E_{vd}	=	Dynamische vervormingsmodulus voor plaatdiameter van 300 mm (MPa)
	c_3	=	Constante (-)
	c_4	=	Constante (N/mm^3)

Tabel 3 toont een voorbeeld van de uitwerking van een serie meetpunten. Tabel 4 presenteert het gemiddelde, de standaardafwijking en de variatiecoëfficiënt. Bij de standaarduitwerking van de meetdata presenteert Kiwa KOAC ook een grafiek met de waarden van het beddingsgetal voor de plaatdiameters 300 mm en 762 mm (zie figuur 5). Deze figuur geeft een snel inzicht in de spreiding van resultaten over de lengte van een meetvak. De in de literatuur voorkomende grenswaarden hebben altijd betrekking op een plaatdiameter van 762 mm.

3 Referenties

1 Vergleichsversuche zwischen der statische und dynamischen Plattendruckprüfung. Landesmaterialprüfamt Sachsen-Anhalt, Abt. Zentrallabor des Straßenwesens Magdeburg. Magdeburg, Oktober 1992.

2 Empfehlungen für die Beurteilung des Ergebnisse des Dynamische Plattendruckversuches im Vergleich zur Verdichtungsprüfung und zum statischen Plattendruckversuch. PEBA Prüfinstitut für Baustoffe GmbH. Berlin, 1993.

Meetresultaten plaatbelastingsproef **Tabel 1**

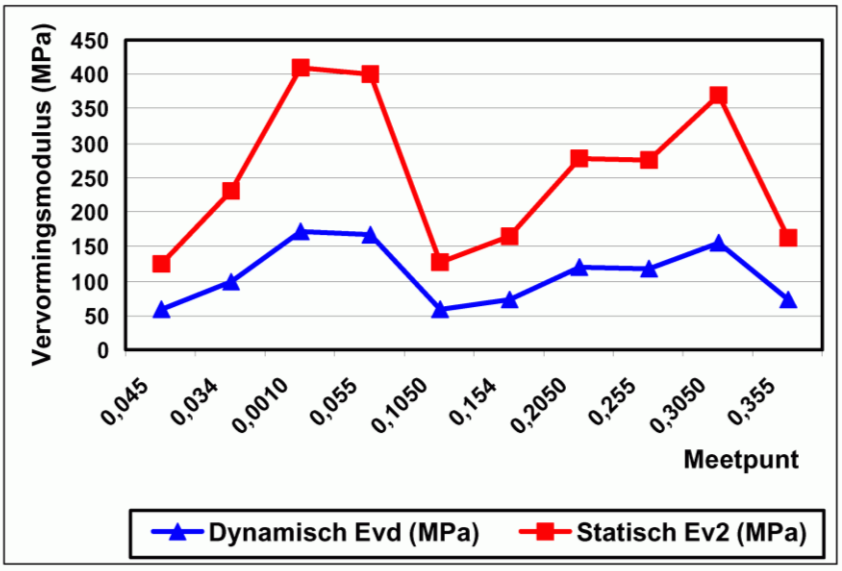
Projectnummer : e03999

Klap	Spanning (kPa)	Gemiddelde deflectie (µm)	Evd centrum (MPa)	Evd plaat (MPa)	Ev2 (MPa)
Meetpunt	0,045		58	58	125
4	148	876			
5	148	858			
6	149	853			
gemiddelde	148	862			
Meetpunt	0,034		151	100	230
4	150	334			
5	150	337			
6	150	335			
gemiddelde	150	335			
Meetpunt	0,0010		309	172	410
4	150	165			
5	150	165			
6	150	162			
gemiddelde	150	164			
Meetpunt	0,055		300	168	400
4	154	173			
5	154	173			
6	154	172			
gemiddelde	154	173			
Meetpunt	0,1050		60	59	128
4	149	847			
5	150	842			
6	149	834			
gemiddelde	149	841			
Meetpunt	0,154		94	74	165
4	151	544			
5	151	544			
6	151	541			
gemiddelde	151	543			
Meetpunt	0,2050		192	119	278
4	151	265			
5	151	266			
6	152	266			
gemiddelde	151	266			
Meetpunt	0,255		191	118	275
4	152	268			
5	152	269			
6	152	269			
gemiddelde	152	269			
Meetpunt	0,3050		273	156	370
4	151	187			
5	152	189			
6	152	187			
gemiddelde	152	188			
Meetpunt	0,355		91	73	163
4	150	558			
5	151	557			
6	150	550			
gemiddelde	150	555			

Meetresultaten plaatbelastingsproef **Tabel 2**
Samenvatting
Projectnummer : e03999

Opdrachtgever:	demo
Meetlocatie:	Noord
Type verharding:	250 mm HO-slakken op zandbed op klei
Weersomstandigheden:	droog, voorgaande dagen regen
Luchttemperatuur (°C):	5 °C
Meetdatum:	04-feb-03
Meettechnicus:	xx
Straal voetplaat (mm):	225

Meetpunt	Dynamisch Evd (MPa)	Statisch Ev2 (MPa)
0,045	58	125
0,034	100	230
0,0010	172	410
0,055	168	400
0,1050	59	128
0,154	74	165
0,2050	119	278
0,255	118	275
0,3050	156	370
0,355	73	163
gemiddelde	**110**	**254**
standaardafwijking	**44.1**	**110.3**
variatiecoëfficiënt	**40.1%**	**43.4%**

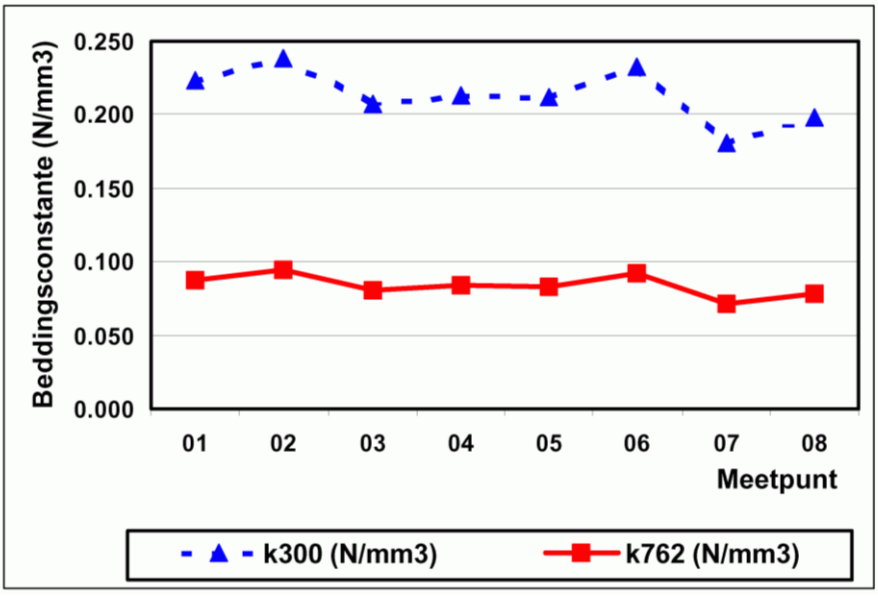


Meetresultaten plaatbelastingsproef **Tabel 3**

Projectnummer : e03888

Klap	Spanning (kPa)	Gemiddelde deflectie (µm)	k300	k762
Meetpunt	01		0.223	0.088
4	136	557		
5	135	526		
6	136	538		
gemiddelde	136	540		
Meetpunt	02		0.238	0.094
4	133	465		
5	132	460		
6	130	443		
gemiddelde	132	456		
Meetpunt	03		0.207	0.081
4	127	641		
5	128	613		
6	128	565		
gemiddelde	128	606		
Meetpunt	04		0.213	0.084
4	124	603		
5	123	528		
6	124	505		
gemiddelde	124	545		
Meetpunt	05		0.212	0.083
4	131	627		
5	131	585		
6	131	545		
gemiddelde	131	586		
Meetpunt	06		0.233	0.092
4	127	484		
5	128	453		
6	130	451		
gemiddelde	128	463		
Meetpunt	07		0.181	0.071
4	121	917		
5	123	830		
6	123	743		
gemiddelde	122	830		
Meetpunt	08		0.198	0.078
4	126	713		
5	127	672		
6	128	641		
gemiddelde	127	675		
Meetpunt				
gemiddelde				
Meetpunt				
gemiddelde				

Meetresultaten plaatbelastingsproef **Tabel 4**
Samenvatting
Projectnummer : e03888

Opdrachtgever:	demo
Meetlocatie:	Noord
Type verharding:	250 mm HO-slakken op zandbed op klei
Weersomstandigheden:	droog, voorgaande dagen af en toe regen
Luchttemperatuur (°C):	8 °C
Meetdatum:	14-feb-03
Meettechnicus:	xx
Straal voetplaat (mm):	150

Meetpunt	k300 (N/mm3)	k762 (N/mm3)
01	0.223	0.088
02	0.238	0.094
03	0.207	0.081
04	0.213	0.084
05	0.212	0.083
06	0.233	0.092
07	0.181	0.071
08	0.198	0.078
gemiddelde	**0.213**	**0.084**
standaardafwijking	**0.0186**	**0.0075**
variatiecoëfficiënt	**8.7%**	**8.9%**