

Le risque d'électrocution par contact indirect lors de l'emploi dans la mine d'engins sujets à déplacements Considérations relatives à l'arrêté royal du 5 septembre 1969, article 40

Elektrocutiegevaar door onrechtstreekse aanraking bij het gebruik van aan verplaatsingen onderhevige toestellen in mijnen

Beschouwingen omtrent het koninklijk besluit van 5 september 1969, artikel 40

G. COOLS *

RESUME

La présente note a pour but d'attirer l'attention sur le risque d'électrocution par contact indirect auquel est exposé le personnel lors de l'emploi d'engins sujets à déplacements, risque qui est particulièrement à craindre dans les travaux souterrains et surtout dans les chantiers d'exploitation des mines.

La protection classique vis-à-vis de ce risque consiste généralement dans la mise à la terre et la liaison équipotentielle des masses. Certains accidents collectifs ont mis en lumière les déficiences que ces moyens présentent.

L'auteur tente d'établir, par des considérations théoriques simples, la motivation des précautions complémentaires qui ont été rendues obligatoires par l'arrêté royal du 5 septembre 1969 portant règlement sur l'emploi de l'électricité dans les mines, les minières et les carrières souterraines.

Après quelques considérations relatives à l'influence des courants capacitaires, sont successivement étudiés le cas théorique du défaut d'isolation simple et le cas du défaut d'isolation double. Dans chaque cas sont établies les circonstances dans lesquelles le risque ne peut être écarté par les seules mesures classiques.

La deuxième partie de la note est constituée par des considérations diverses relatives à l'interprétation des

SAMENVATTING

Deze nota heeft voor doel de aandacht te vestigen op het elektrocutiegevaar door onrechtstreekse aanraking waaraan het personeel is blootgesteld bij het gebruik van aan verplaatsingen onderhevige toestellen, gevaar dat speciaal gevreesd wordt in de ondergrondse werken, hoofdzakelijk in de winningplaatsen der mijnen.

De klassieke bescherming tegen dit gevaar bestaat meestal uit de aarding en de equipotentiële verbinding der massa's. Sommige collectieve ongevallen hebben de leemten van deze middelen in 't licht gesteld.

Schrijver tracht, door eenvoudige theoretische beschouwingen, de motivatie van de bijkomende voorzorgsmaatregelen vast te leggen, die opgelegd werden door het koninklijk besluit van 5 september 1969 houdende reglement op het gebruik van de elektriciteit in de mijnen, de graverijen en de ondergrondse groeven.

Na enkele beschouwingen over de invloed van de capacitair stromen worden achtereenvolgens het theoretisch geval van enkelvoudig defect en het geval van dubbel defect bestudeerd. Voor elk geval worden de omstandigheden bepaald in welke het gevaar door de enkele klassieke maatregelen niet kan worden afwendend.

In het tweede gedeelte van de nota worden verscheidene beschouwingen uiteengezet betreffende de inter-

* Inspecteur général des mines honoraire.

* Ere-inspecteur-generaal der mijnen.

nouvelles dispositions réglementaires qui visent à pallier les déficiences signalées, principalement l'article 40 de l'arrêté royal précité.

La note conclut par le rappel succinct des motivations qui ont été développées et des objectifs qui ont été visés par les nouvelles dispositions en question.

INHALTSANGABE

Ziel dieses Aufsatzes ist es, auf die Gefahr tödlicher Unfälle bei der Bedienung ortsveränderlicher Maschinen hinzuweisen, eine Gefahr, die besonders in den Abbaubetrieben untertage gegeben ist. Der übliche Schutz gegen elektrische Schläge besteht in der Regel in der Erdung der Anlagen, doch haben einige Gruppenunfälle die Mängel dieser Art des Schutzes erkennen lassen.

Der Verfasser erläutert die Gründe der Einführung zusätzlicher Schutzmaßnahmen, die aufgrund einer Gesetzesverordnung vom 5.9.1969 in Bergwerken, Tagebaubetrieben und Steinbrücken zwingend vorgeschrieben sind. Nach einigen Betrachtungen über den Einfluß kapazitärer Ströme werden die theoretischen Fälle eines einfachen und doppelten Isolierungsfehlers abgehandelt. In beiden Fällen wird dargelegt, unter welchen Umständen die herkömmlichen Schutzmaßnahmen nicht ausreichen, um jedes Risiko ausschließen.

Im zweiten Teil des Aufsatzes behandelt der Verfasser die neuen gesetzlichen Bestimmungen, die zur Unterbindung dieser Risiken erlassen worden sind, vor allem Artikel 40 der Verordnung.

Abschließend werden noch einmal Gründe und Ziele der neuen Bestimmung zusammengefaßt.

La distinction entre l'électrocution par *contact direct* et l'électrocution par *contact indirect* est fondamentale.

Pour préciser les idées, rappelons que le *contact direct* est par définition le contact entre le corps humain et une pièce qui est normalement sous tension.

On sait que le contact direct avec une phase sous tension est généralement mortel dès qu'il s'agit d'un réseau d'une certaine importance, même si l'isolation

interpretatie van de nieuwe reglementaire bepalingen die het verhelpen van de vermelde leemten beogen, hoofdzakelijk artikel 40 van het voormelde besluit.

De nota besluit met een beknopte herhaling van de motivaties die werden uiteengezet en van de oogmerken die door de nieuwe bepalingen werden nagestreefd.

SUMMARY

The purpose of this report is to draw attention to the risk of electrocution by indirect contact to which the workers are exposed when using machinery that has to be moved ; this risk is particularly to be feared in underground works and especially in working places in the mines.

The orthodox precautions against this risk generally consist of earthing and equipotential linking of the masses. Certain collective accidents have revealed the deficiencies of these methods.

The author tries to establish, by means of simple theoretic considerations, the reasons for the additional precautions which were made compulsory by the royal decree of September 5th 1969 regarding the regulations for the use of electricity in the mines, surface mines and underground quarries.

After some considerations regarding the influence of capacitative currents, the theoretic case of the lack of single insulation and the case of the lack of double insulation are examined in turn. In each case, the circumstances in which the risk cannot be avoided by orthodox methods only are set forth.

The second part of the report consists of various considerations regarding the interpretation of the new regulations which aim at remedying the defects described above, and in particular, article 40 of the royal decree mentioned above.

The report concludes with a succinct reminder of the motives invoked and the aims pursued by these new regulations.

Het onderscheid tussen elektrocitie door *rechtstreekse aanraking* en elektrocitie door *onrechtstreekse aanraking* is van het grootste belang.

Ter verduidelijking herinneren wij eraan dat *rechtstreekse aanraking* per definitie aanraking is tussen het menselijk lichaam en een stuk dat normaal onder spanning staat.

Men weet dat rechtstreekse aanraking van een faze onder spanning meestal dodelijk is van zodra het net tamelijk uitgebreid is, zelfs als de isolatie volmaakt

est parfait, en raison de la capacité qui existe entre les parties sous tension et la masse, particulièrement dans les câbles.

Dans la mine, la protection contre ce risque est exclusivement réalisée par mise hors de portée. Celle-ci se fait généralement par l'emploi d'appareils blindés, dans certains cas par l'emploi d'appareils enfermés, exceptionnellement par éloignement ou interposition d'obstacles comme c'est le cas pour les lignes de contact.

Lorsque ces moyens de protection sont convenablement choisis et réalisés, le risque de contact direct n'est pratiquement plus à envisager que pour les professionnels qui sont chargés de l'entretien des installations. La prévention relève alors surtout du facteur humain.

Le risque d'électrocution par *contact indirect*, par contre, vise le contact du corps humain avec une masse métallique qui est normalement reliée à la terre et qui, par suite d'un défaut, entre en contact avec une pièce qui est normalement sous tension.

Tous les membres du personnel peuvent être exposés à ce risque et la prévention en cette matière relève essentiellement de la technique.

Il existe différentes méthodes de protection vis-à-vis du contact indirect, mais dans les mines on recourt d'une manière générale à la mise à la terre et la liaison équivalente des masses.

A la suite de certaines électrocutions collectives, l'attention a été attirée sur les déficiences que cette méthode de protection peut présenter.

L'objet de la présente note consiste à établir, par des considérations simples, la motivation des précautions complémentaires qui ont été préconisées et qui ont été rendues obligatoires par l'arrêté royal du 5 septembre 1969 portant règlement sur l'emploi de l'électricité dans les mines, les minières et les carrières souterraines.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

Considérons un réseau à courant alternatif triphasé, fonctionnant à la tension U entre phases, selon la définition donnée au règlement, article 6, point 13^o. Si le réseau est monté en étoile, la tension U sera appelée la tension composée, tandis que la tension E entre phase et point neutre sera appelée la tension simple ou tension étoilée. On sait qu'il existe entre ces tensions la relation $U = E \cdot \sqrt{3}$.

La figure 1 représente le diagramme vectoriel des tensions lorsque le réseau est parfaitement isolé.

Soit C_0 la capacité de chacune des trois phases par rapport à la terre. Chacune de ces capacités donne lieu à un courant

$$i_{C_0} = \omega \cdot C_0 \cdot E = 314 C_0 \cdot E$$

is, wegens de capaciteit die er bestaat tussen de spanningvoerende delen en de massa, bijzonder in de kabels.

In mijnen wordt de bescherming tegen dat gevaar uitsluitend tot stand gebracht door deze delen buiten het bereik van personen te plaatsen. Gewoonlijk worden hiervoor gepantserde toestellen gebruikt, in sommige gevallen ingesloten toestellen en uitzonderlijk wordt de bescherming verwezenlijkt door verwijdering of door hindernissen zoals voor de rijdraden.

Wanneer deze beschermingsmiddelen goed gekozen en uitgevoerd worden, bestaat het gevaar voor rechtstreekse aanraking praktisch nog alleen voor de vakmensen die met het onderhoud van de installaties belast zijn. Dan hangt de voorkoming in de eerste plaats van menselijke factoren af.

Elektrocutiegevaar door *onrechtstreekse aanraking* slaat daarentegen op aanraking van het menselijk lichaam met een metalen massa die normaal niet met de aarde verbonden is en door een defect in aanraking komt met een stuk dat normaal onder spanning staat.

Alle personeelsleden staan aan dat gevaar bloot en hier hangt de voorkoming hoofdzakelijk van de techniek af.

Er bestaan verschillende beschermingsmethodes tegen onrechtstreekse aanraking, maar in de mijnen wordt over 't algemeen gebruik gemaakt van de aardverbinding en de equipotentiële verbinding van de massa's.

Sommige collectieve elektrocutes hebben de aandacht gevestigd op de tekortkomingen die deze beschermingsmethode kan vertonen.

In deze nota zullen wij op grond van eenvoudige overwegingen een motivering trachten te geven van de bijkomende voorzorgsmaatregelen die men de jongste tijd aangeprezen heeft en die nu voorgeschreven zijn door het koninklijk besluit van 5 september 1969 houdende reglement op het gebruik van elektriciteit in mijnen, graverijen en ondergrondse groeven.

INLEIDENDE BESCHOUWINGEN

Wij nemen een driefazige wisselstroomnet, werkend met een spanning U tussen de fazen, naar de definitie van artikel 6, punt 13^o van het reglement. Als het net in sterform gemonteerd is, zal de spanning U de samengestelde spanning genoemd worden en de spanning E tussen fase en nulpunt, de enkelvoudige spanning of sterspanning. Men weet dat deze twee spanningen aan de volgende betrekking voldoen : $U = E \cdot \sqrt{3}$.

In figuur 1 is het vectorieel diagram van de spanningen afgebeeld als het net perfect geïsoleerd is.

De capaciteit van elk van de drie fazen t.o.v. de aarde stellen wij voor door C_0 . Elk van deze capaciteiten geeft aanleiding tot een stroom

$$i_{C_0} = \omega \cdot C_0 \cdot E = 314 C_0 \cdot E$$

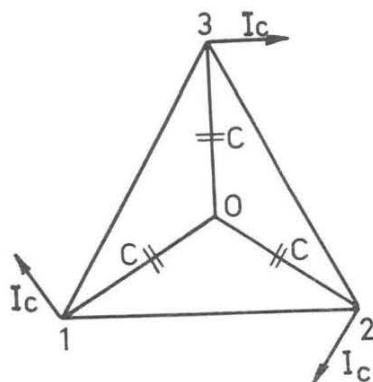


Fig. 1.

Pour $U = 1000$, $E = 578$, $C_0 = 1$ microfarad, on trouve $i_{C_0} = 0,185$ ampère.

Lorsque le réseau est parfait, ces trois courants s'équilibreront et leur résultante est nulle.

En pratique, les réseaux ne sont jamais parfaits. La situation la plus dangereuse se présente lorsque le déséquilibre est maximum, c'est-à-dire lorsqu'une phase est en contact franc avec la masse ou la terre.

La figure 2 représente ce que devient le diagramme vectoriel des tensions lorsque la phase 1 est en contact franc avec la terre. Dans ce cas, les phases 2 et 3 sont portées à la tension composée de 1.000 volts par rapport à la terre. Les capacités qui interviennent en cas d'électrocution sont maintenant celles des phases 2 et 3 par rapport à la phase 1 et la terre. Il s'établit donc deux courants capacitaires vers la terre, décalés l'un par rapport à l'autre de 120° . Chacun de ces courants vaut pour une capacité $C = 1$ microfarad :

$$i_c = \omega \cdot C \cdot U = 314 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} = 0,314 \text{ ampère.}$$

La composante vectorielle de ces deux courants vaut donc : $I_c = 0,314 \cdot 1,73 = 0,543$ ampères.

Cette résultante est le courant capacitaires homopolaire maximum qui peut s'établir dans le réseau considéré.

La capacité par rapport à la terre des réseaux de mine n'excède généralement pas 10 microfarads par phase. Le courant capacitaires homopolaire ne dépassera donc pas, dans les circonstances les plus défavorables, 5,43 ampères. Ce courant capacitaires, qui est aussi le courant de défaut, doit pouvoir s'écouler vers la terre sans que les masses atteignent un potentiel dangereux au point de vue de l'électrocution.

En conséquence, et si nous admettons 25 volts comme potentiel maximum admissible pour les masses, la mise à la terre par laquelle s'écoulera le courant de défaut ne pourra jamais avoir une résistance supérieure à $25 : 5,43 = 4,6$ ohms.

Pour les réseaux fonctionnant à la tension composée de 500 volts, cette limite pourra évidemment être doublée, soit 9,2 ohms.

Avec une mise à la terre de mauvaise qualité, il existera donc un risque d'électrocution par contact

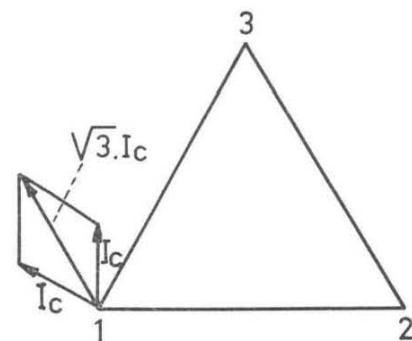


Fig. 2.

Voor $U = 1000$, $E = 578$, $C_0 = 1$ microfarad, vindt men $i_{C_0} = 0,185$ ampère.

Als het net volmaakt is, zijn deze drie stromen in evenwicht en is hun resultante gelijk aan nul.

In de praktijk zijn de netten nooit volmaakt. De gevaarlijkste toestand doet zich voor als het onevenwicht het grootst is, d.w.z. als een faze in vol contact staat met de massa of de aarde.

In figuur 2 is aangeduid hoe het vectorieel diagram van de spanningen er gaat uitzien als faze 1 in vol contact staat met de aarde. In dat geval worden de fazen 2 en 3 op de samengestelde spanning van 1.000 volt t.o.v. de aarde gebracht. De capaciteiten die in geval van elektrocutie optreden zijn nu die van de fazen 2 en 3 t.o.v. faze 1 en de aarde. Bijgevolg ontstaan er twee capacitaires stromen naar de aarde, die 120° van elkaar verschoven zijn. Voor een capaciteit $C = 1$ microfarad bedraagt elk van deze stromen :

$$i_c = \omega \cdot C \cdot U = 314 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} = 0,314 \text{ ampère.}$$

De vectoriële component van deze twee stromen bedraagt dus $I_c = 0,314 \cdot 1,73 = 0,543$ ampère.

Deze resultante is de hoogste homopolaire capacitaires stroom die zich in het beschouwde net kan voordoen.

De capaciteit van de netten in mijnen t.o.v. de aarde bedraagt gewoonlijk niet meer dan 10 microfarad per faze. Onder de meest ongunstige omstandigheden zal de homopolaire capacitaires stroom dus niet meer dan 5,43 ampère bedragen, als er geen weerstandsverliezen zijn. Deze capacitaires stroom, die ook de defectstroom is, moet naar de aarde kunnen afvloeien zonder dat de massa's een potentieel opdoen dat elektrocutiegevaar oplevert.

Als wij voor de massa's een spanning van 25 volt als het hoogste aanvaardbare potentieel beschouwen, zal de aardverbinding waardoor defectstroom afvloeit bijgevolg nooit een weerstand van meer dan $25 : 5,43 = 4,60$ ohm mogen hebben.

Voor netten die op een samengestelde spanning van 500 volt werken, zal deze grens natuurlijk mogen verdubbeld worden, d.w.z. 9,2 ohm.

Met een aardverbinding van slechte kwaliteit zal er dus elektrocutiegevaar door onrechtstreekse aanraking

indirect. Lorsque la résistance de la mise à la terre devient infinie, on est évidemment ramené au cas de l'électrocution par contact direct.

LE DEFAUT D'ISOLEMENT SIMPLE

On dit que le réseau est affecté d'un défaut d'isolation simple lorsque l'une des trois phases est affectée d'un défaut d'isolation par rapport à la terre, tandis que les deux autres phases sont en bon état.

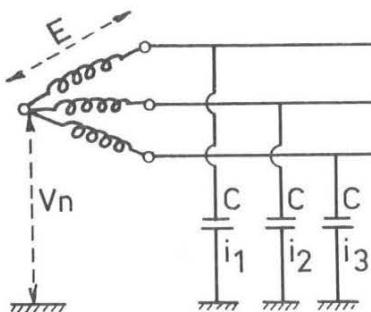


Fig. 3.

A la figure 3 ce défaut est représenté par la résistance R_d , consistant en un contact impédant entre la phase 1 et une masse M , dont la mise à la terre présente une résistance R_t .

Une personne entrant en contact avec la masse M est représentée par la résistance R_h .

Le potentiel par rapport à la terre de la phase en défaut s'établira à une valeur inférieure à celle de la tension étoilée. Nous nous proposons de calculer ce potentiel en fonction des résistances R_d , R_t et R_h et la capacité du réseau. On peut alors en déduire le potentiel auquel sera portée la masse M et fixer, pour diverses situations, la valeur de R_t qui ne pourra pas être dépassée.

Les symboles utilisés pour ce calcul ont la signification suivante :

U : la tension entre phases ou tension composée,

E : la tension simple ou tension étoilée,

V_1 , V_2 et V_3 : les potentiels par rapport à la terre respectivement des phases 1, 2 et 3,

V_n : le potentiel par rapport à la terre du point neutre,

V_M : le potentiel par rapport à la terre de la masse M ,

ω : la pulsation = 314,

C : la capacité d'une phase par rapport à la terre, i_1 , i_2 , i_3 : les courants capacitaires de chacune des trois phases vers la terre,

i_d : le courant de défaut,

i_t : le courant passant par la résistance de la mise à la terre,

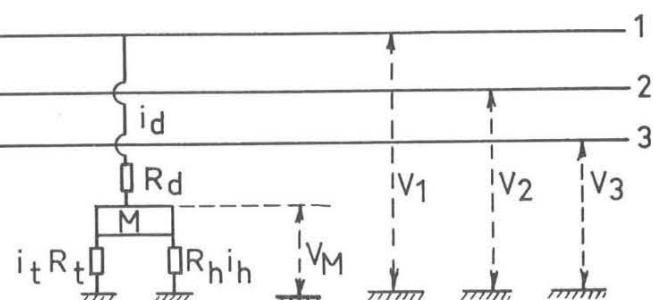
i_h : le courant passant par la personne qui entre en contact avec la masse M ,

R_d : la résistance de défaut,

zijn. Als de weerstand van de aardverbinding oneindig groot wordt, komt men natuurlijk terug tot het geval van elektrocutie door rechtstreekse aanraking.

ENKELVOUDIG ISOLATIEDEFECT

Men zegt dat een net een enkelvoudig isolatiedefect vertoont, als één van de drie fazen één isolatiedefect t.o.v. de aarde vertoont en de twee overige fazen in goede staat zijn.



In figuur 3 wordt dat defect voorgesteld door de weerstand R_d bestaande in een impedante contact tussen fase 1 en een massa M , waarvan de aardverbinding een weerstand R_t heeft.

Een persoon die met de massa M in aanraking komt, wordt voorgesteld door de weerstand R_h .

Het potentieel van de defecte faze t.o.v. de aarde zal kleiner zijn dan de sterspanning. Wij zullen dat potentieel berekenen in functie van de weerstanden R_d , R_t en R_h en van de capaciteit van het net. Dan kan men het potentieel waarop de massa M zal gebracht worden eruit afleiden en voor verschillende toestanden de waarde van R_t bepalen die niet zal mogen overschreden worden.

De symbolen die bij deze berekening gebruikt worden, hebben de volgende betekenis :

U : de spanning tussen fazen of samengestelde spanning,

E : de enkelvoudige spanning of sterspanning,

V_1 , V_2 en V_3 : de potentiëlen van de fazen 1, 2 en 3 t.o.v. de aarde,

V_n : het potentieel van het nulpunt t.o.v. de aarde,

V_M : het potentieel van de massa M t.o.v. de aarde,

ω : de pulsatie = 314,

C : de capaciteit van een faze t.o.v. de aarde,

i_1 , i_2 , i_3 : de capacitair stromen van elk van de drie fazen naar de aarde,

i_d : de defectstroom,

i_t : de stroom die door de weerstand van de aardverbinding gaat,

i_h : de stroom die door de persoon gaat die met de massa M in aanraking komt,

R_d : de defectweerstand,

R_t : la résistance de la mise à la terre,
 R_h : la résistance de la personne précitée,
 R_c : la résistance combinée de R_t et R_h ,
 R : la résistance combinée de R_d , R_t et R_h ,
 j : le symbole imaginaire,
 α : l'opérateur indiquant le décalage de 120° des forces électromotrices dans les trois phases.

On peut écrire les relations suivantes entre ces éléments :

D'après la loi de Kirchhoff, le point neutre étant parfaitement isolé :

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_d = 0$$

ou

$$V_1 \cdot j \cdot \omega \cdot C + V_2 \cdot j \cdot \omega \cdot C + V_3 \cdot j \cdot \omega \cdot C + \frac{V_1}{R} = 0$$

ou

$$(V_1 + V_2 + V_3) \cdot j \cdot \omega \cdot C + \frac{V_1}{R} = 0$$

Or

$$V_1 = V_n + E; V_2 = V_n + \alpha \cdot E; V_3 = V_n + \alpha^2 \cdot E$$

En remplaçant V_1 , V_2 et V_3 par leurs valeurs, nous obtenons :

$$3 V_n \cdot j \cdot \omega \cdot C + \frac{V_1}{R} = 0$$

compte tenu de ce que $1 + \alpha + \alpha^2 = 0$.

$$\text{Or } V_n = V_1 - E = V_1 - \frac{U}{\sqrt{3}}$$

En remplaçant V_n par cette valeur :

$$3 V_1 \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot R - \sqrt{3} \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot R \cdot U + V_1 = 0$$

d'où nous tirons V_1 :

$$V_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot \omega \cdot C \cdot R \cdot U}{\sqrt{1 + 9 \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}}$$

Par ailleurs, nous avons les relations suivantes entre les résistances :

$$R = R_d + R_c = R_d + \frac{R_t \cdot R_h}{R_t + R_h}$$

Enfin le potentiel de la masse M sera :

$$V_M = V_1 \cdot \frac{R_c}{R_c + R_d}$$

Le courant de défaut s'élèvera à :

$$i_d = \frac{V_1}{R}$$

Le courant traversant la personne s'élèvera à :

$$i_h = \frac{V_M}{R_h}$$

R_t : de weerstand van de aardverbinding,
 R_h : de weerstand van voornoemde persoon,
 R_c : de samengestelde weerstand van R_t en R_h ,
 R : de samengestelde weerstand van R_d , R_t en R_h ,
 j : het imaginair symbool,
 α : de operator die de verschuiving van 120° van de elektromotorische krachten in de drie fazen voorstelt.

Deze elementen voldoen aan de volgende betrekkingen :

Volgens de wet van Kirchhoff, als het nulpunt perfect geïsoleerd is :

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_d = 0$$

of

$$V_1 \cdot j \cdot \omega \cdot C + V_2 \cdot j \cdot \omega \cdot C + V_3 \cdot j \cdot \omega \cdot C + \frac{V_1}{R} = 0$$

of

$$(V_1 + V_2 + V_3) \cdot j \cdot \omega \cdot C + \frac{V_1}{R} = 0$$

Nu is

$$V_1 = V_n + E; V_2 = V_n + \alpha \cdot E; V_3 = V_n + \alpha^2 \cdot E$$

Als we V_1 , V_2 en V_3 door hun waarde vervangen, bekomen we :

$$3 V_n \cdot j \cdot \omega \cdot C + \frac{V_1}{R} = 0$$

aangezien $1 + \alpha + \alpha^2 = 0$.

$$\text{Nu is } V_n = V_1 - E = V_1 - \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Als we V_n door deze waarde vervangen :

$$3 V_1 \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot R - \sqrt{3} \cdot j \cdot \omega \cdot C \cdot R \cdot U + V_1 = 0$$

waaruit we V_1 halen :

$$V_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot \omega \cdot C \cdot R \cdot U}{\sqrt{1 + 9 \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}}$$

Van de andere kant hebben we de volgende betrekkingen tussen de weerstanden :

$$R = R_d + R_c = R_d + \frac{R_t \cdot R_h}{R_t + R_h}$$

Ten slotte zal het potentieel van de massa M gelijk zijn aan :

$$V_M = V_1 \cdot \frac{R_c}{R_c + R_d}$$

De defectstroom zal gelijk zijn aan :

$$i_d = \frac{V_1}{R}$$

De stroom die door de persoon gaat zal gelijk zijn aan :

$$i_h = \frac{V_M}{R_h}$$

Supposant $U = 1.000$ volts, $E = 578$ volts, $C = 10$ microfarads et $R_h = 1.000$ ohms, nous avons calculé les éléments du circuit considéré dans les situations caractéristiques suivantes :

- 1) celle qui correspond à un défaut simple de l'ordre de 20 ohms par volt, soit 20.000 ohms, d'abord avec $R_t = 1.000$, ensuite avec R_t infini;
- 2) celle qui correspond à un défaut simple grave de l'ordre de 1 ohm par volt, soit 1.000 ohms;
- 3) celle qui correspond à un défaut simple grave de l'ordre de 0,2 ohm par volt, soit 200 ohms;
- 4) celle qui correspond à un défaut simple franc, la résistance R_t de la mise à la terre s'élevant à 10 ohms;
- 5) enfin celle qui correspond à un défaut simple franc, le courant i_h traversant la personne s'élevant à 25 milliampères.

Les résultats de ces calculs figurent au tableau I.

Avant de passer à la discussion de ces résultats, nous formulons les deux remarques suivantes :

1°) Nous rappelons que le tableau est dressé pour un réseau fonctionnant à la tension composée de 1.000 volts. Pour d'autres tensions, il est nécessaire de refaire les calculs, mais si l'on multiplie les valeurs de R_d et R_t par le rapport des tensions $U/1000$, on obtiendra pour i_h des valeurs très proches de celles qui figurent au tableau.

In de veronderstelling dat $U = 1.000$ volt, $E = 578$ volt, $C = 10$ microfarad en $R_h = 1.000$ ohm, hebben we de gegevens van de stroomkring berekend voor de volgende karakteristieke toestanden :

- 1) die overeenstemmend met een enkelvoudig defect van nagenoeg 20 ohm per volt, d.i. 20.000 ohm, eerst met $R_t = 1.000$ en vervolgens met R_t oneindig groot;
- 2) die overeenstemmend met een zwaar enkelvoudig defect van nagenoeg 1 ohm per volt, d.i. 1.000 ohm;
- 3) die overeenstemmend met een zwaar enkelvoudig defect van nagenoeg 0,2 ohm per volt, d.i. 200 ohm;
- 4) die overeenstemmend met een vol enkelvoudig defect en met een weerstand $R_t = 10$ ohm voor de aardverbinding;
- 5) ten slotte die overeenstemmend met een vol enkelvoudig defect en met een stroom van $i_h = 25$ milliampère door de persoon.

Alvorens met de bespreking van deze uitslagen te beginnen, wensen we twee opmerkingen te maken :

1°) Wij herinneren eraan dat de tabel gemaakt is voor een net dat werkt op een samengestelde spanning van 1.000 volt. Voor andere spanningen moeten de berekeningen opnieuw gemaakt worden, maar als men de waarden van R_d en R_t vermenigvuldigt met de verhouding van de spanningen $U/1.000$, zal men voor i_h waarden bekomen die zeer dicht bij die van de tabel gelegen zijn.

TABLEAU I
TABEL I

	R_d ohms	R_t ohms	R_e ohms	R ohms	V_1 volts	i_d ampères	V_M volts	i_h ampères
1	20.000	1.000	500	20.500	577	0,0282	14,1	0,0141
	20.000	infini	1.000	21.000	577	0,0275	27,5	0,0275
		oneindig						
2	1.000	45	43,1	1.043	573	0,55	24	0,024
3	200	10	9,9	209,9	516	2,46	24,4	0,024
4	0	10	9,9	9,9	54	5,4	54	0,054
5	0	4,6	4,6	4,6	25	5,4	25	0,025

2°) Les résultats qui figurent au tableau sont obtenus dans l'hypothèse où le courant de défaut se boucle entièrement par la terre. En pratique, le bouclage se fera non seulement par la terre, mais aussi par le circuit de liaison équivalente des masses. Compte tenu de ce que les valeurs de R_t qui figurent au tableau correspondent à une mise à la terre locale, proche de la masse M , il est à noter que le courant i_h sera d'autant plus grand que la résistance du bouclage par la liaison équivalente des masses est grande et que la résistance de la mise à la terre générale ou

2°) De uitslagen die in de tabel voorkomen, zijn verkregen in de veronderstelling dat de defectstroom volledig gesloten wordt via de aarde. In de praktijk gebeurt dat niet alleen via de aarde, maar ook via de kring van de equipotentiële verbinding van de massa's. Indien de in tabel vermelde waarden van R_t beantwoorden aan een plaatselijke aardverbinding dicht bij de massa M , dient te worden opgemerkt dat de stroom i_h des te groter zal zijn naarmate de weerstand van de kring via de equipotentiële verbinding van de massa's groter en de weerstand van de algemene aard-

des mises à la terre lointaines sera faible. Les valeurs de i_h figurant au tableau sont donc des valeurs maximales qui ne seront généralement pas atteintes, mais les facteurs qui sont de nature à réduire i_h sont trop variables pour qu'il soit possible d'en tenir compte sans nuire à la sécurité.

Ces remarques étant faites, nous pouvons tirer du tableau ci-dessus les constatations suivantes :

1^o) En cas de défaut simple de l'ordre de 20 ohms par volt, il n'y aura pas de risque d'électrocution, même si la mise à la terre est presque totalement défaillante.

Ce cas correspond à la situation d'un réseau qui serait équipé d'un contrôleur d'isolement satisfaisant au troisième alinéa de l'article 40 du nouveau règlement.

Cette nouvelle disposition assure donc, pour les réseaux alimentant, en régime normal, des appareils mobiles ou des appareils situés en taille, la double sécurité conformément au principe généralement appliqué en matière de travaux miniers.

2^o) En cas de défaut simple grave de l'ordre de 1 ohm par volt, une mise à la terre est nécessaire, mais si celle-ci était médiocre il n'y aurait pas risque d'électrocution à condition que sa résistance soit inférieure à 45 ohms.

Ce cas correspond à la situation d'un réseau dont le contrôleur d'isolement serait hors service. L'achèvement du poste de travail sera autorisé, si le réseau est équipé d'un dispositif réagissant sur défaut simple grave, conformément aux alinéas 4 et 5 de l'article 40 précité. Si ce dispositif a une sensibilité de l'ordre de 1 ohm par volt, la sécurité sera assurée tant que la résistance de mise à la terre ne dépasse pas 45 ohms.

3^o) En cas de défaut simple grave de l'ordre de 0,2 ohm par volt, une mise à la terre conforme au code de bonne pratique est nécessaire.

Ce cas ne diffère pas fondamentalement du précédent, mais ici la sensibilité du dispositif en question est de l'ordre de 0,2 ohm par volt. La sécurité sera néanmoins assurée si la résistance de la mise à la terre n'excède pas 10 ohms.

4^o) En cas de contact franc d'une phase à la masse, le risque ne pourra être évité que s'il existe une bonne mise à la terre, d'une résistance inférieure à 4,6 ohms.

Ce cas ne peut pas se présenter lorsque le réseau est équipé d'un dispositif réagissant sur défaut simple grave, mais il doit être prévu lorsqu'il s'agit d'un réseau équipé d'un dispositif réagissant seulement sur défaut double. La mise à la terre doit en pareil cas faire l'objet d'une attention toute spéciale. C'est le motif pour lequel la préférence devrait être accordée au dispositif réagissant sur défaut simple plutôt qu'à

verbinding ou van de verre aardverbindingen kleiner is. De in de tabel vermelde waarden van i_h zijn dus maximumwaarden die gewoonlijk niet zullen bereikt worden, maar de factoren die i_h zouden kunnen verlagen zijn te veranderlijk om er rekening te kunnen mee houden zonder de veiligheid in het gedrang te brengen.

Nu deze opmerkingen gemaakt zijn, kunnen wij aan de hand van bovenstaande tabel de volgende vaststellingen doen :

1^o) Bij een enkelvoudig defect van nagenoeg 20 ohm per volt zal er geen elektrocutiegevaar zijn, zelfs niet als de aardverbinding haast totaal onvoldoende is.

Dit geval doet zich voor als het net uitgerust is met een inrichting voor controle op de isolatie die aan het derde lid van artikel 40 van het nieuwe reglement voldoet.

Voor netten die in normaal regime beweegbare of in pijlers geplaatste toestellen voeden, zorgt deze nieuwe bepaling dus voor de dubbele veiligheid volgens het beginsel dat voor mijnwerken algemeen toegepast wordt.

2^o) Bij een zwaar enkelvoudig defect van nagenoeg 1 ohm per volt is er een aardverbinding nodig, maar zelfs als deze tamelijk slecht moet zijn, zou er toch geen elektrocutiegevaar zijn, op voorwaarde dat haar weerstand geen 45 ohm overtreft.

Dit geval doet zich voor als de inrichting voor controle op de isolatie van een net buiten gebruik is. Volgens het vierde en het vijfde lid van voormeld artikel 40 mag de arbeidsdienst voltooid worden indien het net uitgerust is met een inrichting die op een zwaar enkelvoudig defect reageert. Als deze inrichting een gevoeligheid van nagenoeg 1 ohm per volt heeft, zal de veiligheid verzekerd zijn zolang de weerstand van de aardverbinding niet meer dan 45 ohm bedraagt.

3^o) Bij een zwaar enkelvoudig defect van nagenoeg 0,2 ohm per volt is er een aardverbinding nodig die aan de voorschriften van een goede praktijk beantwoordt.

Dit geval verschilt niet fundamenteel van het voorgaande, maar nu moet de bewuste inrichting een gevoeligheid van nagenoeg 0,2 ohm per volt hebben. De veiligheid zal verzekerd zijn indien de weerstand van de aardverbinding niet meer dan 10 ohm bedraagt.

4^o) Bij een vol contact tussen een faze en de massa zal het gevaar slechts kunnen vermeden worden indien er een goede aardverbinding met een weerstand van minder dan 4,6 ohm is.

Als het net uitgerust is met een inrichting die op een zwaar enkelvoudig defect reageert, kan dit geval zich niet voordoen, maar als het net uitgerust is met een inrichting die alleen op een dubbel defect reageert, kan het zich wel voordoen. In zo'n geval moet dus aan de aardverbinding een bijzondere aandacht besteed worden. Daarom zou de voorkeur moeten gegeven worden aan een inrichting die op een enkelvoudig

celui réagissant sur défaut double, du moins lorsque le risque de court-circuit impédant est réduit, par exemple par l'emploi d'écrans individuels dans la composition des câbles souples.

LE DEFAUT D'ISOLEMENT DOUBLE

La figure 4 représente le schéma d'un réseau qui serait affecté de deux défauts d'isolation R'_d et R''_d , sur des phases différentes, respectivement les phases 2 et 3.

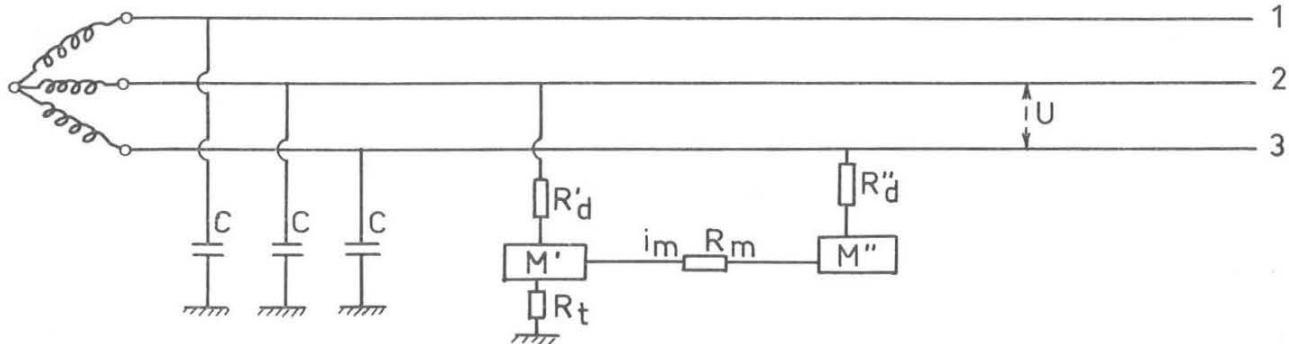


Fig. 4.

L'éventualité la plus dangereuse est celle où une personne entre en contact avec une masse M'' qui serait elle-même en contact franc avec une phase. Nous posons donc $R''_d = 0$.

Considérons d'abord le défaut double impédant, la résistance R'_d étant égale à 1.000 ohms.

La situation sera d'autant plus dangereuse que la mise à la terre de la masse M' sera meilleure. Nous posons donc $R_t = 0$. La masse M' sera dans ce cas fixée au potentiel de la terre.

La phase 2 sera pratiquement à la tension de 1.000 volts par rapport à la terre.

Le conducteur assurant la liaison équipotentielle de masses M' et M'' sera parcouru par un courant d'environ 1 ampère. Si la résistance R_m de ce conducteur s'élève par exemple à 5 ohms, la masse M'' sera portée au potentiel de 5 volts par rapport à la terre.

Par contre, si le défaut R'_d tombe à 200 ohms, le courant s'élèvera à environ 5 ampères et le potentiel de la masse M'' s'élèvera à environ 25 volts.

Mais si le défaut R'_d devient encore plus grave, le potentiel de la masse M'' s'élèvera au-delà de 25 volts et le risque apparaîtra, à moins que la résistance R_m de la liaison équipotentielle ne soit améliorée. Cette résistance joue donc, dans ce cas, un rôle très important; elle doit être aussi faible que possible. Par contre, la résistance de la mise à la terre ne joue pas un grand rôle ici et son amélioration serait, dans le cas présent, plutôt nuisible.

defect reageert en niet aan een inrichting die slechts op een dubbel defect reageert, althans wanneer het gevaar voor impedante kortsluitingen gering is, bv. door het gebruik van individuele schermen bij de samenstelling van de soepele kabels.

DUBBEL ISOLATIEDEFECT

Figuur 4 stelt een net voor met twee isolatiedefecten R'_d en R''_d op twee verschillende fazen.

De mogelijkheid die het grootste gevaar oplevert is dat een persoon in aanraking komt met een massa M'' die zelf in vol contact is met een fase. Wij stellen dus $R''_d = 0$.

Wij zullen vooreerst het impedant dubbel defect onder ogen nemen, met weerstand $R'_d = 1.000$ ohm.

De toestand zal des te gevaarlijker zijn naarmate de aardverbinding van de massa M' beter is. Bijgevolg stellen we $R_t = 0$. In dat geval zal de massa M' gevestigd blijven op het potentieel van de aarde.

Fase 2 zal praktisch een spanning van 1.000 volt hebben t.o.v. de aarde.

Door de geleider die de equipotentiële verbinding van de massa's tot stand brengt, zal een stroom van ongeveer 1 ampère passeren. Als de weerstand R_m van deze geleider bv. 5 ohm bedraagt, zal de massa M'' op een potentieel van 5 volt t.o.v. de aarde gebracht worden.

Indien het defect R'_d tot 200 ohm daalt, zal de stroom daarentegen tot ongeveer 5 ampère oplopen en zal het potentieel van de massa M'' ongeveer 25 volt bedragen.

Maar als het defect R'_d nog erger wordt, zal het potentieel van de massa M'' boven 25 volt stijgen en zal er gevaar ontstaan, tenzij de weerstand R_m van de equipotentiële verbinding van de massa's verhoogd wordt. Deze weerstand speelt in dit geval dus een zeer belangrijke rol; hij moet zo klein mogelijk zijn. De weerstand van de aardverbinding daarentegen speelt hier geen grote rol en een verbetering van deze verbinding zou in het beschouwde geval eerder schadelijk zijn.

Considérons enfin le cas où les deux défauts sont francs ($R'_d = R''_d = 0$).

Si la mise à la terre de la masse M' est parfaite ($R_t = 0$), la phase 2 se mettra au potentiel de la terre, tandis que le potentiel de la phase 3 et de la masse M' s'établira à 1.000 volts. Deux éventualités peuvent alors se présenter :

a) Ou bien la résistance du conducteur de liaison des masses est faible, inférieure à 1 ohm.

Dans ce cas, le courant qui circule dans la boucle s'élève à 1.000 ampères et la coupure sera réalisée par le dispositif de protection ampèremétrique du réseau (disjoncteur, contacteur ou fusible). On peut alors espérer que l'incident se terminera sans qu'il y ait de suites mortelles, mais ceci n'est pas absolument sûr. En outre, on n'est pas à l'abri d'un réenclenchement, bien sûr suivi d'une coupure rapide, mais un certain risque aura de nouveau existé.

b) Ou bien la résistance du conducteur de liaison des masses est élevée, par exemple 10 ohms.

Dans ce cas, le courant qui circule dans la boucle s'élève à 100 ampères. Il est pratiquement certain que la coupure ne sera pas réalisée par le dispositif de protection ampèremétrique. Des suites fatales ne pourront être évitées que si le réseau est équipé d'un dispositif assurant la coupure rapide du courant lorsque se produit un défaut double impédant ou, mieux encore, dès l'apparition du premier défaut grave.

Le danger d'électrocution en cas de défaut double impédant a été tragiquement illustré dans notre pays par deux accidents collectifs survenus en 1958 et 1960. Dans les deux cas, l'équipement métallique de la taille entière (convoyeur blindé, soutènement métallique, etc.) a été porté à une tension voisine de la tension composée de 550 volts sur 100 ou 250 m de longueur respectivement, mettant en danger de mort plusieurs dizaines de personnes. Il y eut plusieurs blessés et, dans chaque cas, trois morts.

Dans le premier cas, les deux défauts se sont probablement produits simultanément. L'un de ces défauts, dû au fauchage de la boîte à bornes du moteur inférieur du convoyeur blindé, mettait le convoyeur en contact franc avec une phase. L'autre défaut était dû au claquage de l'enroulement du moteur du panzer répartiteur situé dans la voie de base du chantier. Mis à part une faible réactance, ce défaut était pratiquement aussi franc.

La liaison équipotentielle des masses était interrompue par suite du vol d'un conducteur en cuivre nu. Un courant de défaut a tout de même pu s'établir par une terre locale de 9,5 ohms et la terre générale de 0,35 ohm. Sa valeur atteignait au maximum $550/9,85 = 56$ ampères, ce qui était insuffisant pour déclencher la protection ampèremétrique. Il a été démontré que, dans

Ten slotte nemen we het geval van twee volle defecten onder ogen ($R'_d = R''_d = 0$).

Als de aardverbinding van de massa M' perfect is ($R_t = 0$), zal fase 2 het potentieel van de aarde hebben en zal het potentieel van fase 3 en van de massa M' op 1.000 volt komen te staan. Dan kunnen zich twee mogelijkheden voordoen :

a) Ofwel is de weerstand van de geleider die de massa's verbindt gering, minder van 1 ohm.

In dit geval zal de stroom tot 1.000 ampère oplopen en zal de uitschakeling door de ampèremetrische beschermingsinrichting van het net (lastschakelaar, contactschakelaar of smeltzekering) tot stand gebracht worden.

Men kan dan hopen dat het incident geen dodelijke afloop zal hebben, maar dit is niet volstrekt zeker.

Bovendien is men niet beveiligd tegen een wederinschakeling, weliswaar gevuld door een snelle uitschakeling, maar toch zal opnieuw enig gevaar bestaan hebben.

b) Ofwel is de weerstand van de geleider die de massa's verbind groot, bv. 10 ohm.

In dit geval bedraagt de stroom die door de kring gaat 100 ampère en het staat praktisch vast dat de ampèremetrische inrichting niet zal uitgeschakeld worden. Een noodlottige afloop zal slechts kunnen vermieden worden indien het net uitgerust is met een inrichting die de stroom snel uitschakelt als zich een impediment dubbel defect voordeet of, nog beter, zodra een eerste zwaar defect ontstaat.

Het elektrocutiegevaar bij impediment dubbel defect werd in ons land op tragische wijze geïllustreerd door twee collectieve ongevallen die zich in 1958 en in 1960 hebben voorgedaan. In beide gevallen werd de metalen uitrusting van de hele pijler (pantsertransporteur, ijzeren ondersteuning, enz.) over een lengte van onderscheidenlijk 100 en 250 m onder een spanning gezet die de samengestelde spanning van 550 volt benaderde, waardoor verscheidene tientallen personen in levensgevaar verkeerden. Er waren verscheidene gewetsten en bij ieder ongeval drie doden.

In het eerste geval hebben de twee defecten zich vermoedelijk gelijktijdig voorgedaan. Eén van deze defecten, door het wegrukken van de klemmendoos van de onderste motor van de pantsertransporteur veroorzaakt, bracht de transporteur in vol contact met een faze. Het tweede defect was te wijten aan het doorslaan van de wikkeling van de motor van de verdeeltransporteur in de voetgalerij van de werkplaats. Dit defect was praktisch al even vol als het eerste, een lichte reactantie niet te na gesproken.

De equipotentiële verbinding van de massa's was onderbroken omdat een blanke koperen geleider gestolen was. Toch is een defectstroom kunnen tot stand komen via een plaatselijke aardverbinding van 9,5 ohm en de algemene aardverbinding van 0,35 ohm. Deze stroom had een waarde van ten hoogste $550/9,85 = 56$ ampère,

les circonstances qui existaient lors de cet accident, l'électrocution aurait été encore possible, même si la liaison équivalente des masses n'avait pas été interrompue (1). Il est pratiquement certain que cet accident n'aurait pas eu de suites fatales si le réseau avait été équipé comme l'impose actuellement l'article 40 du règlement. Il va de soi que, souvent sur le conseil de l'Administration, les exploitants n'ont dans la plupart des cas pas attendu la parution du nouveau règlement pour munir les réseaux d'équipements de ce genre (2).

Dans le deuxième cas, il s'est écoulé une certaine durée entre l'apparition des deux défauts. Le premier défaut consistait en un contact franc entre des fils d'écran et une phase, par suite du coincement d'un câble souple. Le second défaut a été causé par le frottement d'un corps métallique contre un câble souple; après destruction de l'écran métallique sur une surface de quelques centimètres carrés, ce corps, qui était en contact avec le convoyeur blindé de taille, est entré en contact avec une autre phase sans qu'il y ait encore contact avec l'écran. Le courant de défaut n'atteignit que 8 ampères environ, de sorte que la protection ampèremétrique ne pouvait pas intervenir. Il existait un contrôleur d'isolement fonctionnant en alerte, mais il était accidentellement hors service par suite d'une avarie due à une surintensité causée par une traction excessive du câble d'alimentation sur les bornes d'entrée et absence de fusibles. Si l'appareil avait été convenablement protégé et si l'alerte avait fonctionné, non seulement en cas de défaut d'isolement, mais aussi en cas de disparition du courant de mesure de l'isolement, il est très probable que des suites fatales auraient été évitées.

Ce second accident a aussi mis en lumière l'incapacité de l'écran en fils de cuivre fins de remplir sa mission. Il existe d'ailleurs une nette tendance vers l'emploi d'écrans individuels en fils de cuivre forts, remplissant en même temps la fonction de conducteur de masse.

Enfin, signalons que, dans les deux cas, la troisième victime a été atteinte après coup, c'est-à-dire après l'arrêt et la remise en marche des installations. Les dispositifs de protection doivent par conséquent être conçus de manière que l'enclenchement intempestif sur défaut grave soit impossible.

(1) Voir à ce sujet R. Fradcourt et J. Laret : Etude d'un accident d'électrocution dans une taille mécanisée d'un charbonnage, *Annales des Mines de Belgique*, février 1960.

(2) Voir à ce sujet G. Cools : La protection des réseaux électriques installés dans les travaux souterrains des mines contre les risques d'électrocution, d'incendie et d'inflammation de grisou, *Annales des Mines de Belgique*, février 1960.

wat onvoldoende was om de ampèremetrische bescherming in werking te stellen.

Men heeft bewezen dat de elektrocutie, onder de toen bestaande omstandigheden, toch nog mogelijk zou geweest zijn, zelfs als de equipotentiële verbinding van de massa's niet onderbroken geweest was (1).

Het is praktisch zeker dat dit ongeval geen noodlottige afloop zou gehad hebben indien het net uitgerust geweest was met een toestel voor controle op de isolatie met snelle automatische uitschakeling in geval van zwaar defect, zoals artikel 40 van het reglement nu voorschrijft. Vanzelfsprekend hebben de meeste exploitanten, dikwijls op aanraden van de Administratie, niet gewacht tot het nieuwe reglement verschenen is, om de netten met soortgelijke toestellen uit te rusten (2).

In het tweede geval is tussen het ontstaan van de twee defecten enige tijd verlopen. Het eerste defect bestond in een vol contact tussen schermdraden en een faze, in een kabel die geklemd geraakt was.

Het tweede defect was veroorzaakt door het wrijven van een metalen voorwerp tegen een kabel; nadat het metalen scherm over een oppervlakte van enkele vierkante centimeter vernield was, is dat voorwerp, dat met de pantsertransporteur van de pijler in contact was, in contact gekomen met een andere faze zonder dat er nog contact was met het scherm. De defectstroom bedroeg slechts \pm 8 ampère, zodat de ampèremetrische bescherming niet kon werken. Er was een alarminrichting voor controle op de isolatie, maar zij was toevallig buiten dienst ingevolge een beschadiging door overintensiteit, die aan een overdreven trek van de voedingskabel op de ingangsklemmen en de afwezigheid van smeltzekeringen te wijten was. Indien het toestel behoorlijk beschermd geweest was en indien de alarminrichting niet alleen bij een isolatiodefekt, maar ook bij het uitvallen van de isolatiemeetstroom gewerkt had, dan zou een noodlottige afloop zeer waarschijnlijk vermeden geweest zijn.

Dit tweede ongeval heeft ook aangetoond dat het scherm van dunne koperen draden niet in staat was zijn taak te vervullen. Thans gaat men trouwens duidelijk naar het gebruik van *individuele* schermen uit dikke koperen draden, die tevens dienst doen als massageleider.

Ten slotte willen wij er op wijzen, dat het derde slachtoffer, in beide gevallen, achteraf getroffen werd, d.w.z. nadat de installaties stilgelegd en terug op gang gebracht waren. Bijgevolg moeten de beschermingsinrichtingen zo opgevat zijn dat het ontijdig inschakelen na een zwaar defect onmogelijk is.

(1) Zie R. Fradcourt en J. Laret : Etude d'un accident d'électrocution dans une taille mécanisée d'un charbonnage, *AnnaLEN der Mijnen van België*, februari 1960.

(2) Zie G. Cools : De bescherming van elektrische netten in de ondergrondse werken van mijnen om het gevaar voor elektrocutie, brand en ontvlamming van mijngas te weren, *AnnaLEN der Mijnen van België*, februari 1960.

CONSIDERATIONS RELATIVES A L'INTERPRETATION DE L'ARTICLE 40 DU REGLEMENT

Pour l'interprétation correcte de l'article 40 du nouveau règlement, il est utile de rappeler que ce sont surtout les deux accidents collectifs rappelés ci-dessus qui sont à l'origine de cet article.

C'est notamment pour éviter que les installations de la taille ne soient mises sous tension sur une grande longueur que l'article 40, premier alinéa, vise tous les réseaux qui non seulement comportent des appareils mobiles, mais aussi ceux qui comportent des parties situées en taille ou fixées sur des installations de taille. En effet, le risque visé peut exister même s'il n'y a pas de câbles électriques ni autres parties électriques situées en taille. C'est le cas, par exemple, pour les installations blindées de taille dont toutes les parties électriques se trouveraient hors de la taille. Mais ce ne serait pas le cas pour des installations *qui ne seraient pas conductrices de l'électricité* et dont les parties électriques ou pouvant être électrisées se trouveraient entièrement en dehors de la taille.

Par contre, tous les appareils mobiles ont été visés quels que soient les endroits où ils sont utilisés, *pour le motif que le câble qui les alimente est toujours exposé à être endommagé*. Ceci explique pourquoi les dénominations de « appareil sujet à déplacement », « appareil semi-fixe », « appareil mobile » et « appareil portatif » se rapportent uniquement à des *appareils alimentés par câble* (voir article 6, point 1^o).

Les véhicules automoteurs actionnés par accumulateurs sont par conséquent exclus. Il en est de même pour les véhicules et les appareils quelconques alimentés *par ligne de contact, car une ligne de contact est un conducteur nu* (article 6, point 6^o) et non un câble (article 6, point 7^o).

Toutefois, attendu qu'il existe des locomotives alimentées par câbles, il a fallu expliciter l'exclusion de celles-ci (article 6, point 10^o). Cette interprétation est d'ailleurs évidente car il saute aux yeux que les dispositions prévues à l'article 40 sont physiquement inapplicables tant aux véhicules automoteurs qu'à des appareils quelconques qui seraient alimentés par une ligne de contact.

En principe, les dispositions prévues à l'alinéa 3 de l'article 40 ne peuvent être observées que moyennant l'emploi d'un contrôleur d'isolement basé sur l'injection dans le réseau d'un courant de mesure continu ou redressé.

A la rigueur, le contrôle permanent de l'isolement d'un réseau *en fonctionnement* pourrait être obtenu à l'aide d'appareils fonctionnant d'après un autre principe, à condition que l'on puisse être certain que leur sensibilité soit supérieure à la limite déclarée à l'ingénieur des mines et, en tout cas, supérieure à la limite de 20 ohms par volt dont question à l'alinéa 4 de l'article.

BESCHOUWINGEN OVER DE INTERPRETATIE VAN ARTIKEL 40 VAN HET REGLEMENT

Voor de juiste interpretatie van artikel 40 van het nieuwe reglement is het goed voor ogen te houden dat genoemd artikel zijn ontstaan vooral aan de twee voormelde collectieve ongevallen te danken heeft.

Het is namelijk om te vermijden dat de pijlerinstallaties over een grote lengte onder spanning gezet worden, dat artikel 40, eerste lid, betrekking heeft op alle netten die niet alleen beweegbare toestellen omvatten, maar ook op die welke in pijlers gelegen of op pijlerinstallaties bevestigde gedeelten omvatten. Het beoogde gevaar kan zich immers voordoen zelfs als er geen elektrische kabels of andere in de pijler gelegen elektrische gedeelten zijn. Dit is bij voorbeeld het geval voor de gepantserde pijlerinstallaties waarvan alle elektrische gedeelten zich buiten de pijler zouden bevinden. Maar dit zou niet het geval zijn voor installaties *die geen elektriciteit geleiden* en waarvan de elektrische gedeelten of de gedeelten die kunnen geëlektriseerd worden zich volledig buiten de pijler bevinden.

Daarentegen worden alle beweegbare toestellen geviseerd, onverschillig op welke plaats zij gebruikt worden, omdat de voedingskabel altijd aan beschadiging blootgesteld is. Dit verklaart waarom de benamingen « toestel dat aan verplaatsingen onderhevig is », « halfvast toestel », « beweegbaar toestel » en « draagbaar toestel » alleen betrekking hebben op toestellen die door een kabel gevoed worden (zie artikel 6, punt 17^o). Door accumulatoren aangedreven zelfbewegende toestellen zijn bijgevolg uitgesloten. Dit geldt ook voor voertuigen en om het even welke toestellen *die door een rijdraad gevoed worden*, want een rijdraad is een blanke geleider (art. 6, punt 6^o) en geen kabel (art. 6, punt 7^o). Maar aangezien er locomotieven zijn die door kabels gevoed worden, heeft men de uitsluiting ervan uitdrukkelijk moeten vermelden (art. 6, punt 19^o). Deze interpretatie ligt trouwens voor de hand, want het is duidelijk dat het fysisch onmogelijk is de bepalingen van artikel 40 toe te passen op zelfbewegende voertuigen en evenmin op om het even welke toestellen die door een rijdraad gevoed worden.

De bepalingen van het derde lid van artikel 40 kunnen in beginsel slechts nageleefd worden door het gebruik van een inrichting voor controle op de isolatie die op de injectie van een gelijk- of gelijkgerichte meetstroom in het net berust.

De bestendige controle op de isolatie van een net *dat in werking is*, zou desnoods kunnen verwezenlijkt worden met toestellen die op een ander principe berusten, op voorwaarde dat men er zeker kan van zijn dat hun gevoeligheid boven de aan de mijn ingenieur aangegeven grens ligt en in ieder geval boven de grens van 20 ohm per volt waarvan in het vierde lid van artikel 40 sprake is.

Mais en ce qui concerne le dispositif capable d'empêcher la remise sous tension d'une antenne éventuellement avariée, nous ne voyons pas la possibilité de réaliser cette exigence autrement que par l'injection d'un courant de mesure.

C'est pourquoi, c'est ce principe de fonctionnement qui a généralement été adopté, puisqu'il permet de satisfaire au règlement, tant pour contrôler un réseau en fonctionnement que pour empêcher la remise sous tension d'une antenne avariée. Il est vraisemblable que l'agrément du directeur général des mines ne sera accordée que pour les appareils basés sur ce principe, d'autant plus que ceux-ci présentent d'autres avantages, notamment l'indépendance par rapport à la capacité des réseaux et la possibilité de mesurer à tout moment la valeur de l'isolement du réseau.

Mais il est à noter que, pour les dispositifs mis en service avant la mise en vigueur du règlement, l'agrément par le directeur général des mines n'est pas requise. Dans ce cas, seule une autorisation accordée en vertu de l'article 42 est nécessaire. Celle-ci ne sera vraisemblablement pas refusée si l'est satisfait aux exigences de l'alinéa 3 et si on est certain que leur seuil de fonctionnement est supérieur à 20 ohms par volt.

Ce serait le cas, nous semble-t-il, pour certains dispositifs à haute sensibilité, tels que ceux qui sont basés sur le contrôle du potentiel d'un neutre artificiel, pour autant qu'ils soient accompagnés d'un dispositif à injection de courant empêchant la remise sous tension d'une antenne avariée. Nous avons signalé antérieurement (3) que la moitié des mines anglaises est équipée de cette manière sous le nom de « multi-point system » accompagné du « lock-out circuit ».

En ce qui concerne le seuil de fonctionnement, le règlement impose uniquement qu'il soit communiqué à l'ingénieur des mines. Il ressort de l'alinéa 4 que ce seuil ne peut pas être inférieur à 20 ohms par volt. Les résultats des calculs figurant au tableau I montrent que cette valeur est suffisante pour assurer la sécurité; une exigence plus grande ne nous paraît pas justifiable du point de vue de la sécurité contre l'électrocution.

Par contre, une limite plus élevée peut bien être souhaitable dans certains cas pour des motifs relevant de l'exploitation. Afin de ne pas contrarier le choix éventuel d'une limite élevée, le règlement a prévu à l'alinéa 4 le droit pour l'exploitant de ramener, en cas de besoin, cette limite au niveau réglementaire de 20 ohms par volt. Cette clause, qui est une faculté, ne peut évidemment pas être interprétée comme impliquant l'obligation de choisir une limite plus élevée que 20 ohms par volt.

Il ne paraît pas opportun de conseiller d'équiper les contrôleurs d'isolement d'un dispositif (potentiomètre, rhéostat, etc.) permettant de faire varier aisément le

Maar voor het toestel dat in staat is het opnieuw onder spanning brengen van een eventueel beschadigde aftakking te verhinderen, zien wij niet in hoe aan deze vereiste zou kunnen voldaan worden zonder injectie van een meetstroom.

Daarom wordt dat principe meestal aangenomen; het laat immers toe het reglement na te leven, zowel om een net te bewaken dat in werking is, als om het opnieuw onder spanning brengen van een beschadigde aftakking te verhinderen.

Waarschijnlijk zal de directeur-generaal der mijnen alleen toestellen aannemen die op dat beginsel berusten, vooral omdat deze toestellen nog andere voordelen bieden, onder meer de onafhankelijkheid ten opzichte van de capaciteit van de netten en de mogelijkheid te allen tijde de waarde van de isolatie van het net te meten.

Maar toestellen die vóór de inwerkingtreding van het reglement in gebruik genomen zijn, hoeven door de directeur-generaal der mijnen niet aangenomen te worden. In dat geval volstaat een op grond van artikel 42 verleende toestemming. Deze zal waarschijnlijk niet geweigerd worden als aan de vereisten van het derde lid voldaan wordt en als men er zeker van is dat de werkingsgrens boven 20 ohm per volt ligt.

Dit zou het geval zijn voor bepaalde inrichtingen die zeer gevoelig zijn, zoals die welke op het controleren van het potentieel van een kunstmatig nulpunt berusten, op voorwaarde dat er een inrichting voor stroominjectie aan toegevoegd wordt, die het opnieuw onder spanning brengen van een beschadigde aftakking verhindert. Wij hebben vroeger geschreven (3) dat de helft van de Engelse mijnen aldus uitgerust zijn, onder de benaming « multi-point-system », samen met een « lock-out circuit ».

Wat de werkingsgrens betreft, schrijft het reglement alleen mededeling aan de mijneningenieur voor. Uit het vierde lid volgt dat deze grens niet beneden 20 ohm per volt mag liggen. De in bovenstaande tabel vermelde uitslagen van de berekeningen tonen aan dat deze waarde voldoende is voor de veiligheid; strengere eisen lijken ons niet verantwoord van uit het oogpunt van de veiligheid tegen elektrocutie. Een hogere grens kan daarentegen in sommige gevallen wel wenselijk zijn om redenen in verband met de exploitatie. Om de eventuele keuze van een hoge grens niet tegen te werken, heeft het reglement in het vierde lid de exploitant gerechtigd deze grens tot het reglementair peil van 20 ohm per volt te verlagen, als het nodig is. Deze bepaling, die een mogelijkheid inhoudt, mag natuurlijk niet uitgelegd worden als een verplichting een grens van meer dan 20 ohm per volt te kiezen.

Het lijkt niet raadzaam de toestellen voor controle op de isolatie uit te rusten met een inrichting, een potentiometer, rheostaat of dgl., die het mogelijk maakt

(3) Voir *Annales des Mines de Belgique*, octobre 1970.

(3) Zie *Annalen der Mijnen van België*, oktober 1970.

seuil de fonctionnement d'une manière continue entre de larges limites. Par contre, il peut être utile de se réserver la possibilité de fixer ce seuil à des valeurs judicieusement déterminées et adaptées aux cas envisagés. On pourrait, par exemple, imaginer des cas où le seuil normal serait fixé à 100 ohms par volt avec possibilité de passer, temporairement et en cas de nécessité, au seuil minimum réglementaire de 20 ohms par volt.

L'alinéa 4 de l'article 40 est précisément rédigé de manière à permettre des solutions de ce genre.

Le principe du contrôle par l'injection d'un courant de mesure sera sans doute généralisé dans notre pays pour les dispositifs visés à l'alinéa 3 et mis en service après la date de mise en vigueur du règlement. On sait que cette solution présente l'inconvénient du manque de sélectivité, mais on y pallie par l'emploi de contrôleurs d'isolement secondaires, permettant le déclenchement des antennes saines et empêchant le déclenchement de l'antenne avariée.

D'autre part, il ne faut pas oublier que, dès que les antennes alimentant les appareils visés à l'alinéa premier sont déclenchées, le restant du réseau n'est plus soumis à l'article 40 et peut donc sans plus être remis en service.

Lorsque le transformateur se trouve assez loin du pied de taille, on peut réduire encore les inconvénients du système, comme un exploitant l'a imaginé, en équipant le réseau de deux contrôleurs d'isolement fonctionnant en même temps, le premier placé près de la taille, le second près du transformateur.

Si les tensions de mesure des deux appareils sont bien égales et stabilisées, le courant de mesure se partage alors d'une manière égale entre les deux appareils. Si l'isolement tombe en dessous d'une limite donnée, le contrôleur situé près de la taille et réglé au double de cette limite provoquera le déclenchement automatique du disjoncteur voisin. Le restant du réseau, qui pourra le cas échéant encore comprendre des appareils visés à l'alinéa 1, continuera à fonctionner sous la surveillance de l'autre contrôleur, lequel est réglé à la valeur simple de la limite choisie.

Les alinéas 4 et 5 de l'article 40 sont d'application lorsque l'isolement tombe en dessous de 20 ohms par volt (al. 4) ou lorsque le contrôleur d'isolement est hors service (al. 5).

On peut alors rétablir la tension aux conditions indiquées, notamment à condition que le réseau soit protégé au moyen d'un dispositif fonctionnant sur défaut simple grave ou d'un dispositif fonctionnant sur défaut double.

Les dispositifs fonctionnant sur défaut simple grave, s'ils sont bien conçus, détectent les défauts situés en aval et non ceux en amont.

de werkingsgrens op een gemakkelijke manier geleidelijk binnen ruime grenzen te laten variëren. Het kan daarentegen nuttig zijn de mogelijkheid open te houden die grens op oordeelkundig bepaalde en aan de beschouwde gevallen aangepaste waarden vast te stellen. Men zou bij voorbeeld in sommige gevallen een grens van 100 ohm per volt kunnen nemen voor de normale werking en de reglementaire minimumgrens van 20 ohm per volt voor de tijdelijke werking als het nodig is.

Het vierde lid van artikel 40 is juist zo opgesteld dat zulke oplossingen mogelijk zijn.

Het principe van de controle door injectie van een meetstroom zal wellicht in ons land veralgemeend worden voor de in het derde lid bedoelde inrichtingen die na de inwerkingtreding van het reglement in gebruik genomen worden. Men weet dat deze oplossing het nadeel heeft niet selectief te zijn, maar dit wordt verholpen door het gebruik van secundaire inrichtingen voor controle op de isolatie, die toelaten de gezonnde aftakkingen opnieuw onder spanning te brengen en het opnieuw onder spanning brengen van de beschadigde aftakking verhinderen.

Ook mag niet uit het oog verloren worden dat zodra de aftakkingen die de in het eerste lid vermelde toestellen voeden uitgeschakeld zijn, de rest van het net niet meer aan artikel 40 onderworpen is en bijgevolg zonder meer opnieuw in gebruik mag genomen worden.

Als de transformator zich tamelijk ver van de voet van de pijler bevindt, kunnen de nadelen die aan het systeem eigen zijn, nog beperkt worden door het net, zoals een exploitant gedaan heeft, met twee inrichtingen voor controle op de isolatie uit te rusten, één dichtbij de pijler en een andere dichtbij de transformator. Als de meetspanningen van de twee toestellen goed gelijk en gestabiliseerd zijn, wordt de meetstroom dan onder de twee toestellen gelijk verdeeld. Als de isolatie onder een bepaalde grens daalt, zal het toestel dat dichtbij de pijler gelegen en op het dubbele van die grens afgesteld is, de naburige lastschakelaar automatisch doen afslaan. De rest van het net, dat gebeurlijk nog in het eerste lid vermelde toestellen kan omvatten, zal onder de controle van het andere toestel, dat op de enkelvoudige waarde van de gekozen grens afgesteld is, blijven werken.

Het vierde en het vijfde lid van artikel 40 zijn van toepassing wanneer de isolatie tot minder dan 20 ohm per volt daalt (4^{de} lid) of wanneer het toestel voor controle op de isolatie buiten gebruik is (5^{de} lid). Dan mag de spanning tegen bepaalde voorwaarden opnieuw ingeschakeld worden, onder meer op voorwaarde dat het net beschermd wordt door een toestel dat voor een zwaar enkelvoudig defect in werking treedt, of door een toestel dat voor een dubbel defect in werking treedt.

Toestellen die voor een zwaar enkelvoudig defect werken, sporen de defecten op die voorbij het toestel optreden, maar niet de defecten die vóór het toestel optreden, ten minste als zij goed opgevat zijn.

D'autre part, l'alinéa 4 prescrit : « Ce dispositif assure la séparation automatique de la partie avariée du réseau... ».

Ceci implique donc que, contrairement à ce qui est prescrit pour le régime normal visé à l'alinéa 3, la partie située en amont ne doit pas, en régime temporaire visé aux alinéas 4 et 5, être surveillée par les dispositifs en question. C'est d'ailleurs logique puisque les parties du réseau situées en amont des dispositifs imposés par l'alinéa 4 ne comportent pas d'appareils visés à l'alinéa premier et présentent donc moins de risques.

CONCLUSIONS

La protection contre le danger d'électrocution par contact indirect dans les travaux souterrains des mines était assurée, avant la parution du règlement du 5 septembre 1969, uniquement par la méthode classique de mise à la terre et de liaison équipotentielle des masses.

Cette méthode ne présente une certaine efficacité que si les installations sont bien exécutées, surveillées et entretenues. Elle peut à tout moment être mise en défaut, accidentellement ou par malveillance, vol d'éléments, etc. Si les réseaux sont étendus, la surveillance est difficile; par ailleurs, le contrôle électrique de la continuité des liaisons est malaisé.

En cas de défaut double franc, elle peut être mise en défaut même si elle est en tous points parfaite, car son efficacité dépendra de l'efficacité de la protection du réseau vis-à-vis des courts-circuits et du réglage des appareils de coupure afin qu'un fonctionnement correct soit assuré quels que soient les endroits où les défauts se produisent.

Enfin, ce qui est plus grave, la méthode est totalement mise en défaut en cas de défaut double impédant.

Le règlement du 5 septembre 1969 vise en son article 40 un objectif triple :

1^o) Assurer, en régime normal, une double sécurité, de manière que le personnel soit protégé même en cas de défaillance des mesures classiques.

2^o) Assurer en régime temporaire, en vue de l'achèvement d'un poste de travail, une protection satisfaisante du personnel, avec double sécurité dans certaines limites.

3^o) Pallier l'incapacité des mesures classiques à assurer la protection du personnel en cas de défaut double impédant.

En ce qui concerne le premier objectif, le calcul démontre que la coupure au seuil de 20 ohms par volt assure la double sécurité visée.

Bovendien schrijft het vierde lid voor dat « dat toestel de automatische scheiding tussen het beschadigde gedeelte van het net en de voedingsbron tot stand brengt ».

Dit betekent dus dat het gedeelte tussen de stroombron en het toestel, in tegenstelling met wat voor het in het derde lid bedoelde normaal regime voorgeschreven is, onder het tijdelijk regime waarvan in het vierde en het vijfde lid sprake is, niet door de bewuste toestellen hoeft bewaakt te worden. Dit is trouwens logisch, aangezien de gedeelten van het net die zich vóór de door het vierde lid opgelegde toestellen bevinden, geen in het eerste lid vermelde toestellen omvatten en dus minder gevaar opleveren.

BESLUITEN

Vóór de publikatie van het reglement van 5 september 1969 werd de bescherming tegen elektrocuitiegevaar door onrechtstreekse aanraking in de ondergrondse werken van mijnen, enkel door de klassieke methode met aardverbinding en equipotentiële verbinding van de massa's tot stand gebracht.

Deze methode is enkel in zekere mate doeltreffend als de installaties goed uitgevoerd, gecontroleerd en onderhouden worden. Toevallig of door kwaadwilligheid, diefstal van onderdelen, enz., kan zij altijd in gebreke blijven. Voor uitgebreide netten is het toezicht moeilijk; de elektrische controle op de continuïteit van de verbindingen is trouwens evenmin gemakkelijk.

Bij een vol dubbel defect kan deze methode in gebreke blijven, zelfs als ze in alle opzichten volmaakt is, want haar doeltreffendheid zal van de doeltreffendheid van de bescherming van het net tegen kortsluitingen afhangen en van een zodanige afstelling van de uitschakelapparaten dat zij altijd correct werken, om het even waar de defecten zich voordoen.

Ten slotte, en dat is nog erger, blijft de methode volkomen in gebreke bij impedante dubbele defecten.

In artikel 40 van het reglement van 5 september 1969 wordt hiervoor een drievoudig oogmerk nagestreefd :

1^o) In normaal regime een dubbele veiligheid tot stand brengen, zodat het personeel beschermd wordt, zelfs als de klassieke maatregelen in gebreke blijven.

2^o) Tijdelijk, voor het voltooien voor een arbeidsdienst, een voldoende bescherming van het personeel tot stand brengen, met een dubbele veiligheid in de gevallen waarvoor het meest moet gevreesd worden.

3^o) Het onvermogen van de klassieke maatregelen om het personeel bij impedante dubbele defecten te beschermen, verhelpen.

Wat het eerste oogmerk betreft, blijkt uit de berekening, dat de uitschakeling op de grens van 20 ohm per volt de verlangde dubbele veiligheid tot stand brengt.

Le second objectif est visé aux alinéas 4 et 5 de l'article 40. Ces dispositions laissent la plus grande latitude quant aux types de dispositifs à utiliser, en vue de ne pas freiner le progrès technique, à condition que la coupure automatique soit assurée dans les cas les plus graves, notamment les cas de défauts doubles de toute nature.

L'ensemble des dispositions précitées assure la protection visée au troisième objectif, quels que soient les choix permis par le règlement.

Enfin, il est à noter que l'article 40 vise uniquement des appareils qui sont alimentés par câble, notamment les appareils mobiles et ceux qui sont susceptibles d'électriser les installations de taille sur de grandes longueurs.

Lorsque la tension n'excède pas 250 volts, le règlement laisse en son article 40 une plus grande latitude encore en ce qui concerne le choix des dispositifs, compte tenu de ce que les risques sont moins grands et de ce que les installations présentent une plus grande diversité, puisqu'il s'agit ici non seulement des installations de mine, mais aussi des installations fonctionnant dans les travaux souterrains des minières et des carrières, lorsque ces établissements sont rangés dans la classe spéciale et par conséquent soustraits au règlement général.

Il est à remarquer que, contrairement à l'article 40, l'article 41 admet des appareils portatifs. Par contre, il n'admet pas de régime temporaire pour les appareils mobiles et les appareils portatifs; on ne peut donc pas se servir de ces appareils lorsque le dispositif de protection est hors service.

Het tweede oogmerk wordt nagestreefd door het vierde en het vijfde lid van artikel 40. Deze bepalingen laten de grootst mogelijke vrijheid bestaan wat de types van toestellen betreft, om de technische vooruitgang niet af te remmen, op voorwaarde dat de automatische uitschakeling ten minste in de ergste gevallen, met name bij dubbele defecten van alle aard, tot stand gebracht wordt.

Al deze bepalingen samen brengen de in het derde oogmerk nagestreefde veiligheid tot stand, om het even welke toestellen volgens het reglement mogen gekozen worden.

Ten slotte zij opgemerkt, dat artikel 40 alleen betrekking heeft op toestellen die door een kabel gevoed worden, met name de beweegbare toestellen, en die welke de pijlerinstallaties over grote lengten zouden kunnen elektriseren.

Als de spanning niet meer dan 250 volt bedraagt, staat artikel 41 van het reglement nog een grotere vrijheid toe wat de keuze van de inrichtingen betreft, omdat de risico's minder groot zijn en de installaties een grotere verscheidenheid vertonen, aangezien het hier niet alleen over de installaties van mijnen gaat, maar ook over de installaties in de ondergrondse werken van graverijen en groeven als deze bedrijven in de speciale klasse ingedeeld en bijgevolg aan het algemeen reglement ontrokken zijn.

Opgemerkt zij, dat artikel 41, in tegenstelling met artikel 40, draagbare toestellen toestaat. Maar voor beweegbare toestellen en draagbare toestellen staat het geen tijdelijk regime toe; die toestellen mogen dus niet gebruikt worden als de beschermingsinrichting buiten dienst is.