

Hoogovenslak



©Shutterstock

Gegranuleerde hoogovenslak wordt al meer dan 150 jaar gebruikt als bestanddeel in de cementproductie. In België is 'hoogovencement' of CEM III het meest gebruikte cement in stortklaar beton en mede daardoor is de koolstofvoetafdruk van de sector een van de laagste ter wereld. De beschikbaarheid van hoogovenslak wordt echter beperkt door de staalproductie in hoogovens en de transitie van de staalindustrie naar klimaatneutraliteit zal leiden tot een aanzienlijke vermindering van deze beschikbaarheid. De cementfabrikanten zijn daarom bezig met het ontwikkelen van alternatieven.

Cement is een hydraulisch bindmiddel, een fijngemalen mineraal materiaal dat in contact met water een pasta vormt die door hydratatiereacties verhardt.

In Europa worden de verschillende gewone cementsoorten voor de vervaardiging van beton beschreven in de normen EN 197-1, 197-5 en 197-6.

Cement, gemengd met granulaten en op de juiste manier aangemaakt met water, levert een mortel of beton dat lang genoeg verwerkbaar blijft, dat op korte termijn voldoende mechanische sterkte bereikt en langdurig bestand is tegen chemische en fysische aantasting.

Cementen worden vervaardigd door een aantal bestanddelen fijn te malen volgens specificaties die ook zijn vastgelegd in de normen EN 197-1, -5 en -6.

Het belangrijkste bestanddeel van gangbaar cement is portlandklinker, gesymboliseerd door de letter K. Het wordt geproduceerd door een nauwkeurig bepaald mengsel van calciumcarbonaat (CaCO_3), siliciumdioxide (SiO_2), aluminiumoxide (Al_2O_3) en ijzeroxide (Fe_2O_3) te branden bij 1.450°C .

Tijdens het branden op ongeveer 850°C , ondergaat calciumcarbonaat een chemische decarbonatatiereactie, waarbij het uiteenvalt in calciumoxide en koolstofdioxide. De uitstoot van deze 'onvermijdelijke' CO_2 , bekend als proces- CO_2 , is de belangrijkste bron van de koolstofvoetafdruk van klinker en dus van cement.

Portlandcement bestaat voor 95-100 % uit klinker en voor 0-5 % uit zogenaamde secundaire bestanddelen. Verder wordt calciumsulfaat (CaSO_4) in kleine hoeveelheden (+/- 5 %) aan deze cementbestanddelen toegevoegd tijdens het productieproces om de binding van het cement te regelen.

Een reeks materialen, meestal bijproducten van andere industrieën, kunnen aan cement worden toegevoegd ter vervanging van klinker. Deze zogenaamde 'supplementary cementitious materials' (SCM's) helpen het klinkergehalte van cement te verlagen, waardoor de ecologische voetafdruk wordt verkleind en industriële symbiose en de circulaire economie worden bevorderd.

De normen beschrijven de soorten bestanddelen die geschikt zijn voor de productie van cement en hun specificaties. Deze omvatten:

- Natuurlijke puzzolanen (P), deze zijn van vulkanische oorsprong en worden gevonden in Zuid-Europa; ze komen niet voor in België.
- Gecalcineerde natuurlijke puzzolanen (Q) zijn kleisoorten die thermisch geactiveerd zijn. Sommige cementen die deze klei gebruiken zijn beschikbaar in België, en het onderzoeksproject NEOCEM I heeft tot doel de duurzaamheid van cement met gecalcineerde klei aan te tonen met het oog op te nemen in NBN B 15-001 (de Belgische bijlage bij NBN EN 206, de Europese specificatienorm voor stortklaar beton).
- Vliegashoudend (V) is een afvalproduct van kolengestookte elektriciteitscentrales; de klimaatdoelstellingen voor de elektriciteitsproductie zullen ertoe leiden dat vliegashoudend in Europa op korte termijn zal verdwijnen.

of kalkhoudend W) is een afvalproduct van kolengestookte elektriciteitscentrales; de klimaatdoelstellingen voor de elektriciteitsproductie zullen ertoe leiden dat vliegashoudend in Europa op korte termijn zal verdwijnen.

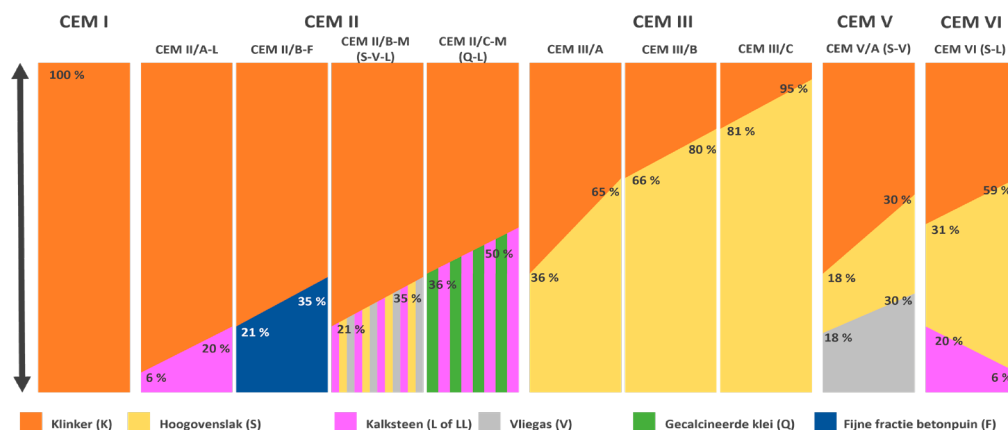
• Gegraneerde hoogovenslak (S) is een bijproduct van de productie van ruwijzer in hoogovens. Het heeft zogenaamde latente hydraulische eigenschappen, wat betekent dat het zich in een alkalisch milieu moet bevinden om zijn hydraulische eigenschappen te activeren.

• Kalksteen (L, LL), dat voor minstens 75 % uit CaCO_3 bestaat, heeft geen hydraulische of puzzolane eigenschappen maar heeft wel een positieve invloed op de eigenschappen van cement.

• De fijne fractie van gerecycled beton (F) is afkomstig van het scheiden en zeven van sloopafval; net als bij gecalcineerde klei wil het NEOCEM II-project de duurzaamheid aantonen van cement dat deze fijne fractie bevat.

De bestanddelen en hun percentages vormen de basis van een nomenclatuur die elke cementsoort in zes families indeelt, waarvan enkele voorbeelden in de onderstaande figuur zijn weergegeven. CEM IV-cement bevat natuurlijke puzzolanen en is niet beschikbaar in België. CEM II/B-F- en CEM II/C-M(Q-L)-cement voor beton wordt nog niet geproduceerd in België zolang het niet erkend is in NBN B 15-001 als geschikt voor toepassing in de verschillende omgevingen die men in België aantreft.

voorbeelden van
gebruikelijke
cementen



Onder deze bestanddelen neemt hoogovenslak een speciale plaats in. Het eerste commerciële gebruik ervan gaat meer dan 150 jaar terug, tot 1865, toen een cement op basis van kalkslak commercieel werd geproduceerd in Duitsland. In 1901 werd het gebruikt in Portlandcement om 'Eisenportlandzement' te maken met een maximaal slakgehalte van 30 %, in 1907 gevolgd door 'Hochofenzement' met een slakgehalte tot 85 %.

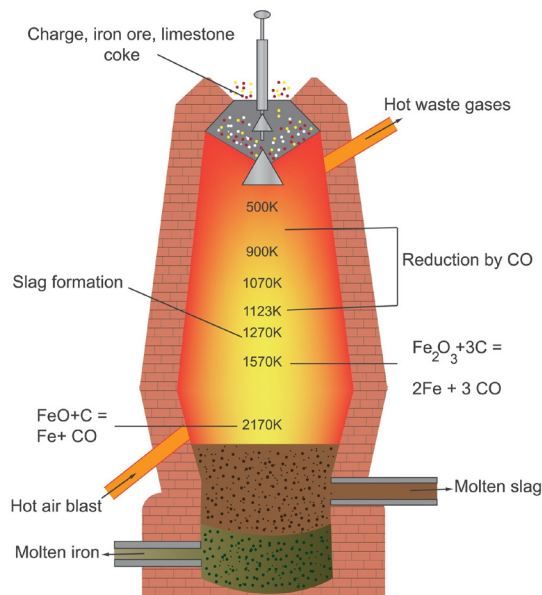
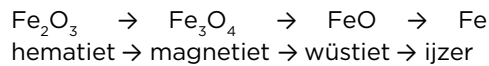
In België verschenen de eerste 'hoogovencementen' in het begin van de jaren 1920 en het gebruik ervan werd wijdverspreid vanaf de jaren 1950. Tegenwoordig is CEM III het meest gebruikte cement in stortklaar beton. De belangrijkste voordelen van CEM III zijn de lage hydratatiewarmte, wat handig is om scheurvorming in massieve constructies te voorkomen, en in het algemeen een goede weerstand tegen externe chemische aantasting. Bovendien garandeert het lage klinkergehalte een koolstofvoetafdruk die moeilijk te kloppen valt. Het lijkt een beetje op 'all purpose' cement. Voor de volledigheid: NBN EN 206, aangevuld met de Belgische nationale bijlage NBN B 15-001, staat het gebruik van gemalen gegranuleerde hoogovenslak (LMA, laitier moulu agréé) toe als toevoeging van type II bij de productie van beton, onder bepaalde voorwaarden.

Slak, waar komt het van?

Hoogovenslak is het bijproduct van ijzerproductie in een hoogoven voor staalproductie. De eerste stap in het maken van staal uit ijzererts is het verkrijgen van ruwijzer. Het ijzererts, voornamelijk onder oxidevorm (Fe_2O_3), wordt gecombineerd met cokes, dat zowel als brandstof en reductiemiddel dient, en kalksteen als smeltmiddel. Deze materialen worden ingevoerd in een hoogoven, een grote verticale oven die in tegenstroom werkt: de gassen

stijgen terwijl de vaste stof zinkt. Het principe van de hoogoven is in wezen het creëren van koolmonoxide, waarvan de affiniteit voor de zuurstof in het erts sterker is dan de affiniteit tussen zuurstof en ijzer, om het erts te deoxideren

De ijzeroxiden worden zo in de volgende volgorde naar beneden gereduceerd:



Schema van een ijzer- en staalhoogoven

Dit proces verloopt continu, waarbij de grondstoffen naar beneden zinken. Naarmate het ijzer uit het erts wordt gehaald, verzamelt het zich op de bodem van de hoogoven onder de vorm van ruwijzer, bedekt met een laag slak die ongeveer drie keer lichter is. Deze slak is een vloeibaar gesteente (bij ongeveer 1500°C) samengesteld uit de niet-metaalhoudende delen van het erts gebonden aan kalk. Het ruwijzer en de slak, beide gesmolten, worden op regelmatige basis uit de hoogoven gehaald. Elk ton gietijzer genereert ongeveer 250 kg slak.

Bij het aftappen vloeit de slak naar een installatie waar ze met krachtige waterstralen wordt bespoten ('quenching') om de slak te verglazen. De warmte-energie in de gesmolten slak veroorzaakt een explosie en vormt onmiddellijk verglaasde slak. Dit apparaat is een granulator en de slak wordt verglaasde slak of, meer algemeen, gegraneleerde slak genoemd.

De slak heeft de vorm van geel/beige zand met een korrelgrootte van ongeveer 0/8 millimeter. De belangrijkste chemische bestanddelen van deze slak zijn kalk (CaO , ongeveer 40 %), silica (SiO_2 , ongeveer 35 %), aluminiumoxide (Al_2O_3 , ongeveer 11 %) en magnesiumoxide (MgO , ongeveer 8 %).

Een variant bestaat uit het koelen van de slak aan de lucht waardoor het kristalliseert onder de vorm van een gesteente. Na het stollen wordt de slak besproeid met water om de temperatuur te verlagen en te breken. Het resultaat is onbewerkte gekristalliseerde slak, die vervolgens gebroken en gezeefd kan worden om granulaten te maken. In tegenstelling tot gegraneleerde slak heeft gekristalliseerde slak geen hydraulische eigenschappen.

Er zijn ook andere soorten slak, met name convertorslak: het gesmolten ijzer dat wordt verkregen aan de uitgang van de hoogoven, dat zeer rijk is aan koolstof, is te broos en gaat

meestal door een convertor (Basic Oxygen Furnace) die ook wordt gevoed met schroot en kalk en/of dolomiet. Aan de uitgang, genereert elke ton staal ongeveer 100 kg slak die wordt gekoeld met water. Zeer dicht en slijtvast, wordt het voornamelijk gebruikt als granulaat voor asfaltmengsels.

Staalproductie in vlamboogovens (Electric Arc Furnace), productie van roestvrij staal en zelfs koper- en aluminiumproductie genereren ook slakken met verschillende soorten chemische samenstelling. Hoewel ze bepaalde hydraulische eigenschappen bezitten, hebben hun chemische samenstelling, hardheid en chemische variabiliteit een wijdverspreid gebruik in de cementproductie verhinderd.

Decarbonisatie van de staalindustrie

De staalindustrie is verantwoordelijk voor ongeveer 7% van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Deze emissies zijn afkomstig van het gebruik van fossiele brandstoffen zoals kolen, maar ook van de gebruikte processen, met name de chemische reductie van ijzererts.

Het koolstofvrij maken van de staalindustrie is daarom absoluut essentieel als we onze wereldwijde doelstellingen voor het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen willen halen. Hier volgen enkele van de belangrijkste hefboomen die worden gebruikt om dit te bereiken:

1. Elektrificatie van het proces

Een alternatief voor het hierboven beschreven hoogovenproces is de productie van staal uit staalschroot dat wordt gesmolten met behulp van elektrische energie in een vlamboogoven (Electric Arc Furnace, EAF). Dit is secundaire staalproductie, in tegenstelling tot primaire productie uit ijzererts. De belangrijkste beperking van dit proces is de



Gegraneleerde hoogovenslak

beschikbaarheid van staalschroot, zowel lokaal als wereldwijd. In de overgrote meerderheid van de decarbonisatiescenario's van de industrie, zijn de behoeftes aan staal zo groot, met name voor infrastructuurprojecten, dat een aanzienlijk deel van de staalproductie primair zal blijven voorbij 2050.

2. Verbetering van energie en het gebruik van biomassa

Al tientallen jaren heeft de staalindustrie verbeteringen ontwikkeld en geïmplementeerd om haar energieverbruik en uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Het gebruik van biomassa in plaats van steenkool is interessant maar wordt beperkt door de lokale beschikbaarheid.

3. CO₂-afvang, -gebruik of -opslag (CCUS = Carbon Capture and Use or Storage)

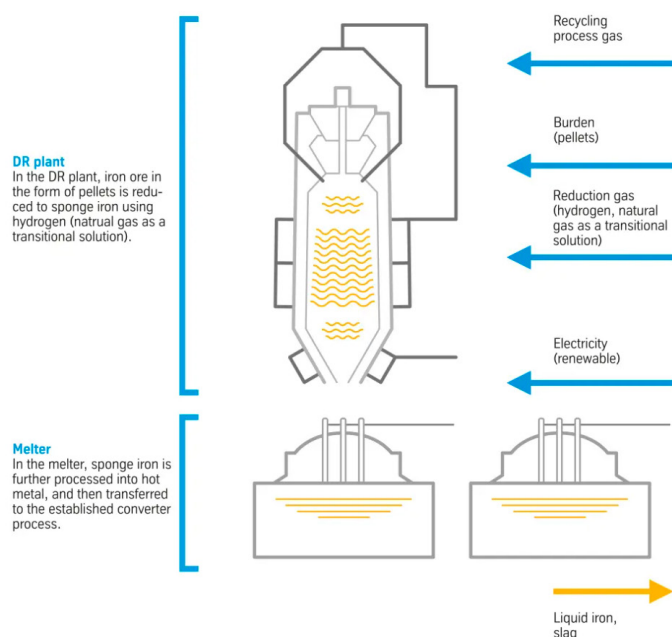
Net als bij andere industrieën gaat het bij verschillende projecten om het afvangen van uitgestoten CO₂ of CO voordat het in de atmosfeer terechtkomt, met het oog op het gebruik of de permanente opslag ervan.

4. Directe reductie van ijzererts (DRI)

Het DRI-proces (Direct Reduced Iron) is een alternatief voor de traditionele hoogovenmethoden voor staalproductie. IJzererts wordt onder de vorm van pellets in de reactor gebracht, waar het wordt blootgesteld aan een stroom reducerende gassen. Traditioneel is dit een mengsel van waterstof (H₂) en koolmonoxide (CO) uit de reforming van aardgas. Het proces reduceert het ijzer chemisch (verwijderd de zuurstof uit het ijzererts), waardoor het wordt omgezet in bijna zuiver metallisch ijzer, dat bekend staat als 'sponsijzer' vanwege de poreuze textuur na de reductie. Het geproduceerde sponsijzer kan als zodanig worden gebruikt of worden samengeperst tot briketten. Het wordt voornamelijk

gebruikt in vlamboogovens om staal te produceren. Een van de grootste voordelen van het DRI-proces is de flexibiliteit op het vlak van energiebronnen; men kan aardgas gebruiken, dat minder vervuילend is dan de kolen die gebruikt worden in hoogovens. Bovendien kan het proces worden gevoed met waterstof. Als dit wordt geproduceerd door elektrolyse van water met behulp van koolstofarme elektriciteitsbronnen, kan DRI een vrijwel koolstofvrije methode voor ijzerproductie worden. Het andere kenmerk van DRI vergeleken met het traditionele proces is dat het geen slak produceert...

Het project van ArcelorMittal in Gent is een opmerkelijk voorbeeld van deze overgang naar koolstofvrije staalproductie. Met een investering van 1,1 miljard euro omvat dit project de bouw van een DRI-fabriek met een capaciteit van 2,5 miljoen ton staal en twee vlamboogovens. De DRI-fabriek zal aardgas en uiteindelijk groene waterstof gebruiken om de koolstofuitstoot te verminderen. Het project wil de CO₂-uitstoot verminderen met 3,9 miljoen ton per jaar tegen 2030. De Belgische en Vlaamse regering hebben hun steun toegezegd voor dit cruciale overgangproject naar een koolstofneutrale staalproductie.



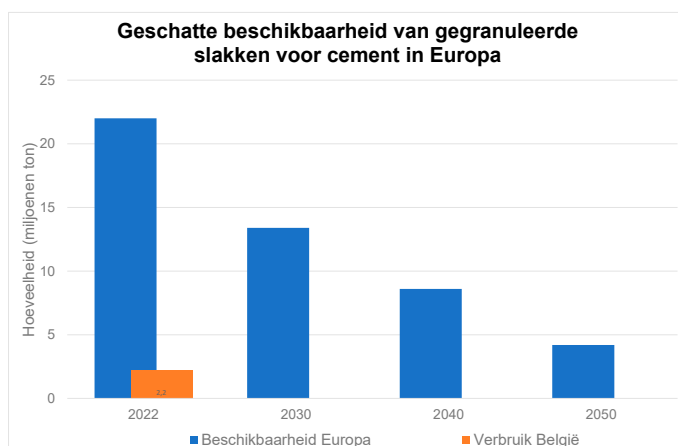
Evenzo is het tkH2Steel-project van ThyssenKrupp, met een financiering van bijna twee miljard euro van de Duitse overheid, gepland om te beginnen met de bouw in 2026, met ingebruikname in 2029. Het project omvat ook de bouw van een installatie voor directe reductie die 2,5 miljoen ton direct gereduceerd ijzer per jaar kan produceren. Verwacht wordt dat dit project tot 3,5 miljoen ton CO₂ per jaar zal besparen, een belangrijke stap naar het koolstofvrij maken van de staalindustrie in Europa.

Concluderend kan gesteld worden dat de overgang naar koolstofneutraliteit van de staalindustrie aan de gang is, en een zeer direct effect zal hebben op de beschikbaarheid van gegranuleerde slak en dus op de hefbomen voor decarbonisatie van de Europese cementindustrie.

Beschikbaarheid van slak

In Europa wordt de beschikbaarheid van gegranuleerde hoogovenslak, op basis van productiestatistieken van Euroslag (Europese federatie van slakkenproducenten) en importstatistieken, geschat op ongeveer 22 miljoen ton per jaar, vergeleken met de 175 miljoen ton cement die jaarlijks wordt geproduceerd. Op basis van overgangshypothesen voor de staalindustrie en de behoefte aan primair staal schat CEMBUREAU (de Europese federatie van de cementindustrie) dat de beschikbaarheid van gegranuleerde slak tegen 2050 met meer dan 80 % zal dalen.

In België heeft het groot aantal

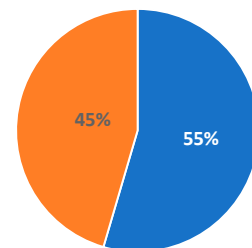


hoogovens het massale gebruik van slak aangemoedigd. Vandaag vertegenwoordigt het gebruik ervan als bestanddeel of toevoeging ongeveer 2,2 miljoen ton, waarvan 55 % in België wordt geproduceerd door ArcelorMittal Gent. De rest wordt geïmporteerd.



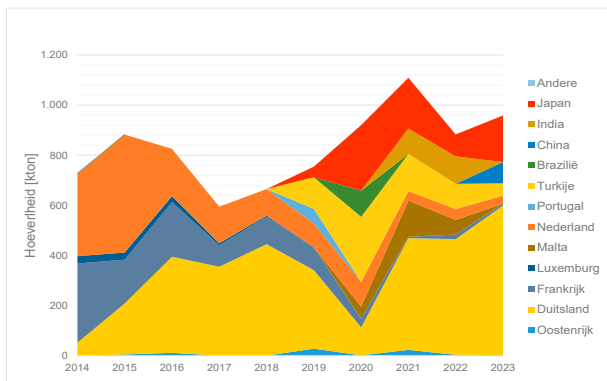
Hoogovens in de buurt van België –
logo Puspito Noun Project

Het is interessant om te zien dat de herkomst van de invoer de laatste tien jaar aanzienlijk is veranderd: vroeger kwam de slak vooral uit Frankrijk (ArcelorMittal Duinkerke) en Nederland (Tata IJmuiden), nu komt ze vooral uit Duitsland, maar ook uit Japan, China, India, enz. Dit is een teken van de spanning over de beschikbaarheid van slakken. Die is nu al voelbaar en zal de komende jaren alleen maar erger worden.



Bronnen van gegranuleerde slak in België:

- lokale productie (ArcelorMittal Gent)
- Invoer



Invoer van hoogovenslak in België

Alternatieven voor slak

Zoals hierboven uitgelegd, staan de cementnormen EN 197-1, -5 en -6 verschillende materialen (SCM) toe als vervangers voor klinker. Hoewel alle cementen die in overeenstemming met deze normen worden gemaakt, een algemene geschiktheid voor gebruik hebben, moet nog worden aangetoond dat deze cementen voldoen op vlak van duurzaamheid. Ze moeten immers worden toegepast in de verschillende omgevingen waar beton onderhevig is aan agressie zoals vorst, regen, zee- of dooizouten en chemische aantasting. Hun specifieke geschiktheid voor gebruik wordt aangetoond op basis van de Belgische norm NBN B 15-100 'Methodologie voor de evaluatie en attestering van de

gebruiksgeschiktheid van cementen en van toevoegsels bestemd voor beton'

Vanaf 2020 wil het grootschalige prenormatieve Belgische onderzoeksproject NEOCEM, geleid door de cementindustrie met de medewerking van drie onderzoekscentra, het OCCN, BUILDWISE en het OCW, de specifieke geschiktheid aantonen van vier belangrijke cementsoorten (CEM II/B-M, CEM II/C-M, CEM V/A en CEM VI) met nieuwe materialen: gecalcineerde klei (Q) en gerecycleerde betonfijnen (F) evenals kalksteen (L,LL) ter vervanging van klinker en slak.

Op Europees en mondiaal niveau bestuderen cementfabrikanten het gebruik van andere industriële bijproducten. Men mag echter niet vergeten dat dat deze materialen zowel lokaal als op lange termijn beschikbaar moeten zijn, voldoende nauwkeurige specificaties moeten hebben en garanties moeten bieden op het vlak van gezondheid en veiligheid. Het is om deze redenen dat gecalcineerde klei gecombineerd met kalksteen als een waardig alternatief voor slak verschijnt.

Bibliografie:

- <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/company/sustainability/climate-strategy/climate-strategy.html>
- <https://belgium.arcelormittal.com/en/arcelormittal-signs-letter-of-intent-with-the-governments-of-belgium-and-flanders-supporting-e1-1-billion-investment-in-decarbonisation-technologies-at-its-flagship-gent-plant/>
- https://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/factsheet/fr/FACT_SHEET_-_nouveaux_ciments.pdf
- <https://www.euroslag.com/research-library-downloads/downloads/>
- <https://www.ctpl.info/les-laitiers-siderurgiques/>
- <https://www.eurofer.eu/publications>
- <https://corporate.arcelormittal.com/sustainability>
- <https://gccassociation.org/cement-and-concrete-innovation/clinker-substitutes/granulated-blastfurnace-slag-gbfs/>
- <https://cembureau.eu/media/qeohlgh/240305-cembureau-position-faq-on-clinker-substitution.pdf>