



Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of cement



Deze handleiding is samengesteld door werkgroep APPD.4 «Hergebruik van grond» van het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw.

Samenstelling van de werkgroep:

Voorzitster:

Anne Monnaers

Aquafin

Secretariaat:

Claire Collin

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW)

Jacques Detry

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (OCW)

Leden:

A. Bornauw (nv Heijmans Aannemingen), D. Cordy (Damman-Croes), J. Deblire (Min. Région Wallonne), J. De Nutte (Copro), E. Desmedt (VlaWeBo), B. Dethy (TUC Rail), S. Godefroid (Fediex - afdeling Kalk), J. Goffa (BG Engineering), P. Keppens (Georoc), J. Frehé (Geo Milieu), W. Martens (Provincie Oost-Vlaanderen), M. Regnier (Tradecowall), L. Rens (Febelcem), W. Seghers (nv Seghers Aannemingen), J. Soers (GEOS), H. Van den Bergh (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw), E. Van den Kerkhof (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw), H. Vandecraen (Van Broekhoven's Algemene), J.-C. Verbrugge (Université Libre de Bruxelles), F. Verhelst (Fediex - afdeling Kalk), P. Visse (Eloy et fils)

Handleiding voor grondbehandeling met kalk en/of cement

Aanbevelingen A 74 / 04

Uitgegeven door het Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30-1-1947
Woluwedal 42 - 1200 Brussel

Alle rechten voorbehouden

INHOUD

WOORD VOORAF

I.	Kennis van grond	1
I.1.	Inleiding	1
I.2.	Kenmerken van grond	1
I.3.	Proeven	2
I.3.1.	Onderkenningsproeven op grond	2
I.3.1.1.	Korrelverdeling	4
I.3.1.2.	Plasticiteitsindex (Atterbergse grenzen of consistentiegrenzen)	4
I.3.1.3.	Methyleenblauwwaarde	7
I.3.1.4.	Watergehalte	9
I.3.1.5.	Gehalte aan organische stoffen en andere, bijzondere chemische bestanddelen (sulfaten, sulfiden, fosfaten, nitraten en chloriden)	11
I.3.2.	Geschiktheidsproeven op grond	12
I.3.2.1.	Kruimelstabiliteit	12
I.3.2.2.	Geschiktheid voor behandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen	12
I.3.2.3.	Stempelweerstand (CBR-waarde na 4 d onderdompeling)	13
I.3.3.	Mengselontwerpproeven	13
I.3.3.1.	Draagvermogen/dichtheid	14
I.3.3.2.	Splijttreksterkte (R_{it})	20
I.3.3.3.	Vrije druksterkte (R_c)	21
II.	Grondbehandeling	25
II.1.	Inleiding	25
II.2.	De verschillende behandelingsmiddelen	25
II.2.1.	Kalk	25
II.2.2.	Cement	27
II.2.3.	Samengestelde bindmiddelen: kalk én cement	29
II.2.4.	Overige middelen	29
II.3.	Grondbehandeling	30
II.3.1.	Grondverbetering	30
II.3.1.1.	Verbetering met kalk	31
II.3.1.2.	Verbetering met samengestelde bindmiddelen	35
II.3.2.	Grondstabilisatie	36
II.3.2.1.	Stabilisatie met cement	37
II.3.2.2.	Stabilisatie met kalk	37
II.3.2.3.	Stabilisatie met kalk en cement	38
II.3.2.4.	Overzicht	40
III.	Uitvoeringswijzen	41
III.1.	Grondbehandeling op het werk zelf	42
III.1.1.	Samenstelling van het behandelingsmaterieel	42
III.1.2.	Levering en opslag	42
III.1.3.	Vorbereiding van de grond	45
III.1.4.	Spreiden	45
III.1.5.	Mengen	49

III.1.5.1.	Mengmachines met vast gereedschap	52
III.1.5.2.	Mengmachines met bewegend gereedschap	53
III.1.5.3.	Zeef- en mengbakken	56
III.2.	Grondbehandeling in een menginstallatie	57
III.2.1.	Samenstelling van het behandelingsmaterieel	57
III.2.2.	Levering en opslag	57
III.2.3.	Spreiden en mengen	57
III.3.	Proefvak	61
III.4.	Opslag van behandelde grond	61
III.5.	Ventilatie	62
III.6.	Verdichting	62
III.7.	Nivelleren en beschermen van gestabiliseerde lagen	64
III.8.	Uitvoeringstermijnen	65
III.9.	Elementaire voorzorgen	65
III.9.1.	Preventie	65
III.9.2.	Bescherming van het personeel op de bouwplaats	65
III.9.3.	Eerste hulp	67
III.9.4.	«Gevoelige» bouwplaatsen	67
III.10.	Economische aspecten	68
Annexe 1 - Grond		71
LIJST VAN FIGUREN		83
LIJST VAN TABELLEN		85
LITERATUUR		86

WOORD VOORAF

Grondbehandeling is een oude techniek (Chinese muur, Romeinse heirbanen, enz.). In België is zij op grote schaal toegepast in de jaren zestig, ten tijde van de grote autosnelwegenprogramma's.

Onder druk van de strenger wordende milieuwetten en de toenemende schaarste aan grondstoffen komt deze techniek momenteel weer sterk in de belangstelling.

Zij biedt zowel op kleine als op grote bouwplaatsen een technisch, economisch en ecologisch verantwoorde oplossing voor de problematiek van uitgegraven grond.

Deze handleiding wil de ontwerpers en de uitvoerders helpen bij hun pogingen om grond via behandeling met kalk en/of cement een nuttige bestemming te geven. Zij loodst hen door de verschillende fasen van grondbehandeling en biedt tegelijk een overzicht van de huidige kennis terzake, zowel praktijkgericht als theoretisch. Zij wil echter niet de plaats innemen van bestekken en andere regelgevende documenten.

Voor het gemak van de lezer is de handleiding in drie grote hoofdstukken verdeeld:

- kennis van grond: dit hoofdstuk beschrijft de gedragingen van de verschillende grondsoorten en de kenmerken waaraan zij van elkaar te onderscheiden zijn. Tevens geeft het een overzicht van de laboratoriumproeven die nodig zijn om uit te maken of behandeling zin heeft en welke hoeveelheden behandelingsmiddel moeten worden toegepast;
- behandeling: dit hoofdstuk beschrijft de verschillende behandelingsmiddelen en de effecten die zij op grond hebben (processen die optreden bij grondverbetering en grondstabilisatie);
- uitvoeringswijze: dit hoofdstuk beschrijft de organisatie van een werk en geeft een overzicht van het materieel dat voor grondbehandeling met kalk en/of cement voorhanden is.

Zij vormt een noodzakelijke aanvulling op de praktijkgidsen voor de verschillende toepassingen van grondbehandeling: verbetering van grond voor sleufaanvullingen, stabilisatie van grond voor onderfunderingen, verbetering van grond voor het baanbed, enz.

KENNIS VAN GROND

I.1. Inleiding

Voordat aan een werk begonnen wordt, is enige kennis vereist van de kenmerken van de aanwezige grond en van de problemen die hij kan geven.

Met een goede kennis van de grond:

- kan worden uitgemaakt of het zin heeft hem te behandelen;
- kan worden bepaald welk behandelingsmiddel aangewezen is;
- kan een eerste inzicht worden verkregen in de hoeveelheid behandelingsmiddel die nodig is.

Wie grond wil behandelen en als bouw materiaal wil gebruiken, moet de grote principes voor het gedrag van grond kennen.

Voor een goed begrip van het behandelingsproces verwijzen wij lezers die weinig of niet bekend zijn met de verschillende grondsoorten en met de gedragingen en kenmerken ervan naar Bijlage 1 bij deze handleiding. Daarin wordt een beknopte, didactische beschrijving van grond gegeven.

I.2. Kenmerken van grond

Men onderscheidt drie grote soorten van parameters die van het grootste belang zijn om grond ten aanzien van behandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen (cement, hoogovenslak) of puzzolane bindmiddelen (vliegashoudend) te kunnen kenmerken (ref. 18, 35):

- 1) Grondsoortparameters. Zij karakteriseren wat er in de tijd of tijdens de handelingen die grond kan ondergaan, weinig of niet verandert:
 - korrelverdeling. Korrelverdelingsproeven maken het mogelijk grondsoorten naar grootte van hun bestanddelen in verschillende categorieën te verdelen:
 - fijne grond (zand, klei, leem);
 - korrelige grond;
 - gemengde grond (fijne grond met stenen);
 - kleihoudendheid. Hiermee wordt zowel de hoeveelheid klei als de activiteit van de kleifraction in grond bedoeld. Bruikbare parameters om dit kenmerk te meten, zijn:
 - de plasticiteitsindex (I_p);
 - de methyleenblauwwaarde (MBW);
 - de aanwezigheid van bijzondere chemische bestanddelen: bepaalde bestanddelen (organische stoffen, sulfaten en sulfiden, chloriden, nitraten, enz.) kunnen de reacties tussen grond en behandelingsmiddel verstoren.
- 2) Bodemgesteldheidsparameters, zoals het watergehalte. Deze parameters zijn niet eigen aan de grond, maar afhankelijk van het milieu waarin hij zich bevindt. De vochttoestand is bepalend voor:
 - de keuze van het behandelingsmiddel en de toe te passen hoeveelheden ervan;
 - het verloop van de reacties tussen grond en behandelingsmiddel (hydratatie- en kristallisatiereacties);
 - de kwaliteit van de verwerking (spreiden, mengen, verdichten).

- 3) Gedragsparameters, zoals de verbrijzelbaarheid van de grove bestanddelen en de schurende werking van de grofkorrelige fractie. Dit zijn parameters waarmee moeilijkheden bij het mengen (snelle slijtage en beschadiging van werktuigen, vermoeiing van machines, enz.) kunnen worden ingeschat. Er zijn verschillende proeven voorgesteld om ze te meten¹, maar het ontbreekt nog aan ervaring om een strikte interpretatie van de resultaten te kunnen voorstellen.

I.3. Proeven

De verschillende onderzoeken die een grondbehandeling moeten voorafgaan, zijn:

1) Vooronderzoek naar de staat en kenmerken

Om uit te maken of behandeling zin heeft, wordt de grond onderzocht en worden representatieve monsters genomen. Het vooronderzoek van deze monsters in het laboratorium heeft betrekking op de staat en de kenmerken van de te behandelen grond:

- korrelverdeling;
- plasticiteitsindex (Atterbergse grenzen);
- methyleenblauwwaarde;
- natuurlijk watergehalte;
- aanwezigheid van organische stoffen.

2) Vooronderzoek naar de geschiktheid voor behandeling

- Kruimelstabiliteitsproef.
- Proef ter beoordeling van de geschiktheid van grond voor behandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen (zwelproef).
- Stempelproof (CBR-waarde na vier dagen onderdompeling).

3) Vooronderzoek naar de mengsamenstelling

Bij dit vooronderzoek wordt, afhankelijk van de gevonden watergehalten, de optimale hoeveelheid behandelingsmiddel bepaald. Ook kan daarbij rechtstreeks de doelmatigheid van een behandeling worden beproefd. Het onderzoek omvat verdichtings-, draagvermogen-, sterkte- en water- en vorstgevoelighedsproeven.

I.3.1. Onderkenningsproeven op grond

Hoe uitgebreid het onderkenningsonderzoek wordt, hangt van de geologische verscheidenheid van de bodem en van de beoogde toepassing af (ophoging, onderfundering, sleuf, baanbed, fundering van een gebouw).

Bij dit onderzoek kunnen de aangetroffen grondsoorten in homogene, representatieve groepen worden ingedeeld, en kan op grond van het watergehalte worden bepaald of behandeling al of niet zinvol is.

Dit biedt de mogelijkheid (ref. 35, 27):

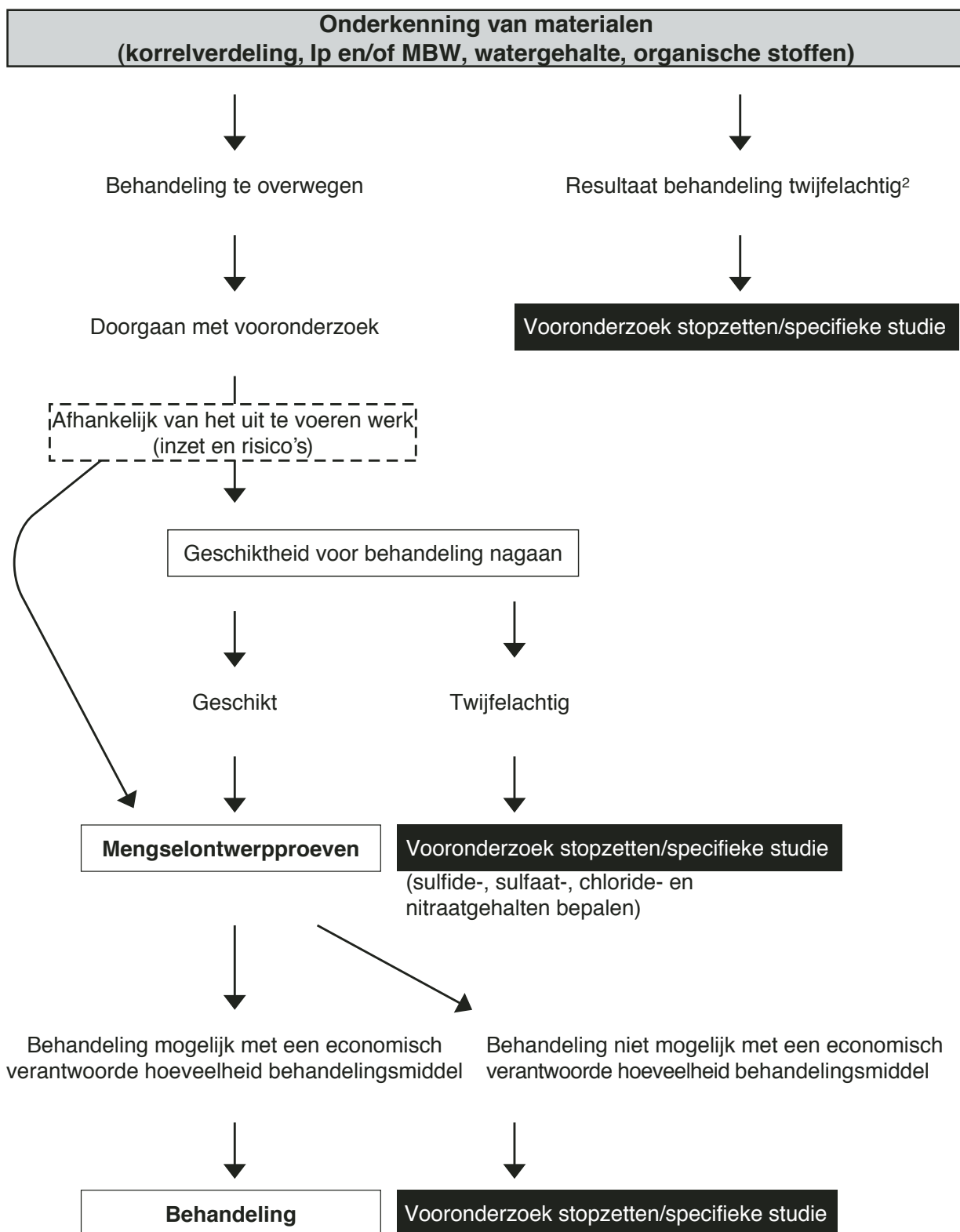
- grond uit te sluiten waarbij behandeling:
 - overbodig zou zijn (de onbehandelde grond voldoet voor de beoogde toepassing);
 - geen effect zou hebben (de grond reageert niet met het behandelingsmiddel);
 - te duur zou uitvallen (de grond is te nat, te kleihoudend of te steenachtig voor de overwogen behandeling);

¹ Verbrijzelingsproef voor evoluerende steenachtige materialen: NF P 94-066.

Schuurweerstandspreef om de slijtage van machines bij werken in steenachtige materialen te bepalen: XP P 18-579.

Verweringsproef: NF P 94-067.

Algemeen stroomschema van vooronderzoeken:



CRR-OCW 21074

² De volledige aanpak om aan de hand van onderkenningproeven uit te maken of grondbehandeling zin heeft, is geïllustreerd weergegeven in Praktijkids «Verbetering van gronden voor de aanvulling van rioolsleuven en de omhulling van buizen» (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, april 2003).

- aan elke groep van grondsoorten het (of de) behandelingsmiddel(en) toe te wijzen dat (die) ze het best voor de beoogde toepassing geschikt maakt (maken);
- representatieve monsters te kiezen voor het eigenlijke vooronderzoek naar de mengsel-samenstelling;
- de toe te passen hoeveelheden behandelingsmiddel bij eerste benadering te bepalen.

I.3.1.1. Korrelverdeling

Door middel van een korrelverdelingsonderzoek kan de relatieve verdeling van de verschillende korrelgrootten in grond worden bepaald. Dit onderzoek omvat:

- een zeefanalyse (bestanddelen $\geq 63 \mu\text{m}$);
- een bezinkingsanalyse (bestanddelen $< 63 \mu\text{m}$).

De resultaten van het korrelverdelingsonderzoek kunnen worden uitgezet in een grafiek en leveren dan een korrelverdelingskromme op, die voor een gegeven korrelgrootte D (op de abscisas) de procentuele doorval (op de ordinaatas) aangeeft. Kenmerkende grootheden zijn:

- D_{max} = afmeting van de grootste korrel, voor minder dan 1 % in de grond vertegenwoordigd. Deze afmeting bepaalt de praktische mogelijkheid om grond met een behandelingsmiddel te vermengen;
- de doorval door een zeef van $63 \mu\text{m}$. Dit kenmerk is een maat voor het gehalte aan fijne bestanddelen en geeft enige indicatie van de watergevoeligheid. Het bepaalt voor een deel de keuze van het behandelingsmiddel;
- de gelijkmatigheidscoëfficiënt (C_u): $C_u = D_{60}/D_{10}$ (waarin D_{60} = maaswijdte van de zeef die 60 % van het materiaal doorlaat en D_{10} = maaswijdte van de zeef die 10 % doorlaat). Deze coëfficiënt maakt een kwantitatieve beoordeling van de vorm van de korrelverdelingskromme mogelijk (goed gegradeerd: $C_u > 15$, gemiddeld gegradeerd: $C_u = 6$ tot 15 , slecht gegradeerd: $C_u < 6$, discontinu gegradeerd: meestal een hoge C_u -waarde). Hij geeft een indicatie van de hoeveelheden behandelingsmiddel die nodig zullen zijn om de beoogde eigenschappen te bereiken. Hoe lager deze coëfficiënt (en hoe gelijkmatiger dus de korrelverdeling van het materiaal), hoe meer behandelingsmiddel(en) onder overigens gelijke omstandigheden nodig zal (zullen) zijn;
- de doorval door een zeef van 2 mm. Op grond hiervan kan onderscheid worden gemaakt tussen fijne, korrelige en gemengde grond.

Werkwijzen

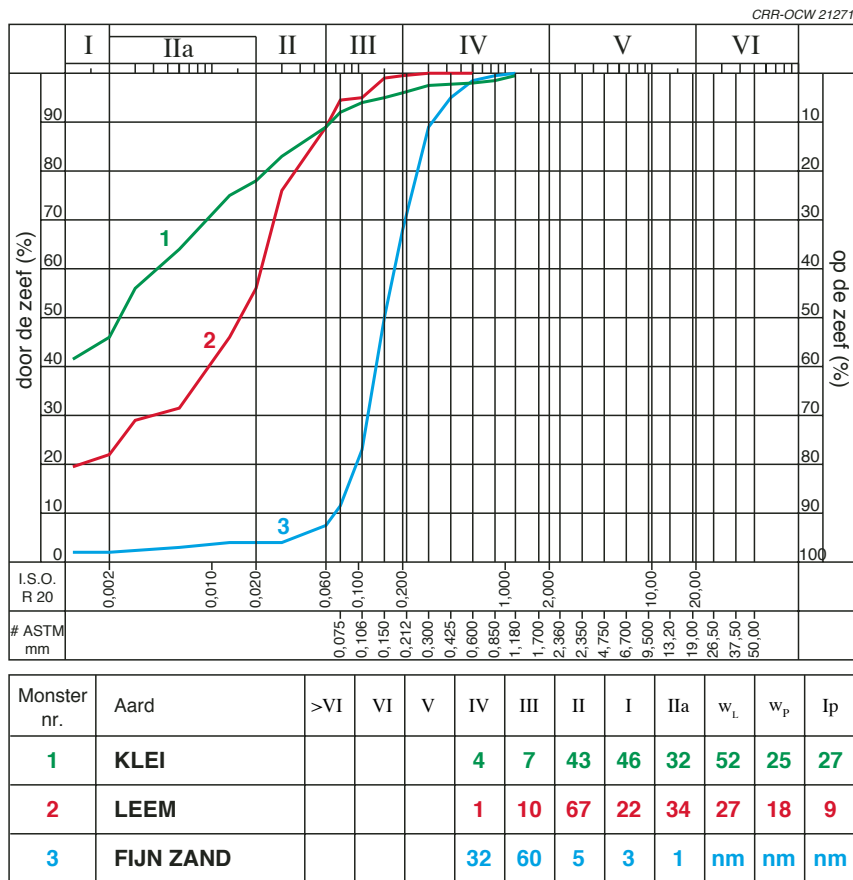
- RW 99 CME - TB 2000 HPM 01.01.
- TB 150 aflevering proefmethodes 01.01.

I.3.1.2. Plasticiteitsindex (Atterbergse grenzen of consistentiegrenzen)

De plasticiteitsindex is een maat voor de kleihoudendheid van grond. Deze kleihoudendheid is een onmisbaar gegeven bij de keuze van het behandelingsmiddel dat voor de beschouwde grond geschikt is. Bij eerste benadering kan worden gesteld dat hoe kleihoudender de grond, hoe meer kalk als behandelingsmiddel aangewezen is; omgekeerd geldt dan dat cement beter geschikt wordt naarmate de kleihoudendheid van de grond afneemt. (De keuze van het behandelingsmiddel wordt uiteraard ook geleid door de verwachte prestaties/te verkrijgen resultaten.)

Naar gelang van het watergehalte worden conventioneel drie toestanden van grond gedefinieerd: vloeibaar, plastisch of vast. De proeven ter bepaling van de zogenoemde «Atterbergse grenzen» maken het mogelijk deze toestanden te onderscheiden door proefondervindelijk de volgende grens-waarden te bepalen:

Voorbeeld van korrelverdelingskrommen en een grondonderkenningstabel



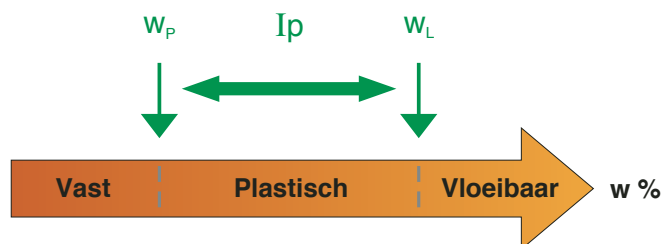
Opmerkingen: nm = niet meetbaar

Men onderscheidt de volgende korrelgroepen:

- groepen V en VI: steenfractie (> 2 mm);
- groepen III en IV: zandfractie (tussen 0,063 mm en 2 mm);
- groep II: leemfractie (tussen 2 μ m en 63 μ m);
- groep I: kleifractione (< 2 μ m).

- de vloeigrens (w_L): een vrij hoog watergehalte, waarbij de grond van de plastische toestand in de vloeibare toestand overgaat;
- de uitrolgrens (w_p): een betrekkelijk laag watergehalte, waarbij de grond van de vaste in de plastische toestand overgaat.

Het verschil in watergehalte tussen de vloeigrens en de uitrolgrens is de plasticiteitsindex van de grond: $I_p = w_L - w_p$



De plasticiteitsindex wordt vaak gebruikt om de kleihoudendheid te meten. Hij geeft het watergehaltegebied weer waarbinnen een gegeven grond zich plastisch gedraagt. Is de plasticiteitsindex hoog, dan wordt de grond «kleihoudend» genoemd en kan hij aanzienlijke volumeveranderingen ondergaan naar gelang van het watergehalte. Het verband tussen het natuurlijke watergehalte en de vloeï- en uitrolgrenzen geeft aan hoe grond zich gedraagt.

De voornaamste drempelwaarden die een indicatie geven, zijn:

- I_p niet meetbaar: niet-kleihoudende («kleivrije») grond;
- $I_p < 12$: weinig kleihoudende («kleiarme») grond;
- $I_p = 12 - 25$: matig kleihoudende grond;
- $I_p = 25 - 40$: kleihoudende grond;
- $I_p > 40$: sterk kleihoudende grond.

De proeven worden uitgevoerd op de fractie met een korrelgrootte van minder dan 0,4 mm (de fijnste bestanddelen zijn namelijk het gevoeligst voor watergehalteveranderingen).

Bepaling van de vloeigrens

Een pasta van de te beproeven grond wordt in een laagdikte van 15 tot 20 mm uitgesmeerd in het schaalpje van een apparaat van Casagrande.

De grondpasta wordt in tweeën verdeeld door met een speciaal mes een overlangse, v-vormige groef te trekken. Het schaalpje met het monster ondergaat een aantal schokken totdat de randen van de groef over een lengte van ongeveer 1 cm dichtvloeien. Het aantal schokken dat daarvoor nodig is, wordt genoteerd, en het watergehalte van de grond wordt bepaald in een droogstoof. De proeven worden verricht met toenemende of afnemende watergehalten.

De vloeigrens is het watergehalte waarbij de randen van de groef na 25 schokken dichtvloeien. Zij kan grafisch worden bepaald uit de resultaten van drie of vier opeenvolgende proeven of, als het aantal schokken tussen 15 en 35 bedraagt, uit de formule:

$$w_L = w (N/25)^{0,121}$$

waarin

- w_L = watergehalte dat samenvalt met de vloeï-grens;
- w = watergehalte van de grondpasta;
- N = aantal schokken dat bij een watergehalte w moet worden gegeven.

Bepaling van de uitrolgrens

Een bolletje grond wordt op een niet-absorberend en niet-reagerend materiaal uitgerold tot een draad van 3 mm diameter en 10 tot 15 cm lengte. De uitrolgrens is het watergehalte waarbij de draad brokkelt als de diameter van $3 \pm 0,5$ mm bereikt wordt.



Figuur 1

Apparaat van Casagrande



Foto OCV 1713/9

Figuur 2

Trekken van een groef in de grondpasta, met een speciaal mes



Foto OCV 1713/13a

Figuur 3

Dichtvloeien van de randen van de groef over ± 1 cm, na een aantal schokken in het schaalpje

Opmerkingen:

- I_p -waarden moeten met enige soepelheid worden geïnterpreteerd. De resultaten van bepalingen van de vloeigrens of de uitrolgrens zijn immers sterk afhankelijk van de wijze waarop de laborant de proef uitvoert en van de apparatuur die hij gebruikt (vergelijkende proeven tussen laboratoria gaven voor de plasticiteitsindex verschillen van 25-30 %).
- De kleihoudendheid van grond kan ook worden bepaald door middel van een methyleenblauwproef (zie § 1.3.1.3.). De methyleenblauwwaarde is een bruikbaar gegeven voor kleiarne grondsoorten. Voor grondsoorten met een $I_p \geq 12$ is de plasticiteitsindex beter geschikt als criterium.

Werkwijzen

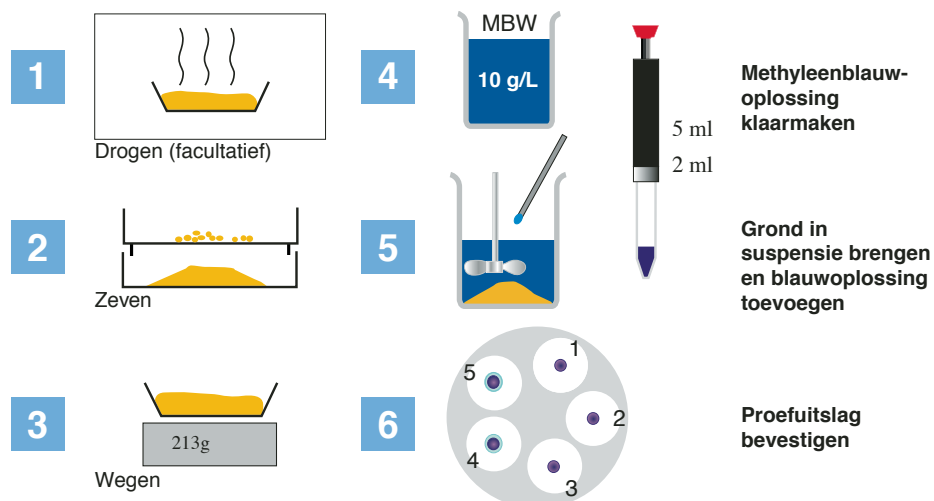
- CCT - RW 99 CME 01.03.
- TB 150 aflevering proefmethodes 01.03.

1.3.1.3. Methyleenblauwwaarde

De methyleenblauwwaarde (MBW) is een andere manier om de kleihoudendheid van grond te meten. Deze parameter geeft aan welke hoeveelheid methyleenblauw nodig is om een suspensie van de te beproeven grond in water te verzadigen - met andere woorden, de hoeveelheid methyleenblauw die de gronddeeltjes kunnen adsorberen. Aangezien de kleideeltjes ($< 2 \mu\text{m}$) het grootste vermogen hebben om methyleenblauw te adsorberen, geeft deze proef een algemene schatting van de hoeveelheid en activiteit van de klei in de grond. De MBW-waarde wordt uitgedrukt in g methyleenblauw per massa-eenheid droge grond.

Principe:

Het monster wordt gedroogd tot constante massa en gewogen. Het wordt gezeefd en in suspensie gebracht. Aan de suspensie (in water) wordt, onder voortdurend roeren, een oplossing van methyleenblauw (concentratie: 10 g/l) toegevoegd. De hoeveelheid van deze oplossing die nodig is om de suspensie te verzadigen, wordt genoteerd. Het verzadigingspunt wordt bepaald door middel van een vlekproef, waarbij een druppel suspensie op filterpapier wordt overgebracht. Blijft er na 5 min een blauwe kring om de vlek op het papier, dan wordt het verzadigingspunt als bereikt beschouwd. Het resultaat wordt uitgedrukt in grammen methyleenblauw per kg droog onderzocht materiaal (in de Europese norm) of per 100 g materiaal (in de Franse norm).

**Figuur 4**

Schets van het verloop van een proef ter bepaling van de methyleenblauwwaarde [volgens CEN test methods (1) - MAT1 - CT 93 - 0040 (1993 - 1997) DG XII of the European Commission]



Foto OCW

Figuur 5

Apparatuur voor de methyleenblauwproef

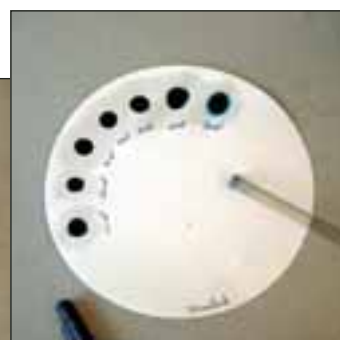


Foto OCW

Figuur 6

Methyleenblauw-vlekproef

De voornaamste drempelwaarden die een indicatie geven, zijn:

MBW $\leq$ 25: weinig kleihoudende («kleiarne») grond;

MBW $>$ 60: sterk kleihoudende grond.

De proeven worden verricht op de fractie 0/5 mm (Franse norm) of 0/2 mm (Europese norm).

Normen:

➤ NBN EN 933-9

➤ NF P94-068

Opmerkingen

- De bovengenoemde Europese norm (NBN EN 933-9) legt de methode vast om de MBW-waarde van de fractie 0/2 mm in **zand of ongesorteerd korrelvormig materiaal** te bepalen. De Franse norm (NF P94-068) doet hetzelfde voor de fractie 0/5 mm in **grond of steenachtig materiaal**. Voorts drukt de Europese norm de resultaten uit in grammen methyleenblauw per kilogram droog materiaal, terwijl de Franse norm dat in grammen per 100 g droog materiaal doet. **Er is dus een verschilfactor van 10 tussen MBW-waarden die volgens de Europese, respectievelijk de Franse norm zijn bepaald!**
In dit naslagwerk en in de praktijkgidsen die het aanvullen, worden MBW-waarden volgens de Europese norm (in g methyleenblauw/kg droog materiaal) uitgedrukt.
- MBW-waarden zijn bruikbaar voor kleiarne grondsoorten. Voor grond met een $I_p \geq 12$ is de plasticiteitsindex het meest aangewezen criterium

I.3.1.4. Watergehalte

Het watergehalte (w) van grond is de massa water die deze grond bevat. Het wisselt met de grondsoort, de ligging van de grond, de diepte waarop hij zich bevindt, en de tijd.

Het watergehalte van grond wordt gedefinieerd als de verhouding (in %) tussen de massa van het water in de grond en de massa van de droge grond:

$$w = 100 \times \frac{M_n - M_d}{M_d}$$

waarin:

M_n = massa van de natte grond;

M_d = massa van de droge grond.

Er bestaan tal van methoden om het watergehalte van grond te bepalen, waaronder:

1) laboratoriumproeven:

- droogstoofmethode: het monster grond wordt gewogen voor en nadat het in een (op 105 °C afgestelde) droogstoof op constante massa is gebracht;
- droging in een microgolfoven: het monster grond wordt gewogen voor en nadat het in een microgolfoven op constante massa is gebracht;

2) terreinproeven:

- verbranden met alcohol: het monster grond wordt gewogen voor en nadat het (onder toevoeging van brandspiritus) in brand wordt/is gestoken. Deze techniek is af te raden voor grond die rijk is aan organische bestanddelen, omdat verbranding deze bestanddelen vernietigt;
- «Speedy Moisture Tester»: de grond wordt in het apparaat in contact gebracht met een reagens (calciumcarbid) dat met het water een gas (acetylene) vormt; hierdoor stijgt de druk in het toestel. Het watergehalte van het monster wordt dan rechtstreeks van het op gasdruk gekalibreerde apparaat afgelezen. Dit toestel is enkel bruikbaar voor zandgrond.

De beslissing om grond al of niet te behandelen is, behalve van de kenmerken die verband houden met de grondsoort, afhankelijk van de vochttoestand van het materiaal op het tijdstip van de eventuele behandeling.

Het natuurlijke watergehalte alleen volstaat niet om de vochttoestand van grond (bij ontgraving) te karakteriseren. Daarvoor worden de volgende parameters gebruikt:

- verhouding w_{nat}/w_{NPO} (natuurlijk watergehalte/watergehalte bij het normale Proctoroptimum van de beschouwde grond). De Proctorproef wordt beschreven in § I.4.3.1.A.;
- onmiddellijke draagvermogenindex (IPI, van het Franse «indice portant immédiat») van grond bij zijn natuurlijke watergehalte³. Deze parameter drukt op een concrete manier uit hoe moeilijk het terrein voor bouwmachines berijdbaar is. De IPI is de onmiddellijke CBR-waarde, zonder bovenbelasting of onderdompeling gemeten aan een proefstuk grond dat bij zijn natuurlijke watergehalte volgens de methode van de normale Proctorproef is verdicht. De proef ter bepaling van de IPI-waarde wordt beschreven in § I.4.3.1.B.;
- de consistentie-index: $I_c = (w_L - w_{nat}) / (w_L - w_P)$ (w_L = vloeigrens, w_P = uitrolgrens). Aan de hand van deze index kan grond als volgt worden aangemerkt:
 - I_c -waarde kleiner dan ongeveer 0,7: weinig consistente grond, die berijdbaarheidsproblemen kan geven;
 - I_c -waarde groter dan ongeveer 1,3: zeer consistente grond, die problemen kan geven bij de ontgraving.

De consistentie-index is geschikt als indicator voor de vochttoestand van grond met een doorval > 35 % door een zeef van 63 μ m en een I_p -waarde > 12.

Normen

- IPI: NF P 94-078.
- Watergehalte: - NBN EN 1097-5.
- NF P 94-049-1.

I.3.1.5. Gehalte aan organische stoffen en andere, bijzondere chemische bestanddelen (sulfaten, sulfiden, fosfaten, nitraten en chloriden)

De aanwezigheid van bepaalde stoffen kan nadelig zijn voor de doelmatigheid van het behandelingsmiddel:

- organische stoffen kunnen het effect van het behandelingsmiddel vertragen of tenietdoen, doordat zij kleine of grotere hoeveelheden van het behandelingsmiddel verbruiken om de zuurheid van het milieu te neutraliseren. Organische stoffen komen vooral aan de oppervlakte voor. Bevat de grond meer dan 3 % organische stoffen, dan moet een specifiek vooronderzoek plaatsvinden om het effect van deze stoffen op de behandeling in te schatten;

³ Volgens de Franse gids «Réalisation des remblais et des couches de forme» (ref. 6) is de verhouding w_{nat}/w_{NPO} het best geschikt om «middelmatische», «droge» en «zeer droge» vochttoestanden te karakteriseren, terwijl de onmiddellijke draagvermogenindex meer aangewezen is voor «natte» en «zeer natte» vochttoestanden (voor een nadere omschrijving van deze respectieve vochttoestanden wordt naar de genoemde gids verwezen).

- sulfaten (gips, pleister) en sulfiden (pyriet) kunnen zwellingen veroorzaken doordat zij ettringiet (een sterk zwellende kristallijne stof) vormen. De aanwezigheid ervan in grond kan in een vochtig milieu tot maatonvastheid leiden en hydraulische binding tenietdoen. In de vakliteratuur wordt doorgaans gesteld dat er zwellingsproblemen kunnen optreden zodra de grond in totaal meer dan 1 % zwavel bevat;
- fosfaten en nitraten (mest) verhinderen of vertragen hydraulische binding;
- chloriden (steenzout) versnellen bindings- en verhardingsprocessen, waarbij zwelling kan optreden door de vorming van chlooraluminaten.

De aanwezigheid van deze bestanddelen in grond kan natuurlijk (geologisch ontstaan) of toevallig (van menselijke oorsprong: verontreiniging, wegzouten, enz.) zijn.

Omdat de meetmethoden ingewikkeld zijn en het moeilijk is om representatieve monsters te nemen, moet opsporing van deze stoffen maar worden overwogen als er twijfel over de mogelijke aanwezigheid ervan is gerezen na een verkenning van het terrein en een onderzoek van beschikbare documenten over de locatie of de omgevende locaties, of na de uitvoering van geschiktheidsproeven die gevaar voor zwelling hebben aangetoond.

Als er inderdaad twijfel is, worden de volgende proeven uitgevoerd:

- bepaling van het gehalte aan organische stoffen: methode van Walkley-Black, die gebruikmaakt van oxidatie met een mengsel van kaliumdichromaat en geconcentreerd zwavelzuur;
- bepaling van het gehalte aan sulfiden, sulfaten, chloriden en nitraten.

Normen:

- Gehalte aan organische stoffen: NBN 589-207, hoofdstuk 2, § 4.
- Totaal zwavelgehalte: NBN EN 1744 - 1 (1998).
- Nitraten:
 - PR NF ISO 14256-1 of BS ISO 14256-1 (manuele methode).
 - PR NF ISO 14256-1 of BS ISO 14256-2 (geautomatiseerde methode).
- Fosfaten: NEN 5793.
- Gehalte aan chloorionen:
 - NBN B 11-202 (granulaten).
 - NBN T 61-201 (hulpstoffen voor mortel en beton).

I.3.2. Geschiktheidsproeven op grond

Dit zijn indicatieve proeven, waarmee de mogelijkheden tot behandeling van een grondsoort snel kunnen worden bepaald. Bij het vooronderzoek kunnen zij worden gebruikt om uit te maken of het zin heeft door te gaan met de proeven (voor het mengselontwerp).

Geschiktheidsproeven vormen geen vast onderdeel van vooronderzoeken in het laboratorium. De beslissing om ze al of niet uit te voeren, hangt van de bijzondere context van het uit te voeren werk af (inzet en risico's).

Als uit deze proeven blijkt dat behandeling een probleem zou geven, moet naar gelang van de situatie ofwel het vooronderzoek worden stopgezet en van behandeling worden afgezien, ofwel het probleem nader worden bepaald en grondiger worden onderzocht.

I.3.2.1. Kruimelstabiliteit (ref. 5, 29)

Deze proef steunt op de toename van de waterbestendigheid van de grondkruimels, die de toevoeging van kalk teweegbrengt. Door deze toename te meten, kan bij de meeste grondsoorten de geschiktheid voor **verbetering met kalk** worden bepaald.

De methode bestaat erin, natte kruimels behandelde en onbehandelde grond onder water te zeven met een fijne zeef, die sinusoidaal op en neer bewogen wordt. Zeven kan met de hand of met behulp van een (in het OCW ontwikkelde) speciale machine. De kruimels onbehandelde grond vallen uiteen en gaan door de mazen van de zeef, terwijl de kruimels behandelde grond op de zeef blijven. De kruimelstabiliteit wordt bepaald als het verschil tussen de twee zeefresten.

Voor deze proef is 1 kg van de te onderzoeken grond nodig. De uitvoering neemt twee uren in beslag. Door zijn snelheid en eenvoud is deze proef een interessant middel om grond op geschiktheid voor behandeling met kalk te beoordelen.

Werkwijze

► Meetmethode OCW MN 34/73.

I.3.2.2. Geschiktheid voor behandeling met kalk en/of hydraulische bindmiddelen

Deze proef geeft indicaties over de kans op zwellingsgevaar door ettringietvorming in grond die een behandeling (met kalk en/of cement) **ter verbetering of stabilisatie** heeft ondergaan. Zij bestaat erin, de volumeveranderingen van een proefstuk behandelde grond in de tijd te meten. Het proefstuk wordt bewaard in omstandigheden die de reacties die door een behandeling met kalk en/of cement zijn ingeleid, versnellen. Zo wordt het mogelijk het eventuele zwellingsgevaar bij een behandeling in te schatten.

De vormen waarin de proefstukken worden vervaardigd, lijken op die voor de proef ter bepaling van de splijttreksterkte (die op figuur 14 zijn afgebeeld).

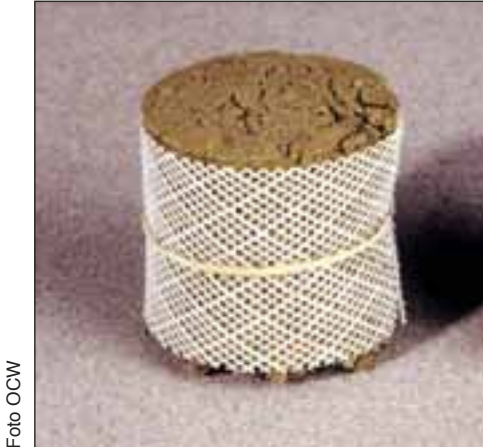
Aangenomen wordt dat grond niet kan worden behandeld of nader onderzoek vergt als de volumevermeerdering (zwellingsgevaar) groter is dan 5 %.

Bij grond die **met cement** is **behandeld**, kan de interpretatie van deze proef worden aangevuld met die van de resultaten van splijttreksterkteproeven⁴ (R_{it}). Daarbij geldt dat grond niet kan worden behandeld of nader onderzoek vergt als $R_{it} < 0,2$ MPa.

⁴ De proef ter bepaling van de splijttreksterkte wordt uitvoerig beschreven in § 1.3.3.2. «Splijttreksterkte».

Normen:

- Zwelling: NF P94-100.
- Splijttreksterkte: prEN 13286-42.



Figuur 7

Proefstuk om de zwelling te meten



Figuur 8

Proefstukken om het druksterkteniveau te meten

I.3.2.3. Stempelweerstand (CBR-waarde na 4 d onderdompeling)

De CBR-proef na 4 d onderdompeling wordt verricht op monsters behandelde grond die volgens de werkwijze van de normale Proctorproef zijn verdicht en vier dagen in water met een temperatuur van 20 °C zijn ondergedompeld⁵.

Benevens de CBR-waarde kan bij deze proef ook de zwelling (G) worden bepaald die na 4 d onderdompeling in het proefstuk is opgetreden.

De volgende waarden geven de gebruiker een indicatie van de geschiktheid van de beproefde grond voor **verbetering of behandeling** (met kalk en/of cement):

- $G > 5 \%$: de grond kan niet worden behandeld of vergt nader onderzoek;
- $G \leq 5 \%$: behandeling met de toegepaste hoeveelheid behandelingsmiddel valt te overwegen. Dit criterium vormt een noodzakelijke, maar onvoldoende voorwaarde voor de behandelbaarheid van grond: een zwelling van minder dan 5 % bij de proef is nog geen garantie dat de grond na behandeling geen zwellingsproblemen zal geven. De proef ter beoordeling van de geschiktheid van grond voor behandeling met kalk en hydraulische bindmiddelen (zie § I.3.2.2.) geeft terzake aanvullende informatie.

I.3.3. Mengselontwerpproeven

Het vooronderzoek naar de mengselsamenstelling bestaat erin, de ontwikkeling van de mechanische prestaties van grond die met verschillende hoeveelheden behandelingsmiddel is behandeld in de tijd te bestuderen. Dit gebeurt in het gebied van watergehaltes dat op de bouwplaats verwacht wordt, en bij de te bereiken dichtheden. Een en ander resulteert in de keuze van het (de) geschikte behandelingsmiddel(en) en in de bepaling van de toe te passen hoeveelheden om het gestelde doel te bereiken.

⁵ De CBR-proef wordt beschreven in § I.4.3.1.B. «CBR/IPI»

De resultaten van het vooronderzoek naar de mengselsamenstelling worden weergegeven in diagrammen die, afhankelijk van het watergehalte bij de uitvoering, de hoeveelheden behandelingsmiddel geven die aan een bepaalde grond moeten worden toegevoegd om de gewenste mechanische kenmerken (draagvermogen, dichtheid, sterkte, water- en vorstbestendigheid) te bereiken.

Deze diagrammen worden eventueel aangevuld met waarnemingen op proefvakken (zie Hoofdstuk III, § III.3.). Hiermee kan dan een behandelingstabel worden opgemaakt, die rechtstreeks op de bouwplaats te gebruiken is.

I.3.3.1. Draagvermogen/dichtheid

Het vooronderzoek verloopt bij elke representatieve groep van grondsoorten in twee fasen.

1) Natuurlijk materiaal:

Vorbereiding:

De grond wordt gedroogd aan de omgevingslucht of in een droogstoof. De temperatuur mag daarbij niet boven 50 °C komen, om veranderingen in de kenmerken van de grond te voorkomen.

De gedroogde grond wordt homogeen gemaakt en indien nodig verkruid tot er geen kluiten van meer dan 2 mm overblijven⁶.

Beproeving:

De normale Proctorkromme (door ten minste vijf punten) wordt bepaald, waarbij gepoogd wordt de bij de werkzaamheden te verwachten watergehalten te omsluiten. Er wordt ook voor gezorgd, aan weerszijden van het Proctroptimum (aan de natte en aan de droge kant) punten te hebben.

Aan elk proefstuk dat gebruikt is om de Proctorkromme te bepalen, wordt vervolgens de CBR/IPI-waarde bepaald. De gevonden waarden worden uitgezet op grafieken die de verandering van het draagvermogen met het watergehalte aangeven.

2) Behandeld materiaal:

Vorbereiding:

a) De grond wordt gedroogd aan de omgevingslucht of in een droogstoof. De temperatuur mag daarbij niet boven 50 °C komen, om veranderingen in de kenmerken van de grond te voorkomen. Evenals bij de voorbereiding van het natuurlijke materiaal wordt de grond vervolgens homogeen gemaakt en indien nodig verkruid.

b) De monsters grond worden bij vier verschillende watergehalten (gekozen in het op de bouwplaats te verwachten variatiegebied) vermengd met toenemende hoeveelheden behandelingsmateriaal (gekozen in een economisch verantwoord variatiegebied). Ook hier wordt ervoor gezorgd, het watergehalte dat met het Proctroptimum overeenstemt te omsluiten.

De grond en het behandelingsmiddel worden tot een homogeen geheel vermengd (voor kleihoudende grond, die zich moeilijk laat vermengen, kunnen mengers met een kluitenbreker worden gebruikt).

c) De mengsels worden 2 h in een hermetisch gesloten verpakking bewaard.

d) Twee uren na de inmenging van het behandelingsmiddel wordt het watergehalte van elk mengsel gemeten, worden de verschillende mengsels volgens de normale Proctormethode verdicht en wordt de Proctorkromme bepaald.

De CBR/IPI-waarde wordt, na een wachttijd die van de toepassing afhangt, bepaald aan elk van de proefstukken die gebruikt zijn om de Proctorkromme te bepalen. Zo kan voor elke toegepaste hoeveelheid behandelingsmiddel de verandering van de CBR/IPI-waarde met het watergehalte bij

verdichting in een kromme worden weergegeven. Uit deze kromme kan worden afgeleid hoe doelmatig de behandeling is geweest (als de grond goed heeft gereageerd, moeten de krommen boven die van de onbehandelde grond liggen)⁷.

I.3.3.1.A. Proctorproeven

De Proctorproef is een verdichtingsproef die in het laboratorium wordt uitgevoerd om de invloed van het watergehalte (w , uitgedrukt in %) van een materiaal op de verdichtbaarheid van dat materiaal (uitgedrukt door de droge volumieke massa ρ_d in g/cm^3 of in kg/m^3) te bepalen.

Beproevingssomstandigheden:

Het materiaal wordt op verschillende watergehalten gebracht.

Daarna wordt elk mengsel laagsgewijs in een cilindrische vorm verdicht met behulp van een hamer met gestandaardiseerde afmetingen en massa, die vanop een gestandaardiseerde hoogte vrij op het mengsel valt. Voor elk watergehalte wordt de droge volumieke massa van het op die manier verdichte monster bepaald.

Resultaten:

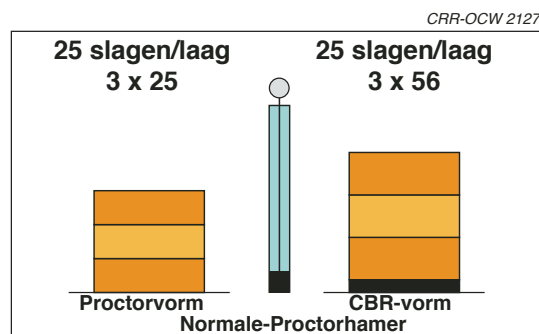
De resultaten worden verwerkt tot een grafiek, met het watergehalte bij verdichting op de abscis- en de droge volumieke massa op de ordinaat⁸. De verkregen kromme heeft de vorm van een klok, die naar gelang van het type van grond (korrelverdeling, watergevoeligheid) sterk of minder sterk afgevlakt is. Bij grondsoorten met dezelfde korrelverdeling zal de kromme vlakker zijn als de verdichtingskenmerken van het materiaal weinig gevoelig zijn voor het watergehalte (zoals bij zand), en spitsers als het watergehalte de verdichtings-kenmerken van het materiaal beïnvloedt (zoals bij kleihoudende grond).

Deze kromme gaat door een maximum, ook «Proctoroptimum» genoemd (zie figuur 12). Met dit Proctoroptimum stemt het optimale watergehalte overeen, waarbij een gegeven grond volgens een gegeven werkwijze maximaal verdichtbaar is.

Tabel 1 - Uitvoeringsdetails van de gewone en de versterkte Proctorproef

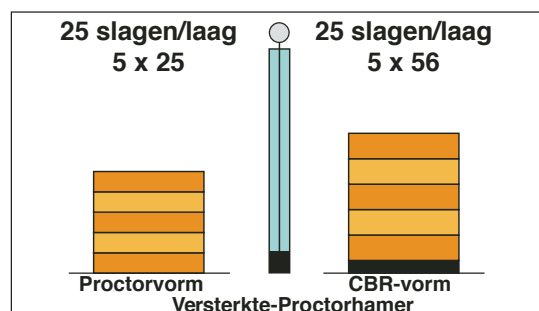
Normale Proctor

Kenmerken	Proctor-vorm	CBR-vorm
Massa van de hamer	2490 g	2490 g
Diameter van de hamer	51 mm	51 mm
Valhoogte	305 mm	305 mm
Aantal lagen	3	3
Aantal slagen per laag	25	56
Massa per laag	650 g	1700 g



Versterkte Proctor

Kenmerken	Proctor-vorm	CBR-vorm
Massa van de hamer	4535 g	4535 g
Diameter van de hamer	51 mm	51 mm
Valhoogte	457 mm	457 mm
Aantal lagen	5	5
Aantal slagen per laag	25	56
Massa per laag	400 g	1050 g



⁷ Bepaling van deze kromme is niet strikt noodzakelijk om het behandelingsmiddel te doseren, maar verdient aanbeveling om een beeld te krijgen van de prestaties van de behandelde grond.

⁸ Schaal voor de weergave van de resultaten: 1 cm = 1% op de abscis; 2 cm = 0,1 g/cm^3 op de ordinaat.

Hieruit blijkt hoe belangrijk het - zowel uit praktisch als uit economisch oogpunt - is de Proctorkromme te kennen. Zij maakt het mogelijk de vochttoestand van grond te bepalen door de natuurlijke watergehalten (w_n) te vergelijken met het optimale watergehalte:

- $w_n < w_{NPO}$: droog materiaal, dat misschien besproeid moet worden;
- $w_n > w_{NPO}$: nat materiaal, dat misschien met een geschikt middel moet worden behandeld.



Foto OCW 3481/12

Figuur 9
Proctorverdichtingsapparaat

Naargelang van de aangewende verdichtingsenergie onderscheidt men twee soorten van Proctorproeven: de normale Proctorproef (600 kNm/m^3) en de versterkte Proctorproef ($2\,700 \text{ kNm/m}^3$).

1) Normale Proctorproef

Deze proef simuleert een matige verdichting, die op een bouwplaats vrij gemakkelijk te realiseren is.

De normale Proctorproef wordt toegepast op grond voor ophogingen, aanvullingen, baanbedden en zaten van ophogingen. De resultaten van de proef worden uitgedrukt in ρ_{dNPO} - en w_{NPO} -waarden.

2) Versterkte Proctorproef

Deze proef stemt overeen met een krachtiger verdichting (de verdichtingsenergie is 4,5 maal zo groot als in de gewone proef), die de situatie op bouwplaatsen - met zware machines - beter weergeeft. De verkregen kromme ligt boven die van de gewone proef en de hogere, optimale dichtheid wordt verkregen bij een lager watergehalte.

De versterkte Proctorproef wordt toegepast op materialen voor funderingen en onderfunderingen. De resultaten worden uitgedrukt in ρ_{dVPO} - en w_{VPO} -waarden.

Men moet duidelijk voor ogen houden dat in het laboratorium verkregen resultaten op een bouwplaats niet altijd zullen worden gehaald. Een en ander is immers afhankelijk van de draagkracht van de ondergrond, de uitvoering en het gebruikte materieel.

Norm:

- NF P94-093.

I.3.3.1.B. CBR/IPI-proeven

1) CBR (California Bearing Ratio)

Met de CBR-proef kan het draagvermogen van een verdicht materiaal worden bepaald.

Zij bestaat erin, de stempelweerstand van een te beproeven materiaal te vergelijken met die van een Californisch referentiemateriaal (berggrind).



Foto OCW

Figuur 10
CBR-vorm

Dit materiaal:

- zakt 2,5 mm onder een druk van 70 MPa;
- zakt 5 mm onder een druk van 105 MPa.

Beproevingssomstandigheden:

De proef wordt verricht door met een constante, genormaliseerde snelheid van 1,27 mm/min een cilindervormige stempel te drukken in het hart van proefstukken grond die met de energie van de (normale of versterkte) Proctorproef in CBR-vormen zijn verdicht.

De kracht die naar gelang van de indringingsdiepte (doorgaans tot 10 mm) van de stempel moet worden uitgeoefend, wordt continu gemeten. Tijdens de proef wordt aan het oppervlak van het proefstuk een bovenbelasting aangebracht, om de bovenbelasting te simuleren die de wegconstructie zal uitoefenen.

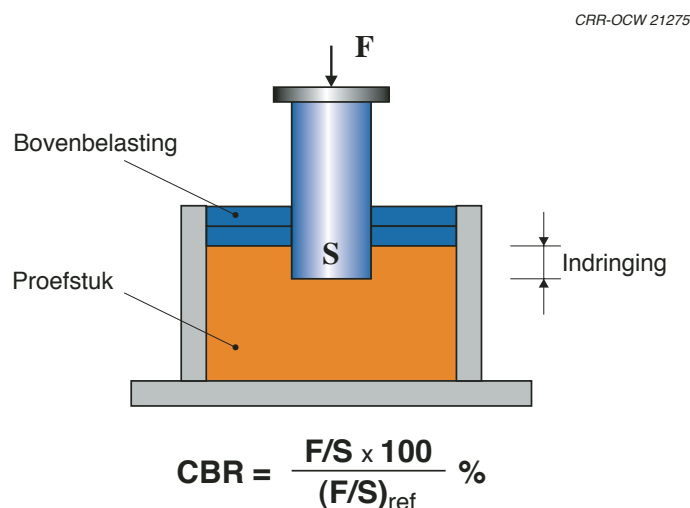
Na de proef worden de krachten P_{2,5} en P₅ bepaald, die moeten worden uitgeoefend om de stempel respectievelijk 2,5 en 5 mm in de grond te drukken.

De stempelproef wordt verricht op alle proefstukken uit de Proctorproef. Met de resultaten kan een grafiek worden opgemaakt, waarin de CBR-waarde tegen het watergehalte bij verdichting is uitgezet (zie figuur 12).

Resultaten:

De spanningen die met indringingen van 2,5 en 5 mm overeenstemmen, worden gerelateerd aan de waarden 70 en 105 MPa, die in een referentiemateriaal dezelfde indringingsdiepten geven. Als CBR-waarde (in % uitgedrukt) wordt de grootste van de volgende twee waarden genomen:

$$\frac{100 \times F/S (2,5 \text{ mm})}{70} \quad \frac{100 \times F/S (5 \text{ mm})}{105}$$

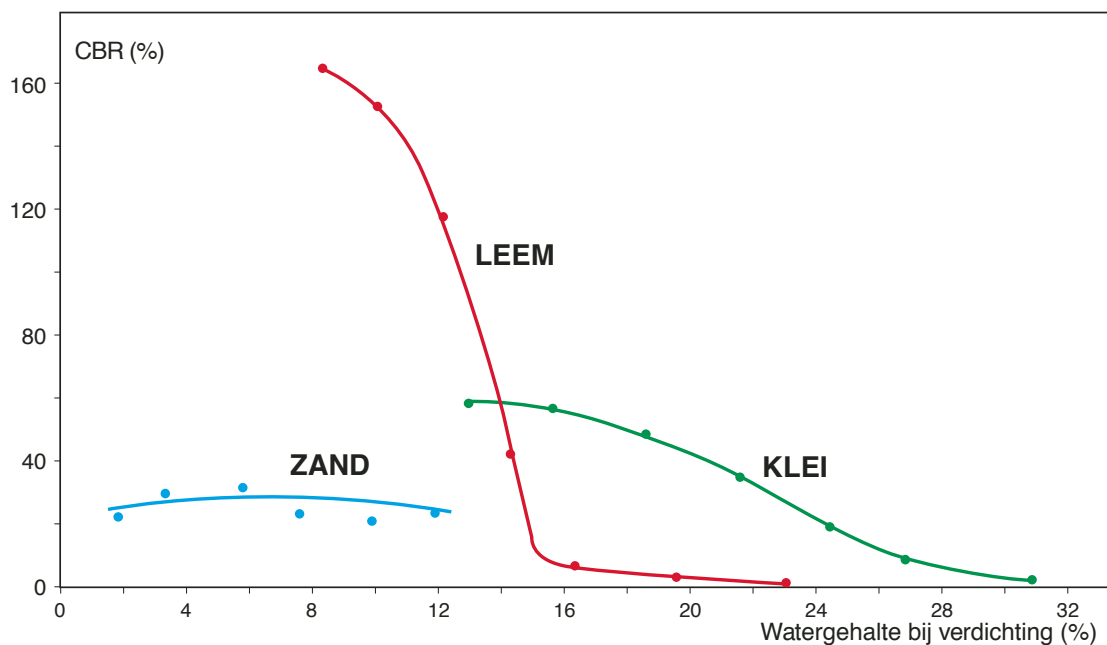
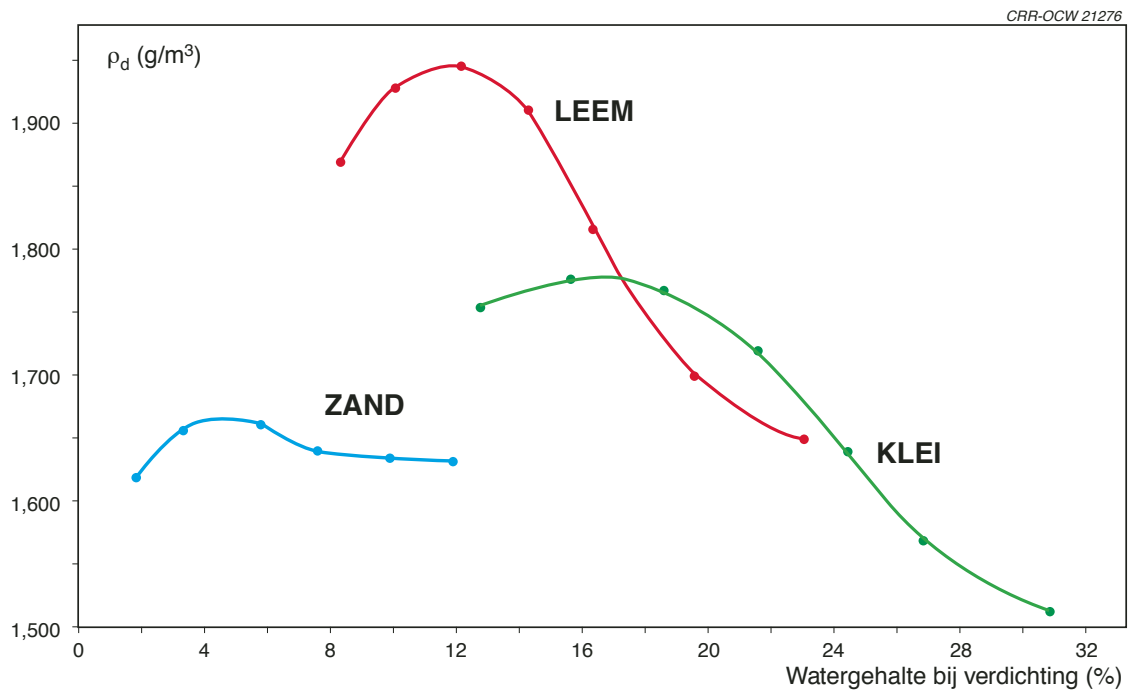


Figuur 11

Principe van de CBR-proef

Men onderscheidt drie soorten van CBR-waarden:

- onmiddellijke CBR-waarde: deze wordt bepaald aan een pas verdicht proefstuk;
- CBR-waarde na enkele dagen (doorgaans drie tot zeven, naar gelang van de beoogde toepassing);
- CBR-waarde na onderdompeling: deze wordt bepaald aan een proefstuk dat vier dagen in water met een temperatuur van 20 °C is gehouden, ter simulatie van grond die na verdichting op de bouwplaats bevochtigd wordt.



Figuur 12

Versterkte-Proctorkommen en CBR-krommen

2) IPI (onmiddellijke draagvermogenindex)

De onmiddellijke draagvermogenindex is een variant van de CBR-waarde. Hij stemt overeen met de CBR-waarde die zonder bovenbelasting of onderdamping is bepaald aan een proefstuk grond dat volgens de normale Proctormethode is verdicht.

Hij maakt een algemene beoordeling mogelijk van het draagvermogen van de grond, van de verdicht- en nivelleer-baarheid ervan, en vervolgens van zijn vermogen om bouwverkeer te dragen.

Hieruit blijkt het praktische nut van de IPI-waarde. Ook zij geeft immers een indicatie van de vochttoestand van de grond:

- hoge IPI-waarde: zeer draagkrachtig materiaal, dat misschien besproeid zal moeten worden als het droog is;
- lage IPI-waarde: weinig draagkrachtig materiaal, dat misschien met een geschikt middel zal moeten worden behandeld.

Norm:

► NF P94-078.

I.3.3.1.C. Dosering van het behandelingsmiddel

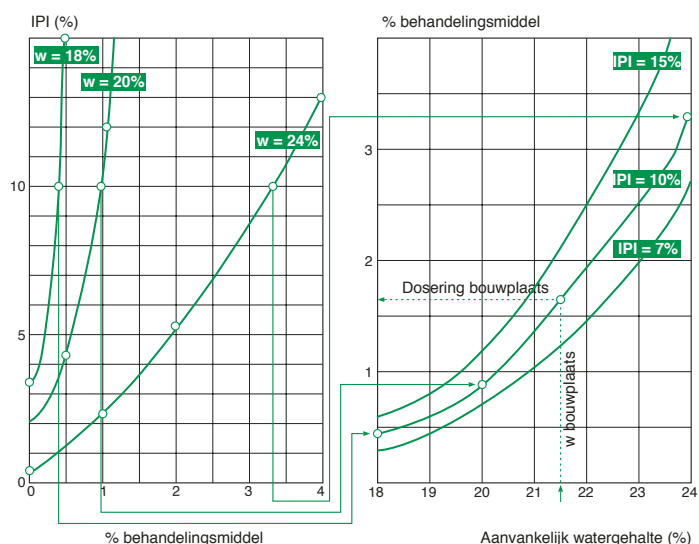
Met de resultaten van Proctor- en CBR/IPI-proeven kunnen krommen worden getrokken, die voor verschillende watergehaltes bij de verdichting de verandering van CBR/IPI-waarden met de toegepaste hoeveelheid behandelingsmiddel weergeven.

Deze krommen vormen het uitgangspunt voor het opmaken van een grafiek die voor verschillende CBR/IPI-waarden de hoeveelheid behandelingsmiddel aangeeft welke naar gelang van het watergehalte van de grond nodig is. Deze grafiek wordt gebruikt om te bepalen welke hoeveelheid behandelingsmiddel het meest aangewezen is om het gestelde doel (gewenste dichtheid/beoogd draagvermogen) bij het natuurlijke watergehalte van de grond op het tijdstip van de werkzaamheden te bereiken.

Het watergehalte van de aanwezige grond wordt gemeten naarmate de uitvoering van het werk voortgaat, en telkens wanneer de weersomstandigheden een verandering van dit watergehalte veroorzaken.

De onderzochte grond kan om de volgende twee redenen ongeschikt voor behandeling worden bevonden:

- onvoldoende reactievermogen: als de toevoeging van een economisch verantwoorde hoeveelheid behandelingsmiddel geen merkbare verandering van de normale



CRR-OCW 21277

Figuur 13

Voorbeeld van een vooronderzoek naar een mengselsamenstelling (ref. 8). Om een IPI-waarde van minstens 10 te verkrijgen, moet in dit geval 1,7 % behandelingsmiddel worden toegepast als de aanwezige grond een watergehalte van 21,5 % heeft.

Proctorkromme en van de kromme van CBR/IPI-waarden oplevert, wordt hieruit afgeleid dat de grond onvoldoende met het behandelingsmiddel reageert;

- te hoog watergehalte: soms reageert de grond goed met het behandelingsmiddel, maar blijft het watergehalte ook na de behandeling te hoog om de gewenste dichtheid en CBR/IPI-waarde te kunnen bereiken.

I.3.3.2. Splijttreksterkte (R_{it})

De splijttreksterkteproef, ook «Braziliaanse proef» genoemd, heeft tot doel de breukspanning van een proefstuk te bepalen onder een drukkracht die vanuit twee tegenover elkaar gelegen generatrices wordt uitgeoefend.

Bij deze proef wordt een verdicht proefstuk na een bepaalde bewaartijd aan een diametrale drukbelasting onderworpen.

Principe:

Er worden proefstukken vervaardigd en verdicht tot een dichtheid die in het bestek is voorgeschreven of op de bouwplaats haalbaar is.

Na een vastgestelde bewaartijd worden zij onderworpen aan een diametrale drukbelasting. Daarbij worden belastingsstroken (4 mm +/- 1 mm dik) gebruikt, om de last goed over de volle lengte van het proefstuk te verdelen.

Het proefstuk wordt continu, gelijkmatig en zonder schokken belast, met een snelheid < 0,2 N/mm² s (of MPa/s).

De splijttreksterkte (of indirecte treksterkte), R_{it} (in N/mm²), kan als volgt worden berekend:

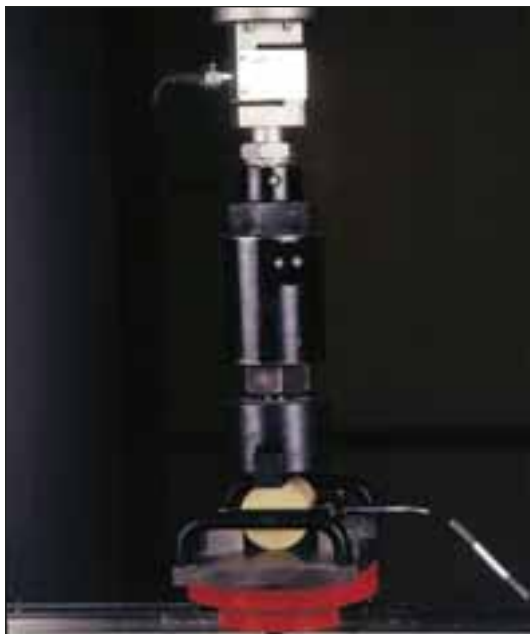
$$R_{it} = 2F / \pi HD$$

waarin:

F = bezwijkbelasting (N);

H = lengte van het proefstuk (mm);

D = diameter van het proefstuk (mm).



Figuur 14

Bepaling van de splijttreksterkte



Figuur 15

Vormen voor de vervaardiging van proefstukken om de splijttreksterkte te bepalen

Aan de hand van de gevonden R_{it} -waarde kan:

- worden nagegaan of het gestabiliseerde materiaal vorstbestendig is. Aangenomen wordt dat behandelde grond vorstbestendig is als hij tegen de datum dat vermoedelijk vorst op de bouwplaats zal optreden een splijttreksterkte R_{it} (bepaald aan proefstukken met een slankheidsfactor 1, statisch verdicht volgens norm prEN 13286-53) $\geq 0,25$ MPa bezit (ref. 8);
- de rechtstreekse treksterkte worden bepaald: $R_t = 0,8 R_{it}$. Deze treksterkte R_t vormt een invoergegeven bij berekeningen van constructieve ontwerpen. Daarbij moet ook de elasticiteitsmodulus worden bepaald, wat mogelijk is door middel van een druksterkteproef of een rechtstreekse trekproef.

Norm:

► prEN 13286-42.

I.3.3.3. Vrije druksterkte (R_c)

De vrije drukproef heeft tot doel de druksterkte (R_c) van een verdicht en gestabiliseerd materiaal te bepalen.

Bij deze proef wordt een verdicht (cilinder- of kubusvormig) proefstuk na een bepaalde bewaartijd onderworpen aan een verticale drukbelasting, die geleidelijk verhoogd wordt tot het proefstuk bezwijkt.

Principe:

Er worden proefstukken vervaardigd en verdicht tot een dichtheid die in het bestek is voorgeschreven of op de bouwplaats haalbaar is.

Na een vastgestelde bewaartijd worden zij tussen de twee platen van een pers geplaatst en aan een toenemende drukbelasting onderworpen, tot zij bezwijken.

Het proefstuk wordt continu belast, zodat het tussen 30 en 60 s na het begin van de uitoefening van de last bezwijkt.

De druksterkte (in N/mm² of MPa) kan als volgt worden berekend:

$$R_c = F / A_c$$

waarin

- F = bezwijkbelasting (N);
- A_c = oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het proefstuk (mm²).

Toepassing:

- aan de hand van de gevonden R_c -waarde kan worden nagegaan of het gestabiliseerde materiaal vorstbestendig is. Aangenomen wordt dat behandelde grond vorstbestendig is als hij tegen de datum dat vermoedelijk vorst op de bouwplaats zal optreden een rechtstreekse druksterkte R_c (bepaald aan proefcilinders met een slankheidsfactor 2, trillend samengedrukt of statisch verdicht volgens norm prEN 13286-52 of prEN 13286-53) $\geq 2,5$ MPa bezit (ref. 8);
- de druksterkte kan ook worden gebruikt om de gevoeligheid van een materiaal voor onderdamping te beoordelen. De bestandheid tegen onderdamping wordt afgeleid uit de verhouding R_{ci}/R_{c60} , waarbij:

- R_{ci} = druksterkte na 28 d gewone bewaring + 32 d onderdompeling in water met een temperatuur van 20 °C;
- R_{c60} = druksterkte na 60 d gewone bewaring.

Aangenomen wordt dat het materiaal tegen onderdompeling bestand is als de verhouding $R_{ci}/R_{c60} \geq 0,80$ (of als $R_{ci}/R_{c60} \geq 0,60$ indien $MBW^9 > 5$) (ref. 8).

Norm

► prEN 13 286-41.

Normen

Belgische normen

- NBN EN 933-9 (1998) Beproevingmethoden voor geometrische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 9: Beoordeling van fijn materiaal - Methyleenblauwproef.
- NBN EN 1097-5 (1999) Beproevingmethoden voor de bepaling van mechanische en fysische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 5: Bepaling van het watergehalte door drogen in een geventileerde oven.
- NBN 589-207 hoofdstuk 2 § 4 (1969) Proeven op bouwzand - Gehalte aan organische stoffen.
- NBN EN 1744 - 1 (1998) Beproevingmethoden voor de chemische eigenschappen van toeslagmaterialen - Deel 1: Chemische analyse.
- NBN B 11 - 202 (1973) Proeven op granulaten - Gehalte aan halogeniden.
- NBN T 61 - 201 (1978) Proeven op hulpstoffen voor mortel en beton - Bepaling van het gehalte aan halogeniden.
- NBN EN 196 - 2 (1995) Beproevingmethoden voor cement - Deel 2: Scheikundige ontleding van cement (paragraaf 8).

Franse normen:

- NF P94-068 (1998) Sols: reconnaissance et essais. Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache.
- NF P94-078 (1997) Sols: reconnaissance et essais. Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice portant immédiat. Mesure sur un échantillon compacté dans le moule CBR.
- NF P 94-049-1 (1996) Sols: reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Partie 1: Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes.
- PR NF ISO 14256 - 1 (1997) Qualité du sol. Dosage des nitrates, des nitrites et de l'ammonium dans les sols humides par extraction avec une solution de chlorure de potassium - Partie 1: Méthode manuelle.
- PR NF ISO 14256 - 2 (2002) Qualité du sol. Dosage des nitrates, nitrites et de l'ammonium dans les sols humides par extraction avec une solution de chlorure de potassium - Partie 2: Méthode automatisée.
- NF P94-100 (1999) Sols: reconnaissance et essais. Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement.
- NF P94-093 (1999) Sols: reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal - Essai Proctor modifié.

Nederlandse norm:

- NEN 5793 (1999) Bodem - De bepaling van fosfaat in grond extraheerbaar met een ammoniumlactaatazijnzuurbuffer (P-AL).

Britse normen:

- BS ISO 14256-1 Soil quality - Determination of nitrate, nitrite and ammonium in field-moist soils by extraction with potassium chloride solution - Part 1: Manual method.
- BS ISO 14256-2 (2002) Soil quality - Determination of nitrate, nitrite and ammonium in field-moist soils by extraction with potassium chloride solution - Part 2: Automated method.

Europese normen:

- prEN 13 286-41 (2002) Graves traitées aux liants hydrauliques et graves non traitées - Partie 41: Méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la compression des graves traitées aux liants hydrauliques (Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test method for the determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures).
- prEN 13286-42 (2002) Graves traitées aux liants hydrauliques et graves non traitées - Partie 42: Méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la traction indirecte des éprouvettes (Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 42: Test method for the determination of the indirect tensile strength of hydraulically bound mixtures).

Werkwijzen

- TB 2000 HPM - RW99 CME 01.01.
- TB 150 aflevering proefmethodes 01.01
- TB 2000 HPM - RW99 CME 01.03.
- TB 150 aflevering proefmethodes 01.03.

GRONDBEHANDELING

II.1. Inleiding

Grondbehandeling met kalk werd reeds toegepast bij tal van bouwwerken zoals de Chinese Muur, de Romeinse heirbanen, enz.. Grondbehandeling met cement is van recentere datum, aangezien cement pas sinds ongeveer 1830 wordt geproduceerd. In België deed grondbehandeling haar intrede in de jaren zestig, ten tijde van de autosnelwegenprogramma's.

Grondbehandeling maakt het mogelijk grond te gebruiken die in zijn normale toestand niet kan worden verwerkt (omdat hij moeilijkheden geeft bij grondverzet, slecht berijdbaar is voor bouwverkeer of moeilijk voldoende te verdichten is). Hierdoor is men niet langer aangewezen op duurdere oplossingen (storten van uitgegraven grond, aanvoer van vervangingsmaterialen).

Hergebruik van grond is in drie opzichten voordelig:

- ecologisch: minder vraag naar aan te voeren materialen, geen stortplaatsen;
- economisch: kortere vervoersafstanden en bijgevolg minder transporthinder;
- technisch: behandelde grond levert uitstekende prestaties, waardoor soms minder dikke lagen kunnen worden aangebracht.

Er mag evenwel niet uit het oog worden verloren dat deze techniek grondiger vooronderzoeken en een verzorgder uitvoering vergt dan wanneer met traditionele materialen wordt gewerkt.

II.2. De verschillende behandelingsmiddelen

II.2.1. Kalk

Behalve voor grondbehandeling in de wegenbouw kan kalk in tal van bedrijfstakken worden gebruikt: in de ijzer- en staalnijverheid, de glasnijverheid, de papierindustrie, de landbouw, de bouw, enz.

In de bouw worden tegenwoordig genormaliseerde kalksoorten gebruikt (norm NBN EN 459 – 1, 2 en 3). De normen leggen een aantal parameters vast, maar de standaardbestekken bevatten daarnaast voorschriften voor enkele andere kenmerken.

Bereiding

Luchtkalk (of vette kalk) wordt verkregen door zeer zuivere kalksteen bij een hoge temperatuur (~ 950 °C) te branden:

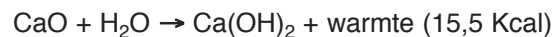


Luchtkalk kan door de inwerking van CO₂ uit de lucht (recarbonatie) langzaam verharden. Aan dit verhardingsproces dankt deze kalk zijn naam.

De verschillende vormen van luchtkalk

Luchtkalk bestaat in de volgende drie vormen:

- **Ongebluste kalk** bestaat in hoofdzaak (doorgaans voor meer dan 90 %) uit calciumoxide (CaO). Ongebluste kalk voor grondstabilisatie wordt volgens norm NBN EN 459 gemerkt als NBN EN 459-1 – CL90-Q.
- **Gebluste kalk** (of kalkhydraat) bestaat voornamelijk uit calciumhydroxide Ca(OH)_2 . Deze vorm wordt bereid door ongebluste kalk te hydrateren («blussen»). De hydratatiereactie is sterk exotherm:



Bij het blussen van ongebluste kalk met water wordt een zeer fijn poeder gevormd. Gebluste kalk voor grondstabilisatie wordt volgens norm NBN EN 459 gemerkt als NBN EN 459-1 – CL90-S.

- **Kalkmelk**: deze vorm wordt in België nauwelijks of niet gebruikt. Zij wordt verkregen door gebluste kalk in water te suspenderen. De concentratie ligt tussen 300 en 400 g gebluste kalk per liter melk. Kalkmelk kan ook met ongebluste kalk worden bereid, maar dan moeten bijzondere voorzorgen worden genomen wegens de sterke warmteontwikkeling bij de hydratatie van calciumoxide. Toepassing van kalkmelk voor grondbehandeling biedt het voordeel dat er geen stofontwikkeling optreedt en dat droge grond bevochtigd wordt (terwijl ongebluste kalk hem verder uitdroogt). In de praktijk bestaat er voor kalkmelk geen norm, omdat de kenmerken ervan – in hoofdzaak de concentratie – bepaald worden door de reële behoeften van de materialen bij de uitvoering van werkzaamheden. Gemeten worden bijgevolg:
 - de concentratie (uitgedrukt in drogestofgehalte DS);
 - eventueel het gehalte aan vrije kalk.

Ongebluste kalk bevat ongeveer 30 % meer vrij CaO dan gebluste kalk. Een ton ongebluste kalk staat gelijk met ongeveer 1 300 kg gebluste kalk. Ongebluste kalk weegt tussen 700 en 1 100 kg/m³, terwijl gebluste kalk maar 560 kg/m³ weegt.

Belangrijke kenmerken van luchtkalk

Als additief voor de behandeling van grond heeft luchtkalk drie belangrijke kenmerken:

- het CaO-gehalte: het CaO kan:
 - vrij, dit wil zeggen ongebonden zijn: het komt voor in de vorm van CaO in ongebluste kalk en Ca(OH)_2 in gebluste kalk;
 - gebonden zijn in de vorm van carbonaat (de hoeveelheid CaO wordt afgeleid uit het CO₂-gehalte van de kalk) of van silicaten en aluminaten (de som van vrij CaO en gebonden CaO geeft het totale CaO-gehalte);
- de maalfijnheid. Dit kenmerk is bepalend voor de homogeniteit van het grond-kalkmengsel, voorzover het volledige hydratatie van de kalk waarborgt. Het speelt ook een rol bij de opslag en het vervoer;

- de reactiviteit, dit is de snelheid waarmee de ongebluste kalk zich met water verbindt (hydratatiesnelheid). Deze reactiviteit is afhankelijk van de poreusheid, de fijnheid en de wijze waarop de kalk gebrand is (bij doodgebrande kalk verloopt de hydratatie veel trager, wat bij verdichte grond-kalkmengsels en aan de lucht gerecarbonateerde kalk gevaar voor zwelling kan opleveren). De meest gebruikte proef, de reactiviteitsproef met water, maakt gebruik van de sterk exotherme hydratatiereactie van ongebluste kalk en meet de verhoging van de temperatuur in de tijd (NBN EN 459-2).

In het algemeen dient kalk de volgende kenmerken te vertonen om een bevredigende grondbehandeling mogelijk te maken:

	Vrij CaO	Maalfijnheid	Hydratatiesnelheid
Ongebluste kalk CL90-Q	≥ 85 % (TB 2000)	Rest op een zeef van 2 mm < 5 % en rest op een zeef van 0,063 mm < 70 % (SB 250, RW99, TB 2000)	60 °C in minder dan 10 min (SB 250, RW 99, TB 2000)
Gebliste kalk CL90-S	> 60 % (gehalte aan $\text{Ca(OH)}_2 \geq 90 \%$) (RW99)	Rest op een zeef van 0,063 mm < 15 % (SB 250, RW99, TB 2000)	/

Werking van luchtkalk

Luchtkalk die met vochtige, samenhangende grond wordt vermengd, gaat met de kleimineralen in deze grond twee onderscheiden reacties aan:

- een snelle reactie, die verantwoordelijk is voor de onmiddellijke effecten van de kalk (grondverbetering met kalk);
- een langzame reactie, die het verdichte grond-kalkmengsel langzaam doet verharden en verantwoordelijk is voor de langetermijneffecten (stabilisatie). De snelheid van deze reactie hangt rechtstreeks van de temperatuur af.

Keuze van de kalkvorm

Voor grondverbetering is alle poederkalk – geblist of ongeblust – geschikt. Als de grond moet worden gedroogd om de optimale omstandigheden voor hergebruik te benaderen, gaat de voorkeur naar ongebluste kalk, waarmee het watergehalte van de grond kan worden verlaagd.

Als de gebruiker in «gevoelige» gebieden moet werken, zal hij sneller voor «stofarme» kalk of voor kalkmelk kiezen en/of zijn werkmethoden aanpassen (zie Hoofdstuk III, § III.9.4.).

II.2.2. Cement

Omschrijving

Cement is een **hydraulisch bindmiddel**, dit wil zeggen een fijngemalen anorganisch materiaal dat, met water vermengd, een pasta vormt die door hydratatiereacties en -processen bindt en verhardt en na verharding haar sterkte en stabiliteit behoudt, ook onder water.

Hydraulisch: een bindmiddel is hydraulisch als het zowel in water als aan de lucht met water reageert en daarbij een product (cementsteen) vormt dat niet meer in water op te lossen is.

Bindmiddel: cement maakt sterke verbindingen tussen de inerte materialen – zoals zand en grind – in het mengsel.

Bestanddelen

Cement wordt verkregen door een aantal hoofd- en bijkomende bestanddelen in bepaalde verhoudingen gelijkmatig met calciumsulfaat te vermengen.

De Europese norm EN 197-1 omschrijft de volgende bestanddelen voor cement:

- hoofdbestanddelen (> 95 % van de som van de hoofd- en de bijkomende bestanddelen):
 - portlandcementklinker (K);
 - gegranuleerde hoogovenslak (S);
 - puzzolanen:
 - natuurlijke puzzolanen (P);
 - gebrande natuurlijke puzzolanen (Q);
 - vliegass:
 - siliciumhoudende vliegass (V);
 - calciumhoudende vliegass (W);
 - gebrande leisteen (T);
 - kalksteen (L - LL);
 - microsilica (D);
- bijkomende bestanddelen (< 5 % van de som van de hoofd- en de bijkomende bestanddelen);
- additieven (< 1 % van de som van de hoofd- en de bijkomende bestanddelen);
- calciumsulfaat (deze stof wordt toegevoegd om de bindtijd van het cement binnen bepaalde grenzen te regelen).

Cementproductie door de bestanddelen te malen en te mengen

De eigenlijke cementfabricage bestaat erin, de verschillende bestanddelen in welbepaalde verhoudingen te doseren en te malen.

Door de portlandcementklinker samen met een bindtijdregelaar en eventuele bijkomende bestanddelen – afhankelijk van de te vervaardigen cementsoort – te malen, wordt een gelijkmatig, innig mengsel verkregen.

De uiteindelijke maalfijnheid wordt bepaald door de gewenste reactiviteit en sterkteklasse.

Verschillende cementsoorten, samenstelling, genormaliseerde aanduiding.

Men onderscheidt in hoofdzaak vijf cementsoorten:

CEM I	portlandcement;
CEM II	portlandcomposietcement;
CEM III	hoogovencement;
CEM IV	puzzolaancement;
CEM V	composietcement.

Cement moet volgens norm EN 197-1 ten minste worden aangeduid met zijn soort, aangevuld met het getal 32,5, 42,5 of 52,5 voor de sterkteklasse. Aan dit getal wordt een letter N of R toegevoegd, voor gewone of snelle sterkteontwikkeling.

Speciale cementsoorten

- cement met begrensd alkaligehalte: deze cementsoort krijgt de letters LA achter haar gebruikelijke aanduiding volgens EN 197-1 en moet voldoen aan norm NBN B12-109;

- cement met hoge bestandheid tegen sulfaten: deze cementsoort krijgt de letters HSR achter haar gebruikelijke aanduiding volgens EN 197-1 en moet voldoen aan norm NBN B12-108;
- cement met lage hydratatiwarmte: volgens de Nederlandse en Duitse cementnormen krijgt cement de letters LH, resp. NW in zijn aanduiding als de hydratatiwarmte na 7 d bij 20 °C minder dan 270 J/g bedraagt;
- portlandcement met hoge aanvangssterkte: deze cementsoort krijgt de letters HES achter haar gebruikelijke aanduiding volgens EN 197-1 en moet voldoen aan norm NBN B12-110.

Keuze van de cementsoort voor grondbehandeling

Binnen het ruime sortiment dat beschikbaar is, wordt de cementsoort gekozen volgens een aantal criteria:

- voldoende lange bindtijd, om het grond-cementmengsel verwerkbaar te houden;
- goede sterkte op middellange en lange termijn;
- verenigbaarheid met de te behandelen grond;
- goede kwaliteit/prijsverhouding.

In principe kan cement uit alle klassen worden gebruikt om grond te behandelen. De meest gebruikte soorten voor deze toepassing zijn:

- CEM III/A 32,5 N LA;
- CEM III/A 42,5 N LA als hoge prestaties worden gevraagd.

II.2.3. Samengestelde bindmiddelen: kalk én cement

Samengestelde bindmiddelen zijn speciale mengsels van ongebluste kalk volgens NBN EN 459 – CL90-Q en cement volgens EN 197-1 § 4. Zij worden in een menginstallatie geproduceerd, op maat van de plaatselijke omstandigheden (grondsoort en watergehalte) en de geëiste prestaties. De mengverhouding tussen ongebluste kalk en cement wordt gespecificeerd. Gebruikelijke samenstellingen bevatten 30 en 50 % ongebluste kalk.

II.2.4. Overige middelen

Benevens de klassieke, genormaliseerde behandelingsmiddelen (kalk, cement) worden nog andere middelen gebruikt om grond te behandelen.

Speciale bindmiddelen voor wegenbouwtoepassingen of hydraulische bindmiddelen voor wegenbouw

Dit zijn hydraulische bindmiddelen die in een fabriek worden vervaardigd en gebruiksklaar worden geleverd, met specifieke eigenschappen die ze geschikt maken voor toepassingen in funderingslagen, onderfunderingslagen en baanbedden en voor het behandelen van grond. Het zijn genormaliseerde producten (ENV 13 282). Zij worden samengesteld uit industriële bijproducten (hoogovenslak, vliegask, enz.) of producten zoals gemalen puzzolanen waaraan een kleine of grotere hoeveelheid kalk is toegevoegd. Deze bindmiddelen worden in Frankrijk onder de benaming «LSR (liants spéciaux à usage routier)» al jaren toegepast om grond te behandelen.

Speciale middelen voor moeilijk te behandelen grond

Deze middelen zijn speciaal ontwikkeld voor de stabilisatie van «moeilijke» grondsoorten – zoals grond die rijk is aan organische stoffen –, waarvoor de klassieke behandelingsmiddelen om technische redenen (onwerkzaamheid) en/of economische redenen (te hoge kostprijs) minder geschikt zijn. Zij vergen een uitgebreid vooronderzoek naar hun effect op de beschouwde grond.

Wegens de verscheidenheid van het aanbod zal de gebruiker een marktonderzoek moeten verrichten om uit te maken welk middel zich het best leent voor de toepassing die hij beoogt.

II.3. Grondbehandeling

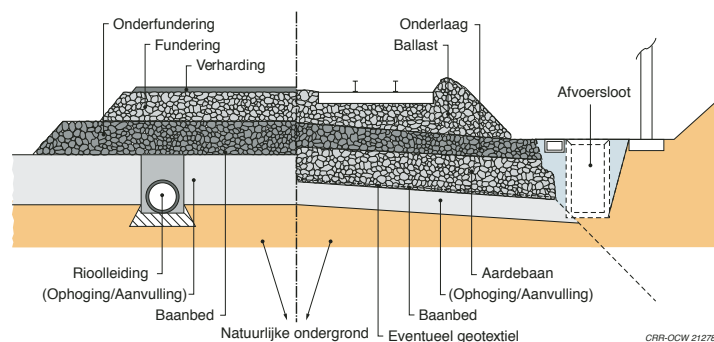
Bij de technieken om de eigenschappen van materialen te wijzigen moet een onderscheid worden gemaakt tussen drie begrippen (ref. 10, 18, 26):

- **behandeling** = algemene naam voor een procédé om een materiaal zodanig te veranderen dat het de functies kan vervullen waarvoor het bestemd wordt;
- **verbetering** = bewerking met een vrijwel ogenblikkelijk effect om de geotechnische eigenschappen van grond (draagvermogen, weerstand tegen indringing, verdichtbaarheid) te verbeteren, waarbij de grondsoort dezelfde blijft. Hierdoor wordt verwerking met klassieke grondverzetmachines mogelijk. Deze bewerking garandeert evenwel geen water- en vorstbestendigheid;
- **stabilisatie** = bewerking met effecten op middellange of lange termijn om de mechanische kenmerken van grond in zeer aanzienlijke mate te verhogen, waardoor het materiaal duurzaam en definitief bestand wordt tegen water en vorst. Zij resulteert onder meer in geleidelijke verharding van het mengsel in de weken en maanden na de verdichting. Van deze effecten kan worden gebruikgemaakt bij het dimensioneren van sommige wegconstructies, maar zij spelen geen rol tijdens het grondwerk zelf.

In deze paragraaf beperken wij ons tot verbetering en stabilisatie met klassieke behandelingsmiddelen (kalk en/of cement). Met «niet-traditionele» behandelingsmiddelen is in België immers nog maar weinig praktijkervaring opgedaan.

II.3.1. Grondverbetering

Verbetering maakt het mogelijk fijne, te weinig draagkrachtige grond (zoals watergevoelige en te natte grond) toch in ophogingen en aanvullingen, in het baanbed en onder bedrijfsvloeren toe te passen. Deze behandeling verbetert de verdichtbaarheid (mogelijkheid om de beoogde verdichtingsgraad te behalen) en geeft de grond onmiddellijk draagvermogen (vermogen om bouwverkeer te dragen). Van grond met een IPI-waarde van minder dan 5 (voor kleigrond), 10 (voor leemgrond) of 15 (voor zandgrond) wordt aangenomen dat hij zeer moeilijk voor bouwverkeer berijdbaar en niet zonder risico of zelfs onmogelijk te hergebruiken zal zijn als hij niet verbeterd wordt.



Figuur 16

Opbouw van een (spoor)wegconstructie

II.3.1.1. Verbetering met kalk

Principe

Inmenging van kalk in kleigrond heeft twee onmiddellijke effecten op het gedrag van deze grond:

- wijziging van de structuur (ongebluste kalk, gebluste kalk of kalkmelk), waarbij stabiele kruimels worden gevormd («verkrumelen» of «flocculeren»);
- droging bij natte grond (ongebluste kalk).

Grond wordt als verbeterbaar beschouwd als het gewenste effect op korte tijd (in enkele uren) met een economisch verantwoorde hoeveelheid kalk kan worden bereikt.

Effecten

De hierna beschreven effecten van behandeling met kalk treden op bij grond die goed met kalk reageert.

Wijziging van de grondstructuur (ref. 11, 18, 26, 30)

Inmenging van (ongebluste of gebluste) kalk in natte leem- of kleigrond resulteert onmiddellijk in samenkitting van fijne kleideeltjes tot stabiele kruimels. Dit verschijnsel, dat «verkrumelen» of «flocculeren» wordt genoemd, is te verklaren door de vorming van $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - of CaOH^+ -brugjes tussen de kleiplaatjes.

De grond-kalkkruimels bieden een «zanderiger» aanblik dan de korrels van de onbehandelde grond. Zij zijn kleiner, kleven niet, hebben een lichtere kleur en zien er droger uit.

Verkrumelen (in het laboratorium):

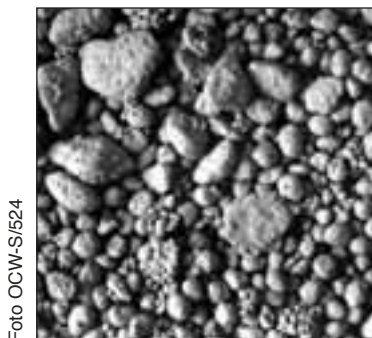


Foto OCW-S/524

Vóór de behandeling

Figuur 17a

Onstabiele kruimels van
onbehandelde grond

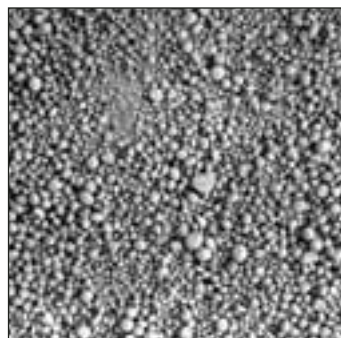


Foto OCW-S/522

Na de behandeling

Figuur 17b

Stabiele kruimels van dezelfde
grond, behandeld met 1 % kalk

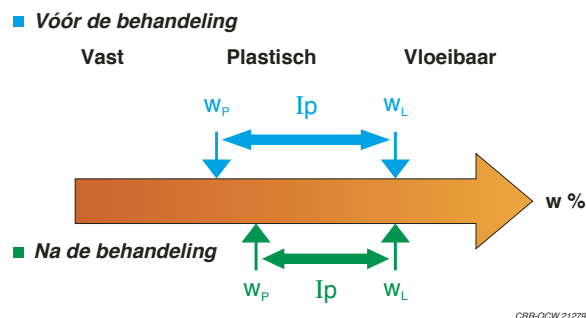
Grond-kalkkruimels zijn in twee opzichten stabiel:

- mechanisch, waardoor zij minder gemakkelijk plat te drukken zijn;
- in aanwezigheid van vrij water.

De vorming van stabiele kruimels ligt aan de oorsprong van verscheidene, vrijwel ogenblikkelijke verbeteringen in de geotechnische kenmerken van de grond¹⁰:

¹⁰ Een beschrijving van deze kenmerken en van de proeven om ze te bepalen is te vinden in hoofdstuk I «Kennis van grond» (§ I.3.1.2. «Plasticiteitsindex», § I.3.3.1. «Draagvermogen/dichtheid»).

- de uitrolgrens (w_p) verhoogt (met 0,5 à 6 %). Hierdoor wordt de plasticiteitsindex I_p kleiner, aangezien de vloeigrens in veel mindere mate varieert (zie figuur 18).
De verhoging van de uitrolgrens is in het algemeen groter naarmate de plasticiteitsindex van de natuurlijke grond groter is. Na de behandeling ligt het watergehalte van de grond onder de nieuwe uitrolgrens, dit wil zeggen in het gebied waar bouwverkeer mogelijk is. De verhoging van de uitrolgrens is enkele minuten na de kalktoevoeging al een feit en blijft één tot twee uren vrijwel ongewijzigd, waarna zij licht afneemt door het geleidelijk optreden van de effecten van de langzame chemische reactie van de kleimineralen met de kalk;



Figuur 18

Effect van verbetering met kalk op de plasticiteit van grond

- de Proctorkromme verandert:
 - zij neemt een vlakkere vorm aan;
 - de maximale dichtheid ($\rho_d \text{ max}$) ligt lager;
 - het optimale watergehalte (w_{op}) ligt hoger (1,5 tot 4 %).

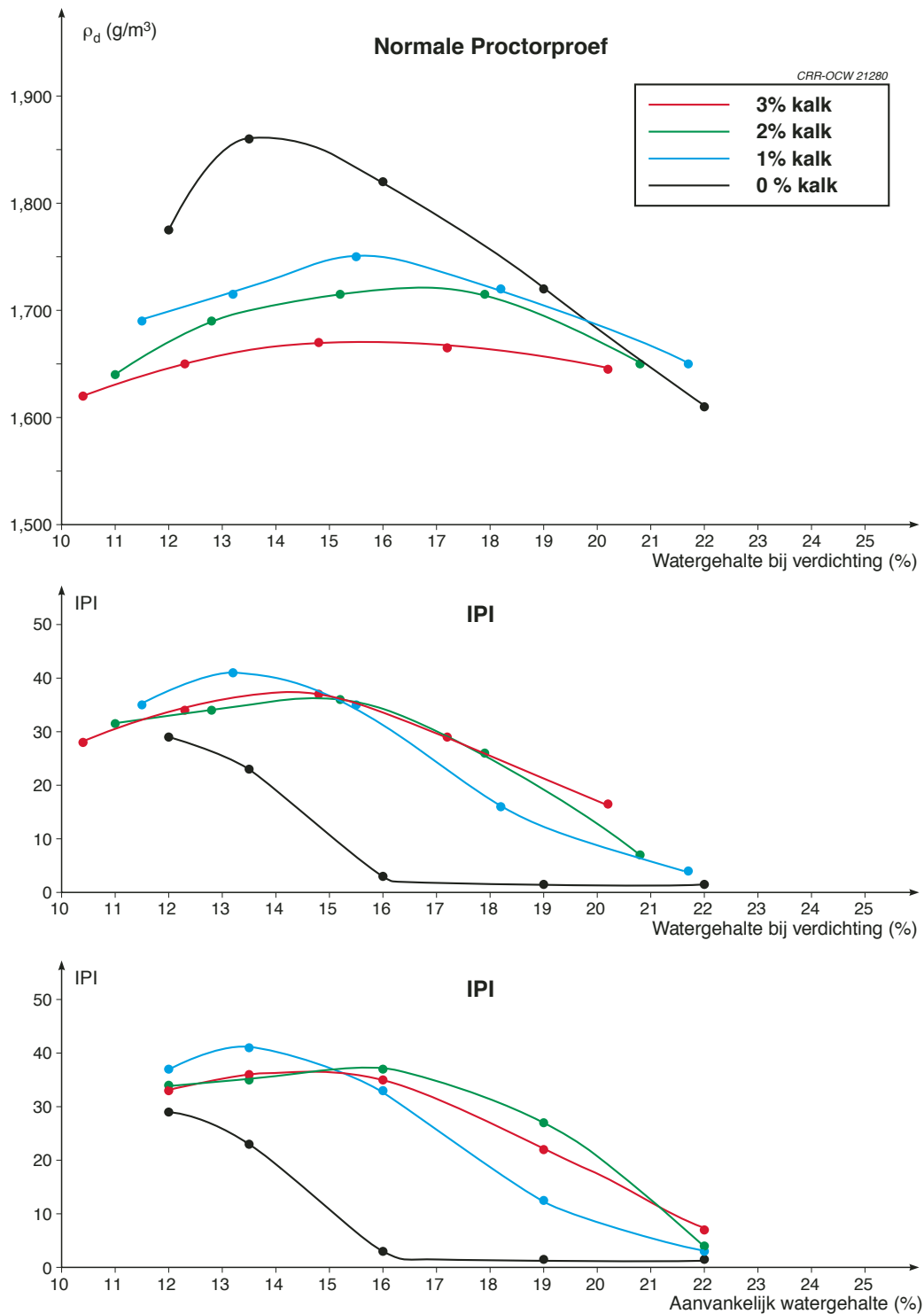
Aleen in het neergaande deel, aan de natte zijde, valt de kromme samen met die van de onbehandelde grond. Bij hetzelfde watergehalte wordt dus voor de behandelde en de onbehandelde grond nagenoeg dezelfde absolute dichtheid verkregen. De relatieve dichtheid (ten opzichte van het maximum) daarentegen is bij het grond-kalkmengsel veel hoger (aangezien de $\rho_d \text{ max}$ van dit mengsel lager is dan die van de onbehandelde grond). De verkregen relatieve dichtheid is in feite nog groter, omdat het grond-kalkmengsel altijd droger is dan de natuurlijke grond. Om die twee redenen verbetert behandeling met ongebluste kalk de verdichtbaarheid van grond;

- de kromme van de CBR/IPI-waarden verschuift naar hogere watergehaltes. Bij gelijke dichtheid en gelijk watergehalte is de CBR-waarde van een twee uren oud grond-kalkmengsel zes- tot tienmaal zo groot als die van de onbehandelde grond. In werkelijkheid is de verhoging van de CBR-waarde van het grond-kalkmengsel nog veel groter, aangezien dit mengsel altijd droger is dan de natuurlijke grond. Zo kan de factor van de verhoging van de CBR-waarde ten opzichte die van de onbehandelde grond bij zijn natuurlijke watergehalte in sommige gevallen tot 50 oplopen¹¹ (ref. 26). Het behoud van draagvermogen bij wateropname na de verdichting (bij grond die niet aan vorst wordt blootgesteld) kan worden uitgedrukt door de verhouding tussen de CBR-waarde na 4 d onderdompeling en de IPI-waarde. Is deze verhouding ≥ 1 , dan wordt aangenomen dat het draagvermogen zich zal handhaven.

De wijziging van de grondstructuur is afhankelijk van de aanwezigheid van kleimineralen en van de aard ervan. Om met kalk te kunnen worden verbeterd, moet grond een plasticiteitsindex I_p bezitten die meetbaar of ≥ 5 is.

¹¹ Deze waarden zijn berekend uit CBR-proeven aan proefstukken die volgens de werkwijze van de versterkte Proctorproef waren verdicht.

Een kleine hoeveelheid ongebluste of gebluste kalk (ongeveer 0,5 % in het laboratorium en 1 % in de praktijk, ten behoeve van de homogeniteit van het mengsel) volstaat meestal om deze verbetering te verkrijgen, mits er goed gemengd wordt en er geen inhibitoren aanwezig zijn. Hogere kalkdosissen vergroten deze onmiddellijke effecten slechts in geringe mate.



Figuur 19

Invloed van verschillende hoeveelheden kalk (0, 1, 2 en 3%) op de verdichtingskenmerken (Proctorkrommen) en het draagvermogen (IPI-krommen) van grond

De lezer wordt erop gewezen dat «watergehalte bij verdichting» en «aanvankelijk watergehalte» twee verschillende begrippen zijn. Het watergehalte bij verdichting is het watergehalte van het materiaal nadat het behandelingsmiddel is toegevoegd, terwijl het aanvankelijke watergehalte het watergehalte van het materiaal vóór de eventuele behandeling is.

Droging van de grond

Een ander effect van kalk is verlaging van het watergehalte. Deze «droging» is het gevolg van vier verschillende verschijnselen.

Watergehalteverlaging door de kalk (hangt uitsluitend van de hoeveelheid toegevoegde kalk af):

- 1) Chemische binding van hydratatiewater door het calciumoxide (**ongebluste kalk**). Het calciumoxide verbindt zich chemisch met in de grond aanwezig water tot calciumhydroxide: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Ca(OH)}_2$. 1 g vrij CaO in de kalk verbindt zich chemisch met 0,321 g water. Ongebluste kalk die 92 tot 93 % vrij CaO bevat, bindt dus een hoeveelheid hydratatiewater gelijk aan ongeveer 30 % van zijn gewicht (ref. 26).
- 2) Verdamping door de hydratatiewarmte van het calciumoxide (**ongebluste kalk**). De reactie die bij het blussen van kalk optreedt, is exotherm. De vrijkomende warmte verhoogt de temperatuur van het mengsel en doet water uit de grond verdampen (de hoeveelheid water die door deze hydratatiewarmte verdampt, bedraagt ongeveer 0,15 g per g aan de grond toegevoegd CaO) (ref. 31). De verdeling van de hydratatiewarmte tussen temperatuurverhoging van het mengsel en uitdamping van water hangt van de hydratatiesnelheid van de kalk en de warmte-uitwisseling tussen het mengsel en zijn omgeving af.
- 3) Vergroting van de hoeveelheid droge stof (**ongebluste of gebluste kalk**). Het watergehalte verlaagt doordat de aanwezige droge stof vermeerderd wordt met het gewicht van de gevormde gebluste kalk, dat ongeveer 1,3 maal zo groot is als het gewicht van de toegevoegde ongebluste kalk (ref. 10).

Watergehalteverlaging door externe factoren:

- 4) Inwerking van externe factoren op de bouwplaats (**menging en beluchting**). Tijdens de menging en tijdens de blootstelling van het verpoederde mengsel aan de lucht voordat het verdicht wordt, treedt aanzienlijke verdamping op. Bij experimentele metingen onder gunstige weersomstandigheden (zon en wind) is in twee uren tijd een watergehaltevermindering van **2,5 %** genoteerd, wat heel wat meer is dan een economisch verantwoorde hoeveelheid kalk kan opleveren (per % toegevoegde ongebluste kalk van goede kwaliteit kan het watergehalte tot **0,65 %** dalen) (ref. 10). Bij koud en nevelig weer is de verdamping door externe factoren kleiner; als de lucht met vocht verzadigd is, treedt zelfs helemaal geen verdamping meer op. Het effect van de weersfactoren is vooral merkbaar in de bovenste 5 cm van een losse, nog onverdichte laag grond-kalkmengsel.

Voordelen

Door zijn gecombineerd drogend effect op natte grond (door chemische binding, warmteontwikkeling, menging, en toevoeging van droge stof) en verkruimelend effect op plastische grond bezorgt kalk aan grond die ermee behandeld wordt de volgende voordelen:

- gemakkelijke verwerking en betere verdichtbaarheid;
- onmiddellijke verbetering van het draagvermogen en betere berijdbaarheid voor bouwverkeer, waardoor grondwerk sneller kan worden uitgevoerd.

Als de grond goed met kalk reageert ($\text{CBR}_{4\text{ d onderdompeling}}/\text{IPI} > 1$, wat bij leem- en kleigrond doorgaans het geval is), behoudt en/of ontwikkelt het grond-kalkmengsel zijn draagvermogen en overige geotechnische kenmerken op korte termijn (enkele dagen) en op middellange termijn (maanden/jaren).

Grondsoorten die in aanmerking komen

Klei- en leemgrond.

Toe te passen hoeveelheden

Hoeveel kalk moet worden toegevoegd, hangt van de te behandelen grond af. De hoeveelheid varieert tussen een technologische ondergrens (voor een gelijkmatige verdeling van het behandelmiddel) van ongeveer 0,5 % en een economische bovengrens (in verband met de eenheidsprijs van kalk en de plaatselijke sociaal-economische omstandigheden) van 3 tot 4 % ongebluste kalk (ref. 27, 31).

Opmerking: als voor een onmiddellijke verbetering hoge percentages worden toegepast, kan de behandelde grond geleidelijk verharderen. Dit kan interessant lijken voor de ontwikkeling van de prestaties, maar kan achteraf minder gewenst zijn (het wordt mettertijd moeilijker nog sleuven of kokers voor riolen, buizen, kabels, enz. in de behandelde grond te graven).

II.3.1.2. Verbetering met samengestelde bindmiddelen

Principe

Samengestelde bindmiddelen voor grondverbetering vinden vooral toepassing in weinig tot matig kleihoudende grond. Aangezien het kleigehalte van zulke grond beperkt is, volstaat het een kleine hoeveelheid gebluste kalk toe te voegen om het plastische effect van de klei in de grond te compenseren.

In de meeste gevallen is een kalktoeslag van minder dan 1 % voldoende om de grondstructuur helemaal te wijzigen.

Voordelen

Een betrekkelijk geringe hoeveelheid bindmiddel geeft reeds:

- een verandering van de uitrolgrens;
- een wijziging van de Proctorkromme.

De toepassing van een samengesteld bindmiddel heeft voorts nog als gevolgen:

- een chemische binding van water + verdamping;
- een vergroting van de hoeveelheid droge stof;
- een meng- en beluchtingseffect.

De hydraulische werking vult de wijziging van de grondstructuur aan door de fijne bestanddelen van de grond te binden en het draagvermogen (CBR/IPI) van de verdichte grond te verhogen. Zo evolueren de eigenschappen van de verbeterde grond nog aanzienlijk in de eerste 24 h na de behandeling en blijven zij dat doen in de dagen en weken die daarop volgen.

Grondsoorten die in aanmerking komen

Kleiarme tot matig kleihoudende grond.

Opmerking: ook hier kunnen te hoge percentages de behandelde grond geleidelijk doen verharden, wat achteraf moeilijkheden kan opleveren bij het graven van sleuven en kokers voor riolen, buizen, kabels, enz.

II.3.2. Grondstabilisatie

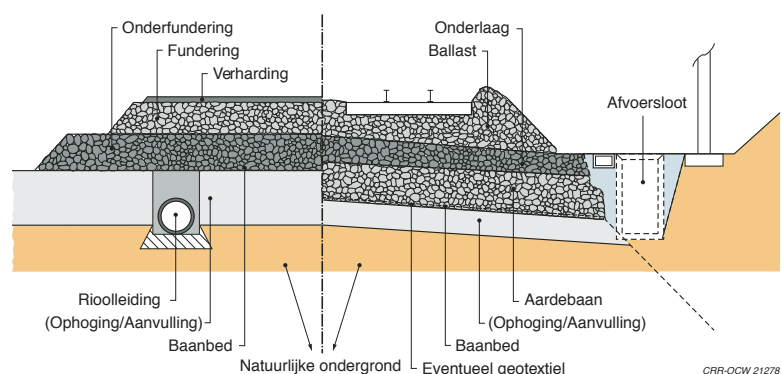
Stabilisatie biedt de volgende voordelen:

- verbetering van het **draagvermogen** van het materiaal en behoud daarvan in de tijd;
- verkrijging van **water- en vorstbestendigheid**.
 - De gevoeligheid van een materiaal voor onderdompeling kan worden afgeleid uit sterkteproeven. Gebruikelijke parameters om de waterbestendigheid te beoordelen, zijn de druksterkte na 28 d gewone bewaring + 32 d onderdompeling in water met een temperatuur van 20°C (R_{ci}) en de druksterkte na 60 d gewone bewaring (R_{c60})¹². Aangenomen wordt dat het materiaal tegen onderdompeling bestand is als de verhouding $R_{ci}/R_{c60} \geq 0,80$ (of als $R_{ci}/R_{c60} \geq 0,60$ indien MBW > 5) (ref. 8).
 - Grond is vorstgevoelig als hij bij vorst en daaropvolgende dooi vervormt: opvriezen bij vorst, draagvermogenverlies bij dooi. Als in een behandelde laag vorst kan optreden, moet een onderzoek naar het vorstgedrag van het behandelde materiaal plaatsvinden om na te gaan of het tegen vorst bestand is. Dit gebeurt aan de hand van sterkteproeven. Gebruikelijke parameters om de vorstbestendigheid te beoordelen, zijn de splijttreksterkte (R_{it}) en de vrije druksterkte (R_c)¹². De beoogde sterktewaarden zijn afhankelijk van het materiaal en de heersende klimaat-omstandigheden. Aangenomen wordt evenwel dat het materiaal vorstbestendig is als de behandelde grond tegen de datum dat vermoedelijk vorst op de bouwplaats zal optreden een splijttreksterkte $R_{it} \geq 0,25$ MPa (of een vrije druksterkte $R_c \geq 2,5$ MPa) bezit (ref. 8).

Doordat stabilisatie het mogelijk maakt de behandelde grondlaag een structurele functie te geven, biedt zij interessante perspectieven bij de dimensionering van constructies. Zij maakt het mogelijk te besparen op de uitvoering van **onderfunderingen**, van **funderingen voor wegen met weinig verkeer** (plattelandswegen, verkavelingswegen, parkeerterreinen, enz.) en van **dragende lagen voor bedrijfsgebouwen**.

De behandeling stelt de betrokken laag in staat de volgende functies te vervullen:

- lastverdeling tijdens de aanleg (bouwverkeer, uitvoering van de werkzaamheden) en erna (belastingen op de constructie);
- bescherming van de ondergrond tegen water en vorst (om de duurzaamheid van de constructie te waarborgen).



Figuur 20

Opbouw van een (spoor)wegconstructie

¹² Een beschrijving van deze kenmerken en van de proeven om ze te bepalen is te vinden in hoofdstuk I «Kenniss van grond» (§ I.3.3.2. «Splijttreksterkte», § I.3.3.3. «Vrije druksterkte»).

Grond kan worden gestabiliseerd door toevoeging van:

- cement;
- kalk;
- een mengsel van kalk en cement.

II.3.2.1. Stabilisatie met cement

Principe

Cement dat in grond wordt gemengd, lost op en hydrateert. De hydratatie van calcium- en aluminiumsilicaten wordt gevolgd door een kristallisatiefase. Terwijl zij kristalliseren, omhullen de gehydrateerde cementbestanddelen de grondkorrels en verbinden zij ze met elkaar; dit heet "hydraulische binding". Deze binding leidt vrij snel tot een duurzame verharding van het mengsel en maakt het bestand tegen water en vorst. Ook het draagvermogen neemt daarbij toe.



Figuur 21
Stabilisatie met cement

De snelheid en mate van hydratatie zijn in hoofdzaak afhankelijk van:

- de bestanddelen van het cement en de fijnheid van deze bestanddelen;
- de aanwezigheid van bepaalde stoffen (organische stoffen kunnen het proces hinderen);
- het watergehalte;
- de temperatuur (hydraulische binding is weliswaar duidelijk minder temperatuurgevoelig dan puzzolane reacties, mits de temperatuur boven 0 °C blijft).

Grondsoorten die in aanmerking komen

Kleivrije en kleiarne grond.

II.3.2.2. Stabilisatie met kalk (ref. 18, 30, 35)

Principe

Kalk verhoogt de pH-waarde van de grond en bevordert de oplossing van in klei aanwezig aluminiumtrioxide en siliciumdioxide. Hierdoor worden gehydrateerde calciumaluminaten en -silicaten gevormd, die kristalliseren en daarbij de grondkorrels geleidelijk met elkaar verbinden. Deze zogenoemde «puzzolane» reactie leidt tot een verhoging van de mechanische eigenschappen van het grond-kalkmengsel (verhoging van het draagvermogen, de CBR-waarde en de vrije druksterkte). De ontwikkeling van deze mechanische eigenschappen maakt de gestabiliseerde grond veel minder gevoelig voor water en vorst. Grond die goed met kalk reageert, ontwikkelt mettertijd duurzame kenmerken.

In onze streken kent deze stabilisatie een ononderbroken verloop van enkele maanden tot verscheidene jaren. De duur van deze langetermijnreactie wordt sterk beïnvloed door:

- de aard van de kleimineralen;
- de omgevingstemperatuur: bij 40 °C verloopt de reactie tien- tot twintigmaal zo snel als bij 20 °C. Onder 4 °C komt zij tijdelijk tot stilstand. Boven 40 °C verandert de reactie tussen kleimineralen en kalk van aard;
- de aanwezigheid van bepaalde stoffen (zie Hoofdstuk I, § I.3.1.5. "Gehalte aan organische stoffen en andere, bijzondere chemische bestanddelen");
- de toegepaste hoeveelheid kalk.

Na een bepaalde tijd (enkele maanden) is het grond-kalkmengsel beter tegen de effecten van vorst-dooiwisselingen bestand dan de natuurlijke grond. Een jong grond-kalkmengsel daarentegen is vorstgevoeliger dan de oorspronkelijke grond.

Grondsoorten die in aanmerking komen

Matig tot sterk kleihoudende grond ($I_p > 20$).

II.3.2.3. Stabilisatie met kalk en cement

Principe

Deze gemengde behandeling wordt uitgevoerd met twee middelen die elkaar aanvullen:

- voorbehandeling met kalk doet de kleibestanddelen flocculeren en droogt natte materialen, waardoor gemakkelijker cement kan worden ingemengd in omstandigheden die een goede homogeniteit van het mengsel waarborgen;
- behandeling met cement doet het mengsel snel verharden.

De kenmerken van met kalk en cement gestabiliseerde grond zijn afhankelijk van:

- de grondsoort;
- het watergehalte van de grond;
- de aanwezigheid van bepaalde stoffen (zie Hoofdstuk I, § I.3.1.5. «Gehalte aan organische stoffen en andere, bijzondere chemische bestanddelen»);
- de toegepaste hoeveelheden kalk en cement.

De wachttijd tussen de voorbehandeling met kalk en de behandeling met cement hangt van de werkorganisatie op de bouwplaats af. In ieder geval zijn de reactiviteit en fijnheid van genormaliseerde ongebluste kalk voor wegenbouwtoepassingen zodanig, dat de twee behandelingen (met een tussentijdse afwerking) dezelfde dag kunnen plaatsvinden.

Er kunnen ook samengestelde bindmiddelen worden gebruikt, om de grond geen tweemaal te moeten behandelen (eerst met kalk, dan met cement).

Voordelen van dubbele behandeling

Voorbehandeling met kalk:

- maakt de grond gemakkelijker verwerkbaar;
- maakt de grond beter berijdbaar voor bouwverkeer (met name voor de machines die het hydraulische bindmiddel gelijkmatig moeten spreiden);
- verlaagt de plasticiteit van de grond, wat de vermenging met het cement bevordert en voldoende maalfijnheid oplevert om de homogeniteit van het uiteindelijke mengsel te waarborgen;
- baant de weg voor een doeltreffende werking van het cement;
- maakt het mogelijk het watergehalte van de grond te beheersen.

Voordelen van behandeling met een samengesteld bindmiddel

- één product op de bouwplaats;
- eenvoudige logistiek en gemakkelijke opslag;
- minder bewerkingen (spreiden, mengen) nodig, en geen wachttijd (tussen voorbehandeling met kalk en behandeling met cement);
- prestaties benaderen die van grond die afzonderlijke behandelingen met respectievelijk kalk en cement heeft ondergaan;
- zeer geschikt voor kleine en middelgrote bouwplaatsen.

Grondsoorten die in aanmerking komen

Gemengde behandeling: kleiarme tot matig kleihoudende grond (leemgrond, leemhoudend zand en leemhoudend/kleihoudend zand).

Behandeling met een samengesteld bindmiddel: kleiarme tot matig kleihoudende grond.

II.3.2.4. Overzicht

Stabilisatie	Plasticiteitsindex ¹³							Hoeveelheid
	0	5	10	15	20	25	30 en +	
	Methyleenblauwgetal (g methyleenblauw/kg materiaal) ¹³							
	0	10	15	22	30	40	60 en +	
Kalk								4 tot 8 %
Cement								4 tot 8 %
Gemengd (eerst kalk, dan cement)								1 - 2 % kalk + 4 - 6 % cement
Samengesteld (kalk-cement)								5 tot 8 %

Tabel 2 - Overzichtstabel die naargelang van de plasticiteit van de grond (op de Ip- of de MBW-schaal)¹³ de te overwegen stabilisatiebehandeling aangeeft, met de toe te passen hoeveelheden behandelingsmiddel(en)

Opmerkingen

- 1) De waarden in deze tabel gelden slechts als leidraad voor de gebruiker en mogen geenszins worden gebruikt als criterium voor de keuze van het behandelingsmiddel. Deze keuze moet worden gebaseerd op een volledig vooronderzoek ter onderkenning van de grondsoort (zie Hoofdstuk I, § I.3.1.), naar de vochttoestand van het materiaal en naar de te bereiken prestaties.
- 2) De dosering wisselt met de grondsoort, het watergehalte van de grond en de verwachte prestaties. In ieder geval moet een vooronderzoek plaatsvinden om de optimale hoeveelheid te bepalen, zowel met het oog op de te bereiken prestaties als uit het oogpunt van de kostprijs van de behandeling (zie Hoofdstuk I, § I.3.3. «Mengselontwerpproeven»).

¹³ Wij vestigen er de aandacht op, dat er geen rechtstreeks verband bestaat tussen methyleenblauwwaarden en plasticiteitsindexen (de blauwe cijfers geven aan welke indicator - Ip of MBW - in een gegeven geval het best geschikt is om de kleihoudendheid van grond te bepalen).

UITVOERINGSWIJZEN

Men onderscheidt in principe twee werkwijzen om grond te behandelen:

- het behandelingsmiddel (kalk en/of cement) op het werk zelf in de grond mengen;
- de grond en het behandelingsmiddel in een installatie mengen.

Deze twee methoden hebben in het algemeen elk een aantal voor- en nadelen:

Investering	Mengen op het werk vraagt een kleinere investering dan mengen in een installatie.
Bewerkingen	Bij mengen op het werk ondergaat de grond minder bewerkingen en hoeft de uitgegraven en vermengde grond niet tijdelijk te worden opgeslagen. Bij mengen in een installatie moet de grond worden uitgegraven, naar een menginstallatie worden vervoerd en vervolgens naar de bouwplaats worden teruggebracht.
Stofontwikkeling	Bij mengen op het werk kan stofontwikkeling optreden (zie tabel 4). Bij mengen in een installatie kan de stofontwikkeling worden beperkt, doordat het behandelingsmiddel rechtstreeks in de menger wordt gedoseerd.
Dosering van het behandelingsmiddel	In een menginstallatie - vooral in een chargemenginstallatie (met afzonderlijke menger) - kan de mengverhouding tussen grond en behandelingsmiddel beter in de hand worden gehouden dan bij mengen op het werk.
Homogeniteit van het mengsel	In een menginstallatie kan de toegevoegde hoeveelheid behandelingsmiddel voortdurend worden gecontroleerd, waardoor de homogeniteit van het mengsel beter kan worden gewaarborgd dan bij mengen op het werk.
Multifunctionaliteit	Sommige menginstallaties kunnen voor andere toepassingen worden gebruikt. Dit geldt ook voor sommige machines waarmee op het werk zelf wordt gemengd.
Milieuvergunning	Voor behandelingsinstallaties is vaak een milieuvergunning vereist, terwijl dat voor behandeling op het werk niet het geval is.

Uit de bovenstaande tabel komt naar voren dat de keuze van de toe te passen werkwijze afhankelijk is van zeer uiteenlopende parameters zoals toepassingsgebied, bestekseisen, investeringskosten, werkingskosten, milieu, controlemogelijkheden tijdens het mengen, mogelijkheid om de behandeling met andere toepassingen te combineren, enz.

Ieder uit te voeren werk dient dus als een afzonderlijk geval te worden beschouwd.

III.1. Grondbehandeling op het werk zelf

Grondbehandeling - of het nu om verbetering of om stabilisatie gaat - vindt altijd plaats in een laagdikte die de gebruikte mengmachine aankan. Indien nodig wordt de te behandelen laag eerst losgewoeld.

Grondbehandeling kenmerkt zich door de inzet van een grote verscheidenheid van uitvoeringsmiddelen en -technieken:

- voorbereiding van de grond;
- spreiden;
- mengen;
- beluchten van het mengsel;
- verdichten.

Deze handelingen moeten op verschillende manieren in het grondverzet worden ingepast.

III.1.1. Samenstelling van het behandelingsmaterieel

De basisuitrusting voor grondbehandeling op het werk zelf omvat:

- een opslagvoorziening (silo);
- een bulldozer (of grader), eventueel voorzien van een ripper;
- een strooiwagen;
- een menger.

Daarbij komt het materieel voor de uitvoering van het werk:

- voor ophogingen en aanvullingen:
 - graaf- en transportwerktuigen (bulldozer, scraper);
 - bulldozer;
 - verdichter;
- voor funderingen, onderfunderingen, het baanbed:
 - sproeimachine;
 - verdichter;
 - grader;
 - transportwerktuig (bulldozer, scraper) (voor overtollig materiaal na het nivelleren van het oppervlak);
 - materieel voor een beschermende oppervlakbehandeling (bestrijking, enz.).

III.1.2. Levering en opslag (ref. 35, 28)

Bij de levering moet worden nagegaan of het behandelingsmiddel met het gevraagde overeenstemt (technische gegevens, overeenkomstigheidsattest, certificaat van herkomst).

Nagenoeg alle middelen - behalve kalkmelk - die tegenwoordig worden gebruikt om grond te behandelen, zijn in poedervorm (kalk, cement). Zij moeten bijgevolg droog en afgesloten worden opgeslagen.

Levering in zakken

Aanvoer in zakken is enkel voor werken van geringe omvang of complexe geometrie verantwoord. Het behandelingsmiddel kan worden geleverd in zakken van 25 tot 50 kg of in «big bags» van 1,5 t, meestal op pallets.

De zakken moeten tegen vocht en tocht worden beschermd (onder een ondoorlatend dekzeil of in een overdekte ruimte; in dit laatste geval mogen de hopen de wanden van de loods niet raken). Bij stapeling op een betonvloer moeten zij ten minste 5 cm boven de vloer liggen. Bij stapeling op pallets moet een waterdichte hoes worden gebruikt.

Levering in bulk

Behandelingsmiddelen worden in hoofdzaak onverpakt geleverd, in bulkwagens van 25-30 t. Het behandelingsmiddel kan rechtstreeks in de strooier worden geleverd, of in lucht- en vochtdichte silo's worden opgeslagen.

Er bestaan verschillende soorten van silo's:

- tanks van afgedankte vrachtwagens. De capaciteit van deze tanks is beperkt tot 25 à 30 t;
- verrijdbare horizontale silo's van 50 tot 100 t. In lege toestand zijn zij gemakkelijk te verplaatsen, waardoor de vervoersafstanden voor het bijvullen van de strooiwagens kunnen worden beperkt. Zij zijn heel geschikt voor «lijnvormige» bouwplaatsen (weg- en spoorwegwerkzaamheden, enz.);
- vaste, meestal verticale silo's met een capaciteit tussen 50 en 350 t. Deze worden vooral gebruikt op grote, «niet-lijnvormige» bouwplaatsen of bij menginstallaties.



Foto OCW 4178/17

Figuur 22

Halfmobile horizontale silo

Opslagcapaciteit en organisatie van de aanvoer

Doorgaans wordt het behandelingsmiddel vanuit de bulkwagen pneumatisch in de strooiwagens gelost. Dit vergt een uitstekende coördinatie tussen de productie van het behandelingsmiddel en de voortgang van het werk (de meeste strooiers hebben tegenwoordig een capaciteit tussen 4 en 15 t en de bulkwagens een capaciteit van 25 tot 30 t, zodat deze hun vracht in verscheidene keren moeten lossen).

Op grote werken verdient het echter aanbeveling het behandelingsmiddel in voorraadsilo's op te slaan. Dit biedt twee voordelen:

- er is voorraad beschikbaar om onvoorziene gebeurtenissen op te vangen;
- door bij een grote vraag deze voorraad aan te spreken kan worden vermeden dat het behandelingsmiddel direct bij de aanvoer moet worden verwerkt, terwijl het nog warm is - wat tal van bijregelingen noodzakelijk maakt om het gelijkmatig te kunnen spreiden.

De gewenste voorraad volstaat voor ten minste een gemiddelde werkdag op de plaats van (grond)behandeling.

Maximale opslagtijd

In zakken geleverd behandelingsmiddel

De maximale opslagtijd is afhankelijk van de wijze waarop de zakken zijn opgeslagen:

- in een niet-vochtige, nauwelijks geventileerde loods is tot drie maanden opslag mogelijk;
- onder een zeil in de open lucht blijft het middel nauwelijks enkele dagen tot maximaal een maand bruikbaar, naar gelang van het seizoen.

In bulk geleverd behandelingsmiddel

Het middel staat vooral bij het lossen en bijvullen van de silo's voortdurend in verbinding met de buitenlucht. Bij droog weer levert dat niet al te veel hinder op; bij vochtig weer daarentegen kan het behandelingsmiddel vocht opnemen en daardoor zijn eigenschappen verliezen en de leidingen van de silo's verstopen. Daarom wordt, afhankelijk van het behandelingsmiddel en het seizoen, een maximale opslagtijd tussen vijftien dagen en één maand aanbevolen.

Als het behandelingsmiddel langer moet worden opgeslagen of in slecht gekende omstandigheden is bewaard, zijn controleproeven nodig (bij ongebluste kalk kunnen de reactiviteit en het gehalte aan vrij CaO worden nagegaan).

Bijzondere voorzorgen

Levering van kalk en/of cement is een van de kritiekste momenten voor het personeel (gevaar dat er poeder in de ogen stuift, enz.). De in § III.8. beschreven voorzorgsregels moeten nauwgezet worden gevolgd.

De werking van al het toebehoren voor de overslag (pompen, filters, aansluitslangen, ventilators, enz.) moet worden nagegaan, om de veiligheid van het personeel van de leverancier en het personeel op de bouwplaats te vrijwaren.

Keuze van de opslagplaats

Hierbij moet rekening worden gehouden met de volgende aspecten:

- toegankelijkheid: voor de opslag moet een plaats worden gekozen die te allen tijde gemakkelijk met transportvoertuigen en strooiwagens te bereiken is (degelijke eigen toegangsweg, in alle weer goed berijdbaar);

- nabijheid van de bouwplaats: het behandelingsmiddel moet dicht genoeg bij de plaats van verwerking worden opgeslagen;
- stofhinder: wegens de eventuele hinder die de overslag van het behandelingsmiddel kan veroorzaken, moet de opslagplaats ver genoeg van woningen en weiland liggen. Daarbij moet rekening worden gehouden met de overheersende windrichting;
- ruimte: de opslagplaats moet ruim genoeg zijn om tegelijk te worden gebruikt door een bulkwagen die het behandelingsmiddel aanvoert en een strooiwagen die komt bijvullen.

III.1.3. Voorbereiding van de grond (ref. 28, 35)

Sommige grondsoorten moeten op behandeling worden voorbereid. Het slagen van het werk - zowel economisch als technisch - kan van deze voorbereiding afhangen. Zij verlicht namelijk het werk van de menger en wijzigt de vochttoestand van de grond.

Men onderscheidt in hoofdzaak de volgende bewerkingen:

- loswoelen: hierdoor worden de grofste kluiten, die zich moeilijker laten vermengen, verkleind, en wordt de grond losgemaakt en belucht. Dit:
 - verbetert het rendement van de menger;
 - vermindert de slijtage van messen van werktuigen;
 - bevordert droging van de grond (als de weersomstandigheden gunstig zijn).

Deze bewerking vindt plaats met een ripper, een eg of een ploeg;

- bevochtigen: dit is een zeer moeilijke bewerking, doordat de besproeiing aan het oppervlak plaatsvindt terwijl naar een gelijkmatige bevochtiging over de hele dikte van te behandelen laag wordt gestreefd. De gebruikelijkste methode bestaat in:
 - loswoelen;
 - besproeien met sproeiwagens die met de zwaartekracht, met druk of met een pomp werken.

Sommige mengers zijn uitgerust met een injectiebuis (aangesloten op een watertank die de menger vergezelt), die het losgemaakte materiaal binnenin bevochtigt. Hierdoor kunnen de twee bewerkingen worden gecombineerd.

Opmerking:

De grond kan het best niet worden opengetrokken als er kans op regen is: losgewoelde grond neemt gemakkelijker water op, wat de verdere behandeling aanzienlijk kan hinderen.

III.1.4. Spreiden (ref. 11, 26, 35)

Materieel

De strooiers die worden gebruikt, hebben volumetrische dosering en een gesloten laadbak; zij zijn zelfrijdend of worden getrokken door een vrachtwagen, een landbouwtractor of een bulldozer op rupsbanden. Bij deze strooiers komt het behandelingsmiddel aan de achterzijde uit de machine.

Men onderscheidt:

- strooiers met niet aan de rijsnelheid gekoppelde volumetrische dosering. Dit zijn de strooiers van de eerste generatie, die in twee fasen worden geregeld. Het zwakke punt is onnauwkeurigheid bij het spreiden. Dit type van strooier mag niet worden gebruikt voor grondstabilisatie;
- strooiers met aan de rijsnelheid gekoppelde volumetrische dosering. Deze worden het meest gebruikt. De dosering wordt van de rijsnelheid afhankelijk gemaakt door de spreidworm te koppelen aan de draaiing van een as;
- strooiers met aan de rijsnelheid gekoppelde volumetrische dosering en met gewichtscontrole. Zij onderscheiden zich van de vorige groep door tal van verbeteringen (regeling van de uitvoer van het behandelmiddel, registratie van werkingsgegevens, beveiligingen, enz.) en door de aanwezigheid van een gewichtscontrole-voorziening in de vorm van elektronische sensoren onder de laadbak. De regeling is eenvoudiger en de spreiding nauwkeuriger.



Foto OCW 4178/16

Figuur 23

Strooien van behandelmiddel

De keuze van de strooier hangt van de gewenste nauwkeurigheid af, evenals van zijn bijzondere kenmerken: capaciteit, vermogen om op moeilijke grond te rijden, debiet, strooibreedteregeling, voorzieningen die de besturing kunnen vergemakkelijken, vulhoogtevoelers in de laadbak, enz.

Bijzondere gevallen:

- behandelmiddel in zakken: het middel wordt handmatig uitgestrooid. De zakken worden daartoe uitgezet over het terrein, dat tevoren in vierkanten is verdeeld naar gelang van de gewenste dosering. Daarna worden zij opengescheurd en wordt het behandelmiddel met een hark uitgespreid;
- vloeibaar behandelmiddel (kalkmelk, cementslurry): dit wordt gespreid met een machine van geschikte grootte en debiet voor het uit te voeren werk. Een volumetrische doseerinrichting die aan de rijsnelheid is gekoppeld, verhoogt de nauwkeurigheid van de spreiding.



Foto OCW 4257/10

Figuur 24

Strooier getrokken door een landbouwtractor



Figuur 25

Zelfrijdende strooiwagen op rupsbanden

Breedte

De strooibreedte is ongeveer 2 m. Zij kan worden aangepast door met halve strooibreedten te werken en daarbij gebruik te maken van een systeem van verbredingsstukken. Hierdoor kunnen te grote overlappings tussen bestrooide stroken worden voorkomen.

Capaciteit

De capaciteit van de huidige strooiers varieert tussen 4 en 15 t.

Bij gewone modellen schommelt het debiet tussen 6 en 30 kg/m², bij de recentste tussen 5 en 60 kg/m².

Dosering

De te spreiden hoeveelheid behandelingsmiddel wordt berekend uit de volgende formule:

$$M \text{ (kg behandelingsmiddel / m}^2\text{)} = h \times \rho_d \times c/100$$

waarin:

- c = beoogd (bij het vooronderzoek vastgesteld) percentage behandelingsmiddel (in massadelen ten opzichte van de droge grond);
- ρ_d = droge volumieke massa in situ van de te behandelen grond, in kg/m³;
- h = mengdiepte, in m.

Bij hoge doseringen verdient het de voorkeur het middel in twee werkgangen te spreiden, gescheiden door een werkgang van de mengmachine.

Opmerking:

De uitvoerder dient zich het recht voor te behouden de doseringen die bij het vooronderzoek zijn vastgesteld aan te passen aan de werkelijke omstandigheden op de bouwplaats (weersomstandigheden, vochttoestand van de grond, enz.), om niet nodeloos te veel behandelingsmiddel te strooien. De besparingen die dat kan opleveren, zijn bij grote werken een voldoende reden om een laboratorium ter plaatse te hebben.

Vullen van strooiers

De strooiers worden pneumatisch gevuld: recht uit de vrachtwagens van de leverancier van het behandelingsmiddel of uit een silo, via een bulkwagen die heen of een weer rijdt tussen de silo en de bouwplaats, of onder het rijden in een "strooitrein" (tractor-tank-strooier) als het draagvermogen van het terrein het mogelijk maakt.

Nauwkeurigheid van strooiers

De nauwkeurigheid van strooiers wordt uitgedrukt in een variatiecoëfficiënt Cv:

$$C_v \text{ (\%)} = (\sigma/m) \times 100$$

waarin:

- m = gemiddeld resultaat van de verrichte wegingen (kg/m²);
- σ = standaardafwijking, d.i. een maat voor de spreiding van de resultaten om dit gemiddelde.

In de praktijk is het momenteel moeilijk een Cv beneden 10 tot 20 % te halen. Slechts enkele strooiers, waaronder die met gewichtscontrole, bereiken in betrouwbare en herhaalde omstandigheden een Cv van 5 tot 10 %.

De nauwkeurigheid hangt in hoofdzaak van drie parameters af:

- het type van strooier (valhoogte van het behandelingsmiddel, systemen die tekorten aan behandelingsmiddel melden, gemak waarmee de dosering kan worden bijgesteld, besturingshulpmiddelen, enz.);
- het onderhoud van de strooier (rubber slabben die het behandelingsmiddel naar de grond geleiden, systemen die de dosering regelen, enz.);
- de vaardigheid en vakkennis van de bestuurder (rijnsnelheid, overlapping van bestrooide stroken, juist aantal werkgangen).

Controle op de gespreide hoeveelheid

Er zijn twee methoden om de gespreide hoeveelheid te controleren:

- regelmatige wegingen van het behandelingsmiddel dat is opgevangen op zeilen met bekende oppervlakte, die vóór de strooier op de grond zijn gelegd. De opgevangen hoeveelheid wordt berekend als het verschil tussen het gewicht van het zeil met en zonder behandelingsmiddel. Op sommige grondsoorten kan het zeil vervormen, waardoor de opvangoppervlakte verandert. Het is dan beter aluminiumschalen te gebruiken, die zwaarder zijn maar minder gemakkelijk vervormen;
- het totale gewicht van het uitgestrooide behandelingsmiddel delen door de bestrooide oppervlakte. Dit is een totaliserende methode, die steunt op een gewichtscontrole en een oppervlaktemeting.



Figuur 26

Controle op de gespreide hoeveelheid: weging van het behandelingsmiddel dat op een aluminiumschaal is opgevangen

Deze twee methoden kunnen worden toegepast:

- bij het begin van een werk, om de strooier te kalibreren en op de gewenste dosering in te stellen (of bij de uitvoering van het proefvak, zie § III.3.);
- tijdens de uitvoering van een werk, om na te gaan hoeveel behandelingsmiddel per m² wordt gestrooid en of het materieel goed werkt en goed gebruikt wordt.

Rendement van een strooier

Bij de bepaling van dit rendement moet rekening worden gehouden met de hele cyclus van een strooibeurt: vullen, van de silo naar de bouwplaats rijden, strooien en van de bouwplaats naar de silo terugrijden. Een strooier met een capaciteit van 15 t heeft daarvoor tussen 1/2 h en 1 h nodig.

Bijzondere voorzorgen

De te nemen voorzorgen om stofhinder te beperken, worden uitvoerig beschreven in § III.8.

III.1.5. Mengen

Deze bewerking heeft tot doel, het behandelingsmiddel op een gelijkmatige manier in de te behandelen grond te brengen.

Algemeen geldt dat hoe meer klei de grond bevat, hoe moeilijker hij te vermengen is (meer werkgangen, krachtiger menging). Toch kunnen sommige grondsoorten die veel klei bevatten met succes worden behandeld. Daarvoor is dan vaak meer dan één menggang nodig.

Het verdient aanbeveling een strooier die een poedervormig behandelingsmiddel uitspreidt, zo dicht mogelijk te laten volgen door een mengmachine die dat middel in de te behandelen grondlaag brengt.

Dit voorkomt dat het middel opwaait en bevordert optimaal gebruik ervan.

De keuze van de mengmachine hangt van de grondsoort en van de grootte en aard van het uit te voeren werk af.

Belangrijk is, dat de mengcapaciteit en de voorhanden verdichtingscapaciteit (inclusief wat de laagdikte betreft) goed op elkaar afgestemd zijn.

Verdamping bij het mengen en beluchting

In de mengkamer van de machine verdampt een aanzienlijke hoeveelheid vocht. Dit effect kan worden vergroot door de achterklep van de mengkamer tijdens de tweede werkgang open te laten; er is dan immers geen gevaar meer dat er nog poeder van het behandelingsmiddel opstuift. Uit de fijngemaakte, nog niet verdichte grond blijft water verdampen, ditmaal aan de lucht (ref. 26).

In de regel maken werkmethoden waarbij de grond weinig of niet kan worden belucht (gesloten systeem, rechtstreeks inmengen van behandelingsmiddel in een sleuf, onmiddellijk na de inmenging verdichten, enz.) het mogelijk de stofontwikkeling goed onder controle te houden, maar zijn zij minder doeltreffend om het watergehalte van de grond te verlagen dan methoden waarbij de grond meer aan de weersomstandigheden wordt blootgesteld.

Werkbreedte

2 tot 3 m, naar gelang van het model.

Vermogen

Op grote werken hebben de meest gebruikte machines een vermogen van meer dan 300 pk.

Aantal werkgangen

Dit aantal hangt van de mengmachine af. Bij mixers met een rotor volstaan meestal twee werkgangen om de behandelde grond voldoende fijn en homogeen te maken. Wanneer ongebluste kalk wordt gebruikt, is de tweede menggang (5 tot 15 min na de eerste) in de praktijk doeltreffender wat drogingseffect betreft, omdat hij plaatsvindt op een grond-kalkmengsel dat door het blussen van de kalk al wat is opgewarmd. Voor een optimale droging is het dus voordelig ten minste twee menggangen uit te voeren en de fijngemaakte laag grond-kalkmengsel aan de lucht bloot te stellen zolang het verloop van het grondwerk en de weersomstandigheden het toelaten (ref. 30).

Mengdiepte

Varieert van 20 tot 55 cm. Hangt van het type van mengmachine en de consistentie van de grond af. 30 cm is een goed gemiddelde.

Controles

Mengdiepte

- tijdens het mengen: de diepte tot welke de werktuigen (schijven, tanden) in de grond dringen, kan visueel worden nagegaan; daarnaast hebben de constructeurs hun machines met diverse controlesystemen uitgerust. De juiste mengdiepte kan worden aangehouden door gebruik te maken van lasermethoden of andere technieken die de constructeurs daarvoor hebben ontwikkeld;
- na het mengen: met regelmatige tussenafstanden worden gaten in de behandelde grond gemaakt. Een verandering van consistentie of kleur geeft de werkdiepte van de machine aan. De mengdiepte kan ook worden nagegaan door een staaf in de grond te steken, om het grensvlak met de onbehandelde ondergrond te lokaliseren. Een andere methode bestaat erin, fenolftaleïne op een wand van een boorgat te spuiten. Als de kleur naar rood omslaat, wijst dat op een sterk basisch milieu, dat kenmerkend is voor de aanwezigheid van kalk of cement.

Homogeniteit van het mengsel (ref. 35)

Deze controle vindt plaats op het einde van het mengen, door met regelmatige tussenafstanden reeksen gaten met een iets grotere diepte dan die van de behandeling te graven en in die gaten de maalfijnheid en de gelijkmatigheid van de verdeling van het behandelingsmiddel na te gaan.

- maalfijnheid: deze wordt op het oog beoordeeld of, bij twijfel, door middel van droog zeven. Bij fijne grondsoorten (leem, weinig plastische klei) is vermaling tot een korrelgrootte van minder dan 20 mm gewenst;
- homogeniteit: voor een strikte controle moeten monsters worden genomen en in het laboratorium worden onderzocht (op chemische samenstelling, mechanische prestaties), wat doorgaans tijdrovend is en veel kennis van zaken vergt. In de huidige praktijk wordt genoeg genomen met een visuele controle op vermaling, kleur en consistentie. De monsters moeten over de volle diepte nagenoeg dezelfde egale kleur vertonen, zonder bleke of donkere vegen of strepen. Als het resultaat niet voldoet, is een extra werkgang nodig. Deze controle wordt verricht door de bestuurder van de machine en door de werkleider in het bijzijn van de opzichter.

Praktische wenken

- Het is niet te voorkomen dat de menger op uitgestrooid behandelingsmiddel rijdt. Er moet dus worden opgelet dat de bewegingen van de machine de verdeling van het behandelingsmiddel niet wijzigen. Dit is mogelijk door:
 - de rijdsnelheid te beperken;
 - geen nodeloze manoeuvres uit te voeren;
 - erop toe te zien dat ventilatie van de motor geen luchtstromingen veroorzaakt die stof kunnen doen opwaaien.
- Door het mengen neemt de behandelde grond sterk in volume toe («uitlevering» van grond). Dit geeft schuin opgaande randen aan weerszijden van een behandelde strook. Als in stroken naast

elkaar wordt gewerkt, moet bijgevolg voldoende (20 cm) van de naastliggende, reeds «uitgeleverde» strook worden meegenomen, om geen onvermengd materiaal aan de randen van de stroken achter te laten (ref. 35).

- De armen van de rotor zijn vrij gevoelig voor beschadiging door stenen. Bij machines waarvan de rotor tegen de rijrichting in draait, dus in tegengestelde zin van de wielen, is dat wat minder het geval. Voor steenachtige grond is er nog geen ideale oplossing; een schijvenploeg lijkt nog het best geschikt, maar er zijn talrijke werkgangen nodig om de grond voldoende fijn te maken (ref. 11).
- Als de gewenste mengdiepte met de beschikbare menger moeilijk of niet te bereiken is, verdient het aanbeveling in twee beurten te mengen. De grond moet dan na de eerste menging licht worden verdicht. Door deze tussentijdse verdichting vermindert de dikte van de behandelde laag, waardoor het mogelijk wordt bij de tweede menggang een dikkere laag te bewerken. Ook als de gevraagde korrelgrootte door kleihoudendheid of gebrek aan samenhang van de grond moeilijk of niet te halen is, wordt dubbele menging met tussentijdse verdichting aanbevolen.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de hoofdkenmerken van de voornaamste soorten van mengmachines. Doordat de markt voortdurend evolueert, is deze lijst uiteraard niet volledig. Zij geldt dan ook louter als indicatie.

Tabel 3 - Voornaamste soorten van mengmachines

SOORTEN EN KENMERKEN	TOEPASSINGEN	RENDEMENT
Ploegen (schijven of tanden)		
Zware modellen Met een krachtige motor (> 300 pk bij modellen voor openbare werken) Mengdiepte: 20 tot 40 cm Werkbreedte: 2 tot 3 m	Kleigrond, krijt $D_{\max} < 300$ tot 500 mm Grondverbetering	200 tot 600 m ³ /h naar gelang van de bouwplaats
Roterende schoppen		
Zware landbouwmodellen Op een landbouwtractor (> 100 pk) gemonteerd Mengdiepte: 30 tot 35 cm Werkbreedte: 2,5 tot 3 m	Kleigrond $D_{\max} < 200$ mm Grondverbetering	100 tot 300 m ³ /h
Pulvimixers met horizontale as		
Zelfrijdend (300 tot 450 pk) Mengdiepte: 30 tot 55 cm Werkbreedte: 2 tot 2,5 m	$D_{\max} < 50$ mm Grondstabilisatie - grondverbetering	200 tot 400 m ³ /h
Op machines gemonteerde brekers en frezen		
Mengdiepte: tot 50 cm Werkbreedte: 2,5 m	$D_{\max} < 50$ mm Grondstabilisatie - grondverbetering	200 tot 400 m ³ /h

III.1.5.1. Mengmachines met vast gereedschap

Mengmachines met vast gereedschap zijn in feite landbouwmachines zoals ploegen, eggen, enz. Zij worden gebruikt om grof te mengen, wat aanvaardbaar is voor grondbehandelingen die gericht zijn op verbetering. Met deze machines is de dikte van de behandelde laag en de kwaliteit van de menging moeilijk te beheersen. Op kleine werken kunnen zij echter een betrekkelijk goedkoop alternatief vormen.

Men onderscheidt:

Ploegen met schijven

Ploegen met schijven bezitten bijna altijd twee achter elkaar gemonteerde rijen schijven. De hoek tussen deze schijven kan worden gewijzigd, waardoor de werkdiepte en de maalfijnheid enigszins kunnen worden beïnvloed. Zij worden gekozen uit de zwaarste modellen (4 tot 8 t) en eventueel van extra ballast voorzien, en moeten worden uitgerust met grote schijven (diameter van 0,8 tot 1,2 m). In "uitgeleverd" materiaal worden deze grote schijven echter snel ondoeltreffend.

De ploegen moeten worden getrokken door krachtige tractoren (> 300 pk) op rups- of luchtbanden. Ook dan werken zij in het beste geval niet dieper dan 20 tot 25 cm in onbewerkte grond. Technologische evolutie wordt verwacht van nieuwe soorten van materieel op zware tractoren. De gewone breedte is 2 tot 3 m, met mogelijkheid tot aaneenkoppeling.

Schijvenploegen kunnen in leem- en kleigrond werken, ook als hij nogal wat keien en grove kluiten bevat. De grens van hun doeltreffendheid wordt evenwel bereikt als de kluiten zo groot zijn, dat zij tussen de schijven blijven vastzitten of de schijven beletten in de grond te dringen ($D_{\max} > 300$ tot 500 mm).

Het toepassingsgebied van deze machines is in hoofdzaak kalkbehandeling van vochtige kleigrond voor hergebruik in ophogingen of aanvullingen of ter verbetering van werkwegen of onstabiele zones. Zij malen nogal grof, waardoor zij slechts voor andere toepassingen kunnen worden gebruikt als de verwachtingen bescheiden zijn.

Een nadeel van deze ploegen is beperkte manoeuvreerbaarheid: het gereedschap wordt getrokken en de omvang van de machine bemoeilijkt het draaien. Bij sommige modellen kunnen de schijven hydraulisch worden geheven, waardoor het manoeuvreren vlotter verloopt.

Voor het rendement wordt rekening gehouden met de werkdiepte en de werkbreedte, met de snelheid van de tractor (2 tot 4 km/h) en met het aantal benodigde werkgangen (tussen drie en acht). Het varieert tussen enkele honderden m³/h in plastische grond met grove kluiten en bijna 600 m³/h in weinig plastische leem.



Foto OCW 4006/20



Foto OCW 4006/24

Figuur 27

Ploeg met schijven

Ploegen met tanden

De tanden van deze ploegen staan op een chassis dat bevestigd wordt op een krachtige rupstractor (vermogen meestal > 300 pk). De vorm (klassiek, V-vorm, enz.) en opstelling (instelhoek, tussenafstand, enz.) van deze tanden worden aangepast aan de kenmerken van de te behandelen grond. Deze ploegen zijn even manoeuvreerbaar als de tractor waarop zij worden gemonteerd.

De werkdiepte hangt van de grootte van de tanden af. In niet-omgewoeld materiaal is 30 tot 40 cm haalbaar, bij een werkbreedte van 2 tot 3 m.

Ploegen met tanden zijn geschikt voor dicht gepakte grond. Zij worden gebruikt voor verbetering van vochtige kleigrond met kalk en geven uitstekende resultaten bij kalkbehandeling van krijtgrond.

De maximale korrelgrootte van de grond is ook hier zowat 300 mm.

Evenals bij schijvenploegen wordt voor het rendement rekening gehouden met de werkdiepte en de werkbreedte, met de rijnsnelheid (2 tot 4 km/h) en met het aantal werkgangen (vier tot zes).

Er bestaat een variant van dit materieel, waarbij aan de voorzijde van een bulldozer een hark of kam wordt bevestigd met tanden waarvan de vorm en tussenafstand geschikt zijn voor het te behandelen materiaal.



Foto OCW 3347/20

Figuur 28

Ploeg met tanden

III.1.5.2. Mengmachines met bewegend gereedschap (ref. 35, 39, 42)

Mengmachines met bewegend gereedschap worden gebruikt om een hogere maalfijnheid te bereiken. Men onderscheidt:

Roterende schoppen

Alleen de grootste modellen van deze landbouwmachines zijn bruikbaar om grond te behandelen. Zij bezitten een krukas waarop een reeks schoppen is gemonteerd en die aangedreven wordt door de vermogenstransmissie van een tractor. De schoppen dringen in de grond en slingeren de kluiten die zij uitsnijden tegen een rooster aan, waardoor zij verkruid worden.

Op tractoren van middelgroot vermogen (100 pk) gemonteerd hebben de zwaarste roterende schoppen een werkdiepte van 30 à 35 cm, bij een werkbreedte van gewoonlijk 2,5 tot 3 m.

De bruikbaarheid ervan is beperkt als de grond een aanzienlijke hoeveelheid elementen van meer dan 200 mm bevat.

Het toepassingsgebied is hetzelfde als voor ploegen met schijven (vochtige kleigrond), maar door de hogere mengkwaliteit die zij leveren zijn roterende schoppen beter geschikt om baanbedden te behandelen. Het rendement gaat van 100 tot 300 m³/h.

Pulvimixers met horizontale as

Dit zijn zelfrijdende machines met geïntegreerd trek- en menggedeelte, die speciaal voor de techniek zijn ontworpen.

Zij bestaan uit een trekker met een freestrommel waarvan de horizontale as met messen of scheppen bezet is en loodrecht op de bewegingsrichting staat. De trommel wordt hydraulisch of mechanisch aangedreven en door vijzels tot de gewenste diepte in de grond geduwd. De horizontale as draait met een snelheid van ongeveer 200 toeren/min.

De maalsnelheid is afhankelijk van de rijsnelheid van de machine en de opening van de achterklep van de mengkamer, waarmee de verblijftijd van het materiaal in de mengkamer kan worden geregeld.

Ook de draairichting van de rotor beïnvloedt de mengkwaliteit: gebleken is dat de resultaten (maalfijnheid en gelijkmatigheid van de behandelde laagdikte) beter zijn als hij tegen de draairichting van de aandrijfwielen in draait. Het vermogen van de meest gebruikte machines gaat van 300 tot 450 pk. De werkbreedte varieert van 2 tot 2,50 m, de werkdiepte van 30 tot 55 cm. Sommige machines kunnen worden uitgerust met een systeem om water in de mengkamer te sproeien.



Figuur 29
Pulvimixer

Voor pulvimixers zijn de omstandigheden mechanisch gezien aanvaardbaar als de grofste elementen < 50 mm. Bij grotere elementen ($D < 200$ mm) kunnen deze machines nog worden gebruikt als deze elementen zacht zijn en niet te sterk schuren (krijt, zachte kalksteen, enz.). Op harde gesteenten (vuursteen, graniet, zandsteen, enz.) die bovendien in dicht gepakte klei zijn ingebed, zijn pulvimixers niet meer te gebruiken.

Vooral de snijwerktuigen (messen, scheppen) ondergaan slijtage. Zij moeten geregeld - afhankelijk van de schurende werking van de grond en de metaalsoort (gewoon staal, behandeld staal, wolframcarbidekorrels) - worden vervangen.

Bij de keuze van deze snijwerktuigen mag niet alleen naar de prijs worden gekeken, maar moet ook rekening worden gehouden met levensduur en vervangingstijd, om te voorkomen dat het werk te vaak moet worden stilgelegd.

De mengkwaliteit (maalfijnheid, homogeniteit van het mengsel) die dit materieel op korrelige grondsoorten levert, is veel beter dan met de andere soorten van machines haalbaar is, en vergelijkbaar met die van een vaste menginstallatie.

Pulvimixers zijn uiterst geschikt voor **verbetering** van niet al te stevige grond voor hergebruik in op-hogingen en aanvullingen, en zijn tevens sterk aan te bevelen voor **grondstabilisatie**.

Het rendement varieert tussen 200 en 400 m³/h, naargelang in één of twee werkgangen wordt gemengd voor hergebruik in een ophoging of aanvulling of in twee tot vier werkgangen voor hergebruik in een onderfundering.

Er bestaat momenteel een tiental soorten pulvimixers. Hoewel zij qua vorm op elkaar kunnen lijken, mag er niet van worden uitgegaan dat ze allemaal dezelfde mengkwaliteit geven. De machines met het grootste vermogen en met de mengkamer tussen de voor- en achteras leveren de beste prestaties.



Figuur 30

Voorbeelden van op tractoren bevestigde frezen



Op machines gemonteerde frezen

Deze werktuigen zijn zeer goed met pulvimixers te vergelijken. Naar gelang van de fabrikant worden zij voor of achter aan een machine bevestigd. Deze machine kan een gewone landbouwtractor zijn. Sommige modellen zijn ontworpen om steenrijke grond fijn te maken. Evenals bij pulvimixers draait de rotor in tegengestelde zin van de wielen van de tractor.

Standaardcombinaties hebben een werkbreedte van 2,50 m en een rotor van 80 cm diameter, en kunnen bij een snelheid van 0,5 tot 3,0 km/h tot 50 cm diep mengen.

Deze machines kunnen worden gebruikt om grond laagsgewijs te mengen. Zij zijn geschikt voor zowel **grondverbetering** als **-stabilisatie**. Zij zijn ook zeer handig op kleinere ruimten (parkeerterreinen, kleine wegen, werken aan collectoren).

Andere machines met bewegend gereedschap

Er bestaat nog een reeks machines die niet alleen mengen, maar ook andere functies vervullen: losmaken van het aanwezige materiaal, doseren en spreiden, bevochtigen, nivelleren. Deze machines kunnen hele wegconstructies opbreken en de vrijkomende materialen met hydraulische bindmiddelen behandelen («recyclers»). Er zijn er op lucht- en op rupsbanden. Zij wegen meer dan 30 t. Bij de meeste van die machines wordt de mengfunctie vervuld door een freestrommel voorzien van een groot aantal tanden, die gemakkelijk kunnen worden vervangen als zij versleten zijn. De trommel draait tegen de wielen van de machine in.

Tijdens het frezen kan in de mengkamer nauwkeurig een bepaalde hoeveelheid water worden gespreid. Deze machines mengen dieper dan hun klassieke tegenhangers. Recyclers kunnen met alle soorten van behandelmiddelen (ook vloeibare) werken, en worden gebruikt voor **stabilisatie**toepassingen.



Figuur 31

Voorbeeld van een recycler waarmee materialen op het werk zelf kunnen worden gestabiliseerd

III.1.5.3. Zeef- en mengbakken (ref. 42)

Deze laadbakken kunnen tegelijk zeven en mengen. Zij kunnen op een groot aantal bestaande grondverzetmachines (laders, «bobcats», kranen) worden bevestigd. De achterwand van de bak is voorzien van roteren waarmee grond tijdens het laden kan worden gezeefd, belucht en gemengd. De bak wordt aangedreven door het hydraulische vermogen van het dragende voertuig. Volgens de fabrikanten kan dit gereedschap probleemloos kleverige, vochtige grond aan.

In vergelijking met ander gereedschap is de investering beperkt. De bakinhoud ligt doorgaans tussen 0,6 en 2,9 m³. Bovendien kunnen zeef- en mengbakken ook voor andere doeleinden worden gebruikt: om houtresten te verkleinen, om teelaarde of compost te zeven, enz. Zij worden ook ingezet om grond te zeven voordat hij naar een vaste menginstallatie gaat. Het rendement hangt sterk van de gebruikte lader af.

Er zijn twee werkwijzen mogelijk:



Foto OCW 4073/11a

Figuur 32

Zeef- en mengbak

- de grond gewoon mengen op de opslagplaats, tijdens het verladen naar de plaats van gebruik of in een vrachtwagen;
- de grond direct in de sleuf mengen. Dit vermijdt onnodig grondverzet en maakt behandeling op zeer kleine ruimten mogelijk. Er zijn toestellen op de markt waarmee het behandelmiddel via een ingebouwd mechanisme automatisch in de grond kan worden gedoseerd. Het middel hoeft dan niet meer tevoren worden uitgespreid, waardoor een deel van de stofontwikkeling voorkomen wordt. Zeefbakken kunnen ook worden gebruikt om sleuven aan te vullen. Voor deze toepassing dient voldoende werkbreedte voorhanden te zijn.

III.2. Grondbehandeling in een menginstallatie

III.2.1. Samenstelling van het behandelingsmaterieel

De basisuitrusting voor deze vorm van grondbehandeling omvat:

- opslagvoorzieningen;
- een bulldozer, mechanische schoppen;
- de (verplaatsbare) menginstallatie zelf.

Daarbij komt het materieel voor de uitvoering van het werk:

- voor ophogingen en aanvullingen:
 - graaf- en transportwerktuigen: bulldozer + meestal een scraper;
 - bulldozer om lagen te nivelleren;
 - verdichter(s);
- voor onderfunderingen, funderingen, het baanbed:
 - sproeimachine;
 - verdichter(s);
 - grader;
 - transportwerktuig voor overtollig materiaal na het afwerken van het oppervlak (op grote werken bijvoorbeeld een zelfladende scraper);
 - materieel voor beschermende oppervlakbehandeling (bestrijking, enz.).

III.2.2. Levering en opslag

Het behandelingsmiddel wordt in dezelfde omstandigheden geleverd en opgeslagen als bij grondbehandeling op het werk zelf (zie § III.1.2).

III.2.3. Spreiden en mengen

Het spreiden en mengen vinden in de installatie plaats.

Evenals bij grondbehandeling op het werk (§ III.1.5) kan de homogeniteit van het mengsel worden beoordeeld aan de maaflijnheid en aan de verdeling van het behandelingsmiddel in het mengsel.

Er bestaan verschillende soorten van menginstallaties. Zij verschillen van elkaar volgens een aantal criteria: soort van menger (continue menger of chargemenger), capaciteit, verplaatsbaar of vast, enz. Het is niet mogelijk hier alle soorten van installaties op te sommen. Daarom beperken wij ons tot een overzicht van de verschillende, meest gebruikte onderdelen die met elkaar kunnen worden gecombineerd.

Dosering van de grond

De grond wordt in massadelen en/of in volumedelen (met mogelijkheid tot voortdurende gewichtscntrole) gedoseerd uit een voorraadbunker met uitvoerband.

Aangezien grond van zeer wisselende kwaliteit kan zijn - van niet-samenhangende zandgrond tot kleverige kleigrond -, dient bijzondere aandacht te worden besteed aan het type van doseertrechter, om brugvorming en aankleving in de bunker te voorkomen.

Dosering van het behandelingsmiddel

Het behandelingsmiddel wordt uit een silo gedoseerd met behulp van een doseerschroef. Er bestaan verschillende silo's; zij kunnen met een trilconus worden uitgerust, om brugvorming en aankleving aan de uitlaat te voorkomen.

Omdat dosering met een schroef wegens schommelingen in dichtheid niet erg nauwkeurig is, hebben sommige constructeurs een weegcontrole in de dosering ingebouwd. Het gewicht wordt hiermee voortdurend gecontroleerd en aangepast als er afwijkingen zijn.

Door vochtmeting op de transportband is het voorts mogelijk de dosering van het behandelingsmiddel aan het watergehalte van de aangevoerde grond aan te passen.

Mengen

Er zijn twee systemen om grond in een installatie te mengen:

- continu: de grond en het behandelingsmiddel worden continu in de menger gedoseerd;
- discontinu: de hoeveelheid grond en de hoeveelheid behandelingsmiddel worden in de menger gedoseerd voor één mengsel («charge»). Na de menging gaat de menger open en wordt het geproduceerde mengsel gelost.

Chargemenging geeft meestal een mengsel van betere kwaliteit dan continue menging, maar beperkt het rendement.

Bij de keuze van het type van menger moet rekening worden gehouden met vreemde bestanddelen (steenpuin, betonblokken, ijzeren staven, enz.) die uitgegraven grond kan bevatten. Het type van menger bepaalt namelijk in welke mate deze bestanddelen eerst moeten worden verwijderd.

Soorten van menginstallaties

A. Verplaatsbare installaties

Bij de verplaatsbare installaties onderscheidt men:

- volledige systemen, ontworpen om in één stuk te worden vervoerd. Dit vervoer is echter niet zo gemakkelijk, aangezien het toch om vrij omvangrijke machines gaat;
- uit afzonderlijke onderdelen samengestelde systemen, die op het werk worden geassembleerd.

Het voordeel van volledige systemen ligt in de snelheid van opstelling en in de compactheid van het geheel als het eenmaal op de bouwplaats staat. Een nadeel is dat het zware en dure machines zijn, die moeilijk kunnen worden gemoduleerd om op de noden van het ogenblik in te spelen.

Uit afzonderlijke delen bestaande systemen hebben het voordeel dat de aannemer voor sommige onderdelen uit zijn bestaand machinepark kan putten om een systeem samen te stellen waarmee hij kosten kan besparen. Ook kan het geheel door het assembleren van losse onderdelen beter worden aangepast aan de omvang van het uit te voeren werk. Nadeel is dat het op elk werk moet worden op- en afgebouwd.

1) Installaties uit één stuk

Een eerste soort is de grote mobiele installatie. Zij bevat al het nodige toebehoren om grond te behandelen en is gemonteerd op een chassis dat met een vrachtwagen kan worden voortgetrokken. Monteren en demonteren gaat vrij snel, omdat alles plooi- en draaibaar is. Typische maten zijn een lengte van ± 19 m en een hoogte van ± 4 m. Het rendement is ongeveer $120 \text{ m}^3/\text{h}$ behandelde grond.



Figuur 33

Voorbeelden van verplaatsbare installaties (ingebouwde menger)

Ingebouwde mengers zijn een andere soort. De fabrikant biedt meestal een compacte, geheel gesloten machine aan, met een lengte van ongeveer 10 m.

De meeste machines worden op wielen geleverd. Sommige fabrikanten leveren modellen op rupsen. Meestal blijft de menger tijdens de uitvoering op het werk en wordt hij centraal opgesteld, om het grondtransport te beperken.

Bij werkzaamheden aan collectoren kan de machine worden verplaatst naarmate het werkvak opschuift, wat het grondvervoer tot een minimum beperkt. Gezien het gewicht (± 35 t) en de omvang van de machine is dat evenwel enkel op grote werken in landelijke gebieden mogelijk. Er mag namelijk niet te dicht bij de open sleuf worden gewerkt, wegens de belasting die de machine op de grond uitoefent. Het rendement bedraagt tussen 100 en $200 \text{ m}^3/\text{h}$ (bij materiaal met een korrelverdeling tussen 0 en 80 mm). Voor een rendabele toepassing moet per bouwplaats minstens ongeveer $3\,500 \text{ m}^3$ worden behandeld.

2) Installaties uit afzonderlijke onderdelen

Deze bestaan uit afzonderlijke onderdelen (doseerbunker, opvoerband naar de menger, menger, afvoerband voor het gemengde product, silo, eventueel weegsysteem voor het behandelingsmiddel, sturing), die snel kunnen worden uiteengenomen en weer in elkaar worden gezet.

Zij kunnen eventueel worden gebruikt om andere materialen te mengen. Afhankelijk van de menger kunnen zij een rendement van 50 tot $300 \text{ m}^3/\text{h}$ halen.



Figuur 34

Voorbeeld van een menginstallatie uit afzonderlijke onderdelen



Figuur 35

Voorbeeld van een installatie met vermenging van grond en behandelmiddel in een roterende zeef



Foto OCW

Figuur 36

Roterende zeef

3) Installaties met roterende zeef

Deze installaties bestaan uit een roterende zeef en een (of meer) silo's. Roterende zeven hebben de eigenschap dat zij om zichzelf heen draaien. Zij dienen om materialen in verschillende korrelgroottefracties te scheiden en kunnen ook worden gebruikt om grond met een behandelmiddel te vermengen.

Principe

De grond wordt van de bouwplaats naar de opslagruimte vervoerd en gewogen. De gewenste (afgewogen) hoeveelheid additief wordt op de te behandelen grond gestrooid. De roterende zeef zorgt voor de eigenlijke vermenging van deze twee bestanddelen tot «behandelde» grond. Voormenging met een laadschop op luchtbanden bevordert de kwaliteit van het eindproduct.

Het voordeel van een dergelijke installatie is dat zij (door de maaswijdte van de zeef) de grove stenen (> 20 mm) verwijdert. Een nadeel van dit procédé is de sterke stofontwikkeling.



Foto OCW

Figuur 37

Voorbeelden van vaste installaties om grond te behandelen



B. Vaste installaties

Met vaste installaties kan grondbehandeling industrieel worden aangepakt. Bedrijven met zulke installaties leggen zich specifiek toe op productie van behandelde grond met eigenschappen die goed onder controle worden gehouden.

In deze installaties wordt de aangevoerde grond gezeefd, eventueel gemalen, en gemengd met een behandelingsmiddel.

De productie van behandelde grond kan ook worden gecombineerd met andere activiteiten, zoals productie van recyclingmaterialen.

III.3. Proefvak (ref. 35, 44)

Op grote werken, of als er twijfel bestaat over het gedrag van de materialen of het mengmaterieel slecht gekend is, verdient het aanbeveling bij elke verandering van grondsoort een proefvak aan te leggen voordat aan de eigenlijke uitvoering van het werk begonnen wordt.

Op deze proefvakken kan de uitvoerbaarheid van de behandeling «op ware grootte» worden nagegaan en kunnen de grafieken uit het vooronderzoek in het laboratorium aan de praktijk worden getoetst. Meer bepaald bieden deze proefvakken de mogelijkheid:

- de werking en doelmatigheid van de machines (strooiers, mengers, verdichters) in situ na te gaan;
- de uitvoeringswijze nader te bepalen (snelheid, optimale werkdiepte van het gereedschap, aantal werkgangen, enz.);
- de volgens het vooronderzoek toe te passen hoeveelheden aan de omstandigheden op de bouwplaats aan te passen als dat nodig blijkt;
- eventuele onvoorziene moeilijkheden die tijdens de uitvoering kunnen opduiken, aan het licht te brengen.

De vakken zijn doorgaans ongeveer 50 m lang en ten minste drie werkgangen van de strooimachine breed.

De resultaten van de metingen op proefvakken worden uitgezet op nieuwe grafieken, die de werkelijk toe te passen hoeveelheden behandelingsmiddel aangeven als functie van het natuurlijke watergehalte van de grond en de heersende weersomstandigheden.

III.4. Opslag van behandelde grond

De wijze waarop behandelde grond wordt opgeslagen, is zeer belangrijk: zelfs behandelde grond kan bij toevoer van water nog van consistentie veranderen en daardoor onbruikbaar worden.

Met kalk behandelde grond

Onverdichte verbeterde grond kan gemakkelijk enkele dagen of zelfs enkele weken in voorraad blijven liggen, voorzover hij tegen neerslag beschermd wordt. De behandelde grond moet dan op de juiste manier worden opgeslagen: in één hoop, zodat het meeste regenwater afstroomt. Het afgestroomde water moet bovendien aan de voet van de hoop goed worden afgevoerd.

Als het grond-kalkmengsel lang moet worden opgeslagen, kan de grond beter met een geringe hoeveelheid kalk (~ 1 %) worden behandeld, om hem verwerkbaar te houden. Deze hoeveelheid kan dan later nog worden bijgesteld, wanneer de grond voor de beoogde toepassing gebruikt wordt.

Met cement behandelde grond

Grond die met cement is behandeld, kan niet worden opgeslagen. De behandelde grond moet onmiddellijk (binnen twee uren) na de inmenging van het bindmiddel worden verdicht.

III.5. Ventilatie

Met kalk behandelde grond

Wegens het drogende effect van kalk kunnen vochtige grondlagen die met kalk zijn behandeld en nog niet zijn verdicht, aan de lucht blootgesteld blijven zolang de voortgang van de werkzaamheden en de weersomstandigheden het toelaten (dreigt er regen, dan moet het mengsel snel worden verdicht en het oppervlak worden afgestreken, om indringing van regenwater te beperken). De verdichting dient ten laatste op het einde van de werkdag plaats te vinden, om insijpeling van regenwater te voorkomen en gebruik te maken van de beginnende langetermijneffecten van de behandeling. Bovendien is de verdamping 's nachts betrekkelijk gering.

Met cement behandelde grond

De korte verwerkbaarheidsduur van cementgebonden materialen brengt mee, dat grondlagen die met cement zijn behandeld binnen de eerste twee uren na de menging moeten worden verdicht. Het materiaal mag niet aan de lucht blootgesteld blijven.

III.6. Verdichting

Hierna volgen enkel de algemene principes voor de verdichting. Voor nadere informatie over de in acht te nemen voorschriften wordt verwezen naar de bestaande bestekken.

Doel

Gepoogd wordt op de bouwplaats na een aantal werkgangen van verschillende machines een droge dichtheid in situ te verkrijgen, die tussen 95 en 100 % van de in het laboratorium gevonden dichtheid ligt:

$$T (\%) = \frac{\rho_d}{\rho_{d \text{ NPO (of VPO)}}} \times 100$$

Hierin is:

- T de verdichtingsgraad (%);
- ρ_d de droge dichtheid van de grond ($\rho_{d \text{ NPO}}$ = droge dichtheid van de grond bij het normale Proctoroptimum en $\rho_{d \text{ VPO}}$ = droge dichtheid bij het versterkte Proctoroptimum).

Als algemene regel geldt dat de verdichtingsgraad voor ophogingen en aanvullingen > 95 % en voor het baanbed ≥ 98 % van het normale Proctoroptimum moet zijn.

Algemene principes

De verdichting van behandelde materialen volgt nadat zij met behulp van een werktuig met een schuifblad (bulldozer, grader) zijn genivelleerd; zij vindt plaats in laagdikten die de verdichters aankunnen en die met het toepassingsgebied te verenigen zijn. Als verdichters worden banden-, tril- of schapenpootwalsen gebruikt.

Vooral voor het baanbed en voor funderingen en onderfunderingen moet behandelde grond zeer zorgvuldig worden verdicht. Dit vergt veel verdichtingsenergie.

Er zijn tal van apparaten en proeven om verdichtingswerk in situ te controleren: dichtheidsmeters, plaatbelastingsproeven, slagsondes, Dynaplaque, gammadichtheidsmeters, enz.

Bijzondere voorzorgen

Trilwalsen kunnen bij fijne, behandelde grond schilfering aan het oppervlak veroorzaken. Dit verschijnsel kan tot verticale discontinuïteit leiden. Het kan worden tegengegaan door aan het oppervlak minder met trillende rollen te werken en vooral door het watergehalte van de grond tijdens de verdichting op peil te houden. Bij het nivelleren moeten bijkomende maatregelen worden genomen (ref. 35).



Figuur 38

Verdichting van behandelde grond



III.7. Nivelleren en beschermen van gestabiliseerde lagen

Nivelleren

Gestabiliseerde lagen (onderfunderingen, funderingen voor wegen met weinig verkeer, dragende lagen voor bedrijfsgebouwen) worden genivelleerd door het oppervlak in zijn geheel vlak te schaven en geenszins door laagten aan te vullen met overtollig materiaal van weggenomen bulten. Bij deze bewerking kan eventueel ook het schilferige laagje worden weggenomen dat tijdens de verdichting met trilwalsen aan het oppervlak is gevormd.

Dit nivelleren moet onmiddellijk na de verdichting plaatsvinden, omdat het zeer spoedig bemoeilijkt wordt door de snelle verharding van het behandelde materiaal.

Meestal wordt daarvoor een grader gebruikt - eventueel met (draad- of laser)geleiding - of, op grote werken, een geleide schaafmachine.

Het overtollige materiaal moet worden afgevoerd (op grote werken bijvoorbeeld met een zelfladende scraper).

Beschermen

Cementstabilisatie

Een wachttijd van ten minste zeven dagen tussen het einde van de behandeling en de ingebruikneming van een met cement gestabiliseerde laag is gebruikelijk, om het behandelde materiaal bestand te maken tegen bouwverkeer.

Sommige lagen krijgen daarna langdurig zwaar bouwverkeer te verwerken, in soms ongunstige weersomstandigheden (bijvoorbeeld lagen die de winter moeten doorstaan). In zulke gevallen moet de behandelde laag tegen weer en wind (bevochtiging, uitdroging) en tegen het verkeer worden beschermd.

Kalk- en/of cementstabilisatie

De bescherming van behandelde lagen is een belangrijke fase. Hiermee zijn mogelijke problemen met scheurvorming in gestabiliseerde lagen te voorkomen. Behandelde funderingslagen kunnen tegen uitdroging worden beschermd door (zo spoedig mogelijk na de verdichting en een daaropvolgende lichte besproeiing, of ten laatste op het einde van de werkdag) een bitumenemulsie aan te brengen en deze met 3 kg/m² zand af te strooien.

Foto OCW



Figuur 39

Voorbeeld van bescherming van behandelde lagen

III.8. Uitvoeringstermijnen

De in acht te nemen termijnen om het doel van de behandeling te bereiken, verschillen naar gelang van het gebruikte behandelingsmiddel en de soort van behandeling:

- grondverbetering (met kalk of een samengesteld middel): deze behandeling bezorgt grond onmiddellijk betere grondmechanische eigenschappen (draagvermogen, weerstand tegen indringing, verdichtbaarheid);
- grondstabilisatie met kalk: de langetermijnreacties tussen de toegevoegde kalk en de aanwezige kleimineralen verlopen bij gewone temperaturen langzaam. In onze streken zal een grond-kalkmengsel bij de aanvang van de eerste winter na de behandeling bijgevolg nog niet zijn volle stabiliteit hebben bereikt. Daarom moet worden vermeden dat na de kalkbehandeling een vorstperiode volgt, die de kenmerken van de gestabiliseerde grond nadelig zou kunnen beïnvloeden;
- grondstabilisatie met cement: de snelle reactie van het toegevoegde cement met de grond bezorgt deze laatste spoedig de vereiste vorstbestendigheid (in enkele weken, naar gelang van de omgevingstemperatuur en de toegepaste cementklasse).

III.9. Elementaire voorzorgen

Een belangrijk aspect bij de uitvoering van grondbehandeling is de bescherming van de werknemers en de omwonenden tegen de gevaren van en hinder door stof afkomstig van het behandelingsmiddel. Dit stof kan namelijk de ogen, de luchtwegen en de huid irriteren.

De omvang van de stofontwikkeling is afhankelijk van het gebruikte materieel, de weersomstandigheden en de uitvoeringstechnieken. Het effect verschilt met de ligging van de bouwplaats (werkzaamheden dicht bij woningen of aan zeer druk bereden wegen veroorzaken meer stofhinder dan werkzaamheden in het open veld).

III.9.1. Preventie

De mogelijke bronnen van stofontwikkeling en de elementaire maatregelen om deze stofontwikkeling te beperken, worden beschreven in tabel 4.

III.9.2. Bescherming van het personeel op de bouwplaats

Het personeel dat met zakken behandelingsmiddel werkt of dat opslag- en strooimaterieel bedient, is doorgaans het meest aan irritatie blootgesteld.

Ter bescherming van het personeel moeten de volgende regels strikt in acht worden genomen:

- voertuigen die strooiers trekken en zelfrijdende mixers moeten met een gesloten cabine - indien mogelijk een overdrukcabine - zijn uitgerust;
- op de bouwplaats moet helder water voorradig zijn om indien nodig de ogen uit te spoelen of de huid te wassen;
- om geen brandwonden of irritaties op te lopen, dienen bestuurders van machines en grondwerkers te voet:
 - beschermende kleding te dragen (hemd met lange mouwen, handschoenen, enz.), evenals hoge schoenen. Bij het werken met behandelingsmiddelen moeten zij bovendien steeds een veiligheidsbril met zijbescherming opzetten. Is het behandelingsmiddel kalk, dan kunnen de

Tabel 4 - Bronnen van stofontwikkeling en mogelijke oplossingen (ref. 8)

Uitvoerings - fase	Betrokken materieel/installatie	Bronnen van stofontwikkeling	Mogelijke oplossingen
Vervoer en opslag	Vrachtwagens	Behandelingsmiddel op de vrachtwagens na het laden	Elke vrachtwagen door een ontstoftingsinstallatie laten gaan voordat hij de fabriek verlaat
	Silo's	Ontluchten (druk aflaten) na het lossen	Zones aanleggen die daarvoor speciaal zijn uitgerust
		Uitstoot van behandelingsmiddel door de uitlaten van de silo's bij het vullen	Diverse sancties voor ontluchten buiten deze zones
		Overvulling van silo's	De uitlaten van de silo's aansluiten op filters in goede staat
	Verbindingsstukken	Gaten in verbindingleidingen en/of stukgesprongen bevestigingsstukken	Een overvulbeveiliging op de silo's installeren, die een waarschuwing geeft als zij vol zijn
Strooien	Opslagplaats	Ophoping van behandelingsmiddel door occasioneel verlies bij overslag	De uitrusting regelmatig een onderhoudsbeurt geven en bij een gebrek onmiddellijk ingrijpen
		Uitstoot van behandelingsmiddel door de uitlaten van de strooiers bij het vullen	Ophopingen systematisch wegnemen
	Strooiers	Overvullen van de strooier	De uitlaten van de strooiers aansluiten op filters in goede staat
		Gaten in verbindingleidingen en/of stukgesprongen bevestigingsstukken	Een overvulbeveiliging installeren
		Van te hoog strooien	De uitrusting regelmatig een onderhoudsbeurt geven en bij een gebrek onmiddellijk ingrijpen
		Gebrek aan luchtdichtheid van de strooier bij pneumatische of op luchtstroom gebaseerde uitvoer	De strooihoogte beperken tot maximaal 0,5 m
	Mengen	Met de strooier over een reeds bestrooid oppervlak rijden	De vrije valhoogte van het behandelingsmiddel door middel van flexibele slabben beperken tot 5 à 10 cm boven de grond
		Luchtturbulenties door de werking van de uitlaat en de luchtdrukventielen	Een beveiliging installeren die het einde van het strooivolume aangeeft
		Luchtturbulenties door de werking van de uitlaat en de luchtdrukventielen van het trekkende voertuig	De benodigde hoeveelheid behandelingsmiddel in één werkgang uitstrooien
		Luchtturbulenties door de werking van de rupsbanden van het trekkende voertuig of de schijven van de ploeg	De uitlaat omleiden om een opwaarts gerichte stroom te krijgen
Pulvimixers met horizontale as	Luchtturbulenties door de werking van de uitlaat en de luchtdrukventielen	Luchtturbulenties door de werking van de uitlaat en de luchtdrukventielen	Strooien en mengen combineren in één werkgang
		Slecht afgestelde in- en uitlaat van de mengkamer	De uitlaat omleiden om een opwaarts gerichte stroom te krijgen
		Windsnelheid die vorming en verspreiding van stof veroorzaakt	Strooien en mengen combineren in één werkgang
	Wind	Windsnelheid die vorming en verspreiding van stof veroorzaakt	De afstelling aanpassen aan de aard en staat van de te behandelen grond
	Voertuigen	Met voertuigen (inclusief lichte voertuigen) over een bestrooid oppervlak rijden	De bestuurder opleiden
Coördinatie van de verschillende machines		Bestrooid oppervlak	De grondbehandeling en vooral het strooien stilleggen zodra de stofontwikkeling de op de bouwplaats aanvaardbare grenzen overschrijdt
			Een middel gebruiken dat niet gemakkelijk opwaait
			Alle verkeer op een bestrooid oppervlak verbieden
			Het strooien en inmengen zo organiseren, dat de wachttijd tussen beide beperkt wordt tot bij voorkeur 15 à 30 minuten

werkers het best geen kleding dragen die nauw om de hals of de polsen sluit (langdurig contact met een zwetende huid op plaatsen waar de kleding te nauw aansluit, kan irritatie veroorzaken) en dienen zij op te passen voor brandwonden aan de voeten (de temperatuur van vochtige grond die pas met kalk is behandeld, kan oplopen tot meer dan 80 °C);

- een licht filtrerend masker te dragen als de lucht op het werk verontreinigd is met stof van het behandelingsmiddel (leegmaken van tankwagens in opslagsilo's en in strooiers, en bijvullen van strooiers uit silo's).

III.9.3. Eerste hulp

Kalk:

- huidbrandwonden: de huid grondig afspoelen met lauw water en zeep om alle kalkresten te verwijderen, zalf op de wonden aanbrengen en de wonden afdekken met steriel verband;
- kalk in de ogen: het oog openhouden en onmiddellijk met veel water uitspoelen. Brandwonden in de ogen meteen melden, zodat het slachtoffer onmiddellijk medische verzorging kan krijgen.

Cement:

- cement in de ogen: het oog onmiddellijk met veel water uitspoelen en de oogleden een aantal minuten openhouden. Eventueel een oogarts raadplegen;
- contact met de huid: zoveel mogelijk cement verwijderen en de huid grondig met water afspoelen om alle cementresten te verwijderen (oppassen voor deeltjes onder de nagels, onder het uurwerk of in de kleren, schoenen, enz.);
- inademing van cement: het slachtoffer verse lucht laten inademen (buiten de zone met stofontwikkeling brengen). Eventueel een arts raadplegen;
- inslikken: de mond overvloedig spoelen met water en het slachtoffer veel water of melk doen drinken. Niet doen braken. Eventueel een arts raadplegen.

III.9.4 «Gevoelige» bouwplaatsen

Een «gevoelige» bouwplaats kan worden omschreven als een bouwplaats die zich op minder dan 100 tot 150 m van woningen, industriële installaties, een belangrijke verkeersweg, een geëlektrificeerde spoorlijn, een landbouwgebied met planten-, groenten- en/of fruitbomenteelt (vooral in de bloeitijd), een veevoederplaats, een parkeerterrein of een opslagplaats van gevoelige producten bevindt.

Op zulke bouwplaatsen moeten ten minste de vastgestelde voorzorgsregels in acht worden genomen. Naarmate de bouwplaats gevoeliger is, kan aan het bestek een aantal bijkomende eisen worden toegevoegd.

Hierna volgt, als aanzet, een onvolledige lijst:

- Eisen met betrekking tot het behandelingsmiddel en de op- en overslag ervan:
 1. Een stofarm behandelingsmiddel gebruiken.
 2. Een specifieke voorziening (bijvoorbeeld een tent boven de laadzone, enz.) aanbrengen om stofemissie tijdens de overslag van behandelingsmiddel te beperken.
- Eisen met betrekking tot het strooien:
 1. Het strooien onderbreken zodra de wind behandelingsmiddel buiten de grenzen van de bouwplaats blaast. Het gaat daarbij om stof afkomstig van het behandelingsmiddel en niet om stofdeeltjes van droge grond of om uitgedampt water.

2. De strooier uitrusten met een inrichting die de stofontwikkeling bij het uitstrooien van het behandelingsmiddel beperkt (afzuiging, verneveling, enz.).
 3. De uitlaatgassen van het materieel omleiden.
- Eisen met betrekking tot het mengen:
1. Het mengen onderbreken in de omstandigheden waarin ook het strooien moet worden onderbroken.
 2. Het behandelingsmiddel maximaal 15 min na het strooien in de grond werken.
 3. De uitlaatgassen van het materieel omleiden.
 4. Voorschrijven dat enkel met pulvimixers met horizontale as en gesloten mengkamer mogen worden gebruikt.
 5. Voorschrijven dat de grond in een vaste installatie moet worden behandeld.
- Eisen met betrekking tot het meten van stofontwikkeling:
1. Een windmeter op de bouwplaats installeren.
 2. Registrerende stofvangers installeren en de waarden die zij aangeven, optekenen.

III.10. Economische aspecten (ref. 11, 35)

Ieder uit te voeren werk is specifiek. Daarom moet telkens weer een vergelijkende balans worden opgemaakt, om na te gaan in hoeverre grondbehandeling kan concurreren met traditioneler technieken (die steunen op aanvoer van nieuw materiaal). De verschillende kostenfactoren die een gewicht in deze balans leggen, zijn:

- voor grondbehandeling: kosten voor de levering, het vervoer en het gebruik (opslaan, strooien, mengen, verdichten) van het behandelingsmiddel, indirecte kosten (stofemissie, lawaai, enz.);
- voor aanvoer van nieuw materiaal: kosten voor de aanvoer uit de winplaats, het laden, het vervoer en het verwerken (effenen en verdichten) van het materiaal, indirecte kosten (slijtage van het wegennet door bouwverkeer dat het materiaal komt ophalen/naar de opslagplaats brengt, lawaai, langere uitvoeringstijden bij ongunstige weersomstandigheden, enz.).

De rechtstreekse en onrechtstreekse economische voordelen van grondbehandeling zijn aanzienlijk:

- 1°) hergebruik van grond in plaats van verbruik van nieuwe materialen, die steeds schaarser worden.
Dit heeft in verscheidene opzichten een effect op het milieu:
 - vermijden van storten, minder ontginning van materialen;
 - beter beheer van natuurlijke grondstoffen;
 - minder wegverkeer naar de bouwplaats en bijgevolg minder schade aan het wegennet;
 - rationele exploitatie van terreinen in randstedelijke gebieden;
- 2°) hogere productiviteit: grondbehandeling vergemakkelijkt het bouwverkeer en beperkt het stilleggen van werkzaamheden wegens ongunstige weersomstandigheden, waardoor:
 - de uitvoeringskosten dalen;
 - de uitvoeringstermijnen beter kunnen worden nageleefd;
 - het rendement van constructies, die vroeger in gebruik kunnen worden genomen, stijgt;
- 3°) technieken waarmee een kwaliteitsniveau kan worden bereikt dat bij de bouw van ophogingen, de aanleg van baanbedden en de aanbrenging van funderings- en onderfunderingslagen van wegen geëist wordt:
 - doordat de materialen verbeterd worden, kunnen zij in minder grote hoeveelheden worden verwerkt;
 - de levensduur van de constructies wordt verlengd;
 - de onderhoudskosten worden verlaagd.

In de praktijk omvat de kostprijs van grondbehandeling de volgende bestanddelen:

- behandelingsmiddel:
 - tijdens het vooronderzoek wordt de dosering bepaald die bij de geschatte watergehalten voor de beoogde toepassing nodig is;
 - tijdens de uitvoering van het werk wordt het watergehalte van de grond bepaald om de dosering bij te stellen;
- voorbereiding van de grond: dicht gepakte, kleihoudende grond moet eerst worden losgewoeld, om het rendement van het inmengen te verhogen;
- opslag - strooien: de opslagplaats moet zich dicht bij de plaats van behandeling bevinden, om de vervoerkosten te beperken. Een nauwkeurig werkende strooier levert aanzienlijke besparingen op en voorkomt te hoge doseringen, die de techniek in het nadeel zouden dringen;
- mengen: de vereiste kwaliteit van de menging hangt van de beoogde toepassing af. Voor funderingen, onderfunderingen en het baanbed moet het mengen bijzonder zorgvuldig worden uitgevoerd.

GROND

1. Inleiding

Deze bijlage is bedoeld voor lezers die meer willen weten over grond en het gedrag ervan. Zij legt in het kort de basisbegrippen van de grondmechanica uit, die nodig zijn om de in dit werk beschreven processen van grondbehandeling goed te begrijpen. Wie meer details wenst, kan een van de vele handboeken over grondmechanica raadplegen die op de markt voorhanden zijn.

2. Wat is grond?

De naslagwerken over grondmechanica gebruiken de term "grond" ter aanduiding van de losse of brokkelige materialen die zich in de aardkorst bevinden. Grond is dus veel meer dan het dunne laagje teelaarde waarvan in de landbouw sprake is. Het begrip omvat alle materialen die op aarde te vinden zijn, van gesteenten tot losse of samenhangende materialen.

In een doorsnede van grond (een «bodemprofiel») zijn verschillende lagen te onderscheiden:

- bovenste gedeelte: organische grond (teelaarde rijk aan organische stoffen), ontstaan door het vergaan van plantengroei;
- tussengedeelte: verscheidene horizontale lagen («horizonten») van verschillende aard;
- onderste gedeelte: moedergesteente.

Grond moet op een heel andere manier worden bestudeerd dan gassen, vloeistoffen of vaste stoffen. Grond is namelijk een bijzonder materiaal: de korrels in grond zijn niet aan elkaar gebonden zoals de deeltjes van een kristal dat zijn. Zij kunnen zich ten opzichte van elkaar verplaatsen, zij het minder gemakkelijk dan de bestanddelen van een gas of vloeistof.

3. Groepen van grondsoorten

Grond ontstaat door de verwerking van gesteenten onder invloed van een reeks complexe verschijnselen (mechanische, fysische of chemische verwerking). De grondsoort is afhankelijk van het moedergesteente waaruit de grond is ontstaan, maar ook van de plantengroei en het klimaat. Er bestaat een grote verscheidenheid van grondsoorten. Zij kunnen worden gegroepeerd in "grondtypen" zoals rots-, zand-, leem- en kleigrond, of zelfs in mengsels van deze verschillende typen (zand-leemgrond, leem-kleigrond, enz.). Grondsoorten verschillen van elkaar in gedrag. Elke grond stelt bijgevolg zijn eigen eisen en vergt specifieke controles als hij in constructies moet worden verwerkt.

In België onderscheidt men drie grote groepen van grondsoorten: zand, leem en klei. Daarbij moet evenwel voor ogen worden gehouden, dat in de natuur meestal combinaties van deze verschillende groepen voorkomen.

De kenmerken van deze drie groepen worden hierna beschreven.

3.1. Klei

Klei is zeer fijne grond (de deeltjes zijn kleiner dan $2\ \mu\text{m}$), waarvan het gedrag sterk beïnvloed wordt door het watergehalte en de basiskristalstructuur.

Deze grondsoort is samenhangend, samendrukbaar en zeer moeilijk te bewerken en te verdichten, en zwelt soms. Klei is zeer weinig doorlatend, waardoor het watergehalte maar zeer langzaam verandert. Vorst kan in kleigrond ernstige schade veroorzaken. Daarom wordt gezegd dat klei «vorstgevoelig» is.

Kleimineralen zijn gehydrateerde aluminiumsilicaten. De meest voorkomende soorten zijn kaolinite, montmorilloniet en illiet.

De korrels hebben de vorm van plaatjes van verschillende lengte, of zelfs van staafjes. Zij zijn voor het blote oog onzichtbaar en de grootte ervan moet dus in het laboratorium worden bepaald. Kenmerkend voor kleideeltjes is dat zij elkaar aantrekken en samenklitten. De gezamenlijke aantrekkingskrachten tussen kleideeltjes worden «cohesie» genoemd, een kenmerkende grootheid voor klei.

Deze cohesie verklaart waarom kleigrond sterk samenhangt en zeer plastisch is. Klei vervormt gemakkelijk bij toevoeging van een geringe hoeveelheid water, zelfs onder lichte belasting. Zij behoudt dan de vorm die zij heeft aangenomen.

Deze heel specifieke eigenschappen - plasticiteit, vervormbaarheid, vormbaarheid - zorgen ervoor dat klei in bepaalde vochtomstandigheden plastisch wordt en in vormen kan worden gekneed (wat met zand onmogelijk is). Van deze eigenschap wordt gebruikgemaakt om aardewerk, bakstenen, enz. te vervaardigen.

CRR-OCW 21281

Cohesie is toe te schrijven aan moleculaire aantrekking tussen naburige korrels

en aan elektrostatische aantrekking

aan capillariteitsverschijnselen



Bron: Jean Nuyens, gepubliceerd door OREX

3.2. Leem

Leem is fijne, min of meer plastische grond, die bij geringe watergehaltewijzigingen ineens van consistentie kan veranderen. De korrels zijn grover dan bij klei (tussen 2 en $20\ \mu\text{m}$). Zij ontstaan door mechanische of fysische verbrokkeling van gesteente, waarvan zij de structuur behouden. Leem en klei zijn op het oog niet van elkaar te onderscheiden, maar hebben sterk verschillende eigenschappen. Leem is vrij onstabiel en moeilijk te bewerken als het watergehalte toeneemt. Het is een grondsoort van gemiddelde plasticiteit, die minder samenhangt dan klei.

Leemgrond droogt sneller dan kleigrond, maar is minder doorlatend dan zandgrond. Leem kan al bij geringe watergehalteveranderingen onder een matige belasting vervormen. Evenals kleigrond is leem vorstgevoelig.

3.3. Zand

Zand bestaat uit deeltjes die met het blote oog te zien zijn. De korrels hebben doorgaans een diameter tussen 20 μm en 2 mm. De korrelvorm is meestal equidimensionaal, maar kan aanzienlijk verschillen: rond, afgerond of hoekig. De korrelverdelingen van zandsoorten kunnen sterk uiteenlopen.

Zandgrond is niet plastisch en hangt niet samen. Hij is weinig gevoelig voor watergehaltewisselingen: voor de geotechnische eigenschappen maakt het weinig uit of zand droog, vochtig of nat is. Dit komt doordat zand grote poriën bevat, waarin water betrekkelijk gemakkelijk kan circuleren.

De eigenschappen van zand hangen dus grotendeels van de afmeting en vorm van de vaste korrels af, en van de pakkingsdichtheid. Zandgrond is goed verluchte grond, die gemakkelijk te bewerken en weinig vorstgevoelig is. Deze grondsoort is vrij gemakkelijk te verdichten en blijft stabiel als zij eenmaal verdicht is. Zand vervormt weinig of niet als aan het oppervlak een kracht wordt uitgeoefend.

3.4. Overzicht

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de kenmerken van de verschillende grondsoorten.

Grond	Doorlatendheid	Draagvermogen	Zetting	Uitzetting	Verdichting
Zand	Gemiddeld	Goed	Neen	Geen	Gemakkelijk
Leem	Gemiddeld tot gering	Gering	Ja	Soms	Kan moeilijkheden opleveren
Klei	Geen	Gemiddeld	Ja	Ja	Zeer moeilijk
Grind	Zeer hoog	Uitstekend	Neen	Geen	Zeer gemakkelijk

4. Samenstelling van grond

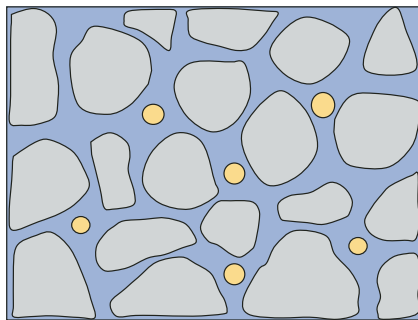
4.1. Inleiding

Grond is een complex en veranderlijk materiaal. Hij is heterogeen, van minerale én organische oorsprong, en samengesteld uit korrels en poriën. Het is dus een materiaal met drie fasen: een vaste (het minerale skelet), een vloeibare en een gasvormige. Elke fase speelt een welbepaalde rol in het gedrag van grond:

► Korrels

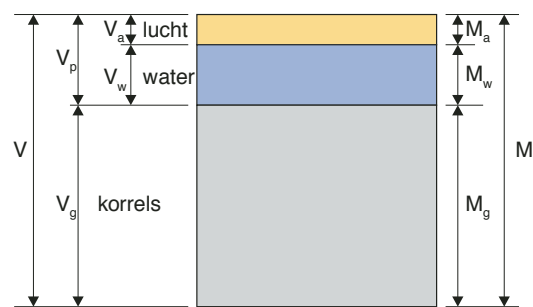
De korrels zijn afkomstig van massief gesteente en vormen het skelet van de grond. Zij kenmerken zich door:

- hun grootte: de hoeveelheid korrels van een gegeven grootte is medebepalend voor de korrelverdeling - zie Hoofdstuk I, § I.3.1.1 -, die een indicatie geeft van het gedrag van grond;
- hun vorm: de vorm van de korrels (kubusvormig, bolvormig, plaatjes, enz.) en de staat van hun oppervlak (ruw, gepolijst, enz.) zijn van rechtstreekse invloed op het gedrag van de grond. In de regel verhogen ongelijke korrels de stabiliteit;
- de aard van de mineralen waaruit zij zijn opgebouwd: de aard van de deeltjes in grond beïnvloedt vooral bij fijne grondsoorten een aantal parameters (doorlatendheid, samendrukbaarheid, sterkte, krachtoverbrenging). Sommige mineralen kunnen grond ongewone eigenschappen bezorgen (zo kunnen sommige kleisoorten - zoals montmorilloniet - grond doen zwellen).



CRR-OCW 21282

Figuur A1.1
Samenstelling van grond



De indexen a, w en g duiden respectievelijk de lucht, het water en de korrels in de grond aan

► Poriën

Tussen de verschillende deeltjes in grond bevinden zich wat men gewoonlijk «holten» noemt. Deze term is echter niet zo goed gekozen, omdat de «holten» eigenlijk niet leeg zijn, maar lucht en/of water bevatten. Daarom is de term «poriën» hier beter op zijn plaats. Het poriëngehalte varieert met de grootteverdeling, vorm en ruimtelijke verdeling van de korrels, en met de pakkingdichtheid van de grond. In zand en grind zijn de poriën duidelijk merkbaar, maar in klei en leem, waar zij veel kleiner zijn, zijn ze veel moeilijker te zien. Als de grond droog is, zijn de poriën met lucht gevuld. Zitten de poriën daarentegen vol water, dan wordt gezegd dat de grond «verzadigd» is.

4.2. Omschrijving van enkele kenmerkende grootheden

► Basisgrootheden

In de grondmechanica zijn verscheidene grootheden omschreven om grond te kenmerken. Om te beginnen kunnen de drie bestanddelen van grond in gewichtsdelen worden uitgedrukt:

$$W = W_p + W_w + W_a$$

waarin

- W het totale gewicht van de grond is;
- W_g het gewicht van de korrels is;
- W_w het gewicht van het water is;
- W_a het (te verwaarlozen) gewicht van de lucht is.

Deze drie bestanddelen kunnen ook in volumedelen worden uitgedrukt:

$$V_p = V_w + V_a \quad \text{en} \quad V = V_p + V_g$$

waarin

- V het totale volume van de grond is;
- V_p het volume van de poriën is;
- V_a het volume van de lucht is;
- V_w het volume van het water is;
- V_g het volume van de korrels is.

Aan de hand van deze verschillende grootheden kunnen andere grootheden worden omschreven, om de pakkingsdichtheid en de vochtigheid van grond te bepalen. Deze worden dan volumieke gewichtsparameters genoemd.

➤ Volumiek gewicht van de vaste bestanddelen

Het volumieke gewicht van de vaste bestanddelen, G , wordt omschreven als:

$$G = W_g / V_g$$

Het wordt bepaald met een pyknometer. De proef is vrij eenvoudig, maar wordt zelden uitgevoerd. Het volumieke gewicht van gewone grondsoorten varieert immers zeer weinig. In verhouding tot het volumieke gewicht van water (104 N/m^3) neemt het gemiddeld de volgende waarden aan:

- 2,65 voor kwarts, d.w.z. voor de meeste zandsoorten;
- 2,70 voor de meeste kleisoorten.

➤ Volumiek gewicht van grond

Het volumieke gewicht van grond is de verhouding van het gewicht tot het volume van deze grond:

$$\gamma = W / V$$

Voor onverzadigde grond liggen de waarden doorgaans tussen 16 en 18 kN/m^3 . Droge, losse grond kan waarden beneden 14 kN/m^3 laten optekenen, en vochtige, dicht gepakte grond waarden een stuk boven 20 kN/m^3 . Verzadigde grond van gemiddelde pakkingsdichtheid heeft een volumiek gewicht van om en bij 20 kN/m^3 .

➤ Watergehalte

Het watergehalte, w , wordt in de grondmechanica in gewichtsdelen bepaald:

$$w = (W_w / W_g) \cdot 100$$

Het wordt in percenten uitgedrukt en gaat van 0 % voor geheel droge grond tot meer dan 100 % voor verzadigde organische grond.

➤ Volumiek gewicht van droge grond

Bij een gegeven pakkingsdichtheid kan het volumieke gewicht verschillen naar gelang van het watergehalte. Het is het grootst als de grond verzadigd is. Het volumieke gewicht is dus geen maat voor de pakkingsdichtheid. Daarom wordt bij het bepalen van de pakkingsdichtheid gebruikgemaakt van het volumieke gewicht van de droge grond, γ_d . Dit is de γ -waarde die de grond zou bezitten als hij zonder volumeverandering kon worden gedroogd. Het droge volumieke gewicht, γ_d , is dus gelijk aan het gewicht van de korrels gedeeld door het oorspronkelijke totale volume van de grond:

$$\gamma_d = W_g / V$$

Daarbij geldt dat:

$$\gamma = \gamma_d \cdot (1 + w / 100)$$

Dit volumieke gewicht wordt gebruikt in de weergaven van Proctorkrommen.

➤ Verzadigingswatergehalte

Als alle poriën in de grond vol water zitten, is de grond verzadigd en kan het verzadigingswatergehalte, w_{sat} , ten opzichte van de eerder omschreven grootheden worden uitgedrukt. Het volstaat daartoe te stellen dat het poriënvolume geheel door water is ingenomen en dat bijgevolg:

$$w_{sat} = (\gamma_w / \gamma_d - \gamma_w / G) \cdot 100$$

Met deze formule kunnen verzadigingskrommen worden berekend (γ_d als functie van w). Deze krommen worden soms op Proctordigrammen weergegeven, waardoor men zich gemakkelijk een beeld kan vormen van de verzadigingsgraad van een monster.

➤ Verzadigingsgraad

De verhouding van het natuurlijke watergehalte w tot het verzadigingswatergehalte w_{sat} , in percenten uitgedrukt, wordt verzadigingsgraad (S_r) genoemd:

$$S_r = (w / w_{sat}) \cdot 100$$

➤ Poriëngehalte (ook holtepercentage genoemd)

Het poriëngehalte, n , is de verhouding van het volume van de poriën tot het totale volume van de grond, en wordt in percenten uitgedrukt:

$$n = (V_v / V) \cdot 100$$

► Poriëngetal

Het poriëngetal is de verhouding tussen het poriënvolume en het korrelvolume. Het wordt doorgaans niet in percenten uitgedrukt:

$$e = V_v / V_g$$

► Relatieve dichtheid van zandgrond

De pakkingsdichtheid van zandgrond wordt beschreven op grond van de relatieve dichtheid D_r . Deze grootte wordt als volgt bepaald uit de minimum- en maximumwaarden van het poriëngetal:

$$D_r = (e_{\max} - e_{\text{natuurlijk}}) / (e_{\max} - e_{\min}) \cdot 100$$

De onderstaande tabel geeft de overeenkomst tussen de relatieve dichtheid en pakkingsdichtheid van zandgrond aan:

Relatieve dichtheid	Beschrijving
0 - 15	Zeer weinig gepakt
15 - 35	Weinig gepakt
35 - 65	Gemiddeld gepakt
65 - 85	Dicht gepakt
85 - 100	Zeer dicht gepakt

5. Vochtgedrag van grond

Onderscheid naar korrelgrootte volstaat niet om gedragsverschillen tussen grondsoorten te verklaren. Zo zal een materiaal dat kunstmatig is vervaardigd door zand dat uitsluitend uit siliciumdioxide bestaat fijn te malen en vervolgens de korrels groter dan $63 \mu\text{m}$ af te zeven er wat korrelverdeling betreft als leem uitzien, maar zich als fijn zand gedragen.

Water speelt een hoofdrol in het gedrag van grond. De eigenschappen van grond verschillen enorm naar gelang van de respectieve grootte van de vaste, vloeibare en gasvormige fasen. Hoe meer water grond bevat, hoe meer de deeltjes van deze grond elkaar zullen aantrekken en hoe meer de grond er als «modder» zal uitzien. Omgekeerd wordt grond bij droging een vast materiaal. Zo kan een mengsel van zand, leem en klei voorkomen dat in droge toestand zeer hard en in vochtige toestand zeer slap is, wat op een bouwplaats grote moeilijkheden kan geven. Het enige verschil tussen deze twee toestanden is, dat de lucht in de poriën door water vervangen wordt. Voorts kan water in de poriën van grond gedurende een tijd die van de doorlatendheid afhangt een deel van de belastingen opnemen die op deze grond worden uitgeoefend, en op die manier het gedrag van de grond beïnvloeden.

Aan het ene uiteinde van de «gedragsschaal» van grond staat zand, samengesteld uit siliciumdioxide-korrels met massieve vormen en een betrekkelijk grote afmetingen (tussen $60 \mu\text{m}$ en 2 mm); aan het

andere klei, samengesteld uit silicaten met niet-equidimensionale vormen (plaatjes of staafjes) en met ten minste één afmeting van slechts enkele tientallen Angströms.

Zand heeft een vrij verluchte structuur met betrekkelijk grote poriën. Water kan vrij gemakkelijk in deze poriën circuleren, wordt er zeer weinig in geadsorbeerd (d.w.z. dat het vrijwel niet aan de korrels blijft kleven) en wordt bijgevolg gemakkelijk afgevoerd. Dit verklaart waarom de aanwezigheid van water de kenmerken van zand weinig beïnvloedt. Klei bestaat uit plaatjes die geen neutrale elektrische lading bezitten. Zij trekken dus water aan, waarvan de moleculen eveneens elektrische polen bezitten. Het aanwezige water wordt dan ook sterk door kleideeltjes geadsorbeerd. Ook zijn de poriën tussen de korrels zeer klein. Deze twee factoren verklaren waarom het watergehalte van klei maar zeer langzaam verandert. Kleigrond is zeer moeilijk te draineren of te drogen. De bekendste parameters om het van water afhankelijke gedrag van klei (en leem) te kenmerken, zijn de Atterbergse grenzen.

Deze Atterbergse grenzen zijn bedoeld als maat voor het vermogen van klei om min of meer plastisch te worden. De Zweed Atterberg had deze beproevingstechniek voor de keramische industrie uitgewerkt. Grond kan, naar gelang van de hoeveelheid water die hij bevat, vast, plastisch of vloeibaar zijn. Als men uitgaat van natte klei die zich bijna als een vloeistof gedraagt en dus door de zwaarte naar beneden vloeit, en als men deze klei geleidelijk droogt, gaat de vloeibare toestand over in een plastische toestand, waarin de klei in een vorm kan worden gekneet en die vorm kan behouden. Het watergehalte bij deze overgang van vloeibaar naar plastisch wordt vloeigrens (w_L) genoemd. Als de klei verder gedroogd wordt, komt er een moment dat zij van de plastische in een brokkelige toestand overgaat. Het watergehalte waarbij dat gebeurt, wordt uitrolgrens (w_p) genoemd. Het verschil tussen de vloeigrens en de uitrolgrens heet plasticiteitsindex (I_p) en geeft het gebied van watergehaltewaarden aan waarbinnen de klei zich plastisch gedraagt.

6. Verdichting

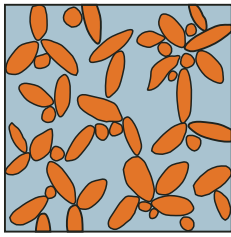
6.1. Inleiding

Verdichting is een mechanisch procédé om de dichtheid van ter plaatse aanwezige grond te verhogen. Verdichting geeft het materiaal een meer gesloten textuur, verkleint de kans op vervorming en verbetert het draagvermogen. Zij is dus een goed middel om latere zettingen en de daaruit voortvloeiende onderhoudskosten en constructieve problemen te beperken.

Door te verdichten proberen wij de korrels zoveel mogelijk in elkaar te doen schuiven, om de gasvormige fase in de poriën zo klein en de contactvlakken tussen de korrels zo groot mogelijk te maken. Inwerkende krachten kunnen dan geheel door een stijf korrelskelet worden opgenomen. In zand zijn deze contacten vrij gemakkelijk tot stand te brengen. In klei daarentegen blijft altijd een zeer dun waterlaagje (ter dikte van ongeveer vijf moleculen) tussen de korrels zitten.

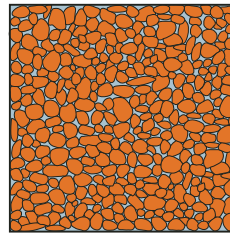
Uit ervaring is gebleken dat hoe breder grond gegradeerd is (dit wil zeggen hoe meer de verschillende deeltjesgrootten vertegenwoordigd zijn), hoe gemakkelijker hij te verdichten is. De fijnere bestanddelen kunnen dan immers bij de inwerking van een last in de holten tussen de grovere bestanddelen schuiven.

Weinig gepakte grond:



$\gamma_d = 1,1 \text{ t/m}^3$
 $n = 60 \%$
 $e = 82 \%$
 $C = 40 \%$

Zeer dicht gepakte grond:



$\gamma_d = 2,1 \text{ t/m}^3$
 $n = 21 \%$
 $e = 27 \%$
 $C = 79 \%$

CRR-OCW 21283

Bron: Jean Nuyens, gepubliceerd door OREX

6.2. Watergehalte en verdichting

Te droge grond is namelijk zeer moeilijk te verdichten. Water in de grond werkt als een smeermiddel, dat de gronddeeltjes in staat stelt over elkaar heen te schuiven en een dichtere structuur te vormen. Een te laag watergehalte verhindert deze beweging van deeltjes ten opzichte van elkaar, waardoor geen hogere dichtheid kan worden bereikt. Hoe droger de grond, hoe meer weerstand hij biedt tegen verdichting.

Ook een te hoog watergehalte is slecht voor de verdichting. Als het watergehalte te hoog is, vult het water de poriën in de grond en neemt het de plaats van vaste korrels in; aangezien dat water bovendien niet samendrukbaar is, neemt het een deel van de verdichtingsenergie op, waardoor de gronddeeltjes geen dichtere structuur kunnen aannemen.

Dit betekent dat elke grond een optimaal watergehalte heeft, waarbij hij het best te verdichten is (bepaling van het optimale watergehalte uit de Proctorproef - zie Hoofdstuk I, § I.3.3.1.A.).

6.3. Verdichting kenmerken

De beste manier om een materiaal te verdichten moet worden bepaald uit een Proctorproef. In deze proef wordt het optimale watergehalte gemeten, waarbij het grootste droge volumieke gewicht te bereiken is. Op de bouwplaats wordt dan getracht deze twee waarden zo dicht mogelijk te benaderen. De volumieke massa in situ kan volgens verscheidene beproevingsmethoden worden gemeten, en vervolgens getoetst aan de waarden die in het laboratorium zijn bereikt.

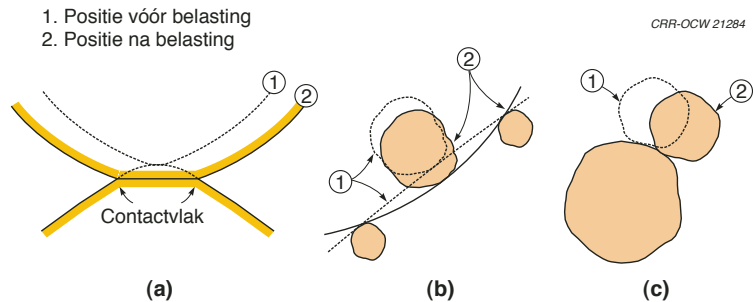
Aangezien deze meetmethoden soms vrij omslachtig zijn, wordt er vaak de voorkeur aan gegeven de kwaliteit van de verdichting anders na te meten, bijvoorbeeld door middel van plaatbelastingsproeven.

7. Zettingen in grond

7.1. Zettingsmechanismen

Bij zettingen in grond spelen drie mechanismen een rol:

1. De korrels vervormen door de inwerking van contactkrachten. Soms kunnen zij zelfs breken, als het materiaal niet sterk genoeg is of de uitgeoefende krachten te groot worden. Doordat de korrels vervormen, vergroten de contactvlakken; hierdoor ontstaat een nieuw evenwicht (figuur A1.2a).

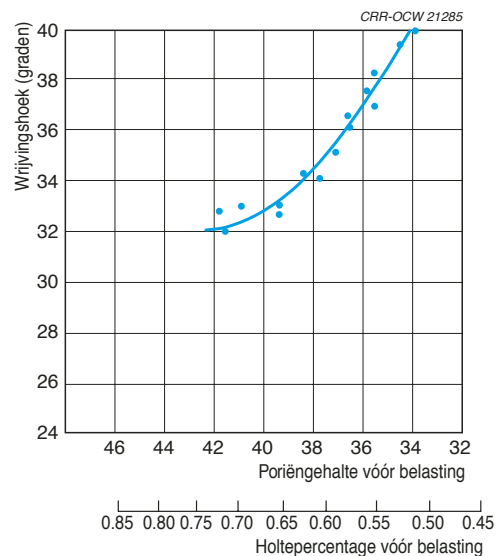


Figuur A1.2
Zettingsmechanismen

2. Plaatjesvormige korrels die eventueel in het materiaal aanwezig zijn, kunnen doorbuigen en naburige korrels verdringen. Dit is een typisch verschijnsel in kleigrond - niet in zandgrond, die doorgaans geen zulke korrels bevat (figuur A1.2.b).
3. Wanneer de tangentiële component van een kracht groter wordt dan de schuifweerstand tussen de korrels, gaan deze over elkaar heen schuiven. Dit veroorzaakt vervorming in het grondlichaam (figuur A1.2.c).

De totale zetting is een combinatie van deze drie verschijnselen, maar het laatste mechanisme speelt toch de grootste rol. Zetting in grond ontstaat dus door wisselwerkingen tussen de afzonderlijke verschijnselen - vooral schuiven en rollen.

Op te merken valt dat zetting het poriënvolume verkleint, maar tevens de mechanische kenmerken van grond verhoogt. Bij wijze van voorbeeld laat figuur A1.3 zien dat de wrijvingshoek van zand aanzienlijk toeneemt als het poriënvolume kleiner wordt.



Figuur A1.3
Vergroting van de wrijvingshoek van zand naarmate het poriëngehalte afneemt

7.2. Invloed van water op zettingen

Ook de in 7.1 beschreven mechanismen worden door water beïnvloed, en wel op twee manieren:

1. Vocht in de grond vormt een laagje om de korrels. Als de spanningen tussen de korrels gering zijn, kan het zelfs dat er helemaal geen rechtstreeks contact meer tussen de korrels is. Hierdoor wordt de wrijving tussen de korrels kleiner en de kans op zetting in de grond groter. Water werkt dus als een smeermiddel en heeft een ongunstige invloed op de wrijvingshoek van de grond. Dit leidt tot draagvermogenverlies.
2. Als fijne grond met water verzadigd is, brengen grotere spanningen in de grond niet alleen een grotere druk tussen de korrels teweeg. Ook de druk van het water in de poriën neemt op korte termijn toe. Deze «poriënwaterdruk» neemt vervolgens weer af met een snelheid die van de doorlatendheid van de grond afhangt, tot na enkele weken of zelfs maanden een nieuw evenwicht bereikt wordt. Dit verschijnsel heet «zetting door consolidatie» van de grond, en bij het maken van grote ophogingen is het belangrijk ermee rekening te houden. Als de ondergrond zeer samendrukbare lagen bevat, mogen zettingen van tientallen centimeters worden verwacht.

Grond kan ook zetting vertonen doordat het grondwaterpeil daalt (bijvoorbeeld ten gevolge van bemaling in de omgeving). Ook dit is een consolidatieverschijnsel, maar hier is bemaling de oorzaak.

7.3. Invloed van waterindringing in aanvankelijk onverzadigde grond

Als grond goed verdicht is, hoeft latere toetreding van water (bijvoorbeeld na het stopzetten van kunstmatige grondwaterspiegelverlaging op een bouwplaats) niet automatisch tot zettingen te leiden. Als de grondkorrels immers al dicht op elkaar gepakt zitten, blijft er weinig ruimte om te schuiven, zelfs als de contactvlakken «gesmeerd» worden. Hieruit volgt dat de zettingen onbestaand of verwaarloosbaar klein zullen zijn. Is de grond minder goed verdicht, dan kan hij wél nog verdere zetting vertonen.

Het kan altijd gebeuren dat de waterdruk zodanig toeneemt, dat hij groter wordt dan de effectieve druk tussen de korrels. De grond wordt dan min of meer vloeibaar en alle verdichting gaat verloren. Dit verschijnsel kan zich bijvoorbeeld nog voordoen in bouwputten waar de grondwaterdruk te groot is (welvorming).

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1	Apparaat van Casagrande	6
Figuur 2	Trekken van een groef in de grondpasta, met een speciaal mes	7
Figuur 3	Dichtvloeien van de randen van de groef over ± 1 cm, na een aantal schokken in het schaalpje	7
Figuur 4	Schets van het verloop van een proef ter bepaling van de methyleenblauwwaarde	8
Figuur 5	Apparatuur voor de methyleenblauwproef	8
Figuur 6	Methyleenblauw-vlekproef	8
Figuur 7	Proefstuk om de zwelling te meten	13
Figuur 8	Proefstukken om het druksterkteniveau te meten	13
Figuur 9	Proctorverdichtingsapparaat	16
Figuur 10	CBR-vorm	16
Figuur 11	Principe van de CBR-proef	17
Figuur 12	Versterkte-Proctorkrommen en CBR-krommen	18
Figuur 13	Voorbeeld van een vooronderzoek naar een mengsamenstelling	19
Figuur 14	Bepaling van de splijttreksterkte	20
Figuur 15	Vormen voor de vervaardiging van proefstukken om de splijttreksterkte te bepalen	20
Figuur 16	Opbouw van een (spoor)wegconstructie	30
Figuur 17a	Onstabiele kruimels van onbehandelde grond	31
Figuur 17b	Stabiele kruimels van dezelfde grond, behandeld met 1 % kalk	31
Figuur 18	Effect van verbetering met kalk op de plasticiteit van grond	32
Figuur 19	Invloed van verschillende hoeveelheden kalk (0, 1, 2 en 3 %) op de verdichtingskenmerken (Proctorkrommen) en het draagvermogen (IPI-krommen) van grond	33
Figuur 20	Opbouw van een (spoor)wegconstructie	36
Figuur 21	Stabilisatie met cement	37
Figuur 22	Halfmobiele horizontale silo	43
		83

Figuur 23	Strooien van behandelingsmiddel	46
Figuur 24	Strooier getrokken door een landbouwtractor	46
Figuur 25	Zelfrijdende strooiwagen op rupsbanden	46
Figuur 26	Controle op de gespreide hoeveelheid: weging van het behandelingsmiddel dat op een aluminiumschaal is opgevangen	48
Figuur 27	Ploeg met schijven	52
Figuur 28	Ploeg met tanden	53
Figuur 29	Pulvimixer	54
Figuur 30	Voorbeelden van op tractoren bevestigde frezen	55
Figuur 31	Voorbeeld van een recycler waarmee materialen op het werk zelf kunnen worden gestabiliseerd	56
Figuur 32	Zeef- en mengbak	56
Figuur 33	Voorbeelden van verplaatsbare installaties (ingebouwde menger)	59
Figuur 34	Voorbeeld van een menginstallatie uit afzonderlijke onderdelen	59
Figuur 35	Voorbeeld van een installatie met vermenging van grond en behandelingsmiddel in een roterende zeef	60
Figuur 36	Roterende zeef	60
Figuur 37	Voorbeelden van vaste installaties om grond te behandelen	60
Figuur 38	Verdichting van behandelde grond	63
Figuur 39	Voorbeeld van bescherming van behandelde lagen	64
Figuur A1.1	Samenstelling van grond	74
Figuur A1.2	Zettingsmechanismen	79
Figuur A1.3	Vergroting van de wrijvingshoek van zand naarmate het poriënvolume afneemt	80

Wij danken de volgende bedrijven en organisaties die ons fotomateriaal voor deze handleiding ter beschikking hebben gesteld: AWS, Damman-Croes, Febelcem, Geo-Milieu, Georoc, Tradecowall, Van Broekhoven's.

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1	Uitvoeringsdetails van de normale en de versterkte Proctorproef	15
Tabel 2	Overzichtstabel die naar gelang van de plasticiteit van de grond (op de Ip- of de MBW-schaal) de te overwegen stabilisatiebehandeling aangeeft, met de toe te passen hoeveelheden behandelingsmiddel(en)	39
Tabel 3	Voornaamste soorten van mengmachines	51
Tabel 4	Bronnen van stofontwikkeling en mogelijke oplossingen	66

LITERATUUR

- 1 Aquafin
Model bijzonder bestek voor projecten afdeling engineering leidingen.
Februari 2000
- 2 Austroads Inc.
Guide to stabilisation in roadworks.
Sydney 1998
- 3 CIMbéton
Limons traités à la chaux et/ou au ciment.
juin 1997
- 4 Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Werkwijze van laboratoriumproeven voor het beoordelen van de geschiktheid van een bodem voor
onmiddellijke stabilisering met ongebluste kalk.
Meetmethode OCW-MN 33/72, Brussel, 1972
- 5 Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Werkwijze voor de bepaling van de kruimelstabiliteit van met kalk behandelde leembodems.
Meetmethode OCW-MN 34/73, Brussel, 1973
- 6 LCPC - SETRA
Réalisation des remblais et des couches de forme.
Guide technique, fascicules I et II, Paris, septembre 1992
- 7 LCPC - SETRA
Remblayage des tranchées.
Guide technique, Paris, mai 1994
- 8 LCPC - SETRA
Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application à la réalisation des remblais et des
couches de forme.
Guide Technique, Paris, janvier 2000
- 9 Réemploi d'excédents de déblais de travaux publics en Ile-de-France.
Guide Utilisation technique
- 10 Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Stabilisering van bodems door middel van kalk.
Vraag 16 (december 1971), De Wegentechniek XVI/4, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel,
1971, blz. 33-38
- 11 Grondstabilisatie met kalk.
Bijdrage aan het 13e Belgisch Wegencongres, Brugge, 1973, Sectie A1, Hoofdstuk III, blz. 57-75, Bestendige
Vereniging der Belgische Wegencongressen, 1973

- 12 Utilisation des matériaux de Haute-Normandie: les limons.
Guide technique, novembre 1999

- 13 Portland Cement Association
Soil-Cement Laboratory Handbook.
1971

- 14 Devarem - Documentation Technique
Une plate-forme recyclage.

- 15 F. Choquet
Stabilisation des sols à la chaux: caractéristiques des chaux.
XVe Congrès mondial de la route, Mexico, 11-8 octobre, Contribution au rapport belge, question VIII,
VIII/1/8.3.1., Paris, AIPCR, 1975, pp. 2-5

- 16 P. Dutron, P. Van Ael,
Stabilisation au ciment de sols contenant des matières organiques.
CRIC 1968

- 17 P. Dutron, P. Van Ael,
Stabilisation des limons au ciment.
CRIC 1971

- 18 D. Gorle, A. Verhasselt
Field treatment of soils with lime or hydraulic or pouzzolanic binders.
XIXth World Road Congress, Marrakech, 22-28 September 1991, Technical Committee Report on Earthworks,
Drainage, Subgrade, pp. 6-46, PIARC, 1991

- 19 L. Hendriks, VCN
Stabilisatie met cement in de wegenbouw.
1980

- 20 K. Michielsen, Keramo
Werfhandboek voor het leggen van gresbuizen.
Hasselt

- 21 Marc Schaeffner
Equipment and methods specific to soil treatment works / Matériels et techniques d'exécution spécifiques aux
travaux de traitement des sols.
PIARC/AIPCR, Technical Committee on Earthworks, Drainage, Subgrade (C12), 1997

- 22 P. Sion
Met cement stabiliseerbare gronden in België.
De Wegentechniek XII/1, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, 1967, blz. 49-64

- 23 P. Van Ael,
De cementstabilisatie van diverse Belgische grondsoorten.
OCCN 1974
- 24 Bram van Egmond, Kurt Hermann, TFB (industrie suisse du ciment)
Stabilisation à la chaux.
Bulletin du Ciment, nr. 4 - avril 1997
- 25 R. Van Ganse
L'assèchement des limons par la chaux.
Extrait du Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, LCPC n° 53 (juin-juillet 1971)
- 26 R. Van Ganse
Enkele theoretische aspecten van de stabilisering van bodems door middel van kalk (onmiddellijke uitwerkingen van de kalk).
De Wegentechniek XVI/3, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, 1971, blz. 1-36
Ook verschenen in «Excavator», december 1972, blz. 25-60
- 27 R. Van Ganse, A. Brull, F. Choquet, D. Gorle, P. Thienpont, A. Verhasselt (e.a.)
Grondwerk, ontwatering en grondstabilisatie.
XIIIe Belgisch Wegencongres, Brugge, 15-18 mei 1973, Afdeling AI, d.1, BVBWC, 1973, blz. 100-184
- 28 M. Venuat
Le traitement des sols à la chaux et au ciment.
1980
- 29 A. Verhasselt
De kruimelstabiliteit van met kalk behandelde grondsoorten.
De Wegentechniek XVIII/1, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, 1973, blz.. 25-36
- 30 A. Verhasselt
Grondstabilisatie met kalk - Huidige toestand van het probleem.
Voordracht op «Intermat 1973», 13 september 1973, De Wegentechniek XX/1, Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, 1973, blz. 1-26
- 31 A. Verhasselt
Amélioration immédiate à la chaux.
Rapport de recherche n°176/VA/1978, Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1978
- 32 A. Verhasselt
Stabilisation à la chaux.
Rapport de recherche n°177/VA/1978, Centre de Recherches routières, Bruxelles, 1978
- 33 A. Verhasselt
Kalk-gipsmengsels voor grondbewerking.
Studiedag «Wegwijs in de huidige stand van de wegentechniek», KBVBWC, Antwerpen, 26 september 1990, blz. 31-33

- 34 J.-M. Barylà, V. Chenais, L. Gavois, H. Havard
Effet des sulfates et sulfures sur des marnes traitées à la chaux et au liant routier sur un chantier autoroutier.
Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées - 224 - janvier - février 2000, pp. 39-48

- 35 «La chaux dans le traitement des sols»
Fiches techniques, Chambre syndicale nationale des fabricants de chaux grasses et magnésiennes

- 36 A. Verhasselt
Grondverbetering met kalk.
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000

- 37 A. Le Roux et al
Mise en évidence de l'aptitude au traitement des sols argileux.
Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 154, mars-avril 1988, réf. 3279

- 38 W. Grossmann
La stabilisation à la chaux des sols cohérents.
traduit de l'allemand par M. Schaeffner, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris 1968

- 39 L. Rens
Machines en uitrusting voor stabilisatie en recyclage in situ.
Provinciale contactdag - FEBELCEM - OCW, januari 2002-02-04

- 40 H. Van den Bergh
Voorstudie voor het behandelen en stabiliseren van grond met kalk.
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000

- 41 P. Keppens
Utilisation de mélanges chaux-ciment.
Journée d'étude «Le traitement des sols à la chaux», Centre de Recherches routières, Bruxelles, mai 2001

- 42 E. Van den Kerkhof
Grond/kalk-mengmachines.
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000

- 43 F. Verhelst
Omgevingsfactoren van een werf met kalkbehandeling.
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000

- 44 B. Dethy
Les spécifications propres au traitement à la chaux des sols en vue de leur réutilisation au droit des remblais de plateforme du TGV
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000

- 45 S. Godefroid
La fabrication de la chaux et sa logistique en chantiers routiers.
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000
- 46 A. Verhasselt
Grondverbetering met kalk
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000
- 47 J.-M. Mousny
Applications concrètes.
Studievoormiddagen «Kalkbehandeling van gronden», Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Brussel, september-oktober 2000

Wettig depot: D/2004/0690/4
ISSN 1376 - 9332



O p z o e k i n g s c e n t r u m v o o r d e W e g e n b o u w

Inrichting erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Woluwedael 42

1200 Brussel

Tel. : 02 775 82 20 - fax : 02 772 33 74