



Bepaling van cyaniden in bodemverbeterende middelen

Studie uitgevoerd in opdracht van OVAM
Referentie: 2023/SCT/R/2944
Juli 2023



Vision on technology
for a better world

vito.be

Bepaling van cyaniden in bodemverbeterende middelen

VITO

Boeretang 200

2400 MOL

Belgium

BTW No: BE0244.195.916

vito@vito.be – www.vito.be

IBAN BE34 3751 1173 5490 BBRUBEBB

Chris Vanhoof

Senior Onderzoeker

Christine.vanhoof@vito.be



Vision on technology
for a better world

vito.be

SAMENVATTING

Vanuit OVAM werd de vraag gesteld om de bepaling van cyaniden in bodemverbeterende middelen waaronder compost en digestaten te evalueren. Voor deze parameter is op dit moment geen compendiummethode (CMA) beschikbaar die de bepaling van cyaniden in bodemverbeterende middelen beschrijft.

Deze vraag werd geformuleerd naar aanleiding van de aanpassing van VLAREMA waar voor bodemverbeterende middelen een voorstel van de grenswaarde voor totaal cyaniden zal gedefinieerd worden: 50 mg/kg droge stof voor materialen > 2% ds of 1 mg/l voor materialen < 2% ds.

Ter info: Bodemverbeterende middelen met een drogestofgehalte hoger dan 2% worden uitgedrukt in mg/kg droge stof. Bodemverbeterende middelen met een drogestofgehalte lager dan 2% worden geanalyseerd volgens de procedures voor watermonsters en de resultaten worden uitgedrukt in mg/l.

VITO heeft de toepasbaarheid van de CMA methode *CMA/2/I/C.2.2 en WAC/III/D/036 Bepaling van totaal cyanide met behulp van continue doorstroomanalyse* geëvalueerd door verschillende bodemverbeterende middelen te analyseren, bestaande uit compost, verschillende fracties digestaten en slib. Alle monsters werden, als zodanig en geaddeerd met complexe of vrije cyaniden, geëxtraheerd in basisch milieu en geanalyseerd met een continue doorstroom-analysesysteem.

Op basis van de uitgevoerde testen kan afgeleid worden dat analytisch complex en vrije cyaniden in de alkalische uitloogvloeistof van bodemverbeterende middelen kwantitatief kunnen gemeten worden met het doorstroomanalysesysteem. Na extractie moeten de monsters wel gecentrifugeerd en gedecanteerd worden omdat bij filtratie zonder voorafgaandelijke centrifugatiestap de filter dichtslibt met de vaste fase. De aanwezigheid van de vaste fase in het extract zorgt daarenboven in de meeste gevallen voor een significant verlies aan gedopeerde vrije cyanides. Het is niet eenduidig of de vrije cyanides tijdens de alkalische extractie worden omgezet door de matrix dan wel worden geadsorbeerd aan de vaste fase.

Niettegenstaande bovenstaande maatregelen (decanteren en filtreren) kunnen alkalische extracten van bepaalde types van bodemverbeterende middelen zoals filterkoek fermentatie, alsnog leiden tot vervuiling van het analysemeetsysteem. Standaard worden de extracten een factor 10x verdund voorafgaandelijk aan de doorstroomanalyse. Voor dit type monsters is een grotere verdunning (minstens 100x) van de extractie oplossing noodzakelijk, wat een invloed heeft op de rapportagegrens.

Bij lage drogestofgehalten is bij de extractie een intake overeenkomstig met 10 g droge stof te hoog om een extractie met 100 ml NaOH te kunnen uitvoeren. Bijgevolg werd de intake van het verse monster aangepast naar 10 g droge stof, of 5 g droge stof, of 2 g droge stof, of analyse als waterig monster in functie van het drogestofgehalte. De indeling werd gedaan op basis van de droge stof ranges die bij de monstervoorbehandeling worden gehanteerd.

Range > 30% DS	10 g DS intake
Range 15-30% DS	5 g DS intake
Range 2-15% DS	2 g DS intake
Range < 2% DS	Water analyse

De mogelijke aanwezigheid van cyaniden in het monster is afhankelijk van het matrixtype. Uit de analyses komt naar voren dat bij monsters geïmpregneerd met complexe cyanide een terugvinding > 85% werd bekomen, met uitzondering van de monsters met een ds < 2%. Bij monsters geïmpregneerd met de vrije cyaniden werden lage terugvindingen bekomen. Dit kan toegeschreven worden aan de invloed van de matrix op de vrije cyaniden waarbij de aanwezige vrije cyaniden mogelijk oxideren tot cyanaten of worden geïmpregneerd aan het organisch materiaal. Bij dopering van reële extracten na centrifugatie (dus zonder aanwezigheid van het monster zelf) werden de gedopeerde vrije cyaniden wel goed teruggevonden (range 81-123%).

In VLAREMA is een voorstel van de grenswaarde voor totaal cyaniden gedefinieerd van 50 mg/kg droge stof voor materialen > 2% ds of 1 mg/l voor materialen < 2% ds. Voor monsters met een hoog drogestofgehalte is het haalbaar om deze grenswaarde te verifiëren. Bij monsters met een laag drogestofgehalte zal de rapporteergrens verhogen, maar is deze nog steeds lager dan de normwaarde van 50 mg/kg ds (zelfs bij een 100x verdunning)(zie Tabel 8).

Ter illustratie, bij een drogestofgehalte van 25% en een verdunning van 10x is het mogelijk om 1/10 van de normwaarde van 50 mg/kg ds te kunnen meten, maar bij gebruik van een 100x verdunning (wat noodzakelijk kan zijn bij zwaar belaste matrices zoals filterkoek fermentatie) is de rapporteergrens gelegen bij 11,5 mg/kg ds,

INHOUDSTAFEL

Samenvatting	I
Inhoudstafel	III
Lijst van Figuren.....	IV
Lijst van tabellen	V
1 Inleiding.....	1
2 Analytische methode	2
2.1 Principe.....	2
2.2 Analyse van vaste/pasteuze monster.....	2
3 Evaluatie van de analytische methode.....	3
3.1 Geselecteerde monsters en monstervoorbehandeling	3
3.2 Beschrijving van de uitgevoerde experimenten	7
3.3 Cyanide resultaten	9
3.4 Bespreking.....	21
4 Besluit	23
Literatuurlijst	25

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 Afbeeldingen van de extracten na centrifugatie en decanteren	8
Figuur 2 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met > 30% ds	10
Figuur 3 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met 15- 30% ds	12
Figuur 4 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met 2-15% ds	14
Figuur 5 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met < 2% ds	16
Figuur 6 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen op de extracten (zonder monster) van 3 digestaten.....	19

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 Overzicht van de monsters en hun voorbehandeling	4
Tabel 2 Intake (gram) vers monster in functie van het drogestofgehalte	7
Tabel 3 Cyanide resultaten bekomen op vaste bodemverbeterende middelen (> 30% ds) vóór en na dopering.....	11
Tabel 4 Cyanide resultaten bekomen op steekvaste pasteuze bodemverbeterende middelen (tussen 15 - 30% ds) vóór en na dopering.....	13
Tabel 5 Cyanide resultaten bekomen op vloeibare pasteuze bodemverbeterende middelen (tussen 2 - 15% ds) vóór en na dopering.....	15
Tabel 6 Cyanide resultaten bekomen op vloeibare bodemverbeterende middelen (< 2% ds) vóór en na dopering	17
Tabel 7 Cyanide resultaten bekomen na dopering van de uitloogvloeistof na centrifugatie .	20
Tabel 8 Invloed van het drogestofgehalte op de rapportagegrens	22

1 INLEIDING

Vanuit OVAM werd de vraag gesteld om de bepaling van cyaniden in bodemverbeterende middelen waaronder compost en digestaten te evalueren. Voor deze parameter is op dit moment geen compendiummethode (CMA) beschikbaar die de bepaling van cyaniden in bodemverbeterende middelen beschrijft.

Deze vraag werd geformuleerd naar aanleiding van de aanpassing van VLAREMA waar voor bodemverbeterende middelen een voorstel van de grenswaarde voor totaal cyaniden zal gedefinieerd worden: 50 mg/kg droge stof voor materialen > 2% ds of 1 mg/l voor materialen < 2% ds.

Ter info: Bodemverbeterende middelen met een drogestofgehalte hoger dan 2% worden uitgedrukt in mg/kg droge stof. Bodemverbeterende middelen met een drogestofgehalte lager dan 2% worden geanalyseerd volgens de procedures voor watermonsters en de resultaten worden uitgedrukt in mg/l.

Voor de bepaling van totaal cyanide is de methode beschreven in CMA/2/I/C.2.2 en WAC/III/D/036 *Bepaling van totaal cyanide met behulp van continue doorstroomanalyse*. Deze methode is gebaseerd op de Europese norm NBN EN ISO 14403-2:2012 Waterkwaliteit – Bepaling van totaal cyanide en vrij cyanide door continue doorstroomanalyse (ISO 14403-2:2012).

De methode is van toepassing voor waterige monsters. Bij analyse van vaste/pasteuze monsters is noodzakelijk dat voorafgaandelijk een alkalische extractie wordt uitgevoerd. In de CMA methode is voor de extractie van vaste monsters het volgende opgenomen:

Weeg 10 g van het originele monster af in een erlenmeyer. Voeg hieraan 100 ml NaOH 1M toe, afgeschermd van licht en schud gedurende 16 uur. Filtreer vervolgens door een zwartbandfilter en bewaar in donkere glazen injectieflacons.

Opmerking: Bij zeer natte monsters mag meer monster worden genomen met een maximum overeenkomend met 10 g droge stof.

In deze studie zal de extractie en de bepaling van totaal cyanide in diverse bodemverbeterende middelen worden geëvalueerd.

In het CMA is ook de methode CMA/2/I/C.2.1 *Fotometrische bepaling van het totale cyanidegehalte na manuele destillatie* beschreven, maar deze wordt in praktijk door geen enkel erkend laboratorium toegepast. Bijgevolg werd deze methode niet meegenomen in de evaluatie.

2 ANALYTISCHE METHODE

2.1 Principe

Het principe van de CMA methode CMA/2/I/C.2.2 *Bepaling van totaal cyanide met behulp van een doorstroomanalyzesysteem* is als volgt:

Complex gebonden cyanide wordt afgebroken door UV-licht bij een pH van 3,8. Er wordt gebruik gemaakt van een UV-B lamp (312 nm tot 400 nm) en een ontsluitingsspoel van borosilicaatglas, kwartsglas of polytetrafluorethyleen (PTFE). De UV-eenheid zorgt ervoor dat UV-licht met een golflengte van < 290 nm wordt gefilterd, waardoor de omzetting van thiocynaat in cyanide wordt voorkomen. De gevormde waterstofcyanide aanwezig bij pH 3,8 wordt gescheiden door een online destillatie bij 125°C en vervolgens spectrofotometrisch bepaald door de reactie van cyanide met chlooramine-T tot chloorcyaan. Dit reageert met pyridine-4-carbonzuur en 1,3-dimethylbarbituurzuur om een rode kleurstof te geven waarvan de absorptie evenredig is met de cyanideconcentratie.

2.2 Analyse van vaste/pasteuze monster

Voor de analyse van vaste/pasteuze monster is het noodzakelijk om voorafgaandelijk aan de analytische meting een alkalische extractie uit te voeren. In het CMA is volgende procedure voorzien hiervoor:

Weeg 10 g van het originele monster af in een erlenmeyer. Voeg hieraan 100 ml NaOH 1M toe, afgeschermd van licht en schud gedurende 16 uur. Filtreer vervolgens door een zwartbandfilter en bewaar in donkere glazen injectieflacons.

Opmerking: Bij zeer natte monsters mag meer monster worden genomen met een maximum overeenkomend met 10 g droge stof.

Voor de bepaling van totaal cyanide in bodemverbeterende middelen zijn geen Europese/Internationale normmethoden ter beschikking. Voor de bepaling van cyaniden in bodem is volgende norm beschikbaar: NBN EN ISO 17380:2013 *Soil quality - Determination of total cyanide and easily liberatable cyanide - Continuous-flow analysis method* (ISO 17380:2013). In deze methode wordt een hoeveelheid veldvochtige bodem, overeenkomstig met ± 40 g droog monster, geëxtraheerd in 200 ml 2.5 M NaOH gedurende 16h. Het extract is 100x verdund voorafgaandelijk aan de analytische meting. De analytische meting is identiek aan deze beschreven in NBN EN ISO 14403-2 (cfr CMA/2/I/C.2.2).

Niettegenstaande de verschillen tussen de CMA methode en de EN norm, komen de ratio tussen intake monster en de concentratie extractant (NaOH) grosso modo overeen. Bij de CMA methode is de ratio monster : NaOH 1:10, in de EN norm bedraagt deze 1:12.5.

De methode zoals opgenomen in CMA voor de extractie van bodem, kan bijgevolg ook toegepast worden voor de bodemverbeterende middelen. Hierbij dient steeds als intake een hoeveelheid monster overeenkomend met 10 g droge stof genomen worden.

3 EVALUATIE VAN DE ANALYTISCHE METHODE

3.1 Geselecteerde monsters en monstervoorbehandeling

De monsters zoals vermeld in Tabel 1 werden door VLACO¹ in februari 2022 bemonsterd op verschillende locaties in Vlaanderen (België) en gebruikt om de haalbaarheid van de cyanide analyseprocedure te evalueren.

De monsters werden, zoals beschreven in CMA/5/B.1, overeenkomstig hun geschat drogestofgehalte gedifferentieerd. De onderzochte monsters kunnen als volgt worden ingedeeld:

- Vaste monsters: deze monsters hebben een geschat drogestofgehalte van minimaal 30 % m/m.
 - Monster 3: Gedroogd digestaat 1
 - Monster 6: Groencompost
 - Monster 7: Groente-, fruit- en tuinafval (GFT)-compost
 - Monster 8: Groente-, fruit- en tuinafval (GFT)-compost
 - Monster 10: Filterkoekfermentatie (vast)
- Steekvaste pasteuze monsters: deze monsters hebben een geschat drogestofgehalte tussen 15 % en 30 % m/m.
 - Monster 2: Dikke fractie van een digestaat 1
 - Monster 11: Aëroob slib graanverwerkende industrie (vast)
 - Monster 13: Aëroob slib aardappelverwerkende industrie (vast)
- Vloeibare en waterige pasteuze monsters: deze monsters hebben een geschat drogestofgehalte van minder dan 15 % m/m, maar hoger dan 2 % m/m.
 - Monster 1: Ruw digestaat 1
 - Monster 9: Anaeroob slib OBA verwerking (vloeibaar)
- Vloeistoffen: deze monsters hebben een geschat drogestofgehalte van minder dan 2% m/m.
 - Monster 4: Dunne fractie van een digestaat 2
 - Monster 5: Effluent van een digestaat 2
 - Monster 12: Aëroob slib ethanol productie (vloeistof)

Afhankelijk van hun geschat drogestofgehalte is een andere voorbehandelingsprocedure van toepassing. Het heeft ook invloed op het verdere verloop van de analytische methode.

De volgende monstervoorbehandeling was van toepassing en is toegevoegd in tabel 2 voor elk afzonderlijk monster:

- Vaste monsters
Meng het laboratoriummonster grondig en breek voorzichtig eventuele klonten of agglomeraten van het monster die bijvoorbeeld zijn ontstaan door samendrukking tijdens transport. Monsters worden gehomogeniseerd door handmatige conversie.
- Steekvaste pasteuze monsters

¹ Vlaco, [Startpagina | Vlaco](#)

Steekvaste pasteuze laboratoriummonsters worden gehomogeniseerd door handmatige omzetting. Als de pasteuze monsters grovere delen bevatten, moet het monster door mechanisch mengen worden gehomogeniseerd.

- Vloeibare en waterige pasteuze monsters
Vloeibare en waterige pasteuze monsters met minder dan 15 % droge stof zijn vaak heterogeen en kunnen bijvoorbeeld bestaan uit een sliblaag en een vloeistoflaag. Deze monsters worden na schudden en roeren met een spatel gehomogeniseerd met een robuuste staafmixer. Zorg ervoor dat een eventuele vaste sliblaag op de bodem losgemaakt en goed gemengd is. Plaats de monsterfles onder de staafmixer, met het rotormes ongeveer 3 cm van de bodem van de monsterfles. Homogeniseer het monster met de grootst mogelijke rotatiesnelheid en voorkom overmatige schuimvorming. De staafmixer kan tijdens het homogeniseren verticaal heen en weer worden bewogen om het homogeniseren te optimaliseren. Neem na het mengen direct deelmonsters en/of analysemonsters voor de uit te voeren analyses. Vervolgens wordt het recipiënt gesloten. Indien na bewaring van de gehomogeniseerde monsters aanvullende deelmonsters/analyseporties moeten worden genomen, dient het monster opnieuw te worden gehomogeniseerd met een staafmixer.

Tabel 1 Overzicht van de monsters en hun voorbehandeling

Nr	Vlaco Code Vito code	Beschrijving	Foto	Droge stof gehalte in %(m/m)	Homogenisatie
1	VITO/VLACO/DIG/RD/01 Vito code: 220615-0016	Ruw digestaat 1		8.1	Mechanisch mengen met ultra turrax
2	VITO/VLACO/DIG/DIF/02 Vito code: 220615-0017	Dikke fractie van digestaat 1		23.7	Manuele omzetting

Nr	Vlaco Code Vito code	Beschrijving	Foto	Droge stof gehalte in %(m/m)	Homogenisatie
3	VITO/VLACO/DIG/DD/03 Vito code: 220615-0018	Gedroogd digestaat 1		80.1	Manuele omzetting gezeefd < 1 cm, takjes verwijderd
4	VITO/VLACO/DIG/DUF/04 Vito code: 220615-0019	Dunne fractie van digestaat 2		1.4	Mechanisch mengen met ultra turrax
5	VITO/VLACO/DIG/EFF/05 Vito code: 220615-0020	Effluent van digestaat 2		0.7	Mechanisch mengen met ultra turrax
6	VITO/VLACO/GROEN/06 Vito code: 220615-0021	Groencompost		54.1	Manuele omzetting gezeefd < 1 cm
7	VITO/VLACO/GFT/07 Vito code: 220615-0022	GFT-compost		58	Manuele omzetting gezeefd < 1 cm

Nr	Vlaco Code Vito code	Beschrijving	Foto	Droge stof gehalte in %(m/m)	Homogenisatie
8	VITO/VLACO/GFT/08 Vito code: 220615-0023	GFT-compost		59.7	Manuele omzetting gezeefd < 1 cm
9	VITO/VLACO/SLIB/09 Vito code: 220615-0024	Anaeroob slib OBA verwerking (vloeibaar)		8.0	Mechanisch mengen met ultra turrax
10	VITO/VLACO/SLIB/10 Vito code: 220615-0025	Filterkoek fermentatie (vast)		38.5	Manuele omzetting, pasteus monster dat door kneden wordt gehomo- geniseerd
11	VITO/VLACO/SLIB/11 Vito code: 220615-0026	Aëroob slib graan- verwerkende industrie (vast)		17.1	Manuele omzetting
12	VITO/VLACO/SLIB/12 Vito code: 220615-0027	Aëroob slib ethanol productie (vloeistof)		0.5	Mechanisch mengen met ultra turrax

Nr	Vlaco Code Vito code	Beschrijving	Foto	Droge stof gehalte in %(m/m)	Homogenisatie
13	VITO/VLACO/SLIB/13 Vito code: 220615-0028	Aëroob slib aardappel- verwerkende industrie (vast)		16.5	Manuele omzetting

GFT-compost: groente, fruit en tuinafval compost - OBA: organisch biologisch afval

3.2 Beschrijving van de uitgevoerde experimenten

Volgens de CMA procedure wordt een hoeveelheid monster, overeenkomstig met 10 g droge stof, geëxtraheerd in 100 ml 1M NaOH gedurende 16 uur. Vervolgens gefiltreerd en minstens 10x verdund voor de analytische meting.

Bij de berekening van de intake van de verschillende monsters in functie van het drogestofgehalte, werd vastgesteld dat bij lage drogestofgehalten de intake te hoog was om een extractie met 100 ml NaOH te kunnen uitvoeren.

In Tabel 2 is berekend welke intake voor de verschillende monsters moet genomen worden voor de extractie. Uit de berekeningen valt af te leiden dat het niet mogelijk is om voor alle monsters eenzelfde intake te nemen. Bijgevolg werd de intake van het verse monster aangepast naar 10 g droge stof, of 5 g droge stof, of 2 g droge stof, of analyse als waterig monster. De indeling werd gedaan op basis van de droge stof ranges die bij de monstervoorbehandeling worden gehanteerd.

Range > 30% DS	10 g DS intake
Range 15-30% DS	5 g DS intake
Range 2-15% DS	2 g DS intake
Range < 2% DS	Water analyse

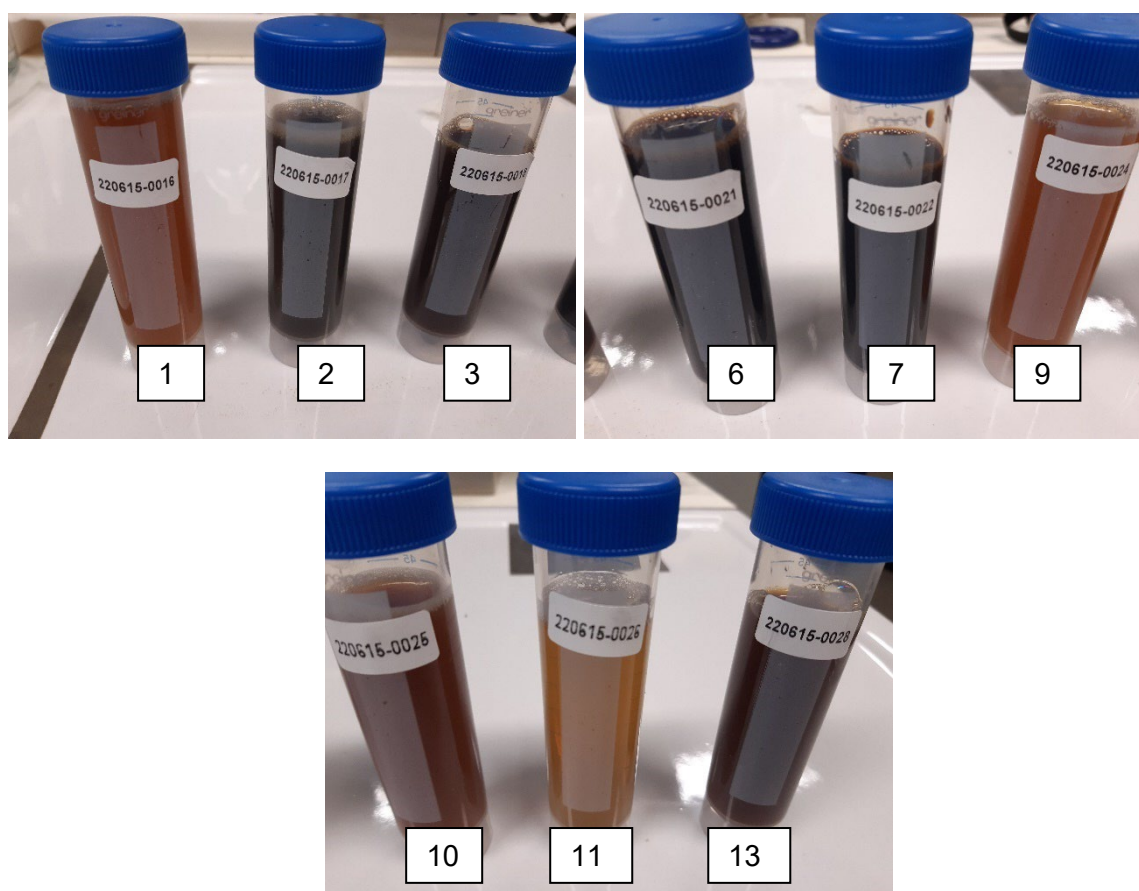
Tabel 2 Intake (gram) vers monster in functie van het drogestofgehalte

	Vito code	Sample description	Dry matter in %	Intake voor 10 g DS	Intake voor 5 g DS	Intake voor 2 g DS	Water analyse
1	220615-0016	Ruw digestaat 1	8,1	123	62	25	
2	220615-0017	Dikke fractie van digestaat 1	23,7	42	21	8,4	
3	220615-0018	Gedroogd digestaat 1	80,1	12	6,2	2,5	
4	220615-0019	Dunne fractie van digestaat 2	1,4	714	357	143	
5	220615-0020	Effluent van digestaat 2	0,7	1429	714	286	

	Vito code	Sample description	Dry matter in %	Intake voor 10 g DS	Intake voor 5 g DS	Intake voor 2 g DS	Water analyse
6	220615-0021	Groencompost	54,1	18	9,2	3,7	
7	220615-0022	GFT-compost	58,0	17	8,6	3,4	
8	220615-0023	GFT-compost	59,7	17	8,4	3,4	
9	220615-0024	Anaëroob slib OBA verwerking (vloeistof)	8,0	125	63	25	
10	220615-0025	Filterkoek fermentatie (vast)	38,5	26	13	5,2	
11	220615-0026	Aëroob slib graan-verwerkende industrie (vast)	17,1	58	29	12	
12	220615-0027	Aëroob slib ethanol productie (vloeistof)	0,5	2000	1000	400	
13	220615-0028	Aëroob slib aardappel-verwerkende industrie (vast)	16,5	61	30	12	

De monsters werden bijgevolg geëxtraheerd vertrekkende van de intake in gram zoals aangeduid in Tabel 2. Aan elk monster werd 100 ml 1M NaOH toegevoegd en geschud gedurende 16 uur. Het recipiënt werd afgesloten van het licht. Na extractie werden de monsters gecentrifugeerd en gedecanteerd (zie Figuur 1).

Opmerking: Centrifugatie werd toegepast omdat de filter dichtslibt bij filtratie.



Figuur 1 Afbeeldingen van de extracten na centrifugatie en decanteren

De geëxtraheerde oplossingen werden geanalyseerd met het doorstroomanalysesysteem. Een kalibratie van 5 – 100 µg CN/l in 0.01M NaOH werd opgesteld. De uitlogingen werden minstens 10 x verdund met ultra puur water vooraleer te analyseren. Vanaf een 50x verdunnen wordt verdund met 0.01M NaOH. Het gehalte aan totaal cyanide werd bepaald tenzij anders aangegeven. Het extract van het originele monsters werd in een 10x verdunning gemeten en de gedopeerde monsters werden in een 100x verdunning gemeten.

De volgende analyses werden uitgevoerd:

- Analyse van een blanco extractieoplossing (1M NaOH)
- Analyse van een blanco extractieoplossing geaddeerd met 50 mg/kg complexe cyaniden of 5000 µg/l
- Analyse van een blanco extractieoplossing geaddeerd met 50 mg/kg vrije cyaniden of 5000 µg/l
- Analyse van alle monsters
- Analyse van de monsters geaddeerd met 50 mg/kg complexe cyaniden of 5000 µg/l
- Analyse van de monsters geaddeerd met 50 mg/kg vrije cyaniden of 5000 µg/l

Als complex cyanide werd kaliumhexacyanoferraat [$K_3(Fe(CN)_6)$] geaddeerd, als vrije cyanide werd kaliumtetracyanozinkaat [$K_2(Zn(CN)_4)$] geaddeerd. De addities werden telkens toegevoegd aan de extractie-oplossing (1M NaOH), vervolgens werd het monster toegevoegd aan de extractie-oplossing, nadien 16 u schudden.

3.3 Cyanide resultaten

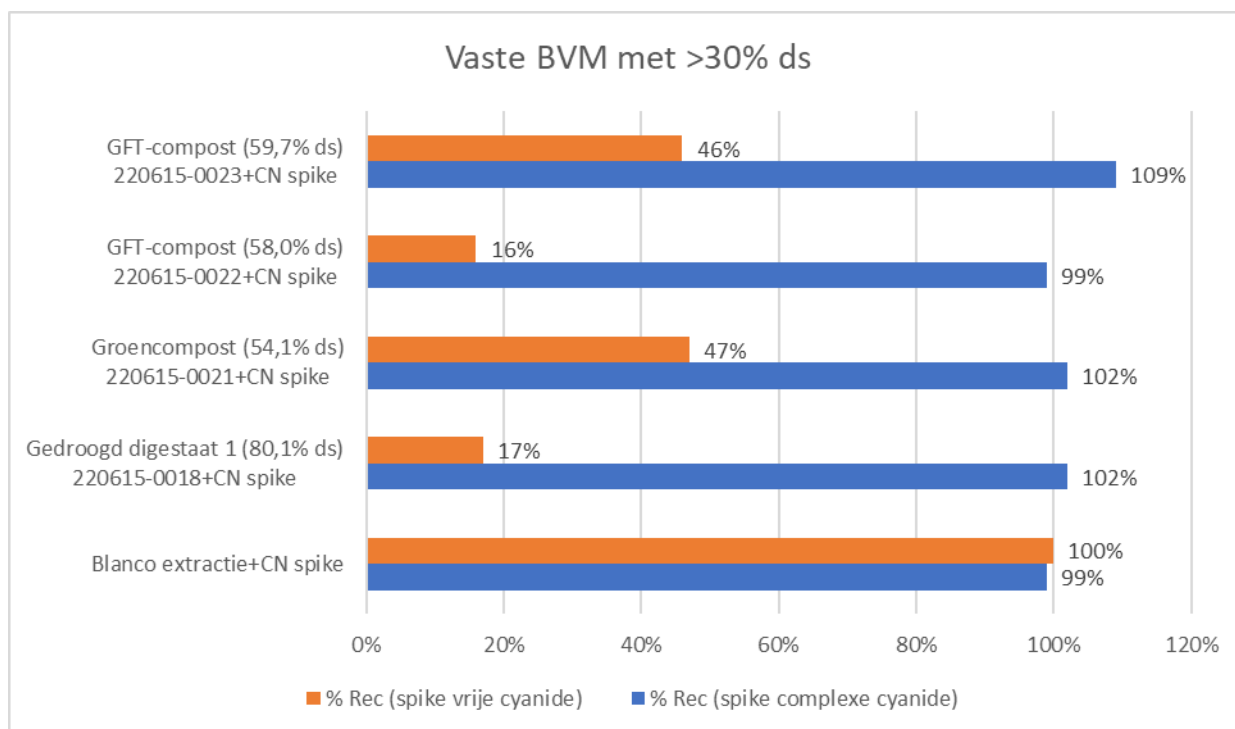
In Tabel 3 en Figuur 2 zijn de cyanide (totaal) resultaten weergegeven van de monsters met een drogestofgehalte > 30%.

Gezien het drogestofgehalte > 30%, is het mogelijk om voor deze extracties een intake van vers monster te nemen overeenkomstig met ± 10 g droge stof.

Additie van complexe of vrije cyaniden aan de blanco extractie oplossing resulteert in een rendement van 99-100%. Analytisch kunnen dus beide cyanide verbindingen kwantitatief gemeten worden met het doorstroomanalysesysteem.

Additie van complexe cyaniden aan het gedroogd digestaat, de groencompost en de GFT compost resulteert in een terugvinding van het totaal cyanide gehalte tussen 99-109%, wat aangeeft dat bij dit type van monsters complexe cyaniden stabiel blijven en goed kunnen gemeten worden.

Additie van vrije cyaniden aan het gedroogd digestaat, de groencompost en de GFT compost resulteert in een terugvinding van het cyanide gehalte (gemeten als totaal cyanide) van slechts 16-47%. Mogelijks worden de aanwezige vrije cyaniden door de bodemverbeterende middelen onder de alkalische conditie geoxideerd naar cyanaten of geadsorbeerd aan het organisch materiaal.



Figuur 2 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met > 30% ds

Er dient opgemerkt te worden dat bij analyse van het monster 'filterkoek fermentatie – vast' (Vito code 220615-0025) het signaal volledig onderdrukt werd en ook voor alle daaropvolgende metingen. Het extract van de originele monsters werd in een 10x verdunning gemeten en de gedopeerde monsters werden in een 100x verdunning gemeten. Deze onderdrukking was toe te schrijven aan een vervuiling van de UV-doorstroomspoel in het analysesysteem. Het analysesysteem diende meermaals grondig gereinigd te worden om het controlemonster bestaande uit complexe cyaniden opnieuw te kunnen meten met een rendement > 85%.

Na meermaalse grondige reiniging van het doorstroomanalysesysteem werden de cyanide metingen opnieuw opgestart, maar werd beslist om het monster '220615-0025 Filterkoek fermentatie (vast)' niet meer te analyseren. De matrix van dit monster is te sterk vervuilend voor het meetsysteem.

Om vervuiling van het analysesysteem te vermijden is het aanbevolen om de monsters minstens 100x te verdunnen voorafgaandelijk aan de analyse.

Tabel 3 Cyanide resultaten bekomen op vaste bodemverbeterende middelen (> 30% ds) vóór en na dopering

Monster code	Beschrijving monster	NPOC (mg C/l) <i>indicatief</i>	Droge stof (% m/m)	Intake (g vers materiaal)	CN resultaat (µg/l)	Intake op basis van ds (g ds)	CN resultaat (mg/kg ds)	Theoretische waarde (mg/kg ds)	% terugvinding
Blanco extractie oplossing	Extractie oplossing				<50				
Blanco extractie oplossing+CN complex spike	Extractie oplossing				4933	10*	49.3	50	99%
Blanco extractie oplossing+CN vrije spike	Extractie oplossing				4993	10*	49.9	50	100%
220615-0018	Gedroogd digestaat 1	4900	80,1	11,99	174	9,60	1,85	-	-
220615-0018+CN complex spike	Gedroogd digestaat 1		80,1	12,11	4816	9,70	50,8	50	102%
220615-0018+CN vrije spike	Gedroogd digestaat 1		80,1	11,94	814	9,56	8,72	50	17%
220615-0021	Groencompost	3800	54,1	18,22	208	9,86	2,29	-	
220615-0021+CN complex spike	Groencompost		54,1	17,86	4546	9,66	50.9	50	102%
220615-0021+CN vrije spike	Groencompost		54,1	17,60	2056	9,52	23,3	50	47%
220615-0022	GFT-compost	7000	58,0	17,57	144	10,19	1,52		
220615-0022+CN complex spike	GFT-compost		58,0	17,55	4701	10,18	49,6	50	99%
220615-0022+CN vrije spike	GFT-compost		58,0	17,73	749	10,28	7,82	50	16%
220615-0023	GFT-compost	6800	59,7	17,00	371	10,15	3,91		
220615-0023+CN complex spike	GFT-compost		59,7	16,91	5148	10,10	54,5	50	109%
220615-0023+CN vrije spike	GFT-compost		59,7	17,03	2207	10,17	23,2	50	46%

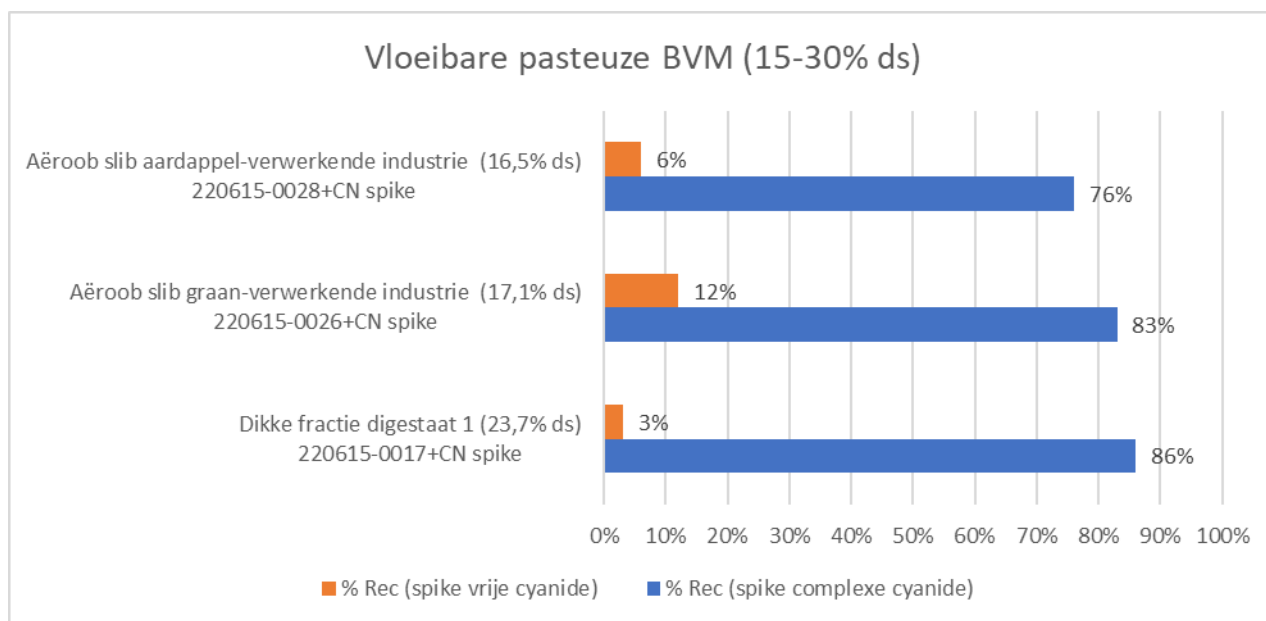
*uitgaande van een fictieve intake van 10 g droog monster

In Tabel 4 en Figuur 3 zijn de cyanide resultaten weergegeven van de steekvaste pasteuze bodemverbeterende middelen (tussen 15 - 30% ds) vóór en na dopering. Het betreft de monsters:

- 220615-0017 Dikke fractie digestaat
- 220615-0026 Aëroob slib graan-verwerkende industrie
- 220615-0028 Aëroob slib aardappel-verwerkende industrie

Met een drogestofgehalte tussen 15 en 30% werd voor deze extracties een intake van vers monster genomen overeenkomstig met ± 5 g droge stof.

Bij deze monsters wordt vastgesteld dat de terugvinding van de complexe cyaniden meer dan 80% bedraagt, terwijl deze van de vrije cyaniden bijna nihil (3-12%) is. Ook hier wordt aangenomen dat de aanwezige vrije cyaniden waarschijnlijk door de matrix (onder de alkalische conditie oxideren naar cyanaten of adsorberen aan het organisch materiaal).



Figuur 3 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met 15- 30% ds

Tabel 4 Cyanide resultaten bekomen op steekvaste pasteuze bodemverbeterende middelen (tussen 15 - 30% ds) vóór en na dopering

Monster code	Beschrijving monster	NPOC (mg C/l) <i>indicatief</i>	Droge stof (% m/m)	Intake (g vers materiaal)	CN resultaat (µg/l)	Intake op basis van ds (g ds)	CN resultaat (mg/kg ds)	Theoretische waarde (mg/kg ds)	% terugvinding
220615-0017	Dikke fractie digestaat 1	2600	23,7	20,57	74	4,88	1,75		
220615-0017+CN complex spike	Dikke fractie digestaat 1		23,7	20,90	3660	4,95	85,7	100	86%
220615-0017+CN vrije spike	Dikke fractie digestaat 1		23,7	20,76	107	4,92	2,53	100	3%
220615-0026	Aëroob slib graan- verwerkende industrie (vast)	1400	17,1	29,84	107*	5,10	2,62		
220615-0026+CN complex spike	Aëroob slib graan- verwerkende industrie (vast)		17,1	30,06	3422	5,14	83,2	100	83%
220615-0026+CN vrije spike	Aëroob slib graan- verwerkende industrie (vast)		17,1	30,90	522	5,28	12,4	100	12%
220615-0028	Aëroob slib aardappel- verwerkende industrie (vast)	8800	16,5	30,10	133*	4,97	3,36		
220615-0028+CN complex spike	Aëroob slib aardappel- verwerkende industrie (vast)		16,5	30,39	3057	5,01	76,4	100	76%
220615-0028+CN vrije spike	Aëroob slib aardappel- verwerkende industrie (vast)		16,5	30,22	221*	4,99	5,55	100	6%

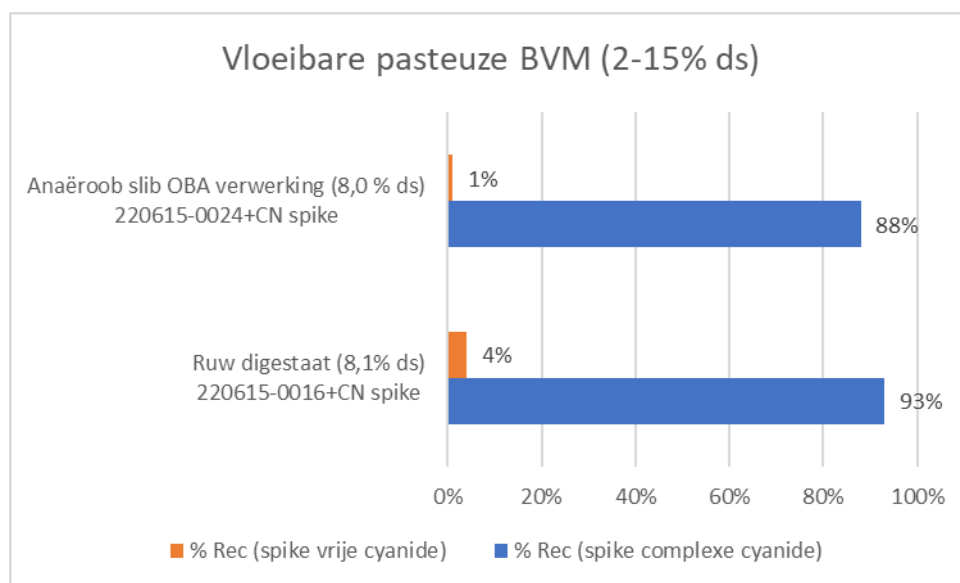
*RG < 500 µg/l, indicatief resultaat

In Tabel 5 en Figuur 4 zijn de cyanide resultaten weergegeven van vloeibare pasteuze bodemverbeterende middelen (tussen 2 - 15% ds) vóór en na dopering. Het betreft de monsters:

- 220615-0016 Ruw digestaat
- 220615-0024 Anaëroob slib OBA verwerking

Met een drogestofgehalte tussen 2 en 15% werd voor deze extracties een intake van vers monster genomen overeenkomstig met ± 2 g droge stof.

Bij deze monsters wordt vastgesteld dat de terugvinding van de complexe cyaniden meer dan 85% bedraagt, terwijl deze van de vrije cyaniden bijna nihil (max. 4%) is. Ook hier wordt aangenomen dat de aanwezige vrije cyaniden waarschijnlijk door de matrix (ruw fractie digestaat) onder de alkalische conditie oxideren naar cyanaten of adsorberen aan het organisch materiaal.



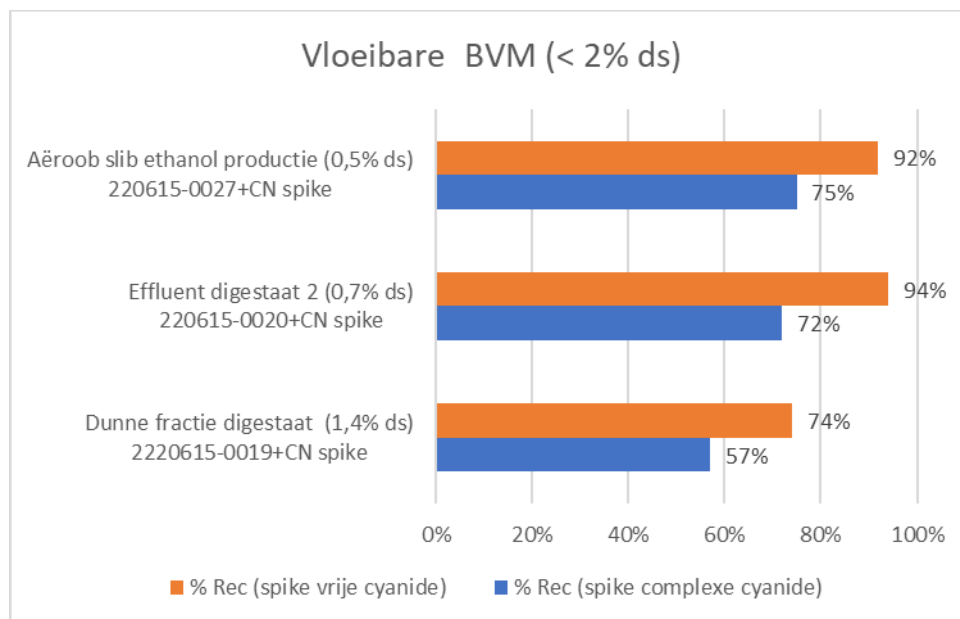
Figuur 4 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met 2-15% ds

Tabel 5 Cyanide resultaten bekomen op vloeibare pasteuze bodemverbeterende middelen (tussen 2 - 15% ds) vóór en na dopering

Monster code	Beschrijving monster	NPOC (mg C/l) <i>indicatief</i>	Droge stof (% m/m)	Intake (g vers materiaal)	CN resultaat (µg/l)	Intake op basis van ds (g ds)	CN resultaat (mg/kg ds)	Theoretische waarde (mg/kg ds)	% terugvinding
220615-0016	Ruw digestaat	1700	8,1	24,82	64	2,01	3,89		
220615-0016+CN complex spike	Ruw digestaat		8,1	24,73	3780	2,00	232	250	93%
220615-0016+CN vrije spike	Ruw digestaat		8,1	24,82	165	2,01	10,1	250	4%
220615-0024	Anaëroob slib OBA verwerking (vloeistof)	1800	8,0	25,00	46	2,00	2,8		
220615-0024+CN complex spike	Anaëroob slib OBA verwerking (vloeistof)		8,0	25,15	3593	2,01	220	250	88%
220615-0024+CN vrije spike	Anaëroob slib OBA verwerking (vloeistof)		8,0	25,48	48	2,04	2,9	250	1%

In Tabel 6 en Figuur 5 zijn de cyanide resultaten bekomen op vloeibare bodemverbeterende middelen (< 2% ds) vóór en na dopering. Deze monstertypes mogen geanalyseerd worden als afvalwater, dwz dat de monsters enkel verdund werden met 0.01M NaOH. Het gehalte aan totaal cyanide werd bepaald op de monsters gedopeerd met complexe cyaniden, terwijl het gehalte aan vrije cyaniden werd bepaald op de monsters gedopeerd met vrije cyaniden.

Voor deze monsters (Dunne fractie digestaat 2 en effluent digestaat 2) werd voor de complexe cyaniden een verlaagd rendement bekomen (range 57% - 75%. In vergelijking met de andere geanalyseerde matrices worden voor de vrije cyaniden betere rendementen bekomen, nl. tussen 74% en 94%. Er zijn geen redenen die een verklaring geven voor de verlaagde rendementen van de complexe cyaniden.



Figuur 5 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen bij monsters met < 2% ds

Tabel 6 Cyanide resultaten bekomen op vloeibare bodemverbeterende middelen (< 2% ds) vóór en na dopering

Monster code	Beschrijving monster	NPOC (mg C/l) <i>indicatief</i>	Droge stof (% m/m)	Intake (g vers materiaal)	CN resultaat (µg/l)	Intake op basis van ds (g ds)	CN resultaat (mg/l)	Theoretische waarde (mg/l)	% terugvinding
220615-0019	Dunne fractie digestaat 2	1800	1,4	-	126	-	0,12		
220615-0019+CN complex spike	Dunne fractie digestaat 2		1,4	-	2830	-	2,8	5	57%
220615-0019+CN vrije spike	Dunne fractie digestaat 2		1,4	-	3719*	-	3,7*	5	74%
220615-0020	Effluent digestaat 2	320	0,7	-	106	-	0,11		
220615-0020+CN complex spike	Effluent digestaat 2		0,7	-	3618	-	3,6	5	72%
220615-0020+CN vrije spike	Effluent digestaat 2		0,7	-	4678*	-	4,7*	5	94%
220615-0027	Aëroob slib ethanol productie (vloeistof)	970	0,5	-	0**	-	0		
220615-0027+CN complex spike	Aëroob slib ethanol productie (vloeistof)		0,5	-	3678	-	3,7	5	75%
220615-0027+CN vrije spike	Aëroob slib ethanol productie (vloeistof)		0,5	-	4600	-	4,6	5	92%

*gemeten als vrije cyaniden

**RG < 500 µg/l, indicatief resultaat

Vermits voor de vrije cyaniden in de diverse matrices verlaagde rendementen werden bekomen indien de vrije cyanide oplossing werd gedopeerd aan de extractie oplossing met monster, werd bij de volgende testen getoetst of dit toegeschreven kan worden aan de invloed van het monster op het aanwezige vrije cyanide.

Om dit te kunnen beoordelen werden extracten gemaakt van diverse monsters en de extracten (na centrifugatie/filtratie en zonder de vaste fase) werden gedopeerd met enerzijds complexe en anderzijds vrije cyaniden. Op deze manier werd vermeden dat de vaste fase van het monster zelf de aanwezige gedopeerde cyaniden kan beïnvloeden.

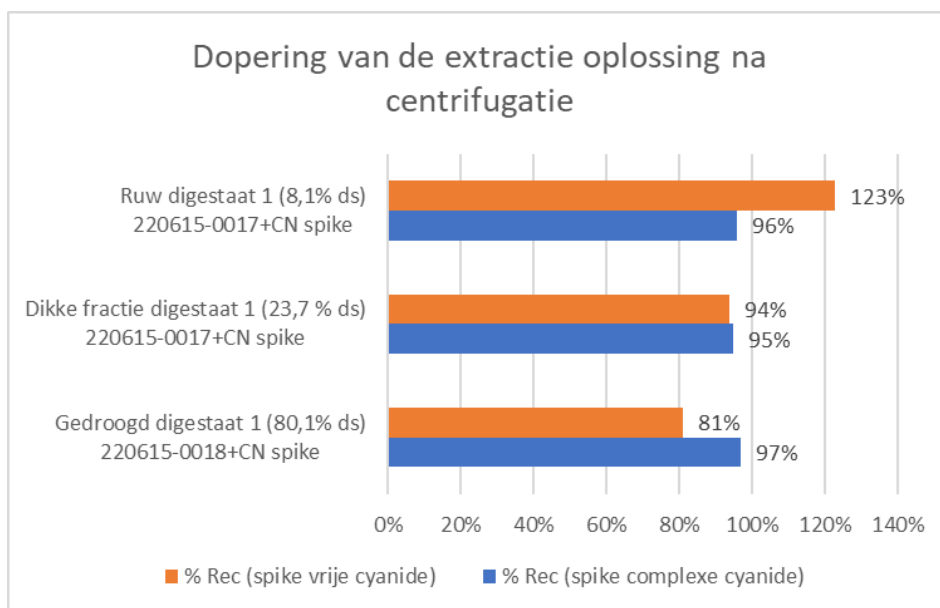
Van 3 monsters (vast/ steekvast pasteus/vloeibaar pasteus) werden uitlogingen opgestart volgens de procedure zoals bij aanvang van §3.2 beschreven. Na extractie werden de monsters gecentrifugeerd. Aan de uitloogvloeistof (zonder vaste fase van het monster) werd vervolgens enerzijds vrije en anderzijds complexe cyaniden geaddieerd.

In Tabel 7 en Figuur 6 zijn de cyanide resultaten weergegeven die bekomen werden na dopering van de uitloogvloeistof na centrifugatie. Het gehalte aan totaal cyanide werd bepaald op de monsters gedopeerd met complexe cyaniden, terwijl het gehalte aan vrije cyaniden werd bepaald op de monsters gedopeerd met vrije cyaniden.

Additie van complexe cyaniden aan het extract van gedroogd digestaat 1, dikke fractie digestaat 1 en ruw digestaat 1 resulteert in een terugvinding van 95-97%, en bevestigt dat op dit type van monsters, complexe cyaniden stabiel blijven en goed kunnen gemeten worden.

Additie van vrije cyaniden aan het extract van gedroogd digestaat 1, dikke fractie digestaat 1 en ruw digestaat 1 resulteert in een terugvinding tussen 81-123%. In deze extracten (zonder vaste fase van het monster) kan het vrije cyanide wel kwantitatief gemeten worden, in tegenstelling met de monsters waarbij de spike werd toegevoegd aan het extracten in aanwezigheid van de vaste fase van het monster.

Deze resultaten tonen aan dat de meting van vrije cyaniden in deze uitloogvloeistof mogelijk is, maar dat door invloed van de vaste fase van het monster de vrije cyanide verbindingen worden omgezet, vermoedelijk naar cyanaten of worden geadsorbeerd aan het onopgeloste organische materiaal (de vaste fase).



Figuur 6 Terugvinding van de gedopeerde cyanideverbindingen op de extracten (zonder monster) van 3 digestaten

Tabel 7 Cyanide resultaten bekomen na dopering van de uitloogvloeistof na centrifugatie

Monster code	Beschrijving monster	NPOC (mg C/l) <i>indicatief</i>	Droge stof (% m/m)	Intake (g vers materiaal)	CN resultaat (µg/l)	Intake op basis van ds (g ds)	CN resultaat (mg/l)	Theoretische waarde (mg/l)	% terugvinding
220615-0018	Gedroogd digestaat 1	4900	80,1	12,04	271	9,64	2,88		
220615-0018+CN complex spike	Gedroogd digestaat 1		80,1	12,04	4545	9,64	48,3	50	97%
220615-0018+CN vrije spike	Gedroogd digestaat 1		80,1	12,04	3802*	9,64	40,4*	50	81%
220615-0017	Dikke fractie digestaat 1	2600	23,7	20,57	163	4,88	3,88		
220615-0017+CN complex spike	Dikke fractie digestaat 1		23,7	20,57	3995	4,88	94,8	100	95%
220615-0017+CN vrije spike	Dikke fractie digestaat 1		23,7	20,57	3968*	4,88	94,2*	100	94%
220615-0016	Ruw digestaat 1	1700	8,1	24,67	156	2,00	9,58		
220615-0016+CN complex spike	Ruw digestaat 1		8,1	24,67	3905	2,00	240	250	96%
220615-0016+CN vrije spike	Ruw digestaat 1		8,1	24,67	5023*	2,00	308*	250	123%

*gemeten als vrije cyaniden

3.4 Bespreking

Op basis van de uitgevoerde testen kan afgeleid worden dat analytisch complex en vrije cyaniden in het alkalisch extract van bodemverbeterende middelen kwantitatief kunnen gemeten worden met het doorstroomanalysestelsel. De aanwezigheid van de vaste fase in het extract zorgt in de meeste gevallen voor een significant verlies aan gedopeerde vrije cyaniden. Het is niet eenduidig of de vrije cyaniden tijdens de alkalische extractie worden omgezet door de matrix dan wel worden geadsorbeerd aan de vaste fase.

Volgende bemerkingen kunnen bijkomend worden geformuleerd op basis van het uitgevoerde onderzoek:

- Tijdens deze testen werd vastgesteld dat bij dopering van complexe cyaniden deze stabiel blijven in het medium, terwijl dit niet het geval is bij de vrije cyaniden. Deze laatste worden vermoedelijk door de matrix in combinatie met het alkalische milieu omgezet naar cyanaten of worden geadsorbeerd aan het organisch materiaal (de vaste fase). Om dit laatste verder te onderzoeken, zou voor de bepaling van de vrije cyaniden een manuele destillatie (CMA/2/I/C.2.1) rechtstreeks op het monster kunnen worden uitgevoerd in plaats van een voorafgaandelijke alkalische extractie. De manuele destillatie wordt echter in de praktijk door geen enkel erkend laboratorium meer toegepast, o.a. gezien deze te lage rendementen geeft voor metaal ijzer cyaniden.
- Bepaalde types van bodemverbeterende middelen zoals filterkoek fermentatie, kunnen leiden tot vervuiling van het analysestelsel. Het sterker verdunnen van de extractie oplossing is de enige mogelijkheid, maar verhoogt de rapportagegrens met een zelfde factor. Om vervuiling van het analysestelsel te vermijden is het aanbevolen om de monsters minstens 100x te verdunnen voorafgaandelijk aan de analyse. Bij de uitvoering van de proef werd vastgesteld dat na de extractie de monsters gecentrifugeerd en gedecanteerd moeten worden omdat bij filtratie de filter dichtsluit.
- Volgens de CMA procedure wordt een hoeveelheid monster, overeenkomstig met 10 g droge stof, geëxtraheerd met 100 ml 1M NaOH gedurende 16 uur. Bij de berekening van de intake van de verschillende monsters in functie van het drogestofgehalte, werd vastgesteld dat bij lage drogestofgehalten de intake te hoog was om een extractie met 100 ml NaOH te kunnen uitvoeren. Bijgevolg werd de intake van het verse monster aangepast naar 10 g droge stof, of 5 g droge stof, of 2 g droge stof, of analyse als waterig monster in functie van het drogestofgehalte. De indeling werd gedaan op basis van de droge stof ranges die bij de monstervoorbehandeling worden gehanteerd.

Range > 30% DS	10 g DS intake
Range 15-30% DS	5 g DS intake
Range 2-15% DS	2 g DS intake
Range < 2% DS	Water analyse

- In VLAREMA is een voorstel van de grenswaarde voor totaal cyaniden gedefinieerd van 50 mg/kg droge stof voor materialen > 2% ds of 1 mg/l voor materialen < 2% ds.

Voor monsters met een hoog drogestofgehalte is het haalbaar om deze grenswaarde te verifiëren. Maar voor sommige monsters kan het drogestofgehalte aanzienlijk lager zijn en dit heeft invloed op het uiteindelijke cyanide resultaat uitgedrukt in mg/kg ds. In Tabel 8 wordt een overzicht gegeven van de invloed van het drogestofgehalte op het uiteindelijke analyseresultaat en de rapportagegrens. Hierbij worden de factoren zoals intake en gebruikte verdunning bij de analyse (minimaal 10x) als variabele opgenomen.

Op basis van deze gegevens kan afgeleid worden dat bij een drogestofgehalte van 25% en een verdunning van 10x het mogelijk is om lager dan 1/10 van de normwaarde van 50 mg/kg ds te kunnen meten, en bij gebruik van een 100x verdunning de rapportagegrens 11,5 mg/kg ds bedraagt, wat nog steeds 1/4 onder de normwaarde ligt.

Tabel 8 Invloed van het drogestofgehalte op de rapportagegrens

Drogestof- gehalte % (m/m)	Intake in g droog monster	Intake in g nat monster	CN resultaat* (excl. verdunning) µg/l	Verdunning	Rapportage- grens mg/kg ds
100	10	10	5	10	0,50
50	10	20	5	10	0,55
25	5	20	5	10	1,15
20	5	25	5	10	1,20
5	2	40	5	10	3,45
2	2	100	5	10	4,95
100	10	10	5	100	5,00
50	10	20	5	100	5,50
25	5	20	5	100	11,5
20	5	25	5	100	12,0
5	2	40	5	100	34,5
2	2	100	5	100	49,5

*laagste kalibratiepunt bij de cyanide meting

4 BESLUIT

VITO heeft de toepasbaarheid van de CMA methode *CMA/2/I/C.2.2* en *WAC/III/D/036 Bepaling van totaal cyanide met behulp van continue doorstroomanalyse* geëvalueerd door verschillende bodemverbeterende middelen te analyseren, bestaande uit compost, verschillende fracties digestaten en slib. Alle monsters werden, als zodanig en geaddeerd met complexe of vrije cyaniden, geëxtraheerd in basisch milieu en geanalyseerd met een continue doorstroom-analysesysteem.

Op basis van de uitgevoerde testen kan afgeleid worden dat analytisch complex en vrije cyaniden in de alkalische uitloogvloeistof van bodemverbeterende middelen kwantitatief kunnen gemeten worden met het doorstroomanalysesysteem. Na extractie moeten de monsters wel gecentrifugeerd en gedecanteerd worden omdat bij filtratie zonder voorafgaandelijke centrifugatiestap de filter dichtslibt met de vaste fase. De aanwezigheid van de vaste fase in het extract zorgt daarenboven in de meeste gevallen voor een significant verlies aan gedopeerde vrije cyanides. Het is niet eenduidig of de vrije cyanides tijdens de alkalische extractie worden omgezet door de matrix dan wel worden geadsorbeerd aan de vaste fase.

Niettegenstaande bovenstaande maatregelen (decanteren en filtreren) kunnen alkalische extracten van bepaalde types van bodemverbeterende middelen zoals filterkoek fermentatie, alsnog leiden tot vervuiling van het analysemeetsysteem. Standaard worden de extracten een factor 10x verdund voorafgaandelijk aan de doorstroomanalyse. Voor dit type monsters is een grotere verdunning (minstens 100x) van de extractie oplossing noodzakelijk, wat een invloed heeft op de rapportagegrens.

Bij lage drogestofgehalten is bij de extractie een intake overeenkomstig met 10 g droge stof te hoog om een extractie met 100 ml NaOH te kunnen uitvoeren. Bijgevolg werd de intake van het verse monster aangepast naar 10 g droge stof, of 5 g droge stof, of 2 g droge stof, of analyse als waterig monster in functie van het drogestofgehalte. De indeling werd gedaan op basis van de droge stof ranges die bij de monstervoorbehandeling worden gehanteerd.

Range > 30% DS	10 g DS intake
Range 15-30% DS	5 g DS intake
Range 2-15% DS	2 g DS intake
Range < 2% DS	Water analyse

De mogelijke aanwezigheid van cyaniden in het monster is afhankelijk van het matrixtype. Uit de analyses komt naar voren dat bij monsters geaddeerd met complexe cyanide een terugvinding > 85% werd bekomen, met uitzondering van de monsters met een ds < 2%. Bij monsters geaddeerd met de vrije cyaniden werden lage terugvindingen bekomen. Dit kan toegeschreven worden aan de invloed van de matrix op de vrije cyaniden waarbij de aanwezige vrije cyaniden mogelijks oxideren tot cyanaten of worden geadsorbeerd aan het organisch materiaal. Bij dopering van reële extracten na centrifugatie (dus zonder aanwezigheid van het monster zelf) werden de gedopeerde vrije cyaniden wel goed teruggevonden (range 81-123%).

In VLAREMA is een voorstel van de grenswaarde voor totaal cyaniden gedefinieerd van 50 mg/kg droge stof voor materialen > 2% ds of 1 mg/l voor materialen < 2% ds. Voor monsters

met een hoog drogestofgehalte is het haalbaar om deze grenswaarde te verifiëren. Bij monsters met een laag drogestofgehalte zal de rapporteergrens verhogen, maar is deze nog steeds lager dan de normwaarde van 50 mg/kg ds (zelfs bij een 100x verdunning)(zie Tabel 8).

Ter illustratie, bij een drogestofgehalte van 25% en een verdunning van 10x is het mogelijk om 1/10 van de normwaarde van 50 mg/kg ds te kunnen meten, maar bij gebruik van een 100x verdunning (wat noodzakelijk kan zijn bij zwaar belaste matrices zoals filterkoek fermentatie) is de rapportagegrens gelegen bij 11,5 mg/kg ds,

.

LITERATUURLIJST

CMA/2/I/C.2.2 Totaal cyanide met behulp van continue doorstroomanalyse;

CMA/2/I/C.2.3 Vrije cyanide met behulp van continue doorstroomanalyse;

[Compendium voor monsterneming en analyses van afvalstoffen en bodem \(CMA\) | EMIS \(vito.be\)](#)

WAC/III/D/036 Bepaling van het gehalte aan totaal cyanide met behulp van continue doorstroomanalyse, [Compendium voor de monsterneming, meting en analyse van water \(WAC\) | EMIS \(vito.be\)](#)

**vision on technology
for a better world**

