

# DEGRADAREA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ SUB INFLUENȚA EXPLOATĂRII SUBTERANE

**Prof.univ.dr.ing. Ilie ONICA,**  
Universitatea din Petroșani



Activează în cadrul catedrei de Exploatare miniere a Facultății de Mine (Universitatea din Petroșani); este absolvent al Institutului de Mine (actuala Universitate) din Petroșani (1982); a elaborat peste 150 de lucrări didactice, științifice și contracte de cercetare (5 cărți de specialitate, 20 de articole în lucrările unor manifestări științifice internaționale, 5 brevete de invenție etc.) în domeniul ingineriei miniere. A obținut diploma de studii aprofundate în specializarea, inginerie minieră și civilă, la Școala Superioară de Mine din Nancy (Franța – 1991). Doctor în științe tehnice (1995). Domenii de competență: exploatarea zăcămintelor de substanțe minerale utile, construcții miniere subterane, mecanica rocilor aplicată în inginerie minieră, ingineria mediului în minierit.

**Prof.univ.dr.ing. Eugen COZMA,**  
Universitatea din Petroșani



Este șeful catedrei de Exploatare miniere a Facultății de Mine (Universitatea din Petroșani); este absolvent al Institutului de Mine (actuala Universitate) din Petroșani (1976); a elaborat peste 220 de lucrări didactice, științifice și contracte de cercetare în domeniul ingineriei miniere. Doctor în științe tehnice (1997). Domenii de competență: exploatare miniere și optimizarea tehnico-economică a proceselor tehnologice miniere.

**Conf.univ.dr.ing. ec. Tudor GOLDAN,**  
Universitatea din Petroșani



Activează în cadrul catedrei de Exploatare miniere a Facultății de Mine; este absolvent al Institutului de Mine (actuala Universitate) din Petroșani (1987) și al Facultății de Științe (1999); a elaborat peste 100 de lucrări didactice, științifice și contracte de cercetare în domeniul ingineriei miniere și a managementului; este autor sau coautor la 6 cărți de specialitate. A urmat cursuri de specializare în domeniul protecția mediului și securitate minieră, la Școala Superioară de Mine din Ales (Franța-1996). Doctor în științe tehnice (1999). Domenii de competență: inginerie minieră și tehnologie informațională.

## REZUMAT

**În urma exploatare subterane a unui zăcămint se produce deplasarea rocilor din acoperiș, afectând integritatea terenului de la suprafață. În această lucrare sunt analizate diferite moduri de comportament al terenului de la suprafață sub influența exploatare subterane și sunt prezentate diferite procedee de reducere a impactului negativ asupra terenului și construcțiilor.**

## ABSTRACT

**As a consequence of orebody underground mining is produced the roof rocks displacement, affecting the ground surface integrity. In this paper are analyzed various ways of ground surface behaviour under the underground mining influence and are presented different methods of reducing the negative impact on the ground surface and constructions.**

## 1. GENERALITĂȚI

În urma extragerii unui volum de substanțe minerale utile dintr-un zăcămint, starea de tensiuni și deformații din masiv se modifică, având ca efect distrugerea stabilității rocilor înconjurătoare, astfel că rocile fracturate de pe conturul excavației se pun în mișcare, deplasarea transmițându-se în masiv pe o distanță ce este în funcție de capacitatea acestora de a se afâna și a umple golul rezultat în urma exploatare. Dacă

golul rezultat prin exploatare este foarte mare, depășind posibilitățile rocilor înconjurătoare de a umple golul și a stopa fenomenul de deformare a rocilor, mișcarea acestora poate atinge suprafața terenului de la zi, determinând degradarea acestuia și, implicit, distrugerea unor construcții situate la suprafață sau în subteran [26].

Mărimea degradării suprafeței și caracterul mișcării rocilor sunt influențate, în principal, de următorii *factori*: dimensiunile golului creat prin exploatare; adâncimea de situare a

exploatării; grosimea și înclinarea zăcămintului; metoda și tehnologia de exploatare, modul de dirijare a presiunii, caracteristicile geomecanice ale rocilor, tectonica zăcămintului, durata exploatării etc [26].

Deplasarea suprafeței este rezultatul redistribuirii tensiunilor din masivul de roci, sub influența excavațiilor subterane create de activitățile miniere, ori ca efect al asecării unor formațiuni acvifere. Scufundările sau deranjamentele provocate suprafeței terenului pot fi continue sau discontinue [26].

## 2. SCUFUNDĂRILE DISCONTINUE

Scufundările discontinue (fig.1) sunt caracterizate prin deplasări importante ale suprafeței, peste aria suprafeței exploatare, și prin formarea de discontinuități în profilul suprafeței de la zi, ce se pot dezvolta brusc sau progresiv și se pot manifesta la scări diferite, uneori chiar însoțite de mișcări seismice relativ importante. Scufundările discontinue includ fisurile, surpările în trepte etc., reprezentând fenomene de rupere locală a rocilor.

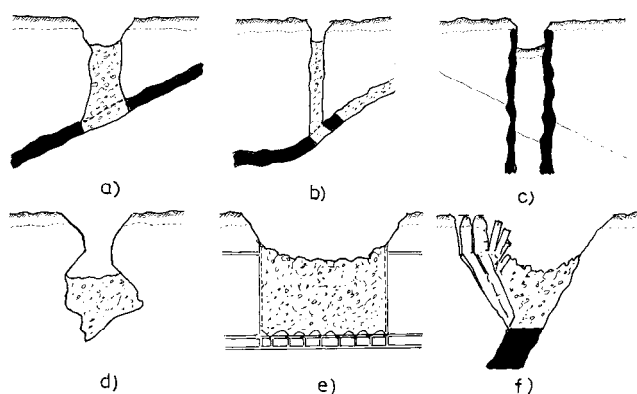


Fig.1. Diferite tipuri de scufundări discontinue.

Ca exemple de scufundări discontinue se pot aminti: golurile de coroană; coșurile de surpare; golurile de prăbușire și o serie de scufundări discontinue, generate de exploatarea prin surparea rocilor înconjurătoare [26].

Golurile de coroană (fig. 1, a) apar în urma pierderii stabilității acoperișului lucrărilor miniere abandonate, situate la adâncimi relativ reduse, și pot fi privite ca un caz particular al coșurilor de surpare.

Coșurile de surpare (fig. 1, b) se caracterizează prin migrarea progresivă a deformațiilor generate de excavațiile miniere nesuținute, prin rocile acoperitoare, către suprafață. Suprafața de scufundare poate fi similară celei a excavației subterane. Coșurile de surpare se pot forma în urma exploatării unor zăcămintele cantonate în roci slabe, în roci deja surpate sau în roci fisurate regulat. Formarea coșurilor de surpare are loc cel mai frecvent brusc (mai rar progresiv), fenomenul fiind cunoscut sub denumirea de scufundare dinamică (fig. 1, c). În general, scufundările dinamice apar în

cazul exploatării zăcămintelor ce au caracteristici structurale particulare, cum ar fi dyke-urile. Acestea prezintă plane de discontinuitate cu o stabilitate scăzută, a căror rezistență la forfecare este depășită în anumite condiții critice induse de procesul de exploatare.

Se pot identifica trei *mecanisme de producere a coșurilor de surpare*, asociate diferitelor formațiuni geologice:

- primul mecanism apare în condițiile rocilor alterate sau slabe, ori în cazul rocilor deja surpate. Este un mecanism progresiv, care se declanșează prin ruperea acoperișului direct, după suprafețe înclinate. După inițierea mecanismului, propagarea ruperii rocilor spre suprafață este foarte rapidă, lăsând impresia că fenomenul se manifestă aproape instantaneu;

- al doilea mecanism este de asemenea progresiv, dar apare ca rezultat al discontinuității masei de roci. În acest caz, rocile pot fi destul de tari încât să nu se rupă decât solicitate la încovoiere;

- ultimul mecanism diferă de celelalte două prin faptul că este controlat de unul sau mai multe caracteristici geomecanice principale ale rocilor, care determină apariția unor suprafețe cu o rezistență scăzută la forfecare, pe care, anumite bancuri de roci pot aluneca gravitațional, ca un corp rigid. În acest caz va lua naștere o deplasare verticală, ce se va transmite la suprafață, la aceeași dimensiune cu cea a golului din subteran.

Uneori, coșurile de surpare sunt cunoscute și sub denumirea de goluri de prăbușire. De asemenea, acest termen mai este folosit, în special, pentru a descrie scufundările asociate cu golurile preexistente de dizolvare din rocile dolomitice sau calcaroase (fig. 1, d). Aceste fenomene, inițial carstice, apar cel mai adesea în mod natural și uneori pot fi influențate de activitatea minieră.

Scufundările discontinue pot apărea și *ca rezultat al exploatării prin surparea rocilor înconjurătoare*. În figura 1, e este ilustrat cazul unei scufundări la scară mare, în urma exploatării cu surpare în blocuri. De asemenea, în figura 1, f este prezentată suprafața de scufundare produsă în urma surpării progresive a pereților de rocă din acoperiș, în cazul exploatării prin surparea minereului și a rocilor înconjurătoare.

În ceea ce privește *surparea progresivă a rocilor din acoperiș*, în general, este vorba de zăcămintele de minereuri cu înclinare mare, cu roci înconjurătoare de tărie medie sau mare. Procesul de surpare începe prin formarea unor suprafețe verticale și înclinate de rupere a rocilor din acoperiș, care se dezvoltă discontinuu, pe măsura coborârii nivelului de exploatare (fig. 2). În condițiile unor roci înconjurătoare cu o structură continuă, în cazul folosii rambleerii spațiului exploatat, poate avea loc deformarea terenului prin încovoierea stratelor de roci acoperitoare (fig. 3).

Menționăm că efectele scufundărilor discontinue pot fi dramatice. Dat fiind caracterul lor dinamic, adesea au condus la pierderi de vieți omenești, închiderea parțială a unor mine și distrugerea de construcții, instalații și echipamente situate la suprafață.

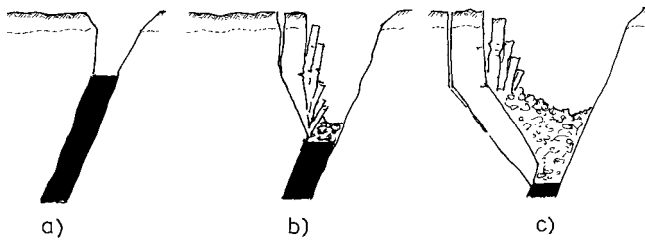


Fig. 2. Dezvoltarea progresivă a fenomenului de rupere odată cu creșterea adâncimii de exploatare, în cazul corpurilor groase de minereu cu înclinare mare [18]:  
a, b și c – diferite adâncimi de exploatare.

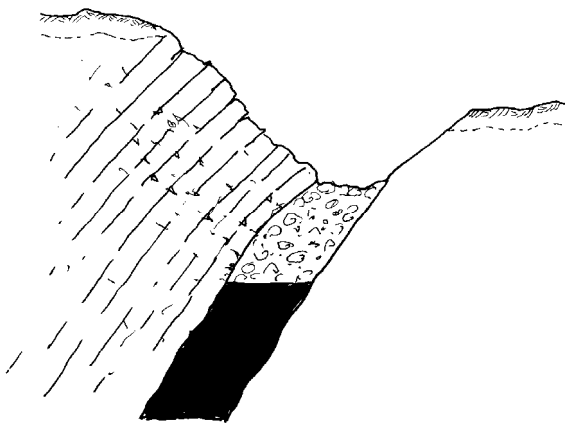


Fig. 3. Încovoierea straterelor din acoperiș, în cazul exploatării cu rambleere a corpurilor groase de minereu cu înclinare mare.

### 3. SCUFUNDĂRILE CONTINUE

În categoria scufundărilor continue sau a scufundărilor propriu-zise se includ acele deformări ale suprafeței care formează un profil întins al albiei de scufundare și care se extinde progresiv, odată cu extinderea suprafeței exploatare (fig.4). Acest tip de scufundări este caracteristic straterelor sau filoanelor subțiri, orizontale sau ușor înclinate, cantonate în roci slabe sau roci sedimentare plastice. Acestea rezultă în urma exploatării straterelor de cărbune sau exploatării altor zăcăminte de substanțe minerale utile, cum sunt cele de sulf sau zăcămintele de evaporite, cantonate în depozite sedimentare [26].

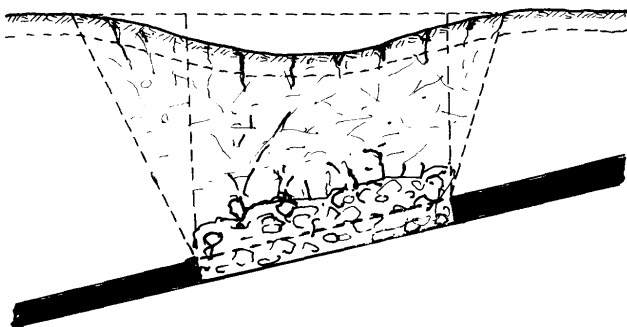


Fig. 4. Scufundare continuă deasupra unui front lung de abataj.

Scufundările continue apar în fiecare punct al albiei de scufundare, fiind caracterizate de cinci mărimi importante: scufundarea verticală, înclinarea și curbura albiei de scufundare și deformațiile orizontale de compresiune și de întindere. Fiecare factor de influență induce diferite tipuri de distrugere a suprafeței.

În funcție de condițiile de situare a zăcământului și de exploatare a acestuia, în urma procesului de extragere, în masivul de roci acoperitoare iau naștere, în general, trei zone de deformare, și anume:

- zona surpărilor neregulate;
- zona surpărilor regulate;
- zona îndoirii rocilor după stratificație (fig.5). Se consideră că zona a treia poate lipsi, atunci când adâncimea de situare a exploatării este de sub 100–150 m [25].

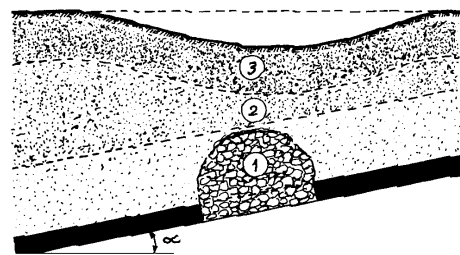


Fig. 5. Deplasarea și deformarea masivului de roci sub influența exploatării subterane.

Propagarea mișcării masivului de roci spre suprafață se face în limitele unui spațiu cu o formă aproximativ piramidală, delimitată de niște plane înclinate față de orizontală cu niște unghiuri, numite de scufundare. Deplasarea terenului de la suprafață determină apariția unei cavități în scoarța terestră numită *albie de scufundare*. Așadar, principalii parametri ce definesc această albie de scufundare sunt unghiurile de scufundare și unghiurile de rupere. Unghiurile dintre planele de scufundare și orizontală sunt numite *unghiuri de scufundare*. Acestea se notează cu  $\beta_s$  (în aval),  $\gamma_s$  (în amonte) și  $\delta_s$  (pe direcție) (fig. 6). Aceste plane determină limitele de la care nu se mai resimte mișcarea rocilor datorată procesului de exploatare [26].

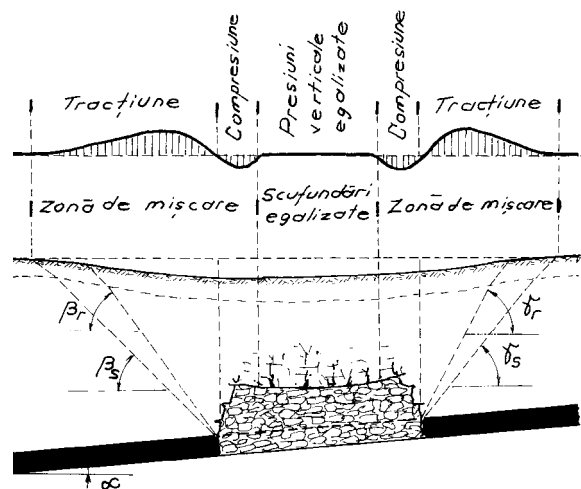


Fig. 6. Deformarea terenului de la suprafață și extinderea zonei de scufundare.

La suprafață, spre interiorul albiei de scufundare, apare o linie de fracturare ce corespunde unor plane, din jurul spațiului exploatat, înclinare față de orizontală cu niște unghiuri corespunzătoare, după înclinare,  $\beta_r$  și  $\gamma_r$ , iar după direcție,  $\delta_r$ . Acestea poartă denumirea de *unghiuri de rupere*.

Cu cât rocile de deasupra excavației sunt mai moi, cu atât unghiurile de scufundare vor fi mai reduse, iar diferența față de unghiurile de rupere, mai importantă. Rocile tari determină formarea unor unghiuri de scufundare cu valoare mai mare și mai apropiate de cele de rupere.

Dacă în urma exploatării stratelor orizontale se formează unghiuri de scufundare egale pe contur, acestea diferă între ele la exploatarea stratelor cu înclinare mică și medie. La exploatarea zăcămintelor cu înclinare mare, fenomenul de deplasare a rocilor este oarecum diferit, ca urmare a apariției deplasării rocilor din culcuș.

Parametrii albiei de scufundare se stabilesc în urma măsurătorilor topografice. În acest scop se stabilesc o serie de aliniamente după direcția zăcămintului și după înclinarea acestuia, urmărindu-se în timp dinamica acestor parametri, până la stabilizarea deformațiilor. Unghiurile de scufundare și de rupere sunt parametri specifici, stabiliți pentru fiecare zăcămint.

Pe lângă unghiurile de scufundare și de rupere, alți parametri importanți ce definesc deformarea și deplasarea suprafeței terenului sunt: deplasarea verticală sau scufundarea,  $W$ , în mm; deplasarea orizontală,  $U$ , în mm; deformația specifică orizontală,  $\varepsilon$ , în mm/m; înclinarea,  $T$ , în mm/m; curbura,  $K$ , în  $m^{-1}$ .

Studiind parametrii reprezentați prin curbele din figurile 7 și 8, constatăm că între aceștia există o serie de dependențe, și anume: deplasările verticale sunt maxime atunci când înclinarea este zero și prezintă un punct de inflexiune pentru o valoare maximă a înclinării (în punctul în care curbura albiei de scufundare are valoarea zero); pentru valoarea zero a deformațiilor specifice orizontale, curba deplasărilor orizontale deține un maxim.

Trebuie remarcat faptul că dacă în cazul exploatării zăcămintelor orizontale curbele definite mai sus au o configurație simetrică, după înclinare, în condițiile stratelor înclinate, acestea devin asimetrice. Diferențele sunt cu atât mai pro-

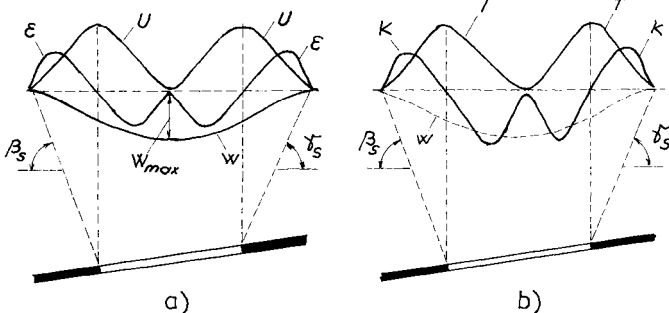


Fig. 7. Curbele de deplasare și deformare ale suprafeței terenului, pentru cazul exploatării stratelor orizontale și cu înclinare mică.

nunțate cu cât stratul are o înclinare mai mare (fig. 8). S.S. Peng consideră că pentru a analiza parametrii de scufundare, metodele utilizate au la bază teorii descriptive și teorii ale mecanicii mediilor continue [29, 30]. *Teoriile descriptive* includ teoriile lui Lane și Roberts [23], Briggs [10], Grond [17], Wardell etc. [32]. Acestea, numite și *metode topografice*, derivă doar de la observațiile efectuate în teren [29, 30] și constau în amplasarea la suprafață a unor stații de măsurare topografică a parametrilor de deplasare și de deformare. Prin măsurători de nivelment se determină scufundările verticale ale suprafeței și se ridică curba scufundărilor verticale sau albia de scufundare. Apoi, din calcule se determină curba înclinării și curba curbării albiei de scufundare [7]. *Teoriile mecanicii mediului continuu* au fost dezvoltate pentru aproape toate tipurile de comportament al materialelor, incluzând comportamentul elastic [6], vâsco-elastic, elasto-plastic [14] etc. Definite mai larg ca *metode matematico-analitice*, acestea constau dintr-o serie de relații de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare ale suprafeței terenului, în care se pot aminti: teoria lui Bayer, teoria lui King-Wardell, metoda de calcul a lui Avershin, teoria lui Martoș, teoria Knothe-Budryk etc. [25]. Odată cu evoluția computerelor și perfecționarea programelor ce au la bază metodele numerice de calcul (metoda elementelor finite, metoda elementelor de frontieră, metoda diferențelor finite etc.), aceste metode se utilizează tot mai mult în evaluarea parametrilor albiilor de scufundare [27].

Când adâncimea de exploatare este importantă, gradul de afânare a rocilor este mare, iar grosimea și înclinarea zăcămintului sunt reduse, fenomenul de propagare a deformației în masivul de roci, spre suprafață, se oprește la o anumită înălțime a rocilor din acoperiș, adică la o distanță față de suprafață, numită *adâncime de siguranță*. Deci, adâncimea de siguranță  $H_s$  este distanța normală, măsurată de la suprafață, de la care exploatarea subterană nu are o influență dăunătoare asupra terenului de la zi [13]. Înălțimea de siguranță are valoarea:

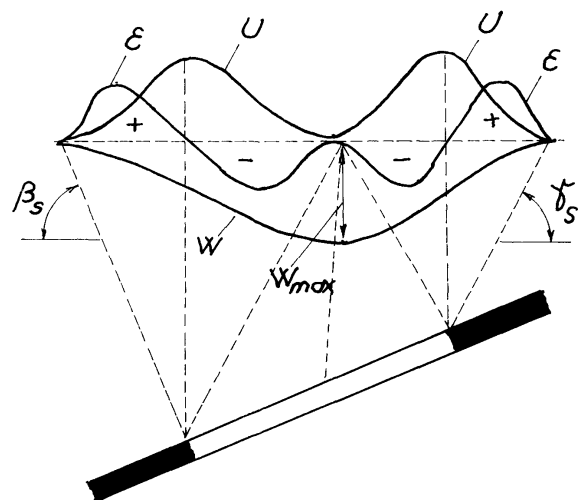


Fig. 8. Curbele de deplasare și deformare ale suprafeței terenului, pentru cazul exploatării stratelor cu înclinare medie și mare.

$$H_s = K_s \cdot m,$$

în care:  $K_s = K_r / (K_r - 1)$  este coeficientul de siguranță;  $m$  – grosimea exploatată a stratului;  $K_r$  – coeficientul de afânare remanentă.

În cazul zăcămintelor de cărbune, Agoșkov [1] stabilește coeficientul de siguranță ca având valori cuprinse între 501 și 101. Pentru cazul zăcămintelor de minereuri recomandă utilizarea următoarelor valori: în cazul dirijării presiunii prin surpare totală,  $K_s \geq 200$ ; în cazul dirijării presiunii prin rambleere uscată,  $K_s \geq 90$ ; în cazul dirijării presiunii prin rambleere hidraulică,  $K_s \geq 30$ .

În cazul exploatării zăcămintelor de cărbuni, Șevikov exprimă valorile coeficienților de siguranță în funcție de tipul de construcții și de înclinarea stratelor, astfel: pentru cazul construcțiilor civile:  $K_s = 50-350$ , când  $\alpha < 45^\circ$  și  $K_s = 50-450$ , când  $\alpha > 45^\circ$ ; pentru alte tipuri de construcții:  $K_s = 100-400$ , când  $\alpha < 45^\circ$  și  $K_s = 100-500$ , când  $\alpha > 45^\circ$  [16].

Raportând adâncimea de siguranță la adâncimea de exploatare, deosebim următoarele trei cazuri, și anume: pentru  $H_s > H$ , are loc surparea terenului de la suprafață; pentru  $H_s = H$ , terenul este afectat fără consecințe importante; pentru  $H_s < H$ , terenul de la suprafață nu va suferi deformări. Adâncimea de siguranță se definește pentru situațiile în care mărimea absolută a deplasărilor orizontale sau verticale ale rocilor, la marginile albiei de scufundare, nu depășește 20 mm, respectiv pentru care nu se produce distrugerea construcțiilor situate la suprafață.

#### 4. SCUFUNDAREA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ, PROVOCATĂ DE ASECARA FORMAȚIUNILOR ACVIFERE

Pe lângă pierderea unor rezerve importante de apă potabilă, asecarea unor formațiuni geologice determină apariția unor fenomene geomecanice negative, cum ar fi: scufundarea terenului de la suprafață, ca urmare a tasării scheletului mineral al rocilor magazin; pierderea stabilității unor pilieri de protecție (însoțită de scufundarea suprafeței de la zi) și alunecarea unor taluzuri, din cauza schimbării stării de tensiuni din masiv. Deci, scufundarea terenului de la suprafață poate apărea și asociată operațiilor de asecare. Distanța verticală de la care se dezvoltă fracturile de tracțiune, deasupra acoperișului abatajelor, depinde de adâncimea de exploatare, de volumul excavației rezultate prin exploatare și de rezistența rocilor din acoperiș. Rețeaua de fracturi din acoperiș poate intensifica scurgerea apelor în excavațiile miniere, determinând astfel asecarea formațiunilor acvifere din orizonturile superioare. Dacă fracturile intersectează suprafața terenului de la zi, creșterea permeabilității rocilor poate conduce la mărirea debitelor de apă infiltrate în subteran și chiar la dispariția unor cursuri de ape în subteran [2].

Whittaker și alții [34] prezintă un studiu de caz în ceea ce privește modificarea permeabilității rocilor din acoperiș până la suprafață, în cazul exploatării cu fronturi lungi de abataj. Aceștia găsesc că permeabilitatea rocilor se schimbă apreciabil pe o înălțime de 40 m de acoperiș, pentru o adâncime de exploatare de 630 m.

Chiar dacă nu apare o fracturare importantă a rocilor, pot rezulta scufundări ale terenului prin comprimarea unor argile sau turbării, ca urmare a asecării acestora, periclitând stabilitatea unor structuri de la suprafață. În aceste condiții, scufundarea se poate dezvolta pe o perioadă de ani de zile, în cazul rocilor slab consolidate, iar procesul de consolidare poate dura o perioadă lungă de timp [2]. Naguchi și alții [24] raportează o scufundare pe o arie întinsă, într-o vale aluvionară, sub care a avut loc un proces extensiv de exploatare subterană a cărbunelui. Cu toate că exploatarea are loc de peste 28 de ani, foarte târziu a început un proces de consolidare a rocilor în urma exploatării. Autorii au concluzionat că procesul de consolidare poate dura mulți ani ca urmare a asecării.

Kovacs & Jambrik [21], efectuând o serie de analize statistice ale datelor referitoare la scufundarea în timp a terenurilor de la suprafață sub influența asecării unor formațiuni acvifere, au concluzionat că valoarea deplasării terenului de la suprafață depinde de distanța de la lucrarea de drenaj și de durata asecării.

În România, termocentrala de la Rovinari se află pe un zăcământ de lignit, situat sub nivelul apei subterane dintr-un strat acvifer sub presiune, care, înainte de începerea exploatării cărbunilor în carierele din jurul termocentralei, avea un caracter artezian [15]. Pentru a exploata cărbunele a fost necesară scăderea nivelului hidrostatic, ceea ce a produs apariția tasării terenului și, implicit, scufundarea suprafeței terenului de la zi, punându-se astfel problema stabilității construcțiilor aferente termocentralei. Menționăm că exploatarea zăcămintelor de cărbuni, prin carierele din Oltenia, necesită coborârea nivelului piezometric al apelor subterane cu mai mult de 50–100 m, determinând apariția tasărilor de roci și a scufundărilor ce pot afecta stabilitatea taluzurilor și versanților din jur, precum și a construcțiilor situate în aria de influență.

#### 5. ANALIZA IMPACTULUI PRODUS ASUPRA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ ÎN URMA EXPLOATĂRII SUBTERANE A UNOR ZĂCĂMINTE DIN ROMÂNIA

**Cazul stratelor de lignit de grosime medie și înclinare redusă.** Zăcământul de lignit din Oltenia aparține sistemului geomorfologic Getic-Piemont și perioadelor Neogen și Cuaternar, cuprinzând 21 de strate de lignit, cantonate în argile, argile nisipoase, marne etc. Stratele au o răspândire neuniformă, o tectonică variabilă și sunt situate la adâncimi reduse de exploatare (50–150 m), în condiții hidrogeologice diferite, existând condiții atât pentru exploatarea la zi cât și în subteran.

Anghiuș S. [3], pentru a studia fenomenele de deformare a terenului de la suprafață, a analizat măsurătorile efectuate de-a lungul unei perioade de 20 de ani, asupra unor stații de urmărire amplasate în județele Vâlcea, Gorj și Mehedinți.

În urma analizei bazei de date obținute din măsurătorile topografice s-au desprins următoarele concluzii: mărimea suprafeței afectate, în diferite grade, de fenomenele de scufundare a fost cuprinsă între 13,5 ha, la mina Berbești, și 30 ha, la mina Dragotești (fig. 9), fiind de 6-8 ori mai extinsă decât suprafața exploatată; valorile scufundărilor maxime sunt direct proporționale cu grosimea exploatată (3,17 m pentru un strat de 3,7-4 m grosime și 2,37 m pentru un strat de 3 m); viteza de avansare a abatajului influențează valoarea scufundărilor (la mina Cucești, pentru o viteză de 18-25 m/lună, factorul de scufundare  $a = 0,89$ , în timp ce pentru mina Dragotești, unde viteza a fost de 35-40 m/lună, factorul de scufundare nu a depășit 0,79); fenomenul de mișcare a terenului a fost considerat stins după o perioadă de 3,5 ani de la începerea exploatarei, pentru mina Cucești (fig. 10), și de 1,2 ani, la mina Dragotești, fiind influențată de viteza de exploatare.



Fig. 9. Afectarea terenului și construcțiilor miniere de la suprafață (mina Dragotești, abataj 28/5 – anul 1997) [3]

**Cazul stratelor groase de huilă cu înclinare medie și mare.** Bazinul Petroșani este constituit dintr-un fundament cristalin și depozite sedimentare molasice de cuvertură, atribuite Cretacicului superior, Paleogenului și Neogenului. Acest zăcământ este puternic tectonizat și conține 20-22 de strate de cărbune superior, cu extindere, grosime și calitate variabile, în funcție de zonă. Principalele strate explotabile sunt nr.3 și nr.5. Stratul 3, cu o pondere de 48% din totalul rezervelor, prezintă grosimi și înclinări variabile, de la câțiva metri la peste 40-50 m. Stratul 5 reprezintă 12%, cu înclinări variabile și grosimi de 1,5-5,5 m. Rocile sedimentare înconjurătoare sunt argile, marne, șisturi și gresii, cu rezistențe la compresiune foarte diferite, cuprinse între 2 MPa și peste 30 MPa. Exploatarea stratelor de cărbune are la bază procedeul de dirijare a presiunii prin surparea rocilor înconjurătoare (și, ocazional, cu rambleerea spațiului exploatat), iar în ultimul timp, și pe cel cu surparea cărbunelui și a rocilor înconjurătoare.

Ortelecan M., în lucrarea [28], se ocupă de studiul deformației terenului sub influența exploatarei stratelor 3 și 5, în zonele cu înclinare medie și mare, prin organizarea a numeroase stații de observație în perimetrele din estul bazinului (Dâlja, Livezeni, Petrila, Lonea). În urma analizei datelor obținute din măsurători topografice și fotogrammetrice s-au tras următoarele concluzii: albiile și fenomenele de scufundare s-au dezvoltat asimetric (fig. 11); deplasările verticale maxime au fost de ordinul zecilor de metri– 16,4 m în cazul exploatarei stratului 3 – Lonea, prin surparea rocilor înconjurătoare (fig. 12), și mult mai mici, de cca. 1,823 m, în cazul exploatarei cu rambleere a str.3 – Petrila; deformațiile specifice înregistrate (de +77,88 mm/m și -51,85 mm/m) au produs la suprafața terenului fisuri, rupturi și chiar surpări, iar clădirilor situate în zonele de influență, fisuri și crăpături; scufundarea maximă este direct proporțională cu grosimea zăcământului, factorul de scufundare și cu dimensiunea zonei exploatate, iar parametrii de scufundare sunt influențați de adâncimea de exploatare, unghiul de înclinare a stratului și de dinamica exploatarei.

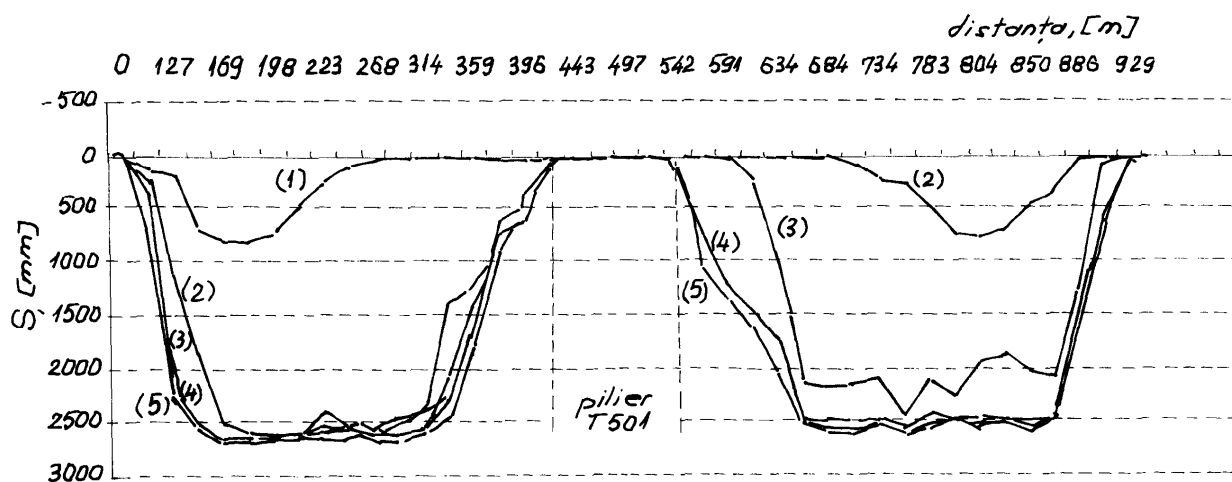


Fig. 10. Valorile scufundărilor în cazul abatajelor 618 și 619, mina Cucești, județul Vâlcea [3]: (1) – II.1983; (2) – VII.1984; (3) – VII.1985; (4) – X.1985; (5) – XII.1985.

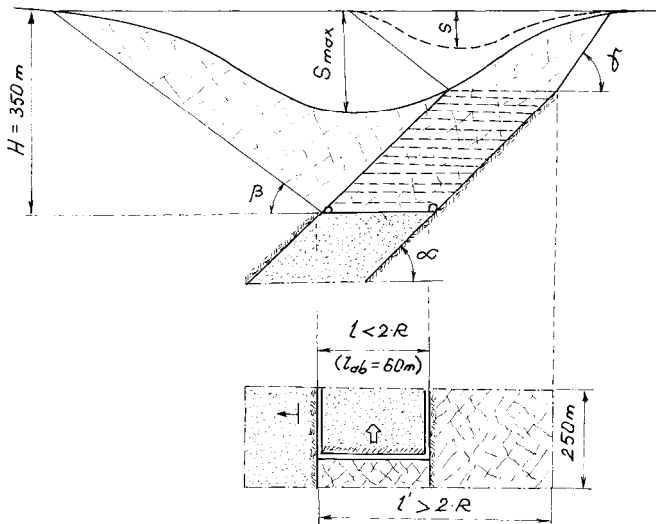


Fig. 11. Aria exploatată și zonele de influență a exploatării în cazul stratelor groase cu înclinare mare extrase în felii orizontale [28].

**Cazul zăcămintelor de sare gemă exploatate prin dizolvare.** Zăcămintul Ocnele Mari deține o formă lenticulară (fig. 13.), la care se constată un diapirism incipient, având o dezvoltare maximă pe direcția est-vest, de cca. 7,5 km. Lățimea în profunzime a zăcămintului este de 2,5 km, iar grosimea este variabilă, de la zero la 450 m. Înclinarea zăcămintului este de 25-20°, orientată spre nord. Masivul de sare nu aflorază la suprafață, fiind cantonat la o adâncime variabilă de 20-30 m, în zona salinei vechi, și de 700-800 m, în zona nordică. În partea inferioară, zăcămintul este străbătut de 1-5 intercalații, cu grosimi de la câțiva centimetri la 9 m. Sarea de Ocnele Mari are o rezistență medie la compresiune monoaxială de 29,4 MPa și un modul de elasticitate de 1056 MPa.

Câmpul de sonde II este alcătuit din 15 sonde, amplasate în jurul câmpului. Dimensiunile geometrice ale elementelor de rezistență proiectate ale camerelor de dizolvare sunt următoarele: diametrul camerelor, 80-100 m; grosimea planșelor, 50 m; grosimea pilierilor intercamerali, 50 m.

În urma exploatării prin dizolvare cinetică a camerelor, principalul efect negativ apărut a fost dizolvarea pilierilor și unirea camerelor de dizolvare în câmpul II de exploatare (fig. 14) și a sondelor S401 și S405, din câmpurile I și II. Ca urmare, la porțiunea superioară a gurilor de dizolvare aferente sondelor S366, ..., S367 (fig. 13), pe o înălțime medie de cca 45 m, procesul de dizolvare s-a desfășurat necontrolat (fig. 15), având drept consecință formarea unei caverne cu dimensiunile orizontale de 10,5 ha și un volum de 2,5 milioane m<sup>3</sup> de saramură. Așadar, după exploatarea celor trei câmpuri, au apărut, în timp, următoarele fenomene cu impact negativ asupra suprafeței terenului: scufundări, denivelări, fisuri și crăpături ale terenului (și, implicit, afectarea clădirilor); impregnări locale ale terenului de la suprafață cu saramură și motorină (utilizată ca fluid izolan în procesul tehnologic de exploatare), ca urmare a pierderii etanșității unor sonde și a scurgerilor accidentale.

Bendea H. [5], urmărind fenomenul de deformare a terenului, cu ajutorul măsurătorilor topografice (la suprafață) și cavernometrice (în gurile de dizolvare), a ajuns la definirea următorilor parametri ai curbelor de scufundare: scufundările maxime, pe aliniamentul N-S, au fost de 194,7 mm, iar pe aliniamentul V-E, de 521,7 mm (fig. 16); valoarea maximă a înclinărilor pe aliniamentul N-S a fost de 8,934 mm/m, iar pe V-E, de 2,824 mm/m; pentru scufundările determinate la nivelul celor 15 sonde a rezultat o scufundare maximă de 2048,8 m, pe sonda S376, cu o viteză de scufundare de 85,03 mm/an.

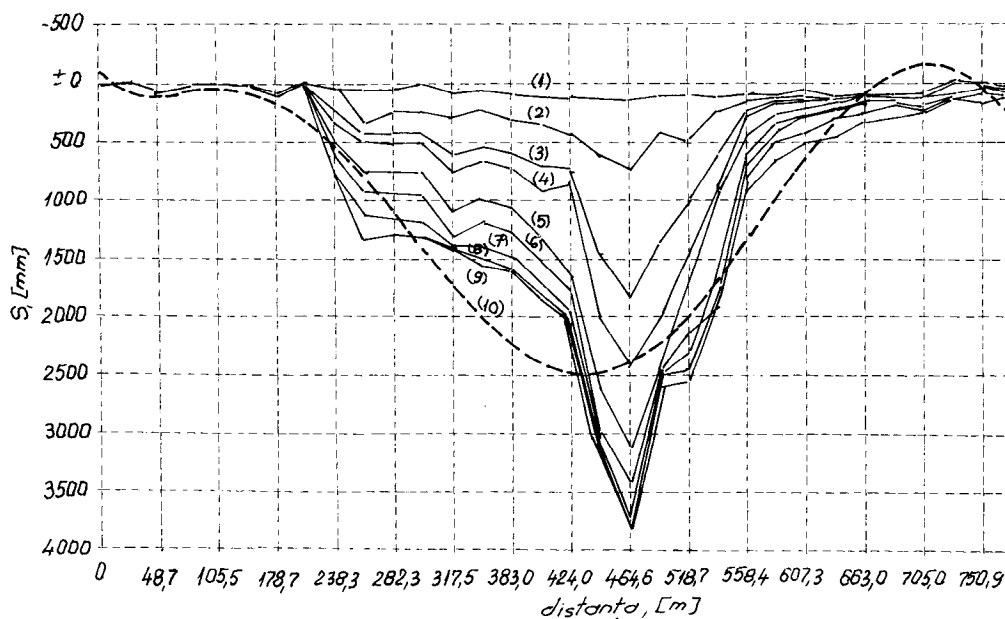


Fig. 12. Reprezentarea în timp a profilelor scufundărilor (profil transversal stratul 3 – Dâlja) [28]:  
 (1) – X.75; (2) – V.76; (3) – IV.77; (4) – X.77; (5) – IV.78; (6) – X.78; (7) – IV.79;  
 (8) – X.79; (9) – IV.80; (10) – curbă de regresie polinomială.

## DEGRADAREA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ SUB INFLUENȚA EXPLOATĂRII SUBTERANE

Același autor, analizând rezultatele observațiilor efectuate în teren, în urma corelațiilor dintre aria de influență  $a$ , lățimea cavernei  $l_g$ , înălțimea cavernei  $h_g$  și adâncimea

în raport cu suprafața  $h_s$ , a stabilit valoarea scufundării suprafeței generate de prezența golurilor de dizolvare:

$$S(x) = \sum_{i=1}^n \left\{ -293,65 \cdot \left( \frac{h_g}{h_s} \right)^2 - 123,77 \cdot \left( \frac{h_g}{h_s} \right) - 35,104 \right\} \cdot e^{-\left\{ \frac{a-x}{0,0054 \cdot l_g - 0,0176} \right\}^2} \quad (1)$$

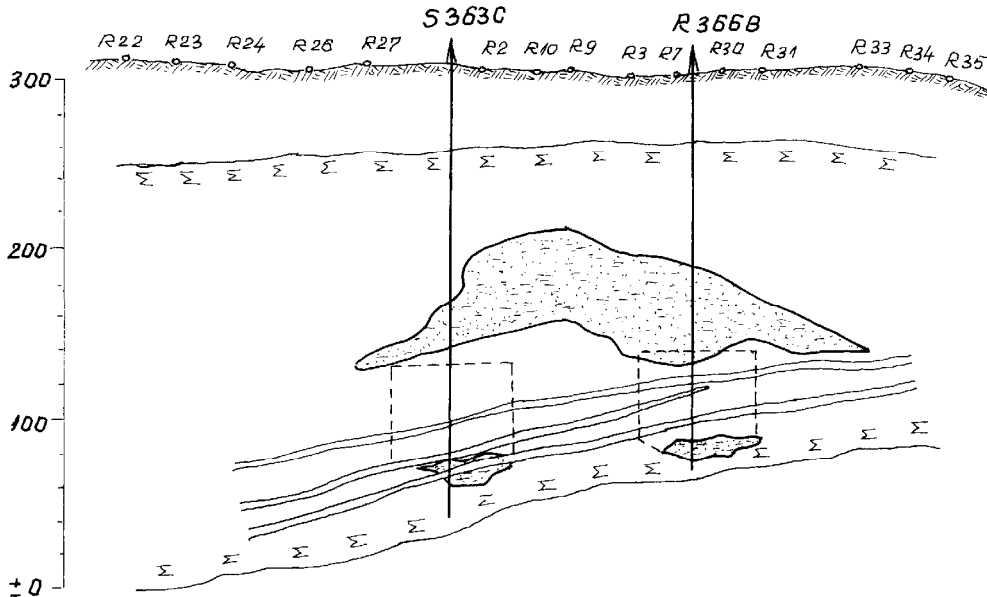


Fig. 13. Profil vertical prin zăcământul de sare Ocnele Mari, aliniament direcțional V-E.

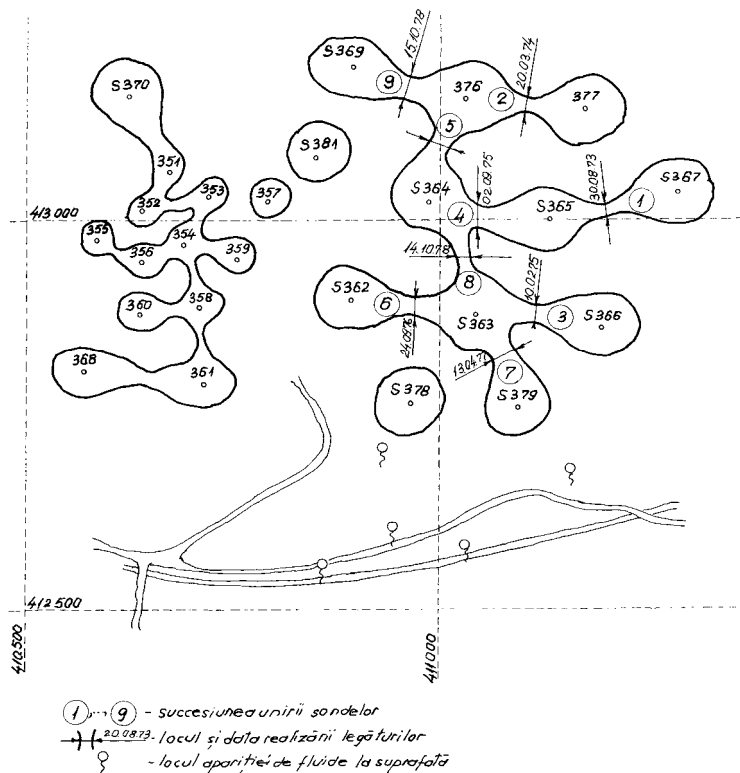


Fig. 14. Legăturile existente între camere (panul de situație al câmpului II de sonde, Ocnele Mari).



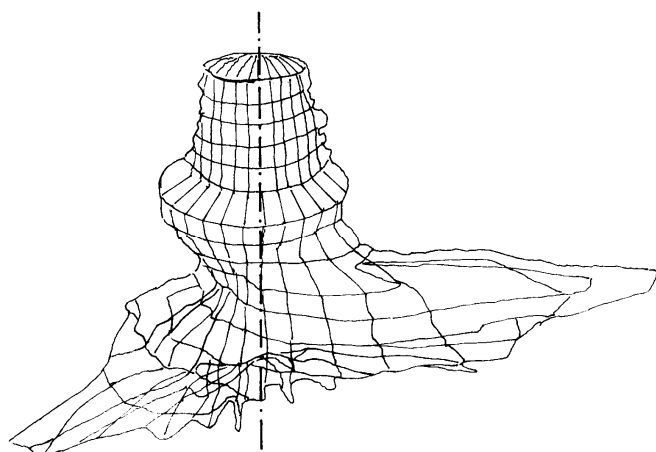


Fig. 15. Representarea 3D a cavernei aferente sondei S377 [5].

Poluarea accentuată cu saramură a mediului a început la data de 12.09.2001, când s-a surpat terenul din jurul sondei 377, saramura deversându-se cu un debit de  $17\text{m}^3/\text{s}$  (în perioada septembrie-noiembrie 2001 au fost deversați în rețeaua hidrografică peste 2,2 milioane  $\text{m}^3$  de saramură). Ulterior, sonda 377 a antrenat în surpare și sonda 367. În data de 12-13.07. 2004 s-a surpat și sonda 365, evacuându-se saramura, la un debit de  $24\text{m}^3/\text{s}$ , peste digul de protecție (cu o lungime de 430 m, o înălțime de 8 m și o capacitate de înmagazinare a saramurii de  $160\,000\text{m}^3$ ). În perioada iulie-septembrie 2004 au fost scurgeri de saramură în mediul înconjurător de peste  $600\,000\text{m}^3$ . În continuare, au fost antrenate în surpare și sondele 364 și 376.

Pagubele rezultate după afectarea terenului de la suprafață, în urma prăbușirii sondelor de la Ocele Mari, s-au

concretizat în următoarele despăgubiri: 62 de proprietăți au fost despăgubite cu 44,2 miliarde lei; 44 proprietari au primit locuințe noi, în valoare totală de 117,1 miliarde lei; 108 gospodării afectate de deversarea saramurii au primit 1,9 miliarde lei; 159 de proprietăți afectate în 2004 vor primi daune de 2,7 miliarde lei. De asemenea, s-au mai cheltuit 45,2 miliarde lei cu executarea digului de retenție a saramurii și încă 11,9 miliarde lei, cu refacerea și decolmatarea acestuia; regularizarea Pârâului Sărat a costat peste 32,5 miliarde lei.

## 6. CRITERII PENTRU EVALUAREA DISTRUGERII STRUCTURILOR DE LA SUPRAFAȚĂ PROVOCATE DE EXPLOATAREA SUBTERANĂ

Deformațiile induse în diferite structuri, odată ce depășesc valorile critice ale caracteristicilor elementelor structurale, cauzează distrugerii ale acestora. Suma și intensitatea distrugerilor depind de capacitatea acestora de a prelua tensiunile suplimentare induse de deformațiile transmise de teren. De aceea, este destul de complicat să se determine cantitativ distrugerile structurilor de la suprafață datorate exploatării subterane [30].

După cum se prezintă în tabelul 1 [22], deformațiile de tracțiune și compresiune sunt în mod clar principalii factori care cauzează distrugerea tuturor tipurilor de construcții de la suprafață. Construcțiile sunt sensibile la toate tipurile de deformații ale terenului, cu excepția scufundărilor pure și a deplasărilor pure, pe când structurile de transport sunt sensibile și la scufundările pure.

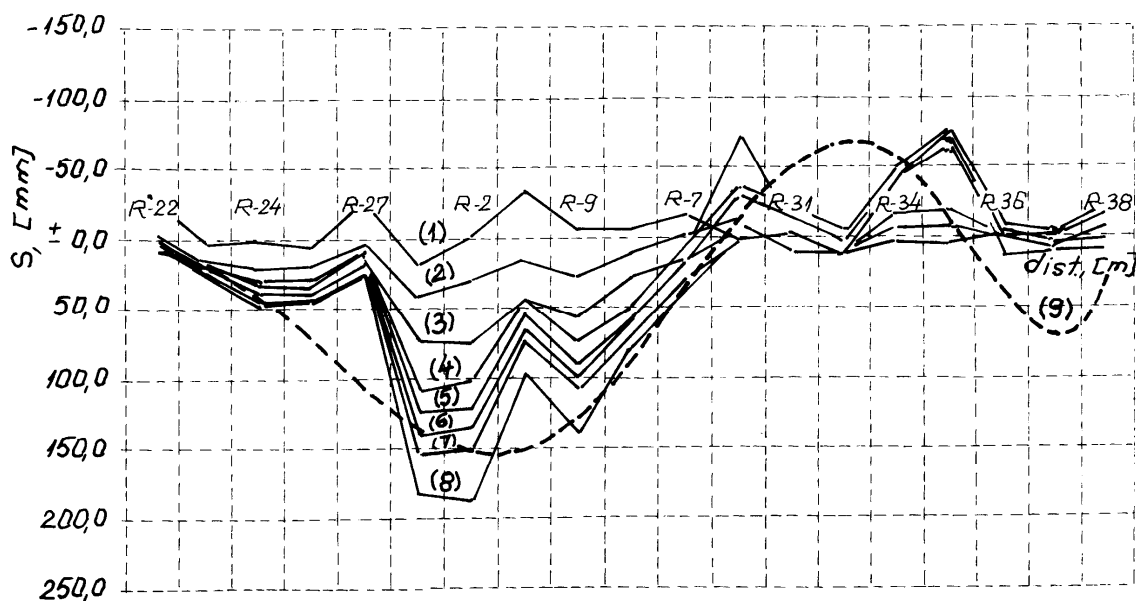


Fig. 16. Reprezentarea în timp a scufundărilor produse după aliniamentul V-E:  
 (1) – 30.V.95; (2) – 01.XI.95; (3) – 01.X.96; (4) – 04.V.97;  
 (5) – 04.XI.97. (6) – 26.V.98; (7) – 14.X.98; (8) – 25.VII.99;  
 (9) – curbă de regresie polinomială.

## DEGRADAREA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ SUB INFLUENȚA EXPLOATĂRII SUBTERANE

Deformațiile maxime admisibile ale terenului și structurilor variază de la o țară la alta și chiar frecvent, de la o regiune la alta a țării (tabelul 2).

Bruhn și al. [31] au propus o schemă de clasificare bazată pe caracteristicile de bază ale distrugerilor (tabelul 3). Indicele de severitate este definit astfel:

$$\text{Indicele de severitate} = R_p + 4 \cdot [R_B \cdot A + R_S \cdot (1 - A)] \quad (2)$$

unde:  $R_p$  este porțiunea din perimetrul pereților de bază, ce trebuie renovată ( $R_p=1$  dacă  $R_B$  sau  $R_S$  este mai mare decât zero);  $R_B$  – porțiunea din pereții de susținere de bază, ce trebuie înlocuită;  $R_S$  – porțiunea din dalele de pardoseală, ce trebuie înlocuită;  $A$  – costul înlocuirii pereților de susținere de bază/costul înlocuirii pereților de susținere de bază și a pardoselii.

Tabelul 1

**Sensibilitatea diferitelor structuri și terenuri de la suprafață la diferite tipuri de deformații ale terenului (adaptare după Kratzsch [22])**

Structura	Scufundarea	Înclinarea	Curbura	Deplasarea	Tracțiune	Compresiune
Case		x	x		x	x
Clădiri comerciale		(x)	x		x	x
Șiruri de case		x	x		x	xx
Ateliere			(x)		(x)	(x)
Furnale		xx				
Mașini		xx				
Transportoare cu bandă				x	x	x
Coșuri		xx				
Treceri de conducte				x		
Rezervoare		x	xx		x	
Instalații de tratare a apelor		xx			x	x
Căi ferate	x				x	x
Gări	x	(x)			x	x
Drumuri	(x)				x	x
Canale	xx					
Ecluze	xx	x	x		x	(x)
Poduri	x	(x)		x		
Conducte de petrol					x	x
Conducte de apă				(x)	x	x
Canale	xx			(x)	x	x
Conducte de gaz	(x)				x	x
Cabluri subterane					(x)	x
Pajiști	x					
Păduri	x					
Canale de drenaj	x					
Cursuri de apă	xx					

Notă: grad de sensibilitate: xx-mare, x-mediu, (x)-redus

Tabelul 2

**Deformațiile structurale maxim admisibile, în principalele țări producătoare de cărbune (după S.S. Peng [30])**

Țara (Zona)	Deformația la compresiune, mm/m	Deformația la tracțiune, mm/m	Înclinarea, mm/m	Raza de curbura, km	Observații
China		2	3	5	
Franța	1-2	0,5			Conducte de petrol
Germania	0,6 0,5	0,6 0,5	1-2		Fundații de beton armat
Japonia	1 5	1 5			Cadre Rezervoare de stocare a deșeurilor
Polonia	1,5	1,5	2,5	20	
Doneț (CSI)	2	2	4	20	
Karaganda (CSI)	4	4	6	3	
Anglia	1				

Clasificarea distrugerilor provocate de scufundare (după Bruhn și al. [31])

Clasa	Caracterizarea distrugerii infrastructurii	Indice de severitate
I Ușoară	– Fisuri în unul sau mai mulți pereți de bază și, posibil, în dalele din pardoseală	0
	– Câteva fracturi (crăpături) în pereții exteriori, datorate pierderii de presiune a apei interstițiale din roci – Necesitatea renovării câtorva sau a tuturor pereților	1
II Moderată	– Fracturi în unul sau mai mulți pereți de bază și dale din pardoseală	1
	– Necesitatea reconstruirii câtorva pereți/porțiuni de fundație și dale de pardoseală, ca și unele renovări locale	2
III Severă	– Fracturi în unul sau mai mulți pereți de bază și dale din pardoseală	2
	– Posibile instabilități ale pereților și pierderea capacității de susținere a suprastructurii, necesitând construirea de elemente de consolidare – Lucrări extinse de reparații, cuprinzând reconstruirea de pereți/porțiuni de fundație și înlocuirea de dale în pardoseală	4
IV Foarte severă	– Fracturi tipice în toți pereții de bază, ca și în dalele din pardoseală	4
	– Posibile instabilități ale mai multor pereți de bază și pierderea capacității de susținere a suprastructurii, necesitând construirea extensivă de elemente de consolidare – Posibilă înclinare semnificativă a construcției – Necesitatea reconstruirii generale a pereților de bază, fundației și pardoselii	5

Indicele de severitate variază continuu, între 0 și 5. Importanța distrugerilor crește odată cu indicele de severitate.

## 7. METODE DE REDUCERE A DEFORMAȚIILOR TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ

**Pilierii de siguranță.** Cea mai sigură metodă de protecție a terenului de la suprafață (cu obiectivele amplasate pe acesta) și a lucrărilor miniere subterane este lăsarea în zona acestora a unor porțiuni de zăcământ neextrase, astfel încât să le situeze în afara ariei de influență a exploatarei, numite *pilieri de siguranță*.

Criteriul cel mai frecvent utilizat în proiectarea pilierilor de siguranță este *criteriul unghiului critic*, bazat pe relația

dintre unghiul de înclinare a pilierului  $\beta$  și deformația specifică admisibilă  $\epsilon_a$ , reprezentat în tabelul 4 pentru patru categorii de obiective [20].

Dacă deformația este mai mare de 12 mm/m, clădirile devin practic neutilizabile, deoarece acestea au suferit căderi de pereți și alte distrugeri importante [19].

Metoda grafică de trasare a pilierilor de siguranță are la bază unghiurile de scufundare obținute prin măsurători topografice, la nivelul albiilor de scufundare din fiecare bazin minier, și sunt specifice doar acestora. De asemenea, în jurul construcțiilor de la suprafață se lasă o porțiune de teren, numită bermă sau marjă de siguranță. Această bermă de siguranță are valoarea în funcție de gradul de importanță al clădirii și se ia de 10-15 m pentru prima categorie de protecție a clădirilor, de 5-10 m pentru cele din a doua și de 5 m pentru cele din a treia și a patra categorie [11].

Tabelul 4

Categoria	Deformații admisibile, $\epsilon_a$ , mm/m	Unghi pilier, $\beta$ , grade	Caracterizarea distrugerii	Obiectivul
I	0,01–1,5	54	Fisuri invizibile	Puțuri, obiective industriale (instalații de preparare, oțelării, uzine electrice etc.), șosele, căi ferate, baraje, poduri, spitale, râuri și lacuri.
II	1,5 – 3,0	58	Fracturi vizibile, de 2-5 mm	Găuri de foraj, depozite, conducte de petrol, blocuri cu peste două nivele, stații de transformare, linii de înaltă tensiune, instalații pentru irigații, structuri industriale și pentru agricultură.
III	3,0 – 6,0	62	Fracturi deschise, de 10-20 mm	Drumuri și căi ferate secundare, bungalouri, lucrări subterane, aeroporturi.
IV	6,0–12,0	66	Fracturi deschise, de > 10-20 mm	Clădiri temporare, terenuri agricole și forestiere.

**Rambleerea compactă.** Datele obținute dintr-un număr mare de observații au arătat faptul că scufundarea maximă a terenului de la suprafață este strâns legată de grosimea zăcământului și de metoda de dirijare a presiunii. Scufundarea maximă este de aproximativ 60-80% din grosimea extrasă a zăcământului, atunci când este folosită dirijarea presiunii miniere prin surparea integrală a rocilor din acoperiș. Pentru rambleerea compactă, cum ar fi cea hidraulică cu nisip, scufundarea maximă este de doar 6-10% din grosimea extrasă a stratului. Extinderea rambleerii compacte depinde de procedeul tehnologic de rambleere aplicat și de tipul de material folosit la umplere [8]. În urma observațiilor efectuate, Whittaker [33] a ajuns la concluzia că pentru dirijarea presiunii cu stive și surparea rocilor din acoperiș, scufundarea maximă poate atinge 90% din înălțimea extrasă a stratului, adică pentru rapoarte  $w/h$  egale cu 1,4 sau mai mari (unde:  $w$  reprezintă lățimea zonei exploatare, iar  $h$ , adâncimea medie de situare a zăcământului). De asemenea, pentru cazul rambleerii pneumatice, scufundarea maximă este în jur de 45%, iar pentru cea hidraulică, de aproximativ 15-20%. Experiența utilizării rambleerii arată că pentru a avea o reducere semnificativă a scufundării suprafeței, raportul  $w/h$  trebuie să fie mai mare decât 0,6.

**Exploatarea parțială.** Exploatarea parțială sau cu pilieri abandonati este folosită cu succes în minele de cărbuni și de minereuri și în vederea reducerii deformării terenului de la suprafață. În acest caz, gradul de recuperare a zăcământului variază între 50 și 60%. Dacă exploatarea parțială este combinată cu rambleerea hidraulică, scufundarea maximă posibilă este de 2% din grosimea extrasă a stratului, iar dacă este combinată cu surparea rocilor înconjurătoare, scufundarea maximă este în jur de 3-10%. Exploatarea parțială este utilizată, în special, atunci când la suprafață sunt situate anumite obiective importante [26, 4].

**Exploatarea în felii.** Exploatarea în felii este specifică stratelor groase. În acest caz se consideră că extragerea următoarei felii trebuie să se realizeze după un timp suficient de lung pentru ca deformarea terenului să se stabilizeze sau să se reducă la un nivel acceptabil [8]. Exploatarea simultană a feliilor, cu un decalaj bine stabilit între abataje, poate conduce la reducerea influenței asupra terenului de la suprafață, efect specific abatajelor armonice [26].

**Exploatarea la intervale de timp.** Este importantă în cazul exploatării parțiale. După exploatarea unei porțiuni de zăcământ este necesar ca scufundarea să înceteze sau să se diminueze; porțiunile de zăcământ rămase sunt exploatare ulterior, astfel încât mișcarea totală a terenului se reamorsează la anumite intervale de timp. Aceasta este o metodă foarte eficientă de protecție a clădirilor situate la suprafață. Această metodă și cea în felii sunt cele mai bune metode de reducere a cumulării diferitelor efecte generate de influența excavațiilor miniere subterane [4].

**Exploatarea armonică.** Este una dintre cele mai eficiente metode de protecție a obiectivelor situate la suprafață împotriva efectelor distructive ale exploatării subterane. Metoda este practicabilă atunci când sunt exploatare simultan mai multe strate apropiate. Ideea este de a conduce exploatarea în așa fel încât deformațiile de tracțiune, din zona de influență a unui abataj, să se suprapună peste cele de compresiune ale altui abataj. Acestea echilibrându-se, efectul distructiv al suprafeței se reduce la minimum [4]. Metoda abatajelor armonice a primit o largă aplicabilitate la exploatarea pachetelor de strate din pilierii de siguranță ai puțurilor sau a unor construcții situate la suprafață. Exploatarea se concentrează fie pe un strat fie, în cazul mai multor strate, prin atacarea concomitentă a acestora, însă cu extragerea decalată a abatajelor. Decalajul dintre fronturile de abataj, de pe stratele apropiate, trebuie să țină seama de faptul că deformațiile, a căror mărime depășește limitele admisibile, trebuie să fie compensate de deformațiile de semn contrar, ce iau naștere în masivul de roci înconjurătoare. Compunerea tensiunilor de semn contrar se poate obține și în urma exploatării a două câmpuri de abataj adiacente, respectiv situate pe același strat și exploatare cu decalaj. Decalajul dintre cele două fronturi trebuie să fie astfel ales încât tensiunile de tracțiune dezvoltate în masivul de roci din acoperiș să le compenseze pe cele de compresiune [12, 13].

**Creșterea vitezei de exploatare.** Mărind viteza de exploatare se creează condiții favorabile pentru protejarea suprafeței, în timpul perioadei de exploatare. În mod normal, reducerea relativă a deformației suprafeței, prin creșterea vitezei de exploatare, va fi mare pentru roci mai dure sau o adâncime de exploatare redusă și efectul va fi redus pentru roci mai moi și o adâncime de extracție importantă [4]. Deci, timpul este un factor principal în degradarea rocilor supuse unei anumite stări de tensiuni. Astfel că, deformația maximă la tracțiune  $\epsilon_t$ , care urmărește un front în exploatare, este în general mai redusă decât deformația finală de tracțiune  $\epsilon_{max}$  și, cu cât exploatarea este mai rapidă, cu atât deformațiile  $\epsilon_t$  sunt mai reduse. Mai mult decât atât, deformațiile maxime de compresiune, ce însoțesc frontul, sunt întotdeauna mai mici decât deformațiile corespunzătoare de tracțiune [9,29].

## BIBLIOGRAFIE

1. **Agoșkov, M.I.** *Exploatarea zăcămintelor de minereuri* (traducere din limba rusă), București, Editura Tehnică, 1952.
2. **Ilgai, F.K., Brown, T., Johnson, K., Siegel, J., Desautels, J.H.** *Environmental Effects of Mining, Mining Environmental Handbook: Effect of Mining on the Environment and American Environmental Controls on Mining*, Editor Jerrold J. Marcus, Imperial College Press, London, 1997.
3. **Anghiuș, S.** *Studiul deplasării suprafeței sub influența exploatării subterane a zăcămintelor de lignit din bazinul Olteniei*, Teză de doctorat, Petroșani, 2002.
4. **Baochen, L.,** *Ground Surface Movements Due to Underground Excavation in the People's Republic of China*, in Comprehensive

- Rock Engineering Principles, Practice and Projects, editor-in-chief John A. Hudson, Pergamon Press Ltd., Oxford, England, 1993
5. **Bendea, H.** *Urmărirea prin metode topografice și cavernometrice a deformațiilor determinate de golurile subterane în perimetrul minier Ocnele Mari*, Teză de doctorat, Petroșani, 2000.
  6. **Berry, D.S.** *The Ground Considered as a Transversely Isotropic Material*, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., No.1, 1964.
  7. **Brady, B.H.G., Brown, E.T.** *Rock Mechanics For Underground Mining*, George Allen & Unwin, London, 1985.
  8. **Brauner, G.** *Subsidence Due to Underground Mining II. Ground Movements and Mining Damage*, U.S.Bureau of Mines, IC 8572, 1973.
  9. **Brauner, G.** *Subsidence Due to Underground Mining. Theory and Practices in Predicting Surface Deformation*, U.S.Bureau of Mines, IC 8571, 1973.
  10. **Briggs, H.** *Mining Subsidence*, Arnold, London, 1929.
  11. **Covaci, Ș.** *Exploatarea miniere (vol. I)*, E.D.P., București, 1961
  12. **Covaci, Ș.** *Exploatarea zăcămintelor de substanțe minerale utile în subteran (vol. I)*, Editura Tehnică, București, 1972.
  13. **Covaci, Ș.** *Exploatarea miniere subterane (vol. I)*, E.D.P., București, 1983.
  14. **Dahl, H.D., Choi, D.S.** *Some Case Studies of Mine Subsidence and Its Mathematical Modeling*, Proc.15<sup>th</sup> Symp. Rock Mech. Custer State Park, SD., Sept. 1973.
  15. **Florea, M.N.** *Alunecări de teren și taluzuri*, Editura Tehnică, București, 1979.
  16. **Fotă, D.** *Influența lucrărilor subterane asupra stabilității construcțiilor de la suprafață*, în Geologie inginerescă, vol.II, Editura Tehnică, București, 1981.
  17. **Grond, G.J.A.** *Disturbances of Coal Measures Strata Due to Mining Activities*, Iron Coal Trade Rev., 1950.
  18. **Hoek, E.** *Progressive Caving Induced by Mining an Inclined Ore Body*, Trans. Inst. Min.&Met., London, October, 1974
  19. **Jeremic, M.L.** *Subsidence Problems Caused by Solution Mining of the Rock Salt Deposit*, 10<sup>th</sup> Canadian Rock Mech. Symp., Kingston, Vol.I, September 2-4, 1975.
  20. **Kalcov, A.** *Scufundarea terenului și protejarea structurilor de la suprafață (în iugoslavă)*, Arhit. ptr. Tehnologie, No.3,1965.
  21. **Kovacs, F., Jambrik, R.** *Predictable Effects of the Drainage of Open-Pit Workings*, ETSIMM (UPM), AITEMIN, Directeur de l'Édition Mañana,R., Congrès Minier Mondial, Madrid, 25/29 may, 1992.
  22. **Kratzsch, H.** *Mining Subsidence Engineering*, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
  23. **Lane, W.T., Roberts, J.H.** *The Principles of Subsidence and the Law of Support*, Knopf, London, 1929.
  24. **Noguchi, T., Takahashi, R., Tokumitsu, Y.** *On the Compression Subsidence of Peat and Humic Lazars in Kami-Shinbashi Area, Kurate-Machi; Kurate-Gun, Fukuoka Prefecture*, Proceedings of Tokyo Symposium on Land Subsidence, International Association of Scientific Hydrology, Belgium, 1969.
  25. **Oncioiu, G.** *Influența exploatării subterane asupra terenului de la suprafață*, în cap.XVI, Mecanica rocilor – Manualul inginerului de mine (vol. II), Editura Tehnică, București, 1985.
  26. **Onica, I.** *Impactul exploatării zăcămintelor de substanțe minerale utile asupra mediului*, Editura Universitat, Petroșani, 2001.
  27. **Onica, I.** *Introducere în metode numerice utilizate în analiza stabilității excavaiilor miniere*, Editura Universitat, Petroșani, 2001.
  28. **Ortelecan, M.** *Studiul deplasării suprafeței sub influența exploatării subterane a zăcămintelor din Valea Jiului, zona estică*, Teză de doctorat, Petroșani, 1997.
  29. **Peng, S.S.** *Coal Mine Ground Control*, John Wiley&Sons, New York, 1978.
  30. **Peng, S.S.** *Coal Mine Ground Control, Second Edition*, John Wiley&Sons, New York, 1986.
  31. **Sarkar, S.K., Singh, S.** *Recherches sur les défaillances du contrôle du toit dans les longues tailles en Inde et nouvelle approche de la planification du soutènement afin d'éviter ces faites*, Sixième Conference Internationale sur le Pressions de Terrains, Banff Canada, 23-28 septembre, 1977.
  32. **Wardell, K.** *The Problems of Analyuing and Interpreting Observed Ground Movement*, Colliery Eng., 1959.
  33. **Whittaker, B.N., Reddish, D.J.** *Subsidence Behaviour of Rock Structures*, Comprehensive Rock Engineering Principle, Practice&Projects, ed. J.A. Hudson, Pergamon Press Ltd, Oxford, 1993.
  34. **Whittaker, B.N., Singh, R.N., Neate, C.J.** *Effect of Longwall Mining on Ground Permeability and Subsurface Drainage*, Proceedings of First International Mine Drainage Symposium, Denver, CO, Argall and Brawner, eds., Miller Freeman Publication, San Francisco, 1979.