

Numerikus hidrológiai modellezés és folyami jégviszonyok előrejelzése

PhD-értekezés

LIPTAY ZOLTÁN ÁRPÁD

Témavezetők:

dr. Czigány Szabolcs

Egyetemi docens

dr. Pirkhoffer Ervin

Egyetemi docens

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Földtudományok Doktori Iskola

PÉCS, 2018.06.15.

Borítókép forrása: OVF, készült: Tisza-Tokaj, 2017.02.12.

Bevezetés

- Hazánk éghajlata lehetővé teszi folyóinkon a jégjelenségek kialakulását (évi fagyos napok száma).



- A jég önmagában is komoly fenyegetést jelenthet anyagi kár és emberélet szempontjából, de árvízzel társulva a fenyegetés hatványozódik.
- Már elődeink felismerték, hogy a jégjelenségek, valamint folyóink jégjárásának megismerésén túl a védekezés kiemelten fontos eleme az előrejelzés és a felkészülés.

Célkitűzések

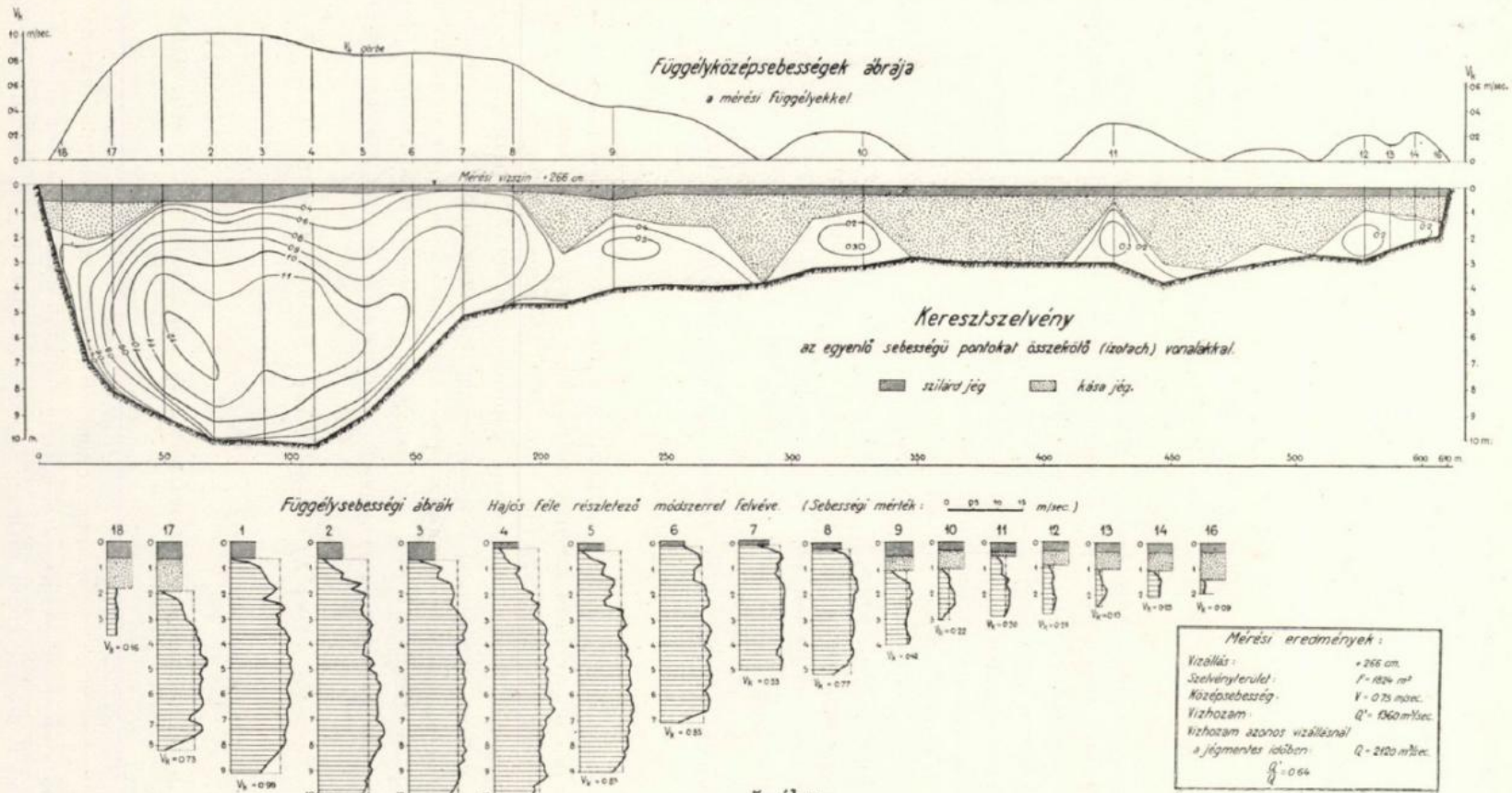
- Egy olyan jégelőrejelzési módszer kidolgozása,
 - amely az alapegyenlet tagokra bontása és a tagok becslése helyett koncentrált paraméterű összefüggésen alapszik,
 - 10 napos időelőnnnyel számol,
 - az észlelt vízhőmérséklet adatokra nem támaszkodik,
 - képes a hidrológiai körülmények figyelembe vételére.

Kutatástörténeti áttekintés

A magy. kir. Országos Vízépítési Igazgatóság
Vízrajzi Osztálya.

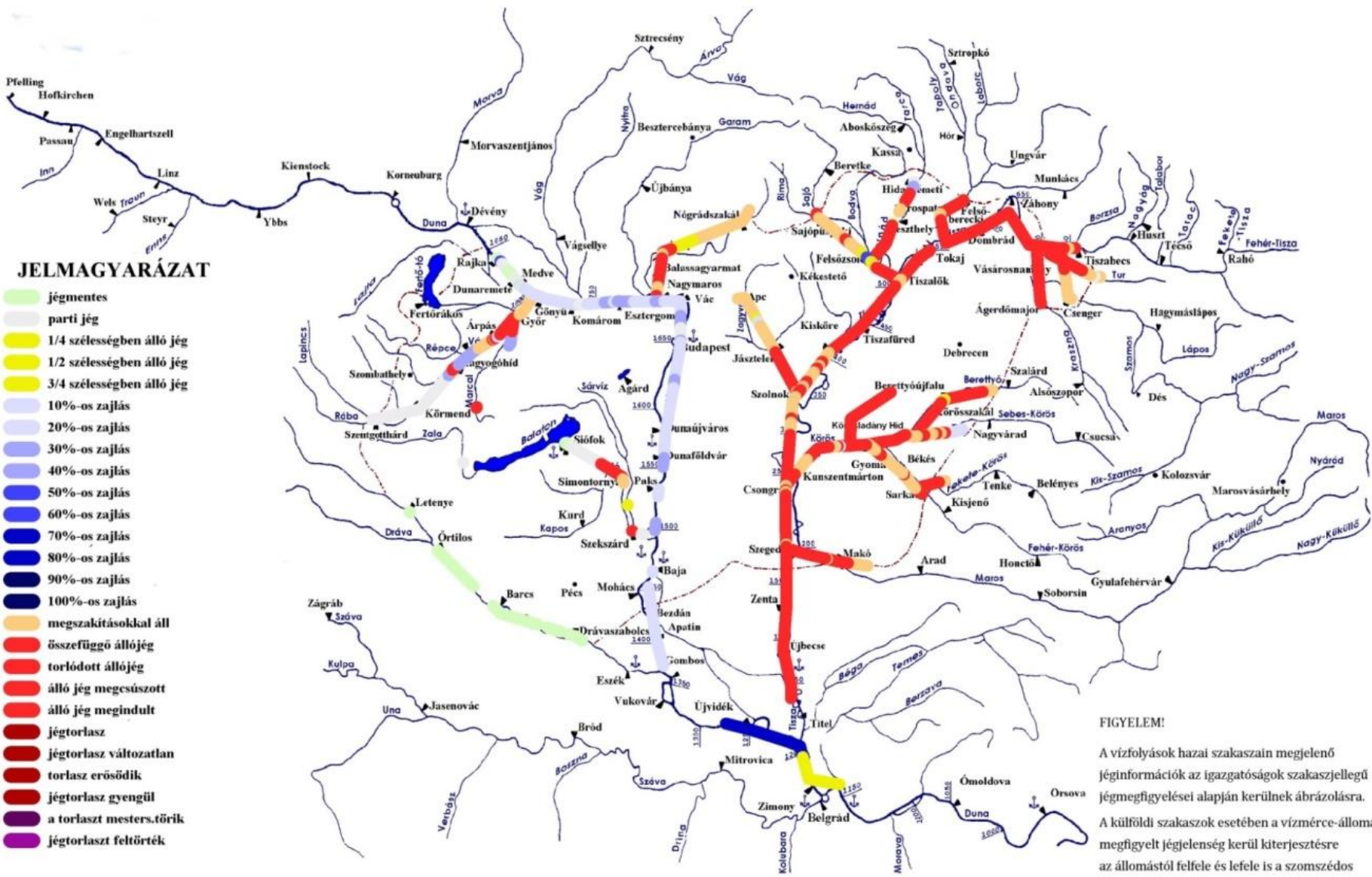
Jég alatt végzett
sebességmérés eredményei.

Folyam: Duna
Mérési szelvény: Gombos.
Mérés napja: 1914. II. 17.
A mérést végezte: Berényi Zoltán.



5. ábra.

- Bogdánfy Ödön, Lászlóffy Woldemár, Horváth Sándor, Csoma János, Starosolszky Ödön



JELMAGYARÁZAT

- jégmentes
- parti jég
- 1/4 szélességben álló jég
- 1/2 szélességben álló jég
- 3/4 szélességben álló jég
- 10%-os zajlás
- 20%-os zajlás
- 30%-os zajlás
- 40%-os zajlás
- 50%-os zajlás
- 60%-os zajlás
- 70%-os zajlás
- 80%-os zajlás
- 90%-os zajlás
- 100%-os zajlás
- megszakításokkal áll
- összefüggő álló jég
- torlódott álló jég
- álló jég megsűszott
- álló jég megindult
- jégtorlasz
- jégtorlasz változatlan
- torlasz erősödik
- jégtorlasz gyengül
- a torlaszt mesters.törlik
- jégtorlaszt feltörték

FIGYELEM!

A vízfolyások hazai szakaszain megjelenő jéginformációk az igazgatóságok szakaszjellegű jégmegfigyelései alapján kerülnek ábrázolásra.

A külföldi szakaszok esetében a vízmércé-állomásoknál megfigyelt jégelenség kerül kiterjesztésre az állomástól felfele és lefele is a szomszédos állomások irányában az állomások közti távolság feléig.

A súlyozott középhőmérsékletek elve I.

- Olof Bertil Rodhe svéd meteorológus publikálta
 - 1952 - Balti-tengeren vizsgálta a jég megjelenésének napja és a napi középhőmérsékletek közötti összefüggést
 - 1955 – jég kiterjedésének vizsgálata
- A korábban használt hőösszeg módszerek hiányosságait pótolta a napi középhőmérsékletek súlyozott sorával
- Folyami alkalmazás Michael Bilello (1963, Kanada, Mackenzie folyó, jégmegjelenés napjára +1-3 nap eltérés)

A súlyozott középhőmérsékletek elve II.

- A módszer alapfeltevése, hogy uralkodónak tekintjük a víz-levegő határfelületen végbemenő szenzibilis hőátadást.

$$q = -\alpha(T - \tau)$$

q - az átadott hőenergia [W]

T - a léghőmérséklet [°C]

τ - a vízfelszín hőmérséklete [°C]

α - a hőátadási tényező [W/m²/°C]

$$q = -c\gamma h\rho \frac{d\tau}{dt}$$

c - a víz fajhője [J/kg/°C]

γ - felszíni és átlaghőmérséklet közötti tényező ($0 < \gamma < 1$) [-]

h - az átadó vízréteg vastagsága [m]

ρ - a víz sűrűsége [kg/m³]

t - az idő [s]

$$-c\gamma h\rho \frac{d\tau}{dt} = -\alpha(T - \tau)$$

$$\frac{d\tau}{dt} = k(T - \tau)$$

$$k = \frac{\alpha}{c\gamma h\rho}, \left[\frac{1}{\text{idő}} \right]$$

Az egyenlet végső formája:

$$\tau_n = \tau_{n-1} + \left(1 - e^{-k\Delta t}\right)(T_n - \tau_{n-1})$$

A súlyozott középhőmérsékletek elve III.

- A τ sorozat a vízfelszín közelítő hőmérsékletét adja
- A k értéket úgy választjuk meg, hogy a sorozat a jég megjelenésekor érje el a 0°C -ot

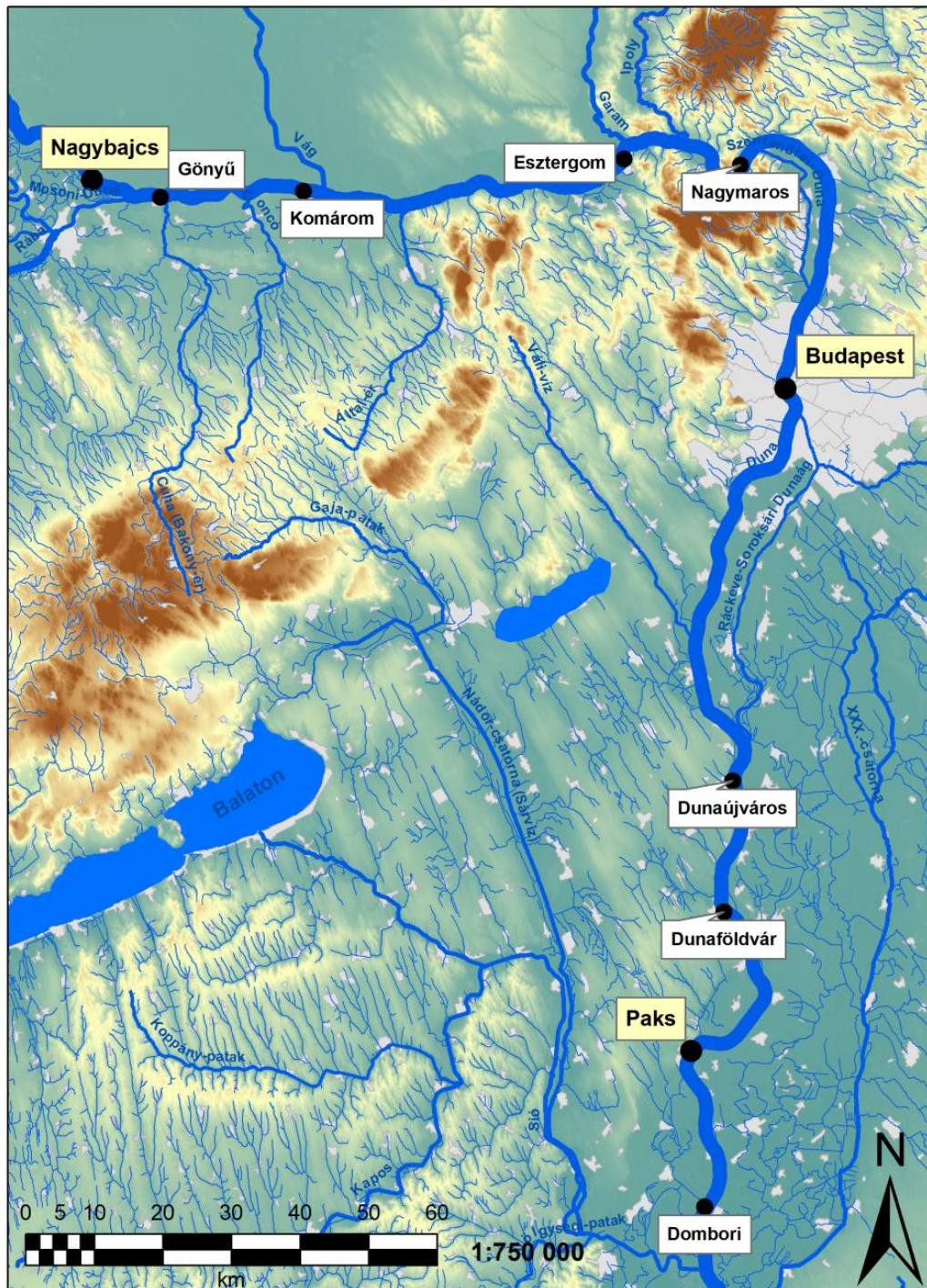
$$\tau_n = \tau_{n-1} + (1 - e^{-k\Delta t})(T_n - \tau_{n-1})$$

$$\Delta E = (1-A)E_{rh} + E_{hh} - E_v + E_e + E_l + E_c + (E_m + E_{tv} + E_s)$$

- Előnye és hátránya is, hogy az eljárás kizárólag a léghőmérsékletre támaszkodik, minden mást elhanyagol (energiamérleg tagja: rövid-, és hosszú hullámú sugárzás, vízfelszín párolgása, csapadék, víz-meder hőátadás, talajvíz hozzáfolyás, súrlódás)

Rodhe módszer alkalmazása

- Vizsgált terület:
 - Duna
 - Nagybajcs
 - 1801,0 fkm
 - Budapest
 - 1646,5 fkm
 - Paks
 - 1531,3 fkm



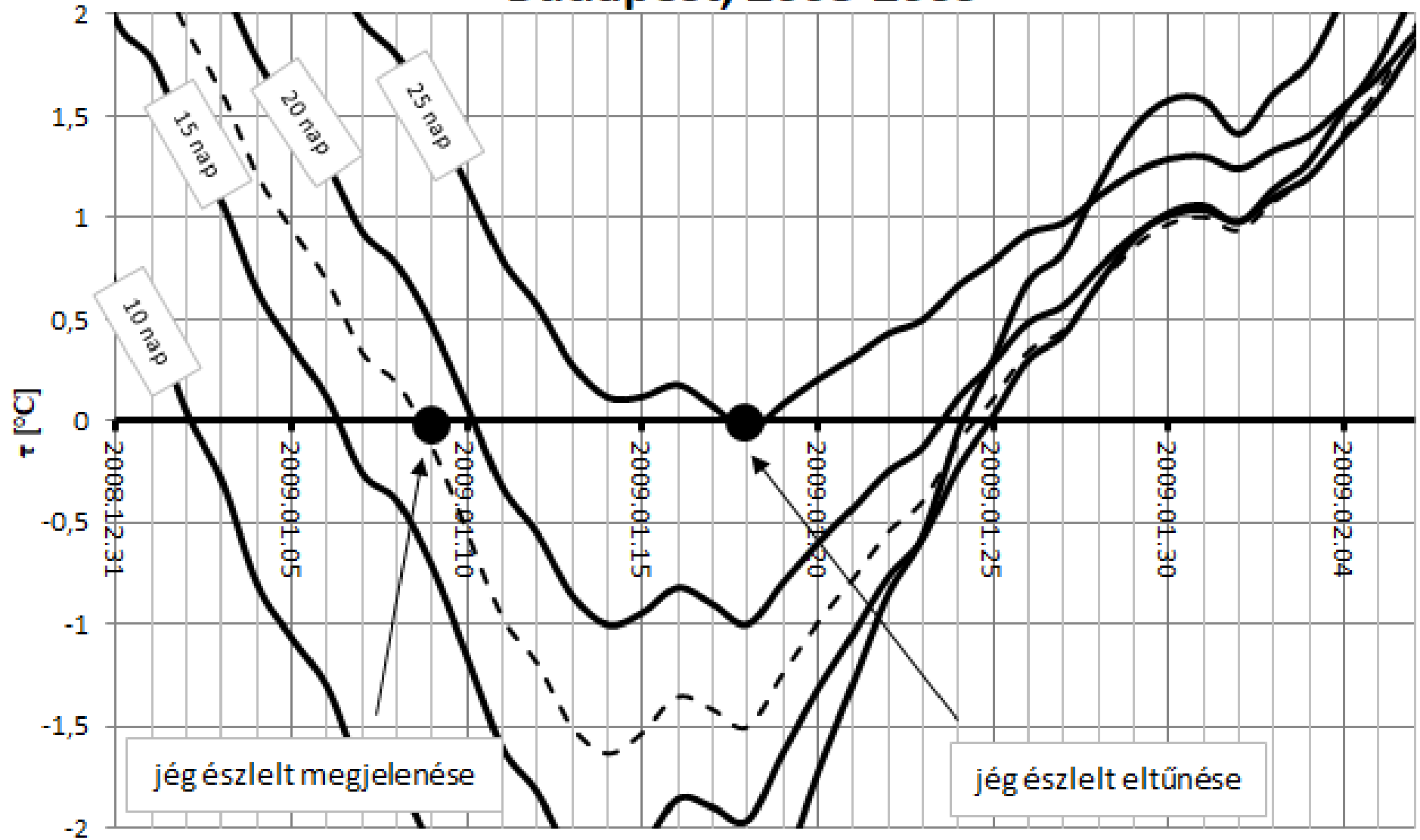
Vizsgált időszak

Jégjelentési időszak	Jégjelenség (adatok forrása: OVSZ)		
	Duna		
	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009	01.15.-01.16.	01.09.-01.18.	01.06.; 01.10.-01.19.
2009-2010	01.29.-01.30.	01.24.-02.04.	01.27.-02.07.
2010-2011	jégmentes	12.19.-12.21.	12.20.-12.21.
2011-2012	02.05.-02.15.	02.05.-02.16.	02.06.-02.18.
2012-2013	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2013-2014	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2014-2015	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2015-2016	jégmentes	jégmentes	jégmentes
2016-2017	01.08.-01.12.; 01.20.-01.22.	01.07.-01.13.; 01.20.-02.02.	01.07.-02.04.
2017-2018	jelenleg tart, egyelőre jégmentes		

Eredmények az alapösszefüggéssel I.

Kalibráció: 17,4 nap

Budapest, 2008-2009



Eredmények az alapösszefüggéssel II.

Jégjelentési időszak	Jégmegjelenés napja		
	Duna		
	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009	kalibráció		
2009-2010	-2	0	-1
2010-2011	jégmentes	+10	+16
2011-2012	+1	-2	-2
2016-2017	+2	-1	0



Kép forrása: OVF. Duna, Dályó



Felvétel forrása: OVF. Duna

A Rodhe-módszer átalakítása I.

Fagypont alatti tartomány I.

- A jég megjelenését követően a víz-levegő határfelület energiaátadási viszonyai megváltoznak
 - Víz hőkapacitása \ll fagyáshője
 - Kristályosodási hő
 - Úszó jégformák szigetelő hatása
 - Csökkenő szabad vízfelület
- Ezt figyelembe véve előrejelezhető a jég eltűnése is

A Rodhe-módszer átalakítása I.

Fagypont alatti tartomány II.

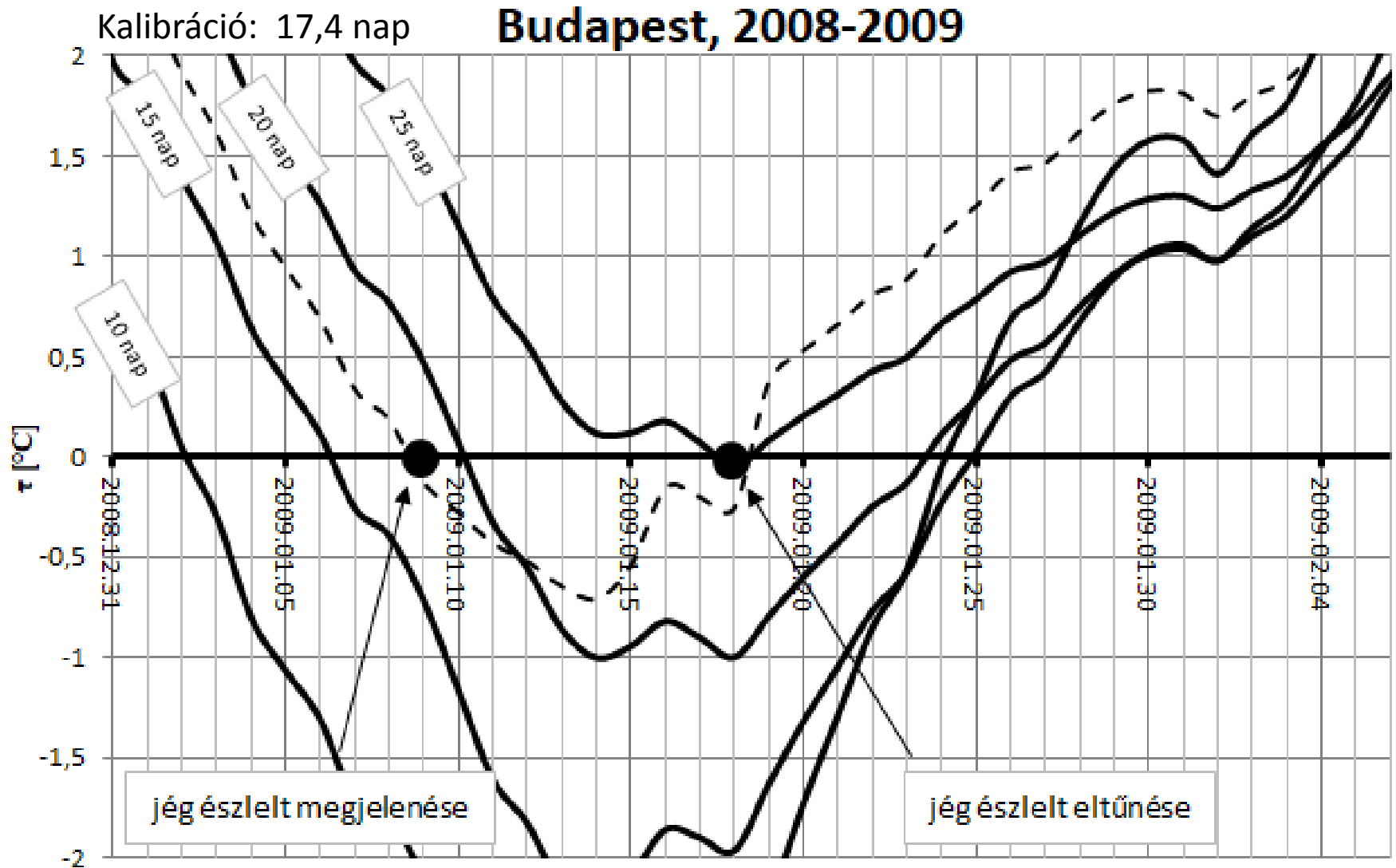
- A k változót a jégmegjelenést követően szétbontjuk:

$$k = \left\{ \begin{array}{ll} k_+ & \text{ha } \tau_{n-1} > 0 \\ k_{--} & \text{ha } \tau_{n-1} < 0 \text{ és } (T_n - \tau_{n-1}) < 0 \\ k_{-+} & \text{ha } \tau_{n-1} < 0 \text{ és } (T_n - \tau_{n-1}) > 0 \end{array} \right\}$$

- Az új paramétereket szintén kalibráljuk

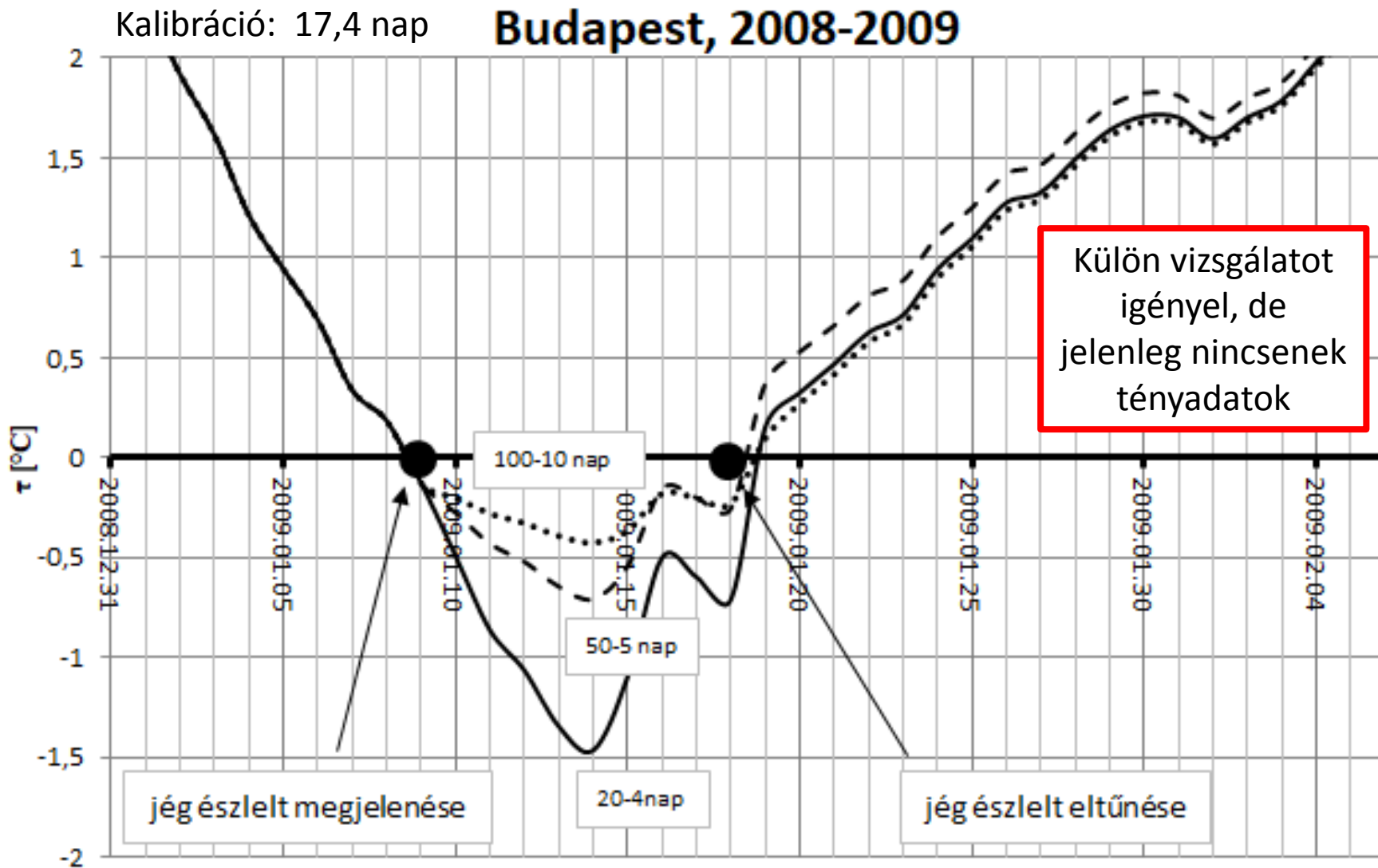
A Rodhe-módszer átalakítása I.

Fagypont alatti tartomány III.



A Rodhe-módszer átalakítása I.

Fagypont alatti tartomány IV.



A Rodhe-módszer átalakítása I.

Fagypont alatti tartomány V.

- A szétbontás helyett egy arányt kifejező paramétert vezetünk be

$$k = \begin{cases} k & \text{ha } \tau_{n-1} > 0 \\ k \cdot r & \text{ha } \tau_{n-1} < 0 \text{ és } (T_n - \tau_{n-1}) < 0 \\ \frac{k}{r} & \text{ha } \tau_{n-1} < 0 \text{ és } (T_n - \tau_{n-1}) > 0 \end{cases}$$

Jégjelentési időszak	Jégtűnés napja (zárójelben az eredeti módszerrel kapott eredmények)		
		Duna	
	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009		kalibráció	kalibráció
2009-2010	-	+8 (+15)	+10 (+15)
2010-2011	-	-	-
2011-2012	kalibráció	+2 (+11)	+6 (+12)
2016-2017	0	0 (+19)	-1 (+18)

A Rodhe-módszer átalakítása II.

Víz hőmérséklet I.

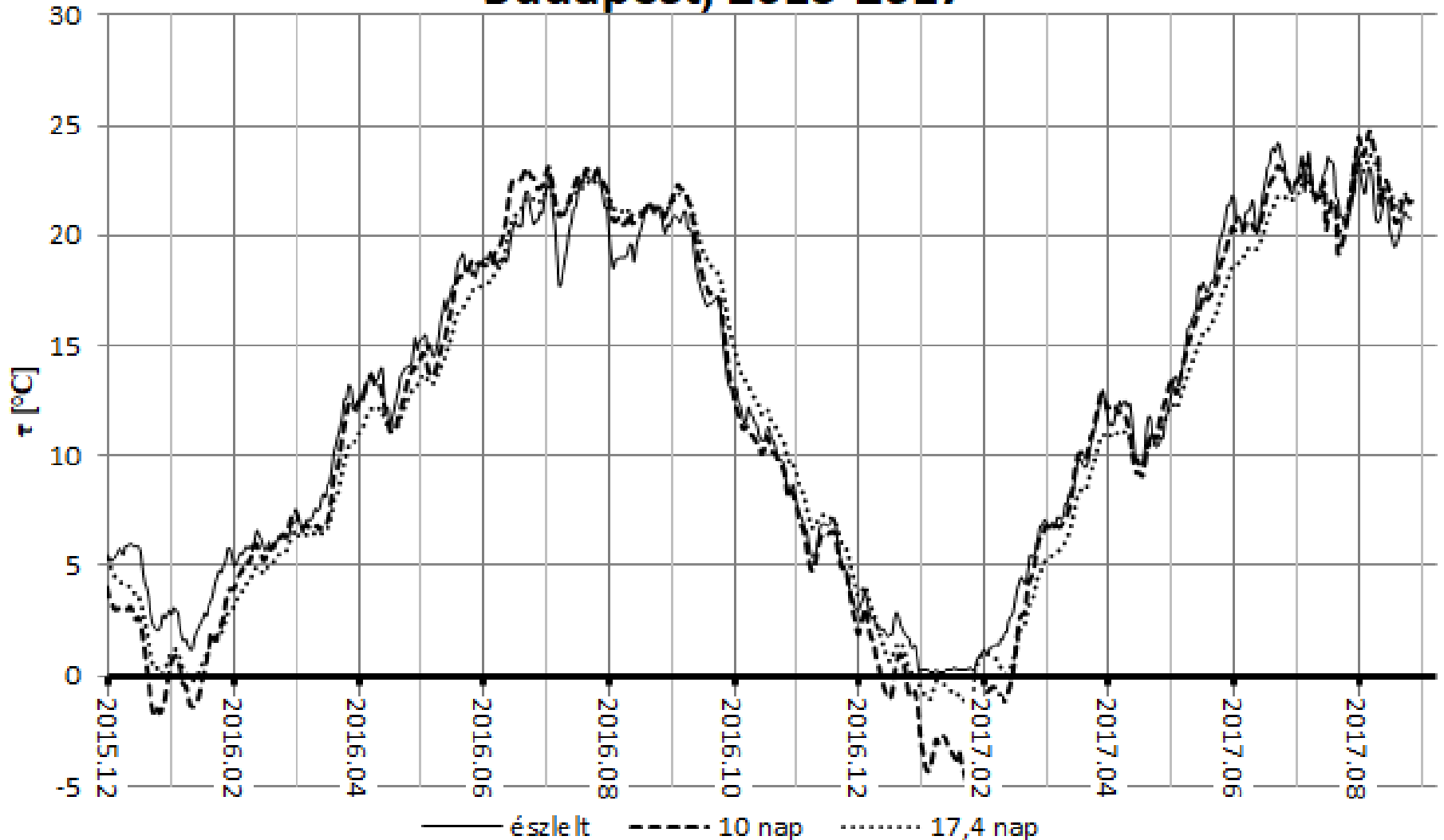
- A k^{-1} értékét úgy is megválaszthatjuk, hogy a célfüggvény az észlelt víz hőmérséklet idősorra való illeszkedés

k^{-1}	r^2	RMSE
17,4 nap	93,47	1,58
10 nap	95,65	1,33

A Rodhe-módszer átalakítása II.

Víz hőmérséklet II.

Budapest, 2015-2017



A Rodhe-módszer átalakítása II.

Víz hőmérséklet III.

- A víz hőmérséklet tartomány alsó 2/3-ában jó, de a felső 1/3-ban, 15-17°C felett, hajlamosabb a kismértékű túlbecslésre
 - Az energiamérleg teljesebb alakjához képest olyan veszteségtagokat hanyagolunk el, amelyek mértéke ilyenkor jelentősebb lehet, például a párolgásból származó energiaveszteség
- A víz hőmérsékletek idősora erősen autokorrelált ($r^2 = 99,5\%$), így a számítás és észlelés közötti hibában is erős autokorreláltság mutatkozik ($r^2 = 94,3\%$), ezt korrekcióhoz később fel lehet használni

A Rodhe-módszer átalakítása II.

Víz hőmérséklet IV.

- A k értéket tovább bontjuk:

$$\bullet k = \left\{ \begin{array}{ll} k & \text{ha } \tau_{n-1} > 4 \\ k_{4^\circ C \text{ alatt}} & \text{ha } \tau_{n-1} < 4, \text{ és } \tau_{n-1} > 0 \\ k \cdot r & \text{ha } \tau_{n-1} < 0 \text{ és } (T_n - \tau_{n-1}) < 0 \\ \frac{k}{r} & \text{ha } \tau_{n-1} < 0 \text{ és } (T_n - \tau_{n-1}) > 0 \end{array} \right\}$$

- Így az eljárás a jég megjelenését, eltűnését, és a víz hőmérsékletek alakulását is jobban leírja

A Rodhe-módszer átalakítása II.

Vízhőmérséklet V.

Jégjelentési időszak	Jégjelenség (megjelenés; eltűnés)		
	Duna		
	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009	-	kalibráció	kalibráció
2009-2010	-	-3; 5	-1; 10
2011-2012	kalibráció	-1; 1	-1; 5
2016-2017	-1; 0	-1; 0	0; -1
RMSE	1,47	1,38	1,37
r²	93,3%	95,4%	95,1%

A Rodhe-módszer átalakítása III.

Vízjárás hatása I.

- Jég előrejelzés folyókon:
 - Az információ folyásirányban is terjed
 - A teljesen átkeveredettnek feltételezett keresztszelvényben a vízmélységgel egyenes arányos a külső hatásokkal szembeni ellenállás
- Ezeket sem Rodhe, sem pedig az energiamérleg nem veszi figyelembe

A Rodhe-módszer átalakítása III.

Vízjárás hatása II.

- A vízállás helyett pontosabb jellemzést ad a víztömegről a mederteltség
- A múltra észlelt idősor, jövőre DLCM előrejelzés

Jégjelentési időszak	Mederteltség [min/max/átlag %]		
	Duna		
	Nagybajcs (1801,0 fkm)	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009	5/10/8	4/17/9	4/13/7
2009-2010	10/12/11	9/16/12	9/16/12
2010-2011	20/32/25	23/42/29	24/47/33
2011-2012	12/26/17	12/25/15	11/29/15
2016-2017	2/16/8	2/16/7	2/14/6

A Rodhe-módszer átalakítása III.

Vízjárás hatása III.

Fentről érkező információ bevezetése:

$$T_n = z * T_{n,helyi} + (1 - z)T_{n-m,felső}$$

ahol,

T_n - a t_{n-1} - t_n időlépésben figyelembe vett származtatott léghőmérséklet [°C]

$T_{n,helyi}$ - a helyi napi középhőmérséklet [°C]

$T_{n-m,felső}$ - a felső állomás napi középhőmérséklet [°C]

z - a mederteltség függő arányszám [-]

A z arányszám meghatározása úgy kell, hogy történjen, hogy kis mederteltség esetén a helyi hatások érvényesüljenek, míg egyre nagyobb mederteltség esetén a felső hatások egyre nagyobb súllyal szerepeljenek, azaz nőjön a helyi hatásokkal szembeni tehetetlenség. Így a z értékére az alábbi összefüggést használjuk:

$$z = 1 - (MT_n * s)$$

ahol,

z - a mederteltség függő arányszám [-]

MT_n - az aznapi mederteltség értéke [%]

s - az adott szakaszra jellemző kalibrációs tényező [-]

A Rodhe-módszer átalakítása III.

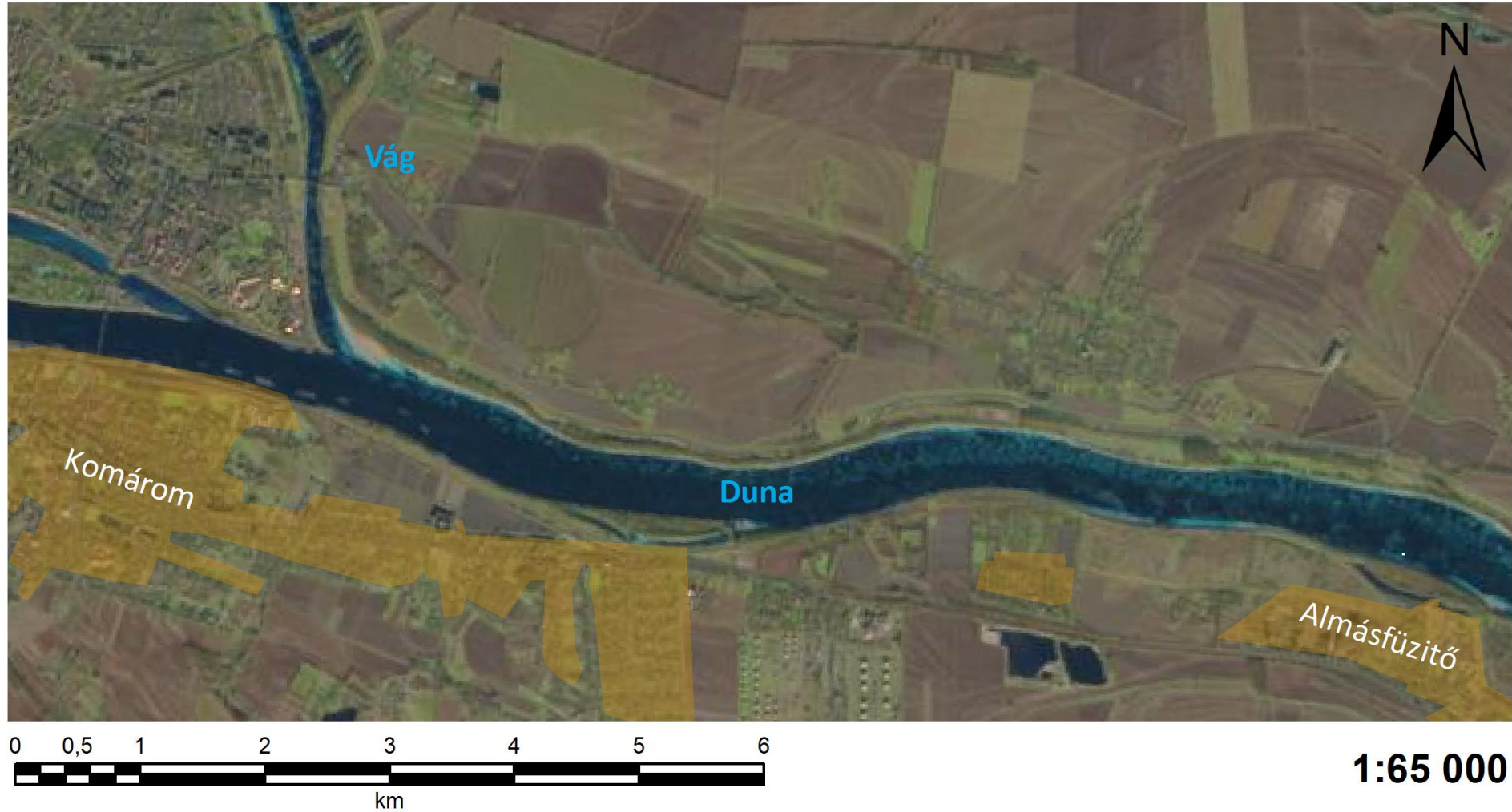
Vízjárás hatása IV.

Jégjelentési időszak	Jégjelenség	
	Duna	
	Budapest (1646,5 fkm)	Paks (1531,3 fkm)
2008-2009	kalibráció	kalibráció
2009-2010	0; 7	-1; 9
2011-2012	1; 1	-1; 1
2016-2017	0; 0	0; -1
RMSE	1,18	1,32
r^2	96,3%	95,7%

Nagybajcsnál ezt nem tudjuk megtenni, mert

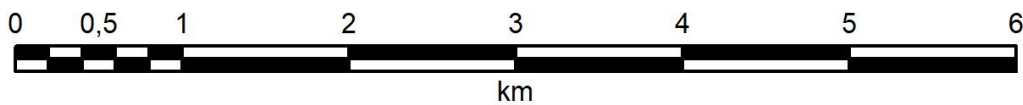
- a bősi vízlépcsőn áteresztett víz hőmérséklete eltérhet a duzzasztásmentes víz hőmérsékletétől
- a vízlépcső alvizén újraindul a jégképződés (kásajég képző szakasz)

Mellékvízfolyások I.



Sentinel-2A műholdkép 2017. január 8-án a Vág torkolatáról (forrás: Copernicus Data Hub portal)

Mellékvízfolyások II.



1:60 000

Sentinel-2A műholdkép 2017. január 8-án a Garam és az Ipoly torkolatáról (forrás: Copernicus Data Hub portal)

Mellékvízfolyások III.

- A jégjelenségek kialakulásában fontos szerepe van:
 - A víz energiaviszonyainak (energiamérleg, Rodhe)
 - A hidrológiai körülményeknek
 - A vízfolyáshálózatnak
- A folyami jégviszonyok pontosabb előrejelzéséhez térben kell gondolkodnunk, nem elegendő a pontszerű szemlélet

Összegzés

- A Rodhe által kidolgozott módszer korlátozott érvényességű a Duna hazai szakaszán (± 2 nap)
- Tengeri viszonyokon alapszik, ezért nem vesz figyelembe folyók esetén jelentős súlyú tagokat
- **A módszer kiegészítésével jelentős javulást értem el, és további lényeges információk is kinyerhetővé váltak (jég eltűnése, vízhőmérséklet)**

További célkitűzések

- Alkalmazás több hazai vízfolyáson
 - Vízlépcsők kezelése
- A tapasztalatok átültetése az energiamérleg alapú módszerbe
- DLCM kiváltása/kiegészítése 1D hidrodinamikai számítással
 - Fejlesztés már folyamatban van (Preissmann séma, Double Sweep method), de az operatív üzem hosszú távú cél
 - Komplex rendszer: jégmozgás hidraulikája, torlasképződés (Zsilák, Bogárdi & Kozák, Mayer, Bakonyi)

Köszönöm a figyelmet!

