

Frank Theys

Bomengranulaat in SB250 : toelichting bij eisen, testen en evolutie

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw, Senior Technologisch Adviseur

Bomen Beter Beheren vzw

Studiedag 18 november 2025

Groeisubstraten





Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen



Studiedag Groeisubstraten

Bomengranulaat in SB250 : toelichting bij eisen, testen en evolutie

18/11/2025

Bomengranulaat :

13

MATERIALEN

77 MATERIALEN VOOR WORTELRUIMTE ONDER EEN VERHARDING

77.1 Bomenzand

77.2 Bomengranulaat

Bomengranulaat is een funderingsmateriaal om wortelgroei toe te laten onder verhardingen.

Bomengranulaat bestaat uit een matrix van grove granulaten die voor de draagkracht zorgen. De holtes worden opgevuld met voedingsbodem waarin de boom kan wortelen. De (meestal inerte) gesteentematrix neemt een groot volumepercentage in (tussen 65 en 75 %), waardoor het wortelvolumen per kubieke meter voor de boom beperkt blijft.

Bomengranulaat voldoet aan de eisen van PTV 848.

Bomengranulaat :

15

ONDERFUNDERINGEN EN FUNDERINGEN

3 ONDERFUNDERINGEN

3.5 Wortelruimte onder verhardingen

3.5.2 Verwerken van bomengranulaat

3.5.2.2 Materiaal

De materialen zijn:

- bomengranulaat volgens **SB250-13-77.2**;

3.5.2.3 Uitvoering

Na verdichting bedraagt de samendrukbaarheidscoëfficiënt M_1 aan het bovenoppervlak van de aanvulling minimum 35 MPa.

Bomengranulaat :

15

ONDERFUNDERINGEN EN FUNDERINGEN

3.5.2.3.B AANBRENGEN VAN HET BOMENGRANULAAT

Het bomengranulaat wordt aangebracht met een vochtgehalte gelijk aan het optimaal vochtgehalte $\pm 2\%$, bij droge weersomstandigheden. Er mag geen ontmenging optreden.

Bomengranulaat : **PTV 848**

2.3.1 Onderwerp van deze technische voorschriften

Het onderwerp van deze technische voorschriften omvat alle bomengranulaat dat gebruikt kan worden als onder fundering.

3.2.2 Grove matrix

De grove matrix moet bestaan uit natuurlijk gesteente en voldoen aan de eisen van Tabel 1.

Tabel 1: Eisen grove matrix voor gebruik in bomengranulaat

Kenmerk	Proefmethode	Vereiste waarde	Opmerking
Korrelmaat	NBN EN 933-1	$\geq 10 \text{ mm}$ en $\leq 56 \text{ mm}$	D
Doorval door zeef 0,063 mm	NBN EN 933-1	f_4	/
Vorm granulaten	NBN EN 933-5	C90/3	/
LA-waarde	NBN EN 1097-2	$\leq 40 \%$	Op fracties 10/14 mm en 16/ $D_{\max}$ ($D_{\max} \leq 32 \text{ mm}$)

Bomengranulaat : **PTV 848**

3.2.3 Voedingsbodem

Tabel 2: Eisen voedingsbodem voor gebruik in bomengranulaat

Kenmerk	Proefmethode	Vereiste waarde
Organische stof	CMA/2/II/A.2	> 5 %
Organische stof + kleigehalte	CMA/2/II/A.2; CMA/2/II/A.6	< 15 %
pH-KCl	CMA/2/II/A.20	> 4.3 en < 7.5
Fosfor (P-AL)	CMA/2/II/B.1	< 50 mg/100g
Kalium (K-AL)		< 80 mg/100g
Magnesium (Mg-AL)		< 50 mg/100g
Calcium (Ca-AL)		< 250 mg/100g
Natrium (Na-AL)		< 60 mg/100g
Chloridegehalte	CMA/2/II/A.2.1	< 25 mg/100g
Zuurstofconsumptie (oxitop)	CMA/2/IV/25	< 5 mmol O ₂ /kg OS/h
C/N-verhouding	CMA/2/IV/5	≤ 20
Elektrische geleidbaarheid	CMA/2/II/A.21; CMA/2/II/A.2	< 0,3 mS/cm

Bomengranulaat : **PTV 848**

Tabel 3: Classificatie van bomengranulaat

Eigenschap	Categorie	Type OF1 (1)	Bandbreedte t.o.v. verklaarde waarde X ⁽²⁾
Volumepercentage gesteentematrix		65-75 %	Niet van toepassing
Elektrische geleidbaarheid (EC)		< 0,75 mS/cm	Niet van toepassing
Poriënvolume na verdichting		≥ 15 %	Niet van toepassing
CBR-waarde verdicht volgens normale proctor		≥ 50 %	Niet van toepassing
CBR-waarde na 4d onderdompeling verdicht volgens normale proctor		≥ 35 %	Niet van toepassing
Optimum vochtgehalte		Eis technische fiche	+ / - 2 %
Vochtgehalte in levertoestand		Eis optimum vochtgehalte	+ / - 2 %
(1) Minimale of maximale grenzen waaraan altijd moet worden voldaan. (2) Verklaarde waarde X. Grenzen waaraan alle resultaten moeten voldoen. Op de technische fiche worden altijd de minimum en maximum waarde vermeld.			

Basisprincipes van de geotechniek in de wegenbouw.

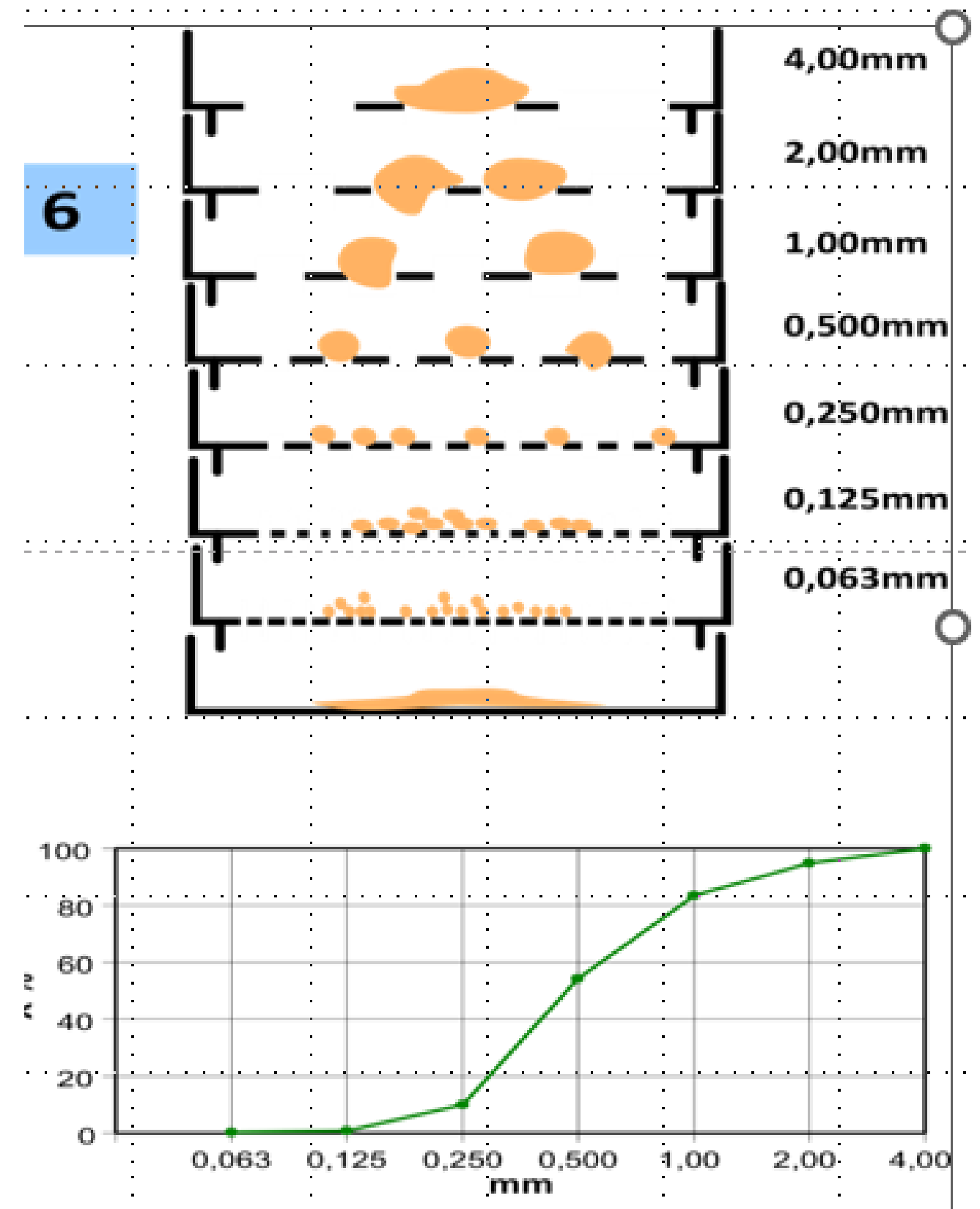
Korrelverdeling



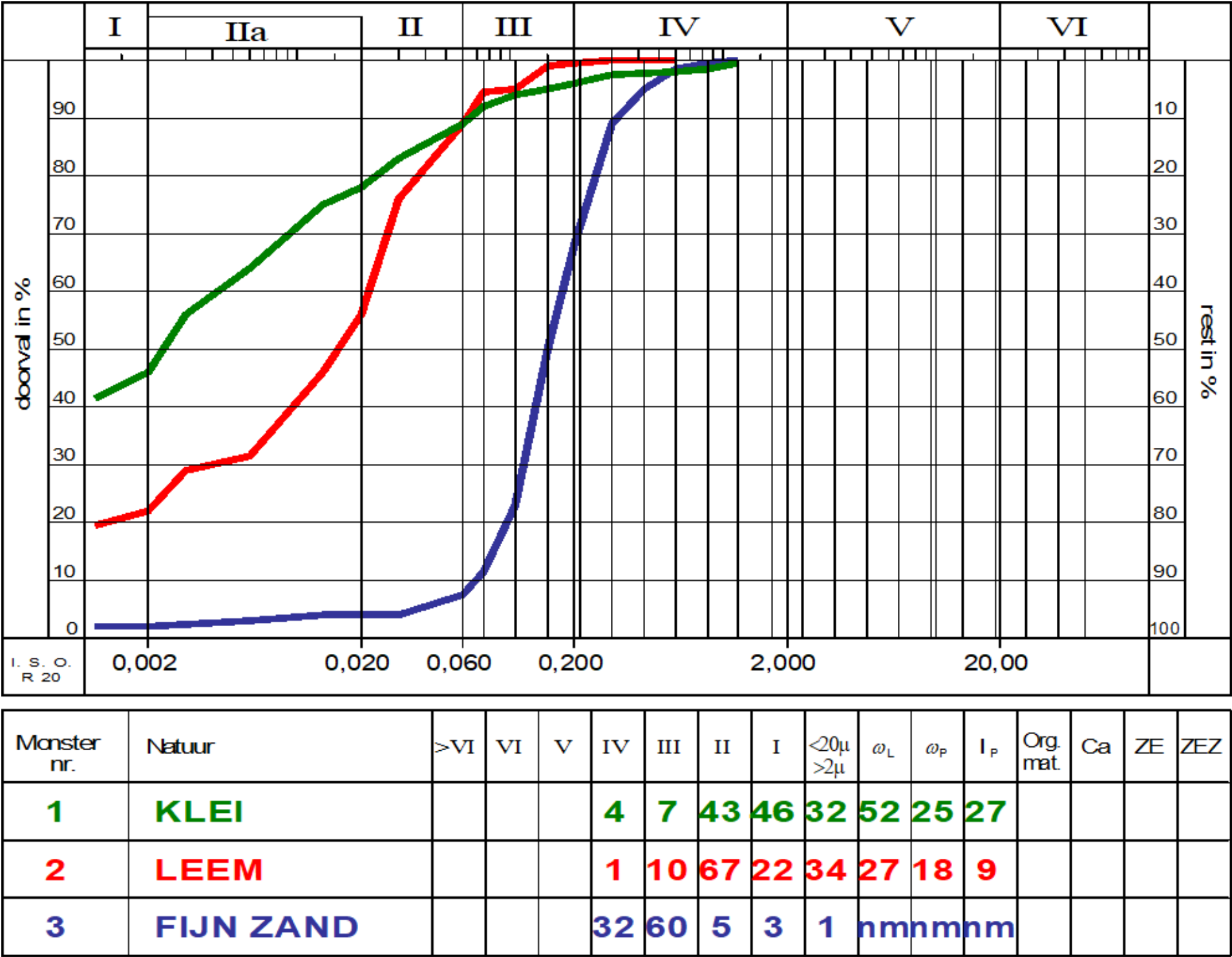
Basisprincipes van de geotechniek in de wegebouw.

- Bij het trillen blijven op elke zeef de korrels liggen die er niet door kunnen
- De zeefrest op elke zeef (een fractie) wordt gewogen
- Er wordt een cumulatieve grafiek opgesteld van het gewichtspercentage in functie van de zeefopeningen

De fractie 0 tot 0,063 mm noemt men het percentage fijne deeltjes.



Basisprincipes van de geotechniek in de wegebouw.



Opmerking : nm = niet meetbaar

Basisprincipes van de geotechniek in de wegenbouw.

Watergehalte 'w'

Drogen :

- Droogstoof 24 u bij $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Microgolfoven tot constante massa

$$w = (M_w - M_d) / M_d (\%)$$

M_w = Natte massa van het monster

M_d = Droge massa van het monster



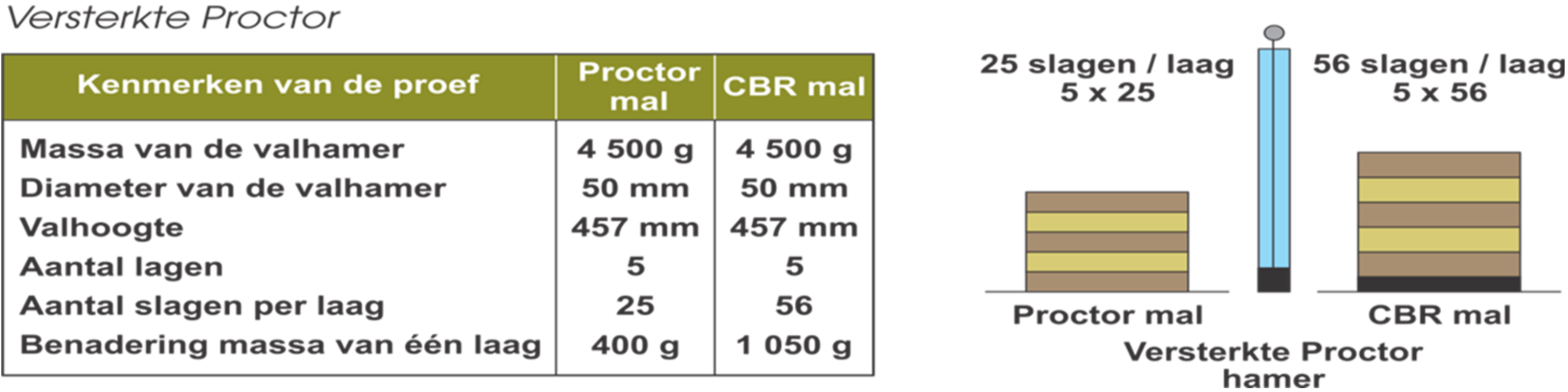
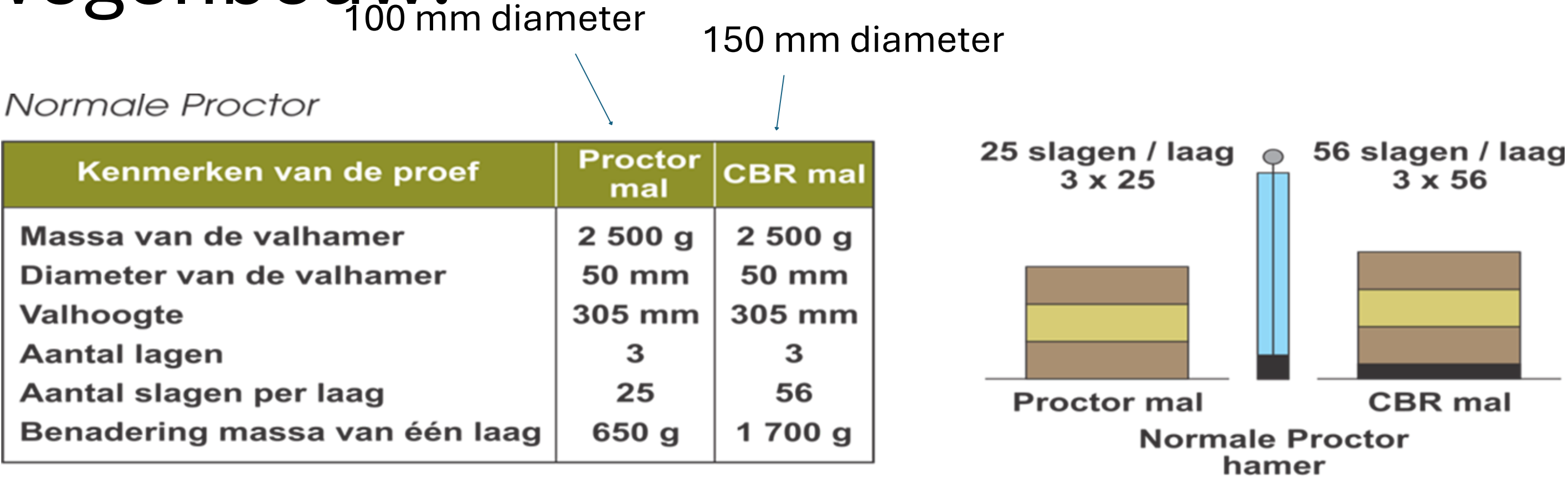
Basisprincipes van de geotechniek in de wegebouw.

Proctorproef : principe

Proef ontwikkeld door Proctor in USA jaren 1930

Verdichtingsmethode om in het labo de verdichting van materialen op de werf te kunnen simuleren

Basisprincipes van de geotechniek in de wegebouw.



Basisprincipes van de geotechniek in de wegebouw.



l

oparaat



Basisprincipes van de geotechniek in de wegebouw.

Na de verdichting schraapt men het materiaal af tot de bovenkant van de mal

Men weegt het gewicht van het materiaal in de mal

Men droogt het materiaal dat in de mal zit en meet het droge gewicht

Uit het droge gewicht en het gekende volume van de mal bekomt men dan de :

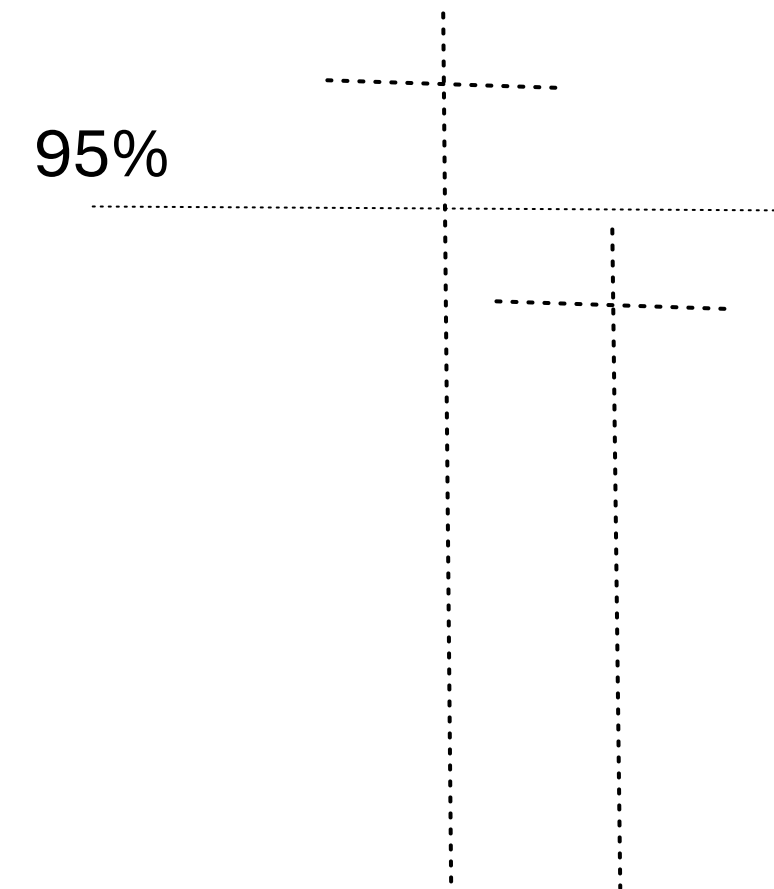
Proctordensiteit r_d (ton of kg / m³)

Proctor verdichtingskromme

Wordt verkregen door een Proctorproef uit te voeren bij verschillende watergehaltes (meestal 5) en dan de densiteit hiervan te meten.

Het '**optimum watergehalte**' is dan het watergehalte bij de maximaal behaalde '**optimum Proctordensiteit**'.

Een '**verdichtingsgraad**' van 95% betekent dat 95% van de maximale densiteit werd bereikt.



Proctor verdichtingskromme

Waarom goed verdichten?

Zo niet liggen de korrels niet 'dicht' op elkaar



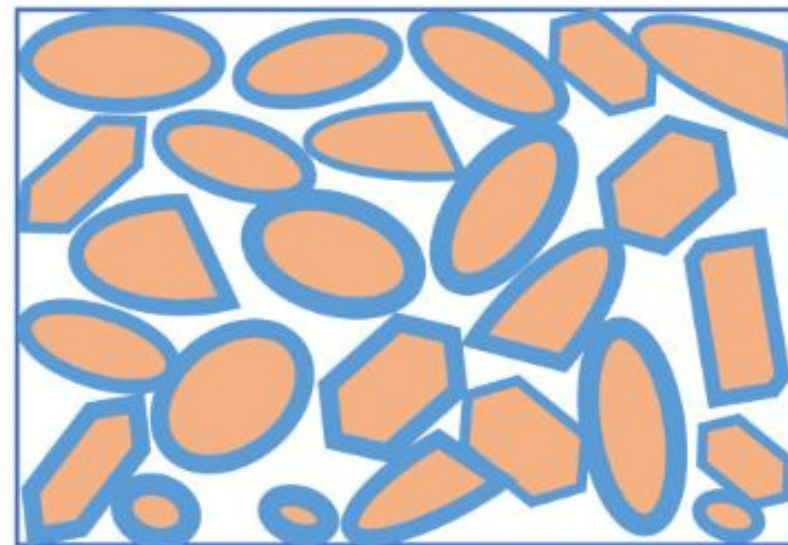
weinig 'wrijving' tussen korrels



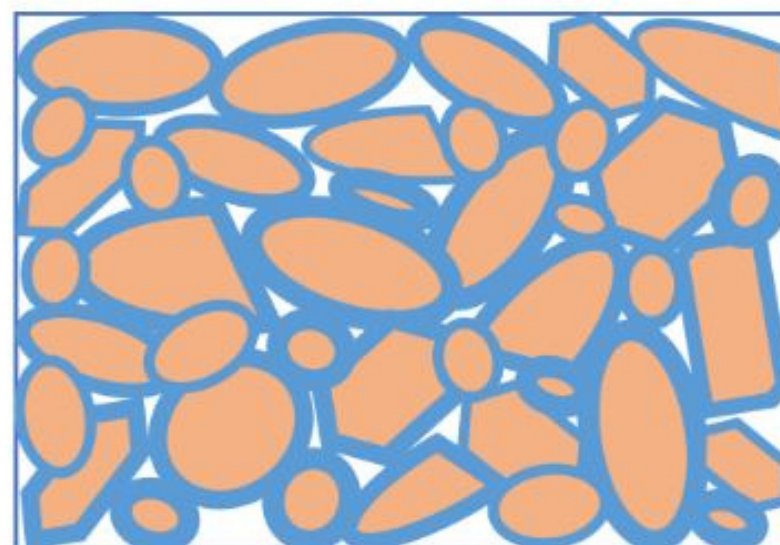
slechte mechanische kenmerken, erosiegevoelig

kunn

en



Compacted Soil



Soil Solid



Water



Air

Proctor verdichtingskromme

Om een 'stabiele' ophoging te bekomen


verdichtingsgraad van **95% Normale Proctor**

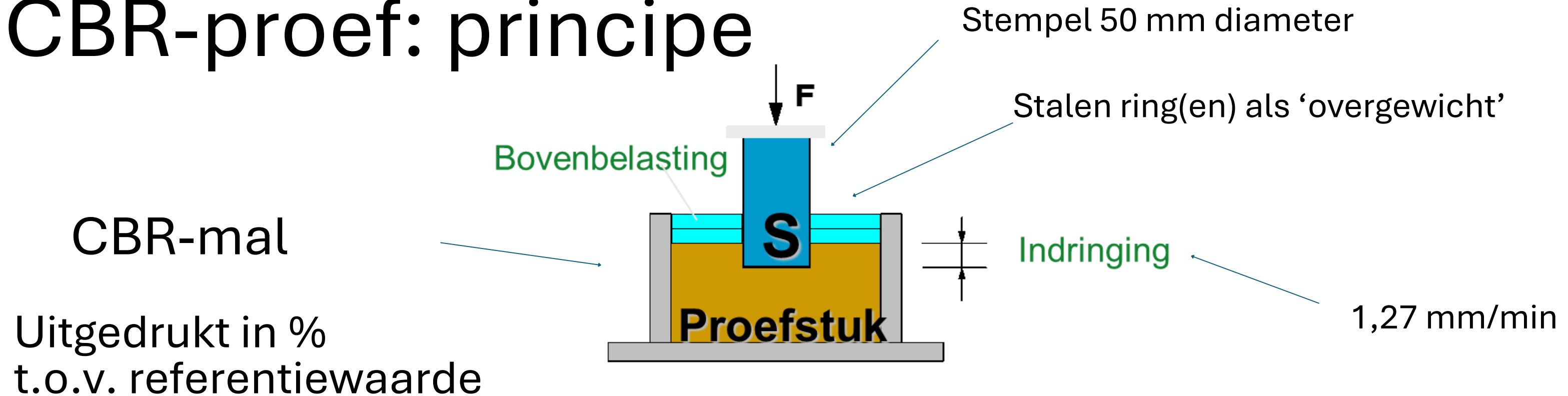
Om een goede draagkrachtige wegkoffer te bekomen


verdichtingsgraad van **97,5% Normale Proctor**

Om een (onder)fundering met goede draagkracht en stijfheid te bekomen


verdichtingsgraad van **95 à 98,5% Versterkte Proctor**

CBR-proef: principe



California Bearing Ratio (CBR)

$$\text{CBR} = \frac{F/S \times 100}{(F/S)_{\text{ref}}} \%$$

Kracht meten van stempel bij 2,5 mm en 5 mm indringing
Vergelijken met referentiewaarden (13,44 kN bij 2,5 mm en 20,15 kN bij 5 mm)
Laagste resultaat is CBR-waarde

CBR-proef

Typische richtwaarden :

Grond onbegaanbaar : kleiner dan 3%

Grond berijdbaar voor werfverkeer : 10 à 15%

Grond aanzet koffer : 20 à 25 %

Onderfundering steenslag : 50 %

Fundering steenslag : 80 à 100 %

LA-proef: maat voor weerstand tegen verbrijzeling

LA (Los Angeles) – NBN EN 1097-2



5 kg 10/14

500 tr bij 33 tr/mi



711 mm Ø

11 stalen kogels van
400-445 g



LA-proef: maat voor weerstand tegen verbrijzeling

$$LA = \frac{\text{Massa van zeefrest op 1,6 mm zeef}}{\text{Massa van totaal monster}} (\%)$$

Dus : hoe lager de LA-waarde hoe beter de weerstand tegen verbrijzeling

Opgepast : de fractie 10/14 is niet altijd mogelijk of wenselijk.

➡ alternatieve fractie 16/32 mm (met 14 kogels)

LA-proef: maat voor weerstand tegen verbrijzeling

LA	Beoordeling	
< 15	Uitstekend	↙ Porfier
15 - 25	Goed	
25 - 40	Middelmatig	
> 40	Laag	↙ Betonpuin

Bijv. steenslag voor continue funderingen SB250 : $LA \leq 40$
steenslag voor niet-continue funderingen SB250 : $LA \leq 35$
waterdoorlatende fundering SB250 : $LA \leq 25$
steenslag voor betonverhardingen SB250 : $LA \leq 20$ à 25

Terug naar eisen :

Het bomengranulaat wordt aangebracht met een vochtgehalte gelijk aan het optimaal vochtgehalte $\pm 2\%$, bij droge weersomstandigheden. Er mag geen ontmenging optreden.

Tabel 1: Eisen grove matrix voor gebruik in bomengranulaat

Kenmerk	Proefmethode	Vereiste waarde	Opmerking
Korrelmaat	NBN EN 933-1	≥ 10 mm en ≤ 56 mm	D
Doorval door zeef 0,063 mm	NBN EN 933-1	f_4	/
Vorm granulaten	NBN EN 933-5	C90/3	/
LA-waarde	NBN EN 1097-2	$\leq 40\%$	Op fracties 10/14 mm en 16/ $D_{\max}$ ($D_{\max} \leq 32$ mm)

3.5.2.3 Uitvoering

Na verdichting bedraagt de samendrukbaarheidscoëfficiënt M_1 aan het bovenoppervlak van de aanvulling minimum 35 MPa.

???

Terug naar eisen :

Tabel 3: Classificatie van bomengranulaat

Eigenschap	Categorie	Type OF1 (1)	Bandbreedte t.o.v. verklaarde waarde X ⁽²⁾
Volumepercentage gesteentematrix		65-75 %	Niet van toepassing
Elektrische geleidbaarheid (EC)		< 0,75 mS/cm	Niet van toepassing
Poriënvolume na verdichting		≥ 15 %	Niet van toepassing
CBR-waarde verdicht volgens normale proctor		≥ 50 %	Niet van toepassing
CBR-waarde na 4d onderdompeling verdicht volgens normale proctor		≥ 35 %	Niet van toepassing
Optimum vochtgehalte		Eis technische fiche	+ / - 2 %
Vochtgehalte in levertoestand		Eis optimum vochtgehalte	+ / - 2 %
(1) Minimale of maximale grenzen waaraan altijd moet worden voldaan. (2) Verklaarde waarde X. Grenzen waaraan alle resultaten moeten voldoen. Op de technische fiche worden altijd de minimum en maximum waarde vermeld.			

???

???

Volumepercentage gesteentematrix

Dit is het percentage bij optimaal watergehalte en een verdichtingsgraad van 95%.

Weeg een hoeveelheid bomengranulaat (bijv. 4 kg)

Bereken het theoretische verdicht volume daarvan op basis van 95% verdichtingsgraad

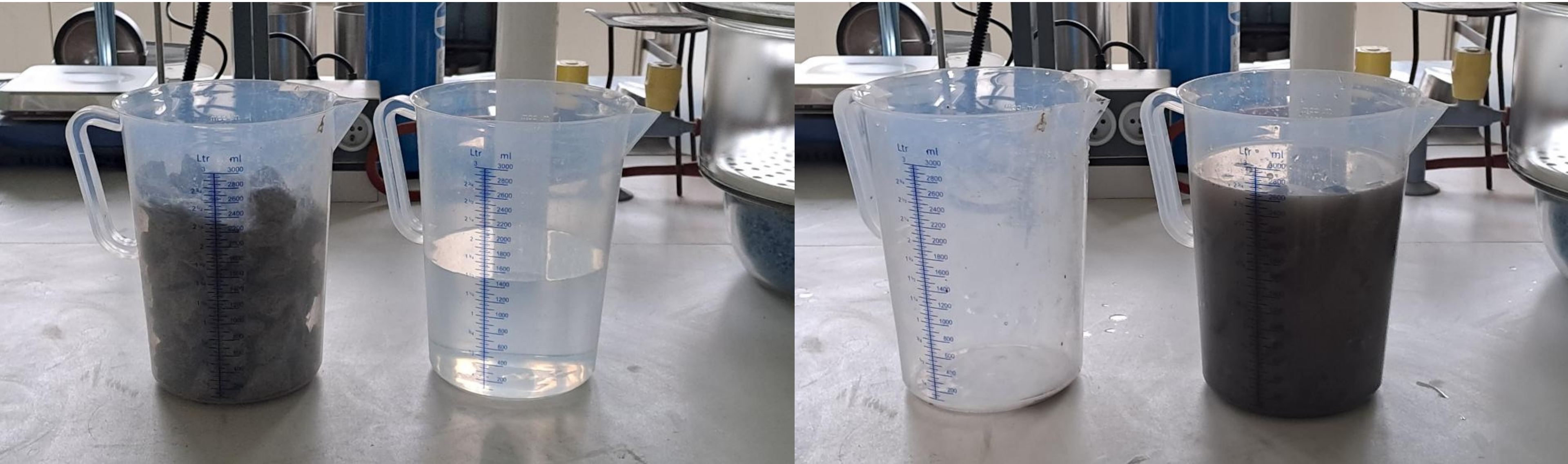
Zeef af op de zeef van 4 of 8 mm (om de voedingsbodem te verwijderen)

Giet de stenen dan in een maatbeker van 3 l of 5 l (met een meetschaal met onderverdeling tot 25 ml) reeds gevuld tot bijv. 1,5 l en meet de verhoging van het niveau van het water. Het gemeten niveauverschil is dan het volume van de gesteentematrix.

Bereken dan het volumepercentage gesteentematrix als :

(gemeten volume gesteentematrix) / (berekend totaal volume bomengranulaat bij 95% NOP).

Volumepercentage gesteentematrix



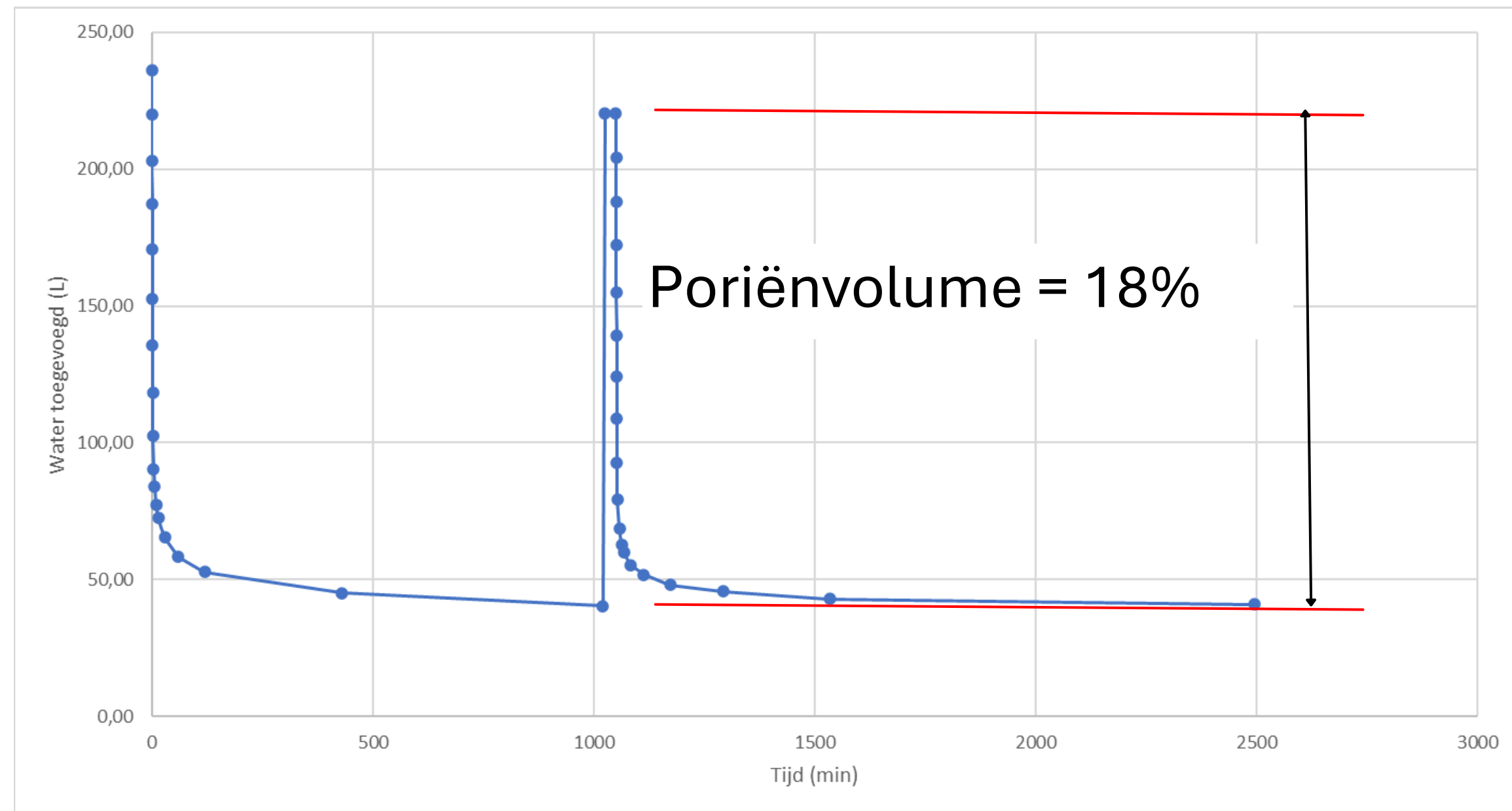
Poriënvolume na verdichting

PTV 848, Bijlage A : OCW-methode

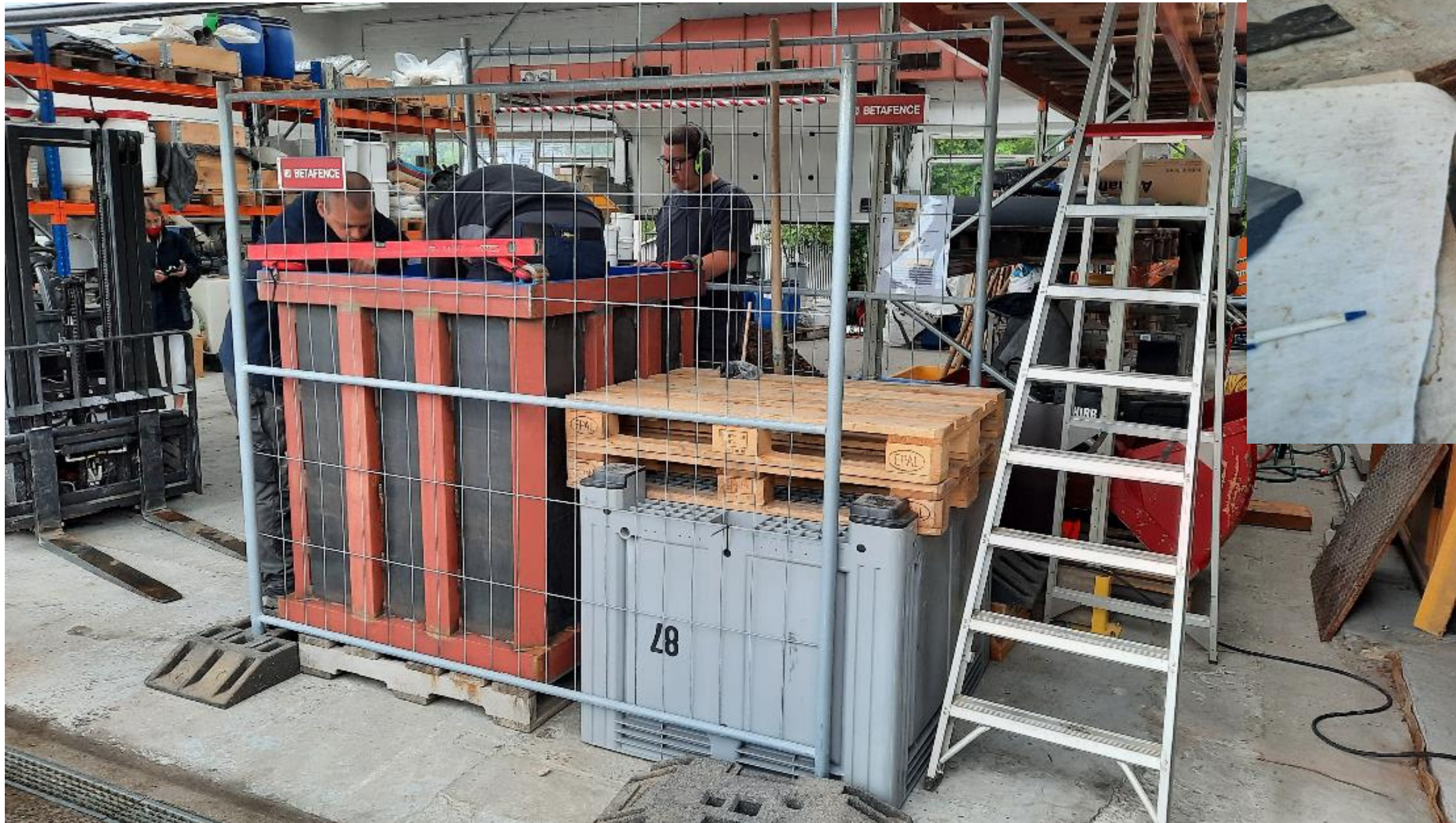
Principe :

- Stalen bak van 1 m³ vullen met bomengranulaat verdicht tot 95% Normale Proctor
- Vullen met water tot bovenkant
- Bak laten leeglopen en volume uitgelopen water meten gedurende 24u
- Bak nogmaals vullen met water en laten leeglopen gedurende 24 u
- Poriënvolume is hoeveelheid water in % dat er na de 2^{de} vulling uitloopt.

Poriënvolume na verdichting



Poriënvolume na verdichting



Poriënvolume na verdichting

Eerst 2 big bags uitgestort en gemengd, eventueel met nog water toegevoegd

Verdichten tot 95% normale Proctor in lagen van 20 cm met elektrische trilhamer (~35 kg)

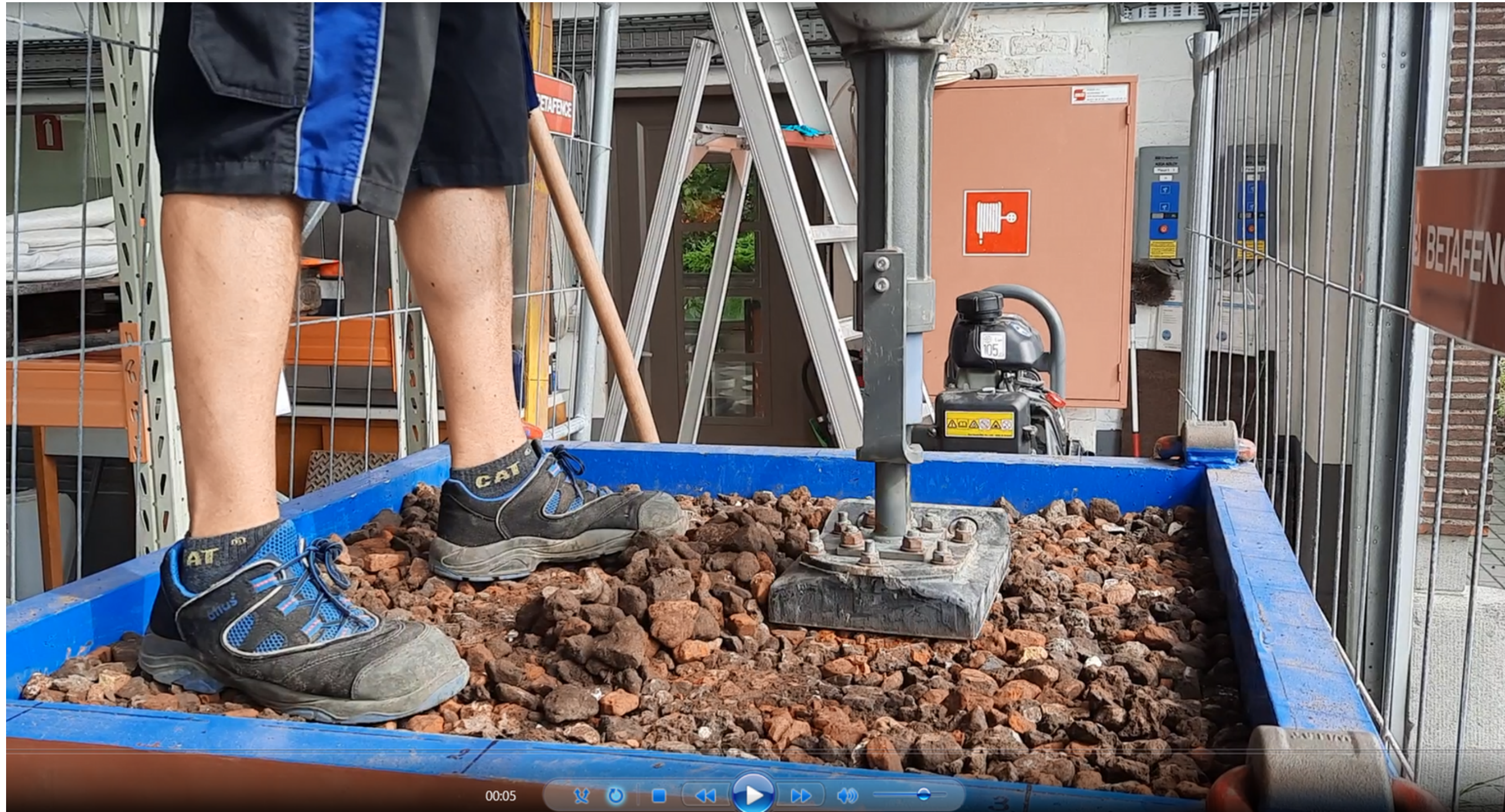
Elke laag aangebracht in emmers met ~20 kg materiaal



Poriënvolume na verdichting



Poriënvolume na verdichting



Poriënvolume na verdichting



Poriënvolume na verdichting

Op de 3^{de} en de 5^{de} laag worden er dynamische plaatproeven uitgevoerd.

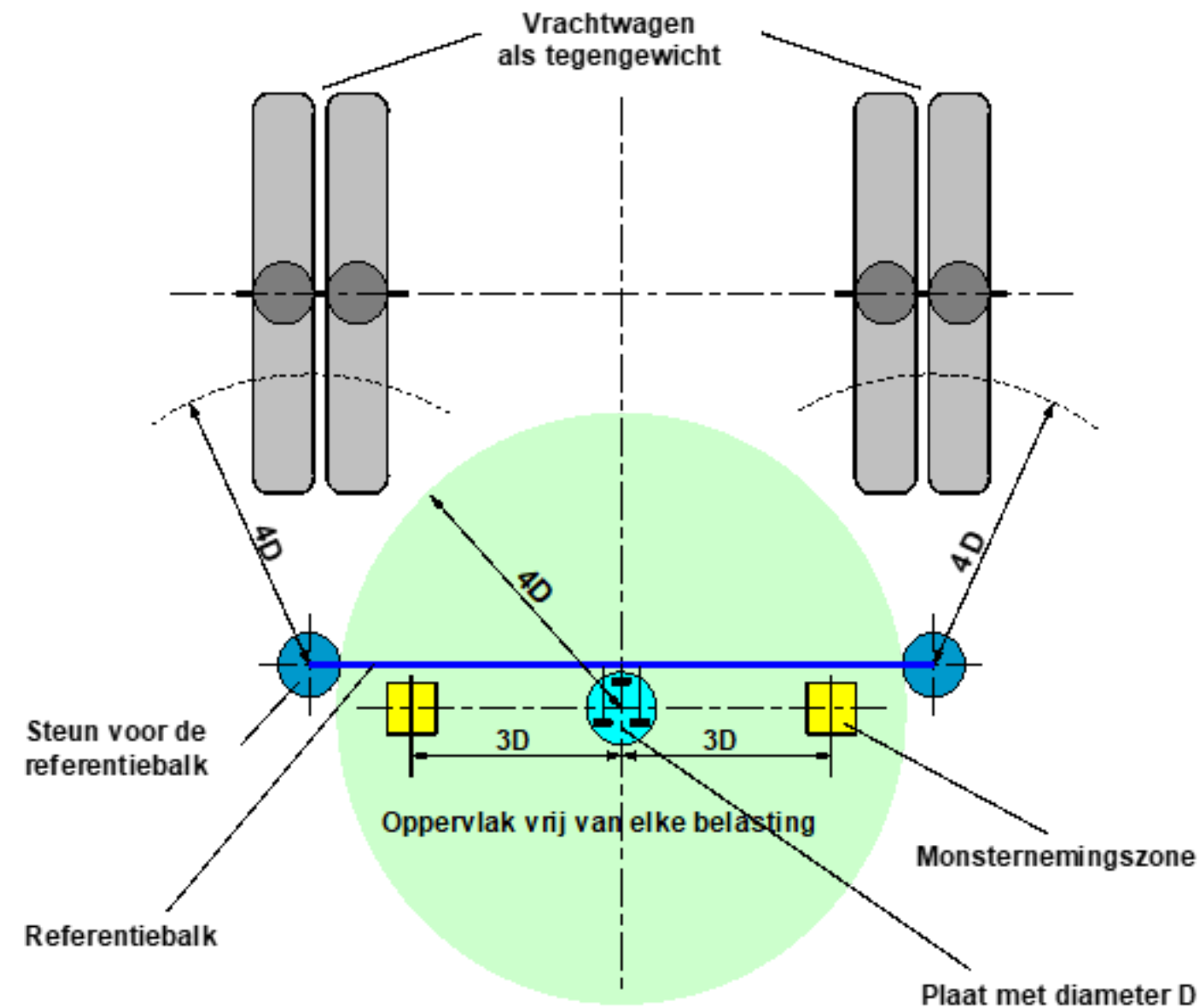
Met een waarde van de statische M1-modulus van 35 MPa stemt volgens een OCW-correlatie bij benadering een dynamische Evd-modulus van 37,5 MPa overeen.



Plaatbelastingsproef - opstelling



Plaatbelastingsproef – bovenaanzicht



Plaat van	D	2D	3D	4D
200 cm ²	16 cm	32 cm	48 cm	64 cm
750 cm ²	31 cm	62 cm	93 cm	124 cm

Praktijkvoorbeelden



Plaatbelastingsproef – verloop van de proef

Druk (MPa)	Baanbed en ophoging	Onderfundering	Fundering
0,02	X	X	X
0,05	X	X	X
0,10	X		
0,15	X	X	X
0,20	X		
0,25	X	X	X
0,35		X	X
0,45		X	X
0,55			X

Resultaatberekening

- Plaat van 200 cm²

$$M_E \text{ (Mpa)} = \frac{15,96}{\text{Zetting (mm)}}$$

- Plaat van 700 cm²

$$M_E \text{ (Mpa)} = \frac{30,91}{\text{Zetting (mm)}} \quad \text{oogste druk – gemiddelde zetting bij}$$

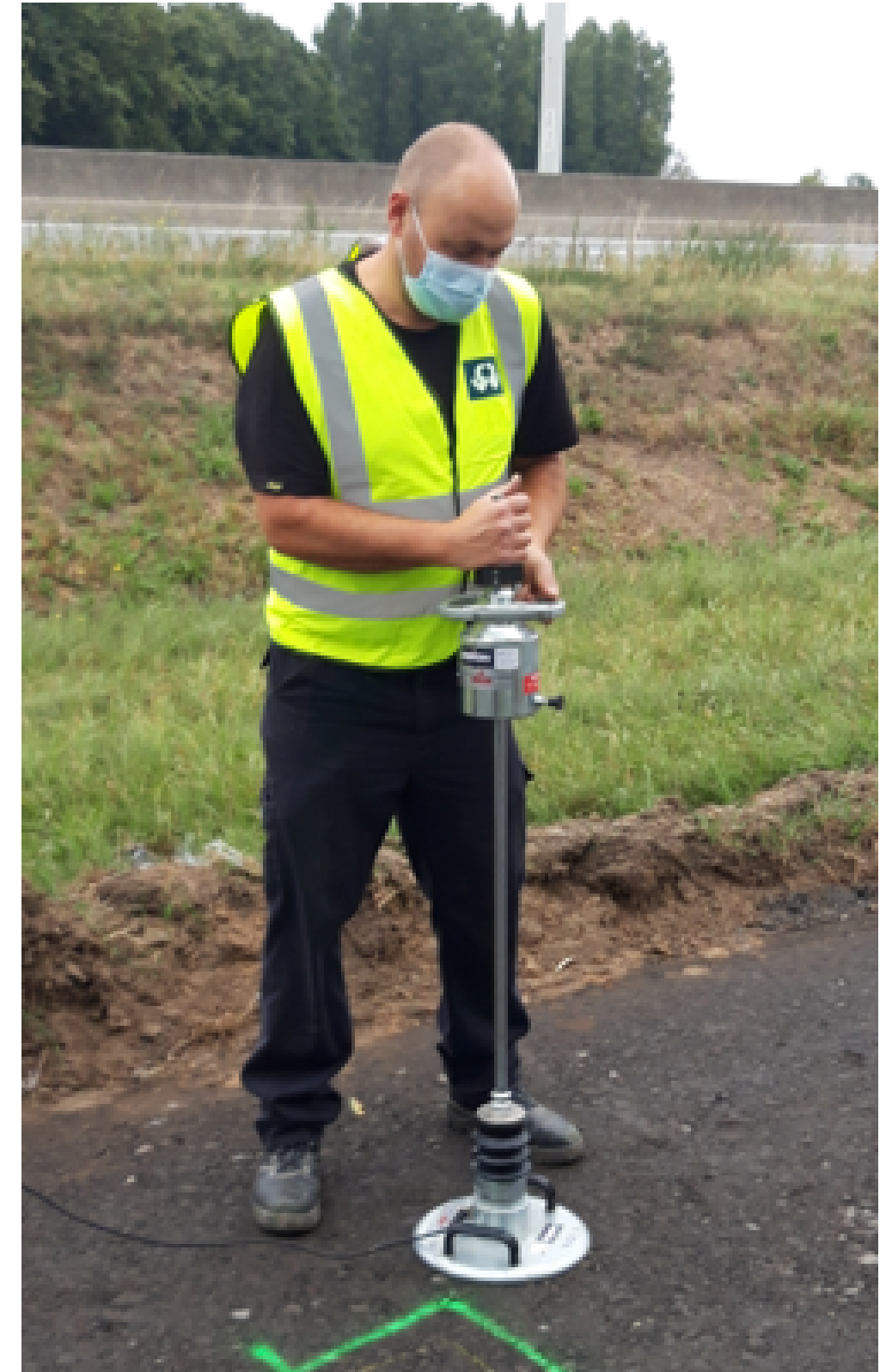
Dynamische plaatproef

Alternatief voor de statische plaatproef

Veel sneller en praktischer

Maar :

Enkel in SB250 voor funderingen



Vragen ?



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen



Frank Theys

Senior Technologisch Adviseur
M-TAS, Geotechniek

T 02/7660320

E 0478/240859

W fr.theys@brrc.be