

10.11-60 (2)

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Second opinion invloedsgebied zandwininput Den Oord

9 juni 2000

opdrachtgever: Rijkswaterstaat Directie Utrecht
W-DWW-2000-040
opsteller: B.G.H.M. Wichman

19 OKT. 2001

B I D O C
(bibliotheek en documentatie)



Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
Tel. 015 - 2518 363/364

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	4
1. Achtergrond	5
2. Toetsing geometrie ZW deel van ontgroning	6
3. Nadere beoordeling zettingsvloeiingsgevoeligheid: criteria	7
4. Nadere beoordeling zettingsvloeiingsgevoeligheid: resultaten	8
5. Selectie locaties met mogelijke zettingsvloeiing	10
6. Gevolgen van locale zettingsvloeiingen	11
7. Advies t.a.v. zettingsvloeiing	12
8. Advies t.a.v. zettingen van de Lekdijk	13
Referenties	14
Figuren	

SAMENVATTING

Door de firma Emdout C.V. is bij de Provincie Utrecht een verzoek ingediend om in Den Oord zand te winnen. Het plan bestaat uit een zandwinput van 35 m diep met een oppervlak van ca. 40 ha. Deze ontgroning heeft mogelijk gevolgen voor de stabiliteit van de nabijgelegen Lekdijk. In opdracht van de Provincie zijn er door Fugro onderzoeken uitgevoerd naar de omgevingseffecten van de put, waar onder een studie naar het mogelijk optreden van zettingsvloeiing in de buurt van de Lekdijk. Tevens zijn er globale berekeningen gemaakt van de te verwachten zettingen in de omgeving.

Rijkswaterstaat Directie Utrecht wenst een nadere onderbouwing van haar advies t.a.v. de realisatie van de zandwinput aan de Provincie. De DWW is gevraagd hiertoe een second opinion te geven op het tot nu toe uitgevoerde onderzoek.

Het advies van de DWW is gebaseerd op een afweging van een aantal criteria, die gebaseerd zijn op relevante literatuur en tevens zijn er deskundigen geraadpleegd. Er blijkt een kleine kans aanwezig te zijn dat er zeer lokaal over een beperkte diepte van 5 m zettingsvloeiing optreedt in de los tot matig dicht gepakte zandlagen. Dit zou gepaard kunnen gaan met het afschuiven van bovenliggende delen van het talud die dicht gepakt zijn. Het meest ongunstige geval is die waarbij de zettingsvloeiing op grote diepte (30-35 m) optreedt met nog een tweede lokale zettingsvloeiing over een hoogte van 5m op geringere diepte.

De resulterende maximale inscharing richting dijk ten gevolge van deze processen is 130 m. De teen van de dijk bevindt zich op 175 m afstand van de rand van de zandwinput. Er is dus nog een marge van 45 m. Wel moet er nog rekening worden gehouden met de (binnen deze marge vallende) invloedsszone van de dijk, i.v.m. stabiliteitsverlies van de dijk.

De door Emdout C.V. voorgestelde taludhelling van overwegend 1:4 wordt voldoende veilig geacht.

De zettingen van de dijk volgens het Fugro-rapport maximaal zijn 5 cm, onder de meest ongunstige hydrologische omstandigheden. Als rekening wordt gehouden met de onzekerheden in de berekening, concluderen wij dat de zettingen zeker niet groter zullen zijn dan 10 cm.

1. Achtergrond

Bij de Provincie Utrecht is door de firma Emdout een verzoek ingediend om een ontgroning te mogen uitvoeren op een locatie Den Oord. Deze locatie is gesitueerd in de gemeente Wijk bij Duurstede en ligt tussen het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek (zie figuur 1). T.g.v. de ontgroning ontstaat een groot meer van ca. 40 ha dat in verbinding staat met het Amsterdam Rijnkanaal. De diepte van de ontgroning zal ca. 35 m bedragen.

De ontgroning heeft mogelijk negatieve gevolgen voor de stabiliteit van de nabijgelegen Lekdijk. De provincie als de vergunningverlener van deze ontgroning heeft RWS directie Utrecht en het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden om advies gevraagd t.a.v. de aanleg van deze ontgroning. Beide hebben een voorlopig gezamenlijk advies uitgebracht. Men raadt de aanleg van de ontgroning af, omdat deze een negatief effect zou hebben op het zettingsvloeiingsgedrag van de Lekdijk. De provincie vraagt een gedegen onderbouwing van dit advies. Directie Utrecht wil dat de DWW bijdraagt aan een betere onderbouwing van het advies. Mogelijk zou dit kunnen leiden tot bijstelling van het advies. Naast een advies t.a.v. zettingsvloeiingen zal ook advies worden uitgebracht over de grootte van de te verwachten zettingen ter plaatse van de Lekdijk.

2. Toetsing geometrie ZuidW est deel van ontgronding

De door Emdout voorgestelde geometrie zoals bijgevoegd bij de ontgrondingsaanvraag van 1999 is getoetst d.m.v. ontwerpregels uit het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [1]. Hierbij is gekeken naar zettingsvloeiing.

Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies

In dit rapport staan een aantal criteria t.a.v. de minimaal vereiste veilige breedte van het voorland en de maximale taludhelling. Deze regels zijn verkregen uit een analyse van in het verleden opgetreden zettingsvloeiingen, m.n. in Zeeland.

De door Emdout voorgestelde geometrie [2] is zowel t.a.v. de breedte van het voorland als de taludhelling niet veilig, indien de gehele zandlaag zettingsvloeiingsgevoelig is. In dit geval kan er zettingsvloeiing optreden indien de gehele taludhelling steiler is dan 1:7.

In het rapport staat ook een criterium t.a.v. de kritieke taludhelling van zettingsvloeiingsgevoelige lagen van minimaal 5 m dikte. Deze kritieke helling is 1:4. Het merendeel van de taludhelling in het door Emdout C.V. voorgestelde ontwerp is 1:4. Als de zandlaag over meer dan 5 m zettingsvloeiingsgevoelig is zou er dus lokaal zettingsvloeiing kunnen optreden.

Om de zettingsvloeiingsgevoeligheid van de zandlaag te beoordelen is er dus een nadere studie nodig.

In het rapport wordt het belang van de droge en natte kritieke dichtheid genoemd. Tevens is de relatieve dichtheid van belang (zie hoofdstuk 3).

3. Nadere beoordeling zettingsvloeiingsgevoeligheid: criteria

Op basis van enig literatuur onderzoek [1], en [3] t/m [10] kunnen de hieronder genoemde criteria worden onderscheiden. De geometrische aspecten zijn hier buiten beschouwing gebleven, aangezien deze in het voorgaande al getoetst zijn. De nummering is van grof naar fijn.

1. oorsprong zandlaag

Zettingsvloeiingen zijn vooral geobserveerd in zandlagen van holocene oorsprong.

De zandlagen bij Den Oord zijn van pleistocene oorsprong. Toch zijn er ook zettingsvloeiingen geobserveerd in zandlagen van pleistocene oorsprong [6] en [11]. Zettingsvloeiingen treden niet op in klei- of veenlagen.

2. relatieve dichtheid

Uit alle literatuur blijkt dat zettingsvloeiingen voor zover bekend alleen optreden in los tot zeer los gepakte zandlagen [1] en [3] t/m [10].

De relatieve dichtheid kan in eerste instantie bepaald worden m.b.v. sonderingen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van correlaties van de conusweerstand met de relatieve dichtheid. Een schatting van de gemiddelde in-situ effectieve spanning is hierbij benodigd. De betrouwbaarheid van de relatieve dichtheid bepaald volgens deze methode is matig, d.w.z. de fout is zeker 14% [12].

Indien het materiaal vrij vaak los gepakt blijkt te zijn dan kan een nauwkeuriger on-site dichtheidsmeting worden uitgevoerd m.b.v. bijvoorbeeld de elektrische dichtheidssonde (GeoDelft). Er moeten monsters worden gestoken t.b.v. de calibratie.

Er kunnen tot slot ook ongeroerde monsters worden gestoken t.b.v. een bepaling van de relatieve dichtheid in het laboratorium. Het bezwaar is dat de dichtheid van de monsters verandert t.g.v. het steken, transport en uitdrukken van de monsters.

3. bepaling korrelverdeling, korrelvorm, soortelijk gewicht en doorlatendheid

De kans op zettingsvloeiing is groot als het zand slecht doorlatend is. Als de korrelverdeling fijn is resulteert dit in een slechtere doorlatendheid.

De doorlatendheid kan ook in het laboratorium op ongeroerde monsters worden bepaald. De kans op afwijkingen t.a.v. de in-situ condities zijn echter groot.

Als de korrelvorm hoekig is dan is de kans op een zettingsvloeiing kleiner. Het is van belang om de gemiddelde korrelgrootte van de zandlagen te vergelijken met die van de Zeeuwse lagen, waarvoor de toesingsregels zijn afgeleid. De D50 van de zandlagen in Zeeland is maximaal 0.2 mm (matig fijn) [mondelinge mededeling ir. J.L. Lindenberg GeoDelft].

Indien de korrelgrootte matig grof is, is de kans op zettingsvloeiing klein, omdat de doorlatendheid goed is, maar ook de gevolgen zijn beperkt, omdat het materiaal gemakkelijk weer sedimenteert.

4. bepaling kritieke dichtheid

M.b.v. triaxiaalproeven op ongeroerde monsters kunnen kritieke dichtheden worden bepaald. Dit zijn echter lastige proeven. De bijbehorende relatieve dichtheden kunnen worden vergeleken met de relatieve dichtheden, zoals verkregen onder punt 2. Als de relatieve dichtheid kleiner is dan de kritieke dichtheid dan zou er zettingsvloeiing kunnen optreden. Om hier een uitspraak over te doen moet er gekeken worden naar de dikte van betreffende laag. Als deze maar enkele meters is, hoeft er geen probleem te ontstaan.

4. Nadere beoordeling zettingsvloeiingsgevoeligheid: resultaten

Voor deze beoordeling is gebruik gemaakt van de resultaten uit het Fugro onderzoek juli-september 1995 [13].

1. oorsprong zandlaag

De betreffende zandlagen bij Den Oord zijn van pleistocene oorsprong. Het zijn echter wel rivierafzettingen. Op verschillende plaatsen in het land zijn soms zettingsvloeiingen geobserveerd bij het ontgraven van dergelijke afzettingen [6] en [11].

2. relatieve dichtheid

In het kader van het Fugro onderzoek van juli-september 1995 zijn een 5-tal elektrische kleeftmantel sonderingen uitgevoerd ter plekke van de ZW-rand van de ontgronding zoals die oorspronkelijk gepland was (zie figuur 1). Later is deze rand ca. 100 meter richting Lekdijk verplaatst. De afstand tussen de sonderingen was ca. 50 m en de diepte was ca. 40 m. Uit het onderzoek blijkt dat de conusweerstand sterk varieert als functie van de diepte. Er zijn lagen van beperkte dikte (2 meter of minder), waar de conusweerstand zo laag is dat hierdoor de relatieve dichtheid in het los gepakte gebied komt te liggen. Er is nagegaan of deze dalen in de conusweerstand mogelijk overeen komen met een ander type grondsoort. Dit is regelmatig het geval. Echter, uit sondering DZKM10 volgt dat er op 18 m diepte een los gepakte zandlaag van 2m dik is. De boring B4 geeft aan dat er kleiinsluitingen zijn. Deze kunnen ook de conusweerstand verlagen. Gezien de beperkte dikte van deze laag is de kans op zettingsvloeiing klein.

Zand dat in het matig dichte gebied valt is niet geheel veilig [mondelinge mededeling ir. J.L. Lindenberg GeoDelft]. Te meer omdat een aanzienlijk deel van de relatieve dichtheden van de monsters bij kritieke dichtheid in het matig dichte gebied valt (zie criterium 4). Er is daarom gekeken naar de laagdikte van de matig dicht en los gepakte zandlagen. Deze laagdikte moet minimaal 5 m zijn, wil er zettingsvloeiing optreden. Tevens moet het talud 1:4 of steiler zijn. Dit is een conservatieve aanname. De boven een zettingsvloeiing gelegen delen die dicht tot zeer dicht gepakt zijn kunnen eventueel afschuiven. De gevolgen van een afschuiving zijn veel beperkter dan die van een zettingsvloeiing, d.w.z. het resulterende talud is veel steiler (helling minimaal 1:8 i.p.v. minimaal 1:20 [1]).

Uit sondering DZKM10 volgt dat tussen 15 en 21 meter een matig tot los gepakte zandlaag aanwezig is. Sonderingen DZKM11 en DZKM12 hebben geen matig dicht gepakte lagen van 5m of dikker. Sondering DZKM13 heeft op 5 en 28 m diepte een matig dicht gepakte zandlaag van 5m dik. Op 6 m diepte zit er een dunne venige kleilaag (0.5 m dik), die het optreden van zettingsvloeiing tegengaat. Sondering DZKM 14 heeft op 3 m diepte een zandlaag van 5 m dik, die mogelijk matig dicht tot los gepakt is. Er zijn geen nauwkeuriger on-site dichtheidsmetingen uitgevoerd.

Er zijn 3 boringen uitgevoerd, waarvan voor in totaal 13 monsters de relatieve dichtheid in het lab is bepaald. De meeste relatieve dichtheden liggen in het matig dichte gebied. Ze liggen vaak aanzienlijk lager dan de relatieve dichtheden uit de sonderingen. Dit zou kunnen worden veroorzaakt door monsterverstoring tijdens het steken van de monsters en transport.

3. bepaling korrelverdeling, korrelvorm, soortelijk gewicht en doorlatendheid

Uit correlaties van doorlatendheid met korrelgrootteverdeling zijn in-situ doorlatendheden afgeleid. Dit zijn 13 waarden. Ook zijn er 6

doorlatendheidsproeven in het lab uitgevoerd. Beide methoden geven aan dat het zand goed doorlatend is (n.l. $k > 0.01$ mm/sec). De k-waarden uit het lab zijn ongeveer een factor 20 lager dan die uit de korrelgrootteverdelingen. Dit zou weer veroorzaakt kunnen worden door monsterverstoringen.

De korrelvorm varieert over het algemeen van matig rond tot matig hoekig. Dit betekent dat het ontstaan van een zettingsvloeiing enigszins wordt belemmerd.

De D50 waarden (gemiddeld rond de 0.3 mm, matig grof tot zeer grof) zijn groter dan de D50 waarden die over het algemeen in Zeeland worden aangetroffen (bovengrens 0.2 mm, matig fijn), wat betekent dat het zand minder zettingsvloeiingsgevoelig is.

4. bepaling kritieke dichtheid

Uit de 3 boringen zijn 8 monsters getest op kritieke dichtheid. 4 van de 8 monsters heeft een relatieve dichtheid in het matig dichte gepakte gebied. De andere 4 in het los gepakte gebied. De relatieve dichtheden die door Fugro bepaald zijn zijn "droog", d.w.z. dat de triaxiaalproef gedraineerd is uitgevoerd. Dit geeft een conservatief criterium dat aan de veilige kant is. Zoals vermeld onder punt 2 zal hier bij het beoordelen van de relatieve dichtheden rekening mee worden gehouden. Er is ook gekeken naar de dikte van potentieel gevaarlijke lagen.

5. Selectie van locaties met mogelijke zettingsvloeiing

Voor de sonderingen DZKM10 t/m 14 zijn de resultaten uit het voorgaande gecombineerd ter plekke van de matig dicht of los gepakte lagen van 5 m dikte of meer, om zo de zettingsvloeiingsgevoeligheid te bepalen. De sonderingen zijn uitgevoerd over een diepte van -5 tot 35 m t.o.v. NAP, corresponderend met de geplande diepte van de zandwinput.

DZKM10 t/m 14 liggen nog in het talud van het huidige ontwerp, ook al is de nieuwe locatie 100 m verschoven t.o.v. de oude locatie. Andere sonderingen die in het westelijk gedeelte van de zandwinput zijn uitgevoerd, zoals DKM7 uit [14] en DKM1 en DKM4 uit [14] geven soortgelijke variaties in bodemopbouw. *Hieruit kunnen we concluderen dat de sonderingen representatief zijn voor het gebied.*

Voor sondering DZKM10 is op 18m diepte t.o.v. NAP in de matig dicht gepakte laag de korrelgrootteverdeling en de doorlatendheid bepaald. De D50 geeft aan dat het materiaal matig grof is. De laag is goed doorlatend. Ook is op 18 m t.o.v. NAP diepte de kritieke dichtheid bepaald. Deze ligt in het matig dicht gepakte gebied, binnen de band met relatieve dichtheden. *Hieruit wordt geconcludeerd dat ter plekke van sondering DZKM10 er tussen 15 en 21 diepte t.o.v. NAP een kleine kans bestaat op zettingsvloeiing.*

Uit sonderingen DZKM11 en DZKM12 volgt dat de matig dicht gepakte zandlagen zijn dunner zijn dan 5 meter. *Hier treedt dus zeker geen zettingsvloeiing op.*

Voor sondering DZKM13 op 6 m diepte t.o.v. NAP is het materiaal zeer grof. Of dit ook zo is voor het resterende deel van de matig dicht gepakte laag valt te bezien. Er bevindt zich een dun kleilaagje (dikte 0.5 m) op 6 m diepte t.o.v. NAP, die het ontstaan van een zettingsvloeiing tegen gaat. De kritieke dichtheid ligt in het los gepakte gebied en ligt binnen de band met relatieve dichtheden. *De conclusie hier is dat er ter plekke van de sondering DZKM13 tussen 5 en 10 m diepte t.o.v. NAP kleine kans bestaat op zettingsvloeiing.*

Op 33 m diepte t.o.v. NAP is het materiaal matig grof tot zeer grof, en goed doorlatend. De in het laboratorium bepaalde doorlatendheid is goed. De kritieke dichtheid ligt enigszins onder de band met relatieve dichtheden. Het verschil is echter niet significant, gezien de onnauwkeurigheid in relatieve dichtheid. *Hier is de conclusie dat er tussen de 28 en 33 meter t.o.v. NAP een kleine kans bestaat op zettingsvloeiing, ter plekke van de sondering DZKM13.*

Voor sondering DZKM14 is er tussen de 3 en de 8 meter t.o.v. NAP een zandlaag die mogelijk matig dicht tot los gepakt is. Er zijn verder geen gegevens. De kans dat het materiaal matig grof is is groot, gezien de bepalingen op de andere locaties. Dit betekent dat het materiaal goed doorlatend zou kunnen zijn. *Conclusie: Ter plekke van DZKM14 is er tussen de 3 en 8 m t.o.v. NAP een kleine kans op een locale zettingsvloeiing.*

6. Gevolgen van lokale zettingsvloeiingen

Als we de bevindingen voor sonderingen DZKM10 t/m DZKM14 combineren dan kan er geconcludeerd worden dat er voor 3 van de 5 locaties er een kleine kans is dat er zettingsvloeiing optreedt en dan nog maar over beperkte diepte van ca. 5 meter.

De gevolgen van dergelijke lokale zettingsvloeiingen moeten in kaart worden gebracht, zodat een advies kan worden gegeven over de gewenste afstand van de zandwinput tot de dijk en de taludhelling. Het door Emdout C.V. ingediende dwarsprofiel [2] aan de zuidwestzijde heeft in het zandige gedeelte een talud van overwegend 1:4 en een diepte van 35 m. De insteek van het talud ligt op ongeveer 175 m uit de teen van de dijk. We veronderstellen voor de onderstaande berekening dat het materiaal over de gehele diepte uit zand bestaat en dat het talud 1:4 is.

Na het optreden van een zettingsvloeiing ontstaat er een overwegend flauw talud, met een minimale helling van 1:20 [1]. Hierbij is de *inscharingslengte* van belang. Dit is de afstand tussen de insteek van de ontgroning voordat er vloeiing optrad en de insteek van het nieuw ontstane profiel.

Volgens formule (5.7.3) uit het rapport Waterkerende grondconstructies [1], is deze inscharingslengte in het meest ongunstige geval gelijk aan de halve diepte waarover de zettingsvloeiing optreedt maal het verschil van de cotangens van de resulterende helling (minimaal 1:20) en de cotangens van oorspronkelijke helling (1:4). Dit geeft een inscharingslengte van maximaal $0.5 \cdot 5 \text{ m} \cdot (20 - 4) = 40 \text{ m}$. De locatie van sondering DZKM13 is het meest ongunstige geval, omdat er op grote diepte (30 tot 35 m) een zettingsvloeiing zou kunnen optreden en ook nog bovendien (5 tot 10 m) een tweede gevoelige laag aanwezig is. De resterende hoogte van 25 m zou kunnen afschuiven, t.g.v. het ondermijnende effect van de zettingsvloeiingen. Voor de inscharingslengte bij afschuiving geldt eenzelfde formule, maar nu met een minimale resulterende helling van 1:8 [1]. Dit geeft voor de inscharingslengte $0.5 \cdot 25 \text{ m} \cdot (8 - 4) = 50 \text{ m}$. De totale inscharingslengte over de gehele diepte wordt nu in het meest ongunstige geval de som van alle inscharingslengten n.l. $2 \cdot 40 \text{ m} + 50 \text{ m} = 130 \text{ m}$. De gebruikte methode is weergegeven in figuur 2. Op de desbetreffende hoogten is steeds uitgegaan van een (fictief) talud van 1:4 dat de opeenvolgende inscharingen met elkaar verbindt.

De insteek van het resulterende profiel is dus in het meest ongunstige geval 130 m richting dijk verschoven en het talud zal overwegend 1:8 zijn.

7. Het advies t.a.v. zettingsvloeiing en afschuiving

Uit hoofdstuk 6 kan geconcludeerd worden dat het door Emdout C.V. ingediende profiel voldoende veilig is aangezien de inscharing 175-130 = 45 meter uit de binnentoe van de dijk ligt en het invloedsgebied van de dijk kleiner is dan 45 m. Aangezien het optreden van een zettingsvloeiing over de gehele diepte erg onwaarschijnlijk is, is de door Emdout C.V. voorgestelde taludhelling van 1:4 voldoende veilig [1].

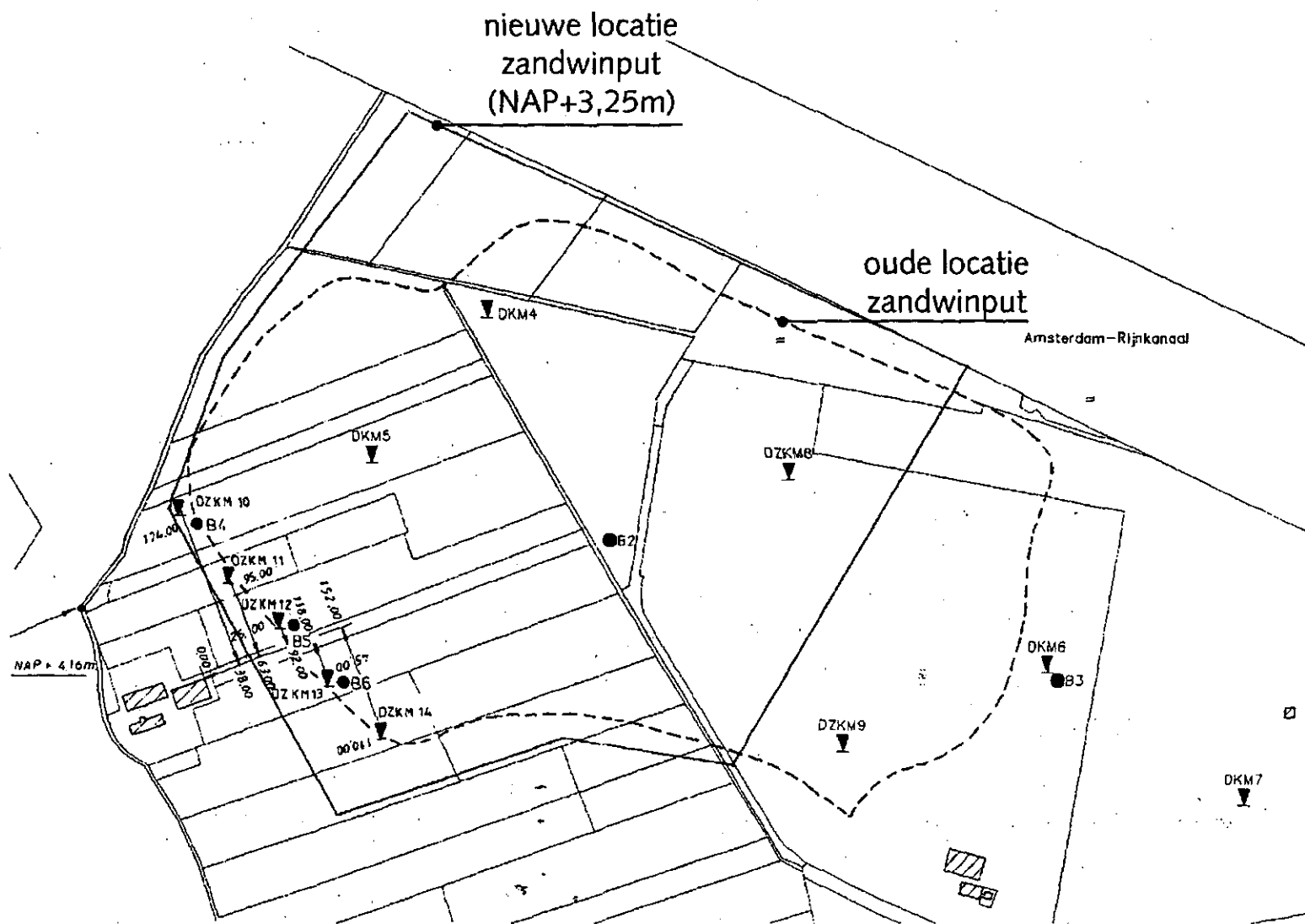
Geadviseerd wordt om in de vergunningverlening vast te leggen dat er in de directe nabijheid van de geplande taluds stapsgewijs wordt ontgraven. De gebruikte sonderingen worden representatief geacht voor het gebied nabij de Lekdijk. Te meer omdat de hier gehanteerde methode zeer veilig is, wordt nader grondonderzoek niet nodig geacht.

8. Advies t.a.v. zettingen van de Lekdijk

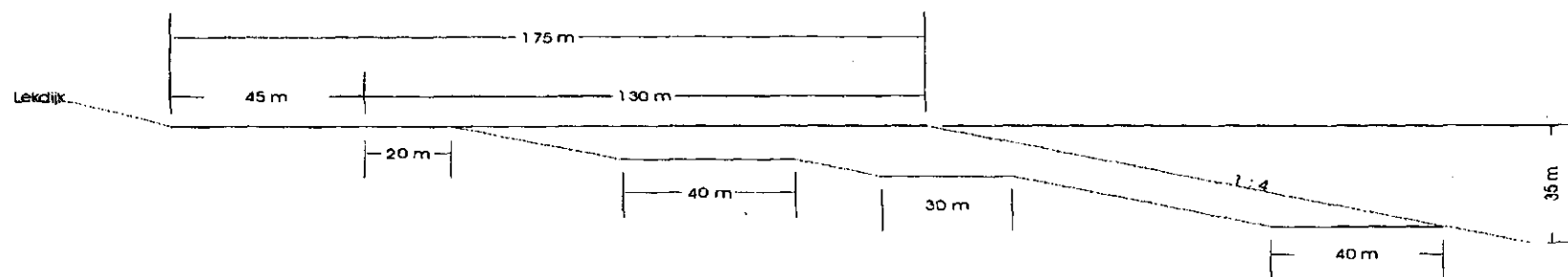
Uit de zettingsberekeningen die Fugro heeft uitgevoerd (zie [15]) volgt dat de zettingen ter plaatse van de dijk maximaal 5 cm zijn, gegeven de meest ongunstige hydrologische omstandigheden. Gezien de onzekerheid in de bodemgesteldheid, grondmechanische parameters e.d. is de nauwkeurigheid van de zettingsberekening beperkt. De zetting zal echter zeer zeker niet groter zijn dan 10 cm.

Referenties:

- [1] Technisch rapport Waterkerende Grondconstructies, Concept, TAW, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, februari 2000.
- [2] Emdout C.V. aanvullende informatie t.b.v. Ontgrondingsaanvraag Den Oord.
- [3] Lindenberg, J.L. (1986) Oevervallen in Zeeland, I²-Bouwkunde en Civiele techniek no. 11.
- [4] Lindenberg, J.L. (1986) Zettingsvloeiingen in het buitenland, I²-Bouwkunde en Civiele techniek no.12.
- [5] Stoutjesdijk, T.P., M.B. de Groot en ir. J.L. Lindenberg (1995) Dieper inzicht in vallen, Land en Water no. 5.
- [6] Stoutjesdijk, T.P., J. Heemstra, C.J. de Swart en M.B. de Groot (1995) Bodemloze put bestaat niet, Land en Water no.10.
- [7] DWWwijzer no. 66 (1995) Zettingsvloeiingen.
- [8] Heemstra, J. en M.B. de Groot (1994) Steeds diepere zandwinning vergroot gevaar zettingsvloeiing, Achtergrond 14 GeoDelft.
- [9] Verwoert, H. (1990) Verweking, vloeiing en mogelijke gevolgen in experimenten en praktijk, verslag van Voorlichtingsmiddag verweking van zand en zettingsvloeiing, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde en GeoDelft.
- [10] CUR-rapport 152, kunstmatig in water opgebouwde zandlichamen.
- [11] Provincie Overijssel (1997) Beperking van risico's op stabiliteitverlies van taluds bij diepe zandwinningen in Overijssel.
- [12] Sladen, J.A. (1989) Problems with interpretation of sand state from cone penetration test, Géotechnique 39, no. 2, 323-332.
- [13] Fugro Ingenieursbureau B.V. (1995) Geotechnisch grondonderzoek en adviezen betreffende zandwinning "den Oord" gemeente Wijk bij Duurstede, onderzoek zettingsvloeiing, opdrachtnummer M-0166/002.
- [14] Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema en Partners B.V. (1996) Resultaten grondonderzoek t.b.v. zandvoorkomen "Den Oord" Wijk bij Duurstede, opdrachtnummer VN-13460.
- [15] Fugro Ingenieursbureau B.V. (1995) Gevolgen geprojecteerde zandwinning "Den Oord" nabij Wijk bij Duurstede voor de omgeving, opdrachtnummer M-0166/001.



Figuur 1 zandwinput Den Oord



Figuur 2: schematische weergave van de gebruikte methode