Nuwe verwickelinge in die elektromagnetiese, nie-destruktiewe toetsing van staalmynhystoue

G. L. Bredenkamp* en N. T. van der Walt

Laboratorium vir Stelsels, Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Johannesburg 2000

Ontvang 17 Oktober 1989; aanvaar 22 Januarie 1990

UITTREKSEL

Die betroubaarheid van mynhystoue is van kardinale belang vir die veiligheid van personeel en vir die handhawing van produktiwiteit op myne.

Potensiële breuke moet vooruit voorspelbaar wees met 'n minimum ontwigting van mynbou-aktiwiteite. Sowel bestaande as nuwe tegnieke wat ontwikkel is, word geïntegreer in 'n enkele kompakte stelsel om al drie tersaaklike touparameters, t.w. deursneeoppervlakte, aantal gebreke drade en elektriese kontak tussen die drade, gelyktydig, en met die tou in situ, op 'n nie-vernietigende elektromagnetiese metode te meet.

Elektromagnetiese teorieë is ontwikkel wat nuwe insigte verskaf in die werking van sulke stelsels, wat dan toegepas word in 'n "magneetkop", opgebou uit gesofistikeerde permanente magnete en saaltipe meetspoele, waardeur die tou beweeg. Hierdeur word 'n elegante oplossing vir 'n probleem, wat sedert die begin van die mynbedryf bestaan, gebied.

ABSTRACT

The reliability of hoist ropes is of utmost importance for the safety of personnel and for maintaining productivity in mines.

*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word.

Potential fractures should be predicted in advance, but with the minimum disruption of mining activities. Existing as well as newly developed techniques are integrated into a single compact system to measure the three most relevant rope parameters, which are: cross sectional area, number of broken wires and the ohmic contact between wires. These parameters are measured simultaneously, in situ, in a non destructive manner.

Electromagnetic theories have been developed which provide new insight into the working of such systems and were applied in the construction of a magnetic test head, comprising sophisticated permanent magnets and saddle type search coils, through which the rope is passed. This system provides an elegant solution to a problem which has existed since the beginning of the mining industry.

1. INLEIDING

Mynhystoue se diensbaarheid is te alle tye van die allergrootste belang, nie net uit 'n veiligheids oogpunt nie, maar ook uit 'n produksie- en dus ook ekonomiese oogpunt. Gereelde fisiese ondersoek, met nie-destruktiwe toetstegnieke is dus noodsaaklik.

Omdat myntoue deurgaans van ferromagnetiese materiaal gemaak word, word elektromagnetiese toetsmetodes aanbeveel. Die welslae wat hiermee behaal is, word hier bespreek.⁵

Defekte wat algemeen in mynhystoue voorkom, is:

- (i) Plastiese deformasie
- (ii) Slytasie
- (iii) Meganiese skade
- (iv) Korrosie (roes)
- (v) Metaalvermoëing deur vibrasie
- (vi) Kinkels

Die Suid-Afrikaanse mynbedryf beskou dit as noodsaaklik om die volgende touparameters, in situ, oor die hele toulengte, te meet:

- (i) veranderinge in staaldeursneeoppervlakte;
- (ii) veranderinge in die laterale kontakpatroon tussen die drade;
- (iii) die opsporing van gebreekte drade.

As hierdie drie parameters so onafhanklik as moontlik van mekaar gemeet kan word, is dit moontlik om defekte en potensiële defekte in 'n tou vroeg op te spoor

om katastrofes te voorkom en om redelik noukeurig te bepaal wanneer 'n tou aan die einde van sy bruikbare leeftyd gekom het.

Veranderinge in staaldeursneeoppervlakte en veranderinge in die laterale kontakpatroon tussen die drade van die tou word tot dusver met die sg. wisselstroommetode (WS-metode)^{1,2} gemeet en gebreekte drade word met die sogenaamde gelykstroommetode (GS-metode)³ opgespoor.

Die goudafdeling van die Anglo America Myngroep alleen toets tans jaarliks tussen vier- en vyfmiljoen meter tou volgens hierdie twee metodes.

Myntoue word egter steeds dikker en omdat die penetrasie van die magneetveld in die tou ontoereikend is,⁴ het die WS-metode ondoeltreffend geword. Daar het verder ook, weens operasionele en ekonomiese redes, die behoefte ontstaan om die drie touparameters terselfdertyd met dieselfde instrument, maar onafhanklik van mekaar, te meet.

'n Toetskop met permanente magnete waarmee lg. behoefte bevredig word, word hier beskryf.

2. Die magneetkop

2.1 Konstruksie

Soos in die foto van fig. 1 en die skets van fig. 2 getoon, bestaan die magneetkop hoofsaaklik uit:

- (a) vier stapels neodinium-yster-boor permanente

Figuur 1: 'n Eksperimentele magneetkop op 'n toetslou.

- magnete;
- (b) drie stelle sagtestaalpoolstukke;
- (c) verskeie sg. "saalspoele" waarmee vloedveranderinge gemeet word; en
- (d) vier rollers of wiele waarmee die tou t.o.v. die magneetkop gesentreer word.

Die magneetkop is in twee helftes verdeel sodat dit oopgemaak kan word om om 'n tou geplaas te kan word en om dit te verwyder na afloop van die toetse.

2.2 Funksie

Die doel van die magneetkop is eerstens om die tou, soos dit deurbeweeg, te magnetiseer volgens die kromme van fig. 3. Soos enige touseksie deur die magneetkop beweeg, verander die magnetisering daarvan vanaf $B = 0$ deur die versadigingswaarde tot by B_{maks} en

daarna terug deur $B = 0$ tot by $-B_{\text{maks}}$, waarop dit dan weer terugval na $B = 0$ waar die touseksie aan die agterkant van die magneetkop uitbeweeg.

Hierdie magnetiseringskromme is nodig om al die touparameters, hierbo genoem, onafhanklik van mekaar te meet.

Saalspoele op die magneetkop word gebruik om die vloedverandering in die tou, by die punte waar $B = \pm B_{\text{maks}}$ en waar $B = 0$, in die middel van die magneetkop, te meet.

Vloedveranderinge by lg. punte stel die gebruiker in staat om, onafhanklik van mekaar, deursneeoppervlakteveranderinge, gebreke drade en veranderinge in geïnduseerde werwelstrome op te spoor, wat op verskillende foute in die tou dui.

Figuur 2: Simmetriese saamgestelde neodimium-ysterboor-magneetkop.

Figuur 3: Die magnetiseringskromme van die tou.

3. Meet van magnetiese vloed

3.1

Figuur 4: Spanning wat in 'n spoel om 'n tou geïnduseer word deur 'n tydvariërende aksiale vloed.

Indien 'n spoel van N draaie om die toetsrou geplaas word, soos skematies in fig. 4 uitgebeeld, sal enige vloedverandering $\Delta\Phi$ in die tou, wat tussen t_1 en t_2 plaasvind, gegee word deur:

$$\Delta\Phi = \frac{1}{N} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (1)$$

waar $V(t)$ die geïnduseerde spanning in die spoel is.

$\Delta\Phi$ word m.b.v. 'n elektroniese integrator verkry, en indien dit teen tyd op 'n registreerder gestip word, sal hierdie kromme van $\Delta\Phi$ 'n aanduiding wees van die vloedverandering langs die tou af, soos die tou deur die spoel beweeg.

3.2 Saalspoele

Konvensionele sirkelvormige meetspoole, veral dié met 'n veelvoud van draaie, is nie met die magneetkop wat oopmaak vir plasing om die tou, versoenbaar nie. Hierdie probleem word met die gebruik van pare identiese saalspoele elk met N draaie, soos in fig. 5 getoon, opgelos.

Indien die terminale H en J verbind word, sal die spanning, gemeet tussen terminale A en R, identies wees

aan dié van twee sirkelvormige spoele, geplaas by posisies 1_x en 1_y , elk met N draaie en in serie teenwerkend met mekaar verbind.

4. Die meet van touparameters

4.1 Deursneeoppervlakteverandering

Die vloedveranderinge in die tou waar die tou diep in magnetiese versadiging is, is slegs 'n aanduiding van deursneeoppervlakteverandering en word nie deur veranderinge in kontak tussen die draade beïnvloed nie.

Vir hierdie doel kan een kant van die saalspoele dus in die gleuf by 1_4 geplaas word (fig. 3), terwyl die ander kant by 'n neutrale posisie – waar daar geen vloedverandering kan plaasvind nie, soos bv. by 1_2 – geplaas kan word. Alternatiewelik kan dieselfde resultaat by gleuwe 1_6 en 1_8 verkry word. Hierdie twee moontlikhede word meetstelsel 1 genoem. Die verandering in oppervlakte

$$\Delta A(t) = \frac{1}{NB_{\text{maks}}} \int_0^t V_{2,4}(t) dt = \frac{1}{NB_{\text{maks}}} \int_0^t V_{6,8}(t) dt \quad (2)$$

'n Verdere moontlikheid is om die saalspoele tussen 1_4 en 1_6 te plaas waar

$$B(1_6) = -B(1_4) = B_{\text{maks}}$$

$$\text{In dié geval is } \Delta A(t) = \frac{1}{2NB_{\text{maks}}} \int_0^t V_{4,6}(t) dt \quad (3)$$

Dit word meetstelsel 2 genoem.

Aangesien $V_{4,6}(t) = 2V_{2,4}(t)$ is lg. meetstelsel twee maal so sensitief as meetstelsel 1.

Meetstelsels 1 en 2 is herhaaldelik getoets deur telkens 5 lengtes van 2,12 mm deursnee draad, elk 300 mm lank, lateraal aan die tou te heg, soos in fig. 6 getoon. Elke byvoeging het 'n deursneeoppervlakteverandering van 2,47% verteenwoordig.

Figuur 5: 'n Paar saalspoele.

Fig. 7(a) en (b) wys die golfvorme wat verkry is in die geval waar $\frac{\Delta A}{A} = 4,9\%$, d.w.s. vir 10 drade.

Die trap in sowel die opgaande as die afgaande flank van die golfvorm in meetstelsel 2 is toe te skryf aan die aksiale verplasing tussen die saalspoelkante, d.w.s. die afstand tussen l_4 en l_6 .

Hierdie trap is afwesig in fig. 7(a), aangesien net een kant van die saalspoele (by l_4) aktief is. In fig. 8 word die gemete vloedverandering $\Delta\Phi$ gestip.

Die gemiddelde helling van hierdie kromme is 2,27 tesla teenoor die gemete maks. vloeddigtheid van 2,29 tesla. Die meting is dus binne die 1%-grens noukeurig.

Figuur 6: Simulasie van deursneeoppervlakteverandering.

Figuur 7: (a): $\Delta\Phi$ vloedgolfvorm met meetstelsel 1.
(b): $\Delta\Phi$ vloedgolfvorm met meetstelsel 2.

Figuur 8: $\Delta\Phi$ teenoor ΔA .

4.2 Gebreekte drade

4.2.1 'n Gebreekte draad vorm 'n magnetiese dipool met magnetiese moment

$$M = B a (2l_a) = B \mu_a \dots\dots\dots (4)$$

waar a = deursneeoppervlakte van die draad,

$2l_a$ = aksiale lengte van die breuk of die afstande tussen die gebreekte ente, en

μ_a = volume van die breuk.

Dit kan getoon word dat wanneer saalspoele in die opspoor van breuke gebruik word, die spanningspiek 'n optimum vir 'n breuk enige plek in die tou sal wees, wanneer die lengte van die saalspoele

$$2l_s \approx 0,8 r_s \dots\dots\dots (5)$$

en waar r_s die straal van die saalspoele is.

Verder word die maksimum sensitiwiteit verkry waar $B = B_{maks}$.

Die saalspoele vir hierdie meting word dus in gleuwe

gesimuleer word deur drade aksiaal agter mekaar op die tou vas te maak, met aksiale gapings tussen die ente.

Fig. 9 wys die spanningspulse waar:

$$B_{maks} = 2,29 \text{ tesla,}$$

$$a = 16 \text{ mm}^2,$$

$$v = 2 \text{ meter per sekond,}$$

$$N = 40,$$

$$2l_s = 22 \text{ mm,}$$

$$r_s = 29 \text{ mm en}$$

$$2l_a = 15, 10, 4 \text{ en } 2 \text{ mm onderskeidelik.}$$

Fig. 10 wys dieselfde, maar vir

$$a = 3,53 \text{ mm}^2$$

$$v = 1 \text{ meter per sekond en}$$

$$2l_a = 1, 2, 3, 4 \text{ en } 5 \text{ mm onderskeidelik.}$$

Die gemete pulse vergelyk goed met die berekende waardes.

Figuur 9: Gebreektedraad-dipoolspanningspulse.

Figuur 10: Gebreektedraad-dipoolspanningspulse.

l_{10} en l_{11} of l_{12} en l_{13} (fig. 3) geplaas. Vir 'n breuk naby die tou-oppervlakte is die piekamplitude van die spanningspuls sodoende verkry:

$$V_p = \frac{2,4}{r_s^2} v N B_{maks} \mu_a \text{ volt} \dots\dots\dots (6)$$

waar v die snelheid van die tou in m/s is. Vir 'n kort breuk in die middel van die tou is

$$V_p = \frac{1,64}{r_s^2} v N B_{maks} \mu_a \text{ volt} \dots\dots\dots (7)$$

Gebreekte drade op die tou se omtrekoppervlakte kan

4.2.2 Tougeruis

By daardie plekke waar die drade van die tou met mekaar kruis, word mettertyd kepe in die drade gesny.

"Tougeruis" word gedefinieer as die gesamentlike meetbare effek van al die kepe in die tou. Hierdie effek neem toe met die tou se werkende ouderdom.

Uit fig. 10 word afgelei dat tougeruis vir daardie bepaalde meting ongeveer 1 millivolt is.

As V_g die geruisamplitude is, is die minimum meetbare gebreektedraad-dipoolvolume in die middel van die tou:

$$v_g = \frac{V_g r_s^2}{1.64 N B_{\text{maks}}}$$

Vir die meting van fig. 10 is $v_g \approx 4 \text{ mm}^3$.

4.3 Kontakveranderinge

Die magneetkop is so ontwerp dat dié dele van die tou wat op enige oomblik tussen die suidpole en die sentrale noordpool van die magneetkop is, magneties versadig is, en dat die vloeddigheidsomkering van negatiewe versadiging na positiewe versadiging oor die aksiale lengte, $2l_N$, van die sentrale noordpool plaasvind.

Oor die lengte $2l_N$ is die vloeddigheidsgradiënt

$$\frac{dB}{dl} \approx \frac{B_s}{l_N} = 50 \text{ tesla per meter, en die permeabiliteit}$$

$$\mu_v \approx 1,98 \times 10^{-3} \text{ tesla meter per ampère.}$$

Wat werwelstroomvloed en die meet van kontakveranderinge tussen die draade betref, is dit slegs hierdie deel van die tou wat van belang is.

As werwelstroomvloed met saalspoele tussen l_5 en l_2 (of l_5 en l_8) van fig.3 met die metode en apparaat van fig. 7 gemeet word, is so 'n meting onafhanklik van deursneeoppervlakteveranderinge as

$$B_{\text{aks}} = 0 \text{ by } l_5$$

Die presiese plek waar $B_{\text{aks}} = 0$ is, is egter 'n eksponensiële funksie van die toetssnelheid. As daar op 'n toetssnelheid van (sê) 2 meter per sekonde gestandiseer word, word die presiese posisie van l_5 eksperimenteel vasgestel deur die saalspoele aksiaal te verskuif sodat geen werwelstroomvloedverandering gemeet word as gevolg van 'n kunsmatige deursneeoppervlakteverandering nie.

So 'n verskuiwing, Δl_5 , van die sentrale posisie af, is tipies ongeveer 6 mm by 'n toetssnelheid van 2 meter per sekonde.

Kontakwerwelstrome in 'n tou is 'n soortgelyke effek in die tou as "huideffek" in 'n wisselstroomdraende draad: deur die werwelstroomvloed wat dit opwek, word die vloeddigheidsdistribusie oor die deursneeoppervlakte van die tou versteur, afhangende van die (onbekende) "kontakkonduktiwiteitsdistribusie".

As werwelstroomvloed by l_5 gemeet word, kan daar gewys word dat die kontakwerwelstroomvloed

$$\phi_K = 2 B_s A \left(\frac{v T_K}{l_N} \right) \left(1 - e^{-\frac{l_N}{v T_K}} \right) \int_0^1 x [F_K(x)] dx \dots (8)$$

waar B_s die versadigingsvloeddigtheid van die tou,

A die deursneeoppervlakte van die tou,

T_K die "kenmerkende kontakwerwelstroomtydskonstante",

v die toetssnelheid,

x die genormaliseerde straal van die tou

en $F_K(x)$ die "kenmerkende kontakvloeddigheidsdistribusiefunksie" is.

T_K word gedefinieer as

$$T_K = \frac{A}{\pi} \mu_v g_K \dots (9)$$

waar g_K op sy beurt as die "kenmerkende kontakkonduktiwiteit" van die tou gedefinieer word.

T_K , (en dus g_K) en $\int_0^1 x [F_K(x)] dx$ kan deur meting bepaal word, hoewel $F_K(x)$ self onbepaalbaar is.

Vir die toetstou is

$$T_K \approx 60 \text{ millisekondes}$$

$$g_K \approx 0,12 \times 10^6 \text{ siemens per meter en}$$

$$\int_0^1 x [F_K(x)] dx \approx 0,085 \dots (10)$$

Dus as $B_s = 1,5 \text{ tesla,}$

$$A = 717 \text{ mm}^2,$$

$$2l_N = 60 \text{ mm}$$

$$v = 2 \text{ meter per sekond, is}$$

$$\phi_K = 162 \text{ mikroweber}$$

As daar 'n verandering in "kontak" is, is daar veranderinge in beide g_K (en dus T_K) en $F_K(x)$, met 'n gevolglike meetbare verandering, $\Delta \phi_K$, in die werwelstroomvloed, waar

$$\Delta \phi_K = 2 B_s A \left(\frac{v}{l_N} \right) \left(1 - e^{-\frac{l_N}{v T_K}} \right) \Delta \left\{ T_K \int_0^1 x [F_K(x)] dx \right\} (11)$$

5. Laboratoriumtoetse

Laboratoriumtoetse op die toetstou is in die AAEL Toutoetsnavorsingsfasiliteit gedoen. Fig. 11 toon die gelyktydige meting van kontakveranderinge (fig. 11(a)) die opsporing van gebreke draade (fig. 11(b)) en die meet van deursneeoppervlakteveranderinge (fig. 11(c)) teen 'n toetssnelheid van 2 meter per sekonde. In die geval van die meet van kontakveranderinge en deursneeoppervlakteveranderinge het die saalspoele 20 draaie gehad en in die geval van die opsporing van gebreke draade, 40 draaie.

Met verwysing na fig. 11, as die magneetkop van regs na links oor die tou gesleep word, is die kontakmeetsein met 'n aksiale afstand van $\Delta l_5 \approx 6 \text{ mm}$ (of 0,3 mm op fig. 11) ten opsigte van die deursneeoppervlakte meetsein met meetstelsel (ii), vertraag.

As die gebreke draade met die saalspoele tussen l_{10} en l_{11} van fig. 3 opgespoor word, is die deursneeoppervlakteverandering meetsein, gemeet met meetstelsel (ii), met 'n aksiale afstand van $(l_4 - l_5) = 60 \text{ mm}$ (of 3 mm op fig. 11) ten opsigte van die gebreke draade meetsein vertraag.

As die deursneeoppervlakteveranderinge met meetstelsel (i) en saalspoele tussen l_2 en l_4 van fig. 3 gemeet word, is hierdie meetsein aksiaal gelyktydig met die

gebreektedraadmeetsein soos hierbo, en is die kontakverandering meetsein aksiaal met 'n afstand van $(l_4 - l_3 \approx 66 \text{ mm})$ vertraag.

Omdat net een integrator vir vloedmetings beskikbaar was, is die gebreekte drade en deursneeoppervlakteveranderinge eers gelyktydig gemeet en direk daarna is die kontakveranderinge teen dieselfde toetssnelheid gemeet.

Vir die metings van fig. 11 is anomalieë van kontakveranderinge, gebreekte drade en deursneeoppervlakteveranderinge kunsmatig op en in die tou gesimuleer.

Met verwysing na fig. 11:

Punt A: Hier is die toubeskrywing met 'n vlam rooi-warm gemaak sodat dit daár effens gerek het deur die 10 ton-trekspanning op die tou. Die teer in die tou het weggesmelt. Hiër was daar dus:

- (i) 'n deursneeoppervlakteverandering;
- (ii) 'n kontakverandering tussen die drade van die tou en
- (iii) 'n simulatie van 'n massiewe konsentrasie van gebreekte drade.

Hierdie kunsmatig gesimuleerde anomalie moet dus deur al drie meetseine gemeet word soos op fig. 11 gesien kan word.

Punt B: Hier is 'n dun nylonskyfie, met 'n aksiale lengte van ongeveer 20 mm, tussen die drade van die tou ingeforseer sodat dit nie van buite sigbaar was nie. Hiër was dus slegs 'n

kontakverandering en geen gebreekte drade of deursneeoppervlakteverandering nie. Hierdie anomalie moet dus net deur die kontakmeetsein opgespoor word soos in fig. 11 gesien kan word.

Punt C: Hiër is 'n koperring, 10 mm lank en 0,5 mm dik, styf om die tou gesoldeer.

Hiër is dus ook geen gebreekte drade of deursneeoppervlakteverandering nie. Daar vloei egter 'n werwelstroom in die koperring, wat die werwelstroomvloed in die tou vermeerder.

Hierdie werwelstroomvloedvermeerdering moet dus slegs op die kontakmeetsein verskyn, soos op fig. 11 gesien kan word.

Punt D: Hiër is die tou 'n harde hou met 'n 2 kg hamer toegedien.

Die kontak tussen die drade van die tou is waarskynlik versteur, maar geen drade is gebreek of die deursneeoppervlakte verander nie. Die effek op die drie meetseine is dieselfde as vir B.

Punt E-F: Tussen hierdie punte is $5 \times 300 \text{ mm}$ lange dubbele toudrade, elk met 'n deursnee van 3,18 mm, aksiaal op die tou vasgemaak, met aksiale gapings van 1, 2, 5 en 10 mm tussen die 5 lengtes.

Deursneeoppervlaktevermeerdering van 16 mm^2 asook gebreektedraaddipole met 'n

Figuur 11: Gelyktydige metings van kontakveranderinge, gebreekte drade en deursnee-oppervlakteveranderinge.

oppervlakte van 16 mm^2 en aksiale lengtes van onderskeidelik 1, 2, 5 en 10 mm (d.w.s. dipoolvolumes van onderskeidelik 16, 32, 80 en 160 mm^3) word dus gesimuleer.

Daar is geen gesimuleerde kontakverandering nie en fig. 11 wys dat slegs die gebreekte drade opgespoor en die deursneeoppervlaktevermeerdering noukeurig gemeet is. Op die oppervlaktemeetsein kan die effek van die gebreekte drade net-net gesien word. (Die dubbel pulsies van die 5 en 10 mm breuke is te wyte aan meetstelsel 2.)

Punt G: 16 lae aluminiumfoelie, elk $0,0254 \text{ mm}$ dik, is oor 'n aksiale afstand van 125 mm styf om die tou gewen. Hier was daar ook geen

gesimuleerde gebreekte drade of deursneeoppervlakteverandering nie, en is die effek op die drie meetseine dieselfde as vir B, C en D.

Fig. 11 is die eksperimentele bewys dat 'n metode suksesvol ontwikkel is om deursneeoppervlakteveranderinge en laterale kontakveranderinge tussen die drade van 'n staaltou en gebreekte drade gelyktydig met dieselfde instrument, maar onafhanklik van mekaar, te meet en/of op te spoor.

6. Veldtoetse

Die heel eerste veldtoetse met so 'n eksperimentele tou-toetsstelsel is op ses 200 meter lange Langslagdriehoekbundeltoue op New Denmark koolmyn uitge-

Figuur 12: Veldtoetse op twee geroeste toue.

voer. Die toue het langs mekaar gehang en het tekens van inwendige roes oor dieselfde 90 meter lengtes getoon.

Enkele gebreekte drade kon op die omtrekoppervlaktes van die toue gesien word.

Fig. 12(a) en (b) wys die meetresultate van toue nr. 4 en 5 onderskeidelik.

GD is die gebreektedraadmeetsein.

A is die oppervlaktemeetsein (die polariteit is omgekeerd).

K is die kontakmeetsein.

Die pulse op die vierde meetsein stel 10 meter toulengtes voor.

Roes:

- (i) Roes vreet die drade weg. Mettertyd ontwikkel daar deursneeoppervakveranderinge by roesplekke.
- (ii) Roes self is nie elektries konduktief nie en vorm insulerende lae tussen die drade waar roes die drade weggevreet het. Kontakveranderinge kom dus by roesplekke voor.
- (iii) As die roes erg raak, vorm die roeskepe magnetiese dipole wat op die gebreektedraadmeetsein opgespoor word.

Fig. 12 toon die roes oor die 90 meter toulengtes op al drie

die meetseine duidelik aan.

7. Gevolgtrekking

Die verslag beskryf 'n nuwe metode om gelyktydig en onafhanklik van mekaar die staaldeursneeoppervlakte van mynhystoue en veranderinge in die laterale kontakpatroon tussen die drade van die tou te meet en om met dieselfde instrument gebreekte drade daarin op te spoor.

8. Verwysings

1. Semmelink, A. (Julie 1956). Electromagnetic Testing of Wire Ropes, *Trans. S.A. Inst. Elect. Engrs.*, 208-243.
2. Harvey, T. & Kruger, H. W. (Junie 1959). The Theory and Practice of Electronic Testing of Winding Ropes, *Trans. S.A. Inst. Elect. Engrs.*, 126-180.
3. Otto, A. (1933). Elektromagnetisches Verfahren zur Prüfung von Drahtseiling, *Glückauf*, 69, 471-475.
4. Wall, T. F. & Hainsworth. (1932). The Penetration of Alternating Magnetic Flux in Wire Ropes, *J. Inst. Elect. Engrs. (Brit)*, 71, 374-379.
5. Van der Walt, N. T. (1988). Die Elektromagnetiese Toetsing van Staaltoue met behulp van Permanente Magnete, *D. Ing. Proefskrif, Randse Afrikaanse Universiteit*, 1-200.