

Die effek van statistiese analitiese metingsvariasies op aanlegkontroleparameters en koste in sementvervaardiging – ’n gevallestudie

The effect of statistical analytical measurement variations on the plant control parameters and production costs in cement manufacturing – a case study

J.H. POTGIETER

Skool vir Chemiese en Metallurgiese Ingenieurswese,
Universiteit van die Witwatersrand, Johannesburg
H.Potgieter@mmu.ac.uk



Herman Potgieter



Anne Love

A.D. LOVE

Skool vir Wiskunde, Universiteit van die Witwatersrand,
Johannesburg
Anne.Love@wits.ac.za

HERMAN POTGIETER is tans professor en Hoof van die Divisie Chemie en Materiale in die Skool vir Biologie, Chemiese en Gesondheidswetenskappe by die Manchester Metropolitan Universiteit in Engeland. Hy was voorheen verbonde aan die Universiteite van Pretoria, Witwatersrand en Technikon Pretoria (nou TUT) in Suid-Afrika waar hy doseer het in Chemie, Materiaalwetenskappe en sement/beton tegnologie. Hy het lank in die sementvervaardigingsbedryf gewerk en het verskeie publikasies oor sement, kalk en verwante materiale in ’n aantal plaaslike en internasionale tydskrifte gepubliseer. Professor Potgieter het meer as 30 nagraadse studente begelei in die voltooiing van hulle studies en het meer as 150 eweknie beoordeelde publikasies op sy kerfstok. Hy konsentreer tans op die gebruik van vlieg-as in beton, polimere en waterbehandelingsprobleme in sy navorsing.

HERMAN POTGIETER is currently professor and Head of the Division of Chemistry and Materials in the School of Biology, Chemistry and Health Sciences at Manchester Metropolitan University in the UK. He previously taught Chemistry, Materials Science and Cement/Concrete Technology at the Universities of Pretoria, the Witwatersrand and Pretoria Technikon in South Africa. He was active for some time in cement production and testing and published various papers on cement, lime and cementitious materials in a number of local and international technical journals. Professor Potgieter supervised more than 30 postgraduate students and has published more than 150 peer-reviewed papers to date. He currently does research on the application of fly ash in polymers, concrete and water treatment.

ANNE LOVE is medeprofessor in die Skool vir Wiskunde aan die Universiteit van die Witwatersrand waar sy vir etlike jare reeds verskeie kursusse in Differentiële Vergelykings, Kalkulus, Fourier series, Laplace transformasies en metodes, Toegepaste Komplekse Veranderlikes en Differentiële Geometrie doseer en aanbied, hoofsaaklik vir ingenieursstudente. Sy stel veral belang in die analise en toepassing van data vir materiaalgeoriënteerde ingenieursprojekte en het reeds verskeie artikels op hierdie gebied gepubliseer, veral van toepassing op WC-Co saamgestelde materiale.

ANNE LOVE is an associate professor in the School of Mathematics at the University of the Witwatersrand where she teaches several courses on Differential Equations, Calculus, Fourier series, Laplace transforms and methods, Applied complex variables and Differential geometry, mostly to engineering students in various disciplines. She is interested in the analysis of experimental data for materials engineering projects, specifically for WC-Co composite materials, an area in which she has published several papers.

ABSTRACT

The effect of statistical analytical measurement variations on the plant control parameters and production costs in cement manufacturing – a case study

Raw materials used in cement manufacturing normally have varying chemical compositions and require regular analyses for plant control purposes. This is achieved by using several analytical instruments, such as XRF and ICP. The values obtained for the major elements Ca, Si, Fe and Al, are used to calculate the plant control parameters Lime Saturation Factor (LSF), Silica Ratio (SR) and Alumina Modulus (AM). These plant control parameters are used to regulate the mixing and blending of various raw meal components and to operate the plant optimally. Any errors and large fluctuations in these plant parameters not only influence the quality of the cement produced, but also have a major effect on the cost of production of cement clinker through their influence on the energy consumption and residence time in the kiln.

This paper looks at the role that statistical variances in the analytical measurements of the major elements Ca, Si, Fe and Al can have on the ultimate LSF, SR and AM values calculated from these measurements. The influence of too high and too low values of the LSF, SR and AM on clinker quality and energy consumption is discussed, and acceptable variances in these three parameters, based on plant experiences, are established. The effect of variances in the LSF, SR and AM parameters on the production costs is then analysed, and it is shown that variations of as large as 30% and as little as 5% can potentially occur. The LSF calculation incorporates most chemical elements and therefore is prone to the largest number of variations due to statistical variances in the analytical determinations of the chemical elements. Despite all these variations in LSF values they actually produced the smallest influence on the production cost of the clinker. It is therefore concluded that the LSF value is the most practical parameter for plant control purposes.

OPSOMMING

Roumateriale vir sementvervaardiging het gewoonlik variërende chemiese samestellings, en daarom is roetine-analises daarvan nodig vir aanlegkontroledoelendes. Die gebruiklike analitiese instrumente wat vir hierdie doel gebruik word, is XFS (X-straalfluoresensie-spektrofotometer) en IGP (Induktief-gekoppelde Plasma spektrofotometer) apparaat. Die waardes van die hoofelemente Ca, Si, Fe en Al word gebruik om die aanlegkontroleparameters Kalkversadigingsfaktor (KVF), Silikaverhouding (SV) en Aluminamodulus (AM) te bereken ten einde die vermenging van rou materiale te reguleer en die aanleg optimaal te bedryf. Enige foute en groot wisselinge in hierdie drie kontroleparameters het nie alleen 'n invloed op die kwaliteit van die sement wat vervaardig word nie, maar beïnvloed ook grootliks die produksiekoste as gevolg van hul invloed op die energieverbruik en residensityd van die klinker in die sementoond. Analitiese metingsfoute in die bepaling van Ca, Si, Fe en Al beïnvloed die waardes van en wisselinge in die KVF-, SV- en AM-parameters, en gevolglik die produksiekoste van die klinker en uiteindelik die sement. Hierdie artikel ondersoek en ontleed die gevolge van sulke statistiese variasies in die analise van hierdie elemente op die produksiekoste van die klinker. Die invloed van te hoë en te lae KVF, SV en AM waardes op die kwaliteit van die geproduseerde klinker en die energieverbruik in die proses is kortliks genoem, en aanvaarbare variasies in hierdie drie parameters, wat op aanlegondervinding gegrond is, is neergelê. Daar is bevind dat normale statistiese afwykings van die gemiddelde analisewaardes van Ca, Fe, Si en Al produksiekostewisselinge van soveel as 30% en so min as 5% tot gevolg kan hê, afhangende van watter aanlegkontroleparameter ter sprake is. Daar is aangetoon dat die KVF, ten spyte van die feit dat dit die grootste aantal variasies kan hê, die mees stabiele kontroleparameter vir aanlegkontroledoelendes is, omdat statistiese variasies

in die analise van die elemente wat vir die berekening van die KVF-waarde gebruik word, die kleinste effek op die produksiekoste het. Die KVF waarde is gevolglik die mees praktiese parameter vir aanlegkontroledoelindes.

INLEIDING

Sement is een van die belangrikste verbruikersprodukte in die hedendaagse samelewing. Dit word hoofsaaklik in beton vir konstruksiedoeleindes gebruik, en daar word geraam dat slegs water in 'n groter tonnemaat deur die moderne mens verbruik word.¹ Sement word normaalweg in 'n groot, draaiende oond met verskeie voorverhitters geproduseer. So 'n oond funksioneer in werklikheid as 'n reuse chemiese reaktor met verskillende temperatuursones. Sement bestaan hoofsaaklik uit 'n mengsel van kalsiumsilikaat- en kalsiumaluminaatverbindings, en die belangrikste grondstowwe wat in die proses gebruik word, is kalksteen, sand, klei of skalie, en 'n geringe hoeveelheid ystererts indien die ander grondstofkomponente nie genoeg yster bevat nie. Die verskillende grondstowwe word almal saam gemaal in bepaalde verhoudings in 'n mengsel wat bekend staan as die "rou meel/roumeel", voordat dit in die oond ingevoer word en by 'n temperatuur van ongeveer 1500 °C gebrand word. Die hele chemiese proses van sementvervaardiging is reeds vantevore in die plaaslike literatuur gerapporteer.² Die roumeelmengsel, asook die finale verbrandingsproduk wat uit die oond kom, en bekend staan as "klinker", moet binne sekere kontroleparameters val. Die hele proses, asook die uiteindelijke kwaliteit van die klinker, word aan die hand van drie aanlegparameters³ beheer, naamlik:

$$\text{KVF} = \frac{\text{CaO}}{2.8\text{SiO}_2 + 1.2\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (1)$$

$$\text{SV} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2)$$

$$\text{AM} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (3)$$

waar KVF die kalkversadigingsfaktor, SV die silikaverhouding en AM die aluminamodulus is. Die chemiese verbindings behou hul normale betekenis, en die parameters word bereken vanaf geanaliseerde massahoevelhede of persentasies in die roumeel. Die samestelling van sowel die roumeel as die klinker moet binne sekere grense vir elk van hierdie parameters val.

Ten einde die belangrikheid van die KVF, SV en AM te begryp, is dit nodig om kortliks hul onderskeie invloede op die klinkerkwaliteit en die aanlegwerking te vermeld. Die algemene riglyn in 'n sementaanleg is om digby 'n KVF-waarde van 100% (uitgedruk as 'n persentasie) te funksioneer om die hoeveelheid aliet, of C₃S (trikalsiumsilikaat)-komponent (Ca₃SiO₅) van die klinker, wat hoofsaaklik vir die vroeë druksterkte-ontwikkeling van die sement verantwoordelik is,³ te optimaliseer. In sementtegnologie terme verwys C na CaO en S na SiO₂ in die chemiese formule vir aliet. Die maalweerstand van die sement is ook direk eweredig aan die hoeveelheid C₃S in die klinker,³ en daarom is dit voordelig om die hoeveelheid daarvan in die klinker te beheer en te optimaliseer. In die praktyk varieer die KVF in 'n aanleg gewoonlik tussen 92 en 98%. Wanneer die KVF bokant 99% styg, raak dit moeilik om die roumeelmengsel volledig te brand, en dit lei tot groter energieverbruik (gewoonlik in die vorm van steenkool) en 'n onvolledige reaksie van die CaO in die roumeel met die ander komponente.³ As die KVF-waarde laer as 90% daal, kan van die vuurvaste stene ontbinding ondergaan, of alternatiewelik kan ringvorming van die brandende materiaal in die oond voorkom.³

Die normale grense waarbinne die SV wissel, is gewoonlik 2 tot 3. Hoë SV-waardes verminder die hoeveelheid bedekking wat tydens die verbrandingsproses op die vuurvaste stene binne die oond gevorm word en wat die stene teen die skuuraksie van die roterende en half gesmelte roumeel

beskerm.³ Verder word “stowwerige”, met ander woorde nie-soliede, klinker gevorm en die algemene brandbaarheid van die klinker verminder. Te lae SV-waardes lei tot soortgelyke probleme as wat reeds vir te lae KVF-waardes vermeld is.

Vir die meeste Portland-semente, wissel die waarde van die AM gewoonlik tussen 1.5 en 2.5. Hoe hoër die waarde van die AM, hoe hoër is die viskositeit van die gesmelte roumeel in die oond. Klinker met ’n hoër AM-waarde het ’n hoër hidrasiewarmte, is baie reaktief, en ontwikkel gewoonlik ’n hoër begin-druksterkte, terwyl klinker met ’n lae AM-waarde dikwels moeilik is om te maal.³

Die chemiese analises wat nodig is om die aanlegkontroleparameters te bereken, word gewoonlik met ’n XFS (X-straalfluoressensie-spektrofotometer) uitgevoer. Selfs te midde van die mees noukeurige kalibrasie van die instrument, en die beperking van ander tipes foute wat tydens monstervoorbereiding en analisering kan voorkom, is daar altyd ’n statistiese variasie in die geanaliseerde waardes wat gerapporteer word. Die foutgrens waarbinne die gemiddeld van ’n hele aantal soortgelyke analises wissel, word gewoonlik die standaardafwyking genoem. Hoe meer analises gedoen word en hoe meer waardes gesommeer word om die gemiddeld te bereken, hoe kleiner word die standaardafwyking normaalweg. Verder moet ook onthou word dat die XFS (of selfs die IGP – induktief gekoppelde plasma spektrometer) elementkonsentrasies van yster (Fe), kalsium (Ca), aluminium (Al) en silikon (Si) bepaal, waarvan die statistiese variasie nog groter word wanneer dit as die ekwivalente oksiede uitgedruk word. Uiteraard is dit selde die geval in die praktyk dat die roumeel wat as grondstof in die proses gebruik word, of die uiteindelijke klinkerproduk, meer as een keer opeenvolgend geanaliseer word. Daarby is dit ook nie praktyk dat sulke metings aaneenlopend uitgevoer word nie, maar eerder op bepaalde tydintervalle wat wissel van elke uur tot elke twee uur of selfs 24 uur.

Hoe groter die toelaatbare statistiese variasie in die waardes van die verskillende chemiese elemente, hoe makliker en meer stabiel sal die aanlegkontrole wat op die berekende KVF-, SV- en AM-waardes gegrond is, wees. Terselfdertyd sal die kwaliteitskontrole en beheer oor die vervaardigde klinker egter moeiliker word, as gevolg van die groter variasies wat in die klinkersamestelling kan voorkom. Die doel van hierdie artikel is nie om al die moontlike bronne van bepalende en willekeurige foute of hul invloed op die gerapporteerde waardes van die chemiese analises te ondersoek nie, maar om die globale effek van sulke foute of statistiese variasies in analitiese metings en die gevolglike variasies in die parameters wat daarmee bereken word, aan te toon. Dit word veral aan die hand van die invloed daarvan op die koste van klinkerproduksie geïllustreer.

EKSPERIMENTELE BENADERING

Daar word algemeen aanvaar dat analitiese metings ’n statistiese variasie in die vorm van ’n Gauss-kromme toon.⁴ In die praktyk beteken dit dat hoe groter die aantal metings is wat uitgevoer word, hoe groter is die presisie van die gemiddelde waarde van al hierdie metings. Uit XFS-metings wat op ’n gereelde basis oor ’n aantal jare uitgevoer is,⁵ is vasgestel dat die presisie van die waardes van die elemente wat vir die berekening van die KVF, SV en AM in Suid Afrikaanse

TABEL 1. Tipiese presisie en standaardafwykings (st.afw.) van die hoofelemente in roumeel en klinkermateriaal (%m/m).

Element uitgedruk as oksied	Kleinste statistiese variasie/ Min. St.Afw.	Grootste statistiese variasie/ Maks. St.Afw.	Gemiddelde statistiese variasie/ Gemid. St.Afw.
CaO	0.2	0.8	0.5
SiO ₂	0.2	0.6	0.4
Fe ₂ O ₃	0.1	0.5	0.3
Al ₂ O ₃	0.2	0.4	0.3

klinkers gebruik word, binne die grense soos in Tabel 1 aangetoon, varieer.

Vir die doel van hierdie ondersoek, sal daar gebruik gemaak word van die gemiddelde statistiese variasie of standaardafwyking van waardes van die verskillende oksiede wat in die berekenings gebruik word. Wanneer in ag geneem word dat die gemete waardes nie alleen deur die aantal herhalings van die meting beïnvloed word nie, maar ook deur die monstervoorbereidingsprosedure, meetintervalle op die XFS-instrument, stabiliteit van die instrument, bron van X-strale, kalibrasiefrekwensie en -akkuraatheid en monsternemingsprotokol, is die aangetoonde standaardafwykingsgrense in Tabel 1 nie alleen aanvaarbaar nie, maar ook redelik klein.

In hierdie ondersoek is die variasies wat in die waardes van die KVF, SV en AM kan voorkom, bereken deur gebruik te maak van die tipiese waardes van 'n element soos wat dit binne die grense van die gemiddelde standaardafwyking van daardie element wissel. Drie waardes vir elke element (Ca, Si, Fe en Al), uitgedruk as die oksied van die element, is gebruik. In hierdie gevallestudie is slegs die standaard afwyking van die analitiese meetinstrument in ag geneem, en nie die totale onwaarskynlikheid of som van variasies in al die gemete komponente nie.

Verder is daar aangeneem dat wanneer die tipiese waardes van die verskillende elemente geneem is, die produksiewaarde van 'n ton klinker 100% van die normale produksiekoste behoort. Om vergelyking te vergemaklik, is 'n monetêre waarde van 100 vir hierdie doel gekies, ongeag wat die fisiese geldeenheid of waarde in werklikheid is. Die waardes wat dan in die KVF, SV en AM voorkom wanneer afwykings van die gemiddelde waardes van die oksiedanalises in ag geneem word, veroorsaak dan ooreenstemmende veranderinge in die produksiekoste van 'n ton klinker. Aangesien die produksiekoste in 'n eenheidskoste van 100 uitgedruk word, is persentasieveranderinge maklik om waar te neem en te vergelyk.

Vir die doel van hierdie ondersoek, is 'n tipiese roumeel wat uit twee komponente in die verhouding van 90% kalksteen:10% klei bestaan, beskou. Die chemiese samestelling van die kalksteen- en kleikomponente van die roumeel word in Tabel 2 aangetoon, terwyl Tabel 3 die samestelling van die hoofelemente van die roumeel aantoon.

RESULTATE EN BESPREKING

Die benadering wat gevolg is, beteken dat die twee oksiedwaardes wat vir die berekening van die AM gebruik word tot $2^3 = 8$ variasies sal lei. Vir die SV sal daar dienooreenkomstig $3^3 = 27$ en vir die KVF $4^3 = 64$ variasies voorkom wanneer die oksiedwaardes binne die aanvaarbare analitiese foutgrense in die berekenings gebruik word. Dit beteken 'n redelike groot mate van

TABEL 2. Chemiese samestelling van die kalksteen en klei (% m/m) waaruit die roumeel saamgestel is

Element as oksied	Kalksteen(%m/m)	Klei(%m/m)
SiO ₂	8.06	66.83
Al ₂ O ₃	1.93	10.28
Fe ₂ O ₃	1.66	4.00
Mn ₂ O ₃	0.07	0.07
CaO	48.48	5.41
MgO	0.38	1.26
LOI(massaverlies tydens verbranding)	38.53	8.39
Totaal	99.11	96.24

TABEL 3. Chemiese samestelling en variasies wat gebruik is vir die berekenings van die produksieparameters KVF, SV en AM

Element as oksied	Gemiddelde waarde (%m/m)	Min. met St.Afw. (%m/m)	Maks. met St.Afw. (%m/m)
SiO ₂	13.64	13.24	14.04
Al ₂ O ₃	2.72	2.42	3.02
Fe ₂ O ₃	1.88	1.58	2.18
CaO	41.07	40.57	41.57

wisseling in die produksieparameters waarvolgens die sementaanleg bedryf word, en die gevolglike koste verbonde aan die produksieproses. Dit wil sê, binne die normale bedryfsprosedure kan daar heelwat skommelings voorkom wat nie alleen die koste nie, maar ook die kwaliteit van die uiteindelijke produk kan beïnvloed, sonder dat daar op enige stadium afwykings buite die normale en aanvaarbare grense van die chemiese analyses voorkom.

Uit die aard van die saak sal daar ook aanvaarbare wisselinge van die KVF, SV en AM voorkom, waarbinne van die variasies van die analitiese metings geakkommodeer kan word. Die toelaatbare grense waarbinne 'n aanleg bedryf word, en die tipiese bedryfswaardes van hierdie drie bedryfsparameters, verskil van aanleg tot aanleg. Tipiese waardes vir elkeen van die bedryfsparameters word in Tabel 4 aangetoon.

Die waardes in Tabel 4 word bloot ter illustrasie getoon, en variasies van tussen 0.1 en 0.3 vir die SV en AM kan in die praktyk voorkom, terwyl die KVF gerieflik tussen 92 en 100 kan wissel, afhangende van die roumeel wat gebruik word, en ander faktore. Wanneer die gemiddelde waarde van byvoorbeeld yster as yster(III)oksied (1.88) en aluminium as aluminium(III)oksied (2.72) uit Tabel 3 gebruik word om die AM-waarde van die roumeel te bereken, word 'n waarde van 1.45 verkry. Vir vergelykingsdoeleindes, is aangeneem dat hierdie waarde gelykstaande aan 'n produksiekoste van 100 (%) vir die geproduseerde klinker is. Veranderings in die AM as gevolg

TABEL 4. Tipiese waardes en variasies wat vir die berekening van die produksieparameters KVF, SV en AM gebruik word

Parameter	Tipiese waarde	Tipiese waarde met Min. St.Afw.	Tipiese waarde met Maks. St.Afw.
KVF	96	94	98
SV	2.97	2.77	3.17
AM	1.45	1.25	1.65

van hoër of laer waardes van die Fe_2O_3 en Al_2O_3 sal gevolglik die koste van die klinker op 'n direk eweredige wyse beïnvloed. Tabel 5 gee 'n aanduiding van hoe statistiese variasies in die analitiese yster- en aluminiummetings van die roumeel die waarde van die AM kan beïnvloed. In hierdie illustrasie gebeur dit twee keer dat die AM-waarde van 1.45 buite die afwykingsgrense van 0.3 vir aanlegkontrole, naamlik 1.45 ± 0.3 , val. Aanpassings in die aanleg om vir hierdie twee gevalle (AM = 1.91 of 1.11) te kompenseer, is uiteraard oorbodig, en behoort nie plaas te vind nie. Terselfdertyd kan die produksiekoste met soveel as 30% wissel, en 'n oormatige klem op produksiekoste kan maklik tot die versoeking lei om te vinnig aanpassings in die

TABEL 5. Variasie in die waarde van AM wanneer verskillende kombinasies van moontlike yster(III)oksied- en aluminium(III)oksied-waardes gebruik word

AM-variasie		Prod. koste	[Fe_2O_3]			[Al_2O_3]		
Werklik	Afgerond		Hoog	Gem.	Laag	Hoog	Gem.	Laag
	1.45	100.00		1.88			2.72	
1.6064	1.61	111.03		1.88		3.02		
1.2872	1.29	88.97		1.88				2.42
1.2477	1.25	86.21	2.18				2.72	
1.3853	1.39	95.86	2.18			3.02		
1.1101	1.11	76.55	2.18					2.42
1.7215	1.72	118.62			1.58		2.72	
1.9114	1.91	131.72			1.58	3.02		
1.5316	1.53	105.52			1.58			2.42

roumeelsamestelling en aanlegbedryfstoestande te maak.

Vir die kleiner toelaatbare variasies van AM van onderskeidelik 0.2 en 0.1 op aanlegvlak, neem die aantal kere wat AM buite die toelaatbare waardes varieer vanaf 2 tot onderskeidelik 3 en 6 toe.

Die effek van statistiese variasies vir die onderskeie oksiede wat in die SV-berekening gebruik word, illustreer die ooreenstemmende nie-toelaatbare afwykings vir aanlegbeheer nog

meer dramaties. Tabel 6 gee 'n opsomming van hoe die verskillende hoë, lae en gemiddelde waardes van silika, alumina en ystertrioksied wat verkry word wanneer statistiese wisselinge in elkeen voorkom, gebruik word om die ooreenstemmende SV te bereken.

Die waardes in Tabel 6 illustreer dat die laagste produksiekoste (tot 15% laer as normaalweg)

TABEL 6. Variasie in die waarde van SV wanneer verskillende kombinasies van moontlike yster(III)oksied-, silikondioksied- en aluminium(III)oksiedwaardes gebruik word.

SV -variasie	Prod. koste	[SiO ₂]			Fe ₂ O ₃			[Al ₂ O ₃]		
		Hoog	Gem.	Laag	Hoog	Gem.	Laag	Hoog	Gem.	Laag
3.31	111.63			13.24				1.58		2.42
3.08	103.84			13.24		1.88				2.42
2.88	97.07			13.24	2.18					2.42
3.08	103.84			13.24				1.58	2.72	
2.88	97.07			13.24		1.88			2.72	
2.70	91.12			13.24	2.18				2.72	
2.88	97.07			13.24				1.58	3.02	
2.70	91.12			13.24		1.88			3.02	
2.55	85.87			13.24	2.18				3.02	
3.41	115.00		13.64					1.58		2.42
3.17	106.98		13.64			1.88				2.42
2.97	100.00		13.64		2.18					2.42
3.17	106.98		13.64					1.58	2.72	
2.97	100.00		13.64			1.88			2.72	
2.78	93.88		13.64		2.18				2.72	
2.97	100.00		13.64					1.58	3.02	
2.78	93.88		13.64			1.88			3.02	
2.62	88.46		13.64		2.18				3.02	
3.51	118.37	14.04						1.58		2.42
3.27	110.11	14.04				1.88				2.42
3.05	102.93	14.04			2.18					2.42
3.27	110.11	14.04						1.58	2.72	
3.05	102.93	14.04				1.88			2.72	
2.87	96.63	14.04			2.18				2.72	
3.05	102.93	14.04						1.58	3.02	
2.87	96.63	14.04				1.88			3.02	
2.70	91.06	14.04			2.18				3.02	

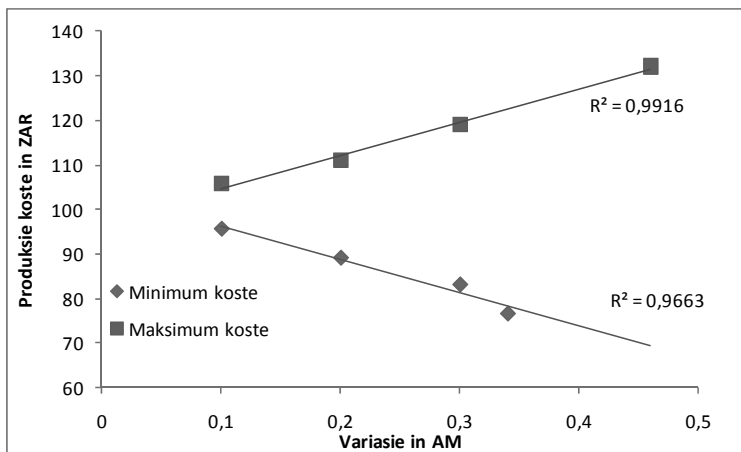
verkry word wanneer die waarde van silika statisties die laagste is, en dié van alumina en ystertrioksied statisties die hoogste is. In teenstelling daarmee word die hoogste produksiekostes verkry wanneer silika statisties die maksimumwaarde het, en alumina en ystertrioksied statisties hulle minimumwaardes het. 'n Foutgrens van 0.3 vir die SV vir aanlegkontrole, met ander woorde $2.67 < 2.97 < 3.27$, het nou 5 variasies buite hierdie grense tot gevolg, in teenstelling met 2 in die geval van die AM. Wanneer meer noukeurige kontrole met kleiner foutgrense van 0.2 en 0.1 vir die SV toegepas word, neem die aantal nie-toelaatbare waardes van SV tot onderskeidelik 10 en 16 toe.

Net so kan aangetoon word dat statistiese variasies in die meting van die elemente (as oksiede) wat vir die berekening van die KVF gebruik word, tot 'n aantal KVF-waardes buite die kontrolefoutgrense van die aanleg lei. 'n Opsomming hiervan word in Tabel 7 aangetoon. Die ooreenstemmende produksiekostewisseling is nou egter slegs ongeveer 5%. Dit is dus verstandig om die aanleg hoofsaaklik met behulp van die KVF-parameter te kontroleer, want alhoewel die aantal statistiese variasies die kontrolewaarde etlike kere buite die toelaatbare grense kan laat varieer, is die effek op die produksiekoste gering.

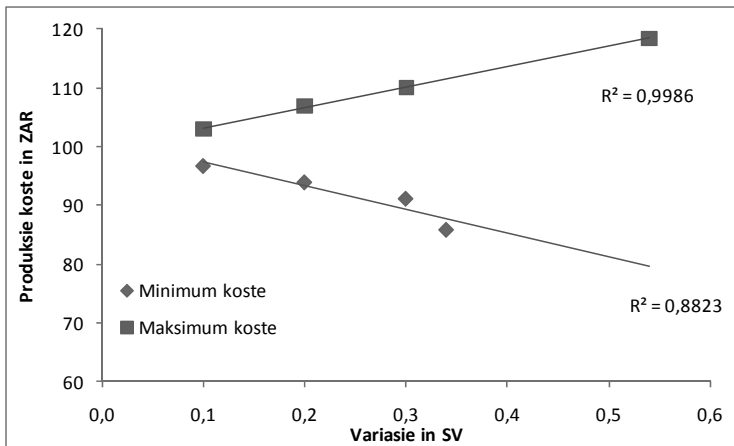
TABEL 7. Opsomming van KVF-variasies a.g.v. statistiese wisseling in die elementale konsentrasies wat vir die berekening gebruik word

KVF-kontrole-variasie	Laagste KVF (%)	Gemiddelde KVF (%)	Hoogste KVF (%)	Aantal waardes buite kontrolegrense
3	93.2	96.2	99.2	22
2	94.2	96.2	98.2	39
1	95.2	96.2	97.2	58

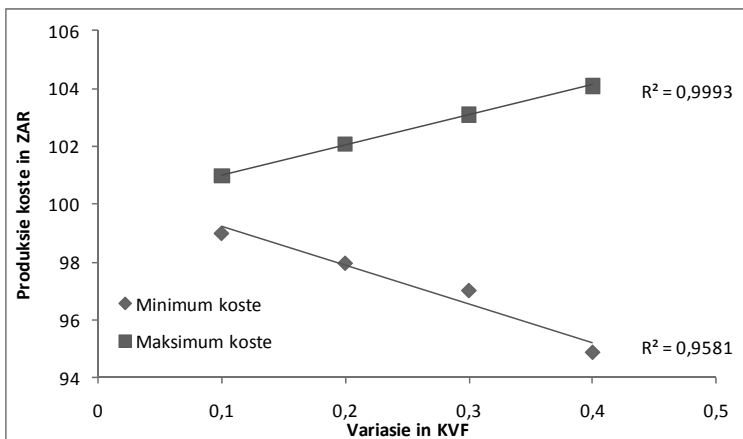
Figuur 1(a) tot (c) bied 'n grafiese voorstelling van die effek wat statistiese analisevariasies in die daaropvolgende berekening van die kontroleparameters het, in terme van die invloed op



Figuur 1(a): Produksiekoste teenoor wisselinge in AM waardes.



Figuur 1(b): *Produksiekoste teenoor wisselinge in SV waardes.*



Figuur 1(c): *Produksiekoste teenoor wisselinge in KVF waardes*

produksiekoste. Dit illustreer baie duidelik dat hoe meer elemente in die berekening van die kontroleparameter voorkom, hoe kleiner word die effek van statistiese variasies op die produksiekoste. Dit is nog nie voorheen vir sementvervaardiging geïllustreer of beklemtoon nie. Uit 'n aanlegkontrole-oogpunt is dit natuurlik noodsaaklik om nie net die produksiekoste te beheer nie, maar om 'n balans tussen al drie parameters (KVF, SV en AM) te vind, om sodoende ook die produk se kwaliteit optimaal te hou.

GEVOLGTREKKINGS

Daar is aangetoon dat statistiese variasies in die analitiese metings van roumeel-elemente wat vir die berekening van aanlegkontroleparameters in 'n sementaanleg gebruik word, tot 'n groot mate van wisseling in sodanige parameters kan lei. Dit het ook gevolge vir die produksiekoste

van die finale produk. Daar is verder aangetoon dat 'n delikate balans tussen al die kontroleparameters nodig is ten einde die optimale produksiekoste in die aanleg te bewerkstellig. Vir die praktyk, is die gebruik van die KVF as voorkeur-kontroleparameter uitgelig, mits daar 'n balans gehandhaaf kan word wat nie die kwaliteit van die finale klinkerproduk benadeel nie. Daar moet in ag geneem word dat roumeel wat uit meer as twee komponente saamgestel word, noodwendig die situasie verder sal kompliseer.

BIBLIOGRAFIE

1. Hanson, C.M. (1995). *Concrete: The advanced industrial material of the 21st century*, Met. & Mater. Trans. A, 26A: 1321-1341.
2. Potgieter, J.H. (1997). High temperature chemistry in a cement clinker kiln, *S. Afr. J. Chem.*, 50(3): 111 – 114.
3. Taylor, H.F.W. (1997). *Cement Chemistry*. London: Thomas Telford Publishing.
4. Massart, D.L., Vandeginste, B.G.M., Deming, S.N., Michotte, Y. & Kaufman, L. (1988). *Chemometrics: A textbook*. Amsterdam: Elsevier Publishers.
5. Willis, J. (1999). XRF kursus notas, Kaapstad Universiteit.