



Vlaanderen
is omgeving

Valorisatiemogelijkheden van glauconiethoudende zanden in de betonindustrie

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgeving.vlaanderen.be

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Toon Denys
Departement Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1210 Brussel
www.omgevingvlaanderen.be

Een uitgave van het Departement Omgeving, Afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving
vpo.omgeving@vlaanderen.be

Auteurs

Team Geologie en Omgeving, Departement Omgeving

Jef Bergmans – VITO
Liesbet Van den Abeele – VITO
Peter Nielsen – VITO

Publicatiedatum

December 2024

Depotnummer

D/2024/3241/399

Wijze van citeren

Bergmans, J., Van den Abeele, L., & Nielsen, P. (2024). Valorisatiemogelijkheden van glauconiethoudende zanden in de betonindustrie. Departement Omgeving, Afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving.



- Keramische industrie: Glaucaniet kan klei deels vervangen bij de productie van bakstenen en keramische tegels, waarbij het als flux fungeert. Daarnaast kan het zorgen voor een rode kleur in keramiek door het hoge ijzergehalte.
- Extractie: Kalium en ijzer kunnen chemisch uit glaucaniet worden gewonnen, maar de benodigde hoge temperaturen en chemische processen maken deze methoden momenteel niet economisch haalbaar. Het risico bestaat ook dat zware metalen bij deze processen vrijkomen.

Er is echter weinig kostenmarge is voor de productie van zuiver fijn zand uit glaucaniethoudende zanden, aangezien de huidige prijs voor fijne zanden in Vlaanderen ongeveer €14/ton bedraagt. In betontoepassingen kan fijn glaucaniethoudend zand tot 30-40% van het totale gebruikte betonzand vervangen zonder voorgaande scheidingsstappen in het geval van zanden met lagere glaucanietgehalten. Meer onderzoek is nodig om de maximale toepasbare glaucanietgehalten in beton vast te stellen en mogelijke problemen, zoals de aanwezigheid van fijn materiaal, te begrijpen. Toekomstige studies kunnen ook leiden tot directe toepassingen van glaucaniethoudende zanden met hogere glaucanietgehalten in sectoren zoals landbouw of keramiek, zonder voorafgaande scheiding.

INHOUDSTAFEL

1	Inleiding	6
2	Maximaal toelaatbare concentraties aan glauconiet in zand voor betontoepassingen	7
2.1	Bevraging sector	7
2.2	Literatuurstudie	8
2.2.1	Mogelijk effecten van het gebruik van glauconiethoudend zand in beton	8
2.2.2	Het gebruik van glauconiethoudend zand in gebonden toepassingen	8
2.3	Bijkomende proeven op zandniveau	9
2.3.1	Methyleenblauwwaarde	9
2.3.2	Waterabsorptie	10
2.3.3	Fijne fractie <63 µm	11
2.4	Conclusie	12
3	Mogelijke technieken voor de scheiding van glauconiet uit glauconiethoudend zand	13
3.1	Materiaaleigenschappen glauconiet en zand	13
3.2	Magnetische scheiding	13
3.2.1	Natte magnetische scheiding	14
3.2.2	Droge magnetische scheiding	15
3.3	Elektrostatistische scheiding	16
3.4	Flotatie	17
3.5	Desintegratie van het glauconiet, gevolgd door korrelgroottescheiding	18
3.6	Conclusie	19
4	Economische kost van de mogelijke winningstechnieken	19
4.1	Natte magnetische scheiding	20
4.2	Droge magnetische scheiding	20
4.3	Flotatie	21
4.4	Desintegratie van het glauconiet, gevolgd door korrelgroottescheiding	22
5	Valorisatiemogelijkheden van een opgezuiverde glauconietfractie	22
5.1	Meststof	23
5.2	Sorbent	24
5.3	Keramische industrie	24
5.4	Extractie	24
6	Conclusie	25
	Referenties.....	27



1 INLEIDING

De primaire zandreserves voor o.a. de aanmaak van beton in de bestaande ontginningsgebieden in Vlaanderen geraken uitgeput en onze afhankelijkheid van import vergroot. Daarnaast komt in Vlaanderen ongeveer 20 Mton grond vrij naar aanleiding van graafwerken voor bouw- en infrastructuurprojecten, waarvan ongeveer 17 Mton wordt ingezet als alternatieve (fijnere) zanden, voornamelijk voor aanvullingen en ophogingen. Deze zanden kunnen de behoefte voor de betonindustrie niet zomaar mee opvangen omdat ze een onvoldoende bouwtechnische kwaliteit hebben. Slechts $\pm 3\%$ van deze zanden gaat momenteel naar betoncentrales (bron: cijfers Monitoringsysteem Duurzaam Oppervlaktedelfstoffenbeleid, data van 2009 t.e.m. 2018).

Een van de redenen hiervoor is de aanwezigheid van glauconiet. Glauconiet is een mineraal dat gemakkelijk verweert. De aanwezigheid van glauconiet leidt tot een hogere waterabsorptie en tot volumetoename, wat kan leiden tot scheuren in het beton gemaakt met glauconiethoudend zand.

Glauconiet ontstaat in de holten van zeer kleine schaaldiertjes in mariene afzettingen waaruit het levend materiaal is weggerot. Zo ontstaan er in de binnenkant van deze microfossielen zuurstofarme en zure omstandigheden, waarin aluminosilicaten neerslaan. De glauconietkorrels nemen de vorm aan van de binnenkant van de microfossielen [1].

Glauconiet komt voor in de Neogene sedimenten in Vlaanderen, deze vertegenwoordigen een groot volume van de ondergrond in Vlaanderen. De glauconietconcentratie in deze bodems varieert van lage tot zeer hoge concentraties: 1%-70% (Figuur 1). De belangrijkste glauconiethoudende geologische formaties zijn: Berchem (tot 60%), Diest (tot 70%), Kattendijk (tot 40%) en Lillo (tot 50%) [1]. Deze maximale waarden zijn echter dikwijls geen goede weergave van de eigenlijke glauconietgehalten van (delen van) deze formatie. Zo zijn de glauconietgehalten van de formatie van Lillo meestal $< 15\%$ en ligt het glauconietgehalte voor de formatie van Kattendijk grotendeels tussen 15%-25% in de Antwerpse regio [2]. Verder kunnen de verweringsgraad en chemische samenstelling, en dus bijgevolg ook de eigenschappen, van het glauconiet verschillen op verschillende locaties. De effecten van de aanwezigheid van glauconiet worden dus niet enkel bepaald door het glauconietgehalte.

Deze studie behandelt de volgende vragen:

1. Wat mag de maximale concentratie van glauconiet in zand zijn voor het gebruik in betontoepassingen;
2. Hoe kan glauconiet worden afgescheiden van zand;
3. Wat zijn de kosten/baten van het afscheiden van glauconiet;
4. Wat kunnen de (industriële) toepassingen zijn van (zuiver) glauconiet?

Het Standaardbestek 250 voor de wegenbouw vraagt enkel een bepaling van het glauconietgehalte voor zand gebruikt in draineringen (maximaal toegelaten glauconietgehalte: 5%). Er is ook bij betonproducenten geen informatie beschikbaar over het gebruik van (licht) glauconiethoudend zand in beton. Het is mogelijk dat licht glauconiethoudend zand soms in magere betontoepassingen wordt gebruikt, in dit geval wordt het glauconietgehalte van deze zanden echter niet gemeten.

Ook de certificatie-instellingen van het gebruikte zand (COPRO en Certipro) voeren momenteel geen glauconietanalyses uit op zanden die bestemd zijn voor gebruik in beton. Deze zanden worden voornamelijk getest op de korrelgrootteverdeling (EN 933-1), de kenmerken van de fijne deeltjes <63 µm (methyleenblauwwaarde, EN 933-9), de densiteit en waterabsorptie (EN 1097-6), de aanwezigheid van organische stoffen (NaOH-proef, EN 1744-1), en het gehalte aan schelpdelen (HCl-proef, NBN 589-209) en chloride-ionen (waterextractie gevolgd door titratie met AgNO₃, EN 1744-1).

Antwerp Recycling Company (ARC) is recent gestart met het gebruik van het zand van de AMORAS-installatie in zandcement (± 2 MPa druksterkte). Dit zand bevat ongeveer 9% glauconiet. Zij geven aan dat het zand te fijn is om te gebruiken in betontoepassingen.

2.2 LITERATUURSTUDIE

2.2.1 Mogelijk effecten van het gebruik van glauconiethoudend zand in beton

Glauconiet is een kleiachtig mineraal waarvan de deeltjes samenvlokken tot grotere granulaten, waardoor het granulometrisch in de zandfractie geclassificeerd wordt. Glauconietkorrels hebben typische een korrelgrootte van 0-0.5 mm [1]. De glauconietkorrels hebben een lage hardheid en zijn makkelijk vervormbaar. Mortels en beton worden samengesteld volgens goed gedefinieerde recepturen, waarbij de hoeveelheid vrij water een belangrijke factor is. Glauconietkorrels, dikwijls vermengd met andere kleisoorten, kunnen aanzienlijke hoeveelheden water absorberen, deze wateropname zorgt ervoor dat de glauconietkorrels opzwellen (verweerde glauconiet vertoont meer zweelgedrag), zelfs in het volledig uitgeharde beton. Als gevolg hiervan kunnen scheuren en breuken ontstaan. Deze scheuren kunnen nog verder toenemen in vorstcondities. De verhoogde waterabsorptie zorgt ook voor een verminderde verwerkbaarheid van het verse beton. Bij blootstelling aan de lucht kunnen de tweewaardige ijzeratomen in de glauconietstructuur oxideren, waardoor roest en een bruine verkleuring van het beton ontstaan [4, 5, 6, 7, 8].

2.2.2 Het gebruik van glauconiethoudend zand in gebonden toepassingen

Mertens et al. (2009) geeft aan dat fijn glauconiethoudend zand vroeger werd gebruikt in België voor de aanmaak van mortels, bv. in de kathedraal van Doornik [9], maar de glauconietconcentratie van dit zand wordt in de literatuur niet vermeld. Een inventaris van zandmijnen in New Jersey beschrijft het gebruik van een zand dat 8% glauconiet bevat als zand in asfalt [10].

Sommige publicaties beschrijven het gebruik van glauconiethoudend zand in beton, waarbij de verminderde kwaliteit van het beton gecompenseerd wordt door gebruik van extra cement [4]. Omwille van de hoge klimaatimpact van cementproductie wordt deze piste niet als wenselijk beschouwd.

Dirk Van Mechelen (Aggregate Consultants), onderzoeker met expertise in het gebruik van glauconiethoudende zanden in beton, gaf in persoonlijke communicatie aan dat bij een glauconietgehalte van <1% in het totale beton de eventuele negatieve effecten van de aanwezigheid

van glauconiet verwaarloosbaar zijn. Dit komt overeen met een maximaal glauconietgehalte van $\pm 3\%$ in de zandfractie van het beton bij de meeste betontoepassingen.

In PIONEERS¹ (met Vlaamse partners VITO, Buildwise & Haven van Antwerpen-Brugge) werd 30% van de zandfractie vervangen door fijn zand uit de Zandstock A12 (glauconietgehalte van 13%, dit komt overeen met een glauconietgehalte van $\pm 4\%$ in de totale zandfractie), in beton bestemd voor gebruik in een kaaiwal [11]. De druksterkte, buigsterkte, carbonatatieweerstand en vorst-dooiweerstand van het geproduceerde beton bij 30% vervanging van het zand door dit glauconiethoudend zand verschilden niet significant van het referentiebeton. Het verse beton vertoonde wel een verminderde verwerkbaarheid, maar het zand uit de Zandstock A12 vertoonde ook een verhoogde concentratie aan fijn materiaal <63 μm . De verminderde verwerkbaarheid werd verholpen met behulp van het gebruik van een betonstabilisator die gericht is op het gebruik van zand met een hoger gehalte aan fijn materiaal.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat het hier gaat om betonproeven met zand van 1 bepaalde locatie (Zandstock A12, waarschijnlijk zand van de formatie van Lillo) en dat de verweringsgraad van glauconiet verschillend kan zijn bij andere glauconiethoudende zanden.

2.3 BIJKOMENDE PROEVEN OP ZANDNIVEAU

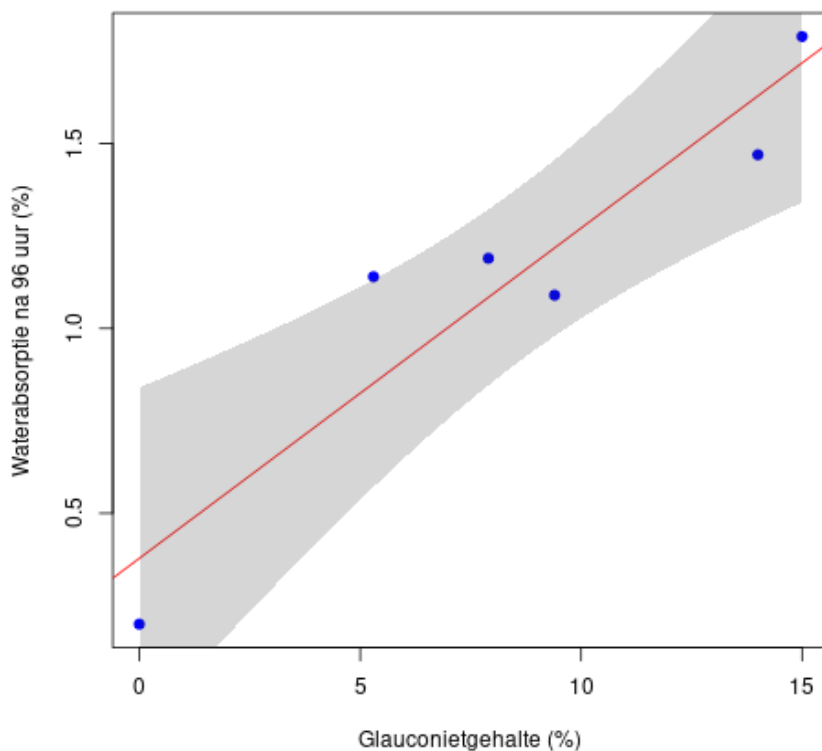
Om de invloed van het glauconietgehalte op de kwaliteit van het zand na te gaan, werden ook enkele kwaliteitsproeven op zandniveau uitgevoerd. Hierbij werd gefocust op kwaliteitsparameters die standaard gemeten worden voor zand in cementgebonden toepassingen (bv. in het Vlaamse Standaardbestek voor wegenwerken, SB250). Aangezien deze proeven slechts op enkele zandstalen werden uitgevoerd, dienen ze enkel als een indicatie. Voor het afleiden van effectieve limietwaarden voor standaarden is uitgebreider onderzoek vereist.

2.3.1 Methyleenblauwwaarde

De methyleenblauwproef (EN 933-9) is een testmethode voor zanden om de invloed van aanwezige kleipartikels in te schatten. Ze bepaalt de hoeveelheid methyleenblauw die nodig is om een zandstaal te verzadigen. Aangezien kleideeltjes het grootste vermogen hebben om methyleenblauw te adsorberen, geeft deze proef een algemene schatting aan van de hoeveelheid en activiteit van de aanwezige kleideeltjes.

Standaard wordt de methyleenblauwwaarde van de fractie <63 μm (MBf-waarde) gemeten. Hoewel dit over het algemeen een goede indicatie geeft van de invloed van de aanwezige kleideeltjes, geeft dit een slechtere indicatie van de invloed van glauconiet (glauconiet is grotendeels aanwezig als grotere korrels). Daarom worden proeven uitgevoerd op het gehele staal (MB-waarde). Het SB250 eist een MBf-waarde <10 voor zand bestemd voor beton, wat overeenkomt met een a-klasse in PTV 411 (Codificatie van de granulaten). Deze a-klasse kan ook worden bekomen voor een MB-waarde <1.5 of een gehalte aan deeltjes <63 μm van <3%. De gemeten waardes (Figuur 2) worden hier dan ook vergeleken met een limietwaarde van MB = 1.5. Uit de lineaire trendlijn op basis van de resultaten van de uitgevoerde metingen, volgt dat het glauconietgehalte niet hoger mag zijn dan 12%. Bij lagere methyleenblauwwaardes lijkt de trend echter niet meer lineair te verlopen, waardoor het maximale glauconietgehalte mogelijk hoger ligt.

¹ <https://pioneers-ports.eu/>



Figuur 3: Waterabsorptie van de fractie >63 μm (na 96 uur) voor zandstalen met een verschillend glauconietgehalte (grijs gebied: 95% betrouwbaarheidsinterval).

2.3.3 Fijne fractie <63 μm

Het gehalte aan fijn materiaal in zand bepaalt voor een groot deel de verwerkbaarheid van het geproduceerde beton. Fijn materiaal absorbeert namelijk meer water. SB250 schrijft een maximaal gehalte van 3% aan fijn materiaal <63 μm voor bij zand gebruikt in beton. Betonzand kan echter ook meer fijn materiaal bevatten, zo schrijft het Waalse standaardbestek voor wegenwerken CCT RW 99 een maximaal gehalte aan fijn materiaal <63 μm voor van 7%.

Afhankelijk van de verweringsgraad van het glauconiet, kan dit materiaal bij verstoring uit elkaar vallen en zo (voor een deel) in de fijne fractie belanden, zo mogelijk ook tijdens de productie van beton. Bij een labotest werd een mengproces voor betonproductie nagebootst. Hierbij werd glauconiethoudend zand uit de Antwerpse regio (15% glauconiet) samen met kalksteen en water (1.3 kg glauconiethoudend zand, 1.3 kg kalksteen 4/16, 200 ml water) in een kogelmolen zonder maalkogels gebracht. Het mengsel werd vervolgens voor 30 minuten gemengd aan 15 toeren/minuut onder een hoek van 45°. De korrelgrootteverdeling van het glauconiethoudend zand voor en na dit mengproces (Figuur 4) toont aan dat het gehalte fijn materiaal <63 μm is gestegen (van 10% naar 17%) na het mengproces. De uiteindelijke hoeveelheid glauconiet die tijdens de productie van het vers beton in de fijne fractie terechtkomt, zal afhangen van de verweringsgraad van het glauconiet, de tijdsduur van het mengproces en het type menger. Voor een conservatieve benadering kan er worden aangenomen dat alle aanwezige glauconiet uit elkaar valt in fijne kleideeltjes.

Voor een zand dat geschikt is voor breed gebruik in beton, wilt dit zeggen dat de som van de fijne fractie en het glauconietgehalte dan maximaal 7% mag zijn (CCT RW 99). Het maximale glauconietgehalte hangt hierbij af van de hoeveelheid fijn materiaal in het beoogde zand. In de praktijk kan zand bestemd voor beton ook hogere gehalten aan fijn materiaal bevatten. Dikwijls dienen dan wel additieven (bv. plastificeermiddelen, stabilisatoren) te worden toegevoegd voor voldoende verwerkbaarheid van de geproduceerde betonmengsels.

3 MOGELIJKE TECHNIKEN VOOR DE SCHEIDING VAN GLAUCONIET UIT GLAUCONIETHOUDEND ZAND

De scheidingsproeven die in dit hoofdstuk worden besproken zijn voor het grootste deel uitgevoerd op glauconiethoudende stalen uit andere landen. De bekomen resultaten kunnen dus niet zomaar worden vertaald naar Vlaamse glauconiethoudende zanden. Om de geschiktheid van een scheidingsmethode verder na te gaan, dienen scheidingsproeven op verschillende glauconiethoudende zandstalen te worden uitgevoerd.

3.1 MATERIAALEIGENSCHAPPEN GLAUCONIET EN ZAND

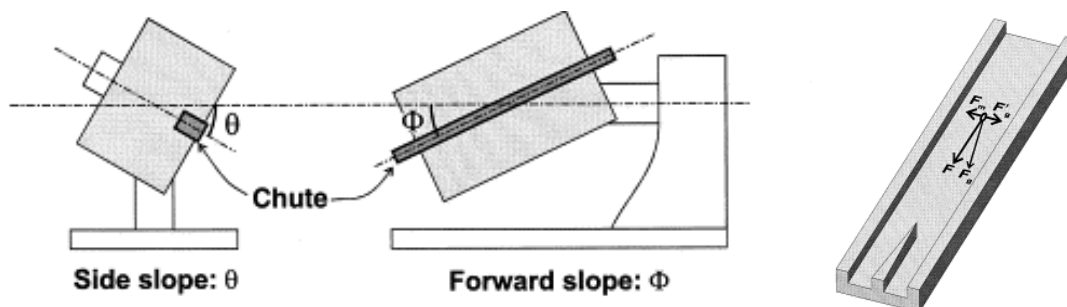
Om glauconiet en zand van elkaar te kunnen scheiden, dient de scheidingsstap te gebeuren op basis van een materiaaleigenschap die voldoende verschilt tussen beide materialen. Tabel 1 geeft een overzicht van enkele materiaaleigenschappen van glauconiet en kwartzand (het hoofdbestanddeel van zand). Hieruit blijkt dat de magnetische susceptibiliteit, de elektrische weerstand en de hardheid van glauconiet en kwartzand sterk verschillen. Een scheiding op basis van densiteit lijkt niet mogelijk.

Tabel 1: Materiaaleigenschappen van glauconiet en kwartzand.

Parameter	Glauconiet	Kwartzand
Magnetische susceptibiliteit	4.3×10^{-4}	-1.4×10^{-5}
Densiteit (kg/dm^3)	2.4-2.95	2.65
Hardheid (Mohs)	2	7
Elektrische geleidbaarheid (S/m)	0.3-0.4	10^{-12}

3.2 MAGNETISCHE SCHEIDING

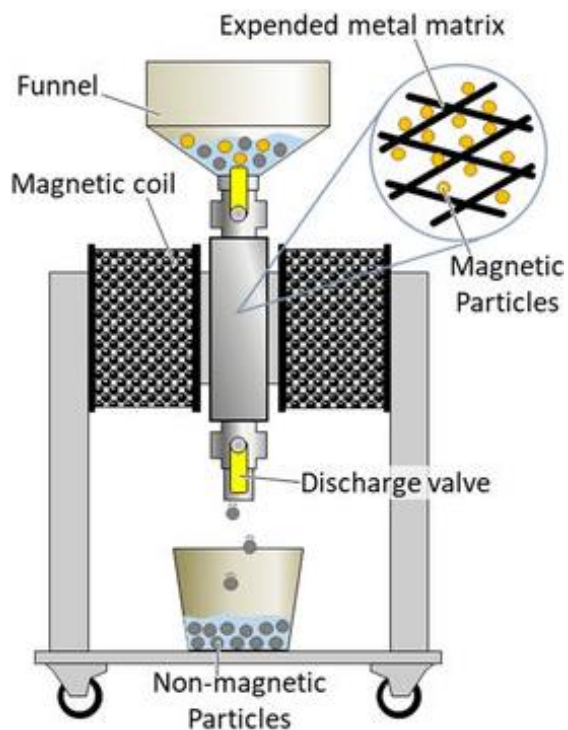
Glauconiet is een paramagnetisch mineraal, waardoor het wordt aangetrokken door een sterk magnetisch veld. Een magnetische scheiding van een zandstaal met een Frantz isodynamische magnetische scheider (Figuur 5), waarbij magnetisch materiaal op een hellend vlak door een magnetisch veld wordt gescheiden van niet-magnetisch materiaal, is dan ook een analysemethode voor de bepaling van het glauconietgehalte, dit toestel is echter enkel beschikbaar op laboschaal. In dit hoofdstuk worden magnetische scheidingsprocessen besproken die kunnen worden toegepast op industriële schaal.



Figuur 5: Scheidingsmechanisme van de Frantz isodynamische scheider [10].

3.2.1 Natte magnetische scheiding

Natte magnetische scheiding is een techniek om fijn magnetisch materiaal te scheiden uit slurystromen. Aangezien glauconiet zwak magnetisch is, zal een sterk magnetisch veld (hoge intensiteit) noodzakelijk zijn (WHIMS = natte hoge-intensiteit magnetische scheiding). Bij WHIMS wordt een metalen matrixmateriaal in het scheidingstoestel gemagnetiseerd door een sterke elektromagneet. Het gemagnetiseerde matrixmateriaal trekt fijn paramagnetisch materiaal aan, terwijl de niet-magnetische deeltjes in de slurry doorheen de matrix passeren (Figuur 6).



Figuur 6: Scheidingsproces door middel van een natte magnetische scheiding (WHIMS).

In vergelijking met droge scheidingstechnieken kan WHIMS fijner materiaal behandelen, WHIMS vertoont typisch een efficiënte scheiding voor materiaal >15 μm . Ook WHIMS kan onder andere worden gebruikt voor het scheiden van paramagnetische mineralen (bv. biotiet, muscoviet) uit silica zand bestemd voor de glasproductie of productie van keramische producten, of voor het winnen van bv. hematiet.

VITO voerde een scheiding uit met WHIMS op 17.5 A op een glauconiethoudend zand van Zandstock A12 (14% glauconiet, <0.5 mm) in het Pioneers-project². 11% van het staal werd ondergebracht in de magnetische fractie (89% glauconiet). Het glauconietgehalte van de niet-magnetische fractie werd verlaagd tot 7%. Er werden geen proeven uitgevoerd bij lagere elektrische stromen.

Saqib et al. (2023) gebruikte WHIMS voor de scheiding van glauconiet uit glauconiethoudende zandsteen (tot 35% glauconiet, 6-74 μm) uit Pakistan [11]. De ijzerconcentratie (Fe_2O_3) steeg van 11% naar 18% in de magnetische fractie door de magnetische scheiding. De kaliumconcentratie steeg niet significant, maar dit is waarschijnlijk te wijten aan de aanwezigheid van microklien (KAlSi_3O_8) in de niet-magnetische fractie. Op basis van de stijging in ijzerconcentratie in de magnetische fractie, schatten we in dat er geen glauconiet meer aanwezig is in de niet-magnetische fractie (35% van het originele staal).

² <https://pioneers-ports.eu/>

WHIMS werd ook toegepast door Baragano et al. (2023) voor de verwijdering van zware metalen uit verontreinigde glauconiethoudende sedimenten (125-500 μm). De ijzerconcentratie in de magnetische fracties steeg sterk, net als de gehalten aan As, Cd en Pb (deze metalen kunnen worden geadsorbeerd door glauconietkorrels) [12].

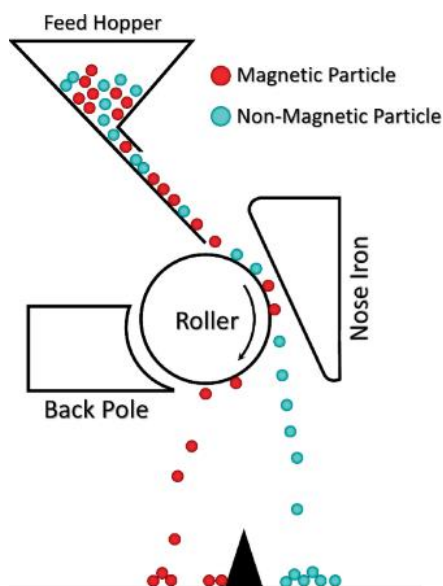
3.2.2 Droge magnetische scheiding

Droge magnetische scheidingsprocessen zijn typisch geschikt voor materiaal $>75 \mu\text{m}$, zandstalen met een groot gehalte aan fijn materiaal dienen dus eerst een scheiding op basis van korrelgrootte te ondergaan om sterke stofvorming en een verlaagde scheidingsefficiëntie tijdens het magnetische scheidingsproces te vermijden.

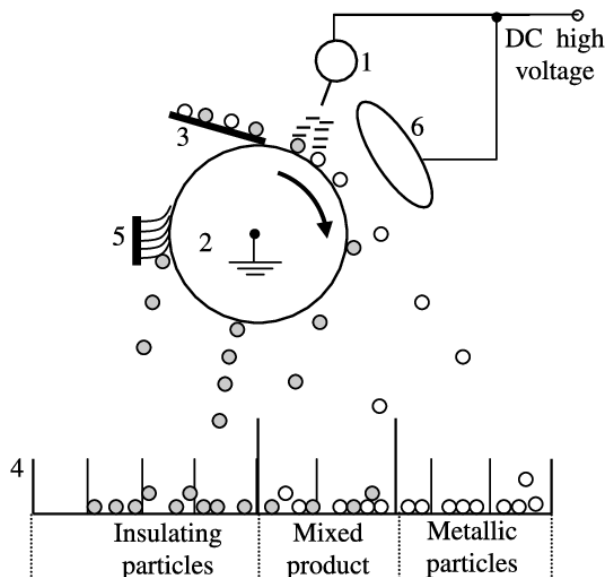
Verder vereisen droge magnetische scheidingsprocessen een droog oppervlak van het te behandelen materiaal, om te vermijden dat kleinere partikels aan elkaar of aan onderdelen van het scheidingsstoestel blijven kleven en om invloed op de scheidingsefficiëntie door schommelingen in het vochtgehalte te vermijden [15]. Droge scheidingsprocessen vereisen echter geen waterbehandelingsinstallatie [16].

Een magnetische rolscheider met een sterk magnetisch veld kan gebruikt worden voor de scheiding van paramagnetische materialen zoals glauconiet uit een zandstroom. In de magnetische rolscheider wordt (zwak) magnetisch materiaal aangetrokken tot het roloppervlak, terwijl het traject van het niet-magnetische materiaal ongewijzigd blijft (Figuur 7). In plaats van een rolscheider kan ook een scheidingsproces met een overbandmagneet worden gebruikt, maar deze technologie heeft een lagere capaciteit [16].

Magnetische rolscheiders worden onder andere gebruikt in industriële processen zoals het winnen van paramagnetische materialen (bv. roestvast staal) uit shredderafval, de verwijdering van onzuiverheden (bv. hematiet, biotiet) uit silicazand bestemd voor de glasproductie of productie van keramische producten [13], of het winnen van mineralen zoals hematiet of ilmeniet [14, 15].



Figuur 7: Scheidingsproces door een magnetische rolscheider.



Figuur 8: Elektrostatisch scheidingsproces.

In de literatuur wordt de scheiding van geleidende onzuiverheden zoals pyriet, galena of ilmeniet (sterkere elektrische geleiders dan glauconiet) uit zandstalen beschreven [20] [21], maar er is geen literatuur beschikbaar over de scheiding van glauconiethoudende zanden. Als een droge scheidingstechniek wordt gekozen, lijkt magnetische scheiding beter geschikt voor glauconiethoudende zanden dan elektrostatische scheiding.

3.4 FLOTATIE

Flotatie is een wijdverspreide techniek voor de scheiding van hydrofobe van hydrofiële materialen. Hydrofobe materialen zullen hechten aan de geïnjecteerde luchtballen en hierdoor terechtkomen in de schuimfractie die drijft op het water en vervolgens verwijderd wordt (Figuur 9). Hydrofobe chemicaliën die zich aan het oppervlak van bepaalde mineralen hechten (collectoren) kunnen hierbij gebruikt worden om deze mineralen selectief te verwijderen. Depressoren worden gebruikt om mineralen in de slurry te houden.

Flotatieprocessen worden typisch gebruikt bij korrelgroottes van 10-500 μm [22]. Glauconiet heeft gelijkaardige oppervlakte-eigenschappen aan andere silicamineralen, waardoor het niet eenvoudig is om een flotatieproces te ontwikkelen met goede selectiviteit.

Sontakkey et al. (2017) behandelde glauconiethoudende zandsteen ($<74 \mu\text{m}$, $\pm 20\%$ glauconiet) uit Noord-India door middel van flotatie met cocoamine acetaat als collector bij pH 2-3 [23]. Door verwijdering van een glauconietrijke fractie (10% van het totale staal, K_2O -gehalte van 5.5%) daalde het K_2O -gehalte in het staal van 2.9% naar 1.9%. Het is moeilijk om uitspraak te doen over het glauconietgehalte van de eindstalen, aangezien ook andere mineralen aanwezig waren die kalium kunnen bevatten (veldspaten, muscoviet). De publicatie maakt geen vermelding van de gebruikte collectorconcentratie of van het gebruikte zuur.

In Hoofdstuk 2.3.3 werd een kogelmolenproces beschreven waarbij de fijne fractie van een glauconiethoudend zand (15% glauconiet) uit de regio Antwerpen wordt verhoogd van 10% naar 17%. Deze proef werd uitgevoerd bij een laag toerental, een lage hoeveelheid water en zonder maalkogels, om het mengproces bij betonproductie na te bootsen. Bij een geoptimaliseerd maalproces kan mogelijk een grotere fractie glauconiet selectief worden verkleind. El-Rahman (2006) gebruikte ook een nat maalproces met een kogelmolen (zelfde materiaal als vorige paragraaf). Na 5 minuten malen is 42% van het staal vermalen tot <math><53 \mu\text{m}</math>, na 45 minuten malen verhoogt deze fijne fractie tot 88% [26].

Een hydrocycloon kan gebruikt worden om fijn materiaal te scheiden van grof materiaal. Door de sterke centrifugale krachten kan het verder zijn dat aanwezige glauconietkorrels verder worden opgebroken, waardoor meer glauconiet in de fijne fractie terecht komt. Voor het Pioneers-project³ gebruikte VITO een hydrocycloon voor het behandelen van een glauconiethoudend zand uit de Zandstock A12 (14 % glauconiet). Het materiaal <math><63 \mu\text{m}</math> wordt grotendeels verwijderd uit het zandstaal, maar het glauconietgehalte in de grovere fractie verschilt niet significant na behandeling. De glauconietkorrels in dit zandstaal verbrijzelen dus niet door de centrifugale krachten in de hydrocycloon. Aangezien een hydrocycloonproces veel meer energie vereist dan een zeefproces, wordt een hydrocycloon uitgesloten voor de behandeling van de beschouwde zanden.

3.6 CONCLUSIE

De meest geschikte technologieën voor het opwaarderen van glauconiethoudend zand zijn:

- Droge magnetische scheiding;
- Natte magnetische scheiding;
- Flotatie;
- Desintegratie van het glauconiet gevolgd door korrelgroottescheiding (zeven).

De desintegratie van de glauconietkorrels kan worden bekomen door wrijvings scheiding ('attrition scrubbing') of een selectief maalproces (bv. kogelmolen).

Ook de elektrostatische scheiding werd besproken. Maar als gekozen wordt voor een droge scheidingstechniek, is magnetische scheiding een geschiktere technologie voor het opwaarderen van glauconiethoudende zanden.

4 ECONOMISCHE KOST VAN DE MOGELIJKE WINNINGSTECHNIKEN

De prijs van fijn zand in Vlaanderen bedraagt momenteel ongeveer €14/ton. Een opwaardering van glauconiethoudend zand is slechts rendabel wanneer de totale verwerkingskost van het zand (transport, verwerking) lager ligt dan deze prijs. In dit hoofdstuk wordt een richtinggevende inschatting gemaakt van de economische kosten van de mogelijke winningstechnieken.

³ <https://pioneers-ports.eu/>

Deze ruwe inschatting is bedoeld als een eerste indicatie voor de richting van mogelijk verder onderzoek. De beschikbare gegevens zijn nog niet voldoende voor een volledige economische analyse. Verder zal de economische kost ook afhangen van het type glauconiet (bv. gemakkelijk desintegreerbaar?), het glauconietgehalte, en andere factoren (bv. korrelgrootteverdeling).

4.1 NATTE MAGNETISCHE SCHEIDING

Foppe et al. (2023) beschrijven het gebruik van een natte hoge-intensiteit magnetische scheiding (WHIMS) bij 8 A (7500 Gauss) voor het scheiden van gouddeeltjes uit mijnafval van de Jerritt Canyon mijn [27]. Zij beschrijven de kosten voor een scheidingsinstallatie van ongeveer 57 ton ds/uur (500 kton ds/jaar). De totale werkingskosten bedragen ongeveer 1.5 M€/jaar (€3.1/ton). De werkingskosten kunnen echter in realiteit hoger uitvallen aangezien het niet zeker is dat 7500 Gauss voldoende is voor scheiding van glauconiet. De benodigde toestellen zijn onder andere: een WHIMS, een zeef ter voorbehandeling, een roertank, slurypompen, waterpompen, transportbanden.

De totale kosten voor de aankoop van de benodigde toestellen bedraagt ongeveer 2 M€, maar het rapport becijfert een veel hogere totale investeringskost van meer dan 9 M€ (incl. installatiekosten, benodigde leidingen, ontwikkeling van het terrein...). Voor een terugverdientijd van 5 jaar betekent dit een investeringskost van €3.7/ton.

De eindproducten van dit proces (Figuur 10) zijn: 1) een (fijne) zandfractie met een lager glauconietgehalte, 2) een natte glauconietfractie.



Figuur 10: Vereenvoudigd processchema van het natte magnetische scheidingsproces.

4.2 DROGE MAGNETISCHE SCHEIDING

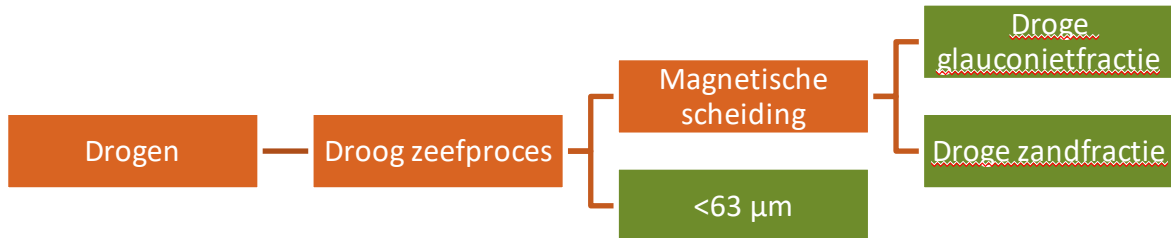
De benodigde energie voor het **drogen** van het glauconiethoudende zand wordt geschat op 160-190 MJ/ton [28]⁴, wat neerkomt op een droogkost van ongeveer €3/ton⁵ bij gebruik van aardgas. Wanneer restwarmte wordt gebruikt, zal deze kost lager liggen. Het zand dient ook niet volledig gedroogd te worden, een droog oppervlak van de te behandelen korrels is voldoende. Indien gekozen wordt voor een oppervlakkige droging zullen de energiekosten lager zijn, maar is er mogelijk wel meer tijd nodig voor het continu aanpassen van de instellingen van de magnetische scheider aan het veranderende vochtgehalte.

⁴ Aanname: 5% vochtgehalte van het te drogen zand.

⁵ Aanname: gasprijs van €0.06/kWh.

Na de droogstap zal allereerst een proces nodig zijn om de fijne fractie te verwijderen, bv. door een droog **zeefproces**, alvorens het materiaal behandeld kan worden met een magnetische rolscheider (Figuur 11).

De kosten van het proces lopen verder op als er geen nuttige toepassing kan worden gevonden voor de geproduceerde (kleirijke) fijne fractie. Er moet nog verder onderzocht worden of deze fractie mogelijk in de keramische industrie kan worden toegepast.



Figuur 11: Vereenvoudigd processchema van het droge magnetische scheidingsproces.

Svoboda (2004) beschrijft een magnetisch scheidingsproces met een **NdFeB magnetische rolscheider** voor de scheiding van ilmeniet (0.1-0.9 mm) [29]. De kost van de magnetische rolscheider met een capaciteit van 60 ton/uur bedraagt ongeveer 326 k€⁶ per scheidingsstap. Een **trommeldroger** van deze capaciteit (incl. gasbrander) vraagt naar schatting een veel grotere investering van ongeveer 3.5 M€⁷.

Als de installatie ononderbroken werkt en er slechts 1 magnetische scheidingsstap vereist is, komt dit neer op een totale investeringskost (berekend zoals in Hoofdstuk 4.1) van 10.3 M€ voor een capaciteit van 57 ton/uur. Voor een terugverdientijd van 5 jaar betekent dit een investeringskost van €4.1/ton.

De totale kosten van het droge magnetische scheidingsproces zijn dus gelijkaardig aan de totale kosten van het natte magnetische scheidingsproces als restwarmte kan worden gebruikt voor de droogstap. Indien aardgas nodig is voor de droogstap, zijn de kosten van het droge magnetische scheidingsproces significant hoger.

De eindproducten van dit proces zijn: 1) een zandfractie met een lager glauconietgehalte, 2) een droge glauconietfractie, 3) een fijne (kleirijke) fractie met een significant glauconietgehalte.

4.3 FLOTATIE

Marsden (2008) beschrijft het gebruik van flotatie voor de behandeling van kopererts. Het energieverbruik van het onderzochte flotatieproces bedraagt ongeveer 3 kWh/ton (€0.66/ton) [30, 31], Joe (1979) beschrijft een gelijkaardig energieverbruik (2.6 kWh/ton) [32]. Siqueira (2021) stelt een flotatieproces voor ter winning van mica [33]. De gebruikte flotatiecel met een capaciteit van 8 ton/uur (Metso Outotec RCS 5) kost €33800.

Een grote extra kost voor flotatieprocessen wordt veroorzaakt door het gebruik van chemicaliën (bv. collectoren, zuren, depressoren). Het flotatieproces van muscoviet uit muscovieterts dat werd beschreven in Hoofdstuk 3.4, consumeert 250 g CustAmine E130 per ton materiaal. Siqueira (2021) geeft aan dat de kost voor een andere CustAmine (E139) €2250/ton bedraagt [33]. Indien voor

⁶ Weergegeven "Total price" (in \$), gedeeld door 3 (het vermelde proces vereist 3 magnetische scheidingsstappen), omgezet naar € (x 0.91 voor het jaartal 1999), verrekend met een gemiddelde inflatie van 2.1% van 1999 naar 2024.

⁷ <https://www.theonixcorp.com/pricing-guidelines/>

5.1 MESTSTOF

Glaucaniet is rijk aan kalium en heeft een hoge kationuitwisselingscapaciteit. Het komt daardoor in aanmerking als een alternatieve meststof of bodemverbeteraar. Kaliummeststoffen zijn namelijk van cruciaal belang voor de landbouw. In de EU wordt jaarlijks ongeveer 5.5 Mton aan kaliumbronnen gebruikt. De grootste reserves aan kalium bevinden zich in Canada, Wit-Rusland en Rusland. Kalium werd dan ook door de EU aangeduid als kritieke grondstof¹⁰. Momenteel worden in de landbouw makkelijk oplosbare kaliumzouten, welke snel vrijgesteld worden, gebruikt als meststof, terwijl glaucaniet het aanwezige kalium slechts traag vrijgeeft. De trage vrijgave van kalium verlaagt het risico op uitloging van het aanwezige kalium.

Rudmin et al. (2019) gebruikte een glaucanietfractie (6.4% K₂O), bekomen na magnetische scheiding van glaucaniethoudende zandsteen uit Siberië, in veldproeven met durumtarwe. Na 1 groeiseizoen is slechts 24% van het initiële kalium verwijderd uit het glaucaniet. De beschikbare kaliumconcentratie in de bodem stijgt significant ten opzichte van een controleproef. Het glaucaniet verweert deels tot smectiet in de bodem. Deze verwerking verbetert de waterretentiecapaciteit van de bodem [37]. Glaucaniet kan ook magnesium vrijgeven in de bodem [38].

Karimi et al. (2011) deed groei-experimenten in een serre, waarbij 1-jaar-oude olijfbompjes werden geteeld in een zandcultuur. De planten werden 2 keer per dag geïrrigeerd met 200 ml nutriëntoplossing. Drie opstellingen werden getest: 5 mM KNO₃ in de nutriëntoplossing; 0.5 mM KNO₃ in de nutriëntoplossing; en een zandcultuur met 400 g Iraanse glaucaniethoudende zandsteen (2.24% K₂O) zonder verdere kaliumtoevoeging. De proeven met glaucaniethoudende zandsteen vertonen een gelijkaardige massatoename als de proeven met 0.5 mM KNO₃, maar een lagere massatoename dan de proeven met 5 mM KNO₃ [39]. Toediening van glaucaniethoudende zandsteen kan dus een deel van de kaliummeststof vervangen. Franzosi et al. (2014) gebruikte een glaucanietfractie (2.97%-4.05% K₂O), bekomen na magnetische scheiding van glaucaniethoudend zand uit Argentinië, in potproeven met grassen. De potproeven met glaucaniet (5.3-7.3 g/kg bodem) vertonen gelijkaardige resultaten als de potproeven met 0.03 g KCl/kg bodem [40].

De firma Verde Agritech verkoopt een glaucanietrijk materiaal geproduceerd uit glaucaniethoudende zandsteen van Brazilië onder de merknamen K Forte en Super Greensand, vooral aan organische/biologische landbouwbedrijven. De firma exporteert naar de VS Canada, Thailand en China. De firma beschrijft het product als een chloridevrije kaliummeststof en een bron aan silicium, magnesium en mangaan. Verde Agritech rapporteerde voor het derde kwartaal van 2023 een gemiddelde verkoopprijs van 87 Canadese dollar/ton (ongeveer €58/ton) van hun producten¹¹. Verde Agritech garandeert minstens 8% K₂O in K Forte [43].

Het kaliumgehalte in glaucanietstalen geanalyseerd in het Pioneers-project (Antwerpse regio) bedroeg 5%-6% K₂O. Dit gehalte is lager dan het kaliumgehalte in K Forte. Verder dient te worden nagegaan wat het gehalte aan zware metalen (bv. Cr, As) zijn in de Vlaamse glaucanietfracties. Het chroomgehalte van de Antwerpse glaucanietfracties bedroeg bijvoorbeeld 500-700 mg/kg, wat hoger is dan de limietwaarde voor het gebruik als meststof of bodemverbeterend middel (150 mg/kg, VLAREMA bijlage 2.3.1).

¹⁰ <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/rmprofiles/Potash.pdf>

¹¹ <https://investor.verde.ag/verde-achieves-c9-4-million-revenue-and-increases-cash-position-by-82-in-the-third-quarter-of-2023/>

REFERENTIES

- [1] Van Alboom, G., Maertens, J., Dupont, H., & Haelterma, K. (2012). Glauconiethoudende zanden. *Geotechniek*, 32-37.
- [2] De Koninck, R., Bergmans, J., & Dirix, K. (2020). *Karakterisatie van de ondergrond in de Antwerpse regio met het oog op mogelijke toepassingen*. Departement Omgeving, Afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving.
- [3] Deckers, J., De Koninck, R., Bos, S., Broothaers, M., Dirix, K., Hamsch, L., Lagrou, D., Lanckacker, T., Matthijs, J., Rombaut, B., Van Baelen, K. & Van Haren, T. (2019). *Geologisch (G3Dv3) en hydrogeologisch (H3D) 3D-lagenmodel van Vlaanderen*. Departement Omgeving, Afdeling Vlaams Planbureau voor Omgeving en Vlaamse Milieumaatschappij, 2018/RMA/R/1569
- [4] Botsman, L., Lunev, R., Ageeva, M., & Nerovnaya, S. (2020). Use of glauconitic sand as a filler in the concrete mixes production. *IOP Conference Series: Materials*, 945.
- [5] Brinkman, J., & Hergarden, H. (2000). *Fase 1 analyse geotechnische oorzaken vervormingen TBM WST*. NV Westerscheldetunnel, GeoDelft.
- [6] Broothaers, L. (2000). *Zandboek Vlaanderen*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie.
- [7] Lagrou, D., Dreesen, R., & Broothaers, L. (2004). Comparative quantitative petrographical analysis of Cenozoic aquifer sands in Flanders (N Belgium): overall trends and quality assessment. *Materials Characterization*, 53(2-4), 317-326.
- [8] Shafiei, K. (2017). *Study of the mortar and concrete properties with the use of raw clay minerals and modified calcareous fly ash*. Technischen Universität Berlin.
- [9] Mertens, G., Elsen, J., Brulet, R., Brutsaert, A., & Deckers, M. (2009). Quantitative composition of ancient mortars from the Notre Dame Cathedral in Tournai (Belgium). *Materials Characterization*, 60(7), 580-585.
- [10] Bell, C., Simmons, R., & Behroozi, C. (1991). *Inventory of active and abandoned sand and gravel mining operations in New Jersey*. New Jersey Geological Survey, Trenton, USA.
- [11] Hulsbosch, N. (2024) *Hergebruik van lokaal ontgonnen zand voor circulair beton?* Buildwise.
- [12] Sircombe, N.K., & Stern, R.A. (2002). An investigation of artificial biasing in detrital zircon U-Pb geochronology due to magnetic separation in sample preparation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(13).
- [13] Saqib, S., Shahzad, M., Rashid, H.M., Ahmed, M.F., & Iqbal, M.M. (2023). Characterization, beneficiation, and potential utilization of ayubia glauconite, Abbottabad, Pakistan. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 56(2), 50-59.
- [14] Baragano, D., Berrezueta, E., Komarek, M., & Menendez Aguado, J. (2023). Magnetic separation for arsenic and metal recovery from polluted sediments within a circular economy. *Journal of Environmental Management*, 339.
- [15] Obertüffer, J.A. (1974). Magnetic separation: A review of principles, devices, and applications. *IEEE Transactions on Magnetics*, 10(2), 223-238.
- [16] Tripathy, S.K., Banerjee, P., Suresh, N., Rama Murthy, Y., & Singh, V. (2017). Dry high-intensity magnetic separation in mineral industry - A review of present status and future prospects. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 38(6), 339-365.
- [17] Ibrahim, S.S., Boulos, T.R., & Farahat, M.M. (2015). Optimizing the performance of the RER magnetic separator for upgrading silica sands. *Particulate Science and Technology*, 35(1).



