

75 jaar samendrukking in het veen

Wat wij nu nog van Keverling Buisman kunnen leren (2)

Ir. Jan Heemstra
projectleider in ruste
belast met het toegankelijker
maken van archief van
Deltares Unit GeoEngineering



Een vervolg op De betekenis van klassieke matrassen in de wegenbouw voor de paalmatras van vandaag, april 2008 in GeoKunst verschenen. Bij het eerste artikel lag het accent op de vergelijking tussen het rijzen bed en de paalmatras.



Figuur 1 – Zandaanvoer 1903 FOTO AFKOMSTIG VAN STREEKARCHIEF MIDDEN-HOLLAND INVENTARISNUMMER 54916, UITG. S. & W.N. VAN NOOTEN, SCHOONHOVEN (NO. 226).

Keverling Buisman beschrijft in zijn leerboek *Grondmechanica* onder meer zijn theorie met betrekking tot het seculair (= eeuwig) effect. Hij leidt dit effect af uit laboratoriumproeven en proefvakken. Keverling Buisman merkte in 1940 op dat seculaire zettingen voortgang vinden gedurende een periode van voorlopig nog onbekende, doch waarschijnlijk belangrijke duur. Inmiddels zijn we ongeveer 25000 dagen verder. Wat valt er van deze proefvakken nu nog te achterhalen en wat kunnen we ervan leren?

Keverling Buisman leidt zijn theorie met betrekking tot het seculair (= eeuwig) effect af uit laboratoriumproeven maar beschrijft ook 'Eenige in het terrein waargenomen zettingsverlopen'. Het betreft:

1. Weg-proefvak van den Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland in den Krimpenerwaard
2. Proefvak Rijksweg No. 12 bij km 31.3
3. Zettingen van een op een goed doorlatenden ondergrond rustend samendrukbaar terrein, waarbij in den zandondergrond gedurende eenige maanden eene verlaging van de waterspanningen door bronbemaling werd teweegge-bracht
4. Zetting van een 7 m dik kleipakket onder een zandophoging (Amstelstation, Amsterdam)

Aan de als derde genoemde studie naar het zettingsverloop onder invloed van een tijdelijke bemaling (welke voor de schutsluis in Vreeswijk werd

uitgevoerd) kunnen wij nu, na 75 jaar, niets meer toevoegen. De bemaling daar was immers maar tijdelijk.

Over de zetting bij het Amstelstation (punt 4) is medio jaren vijftig door Geuze (LGM Mededelingen II no 4 (1958)) het één en ander gepubliceerd. Pogingen om nu nog iets aan de metingen van toen te kunnen toevoegen zijn op niets uitgelopen: Deltares beschikt niet over latere metingen en ook in Amsterdam was niets meer te vinden. Een poging in de archieven van ProRail de betreffende oude stukken te achterhalen heeft evenmin resultaat opgeleverd.

Van de eerste twee proefvakken, beide nabij Gouda, is het echter wel mogelijk gebleken nu nog aanvullende gegevens te verzamelen.

Waar km 31.3 van Rijksweg 12 precies heeft gelegen weten we niet, maar op grond van de huidige kilometrering is de omgeving van Gouda niet onwaarschijnlijk. De huidige Burgemeester Jamesingel werd, in de tijd dat autosnelweg A12 er nog niet lag, aangelegd als toegangsweg naar Gouda als een onderdeel van Rijksweg 12. Van die weg zijn er zakbaakgegevens die beginnen in de jaren dertig. Aangenomen is dat deze gegevens horen bij hetzelfde proefvak als beschreven door Keverling Buisman.

Dit proefvak, aangelegd op een rijzen bed, is inmiddels de locatie van het plan Spoorzone waarover in de pers en op Wikimedia het nodige te vinden is.

Een rijzen bed is een zinkstuk gevlochten van wilgentenen (rijshout) dat werd ingewaterd met zand. Rijzen bedden werden al heel lang toegepast in de dijkbouw. Ook bij de aanleg van de eerste spoorlijn in Nederland, van Amsterdam naar Haarlem, in 1839, is gebruik gemaakt van een rijzen bed. Het rijzen bed diende om horizontale vervormingen van de grond tegen te gaan, maar het voorkwam ook dat doorpersen optrad.

Er is maar een beperkte hoeveelheid gegevens van het proefvak van rijksweg 12 over. Uit die gegevens kan, zij het met enige onzekerheid, worden afgeleid dat oorspronkelijke hoogte van de onderkant van het rijzen bed ongeveer NAP – 4,65 m moet zijn geweest. In 1938 was volgens het leerboek van Keverling Buisman 1,4 m zakking opgetreden. Het pakket zand met rijzen bed was ruim 4 m dik en de bovenkant van de ophoging moet toen op circa NAP – 2 m hebben gelegen, dat wil zeggen maar net boven het polderpeil.

Wat er net voor of net na de oorlog aan extra ophoging is uitgevoerd is niet meer na te gaan. Van 1946 tot 1950 is de hoogte echter nauwkeurig gemeten. In die periode zakte het wegdek grofweg van NAP – 1,2 m naar NAP – 1,4 m. Er moet bijgevolg een tussentijdse ophoging hebben plaatsgevonden van naar schatting 0,75 m netto (ongeveer 1 m bruto). De totale hoogte van zand met rijzen bed was dan bij benadering 5 m.

In 2006 is ongeveer op dezelfde plaats geboord. De onderkant van het rijzen bed lag toen op diepten variërend van NAP – 6,84 m tot NAP – 7,18 m, gemiddeld ongeveer NAP – 7 m.

De dikte van zandpakket en rijzen bed samen varieert nu op de onderzochte locaties van 5,5 tot 6 m. De weg ligt nu bij benadering op een hoogte van NAP - 1,25 m en de dikte van rijzen bed en zand



Figuur 3 – Memo november 1948 betreffende aantasting koppen meetpunten door rot.



Figuur 4 – Aanprikken van het 75 jaar oude rijzen bed ter plaatse van het proefvak Stolwijk In 2009. Deze weg is ten opzichte van de oude weg iets naar links opgeschoven en ligt nu gedeeltelijk op de vroegere trambaan. FOTO DELTARES

aangroei en vervorming door kruip discutabel: wanneer begint de kruip, gelijk met, tijdens of na de consolidatie. Over dit probleem wordt verschillend gedacht. Op de heel lange duur maakt het echter niets meer uit.

Aan de zakbaken van het proefvak Stolwijk zijn de laatste metingen gedaan op 12 mei 1949.

Toen waren de zakbaken verrot, zoals blijkt uit een memo van de Provinciale Waterstaat in *figuur 3*.

Aan de hand van metingen van de hoogte van het wegdek is het zettingsverloop nog tot enkele jaren daarna nog wel met redelijke betrouwbaarheid te volgen, maar als gevolg van onderhoudswerkzaamheden gaat dat maar een paar jaar goed.

De hoogte van het rijzen bed blijft echter een betrouwbare indicator voor de zetting van de weg, in het veen blijft het bed goed geconserveerd. Uit de bestaande gegevens kan ook nu nog worden afgeleid waar de onderkant van het rijzen bed destijds heeft gelegen.

Daarom was de kans uniek aan die hoogte in 2009, vijfenzeventig jaar na de aanleg, opnieuw te kunnen meten (*figuur 4*).

Het verschil tussen de werkelijke en de geschematiseerde ophoging in *figuur 5* is minder dramatisch dan het op het eerste gezicht lijkt. Het verschil zit voornamelijk in het tempo waarin de ophoging de eerste 14 dagen is aangebracht. Hoe dat werkelijk gedaan is, is onbekend.

De ophoging in werkelijkheid is getekend als nihil op dag nul en op hoogte op de 1e dag waarvan bekend is dat de ophoging was aangebracht en daartussen lineair geïnterpoleerd. Voor de geschematiseerde ophoging werkt het gemakkelijker met een blokvormige last, die enige tijd constant is. In feite zijn die eerste 14 dagen op het totaal van 75 jaar nagenoeg niet van belang. Wel belangrijk is de zetting die na het aanbrengen van een extra ophoging na 9000 dagen (in 1952) optreedt. In

Tabel 1 Schematisatie grondeigenschappen voor de handberekening

Gegevens	[m tov. NAP]	Consolidatie Coëfficiënt [m ² /s]	volumiek gewicht [kN/m ³]	samendrukkingsconstante C' Terzaghi	primair aandeel	samendrukkingsconstanten			stijghoogten [m tov. NAP]	Over Consolidation Ratio / Beginsit.
						RR	CR	C _α		
maai veld	op -1,6				60%					
hollandveen	tot -1,92	0,000005	10,5	2,75		0,071769	0,532525	0,050909	x1 0,7	2,14522
hollandveen	tot -3,92	0,000005	10,5	2,75		0,071769	0,532525	0,050909	x2 -1,92	2,14522
hollandveen	tot -5,92	0,000005	10,5	2,75		0,071769	0,532525	0,050909	y2 -1,92	2,14522
hollandveen	tot -7,3	0,000005	10,5	2,75		0,071769	0,532525	0,050909	x3 -11,35	2,14522
veen kleiig	tot -8,2	0,000005	12,5	5		0,039473	0,292889	0,028	y3 -1,92	2,14522
klei	tot -8,7	0,000005	15	6		0,032894	0,244074	0,023333		2,14522
veen kleiig	tot -9,2	0,000005	12,5	5		0,039473	0,292889	0,028		2,14522
hollandveen	tot -11,25	0,000005	10,5	3,5		0,05639	0,418413	0,04		2,14522
klei	tot -11,3	0,000005	15	6		0,032894	0,244074	0,023333		2,14522

N.B. C' is geschat; andere samendrukkingsconstanten zijn afgeleid uit de opgegeven verhouding primair aandeel vs totaal.
Rr is geschat uit de opgegeven verhouding CR/RR.
C_α is geschat.
OCR is berekend.

Tabel 2 Aangepaste eigenschappen MSettle berekening

Gegevens	[m tov. NAP]	consolidatie coëfficiënt [m ² /s]	volumiek gewicht [kN/m ³]	zettingsparameters			pre overburden pressure POP
				a	b	c	
maai veld	op -1,6						
hollandveen	tot -1,92	4,70E-07	10,44	4,40E-02	2,96E-01	2,50E-02	5
hollandveen	tot -3,92	4,70E-07	10,44	4,40E-02	2,96E-01	2,50E-02	5
hollandveen	tot -5,92	4,70E-07	10,44	4,40E-02	2,96E-01	2,50E-02	5
hollandveen	tot -7,3	4,70E-07	10,44	4,40E-02	2,96E-01	2,50E-02	5
veen kleiig	tot -8,2	3,10E-08	11	4,50E-02	2,60E-01	1,70E-02	5
klei	tot -8,7	6,90E-09	14,73	2,90E-02	1,28E-01	7,00E-03	5
veen kleiig	tot -9,2	3,10E-08	11	4,50E-02	2,60E-01	1,70E-02	5
hollandveen	tot -11,25	4,70E-07	10,44	4,40E-02	2,96E-01	2,50E-02	5
klei	tot -11,3	6,90E-09	14,73	2,90E-02	1,28E-01	7,00E-03	5

figuur 5 is het meetresultaat weergegeven. Waarom zijn die metingen nu zo belangrijk, op welke vragen kunnen ze ons een antwoord geven? Belangrijke vragen zijn:

- Hoe is het vervormingsverloop tijdens de consolidatie nu werkelijk?

- is de seculaire zakking spanningsafhankelijk of is er alleen een spanningsonafhankelijke, secundaire zetting?

Deze metingen zijn in 1e instantie vergeleken met een handmatige berekening met de isotachenmethode op basis van geschatte parameters. De zowel ten gevolge van consolidatie als ten gevolge van onder water zakken telkens veranderende belasting maakt een handberekening nogal lastig. Bovendien constateerde Keverling Buisman bij de aanleg van zijn proefvak dat de hydrodynamische periode (circa 8 weken) erg kort was ten opzichte van wat hij op grond van samendrukkingsproeven verwachtte (jaren). Van veen is echter bekend dat de doorlatendheid bij het toenemen van de belasting afneemt, zodat de hydrodynamische periode bij het toenemen van de effectieve spanningen belastingen niet constant is maar ook steeds groter wordt.

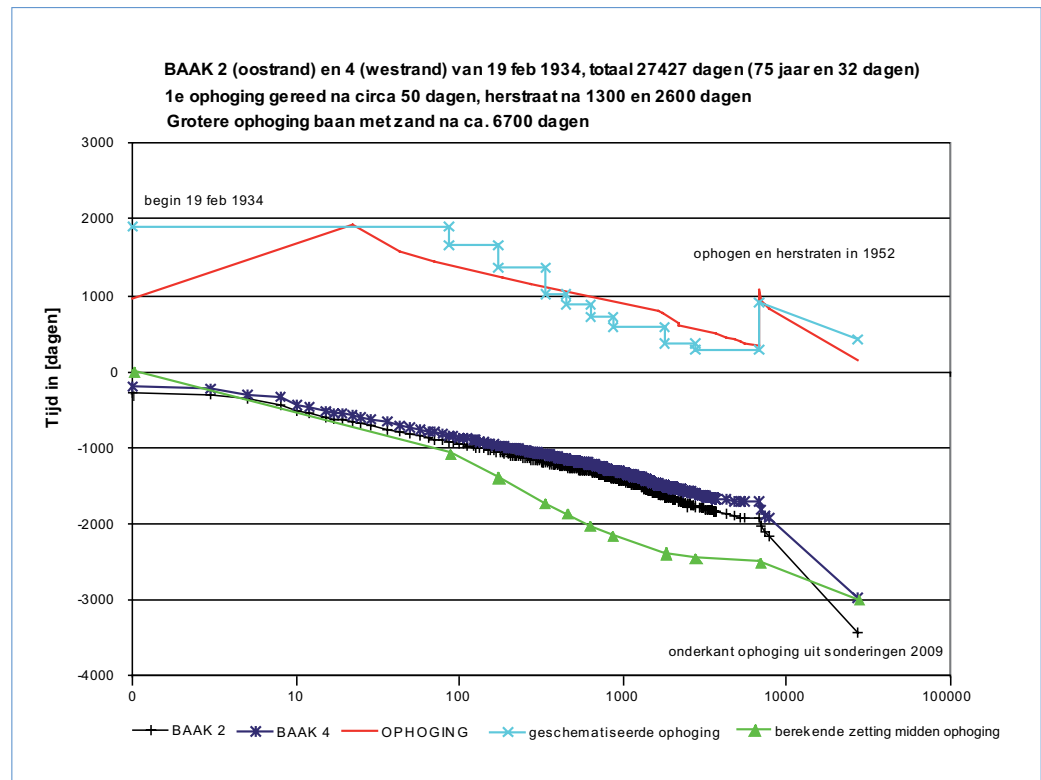
Bij een handberekening is het vrijwel ondoenlijk rekening te houden met een telkens veranderende consolidatiecoëfficiënt. Wel kan gerekend worden met een gefaseerde belasting, ook als die belasting uit een groot aantal fasen bestaat. Omdat in de handberekening gebruik gemaakt is van een lineair elastisch rekenmodel waarbij het verloop van de vervorming tijdens de consolidatie als functie van de tijd beschreven wordt (consolidatieverloop volgens Terzaghi), werd het verloop van de vervorming volgens Terzaghi als net zo representatief voor het verloop van de spanningstoename tijdens de consolidatie beschouwd. Daarmee wordt het toch mogelijk het verloop van de aangroei van de effectieve spanningen te schatten.

Omdat de locatie van de meetpunten vanwege de verkeersveiligheid niet exact in de as van het proefvak kon worden gekozen moet met een kleine correctie rekening worden gehouden (circa 10% op de berekende maximum zakking ter plaatse van de as).

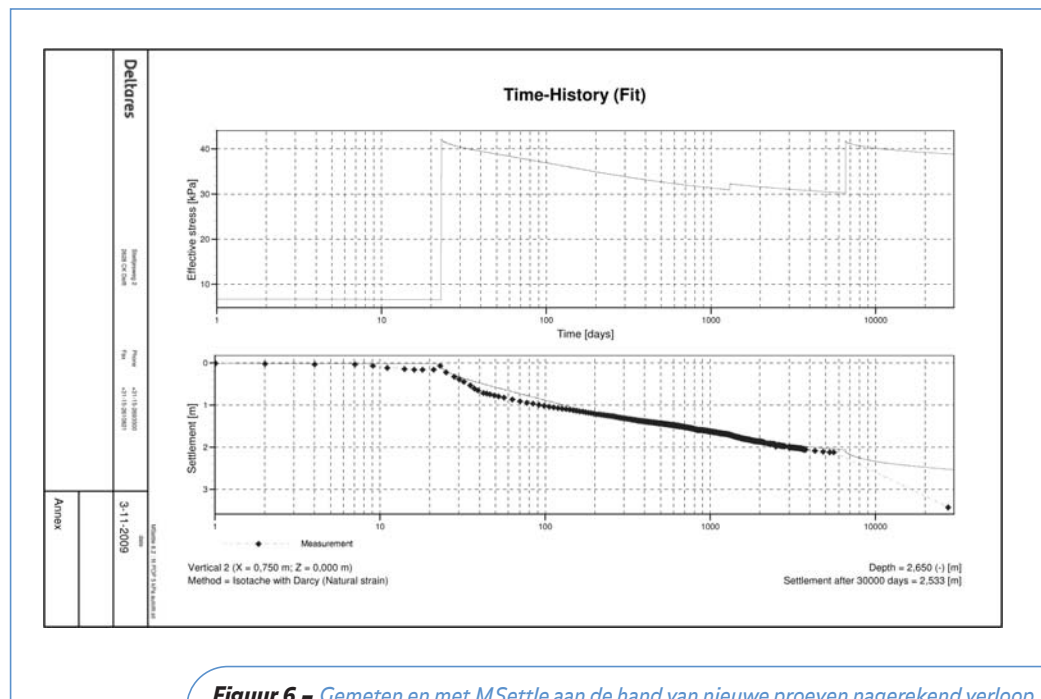
Het resultaat is ook afgebeeld in figuur 5. Het is niet geheel bevredigend omdat de zakking gedurende de eerste 10.000 dagen achterblijft bij de gemeten zakking en de zakking na het aanbrengen van een nieuwe belasting na 10.000 dagen relatief groot is. Zie tabel 1.

In figuur 6 zijn de uitkomsten van een fitberekening met MSettle weergegeven. Voor deze fit is gebruik gemaakt van de eigenschappen die zijn afgeleid uit nieuwe proeven van monsters onder de weg die bij het onderzoek voor het aanpakken van het rijden bed zijn verzameld. Zie tabel 2.

Hierbij moet worden bedacht dat het gedrag van monsters onder de weg nu niet meer hetzelfde is als dat van de onbelaste grond destijds. Daarom moet met de eigenschappen worden 'gefit'. Het geme-



Figuur 5 – Ophoging, geschematiseerde ophoging en meetuitkomsten na 75 jaar. Meetpunten juist naast de huidige weg, vanwege verkeerstechnische beperkingen niet exact in de as van het oorspronkelijke proefvak. In deze figuur is tevens in groen het resultaat van de handberekening weergegeven.



Figuur 6 – Gemeten en met MSettle aan de hand van nieuwe proeven nagerekend verloop.

ten en het uiteindelijk zo berekende verloop sluiten op de langere duur wel goed aan, maar het verloop tijdens de hydrodynamische periode is nog niet helemaal passend te krijgen. Verder is de gemeten zakking die na de reconstructie van de weg circa 15 jaar na het begin van het ophogen is opgetreden

aanzienlijk groter dan uit de berekening volgt.

Vergelijking van de meetresultaten met de berekende uitkomsten leidt ook hier tot de conclusie dat de zakking ten gevolge van onderhoudsaanvullingen op de lange termijn nogal groot is. Uit

verhalen van een regelmatige gebruiker van deze weg (dorpsarts) uit de jaren vijftig en zestig was al eens gebleken dat de weg zeer regelmatig onderhoud behoeftte, dit in tegenstelling tot de op palen gefundeerde Centrale Ontsluitingsweg van de Krimpenerwaard in die tijd.

Na 75 jaar zijn er echter maar van één tijdstip meetgegevens. Een zakkingsverloop is niet uit een enkele meting af te leiden. Voorsnog blijft het de vraag of het de primaire of de seculaire zakking is die bij de hogere belasting groter is dan verwacht. Het zou kunnen zijn dat de grootte van de seculaire vervorming bij grotere belastingen groter is dan bij kleinere belastingen. Dat zou dan geheel in lijn zijn met de theorie van Keverling Buisman en Koppejan (spanningsafhankelijke seculaire samendrukkingsconstante) maar het zou niet stroken met de nu gangbare zakkingsmodellen (spanningsonafhankelijke seculaire samendrukkingsconstante). De tijd moet het ons leren. Als de seculaire vervormingsnelheid inderdaad spanningsafhankelijk zou zijn, heeft Buisman het destijds zo gek nog niet bekeken.

Parameters

a	helling van de isotach bij voorbelast gedrag
b	helling van de isotach bij niet-voorbelast gedrag
c	afstand tussen twee isotachen
α_p	primaire samendrukkingsconstante volgens Buisman (gebaseerd op lineaire relatie)
α_s	seculaire samendrukkingsconstante volgens Buisman (gebaseerd op lineaire relatie)
C_p	primaire samendrukkingsconstante volgens Buisman Koppejan
C_s	seculaire samendrukkingsconstante volgens Buisman Koppejan
C_α	secundaire samendrukkingsconstante, helling van de asymptoot van de log t curve volgens Casagrande
c_v	consolidatiecoëfficiënt
z	zakking
z_s	seculaire zakking
h	laagdikte
h_0	laagdikte in de begintoestand
ϵ	rek
ϵ_s	seculaire rek
t	tijd in dagen
t_{eind}	tijd waarin de 'rust' of 'eind'toestand wordt bereikt, gewoonlijk 10.000 dagen

m_v	samendrukkingsconstante gebaseerd op lineair elastisch verband tussen spanning en vervorming
p_0	oorspronkelijke korrelspanning
p_g	grensspanning
Δp	spanningstoename
OCR	over consolidation ratio: verhouding tussen grensspanning en oorspronkelijke korrelspanning

Literatuur

- Keverling Buisman, A.S. *Grondmechanica*, Waltman 1940, heruitgave A.A. Balkema (Rotterdam Brookfield 1996).
- Geuze, E.C.W.A. *Terreinzettingen onder invloed van een bovenbelasting*, LGM Mededelingen II no 4 (Delft 1958).
- Koppejan, A.W. *A Formula Combining the Terzaghi Load Compression Relationship and the Buisman Secular Time Effect*, Proc. 2e Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering (Rotterdam 1948).
- Casagrande, A. and Fadum, R. E. *Notes on Soil Testing for Engineering Purposes*, Harvard Graduate School of Engineering, Soil Mechanics Series, No. 8, 1940. ●

BMNED is een onafhankelijk, Europees opererend ingenieursbureau met specialisaties in:

- Geotechnische en civiele constructies
- Staal-, hout- en betonconstructies
- Geotechnische veldwerkzaamheden
- Bouwmanagement



www.bmned.com

Uw civiel- en bouwtechnisch ingenieursbureau!



www.gsned.com

Uw beste maat als het om grond en water gaat!

GSNEED is gespecialiseerd in alle soorten grond-, weg-, en waterbouwwerken.

Rooseveltlaan 8
4536 GZ Terneuzen
Postbus 326
4530 AH Terneuzen
T: +31 115 620 927
F: +31 115 623 678
info@bmned.com
info@gsned.com