

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION
UNIVERSITÉ DE PETROSANI
ÉCOLE DOCTORALE

DOMAINE DOCTORAL

MINES, PÉTROLE, GAZ

THÈSE

**Recherche sur l'utilisation des instruments informatiques
dans le domaine des ressources minérales**

Responsable scientifique :
prof. univ. dr. ing. *RADU Sorin Mihai*

Doctorant : Ing. TASHCHI EUGENE

Petrosani 2024

L'objectif du présent ouvrage est de contribuer à cette démarche, en présentant avec des exemples pertinentes et contributions personnels l'évolution, l'extension et la diversité de l'utilisation des instruments informatiques dans le domaine des ressources minérales, à partir de la tâche gestion des ressources, jusqu'aux modèles sophistiqués des processus, phénomènes et équipements liés à l'industrie minière, et présentation des systèmes et structures intégrées de technologie informatique, comme l'intelligence artificielle et l'internet des objets.

On a exemplifié la connexion entre la recherche documentaire, analyse phénoménologique, développement du modèle mathématique et utilisation des ressources informatiques pour le résoudre en traitant différents aspects de différente échelle et différent sous-domaine du génie des ressources minérales.

L'ouvrage est structuré en trois parties, respectant un ordre chronologique, de complexité et des contributions personnelles croissants au développement des connaissances au domaine approché.

La partie première, intitulée <<INFORMATIQUE DANS LE DOMAINE DE GESTION DES RESSOURCES MINÉRALES>>, on a traitée, à partir des objectifs et méthodes de gestion des ressources minérales, la justification de l'utilisation des moyens informatiques et d'imagerie numérique issues des besoins en gestion de données, de facture, importance, ancienneté, support différents, leur importance dans la stratégie et techniques de prospection, différents champs d'application possibles des outils informatiques dans la gestion des données de forage, les évaluations prospectives, jusqu'à la modélisation numérique du dépôt pour le développement des projets miniers.

Ca correspond au premier stage de implication des outils informatiques dans le domaine des ressources minérales, en tant que élément ajoutée pour faciliter l'exécution des tâches et routines déjà consacrées.

La partie seconde, intitulée <<MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL INFORMATIQUE DANS LE SECTEUR MINIER>>, on s'est penchée sur les aspects d'une étape ultérieure d'évolution du sujet traitée concernant l'utilisation des instruments informatiques dans le domaine des ressources minérales, à partir **d'une analyse des perspectives de la numérisation de l'industrie minière**. Dans ce contexte, on a traité le problème de

L'Internet des Objets (IOT) dans le secteur minier, en tant que élément essentiel de la numérisation de l'industrie minière afin de la rendre plus durable.

On a traité les **systèmes d'information géographique (SIG)** lesquelles , avec toutes leurs composantes : systèmes de positionnement, systèmes d'orientation et systèmes de navigation, ont pénétré récemment dans de nombreux domaines et ils commencent également à être utilisés dans l'exploitation minière rendu possible due à la capacité de ces systèmes à collecter, stocker, traiter et utiliser des informations de nature spatiale et non spatiale.

Un autre sujet traitée dans cette partie par une synthèse et une systématisation de l'information et des connaissances, dans un ensemble unitaire d'idées, **c'était l'approche mécatronique des systèmes miniers** , représentent un saut qualitatif dans la conception, parce que l'équipement est constitué comme un tout unitaire qui comprend les sous-systèmes mécaniques, hydrauliques, électriques et informatiques, ainsi, devenant beaucoup plus flexible et adaptable aux exigences de l'Industrie 4.0.

On a présentée ensuite les aspects de **l'intelligence artificielle (IA)** en tant qu' un outil fiable pour l'analyse des données et la prise de décision lorsque l'on travaille avec des ensembles de données volumineux ou répétés, spécifiques aux processus et techniques minières, Outre les applications robotiques, l'IA est utilisée pour la reconnaissance de formes à l'aide de l'apprentissage automatique (ML) et l'interaction des utilisateurs à l'aide d'applications ou d'appareils intelligents.

Les travaux intensifs et les activités minières potentiellement dangereuses nécessitent appart des appareils intelligents une connectivité et **une communication avancées indéniables**. On a traitée les problèmes spécifiques de la communication dans l'industrie minière, essentielle, car elle touche à la fois la production et la sécurité, nécessaire au transfert de données entre le personnel et à la collecte de données depuis les machines.

Au sein des éléments des infrastructures critiques, les objectifs industriels, notamment minières, se distinguent par des caractéristiques particulières du point de vue de la sécurité, de la vulnérabilité, du degré de risque et de l'importance, du point de vue des causes, des conséquences, de l'étendue et de la gravité des événements indésirables ou

accidentels, type de dommage. C'est la raison pour laquelle on a traité le problème de la nécessité d'une redéfinition de la sécurité des systèmes.

Les réalisations actuelles dans le domaine des connaissances scientifiques et des technologies appliquées à l'industrie minière ont permis la définition et la matérialisation du concept d'exploitation minière intelligente, dont l'application des technologies informatiques jouent un rôle important.

La mine moderne doit être **une mine intelligente** intégrant une grande quantité d'intelligence appliquée à toutes les phases de sa vie.

Les techniques informatiques actuelles permettent un accès rapide à l'information par un grand nombre d'utilisateurs. On peut dire que la transmission des informations est indépendante des distances entre les utilisateurs et la source d'où proviennent ces informations. On a traité sa dans la section La mine intelligente.

La prochaine étape d'évolution, parfois appelée « exploitation minière intelligente », implique – outre des changements organisationnels plus larges – l'intégration rapide de la robotique, de l'automatisation et de l'Internet des objets (IoT) dans l'environnement opérationnel, donc la mine intelligente devient plus vulnérable aux cyber-risques, sujet traité dans la partie finale de la partie seconde.

La partie dernière, <<MÉTHODES MODERNES DE MODÉLISATION BASÉES SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE APPLICABLES À L'ÉTUDE DES PROCESSUS MINIERS >> est dédié à présenter les modèles développés par l'auteur, concernant différents aspects de la problématique traitée dans les parties précédentes.

Dans le processus de modélisation pour l'aide à la décision, la modélisation basée sur les technologies de l'information (TI) et intelligence artificielle (AI) jouent un rôle de plus en plus important. La technologie de l'information est un terme générique qui regroupe tous les éléments technologiques physiques et immatériels utilisés pour créer, stocker, échanger et utiliser l'information sous toutes ses formes.

Dans le domaine de l'aide à la décision, l'utilisation de l'informatique a connu plusieurs étapes d'évolution, à partir des méthodes classiques d'utilisation de l'informatique, de l'acquisition et du stockage des données, de leur fourniture à un programme de calcul, de leur traitement et de leur visualisation des résultats.

Les systèmes basés sur la logique floue (FUZZY) représentent un environnement de modélisation qui peut être utilisé aussi bien dans l'élaboration de décisions stratégiques que dans la gestion directe de processus dans lesquels l'information est disponible sous une forme quantitative mais non numérique et dans lequel les relations déterministes entre les variables de le processus ne sont pas connues avec précision. C'est l'objet du paragraphe <<Utiliser les techniques FUZZY dans le contrôle intelligent des processus miniers>>.

Dans le paragraphe <<Systèmes multi-agents dans la modélisation des processus minières>>, on a présentée le concept d'intelligence artificielle distribuée (DAI) lequel fait référence à l'étude comportementale de collectifs (groupes) intelligents, étant le produit de la coopération d'entités appelées agents, qui forment ensemble un système multi-agents (SMA), présentation basée sur un exemple conceptuel.

Le paragraphe suivant, <<Systèmes intelligents utilisant des réseaux de neurones>> est consacrée a présenter les fondements théoriques, les exigences pour être appliquées dans l'étude des processus minières imposées à des RN, finalisée avec un model personnel intitulé Modèle d'optimisation des performances des machines d'abatage utilisant les réseaux de neurones.

Le model est utile, parce que on peut déduire les valeurs de la résistance spécifique de coup et de la consommation spécifique d'énergie d'excavation, a l'aide des mesures des paramètres de la haveuse afin de pouvoir prévoir, pour d'autres conditions, les valeurs probables de de la vitesse d'avance, qui influence la capacité de coupe, du couple au niveau de l'arbre du tambour, lequel est limité par la puissance du moteur d'entraînement et de la force d'avance qui est également limitée par la puissance du système d'avancement.

Le paragraphe <<Simulation du fonctionnement d'un système technologique d'extraction>> est consacrée a présenter un modèle original utilisant la méthode Monte Carlo de simulation stochastique , implémentée dans le logiciel MathCad. L'exemple réalisé et présenté dans le paragraphe fait référence à un abattage mécanisé dans lequel l'extraction du charbon est réalisée avec une haveuse-chargeuse et le déblocage avec un convoyeur à raclettes.

En modifiant les paramètres (le tout venant $Q(t)$, variable de manière aléatoire autour d'une valeur nominale, tenant compte des temps l'arrêt du système en termes de moment

d'apparition et durée de réparation) d'une manière appropriée et en répétant la simulation, on peut progressivement atteindre une variante optimale.

Dans le paragraphe suivant, <<Modèles pour l'étude de l'influence du degré de chargement sur la fiabilité>>, on a présentée un modèle basée sur la théorie probabiliste de interference charge – résistance (LSI), appliquée pour les équipements miniers souterrains, en prenant les valeurs réelles de la consommation d'énergie spécifique comme charge et sa valeur nominale comme résistance.

Afin de mettre en évidence l'effet de surcharge dû aux variations aléatoires de la résistance à la coupe, il est possible d'estimer à la fois l'augmentation de la valeur moyenne et de la dispersion de la charge, respectivement l'augmentation de la dispersion et la diminution de la valeur moyenne de la résistance, due à la fatigue ou à l'endommagement de certains composants, et en appliquant cette méthode, il est possible d'estimer, en termes de pourcentage, les changements de fiabilité (respectivement de non-fiabilité), qui, à une échelle différente, sont des estimateurs de l'indice d'utilisation.

Pour tracer des courbes d'étalonnage, des mesures corrélées à long terme de ces paramètres sont nécessaires.

Dans le paragraphe <<**Modèle d'optimisation des performances des d'abattages complexes mécanisés par la méthode IDEF**>>, on a présenté un model original basé sur une application créée à l'aide de l'utilitaire EXCEL, pour effectuer la simulation, dans laquelle pour générer des valeurs aléatoires avec une distribution donnée, les fonctions de distribution cumulative BETA ont été alimentées avec une distribution uniforme, avec n valeurs, obtenant n réalisations de l'événement.

Après avoir réalisé un nombre de n réalisations de l'événement, une répartition statistique des valeurs probables de la durée du cycle est obtenue par moyenne, la dépendance des valeurs les plus probables de la durée du cycle en fonction de la longueur de la taille ainsi que les performances de l'abattage, respectivement la durée du cycle de havage, sont déterminées.

La stabilité des pentes des exploitations a ciel ouvert, en référence aux fronts de taille ou aux dépôts de stérile , est traitée dans le **paragraphe <<Application de l'outil informatique à l'étude de la stabilité des pentes>>**. La stabilité d'un talus est généralement exprimée par le facteur de stabilité FS, qui est le rapport entre les facteurs

qui s'opposent au glissement et ceux qui causent le glissement. Ils s'expliquent généralement par des forces ou des moments, qui s'expriment en intégrant des valeurs locales, qui dépendent à leur tour de la géométrie du remblai, de la surface de glissement, du degré de discrétisation et des caractéristiques physico-mécaniques des roches qui composent le remblai.

Par la méthode développée, à la base de l'analyse fonctionnel, on a démontré que on peut estimer le facteur de stabilité sans imposer a priori une forme de la courbe de glissement, elle résulte ensemble avec la valeur de la stabilité, imposée.

Le problème d'affaissement des terrains sous l'influence de l'exploitation souterraine, important du point de vue protection de l'environnement, est traité dans le paragraphe <<**Applications du calcul variationnel à l'étude de l'affaissement des terres sous l'effet de l'exploitation minière**>>, par l'application de méthodes de calcul variationnel basée sur l'équation de diffusion résultant de l'extrémalisation d'une fonctionnelle, permettant non seulement de déterminer et de prédire plus précisément les valeurs de l'affaissement globale, mais aussi de clarifier les aspects phénoménologiques, afin de vérifier la validité d'hypothèses ou de méthodes basées sur des résultats empiriques.

Dans le paragraphe <<Optimisation du cycle de fonctionnement des machines d'extraction>>, basé d'un critère d'optimalité exprimé par une contrainte fonctionnelle – consommation d'énergie minimale par cycle d'extraction, équivalente à des pertes d'énergie minimales – et cinématique et dynamique, géométrique, constructive et de régime de fonctionnement, les lois de variation de vitesse, d'accélération et d'espace pour les 3 types d'installations en termes d'équilibrage ont été déterminées, résultant du rapport des masses spécifiques des deux câbles (extraction et équilibrage).

Pour une installation hypothétique, mais avec des données proches de celles qui peuvent exister en pratique, ces diagrammes ont été déterminés numériquement et tracés, mettant en évidence l'applicabilité et l'utilité de l'approche variationnel assisté par instruments informatiques aux problèmes d'optimisation des équipements de grande capacité dans l'industrie minière.

Le paragraphe <<Optimisation du régime d'excavation des roues pèles >>, on a utilisée le calcul variationnel pour optimiser la vitesse de pivotement du bras port-roue en vue d'obtenir la moindre consommation d'énergie d'excavation, tout en assurant une

productivité constante (remplissage complet des godets quelque soit la position angulaire du bras), en comparaison avec la loi $1/\cosinus$ utilisée par les systèmes existantes.

Dans le paragraphe <<Applications du calcul variationnel pour vérifier la durabilité d'un projet minier>>, afin d'optimiser l'extraction du minerai, dans une carrière laquelle fait l'objet d'un projet minier, j'avais développé et utilisé une application de calcul dans EXCEL pour réajuster les valeurs de la production annuelle et l'échelonnement des investissements par années, de sorte que le taux d'amortissement du capital s'égalise à la valeur de 10%, en concordance avec la méthode de Hotelling.