

BIJLAGE A

IFCO-METHODE

A1. Inleiding

De IFCO-methode is ontwikkeld in een samenwerkingsverband tussen IFCO Funderings-expertise, KWS, Gebr. Van Kessel, Dura Vermeer Infra, BAM NBM Infra en Van Oord ACZ.

Het principe van de methode is gebaseerd op drainage van de slappe lagen door middel van het aanbrengen van zandschermen in combinatie met het creëren van een kunstmatige (extra) bovenbelasting door het verlagen van het freatisch grondwaterpeil en het creëren van een luchtonderdruk in het slappe pakket.

De techniek is inmiddels op vele tientallen plaatsen in Nederland met succes toegepast. Het bouwrijp maken van de 5^e Baan van Schiphol en de eerste fase van de verdubbeling van de A2 nabij Breukelen behoren tot de meest in het oog springende projecten waarbij in enkele gevallen zettingen van circa 2,0 m werden gerealiseerd binnen 30 dagen. Bijkomend voordeel van de methode is dat de kans op het ontstaan van instabiliteit aan de randen van de ophoging (dikwijls veroorzaakt door wateroverspanningen) kleiner is, omdat de verlaagde grondwaterstand en onderdruk (vóór het aanbrengen van de ophoging) zorgen voor een vergroting van de schuifweerstand op deze plaatsen.

Inmiddels zijn er met succes ook projecten uitgevoerd waarbij de zandschermen vanuit een cunet werden geïnstalleerd.

A2. Uitvoering van de methode

A2.1 Installatie en werkingsprincipe

Bij het bouwrijp maken van een terrein volgens de IFCO-methode (Intensief Forceren Consolidatie Ondergrond) worden door een diepdraineermachine hart-op-hart circa 3,0 m circa 0,25 m brede sleuven gefreesd tot een zodanige diepte, dat het pakket samendrukbare lagen vrijwel geheel (zo veel mogelijk) wordt doorsneden, zie figuur A1a. Op de bodem van de sleuf wordt een drain gelegd, waarna de sleuf wordt opgevuld met zand en waarbij de bovenste 0,5 à 1,0 m wordt afgedicht met kleigrond. Dit resulteert erin dat het te behandelen gebied is voorzien van evenwijdige, dunne zandschermen die aan de onderzijde zijn voorzien van een drain. De drains onder in de zandschermen, worden tijdens de installatie aan één zijde opgelengd met een zogenaamd "blind stuk" dat tot boven maaiveld leidt.

Na installatie worden onderin de drains venturipompen geplaatst (zie figuur A1b), die worden aangesloten op een bemalingssysteem. De werking van een venturipomp berust op het rondpompen van water, waarbij de stromingsrichting in het huis van de venturi (abrupt) wordt omgekeerd. Hierbij ontstaan stromingsonderdrukken, waardoor water en lucht uit de omgeving worden aangezogen en met de retourleiding worden afgevoerd. Nadat de grondwaterstand maximaal is verlaagd, wordt door hetzelfde bemalingssysteem lucht

afgepompt, waardoor in de zandschermen een onderdruk kan ontstaan die zich voortplant in de ondergrond. Doordat grond boven water effectief meer weegt dan onder water, levert een verlaging van de grondwaterstand een aanzienlijke belastingverhoging op.



a. schets zandschermen

b. plaatsen Venturi pompen

Fig. A1. IFCO-methode.

De zandsleuven hebben hetzelfde effect als een verticale drainage, zodat de hydrodynamische periode en het daarmee samenhangende verloop van het consolidatieproces aanzienlijk verkort wordt. Door de onderdruk die in de ondergrond wordt gerealiseerd, wordt het zettingsproces nog verder versneld. Bij metingen op diverse (proef)projecten zijn in het veld onderdrukken van circa 30 kPa gemeten en is in het pomphuis een onderdruk van 95 kPa geconstateerd.

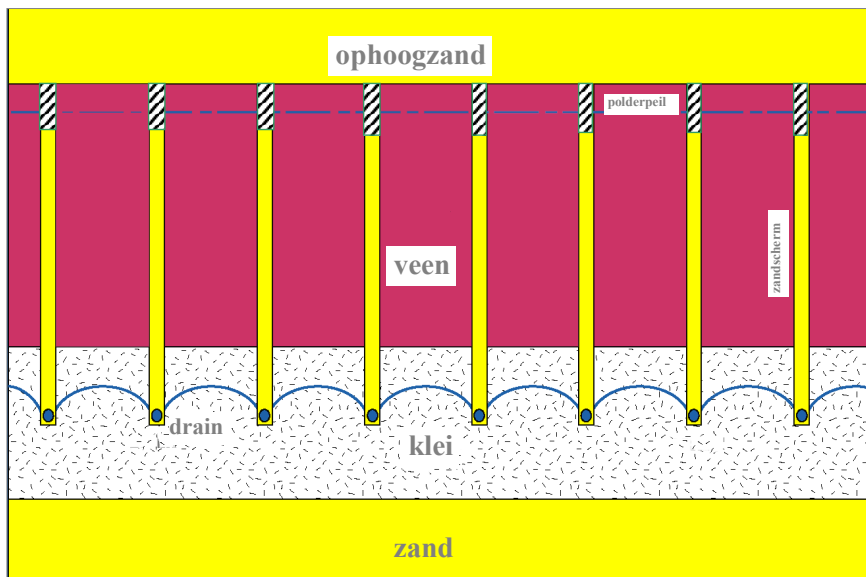


Fig. A2. Schematische dwarsdoorsnede zandschermen.

De IFCO-methode komt er in het kort op neer dat een kunstmatige bovenbelasting op de slappe ondergrond wordt gecreëerd door het installeren van een bemaling waarmee het freatisch peil wordt verlaagd en luchtonderdruk wordt gecreëerd, terwijl de wijze van installeren ervoor zorgt dat het consolidatieproces sneller verloopt, zie figuur A2. Het snellere verloop van het consolidatieproces hangt niet alleen samen met het feit dat de afstroming van het consolidatiewater naar de drainerende elementen (zandschermen) over een kortere weg en horizontaal plaats vindt, maar vooral ook met het feit dat het water daarna niet tegen de zwaartekracht in naar het maaiveld hoeft te stromen, maar juist met behulp van de zwaartekracht afzakt naar de drains van waar het wordt afgevoerd. Bij de in de praktijk toegepaste pomptijden blijft de cohesieve grond hierbij verzadigd met water.

Voor een goede werking van het systeem is het belangrijk dat de zandschermen nergens zijn kortgesloten met watervoerende (tussen)zandlagen. Bij uitvoering en interpretatie van het grondonderzoek dient hieraan voldoende aandacht te worden besteed, opdat de inplanting van de zandschermen hierop goed kan worden afgestemd. Wellicht ten overvloede wordt tenslotte opgemerkt dat na het installeren en opstarten van de IFCO-methode de 'normale' bruto ophoging moet worden aangebracht.

De beperking van het dieptebereik van de diepdrainmachine tot 8,0 m onder het werkplateau betekent niet dat de IFCO-methode niet kan worden toegepast bij grotere diktes van het slappe pakket. Er zijn reeds meerdere succesvolle projecten uitgevoerd bij diktes van het Holocene pakket tot maximaal 12,0 m. Wel zal in dergelijke gevallen telkens apart beoordeeld moeten worden of de methode toepasbaar is. In A3.2 wordt hierop nader ingegaan.

A2.2 Componenten

De IFCO-methode bevat de volgende componenten:

- zandschermen;
- horizontale drains;
- opgaande blinde eindstukken met luchtdichte doorvoervoorzieningen voor venturislangen;
- venturipompen met aan- en afvoerslangen;
- verzamelleidingen op maaiveld;
- pompunits met stroomvoorziening en afvoerleidingwerk.

De blinde eindstukken zijn verbonden aan de horizontale drains en worden over een lengte van circa 5,0 m op de bodem van het zandscherm gelegd alvorens naar het maaiveld te worden geleid. De venturi's met aan- en afvoerslangen worden tot onderin ieder blind stuk aangebracht, waarbij de slangen door een speciaal gemaakte luchtdichte doorvoer worden geleid. De blinde eindstukken zijn versterkt uitgevoerd om dichtdrukken door de met de zetting gepaard gaande bodemdeformaties te voorkomen.

Langs de koppen van de zandschermen, waar alle blinde eindstukken boven komen, wordt de verzamelleiding gelegd, die leidt naar de pompunit. De pompunit wordt aan de rand van het werk geplaatst en bestaat uit een stalen container van circa 2 x 1 x 1 m³ met een waterreservoir met overstort naar de afvoerleiding, een elektrische pomp en de aansturing voor de venturi's. De pompunits worden met behulp van aggregaten voorzien van stroom.

Elke drain opereert als aparte eenheid, zodat in geval van lekkage alleen de onderdruk in één drain wegvalt, terwijl de onderdruk elders in het systeem in tact blijft. Omdat iedere doorvoer een voorziening heeft om de onderdruk te meten en controleren, kan de niet-functionerende drain eenvoudig worden opgespoord om passende maatregelen te treffen.



Fig. A3. Pompunit.

A2.3 Overige uitvoeringsaspecten

Voor de begaanbaarheid wordt, afhankelijk van de bodemgesteldheid, op het te behandelen terrein voorafgaand aan de installatie van de drains een werkplateau van 0,5 à 1,0 m zand aangebracht. Dit zand maakt onderdeel uit van de aan te brengen bruto-ophoging. Het aanbrengen van zandschermen en drains met blinde opgaande stukken, alsmede het aanbrengen van de kleistop gebeurt in één werkgang met een diepdrainmachine (figuur A4) met een gewicht van 45 ton.



Fig. A4. Diepdraineermachine.

Het dieptebereik van de boom van de machine kan tijdens het maken van een scherm zo nodig (geleidelijk) worden aangepast tot maximaal 8,0 m onder de rupsen van de machine. Het zand waarmee de schermen worden gevuld, hoeft niet aan speciale eisen te voldoen, behalve dat de gradering ervan geschikt moet zijn om door het mes van de machine, die voorzieningen ter voorkoming van brugvorming bevat, te kunnen worden ingebracht.

De richting en lengte van de zandschermen worden afgestemd op de plattegrond van het te behandelen gebied, waarbij wordt gestreefd naar maximale uitnutting van de pompunits en maximale scherm lengtes. Daarbij wordt rekening gehouden met de ruimte die nodig is voor het indraaien van de boom en het uitrijden van de machine aan het einde van ieder scherm. Eén pompunit kan maximaal 14 venturi's aansturen, bij een maximum scherm lengte van circa 150 m. Bij smalle wegen worden de schermen over het algemeen evenwijdig aan de as geplaatst, terwijl het bij bredere vakken vaak de voorkeur verdient om ze onder hoek met de as te plaatsen. De schermen kunnen eventueel met een gebogen vorm met ruime straal worden aangebracht. Ook kunnen schermen kruisend worden aangebracht, waarbij ter plaatse van de kruising een verschil in inplantingsdiepte van ten minste 1,0 m wordt aangehouden.

Bij de IFCO-methode komt een hoeveelheid klei- en veengrond beschikbaar bij het aanbrengen van de zandschermen. Het betreft hier de grond die tijdens het graven van de sleuven wordt verwijderd en als een half vloeibare, slib-achtige substantie op het maaiveld achterblijft. Dit materiaal dient naar de zijkanten van de behandelde zone worden weggeschoven om het daar in te laten dikken, waarna het kan worden afgevoerd of opgeslagen om na afloop van de voorbelastingperiode als gronddekking te worden verwerkt.

A2.4 Keuringen, veiligheid, gezondheid

De toegepaste materialen zijn voorzien van een KOMO keurmerk of schone grondverklaring en/of certificaat van herkomst. De werking van het systeem wordt direct na het aanbrengen intern gekeurd, zie omschrijving A4.1. Deze keuringen worden gedurende de voorbelastingperiode regelmatig herhaald. Hierdoor ontstaat direct zekerheid over het functioneren van het systeem. Het machinepark benodigd voor het aanbrengen van het IFCO-systeem voldoet aan de gestelde veiligheidseisen en algemene voorschriften. Zonodig wordt er een Veiligheid en Gezondheidsplan opgesteld.

A2.5 Onderhoud, ontmanteling, vergunningen, milieuaspecten

Onderhoud van het systeem tijdens de werkzaamheden bestaat uit het regelmatig reinigen van de leidingsystemen en pompunits. Tevens vindt er 1 x per week een visuele inspectie plaats en wordt de onderdruk in de drainagestrengen gemeten. Defecte onderdelen en onvolkomenheden worden direct vervangen c.q. verholpen. Onderhoud na gebruik, bestaat uit het reinigen met stoom van het leidingsysteem, pompunits, venturipompjes en het controleren van de elektromotoren.

Ontmanteling van het systeem bestaat uit het verwijderen van de venturipompjes uit de opgaande drainage, het afvoeren van het leidingwerk en pompunits en toebehoren. De diepdrainage en opgaande leidingen blijven in de ondergrond achter en kunnen hierna voor andere doeleinden benut worden (bijvoorbeeld sleufbemaling voor riolering).

Voor het al of niet benodigd zijn van een bemalingsvergunning wordt verwezen naar 4.7.

Met uitzondering van de diepdrainage wordt met natuurlijke stoffen gewerkt. Er blijven dan ook nauwelijks kunststoffen in de bodem achter. Het grondwater dat vrijkomt bij het consolidatieproces kan bemonsterd worden en wordt niet ongecontroleerd op open water geloosd. Bij verontreinigen van het grondwater kan het opgepompte water via de pompunits worden verzameld en eventueel gereinigd of afgevoerd in een vuilwaterriolering. Het IFCO systeem functioneert dan tevens als een onderdeel van een reinigingsinstallatie.

A3. Wijze van ontwerpen

A3.1 Algemene procedure en functionele eisen

De algemene procedure voor ontwerp en uitvoering inclusief de functionele eisen waaraan moet worden voldaan zijn gegeven in hoofdstuk 3. De belangrijkste onderdelen van een IFCO ontwerp zijn hierbij:

1. bepaling benodigde, danwel haalbare inplantingsdiepte zandschermen en maatregelen ter voorkoming van kortsluiting met watervoerende (tussen)lagen;
2. prognose fictieve eindzetting bij aanbrengen bruto-ophoging in combinatie met IFCO-methode;
3. prognose benodigde wachttijd;
4. bepaling eventuele aanvullende maatregelen voor kortere wachttijd.

De aan te brengen belasting bestaat uit een grondwaterspiegeldaling, een eventuele onderdruk, een ophoging met overhoogte (zettingcompensatie), eventuele asfaltcompensatie en extra overhoogte.

Een onderdeel van de ontwerpprocedure is de bepaling van de benodigde, dan wel haalbare inplantingsdiepte van de zandschermen. Ook dient bezien te worden of maatregelen nodig zijn ter voorkoming van kortsluiting met watervoerende (tussen)lagen.

A3.2 Ontwerpuitgangspunten

Ter toelichting van de ontwerpuitgangspunten in hoofdstuk 3 wordt het volgende opgemerkt:

- Op basis van het grondonderzoek wordt de inplantingsdiepte van de zandschermen gekozen, waarbij grote aandacht wordt geschonken aan het risico van kortsluiting met watervoerende (tussen)zandlagen. Dit kan bij grote diktes van het samendrukbare pakket leiden tot een keuze voor het aanbrengen van de zandschermen vanaf een verdiept niveau, terwijl de inplantingsdiepte bij geringe diktes van het slappe pakket juist wordt beperkt tot 1,0 m boven de onderzijde van het slappe pakket. Bij sterke variaties van dit niveau kan worden besloten tot nader grondonderzoek om deze beter in kaart te brengen en de inplantingsdiepte daarop af te stemmen. Geleidelijke variaties kunnen worden gevolgd door de machine, bij meer abrupte variaties dient de inplantingsdiepte te worden afgestemd op het hoogste niveau waarop het zand wordt aangetroffen.
- Kortsluiting met tussenzandlagen kan ook worden voorkomen door rondom het werk een waterkerend scherm (damwand, scherm gevuld met klei of bentoniet) aan te brengen tot onder de betreffende lagen; bij dikkere topzandlagen kan dit worden gedaan door de kleistop op een dieper niveau af te werken.

A3.3 Rekenmethode

Berekeningen kunnen zowel volgens de methode Koppejan als conform NEN 6744 worden uitgevoerd. De bij de IFCO-methode meest gangbare berekeningsmethode is als volgt:

- a. Allereerst worden de theoretisch benodigde bruto-ophoging en onder invloed daarvan verwachte eindzetting (na 10.000 dagen) berekend voor het geval dat de ondergrond niet wordt behandeld. Zolang er geen lichtgewicht ophoogmaterialen worden toegepast, zijn deze immers in principe onafhankelijk van de toegepaste techniek van bouwrijp maken. Bij de bepaling van de bovenbelasting die door de ophoging wordt veroorzaakt, is er rekening mee gehouden dat grondlagen door zetting in de loop der tijd gedeeltelijk onder het grondwater kunnen zakken en daardoor effectief minder wegen.
- b. Het toepassen van de IFCO-methode, die tezamen met de aldus bepaalde bruto ophoging zal worden aangebracht, wordt als volgt in rekening gebracht:
 - De gewijzigde korrelspanningen en daaruit voortvloeiende zettingen tijdens het actief zijn van de IFCO-methode worden berekend met het uitgangspunt dat het freatisch peil is verlaagd tot op het inplantingsniveau van het zandscherm, de bruto ophoging is aangebracht (eventueel met overhoogte) en in de ondergrond (afhankelijk van de situatie) een onderdruk van 10 à 20 kPa is ontstaan.
 - Voor de berekening van het verloop van de consolidatie in de tijd wordt verwezen naar 3.5. Veelal wordt gebruik gemaakt van de consolidatieberekening volgens Terzaghi met de equivalente c_v -waarde.
- c. Aldus kan met de formules van zowel de methode Koppejan als NEN 6744 een prognose van het verloop van de zettingen als functie van de tijd worden gemaakt, onderverdeeld naar de bijdragen van de pakketten binnen respectievelijk beneden het dieptebereik van de zandschermen. Op basis daarvan kan door middel van vergelijking met de verwachte eindzetting op tamelijk directe wijze een prognose worden gemaakt van de benodigde wachttijd totdat aan het restzettingcriterium zal worden voldaan.
- d. Het bij de zettingsberekeningen gevonden verloop van de consolidatiegraad als functie van de tijd wordt tevens gebruikt om aan de hand van stabiliteitsberekeningen het toelaatbare tempo van ophogen te bepalen. Voor de gegeven bruto ophoging volgt hieruit de ophooftijd, waarvan volgens bekende vuistregels ten minste 50 % kan worden gerekend als behorend tot de wacht-, ofwel consolidatietijd.
- e. De totale uitvoeringstijd kan hieruit worden bepaald als [installatietijd + ophooftijd + (wachttijd – 0,5 · ophooftijd)] en de pomptijd als [uitvoeringstijd – installatietijd].

A3.4 Overige ontwerpaspecten

De berekeningen worden doorgaans uitgevoerd met de minimale schermafstand van 3,0 m als uitgangspunt, maar indien de benodigde uitvoeringstijd kleiner blijkt dan de beschikbare tijd kan de schermafstand nog worden geoptimaliseerd. Indien de benodigde uitvoeringstijd groter blijkt dan de beschikbare tijd zal worden nagegaan met welke aanvullende maatregelen (verdieping inplanting, aanbrengen overhoogte, stabiliteitsvoorzieningen voor sneller ophooftempo, etc) de uitvoeringstijd kan worden gereduceerd.

In voorkomende gevallen kan de prognose van de benodigde wachttijd in principe ook volgens een andere methodiek dan hierboven beschreven worden gemaakt, bijvoorbeeld via een beschouwing op basis van het logaritmisch verloop van de (rest)zettingen en/of met behulp van de isotachenmethode. Vanwege de in het algemeen beperkte nauwkeurigheid

van zettingsberekeningen moet de praktische waarde daarvan in het ontwerpstadium overigens niet worden overschat.

De berekeningen worden doorgaans uitgevoerd met een speciaal ontwikkeld spreadsheet, maar uitvoering met MSettle is in principe eveneens mogelijk, bijvoorbeeld door voor de slappe lagen binnen het behandelde vak een zodanig aangepaste consolidatiecoëfficiënt op te geven dat een overeenkomstige hydrodynamische periode wordt berekend. Dit biedt betere mogelijkheden om afzonderlijke ophoogslagen en ontlaststappen in rekening te brengen.

A4. Relevante metingen en stopcriterium

De monitoring is gericht op:

- bewaking van het functioneren van het systeem;
- controle en beoordeling van het zettings- en consolidatieverloop in de tijd;
- bewaking van de stabiliteit van de ophoging en invloed omgeving;
- bepaling van het tijdstip waarop de voorbelastingsperiode kan worden beëindigd.

A4.1 Monitoring functioneren van het systeem

Voor het functioneren van het systeem worden metingen verricht aan het pompsysteem en in de drains.

a. Pompdebiet

Per pompbak moet de hoeveelheid afgepompt water geregistreerd worden. Enerzijds kan dit worden verlangd door het Waterschap / Hoogheemraadschap, anderzijds is dit van belang voor de analyse van het gedrag van de ondergrond. Elke IFCO-pompbak is uitgerust met een Thomsonschiif waarmee het mogelijk is het afgepompte debiet nauwkeurig te bepalen. Aan de hand van een registratie van de waterhoogte voor de Thomsonschiif kan het momentane debiet worden berekend. Door deze meting in de tijd te herhalen (met een voldoende frequentie, een en ander afhankelijk van de fluctuatie in het debiet) en het berekende momentane debiet te integreren in de tijd wordt het totale volume water verkregen dat gedurende de meetperiode is verpompt.

Monitoring: noodzakelijk.

Meetfrequentie: bij het opstarten van de pompsystemen dagelijks, na een periode van 2 tot 4 weken wekelijks.

Uitvoering: d.m.v. een niveau-sensor automatisch via netwerk, voorzien van een data-logger of handmatig.

b. Bewaking pompsystemen

In verband met de stabiliteit van de ophogingen is het van essentieel belang dat met name in het begin de juiste werking van de pompsystemen nauwkeurig wordt gecontroleerd. Daartoe is het noodzakelijk om de werkdruk van de pompen en de retourdruk te meten. Door middel van 2 manometers / druksensoren, één op de persbuis en één op de retourbuis, kan dit effectief geschieden. Via een directe GSM-verbinding kan de werking van de pompbakken worden gecontroleerd.

Monitoring: noodzakelijk/essentieel (in kritische fase aanbrengen ophoging).
 Meetfrequentie: indien de aangebrachte bruto ophoging meer dan 4,0 m bedraagt, 2 tot 3 keer per dag. Nadat de ophoging op hoogte is gekomen: dagelijks.
 Uitvoering: d.m.v. druksensoren automatisch via netwerk, uitgerust met GSM-telefoon.

c. Onderdruk drains

Om de effectiviteit van het pompsysteem te kunnen analyseren, is het noodzakelijk de onderdruk in de drains te meten. Als deze bekend is, kan worden nagegaan hoe de consolidatie in de ondergrond tussen de zandschermen in verloopt. Tevens is het van belang de drains te instrumenteren omdat daaruit blijkt hoe uniform de verlaging van de grondwaterstand en de mate van onderdruk in de zandschermen is.

Tevens geven deze metingen aan hoe gevoelig het systeem als geheel is voor het uitvallen van het pompsysteem. Immers, als de pompbakken uitvallen kan zo worden gevolgd hoe snel de onderdruk in de ondergrond afneemt en hoe snel gereageerd dient te worden bij uitval van een pompsysteem.

Monitoring: beperkt aantal drains noodzakelijk, groter aantal drains wenselijk en alle drains interessant maar niet noodzakelijk.
 Meetfrequentie: tijdens de opbouw van de aardebaan: dagelijks, in de periode daarna wekelijks en aan het einde van de consolidatieperiode: maandelijks.
 Uitvoering: d.m.v. druk-sensoren automatisch via netwerk, voorzien van een datalogger of handmatig; dagelijks controle op aanzuigen valse lucht nodig (beschadiging afdichting met tape).

A4.2 Controle en beoordeling verloop zettingsproces

Voor de controle van het zettingsverloop worden zettingsmetingen en metingen van de waterspanningen verricht.

d. Zettingen maaiveld/klink ophoging

Niet alleen de zettingen van het oorspronkelijke maaiveld dienen in de tijd gemeten te worden maar ook de samendrukking (klink) van de zandophoging.

Naast meting van de zetting van het maaiveld onder de ophoging, zal het ook interessant zijn de zettingen ter plaatse van de teen van het talud te meten.

Monitoring: noodzakelijk.
 Meetfrequentie: minimaal 1 maal per week totdat de aardebaan op hoogte is, daarna afbouwen naar 1 maal per maand.
 Uitvoering: d.m.v. zettingsslangen (automatisch of handmatig) of door middel van zakbaken/waterpassen (handmatig).

e. Meting waterspanningen

Waterspanningen worden bij voorkeur op verschillende diepten tussen de zandschermen in gemeten. Ook dienen de waterspanningen in de grondlaag tussen de onderzijde van de zandschermen en de bovenzijde van de eerste watervoerende laag gemeten te worden. Voor deze metingen zijn elektrische waterspanningsmeters het meest geschikt, gezien de gewenste nauwkeurigheid. De waterspanningsmetingen zijn essentieel zowel voor het

beoordelen van het consolidatieproces in de ondergrond als voor het beoordelen van de stabiliteit van de taluds.

Belangrijk is dat de waterspanningsmeters vooraf geïnstalleerd worden, dat wil zeggen nog voordat een basislaag zand op het terrein is aangebracht en voordat de verticale zandschermen in het terrein zijn aangebracht. De aannemer zal er op gewezen moeten worden dat deze monitoringspunten ten tijde van de uitvoering van de werkzaamheden in stand gehouden dienen te worden.

Monitoring: noodzakelijk (stabiliteit en consolidatie).
Meetfrequentie: tijdens de opbouw van de aardebaan: dagelijks, in de periode daarna wekelijks en aan het einde van de consolidatieperiode: maandelijks.
Uitvoering: bijvoorbeeld met BAT-sensoren, automatisch via netwerk, voorzien van een data-logger of handmatige uitlezing.

f. Extensometers

Om inzicht te krijgen in het samendrukkingsgedrag van de diepere grondlagen kunnen extensometers worden toegepast.

Extensometers zijn relatief dure meetinstrumenten zowel qua aanschaf, plaatsing als aflezing. Per project dient daarom beoordeeld te worden of deze meetinstrumenten interessante, nuttige of essentiële gegevens opleveren. Een (prijs)technisch interessant alternatief is het aanbrengen van verdiepte zakbaken. Deze kunnen bestaan uit verticaal geplaatste schroefankers (opgelengd met een stalen buis tot boven maaiveld waarin een telltale aangebracht kan worden) of een combinatie met BAT-sensoren (zie item b).

Extensometers dienen direct bij aanvang van de werkzaamheden te worden aangebracht. Dergelijke instrumentatie is gevoelig voor beschadiging als gevolg van bijvoorbeeld horizontale grondvervorming. Tevens zullen de extensometers bij elke ophoogslag opgelengd moeten worden hetgeen omschreven kan worden als 'nauwelijks haalbaar'.

Monitoring: niet noodzakelijk (samendrukkingsgedrag verschillende grondlagen).
Meetfrequentie: tijdens de opbouw van de aardebaan: wekelijks, in de periode daarna twee wekelijks en aan het einde van de consolidatieperiode: maandelijks.
Uitvoering: d.m.v. meervoudige extensometers, verticale schroefankers of BAT-sensoren, uitlezing automatisch via netwerk of handmatige uitlezing.

A4.3 Bewaking stabiliteit en invloed omgeving

De bewaking van de stabiliteit geschiedt door metingen van de waterspanningen en waarnemingen van rijen perkoenpalen. Daarnaast kunnen hellingmetingen worden verricht. Deze zijn ook geschikt voor de beoordeling van de invloed op de omgeving. Ook worden metingen verricht aan de grondwaterstand en de waterkwaliteit.

g. Metingen stabiliteit talud

Met behulp van de waterspanningsmeters kan gecontroleerd worden of de stabiliteit van het talud van de ophoging gewaarborgd is en blijft. De gemeten waterspanningen worden hiertoe vergeleken met de uit de berekeningen volgende toegestane waarden.

Een praktische manier om in het veld direct een indruk te krijgen van de stabiliteit, is het plaatsen van een groot aantal perkoenpalen in de teen van het talud, evenwijdig aan de ophoging. Door er voor te zorgen dat de perkoenpalen exact op een rij staan en de bovenzijden exact op gelijke hoogte aan te brengen, wordt een eenvoudig en effectief hulpmiddel verkregen om de stabiliteit van het talud visueel te controleren. Bij eventuele vervormingen, die een begin kunnen zijn van een afschuiving, zullen de perkoenpalen naar buiten en omhoog verplaatsen. Via een meetdraad die langs de palen gespannen wordt, kan op elk moment van de dag controle plaatsvinden.

Monitoring: noodzakelijk.
 Meetfrequentie: dagelijks tijdens de opbouw van het zandlichaam.
 Uitvoering: handmatig/visueel met behulp van waterspanningsmeters en perkoenpalen.

h. Hellingmetingen

Verwacht wordt dat de IFCO-methode slechts een zeer beperkte horizontale deformatie van de ondergrond veroorzaakt. Door middel van hellingmeetbuizen kan dit worden vastgesteld. De hellingmeetbuizen moeten met de onderzijde in het Pleistoceen worden geplaatst om dit punt tijdens de meetperiode te fixeren.

In de periode tussen de handmatige metingen kunnen de hellingmeetbuizen voorzien worden van een gevoelige inclinometer die op het sensor-netwerk wordt aangesloten. Deze instrumentatie, op één niveau in de hellingmeetbuis, dient voor het permanent bewaken van de stabiliteit van de taluds. Immers, bij grote vervormingen van het talud, zal de hellingmeetbuis deze verplaatsing meemaken hetgeen zich uit in een aanzienlijke hoekverdraaiing van de hellingmeetbuis. Door de inclinometer op de juiste diepte af te hangen, kan de stabiliteit van het talud effectief worden bewaakt.

Monitoring: ophogingen > 4,0 m: noodzakelijk/wenselijk.
 ophogingen ≤ 4,0 m: niet noodzakelijk.
 Meetfrequentie: tijdens het aanbrengen van de zandophoging: wekelijks, in de periode van 2 maanden erna: 2 wekelijks en de periode daarna: maandelijks.
 permanente instrumentatie: dagelijks tijdens aanbrengen zandophoging.
 Uitvoering: hellingmeting handmatig/inclinometer automatisch via netwerk, voorzien van data-logger of handmatig.

i. Grondwaterstand omgeving

Om na te gaan of de tijdelijke verlaging van de grondwaterstand in de zandsleuven invloed heeft op de omgeving, dient een aantal peilbuizen geplaatst te worden in de omgeving, bijvoorbeeld de bestaande aardebaan (indien van toepassing) en in de polder, op de erfgrans.

Aangezien de verwachting is dat de beïnvloeding minimaal is, zou volstaan kunnen worden met handmatige aflezing van de peilbuizen. Deze metingen zijn dan ook niet van belang

voor het beoordelen van het proces, maar veel meer voor het "bewaken" van de invloed op de omgeving.

Monitoring: noodzakelijk/wenselijk.
Meetfrequentie: wekelijks.
Uitvoering: handmatige, periodieke aflezing of automatische meting met een niveau-sensor via netwerk, voorzien van een data-logger of handmatig.

j. Wateranalyse

Doorgaans wordt door de vergunningverlenende instantie geëist dat monsters worden genomen van het grondwater dat op het openbare water wordt geloosd. Dit betekent dat uit de pompbakken bij aanvang van de bemaling enkele watermonsters moeten worden genomen die in het laboratorium moeten worden onderzocht op stoffen die de vergunningverlenende instantie heeft aangegeven.

Monitoring: noodzakelijk.
Meetfrequentie: (zeer)incidenteel.
Uitvoering: handmatig.

k. Metingen bestaande wegen/belendingen

Om objectief te kunnen bepalen welke invloed de zandophoging heeft op bestaande wegen/belendingen, wordt geadviseerd meetspijkers/meetboutjes op te nemen en deze x-y-z in te meten. Voordat met de werkzaamheden begonnen wordt, dienen deze meetboutjes in de objecten te worden aangebracht en door middel van een dubbele nulmeting te worden ingemeten. De frequentie van deze metingen in de daaropvolgende periode kan laag gehouden worden.

Monitoring: afstand > 10 m: niet noodzakelijk.
afstand < 10 m: noodzakelijk.
Meetfrequentie: (zeer) incidenteel, in totaal 5 à 10 keer tijdens duur project.
Uitvoering: handmatig.

Hieraan kan nog worden toegevoegd het (in voorkomende gevallen) plaatsen van meetbouten aan belendende objecten en het uitvoeren van vooropnames.

A4.4 Stopcriterium

Bepaling van het tijdstip waarop de voorbelasting kan worden beëindigd, gebeurt op basis van monitoringsgegevens. Doorgaans wordt het moment waarop de voorbelasting kan worden beëindigd, bepaald op basis van de volgende criteria:

- a. Het IFCO-systeem dient naar behoren te functioneren.
- b. De bovenzijde van de ophoging dient zich te bevinden op het opleverpeil of hoger.
- c. De waterspanning moet gedissipeerd zijn, hetgeen inhoudt dat de resterende wateroverspanning niet groter mag zijn dan het gewicht van het deel van de ophoging dat zich nog boven het opleverpeil bevindt (en dus nog moet worden verwijderd).
- d. Het zettingstempo dient gedurende ten minste 4 weken lager te zijn dan 5 à 10 mm per week. Genoemd zettingstempo is gebaseerd op ervaringen met reeds uitgevoerde projecten, maar kan ook via een beschouwing van de logaritmisches met de tijd verloopende seculaire zettingen worden afgeleid uit het restzettingcriterium.

Grondgedachte achter bovenstaand stopcriterium is in feite dat het beëindigen van de voorbelasting gepaard gaat met een forse ontlasting van de ondergrond (wegvallen onderdruk, herstel grondwaterstand, verwijderen ophoging boven opleverpeil). Hierdoor neemt het (reeds lage) zettingstempo dusdanig sterk af, dat de ondergrond praktisch gezien tot rust komt. Omdat het effect van deze ontlasting niet verdisconteerd wordt in prognoses van de restzettingen, is dit een tamelijk conservatieve benadering.

Bepaling van het stopcriterium op basis van andere rekenmethodieken is in principe ook mogelijk.