

HORVÁTH SÁNDOR és LÁSZLÓFFY WOLDEMÁR, a műszaki tudományok doktora

A MORVATOROKTÓL A FEKETE-TENGERIG TERJEDŐ DUNASZAKASZ JÉGVISZONYAI¹

A befagyás, és a jég tavaszi levonulásával kapcsolatos árvizek gyakori jelenségek a Dunán. A magyarországi jeges árvizekre vonatkozó történelmi feljegyzések a XIII. századig nyúlnak vissza. A XVIII. századtól mind sürge-
tőbbé vált folyamszabályozás célkitűzései között mindenkor első helyen állott a jéglevonulást akadályozó éles kanyarulatok és zátonyszigetek megszüntetése, annak hangsúlyozásával, hogy ezek a munkálatok a hajózásnak is javára szolgálnak. Ennek megfelelően az 1823-ban megindult rendszeres vízállás-észlelésekkel együtt a folyam mindenkori jégviszonyairól is folyamatos feljegyzések készültek. *Arenstein József*-nek, a József ipartanoda tanárának, az 1847–50. évi budapesti jégviszonyokról készített adatfeldolgozása [1] az 1851-ben a Habsburg-monarchia egész területére elrendelt jégmegfigyelések mintája lett [2].

Az évtizedek során összegyűlt bőséges adatanyag statisztikai feldolgozása alapján *Lászlóffy W.* a jeges árvizek keletkezésének és alakulásának bizonyos törvényszerűségeit vezette le [3, 4, 5], míg *Horváth S.* a jégviszonyok folyamszakaszonkénti, hajózási szempontból történő jellemzésére dolgozott ki módszert [10]. Ennek alapján adnak a Dunabizottság vízrajzi évkönyvei a Morvatoroktól a Fekete-tengerig terjedő 1880 km hosszú folyamszakasz jégviszonyairól képet [6].

Magyarország számára a nemzetközi Duna biztosítja a tengerhez vezető utat. Ez teszi szükségessé, hogy az ország határain kívüli dunaszakasz jégviszonyaira is kiterjesszük figyelmünket.

A jégjárási viszonyok pontos és részletes megismerése az alapja annak, hogy

- a) a hajózás a jégmentes időszakot jól kihasználhassa,
- b) a jégjelenségeket bizonyos mértékig előre jelezzük és ezáltal a késő őszi hajózás biztonságát fokozzuk,
- c) megállapíthatjuk a mederalakulás hatását a jégviszonyokra és ezzel a hajóút megjavítását célzó munkálatok sorrendjének megválasztásához biztos alapot nyújtunk, és végül
- d) a jeges árvizek ellen megfelelően védekezhessünk.

¹ A XIX. Nemzetközi Hajózási Kongresszusra (London, 1957) készült tanulmány.

A következőkben

1. ismertetjük a Duna jégviszonyainak megismerése érdekében végzett statisztikai adatfeldolgozásban követett módszereket,

2. szakaszonkénti jellemzést adunk a dunai víziút jégviszonyairól, ennek kapcsán

3. röviden megemlékezünk arról, hogy hogyan védekezik a hajózás a jég miatti károk ellen, és végül

4. kimutatjuk a folyószabályozás jelentőségét a jégviszonyok megjavítása szempontjából.

1. A Duna jegére vonatkozó statisztikai adatfeldolgozások módszerei

Vizsgálatainkat folyamszakaszonként végeztük, mert így, az egyes szakaszokon levő valamennyi vízmérce észlelőinek feljegyzéseit egybevetve, az esetleges hiányosságokat pótolhattuk, és mert a hajózás szempontjából közömbös, hogy a szakasznak csak egy-egy pontján, vagy teljes hosszán van jég.

A szakaszbeosztásnál elsősorban a természeti-földrajzi tényezők (esés, vízbőség, ill. sebesség, mélység és hajóút-szélesség) megszabta hajóvontatási szakaszokat tartottuk szem előtt, de figyelemmel voltunk a forgalmi szempontokra is (főbb kikötők, országhatárok). A szakaszbeosztásról az *1. ábra* ad áttekintést.

A jégadatokról mindenekelőtt olyan grafikus kimutatásokat készítünk, amelyek folyószakaszonként feltűntetik minden egyes térről, hogy mely napokon volt jég, illetőleg borította összefüggő jégtakaró a folyamot. Ezeket a kimutatásokat az 1900/01 évi téltől napjainkig készítettük el, mert erről az 56 éves időszakról az egész folyamra megvannak az adataink, és így az egyes szakaszokra vonatkozó eredmények kölesönösen összehasonlíthatók.

A kimutatások alapján minden egyes szakaszra megállapítottuk a következő jellemző adatokat:

a) a jég megjelenésének, illetőleg a folyó befagyásának *legkorábbi és átlagos időpontját*;

b) az álló jég felszakadásának, illetőleg a jég eltűnésének *átlagos és legkésőbbi időpontját*;

c) a jeges napok *átlagos és maximális számát*, továbbá a befagyás *átlagos és maximális időtartamát* napokban, és végül:

d) *az évek hány százalékában* jelent meg a jég, illetőleg fagyott be a folyam.

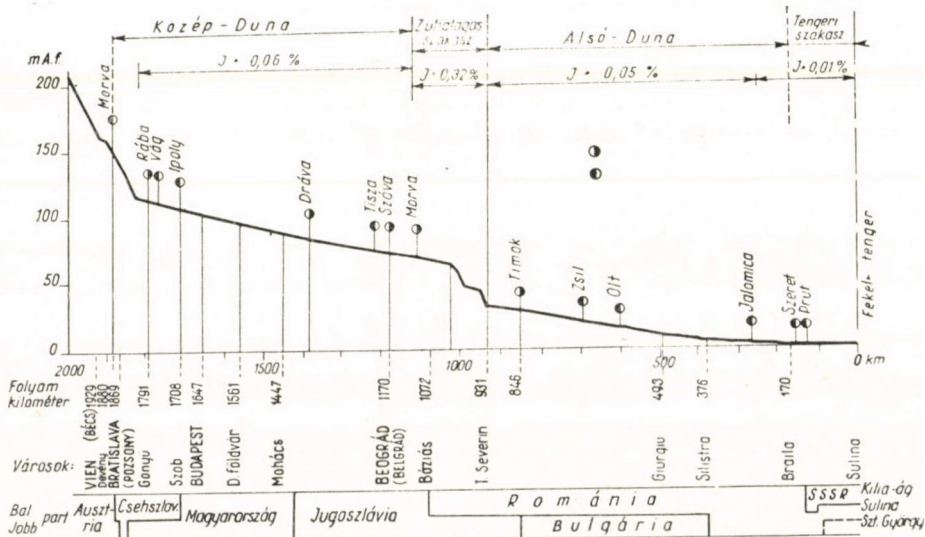
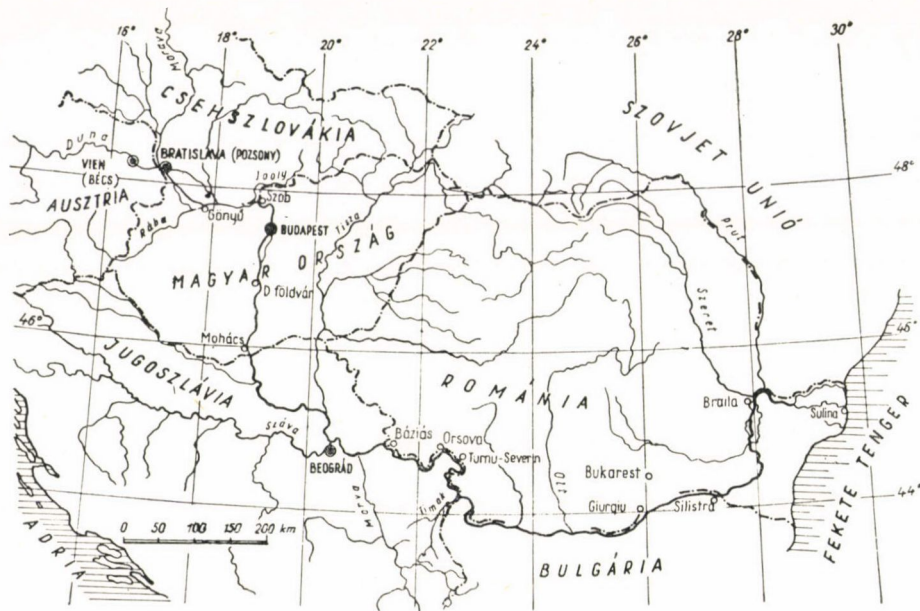
A jégmegjelenés, illetőleg a befagyás legkésőbbi időpontja és a jég felszakadásának, illetőleg eltűnésének legkorábbi időpontja azért nem szerepel a fenti adatok között, mert a jég nem jelenik meg minden télen a Dunán. Megjegyezzük továbbá, hogy az átlagértékek számításánál csak azokat az éveket vettük figyelembe, amelyekben a jég megjelent, illetőleg a folyó beállott.

Avégből, hogy a jégjelenségek alakulásának részleteibe is betekinthessünk, a továbbiakban 5 napos időközökre (pentádokra) bontottuk a téli időszakot és meghatároztuk minden egyes folyamszakaszra

a) a jeges napok, illetőleg az álló *jeges napok számának*, továbbá

b) a jég első megjelenése és végső eltűnése, illetőleg a folyó beállása és az álló jég felszakadása *időpontjainak gyakorisági megoszlását* (*2. ábra*),

c) majd elkészítettük az utóbbi gyakorisági ábráknak *összegező vonalait*.

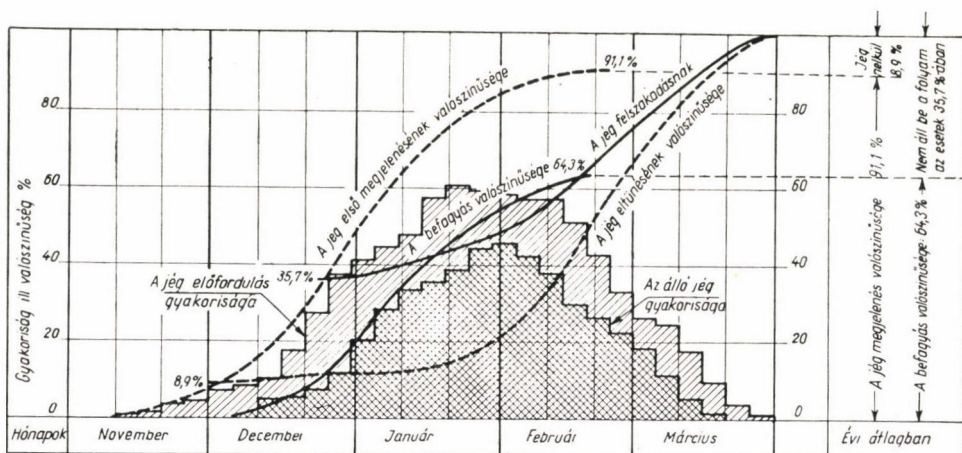


1. ábra. A Közép- és Alsó-Duna áttekintő helyszínrajza és részletes hossz-szelvénye

Az ábra megmondja, hogy a tél tetszőleges pentádjában milyen gyakorisággal fordult elő a jég, illetőleg volt befagyva a Duna, továbbá, hogy az esetek hány százalékában számíthatunk arra, hogy a kérdéses pentádig megjelent már a jég vagy befagyott a folyam, és felszakadt, illetőleg eltűnt a jég. Az eredetileg lépcsős összegezővonalak kisimításával kapott vonalakat valószínűségi görbéknek tekinthetjük és a jövőre vonatkoztatva leolvashatjuk róluk, hogy pl. milyen kockázattal indulhat útjára valamely hajó december

elején, vagy mi a valószínűsége annak, hogy március közepén megindulhat a hajózás.

A jégmegjelenés és a befagyás időpontjának valószínűségi görbéi természetesen nem érik el a 100%-ot, mert vannak esztendőik, amikor a jég nem jelenik meg a Dunán, illetőleg a folyam nem fagy be. Hasonlóan: a jégfelszakadás és eltűnés időpontjának valószínűségi görbéi nem indulnak a



2. ábra. A jégelőfordulás és a befagyás pentád-gyakorisága és valószínűsége a Duna Dunaföldvár és Mohács közötti szakaszán (1560—1448 fkm).

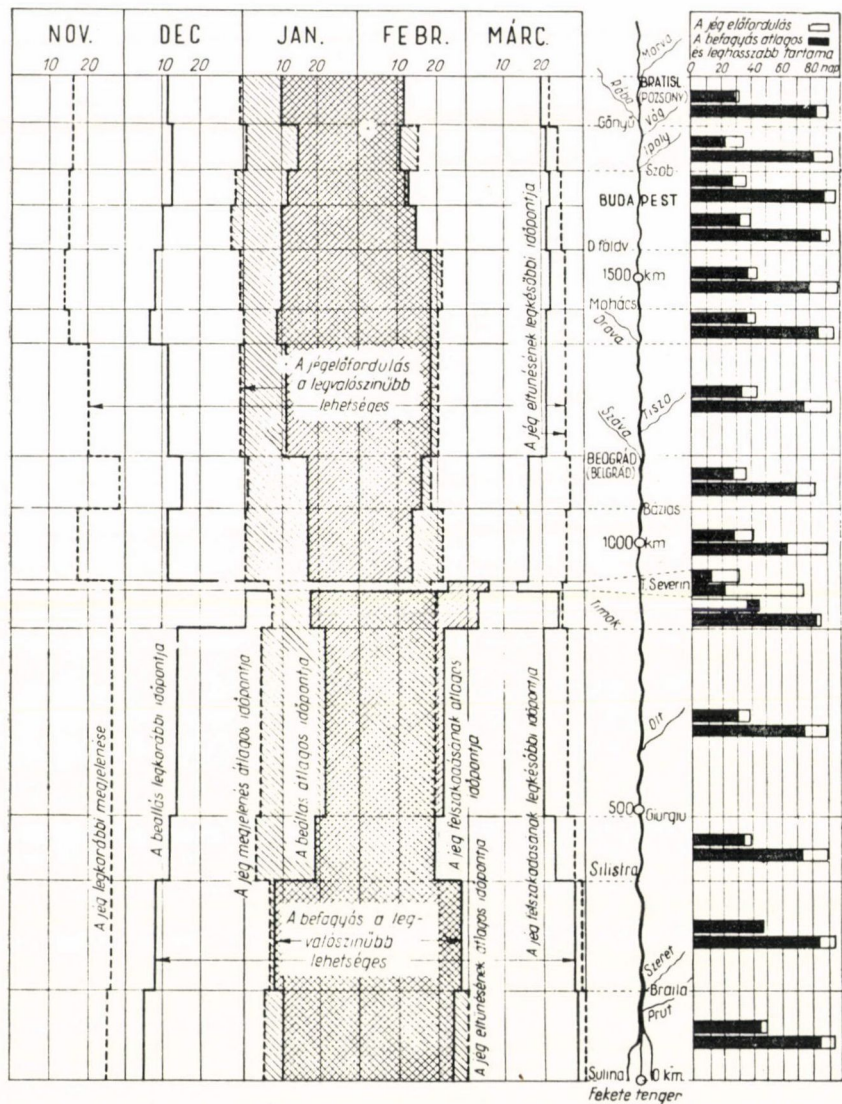
0%-tól, mert bizonyos meghatározott valószínűsége van annak, hogy egyáltalában nem lesz jég. (Ha ezekről a görbékről azt akarnók leolvasni, hogy bizonyos időpontig hány % valószínűséggel szakad fel vagy tűnik el az egyszer már megjelent jég, a vízszintes tengelytől kellene őket kiindítani [6]).

2. A Duna jégviszonyai

Az előzőekben ismertetett szakaszonkénti adatfeldolgozásokat olyan ábrákban egyesítettük, amelyek a megvizsgált 1880 km hosszú dunaszakasz egészének jégviszonyairól áttekintést adnak.

A 3. ábra a különböző jégjelenségek bekövetkezésének átlagos és szélsőséges időpontjáról tájékoztat. A jégmegjelenés legkorábbi és a jégeltűnés legkésőbbi időpontja határolja azt a 109—132 napos időtartamot, amelyen belül jég egyáltalán előfordul, illetőleg — a jövőre vetítve — lehetséges a jégelőfordulás. A befagyás lehetőségére — hasonló módon — 84—114 napos időtartamot kapunk. (Az 1072 és 931 fkm szelvények közti zuhatagokon nem áll be sohasem a folyam, de az egész szakasz hajózhatósága szempontjából nem ezek a mértékadóak, hanem azok a közbenső helyek, ahol megáll a jég: elsősorban a Kazán-szoros (974—965 fkm), amely legkeskenyebb helyén csupán 150 m széles. Az esetek legnagyobb részében az itt képződött jégdugóra támaszkodva épül a folyón felfelé a jégtakaró. A befagyás után a jégdugó alatti szakaszon csupán a róla leszakadó és a magán a szakaszon képződő jégtáblák úsznak. Ennek tulajdonítható, hogy az Alsó-Duna álló

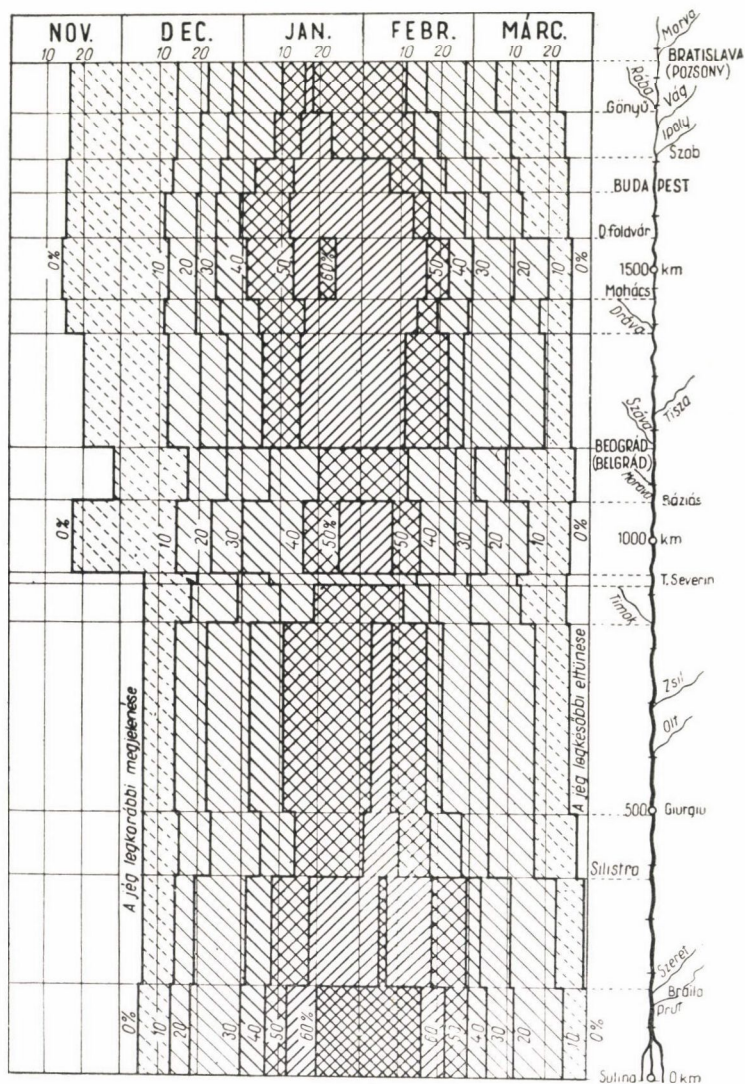
jégtakarója — a több, mint 100 évre visszanyúló feljegyzések szerint — sohasem ért a 935 fkm-nél feljebb.)



3. ábra. A Duna jégjárásának jellemző időpontjai és időszakai

A jégmegjelenés és jégeltűnés átlagos időpontjai 43–55 napos időtartamot jelölnek ki, amelyen belül a *legvalószínűbb a jégelőfordulás*, és épp így leolvashatjuk az ábráról a *befagyás legvalószínűbb időszakát* is, amelynek tartama — a zuhatagos szakaszt ismét figyelmen kívül hagyva — 27 és 45 nap közt változik.

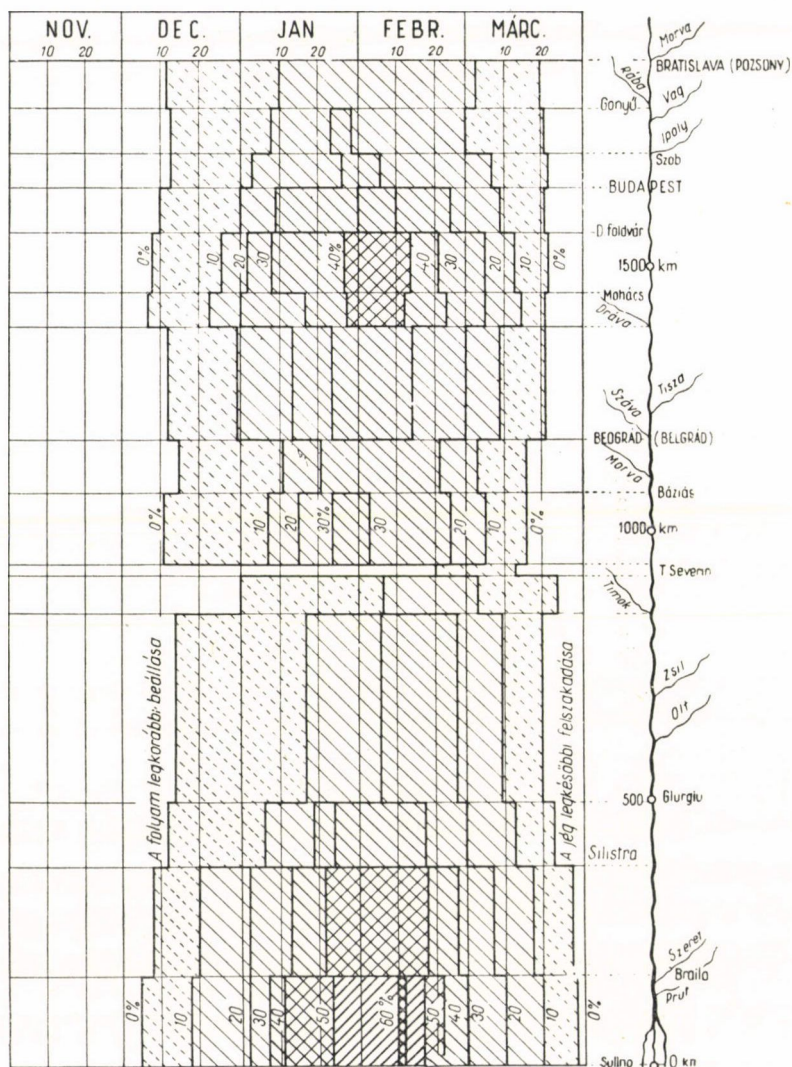
Mivel a Duna vízgyűjtőjében a tél folyamán hosszabb-rövidebb olvadási időszakok váltakoznak fagyhullámokkal, a *jeges napok tényleges száma*, ill. a befagyás tartama sohasem éri el a fentebb lehetségesnek mondott időközök hosszát és az átlagos értékek is kisebbek, mint a fentemlített, az ábrán csí-



4. ábra. A jégelőfordulás pentádonkénti gyakorisága a Duna egyes szakaszain

kozással jelölt, legvalószínűbb időszakok tartama. Ezért az ábra jobb oldalán külön tüntettük fel a jeges napok számának, továbbá az álló jég tartamának átlagos, ill. eddig észlelt maximális értékét. A jeges napok száma átlag 31–49 nap, maximumuk 76–99 nap; a befagyás tartama átlag 11–48 nap, de előfordult már, hogy 62–89 napig borította jégpáncél a folyamot.

Megjegyzendő, hogy mivel az átlagértékeket az előfordult esetekből számítottuk, a jégfelszakadásnak átlagos időpontja némely szakaszon későbbre adódott, mint a jég eltűnéséé. A látszólagos ellentmondás oka az, hogy a befagyás lényegesen ritkább jelenség, mint a jég megjelenése, az egyszer kialakult jégtakaró viszont igen ellenálló, rendszerint sokáig megmarad. A jégfelszakadás későbbi időpontja tehát kevésszámú, kivételesen kemény tél adatából származik.



5. ábra. A befagyás pentádonkénti gyakorisága a Duna egyes szakaszain

A 2. ábra szerinti, szakaszonként készült gyakorisági görbék alapján szerkesztettük a 4. és 5. ábrát. Ezek a tél bármely időpontjában megadják, hogy milyen gyakorisággal fordul elő az egyes folyószakaszokon jég, ill. álló jégtakaró. Természetes, hogy ezeknek az ábráknak a 0 gyakoriságot jelző

vonalai a jégjelenségek bekövetkezésének szélsőséges időpontját adják meg, és megegyeznek a 3. ábrán feltüntetett legkorábbi, ill. legkésőbbi időpontok vonalaival.

Hasonló ábrákat szerkesztettünk a jég megjelenésének és eltűnésének, valamint a befagyás és a jég-felszakadás időpontjának valószínűségi görbéi alapján is. Ezek az ábrák arra a kérdésre adnak feleletet, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy az egyes folyamszakaszokon valamely tetszőleges *időpontig* megjelent vagy eltűnt mára jég, ill. befagyott a folyam vagy felszakadt a jég.

Amíg a 3—5. ábrán a jégjelenségek bekövetkezésének jellemző időpontjai domborodnak ki, a 6. ábra a jégjelenségek gyakoriságáról és tartamáról tájékoztat. Az ábrán folyamszakaszonként tüntettük fel azt, hogy

a) a telek hány %-ában számíthatunk jégre, ill. a folyam befagyására ;
 b) mekkora a tél folyamán a jeges napok, ill. az állójezes napok számának legnagyobb gyakorisága (a 2. ábra szerinti, itt nem közölt ábrák haranggörbéinek legnagyobb ordinátái) ;

c) mekkora a jeges napok átlagos száma, ill. a befagyás átlagos tartama (amit már a 3. ábra jobboldalán is feltüntetettünk) és végül

d) mekkora a befagyás átlagos tartamának és a jeges napok átlagos számának viszonya, az ún. *jégmegállási jellemző*.

Mielőtt ezekről a vonalokról következtetéseket vonnánk le, emlékeztetnünk kell arra, hogy a folyók jégviszonyai a forrástól a torkolat felé haladva általában súlyosbodnak. Állításunkat — *A. Schoklitsch* ismert formulájából kiindulva — a következőképp igazolhatjuk.

Fejezzük ki a vízfolyás valamely „*I*” szelvényén az időegységben áthaladó jégtáblák felületének nagyságát (F , m²) a szelvény hidraulikai jellemzőivel :

$$F = v_{01} n_1 S_1 \quad (1)$$

ahol v_0 a felszíni sebesség [m/sec],

S a víztükör szélessége [m],

n az ún. jégborítási arányszám, amely kifejezi, hogy a vízfelszín hányadrészét foglalja el a jég és

az „*I*” index a szelvényt jelöli.

Ha valamely lejjebb fekvő „*2*” szelvényen az időegységben ugyanennyi jég halad át, a jégborítási arányszám ott

$$n_2 = \frac{F}{v_{02} S_2} \quad (2)$$

lesz, — vagy a felszíni sebesség helyett a középsebességet írva, a Chézy-képlet figyelembevételével

$$n_2 = \frac{F}{\alpha c S_2 \sqrt{m_2 J}} = C \frac{F}{S_2 \sqrt{m_2 J}} \quad (3)$$

ahol m a hidraulikus sugarat helyettesítő középmedlység [m],

J a vízszin esése,

c a sebességi tényező,

$\alpha = v_0/v$ a felszíni és a középsebesség viszonya és

C állandó.

A (3) képlet szerint a jégborítás arányszáma a vízzsinesés, a mélység és a víztükörszélesség csökkenésével növekszik, azaz szorosan összefügg a meder állapotát jellemző tényezőkkel. Mivel a folyók esése a torkolat felé haladva általában csökken, n -nek növekednie kell.

Amíg a jég zajlik, $n < 1$. De minél közelebb áll az egységhez, vagyis minél sűrűbb a zajlás, annál valószínűbb, hogy a zajló táblák valamelyik kanyarulatban vagy középzátonynál megakadnak, boltozatot alkotnak, amely elzárja a felülről folyamatosan érkező többi tábla útját, és a megállás helyétől felfelé rohamosan növekedő álló jégpáncél alakul ki.

Minél kisebb a víz sebessége, annál gyorsabban hízik a már kialakult jégtakaró, mert a jég alsó felületével hosszabban érintkeznek a vízrészecek, és könnyebben hűlnek le, mint a sebesebb vízben, és a lassúbb víz mechanikai koptató hatása is kisebb. Az így kialakult vastagabb jégtakaró viszont ellenállóbb is, tehát tartósabban megmarad, mint a sebesebb folyású felsőbb szakaszok vékonyabb jégtakarója.

Mindent egybevetve megállapíthatjuk, hogy mivel a kisebb esésű folyamszakaszon könnyebben áll meg, jobban hízik és tartósabban megmarad a jég, a folyók általános hosszszelvény-alakulásának megfelelően *a torkolat felé haladva általában növekednie kell a jégelőfordulás gyakoriságának és a jégborítás tartamának is*. Világos azonban a (3) képletből, hogy ezt az általános törvényszerűséget lényegesen megzavarhatják a mederviszonyok: az esés, a mélység és a víztükörszélesség helyi változásai, továbbá az éles kanyarulatok, szigetek és zátonyok, amelyek a zajló jég megállításában jutnak döntő szerephez.

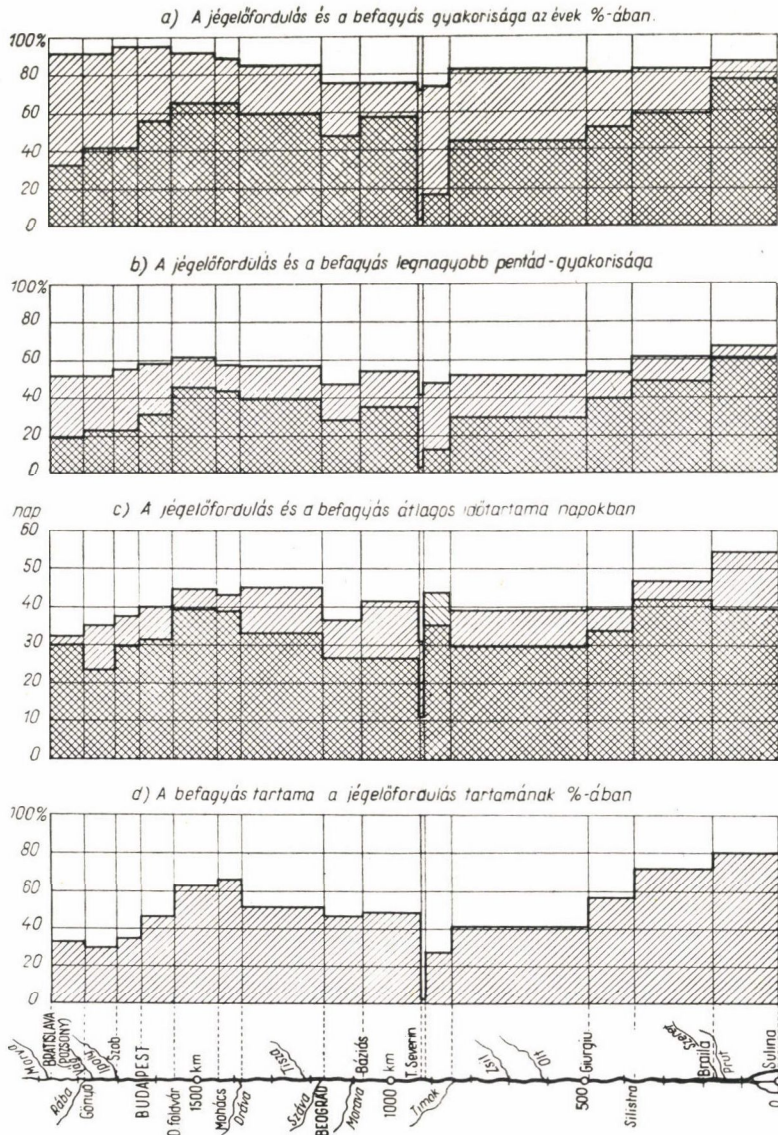
Ezeket az általános megállapításokat tükrözi a 6. ábra minden részlete. Mindenekelőtt látható, hogy a Vaskapu, ill. a 931. fkm-től az 1072. fkm-ig terjedő zuhatagos szakasz, élesen elválasztja a jégviszonyok szempontjából a Közép- és az Alsó-Dunát. A zuhatagok sohasem állanak be: mind az Alsó-Duna, mind a Közép-Duna jégtakarója egymástól függetlenül, alulról felfelé növekedve, alakul ki. Különösen élesen mutatkozik ez meg a 0 és 931 fkm közötti Alsó-Dunán. A felrakott jellemző értékek mindegyike a torkolat irányában haladva növekszik, és maximumát a Deltában éri el, ahol a legkisebb az esés és a legkeskenyebb a meder. Feltűnik az is, hogy az alulról felfelé épülő jégtakaró csak a hosszantartó teleken éri el a szakasz felső végét.

Részletes vizsgálatokkal kimutattuk, hogy a Közép-Dunán az esetek nagyobb részében a Mohács—Drávatorok (1448—1383 fkm) közötti szakaszon áll meg leghamarabb a jég, és az itt képződött boltozatra támaszkodva épül felfelé a jégtakaró, amely igen kemény teleken az ausztriai Melket (2036 fkm) is elérheti. Megállapítható tehát, hogy *a Mohács és a Drávatorolat közötti szakasz a Közép-Dunának a jéglevonulás szempontjából legkedvezőtlenebb szakasza, és hátrányosan befolyásolja a felsőbb szakaszok jégjárás viszonyait is*.

Vizsgálataink arra is rámutattak, hogy *a jég rendszerint — a nyugatról jövő enyhülés hatására — felülről indul meg*. A Dunaföldvár és Mohács közötti szakaszon (1560—1448 fkm) az esetek legnagyobb részében összetorlódik a felsőbb szakaszok jege, és csak akkor tud továbbjutni, ha az alatta fekvő, Mohácstól a Drávatorokig terjedő szakaszt borító jégpáncél már felszakadt. Ebben a körülményben kell keresni a dunaföldvár-mohácsi dunaszakaszon oly gyakori jégtorlódások és a velük járó jeges árvizek okát.

Az 1383. fkm-nél betorkolló Dráva kisebb mértékben, az 1171. fkm-nél

beömlő Száva lényegesebben befolyásolja a jégviszonyokat. Vizgyűjtőjükről — éghajlati okokból — rendszeren a Felső-Dunát megelőzően indul el a tavaszi árhullám, és olyankor szakítja fel a torkolatuk alatti dunaszakasz jegét,



6. ábra. A jégviszonyok szakaszonkénti alakulása a Morvatoroktól a Fekete-tengerig terjedő dunaszakaszon

mikor még feljebb szilárdan áll a jég. Ha a Drávatorok alatti dunaszakasz szabaddá vált, a torkolat feletti jégtakaró alsó végéről leszakadozó jégtáblák szabadon leúszhatnak. Ezért kedvezőbbek valamivel a jégviszonyok a

Mohács—Drávatorok közötti szakaszon, mint fölötte, holott az általános törvényszerűség szerint fordítva kellene lennie.

Külön magyarázatra szorul a befagyás feltűnően hosszú tartama a Morvatorok és Gönyü közti szakaszon (6c ábra), annál is inkább, mert a szakasz aránylag nagy esésű. Ha figyelembe vesszük, hogy a Kárpátok medencéjébe belépő Duna itt rakja le hordalékát és a téli kisvizek idején különösen kellemetlen zátonyokat alkot, a dolog egyszerűen érhetővé válik.

Megmutatkozik az Alsó-Duna és a Közép-Duna jégviszonyai közötti eltérés a 3. és a 4. ábrán is, a legkorábbi jégmegjelenés eltérő időpontjában. A két folyamszakasz medencéjében némileg eltérő időjárási befolyások érvényesülnek.

Természetes, hogy a jeges napok összes számában, az egységes éghajlati befolyások folytán, sokkal kisebbek a szakaszok közötti eltérések, mint az álló jégtakaró tartamában, amely a medervisnyók befolyását tükrözi, — bár a torkolat felé haladva természetesen az előző értékek is növekednek. Avégből, hogy a medervisnyóknak a jégviszonyokra gyakorolt hatása élesebben kitűnjék, a 6d ábrán az álló jég tartamának és az összes jeges napok számának hányadosát raktuk fel. Ez a *jégmegállási jellemzőnek* nevezhető viszonyszám mindenben alátámasztja az eddig elmondottakat. A jégmegállási jellemzőnek *Dunaföldvár és a Drávatorok közötti rendkívül nagy értéke (> 60%) világosan mutatja a szabályozás hiányát és egyben okát adja az ezen a szakaszon gyakori, súlyos jeges árvizeknek.* Lejjebb, a Dráva, Tisza és Száva vizével bővült Duna medervisnyói annyival kedvezőbbek, hogy a jég levonulása nem ütközik különösebb nehézségekbe.

Feltűnően magasra ugrik a jégmegállási jellemző a Silistra alatti szakaszon is, ahol meghaladja a 70, sőt a 80%-ot. A már csaknem esés nélküli tengeri szakaszon ez annál inkább érthető, mert a Sulina-ág aránylag keskeny és lassú vizű. A vízhozam javarésze ugyanis a Delta másik két ágán jut a tengerbe. Braila és Silistra között, ahol a Duna északnak folyik, a gyakran viharos erősségű északi szelek erősen csökkentik a jégtáblák haladási sebességét és ezáltal elősegítik a beállást. A jégtakaró itt az esetek 90%-ában a torkolati szakasztól függetlenül épül ki, vagyis Braila és Silistra között hamarabb megáll, mint ahogy a torkolati szakasz jégtakarója Brailát elérné.

A 6. ábra egyes vonalaiban mutatkozó kisebb rendellenességek többnyire azzal függenek össze, hogy az egyes jellemző adatokat mindig az előfordult esetekből számítjuk, az esetek száma pedig gyakran szakaszonként eltérő.

A jégtakaró kiterjedésére vonatkozóan megállapíthatjuk, hogy az *Alsó-Dunán képződött jégtakaró nincs szoros összefüggésben a Közép-Duna jégtakarójával.* Különösen zord és hosszantartó teleken az Alsó-Dunán Sulinától Turnu-Severinig 935 km hosszú, a Közép-Dunán pedig Orsovától a felső-dunai Melkig felnyúló mintegy 1100 km hosszú jégtakaróval kell számolni. A jégtakaró azonban általában sohasem teljesen összefüggő: helyi jellegű csúszások miatt rövidebb-hosszabb szabad vízfelületek szakítják meg.

3. A hajózás védekezése a jég miatti károk ellen

A 6c ábráról leolvasható, hogy a Duna egyes szakaszain évente átlag 32—47 napig van jég. De ha figyelembe vesszük, hogy a jeges időszak leg-hosszabb tartama 76—99 nap, és a 3. ábra szerint a jégelfordulás lehetséges

időtartama 109—132 nap, kitűnik, hogy az évnek kerekén egyharmadában bizonytalan a hajózás. Ez alatt az idő alatt nemcsak a forgalmi bevételek maradnak el, hanem kihasználatlanul hevernek a járművek, és ugyanakkor mégis megmaradnak a személyi kiadások. Mindezek miatt *elsőrendű gazdasági érdek a hajózás téli szünetének lehető megrövidítése*, ami

- a) a jégmentes időszak minél teljesebb kihasználásával,
- b) a jeges időszak megrövidítésével, vagy
- c) a hajózásra alkalmas szélességű sáv feltörésével és állandó nyitvatartásával érhető el.

a) *A jégmentes időszakot* akkor tudja jól kihasználni a hajózás, ha a forgalom irányítása a várható jégviszonyok pontos számbavételével történik, és ha azok a hajók, amelyek úton vannak a jégzajlás megindulásakor, biztos telelőbe juthatnak, vagy éppenséggel — mesterséges segítséggel — mégis elérhetik céljukat.

A várható jégviszonyok számbavételét szolgálják már a 3., de különösen a 4. ábra adatai. A belőlük kiolvasható általános statisztikai törvényszerűségnél természetesen még többet ér a *jégmegjelenés* esetenkénti *előrejelzése*. *Swarowsky A.* [7] már 1894-ben bevezette a *fagyási időtartam* és a *fagyási hőfok* fogalmát. Ezek az értékek megmondják, hogy az első negatív középhőmérsékletű naptól számítva hány nap múlva jelenik meg a Dunán a jég, és mekkora az időszak napi középhőmérsékleteinek összege. Nyilvánvaló azonban, hogy az esetenkénti értékek lényegesen függenek attól, hogy milyen a víz hőmérséklete a fagyos időjárás beköszöntekor, tiszta vagy borús, szeles vagy szélesded az idő, stb. A fagyási időtartam, ill. a fagyási hőfok tehát igen tág határok közt ingadozik, az átlagértékek nem megfelelő jellemzők.

A vízhőmérséklet alakulásának folyamatos figyelemmel kísérése ma már lehetővé teszi a jégmegjelenés rövididejű tájékoztató előrejelzését. A pontosabb, és különösen a *többnapos előrejelzés megoldása azonban még hátra van, és a meteorológusok és hidrológusok összefogását teszi szükségessé.*

A jég megjelenéséig terjedő időszak jó kihasználását segíti az is, ha az útban levő hajók szükség esetén rövid idő alatt elhagyhatják a nyílt folyót és *téli menedékhelyre* vagy *kikötőbe* juthatnak. A magyar Dunán számos olyan, a szabályozás során elzárt mellékág van, amely szükség esetén menedékhelyül szolgálhat. De a jól felszerelt, közúti és vasúti csatlakozással ellátott, javítóműhellyel, stb. felszerelt *téli kikötők száma még nem elegendő* ahhoz, hogy az útban levő hajók a Duna bármelyik pontjáról a hajósok által szükségesnek ítélt 24 órán belül elérhessék valamelyiküket.

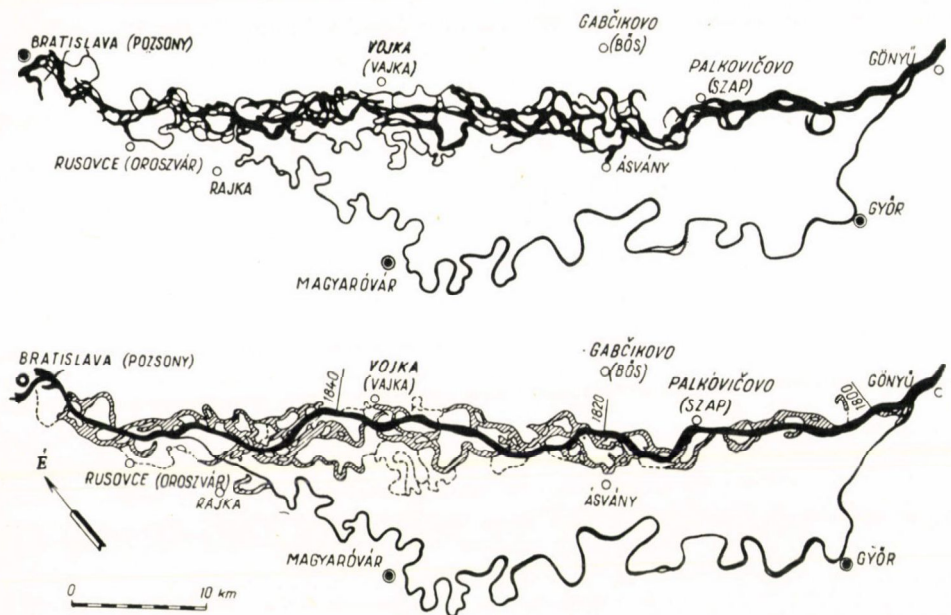
A *kikötőkben* a hajók körüljégelésével védekeznek a jégnyomásból származó károk ellen, és mikor a folyóról eltűnik a jég, a kikötőkben összetörrik a jeget.

A jég közé rekedt hajók céljukhoz való segítésére még nem rendezkedtünk be a Dunán.

b) *A jeges időszak megrövidítése* a jég megjelenésének késleltetésével, vagy eltűnésének siettetésével történhetik. Mivel a jég megjelenése az időjárástól függ, amelyet ma még nem tudunk kellő mértékben befolyásolni, csak a jéglevonulás siettetésére gondolhatunk. Ez egyrészt közvetlenül, a jégtakaró télvégi megbontásával történhetik, másrészt közvetve is, úgy, hogy megnehezítjük a jég megállását és így megerősödését — akár esetenkénti beavatkozással, akár a meder szabályozásával.

A jégtakaró megbontására irányuló közvetlen beavatkozás eszközei a jég robbantása és a jégtörő hajók. A robbantás történhetik magáról a jégről, a partról, ágyútűzzel, vagy repülőgépről.

Magyarországon a jeges árvizek elleni védekezés kapcsán mindhárom módot többször alkalmazták, de egyikük sem váltotta be a hozzájuk fűzött reményeket, inkább morális hatásuk miatt kerül rájuk sor. Akár robbantásra, akár jégtörő hajók bevetésére gondolunk, nagy nehézséget okoz, hogy a be-

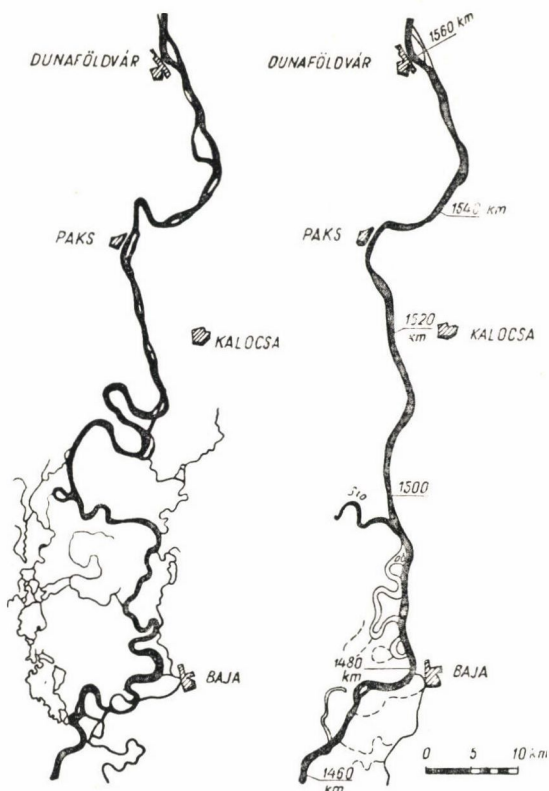


7. ábra. A Felső-Duna Pozsony és Gönyű közötti szakasza a szabályozás előtt (1830 körül) és napjainkban

avatkozás folytán esetleg leváló jégtömegek nem tudnak szabadon leúszni, hanem ismét összeállnak. Az álló jégtakaró alsó vége ugyanis — földrajzi okokból — mindig az ország déli határain alul, idegen területen van, és így nemzetközi összefogásra van szükség ahhoz, hogy alulról felfelé haladva eredményt lehessen elérni.

Ha meggondoljuk, hogy a Duna tavaszi áradása 5–10 nap alatt el-
söpri a 200 km hosszú, leginkább veszélyeztetett délmagyarországi szakasz jégtakaróját, nyilvánvaló, hogy a jég mesterséges megbontásának igen nagy erővel kellene folynia ahhoz, hogy a hajózás javára megrövidíthessük ezt az időt. Ennek megszervezésére a nagy költségek miatt nem kerülhetett sor. Tudomásunk szerint még sehol sem történt ilyen kísérlet a torkolattól ilyen messze, másfélezer kilométerre fekvő folyamszakaszon, de a legutóbbi évek súlyos árvízcsapásainak nyomása alatt mégis ismételen felvetődött a jégtörő hajók beállításának gondolata. Ez azonban — mint fentebb rámutattunk — csak nemzetközi összefogással hozhat kellő eredményt. A jégtörő hajók alkalmasak volnának arra is, hogy a tél első szakaszában a jég megállását késleltessék.

A jeges időszak megrövidítésének legfontosabb eszköze a *folyó szabályozása*, mert minél simább a jég útja, annál nehezebben áll meg, annál kevésbé erősödhetik meg és annál könnyebben vonul le. A folyószabályozás ugyanakkor erélyesen csökkenti a jeges árvizek veszedelmét is. Magyarországon ebben a tekintetben óriási áldozatokat hozott, amikor a XIX. század első negyedében megindult helyi munkálatok után 1886–96 közt elvégezte a Dévény és Dunaradvány (1880–1747 fkm) közötti dunaszakasz középvízi szabályozását (7. ábra), 1871-75, majd 1881–85 közt szabályozta a budapesti



8. ábra. A Duna Dunaföldvár és Baja között a szabályozás előtt (1820 körül) és napjainkban

és Budapest alatti dunaszakaszt, ill. 1895-től 1914-ig folyamatos középvízi szabályozási munkálatokat végzett az akkor fennhatósága alá tartozó, a Morva-toroktól Orsováig terjedő, csaknem 1000 km-es dunaszakaszon (8. ábra) [8]. Ezeknek a munkálatoknak a keretében az első világháború kitöréséig Budapest alatt a Sió-toroknál fekvő Fajszig (1504 fkm) készültek el az összefüggő művek. Hatásukról alább külön lesz szó.

c) *A jeges időszak alatti hajóforgalom állandó fenntartásának* gondolata komolyan még nem merült fel a Duna magyar szakaszán. A jelenlegi áruforgalom semmiképpen sem tenné kifizetődővé.

4. A folyam szabályozással elért eredmények

A mederszabályozás kedvező hatása a jéglevonulásra már a 7. és 8. ábrából is, első pillanatra nyilvánvaló. Az éles kanyarulatok és a szigetek eltüntetése, ill. számuk csökkentése feltétlenül megnehezíti a jég megállását és simábbá teszi a felszakadó jég levonulását.

Ennek jótékony hatása számszerűen is kitűnik a következő adatokból: A budapesti és Budapest alatti dunaszakasz szabályozása, — mint már említettük, — 1871—1885 közt történt. Az 1818-tól 1865-ig terjedő időszokról 31 esztendő budapesti feljegyzései teljeseek. Ezeknek az éveknek az átlagában telente 25,1 napon át állott a Duna jége. Az 1887-től 1956-ig terjedő 70 tél átlaga viszont csak 12,6 nap. (Ezek a számok a 3. ábrával kapcsolatban említett értékektől eltérően az összes évből számított átlagok.)

Avégből, hogy még megbízhatóbb legyen az összehasonlítás, kiválasztottunk a szabályozás előtti és utáni évekből 10—10 olyan telet, amelyeknek egyenként azonos volt a december-februári középhőmérséklete ($-0,22\text{ C}^\circ$). A két sorozat egybevetéséből kiderült, hogy míg a szabályozás előtti 10 év közül 8-ban, összesen 200 napon át állott Budapesten a jég és a maximum 48 nap volt, a szabályozás utáni 10 év közül csak 6-ban fordult ez elő, összesen 82 napon, és maximálisan 23 napon át tartott.

Még meggyőzőbb az összehasonlítás, ha a vízszintek alakulását nézzük. A szabályozás előtti és utáni időkből kiválasztott 35—35 évet vizsgáltuk, amelyekben egyenként azonos volt a tél középhőmérséklete, és megállapítottuk, hogy hogyan oszlott meg az egyes hónapok közt az évi legmagasabb vízállás időpontja. Az eredmény az, hogy amíg a szabályozás előtt február esett az évi maximum az esetek 25,8%-ában és a négy téli hónapra 48,7%-ban, a szabályozás után ezek az arányszámok 8,6, ill. 22,9-re csökkentek és a legtöbb maximum június-júliusra eszűszott át, amikor valóban a legtöbb vizet szállítja a folyam.

Habár a szabályozás óta nem keletkezett veszedelmes jégtorlasz Budapesten, illetve közvetlenül a város határa alatt, a magyarországi dunaszakaszon lejjebb képződött jégtorlaszok miatt 1940 óta többször megismétlődő súlyos árvíz katasztrófák arra figyelmeztetnek, hogy a Közép-Dunának az első világháború alatt az 1500 fkm körül félbenmaradt szabályozását folytatnunk kell és az eddigi középvízi szabályozást az árvízi meder szabályozásának és a kisvízi szabályozásnak kell követnie. A szabályozás csak akkor lehet a jégjárás szempontjából valóban eredményes, ha a folyam egy-egy hosszabb, természeti egységet jelentő szakaszának teljes egészére kiterjed. A Duna esetében ez csak nemzetközi összefogással készített egységes tervek alapján érhető el [9]. Ezt az összefogást a jéges árvizek megelőzésén kívül a hajózás érdekei is sürgetik.

IRODALOM

1. *Arenstein, J.* Eisverhältnisse der Donau, beobachtet in Pesth in den Jahren 1847/48 und 1848/49. — Sitzungsberichte der Kais. Akademie der Wissenschaften, Jhg. 1849, Bd. II. — Idem: 1849/50, Jhg. 1850.
2. *Fritsch, K.* Die Eisverhältnisse der Donau in Österreich ob und unter der Enns und Ungarn in den Jahren 1851/52 bis 1860/61. — Denkschrift der Kais. Akademie der Wissenschaften, Wien. Bd. XVIII.

3. *Lászlóffy, W.* Régime des glaces sur le secteur hongrois du Danube. Az „Etudes sur le régime des glaces du Danube” c. műben, pp. 61—102. Kiadta: Commission Technique Permanente du Régime des Eaux du Danube, Milano, U. Hoepli, 1934.
4. *Lászlóffy, W.* Régime des glaces des rivières. *La Houille Blanche*, No 6, 1948. — Ua. angol fordításban: Behaviour of ice in rivers. Fordította A. Haritos. U. S. Waterways Experiment Station, Translation No 49—6. Vicksburg, 1949.
5. *Lászlóffy, W.* Crests of icy floods. Publication No 42 de l'Ass. Intern. d'Hydrologie. Symposia Darcy, Dijon, 1956.
6. *Commission du Danube* Ouvrage de référence hydrologique du Danube de Devin à Sulina (km 1880 — 0). Edition du Secrétariat de la Commission du Danube, Budapest, 1954.
7. *Swarowsky, A.* Die Eisverhältnisse der Donau in Bayern und Österreich von 1850 bis 1890. Penck's Geographische Abhandlungen, Bd. V. Heft 1. Wien, Hölzl, (1894).
8. *Horváth S.* A dunai hajót és Magyarország. Vízügyi Közlemények 1954/4.
9. *Horváth S.* Gondolatok a Dunaszabályozás általános tervének elkészítéséről. Vízügyi Közlemények 1952/1.
10. *Horváth S.* A folyók jégviszonyainak vizsgálata. Hidrológiai Közöny, 1953/11—12.