

**PROTECȚIA MEDIULUI PRIN
DETECȚIA PUNCTELOR CALDE DIN
DEPOZITELE DE CĂRBUNI
ÎNAINTE DE A SE AUTOAPRINDE
FOLOSIND TERMOGRAFIA**

ing. Alina DINCĂ
ing. Constantin CERCEL
Universitatea „Constantin Brâncuși” din
Târgu-Jiu

**ENVIRONMENT PROTECTION
THROUGH DETECTION OF HOT
SPOTS USING THERMOGRAPHY
IN COAL DEPOSITS BEFORE SELF
IGNITION**

Eng. Alina DINCĂ
Eng. Constantin CERCEL
“Constantin Brancusi” University of Târgu-
Jiu

ABSTRACT:

În această lucrare este prezentată o modalitate de a contribui la protecția mediului în ceea ce privește cărbunile care este depozitat în grămezi mari înainte de a fi ars în scopul producerii energiei. Datorită anumitor parametri, în anumite locuri, cărbunile depozitat se poate încălzi și autoaprinde, deci își pierde proprietățile calorice și poate duce la incendii. În acest caz, pierderile ar putea fi chiar mai mari și efectul asupra mediului mult mai rău. Pentru a preveni autoaprinderea, o cameră cu infraroșu poate fi montată pe un sistem și camera, împreună cu un software care interpretează imaginile termice, poate alarma personalul care se ocupă cu supravegherea cărbunelui și să ia măsuri imediate. De asemenea, vor fi prezentate limitele găsite până în acest moment în calea finalizării aplicațiilor

Cuvinte cheie: protecția mediului, depozite de cărbuni, lignitul, oxidanți, cărbune, monoxid de carbon.

1. Introducere

Referința [1] afirmă despre cărbune că este o rocă combustibil de culoare maronie-neagră care are originea în acumularea și alterarea ulterioară chimică și fizică a materiei vegetale pe perioade îndelungate de timp și că pe o bază fără umezeală este un conținut de nu mai mult de 50% materie minerală.

Cărbunile este folosit de obicei pe post de combustibil fosil, iar lignitul este unul

ABSTRACT:

In this paper is presented a way to contribute to the environmental protection when it comes to coal which waits in big deposits to be burned for energy production. Because of certain parameters, in some places, the deposited coal could overheat and self ignite, thus losing its caloric properties and even lead to fire. In this case the losses could be even higher, and the effect on the environment even worse. In order to prevent this self ignition to happen, an infrared camera can be mounted on a system, and the camera together with software which interprets the thermographic images, can alarm the personnel who is in charge with coal surveillance that the coal will ignite unless they take immediate measures. Also, there will be presented the limits we have found by now in the way of finalizing the application.

Key words: environmental protection, coal deposits, lignite, oxidized, coal, carbon monoxide.

2. Introduction

Reference [1] states that coal is a brown to black combustible rock that originated by accumulation and subsequent physical and chemical alteration of plant material over long periods of time, and that on a moisture-free basis contains no more than 50% mineral matter.

Coal is usually used as fossil combustible, and one of the types of coal is lignite, also

din tipurile de cărbune folosit drept combustibil și se extrage și la noi în țară. Lignitul este un cărbune galben-maroniu închis, rareori negru, cărbune care a fost format din turbă sub presiuni moderate; este unul dintre primele produse ale carbonizării și este intermediarul între turbă și cărbune subbituminos. Lignitul uscat conține aproximativ 60 – 70% carbon.



Fig. 1 Lignite deposit

Din [2], este cunoscut că arderea completă a carbonului și a hidrocarburilor despre care am vorbit mai sus, se întâmplă rareori în natură. Dacă temperatura nu este suficient de înaltă sau nu este furnizat destul oxigen combustibilului, arderea acestor materiale este de obicei incompletă. În timpul arderii incomplete a carbonului și hidrocarburilor, se formează și alte produse în afara dioxidului de carbon și a apei. Aceste produse includ monoxidul de carbon, hidrogenul și alte forme de carbon pur, cum ar fi funinginea.

În timpul arderii cărbunelui, constituenți minori sunt de asemenea oxidați (adică arși). Sulfura este convertită în dioxid de sulf și trioxid de sulf, iar compușii de nitrogen sunt convertiți în oxizi de nitrogen. Arderea incompletă a cărbunelui și arderea acestor constituenți minori rezultă într-un număr de probleme de mediu. De exemplu, funinginea

extracted in our country. Lignite is a yellow to dark brown, rarely black, [coal](#) that has been formed from [peat](#) under moderate pressure; it is one of the first products of coalification and is intermediate between peat and [subbituminous coal](#). Dry lignite contains about 60 – 70% carbon.



Fig. 1 Lignite deposit

From [2], it is known that the complete combustion of carbon and hydrocarbons described above rarely occurs in nature. If the temperature is not high enough or sufficient oxygen is not provided to the fuel, combustion of these materials is usually incomplete. During the incomplete combustion of carbon and hydrocarbons, other products besides carbon dioxide and water are formed. These products include carbon monoxide, hydrogen, and other forms of pure carbon, such as soot.

During the combustion of coal, minor constituents are also oxidized (meaning they burn). Sulfur is converted to sulfur dioxide and sulfur trioxide, and nitrogen compounds are converted to nitrogen oxides. The incomplete combustion of coal and the combustion of these minor constituents results in a number of environmental problems. For example, soot formed during incomplete combustion may settle out of the air and deposit an unattractive coating on homes, cars, buildings, and other structures. Carbon monoxide formed during incomplete

formată în timpul arderii incomplete se poate depune într-un mod deloc atractiv și nicidecum sănătos pe case, mașini, clădiri și alte structuri. Monoxidul de carbon format în timpul combustiei incomplete este un gaz toxic și poate cauza boli sau chiar moartea oamenilor și altor animale. Oxizi de sulf și nitrogen reacționează cu vaporii de apă în atmosferă și apoi ajung în aer sub formă de ploii acide (ploile acide sunt crezute a fi responsabile pentru distrugerea anumitor forme de vegetație și faună, în special acvatică).

În plus, cărbunele rareori conține un mic procentaj din materii minerale: cuarț, calcite, sau poate minerale de lut. Aceste componente nu ard imediat și atunci devin parte din cenușa formată în timpul arderii. Această cenușă este eliberată apoi în atmosferă sau este lăsată în vasul de ardere și apoi ori o ia aerul, ori stocată în grămezi, cenușa cărbunelui ars poate fi o serioasă problemă de mediu.

Din [3] se știe cărbunele proaspăt excavat, când este depozitat în grămezi, trece prin oxidări la temperaturi atmosferice joase, datorită prezenței metanului și a altor materii volatile pe suprafață. Această oxidare exotermică cauzează creșterea temperaturii cărbunelui și dacă această încălzire nu este înlăturată, urmează o etapă în care cărbunele ia foc. Acest fenomen se numește combustie spontană și duce la izbucnirea focului în depozitul de cărbune.

Dacă creșterea temperaturii datorită oxidării nu depășește o valoare critică (500 grade Celsius pentru lignit și aproape 800 pentru cărbunele bituminos), combustia spontană nu are loc, dar calitatea cărbunelui este afectată, depinzând de gradul de oxidare. Oxidarea spontană poate cauza:

- scăderea valorii calorice
- scăderea în conținutul de carbon și hidrogen și creșterea oxigenului %
- notarea mărimii s-ar putea reduce (datorită rostogolirii, bucățile de

combustion is a toxic gas and may cause illness or death in humans and other animals. Oxides of sulfur and nitrogen react with water vapor in the atmosphere and then settle out in the air as acid rain. (Acid rain is thought to be responsible for the destruction of certain forms of plant and animal—especially fish—life.)

In addition to these compounds, coal often contains a small percentage of mineral matter: quartz, calcite, or perhaps clay minerals. These components do not burn readily and so become part of the ash formed during combustion. This ash then either escapes into the atmosphere or is left in the combustion vessel and must be discarded. Sometimes coal ash also contains significant amounts of lead, barium, arsenic, or other elements. Whether airborne or in bulk, coal ash can therefore be a serious environmental hazard.

From [3] Freshly mined high volatile coal when stored in bulk undergoes low temperature atmospheric oxidation due to the presence of methane and other volatile matter on the surface. This exothermic oxidation causes the rise in temperature of the coal and if the heat is not removed, a stage comes when coal begins to burn on its own. This is called Spontaneous Combustion which leads to outbreak of fire in the stored coal.

If the temperature rise due to oxidation does not exceed a critical value (500 C for Lignite and about 800 C for bituminous coal), spontaneous ignition does not take place but the quality of coal is affected depending on the degree of oxidation. Spontaneous oxidation can cause:

- decrease in Calorific value
- decrease in Carbon and Hydrogen content and increase of Oxygen %
- size grading may get reduced (due to crumbling, the coal lumps gets broken down into small pieces)
- fire, if the temperature exceeds the critical value

cărbune se sparg în bucățele)
- foc, dacă temperatura depășește
valoare critică.

Căi pentru evitarea autoaprinderii sau
oxidării spontane:

1. Răcirea prin ventilare sau prin sprayere cu apă pentru a evita creșterea temperaturii în grămadă
2. Stocarea cărbunelui în grămezi mai mici (mai puțin de 200 MT/grămadă) pentru a permite răcirea și a preveni încălzirea grămezii
3. Reducerea accesului la aer, stocând, de exemplu, în grămezi compresate (împachetarea cărbunelui strâns și compactarea cu dozatorul/încărcătorul) sau stocarea în grămezi cu acces strâmt la aer. Aceasta este o alternativă pentru punctele 1 și 2, însă nu e de dorit adăugarea umezelii
4. Reducerea pudrei fine în cărbune
5. Înălțimea grămezii să fie limitată la mai puțin de 3 metri pentru cărbunele cu volatilitate ridicată, și mai puțin de 2 metri pentru lignit
6. Să se strângă cărbunele care a fost excavat cu șase luni în urmă (perioada de stocare după excavare mai mult de 6 luni). Cărbunele care a fost excavat și alimentat în grămezi în 4-5 săptămâni prezintă un risc ridicat
7. Trebuie evitate grămezile conice. Crește suprafața și riscul focului
8. Locația de stocare ar trebui să fie departe de orice sursă de încălzire (cum ar fi țevile de aburi, conducte)
9. Urmată aranjarea “primul intrat-primul ieșit” în managementul grămezii. Cărbunele vechi ar trebui consumat și cel nou depozitat
10. Verificată cu regularitate grămada cu termocuple lungi și portabile care să indice temperatura grămezii
11. Asigurarea punctelor cu hidrant de apă lângă grămezi. Când se observă foc, un mare volum de apă trebuie

Ways to avoid Self Ignition or
Spontaneous Oxidation are:

1. Cooling by ventilation or by water spraying to avoid increase of coal stock temperature
2. Storing the coal in smaller lots of stock pile (Less than 200 MT/Pile) to enable better cooling to prevent heating up of coal stock
3. Reducing access to air, i.e. by storage in compressed piles (packing coal tightly and compacting by running Dozer/Loader compactor over stock pile) or storage in closely covered air tight enclosure. This is an alternate for point 1 & 2 if adding moisture is not desirable.
4. Reducing the fine powder content in the coal
5. Height of stock pile limited to less than 3 meters for High volatile coal and less than 2 meters for Lignite
6. Get coal which was mined six months back. (Storage period after mining more than six months). Coal which was mined and supplied with in 4 to 5 weeks is more risky.
7. Conical heaps are to be avoided. It increases the surface area and the risk of fire.
8. The storage location should be such that any external source of heat is to be avoided.(Like steam pipes, flue ducts etc.)
9. Follow the practice of first in first out in stock pile management. The old coal should go for consumption and fresh coal should go for storage.
10. Regularly check the pile with long portable thermocouple temperature indicator the pile temperature.
11. Water hydrant points to be provided near to the pile. When fire is noticed in pile with small emanation of smoke, large volume of water should be sprayed. Spraying very small quantity of water will not quench the fire instead it will further enhance the

sprayat. O cantitate mai mică nu ar face decât să întărească focul datorită reacției gazelor ($C + H_2O \Rightarrow CO + H_2$).

Pe vreme ce maturitatea cărbunelui crește, tendința să ia foc scade. Trebuie notat că pentru fiecare creștere cu 10 centigrade a temperaturii grămezii, rata oxidării se dublează. Autoaprinderea și oxidarea spontană sunt de obicei predominante în cărbunele proaspăt. Dacă este excavat cu o lună sau patru luni înainte și apoi stocat, este mai puțin susceptibil la autoaprindere. Cărbunele stocat mai mult de 6 luni cu expunere la aer nu mai este supus autoaprinderii. Oricum, dacă stocăm cărbunele mai mult de șase luni cu ajutorul unor fonduri mari, costul întreținerii poate crește. Pierderi de vânt, pierderea oxidării și a așezământului se pot întâmpla.

Cărbunele stocat pe perioade mai lungi absorb oxigen, după cum este explicat mai sus, și valoarea calorică a lui scade. Pentru fiecare creștere cu 1% a conținutului de oxigen, CV-ul cărbunelui descrește cu 1% precum creșterea cenușii. Oricum, dacă nu este permis ca temperatura de stocare să treacă de 600 grade celsius, cărbunele foarte volatil suferă o depreciere mai mică în valoarea de încălzire. Pierderea de așezământ reprezintă pierderea materialului stocat pe pământ nepregătit. Solul și lutul se amestecă cu cărbunele și se pierde o anumită cantitate de cărbune din cauza asta. Țara noastră se confruntă cu problema autoaprinderii spontane a cărbunelui în depozitele mari de cărbune, deoarece marea parte a energiei produse provine din arderea cărbunelui.

2. O poveste de succes care s-a confruntat cu aceeași problemă

Precum afirmat în [4], în Republica Cehă, la Cooperația Nástup Mines în Tusimice, a fost aceeași problemă și Flir Systems a rezolvat-o în următoarea modalitate: pentru această locație, ENELEX a furnizat un sistem de camere infraroșu de

fire due to water gas reaction($C + H_2O \Rightarrow CO + H_2$).

As the maturity of coal increases, its tendency to catch fire during storage decreases. It should be noted that for every 10 degree Centigrade increase of storage temperature the rate of oxidation gets doubled. Self Ignition or Spontaneous Oxidation is usually predominant in fresh coal. If the material is mined one to four months back and stored then it is less susceptible to Self Ignition. Coal already stored longer than six months with exposure to air are usually not liable to Self Ignition. However, if the coal is stored over six months on economical front blockage of large money and increase of handling cost may arise. Further wind loss, Oxidation loss of coal (weathering of coal), Carpet loss are bound to happen.

Coal stored over longer period absorbs oxygen as explained above and its calorific value decreases. For every 1% increase of oxygen content the CV of coal decreases by 1% like increase of ash. However if the temperature of storage is not allowed to go more than 600 C, High volatile coal suffers less depreciation in heating value. Carpet loss is the loss of material stored on the unprepared ground. The soil and clay matter mix up with coal and some quantity of coal is lost by this. Our country deals with the problem of spontaneous coal ignition in big coal deposits, because a significant part of the energy produced is from coal burning.

2. A Success Story Dealing with the Same Problem

As stated in [4], In Czech Republic, at the Nástup Mines Cooperation in Tusimice, there was the same problem and Flir Systems solved it in the following way: For this location, ENELEX supplied a ThermoVision™ infrared camera system from FLIR Systems for continuous and fully automated monitoring of the coal pile. The large size of the storage yard means the use of a portable infrared camera is not a practical

termoviziune de la FLIR Systems pentru o monitorizare continuă și automată a grămezii de cărbune. Mărimea depozitului ar putea indica folosirea unei camere portabile, însă nu este o soluție practică pentru această problemă critică a autoaprinderii. Numai un sistem automat este capabil să monitorizeze constant sutele de mii de tone de cărbune care sunt stocate în acea zonă de aproximativ 800 x 200 metri.

Camerele cu infraroșu de la FLIR Systems au fost selectate datorită experienței companiei într-o gamă largă de aplicații de monitorizare termală continuă. Aceste game se extind de la controlul calității pe plăcuțele de circuit și până la sistemele proiectate să opereze în medii industriale dificile, cum ar fi cuptoarele de oțel, liniile de producția sticlei, fabrici de tratare a gunoiului și alte procese industriale.

Sistemul este bazat pe camerele de termoviziune de la FLIR Systems, ThermoVision™ 320C, care sunt montate pe cinci stâlpi de oțel în locații strategice în jurul depozitului (fig.2). Pentru a asigura o acoperire optimă a întregii zone, camerele sunt configurate să genereze o ieșire de alarmă direct către un operator dacă a fost depășit pragul de temperatură maxim anterior definit. Un semnal acustic și o alarmă pe monitor va atrage atenția operatorului ca poate apărea o combustie spontană. Sistemul permite o poziționare precisă și o analiză detaliată a locației critice pentru ca un punct cald să fie răcit, și deci un incendiu prevenit. Datorită cantității mare de cărbune depozitat, semnalele de control și de la cameră sunt transportate prin cabluri de fibră optică, cu o lungime totală de 3km de la cameră până la camera de control fără pierderi de informație.

solution for this critical task. Only a fully automated system is able to constantly monitor the hundreds of thousands of tons of coal which are stored at this site on an area of approximately 800 x 200 meters.

FLIR Systems infrared cameras were selected because of the company's extensive experience in a wide range of continuous thermal monitoring applications. These range from quality control on printed circuit boards right up to systems designed to operate in harsh industrial environments such as steel mills, glass production lines, waste treatment plans and other industrial processes.

The system is based on the FLIR Systems ThermoVision™ 320C cameras, which are mounted on five steel masts at strategic locations around the site (fig.2). To ensure optimum coverage of the whole area, the cameras are configured to generate a direct alarm output to an operator if previously defined maximum temperature thresholds are exceeded. An acoustic alarm and a display alarm on a monitor will draw the operator's attention to a possible spontaneous fire development. The system allows for an accurate positioning and a detailed analysis of the critical location so that the hot spot can be extinguished and a fire prevented. Because of the extensive size of the storage site, the control and camera signals are transported by optic fiber cables with a total length of 3 km from the camera mast to the control room.



Fig. 2. Cameră de termoviziune de la FLIR montată deasupra depozitului de cărbune de la Nástup Mines Cooperation în Tusimice

Fig. 2. Infrared camera from FLIR mounted above the coal deposit of the Nástup Mines Cooperation in Tusimice

3. Aplicație propusă pentru detectarea punctelor calde

În industria cărbunelui [5], după ce cărbunele a fost excavat, produsul este omogenizat pe diferite arii de stocare. Deoarece combustia spontană, datorită creșterii temperaturii, nu poate fi exclusă, se monitorizează continuu grămezile, pentru ca în cazul unui posibil incident, să se declanșeze o alarmă, deci să se evite incendiul.

În urma acestui lucru, putem beneficia de următoarele:

- Supravegherea permanentă și în exterior a apariției focului
- Alarma automată declanșată când se atinge o temperatură presetată
- Prevenirea focurilor spontane și a pierderilor de material

Am gândit următoarea schemă logică (fig. 3):

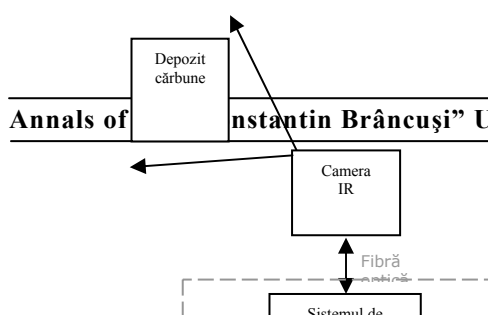
3. Proposed Application for Hot Spot Detection

In the coal industry [5], after coal has been mined the various product grades are homogenized on different storage areas. As spontaneous combustion, due to an increase in temperature, cannot be excluded, the storage tips are monitored continuously for hot spots, so that an early fire alarm may be triggered and fires can be avoided.

From this we could have the following benefits:

- Permanent, outdoor fire watching
- Automatic alarm triggered when a pre-set temperature is reached
- Prevention of spontaneous fires and material loss

We thought of the following logic scheme is found in fig. 3:



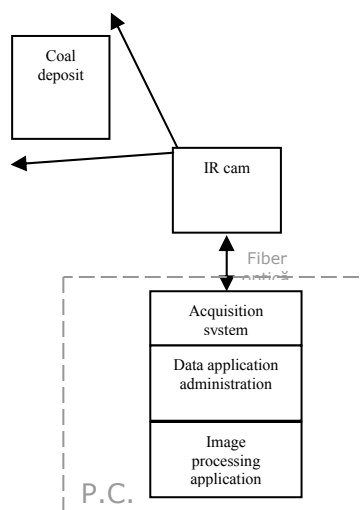


Fig. 3 Schema logică a sistemului propus pentru detectarea punctelor calde

Fig. 3 Logical scheme of the proposed system for hot spot detection

Camera de termoviziune este fixată, achiziționează date și le transmite către sistemul de achiziție care ne oferă o imagine. Această imagine este interpretată de aplicația care rulează pe PC.

Sistemul oferă o monitorizare permanentă și alarmează când o valoare a temperaturii apare în poză ca fiind peste valoarea presetată, deci prevenind pierderea de material și aprinderea spontană a cărbunelui. Din păcate, nu am găsit un algoritm care să arate locul exact al punctelor calde pentru ca personalul care se ocupă cu întreținerea să răcească numai acea zonă, nu întregul depozit.

Imaginile sunt preluate și procesate în timp real și în fig.4, sus, este o imagine în infraroșu a depozitului de cărbune cu două puncte calde, iar jos este aceeași imagine procesată cu aplicația noastră. Algoritmul pentru detectarea punctelor calde a fost găsit în template-ul software-ului Candy pentru procesare de imagini și caută întreaga imagine pixel cu pixel. Când este găsit un pixel sau mai mulți de o anumită valoare, care este mult peste un prag presetat, alarma pornește, anunțând că a apărut un punct cald a apărut în depozitul de cărbune.

Dacă este necesar, se poate adăuga un algoritm care să numere punctele calde pentru o eventuală arhivare a istoricului

The infrared camera is fixed, it acquisitions data and send it to the acquisition system and offers an image. This image is interpreted by the application which runs on the PC.

The system offers a permanent monitoring and alarms if a value appears in the picture which is over the preset temperature, thus preventing the spontaneous coal ignition and material loss. Unfortunately, we didn't find an algorithm that shows the exact location of the hot spots in order for the maintenance personnel to cool only that area, not the entire deposit.

The images are taken and processed real-time and in fig. 4, upper position is an infrared image of a coal deposit with two hot spots, and in the bottom position is the same image processed with our application. The algorithm for hot spot detection was found in a template of Candy software for image processing and searches the whole image pixel by pixel. When it finds a pixel or more of a certain value which is over a preset threshold, the alarm goes on to announce a hot spot appeared in the coal deposit.

If necessary, an algorithm can be added to count the hot spots that are for an eventual archive with information about the evolution

stării depozitului, cu informații despre evoluția în timp a acestuia. in time of the coal deposit.

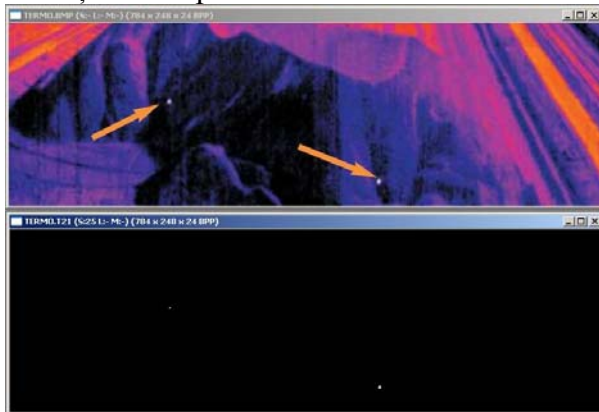


Fig. 4. Rezultatele obținute de autori

Concluzii

În concluzie, din două puncte de vedere, mediul poate fi afectat de depozitele de cărbune nesupravegheate, în sensul că dacă acest cărbune nu arde unde trebuie și în scopul pentru care a fost excavat, în primul rând poluează aerul, apa, iar în al doilea rând, va fi nevoie de mai mult cărbune, deci va fi excavat alt pământ pentru a-l obține. De asemenea, riscul distrugerilor cauzate de incendii, inclusiv pierderea proprietății, oprirea liniilor de producție ș.a. Pentru prevenirea acestora, costul unui sistem automat de monitorizare a temperaturii folosind camere de termoviziune este modest și investiția nu e mare. După experiența din [6], ca o concluzie, autorii afirmă că pentru protecția mediului este foarte importantă o monitorizare continuă a depozitelor de cărbune cu o cameră de termoviziune (sau cu un sistem de asemenea camere) care este conectată la un computer ce ia decizii și alarmează dacă este necesar. Algoritmi ar trebui dezvoltați pentru a detecta punctele calde cu mai mult timp înainte decât se reușește cu tehnicile actuale.

Bibliografie

- [1] <http://www.answers.com/topic/coal-1>
- [2] <http://www.scienceclarified.com/Ci->

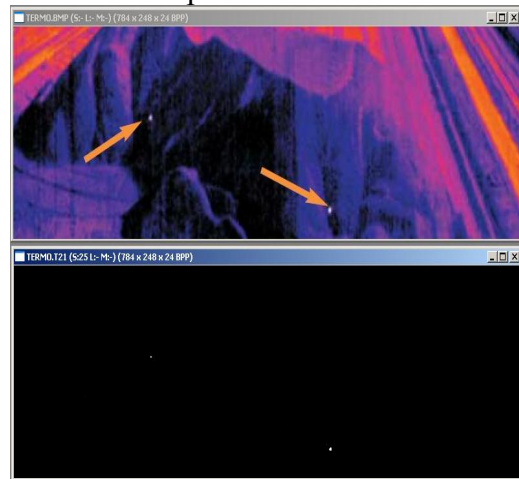


Fig. 4. The results the authors obtained

Conclusions

So, from two points of view the environment can be affected by the unsupervised coal deposits, meaning that if coal burns outside the purpose it was meant to burn, first it pollutes the air, water, and second, more coal will be needed, thus more land will be destroyed with excavations. Also, the risk of consequential damage that can be caused by fires, including loss of property, water damage resulting from fire-fighting and standstill of production lines. In view of these real risks, the cost of an automated temperature monitoring system using infrared cameras is a modest and very worthwhile investment. After the experience in [6], as a conclusion, the authors state that a continuous coal deposit monitoring with a thermovision camera (or with a system of thermovision cameras) that is connected to a computer which takes decisions and alarms if necessary is of the essence for the environmental protection. Algorithms should be developed in order to make the hot spot detection even earlier than the techniques succeed today.

Co/Coal.html

[3]

<http://www.wishal.com/technical/file/The%20Storage%20of%20High%20Volatile%20coal.pdf>

[4]

http://www.flir.com.hk/Success_Stories/Coal%20pile%20ENG.pdf (Flir Systems Success Stories)

[5]

<http://www.flir.com.hk/Brochures/OEM%20EN.pdf>

[6] ITCC Training Course for Thermographer level I, București, Romania.

References

[1] <http://www.answers.com/topic/coal-1>

[2] <http://www.scienceclarified.com/Ci-Co/Coal.html>

[3]

<http://www.wishal.com/technical/file/The%20Storage%20of%20High%20Volatile%20coal.pdf>

[4]

http://www.flir.com.hk/Success_Stories/Coal%20pile%20ENG.pdf (Flir Systems Success Stories)

[5]

<http://www.flir.com.hk/Brochures/OEM%20EN.pdf>

[6] ITCC Training Course for Thermographer level I, București, Romania.