

Felszín alatti vezetékek környezetszennyező hatásainak felmérése távérzékeléses technológiával

*Dr. Mucsi László¹ – Kiss Richárd¹ – Szatmári József¹ – Bódis Katalin¹ –
dr. Kántor Zoltán² – Dabis Gábor³ – Dzsupsin Mihály⁴*

¹Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék,

²SZTE MTA Lézerfizikai Kutatócsoport, ³A.A.Stádium Kft., Szeged,

⁴ERMI-2000 Bt., Szeged

Bevezetés

A csővezetékek lyukadásakor, törésekor gyakran alakulnak ki kritikus helyzetek, gondoljunk csak a nagy átmérőjű vízvezetékek töréseire Budapesten. A termékvezetékek megfűrásakor nemcsak a környezetben keletkező kár lehet jelentős mértékű, hanem emberi életet is követelhet a felelőtlen magatartás. A kőolaj- és földgázkitermelő ipar bányaterületein több 100, esetleg 1000 km hosszú vezetékrendszer húzódik a földfelszín alatt. A több évtizeddel ezelőtt lefektetett vezeték esetében, a mind gyakrabban előforduló természetes eredetű lyukadások miatt, szükség van folyamatos nyomvonalvizsgálatra. Kutatási programunk célja olyan, meglévő rendszereken alapuló, távérzékeléses technológia kidolgozása volt, melynek terepi alkalmazásával korai szakaszban (esetleg a felszíni észlelés előtt) felismerhetők és térben azonosíthatók a lyukadások, valamint megállapítható a lyukadás típusa. Terepi mérésekkel igazolni kívántuk, hogy a felszín alatti vezetékek okozta hőterhelés a talajfelszínen mérhető hőmérsékleti különbségeket okoz, ezáltal biztosított a légi távérzékeléses technológia alkalmazása.

Célunk volt, hogy a repülőgépről készített video- és hőfelvételekhez GPS berendezéssel mért térbeli koordinátákat rendeljünk, biztosítva a

térinformatikai feldolgozás lehetőségét. A fejlesztés eredményeként létrejövő, önálló fejlesztésű környezeti monitoring és döntéstámogató rendszert különböző felszínborítások mellett próbáltuk ki, mérve annak alkalmazhatóságát és hatékonyságát. Az ötlet megvalósítását segítette, hogy az Oktatási Minisztérium Kutatás-fejlesztési Helyettes Államtitkárság által 2000-ben meghirdetett IKTA-3 KÉPI-2000 programjában sikeres pályázatot adott be az SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszéke által vezetett konzorcium, a „*Termális képkészítő és elemző rendszer (TEKER) fejlesztése*” címmel. A konzorcium tagja volt két szegedi cég, az A.A. Stádium Kft. és az ERMI-2000 Bt. Mintaterületként a MOL Rt. Szegedtől északra elhelyezkedő bányászati területét választottuk, és megkaptuk a tulajdonos engedélyét a repülések végrehajtására és a vizsgálatok folytatására. A projektet támogatta az OTKA is a T035512 sz. pályázat keretében.

Módszerek

Az Algyői Bányászati Üzem bányaterületén több mint 1000 kút található, és kb. 1700 km hosszú vezetékrendszer húzódik a felszín alatt (*címlapon*).

Az 1960-as években elkezdett kutatás és kitermelés jelentősen átalakította a korábbi agrár tájat.



1. ábra Termálvíz-vezeték lyukadása hőfelvételen (2000. 02. 18.)

A különböző típusú (olaj, gáz, termálvíz, termék) vezetékek fala az eltelt idő alatt a korrózió miatt elvékonyodik, majd fizikai és kémiai, esetleg antropogén hatásokra kilyukadhat, és a szállított anyag a vezeték környezetébe, a talajba, a talajvízbe kerülhet. Az eltemetett egykori folyómedrek, a Tisza és a talajvíz összefüggő hidrológiai rendszere révén a kiáramló anyagok esetleg nagyobb terület vagy az élővizet is szennyezhetik.

A Föld mélyéről kitermelt nyersanyagok a kútól a gyűjtőállomásokig, majd onnan a főgyűjtőig vezetékeken keresztül jutnak el. 2000 februárjában és májusában végrehajtott repüléseink során végzett méréseink és megfigyeléseink alapján (Mucsi, 2001) nyilvánvaló volt, hogy ezek a vezetékek jelentősen befolyásolják környezetük hőmérsékletét, melynek számos, szemmel látható következménye van. Kora tavasszal a hőtöbblet segíti a növényzet fejlődését, ugyanakkor kora nyáron kiszárítja a talajt és a növényzetet egyaránt.

Télen nem ritka, hogy a vezetékek fölött elolvad a vékony hótakaró, amint az a 2002 telén készített felvételen is látható (lásd hátsó belső borítón).

A vezetékhalózatok monitoringjára a hazai és a nemzetközi gyakorlat alapján több lehetőség is kínálkozik. Új vezeték fektetésekor az ellenőrző mérőrendszert telepíthetik a vezetékek alá (pl. száloptikai kábelek, DiTeSt rendszer). A vezetékek nyomásviszonyainak folyamatos mérésével is lehet következtetni esetleges lyukadásokra. A nyomvonalon végighaladva, mérhető a talajlevegő szénhidrogén-tartalma, pl. KAMINA nevű német műszerrel, amely betanítás után képes felismerni a különböző CH vegyületeket (digitális orr). A légi megfigyelés is többféle elven működhet, az egyszerű színes légifelvételek kiértékelésétől (Geoplace, 2001), a hőkamerák alkalmazásán át, a 3D-

s szeizmikus mérésekig (Fugro Airborne Surveys jelentése), valamint a légi lángionizációs CH elemző berendezések alkalmazásáig (Airwave Environmental Technologies).

A mintaterületünkön napi rendszerességgel légi vezetékellenőrzést végeznek, de a megfigyelés eredményessége leginkább a repülő személyzet tapasztalatán múlik, a dokumentáláshoz digitális fényképezőgépet és videokamerát használnak. A vezetéklyukadás felismerését nem támogatja semmilyen egyéb rendszer.

A kb. 150 km² kiterjedésű bányaterületen a vezetéklyukadásokat gyakran igen későn fedezik fel, ilyenkor a környezet mentesítésének költségei akár a több 10 millió forintot is elérhetik. A repülőgépes monitoring mellett alkalmazott nyomásellenőrzés a kisebb lyukadások okozta nyomáscsökkenést nem tudja kimutatni, de a nyomáscsökkenés észlelése esetén sem tudják megadni a lyukadás pontos helyét a vezeték szakaszon.

A fizikai törvényszerűségeket és tapasztalatainkat figyelembe véve, azt gyanítottuk, hogy az aktív vezetékeken bekövetkező lyukadások megfelelő felbontású és érzékenységgel hőkamerával, illetve a hőfelvételek térinformatikai rendszerbe illesztésével és képfeldolgozós módszerekkel történő feldolgozásával már a kezdeti fázisban felismerhetők. Így mihamarabbi felderítésük révén jelentősen csökkenthetők lennének a környezetet károsító hatások, ill. a kárelhárítás költségei.

Eredmények

A) Terepi talajhőmérséklet-mérés a hőterhelés térbeli kiterjedésének megállapítására

Eddig nem volt pontosan ismert, hogy a vezeték milyen mértékben befolyásolja környezetének hőmérsékletét, ezért első lépésként megvizsgáltuk, hogy egy működő szállítóvezeték környezetében mérhető-e a hőmérsékleti különbségek.

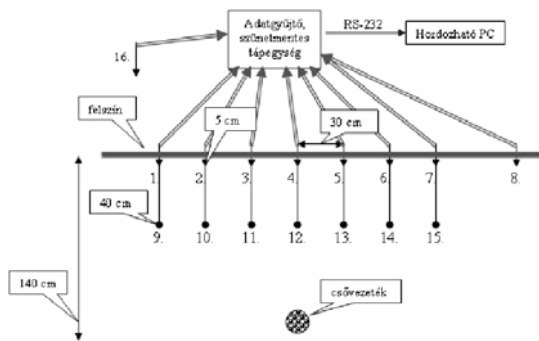
Megterveztünk egy olyan talajhőmérő rendszert, mely folyamatos adatnyerést biztosít, és az adatokat digitálisan tárolja. A 16 hőmérős rendszer alapkövetelményeit megfogalmaztuk, és a technikai kivitelezésre, a letöltő és konvertáló szoftver megírására megbíztuk az ASTRUM 2000 Kft.-t.

A RENDSZER RÖVID LEÍRÁSA:

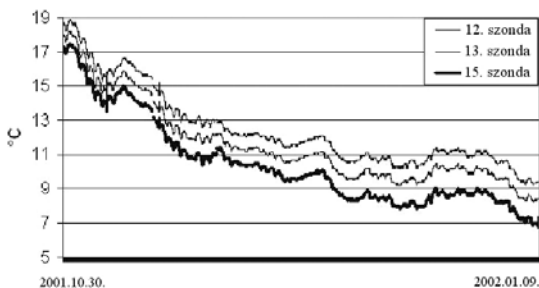
a, 16 db talajhőmérő 5 m-es kábelcsatlakozással az adatgyűjtő egységhez;

b, pontosság 0,1–0,2 °C, adatírás két tizedesjegy élességgel;

c, hőmérsékleti adat tárolása 10 percenként;



2. ábra Talajhőmérők elhelyezésének vázlata



3. ábra Talajhőmérséklet változása 40 cm mélységben a vezeték fölött (12. szonda), a vezetéktől 30, ill. 90 cm-re (13., ill. 15. szonda) a vizsgált időszakban (2001. 10. 30.–2002. 01. 09.) 10 perces mintavétel alapján

d, tárolási kapacitás 6–8 hét adata;

e, kiolvasás „Szonda” nevű szoftverrel RS-232 porton keresztül;

f, áramellátás 220 V, 2 hét kapacitású szünetmentes tápegységgel kiegészítve.

A terepi kihelyezés a MOL Rt. Algyői Bányászati Üzem területén lévő SZT-5 sz. gyűjtőállomáson történt. 7 db hőmérő 40 cm, 7 db hőmérő 5 cm mélységben került kihelyezésre a vezeték fölé, egymástól 30–30 cm távolságban. 1 db hőmérőt a vezetéktől 1,7 m távolságban helyeztünk el 5 cm-es talajmélységbe, míg az utolsó mérőt 2 m magasságban helyeztük el a levegő hőmérsékletének mérésére (2. ábra). A telepítés 2001. október 30-án történt.

A 3. ábrán ábrázoltuk a 2001. 10. 30. és 2002. 01. 09. közötti mérési időszak adatait. Az adatok elemzése alapján megállapítható, hogy:

a, a talajhőmérséklet csökkenése figyelhető meg a téli hónapokban, de jóval fagyponthoz felelő értékek, napi ritmus is kimutatható;

b, a vezeték feletti hőmérő mérte minden esetben a legmagasabb hőmérsékleteket;

c, az oldalirányban elhelyezett hőmérők rendre

egyre kisebb hőmérsékleteket mértek;

d, a középső (12.) és a szélső (15.) hőmérők (távolságuk 90 cm) adatai között átlagosan 2°C-os különbség adódott.

B) A hőkamera geometriai felbontásának kiszámítása

A hőkamera érzékenysége elég nagy (0,1 °C, 1. táblázat), ezért ha ennél nagyobb különbség alakul ki a vezeték fölötti zónában, akkor az megfelelő geometriai felbontás mellett kimutatható hőkamerával. A vizsgált, változó hőmérsékletű zóna oldalirányú kiterjedése, az adott kamera látószöge ($\alpha = 24^\circ$) és az FPA panel mérete (320*240 pixel) meghatározza, hogy milyen repülési magasság mellett érhető el a megfelelő geometriai

típus:	FLIR SC 2000
mérési pontosság:	a tartomány $\pm 2\%$ -a vagy 2 °C
hőérzékenység:	< 0,15 °C
látószög:	24° × 18°
fókusz:	0,5 m – ∞
detektor típusa:	Focal Plane Array (FPA), hűtés nélküli Mikrobolométer 320 × 240 pixel
spektrális tartomány:	7,5 – 13 m m
PC kártya:	PCMCIA II. vagy III. FLASH, vagy ATA kompatibilis Hard Disk
képtárolás:	14 bit full dinamikus

1. táblázat A FLIR SC2000 hőkamera technikai paraméterei

felbontás. Ha a kamerát úgy rögzítjük a gépen, hogy a hőfelvétel rövidebb oldala párhuzamos a repülés irányával, akkor a repülési magasság (h), a látószög (α) és az FPA sorainak száma (240) alapján a következő összefüggésből számítható ki a hőfelvétel felbontása:

$$\text{felbontás} = (2 * h * \tan \alpha / 2) / 240,$$

$h = 240$ m (kb. 800 láb), $\alpha = 24^\circ$ esetén a felbontás = 31 cm.

Ilyen felbontással a teljes kép egy kb. 115 m széles és 81 m hosszú területet fed le. 150 km/h (41,6 m/s) repülési sebességgel számolva, másodpercenkénti képkészítés esetén, közel 50 %-os átfedéssű képeket kapunk. Amennyiben a kamerát elfordítjuk 90 fokkal, akkor az egymás utáni képek közötti átfedés aránya még nagyobb, 63 %.

C) Képi adatok integrálása saját fejlesztésű térinformatikai rendszerbe

A hőkamera mellett digitális videokamerát is

használtunk. Az alkalmazás elsődleges célja az volt, hogy megvizsgáljuk a hőkamera hatékonyságát a láthatófény tartományában készült videofelvétel szemben, ugyanakkor, a nagyobb látószög és jobb felbontás miatt, a videofelvételek segítették a még jobb lyukadás-lokalizációt.

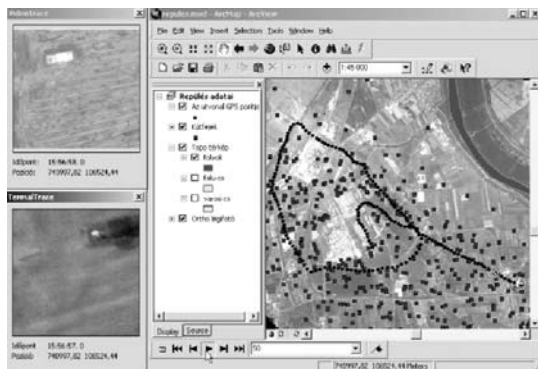
Az azonos területre irányított kamerák különböző formátumú (video – AVI, hőkamera IMG-ből JPG) képeit szinkronizáltuk, és hozzájuk rendeltük a repülőgépen elhelyezett, Topcon Turbo-SII GPS-szel kinematikus üzemmódban mért és utófeldolgozott koordinátákat.

A kamerákkal készített felvételeket, valamint a GPS adatokat egy olyan térinformatikai rendszerben jelenítettük meg, melyben az adatok betöltése után a mozgóképek megtekinthetők, a felvételek különböző sebességgel lejátszhatók, a felfedezett lyukadások egy vektorrétegbe (EOV) berajzolhatók, tárolhatók. Ugyanebben a környezetben használtuk fel a „Magyarország digitális ortofotó programja (MADOP)” (Winkler, 2003) során készített és az SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszékén ortokorrigált légi felvételekből előállított digitális ortofotótérképet. Az alkalmazás az ESRI által forgalmazott ArcGIS nevű térinformatikai szoftver kiterjesztése. A térinformatikai keretprogram használatának nagy előnye, hogy annak minden funkcióját felhasználhatjuk, így a megjelenítési és elemzési lehetőségek széles tárháza áll rendelkezésünkre. A rendszer három külön egységre osztható, melyek mindegyikéhez külön ablak tartozik, így a képer-

mellett, egy folyamatosan mozgó szimbólum látható, mely jelzi a repülőgép, ill. a képkészítés helyét. Az ablak felső részén látható menüsor és az eszközök általános térinformatikai megjelenítési műveletek végrehajtását teszik lehetővé. Ilyenek, pl. a nagyítás, kicsinyítés, kép mozgatása, leíró adatok lekérdezése, adatok mentése, betöltése stb. A baloldali felső ablakban a videofelvétel, az alsó ablakban a másodpercenként készített hőfelvétel alapján készített video jellegű állomány fut, s megjelennek a képközéppont koordinátái és a felvétel készítésének ideje is.

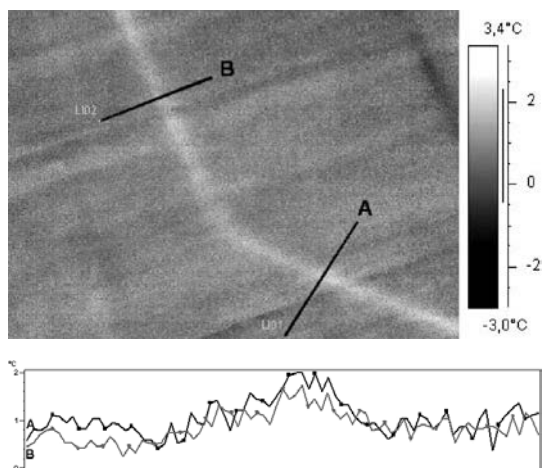
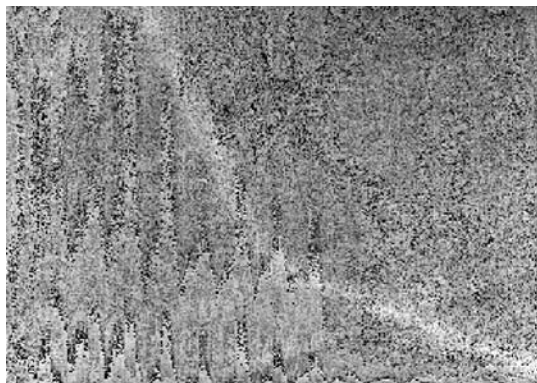
D) A hőfelvételek szűrése önálló fejlesztésű programmal

A hőfelvételek vizuális kiértékelése egy gyakorlott szakember számára nem okozhat problémát, de lehetőség van a hőképek egyedi kiértékelésére is a



4. ábra A képi és térbeli adatok megjelenítésére szolgáló ArcMAP alkalmazói felület

nyőn tetszőlegesen elhelyezhetők. Egy ilyen ablakelhelyezést mutat be a 4. ábra. Ebben az esetben a jobb oldalra elhelyezett nagyobb ablak a térképi megjelenítést szolgálja. Ebben az ablakban, az ortofotótérképre fektetett egyéb fedvények



5. a-b-c ábra Eredeti és szűrt termofelvétel felszín alatti meleg csővezetékéről és két jellemző hőmérsékleti profil (a metszeten a vízszintes tengely hossza a képen látható vonalakkal arányos)

hőkamerához biztosított feldolgozó szoftver (ThermaCAM Researcher 2000) révén. Az általunk használt kamera esetében a képek előszűrésére volt szükség, mert a viszonylag kis hőmérsékleti különbségeket mutató felvételeken az alapzaj függönyszerű képe (5. *a-b-c* ábra) igen zavaró volt.

E) A hőfelvételek elemzése

A repülések során azt tapasztaltuk, hogy a hőfelvételek alapján még növényborítás esetén is követhetők a vezetékek nyomvonalai. A vizsgált időszakban a vezetékek fölötti 3–4 m-es zónában a felszíni hőmérsékleti különbségek $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüliek voltak. A hőmérsékleti profilok a vezeték fölött érték el a mindenkori maximumot, s a hőmérséklet folyamatosan csökkent oldalirányban. A talaj szerkezetének megváltozása látható csupasz talajfelszíneken, de hőfelvételen a nyomvonal sokkal élesebben rajzolódik ki. Különösen eredményes a hőfelvétel vizsgálata, ha bonyolult a nyomvonal, vagy több vezeték is fut egymás közelében (lásd 6. ábra).

A projekt során 30 repülést hajtottunk végre, és sikerült néhány vezetéklyukadást felfedezni. Az alábbiakban bemutatunk néhány példát hideg- (7. ábra) és melegvezetéseken (8. ábra) bekövetkezett lyukadásra.

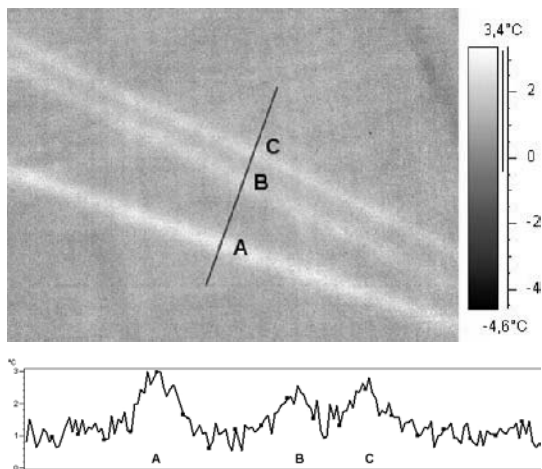
A meleg vezeték (kőolaj) lyukadása nehezen felismerhető a videofelvételen, tisztán látható viszont a hőfelvételen (8. ábra). A körrel jelölt világos folt kb. 1,5 m átmérőjű. A hőmérséklet meredeken emelkedik a lyukadás közepe felé, és közepén a felszín $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb hőmérsékletű, mint a vezeték környezetében (normál esetben a különbség $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli volt).

F) A hőfelvételek további feldolgozása

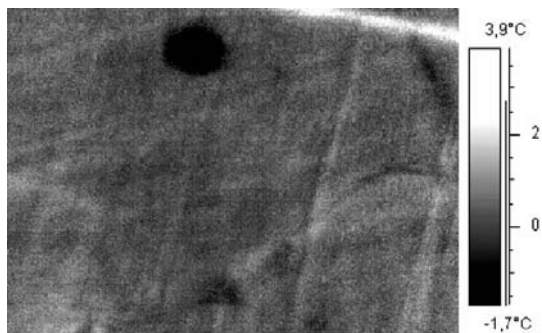
A hővételeket képfeldolgozási eljárások segítségével tovább elemezhetjük, és jobban felismerhetővé tehetjük a lyukadások környezetésre jellemző foltokat, pl. 3-dimenziós képen vagy különböző szűrési eljárásokat (pl. Sobel-szűrő) alkalmazva.

Összefoglalás

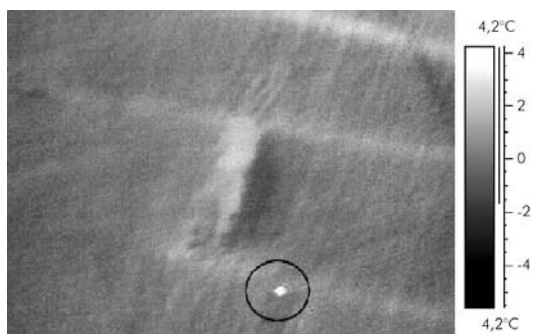
Kutatásaink során igazoltuk, hogy a mintaterületen található, működő felszínalatti vezetékek jelentősen megváltoztatják környezetük hőmérsékletét, különösen téli időjárási körülmények között. A hatászóna kiterjedésének terepi vizsgálatai alapján kiszámítottuk a hőkamerás légi felvételezés szükséges paramétereit (repülési magasság,



6. ábra Három vezeték nyomvonala video- és termofelvételen és egy jellemző hőmérsékleti profil (A, B, C pontok jelzik a vezetékek helyzetét a metszeten)



7. ábra Hideg vezeték (segédgáz) lyukadása termofelvételen (sötét folt a kép felső részén)



8. ábra Melegvezeték lyukadásáról készült felvétel

geometriai felbontás). A repülőgépen készült képi adatokat – a GPS berendezéssel mért koordináták alapján – saját fejlesztésű térinformatikai rendszerbe integráltuk, ezáltal biztosítottuk egyrészt a vizuális kiértékelés lehetőségét, másrészt a lyukadások pontos lokalizációját. A hőfelvételek elemzésével nemcsak a lyukadás helyét, hanem annak

típusát (hideg- vagy melegvezeték) is sikerült meghatározni a szennyezés felszíni kiterjedésének megadásával együtt.

IRODALOM

L. Mucsi: 2001a: Characterisation of oil-industrial contamination using aerial and thermal images – EARSeL Symposium, Drezda in: A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation, (ed: Buchroithner). Balkema, Rotterdam pp. 373–377. ISBN 90 5809 187 2

Mucsi L. 2001b A termális képkészítő és elemző rendszer (TEKER) fejlesztése c. projekt bemutatása – I. Magyar Földrajzi Konferencia, Szeged

L. Mucsi–Sz. Varga–M. Ferenczy 2001: Introduction to research project organizing for characterization and monitoring of the environmental effect of petroleum industrial contamination in Hungary Acta Geographica Szegediensis

DiTest – pipeline temperature and leakage monitoring – www.smartec.ch/HTMLFiles/Berlin_Brine_Pipeline.html

Geoplace – GEOEurope – Aerial imaging applications in pipeline industry – www.geoplace.com/ge/20016070160701pip.asp

Fugro Airborne Surveys jelentése – Enhanced 3D Seismic Surveys Using a New Airborne Pipeline Mapping – www.fugroairborne.com/CaseStudies/pipelinedetection.shtml

Airwave Environmental Technologies – Aerial Pipeline Surveillance using AET Model AE2420 Flame Ionization Hydrocarbon Analyzer – www.gasdetect.com.airbornedoc.html

KAMINA – Gas Detection for Intelligent Mass Products with the Karlsruhe Micronose – http://www-ifu.fzk.de/IFIA/Webseiten/Webseiten_Goschnick/Webseiten_Goschnick_Kamina/Information/MessTecArticle_ENG.htm

Winkler P.: Magyarország digitális ortofotó programja (MADOP) és nagyfelbontású digitális domborzat modell (DDM) az ország teljes területére – Geodézia és Kartográfia, 2003. 12. szám

The analysis of contamination deriving from the leakage of subsurface pipeline networks via remote sensing

L. Mucsi et al.

Summary

Patches of melted snow on the surface can serve for the easy detection of underground oil or thermal water pipeline networks. This thermal effect can be recognized during the spring as well when vegetation tends to grow more rapidly over the pipeline than in its surroundings.

Old pipelines may be fractured or leaking due to different physical and chemical processes and the soil and underground water can become contaminated by natural oil, gasoline and other waste materials.

The aim of the research group (Department of Physical Geography and Geoinformatics, University of Szeged, Hungary, A.A. Stádium Ltd. and ERMI-2000 Ltd.) was to develop a methodology for discovering pipeline leakage at a very early stage based on aerial thermal and video images. The GPS coordinates were added to the images and these data were processed in a GIS platform (self-developed ARCMAP extension). An FLIR SC 2000 thermal camera was used and the spatial resolution of the captured images was 30 cm.

The video images were less useful than the thermal images in pipeline detection during the spring and the summer when land use changes due to vegetation transformation, and during the winter when a thick snow covers the ground.

Due to the spatial and thermal resolution, small spots of leakage on the surface could be recognized on the thermal images. The location was quickly identified by spatial coordinates of the leakage and this was a great benefit in allowing for rapid environmental rehabilitation. We hope that the developed methods can be used to monitor the pipeline network on the largest oil field in southern Hungary on a daily basis or for flood risk assessment, or forest fire localization.