

## **6. melléklet**

# **A Paksi Atomerőmű hűtővizének a Dunában történő elkeveredés- vizsgálata légi termovíziós mérésekkel 1981 és 2003 között**

**TARTALOMJEGYZÉK**

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. BEVEZETÉS.....</b>   | <b>1</b> |
| <b>2. ELŐZMÉNYEK, AZ ERŐMŰ ÜZEMBE HELYEZÉSE ELŐTTI IDŐSZAK.....</b>                    | <b>1</b> |
| <b>3. A LÉGI HŐFELVÉTELEZÉS.....</b>   | <b>2</b> |
| <b>4. A VÍZÜGYI FILMSTÚDIÓ 1983-1985 KÖZÖTT VÉGZETT<br/>FELVÉTELEZÉSEI .....</b>       | <b>3</b> |
| 4.1. Az 1983. évi felvételezés.....  | 6        |
| 4.2. Az 1984. évi felvételezés.....  | 6        |
| 4.2. Az 1985. évi felvételezés.....  | 7        |
| <b>5. A 2002-BEN ÉS 2003-BAN ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK.....</b>                            | <b>7</b> |
| 5.1. A 2002. évi felvételezés .....  | 8        |
| 5.2. A 2003. évi felvételezés .....  | 9        |
| <b>6. AZ ELVÉGZETT MUNKA ÖSSZEFOGLALÁSA, JAVASLAT A TOVÁBBI<br/>VIZSGÁLATOKRA.....</b> | <b>9</b> |

## 1. BEVEZETÉS

A Paksi Atomerőmű hűtővizének Dunában történő elkeveredés-vizsgálata már az erőmű üzemelésének megkezdése előtt napirendre került. A vizsgálatok kezdetben különböző technikákkal folytak. A kezdeti mérések alapján sikerült kialakítani azt a felvételezési technológiát, amely gyakorlatilag a mai napig használatban van. A felvételek feldolgozása a számítástechnika és térinformatika fejlődése következtében azonban lényegesen megváltozott az elmúlt két évtizedben.

Tanulmányunk az archív anyagok és a legutóbbi mérések alapján összefoglalja az elmúlt két évtizedben az erőmű hűtővízcsóvjának távérzékelési módszerekkel végzett vizsgálatait, azok eredményeit és javaslatot ad a jövőben elvégzendő mérésekre.

## 2. ELŐZMÉNYEK, AZ ERŐMŰ ÜZEMBE HELYEZÉSE ELŐTTI IDŐSZAK

A Paksi Atomerőmű hűtővizének Dunában történő áramlás- és elkeveredés-vizsgálata hosszabb időszakra nyúlik vissza, mint az erőmű üzemideje. A látszólagos ellentmondás feloldása a következő: 1981-ben, még az erőmű 1-es blokkjának üzembe helyezése előtt történt egy légi felmérés a Paks környéki Duna-szakaszon.

A felvételezésre a Villamosenergiaipari Kutatóintézet szervezésében került sor, egy több tiszai és dunai erőműre kiterjedő vizsgálat keretében. Az Intézetben ekkor már több éve foglalkoztak a nagy frissvízhűtésű hőerőművek által okozott hőszennyeződés törvényszerűségeinek felderítésével, a várható viszonyok előbecslésével és a negatív hatások ellensúlyozásának lehetőségeivel. Ehhez kapcsolódva vizsgálták meg a távérzékelés - mint mérési módszer - alkalmazási lehetőségeit a hőszennyeződés felmérésére.

Az akkor elvégzett vizsgálatok a légi távérzékelés három különböző területét ölelik fel.

Az első részt - kapcsolódva az akkor zajló Interkozmosz programhoz - a szovjet AN 30 légi laboratórium által készített multispektrális légifelvételek adták. A szovjet féllel együttműködve került sor 1981 júliusában egy komplex program végrehajtására. A vizek hőszennyeződésének témakörében a Tiszai Erőmű, a Dunamenti Hőerőmű és a Paksi Atomerőmű vízi környezetéről készültek felvételek. A kutatásban résztvevők közös véleménye ezt a multispektrális technikát nem tartotta alkalmasnak a hőszennyezés mérésére.

A második vizsgálati csoportot a BME Fotogrammetriai Tanszékével közösen végzett mérések képezték. A felvételeket az MN Térképészeti szolgálata készítette. Négy különböző filmanyag került kipróbálásra (fekete-fehér pankromatikus, fekete-fehér infra, színhelyes színes és hamisszínes infra). A kutatásban résztvevők véleménye szerint a melegvíz-csóvák geometriai kiterjedése mind a négy típusú légifényképen nyomon követhető volt, de legalkalmasabbnak a színhelyes színes Kodak MS film bizonyult. A repülés módjára vonatkozóan a folyó tengelyvonalát követő eljárásról is ekkor bizonyosodott be, hogy eredményesebb, mint a korábbi vizsgálatoknál alkalmazott egyenes vonalú repülési szakaszokkal végzett felvételezés. Ez utóbbi elvileg nagyobb geometriai pontosságot biztosítana, azonban a melegvíz-csóva csak szakadásokkal jelenik meg a képeken és így végül is nagyobb pontatlanságot eredményez.

Helytállóan fogalmazták meg, hogy a fényképeken megjelenő különböző tónus és a hőmérséklet között nincs egyértelmű fizikai kapcsolat, tehát hőmérséklet mérésére nem

alkalmas. A felvételeken látható és mérhető szín- vagy tónusváltozás sokkal inkább az eltérő áramlási viszonyokra, illetve a különböző szennyeződés koncentrációjú vizek elkeveredésére jellemző. Összefoglalva megállapították, hogy ez a vizsgálati módszer jól használható bizonyos áramlási és elkeveredési folyamatok nyomon-követéséhez, nem alkalmas viszont a hőmérséklet-eloszlás méréséhez.

Ezzel a technikával készültek felvételek a Paksi Atomerőmű alatti Duna-szakaszról. A Paksi Atomerőmű vízi környezetéről készített felvételek csupán „nullszint” felmérésnek tekinthetők, hiszen az erőmű még nem üzemelt, melegvíz kibocsátás sem volt. Mivel ekkor termovíziós mérésre nem került sor, az erőmű működése előtti vízhőmérséklet eloszlásról nem rendelkezünk képanyaggal.

A mérések harmadik csoportjába tartoztak az AGA Thermoprofile TMP – 1 berendezéssel készített légi hőfelvételek.

1981. november 16-án és 17-én a Dunamenti Hőerőmű és a Tiszai Erőmű vízi környezetében légi hőfelvételek készítésére került sor. A repülőgépen egy lengyel tulajdonú berendezés üzemelt. A felvételekkel egy időben helyszíni csónakról végrehajtott mérést is végeztek.

A felvételek alapján elkészültek a területek hőképei az izotermák feltüntetésével, felhasználva a helyszíni mérés hőmérsékleti illesztőpontjait. Megállapítást nyert, hogy a hőképek és az azokból készített eloszlási térképek alapvetően helyesen adják meg a melegvíz-csóva elhelyezkedését és a hőmérséklet-eloszlást. A melegvíz-csóván belüli hőmérséklet-eloszlások elfogadható egyezést mutattak a helyszíni mérés eredményeivel.

A kutatás eredményei, amelyek megalapozták a további vizsgálatokat, az alábbiakban foglalhatók össze.

A multispektrális eljárást nem tartották célszerű módszernek a hőszennyeződés vizsgálatára. A légifényképezést eredményesnek nyilvánították a melegvíz-csóvák geometriai kiterjedésének felméréséhez, de nem bizonyult alkalmasnak a hőmérséklet eloszlás megbízható mérésére. A thermoprofilozó berendezés alkalmas volt a hőmérséklet eloszlás meghatározására, a csóva kiterjedésének meghatározásánál viszont elfogadhatatlanul nagy hibákat tapasztaltak.

Az előzőekből következően mérési módszerként ezért a normál légifelvételek és a thermoprofilozó (későbbi elnevezéssel: termovíziós) berendezéssel készített hőfelvételek együttes alkalmazását javasolták, megállapítva, hogy a jó minőségű légifénykép nagy segítséget nyújt a thermoprofil-képek azonosításában és geometriai torzulásainak kiszűrésében.

### **3. A LÉGI HŐFELVÉTELEZÉS**

A további vizsgálatok alapját mind a mai napig a termovíziós berendezéssel rögzített és a légifényképek segítségével geometriailag korrigált hőfelvételek képezték. Mivel a légi hőfelvételezés különbözik a mindenki által jól ismert légifényképezéstől, néhány objektív körülmény megemlítését mindenképpen szükségesnek tartjuk.

A termovíziós berendezések az infravörös hullámhossztartomány termális infra sávjában képesek információt gyűjteni. A víztestek felvételezésére legmegfelelőbb berendezések a 8-12  $\mu\text{m}$ -es tartományban üzemelnek. Termovíziós felvételezéssel a víztestek felszíni hőmérséklet értékeit lehet megállapítani. A termovíziós felvételek térképi azonosítása céljából a hőfelvételezéssel szinkronban a látható tartományban készített légifényképekre is szükség van.

A klasszikus filozófiai kijelentés, miszerint „kétszer nem léphetsz ugyanabba a folyóba”, a termovíziós vizsgálatra is igaz, mivel a folyó nem egy statikus tárgy, így róla nagyságrendekkel nehezebb hőfelvételt készíteni, mint más objektumokról. Egy folyó vizsgálata során mozog a vizsgált tárgy és közben mozog a vizsgáló berendezés is. Mindezen kettős mozgás mellett az időjárás is befolyásolja az eredményt, akár napsütés vagy enyhe szél formájában.

A folyómeder termovíziós vizsgálata során több probléma nehezítheti a vizsgálat végzését. Miután a kamera fixen a repülőgéphez van rögzítve, ezért első és legfontosabb, hogy a pilótának a mederszélesség alapján számított repülési magasságon úgy kell navigálni, hogy a folyó felett maradjon. Ha ez nem sikerül, akkor az eltérési pontig vissza kell menni és onnan újból folytatni a felvételezést. Természetesen a folyó felszínén eközben történhetnek „hőmérsékleti változások” (például szél okozta fodrozódás, hajó vagy egyéb vízi jármű okozta hullámkeltés, stb.).

A videofelvételen is tapasztalható volt, és a bemutatott ábraanyagon is látható, hogy nagyon közeli területek hőképe nem teljesen egyforma. Ennek az a magyarázata, hogy a képek illesztése átfedéssel készül és egyes területek felvételei nem minden esetben pontosan azonos szögből készülnek valamint a repülőgép mozgása alatt is változhat a folyó felszíne.

#### **4. A VÍZÜGYI FILMSTÚDIÓ 1983-1985 KÖZÖTT VÉGZETT FELVÉTELEZÉSEI**

Az előző fejezetben ismertetett előzmények során kialakított módszerrel, az 1980-as években a Vízügyi Filmstúdió három alkalommal végzett légi termovíziós méréseket a Paksi Atomerőmű hűtővizének a Dunában történő elkeveredés-vizsgálatára.

A Vízügyi Filmstúdió légi hőfelvételeket készített az erőmű által kibocsátott hűtővíz bevezetésének helyéről, a bevezetés alatti Duna szakasról, a szigetek (zátonyok) közötti vízfelületekről.

A hőfelvételek azonosítását a velük párhuzamosan készült légifényképek segítették elő. A légifényképekkel szinkronban a termovíziós berendezés monitorán futó „mozgó” hőképről is készült fényképfelvétel. A két fotó egyidejűsége biztosította, hogy a hőképet geometriailag elfogadható pontossággal lehetett korrigálni. A vízfelület felszíni hőmérséklet eloszlásának ábrázolását a termovízió képmagnójáról rögzített adatok és a légifényképek kombinációjával előállított méretarányos képanyag adattartalmának térképre vitelével oldották meg. A hőfelvételeket a fényképre, majd a térképre transzformálták. A transzformálás az akkori technikai lehetőségeknek megfelelően hagyományos fotótechnikával történt.

Ez a Stúdió által kidolgozott eljárás oldotta meg a korábbi években a Villamosenergiaipari Kutatóintézet által tapasztalt „elfogadhatatlanul nagy” geometriai hibák kiküszöbölését.

A referencia hőmérsékletmérések adatainak felhasználásával abszolút hőmérséklet adatok is meghatározhatók voltak, amelyek alapján a pillanatnyi izotermák megrajzolása is lehetségessé vált.

A következőkben ismertetjük a három felvételezés körülményeit és a levonható következtetéseket. Az elemzés a hozzáférhető archívumi anyagok alapján készült. Az eltelt évtizedben lezajlott szervezeti változások miatt a felvételezéseket kísérő mérési adatok nem minden esetben voltak rekonstruálhatók, ezért abszolút hőmérsékleti értékeket ezekről a felvételekről nem tudunk közölni.

Ugyancsak az archív anyagok felhasználásának tudható be, hogy a bemutatott hőfelvételek sem az ábrázolt terület kiterjedésében, sem a hőmérséklet értékekhez rendelt színekben nem egységesek. A termovíziós felvételek eredetileg szürke tónusban készültek és csak a jobb értékelhetőség kedvéért, a feldolgozás során rendelnek színeket a szürkeségi fokozatokhoz. Minden feldolgozásnál az éppen aktuális hőmérsékleti tartomány került felosztásra, ezért az egyes hőmérséklet osztásközök, valamint a hozzájuk tartozó színek sem egységesek.

A Duna paksi vízmércéjének jellemző vízállás és vízhozam értékei az 1. táblázatban, a felvételezés időszakának aktuális vízállás és vízhozam értékei a 2/a-c táblázatban találhatóak.

| Jellemző vízállás   | cm                |
|---------------------|-------------------|
| Legkisebb vízállás  | -24 1992. 10. 02. |
| Kisvíz              | -24               |
| Közepes kisvíz      | 8                 |
| Középvíz            | 208               |
| Közepes nagyvíz     | 605               |
| Nagyvíz             | 798               |
| Legnagyobb vízállás | 872 1995 06. 18.  |

| Jellemző vízhozam    | m <sup>3</sup> /s |
|----------------------|-------------------|
| Kisvízhozam          | 906               |
| Közepes kisvízhozam  | 1167              |
| Középvízhozam        | 2199              |
| Közepes nagyvízhozam | 4764              |
| Nagyvízhozam         | 6400              |

**1. táblázat A paksi vízmérce vízállás és vízhozam adatainak jellemző értékei (1985- 1994. közötti időszak)**

2/a.

| Dátum            | Vízállás cm | Vízhozam m/s | Víz hőmérséklet °C |
|------------------|-------------|--------------|--------------------|
| 1.               | 78          |              |                    |
| 2.               | 70          |              |                    |
| 1983. október 3. | <b>64</b>   | <b>1300</b>  | <b>13,8</b>        |
| 4.               | 52          |              |                    |
| 5.               | 45          |              |                    |

2/b.

| Dátum             | Vízállás cm | Vízhozam m/s<br>(közelítő érték) | Víz hőmérséklet °C |
|-------------------|-------------|----------------------------------|--------------------|
| 22.               | 140         |                                  |                    |
| 23.               | 124         |                                  |                    |
| 1984. október 24. | <b>110</b>  | <b>1550</b>                      | <b>11,5</b>        |
| 25.               | 102         |                                  |                    |
| 26.               | 94          |                                  |                    |

2/c.

| Dátum            | Vízállás cm | Vízhozam m/s | Víz hőmérséklet °C |
|------------------|-------------|--------------|--------------------|
| 26.              | 162         |              |                    |
| 27.              | 172         |              |                    |
| 1985. január 28. | <b>174</b>  | <b>1850</b>  | <b>0,2</b>         |
| 29.              | 197         |              |                    |
| 30.              | 202         |              |                    |

2/d.

| Dátum               | Vízállás cm | Vízhozam m/s | Víz hőmérséklet °C |
|---------------------|-------------|--------------|--------------------|
| 25.                 | 544         |              |                    |
| 26.                 | 491         |              |                    |
| 2002. augusztus 27. | <b>420</b>  | <b>3600</b>  | <b>20,0</b>        |
| 28.                 | 361         |              |                    |
| 29.                 | 328         |              |                    |

2/e.

| Dátum             | Vízállás cm | Vízhozam m/s | Víz hőmérséklet °C |
|-------------------|-------------|--------------|--------------------|
| 11.               | 218         |              |                    |
| 12.               | 212         |              |                    |
| 2003. február 13. | <b>195</b>  | <b>2150</b>  | <b>1,7</b>         |
| 14.               | 181         |              |                    |
| 15.               | 170         |              |                    |

**2. táblázat Dunai vízállások, vízhozamok és víz hőmérsékletek Paksnál a termovíziós felvételek készítésének időszakában**

#### 4.1. Az 1983. évi felvételezés

1983-ban két alkalommal történt légifelvételezés az atomerőmű térségében. Január 26-án „ferde tengelyű” látványképek készültek pankromatikus nyersanyagra az erőmű hűtővíz csatornájáról és a környező Duna szakasról. A látványképet az 1. ábra mutatja.

1983. október 3-án már termovíziós felvételezésre is sor került. Ebben az időszakban még csak az 1982. évben üzembe helyezett I. blokk működött.

A felvételek készítésekor Paksnál a Duna vízállása 64 cm, vízhozama hozzávetőlegesen  $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ , a víz hőmérséklet  $13,8 \text{ }^\circ\text{C}$  volt. (2/a. táblázat) A felvételek tehát közepes kisvíz és középvíz közötti vízállás-tartományban és a közepes kisvízhozamot megközelítő vízhozamnál kialakuló hőeloszlást ábrázolják.

A hideg és melegvíz csatornák környezetét ábrázoló légifénykép a 2. ábrán látható. A hőképekből és a fekete-fehér légifelvételekből a melegvízcsatorna környezetére készített montázsokat a 3. ábra mutatja. A légifényképeken az alacsony vízállás mellett jól láthatók mindkét parton az oldalzatonyok. A hőképen megfigyelhető, hogy a melegvízcsóva a Dunába ömlés után rövid szakaszon kissé keveredve lehül és az így kialakult hőmérsékleti tartományban a jobb parthoz simulva vonul le. A montázon a bevezetés alatti mintegy 3 km-es folyószakasz látható. Ezen a szakaszon a hőcsóva gyakorlatilag egységes képet mutat. Behatol a sarkantyú és a zátony mögötti víztérbe, de a folyóban a sodorvonal felé alig keveredik. A kiértékelést kissé zavarja, hogy a part és a zátonyok felszíne a hőképen a melegvízcsóva hőmérsékleti tartományában jelenik meg. Ennek valószínűsíthető oka, hogy a felvételezés erős napsugárzás mellett készült. Ennek ellenére a hőcsóva viselkedésének a folyószakaszra vonatkozó alapvető jellemzője, nevezetesen a jobb part menti egységes hőtartományban történő levonulás jól látható.

Minthogy azóta sem volt mód ehhez az értékhez hasonló kisvízállásnál felvételezést végezni, csak valószínűsíthető, hogy ez az áramlási kép többé-kevésbé jellemző a közepes kisvízi tartományra. A helyzetértékelésnél természetesen azt is figyelembe kell venni, hogy itt még csak egy blokk hűtővízmennyisége ömlött a Dunába.

#### 4.2. Az 1984. évi felvételezés

A második termovíziós felvételezésre 1984. október 24-én, tehát az előző évvel azonos időszakban került sor. A felvételezést megelőzően kezdett üzemelni az erőmű II. blokkja, ennek megfelelően a felvételezéskor két erőművi blokk működött. A hideg és melegvíz csatornák környezetét bemutató színes légifelvétel a 4. ábrán látható.

A felvételek készítésekor Paksnál a Duna vízállása 110 cm, vízhozama hozzávetőlegesen  $1550 \text{ m}^3/\text{s}$ , a víz hőmérséklet  $11,5 \text{ }^\circ\text{C}$  volt. (2/b. táblázat) A felvételek a megelőző évhez hasonlóan közepes kisvíz és középvíz közötti vízállás-tartományban, hozzávetőlegesen közepes kisvízhozamnál készültek.

A hőképekből és a fekete-fehér légifelvételekből a melegvízcsatorna környezetére készített montázsokat az 5. ábra mutatja. A hőképen megfigyelhető, hogy a melegvízcsóva a Dunába ömlés után kismértékben lehül és ezzel a hőmérséklettel szorosan a jobb parthoz simulva vonul le. A montázon a bevezetés alatti mintegy 2,5 km hosszú folyószakasz látható. Ezen a szakaszon a hőcsóva gyakorlatilag egységes képet mutat, még az előző évi felvételen



tapasztaltakhoz viszonyítva is markánsabb megjelenésű. A beömlési turbulencián kívül keveredés szinte sehol sem figyelhető meg. A melegebb víztest behatol a sarkantyú mögötti víztérbe, de a folyóban a sodorvonal felé csak a legalsó részen kezd keveredni. A jobbparti vízszéleknél megfigyelhető magasabb hőmérsékletű (sárga színű) sávok valószínűleg a homokzátanyok felmelegedését jelzik.

Az 1984. évi felvétel megerősíti az előző évi értékelésénél tett megállapítást, miszerint az itt látható levonulási kép jellemző lehet a közepes kisvízi tartományra.

#### **4.2. Az 1985. évi felvételezés**

Az 1985-ben végzett felvételezés igen alacsony Duna víz hőmérsékleti viszonyok mellett történt. Jól mutatja ezt a 6. ábrán a hideg és melegvíz csatornák környezetében a bal parton látható parti jég és a folyóban úszó kisebb jégtáblák is. A felvételezés időszakában két reaktorblokk működött.

A felvételezéskor Paksnál a Duna víz állása 174 cm, vízhozama hozzávetőlegesen 1850 m<sup>3</sup>/s, a víz hőmérséklet 0,2 °C volt. (2/c. táblázat) A víz állás a középvízi víz állást közelíti és a vízhozam ugyancsak a középvízhozam tartományban volt.

A hőkép montázst a 7. és 8. ábrákon mutatjuk be. A 7. ábrán a hűtővíz bevezetés közvetlen környezetének hőképe és fekete-fehér légifelvétel látható. A melegvíz csatornában lévő és a Dunába ömlő víz azonos hőmérséklet-tartományt mutat. A korábbiaknál nagyobb Duna vízhozam és magasabb víz állás eltérő elkeveredést eredményez. Az is megfigyelhető, hogy a hőcsóva a beömlés környezetében szélesebb, mint az előző két év felvételein. Ez valószínűsíti, hogy nagyobb hűtővízhozam érkezett a korábbi két évben felvételezetteknel. A korábbi évektől eltérően a melegvíz csóva már a bevezetés alatt néhány száz méterre erősen keveredik. Az alacsony Duna víz hőmérséklet következtében rövidebb szakaszon hűl le. Ez a jelenség a 8. ábrán mutatkozik meg szemléletesen, ahol látható, hogy a bevezetés alatt mintegy 4 kilométerre a melegebb víztest már csak közvetlenül a jobbpart viszonylag keskeny sávjában jelenik meg.

### **5. A 2002-BEN ÉS 2003-BAN ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK**

Az 1980-as évek első felében elvégzett mérések után közel húsz évi szünet következett, és csak 1999-ben került ismét napirendre a Duna hőterhelésének távérzékeléssel történő vizsgálata. Időközben elkészültek és átadásra kerültek az erőmű III-as és IV-es blokkjai is.

A két mérés sorozat között eltelt időben a termovíziós felvételezési technika is korszerűsödött, de igazi áttörés a feldolgozás területén következett be a számítástechnika és a térinformatika fejlődésének köszönhetően. A modern infravörös kamerák a 2 - 5.6 ill. 7 - 14 mikrométer hullámhossz-tartomány érzékelésével alkalmasak a vizsgált felület sugárzási képének létrehozására. A színes monitorok lehetővé teszik színes termogramok előállítását is, amelyekben minden szín egy-egy hőmérséklet-intervallumnak felel meg. Számítógépes program segítségével lehetőség van a videoszalagon rögzített hőfelvételek további analizálására.

A feldolgozás során mind a fényképfelvételek, mind a légi videofelvételek digitalizálásra kerülnek és ezek után a transzformált hőterkép előállítása digitális úton történik.

Ez az elkészülő anyag minőségét mind pontosságban, mind megjelenésében (geometriai és esztétikai értelemben is) lényegesen javítja.

A 2002. és 2003. években végzett mérések képanyaga kétféle méretarányban (részletességben) készült el. A melegvíz csatorna alatti kb. 4 km hosszúságú folyószakasz légifénykép montázsának alapjául az EOVS vetületű, 1 : 10 000 méretarányú térkép került felhasználásra. A Paks-Baja közötti Duna-szakasz légifényképeinek transzformálására az  $M = 1 : 25\,000$  méretarányú Gauss-Krüger vetületű térkép szolgált.

A digitális légifénykép montázsok képezték a transzformációs alapot a termovíziós felvételek geometriai illesztéséhez.

A felvételezés időszakának aktuális vízállás és vízhozam értékei a 2/d.-e. táblázatban találhatóak.

### 5.1. A 2002. évi felvételezés

Az ezredforduló idején kialakított munkaterv szerint 2002. évben két légifelvételezést kellett volna végrehajtani. Az első felvételezés időpontjaként az augusztusi középvízállás került meghatározásra. A második felvételezésre pedig októberben kis vízállásnál és viszonylag alacsony vízhőmérsékleti viszonyok között került volna sor. A Duna folyamatos magas vízállása azonban lehetetlenné tette a tervezett paraméterek betartását. A második (októberi) felvételezés elmaradt, az augusztusban kialakult rendkívüli Dunai árvíz miatt pedig az első felvételezésre az árvíz levonulásának időszakában került sor. A Paksi vízmércén mért vízállás a felvételezés napján 420 cm volt, ami középvízállás (208 cm) és közepes nagyvíz (605 cm) közötti vízszintet jelent. A vízhozam  $3600\text{ m}^3/\text{s}$  volt, ami a középvízhozam és a közepes nagyvízhozam közötti értéket mutat. A Duna vízhőmérséklete mind a paksi, mind a bajai vízmércénél  $20\text{ °C}$  volt. Mivel a felvételezés a nyári karbantartási időszakra esett, az erőműnek csak három blokkja üzemelt.

| Idő   | Duna vízhőmérséklet<br>°C | Melegvíz csatorna<br>hőmérséklet °C | $\Delta t$<br>°C |
|-------|---------------------------|-------------------------------------|------------------|
| 9:00  | 20,3                      | 28,2                                | 7,9              |
| 10:00 | 20,3                      | 28,2                                | 7,9              |
| 11:00 | 20,3                      | 28,5                                | 8,2              |

Az erőmű vízhőmérséklet mérési adatlapja a termovíziós felvételezés időszakának adataival

A melegvízcsatorna alatti kb. 4 km-es folyószakasz hőképét a 9. ábra mutatja be. A hőtérképen jól megfigyelhetők a melegvíz-bevezetés környékének felszíni vízhőmérséklet viszonyai. A bevezetett, a Duna vizénél mintegy  $4\text{--}8\text{ °C}$ -kal melegebb víz a jobbparton vonul le, és behatol a zátonyok közötti vízterületekre is. Ezután szorosan a jobbparthoz húzódva vonul tovább. A magas vízállás és a viszonylag nagy vízhozam ellenére ezen a szakaszon elkeveredés csak igen kis mértékben tapasztalható.

Az 1524 - 1435 fkm közötti Duna szakasz Gauss-Krüger vetületű,  $M = 1 : 25\,000$  léptékű fotomontázsra illesztett hőtérképét a 10. ábra mutatja be, amely a Duna Paks - Gerjen közötti szakaszát ábrázolja. A képen megfigyelhető, hogy a hőcsóva elkeveredése a bevezetés alatt  $4\text{--}5\text{ km}$  távolságban történik meg. Ennek megfelelően a felvételezett folyószakasz alsó részén vízhőmérséklet-különbség már nem volt kimutatható.

A montázs alsó szakaszán megfigyelhető, hogy a Duna vizének hőmérséklete egyenletesen 20-21 °C közötti tartományban van, tehát a melegvíz elkeveredése az adott vízállás-vízhozam viszonyok között megtörtént.

## 5.2. A 2003. évi felvételezés

A 2002. évben megíusult kisvízi felvételezés végrehajtására 2003. február 13-án került sor. A légifelvételezés Paks város és a déli országhatár közötti Duna szakaszra terjedt ki.

A felvételezés napján a paksi vízmércén 195 cm vízállást regisztráltak, amely érték gyakorlatilag megfelel a középvízállásnak (208 cm). A vízhozam 2150 m<sup>3</sup>/s volt, ami csaknem megegyezik a középvízi vízhozam (2199 m<sup>3</sup>/s) értékével. A Duna vízhőmérséklete a paksi vízmércénél 0,7 °C, a bajai vízmércénél 1,6 °C volt. Az eddig elvégzett vizsgálatok közül ez az egyetlen, amikor az erőmű mind a négy blokkja üzemben volt.

| idő   | Dunavíz hőmérséklet<br>°C | Melegvíz csatorna<br>hőmérséklet °C | Δt<br>°C |
|-------|---------------------------|-------------------------------------|----------|
| 10:00 | 1,7                       | 10,8                                | 9,1      |
| 11:00 | 1,7                       | 10,8                                | 9,1      |
| 12:00 | 1,7                       | 10,8                                | 9,1      |

Az erőmű vízhőmérséklet mérési adatlapja a termovíziós felvételezés időszakának adataival

Az atomerőmű hűtővíz bevezetése környezetének hőterképe a 11. ábrán látható. A feldolgozott légifelvétel alapján megfigyelhető, hogy a melegvíz csatornában még 11 °C-nál melegebb hűtővíz, a Dunába ömölve viszonylag gyorsan lehűl. A visszakeverő műtárgy alatti 1 km-es szakaszon közel egyenletes eloszlásban 5-7 °C, a következő 1 km-es szakaszon pedig 3-5 °C értékeket mutat. A hőcsóva végig szorosan a jobbspart mentén halad. Behatol az erőmű alatti zátonyok közé, majd a bevezetés alatt kb. 4 km távolságban már csak mintegy 1-2 °C -kal melegebb a Duna vízhőmérsékleténél.

A Paks-Baja közötti Duna-szakasz hőképe a 12. ábrán figyelhető meg. A felvételek elemzése alapján megállapítható, hogy a melegvíz hőcsóva Bácsa térségéig követhető. Itt elkeveredés figyelhető meg, majd az ez alatti folyószakaszon már (a helyi anomáliáktól eltekintve) egyenletes felszíni vízhőmérséklete tapasztalható.

## 6. AZ ELVÉGZETT MUNKA ÖSSZEFOGLALÁSA, JAVASLAT A TOVÁBBI VIZSGÁLATOKRA

Az 1983 és 2003 közötti húsz éves időszakban összesen 5 termovíziós mérésre került sor a Paksi Atomerőmű hűtővizének a Dunában történő elkeveredés-vizsgálatára. A vizsgálatok célja a Dunát érő hőterhelés jellemzőinek: a melegvíz-csóva alakjának, kiterjedésének, felszíni hőmérséklet eloszlásának meghatározása volt.

Mivel a hűtővíz-hőcsóva alakulása jelentősen függ a Duna vízhozamától (vízállásától), a kialakuló áramlási kép részletes vizsgálatához különböző (kis-, közepes kis-, közép- és közepes nagy) vízállásoknál lenne szükség hőfelvételezésre.

A véletlenszerű jelenségek kiküszöböléséhez és az egyes helyzetekben a hőcsóva törvényszerűségeinek meghatározásához legalább 2-2 felvételezésre lenne szükség a fentebb írt vízállástartományokban.

Sajnálatosan a felvételezések időpontját elsősorban az anyagi lehetőségek és nem a vízállás – víz hőmérséklet viszonyok határozták meg. Ennek következtében az elkészített hőtérképek (a 2002. évi kivételével) jó közelítéssel a középvízi vízállás tartományban kialakuló áramlási képet mutatják be.

A hasonló vízállás és vízhozam viszonyok alapján a közepes kisvízi állapot jellemzésére kiválasztható az 1983. és 1984. évi felvételezés. A két hőkép alapján megállapítható, hogy a hőcsóvák jellemzői jó egyezést mutatnak.

A középvízi tartomány jellemzésére az 1985. január 26-i és a 2003. február 13-i hófelvételek alkalmasak. A hőtérképek egybevetésével megfigyelhető, hogy a hőcsóvák alakja és elkeveredési viszonyai nagymértékben hasonlóak.

Már a Villamosenergetikai Kutatóintézet idézett, 1982. évi jelentése megállapította: „A hőszennyeződés veszélye az év folyamán nem azonos valószínűséggel jelentkezik. Csak bizonyos körülmények egybeesése esetén válhat kritikussá (kis vízhozam, kis sebesség, nagy erőművi teljesítmény, kritikus meteorológiai viszonyok stb.)” Ennek ellenére a Duna kisvízi állapotát, és főként a magas víz hőmérsékletű helyzetet bemutató hőtérkép egyértelműen hiányzik.

Sajnos a 2003. évi rendkívül alacsony vízállással és magas hőmérséklettel bekövetkezett július-augusztusi időszakban nem volt lehetőség a hőtérkép elkészítésére.

Az eddig elvégzett vizsgálatok eredményeire és a szakirodalom megállapításaira alapozva a közeljövőben javasoljuk a kisvízi vízállástartományban és a magas Duna víz hőmérsékletek esetén való hőtérképezés elvégzését. A felvételezéseket célszerű lenne magas erőművi teljesítmény (legalább három blokk) üzemelése mellett elvégezni. Az összevethetőség érdekében hasonló körülmények között elvégzett két felvételezésre lenne szükség.

A 2002. augusztus 27-i felvételezés eredményei azt mutatják, hogy a középvízínél nagyobb vízállás és a középértéknél nagyobb vízhozam tartományban, még a Duna magas víz hőmérséklete esetén is gyorsan megtörténik a melegvíz elkeveredése. Ezért ezen állapot további vizsgálatot nem igényel.

**ÁBRÁK JEGYZÉKE**

- 1. ábra** Paksi Atomerőmű hűtővíz-csatornájáról készült látványkép (háttérben az üzemelő I. blokk) Felvétel ideje 1983. január 26.
- 2. ábra** 1983. október 5-én készített színes légifelvétel a hideg és melegvíz csatornák közvetlen környezetéről
- 3. ábra** Az 1983. október 3-án készült hőkép és azonosító légifelvétel
- 4. ábra** Az 1984. október 24-én készített színes légifelvétel a hideg- és melegvíz csatornák környezetéről
- 5. ábra** Az 1984. október 24-én készült hőkép és azonosító fekete-fehér légifelvétel
- 6. ábra** Az 1985. január 26-án készített fekete-fehér légifelvétel
- 7. ábra** Az 1985. január 26-án készített termovíziós felvétel és fekete-fehér azonosító kép
- 8. ábra** Az 1985. január 26-án készített termovíziós felvétel
- 9. ábra** A Duna felszíni vízhőmérséklet-viszonyai a Paksi Atomerőmű térségében a 2002. augusztus 27-i légifelvétel alapján
- 10. ábra** A Duna felszíni vízhőmérséklet viszonyai Paks-Gerjen között a 2002. augusztus 27-i légifelvétel alapján
- 11. ábra** A Duna felszíni hőképe a 2003. február 13-i légifelvételezés alapján
- 12. ábra** A Duna felszíni hőképe Paks-Baja között a 2003. február 13-i légifelvétel alapján



**1. ábra A Paksi Atomerőmű hűtővíz-csatornájáról készült látványkép  
(háttérben az üzemelő I. blokk)  
Felvétel ideje 1983. január 26.**

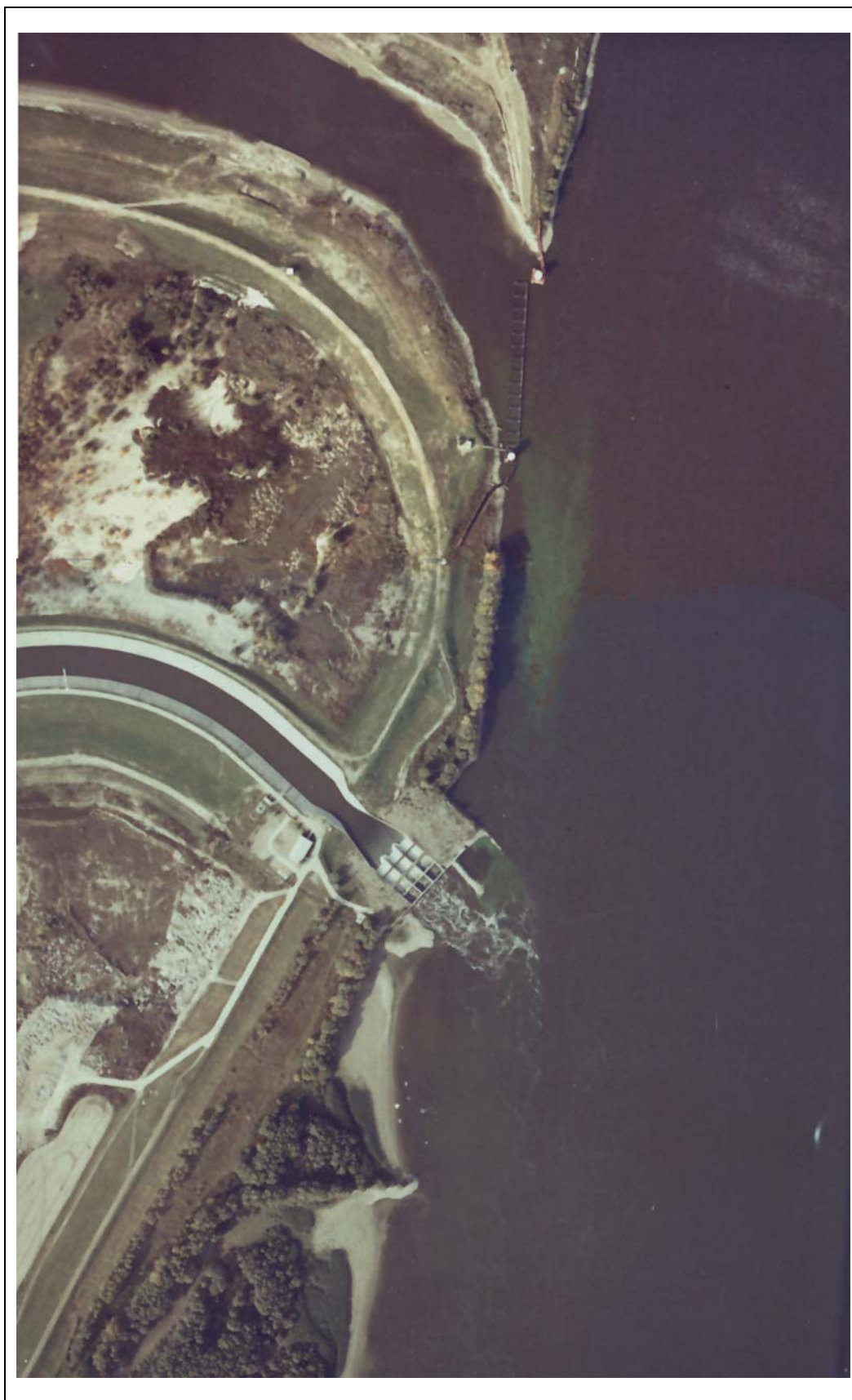


**2. ábra 1983. október 5-én készített színes légifelvétel a hideg- és melegvíz csatornák közvetlen környezetéről**

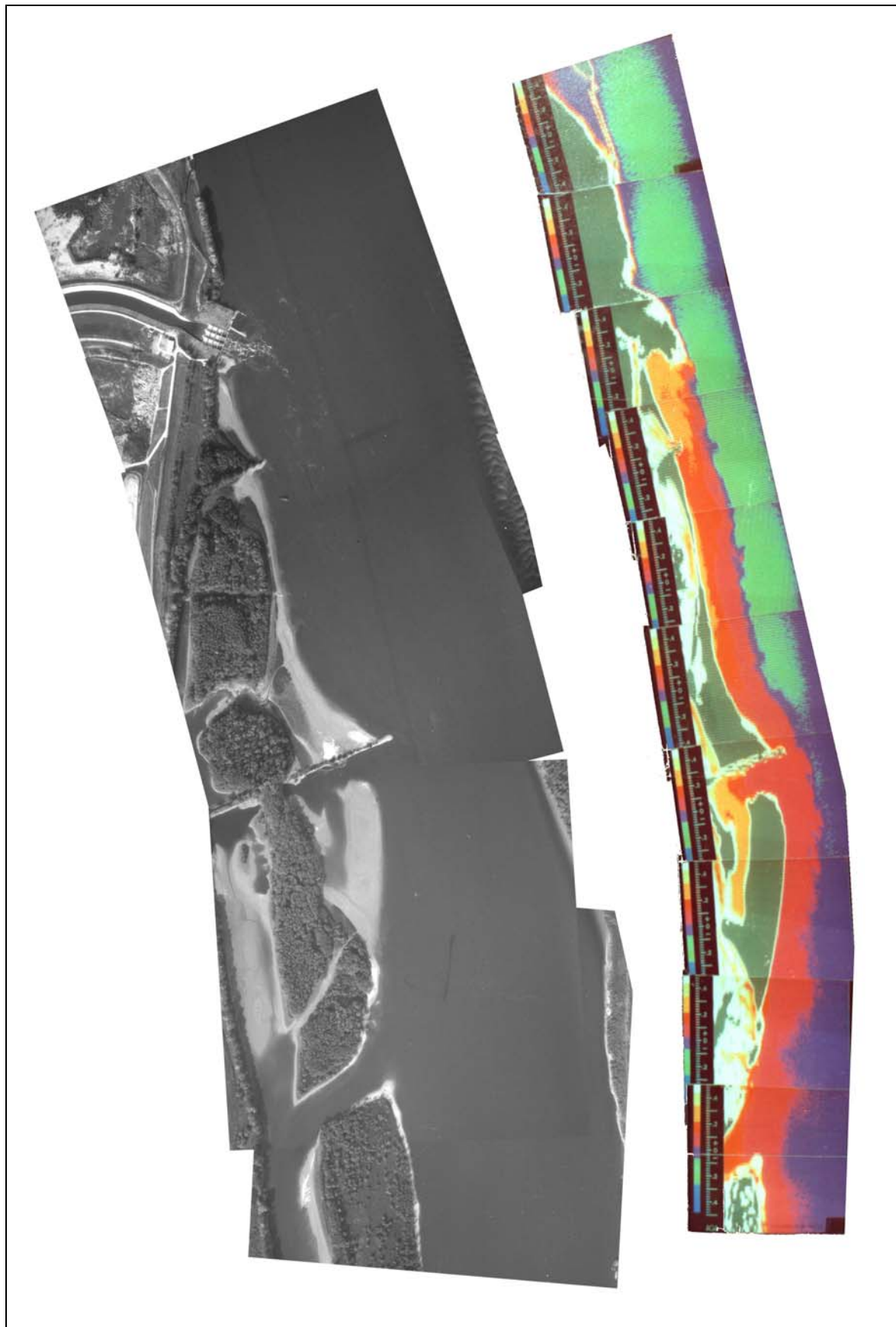


3. ábra Az 1983. október 3-én készült hőkép és azonosító légifelvétel





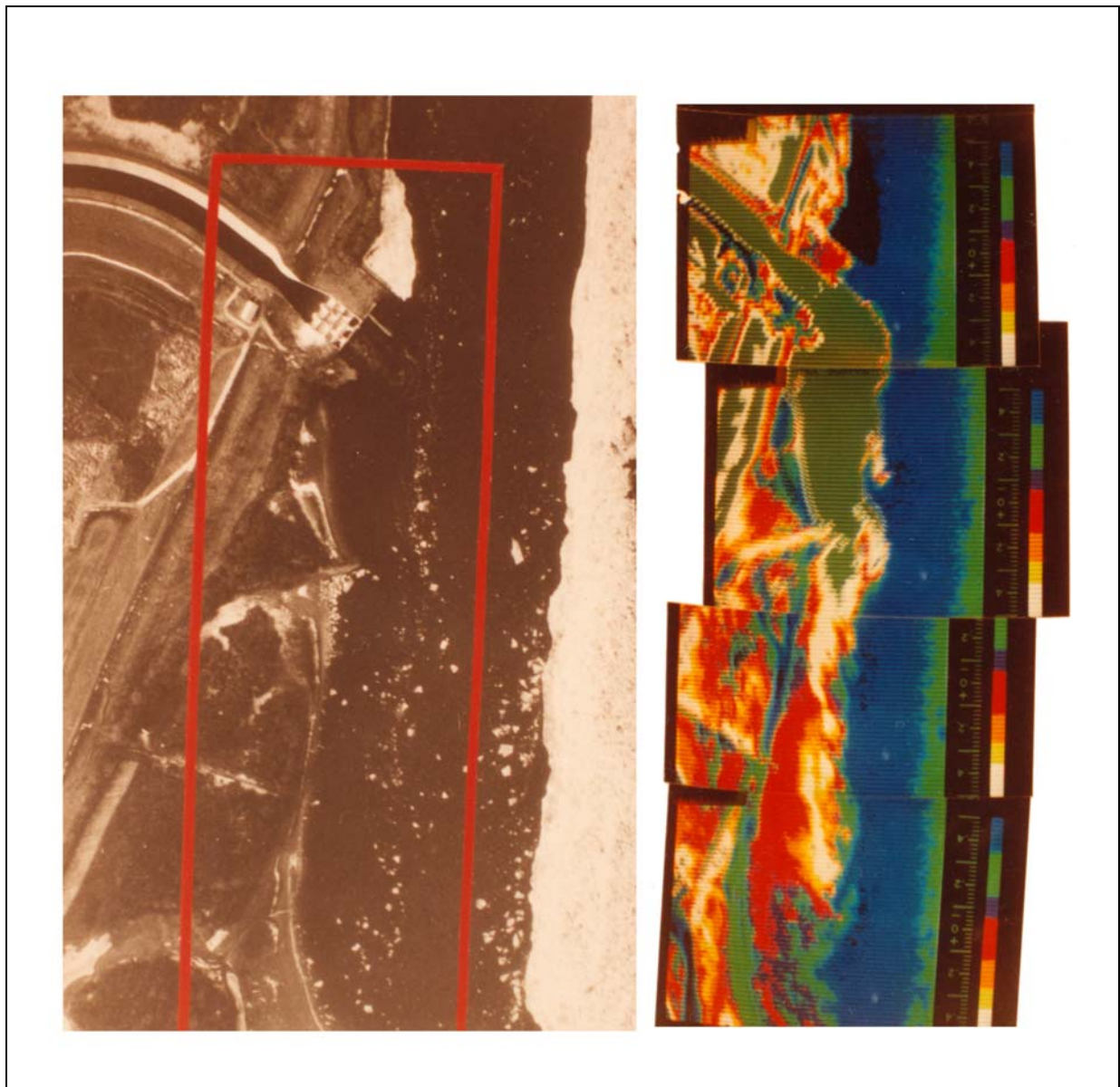
**4. ábra Az 1984. október 24-én készített színes légifelvétel a hideg- és melegvíz-csatornák közvetlen környezetéről**



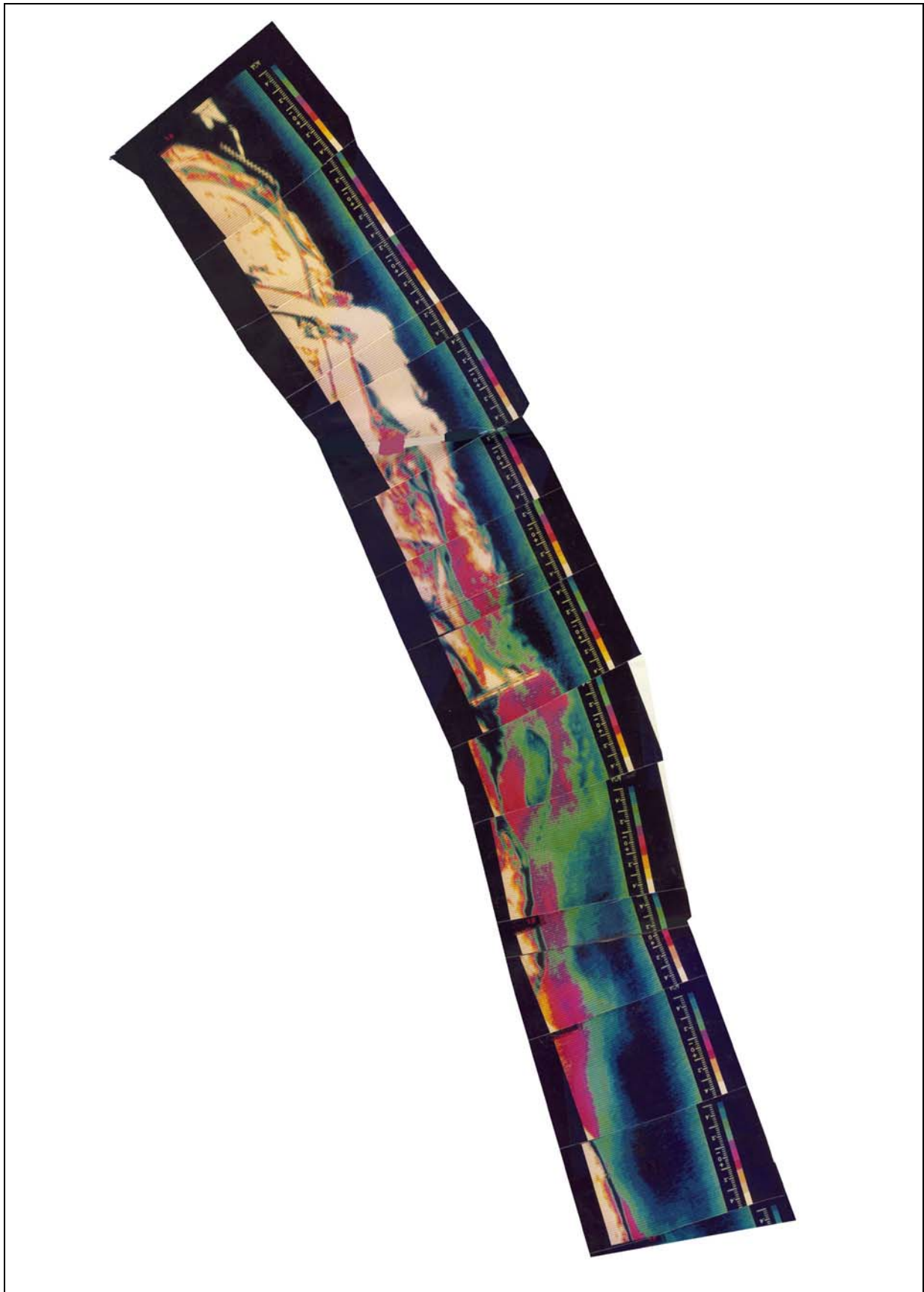
5. ábra Az 1984. október 24-én készült hőkép és azonosító fekete-fehér légifelvétel



**6. ábra Az 1985. január 26-án készített fekete-fehér légifelvétel**



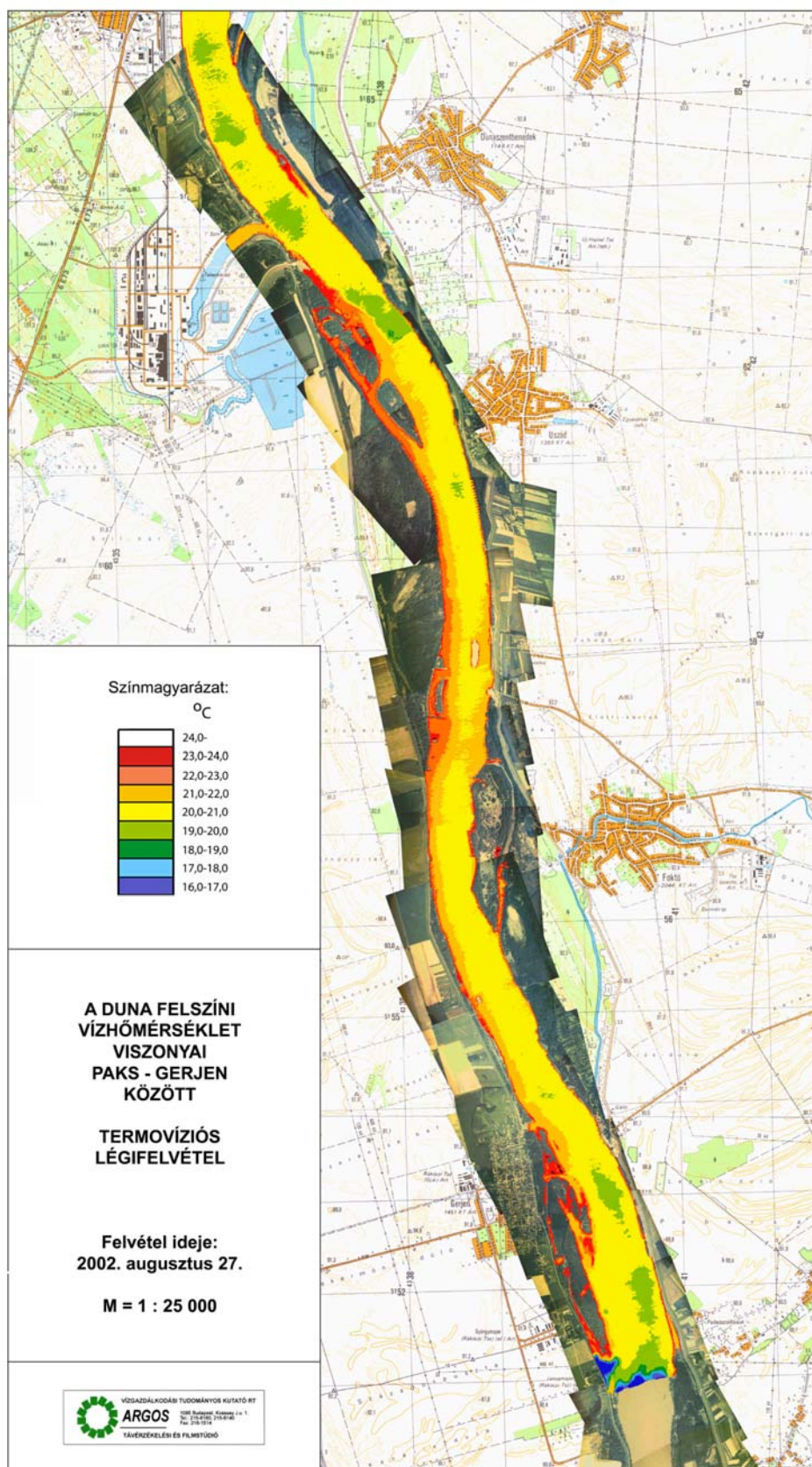
**7. ábra Az 1985. január 26-án készített termovíziós felvétel és fekete-fehér azonosító kép**



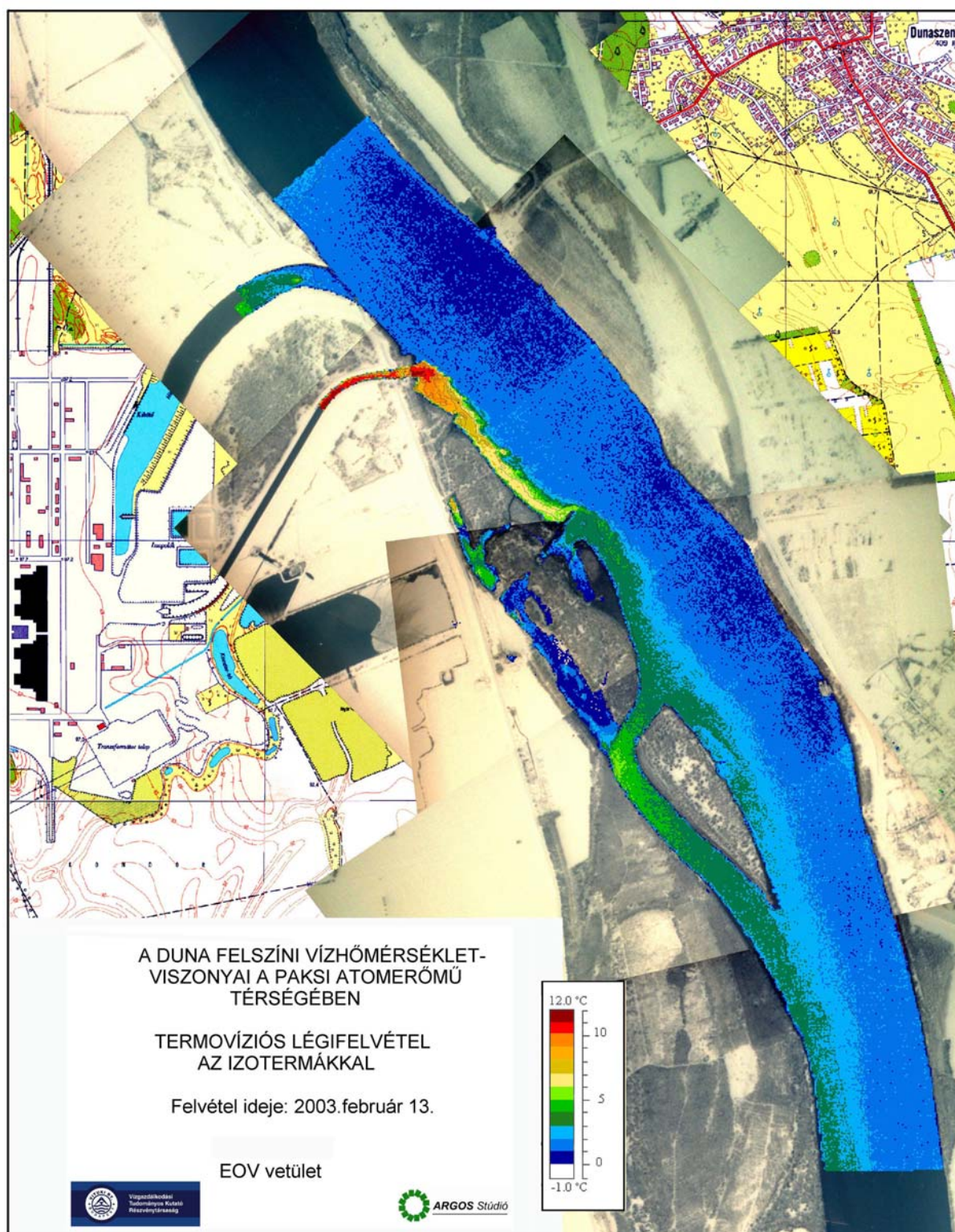
**8. ábra** Az 1985. január 26-án készített termovíziós felvétel



**9. ábra A Duna felszíni vízhőmérséklet-viszonyai a Paksi Atomerőmű térségében a 2002. augusztus 27-i légifelvétel alapján**

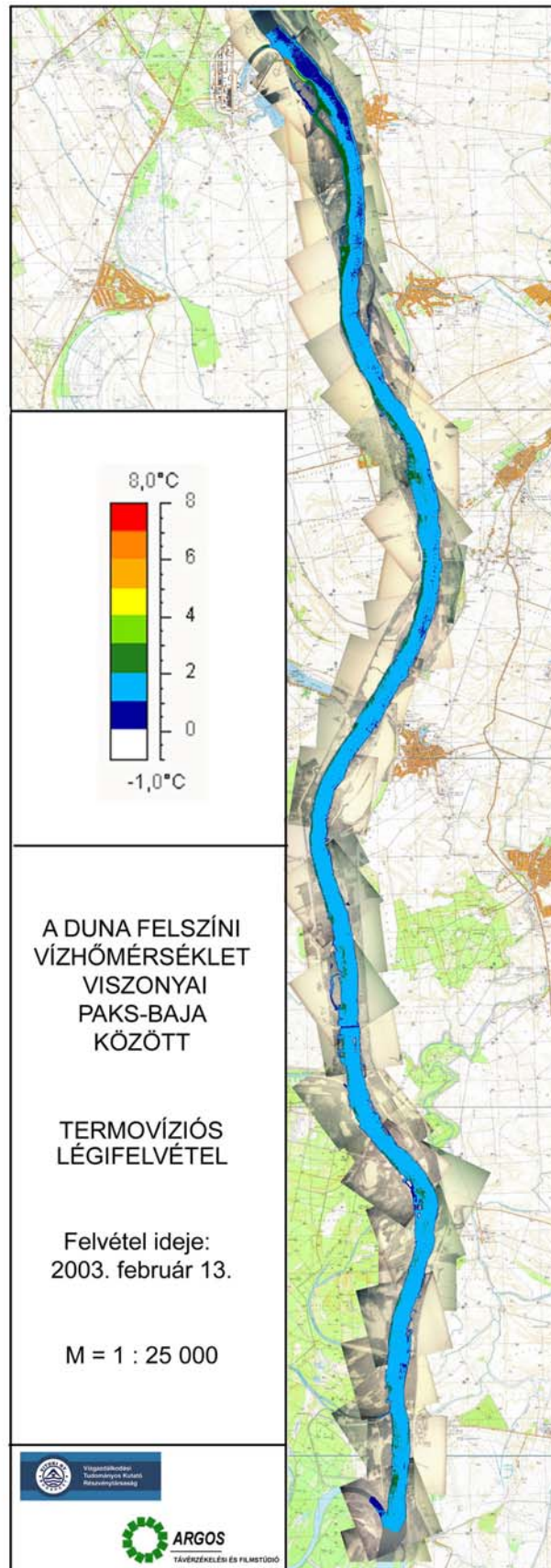


10. ábra A Duna felszíni vízhőmérséklet viszonyai Paks-Gerjen között a 2002. augusztus 27-i légifelvétel alapján



11. ábra A Duna felszíni hőképe a 2003. február 13-i légifelvételezés alapján





**12. ábra A Duna felszíni hőképe Paks-Baja között a 2003. február 13-i légifelvétel alapján**