

Savo de la termobanejo ĉe la urbo Hévíz

Ottó HASZPRA, profesoro de hidromekaniko

Je kelkaj kilometroj de la sudokcidenta angulo de la lago Balaton en Hungario troviĝas la fama kuraĉloko Hévíz (Fig. 1), kies valoron donas termakva lago kun alta kuracefiko por diversaj malsanoj.

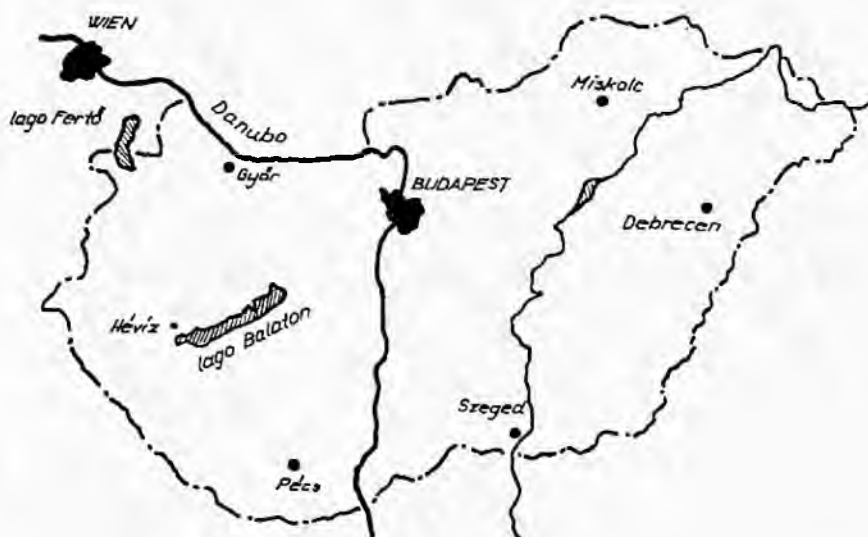


Fig. 1. La geografia situo de Hévíz

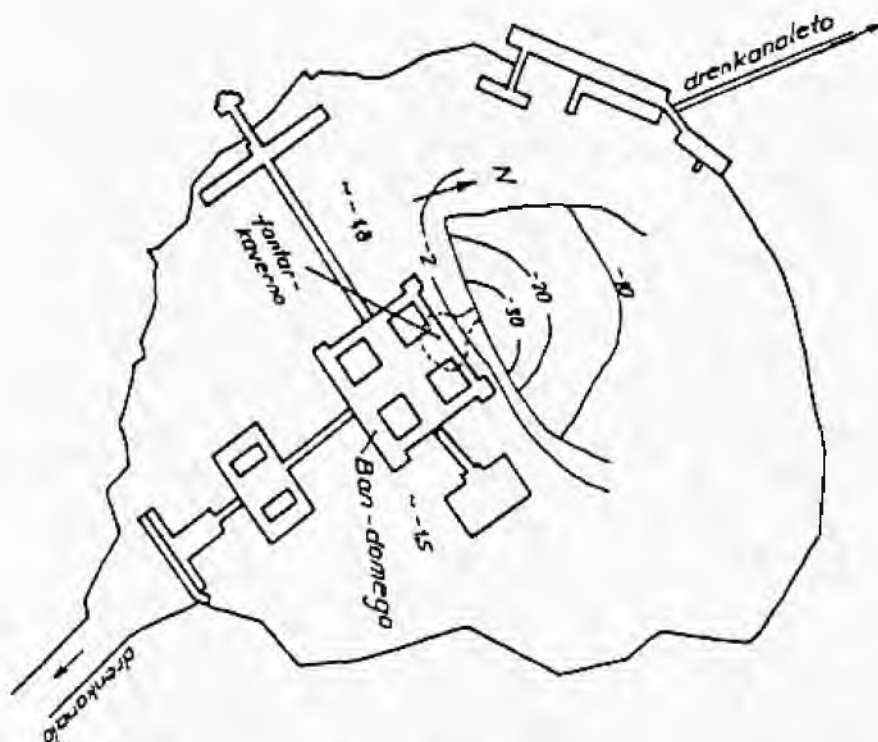


Fig 2. Plano de la lago de Hévíz kaj ties bankonstruaĵoj kun nivrlinioj de la fundo ĉirkaŭ la funelo. La ciferoj montras la profundecon en metroj.

La lago de Hévíz (Fig. 2) havas surfacareon de 6,85 ha kaj profundon de 1 ĝis 2 metroj en plejparto de sia baseno. La varmakva fonto de la lago troviĝas en funelforma profundejo ĉ. 40 metrojn sub la akvonivelo.

La fonto, aŭ pli ekzakte: la fontaro, troviĝas en globforma kaverno kies diametro estas ĉ. 12 metroj (Fig. 3). Unu el la fontoj produktas akvon kun temperaturo 17,7° C, alia tiun kun 41° C. Ĉi lasta estas pli abunda kaj intermiksita la akvo venanta el la gorĝo de la funelo havas temperaturon de 39° C.

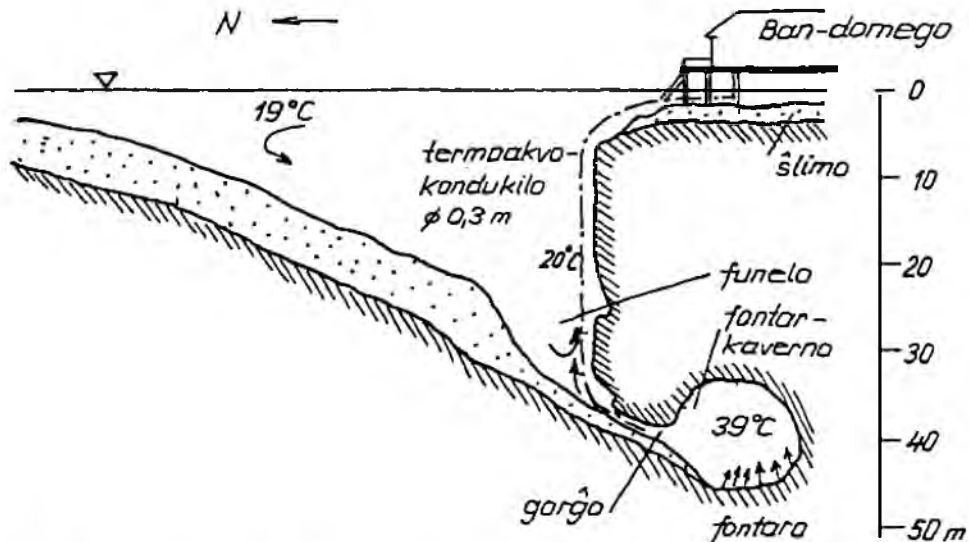


Fig. 3. Vertikala sekco de la fontarkaverno kaj funelo kun la termoakvo-livera tubo

La akvoflukso de la fontaro inter naturaj cirkonstancoj estis ĉ. 0,6 m³/s, sed pro la daŭra pumpado por malaltigi la karstakvo-nivelon en la ĉirkaŭaĵo de profunda baŭksit-minejo ankaŭ la abundeco de la fontaro suferis konsiderindan malkreskon kaj ĝia nuna flukso estas nur 0,3 m³/s. Estas atendeble ke ĝis la fino de la jarmilo, kiam la baŭksitminado finiĝos, la flukso suferos pluan malkreskon. Poste la natura situacio restariĝos. (Post forsendo de la manuskripto la registaro ordonis haltigi la minadon kaj la pumpadon kaj la malkresko de la flukso jam ĉesis.)

Tiu provizora, tamen iom tro daŭra malkresko de la akvoflukso kaŭzas malavantaĝojn, eĉ damaĝojn por la regula utiligo de la lago. Antaŭe, kaj somere kaj vintre, oni povis plezure baniĝi en ĝi, ja la surfacareo, trans kiu la varmo perdiĝas, ne estas tro granda kompare kun la varmoflukso ligita al la originala akvoflukso, do la akvo ne tro malvarmiĝis por homa sinbanado eĉ dum severaj vintroj.

Tamen dum la lastaj jaroj la malvarmiĝo de la akvo dum vintro komencis fariĝi malagrabla. La reŭmatismo-malsanuloj ja bezonas akvotemperaturon de almenaŭ 28° C, kaj en certaj vintraj tagoj la surfaca temperaturo falis jam ĝis 22° C.

En la mezo de la lago, ĝuste super la fontarkaverno, jam en la antaŭa jarcento oni konstruis banpalacon aŭ bandomegon starantan sur fostegoj batitaj en la fundon. Sub la bandomego, super la akvonivelo troviĝas sufiĉe da spaco por libere naĝadi en kvar «basenoj» kaj inter la fostegaro en kiun ajn direkton. La planareo de tiu spaco estas ĉ.

2.000 m². Tiun areon la gvidantoj de la malsanulejo de Hévíz volis ŝirmi kontraŭ la malvarmiĝo de la akvo. Post traktado kun diversaj projekt-entreprenoj ili turnis sin por konsilo al la Hidroteknika Katedro de la Budapeŝta Teknika Universitato, persone al mi mem.

Mi proponis ĉirkaŭbaradon de la subo de la bandomego kaj apartan varmakvo-kondukilon kiu liveros la termoakvon disde la funelo al la ĉirkaŭbarita spaco sen pumpado, utiligante nur la densodiferencon inter la originala varma akvo de la fontaro kaj la malvarmiĝinta akvo en la lago-spaco.

Provizora realigo de la ideo estis farata en decembro 1983, kaj ĝi fakte savis la vintran banezonon, ja la surfaco de la lago malvarmiĝis ĝis 20° C tamen escepte en la ĉirkaŭbarita spaco. kie la akvotemperaturo estis ĉ. 26 °C.

La provizora aranĝo konsistis el plastfolia kurteno kiu, fiksita al la plej ekstera fostegaro, ĉirkaŭprenis 2.000 m²-an areon sub la bandomego. La supro de la kurteno estis super la akvonivelo de la lago, la malsupro estis en profundo de 1,8 metroj. En la internon de la ĉirkaŭbarita spaco tubkondukilo kun diametro de 0,3 m kondukis ĉ. 0,042 m³/s-on da 38-grada termoakvo. La ĉirkaŭbarita spaco estis jam antaŭe sufiĉe, kvankam neperfekte, ŝirmata kontraŭ la vento per ĉirkaŭa vitromuro, kiu pendis de la subo de la bandomego ĝis kelkajn cm-ojn sub la akvonivelo. Principe la termoakvo enfluita en la ĉirkaŭbaritan spacon forlasis ĝin sub la kurteno. Sed ĉar la nivelo de la subo de la kurteno ne povis esti perfekte horizontala, kaj ankaŭ pro la hidrodinamikaj efikoj de la fluoj en la lago mem, konsiderinda flukso de malvarma akvo povis enflui en la ĉirkaŭbaritan spacon kaj malkreskigi ties akvo-temperaturon. Tamen la spertoj montris, ke la metodo estas bona, nur pli perfekte realigenda.

Dum la printempo de 1984 mi faris definitivan kalkuladon de la termohidro-dinamika situacio de la lago kaj la ĉirkaŭbarita spaco de la definitiva aranĝo. Samtempe miaj asistantoj ellaboris la detalojn de la definitiva plano.

La principa aranĝo de la definitiva solvo (Fig. 4-5) konsistas el du basenoj kiuj estas ĉirkaŭbaritaj per lariktablo-muroj sube enigitaj en la fundon de la lago kaj supre fiksitaj al la ekstera fostegaro de la bandomego. La termoakvo kondukigis al baseno I kie la temperaturo devas esti almenaŭ 28° C kaj ĝi poste transfluas al baseno II kie povas esti la akvotemperaturo inter 28° C kaj la ekstera 19° C kiu estas nun konsiderata kiel ebla minimumo dum vintro. El baseno II la akvo elfluas al la libera akvospaco de la lago.

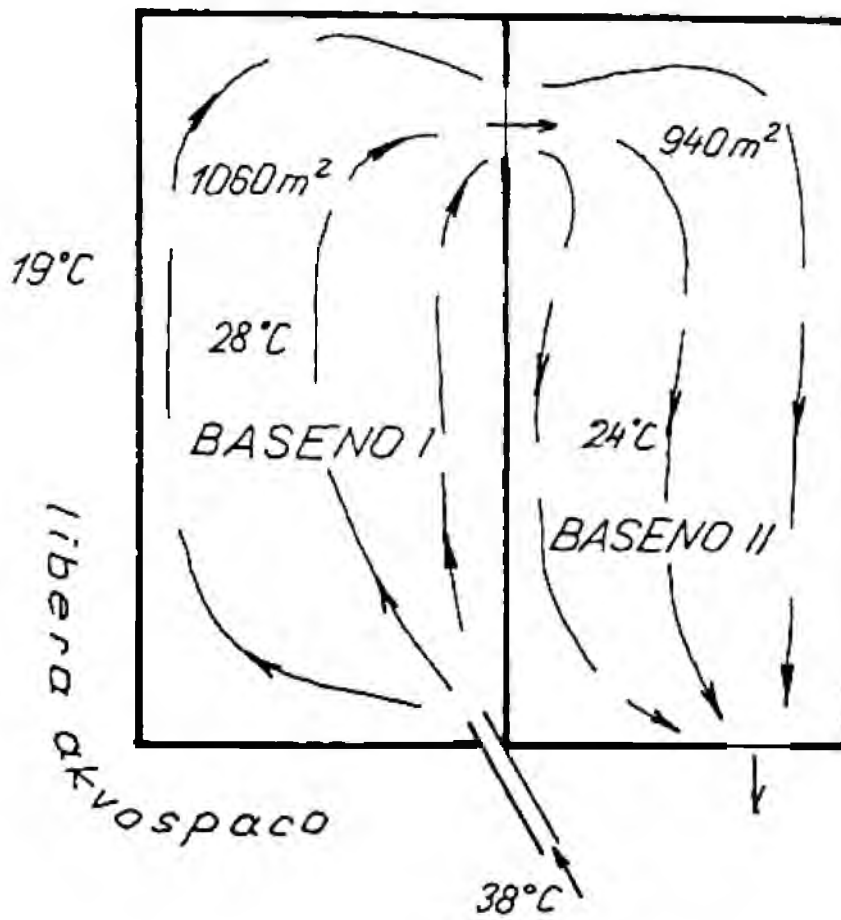


Fig. 4. Skiza plano de la basenoj sub la bandomego

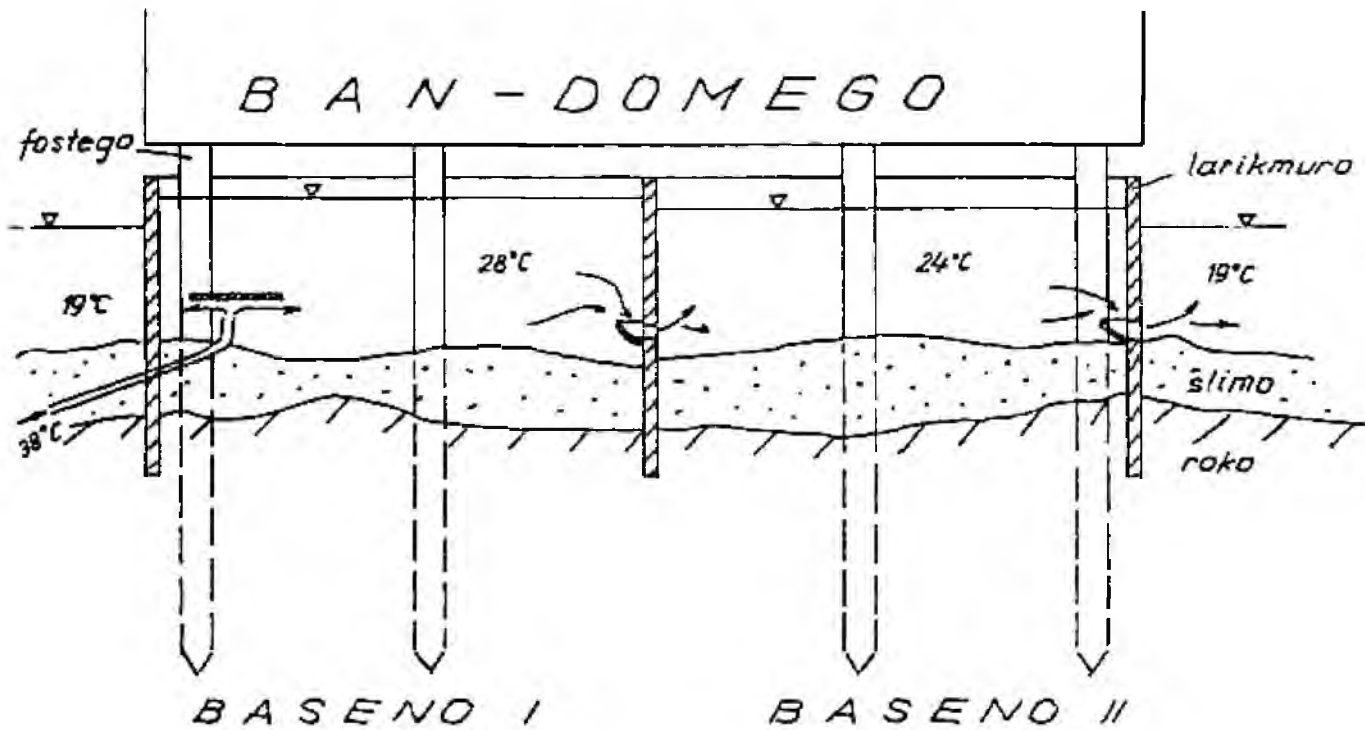


Fig. 5. Skiza vertikala sekco de la basenoj sekvanta la direkton de la fluo

La enkonduko de la termoakvo al baseno I estos tia ke ĝi laŭeble bone miksiĝu kun la ĉirkaŭa akvo, ĉar se la varma akvo flosus sur la supro, la varmoperdo estus pli granda. La transfluo al la alia baseno kaj de tie al la libera akvospatco okazas tra horizontale longaj, vertikale mallarĝaj aperturoj en la muroj. Tiamaniere la retrofluo de la malvarma akvo estas ekskludita. Estos en la muroj aŭtomate fermiĝantaj pordoj, kiujn la naĝantoj facile malfermos kaj ili povos transnaĝi el unu baseno al la alia aŭ al la libera akvospatco de la lago. Somere certaj partoj de la muro estas forigeblaj, do libera naĝado el la lago sub la bandomegon kaj retro estos plifaciligita.

Por ĝenerala informiĝo de la legantoj mi prezentas skizan kalkulon de la varm-bezono de la du basenoj, se ilia akvotemperaturo estus same 28-grada, dum la ekstera akvotemperaturo estus 19° C kaj la termoakvo-temperaturo 39° C.

Varmo-transpaso el la akvo aŭ en la akvon povas okazi pro suna kaj atmosfera radiadoj kaj ties parta reflektiĝo desur la akvosurfaco. La akvosurfaco ankaŭ memstare elradias varmon. Krome forlasas varmo la akvon pro vaporiziĝo, pro varmokonduktiĝo al la aero kaj pro varmokonduktiĝo trans la ĉirkaŭbara muro al la malvarma akvospatco. Estas varmokonduktiĝo ankaŭ al la fundo. Interne de la bandomego konsiderinda varmotransporto okazas nur pro vaporiziĝo kaj trans la ĉirkaŭbara muro.

La vaporperdo, kiel perdoalto per monato, skize estas kalkulebla ekz. per la formulo uzata en Hungario

$$h_p = 13,83(E - e)$$

kie E estas la koncentracio de la saturita vaporo en la temperaturo de la akvosurfaco kaj e estas la koncentracio de vaporo en la aero. $E_{28^\circ} = 28,6 \text{ g/m}^3$. La atmosferan vaporkoncentracion ni prenis kiel $e = 4,6 \text{ g/m}^3$, konsiderante ke ekster la bandomego ĉe subnulaĵaj temperaturoj la vaporkoncentracio verŝajne ne estas pli alta ol $2,6 \text{ g/m}^3$, kaj pro daŭra difuzo tra la aperturoj kaj lignomuroj de la bandomego tiu aero eniras en la bandomegon. Tie pro vaporiziĝo ĝia koncentracio kreskas ĝis $4,6 \text{ g/m}^3$ sed denove pro difuzo kaj konvekto ĝi forlasas la domegon. Tiamaniere la vaporperdo-alto estas

$$h_p = 13,83 \cdot 28,6 - 4,6 = 332 \text{ mm / monato}$$

Konsiderante, ke la specifa vaporvarmo de la akvo estas 2,43 MJ/kg kaj la vaporanta areo estas 2.000 m^2 , oni povas kalkuli ke la posekunda varmoperdo de la baseno

$$\frac{dQ_p}{dt} = 0,62 \text{ MW.}$$

La varmotransono tra la basenburo, se ĝi estas 2 cm-ojn dika larikotabulo kun surfaco de 375 m^2 , kies varmokonduktanco estas $0,5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, estas kalkulebla — se ni neglektas la varmotransdono-rezistancon ĉe la du surfacoj de la tabulo — per la formulo

$$\frac{dQ_m}{dt} = -A \frac{dT}{dx} = 0,5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \cdot 375 \text{ m}^2 \cdot \frac{9 \text{ K}}{0,02 \text{ m}} \cdot 10^{-6} \text{ MW / W} = 0,084 \text{ MW.}$$

ĉar la temperaturo-diferenco inter la interna kaj ekstera akvoj estas

$$28^\circ \text{C} - 19^\circ \text{C} = 9 \text{ K}$$

Do la suma posekunda varmoperdo estas rondcifere

$$\frac{dQ}{dt} = 0,62 + 0,08 = 0,70 \text{ MW} = 700 \text{ kJ/s.}$$

Por kovri tiun varmobezonon per termoakvo de 38° C — ja 1° C perdiĝas en la tubo —, ties maso-flukso devas esti rondcifere

$$q_m = \frac{700 \text{ kJ/s}}{10 \text{ K} \cdot 4,19 \text{ kJ/(kgK)}} = 17 \text{ kg/s}$$

ja la temperaturdiferenco 38° C – 28° C = 10 K kaj la specifa varmo de la akvo estas 4,19 kJ/(kg K). La bezonata akvo-flukso mem estas evidente

$$q_v = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}$$

La ĉirkaŭ 50 metrojn longa termoakvo-proviza tubo, kies diametro estas 0,30 m, kapablas liveri multe pli. Nome la horizontala kaj la ĉ. 30 metrojn longa vertikala sekcioj de la tubo estas ĉirkaŭataj de akvo kun averaĝa temperaturo de 20° C. La suba parto de la tubo estas ĉirkaŭata de averaĝe 38,5-grada akvo. En la tubo la averaĝa temperaturo estas 38,5° C. La koncernaj densoj

$$\rho_{38,5^\circ} = 992,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{20^\circ} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

La denso-diferenco

$$\Delta \rho = 5,8 \text{ kg/m}^3$$

La hidrostatika prem-diferenco

$$\Delta p = \Delta \rho g h = 5,8 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot 30 \text{ m} = 1,706 \text{ N/m}^2$$

La premnivel-diferenco

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho_{38,5^\circ} \cdot g} = \frac{1,706}{992,4 \cdot 9,81} = 0,175 \text{ m}$$

kiun valoron ni malpliigu per 1 cm, ja la akvonivelo en la varmakva baseno estos ĉ. 1 cm-on pli alta ol ekster la baseno pro la hidraŭlika rezistanco de la transflugaj aperturoj. Do

$$\Delta h = 0,165 \text{ m}$$

Tiu ĉi premniveldiferenco konsumiĝas pro froto. La froto-faktoro de la aplikita spirale foldita aluminio-tubo estas $\lambda = 0,035$, kaŭzas energio-perdojn ankaŭ tri direktoŝanĝoj kaj la eniro kaj eliro de la tubo. La suma rezistanco-faktoro

$$f = \lambda \frac{1}{d} + \sum \zeta_i = 8,93$$

El tio la rapido de la fluo en la tubo

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{f}} = \sqrt{\frac{19,62 \text{ m/s}^2 \cdot 0,165 \text{ m}}{8,93}} = 6,60 \text{ m/s}$$

kaj la akvoflukso, se la kversekca areo de la tubo estas $0,0707 \text{ m}^2$,

$$qv = v \cdot A = 0,60 \cdot 0,0707 = 0,042 \text{ m}^3/\text{s} > 0,017 \text{ m}^3/\text{s}$$

Do ununura tubo donas gravitacie, sen pumpado, sufiĉan termoakvon, eĉ se la realaj kondiĉoj konsiderinde devias de tiuj ĉi supre supozitaj.

Dum la vintro de 1984/85 jam la nova aranĝaĵo certigos agrablan baniĝo-eblecon kaj al la malsanuloj kaj al la aliaj baniĝemuloj.

LITERATURO

1. VENDL A.: *Geológia I*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1951.
2. NÉMETH E.: *Hidrológia és hidrometria*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1954.
3. RYAN, P. J.; HARLEMAN, D. R. R.: *An Analytical and Experimental Study of Transient Cooling Pond Behavior*, Report No. 161, Ralph M. Parsons Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, January, 1973.
4. PAILY, P. P.; MACAGNO, E. O.; KENNEDY, J.F.: *Winter Regime Surface Heat loss from Heater Streams*, Rep. No. 155, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, 1974.
5. GIAQUINTA, A. R.; KENG TITUS, T. C.: *Thermal Regimes of the Mississippi and Missouri Rivers Downstream from the Southern Iowa Border*, IIHR Report No. 211, Iowa Institute of Hydraulic Research, January, 1978.
6. SILL, B. L.: *Free and forced convection effects on evaporation*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE HY, Sep., 1983.
7. THOMA F.: *A pára diffúziótényezőkének meghatározása turbulens légnyomás esetén*, Hidrológiai Tájékoztató, 1983, október.

Fonto: Universidad de la Laguna - SERTA GRATVLATORIA - in honorem Juan RÉGULO - IV
Arqueología y Arte Mescelánea
La Laguna 1990

STEB: <http://www.eventoj.hu>