

# LÉVAI PROJEKT

## **A KÖRNYEZETI HATÁSTANULMÁNY ÖSSZEÁLLÍTÁSÁT MEGALAPOZÓ SZAKTERÜLETI VIZSGÁLATI ÉS ÉRTÉKELÉSI PROGRAMOK KIDOLGOZÁSA ÉS VÉGREHAJTÁSA**

# **Zárójelentés**

## **A TELEPHELY HIDROLÓGIAI JELLEMZÉSE**

## **A DUNA MEDRÉNEK ÉS PARTFALÁNAK ÁLLAPOTA**

**MVM Zrt szerződés szám: MVM TEVH/11C00039**

**MVM ERBE Zrt szerződés szám: S 11 122 0**

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	1/128

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	2/128

## **„A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozása és végrehajtása”**

**MVM Zrt szerződésszám: MVM TEVH/11C00039**

**MVM ERBE Zrt szerződésszám: S 11 122 0**

A szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozásában közreműködő szervezetek:

	<i>MVM ERBE Zrt.</i> Környezetvédelmi Osztály Építészeti és Tervezési Osztály Akkreditált Méréstechnikai Laboratórium Minőségellenőrzési és Minőségbiztosítási Osztály
	<i>Központi Statisztikai Hivatal Népeségtudományi Kutató Intézet</i>
	<i>Országos Meteorológiai Szolgálat</i> Éghajlati Osztály Megfigyelési Főosztály Földfelszíni Megfigyelések Osztálya Módszerfejlesztési Osztály
	<i>Golder Associates (Magyarország) Zrt.</i>
	<i>VITUKI Környezetvédelmi és Vizgazdálkodási Kutató Intézet Nonprofit Kft.</i>
	<i>VITUKI Hungary Kft.</i>
	<i>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem</i> Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
	<i>Isotoptech Zrt.</i>
	<i>Kék Csermely Kft</i>
	<i>Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet</i> Sugáregészségügyi Főosztály I. Munkahelyi Sugáregészségügyi Osztály Lakossági Környezetegészségügyi Osztály Sejt- és Immun-Sugárbiológiai Osztály
	<i>Országos Környezetegészségügyi Intézet</i> Környezetegészségügyi Főosztály Levegőhigiénés Osztály
	<i>Tölgy Természetvédelmi Egyesület</i>
	<i>Nagy János György</i>

Projektvezető:

**Rudi Zsuzsanna**  
Környezetvédelmi osztályvezető

Jóváhagyó:

**Dohán Farkas**  
Vezérigazgató

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	3/128

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	4/128

## Módosítások

Módosítás jele	Módosított fejezet, oldal	Változtatás jellege	Dátum	Aláírás

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	5/128

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	6/128

## ELŐZMÉNYEK

„A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozása és végrehajtása” tárgyú szerződés keretében vizsgálandó szakterületi programok és alprogramok a következők:

- I. **Telephely jellemzése**
- II. **Időjárási jellemzők**
  - a) Meteorológia
  - b) Mikro- és mezoklíma a telephely környezetében
- III. **Földtani közeg, felszín alatti és felszíni vízi környezet jellemzése**
  - a) Földtani közeg bemutatása és jellemzése
  - b) Felszín alatti vízi környezet bemutatása és jellemzése
  - c) Telephely hidrológiai jellemzése
  - d) Duna és egyéb felszíni vizek állapota
  - e) Duna medrének és partfalának állapota
- IV. **Környezeti radioaktivitás általános jellemzése**
- V. **Zaj- és rezgésterhelés felmérése**
- VI. **Levegőminőség felmérése**
- VII. **Élővilág állapotának jellemzése**
  - a) Élővilág sugárterhelésének jellemzése (kivéve a humán sugárterhelést)
  - b) Minta értékű biomonitoring vizsgálatok végrehajtása
- VIII. **Lakosság állapotának jellemzése**
  - a) Lakosság sugárterhelésének meghatározása
  - b) A telephely környezetében élők egészségügyi állapotának meghatározása

Egyes szakterületi programok, programcsoportok a környezeti hatásvizsgálat mellett a telephely engedélyeztetését is megalapozzák. Ezek az alábbiak:

### Telephely jellemzése

### Időjárási jellemzők

### Földtani közeg, felszín alatti és felszíni vízi környezet jellemzése

### Környezeti radioaktivitás általános jellemzése

E szakterületi programok kidolgozása és végrehajtása során különös tekintettel voltunk arra, hogy a Szerződésben részletesen rögzített műszaki tartalom pontjai a 118/2011. (VII. 11.) Kormányrendelet alapján összeállítandó Telephely engedélyeztetési dokumentáció releváns fejezeteit a szerződésünkben rögzített terjedelemben megalapozzák.

*Mind a Környezeti hatásvizsgálat, mind a Telephely engedélyeztetési dokumentáció – az ezen szerződés keretében kidolgozott szakterületi programokat is alapul véve - később készül el.*

Két szakterületi programcsoport, az **Időjárási jellemzők** és a **Földtani közeg, felszín alatti és felszíni vízi környezet jellemzése** programcsoportok esetén a Szerződés célként jelölte meg a tervezési alaphoz történő felhasználást is.

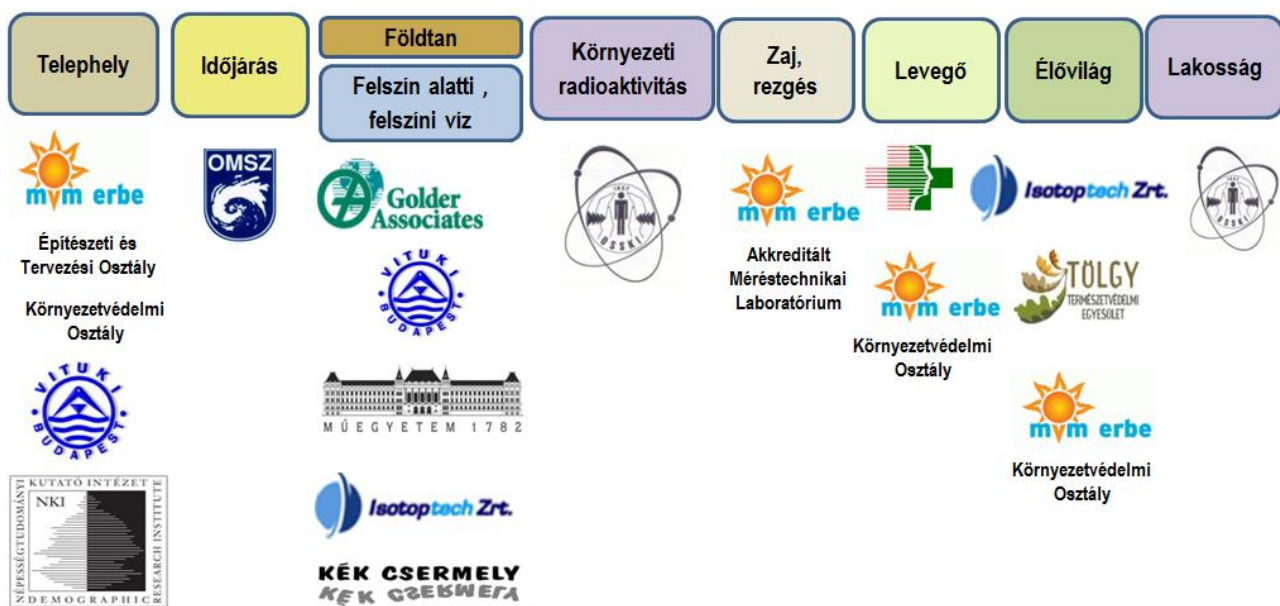
MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	7/128

## SZAKTERÜLETI VIZSGÁLATI ÉS ÉRTÉKELÉSI PROGRAMOK

A szerződés keretében vizsgálandó fenti feladatsor igen sok szakterületet felölelő program, melynek végrehajtásához széles szakmai együttműködés szükséges. Ennek érdekében az MVM ERBE Zrt. (ERBE) szakmailag elismert, megfelelő referenciával rendelkező, minősített szakmai alvállalkozókat bevonva dolgozta ki a feladatait. A szakterületenként együttműködő szakmai szervezetek rendszere az alábbiak szerint alakult.



### Projektvezetés



## ALAPADATOK

A munkák megkezdéséhez a Lévai Projekt adatszolgáltatásként rendelkezésre bocsátotta az alábbi dokumentációkat:

- ❖ a telephely és környezete alapállapotának korábbi vizsgálati és értékelési eredményeit,
- ❖ az atomerőmű üzemidő hosszabbításának környezetvédelmi engedélyezéséhez végzett vizsgálatokat,
- ❖ a vizsgálatokról készült zárójelentéseket,
- ❖ az üzemidő hosszabbítás Környezeti hatástanulmányát,
- ❖ az új blokkra vonatkozó Előzetes konzultációs dokumentációt.

A telephely alapállapotának új vizsgálatokkal történő felmérése és jellemzése a korábbi vizsgálatok kiegészítése, folytatása mindazon esetekben, ahol ezt szakmai vagy jogszabályváltozásból adódó indokok nem zárják ki és a korábbi adatok hozzáférhetőek.

Az alapadatokat áttekintve számos szakterület esetében további adatszolgáltatási igény merült fel, az adatszolgáltatás folyamatosan bővült.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	8/128



## EGYSÉGES KERETPROGRAM – MINŐSÉGTERV

Az ERBE összeállította az érintett szakterületek és programok tartalmát tekintve szerteágazó szakterületi vizsgálati és értékelési programok Egységes Keretprogramját, valamint Minőségtervét.

Az MVM Lévai Projekt részére átadott dokumentációkat az MVM Lévai Projekt, az MVM Zrt Környezetvédelmi Osztálya, az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (PA) Környezetvédelmi Osztálya és Vegyészeti Főosztálya részvételével lefolytatott zsűri elfogadta.

### Hatósági egyeztetés

Az Egységes Keretprogram szakmai tartalmát a Dél-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (DdKTVF) véleményezte és a szakmai programot megfelelőnek találta.

## MÓDSZERTANI ÉS KRITÉRIUM DOKUMENTUMOK (MKD – TMKD)

Az Egységes Keretprogramból, a Minőségtervből valamint az egyes szakterületekre meghatározott vizsgálati és értékelési terjedelemből kiindulva, az egyes programok kapcsolatát is figyelembe véve az ERBE szakmai alvállalkozóival együttműködve összeállította az egyes szakterületi vizsgálati és értékelési programok módszertani és kritérium dokumentumait, a környezeti hatásvizsgálatot megalapozó MKD-t, valamint a telephely engedélyeztetést megalapozó TMKD-t.

Az MVM Lévai Projekt részére átadott dokumentációkat az MVM Lévai Projekt, az MVM Zrt Környezetvédelmi Osztálya, a PA Zrt. Környezetvédelmi Osztálya valamint Vegyészeti Főosztálya részvételével megtartott zsűri elfogadták.

## ZÁRÓJELENTÉS

*Az új atomerőművi blokkok környezeti hatásvizsgálatát megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok végrehajtásának alapja a jóváhagyott Egységes Keretprogram, az MKD, valamint a TMKD.*

A korábbi vizsgálatok és az egyes feladatok specialitásainak figyelembe vétele okán adódott a program alábbi 16 alprogramra osztása.

1. A telephely jellemzése
2. Az időjárás jellemzése
3. A földtani közeg bemutatása és jellemzése
4. A felszín alatti vízi környezet bemutatása és jellemzése
5. A telephely hidrológiai jellemzése
6. A telephely hidrológiai modellezése
7. Duna és egyéb felszíni vizek állapota
8. Duna medrének és partfalának állapota
9. A környezeti radioaktivitás általános jellemzése
10. A zaj- és rezgésterhelés felmérése
11. A levegőminőség felmérése
12. Az élővilág sugárterhelésének jellemzése (kivéve a humán sugárterhelést)
13. Minta értékű biomonitring vizsgálatok - Zoológia
14. Minta értékű biomonitring vizsgálatok - Botanika
15. A lakosság sugárterhelésének meghatározása
16. A telephely környezetében élők egészségügyi állapotának meghatározása

A jelen Zárójelentés is e 16 szakterületi alprogram szerint foglalja össze a vizsgálatokat, elemzéseket és azok eredményeit.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	9/128



MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	10/128



# ***A TELEPHELY HIDROLÓGIAI JELLEMZÉSE***

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	11/128



MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	12/128

## Aláírólap

A Telephely hidrológiai jellemzése című szakterületi programot a VITUKI Nonprofit Kft. Hidrológiai Intézet és Hidraulikai Intézet projektben résztvevő szervezetei, majd a VITUKI Hungary Kft. valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszéke dolgozta ki.

Közreműködő szakértők:

Szervezeti egység	Név	Beosztás	Aláírás
<b>VITUKI Nonprofit Kft.</b>			
<i>Hidraulikai Intézet</i>	Szél Sándor	<i>intézetvezető, tudományos főmunkatárs</i>	
	Pfenninberger Ákos	<i>tudományos főmunkatárs</i>	
	Sass Jenő	<i>tudományos főmunkatárs</i>	
	Szalavári Károly	<i>tudományos munkatárs</i>	
	Kalina György	<i>tudományos munkatárs</i>	
	Kráncz Gábor	<i>tudományos segédmunkatárs</i>	
<i>Hidrológiai Intézet</i>	<i>Dr. Bakonyi Péter</i>	<i>intézetvezető, tudományos főmunkatárs</i>	
<b>VITUKI Hungary Kft.</b>			
	Szél Sándor	<i>ügyvezető, tudományos főmunkatárs</i>	
	Gresz István	<i>műszaki igazgató, tudományos főmunkatárs</i>	
	Dr. Zsuffa István	<i>tudományos tanácsadó (PHD)</i>	
	Szalavári Károly	<i>tudományos munkatárs</i>	
	Kalina György	<i>tudományos munkatárs</i>	
	Kráncz Gábor	<i>tudományos segédmunkatárs</i>	
<b>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem</b>			
<i>Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék</i>	Dr. Somlyódy László	<i>egyetemi tanár, az MTA rendes tagja</i>	
	Dr. Koncsos László	<i>egyetemi tanár, tanszékvezető</i>	
	Karches Tamás	<i>doktorjelölt, tudományos segédmunkatárs</i>	
	Kardos Máté	<i>doktorandusz</i>	



MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	14/128

## Tartalomjegyzék

<b>5</b>	<b>A TELEPHELY HIDROLÓGIAI JELLEMZÉSE .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>A vizsgálat céljának és terjedelmének megalapozása.....</b>	<b>23</b>
5.1.1	<i>A telephely hidrológiai jellemzésének célja .....</i>	23
5.1.2	<i>A telephely hidrológiai jellemzésének terjedelme .....</i>	23
<b>5.2</b>	<b>A vizsgálati területek lehatárolása .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3</b>	<b>A környezeti jellemzők bemutatása.....</b>	<b>25</b>
<b>5.4</b>	<b>Jogszályi háttér.....</b>	<b>26</b>
<b>5.5</b>	<b>Alapadat források, előírások, szabályozások.....</b>	<b>26</b>
5.5.1	<i>Alapadatok.....</i>	27
5.5.2	<i>Szakirodalom.....</i>	28
5.5.3	<i>Hivatalos statisztikák, adattárak .....</i>	29
5.5.4	<i>Térképek.....</i>	29
5.5.5	<i>Szoftverek.....</i>	29
<b>5.6</b>	<b>A rendelkezésre álló adatok, információk kritikai feldolgozása, értékelése.....</b>	<b>29</b>
5.6.1	<i>Az alapadatok forrása.....</i>	29
5.6.2	<i>A felhasznált alapadatok áttekintése .....</i>	31
<b>5.7</b>	<b>A Duna vízjárására vonatkozó hidrológiai történeti adatok összegyűjtése, adatbázisba rendezése és értékelése. Az adatok statisztikai feldolgozása, a hosszú távú tendenciák jellemzése és okainak feltárása.....</b>	<b>37</b>
5.7.1	<i>A nagyvízi és kisvízi meghaladási valószínűségi szintek célértékei – mértékadó árvízszintek és kisvízszintek... 38</i>	
5.7.2	<i>Kis-, közép és nagyvízszintek hidrológiai statisztikai vizsgálata .....</i>	43
5.7.3	<i>A különböző árhullámok gyakorisága és tartóssága .....</i>	50
<b>5.8</b>	<b>Várható kis-, közép- és nagyvízszintek előrejelzése a tervezett bővítés időtartamára.....</b>	<b>60</b>
5.8.1	<i>Kisvízszintek előrejelzése 2120. évig .....</i>	61
5.8.2	<i>Középvízszintek előrejelzése 2120. évig .....</i>	62
5.8.3	<i>Nagyvízszintek előrejelzése 2120. évig.....</i>	64
<b>5.9</b>	<b>Árvízi medergeometria fejlesztése a Budapest- déli országhatár Duna szakaszra .....</b>	<b>67</b>
5.9.1	<i>Az alkalmazott módszertan bemutatása.....</i>	67
5.9.2	<i>A Duna középvízi és nagyvízi medermodelljének fejlesztése .....</i>	67
<b>5.10</b>	<b>1D numerikus hidrodinamikai modellszámítás a Budapest – déli országhatár Duna szakaszra... 72</b>	
5.10.1	<i>A hidrodinamikai modellszámítások tematikája .....</i>	72
5.10.2	<i>Bearányosításhoz és igazoló futtatáshoz szükséges kezdeti-, felső- és alsó határfeltételek .....</i>	73
5.10.3	<i>Bearányosítás és igazoló szimulációk elvégzése .....</i>	73
5.10.4	<i>Jelenlegi és hosszú távú, Különböző térfogatú/tömegű árhullámok futtatása .....</i>	74
5.10.5	<i>Hosszú távú mértékadó árvízszintek modellezése hullámtéri vegetáció hatásának figyelembe vételével.....</i>	77
5.10.6	<i>Hosszú távú, különböző áradási- és apadási intenzitású árhullámok érzékenységvizsgálata, hidrodinamikai modellel 78</i>	
<b>5.11</b>	<b>A felvoldali vízszabályozó szerkezetek meghibásodásának hatása .....</b>	<b>82</b>
<b>5.12</b>	<b>Alvoldali földcsuszamlás, jégdugó kialakulásának prognosztizálása, hatásának vizsgálata áramlási modell alkalmazásával.....</b>	<b>88</b>
5.12.1	<i>A Duna meder változását előidéző magaspárt csuszamlások hatásainak vizsgálata .....</i>	88
5.12.2	<i>Jégdugó kialakulásának prognosztizálása, nagyvízi hatásának vizsgálata áramlási modell alkalmazásával..</i>	90
<b>5.13</b>	<b>Üzemzavari és baleseti kibocsátásokból származó nem radioaktív szennyezőanyagok terjedésének meghatározása a Dunában .....</b>	<b>94</b>

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	15/128



5.13.1	A 3D modellezés kiindulási alapja, az impulzushatás figyelembe vételének fontossága .....	94
5.13.2	Az impulzushatást leíró modell integrálása a 3D hidrodinamikai és transzport modellbe .....	94
5.13.3	Üzemzavari és balesetből származó szennyezők terjedése a Dunában.....	95
<b>5.14</b>	<b>Duna atomerőműi hűtővíz kibocsátásból származó hőterhelésének modellezése .....</b>	<b>111</b>
5.14.1	A 3D hidrodinamikai és hőtranszport modell: a hőcsóva meghatározása és a háttérhőmérséklet alakulása	111
5.14.2	Az elkeveredés hatása a határérték-szelvény maximális hőmérsékletére különböző kiépítettségek mellett .	115
5.14.3	A bevezetési lehetőségek értékelése .....	128

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	16/128



## Ábrajegyzék

5.6-1. ábra Dunai vízállás- vízhozam kapcsolata Paksnál .....	34
5.6-2. ábra A hőtranszportot leíró BME VKKT REWARD modell-rendszer felépítése .....	35
5.7-1. ábra Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek (JNV) eloszlásfüggvénye (1968-2011) – Duna 1531,3 fkm.....	44
5.7-2. ábra Jégmentes nagyvízszintek (NV) eloszlásfüggvénye (1965-2011) – Duna 1531,3 fkm .....	46
5.7-3. ábra Kisvízszintek (KV) eloszlásfüggvénye (1965-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) .....	47
5.7-4. ábra Középvízszintek (KÖV) eloszlásfüggvénye (1965-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) .....	48
5.7-5. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégjelenségekkel befolyásolt árhullámok maximális túllépéseinek eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) .....	52
5.7-6. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamainak eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce).....	55
5.7-7. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégmentes árhullámok maximális túllépéseinek eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) .....	57
5.7-8. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégmentes árhullámok túllépési időtartamainak eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm .....	58
5.7-9. ábra Dunai árhullámok túllépési időtartamának és a túllépések számának vizsgálata – a Duna 1531,3 fkm szelvényében .....	60
5.8-1. ábra Kis-, közép- és nagyvízállások logaritikus kiegyenlítése – a Duna 1531,3 fkm szelvényében .....	61
5.8-2. ábra Kisvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében .....	62
5.8-3. ábra Középvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében .....	63
5.8-4. ábra Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében .....	65
5.8-5. ábra Jégjelenséggel nem befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében .....	66
5.9-1. ábra A hidrodinamikai modell mederszakasza - Duna 1805,6 fkm (Vámosszabadi) – 1446,9 fkm (Mohács).....	68
5.9-2. ábra Besűritett keresztaszelvények a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna 1519,0 – 1528,0 fkm között) .....	69
5.9-3. ábra Mederszelvény a Duna 1529,0 fkm szelvényben.....	69
5.9-4. ábra Mintaszelvény a középvízi meder adatok, nagyvízi kiegészítésére .....	70
5.9-5. ábra Megyeri híd szelvénye .....	70
5.9-6. ábra Sarkantyú Paks környezetében.....	71
5.10-1. ábra Budapesti mértékadó (1926., 1965., 1991. és 2006. években levonult) árhullámok, árhullám csúcsainak összevethetősége érdekében, azonos időpontra összecsisztatott képei .....	74
5.10-2. ábra Transzformált budapesti árhullámok (az árhullám csúcsainak összevethetősége érdekében, azonos időpontra összecsisztatott) képei .....	75
5.10-3. ábra Budapesti mértékadó (1926., 1965., 1991. és 2006. években levonult) árhullámok hatására kialakuló vízszint idősorok, a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna 1526,5 fkm) .....	76
5.10-4. ábra A 20 000 évente visszatérő árhullám csúccsal (12 200 m <sup>3</sup> /s) tetőző, múltbéli mértékadó árhullámok levonulásakor kialakuló vízszint idősorok a Paksi Atomerőmű Duna szelvényében (Duna 1526,5 fkm) .....	77
5.10-5. ábra A 20 000 évente visszatérő árhullám-csúccsal (12 200 m <sup>3</sup> /s) tetőző, múltbéli mértékadó árhullámok levonulásakor kialakuló vízszint idősorok a Paksi Atomerőmű Duna szelvényében (Duna 1526,5 fkm) – a hullámtéri vegetáció medererdesség növelő hatásának figyelembe vételével .....	78
5.10-6. ábra A 2006. évi, 12 200 m <sup>3</sup> /s-ra transzformált árhullám különböző áradási intenzitás feltételezésével .....	79
5.10-7. ábra A 2010-es, 12 200 m <sup>3</sup> /s-ra transzformált árhullám különböző áradási intenzitás feltételezésével .....	79
5.10-8. ábra A 2006-os, 12 200 m <sup>3</sup> /s-ra transzformált árhullám paksi vízszintjei különböző intenzitású áradás esetén .....	80
5.10-9. ábra A 2010. évi, 12 200 m <sup>3</sup> /s-ra transzformált árhullám paksi vízszintjei különböző intenzitású áradás esetén .....	80
5.10-10. ábra A 2006. évi, 12 200 m <sup>3</sup> /s-ra transzformált árhullám különböző apadási intenzitás feltételezésével .....	81
5.10-11. ábra A 2006. évi, 12 200 m <sup>3</sup> /s-ra transzformált árhullám paksi vízszintjei különböző intenzitású apadás esetén .....	82
5.11-1. ábra Az 1954-ös árvíz alapján generált 0,1% valószínűségű árhullám képe .....	84
5.11-2. ábra Az 1965-ös árvíz alapján generált 0,1% valószínűségű árhullám képe .....	84

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	17/128

5.11-3. ábra Az 1954-es árhullám levonulásának hatására a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna, 1526,5 fkm) kialakuló vízszintek időbeli alakulása .....	86
5.11-4. ábra Az 1965-ös árhullám levonulásának hatására a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna, 1526,5 fkm) kialakuló vízszintek időbeli alakulása .....	86
5.12-1. ábra Az elmúlt évtizedek partfal mentén dokumentált csuszamlásos esetei.....	89
5.12-2. ábra A felszorzott budapesti 1926-os árhullám paksi levonulási vízszintjei földcsuszamlások esetén .....	90
5.12-3. ábra A legkedvezőtlenebb jeges nagyvízszintek alakulása a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna, 1526,5 fkm), az 1956-os mértékadó helyzethez képesti extra jégdugóval a melegvízcsatorna alatti Duna szakaszon .....	93
5.13-1. ábra A szennyezőanyag felhő terjedése az idő függvényében. A szennyező csóva/Duna víz térfogataránya .....	97
5.13-2. ábra A szennyező hullám levonulása az 1525+200 fkm keresztiszelvényben-koncentráció .....	98
5.13-3. ábra Turbulens diffúzió tényezője a felszínen az atomerőmű közelében .....	100
5.13-4. ábra Lökésszerű terhelés szennyező felhőjének levonulása –vázlatos ábra .....	102
5.13-5. ábra A szennyező felhő maximális koncentrációja a beömléstől mérve .....	103
5.13-6. ábra A szennyező felhő kiterjedése folyásirányban, L=felhőhossz [m], B=felhőszélesség [m].....	103
5.13-7. ábra A szennyező felhő keresztirányú koncentráció eloszlása Baja térségénél, B: felhő szélessége .....	104
5.13-8. ábra A szennyező felhő keresztirányú koncentráció eloszlása Mohács térségénél, B: felhő szélessége .....	104
5.13-9. ábra A szennyező felhő keresztirányú koncentráció eloszlása a határnál, B: felhő szélessége .....	105
5.13-10. ábra A szennyező felhő hosszirányú koncentráció eloszlása Baja térségénél, L: felhő hossza .....	105
5.13-11. ábra A szennyező felhő hosszirányú koncentráció eloszlása Mohács térségénél, L: felhő hossza .....	106
5.13-12. ábra A szennyező felhőhosszirányú koncentráció eloszlása a határnál, L: felhő hossza .....	106
5.13-13. ábra Paks alatti jelenleg használt és jövőben potenciális használandó vízbázisok .....	108
5.13-14. ábra Az analitikus modell bementi értékének változtatása, nyújtott profil alkalmazása .....	110
5.13-15. ábra A szennyező felhő hosszirányú koncentráció eloszlása a határnál kétfajta havária (lökésszerű és elnyújtott) esetében .....	110
5.14-1. ábra A vízhőmérsékleti tartóssági görbék változása a nyári középhőmérséklet különböző mértékű növekedését feltételezve .....	112
5.14-2. ábra Adott Duna hőmérsékletre tartozó vízhozam gyakoriságok .....	114
5.14-3. ábra Az 1527+000 fkm szelvényben mérhető relatív sebességek .....	115
5.14-4. ábra A +500 m-es (határérték)szelvényben mérhető relatív sebességek .....	115
5.14-5. ábra Hőcsóva Paks térségében egy számítási esetben kontúrvonalakkal a többelhőmérséklet a dunai háttérhőmérsékletre viszonyítva és a határérték szelvény hőmérséklet eloszlása $Q_{Duna} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ , $q_{hűtővíz} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , hőlépcső = $8^\circ\text{C}$ .....	116
5.14-6. ábra Vízhozam megosztás hatása a + 500m-es szelvény hőmérséklet eloszlására .....	120
5.14-7. ábra Melegvíz visszavezetés két parti bevezetéssel, hőmérséklettöbblet .....	122
5.14-8. ábra Részecskepályák a két bevezetési pontból.....	123
5.14-9. ábra A hőmérséklettöbblet hosszirányú változása – kétpontos parti bevezetés .....	123
5.14-10. ábra A +500 m-es és +1500 m-es szelvény többelhőmérséklet eloszlása $Q=800$ és $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ -os Duna vízhozamnál .....	124
5.14-11. ábra A +500 m-es és +1500 m-es szelvény sebességeloszlása $Q=800$ és $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ -os Duna vízhozamnál .....	125
5.14-12. ábra Hőmérsékleteloszlás különböző függvényekben .....	126
5.14-13. ábra Hőmérsékleteloszlás a bevezetéstől számított 500, illetve 1500 méterre.....	126
5.14-14. ábra Sebességeloszlás a jelenlegi hűtővíz bevezetéstől számítva 500 és 1500 m-re.....	127

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	18/128

## Táblázatjegyzék

5.6-1. táblázat Vízmérce szelvények a Duna 1810 fkm – Déli országhatár (Duna 1433,2 fkm) szakaszán.....	31
5.6-2. táblázat Védendő vízbázisok.....	33
5.6-3 táblázat Üzemelő (Ü) vagy távlati (T) vízbázisok készletei és a védőterületek határa.....	34
5.6-4. táblázat Hűtési vízigények frissvízhűtés esetén a blokkteljesítmények függvényében.....	35
5.6-5 táblázat A vizsgált vízmércék a Duna Budapest – D-i országhatár szakaszán.....	36
5.6-6. táblázat Vízmérce szelvények a Duna 1810 fkm – Déli országhatár (Duna 1433,2 fkm) szakaszán.....	37
5.7-1. táblázat A vizsgált vízmércék a Duna Budapest, D-i országhatár szakaszon.....	40
5.7-2. táblázat A T=20 000 évente visszatérő nagyvízszintek előfordulási valószínűségei, a bővítés üzemidejének végéig.....	42
5.7-3. táblázat A T=10 000 évente visszatérő nagyvízszintek előfordulási valószínűségei, a bővítés üzemidejének végéig.....	42
5.7-4. táblázat Duna vízmércék éves jellemző vízállásadatainak homogenitásvizsgálata – a homogenitás kezdőéveinek összegzése.....	42
5.7-5. táblázat Mértékadó jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek számítása, folytonos eloszlásfüggvények illesztésével.....	43
5.7-6. táblázat Mértékadó jégmentes nagyvízszintek számítása, folytonos eloszlásfüggvények illesztésével.....	45
5.7-7. táblázat Mértékadó kisvízszintek számítása, folytonos eloszlásfüggvények illesztésével.....	47
5.7-8. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (Paksi vízmérce).....	48
5.7-9. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (D.-újvárosi vízmérce).....	49
5.7-10. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (Dunaföldvári vízmérce).....	49
5.7-11. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (Dombori vízmérce).....	49
5.7-12. táblázat Árvízvédelmi fokozatok jellemző vízszintjei a Paksi- és Erőművi vízmércén.....	50
5.7-13. táblázat Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési mértékének vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	51
5.7-14. táblázat A 10 legnagyobb tetőzési szintű, jégjelenséggel befolyásolt árhullám, tetőzési szintje és időpontja (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	53
5.7-15. táblázat Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	54
5.7-16. táblázat Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce, eloszlásfüggvények illesztésével.....	54
5.7-17. táblázat Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce Küszöbszint az II. árvízvédelmi fokozat.....	55
5.7-18. táblázat A II. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce. n: a vizsgált évek száma, N: a küszöbszintet túllépő árhullámok száma.....	56
5.7-19. táblázat A III. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce. n: a vizsgált évek száma, N: a küszöbszintet túllépő árhullámok száma.....	56
5.7-20. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépési mértékének vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	56
5.7-21. táblázat A 10 legnagyobb tetőzési szintű, jégjelenséggel nem befolyásolt árhullám, tetőzési szintje és időpontja (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	57
5.7-22. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	58
5.7-23. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) eloszlásfüggvények illesztésével (Paksi vízmérce).....	58
5.7-24. táblázat Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	59
5.7-25. táblázat A II. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.....	59
5.8-1. táblázat Kisvízszintek előrejelzése, a bővítés tervezett üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm).....	62
5.8-2. táblázat Középvízszintek előrejelzése, a bővítés tervezett üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm).....	63

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	19/128

5.8-3. táblázat Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése, a bővítés üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm).....	64
5.8-4. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése, a bővítés üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm).....	65
5.8-5. táblázat A vizsgált vízmércék a Duna Budapest, D-i országhatár szakaszon.....	66
5.9-1. táblázat Vízmérce szelvények a Duna 1810 fkm – Déli országhatár (Duna 1433,2 fkm) szakaszán.....	71
5.10-1. táblázat Mért és a bearányosítás során számított vízszintek.....	74
5.10-2. táblázat Különböző intenzitású árhullámok hatására kialakuló telephelyi (1526,5 fkm) vízszintek.....	76
5.10-3. táblázat Különböző intenzitású árhullámok hatására kialakuló telephelyi (1526,5 fkm) vízszintek.....	81
5.11-1. táblázat A Paksi Atomerőmű környezetének legkedvezőtlenebb szintű (96,30 mBf) árvízi elöntése esetén meghatározott, néhány fontosabb védelmi szint túllépésének várható időtartama.....	87
5.12-1. táblázat Vízmérce-szelvények a Duna 1581 – 1446 fkm közötti szakaszán.....	91
5.12-2. táblázat Mért és a bearányosítás során számított vízszintek.....	92
5.12-3. táblázat Manning féle simasági együttható.....	92
5.13-1. táblázat A felhő levonulási ideje és a kialakuló koncentrációk.....	96
5.13-2. táblázat A hosszirányú és keresztirányú diszperzió meghatározása a 3D modell segítségével.....	100
5.13-3. táblázat A szennyező felhőnek a vízbázisokig számított eljutási ideje.....	109
5.14-1. táblázat Éves maximális vízhőmérsékletek valószínűségei.....	112
5.14-2. táblázat Kis vízhozamok előfordulása a Dunán (1973-2011).....	113
5.14-3. táblázat Adott hőmérsékletet meghaladó Duna víz-hőmérsékletek és vízhozamok gyakorisága.....	113
5.14-4. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hűlése a határértékszelvényig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2*1200 MW-s blokkteljesítménynél.....	117
5.14-5. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hűlése a határértékszelvényig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2*1600 MW-s blokkteljesítménynél.....	117
5.14-6. táblázat Különböző hűtővízmennyiségek és megosztások hatása a határérték-szelvénybeli maximális hőmérsékletekre.....	119
5.14-7. táblázat Maximális többlethőmérséklet ( $\Delta t$ ) a határérték-szelvényben [ $^{\circ}\text{C}$ ] a beömlési helyek számának függvényében.....	120
5.14-8. táblázat Maximális többlethőmérséklet ( $\Delta t$ ) a határérték-szelvényben [ $^{\circ}\text{C}$ ] a távolság függvényében.....	121
5.14-9. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hűlése a határértékszelvényig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2*1200 MW-s blokkteljesítménynél két bevezetéssel.....	127
5.14-10. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hűlése a határértékszelvényig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2*1600 MW-s blokkteljesítménynél két bevezetéssel.....	128

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	20/128



## Rövidítésjegyzék

MVM	Magyar Villamos Művek Zrt.
ERBE	MVM ERBE Zrt.
PA	MVM Paksi Atomerőmű Zrt.
VITUKI	VITUKI Hungary Kft. (2012. szeptember 12. előtt VITUKI Nonprofit Kft.)
BME	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
HÉSZ	Helyi Építési Szabályzat
MTA	Magyar Tudományos Akadémia
EOV	Egységes Országos Vetület
EU	Európai Unió
VO	Nyilvántartási szelvény

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	21/128



MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	22/128

## 5 A TELEPHELY HIDROLÓGIAI JELLEMZÉSE

### 5.1 A VIZSGÁLAT CÉLJÁNAK ÉS TERJEDELMÉNEK MEGALAPOZÁSA

A telephely hidrológiai jellemzése szakterületi alprogram az alábbi négy alprogrammal áll szorosabb kapcsolatban:

- ✓ a földtani közeg bemutatása és jellemzése
- ✓ felszín alatti vízi környezet bemutatása és jellemzése
- ✓ Duna és egyéb felszíni vizek állapotának jellemzése
- ✓ Duna medrének és partfalának állapota

#### 5.1.1 A TELEPHELY HIDROLÓGIAI JELLEMZÉSÉNEK CÉLJA

A Telephely hidrológiai jellemzése jellemzésének célja a telephely és környezetének környezeti állapotát, illetve a későbbi hatásfolyamatokat befolyásoló jellemzőinek meghatározása:

- a tervezési alaphoz
- a fennálló állapot értékeléséhez
- a létesítmény környezeti hatásai értékelésének megalapozásához.

Cél, hogy a program végrehajtása után megfelelő információ álljon rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy a nukleáris erőmű környezetében milyen hidrológiai folyamatok alakulhatnak ki és ez alapján értékelni lehessen a kialakuló környezeti terhelést hidrológiai szempontból.

#### 5.1.2 A TELEPHELY HIDROLÓGIAI JELLEMZÉSÉNEK TERJEDELME

- ❖ A Duna vízjárására vonatkozó hidrológiai történeti adatok összegyűjtése, adatbázisba rendezése és értékelése. Az adatok statisztikai feldolgozása, a hosszú távú tendenciák jellemzése és okainak feltárása. A mértékadó kisvízszintek statisztikai jellemzése, a különböző árvízszintek teljes üzemidőre vonatkozó meghaladási valószínűsége, különböző árhullámok gyakorisága és tartóssága. A mértékadó kis- és nagyvízszinteket, a 20 000 évenként visszatérő, azaz  $5 \times 10^{-5}$ /év valószínűségi szintű vagy gyakoriságú eseményként, a mért adatokra illesztendő, legjobban illeszkedő valószínűségeloszlás számításán keresztül határozzuk meg.
- ❖ Várható kis-, közép- és nagyvízszintek előrejelzése a tervezett bővítés időtartamára.
- ❖ Árvízi medergeometria, továbbá az árvíz levonulását befolyásoló akadályok (pl. hidak) geometriai és ellenállási adatainak meghatározása a Budapest- déli országhatár Duna szakaszra.
- ❖ 1D numerikus hidrodinamikai modellszámítás a Budapest-déli országhatár Duna szakaszra.
  - Bearányosításhoz és igazolófuttatáshoz szükséges kezdeti- felső és alsó határfeltételek előállítás.
  - Bearányosítás és igazoló szimulációk elvégzése.
  - Jelenlegi mértékadó árvízszintekre való futtatás, ahol a változatoknak fel kell ölelni a vízvezetőképesség változást, hullámtéri vegetáció hatásának kimutatását is (vegetációs és vegetáció nélküli állapotokat). Felső határfeltételekre hidrológiai statisztikai módszerekkel meghatározott vízszintekhez árhullámok generálása és változatok futtatása. (*maximum 4 változat*). Különböző áradás és apadás intenzitású árhullámok futtatása (*maximum 4 változat*). Különböző térfogatú/tömegű árhullámok futtatása (*maximum 3 változat*).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	23/128



- Hosszú távú tendenciák figyelembevételével meghatározott, különböző áradás- és apadás intenzitású árhullámok futtatása (*maximum 4 változat*) különböző térfogatú/tömegű árhullámok futtatása, egy kedvezőbb és egy kedvezőtlenebb scenárió esetében (*2 változat*).
- ❖ A felvízoldali vízszabályozó szerkezetek meghibásodásának hatása (2 változat, a Bósi vízlépcső nagyvízi, árvízlevonulás ideje alatti additív hatásának vizsgálatával). Alvízoldali földcsuszamlás, jégdugó kialakulásának prognosztizálása, hatásának vizsgálata áramlási modell alkalmazásával (földcsuszamlás által kiváltott mederszűküllet okozta vízszintemelkedés nagyvízi, árvízi hatásai, a jégjelenségekkel befolyásolt nagyvizek elemzése)
- ❖ Az atomerőmű melletti és alatti Duna-szakaszra (1527+000 fkm - országhatár) kiterjedő lokális hidrológiai modell fejlesztése, 3D és 2D elkeveredési (áramlási és transzport) modell fejlesztése.
- ❖ Nem radioaktív szennyezőkre vonatkozó havária jellegű kibocsátásokból származó szennyezőanyagok terjedésének meghatározása a Dunában. Ivóvízbázisokra gyakorolt hatások vizsgálata.
  - Szennyezőanyag terhelési adatok feldolgozása, mely a 3D hidrodinamikai modell peremfeltételét jelenti. Impulzushatás figyelembe vétele a „near-field” (közeltér) leírására (jet modell)
  - Az impulzushatást leíró modell integrálása a 3D hidrodinamikai és transzport modellbe
  - A 3D modell ellenőrző számításai
  - A 3D által számított szennyezőanyag koncentrációk által a 2D modell peremfeltételeinek meghatározása
  - Mérések a kalibrálás érdekében (az 1527+000 fkm és az 1525+000 fkm közötti szakaszon ADCP-s sebességmérés 8 szelvényben, két alkalommal)
  - Lagrange-i részecske kísérlet a szennyezőanyag követhetősége érdekében
  - A kisvízi terepmodell kiterjesztése (1527+000 fkm – országhatár)
  - A modell alkalmazása baleseti jellegű kibocsátásokból származó szennyezések terjedésére. Tetszőleges ponton hűtővíz bevezetés kijelölése és sorsának követése az idő függvényében a 3D és 2D kapcsolt modell segítségével
  - Ivóvízbázisokra gyakorolt hatások értékelése: átvonulási idők és koncentrációk
- ❖ **OPCIÓ** - A Duna atomerőműi hűtővíz kibocsátásból származó hőterhelésének modellezésére (hőcsóva elkeveredése, levonulása és a hőterhelési korlát betarthatósága) kifejlesztett modell területi kiterjesztése (ha a melegvíz kibocsátási útvonal a jelenlegivel azonos marad), vagy a jelenlegi modell alapján modell fejlesztése (ha új melegvíz kibocsátási útvonal kerül kialakításra) az új létesítményre. A modell alapján értékelendő a Duna új létesítmény hatására kialakuló hőterhelése, a hőcsóva elkeveredése, a kialakuló Duna-víz hőmérsékletek, figyelembe véve a jelenleg működő atomerőmű hatásait is, melynek részfeladatai a következők:
  - A létrehozott 3D hidrodinamikai és hőtranszport modell segítségével a hőtranszport számítása
  - Frissvíz hűtés csökkenésének hatása a határérték-szelvénybeli hőmérséklet eloszlásra (9 változat; 3 melegvíz terhelés 3 vízhozam esetén)
  - Több ponton történő bevezetés hatása a határérték-szelvénybeli hőmérséklet eloszlásra
  - A melegvíz bevezetési helyének változtatása által előidézett hőmérséklet viszonyok vizsgálata
  - A beavatkozási alternatívák értékelése

## 5.2 A VIZSGÁLATI TERÜLETEK LEHATÁROLÁSA

A Duna vízjárására vonatkozó hidrológiai történeti adatok feldolgozása, statisztikai elemzése, előrejelzésre való alkalmazása:

- térben a Budapest és a déli országhatár közötti Duna szakaszra terjed ki,
- időben az adatrögzítés kezdetétől (általában 1876-tól) napjainkig (2011. december 31.) illetve a bővítés időtartamának végéig
- az előrejelzés a bővítés időtartamának végéig - 2120-ig, melyet a megrendelő által kérjük pontosítani.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	24/128



Az árvízi medergeometria, valamint az 1D hidrodinamikai (árvízi) modell fejlesztése és alkalmazása a Budapest- déli országhatár Duna szakaszra.

Nem radioaktív szennyezőkre vonatkozó havária jellegű kibocsátásokból származó szennyezőanyagok terjedésének vizsgálata a felvízi (1527+000 fkm) szelvény és az országhatár között történik, ami magában foglalja a következő elemeket:

- 3D hidrodinamikai és hőtranszport modell: 1527+000 fkm-től Paks alatt kb. 1,5 km-ig
- 2D hidrodinamika és hőtranszport modell: 1527+000 fkm-től országhatárig
- Mérések a 1527-1525 fkm közötti szakaszon

Hőterhelés modellezése

- 3D hidrodinamikai és hőtranszport modell: 1527+000 fkm-től Paks alatt kb. 1,5 km-ig

### 5.3 A KÖRNYEZETI JELLEMZŐK BEMUTATÁSA

A paksi atomerőmű közvetlen környezetének és a tágabb térségnek is meghatározó vízfolyása a Duna, melynek a vízjárás szempontjából a vizsgált környezetre az alábbiak jellemzőek:

- A középvízi meder átlagos szélessége 400–600 m.
- Az atomerőműnél (1527 fkm) a középvízi meder szélessége 430 m, az árvízié 1,1–1,2 km.
- A Duna vízjárása eltér a többi hazai folyóétól. Mindenkori vízhozamát elsősorban az Alpok hóolvadása és csapadékjárása határozza meg. Áradásai jellemzően a kora tavaszi hóolvadáshoz, valamint a nyár eleji csapadékmaximumhoz és gleccserolvadáshoz kapcsolódnak. Tartós kisvízi időszakok leginkább november és február között fordulnak elő.
- Jelentősebb mellékvízfolyás híján a Duna átlagos vízhozama Dunaújvárostól Mohácsig alig változik, mindenütt 2350 m<sup>3</sup>/s körül van.
- Az utóbbi tíz évben mind a szélsőséges kisvizek, mind a nagyvizek gyakorisága nőtt. 2003–2009 között minden évben előfordult -17 cm-es (85,21 mBf) vagy annál alacsonyabb vízállás. Ugyanakkor 2002-ben, 2006-ban és 2010-ben is előfordult a korábbi LNV-t megközelítő, +836 és +861 cm közötti (93,74 mBf-et elérő vagy meghaladó) szinten tetőző árhullám.
- Az atomerőmű telephelyén kialakított feltöltés szintje 97,00 mBf.
- Az atomerőmű térségében a Duna meder átlagos mélysége a kisvízszint alatt 4 m, a sodorvonalban 5–6 m.

A hidrológiai szempontból a vizsgált környezetre az alábbiak jellemzőek a Dunára:

- Nemzetközi vízfolyás
- Lassú elkeveredés
- A kritikusán kis vízhozamok előfordulása nem esik egybe a kritikus (magas) vízhőmérséklettel
- A víz hőmérséklete nyáron elérheti a 25 °C-t
- Az átlagos vízhőmérsékletek az elmúlt évtizedekben emelkedő trendet mutatnak
- A felmelegedett hűtővíz hatására a vízhőmérséklet közelítően Gauss-féle eloszlást követ
- A vízhőmérséklet a bevezetés közelében erős turbulens ingadozást mutat
- A Duna vízminősége (a hagyományos komponensekre) közepes/elfogadható, javuló tendenciát mutat, a felvízi szennyvíztisztításnak köszönhetően
- A felszín alatti-felszíni vízfolyás közötti kapcsolatot a Duna vízállása alapvetően befolyásolja

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	25/128

## 5.4 JOGSZABÁLYI HÁTTER

A Telephely hidrológiai jellemzése vizsgálati programra vonatkozóan a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII. 25.) Kormányrendelet az alábbi releváns előírásokat tartalmazza:

6. § (1) A környezeti hatásvizsgálati eljárás a környezeti hatásvizsgálatra kötelezett tevékenységek
- a) a környezeti elemekre (földre, levegőre, vízre, élővilágra, épített környezetre, ez utóbbi részeként a műemlékekre, műemléki területekre és régészeti örökségre is),
  - b) a környezeti elemek rendszereire, folyamataira, szerkezetére, különösen a tájra, településre, éghajlatra, természeti (ökológiai) rendszerre való hatásainak, továbbá
  - c) az előbbi hatások következtében az érintett népesség egészségi állapotában, valamint társadalmi, gazdasági helyzetében – különösen életminőségében, területhasználata feltételeiben – várható változásoknak az egyes esetek sajátosságainak figyelembevételével történő meghatározására, valamint a tevékenység ennek alapján történő engedélyezhetőségére terjed ki a 6–16. §-ok rendelkezései szerint.

A környezeti hatásvizsgálatot megalapozó, szakterületi vizsgálati és értékelési programot a 314/2005. (XII.25.) Korm. rendelet mellett az Országhatáron áttekintő környezeti hatások vizsgálatáról szóló Espoo-i Egyezmény (Espoo, Finnország, 1991.), a vonatkozó EU előírások, a releváns és hatályos szakterületi jogszabályok és szabványok figyelembe vételével állítjuk össze és hajítjuk végre.

### Európai Unió joganyagok (Decision, Directive):

2006/44/EK (IX. 6.) Az Európai Parlament és a Tanács Irányelve a halak életének megóvása érdekében védelmet vagy javítást igénylő édesvizek minőségéről

### Törvények

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól

### Kormányrendeletek

A környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII.25.) Korm. rendelet

220/004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól

221/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól

123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási művek védelméről

### Miniszteri rendeletek

6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről

11/2010. (IV. 28.) KvVM rendelet a folyók mértékadó árvízszintjeiről

6/2002. (XI. 5.) KvVM rendelet az ivóvízkivételre használt vagy ivóvízbázisnak kijelölt felszíni víz, valamint a halak életfeltételeinek biztosítására kijelölt felszíni vizek szennyezettségi határértékeiről és azok ellenőrzéséről

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	26/128

## 5.5 ALAPADAT FORRÁSOK, ELŐÍRÁSOK, SZABÁLYOZÁSOK

### 5.5.1 ALAPADATOK

- Vízállás- és vízhozam adatok az adatrögzítés kezdetétől a Budapest - déli országhatár közötti Duna szakaszon
- VITUKI Medermorfológiai és Víziút-nyilvántartási osztály Duna mederfelvételei
- Hídszelvények (archív információk, Duna Vízrajzi Atlasz, szükség esetén helyszíni mérések)
- Morfológiai és terepadatok a bővítendő telephelyről
- A vizsgált területre vonatkozó kritikus vízszint adatok
- Havi csapadék adatok a vizsgált területre vonatkozóan
- Kritikus épületeket, kutakat és vezetékeket ábrázoló térképek a vizsgált területen

#### 5.5.1.1 MVM Lévai Projekt által átadott dokumentációk

Cím	Szerző, kiadó, azonosító, kiadási idő
A Paksi Atomerőmű Üzemidő-hosszabbítása Környezeti Hatástanulmány	ETV-ERŐTERV Rt., 000000K00004ERE/A, 2006. február
Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében elvégzett hidrometriai mérésekről és hidrodinamikai modellezésről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00039, 2003. november
Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében a felszíni vizek állapotáról és változásáról	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00042/A, 2004. március
Éves jelentés a felszíni és felszín alatti vizek hasznosítási lehetőségeiről és a dunai vízgazdálkodási tevékenység jellemzéséről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00044/A, 2004. március
Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében a lokális klíma változásáról	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00050/B, 2004. november
Éves jelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében 2004. évben elvégzett dunai vízgazdálkodási tevékenység jellemzéséről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00053/A, 2005. január
Zárójelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében elvégzett hidrometriai mérések modellezéséről	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00054, 2004. december
Jelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében elvégzett dunai vízgazdálkodási tevékenység jellemzéséről. Vízbázisvédelem modellezés, elérési idők meghatározása	ETV-ERŐTERV Rt., 0000K00ERA00056/A, 2005. június
Zárójelentés a 2003 és 2005 között elvégzett dunai vízgazdálkodási tevékenység jellemzéséről	ETV-ERŐTERV Rt., 000000K00007ERE, 2006. március
Éghajlati hatástanulmány Paks térségére	OMSZ, 2005. december
A Duna medre és a partfal állapota	VITUKI Kht. 2005. november
A Paksi Atomerőmű Rt. üzemidő hosszabbításával kapcsolatos Részletes Környezeti Hatástanulmány egyes fejezeteinek műszaki tanulmányai 1. A Paksi Atomerőmű Dunára gyakorolt hőterhelő hatásának elemzése és a tanulmány melléklete 2. Az atomerőmű melegvíz kibocsátásainak a dunai vízminőségre gyakorolt hatása 3. A Paksi Atomerőmű hatása a dunai mederváltozásra, illetve az erőmű biztonságos üzemmenete és a hidrológiai problémák összefüggései 4. Vízminőségi monitoring rendszer az EU VKI-nak megfelelő kiépítésben	KARDOS és Társa Mérnöki Iroda Kft., 2005. november
A Paksi Atomerőmű Végleges Biztonsági Jelentése 2. fejezet	Paksi Atomerőmű Rt., 2009.
A globális klímaváltozás prognosztizálható hatásai a Paksi Atomerőmű meghosszabbított üzemi időszakában	BME-Innotech 2010
A Paksi Atomerőmű hőterhelése: a monitorozás és az üzemirányítás fejlesztése	BME VKK 2008
Paksi Atomerőmű meteorológia tornyával mért, havi átlagolt adatok 1996-2009	PA Zrt. 2010
OMSZ napi bontású meteorológiai adatok 2000-2009	OMSZ 2010
A Paksi Atomerőmű hőterhelése: a monitorozás és az üzemirányítás fejlesztése	BME VKKT, 2008
A globális klímaváltozás hatásai a PAE üzemidő hosszabbítására	BME 2010
Összefoglaló a Paksi Atomerőmű vezetése részére a dunai kisvízi medermélyülésről és a vízkivételi mű előtti kisvízszintekről	BME-Innotech 2008
A Duna kisvízi medrének és kisvízszintjének változásai a Paksi Atomerőmű környezetében, a mederoktrás és folyamszabályozás hatásai	BME-Innotech 2010
A Paksi Atomerőmű vízrendszereinek vízgazdálkodási és vízminőségi vizsgálata	BME-Innotech, 2002-2009

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	27/128



Cím	Szerző, kiadó, azonosító, kiadási idő
Dunai környezetvédelmi monitoring rendszer a Paksi Atomerőmű kibocsátott hűtővizének a felszín alatti vizekre (parti szűrésű vízbázisokra) gyakorolt hatásának ellenőrzésére	Kék-Csermely Kft. 2006- 2010 I. félév
A Paksi Atomerőmű Zrt. Önellenőrzési Terve alapján végzett vizsgálatok (felszíni vizekbe történő kibocsátás ellenőrzés, zagyter, kommunális szennyvíztisztító, övcsatorna vízminőségének ellenőrzése	PA Zrt.. 2006-2010 I. félév
A paksi Duna-szakasz mederváltozásának ellenőrzése	VITUKI Zrt. 2003-2009
Jelentés a mederkotrás és folyamszabályozás hatásairól	BME 2010
A paksi Atomerőmű hűtővíz-ellátásának folyamatos biztosítása érdekében a Duna hajózhatóvá tétele nagyprojektjéhez kapcsolódóan IV. munkarész: Kisminta kísérleti vizsgálat	Aquaprofit Műszaki, Tanácsadási és Befektetési Rt.
A Duna hidrológiai változásainak értékelése a Paksi Atomerőmű térségében a 2004-2009 periódusban	BME VKK 2009
A Paksi Atomerőmű vízrendszereinek vízgazdálkodási és vízminőségi vizsgálata	BME-Innotech, 2002-2009
A Duna hidrológiai változásainak értékelése a Paksi Atomerőmű térségében a 2004-2009 periódusban	BME VKK 2009
Előzetes konzultációs dokumentáció	Pöyry Erőterv Zrt. 6F11121/0002/O, 2012. 01.31.
A Paksi Atomerőmű Célzott Biztonsági Felülvizsgálata - A szélsőséges helyzetekben kialakuló magas és alacsony vízállások, valamint nagy és kis vízhozamok lehetséges hatásának meghatározása	Dr. Elter József – Szél Sándor 2011.

## 5.5.2 SZAKIRODALOM

Rátky István (1989): Numerikus módszerek alkalmazása a hidraulikában, Kézirat Budapest, Tankönyvkiadó.

David R. Maidment, Dean Djokic (2000): Hydrologic and hydraulic modeling support: with geographic information systems.

Eric Tate, M.S.E. and David Maidment, PhD. (1999): Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS, The University of Texas at Austin.

Dr. Csoma János - Dr. Szigyártó Zoltán (1975): A matematikai statisztika alkalmazása a hidrológiában, Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet

Dr. Kontur István-Dr. Koris Kálmán-Dr. Winter János (2003): Hidrológiai számítások, Akadémiai Kiadó, Budapest.

Dr. Reimann József (1973): Valószínűségelmélet és matematikai statisztika, Tankönyvkiadó.

Szabolcsi R.: A MATLAB® programozása, ZMNE, 2004.

Detrekői Á. – Szabó Gy.: Térinformatika, Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest, 2002.

Di Toro, D. (1984) Probability model of stream quality due to runoff, Journal of Environmental Engineering, Vol. 110. pp. 607-629.

Fischer, H.B.-List, E.J., Koh, R.C.Y, Imberger, J. and Brooks, N.H., Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press, New York, 1979.

Lauder B. E. and Spalding D. B. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. Academic Press, London, England, 1972

Muszkalay, L., Sebességpulzáció mértéke vízfolyásokban az elkeveredés szempontjából. 7631/2-500/a VITUKI témajelentés, 1980.

Rodi W. Turbulence Models and Their Application in Hydraulics IAHR-AIRH, 2000

Simons T.J. Circulation models of lakes and inland seas, 1980

Somlyódy, L. (1982): An Approach to the Study of Transverse Mixing in Streams, Journal of Hydraulic Research, Vol. 20, No.2

Somlyódy L, A szennyezőanyagok elkeveredésének meghatározása vízfolyásokban, Vízügyi Közlemények 67:(2) pp. 185-202. (1985).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	28/128

Somlyódy, L. and Shanahan, P. (1998) Municipal Wastewater Treatment in Central and Eastern Europe. Present situation and cost-effective development strategies. Report for the Environmental Action Programme for Central and Eastern Europe, The World Bank, Washington D.C.

Thomas HA, Fiering MB (1962) Mathematical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basins by simulation. In: Maass A, Humfshmidt MM, Dorfman R, Thomas Jr HA, Marglin SA, Fair GM (eds) Design of water resource systems. Harvard University Press, Cambridge, Mass . pp. 459-493.

Zweimüller, I. (2004) Effects of global change on the hydrology of the Danube, a large European River. Geophysical Research Abstracts, 6. 06186

### 5.5.3 HIVATALOS STATISZTIKÁK, ADATTÁRAK

Duna vízállás és vízhozam adatok az Országos Vízelző Szolgáltatól (VITUKI)  
VITUKI Medermorfológiai és Víziút-nyilvántartási osztály Duna mederfelvételei  
VITUKI – Országos Vízirajzi Adattár (felszíni vizek vízirajzi törzshálózati adatai, Duna vízirajzi Atlaszok)

### 5.5.4 TÉRKÉPEK

Magyarország 1:10.000-es méretarányú topográfiai térképe  
Duna Vízirajzi Atlaszok

### 5.5.5 SZOFTVEREK

A statisztikai adatokat MATLAB programrendszerrel, STATGRAPHICS statisztikai elemző programmal, illetve saját fejlesztésű szoftver alkalmazásával, továbbá az MS Excel táblázatkezelő program beépített statisztikai függvényeinek használatával dolgozzuk fel.

Az árvízi medergeometriát és az 1D hidrodinamikai modellt HECRAS szoftverkörnyezetben építjük fel, az eredményeket ArcGIS (VITUKI Nonprofit Kft, majd VITUKI Hungary Kft.: ArcGIS for Desktop Basic 10.1) térinformatikai programmal ábrázoljuk. A két alkalmazás közti átjárhatóságot a HEC GEORAS modul segítségével biztosítjuk.

BME VKKT REWARD hidrodinamikai és hőtranszport döntéstámogató rendszer

## 5.6 A RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ ADATOK, INFORMÁCIÓK KRITIKAI FELDOLGOZÁSA, ÉRTÉKELÉSE

### 5.6.1 AZ ALAPADATOK FORRÁSA

**11/2010. (IV. 28.) KvVM rendelet a folyók mértékadó árvízszintjeiről**, mely határozat rögzíti a Duna mértékadó árvízszintjeit.

**Magyar Villamos Művek Zrt. Új Atomerőművi Blokkok Létesítése - Előzetes Konzultációs Dokumentáció (EKD), 2012. 01. 31. - 3. fejezet:** A környezet jelenlegi állapota a telephely térségében.

**A Paksi Atomerőmű Célzott Biztonsági Felülvizsgálata - A szélsőséges helyzetekben kialakuló magas és alacsony vízállások, valamint nagy és kis vízhozamok lehetséges hatásának meghatározása**, Dr. Elter József – Szél Sándor (MVM Paksi Atomerőmű Zrt. – VITUKI Nonprofit Kft.), 2011. 10. 20. Ez a tanulmány 1D hidrodinamikai modell alkalmazásával vizsgálta a Duna Vámoszabadi - Déli országhatár szakaszt, szélsőséges árhullám levonulásának hatására, a Bösi, illetve Dunacsúnyi duzzasztómű (mint a jelenleg szóba jövő felvízszint szabályozó mű) legkedvezőtlenebb nagyvízi üzemzavara (meghibásodása) esetére.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	29/128

**A Paksi Atomerőmű Végleges Biztonsági Jelentése, MVM Paksi Atomerőmű Zrt., 2009.** - 2.4 fejezet: Hidrológia  
(verziószám: 6., vbj\_2-4f.doc)

**A Paksi Atomerőmű Üzemidő-hosszabbítása Környezeti Hatástanulmány, ETV-ERŐTERV Rt., 000000K00004ERE/A, 2006. február**

### 5.6.1.1 Árvízi-, kisvízi és középvízi hidrológiai statisztikai vizsgálatok

Az árvízi-, kisvízi és középvízi hidrológiai statisztikai vizsgálatokhoz az alapadatok (vízhozamok [m<sup>3</sup>/s] és vízállások [cm], illetve vízszintek [mBf]) a VITUKI Nonprofit Kft. vízrajzi adattárából rendelkezésre álltak.

Helyszín - vízmérce	Duna [fkm]	EOV_Y	EOV_X	Vízállás adatsor kezdő éve	Vízhozam adatsor kezdő éve	Adattípus: H – vízállás Q - vízhozam	Adatsorok (Q, H) záró éve
Dunaújváros	1580,6	642 355	181 901	1876	1924	H	2011
						Q	2010
Dunaföldvár	1560,6	641 056	162 800	1878	-	H	2010
Paks	1531,3	636 399	142 500	1876	-	H	2010
Dombori	1506,8	638 329	119 809	1888	1936	H	2011
						Q	2010

5.66-1. táblázat A vizsgált vízmércék a Duna Budapest, D-i országhatár szakaszon

### 5.6.1.2 Árvízi- és kisvízi egydimenziós hidrodinamikai modellezés

A hidrodinamikai modell Dunameder szakaszán (Duna 1805,6 fkm – 1466,9 fkm) felhasznált vízmérce adatok (vízhozamok [m<sup>3</sup>/s] és vízállások [cm], illetve vízszintek [mBf]), a VITUKI Nonprofit Kft. Vízrajzi adattárából származnak:

Duna Vízmérce megnevezése	Duna Fkm szelvény
Vámosszabadi	1805.6
Rajka	1848.4
Dunaremete	1825.5
Vámosszabadi	1805.6
Nagybajcs	1802.4
Gönyű	1791.3
Komárom	1768.3
Dunaalmás	1751.8
Esztergom	1718.5
Szob	1706.6
Nagymaros	1694.64
Vác	1679.5
Budapest	1646.5
Adony	1597.9
Tass	1586.0
Dunaújváros	1580.6
Dunaföldvár	1560.6
Paks	1531.3
Dombori	1506.8

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	30/128



Baja	1478.7
Mohács	1446.9
<b>Szentendrei ágon:</b>	
Szentendre	10.8
Dunabogdány	27.3

5.6-1. táblázat Vízmérce szelvények a Duna 1810 fkm – Déli országhatár (Duna 1433,2 fkm) szakaszán

A hidrodinamikai modellezéshez használ Duna mederszelvények, a VITUKI Nonprofit Kft. 2008. évi (némely szakaszon korábbi, némely szakaszon frissebb) középvízi mederfelvételeiből származnak, Mohácstól Nagymarosig 500 m-es, felette (Nagymarostól Vámoszabadiig) 1000 m-es szelvénytávolsággal. Paks környezetében, a részletesebben vizsgált Duna mederszakaszon 2010-ben, 100 méterenként felvett keresztmetszeteket építettünk a modellbe 1519,0 – 1528,0 fkm között.

A Duna mederszelvényeinek nagyvízi meder kiegészítését a VITUKI Nonprofit Kft. Vízrajzi Atlaszainak domborzatadatai (szintvonalai) alapján végeztük el.

## 5.6.2 A FELHASZNÁLT ALAPADATOK ÁTTEKINTÉSE

**Magyar Villamos Művek Zrt. Új Atomerőművi Blokkok Létesítése - Előzetes Konzultációs Dokumentáció (EKD), 2012. 01. 31. - 3. fejezet:** A környezet jelenlegi állapota a telephely térségében

A 3. fejezet, a környezet jelenlegi állapota a telephely térségében, 29./75 oldala, 3.3.3.1-3. táblázata: Legnagyobb jégmentes árvízszintek előfordulási gyakorisága (1969-1985) lehetséges, hogy jó számítási eredményeket tartalmaz, de nyilvánvaló elírás az 1969. év vizsgálati időtartamon (1969-1985) belül, mert az mindössze 17 év adatait tartalmazná.

Az anyag rész fentebb 1868. és 2010. évi adatokra is hivatkozik, így feltehetően a gyakorisági számítások időtartama 1869-től, 1985. évig terjedtek - nem érthető, hogy miért nem 2010. év végéig, amikor a 28./75 oldalon szerepel, hogy az utóbbi években a szélsőséges kisvízi (2003-2009. évek között minden évben) és nagyvízi (2002., 2006. és 2010. években) vízállás (vízszint) gyakoriságok növekedtek. A Duna Paksi 1531,3 fkm szelvényében 1869. év óta van rendszeres vízállásészlelés.

Jelen munka keretében történő statisztikai vizsgálatokat és előrejelzést minimum 2010. december 31-ig mért vízállásadatokra alapozzuk, törekedve azok 2011. év végéig történő kiegészítésére - jelenleg a mért adatok minőségvizsgálat alatt vannak.

**A Paksi Atomerőmű Célzott Biztonsági Felülvizsgálata - A szélsőséges helyzetekben kialakuló magas és alacsony vízállások, valamint nagy és kis vízhozamok lehetséges hatásának meghatározása, Dr. Elter József – Szél Sándor (MVM Paksi Atomerőmű Zrt. – VITUKI Nonprofit Kft.), 2011. 10. 20.**

Ez a tanulmány 1D hidrodinamikai modell alkalmazásával vizsgálta a Duna Vámoszabadi - Déli országhatár szakaszt, szélsőséges árhullám levonulásának hatására, a Bósi, illetve Dunacsúnyi duzzasztómű (mint a jelenleg szóba jövő felvízszint szabályozó mű) legkedvezőtlenebb nagyvízi üzemzavara (meghibásodása) esetére. A vizsgálatoknál alkalmazott Duna mederbe nem építették be (nem volt feladat) a már létesült hidakat, folyószabályozó műveket, amelyek helyi ellenállásként, lokálisan módosító hatással vannak a vízfelszín alakulására.

Jelen vizsgálatunk során több szélsőséges árhullám esetét is vizsgáljuk, különböző térfogatú árhullámok és az árhullámok apadó- és áradó szakaszának várható változása figyelembevételével, felvízszint szabályozó mű meghibásodása esetére. Részletesebben vizsgáljuk a vegetáció mederellenállás-változáson keresztüli hatását is. Jelen munkában a Budapest alatti hidak és folyószabályozási művek jellemző méreteit is a fejlesztendő nagyvízi mederbe integráljuk. Vizsgáljuk a távlatban esetlegesen várható dunai duzzasztóművek hatását az árvízszintekre és az árhullámok levonulására.

**A Paksi Atomerőmű Végleges Biztonsági Jelentése, MVM Paksi Atomerőmű Zrt., 2009.**

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	31/128



A 2.4. Hidrológia fejezet: 2.4.2. Árvizek alfejezetében, 13./36 oldaltól végzett számítások a Duna (1531,3 fkm) Paksi vízmérce szelvényére és az Erőmű hidegvíz-csatornájának 1527 fkm Duna szelvényére, 1985. évig terjedő adatok vizsgálata alapján készült – 2009. évben már a 2007. év végéig rögzített vízállásadatok ismertek és feldolgozottak voltak, a 2002-ben és 2006. évben levonult árhullámok tetőző vízállásának figyelembe vétele nélkül az eredmények valószínűleg kisebb mértékadó gyakoriságú vízállások, vízszintek számításához vezethettek (a 2.4.3-tól, 2.4.7. táblázatokban).

Ennek ténye kihat a 2.4.3. A valószínű maximális árvíz, és a 2.4.5. Alacsony vízállások alfejezetek eredményeire egyaránt.

A 2.4 -6. táblázatban: Maximális árvízszintek az erőmű szelvényében (1969-1985), Duna 1527 fkm, a jégmentes nagyvizekből számított vízállások (mBf) **oszlopban 95,62 mBf szerepel 0,01% gyakoriságú vízszintértékként**, ami az **EKD 3.3.3.1-3.** táblázatában: Legnagyobb jégmentes árvízszintek előfordulási gyakorisága (1969-1985), nem került frissítésre.

Jelen munka keretében történő statisztikai vizsgálatokat és előrejelzést 2010. december 31-ig mért vízállásadatokra alapozzuk, törekedve azok 2011. év végéig történő kiegészítésére - jelenleg a mért adatok minőségvizsgálat alatt vannak.

**A Paksi Atomerőmű Üzemidő-hosszabbítása Környezeti Hatástanulmány, ETV-ERŐTERV Rt., 000000K00004ERE/A, 2006. február**

A 4. fejezet: Az atomerőmű térségének környezetállapota az üzemeltetés előtti időszakban, 4.3.3. Felszíni vizek állapota, 18./86 oldaltól, a 31. oldalig (4.3.3.4. A meder alakulása alfejezetig), szintén 1985. évig veszi figyelembe a vízállás adatokat, mind a kisvízi- és nagyvízi vízállás statisztikai számításoknál.

Jelen munka keretében történő statisztikai vizsgálatokat és előrejelzést minimum 2010. december 31-ig mért vízállásadatokra alapozzuk, törekedve azok 2011. év végéig történő kiegészítésére - jelenleg a mért adatok minőségvizsgálat alatt vannak.

**A Paksi Atomerőmű Üzemidő-hosszabbítása Környezeti Hatástanulmány ETV-ERŐTERV Rt., 000000K00004ERE/A, 2006. február**

A dokumentumból az atomerőmű és legfontosabb tervezési jellemzőit (1. fejezet 7-8. oldal), a vízkivételek módját, mennyiségét (7. fejezet, 7.3.2.1 alfejezet 8-10. oldal) és az 1. mellékletben található helyszínrajzot használjuk fel munkánkhoz.

E dokumentumból kiderül, hogy a frissvízhűtés esetén a beépített szivattyúk maximálisan 144 m<sup>3</sup>/s vízkitermelésre képesek, ez a teljesítmény növelés esetén is elegendő a hűtővízellátás megoldásához. A hűtővízrendszer a vízbevezetési oldalon (hidegvíz-csatorna) és a vízelvezetési oldalon (melegvíz-csatorna) 100%-os tartalékkal rendelkezik. Ezért a hideg- és melegvíz csatornához az állagmegőrzésen kívül nem kell hozzányúlni, a 220 m<sup>3</sup>/s méretezési érték alapján a vízellátás szempontjából a jelenlegi helyzet módosulására nem kell számítani a teljesítmény növeléshez tartozó 120 m<sup>3</sup>/s vízkivétel esetén sem. A hűtővízrendszerek vízfogyasztására lekötött érték 3,1 milliárd m<sup>3</sup>/év. A jelenlegi vízfogyasztás a hatósági korlát 90%-a alatt marad. Ez azt jelenti, hogy a vízkivétel hosszú távon is biztosítható, s e mellett kb. 10 % tartalék kapacitás is van. Az anyag talán legfontosabb megállapítása a számításaink kiindulópontja szempontjából, hogy a felszíni vízkivételek mennyisége, annak módja és környezeti következményei a jelen állapothoz képest nem változnak. Leszerelés esetén a vízkivételek fokozatosan megszűnnek, ez azonban nem jár a működéshez képest jelentős környezeti előnnyel.

*Jelentés a Paksi Atomerőmű telephely-jellemzési programjának keretében elvégzett dunai vízgazdálkodási tevékenység jellemzéséről. Vízbázisvédelem modellezés, elérési idők meghatározása, ETV-ERŐTERV Rt. által kidolgozott 0000K00ERA00056/A, 2005. június*

A dokumentum 19. oldalát felhasználjuk, mert a baleseti szennyezések vízbázisokra gyakorolt hatását azok pontos helyének ismeretében tudjuk vizsgálni.

A dokumentum második részének 20-25. oldalán az esetleges dunai szennyezéseknek a vízbázisokhoz való eljutási idejét (elérési időket tartalmazza)

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	32/128



A dokumentumban az alábbi védendő vízbázisok jelennek meg:

Megnevezés	fk m
Paks alatti jobb oldali tervezett, potenciális vízbázisok	
Gerjen-Észak	1520-1517
Gerjen-Dombori	1512-1508.5
Bogyiszlo-Dombori	1506-1502
Gemenc-Gerebec	1492.5-1489.5
Gemenc-Koppány	1485-1481.5
Gemenc-Cuha fok	1473-1470
Báta	1467-1465.5
Paks alatti bal oldali tervezett, potenciális vízbázisok	
Bátya	1519.5-1517
Fajsz	1515-1514
Sükösd Észak	1502-1498
Sükösd Dél	1495-1493
Mohács- É Dunafalva	1463-1459
Paks alatti üzemelő regionális vízművet ellátó vízbázis	
Kalocsa- Barákai	1522.4-1521
Baja partiszűrűrésű	1481.5-1480.5
Pécs-Mohácsi regionális	
D1 kúttelep	1451.6-1452.6
D2 kúttelep	1453
É-i vízbázis	1459-1455

5.6-2. táblázat Védendő vízbázisok

A dokumentum permanens állapotot feltételezve meghatározta azt az időt, amennyire a Dunában lévő oldott anyagoknak szükségük van a Bajai és Kalocsai Vízmű eléréséhez. Előbbi esetben 34 nap, utóbbi esetében 335 nappal kell számolni. Feltételezik, hogy a távlati vízbázisok esetében is hasonló értékekkel kell számolni, ezért a javaslatuk a tervezéshez a 30-40 napos elérési idő felvétele.

A Paksi Atomerőmű Rt. üzemidő hosszabbításával kapcsolatos Részletes Környezeti Hatástanulmány egyes fejezeteinek műszaki tanulmányai, 3. A Paksi Atomerőmű hatása a dunai mederváltozásra, illetve az erőmű biztonságos üzemmenete és a hidrológiai problémák összefüggései (KARDOS és Társa Mérnöki Iroda Kft., 2005. november)

A dokumentum fontos adatot a Paksi Atomerőmű hatása a dunai mederváltozásra, illetve az erőmű biztonságos üzemmenete és a hidrológiai problémák összefüggései fejezetben, a 8. oldalon találtunk, ahol a modellépítéshez nélkülözhetetlen vízszinteket tárgyalja az anyag.

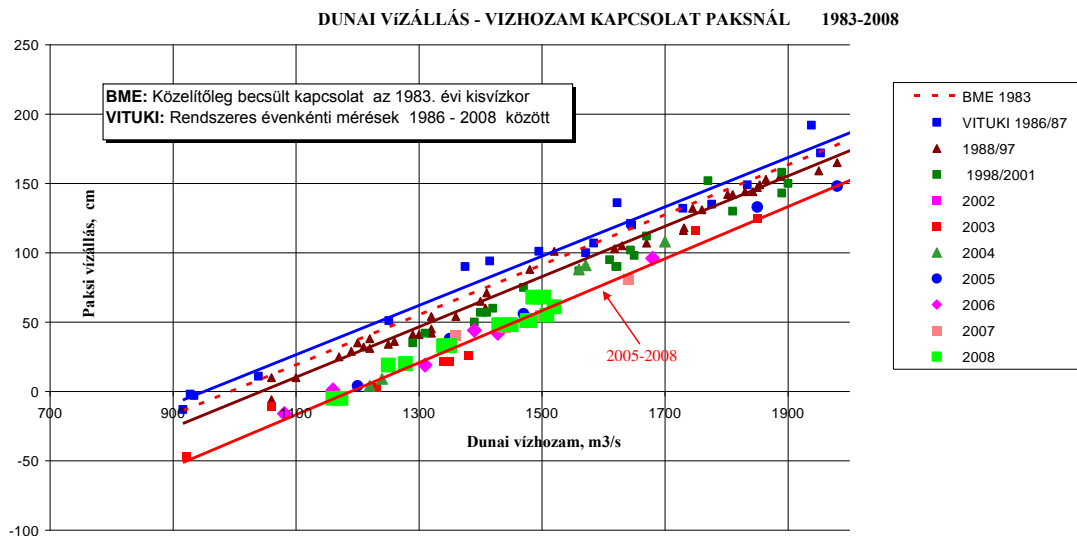
A paksi vízmérce '0' pontjának magassága 85,38 mBf, a paksi vízmérce és a hidegvízcsatorna közötti vízszintesítés 38-41 cm, így a paksi '0' vízállásnak 85,00 - 84,97 mBf vízszint felel meg.

A Duna kisvízi medrének és kisvízszintjeinek változásai a Paksi Atomerőmű környezetében, a mederkotrás és folyamszabályozás hatásai, BME-Innotech 2010. tanulmány.

Ebből a dokumentumból számunkra a Duna vízállás-vízhozam kapcsolatot (9. oldal) és a védendő vízbázisok adatait (elhelyezkedés és védőterület határai) használjuk fel. Ez utóbbi a 22. oldalon található.

A Duna kisvízi medrének és kisvízszintjeinek változásai a Paksi Atomerőmű környezetében, a mederkotrás és folyamszabályozás hatásai, BME-Innotech 2010 alapján a dunai vízállás-vízhozam kapcsolatot Paksnál az alábbi ábra mutatja:

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	33/128



5.6-1. ábra Dunai vízállás- vízhozam kapcsolata Paksnál

Státusz	Vízbázis megnevezése	Üzemelő vagy távlati vízbazisok	
		Védendő vízkészlet nagysága (m <sup>3</sup> /nap)	Védőterület határai (fkm)
T	Bölcske	35 100	1551,0 - 1548,5
T	Madocsa	35 000	1542,5 - 1540,5
T	Gerjen Észak	32 000	1527,0 - 1515,0
T	Gerjen Dombori	40 000	1512,5 - 1508,5
T	Fadd-Dombori-Bogyiszló	12 000	1506,0 - 1502,0
Ü	Kalocsa-Baráka	16 500	1523,6-1519,9
T	Dunapataj-Ordas	43 000	1534,0 - 1541,0
T	Bátya-észak	27 000	1515,0 - 1513,5
T	Bátya-Fajszt	52 000	1511,0 -1508,0
T	Fajszt-Dusnok	45 000	1502,2 - 1498,0

5.6-3 táblázat Üzemelő (Ü) vagy távlati (T) vízbazisok készletei és a védőterületek határa

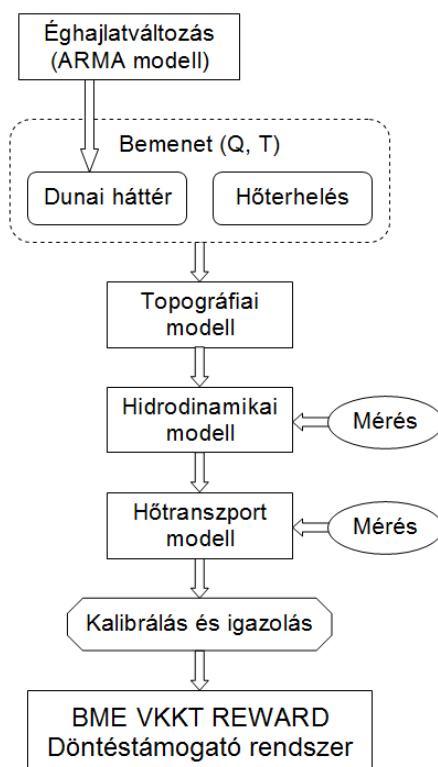
A Paksi Atomerőmű hőterhelése: a monitorozás és az üzemirányítás fejlesztése, BME VKKT, 2008.

A modellfejlesztésünkhöz alapvetően ezt a dokumentumot használjuk teljes egészében, mely tartalmazza:

- 2D-s hidrodinamikai és hőtranszport modell felépítése, kalibrációja, validációja
- 3D-s modell számítási eredményei
- mérések (Lagrange-i részecskevizsgálat, sebességtér, hőmérséklet mérések)

E tanulmányban bemutattuk a 2D hidrodinamikai és hőtranszport modellt, melyet a mostani munkafázisban ki fogunk terjeszteni. Összefoglalásként a modellrendszert az alábbi láthatjuk:

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	34/128



5.6-2. ábra A hőtranszportot leíró BME VKKT REWARD modell-rendszer felépítése

Előzetes konzultációs dokumentáció, Pöry Erőterv Zrt. 6F111121/0002/O, 2012. 01.31

Ebből felhasználjuk:

1. fejezet (jelenlegi állapot a telephely térségében) felszíni vizekkel foglalkozó részét (23. oldal),
5. fejezet 25-27. oldal, 29-34. oldalának szöveges értékelését és az 5.2.4.1-1. táblázatot,
6. fejezet 13-15. oldalon található megállapításokat az atomerőmű együttes hatását a felszíni vizekre nézve,
- 7.5.2-es alfejezet Üzemzavarok és balesetek következményei a felszíni vizekre, mely a 24-27. oldalakon található meg,
9. fejezet Hatásterület, ezen belül a balesetszerű szennyezés hatásterületéről szóló megállapítások (8. oldal)

Az EKD-ból a hűtési vízigények frissvízhűtés esetén blokkteljesítmény függvényében az alábbi táblázatot használjuk fel.

Hűtési vízigények frissvízhűtés esetén blokkteljesítmény függvényében				
	2X1200 MW		2X1600 MW	
Hűtővíz felmelegedés a kondenzátorban	11 °C	8 °C	11 °C	8 °C
Kondenzátor vízigény blokkonként	48 m <sup>3</sup> /s	66 m <sup>3</sup> /s	63 m <sup>3</sup> /s	86 m <sup>3</sup> /s
Összesen	96 m <sup>3</sup> /s	132 m <sup>3</sup> /s	126 m <sup>3</sup> /s	172 m <sup>3</sup> /s

5.6-4. táblázat Hűtési vízigények frissvízhűtés esetén a blokkteljesítmények függvényében

EKD Háttéranyagok

9. A felszíni és felszín alatti vizek, földtani közeg jellemzése. Hagyományos hulladékkezelés vizsgálata

3-24. oldal, ahol a felszíni vizekkel kapcsolatos megállapítások szerepelnek összefoglaló jelleggel, illetve Gauss modellel végzett számításokat mutat be.

18. Olajszennyezés hatásának vizsgálata, vízbevezetések hatásterületének származtatás

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	35/128

E dokumentum is a Gauss modellt veszi alapul és kimutatja, hogy a szennyezések hatásterülete minden esetben 100 m-nél kisebb.

Balesetszerű szennyezések esetén a Duna szennyezése az alábbi esetekben fordulhat elő:

- turbina olajrendszer meghibásodáskor, mikor 12 m<sup>3</sup> feletti az olajfolyás,
- hidrazin tartály sérülése,
- kommunális szennyvíztisztító rendszer nem megfelelő működése esetén és
- földrengés esetén a zártszelvényű melegvíz-csatornát érheti olajszenyezés.

Minden esetben a hatásterület kb. 10 km lehet.

### 5.6.2.1 Árvízi-, kisvízi és középvízi hidrológiai statisztikai vizsgálatok

Az árvízi-, kisvízi és középvízi hidrológiai statisztikai vizsgálatokhoz az alapadatok (vízhozamok [m<sup>3</sup>/s] és vízállások [cm], illetve vízszintek [mBf]):

Helyszín - vízmérce	Duna [fkm]	EOV_Y	EOV_X	Vízállás adatsor kezdő éve	Vízhozam adatsor kezdő éve	Adattípus: H – vízállás Q - vízhozam	Adatsorok (Q, H) záró éve
Dunaújváros	1580,6	642 355	181 901	1876	1924	H	2011
						Q	2010
Dunaföldvár	1560,6	641 056	162 800	1878	-	H	2010
Paks	1531,3	636 399	142 500	1876	-	H	2010
Dombori	1506,8	638 329	119 809	1888	1936	H	2011
						Q	2010

5.6-5. táblázat A vizsgált vízmércék a Duna Budapest – D-i országhatár szakaszán

### 5.6.2.2 Árvízi- és kisvízi egydimenziós (1D) hidrodinamikai modellezés

A hidrodinamikai modell Dunameder szakaszán (Duna 1805,6 fkm – 1466,9 fkm) felhasznált vízmérce adatok (vízhozamok [m<sup>3</sup>/s] és vízállások [cm], illetve vízszintek [mBf]):

Duna Vízmérce megnevezése	Duna Fkm szelvény
Vámosszabadi	1805.6
Rajka	1848.4
Dunaremete	1825.5
Vámosszabadi	1805.6
Nagybajcs	1802.4
Gönyű	1791.3
Komárom	1768.3
Dunaalmás	1751.8
Esztergom	1718.5
Szob	1706.6
Nagymaros	1694.64
Vác	1679.5
Budapest	1646.5

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	36/128

Adony	1597.9
Tass	1586.0
Dunaújváros	1580.6
Dunaföldvár	1560.6
Paks	1531.3
Dombori	1506.8
Baja	1478.7
Mohács	1446.9
<b>Szentendrei ágon:</b>	
Szentendre	10.8
Dunabogdány	27.3

5.6-6. táblázat Vízmérce szelvények a Duna 1810 fkm – Déli országhatár (Duna 1433,2 fkm) szakaszán

A hidrodinamikai modellezéshez használ Duna mederszelvények, a VITUKI Nonprofit Kft. 2008. évi (néhány szakaszon korábbi, néhány szakaszon frissebb) középvízi mederfelvételeiből származnak, Mohácstól Nagymarosig 500 m-es, felette (Nagymarostól Vámoszabadiig) 1000 m-es szelvénytávolsággal. Paks környezetében, a részletesebben vizsgált Duna mederszakaszon 2010-ben, 100 méterenként felvett keresztzelvényeket építettünk a modellbe 1519,0 – 1528,0 fkm között. A Duna mederszelvényeinek nagyvízi meder kiegészítését a VITUKI Nonprofit Kft. Vízirajzi Atlaszainak domborzatadatai (szintvonalai) alapján végeztük el.

## **5.7 A DUNA VÍZJÁRÁSÁRA VONATKOZÓ HIDROLÓGIAI TÖRTÉNETI ADATOK ÖSSZEGYŰJTÉSE, ADATBÁZISBA RENDEZÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE. AZ ADATOK STATISZTIKAI FELDOLGOZÁSA, A HOSSZÚ TÁVÚ TENDENCIÁK JELLEMZÉSE ÉS OKAINAK FELTÁRÁSA.**

A Duna vízjárásának hidrológiai történeti adatfeldolgozása során a vízrajzi mérőállomásonként összegyűjtött (forrás: VITUKI Nonprofit Kft.) és éves adatbázisba rendezett vízállás- (kis-, közép-, nagyvíz) és vízhozam idősorokat különböző valószínűség eloszlások illesztésével vizsgáljuk. A statisztikai vizsgálat célja, hogy a rendelkezésre álló mérési adatokból meghatározzuk a különböző vízszintek előfordulási gyakoriságait, meghaladási-, illetve elérési valószínűségeit. Az adatsorokra illesztett releváns eloszlásfüggvények választott („A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről” sz. 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet által előírt) valószínűség-értékeihez tartozó vízállásokat határozzuk meg.

A napi adatokból kiválasztjuk az egymástól hidrológiailag függetlennek tekinthető évi legkisebb (LKV) és legnagyobb (LNV) vízállásokat, illetve kiszámítjuk az évi közepes vízállásokat (KÖV). Megvizsgáljuk a teljes vízszint idősorokat a homogenitás szempontjából. Az időben legutolsó homogén időszak adataira célszerű eloszlásfüggvényeket illeszteni a hosszú távú tendenciák jellemzése és okainak feltárása érdekében, ugyanis a jövőre vonatkozóan ezek tekinthetők relevánsnak.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	37/128

## 5.7.1 A NAGYVÍZI ÉS KISVÍZI MEGHALADÁSI VALÓSZÍNŰSÉGI SZINTEK CÉLÉRTÉKEI – MÉRTÉKADÓ ÁRVÍZSZINTEK ÉS KISVÍZSZINTEK

A mértékadó kis- és nagyvízszinteket, a 20 000 évenként visszatérő, azaz  $5 \times 10^{-5}$ /év valószínűségi szintű-, meghaladási valószínűségű- vagy gyakoriságú eseményként, a mért adatokra illesztendő, legjobban illeszkedő valószínűség eloszlás számításán keresztül határozzuk meg. Ez száz (100) éves üzemidőnek és  $5 \times 10^{-3}$ , teljes üzemidőre vonatkoztatott valószínűségű szintnek felel meg ( $p = 5 \times 10^{-5}$ /év =  $5 \times 10^{-3}$  / 100 év).

### 5.7.1.1 Mértékadó árvízszint meghaladási valószínűségi értékének indoklása

„A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről” szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet (7. melléklet: Nukleáris Biztonsági Szabályzatok /röviden: NBSZ/ 7. kötet: Nukleáris Létesítmények Telephelyének Vizsgálata és Értékelése, 7.5. alfejezete: Az Atomerőművek Telephelyének Vizsgálata és Értékelése, 7.5.5. Áradások pontja) írja elő az Atomerőművi telephely árvízvédelmi biztonságának nukleáris biztonsági követelményeit, az alábbiak szerint:

#### „7.5.5. Áradások

7.5.5.0100. Annak valószínűsége a teljes üzemidőre, hogy a telephelyen az árvízszint meghaladja az atomerőmű tervezési alapjában figyelembe vett szintet, nem lehet nagyobb, mint  $5 \cdot 10^{-3}$ .

7.5.5.0200. A telephely árvízvédelmét biztosító műtárgyak, földművek tervezésénél a tervezési alapba tartozó paramétereket úgy kell megválasztani, hogy az intézkedés hatására a telephely elárasztásának valószínűsége a teljes üzemidőre nem lehet nagyobb, mint  $5 \cdot 10^{-3}$ . Ehhez a telephelyvizsgálat során az elárasztás, és az árvízveszély jellemzőit az adott műtárgyak, földművek tervezésére vonatkozó előírások, és az atomerőmű nukleáris biztonsági követelményei szerint kell meghatározni. Ha jogszabály másként nem szabályozza, akkor ezeket a jellemzőket az  $5 \cdot 10^{-3}$  teljes üzemidőre vonatkoztatott meghaladási valószínűségi szinten kell meghatározni.”

### 5.7.1.2 Mértékadó kisvízszint meghaladási valószínűségi értékének indoklása

„A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről” szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet (7. melléklet: Nukleáris Biztonsági Szabályzatok /röviden: NBSZ/ 7. kötet: Nukleáris Létesítmények Telephelyének Vizsgálata és Értékelése, 7.5. alfejezete: Az Atomerőművek Telephelyének Vizsgálata és Értékelése, 7.5.4. Meteorológiai jellemzők pontja) írja elő az Atomerőművi telephely árvízvédelmi biztonságának nukleáris biztonsági követelményeit, az alábbiak szerint:

#### „7.5.4. Meteorológiai jellemzők

7.5.4.0100. A telephely meteorológiai megfigyelését, monitorozását legalább három évig kell folytatni. A megfigyelési idő lehet rövidebb, ha vannak regionális mérések és igazolható, hogy azok a helyi viszonyokat jól reprezentálják.

7.5.4.0200. Az atomerőmű terjedési viszonyokra gyakorolt hatásait, amelyek a kalorikus folyamat következtében előállhatnak, meg kell becsülni, és az értékelésnél számításba kell venni. A követelmény teljesítését teljes körűen a létesítési engedélyezési eljárásban kell igazolni.

7.5.4.0300. A telephely meteorológiai monitorozását a teljes üzemidő alatt folytatni kell.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	38/128

7.5.4.0400. A tervezési alapon figyelembe veendő szélsőséges meteorológiai események, körülmények jellemzőit úgy kell meghatározni, hogy azok teljes üzemidőre vonatkoztatott meghaladási valószínűsége nem lehet nagyobb, mint  $5 \cdot 10^{-3}$ .”

A tartós hűtés biztosításához, nukleáris biztonsághoz szükséges hűtővíz akkor áll megfelelő biztonsági szinten rendelkezésre frissvízhűtés esetén, ha a minimális vízszint mellett a minimális vízhozam is rendelkezésre áll. Esetünkben a Bősi duzzasztómű nem-üzemszerű működésével nem számolunk, így a fenti kritérium teljesülését  $10^5$ /év gyakorisági szinten (20 000 évenként visszatérő eseményként) vizsgáljuk, ahogyan a meteorológiai jellemzőkre előírtak is megkövetelik. Ez ugyanis a száz (100) éves üzemidőnek és  $5 \times 10^{-3}$ , teljes üzemidőre vonatkoztatott valószínűségű szintnek megfelel  $p = 5 \times 10^{-5}/\text{év} = 5 \times 10^{-3} / 100 \text{ év}$ .”

### „7.5.8. A tartós hűtés biztosítása

7.5.8.0100. A 7.3.3–7.3.5. pontban előírt vizsgálatok során – a végső hőelnyelő rendelkezésre állása szempontjából – meg kell vizsgálni a száraz és nedves léghőmérsékletek, vízhőmérsékletek jellemző értékeit, valamint frissvíz hűtés esetén a nukleáris biztonsághoz szükséges hűtővíz rendelkezésre állását forgalom, minimális vízszint, és a minimális vízszint és forgalom tartóssága szempontjából. Számolni kell a kedvezőtlen körülmények egyidejű bekövetkezésével is, amennyiben az együttes előfordulás gyakorisága meghaladja a  $10^{-5}$ /év értéket. A követelmény teljesítését teljes körűen a létesítési engedélyezési eljárásban kell igazolni.

7.5.8.0200. Meg kell határozni azokat a természeti és ember által előidézett eseményeket, amelyek a reaktorzóna hosszú távú hűtéséhez szükséges rendszerek üzemképtelenségét okozhatják, így különösen folyó elzáródása vagy eltérülése, víztározó kiürülése, víztározó vagy hűtőtorny elzáródása, fagyás vagy jégképződés által, hajóütközés, olajkiömlés és tüzesetek esetén. Ha az ilyen események gyakorisága a szűrési szint felett van, akkor ezeket az eseményeket figyelembe kell venni a telephely védelmét, és a veszélyhelyzeti hűtővízellátást biztosító műszaki intézkedések tervezési alapjában. A követelmény teljesítését teljes körűen a létesítési engedélyezési eljárásban kell igazolni.

7.5.8.0300. A telephelyet nem megfelelőnek kell ítélni, ha a környezeti hatások kivédésére tervezett műszaki intézkedéseket is figyelembe véve nem lehet a telephelyre jellemző körülményekre igazolni a végső hőelnyelő meglétét. A követelmény teljesítését teljes körűen a létesítési engedélyezési eljárásban kell igazolni.”

## 5.7.1.3 A történeti adatok feldolgozásának, statisztikai elemzésének, előrejelzésre való alkalmazásának terjedelme

### 5.7.1.3.1 A statisztikai elemzések alapadatainak térbeli és időbeli terjedelme

- Térben a Budapest és a déli országhatár közötti Duna szakaszra terjed ki – **részletesebben a Paksi Atomerőmű környezetét vizsgáljuk: Dunaujváros, Dunaföldvár, Paks, Dombori vízmércék adatainak felhasználásával.**
- Időben az adatrögzítés kezdetétől (általában 1876-tól) napjainkig (2011. december 31.) illetve a bővítés tervezett üzemidejének végéig.
- Az előrejelzés a bővítés tervezett üzemidejének végéig (2120. év végéig) történik.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	39/128



### 5.7.1.3.2 Vizsgált vízmércék a Duna Budapest, D-i országhatár szakaszon (1876-2011. / 136 év)

Helyszín - vízmérce	Duna [fkm]	EOV_Y	EOV_X	Vízállás adatsor kezdő éve	Vízhozam adatsor kezdő éve	Adattípus: H – vízállás Q - vízhozam	Adatsorok (Q, H) záró éve
Budapest - Lánchíd	1646,5	650 065	238 993	1876	1924	H	2011
						Q	2011
Budapest – Kvassay	1642,2	651 609	235 286	1939	-	H	2011
Ercsi	1613,2	639 538	211 247	1876	-	H	2011
Adony	1597,8	637 400	196 500	1876	-	H	2011
Tass	1586,2	644 614	187 588	1922	-	H	2011
Dunaújváros	1580,6	642 355	181 901	1876	1924	H	2011
						Q	2011
Dunaföldvár	1560,6	641 056	162 800	1878	-	H	2011
Paks	1531,3	636 399	142 500	1876	-	H	2011
Dombori	1506,8	638 329	119 809	1888	1936	H	2011
						Q	2011
Baja	1478,7	640 618	92 732	1878	1930	H	2011
						Q	2011
Mohács	1446,9	622 654	72 070	1876	1924	H	2011
						Q	2011

5.7-1. táblázat A vizsgált vízmércék a Duna Budapest, D-i országhatár szakaszon

*Megjegyzés: Az 5.7-1. táblázatban zölden sátozott háttér jelenti azokat a vízmérce szelvényeket, amelyek vízállásadatainak hidrológiai statisztikai vizsgálatát – tekintettel a bővítéssel érintett terület elhelyezkedésére -, részletesebben elemeztük.*

A kis-, közép- és nagyvízi események statisztikai vizsgálatának alkalmazott módszertana

Adott Duna vízmérce szelvényben, 1876-tól 2011. december 31-ig mért napi vízállásadatok és a vízmérce mindenkor „0” pontja (zérus vízállás), Balti tengerszint feletti magasságának ismeretében előállítottuk a vízszintek napi idősorát.

A napi vízszint idősor vizsgálatával előállítottuk továbbá az éves kisvízszintek és nagyvízszintek (évenkénti legkisebb- és legnagyobb vízszintek) idősorát, amelyet már elvileg már független valószínűségi változónak tekinthetünk. Az éves középvízi adatokat, a napi adatok évenkénti átlagának meghatározásával számítottuk.

#### 5.7.1.4 Függetlenségvizsgálat

Végrehajtottuk a teljes trendmentesített éves kis-, közép- és nagyvízszintek függetlenségvizsgálatát, Wald-Wolfowitz-féle egzakt véletlenségvizsgálati próbával, a halmozás elve alapján.

#### 5.7.1.5 Homogenitás vizsgálat

Elvégeztük az éves kis-, közép- és nagyvízszintek trendmentesített adatsorának homogenitás vizsgálatát a Student-féle *t*-próbával, a teljes adatsornak minden egyes eleménél (halmozás elve alapján) történő kettébontásával, *a* és *b* részre ( $n_a = 1, 2, \dots, N-2, N-1$ ;  $n_b = N-1, N-2, \dots, 2, 1$ ;  $N = n_a + n_b$ , *N* a vizsgált eredeti adatsor elemszáma):

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	40/128



$$t_M = \frac{|M_a - M_b|}{\sqrt{\frac{S_a^2}{n_a} + \frac{S_b^2}{n_b}}}$$

ahol:

$M_a, M_b$ : a halmozottan kettéosztott,  $n_a$  és  $n_b$  hosszúságú adatsor részek átlagértékei,  
 $S_a, S_b$ : a halmozottan kettéosztott,  $n_a$  és  $n_b$  hosszúságú adatsor részek szórásai,

A kettébontott adatsort egyöntetűnek, homogénnek tekintjük, ha:

$$t_M \leq 1,96$$

### 5.7.1.6 Eloszlásfüggvények illesztése, a rendezett, független és homogén statisztikai mintára

A vizsgált adatsor függetlenségének teljesülése esetén, az időben utolsó, szignifikáns inhomogenitást megkeressük, majd a szignifikáns inhomogenitásnál korábbi adatsor rész további vizsgálatától eltekintünk.

Nagyvizek esetében vizsgáljuk a jégjelenséggel befolyásolt és a jégjelenséggel nem befolyásolt adatokat elkülönítve.

Az éves kis-, közép-, és nagyvizek független és homogén, majd rendezett adatsorára, az alábbi eloszlásfüggvényeket illesztjük, vizsgálva az illeszkedés mértékét:

- Normál eloszlás
- Gamma eloszlás
- Gumbel eloszlás

Az empirikus eloszlásfüggvényre ( $G(x_i)$ ) illesztett elméleti eloszlásfüggvény ( $F(x)$ : Normál, Gamma, Gumbel) illeszkedésének mértékét (**Im [%]**), a két függvény maximális eltérésének értékéből ( $\max_{\Delta_{i=1 \rightarrow N}}\{F(x=x_i) - G(x_i)\}$ ) határozzuk meg:

$$\text{Im} [\%] = (1 - \max_{\Delta_{i=1 \rightarrow N}}\{F(x=x_i) - G(x_i)\}) \cdot 100.$$

### 5.7.1.7 A T visszatérési idejű kis-, közép- és nagyvízszintek előfordulási valószínűségének vizsgálata

Vizsgáljuk a 2011. év végéig rendelkezésre álló adatok alapján, a Duna Paksi vízmérce szelvényében, illetve a Paksi Atomerőmű telephelyének Duna szakaszán, annak valószínűségét is, hogy a  $T = 20\,000$  [év] visszatérési idejű Duna vízszint ( $Z_T$ ), a bővítés tervezett üzemidejének végéig (2120. évig), vagyis az elkövetkező  $N \approx 110$  [év] alatt előforduljon.

Ennek vizsgálatára a Poisson-eloszlást alkalmazzuk, a szakirodalomra (Reimann J. - V.Nagy I., Hidrológiai Statisztika, 1984.) támaszkodva:

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$$

ahol:

$k$  – az  $N$  éven belüli elérések lehetséges értéke ( $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – esetünkben  $k = 0, 1, 2$  és  $3$ .

$\lambda$  – a Poisson-eloszlás állandója,  $\lambda = N/T$  [-].

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	41/128

A T visszatérési idejű kis-, közép- és nagyvízszinteket, az előzőekben illesztett folytonos (Normál, Gamma és Gumbel) eloszlásfüggvények inverz függvényeiből számítjuk ki, majd ezen szintek előfordulási valószínűségét határozzuk meg, az alábbiak szerint.

A T = 20 000 évente visszatérő ( $p = 1/T = 5 \cdot 10^{-5}$  [1/év] valószínűségű) vízszint (0, 1, 2 és 3-szori) előfordulási valószínűségei, az elkövetkező N = 110 éven belül (a bővítés tervezett üzemideje végéig):

T = 20 000 [év]; N = 110 [év] $\lambda = N/T = 0,0055$	T visszatérési idejű vízszint ( $Z_T$ )* előfordulása	Előfordulási valószínűség [%]
$P(k=0) = e^{-\lambda}$	egyszer sem fordul elő	99,451510 %
$P(k=1) = \lambda \cdot e^{-\lambda}$	egyszer fordul elő	0,546983 %
$P(k=2) = (\lambda^2/2) \cdot e^{-\lambda}$	kétszer fordul elő	0,001504 %
$P(k=3) = (\lambda^3/6) \cdot e^{-\lambda}$	háromszor fordul elő	0,000003 %

5.7-2. táblázat A T=20 000 évente visszatérő nagyvízszintek előfordulási valószínűségei, a bővítés üzemidejének végéig

Megjegyzés: Fenti táblázatban ( $Z_T$ )\* [mBf] jelölt vízszint, az éves nagyvizek empirikus eloszlására illesztett, legjobban illeszkedő folytonos valószínűség eloszlás,  $p = 1/T$  értékéhez tartozó vízszintje.

A T = 10 000 évente visszatérő ( $p = 1/T = 1 \cdot 10^{-4}$  [1/év] valószínűségű) vízszint (0, 1, 2 és 3-szori) előfordulási valószínűségei, az elkövetkező N = 110 éven belül (a bővítés tervezett üzemideje végéig):

T = 10 000 [év]; N = 110 [év] $\lambda = N/T = 0,011$	T visszatérési idejű vízszint ( $Z_T$ )* előfordulása	Előfordulási valószínűség [%]
$P(k=0) = e^{-\lambda}$	egyszer sem fordul elő	98,906028 %
$P(k=1) = \lambda \cdot e^{-\lambda}$	egyszer fordul elő	1,087966 %
$P(k=2) = (\lambda^2/2) \cdot e^{-\lambda}$	kétszer fordul elő	0,005984 %
$P(k=3) = (\lambda^3/6) \cdot e^{-\lambda}$	háromszor fordul elő	0,000022 %

5.7-3. táblázat A T=10 000 évente visszatérő nagyvízszintek előfordulási valószínűségei, a bővítés üzemidejének végéig

Megjegyzés: Fenti táblázatban ( $Z_T$ )\* [mBf] jelölt vízszint, az éves nagyvizek empirikus eloszlására illesztett, legjobban illeszkedő folytonos valószínűség eloszlás,  $p = 1/T$  értékéhez tartozó vízszintje.

### 5.7.1.8 A homogenitásvizsgálat összegzett eredménye

A Duna Dunaújvárosi, Dunaföldvári, Paksi és Dombori vízmérce szelvényeiben mért éves kisvizek (KV), középvizek (KÖV) és nagyvizek (jégjelenséggel nem befolyásolt: NV, jégjelenséggel befolyásolt: JNV), utóbbi időszakban homogénnek tekinthető adatsorának kezdő és záró éveit az alábbi táblázatban foglaltuk össze.

Vízmérce állomás:	KV		KÖV		NV		JNV	
	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége
<b>Dunaújváros</b>	1967	2011	1967	2011	1945	2011	1956	2011
<b>Dunaföldvár</b>	1982	2011	1982	2011	1953	2011	1953	2011
<b>Paks</b>	1965	2011	1965	2011	1968	2011	1968	2011
<b>Dombori</b>	1964	2011	1964	2011	1964	2011	1964	2011

5.7-4. táblázat Duna vízmércék éves jellemző vízállásadatainak homogenitásvizsgálata – a homogenitás kezdőéveinek összegzése

A kisvizek és középvizek esetében a hazai Duna szakaszon általában 1964-1969 tekinthető, a trendben is jelentősnek tekinthető változás kezdetének. A Duna Dunaföldvári szelvényének környezete, a mára gyakorlatilag megszüntetett ipari kotrások hatására tekinthető csak 1982. év óta homogénnek.

A következőkben részletesen a Paksi vízmérce szelvény statisztikai vizsgálatával foglalkozunk, majd a Paksi vízmérce feletti, Dunaújvárosi, Dunaföldvári és a Paksi vízmérce alatti Dombori vízmérce adatainak statisztikai feldolgozását ismertetjük.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	42/128

## 5.7.2 Kis-, KÖZÉP ÉS NAGYVÍZSZINTEK HIDROLÓGIAI STATISZTIKAI VIZSGÁLATA

### 5.7.2.1 Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízi események statisztikai vizsgálata

#### 5.7.2.1.1 A jégjelenséggel befolyásoltság és nem befolyásoltság fogalma

A jégjelenséggel nem befolyásolt vízszintek esetén a jégkóddal (Z: zajló jég, A: álló jég, T: jégtorlasz, P: parti jég) vízállásészleléskor rögzített vízállásadatokat kihagytuk a vizsgálatból, a hidrológiai statisztikai vizsgálatokban szokásos módon.

A jégjelenségekkel befolyásoltság a hidrológiai statisztikai vizsgálatok során azt jelenti, hogy az összes vízállásadattal számolunk, azaz a jégkód nélküli és a jégkóddal ellátott adatokat együttesen vizsgáljuk.

A jégjelenséggel befolyásolt és jégmentes vízállások együttes elemzése azt mutatja meg, hogy mennyiben módosulnak a statisztikai jellemzők a jégkóddal megjelölt vízállások figyelembevételével.

#### 5.7.2.1.2 A jégjelenséggel befolyásolt vizsgálatok köre

A jégjelenséggel befolyásolt éves nagyvizek vízszint adatait (Paksi, Dunaújvárosi, Dunaföldvári és Dombori vízmércékre) táblázatban foglaltuk össze (lásd ez esetben csak az elektronikus mellékletben csatolt **5\_hidrologia/5\_Dunavizjaras/5\_vizmerceadatok.doc** állományt), a Duna Budapest és déli országhatár közötti szakaszán lévő vízmérce állomások vízfolyásszelvényeire, a függetlennek és homogénnek tekinthető időtartamtól, 2011-ig terjedő időszakra, megadva az éves szélsőséges esemény dátumát is.

A Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,3 fkm), 1876-2011. évek közötti évenkénti legnagyobb jégjelenséggel befolyásolt vízszint adatok vizsgálata szerint, az adatsor 1968-tól tekinthető homogénnek, ezért 1968-2011 évek közötti nagyvízszintekre illesztettünk Normál, Gamma és Gumbel eloszlásfüggvényeket.

A  $T = 10\,000$  ( $F(x_{10.000}) = 1 \cdot 10^{-4}$  [1/év]) és a  $T = 20\,000$  ( $F(x_{20.000}) = 5 \cdot 10^{-5}$  [1/év]) évenként visszatérő nagyvízszinteket az eloszlásfüggvények inverzének segítségével határoztuk meg az alábbi eredménnyel.

#### 5.7.2.1.3 Mértékadó jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek számítása:

A 10 000 és 20 000 évente visszatérő jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek ( $Z^{JNV_T}$ ) alakulása a Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,1 fkm), a homogénnek tekinthető 1968-2011. időszak évenkénti legnagyobb vízszintjei ( $Z_{JNV}$ ) figyelembe vételével:

	Normál eloszlás		Gamma eloszlás		Gumbel eloszlás	
	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő
Visszatérési idő: T [év]	10 000	20 000	10 000	20 000	10 000	20 000
Valószínűség: p [1/év]	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]
Jégjelenséggel befolyásolt, mértékadó nagyvízszintek, $Z^{JNV_T}$ [mBf]						
Vizsgált adatok: $Z_{JNV}$ 1968-2011 [mBf]	96,13 [mBf]	<b>96,34 [mBf]</b>	96,15 [mBf]	96,36 [mBf]	99,79 [mBf]	100,45 [mBf]
Illeszkedés mértéke: lm [%]	<b>92,0[%]</b>		91,7 [%]		88,9 [%]	

5.7-5. táblázat Mértékadó jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek számítása, folytonos eloszlásfüggvények illesztésével

A fenti táblázatban szereplő 20 000 évente visszatérő jégjelenséggel befolyásolt árvízszint legvalószínűbb értéke **96,34** [mBf], a jelenleg üzemelő erőművi telephely szintje (97,15 - 97,20 [mBf]) alatt van. A bővitendő telephely területe a Duna 1531,3 [fkm] szelvénye alatt helyezkedik el, így az ott a várható 20 000 éves nagyvízszint valamivel (~15 cm-rel) kisebbre (96,19 [mBf]) adódik.

A 20 000 évente visszatérő, jégjelenséggel befolyásolt árvízszint és a mértékadó árvízszint viszonyának vizsgálata:

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	43/128

A mértékadó árvízszint a Paksi vízmérce szelvényében (Duna 1531,3 fkm),  $MÁSZ_{2010\_től} = 94,33$  [mBf], „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló hatályos, 11/2010. (IV. 28.) hatályos KvVM rendelet szerint. Az általunk 1968-2011. időszakra meghatározott Normál eloszlásfüggvény  $5 \cdot 10^{-5}$  [1/év] valószínűségű, 20 000 évente visszatérő árvízszintjének értéke: **96,44** [mBf], azaz 2,11 [m]-rel meghaladja a jogszabály szerinti mértékadó árvízszint értéket.

Az éves jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek (JNV) empirikus és illesztett eloszlásfüggvényeit az alábbi ábra szemlélteti.



5.7-1. ábra Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek (JNV) eloszlásfüggvénye (1968-2011) – Duna 1531,3 fkm

Megjegyzés: A fenti ábrán a Normál és Gamma eloszlásfüggvény gyakorlatilag egybeesik, ezért a Normál eloszlás függvény görbéje a Gamma eloszlásfüggvény görbéje alatt található.

Fenti ábrán jól látható, hogy a rendezett éves nagyvízi adatsorra illesztett, esetünkben speciálisan együtt haladó Gamma és Normál eloszlásfüggvények illeszkednek jobban az empirikus (lépcsős) függvényhez. A Normál és Gamma eloszlásfüggvények illeszkedésének mértéke, a mértékadó nagyvízszintek tartományában lényegesen jobb, mint a Gumbel eloszlásfüggvényé, amelynek elfogadása irreálisan nagy mértékadó nagyvízszintet eredményezne.

## 5.7.2.2 Jégmentes nagyvízi, árvízi események statisztikai vizsgálata - Paksi vízmérce - Duna 1531,1 fkm

### 5.7.2.2.1 jégjelenséggel nem befolyásolt vizsgálatok köre

A jégjelenséggel nem befolyásolt, vagy jégmentes éves nagyvizek vízszint adatait (Paksi, Dunaújvárosi, Dunaföldvári és Dombori vízmércékre) táblázatban foglaltuk össze (lásd: 5\_vizmerceadatok.doc-ot), a Duna Budapest és déli országhatár közötti szakaszán lévő vízmérce állomások vízfolyásszelvényeire, a függetlennek és homogénnek tekinthető időtartamtól, 2011-ig terjedő időszakra, megadva az éves szélsőséges esemény dátumát is.

A Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,3 fkm), 1876-2011. évek közötti évenkénti legnagyobb jégmentes vízszint adatok vizsgálata szerint az adatsor 1968-tól tekinthető homogénnek, ezért 1968-2011 évek közötti nagyvízszintekre illesztettünk Normál, Gamma és Gumbel eloszlásfüggvényeket. A  $T = 10\,000$  ( $F(x_{10.000}) = 1 \cdot 10^{-4}$

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	44/128

[1/év]) és a  $T = 20\,000$  ( $F(x_{20\,000}) = 5 \cdot 10^{-5}$  [1/év]) évenként visszatérő nagyvízszinteket az eloszlásfüggvények inverzének segítségével határoztuk meg az alábbi eredményekkel.

### 5.7.2.2 Mértékadó jégmentes nagyvízszintek számítása

A 10 000 és 20 000 évente visszatérő jégmentes nagyvízszintek ( $Z^{NV}_T$ ) alakulása a Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,1 fkm), a homogénnek tekinthető 1968-2011. időszak évenkénti legnagyobb vízszintjei ( $Z_{NV}$ ) figyelembe vételével.

	Normál eloszlás		Gamma eloszlás		Gumbel eloszlás	
	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő
Visszatérési idő: <b>T [év]</b>						
Valószínűség: <b>p [1/év]</b>	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]
Jégjelenséggel nem befolyásolt, mértékadó nagyvízszintek, $Z^{NV}_T$ [mBf]						
Vizsgált adatok: <b><math>Z_{NV}</math> 1965-2011 [mBf]</b>	96,23 [mBf]	<b>96,44 [mBf]</b>	96,24 [mBf]	96,46 [mBf]	100,01 [mBf]	100,69 [mBf]
Illeszkedés mértéke: <b>lm [%]</b>	<b>91,7[%]</b>		91,3 [%]		87,6 [%]	

5.7-6. táblázat Mértékadó jégmentes nagyvízszintek számítása, folytonos eloszlásfüggvények illesztésével

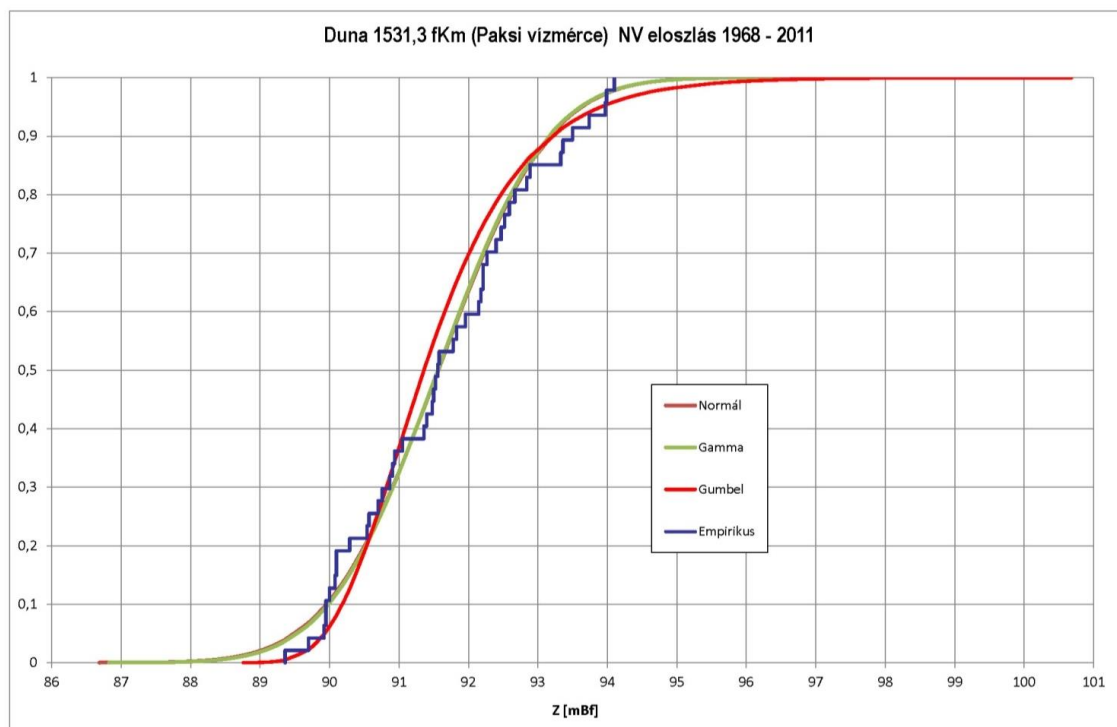
A fenti táblázatban szereplő 20 000 évente visszatérő jégmentes árvízszint legvalószínűbb értéke **96,44** [mBf], a jelenleg üzemelő erőművi telephely szintje (97,15 - 97,20 [mBf]) alatt van. A bővítendő telephely területe a Duna 1531,3 [fkm] szelvénye alatt helyezkedik el, így az ott a várható 20 000 éves nagyvízszint valamivel (~15 cm-rel) kisebbre (96,29 [mBf]) adódik.

A 20 000 évente visszatérő, jégmentes árvízszint és a mértékadó árvízszint viszonyának vizsgálata:

A mértékadó árvízszint a Paksi vízmérce szelvényében (Duna 1531,3 fkm),  $MÁSZ_{2010\_től} = 94,33$  [mBf], „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló hatályos, 11/2010. (IV. 28.) hatályos KvVM rendelet szerint. Az általunk 1968-2011. időszakra meghatározott Normál eloszlásfüggvény  $5 \cdot 10^{-5}$  [1/év] valószínűségű, 20 000 évente visszatérő árvízszintjének értéke: **96,44** [mBf], azaz 2,11 [m]-rel meghaladja a jogszabály szerinti mértékadó árvízszint értéket.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	45/128

Az éves jégmentes nagyvízszintek (NV) empirikus és illesztett eloszlásfüggvényeit az alábbi ábra szemlélteti:



5.7-2. ábra Jégmentes nagyvízszintek (NV) eloszlásfüggvénye (1965-2011) – Duna 1531,3 fkm

*Megjegyzés: A fenti ábrán a Normál és Gamma eloszlásfüggvény gyakorlatilag egybeesik, ezért a Normál eloszlásfüggvény görbéje a Gamma eloszlásfüggvény görbéje alatt található.*

Fenti ábrán jól látható, hogy a rendezett éves jégmentes nagyvízi adatsorra illesztett, esetünkben speciálisan együtt haladó Gamma és Normál eloszlásfüggvények illeszkednek jobban az empirikus (lépcsős) függvényhez. A Normál és Gamma eloszlásfüggvények illeszkedésének mértéke, a mértékadó nagyvízszintek tartományában lényegesen jobb, mint a Gumbel eloszlásfüggvényé, amelynek elfogadása irreálisan nagy mértékadó nagyvízszintet eredményezne.

### 5.7.2.3 Kisvízszintek statisztikai vizsgálata - Paksi vízmérce - Duna 1531,1 fkm

Az éves kisvizek vízszint adatait táblázatban foglaltuk össze (lásd: 5\_vizmerceadatok.doc), a Duna Budapest és déli országhatár közötti szakaszán lévő vízmérce állomások vízfolyásszelvényeire, a függetlennek és homogénnek tekinthető, 1965. évtől 2011-ig terjedő időszakra, megadva az éves szélsőséges esemény dátumát is.

A Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,3 fkm), 1876-2011. évek közötti évenkénti legkisebb vízszint adatok vizsgálata szerint, az adatsor 1965-től tekinthető homogénnek, ezért 1965-2011 évek közötti kisvízszintekre illesztettünk Normál, Gamma és Gumbel eloszlásfüggvényeket. A  $T = 10\,000$  ( $F(x_{10.000}) = 1 \cdot 10^{-4}$  [1/év]) és a  $T = 20\,000$  ( $F(x_{20.000}) = 5 \cdot 10^{-5}$  [1/év]) évenként visszatérő kisvízszinteket az eloszlásfüggvények inverzének segítségével határoztuk meg az alábbi eredményekkel.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	46/128



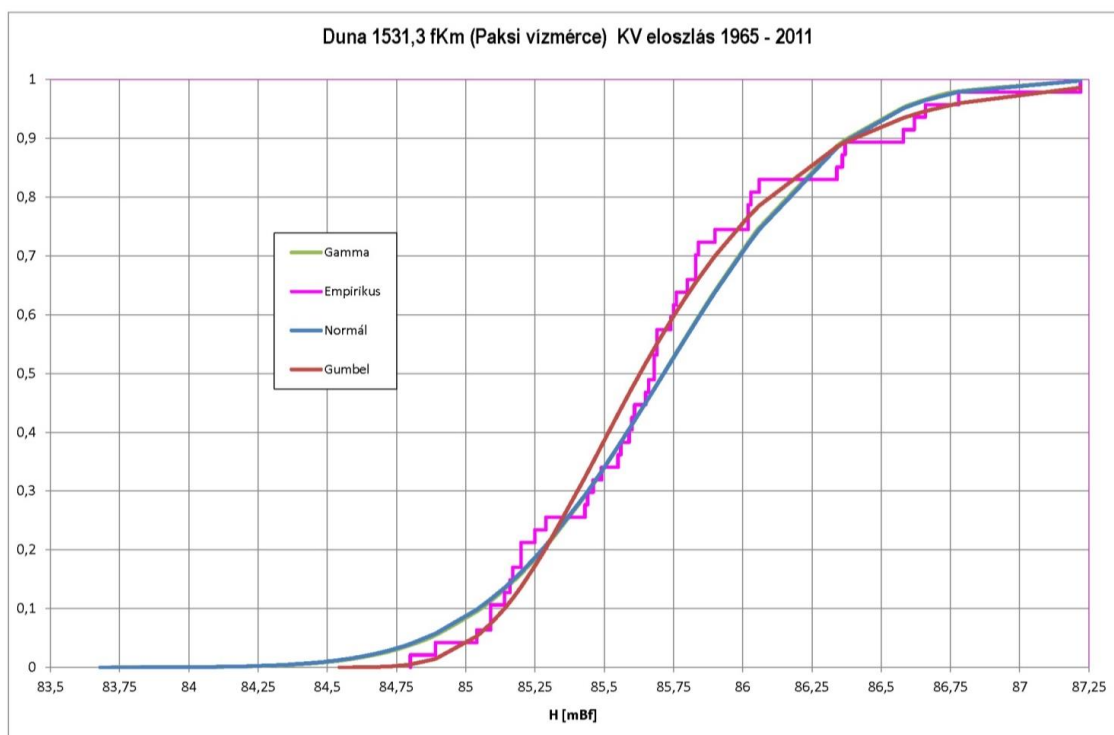
### Mértékadó kisvízszintek számítása:

A 10 000 és 20 000 évente visszatérő kisvízszintek ( $Z^{KV_T}$ ) alakulása a Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,1 fkm), a homogénnek tekinthető 1965-2011. időszak évenkénti legkisebb vízszintjei ( $Z_{KV}$ ) figyelembe vételével:

Visszatérési idő: <b>T [év]</b>	Normál eloszlás		Gamma eloszlás		Gumbel eloszlás	
	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő	10 000 évente visszatérő	20 000 évente visszatérő
Valószínűség: <b>p [1/év]</b>	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]	$1 \cdot 10^{-4}$ [1/év]	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/év]
<b>Mértékadó kisvízszintek, <math>Z^{KV_T}</math> [mBf]</b>						
Vizsgált adatok: <b><math>Z_{KV}</math> 1965-2011 [mBf]</b>	83,77 [mBf]	83,68 [mBf]	83,81 [mBf]	83,72 [mBf]	84,57 [mBf]	<b>84,54 [mBf]</b>
Illeszkedés mértéke: <b><math>Im</math> [%]</b>	87,1[%]		87,3 [%]		<b>90,9 [%]</b>	

5.7-7. táblázat Mértékadó kisvízszintek számítása, folytonos eloszlásfüggvények illesztésével

Az éves kisvízszintek (KV) empirikus és illesztett eloszlásfüggvényeit az alábbi ábra szemlélteti:



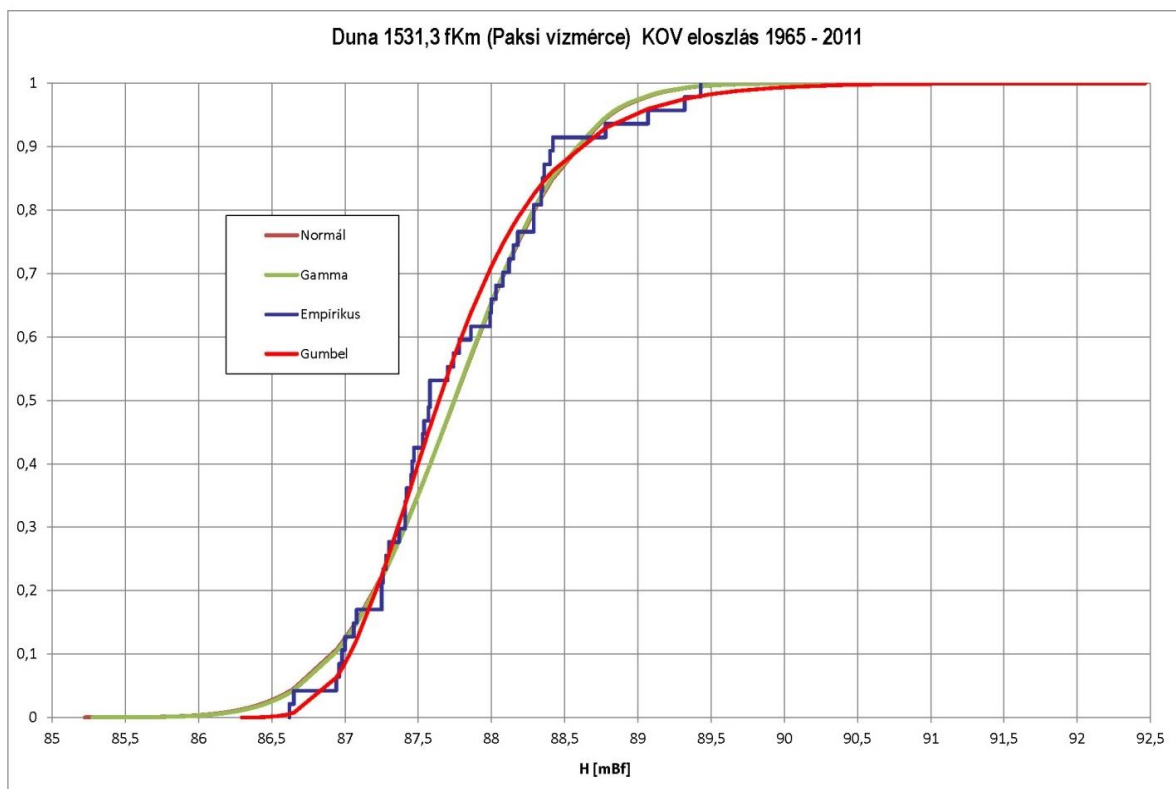
5.7-3. ábra Kisvízszintek (KV) eloszlásfüggvénye (1965-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce)

Fenti ábrán jól látható, hogy a rendezett kisvízi adatsorra illesztett Gumbel eloszlásfüggvény illeszkedik legjobban az empirikus (lépcsős) függvényhez. A Gumbel eloszlásfüggvények illeszkedésének mértéke, a mértékadó kisvízszintek tartományában lényegesen jobb, mint az esetünkben speciálisan együtt haladó Normál és Gamma eloszlásfüggvényeké, amelyek elfogadása irreálisan kicsi mértékadó kisvízszintet eredményezhetne.

#### 5.7.2.4 Középvízszintek statisztikai vizsgálata - Paksi vízmérce - Duna 1531,1 fkm

Az éves középvízszintek (KÖV) empirikus és illesztett eloszlásfüggvényeit az alábbi ábra szemlélteti – a legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény a Gumbel, az illeszkedés mértéke 91,0 [%]:

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	47/128



5.7-4. ábra Középvízszintek (KÖV) eloszlásfüggvénye (1965-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce)

Fenti ábrán jól látható, hogy a rendezett éves középvízi adatsorra illesztett Gumbel eloszlásfüggvény illeszkedik legjobban az empirikus (lépcsős) függvényhez. A Gumbel eloszlásfüggvények illeszkedésének mértéke, a mértékadó középvízszintek alacsony, közepes és nagyvízszintű tartományában egyaránt lényegesen jobb, mint az esetünkben speciálisan együtt haladó Normál és Gamma eloszlásfüggvényeké.

#### 5.7.2.5 Kis-, közép- és nagyvízszintek eloszlásfüggvényeinek illesztése összefoglalóan – Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce)

Eloszlásfüggvények illesztése – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) vízmérce „0” pontja: 85,38 [mBf]						
Kis (KV),- Közép (KÖV) és Nagyvízszintek (NV, JNV):	Normál		Gamma		Gumbel	
	p = 0,01% (10 000 évente)	p = 0,005% (20 000 évente)	p = 0,01% (10 000 évente)	p = 0,005% (20 000 évente)	p = 0,01% (10 000 évente)	p = 0,005% (20 000 évente)
KV <sub>1965-2011</sub>	83,77	83,68	83,81	83,72	<b>84,57</b>	<b>84,54</b>
KÖV <sub>1965-2011</sub> (-p)	85,33	85,22	85,38	85,28	<b>86,33</b>	<b>86,29</b>
KÖV <sub>1965-2011</sub> (+p)	90,16	90,27	90,15	90,26	<b>92,12</b>	<b>92,47</b>
NV <sub>1968-2011</sub>	<b>96,23</b>	<b>96,44</b>	96,24	96,46	100,01	100,69
JNV <sub>1968-2011</sub>	<b>96,13</b>	<b>96,34</b>	96,15	96,36	99,79	100,45

5.7-8. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (Paksi vízmérce)



### 5.7.2.6 Kis-, közép és nagyvízszintek statisztikai vizsgálata a Dunaújvárosi, Dunaföldvári és Dombori vízmérce szelvényekben

#### 5.7.2.6.1 Dunaújvárosi vízmérce - Duna 1580,6 fkm

A homogénnek tekinthető éves kis-, közép- és nagyvízi adatsorra illetett eloszlásfüggvények illeszkedési paraméterei:

Dunaújvárosi vízmérce: Duna 1580,6 fkm	KV		KÖV		NV		JNV	
	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége
Adatsor eleje, vége:	1967	2011	1967	2011	1945	2011	1956	2011
Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény:	Gumbel		Gamma		Normál		Gumbel	
Illeszkedés mértéke: <b>Im</b> [%]	91,7 [%]		92,4 [%]		93,2		93,1 [%]	

5.7-9. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (D.-újvárosi vízmérce)

A rendezett adatsorokat és az arra illesztett eloszlásfüggvényeket az 5\_vizmerceadatok.doc tartalmazza.

#### 5.7.2.6.2 Dunaföldvári vízmérce - Duna 1560,6 fkm

A homogénnek tekinthető éves kis-, közép- és nagyvízi adatsorra illetett eloszlásfüggvények illeszkedési paraméterei:

Dunaföldvári vízmérce: Duna 1560,6 fkm	KV		KÖV		NV		JNV	
	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége
Adatsor eleje, vége:	1982	2011	1982	2011	1953	2011	1953	2011
Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény:	Normál		Normál		Gamma		Gamma	
Illeszkedés mértéke: <b>Im</b> [%]	88,1 [%]		90,8 [%]		92,3 [%]		93,2 [%]	

5.7-10. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (Dunaföldvári vízmérce)

A rendezett adatsorokat és az arra illesztett eloszlásfüggvényeket az 5\_vizmerceadatok.doc tartalmazza.

#### 5.7.2.6.3 Dombori vízmérce - Duna 1506,8 fkm

A homogénnek tekinthető éves kis-, közép- és nagyvízi adatsorra illetett eloszlásfüggvények illeszkedési paraméterei:

Dombori vízmérce: Duna 1506,8 fkm	KV		KÖV		NV		JNV	
	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége	vizsgálat kezdete	vizsgálat vége
Adatsor eleje, vége:	1964	2011	1964	2011	1964	2011	1964	2011
Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény:	Normál		Gamma		Normál		Normál	
Illeszkedés mértéke: <b>Im</b> [%]	91,0 [%]		93,7 [%]		90,7		92,8 [%]	

5.7-11. táblázat Eloszlásfüggvények illesztése, a 20 000 évente visszatérő, jellemző vízszintek számítása (Dombori vízmérce)

A rendezett adatsorokat és az arra illesztett eloszlásfüggvényeket az 5\_vizmerceadatok.doc tartalmazza.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	49/128

### 5.7.3 A KÜLÖNBÖZŐ ÁRHULLÁMOK GYAKORISÁGA ÉS TARTÓSSÁGA

Az eddig észlelt legmagasabb jeges vízállás a paksi vízmércén (Duna 1531,3 fkm) mérve (1 006 cm) **95,44 mBf** (1876. február 27.) volt. A legnagyobb jeges vízszintnek az Erőmű 1526,5 fkm (Hidegvíz-csatorna Dunai torkolata) szelvényre (öblözeti vízmérce) átszámított tetőzés szintje **95,06 mBf**.

A legmagasabb jégmentes vízállás (1965. június 19.) ugyanazon (Duna 1531,3 fkm) szelvényben (872 cm) **94,10 mBf** szinten tetőzött, amely az Erőmű öblözeti vízmércéjén: **93,72 mBf**.

#### 5.7.3.1 Árvízvédelmi jellemzők az Erőmű környezetében

Magas Duna vízállásnak minősül az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. vízkivétele szempontjából a vízkivételi mű öblözetének (Duna 1526,5 fkm) vízmércéjén mért 90,00 mBf. feletti vízszint.

A vízszint további emelkedésekor a területileg illetékes vízügyi kezelő, a Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDT-VIZIG) határozza meg a területi szintű árvízvédelmi fokozatot (területi szintű árvízvédelem: az árhullám területi kiterjedtségét és tartósságát figyelembe vevő védekezés), amiről értesíti az Erőművet (annak Külső Technológiai Osztályát: KTO).

Az egyes területi árvízvédelmi fokozatok az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. részére nem írnak elő feladatokat. A töltések és egyéb védművek (pl. zsilipek) állapotának figyelését és a szükséges beavatkozásokat KDT-VIZIG végzi.

A magas vízállás függvényében az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. csak olyan üzemviteli feladatokat végez, melyekkel elkerülhető a hideg- vagy melegvíz csatornával hidraulikus kapcsolatban lévő rendszerek (vízkivételi mű, nehézkikötő, É-i övcsatorna, zagyártározó medencék, stb.) elárasztása.

A paksi vízmérce (Duna 1531,3 fkm, a vízmérce "0" pontjának magassága 85,38 mBf) alapján az egyes területi árvízvédelmi fokozatok életbe léptetésének értékei:

Védelmi fokozatok	Vízállás és vízszint a paksi vízmércén		Vízszint az öblözeti vízmércén*
I. fokozat	650 cm	91,88 mBf	91,50 mBf
II. fokozat	800 cm	93,38 mBf	93,00 mBf
III. fokozat	900 cm	94,38 mBf	94,00 mBf

\* Az öblözeti vízmérce (Duna 1526,5 fkm) vízmérce "0" pontjának magassága 85,00 mBf.

5.7-12. táblázat Árvízvédelmi fokozatok jellemző vízszintjei a Paksi- és Erőművi vízmércén

Az egyes fokozatok nem automatikusan, csak elrendelés esetén lépnek életbe. A védelmi fokozatok elrendelése és visszavonása a megfelelő vízszint elérésekor a KDT-VIZIG igazgatójának feladata és hatásköre.

Árvízvédekezési szempontból fontos adatok:

- Mértékadó árvízszint a MVM Paksi Atomerőmű Zrt. térségében (Duna 1527,7 fkm):  $MÁSZ_{2010\_től} = 94,09$  mBf (lineáris interpolációval számítható az alábbi rendelet alapján).

„A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló hatályos, 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendelet szerint

(Korábban „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 15/1997. (IX. 19.) KHVM rendelet szerint)

az interpolációval számítható, a Duna 1527,7 fkm szelvényében  $MÁSZ_{1997-2010} = 95,31$  mBf értéke volt érvényben – a jeges nagyvizek mértékadó hatásának megszűnésével indokolták, ugyanis a Dunán Esztergom alatt a jégbeállások hatására kialakuló jeges burkológörbe volt korábban mértékadó, Esztergom felett az 1%-os jégbeállással nem befolyásolt vízszint.)

- Mértékadó árvízszint a Paksi vízmérce szelvényében (Duna 1531,3 fkm):  $MÁSZ_{2010\_től} = 94,33$  mBf.

(Korábban „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 15/1997. (IX. 19.) KHVM rendelet szerint,

jégjelenséggel befolyásolt árvízi eseményekre meghatározott,  $MÁSZ_{1997-2010} = 95,37$  mBf értéke volt érvényben.)

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	50/128

- Töltéskorona szint a MVM Paksi Atomerőmű Zrt. térségében (jobb part): **96,30 - 96,60 mBf.**
- Töltéskorona szint a MVM Paksi Atomerőmű Zrt. térségében (bal part): **95,80 - 95,90 mBf.**
- Az Erőmű terepszintje: **97,15 - 97,20 mBf.**

Az árvízvédelmi készülség egyes fokozatait és az ezeknek megfelelő intézkedések végrehajtását KDT-VIZIG akkor rendeli el, ha az áradó víz az adott fokozati vízállást elérte vagy meghaladta, és további áradás várható. Jeges árvíz veszélye, vagy ha a védművek állapota ezt indokolja, az adott vízállástól függetlenül magasabb készülségi fokozat is elrendelhető.

A készülség egyes fokozatait akkor kell megszüntetni, ha az apadó víz a fokozati vízállás alá csökkent, és újabb áradás nem várható, illetőleg a készülség elrendelésének oka megszűnt. Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. területén az árvízvédelmi feladatokat a KDT-VIZIG látja el az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. megbízása alapján.

A megbízás az I. fokú árvízvédelmi készülség elrendelésétől az I. fokú árvízvédelmi készülség megszüntetéséig tart.

### 5.7.3.2 Árhullámstatisztikai vizsgálatok

A Dunán a Paksi vízmérce szelvényében (Duna 1531,3 fkm), 1876. év óta, 2011. év végéig levonuló árhullámok gyakoriság és tartósság elemzését, a fent részletezett árvízvédelmi fokozatok (I., II. és III.) vízszintjeire vonatkozóan végeztük el.

A fenti árvízvédelmi fokozatok szintjeinek túllépése tekintetében megvizsgáltuk az 1876 óta, a Paksi vízmérce szelvényben (1531,3 fkm) levonult Dunai árhullámok alábbi jellemzőit:

- **1) Árhullámok túllépésének mértéke**, az egyes árvédelmi fokozati vízszintek, mint felvett küszöbszintek meghaladása tekintetében,
- **2) Árhullámok túllépésének időtartama, tartóssága**, az árvédelmi fokozati vízszintek, mint felvett küszöbszintek meghaladása vonatkozásában,
- **3) Árhullámok túllépésének évenkénti száma, gyakorisága** az árvédelmi fokozati vízszintek, mint felvett küszöbszintek meghaladása tekintetében.

A Duna árhullámainak, a Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,3 fkm) vizsgált küszöbszint feletti túllépéseinek mértékét, a teljes észlelési időszak (1876 – 2011 között, azaz 136 év) napi adatai alapján vizsgáltuk, az alábbiakban összegzett eredménnyel.

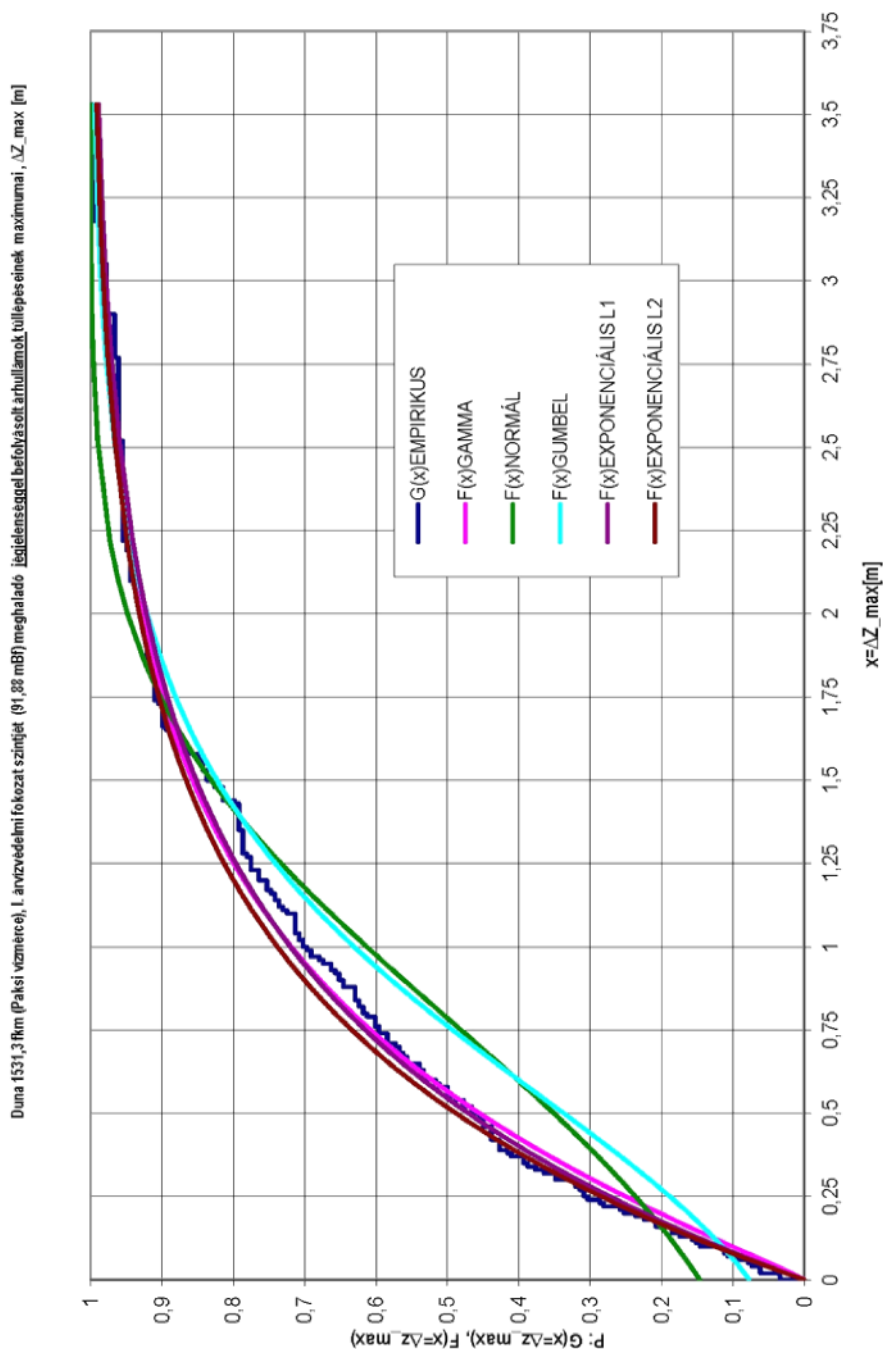
#### 5.7.3.2.1 Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok statisztikai vizsgálata (Duna 1531,3 fkm)

1) Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési mértékének vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce:

Védelmi fokozatok	Védelmi fokozatok vízszintje	Túllépő árhullámok száma	Maximális túllépés mértéke	Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény	Illeszkedés mértéke lm [%]
I. fokozat	91,88 mBf	178 db	3,56 m (95,44 mBf)	Exponenciális	95%
II. fokozat	93,38 mBf	33 db	2,03 m	Gamma	85%
III. fokozat	94,38 mBf	8 db	1,03 m	Az adatszám túl kicsi. (Normál)	(85%)

5.7-13. táblázat Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési mértékének vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	51/128



5.7-5. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégjelenségekkel befolyásolt árhullámok maximális túllépéseinek eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmércé)

A 20 000 és 10 000 évente visszatérő nagyvízszintek értéke az illesztett eloszlásfüggvény alapján:

- $Z^I_{10\,000\text{ évente}} \approx 99,12\text{ mBf.}; Z^{II}_{10\,000\text{ évente}} \approx 99,14\text{ mBf.}; Z^{III}_{10\,000\text{ évente}} \approx 96,00\text{ mBf.}$
- $Z^I_{20\,000\text{ évente}} \approx 99,66\text{ mBf.}; Z^{II}_{20\,000\text{ évente}} \approx 99,60\text{ mBf.}; Z^{III}_{20\,000\text{ évente}} \approx 96,05\text{ mBf.}$

A  $Z^I$  jelentése az, hogy az I. árvízvédelmi fokozat (91,88 mBf) szintjét meghaladó túllépések maximumaira illesztett eloszlásfüggvény alapján mekkora lesz a várható 10 000 és 20 000 évente visszatérő vízszintérték. Az I. fokozat szintjét nagyobb számú árhullám lépte túl, mint a magasabban lévő II. és III. fokozat szintjét, így az eloszlásfüggvény illesztésével meghatározható pontosság is feltehetően az I. fokozat szintjének túllépésénél meghatározott  $Z = Z^I$  szint esetén pontosabb.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	52/128

Valójában a 10 000 és 20 000 évente visszatérő, várható árhullám-csúcsot több szint (I., II. és III. árvízvédelmi fokozattal megegyező szintek) alapulvételével határozzuk meg. A III. fokozatot túllépő árhullámok száma olyan kicsi, hogy az arra illeszthető eloszlásfüggvény biztosan nem ad megbízható eredményt. Az I. és II. fokozati szint túllépéseiből meghatározott vízszint értékek közelítőleg megegyeznek ( $Z_{20\,000\text{ évente}} \approx 99,66\text{ mBf.}; Z_{10\,000\text{ évente}} \approx 99,60\text{ mBf.}$ ) a jégjelenséggel befolyásolt esetben. Jégjelenséggel nem befolyásolt esetben az I. fokozati szint túllépése fogadható el pontosabbnak, mert a II. fokozat túllépésének adatszámja is elég kicsi.

A tíz (10) legnagyobb szinten tetőző, jégjelenséggel befolyásolt árhullám tetőzési szintjének bemutatása 1876-2011. évek között a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében:

Túllépési, tetőzési szintek (10 legjelentősebb árhullám) [mBf]	Tetőzési szintek dátuma [nap]
95,41	1876.02.27.
95,06	1941.02.19.
95,02	1956.03.12.
94,93	1940.03.21.
94,78	1893.02.25.
94,78	1945.02.12.
94,65	1891.03.14.
94,40	1900.01.27.
94,10	1965.06.19.
94,07	1909.02.12.

5.7-14. táblázat A 10 legnagyobb tetőzési szintű, jégjelenséggel befolyásolt árhullám, tetőzési szintje és időpontja (1876-2011) - Paksi vízmérce

2) *Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce:*

Védelmi fokozatok	Védelmi fokozatok vízszintje	Maximális túllépés mértéke (a jelentősebbek ideje) $\Delta T$ [nap]	Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény	Illeszkedés mértéke $Im$ [%]
I. fokozat	91,88 mBf	Jelentősebbek a 178 árhullámból: <b>59 nap (1965.05.15. – 1965.07.12.)</b> 49 nap (1876.02.24. – 1876.04.12.) 36 nap (1926.06.20. – 1926.07.25.) 27 nap (1907.04.30. – 1907.05.26.) 27 nap (1940.03.11. – 1940.04.06.)	Gamma, Exponenciális	88%
II. fokozat	93,38 mBf	Jelentősebbek a 33 árhullámból: 27 nap (1876.02.26. – 1987.08.13.) <b>16 nap (1965.06.14. - 1965.06.29.)</b> 7 nap (2006.04.03. – 2006.04.09.) 7 nap (1956.03.08. – 1956.03.14.) 7 nap (1883.01.07. – 1883.01.13.)	Exponenciális	81%
III. fokozat	94,38 mBf	Összes eset (8): 4 nap (1956.03.10. – 1956.03.13.) 3 nap (1893.02.25. – 1983.02.27.) 1 nap (1945.02.12.) 1 nap (1941.02.19.) 1 nap (1940.03.21.) 1 nap (1900.01.27.) 1 nap (1891.03.14.) 1 nap (1876.02.27.)	Az adatszám túl kicsi.	-

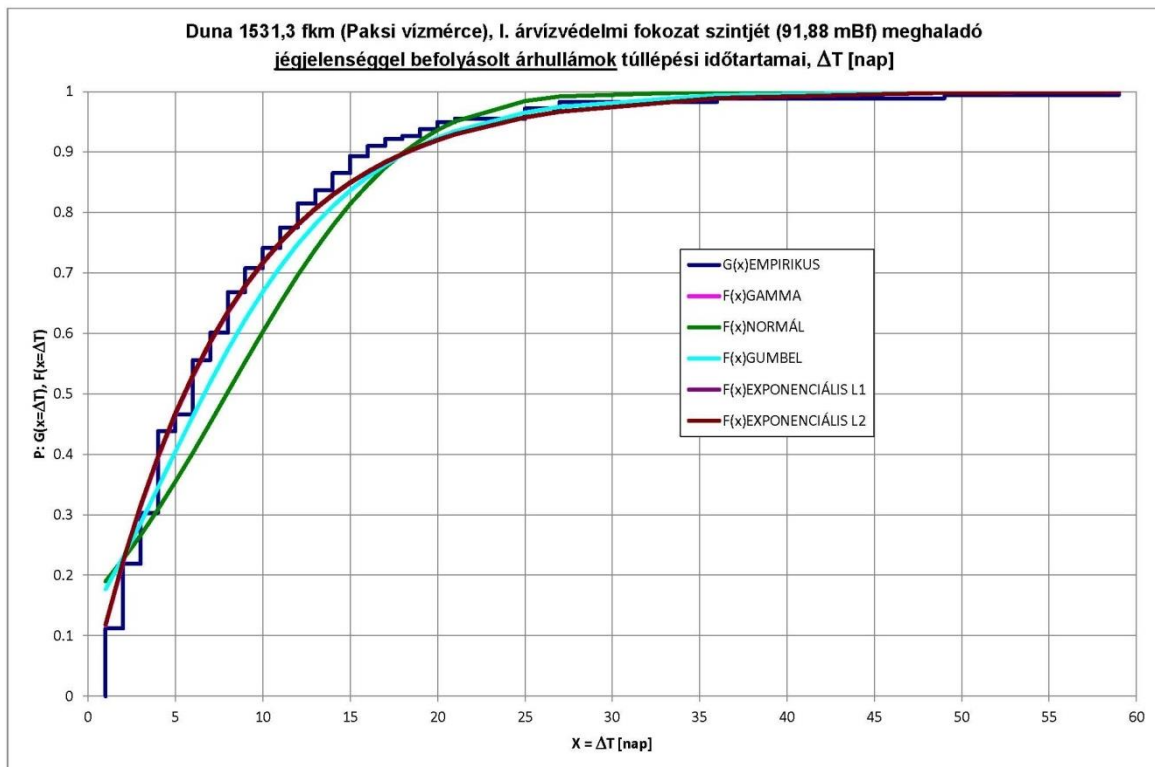
5.7-15. táblázat *Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce*

*Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce, eloszlásfüggvények illesztésével:*

Védelmi fokozatok	Védelmi fokozatok vízszintje	Túllépő árhullámok száma	Maximális túllépés mértéke	Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény	Illeszkedés mértéke $Im$ [%]
I. fokozat	91,88 mBf	178 db	3,56 m (95,44 mBf)	Exponenciális	88%
II. fokozat	93,38 mBf	33 db	2,03 m	Exponenciális	81%
III. fokozat	94,38 mBf	8 db	1,03 m	Az adatszám túl kicsi. (Gumbel)	(58%)

5.7-16. táblázat *Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce, eloszlásfüggvények illesztésével*

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	54/128



5.7-6. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépési időtartamainak eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce)

A 20 000 és 10 000 évente visszatérő nagyvízszintek értéke az illetett eloszlásfüggvény alapján:

- $\Delta T^I_{10\,000\text{ évente}} \approx 73$  [nap];  $\Delta T^{II}_{10\,000\text{ évente}} \approx 46$  [nap];  $\Delta T^{III}_{10\,000\text{ évente}} \approx 10$  [nap] (9,6).
- $\Delta T^I_{20\,000\text{ évente}} \approx 79$  [nap];  $\Delta T^{II}_{20\,000\text{ évente}} \approx 50$  [nap];  $\Delta T^{III}_{20\,000\text{ évente}} \approx 10$  [nap] (10,3).

1) Jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépés számának évenkénti vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce

Küszöbszint az I. árvízvédelmi fokozat

Az I. fokozat (91,88 mBf) túllépésének évenkénti száma $T_{sz}$ [db/év]	Évek száma, a túllépések éven belüli száma szerint $\dot{E}_{sz}$ [év]	Túllépő árhullámok száma $\dot{A}_{sz} = T_{sz} \times \dot{E}_{sz}$ $\dot{A}_{sz}$ [db]	Évenkénti túllépések gyakorisága $\rho = \dot{E}_{sz} / \sum (\dot{E}_{sz})$ [%]
0	51	0	38%
1 (évente egy túllépés)	37 (évben történt)	37	27%
2	27	54	20%
3	8	24	6%
4	7	28	5%
5	2	10	1%
6	3	18	2%
7	1	7	1%
Összesen:	$n = \sum (\dot{E}_{sz}) = 136$ év	$N = \sum (\dot{A}_{sz}) = 178$ db	100%

Megjegyzés: Fenti táblázatban n: a vizsgált évek száma, N: a küszöbszintet túllépő árhullámok száma.

5.7-17. táblázat Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce

Küszöbszint az II. árvízvédelmi fokozat

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	55/128



Az II. fokozat (93,38 mBf) túllépésének évenkénti száma $T_{sz}$ [db/év]	Évek száma, a túllépések éven belüli száma szerint $\dot{E}_{sz}$ [év]	Túllépő árhullámok száma $\dot{A}_{sz} = T_{sz} \times \dot{E}_{sz}$ $\dot{A}_{sz}$ [db]	Évenkénti túllépések gyakorisága $p = \dot{E}_{sz} / \sum (\dot{E}_{sz})$ [%]
0	109	0	80%
1 (évente egy túllépés)	21 (évben történt)	21	15%
2	6	12	5%
Összesen:	$n = \sum (\dot{E}_{sz}) = 136$ év	$N = \sum (\dot{A}_{sz}) = 33$ db	100%

5.7-18. táblázat A II. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.  $n$ : a vizsgált évek száma,  $N$ : a küszöbszintet túllépő árhullámok száma.

Küszöbszint az III. árvízvédelmi fokozat

Az III. fokozat (94,38 mBf) túllépésének évenkénti száma $T_{sz}$ [db/év]	Évek száma, a túllépések éven belüli száma szerint $\dot{E}_{sz}$ [év]	Túllépő árhullámok száma $\dot{A}_{sz} = T_{sz} \times \dot{E}_{sz}$ $\dot{A}_{sz}$ [db]	Évenkénti túllépések gyakorisága $p = \dot{E}_{sz} / \sum (\dot{E}_{sz})$ [%]
0	128	0	94%
1 (évente egy túllépés)	8 (évben történt)	8	6%
Összesen:	$n = \sum (\dot{E}_{sz}) = 136$ év	$N = \sum (\dot{A}_{sz}) = 178$ db	100%

5.7-19. táblázat A III. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce.  $n$ : a vizsgált évek száma,  $N$ : a küszöbszintet túllépő árhullámok száma.

### 5.7.3.2.2 Jégmentes árhullámok statisztikai vizsgálata (Duna 1531,3 fkm)

1) Jégmentes árhullámok túllépési mértékének vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce:

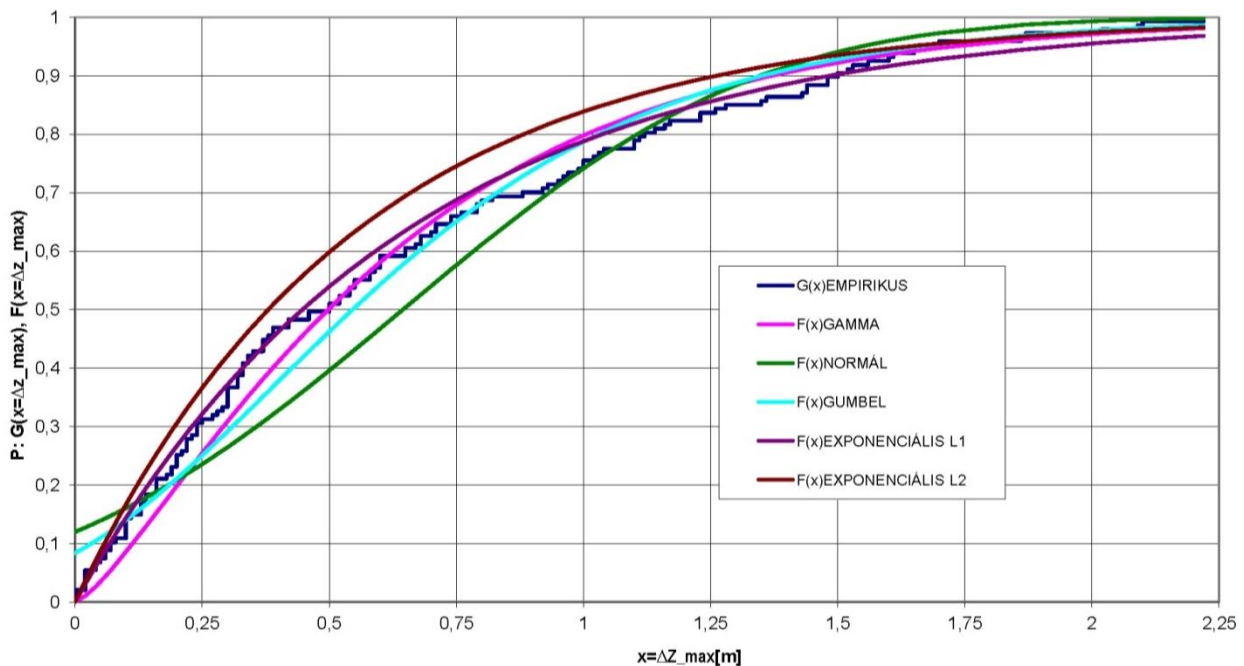
Védelmi fokozatok	Védelmi fokozatok vízszintje	Túllépő árhullámok száma	Maximális túllépés mértéke	Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény	Illeszkedés mértéke $I_m$ [%]
I. fokozat	91,88 mBf	147 db	2,22 m (94,10 mBf)	Exponenciális	95%
II. fokozat	93,38 mBf	15 db	0,72 m	Exponenciális	89%
III. fokozat	94,38 mBf	0 db	-	-	-

5.7-20. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépési mértékének vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	56/128



Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce), I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó jégmentes árhullámok túllépéseinek maximumai,  $\Delta Z_{max}$  [m]



5.7-7. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégmentes árhullámok maximális túllépéseinek eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce)

A 20 000 és 10 000 évente visszatérő nagyvízszintek értéke az illesztett eloszlásfüggvény alapján:

- $Z^I_{10\,000\text{ évente}} \approx 97,82$  mBf.;  $Z^{II}_{10\,000\text{ évente}} \approx 95,83$  mBf.
- $Z^I_{20\,000\text{ évente}} \approx 98,27$  mBf.;  $Z^{II}_{20\,000\text{ évente}} \approx 96,01$  mBf.

A jégjelenséggel befolyásolt ( $T = 10\,000$  és  $20\,000$  éves visszatérési idejű) árhullámcsúcsok azért nagyobbak, mint a jégjelenséggel nem befolyásoltak, mert még mindig jelentős hatást képviselnek, a teljes (1876-2011) statisztikai adatsorban, az 1965. előtti igen jelentős jeges nagyvízszintek.

A tíz (10) legnagyobb szinten tetőző, jégmentes befolyásolt árhullám tetőzési szintjének bemutatása 1876-2011. évek között a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében:

Túllépési, tetőzési szintek (10 legjelentősebb árhullám) [mBf]	Tetőzési szintek dátuma [nap]
94,10	1965.06.19.
93,98	2006.04.60
93,97	2002.08.20.
93,90	1897.08.11.
93,75	1876.03.11.
93,74	2010.06.09.
93,58	1883.01.09.
93,54	1954.07.20.
93,53	1895.04.07.
93,49	1975.07.10.

5.7-21. táblázat A 10 legnagyobb tetőzési szintű, jégjelenséggel nem befolyásolt árhullám, tetőzési szintje és időpontja (1876-2011) - Paksi vízmérce

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	57/128

2) Jégmentes árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce:

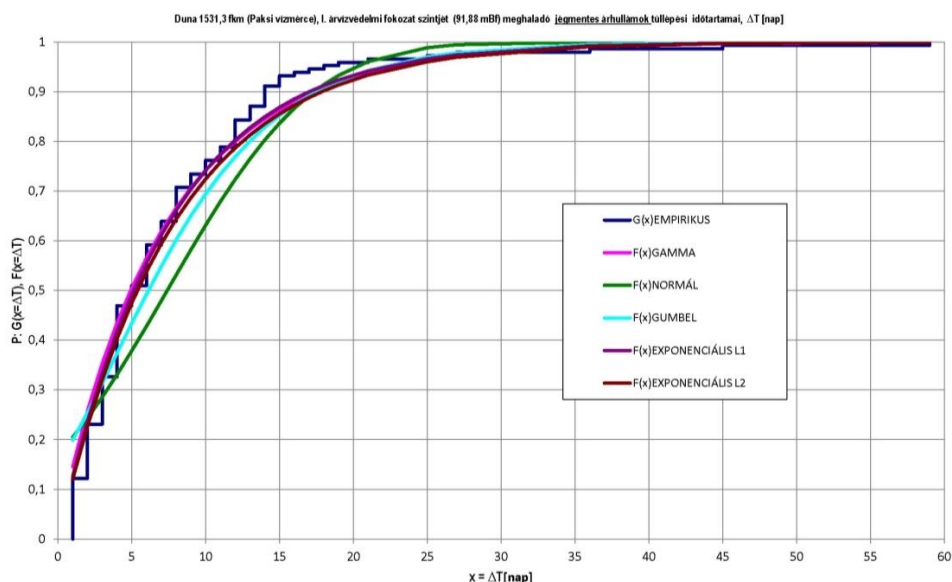
Védelmi fokozatok	Védelmi fokozatok vízszintje	Maximális túllépés mértéke (a jelentősebbek ideje) $\Delta T$ [nap]	Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény	Illeszkedés mértéke $I_m$ [%]
I. fokozat	91,88 mBf	Jelentősebbek a 147 árhullámból: <b>59 nap (1965.05.15. – 1965.07.12.)</b> 45 nap (1876.02.28. – 1876.04.12.) 36 nap (1926.06.20. – 1926.07.25.) 27 nap (1907.04.30. – 1907.05.26.) 25 nap (1892.07.04. – 1940.04.06.)	Gamma, Exponenciális	88%
II. fokozat	93,38 mBf	Jelentősebbek a 33 árhullámból: 25 nap (1876.02.28. – 1987.03.23.) <b>16 nap (1965.06.14. - 1965.06.29.)</b> 7 nap (2006.04.03. – 2006.04.09.) 6 nap (1897.08.08. – 1897.08.13.) 5 nap (1954.07.19. – 1954.07.23.)	Exponenciális	81%
III. fokozat	94,38 mBf	<u>Nem volt ilyen eset.</u>	-	-

5.7-22. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce

Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce, eloszlásfüggvények illesztésével:

Védelmi fokozatok	Védelmi fokozatok vízszintje	Túllépő árhullámok száma	Maximális túllépés mértéke	Legjobban illeszkedő eloszlásfüggvény	Illeszkedés mértéke $I_m$ [%]
I. fokozat	91,88 mBf	147 db	2,22 m (94,10 mBf)	Exponenciális	88%
II. fokozat	93,38 mBf	15 db	0,72 m	Exponenciális	80%
III. fokozat	94,38 mBf	0 db	-	-	-

5.7-23. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépési időtartamának vizsgálata (1876-2011) eloszlásfüggvények illesztésével (Paksi vízmérce)



5.7-8. ábra Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét (91,88 mBf) meghaladó, jégmentes árhullámok túllépési időtartamainak eloszlásfüggvénye (1876-2011) – Duna 1531,3 fkm

A 20 000 és 10 000 évente visszatérő nagyvízszintek értéke az illesztett eloszlásfüggvény alapján:

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	58/128

- $\Delta T^I_{10\,000\text{ évente}} \approx 71$  [nap];  $\Delta T^{II}_{10\,000\text{ évente}} \approx 59$  [nap].
- $\Delta T^I_{20\,000\text{ évente}} \approx 76$  [nap];  $\Delta T^{II}_{20\,000\text{ évente}} \approx 63$  [nap].

3) *Jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépés számának évenkénti vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce*

3.1) Küszöbszint az I. árvízvédelmi fokozat

Az I. fokozat (91,88 mBf) túllépésének évenkénti száma $T_{sz}$ [db/év]	Évek száma, a túllépések éven belüli száma szerint $\acute{E}_{sz}$ [év]	Túllépő árhullámok száma $\acute{A}_{sz} = T_{sz} \times \acute{E}_{sz}$ $\acute{A}_{sz}$ [db]	Évenkénti túllépések gyakorisága $p = \acute{E}_{sz} / \sum (\acute{E}_{sz})$ [%]
0	56	0	41%
1 (évente egy túllépés)	37 (évben történt)	37	27%
2	28	56	21%
3	8	24	6%
4	6	24	4%
5	0	0	0%
6	1	6	1%
Összesen:	$n = \sum (\acute{E}_{sz}) = 136$ év	$N = \sum (\acute{A}_{sz}) = 147$ db	100%

Megjegyzés: Fenti táblázatban n: a vizsgált évek száma, N: a küszöbszintet túllépő árhullámok száma.

5.7-24. táblázat Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce

3.2) Küszöbszint az II. árvízvédelmi fokozat

Az II. fokozat (93,38 mBf) túllépésének évenkénti száma $T_{sz}$ [db/év]	Évek száma, a túllépések éven belüli száma szerint $\acute{E}_{sz}$ [év]	Túllépő árhullámok száma $\acute{A}_{sz} = T_{sz} \times \acute{E}_{sz}$ $\acute{A}_{sz}$ [db]	Évenkénti túllépések gyakorisága $p = \acute{E}_{sz} / \sum (\acute{E}_{sz})$ [%]
0	121	0	89%
1 (évente egy túllépés)	15	15	11%
Összesen:	$n = \sum (\acute{E}_{sz}) = 136$ év	$N = \sum (\acute{A}_{sz}) = 15$ db	100%

Megjegyzés: Fenti táblázatban n: a vizsgált évek száma, N: a küszöbszintet túllépő árhullámok száma.

5.7-25. táblázat A II. árvízvédelmi fokozat szintjét meghaladó, jégjelenséggel nem befolyásolt árhullámok túllépés számának vizsgálata (1876-2011) - Paksi vízmérce

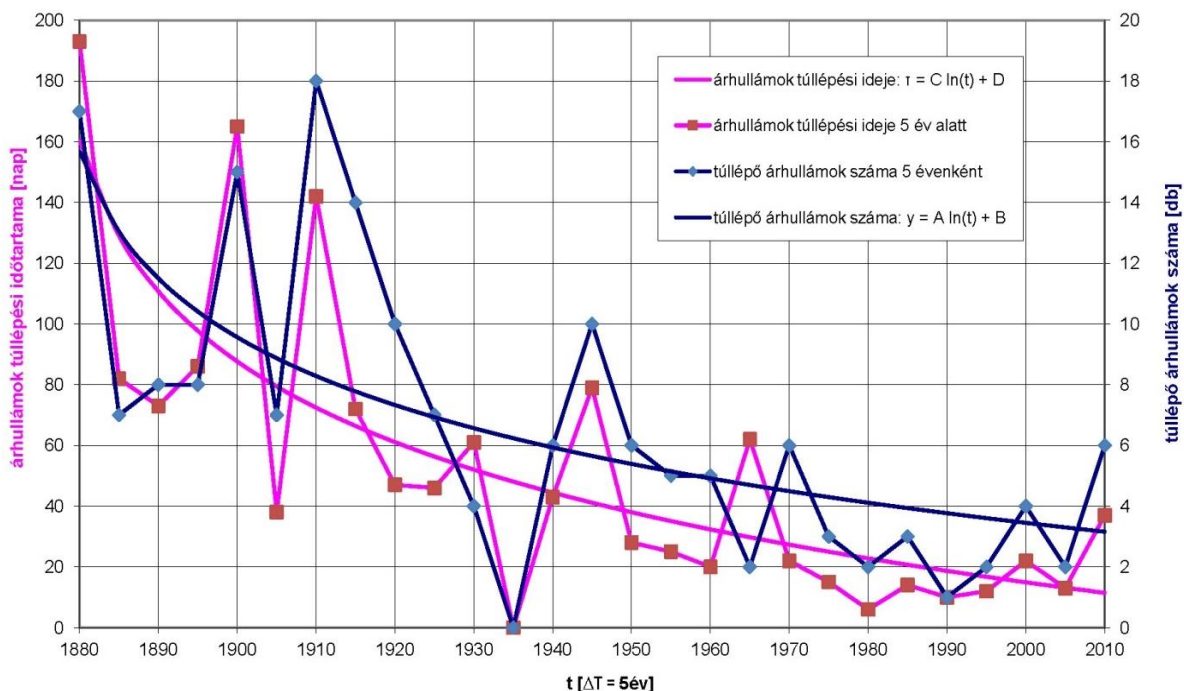
**5.7.3.2.3 Az I. árvízvédelmi fokozat szintjét túllépő árhullámok számának és túllépési időtartamának időbeli alakulása**

Az 1876. és 2011. évek közötti, I. árvízvédelmi fokozati szintet (91,88 mBf, a Duna Paksi vízmérce szelvényében) meghaladó árhullámok számának és túllépés összegzett időtartamainak, időbeli vizsgálata érdekében, az évenkénti vizsgálati időlépcső helyett kerestünk olyan nagyobb időlépcsőt, amelynél a szórás minimális. Az öt (5) éves időlépcső bizonyult optimálisnak.

Az alábbi ábrán szemléltetjük a Duna 1531,3 fkm szelvényében 1876-2011. évek között levonult árhullámok, öt (5) évenkénti, összegzett túllépési időtartamainak és túllépés számainak időbeli alakulását, az I. árvízvédelmi fokozat (91,88 mBf) vízszintjét meghaladó árhullámokra vonatkozóan. Mindkét jellemző logaritmusos csökkenést mutat. Ez a tendencia, a jövőben várható Dunai árvízvédekezések, árvízvédelmi készülségek száma, időtartama és így költsége szempontjából egyaránt kedvezőnek mondható, a Paksi Atomerőmű jelenlegi és tervezett bővítéssel érintett területére vonatkozóan. A feltárt folyamatnak azonban, negatív hatása van az árvízvédelmi töltések élettartama soráni védelmi biztonságára, ugyanis a töltések hosszabb időszakokra maradnak nedvesítés nélkül, ami kiszáradáshoz, üregesedéshez, roskadáshoz vezethet, az árvízvédelmi képességet, biztonságot csökkentve.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	59/128

**Duna árhullámok vizsgálata, az I. árvédelmi fokozat szintje (91,88 mBf) felett - Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce)**



5.7-9. ábra Dunai árhullámok túllépési időtartamának és a túllépések számának vizsgálata – a Duna 1531,3 fkm szelvényében

## 5.8 VÁRHATÓ KIS-, KÖZÉP- ÉS NAGYVÍZSZINTEK ELŐREJELZÉSE A TERVEZETT BŐVÍTÉS IDŐTARTAMÁRA

A mértékadó kis- és nagyvízszinteket, a 20 000 évenként visszatérő, azaz  $5 \times 10^{-5}$ /év valószínűségi szintű vagy gyakoriságú eseményként, a mért adatokra legjobban illeszkedő valószínűség eloszlásfüggvény számításán keresztül határozzuk meg. Az előrejelzés a fentebb ismertetett statisztikai vizsgálatok eredményeire épül.

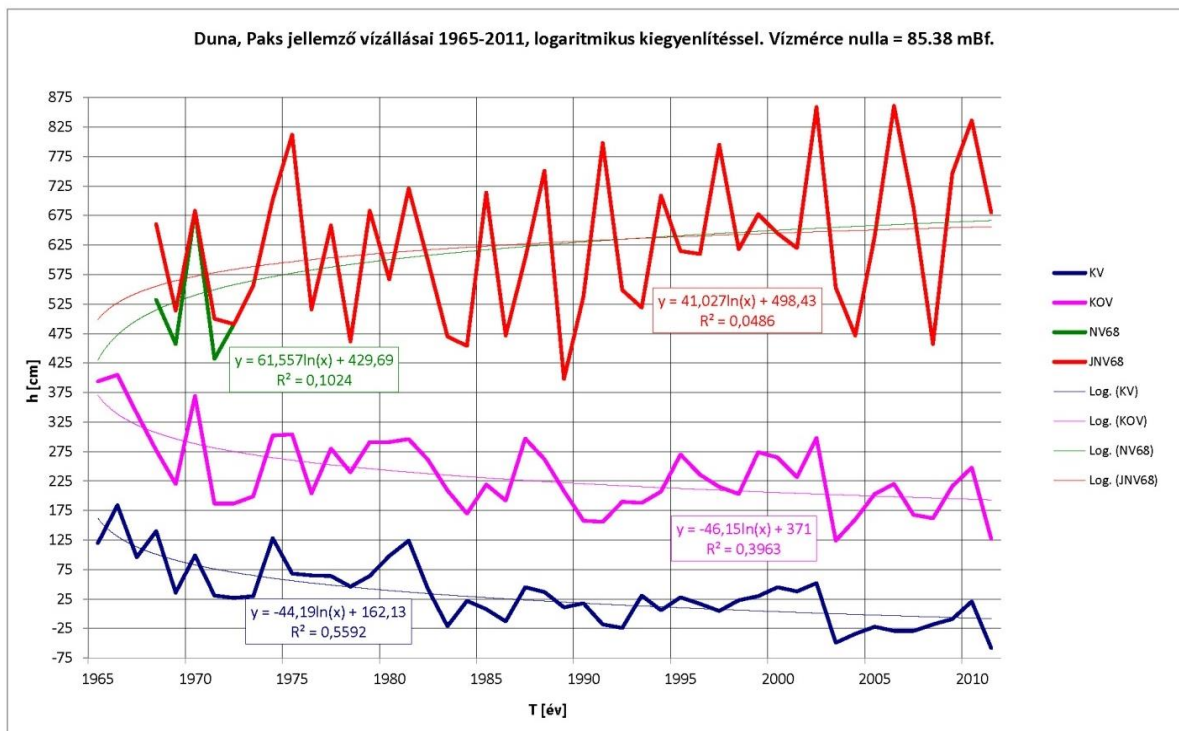
A bővítés tervezett üzemidejének vége 2120. évben lesz, ezért a kis-, közép és nagyvízszint előrejelzést ezen időtávra végeztük el, a rendelkezésre álló vízszintadatok (1876-2011.) segítségével, a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényére vonatkozóan.

Az előrejelzéshez felhasznált évenkénti kis-, közép- és nagyvízszintek homogenitás-vizsgálata alapján megállapítható, hogy a kis- és középvízszintek tekintetében 1965-től (47 év) tekinthető az adatsor homogénnek, míg a nagyvizek tekintetében 1968-tól (44 év) homogén az adatsor.

**Megvizsgáltuk az éves kis-, közép- és nagyvízszintek (jégmentes és jégjelenséggel befolyásolt) trendjének alakulását lineáris és logaritmikus (lásd az alábbi ábrát) kiegyenlítőssel. Tekintettel arra, hogy a homogén adatsor mintaszáma (44, és 47 év), az előrejelzési időigénye (110 év 2120. évig), azaz a kb. kétszeres időtartamra szükséges előrejelzést adni, ezért a logaritmikus trend alkalmazását tekintjük megbízhatóbbnak.**

*Megjegyzés: Az évenkénti vízszint, illetve vízállásadatokra, a legkisebb négyzetek módszerével (a vízszintadatok trend görbétől való távolságai négyzetösszegének minimalizálásával) illesztett, vagyis kiegyenlített görbe, illetve függvény adja a trendet. Lineáris trend esetén a függvény egyenes. A logaritmikus trendet úgy kaphatjuk meg, hogy a független változó (idő) természetes alapú logaritmusát (ln) képezzük, azaz transzformáljuk a független változó koordinátatengelyét, majd arra lineáris trendet illesztünk, kiegyenlítjük a legkisebb négyzetek módszerével. A kapott egyenest (lineáris trend) visszatranszformálva kapjuk meg a vízállásadatok logaritmikus trendjét.*

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	60/128



5.8-1. ábra Kis-, közép- és nagyvízállások logaritmusos kiegyenlítése – a Duna 1531,3 fkm szelvényében

### 5.8.1 KISVÍZSZINTEK ELŐREJELZÉSE 2120. ÉVIG

A kisvízszintek, vagyis az évenkénti legkisebb vízszintek adatsora 1965-2011. időszakban tekinthető homogénnek, ezért az előrejelzés trendjét erre a bázisidőszakra határoztuk meg.

$$Z_{KV}(t) = Z_{KV}(t_0) + M_{KV} \cdot \ln(t - t_0).$$

ahol:

- $t_0$  [év]: az előrejelzés kezdő éve,  $t_0 = 2011.$ ,
- $t$  [év]: az előrejelzés éve ( $t = 2011., 2012., \dots, 2120.$ ),
- $Z_{KV}(t)$ : a  $t$  időpontra előrejelzett, éves (KV) kisvízszint [mBf],
- $Z_{KV}(t_0)$ : a  $t_0$  időpontra, logaritmusos kiegyenlítéssel meghatározott éves (KV) kisvízszint [mBf],
- $M_{KV}$ : a kisvízszintek (KV) logaritmusos trendjének szorzótényezője,
- $\ln(t-t_0)$ : az előrejelzési időelőny ( $t-t_0$ ), természetes alapú logaritmus.

A kisvízszint (KV) előrejelzést különböző valószínűségi szinteken adjuk meg, az alábbiak szerint:

$$Z_{KV}(t, p[\%]) = Z_{KV}(t_0) + M_{KV} \cdot \ln(t - t_0) - \sigma_{KV} \cdot \text{inv}\{F(x = p)\}.$$

ahol:

- $\sigma_{KV}$  [m]: a kisvízi (KV) adatsor szórása,
- $\text{inv}\{F(x=p)\}$ :  $F(x)$  a standardizált normál eloszlásfüggvény  $N(0,1)$  inverzének  $x = p$  valószínűségéhez tartozó értéke,
- $p$  [%/év]:  $p = 50\%$  (trend alapján),  $p = 1$  [%/év]-es (100 évente visszatérő) és  $p = 0,005$  [%/év]-es (20 000 évente visszatérő).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	61/128



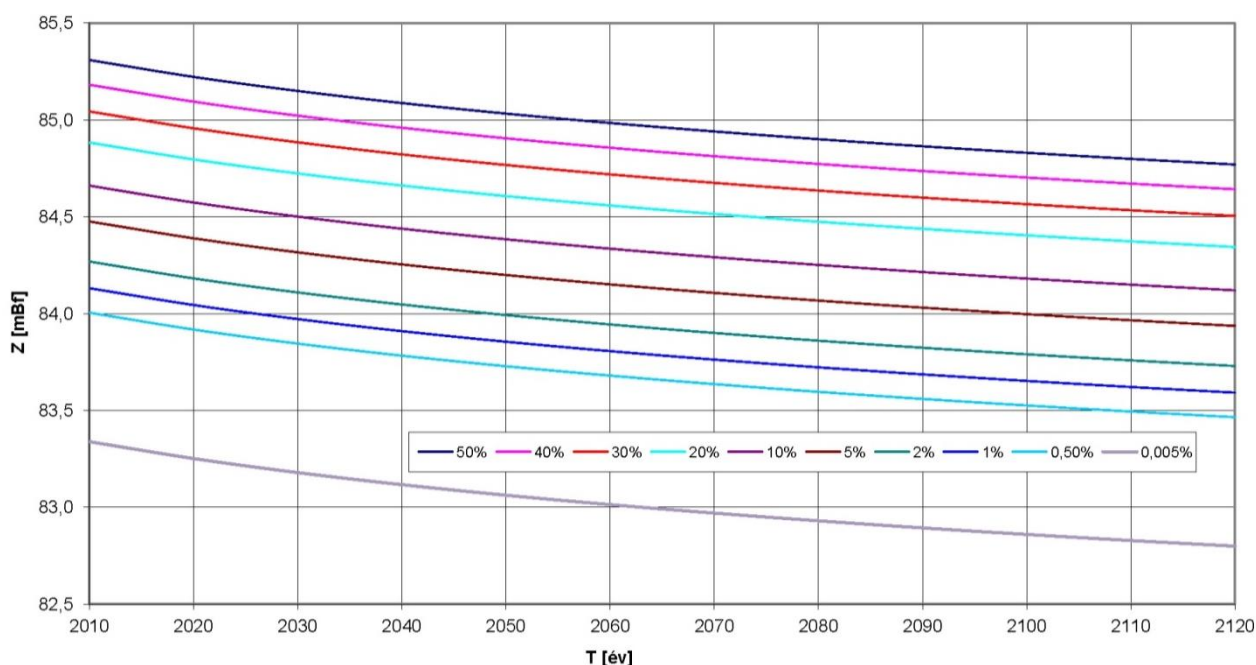
Kisvízszintek előrejelzése 2120-ig a Paksi vízmérceszelvényben (Duna 1531,3 fkm), a homogénnek tekinthető 1965-2011. időszak évenkénti legkisebb vízszintjei (KV) alapulvételével (Paksi vízmérce „0” szintje: 85,38 [mBf]):

Előrejelzés bázisidőszaka:	$Z_{KV}(t_0 = 2011., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{KV}(t = 2120., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{KV}(t = 2120., p = 1\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{KV}(t = 2120., p = 0,005\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]
$Z_{KV}$ 1965-2011.	85,30 [mBf]	<b>84,77</b> [mBf]	<b>83,59</b> [mBf]	<b>82,80</b> [mBf]

5.8-1. táblázat Kisvízszintek előrejelzése, a bővítés tervezett üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm)

Fenti táblázatból láthatóan, az éves kisvízszintek (KV) 2011. évtől 2120. évig, azaz 110 év múlva, **várhatóan 53 [cm]-rel csökkennek**, így az akkori 20 000 évente visszatérő kisvízszint is valószínűleg ennek mértékével csökkenhet. A szórást időben állandónak tekintettük, így a különböző (p) valószínűségű kisvízszintek a trendvonalallal (p = 50%) párhuzamos lefutásúak (lásd az alábbi ábrát).

**Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) KV várható értékei logaritmikus kiegyenlítéssel 2120-ig különböző valószínűségekkel. Vízmérce nulla = 85,38 mBf.**



5.8-2. ábra Kisvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében

### 5.8.2 KÖZÉPVÍZSZINTEK ELŐREJELZÉSE 2120. ÉVIG

A középvízszintek, vagyis az évenkénti napi vízszintek átlagértékei, 1965-2011. időszakban tekinthető homogénnek, ezért az előrejelzés trendjét erre a bázisidőszakra határoztuk meg.

$$Z_{KÖV}(t) = Z_{KÖV}(t_0) + M_{KÖV} \cdot \ln(t - t_0).$$

ahol:

- $t_0$  [év]: az előrejelzés kezdő éve,  $t_0 = 2011.$ ,
- $t$  [év]: az előrejelzés éve ( $t = 2011., 2012., \dots, 2120.$ ),
- $Z_{KÖV}(t)$ : a  $t$  időpontra előrejelzett, éves (KÖV) középvízszint [mBf],
- $Z_{KÖV}(t_0)$ : a  $t_0$  időpontra, logaritmikus kiegyenlítéssel meghatározott éves (KÖV) középvízszint [mBf],
- $M_{KÖV}$ : a középvízszintek (KÖV) logaritmikus trendjének szorzótényezője,

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	62/128

- $\ln(t-t_0)$ : az előrejelzési időelőny ( $t-t_0$ ), természetes alapú logaritmus.

A középvízszint (KÖV) előrejelzést különböző valószínűségi szinteken adjuk meg, az alábbiak szerint:

$$Z_{\text{KÖV}}(t, p[\%]) = Z_{\text{KÖV}}(t_0) + M_{\text{KV}} \cdot \ln(t - t_0) - \sigma_{\text{KÖV}} \cdot \text{inv}\{F(x = p)\}.$$

ahol:

- $\sigma_{\text{KÖV}}$  [m]: a középvízi (KÖV) adatsor szórása,  
 $\text{inv}\{F(x=p)\}$ :  $F(x)$  a standardizált normál eloszlásfüggvény  $N(0,1)$  inverzének  $x = p$  valószínűségéhez tartozó értéke,
- $p$  [%/év]:  $p = 50\%$  (trend alapján),  $p = 1$  [%/év]-es (100 évente visszatérő) és  $p = 0,005$  [%/év]-es (20 000 évente visszatérő).

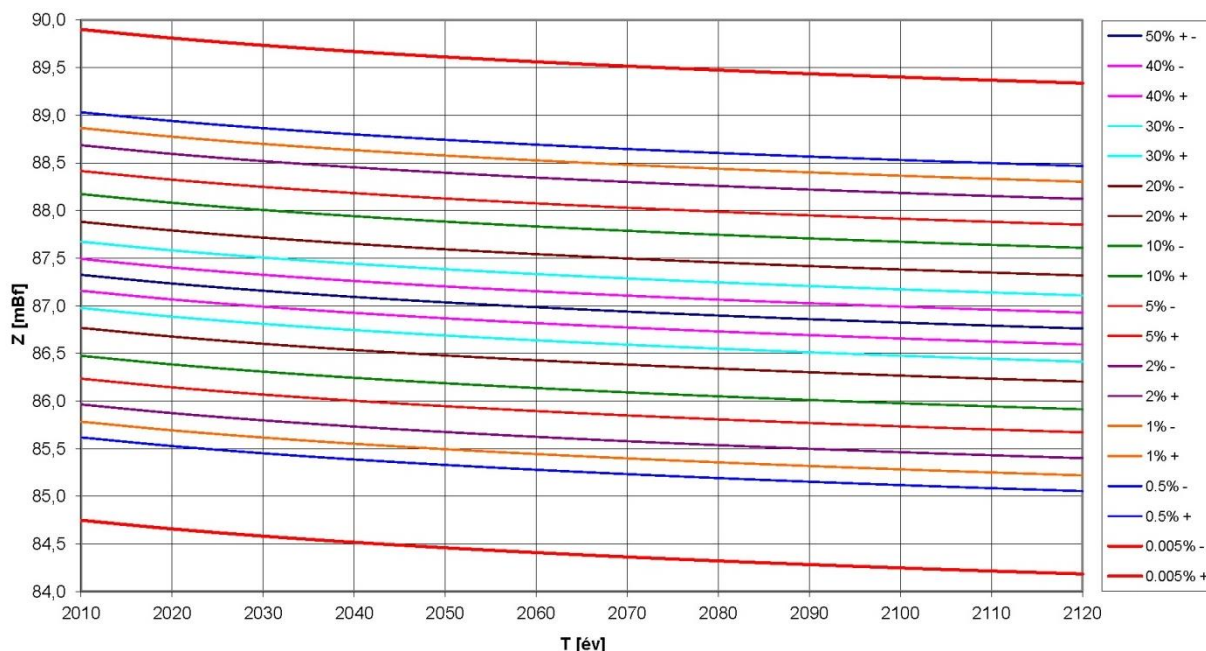
Középvízszintek előrejelzése 2120-ig a Paksi vízmérceszelvényben (Duna 1531,3 fkm), a homogénnek tekinthető 1965-2011. időszak évenkénti középvízszintjei (KÖV) alapulvételével (Paksi vízmérce „0” szintje: 85,38 [mBf]):

Előrejelzés bázisidőszaka:	$Z_{\text{KÖV}}(t_0 = 2011., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{\text{KÖV}}(t = 2120., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{\text{KÖV}}(t = 2120., p = 1\%)$ [mBf]	$Z_{\text{KÖV}}(t = 2120., p = 0,005\%)$ [mBf]
$Z_{\text{KÖV}}$ 1965-2011.	87,31 [mBf]	<b>86,76</b> [mBf]	+1%: <b>88,30</b> [mBf] -1%: <b>85,22</b> [mBf]	+0,005%: <b>89,34</b> [mBf] -0,005%: <b>84,18</b> [mBf]

5.8-2. táblázat Középvízszintek előrejelzése, a bővítés tervezett üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm)

Fenti táblázatból láthatóan, az éves középvízszintek (KÖV) 2011. évtől 2120. évig, azaz 110 év múlva, **várhatóan 55 [cm]-rel csökken**, így az akkori 20 000 évente visszatérő középvízszint is valószínűleg ennek mértékével csökkenhet. A szórást időben állandónak tekintettük, így a különböző ( $p$ ) valószínűségű középvízszintek a trendvonalal ( $p = 50\%$ ) párhuzamos lefutásúak (lásd az alábbi ábrát).

**Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) KÖV várható értékei logaritmikus kiegyenlítéssel 2120-ig különböző valószínűségekkel. Vízmérce nulla = 85,38 mBf.**



5.8-3. ábra Középvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	63/128

### 5.8.3 NAGYVÍZSZINTEK ELŐREJELZÉSE 2120. ÉVIG

#### 5.8.3.1 A nagyvízi előrejelzés módszertana

A nagyvízszintek, vagyis az évenként előforduló legnagyobb vízszintek, 1968-2011. időszakban tekinthető homogénnek, ezért az előrejelzés trendjét erre a bázisidőszakra határoztuk meg, a jégjelenséggel befolyásolt és nem befolyásolt esetekre. Az előrejelzett vízszintek egyenletei az alábbiak:

$$Z_{NV}(t) = Z_{NV}(t_0) + M_{NV} \cdot \ln(t - t_0), \text{ (Jégjelenséggel befolyásol esetben: az NV jelölés JNV-re cserélendő.)}$$

ahol:

- $t_0$  [év]: az előrejelzés kezdő éve,  $t_0 = 2011.$ ,
- $t$  [év]: az előrejelzés éve ( $t = 2011., 2012., \dots, 2120.$ ),
- $Z_{NV}(t)$ : a  $t$  időpontra előrejelzett, éves (NV) nagyvízszint [mBf],
- $Z_{NV}(t_0)$ : a  $t_0$  időpontra, logaritmikus kiegyenlítéssel meghatározott éves (NV) nagyvízszint [mBf],
- $M_{NV}$ : a nagyvízszintek (NV) logaritmikus trendjének szorzótényezője,
- $\ln(t-t_0)$ : az előrejelzési időelőny ( $t-t_0$ ), természetes alapú logaritmus.

$$Z_{NV}(t, p[\%]) = Z_{NV}(t_0) + M_{NV} \cdot \ln(t - t_0) - \sigma_{NV} \cdot \text{inv}\{F(x = p)\}.$$

ahol:

- $\sigma_{NV}$  [m]: a nagyvízi (NV) adatsor szórása,  
 $\text{inv}\{F(x=p)\}$ :  $F(x)$  a standardizált normál eloszlásfüggvény  $N(0,1)$  inverzének  $x = p$  valószínűségéhez tartozó értéke,
- $p$  [%/év]:  $p = 50\%$  (trend alapján),  $p = 1$  [%/év]-es (100 évente visszatérő) és  $p = 0,005$  [%/év]-es (20 000 évente visszatérő).

#### 5.8.3.2 Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése 2120-ig a Paksi vízmérce szelvényben

Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése 2120-ig a Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,1 fkm), a homogénnek tekinthető 1968-2011. időszak évenkénti legnagyobb, jégjelenséggel befolyásolt vízszintjei (JNV) alapulvételével (Paksi vízmérce „0” szintje: 85,38 [mBf]):

Előrejelzés bázisidőszaka:	$Z_{JNV}(t_0 = 2011., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{JNV}(t = 2120., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{JNV}(t = 2120., p = 1\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{JNV}(t = 2120., p = 0,005\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]
Z <sub>JNV</sub> 1968-2011.	91,94 [mBf]	<b>92,44</b> [mBf]	<b>95,23</b> [mBf]	<b>97,12</b> [mBf]

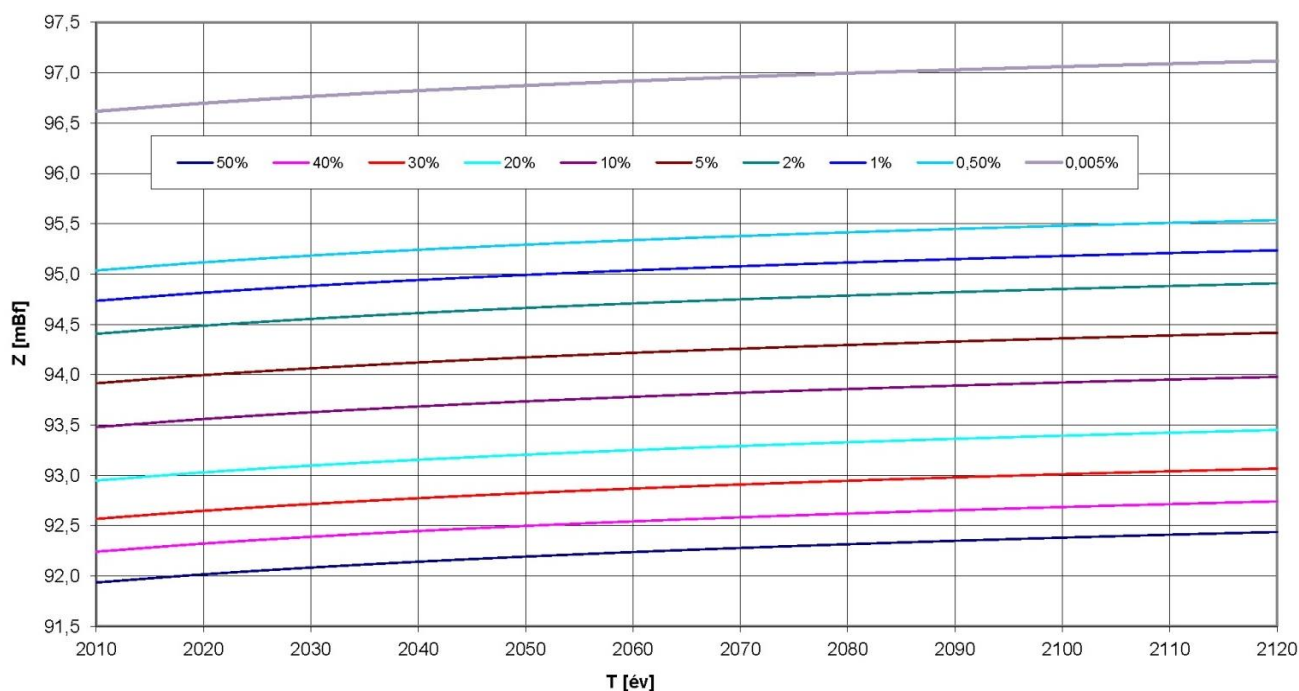
5.8-3. táblázat Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése, a bővítés üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm)

Fenti táblázatból láthatóan, az éves jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek (JNV) 2011. évtől 2120. évig, azaz 110 év múlva, **várhatóan 49 [cm]-rel növekednek**, így az akkori 20 000 évente visszatérő nagyvízszint is valószínűleg ennek mértékével nőhet. A szórást időben állandónak tekintettük, így a különböző (p) valószínűségű jeges nagyvízszintek a trendvonallal (p = 50%) párhuzamos lefutásúak (lásd az alábbi ábrát).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	64/128



**Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) JNV várható értékei logaritmikus kiegyenlítéssel 2120-ig különböző valószínűségekkel. Vízmérce nulla = 85,38 mBf.**



5.8-4. ábra Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében

**5.8.3.3 Jégjelenséggel nem befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése 2120-ig a Paksi vízmérce szelvényben**

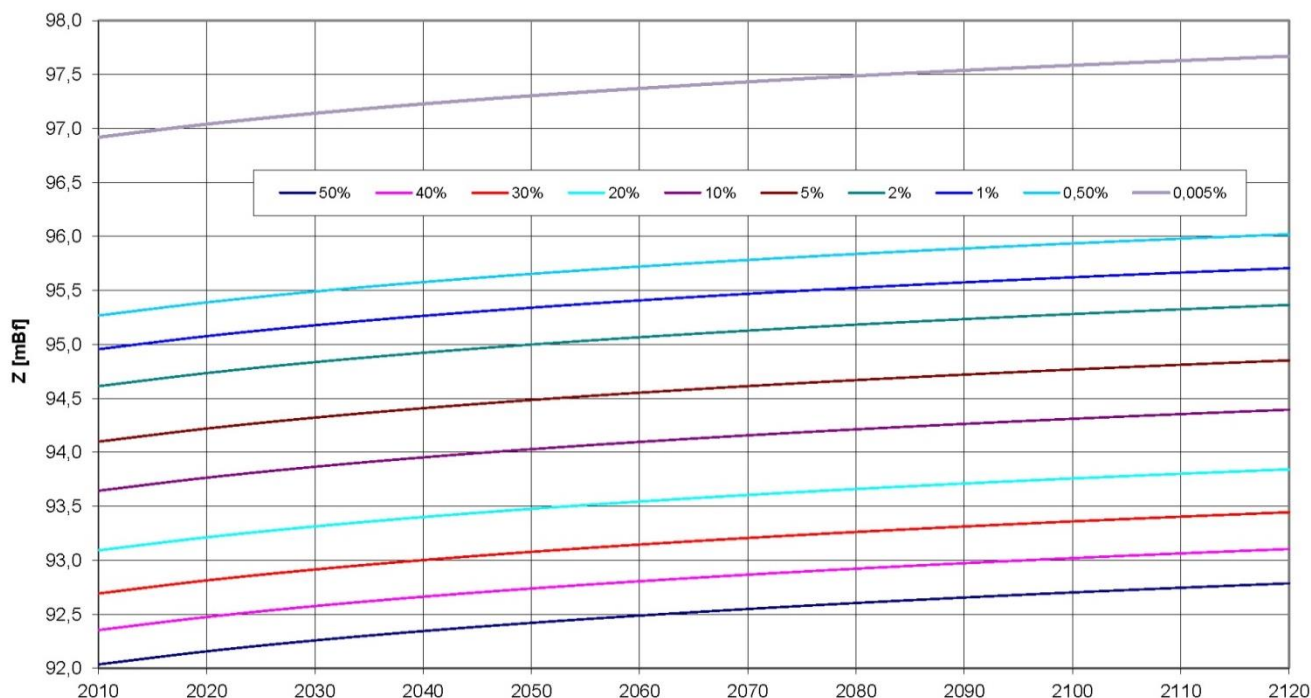
Jégjelenséggel nem befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése 2120-ig a Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,1 fkm), a homogénnek tekinthető 1968-2011. időszak évenkénti legnagyobb, jégjelenséggel nem befolyásolt vízszintjei (NV) alapulvételével (Paksi vízmérce „0” szintje: 85,38 [mBf]):

Előrejelzés bázisidőszaka:	$Z_{NV}(t_0 = 2011., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{NV}(t = 2120., p = 50\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{NV}(t = 2120., p = 1\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]	$Z_{NV}(t = 2120., p = 0,005\%)$ (logaritmikus trend) [mBf]
Z <sub>JNV</sub> 1968-2011.	92,05 [mBf]	<b>92,79</b> [mBf]	<b>95,71</b> [mBf]	<b>97,67</b> [mBf]

5.8-4. táblázat Jégjelenséggel nem befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése, a bővítés üzemidejének végéig (Duna 1531,3 fkm)

Fenti táblázatból láthatóan, az éves jégjelenséggel nem befolyásolt nagyvízszintek (NV) 2011. évtől 2120. évig, azaz 110 év múlva, **várhatóan 74 [cm]-rel növekednek**, így az akkori 20 000 évente visszatérő nagyvízszint is valószínűleg ennek mértékével nőhet. A szórást időben állandónak tekintettük, így a különböző (p) valószínűségű jégmentes nagyvízszintek a trendvonallal (p = 50%) párhuzamos lefutásúak (lásd az alábbi ábrát).

**Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) NV várható értékei logaritmikus kiegyenlítéssel 2120-ig különböző valószínűségekkel. Vízmérce nulla = 85,38 mBf.**



5.8-5. ábra Jégjelenséggel nem befolyásolt nagyvízszintek előrejelzése – a Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében

**5.8.3.4 Kis-, közép- és nagyvízszintek előrejelzése összefoglalóan – Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce)**

Vízszint előrejelzés (logaritmikus kiegyenlítéssel) – Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) vízmérce „0” pontja: 85,38 [mBf]					
Kis (KV),- Közép (KÖV) és Nagyvízszintek (NV, JNV):	Z <sub>2011</sub> [mBf]	Z <sub>2120</sub> [mBf]			ΔZ <sub>2120-2011</sub> [cm]
	p = 50% (Trend)	p = 50% (Trend)	p = 1% (100 évente)	p = 0,005% (20 000 évente)	
KV <sub>1965-2011</sub>	85,30	84,77	83,59	82,80	-53 [cm]
NV <sub>1968-2011</sub>	92,05	92,79	95,71	97,67	74 [cm]
JNV <sub>1968-2011</sub>	91,94	92,44	95,23	97,12	49 [cm]
KÖV <sub>1965-2011</sub> (+p)	87,31	86,76	88,30 (+p)	89,34 (+p)	-55 [cm] (+p)
KÖV <sub>1965-2011</sub> (-p)	87,31	86,76	85,22 (-p)	84,18 (-p)	-55 [cm] (-p)

5.8-5. táblázat A vizsgált vízmércék a Duna Budapest, D-i országhatár szakaszon

Megállapítható, hogy a bővítés tervezett üzemidejének végén (2120-ban), a várható 20 000 évente visszatérő nagyvízszint, a Duna 1531,3 [fkm] Paksi vízmérce szelvényében 97,67 [mBf], a jelenleg üzemelő erőművi telephely szintje (97,15 - 97,20 [mBf]) felett van. A bővítendő telephely területe a Duna 1531,3 [fkm] szelvénye alatt van, így ott a várható 20 000 éves nagyvízszint valamivel (~15 cm-rel) kisebbre adódik.

**Annak vizsgálatát, hogy a Paksi Atomerőmű telephelyének elöntése bekövetkezhet –e, mértékadó árvízi események hidrodinamikai modellvizsgálatok alkalmazásával (árhullámok levonulásának számításával) fogjuk a következőkben részletes elemzés alá vetni, a fentiekben ismertetett hidrológiai statisztikai vizsgálatok eredményeire támaszkodva.**

A jeges nagyvízszintek kialakulása jégbeállással 1968-óta nem mértékadó, ugyanis az ipari- és kommunális szennyvízbevezetések és a hőerőművek hőterhelése a téli időszakban megemeli a Duna vízhőmérsékletét, továbbá a jégtörőhajók is megakadályozzák a jégmegállást, jégdugó képződést. Ezek mellett a felvízi Bősi- és Ausztria

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	66/128

területén létesült duzzasztóművek üzemvitele is nagymértékben mérsékli a jégbeállást, ugyanis a duzzasztott térben beálló jégtakaró terhelésének csökkentése érdekében, azt jégtörő hajókkal törik, majd a duzzasztómű táblái felett a jégtáblákat átbuktatják.

A bővítés tervezett üzemidejének végén (2120-ban), a várható 20 000 évente visszatérő kisvízszint, a Duna 1531,3 [fkm] Paksi vízmérce szelvényében 82,80 [mBf], a jelenlegi várható éves kisvízszinttől 2,5 [m]-rel mélyebben alakulhat. A bővítendő telephely területe a Duna 1531,3 [fkm] szelvénye alatt van, így ott a várható 20 000 éves kisvízszint valamivel (~25 cm-rel) kisebbre adódik (kisvízszintkor a Duna felszínesése nagyobb, mint nagyvízszintek esetén).

Az árvízi események előrejelzése jelenleg megoldott, a vízszint, vízhozam előrejelzést az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. számára az Országos Vízügyi Főigazgatóság végzi. Ha valamilyen okból néhány napos (kb. 3 nap) időtartamra, vagy azon túl az előrejelzés elmarad, akkor a monitorozást meg kell oldani, megfelelő intézkedéseket kell hozni a nukleáris vészhelyzet megelőzésére (pl. a Duna érintett és felsőbb hazai szakaszain, az árvízvédelmi töltések szakszerű, minél kisebb előntési károkozással történő megnyitása, előzetes evakuálással).

## 5.9 ÁRVÍZI MEDERGEOMETRIA FEJLESZTÉSE A BUDAPEST- DÉLI ORSZÁGHATÁR DUNA SZAKASZRA

### 5.9.1 AZ ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN BEMUTATÁSA

A Duna árvízi medergeometriáját, valamint az árvíz levonulását befolyásoló akadályok (pl. hidak) geometriai és a mindenkor ellenállási adatait a Budapest – Déli-országhatár Duna-szakaszra HECRAS 1D numerikus modell segítségével határozzuk meg. Ehhez a korábbi Duna mederfelvételek szelvényeit, hídszelvényeket és a Duna Vízrajzi Atlaszokat használjuk fel.

A Duna Budapest – Déli országhatár közötti szakaszán a nagyvízi állapotok, árhullám levonulás számítására alkalmas mederszelvény (keresztzelvény) geometriát az alábbi alapadatokból állítjuk elő.

Rendelkezésünkre áll:

- 2009. évi középvízi mederfelvétel a vizsgált Duna szakaszon
- M = 1:10 000 méretarányú vízrajzi atlasz és topográfiai térkép

A középvízi medergeometriát kiegészítjük a folyamszabályozási művekkel (sarkantyúkkal, keresztgátakkal, terelőművekkel), figyelembe vesszük a kikötőket, és az összes Duna hidat, amelyek helyi ellenállásként, lokálisan módosító hatással vannak a vízfelszín alakulására. A Duna árvízi medergeometriáját a középvízi mederszelvények, topográfiai térkép és Vízrajzi Atlasz alapul vételével fejlesztjük ki.

A bővítendő telephelyre mértékadó árvízszintek várható alakulásának vizsgálata céljából, a Duna Budapest - déli országhatár közötti szakaszára kiterjedő egydimenziós (1D) hidrodinamikai (árhullám-transzformációs) modellezést végzünk. A modellszámítások alapján meghatározzuk a jellemző, várható és befolyásolt árhullámok által a telephely környezetében kiváltott előntési szinteket, az egyes lényegesebb telephelyi szintekhez tartozó előntések időtartamát.

### 5.9.2 A DUNA KÖZÉPVÍZI ÉS NAGYVÍZI MEDERMODELLJÉNEK FEJLESZTÉSE

Végrehajtottuk a Budapest – D-i országhatár Duna szakasz folyómedrének, hidrodinamikai modellhez való fejlesztését, a hídszelvények beépítésével, a 2008. évi (egyéb megbízás keretében készült, némely szakaszon korábbi, némely szakaszon frissebb) meder mérések eredményeinek felhasználásával. A hidrodinamikai modellhez, a Paksi Atomerőmű környezetében (1519-1528 fkm), a száz méterenként felvett mederszelvények, továbbá a meglévő szabályozási művek (sarkantyúk, keresztgátak, illetve vezetőküvek) által meghatározott medergeometria terepmodelljét dolgoztuk ki, a Budapest – D-i országhatár Duna szakaszon 500 méterenkénti szelvényezést alkalmaztunk. A Bósi duzzasztómű hatásának vizsgálata érdekében a hidrodinamikai modellt kiegészítettük a Duna

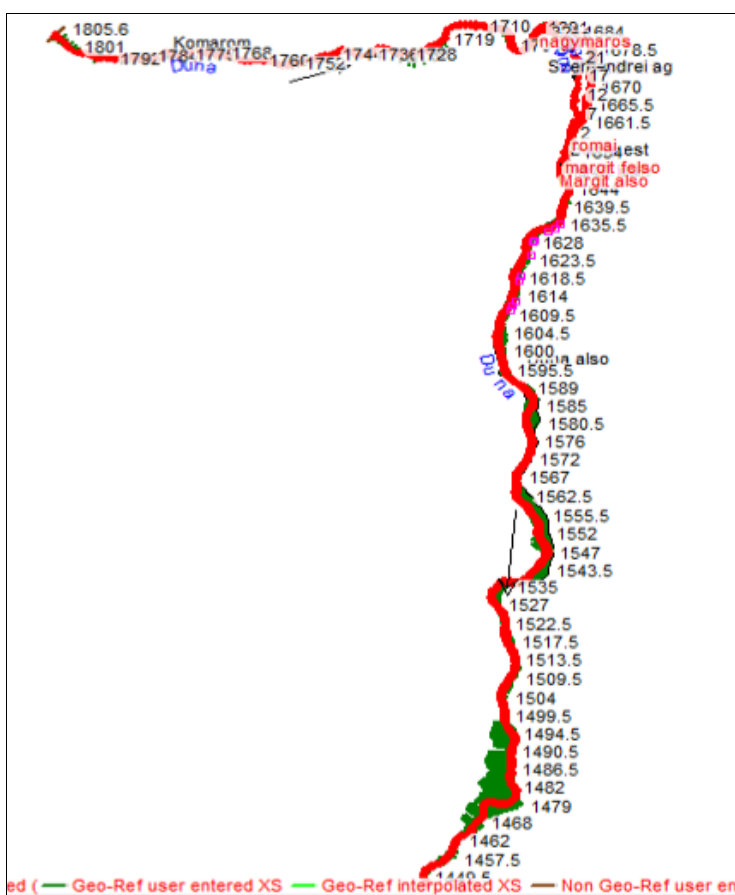
MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	67/128

– Városszabadi szakaszával (500, illetve 1000 m-kénti szelvényezéssel) – Duna 1646,5 fkm (Budapest Lánchíd) - 1805,6 fkm (Városszabadi).

A hidrodinamikai modell alsó határfeltételeként a Mohácsi vízmérce (Duna 1446,9 fkm) szelvénye szolgál, ugyanis a D-i országhatár szelvényében (Duna 1433,2 fkm) nem áll rendelkezésünkre vízhozam-vízszint kapcsolati függvény (Q-H görbe). A Mohácsi vízmérce szelvényében ismert a vízhozam-vízállás (vízszint) kapcsolat (Q-H görbe), amely az alsó peremfeltétel meghatározásához elengedhetetlen.

A hidrodinamikai modellel árhullámok levonulását, nagyvízi mederteltségi állapotokat modellezzük, ezért szükséges volt a középvízi medergeometrián túl, annak folytatásaként a nagyvízi medergeometria fejlesztése is, amelyet a töltéskorona szintekig, magaspárt esetében pedig minimum a mértékadó árvízszint felett +1,5 m-ig bővítettünk.

A Duna 1805,6 – 1446,9 fkm (Városszabadi-Mohács) közötti szakaszán a nagyvízi állapot számítására alkalmas mederszelvények (keresztshelvények) alkotta medergeometriát az alábbi alapadatokból állítottuk elő (5.9-1 ábra). A modell alsó határának a Mohácsi vízmércét választottuk, mivel ott megfelelő vízhozam görbét lehetett előállítani, és ezáltal a hidrodinamikai modellnek alkalmas peremfeltételt tudunk biztosítani.

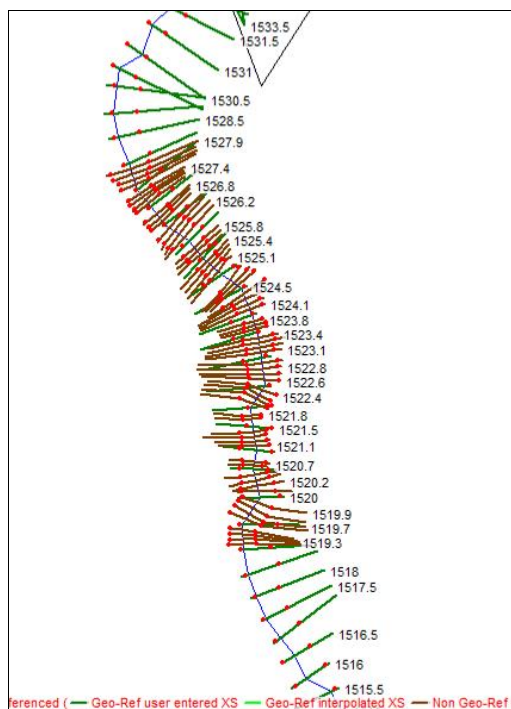


5.9-1. ábra A hidrodinamikai modell mederszakasza - Duna 1805,6 fkm (Városszabadi) – 1446,9 fkm (Mohács)

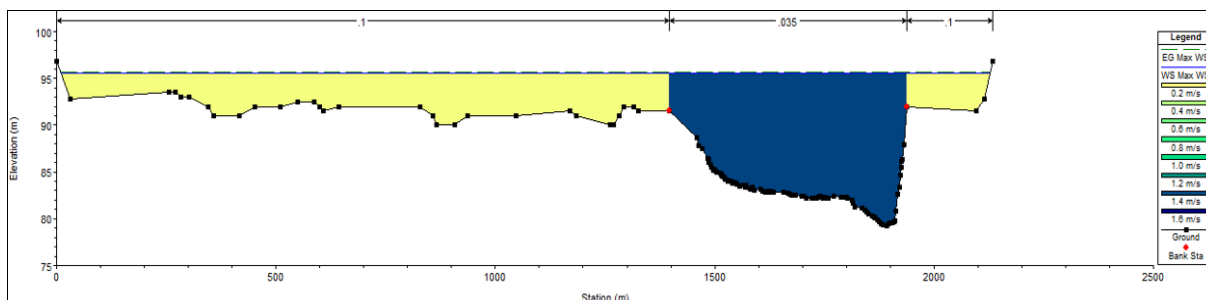
### 5.9.2.1 A fejlesztéshez rendelkezésünkre álló adatok, információk

- 2008. évi (némely szakaszon korábbi, némely szakaszon frissebb) középvízi mederfelvétel Mohácstól Nagymarosig 500 m-es, felette (Nagymarostól Városszabadiig) 1000 m-es szelvényesűrűséggel. Paks környezetében, a részletesebben vizsgált Duna mederszakaszon 2010-ben, 100 méterenként felvett keresztshelvényeket építettünk a modellbe 1519,0 – 1528,0 fkm között (lásd: 5.9-2 és 5.9-3 ábrák).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	68/128



5.9-2. ábra Besűrített keresztaszványok a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna 1519,0 – 1528,0 fkm között)



5.9-3. ábra Mederszelvény a Duna 1529,0 fkm szelvényben

- M = 1:10 000 méretarányú topográfiai térkép (lásd: 5.9-4), Duna Atlasz

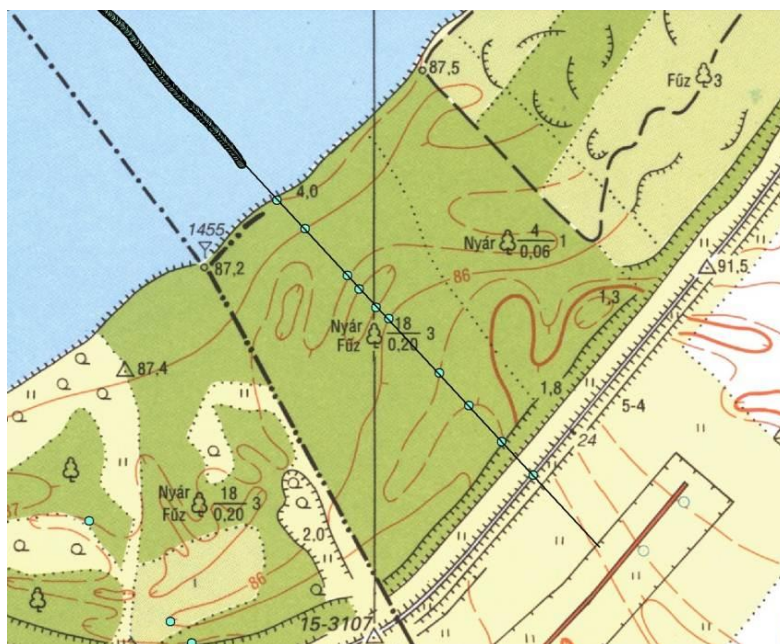
### 5.9.2.2 A Duna medermodellje fejlesztésének egyes elemei

- A topográfiai térkép alapján a középvízi mederszelvényeket kiegészítettük a töltéskorona szintekig, magaspart esetében pedig minimum a mértékadó árvízszint (MÁSZ) felett +1,5 m-ig bővítettünk. Mértékadó árvízszintként, a Dunán Esztergom alatt, a korábban mértékadó 1%-os valószínűségű jeges burkoló felszingörbét alkalmazták („A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 15/1997. (IX. 19.) KHVM rendelet szerint), ugyanis a hatályos jogszabályban („A folyók mértékadó árvízszintjeiről szóló hatályos, 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendeletben) lévő mértékadó árvízszintek ennél lényegesen alacsonyabbak a Budapest alatti Duna szakaszon.

Az Esztergom feletti Duna szakaszon a korábban is a jégjelenségekkel nem befolyásolt 1%-os valószínűségű vízszintek jelentették a MÁSZ-t.

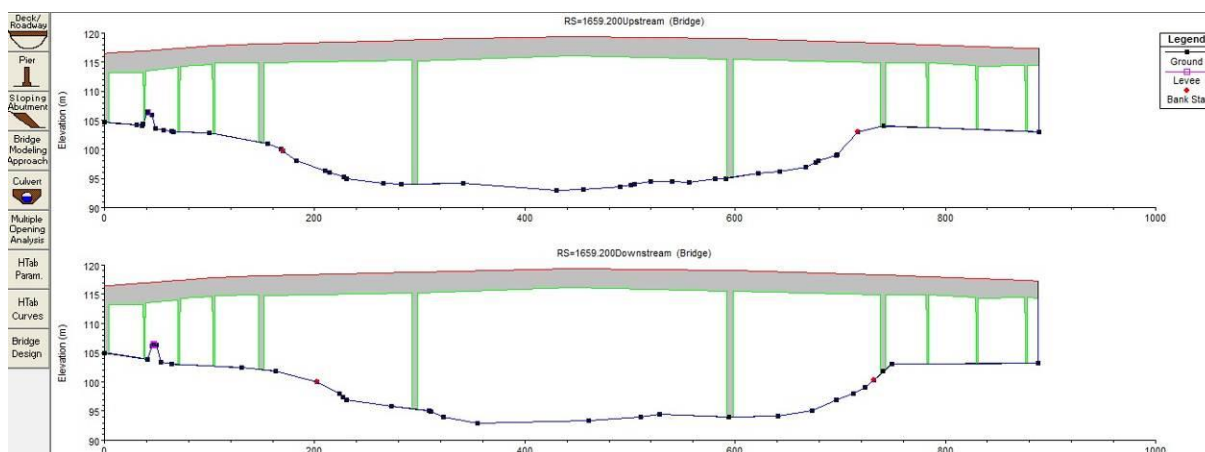
MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	69/128





5.9-4. ábra Mintaszelvény a középvízi mederadatok, nagyvízi kiegészítésére

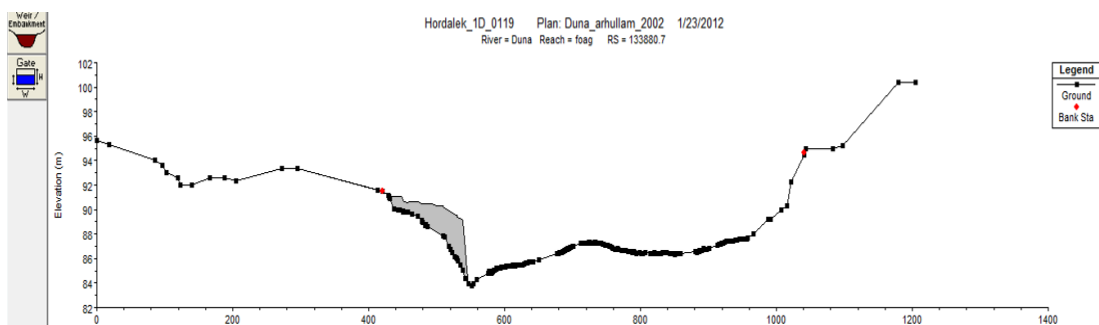
- A vízrajzi atlasz alapján a vizsgált szakaszra eső Duna hidak beépítésre kerültek a fejlesztett hidrodinamikai modellbe (lásd pl. az 5.9-5 ábrát, mely a Megyeri híd szelvényét mutatja).



5.9-5. ábra Megyeri híd szelvénye

- A folyamszabályozási művek (sarkantyúk, keresztgátak illetve vezetőművek) a 2010-es mérések alapján szintén a modellbe beépítésre kerültek (lásd: 5.9-6). A pontosabb modellgeometria érdekében a keresztelvényeket a műtárgyak környezetében 50 méterenként interpolációval besűrítettük.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	70/128



5.9-6. ábra Sarkantyú Paks környezetében

A hidrodinamikai modell Dunameder szakaszán (Duna 1805,6 fkm – 1466,9 fkm) található vízmérceszelvények:

Duna Vízmérce megnevezése	Duna Fkm szelvény
Vámosszabadi	1805.6
Rajka	1848.4
Dunaremete	1825.5
Vámosszabadi	1805.6
Nagybajcs	1802.4
Gönyű	1791.3
Komárom	1768.3
Dunaalmás	1751.8
Esztergom	1718.5
Szob	1706.6
Nagymaros	1694.64
Vác	1679.5
Budapest	1646.5
Adony	1597.9
Tass	1586.0
Dunaújváros	1580.6
Dunaföldvár	1560.6
Paks	1531.3
Dombori	1506.8
Baja	1478.7
Mohács	1446.9
<b>Szentendrei ágon:</b>	
Szentendre	10.8
Dunabogdány	27.3

5.9-1. táblázat Vízmérce szelvények a Duna 1810 fkm – Déli országhatár (Duna 1433,2 fkm) szakaszán

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	71/128

## 5.10 1D NUMERIKUS HIDRODINAMIKAI MODELLSZÁMÍTÁS A BUDAPEST – DÉLI ORSZÁGHATÁR DUNA SZAKASZRA

### 5.10.1 A HIDRODINAMIKAI MODELLSZÁMÍTÁSOK TEMATIKÁJA

A hidrodinamikai modellszámítások részletezése:

- Bearányosításhoz (kalibráláshoz) és igazolófuttatáshoz (validáláshoz) szükséges kezdeti- felső és alsóhatárfeltételek előállítása.
- Bearányosítás és igazoló szimulációk elvégzése.

Az igazolt hidrodinamikai modellel vizsgált változatok:

- Jelenlegi mértékadó árvízszintekre való futtatás, ahol a változatoknak fel kell ölelni a vízvezetőképesség változást, hullámtéri vegetáció hatásának kimutatását is (vegetációs és vegetáció nélküli állapotokat).  
Felső határfeltételekre hidrológiai statisztikai módszerekkel meghatározott vízszintekhez árhullámok generálása és változatok futtatása (maximum 4 változat) – *Két rendkívüli múltbeli árvízi esemény kiválasztása és azok vizsgálata a hullámtér vegetációs és vegetáció nélküli állapotában. Az árvízi esemény maximális árhullám csúcsát, a jelenlegi várható valószínűségű árvízszintűvé transzformáljuk.*  
Különböző áradás és apadás intenzitású árhullámok futtatása (maximum 4 változat) – *Négy kiválasztott múltbeli árvízi esemény modellszámítása, jellemző és kedvezőtlen áradási- és apadási intenzitások alapulvételével.*  
Különböző térfogatú/tömegű árhullámok futtatása (maximum 3 változat) – *Három múltbeli árvízi események modellszámítása, jellemző és kedvezőtlen térfogatú/tömegű árhullámok alapulvételével.*
- Hosszú távú tendenciák figyelembevételével meghatározott különböző áradás- és apadás intenzitású árhullámok futtatása (maximum 4 változat) - *Négy jövőben (a bővítés időtartamának végén) várható árvízi esemény modellszámítása, jellemző és kedvezőtlen áradási- és apadási intenzitások alapulvételével.*  
Különböző térfogatú/tömegű árhullámok futtatása, egy kedvezőbb és egy kedvezőtlenebb scenárió esetében (2 változat) - *Két jövőben (a bővítés időtartamának végén) várható árvízi esemény modellszámítása, jellemző és kedvezőtlen térfogatú/tömegű árhullámok alapulvételével.*
- Fenti jelenlegi és hosszú távú scenáriók közül a legkedvezőtlenebb jelenlegi és jövőben várható árvízi esemény kiválasztása és annak hidrodinamikai modellvizsgálattal történő értékelése, a felvízoldali vízszabályozó szerkezetek meghibásodása hatására (2 változat).
- A jövőbeli legkedvezőtlenebb árvízi esemény kiválasztása és annak hidrodinamikai modellvizsgálattal történő értékelése, a jövőben várható dunai duzzasztóművek kedvezőtlen üzemi körülményeinek figyelembevételével (1 változat).
- A jelenlegi és jövőben várható árvízi események közül a legkedvezőtlenebb kiválasztása és annak hidrodinamikai modellvizsgálattal történő értékelése, az alvízoldali elzáródás (földcsuszamlás, jégdugó kialakulásának) lehetőségét és következményeit vizsgálva (2 változat).

Egydimenziós (esetenként kvázi-kétdimenziós) hidrodinamikai modellként a HEC-RAS River Analysis System elnevezésű, robusztus matematikai (áramló, rohanó és átmeneti áramlások számítására képes) modellrendszert, szoftvert alkalmaztuk. A modell a szabadfelszínű vízmozgást leíró folytonossági, vagy térfogatáram- és impulzus mérlegegyenletek numerikus megoldását alkalmazza (Irodalom: Gary W. Brunner: HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual - US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis, 2002). A szoftver mind permanens, mind pedig nem permanens áramlási viszonyok figyelembe vételével képes vízfelszín-görbék, szelvény-középsebesség eloszlás, továbbá szelvényen belüli függélyenkénti sebességeloszlás számítására. A modell segítségével a hídszelvényekben, a főmedri és a hullámtéri szakaszokon egyaránt tetszőleges hídnyílás kiosztás adható meg.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	72/128



## 5.10.2 BEARÁNYOSÍTÁSHOZ ÉS IGAZOLÓ FUTTATÁSHOZ SZÜKSÉGES KEZDETI-, FELSŐ- ÉS ALSÓ HATÁRFELTÉTELEK

A hidrodinamikai modellt alkalmazzuk mértékadó kis- és nagyvízi események, áradási- és apadási hullámok modellezésére egyaránt. Ezért a modellt kis- és nagyvízi viszonyok esetére is kalibráljuk, múltbeli események rekonstrukcióján keresztül.

### 5.10.2.1 Modellkalibrálás nagyvízi eseményre

**Felső perem-, vagy határfeltételként** a vámoszabadi Duna szelvényben (1805,6 fkm), a 2006. április 1 - 20. közötti levonult árhullámnál kialakuló maximális vízhozamot vettük alapul  $Q_{\text{Vámoszabadi}} = 7\,430 \text{ m}^3/\text{s}$  permanens állapotként.

**Oldalsó határfeltételként** három vízfolyást, a Vágot, a Garamot, illetve az Ipolyt vettük figyelembe (jellemző vízhozam a 2006. április 1 - 20. időtartam alatt):

Vág	1765,7 fkm-nél	698 m <sup>3</sup> /s,
Garam	1714,5 fkm-nél	313 m <sup>3</sup> /s,
Ipoly	1708,2 fkm-nél	117 m <sup>3</sup> /s-os vízhozammal.

**Alsó határfeltételként** vízszintet a mohácsi szelvényben (1446,9 fkm) adtunk meg a rendelkezésre álló napi vízállás adatok alapján: 88,51 mBf szinten.

### 5.10.2.2 Modellkalibrálás kisvízi eseményre

**Felső perem-, vagy határfeltételként** a budapesti Duna szelvényben (1646,5 fkm), a hajózási kisvízhozamot vettük alapul  $Q_{\text{Vámoszabadi}} = 1\,180 \text{ m}^3/\text{s}$  permanens állapotként.

**Alsó határfeltételként** vízszintet a mohácsi szelvényben (Duna 1446,9 fkm) adtunk meg a rendelkezésre álló napi vízállás adatok alapján: 80,80 mBf szinten.

## 5.10.3 BEARÁNYOSÍTÁS ÉS IGAZOLÓ SZIMULÁCIÓK ELVÉGZÉSE

Egy, a természetben lejátszódó háromdimenziós, időben és térben is változó, turbulens hidrodinamikai folyamat, keresztshelvény mentén integrált egydimenziós (1D) numerikus modellezése, tekintve az áramlásmoellezés célját (a Paksi Atomerőmű környezetében kialakuló kritikus, illetve mértékadó vízállások számítása). Az alkalmazandó 1D hidrodinamikai modell bearányosítása, kalibrációja biztosítja, hogy a valósághoz legközelebb álló eredmények számíthatók legyenek.

Az 1D hidrodinamikai Duna modell bearányosítása, a vízmérce szelvényekben mért vízszintekre történt a főmeder, a bal- és jobb oldali hullámterek simasági együtthatóinak meghatározásával, optimalizálásával. Az észlelt és a bearányosítás során számított vízszinteket az alábbi táblázatban adjuk meg:

Vízmerce	Fkm	Z <sub>mért</sub> (7430 m <sup>3</sup> /s)	Z <sub>számított</sub> (7430 m <sup>3</sup> /s)	dZ (7430 m <sup>3</sup> /s)	Z <sub>DB</sub> (DB 2004)	Z <sub>számított</sub> (DB 2004)	dZ (DB 2004)
		mB.f	mB.f	Cm	mB.f	mB.f	cm
Vámoszabadi	1805.6	115.57	115.65	+8	-	-	-
Nagybajcs	1802.4	115.19	115.14	-5	-	-	-
Gönyű	1791.3	113.5	113.51	+1	-	-	-
Komárom	1768.3	111.65	111.62	-3	-	-	-
Dunaalmás	1751.8	110.59	110.62	+3	-	-	-
Esztergom	1718.5	108.57	108.59	+2	-	-	-
Szob	1706.6	107.83	107.80	-3	-	-	-
Nagymaros	1694.64	106.56	106.56	0	-	-	-

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	73/128

Vízmerce	Fkm	Z <sub>mért</sub> (7430 m <sup>3</sup> /s)	Z <sub>számított</sub> (7430 m <sup>3</sup> /s)	dZ (7430 m <sup>3</sup> /s)	Z <sub>DB</sub> (DB 2004)	Z <sub>számított</sub> (DB 2004)	dZ (DB 2004)
		mB.f	mB.f	Cm	mB.f	mB.f	cm
Vác	1679.5	105.76	105.76	0	-	-	-
Budapest	1646.5	103.53	103.55	+2	95.87	98.84	-3
Adony	1597.9	98.99	99.02	+3	91.80	91.76	-4
Dunaújváros	1580.6	97.49	97.50	+1	91.13	91.04	-9
Dunaföldvár	1560.6	95.79	95.75	-4	87.69	87.64	-5
Paks	1531.3	93.98	94.02	+4	85.45	85.39	-6
Dombori	1506.8	92.37	92.33	-4	83.53	83.44	-9
Baja	1478.7	90.5	90.44	-1	82.06	82.00	-6
Mohács	1446.9	88.51	88.51	0	-	-	0

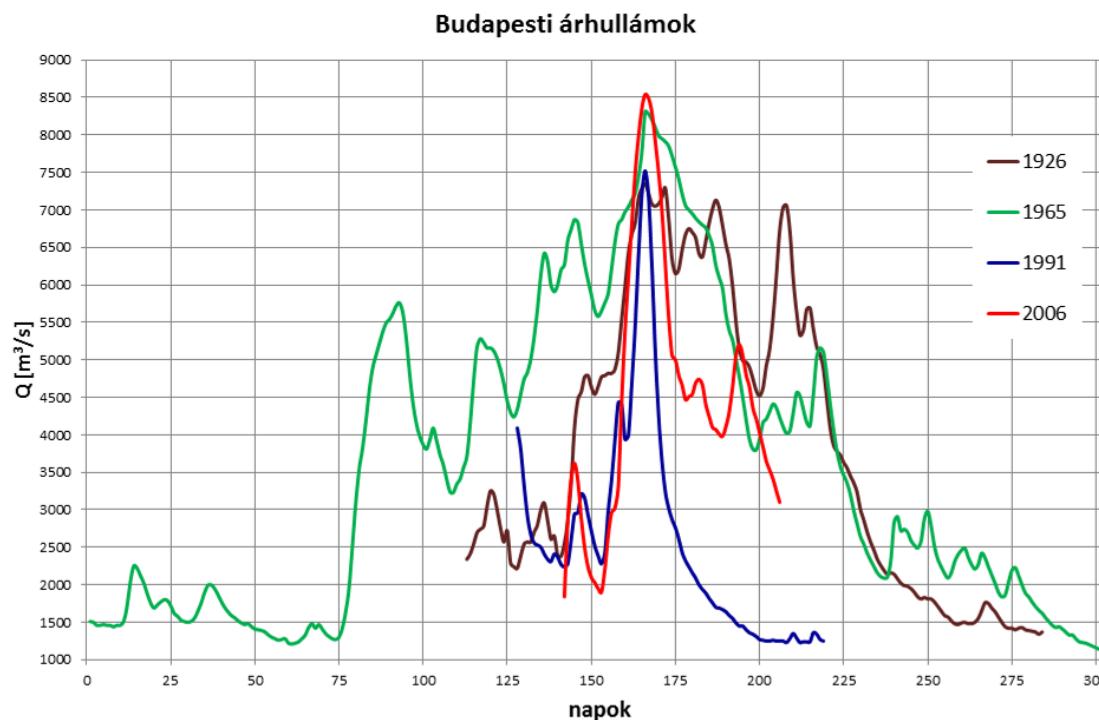
5.10-1. táblázat Mért és a bearányosítás során számított vízszintek

A fenti táblázat alapján megállapítható, hogy mind a nagyvízi-, mind pedig a kisvízi eseményeket a biztonság javára kalibrált hidrodinamikai modellel jellemezzük.

#### 5.10.4 JELENLEGI ÉS HOSSZÚ TÁVÚ, KÜLÖNBÖZŐ TÉRFOGATÚ/TÖMEGŰ ÁRHULLÁMOK FUTTATÁSA

Kiválasztottunk a Budapest Vigadó téri vízmerce (Duna 1646,5 fkm) 1876. év óta eddig (2011. évet megelőzően) regisztrált 10 legkedvezőtlenebb árhullámot:

- 1926., 1940., 1954., 1956., 1965., 1975., 1991., 2002., 2006. és 2010. évi.

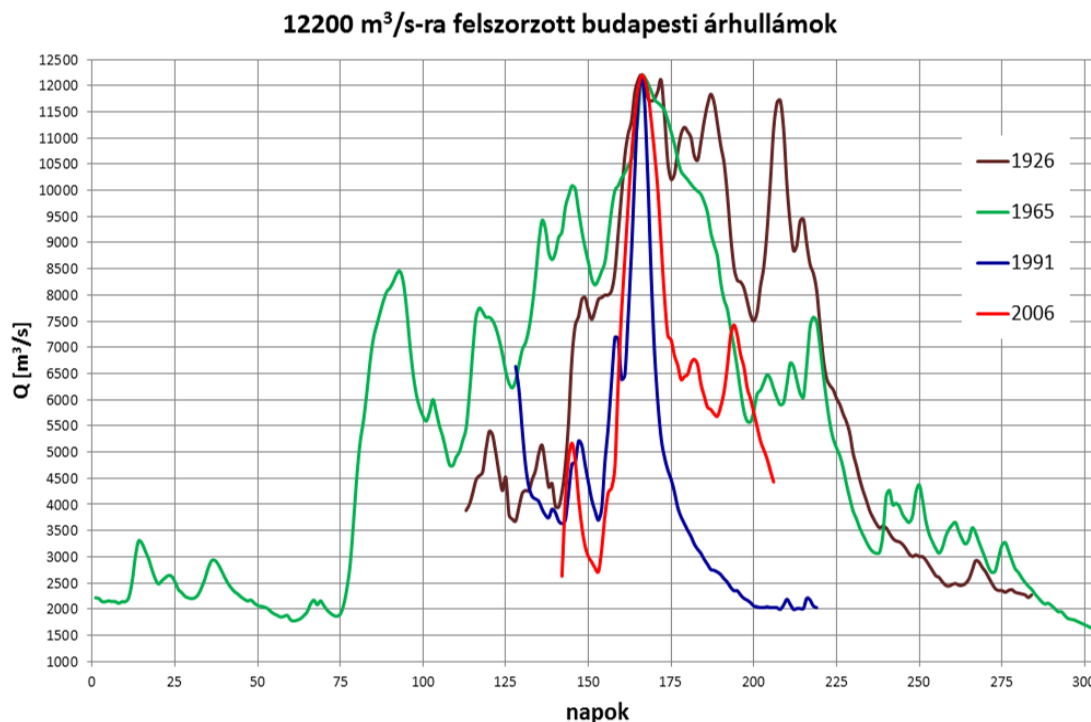


5.10-1. ábra Budapesti mértékadó (1926., 1965., 1991. és 2006. években levonult) árhullámok, árhullám csúcsainak összehasonlíthatósága érdekében, azonos időpontra összevont képei

Ezek közül kiválasztottunk két-két eltérő áradási és apadási intenzitású árhullámot: 1926., 1965., 1991. és 2006. évi, amelyeket a következőkben mértékadónak tekintjük (lásd: 5.10-1 ábra).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	74/128

A Paksi Atomerőmű környezetében, 1541-1507 fkm között a Duna hullámtéri érdekességét megnöveltük 30%-al. Az általunk hidrológiai statisztikai módszerekkel generált 12 200 m<sup>3</sup>/s, 20 000 évente visszatérő Duna vízhozamra transzformált négy különböző árhullámot modelleztük (lásd az 5.10-2 ábrát). Az árhullámokat az általunk készített Budapesttől - Mohácsig terjedő hidrodinamikai modellel számítottuk. Felső határszelvény a Duna 1646,5 fkm szelvénye, a négy mértékadó árhullámot innen indítottuk el, alsó határfeltételként a mohácsi vízhozam görbét adtuk meg.



5.10-2. ábra Transzformált budapesti árhullámok (az árhullám csúcsainak összevethetősége érdekében, azonos időpontra összezsúváltott) képei

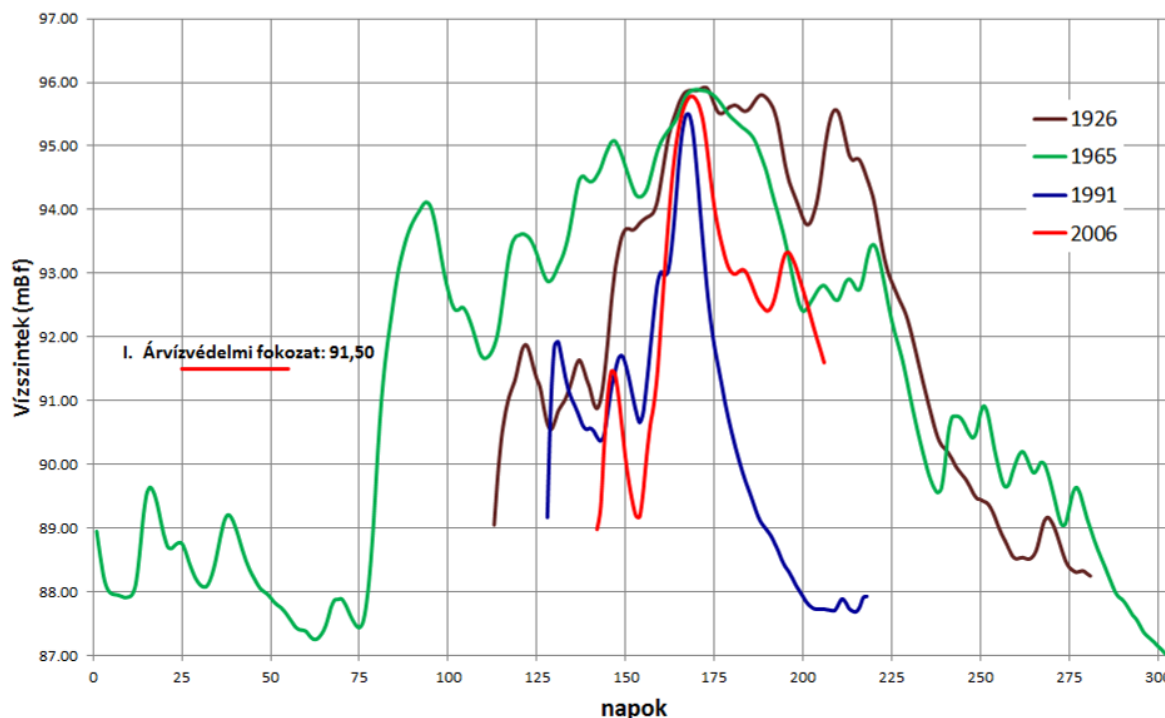
A felső peremfeltételként meghatározott Budapesti, 20 000 évente visszatérő árhullámokkal hidrodinamikai modellszámításokat végeztünk. Meghatároztuk a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna 1526,5 fkm szelvényben) számított vízszint idősorokat. Megállapítható, hogy a telephely 97,15 [mBf] terepszintjét a levonuló árhullámok nem érik el, ugyanis a Budapest alatti szakaszon az árhullámok nemcsak ellapulnak, hanem az árvízvédelmi töltéseken átbuknak.

Megállapítható, hogy a tervezett bővítés üzemidejének végén (2120-ban), a hidrológiai statisztikai módszerekkel meghatározott, 20 000 évente visszatérő nagyvízszint (a Duna 1531,3 [fkm] Paksi vízmérce szelvényében 97,67 [mBf], az 1526,5 fkm szelvényben 97,62 [mBf]) nem alakulhat ki a Paksi Atomerőmű környezetében, a Budapest-Paks Duna-szakasz töltéskoronáin történő átbukások miatt. A legkedvezőtlenebb, 20 000 évente előforduló árhullám maximális tetőzési szintje 96,0 [mBf] alatt maradt.

A Paksi Atomerőmű telephelye környezetében a Duna bal parti töltéskorona szintje 95,80 [mBf], a jobb parti, Erőmű feleli töltéskorona pedig 96,3 [mBf].

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	75/128

### 12200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált budapesti árhullámok paksi vízszintjei



5.10-3. ábra Budapesti mértékadó (1926., 1965., 1991. és 2006. években levonult) árhullámok hatására kialakuló vízszint idősorok, a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna 1526,5 fkm)

#### Árhullámtömegek vizsgálata:

Meghatároztuk a Budapesti vízmérce szelvényben (Duna 1646,5 fkm) fentiekben vizsgált mértékadó árhullámok I. árvízvédelmi fokozati (101,17 mBf) szint feletti árhullámtérfogatait (tömegeit) – az eredményeket az alábbi (5.10-2) táblázatban foglaljuk össze.

Budapesti mértékadó árhullámok előfordulásának évszámai	Mértékadó budapesti árhullám térfogatok, az I. árvédelmi fokozat (101,17 mBf) szintje felett	Tömegarány az 1965. évi árhullám tömegére vetítve	Mértékadó budapesti árhullám térfogatok, az I. árvédelmi fokozat szintje felett, 20 000-évente előforduló árhullám-csúcsúra transzformálva	Tömegarány az 1965. évi árhullám tömegére vetítve
[év]	[km <sup>3</sup> ]	[%]	[km <sup>3</sup> ]	[%]
1926.	706	35,0%	1 172	58,1%
1965.	<b>2 018</b>	100,0%	2 963	146,8%
1991.	27	1,4%	44	2,2%
2006.	123	6,1%	175	8,7%
2010.	49	2,4%	74	3,7%

5.10-2. táblázat Különböző intenzitású árhullámok hatására kialakuló telephelyi (1526,5 fkm) vízszintek

A legkedvezőtlenebb eset, fenti táblázatból láthatóan az 1965. évi árhullám-sorozat hatására kialakuló tartós, nagy árhullám tömegű, időben az I. árvédelmi fokozat szintje felett rendkívül hosszan elhúzódó árvízi esemény volt. A 20 000 évente előforduló árhullám csúcs-vízhozama 12 200 [m<sup>3</sup>/s], amelyet számítással határoztunk meg. A 8 310 [m<sup>3</sup>/s] vízhozam csúccsal tetőző árhullámot transzformálva (felszorozva) kapjuk a 20 000 évente visszatérő, árhullám tömegében, időbeli elhúzódásában legkedvezőtlenebb (az I. árvédelmi fokozati szintet, több mint két hónap időtartamra meghaladó), jövőre prognosztizált árhullámot. Ez a nagy tömegű víz az árvédelmi töltéseket és magaspartot tartósan átáztatja, ami a káros hatással lehet a töltések és a magaspart állékonyságára.

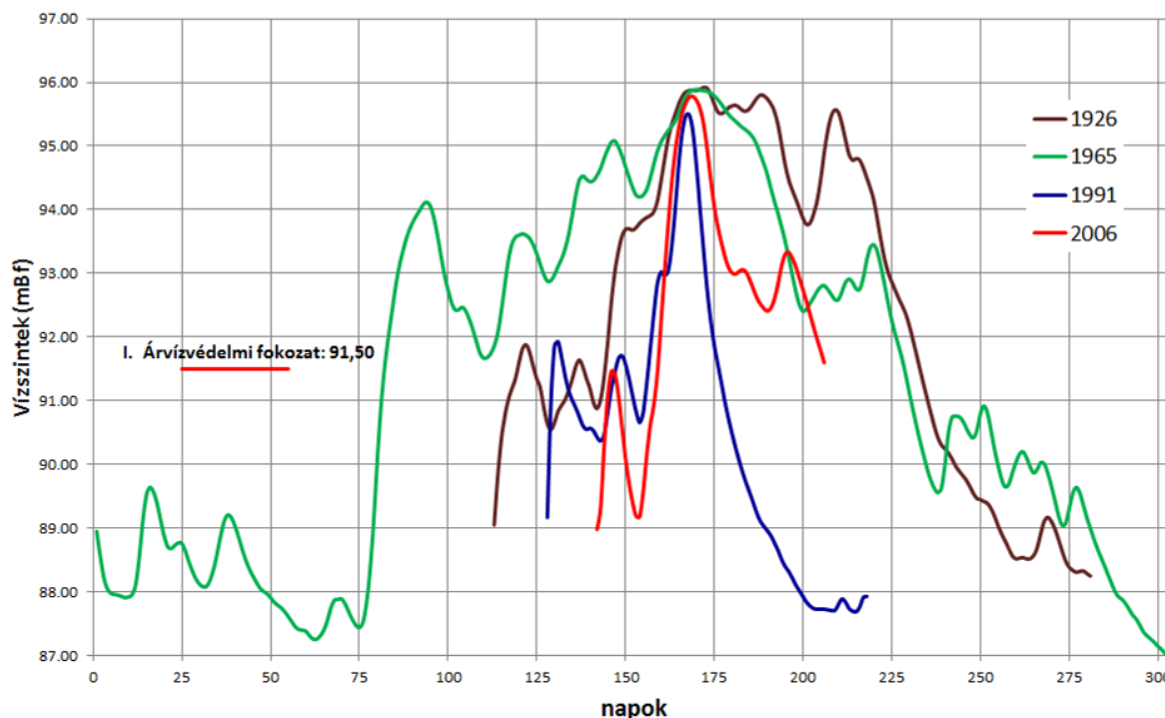
MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	76/128

### 5.10.5 HOSSZÚ TÁVÚ MÉRTÉKADÓ ÁRVÍZSZINTEK MODELLEZÉSE HULLÁMTÉRI VEGETÁCIÓ HATÁSÁNAK FIGYELEMBE VÉTELÉVEL

A Paksi Atomerőmű környezetében (1541-1507 fkm) a hullámtéri érdességet megnöveltük 30%-al. Az általunk hidrológiai statisztikai módszerekkel generált 12 200 m<sup>3</sup>/s-ra (20 000 évente visszatérő) transzformált négy különböző árhullámot szimuláltuk (lásd

5.10-4 ábra), a Duna Budapest – Mohács szakaszára fejlesztett hidrodinamikai modellel. Felső határszelvény az 1646,5 fkm-es Duna szelvény, az alsó határfeltételt a mohácsi vízhozam-görbe jelentette.

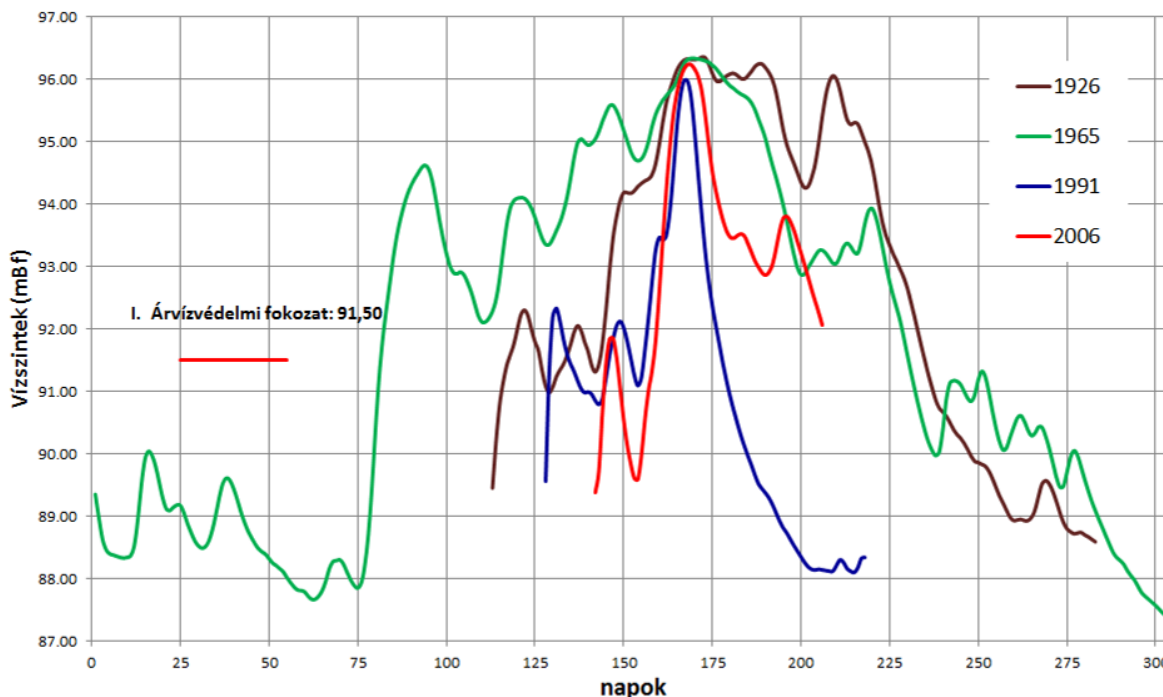
**12200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált budapesti árhullámok paksi vízszintjei**



5.10-4.ábra A 20 000 évente visszatérő árhullám csúccsal (12 200 m<sup>3</sup>/s) tetőző, múltbeli mértékadó árhullámok levonulásakor kialakuló vízszint idősorok a Paksi Atomerőmű Duna szelvényében (Duna 1526,5 fkm)

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	77/128

### 12200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált budapesti árhullámok paksi vízszintjei magas hullámtéri vegetációval



5.10-5. ábra A 20 000 évente visszatérő árhullám-csúccsal (12 200 m<sup>3</sup>/s) tetőző, múltbeli mértékadó árhullámok levonulásakor kialakuló vízszint idősorok a Paksi Atomerőmű Duna szelvényében (Duna 1526,5 fkm) – a hullámtéri vegetáció medererdesség növelő hatásának figyelembe vételével

A levonuló mértékadó, 20 000 évente visszatérő árhullámok a Paksi Atomerőmű szelvényében (1526,5 fkm), a megnövekedett mederellenállás hatására, mintegy 50 cm-rel növekedtek (lásd az 5.10-5 ábrát), azonban 96,5 [mBf] szint alatt tetőztek, nem okozva elöntést a jelenlegi üzemi területén, ahol a kritikus elöntési szint, azaz a terepszint 97,15 [mBf] körüli.

## 5.10.6 HOSSZÚ TÁVÚ, KÜLÖNBÖZŐ ÁRADÁSI- ÉS APADÁSI INTENZITÁSÚ ÁRHULLÁMOK ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATA, HIDRODINAMIKAI MODELLEL

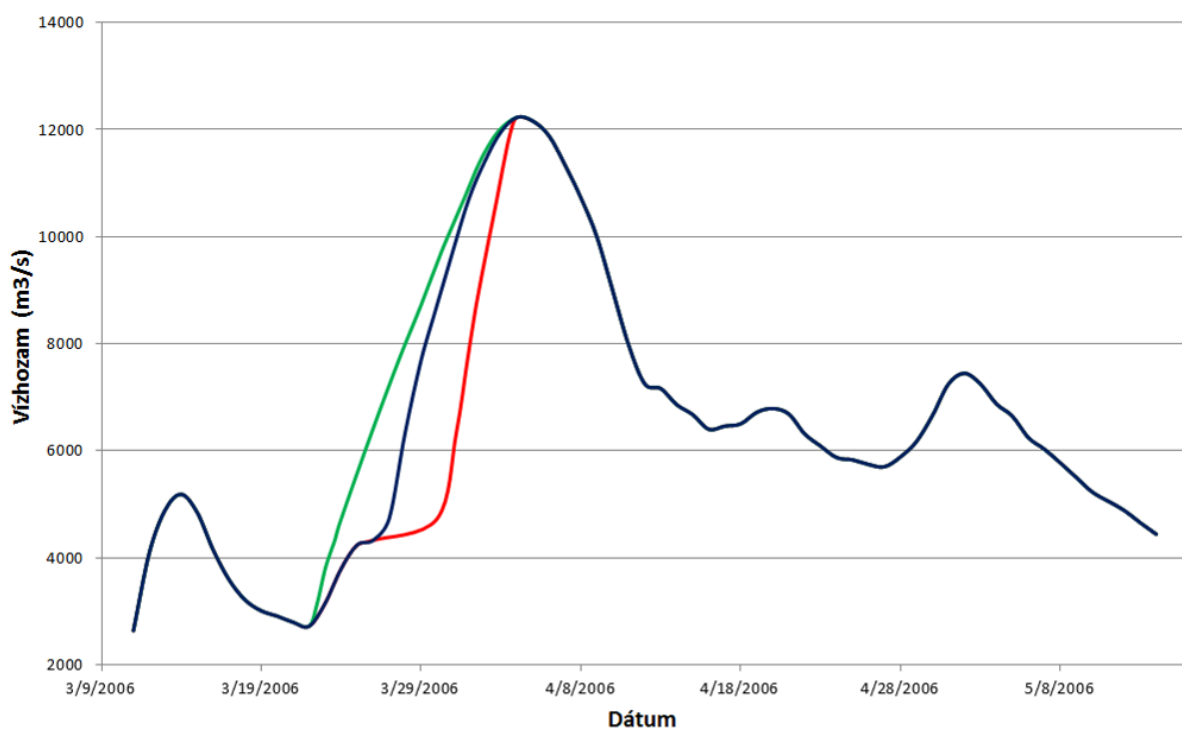
### 5.10.6.1 Hosszú távú, különböző áradási intenzitású árhullámok érzékenységvizsgálata

Jelen vizsgálatban meghatározzuk, hogy a különböző áradási intenzitású árhullámok milyen hatással vannak a telephely környezetében kialakuló vízszintekre. A modellszámításokat a valóságos árhullámok alapulvételére és érzékenységvizsgálatára alapoztuk.

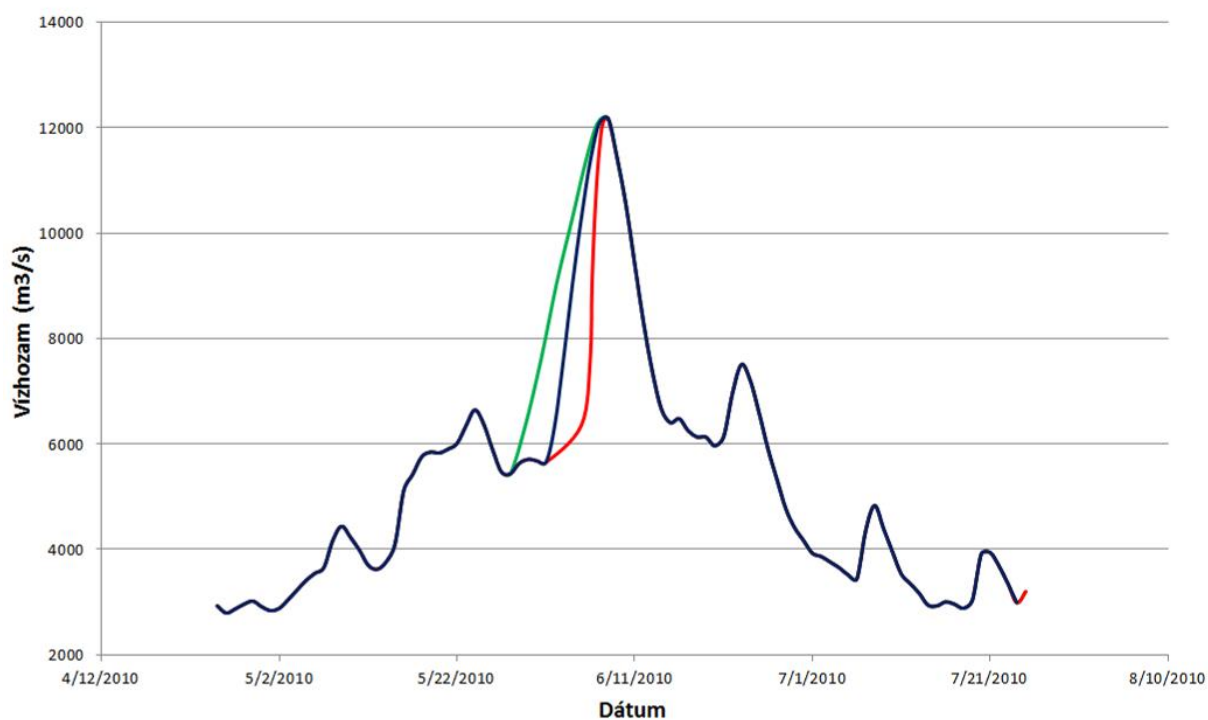
Kiválasztottunk két mértékadónak tekinthető, különböző tömegű múltbeli (2006. és 2010. évi) árhullámot, majd ezeknek két-két, 20 000 évente visszatérő vízhozamúra transzformált változatát készítettük el, olyan módon, hogy egy három nappal gyorsabb és három nappal lassabb felfutású árhullámot kapjunk (lásd az 5.10-6 és 5.10-7 ábrákat). Az árhullámokkal az általunk készített Budapesttől - Mohácsig terjedő hidrodinamikai modellszakaszon, modellvizsgálatokat végeztünk. Felső határszelvény a Duna 1646,5 fkm-es szelvénye (Budapest), az árhullámokat innen indítottuk el, alsó határfeltételként a mohácsi vízhozam-görbét adtuk meg.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	78/128





5.10-6. ábra A 2006. évi, 12 200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált árhullám különböző áradási intenzitás feltételezésével

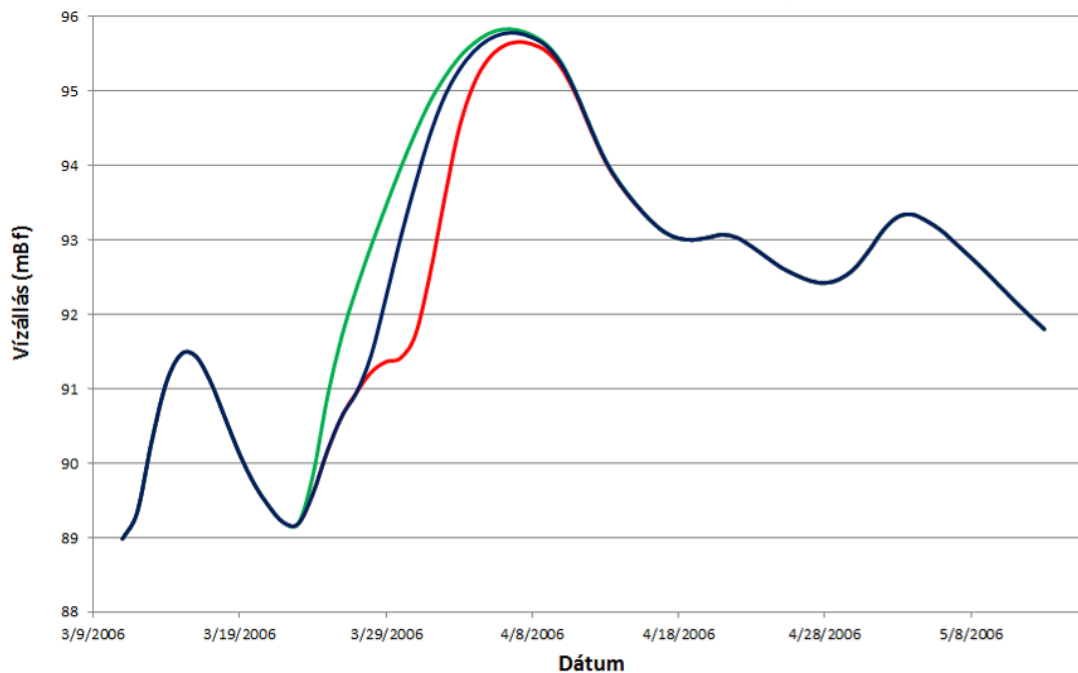


5.10-7. ábra A 2010-es, 12 200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált árhullám különböző áradási intenzitás feltételezésével

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	79/128

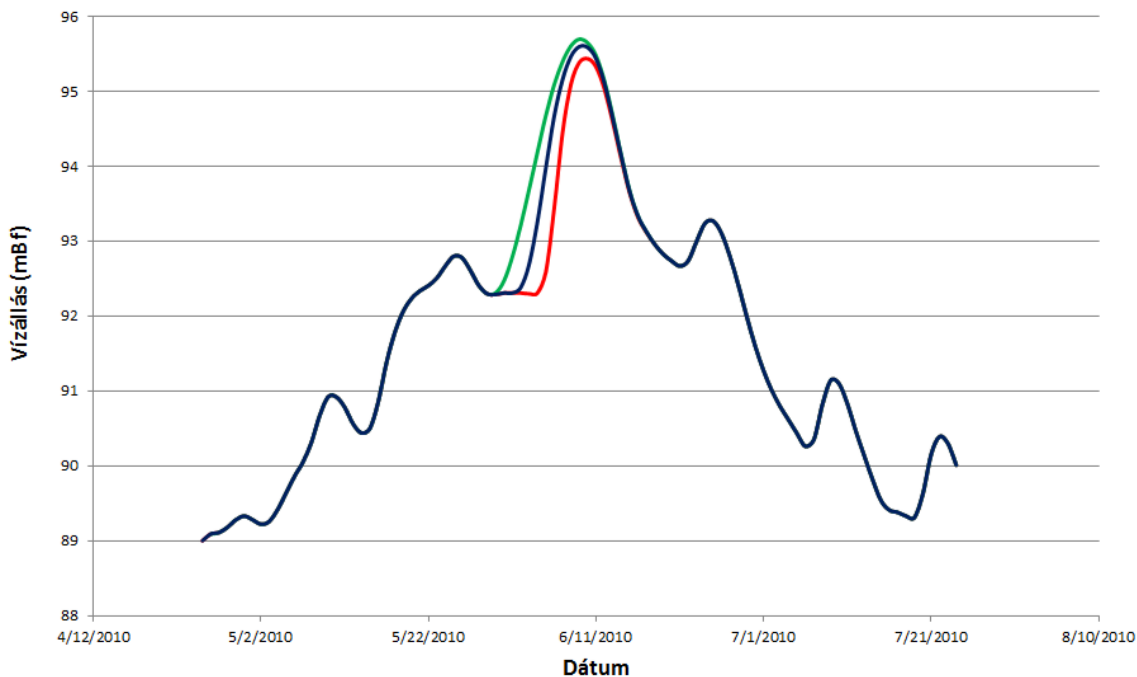


### Különböző intenzitású árhullámok Paksi (1526,5 fkm) vízszint idősorai



5.10-8. ábra A 2006-os, 12 200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált árhullám paksi vízszintjei különböző intenzitású áradás esetén

### Különböző intenzitású árhullámok Paksi (1526,5 fkm) vízszint idősorai



5.10-9. ábra A 2010. évi, 12 200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált árhullám paksi vízszintjei különböző intenzitású áradás esetén

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	80/128

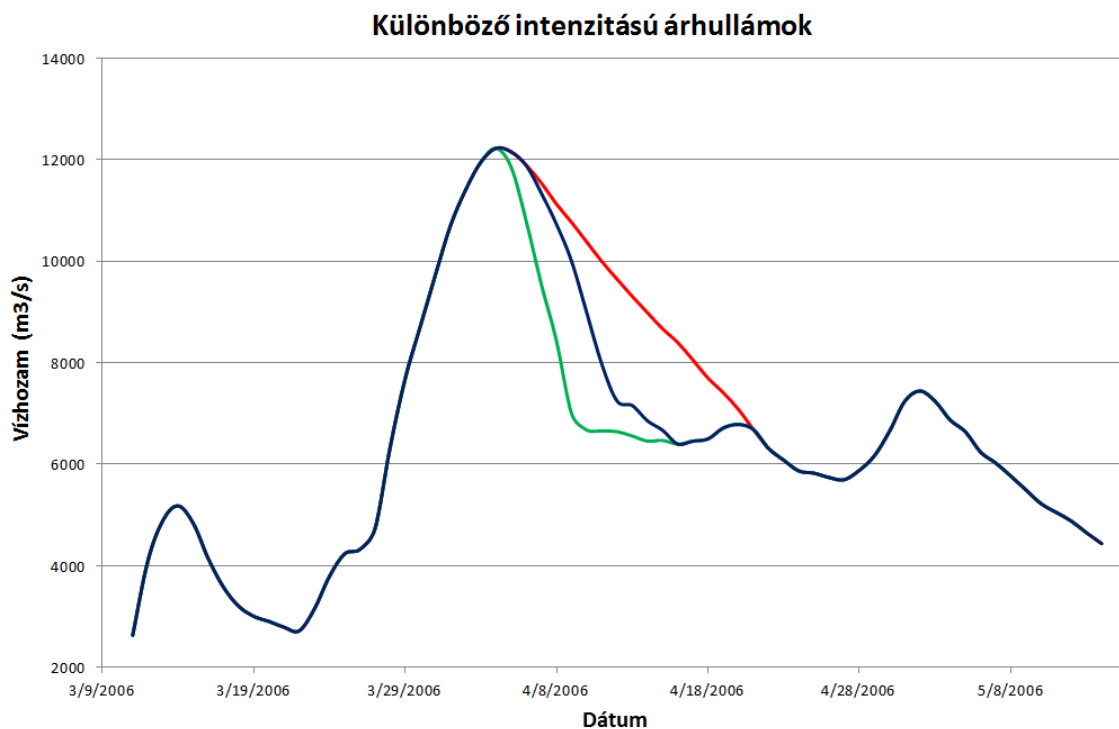
A futtatások után megállapítható, hogy a hevesebb (gyorsabb felfutású) árhullámok, amik napjainkban egyre gyakrabban tapasztalhatóak, alacsonyabb paksi tetőző vízszintet eredményeznek (-8 és -14 cm). Míg a lassabb felfutású régebben gyakrabban előforduló árhullámok nagyobb paksi vízszint mellett tetőznek (+4 és +10 cm). Az alábbi táblázatban a hidrodinamikai modellel számított 2006. és 2010. évi, 20 000 évente visszatérő vízhozamúra transzformált árhullámok paksi tetőzési vízszintjei láthatóak (lásd még az 5.10-8 és az 5.10-9 ábrákat):

<b>Tetőző vízszintek felfutási intenzitás szerinti érzékenységvizsgálata</b>					
Eredeti áradási intenzitású árhullám		Hevesebb, 3 nappal gyorsabb felfutású árhullám		Kisebb felfutási intenzitású, 3 nappal lassabb felfutású árhullám	
2006-os árhullám	2010-es árhullám	2006-os árhullám	2010-es árhullám	2006-os árhullám	2010-es árhullám
95.78 mBf	95.60 mBf	95.66 mBf (-8 cm)	95.44 mBf (-14 cm)	95.82 mBf (+4 cm)	95.70 mBf (+10 cm)

5.10-3. táblázat Különböző intenzitású árhullámok hatására kialakuló telephelyi (1526,5 fkm) vízszintek

### 5.10.6.2 Hosszú távú, különböző apadási intenzitású árhullámok érzékenységvizsgálata

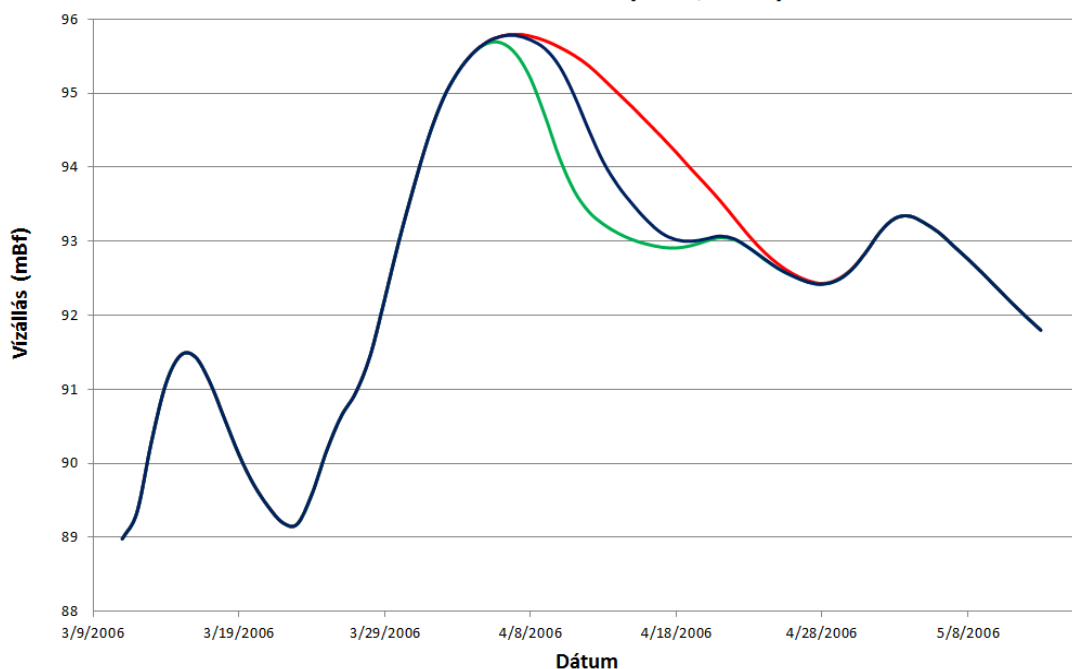
Az apadási intenzitások változtatásának vizsgálatánál a 2006. évi mértékadónak tekinthető 12 000 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált, azaz 20 000 évente visszatérő árhullámot vizsgáltuk. Ebben az esetben az apadási időt az előző módon lerövidítettük, illetve megnyújtottuk (lásd az 5.10-10 ábrát).



5.10-10. ábra A 2006. évi, 12 200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált árhullám különböző apadási intenzitás feltételezésével

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	81/128

### Különböző intenzitású árhullámok Paksi (1526,5 fkm) vízszint idősorai



5.10-11. ábra A 2006. évi, 12 200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált árhullám paksi vízszintjei különböző intenzitású apadás esetén

A vizsgálatok alapján látható, hogy az apadási hullám változásainak abban az esetben van hatása, ha gyorsabb lefolyású az árhullám apadása. Ilyenkor a telephely környezetében kialakuló Duna vízszintek mintegy 10 cm-rel süllyednek, amennyiben elnyújtottabb, laposabb az árhullám apadó ága abban az esetben vízszintemelkedés nem tapasztalható (lásd az 5.10-11 ábrát), vagyis az apadási intenzitás változtatásának hatása, árvízvédelmi szempontból mindenkor kedvező. A nagy vízszint tartósságok miatt azonban, a töltések, magasparti sávok állékonysági biztonsága csökken.

### 5.11 A FELVÍZOLDALI VÍZSZABÁLYOZÓ SZERKEZETEK MEGHIBÁSODÁSÁNAK HATÁSA

Jelen vizsgálat célja, hogy meghatározza a Paksi Atomerőmű területének nagyvízi érintettségét, a lehetséges legkedvezőtlenebb árvízi esemény bekövetkezése esetén, a Bósi duzzasztómű átszakadásából, tönkremeneteléből adódó, többlet vízszintemelkedés figyelembevételével. A legkedvezőtlenebb árvízi esemény alapjául, a múltban kialakult legkedvezőtlenebb tartós nagyvízi helyzet, a Duna pozsonyi szelvényében 1954 és 1965-ben levonult árhullám sorozat szolgált. Az alapul vett árhullámok vízhozamait úgy módosítottuk, hogy az árhullám csúcs-vízhozama (máig még egyszer sem előforduló) legfeljebb 1 %-os valószínűségű (1 000 évente legfeljebb egyszer várható) vízhozamú legyen (Megjegyezzük, hogy a rendszeresen észlelt napi adat a vízállás, amelyhez vízszintet rendelünk, míg a napi vízhozam adatok az ehhez tartozó, permanens esetben pontosabb, expedíciószerű mérések számításon alapuló pontosított Q-h görbék alapján adódnak). Mivel az 1 %-os valószínűségű árvízhozam, az árvízvédelmi töltések koronaszintje alatt maradt, lineárisan tovább növeltük a vízhozamokat úgy, hogy az árhullám vízhozam csúcsa, az árvízvédelmi töltés koronaszintjével színeljen, így az 1 %-osnál is kisebb valószínűségű terhelést kaptunk.

A Duna egész vízgyűjtőjét figyelembe véve, előzetes számítások, becslések alapján a paksi Duna szakaszra legalább 20.000 m<sup>3</sup>/s árvízcsúcs adódna. Ez a becslés nem veszi figyelembe a tényleges összegyülekezési és levonulási folyamatokat szélsőséges, az árvízvédelmi műveket meghágó, tönkretevő szélsőséges árhullámok esetén. Ilyen helyzetekben a Duna folyam tározók sorozatává alakul, ahol a kiömlő alvízi szűkületek vízemésztése befolyásolja a tényleges árhullám levonulás menetét. Ez az eredmény megerősítette azt az empirikus következtetést is, hogy a paksi szakaszon a szélsőséges árvízszintek kialakulásához több egymásra torló árhullám együttes hatására, szélsőségesen nagy víztömegek hosszantartó levonulása idején kell számítanunk. Az észlelési idősorból

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	82/128

az ilyen jelenségekre analóg példaként leginkább az 1954 és 1965-ös tavaszi-nyár eleji árvízi helyzet adódott, amely egyben a vizsgált szakaszon a valaha észlelt legmagasabb vízállásokat (LNV) is eredményezte (lásd az 5.11-1 és az 5.11-2 ábrát).

A valós határfeltételeket figyelembe vevő szélsőséges forgatókönyv kialakításához a teljes vízrendszer vizsgálata helyett csak a Duna Kárpát-medencei szakaszával foglalkoztunk. A vizsgált szcenárió a Dévény-Pozsony szakaszon töltésszakadás nélkül átbocsátott árvízi vízhozamot veszi figyelembe. Az árvízi csúcs-vízhozamok statisztikai vizsgálatát az általánosított extrém érték eloszlás (GEV) és az általánosított Pareto eloszlás illesztésével vizsgáltuk. A szimulációs vizsgálatban figyelembe vettük, a pozsonyi szakaszra kapott 1000 éves árvíz, amelynek tetőzése 13 400 m<sup>3</sup>/s. Jelenleg a szlovák főváros árvízvédelmi rendszerét erre a szintre építik ki. Feltételezve az aktív védekezésből adódó többletet, illetve a biztonság oldalára felülbecsülve a Bős alatti Vámosszabadi (Medve) szelvényre egy 14 000 m<sup>3</sup>/s csúcs-vízhozammal levonuló árhullámot tekintettünk bemenő értéknek. Az esetek többségében Pozsony/Bős alatt az árhullámok ellapulnak. Szélsőséges esetben (amire 2006-ban észlelési példával is találkoztunk) a tetőző vízhozamok lefelé haladva növekedhetnek. Az adott konstrukcióban a Duna árhulláma találkozik a mellékfolyók: Rába (Mosoni-Duna), Vág, Garam és Ipoly 1 %-os, megközelítőleg 100 éves visszatérési idejű árhullámával. A korábban végzett szimulációs vizsgálatok alapján ez nagyon ritka jelenségnek tekinthető, hiszen a csökkenő tetőző vízhozam nagy árhullámok esetén az esetek 80-90%-ában érvényesül a Pozsony-Nagymaros szakaszon. Összességében az adott árhullám 10 000 évesnél ritkábbnak tekinthető.

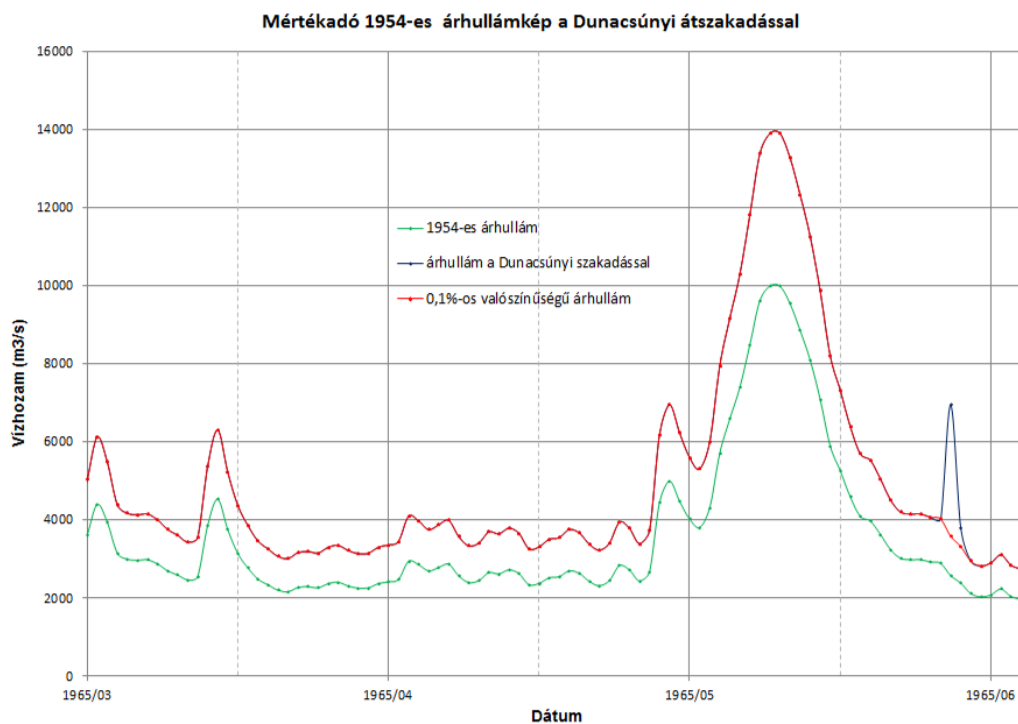
Az 1954-es, 1965-ös árvíz alapján generált 0,1% valószínűségű árhullám Pozsonyi Duna nagyvízhozam idősor, mint az áramlási modell felső peremfeltételének (Duna, Vámosszabadi) jellemzése:

A biztonság fokozására, az árhullám Vámosszabadiig való eljutása közbeni ellapulását figyelmen kívül hagyva vettük fel a hidrodinamikai modell felső peremfeltételéül ezt az árhullámot Vámosszabadinál. Majd ezt az árhullámot terheltük meg a Bősi duzzasztómű lehetséges legkedvezőtlenebb (alvízi additív hullámot eredményező) módon történő tönkremenetelének figyelembe vételével, azaz:

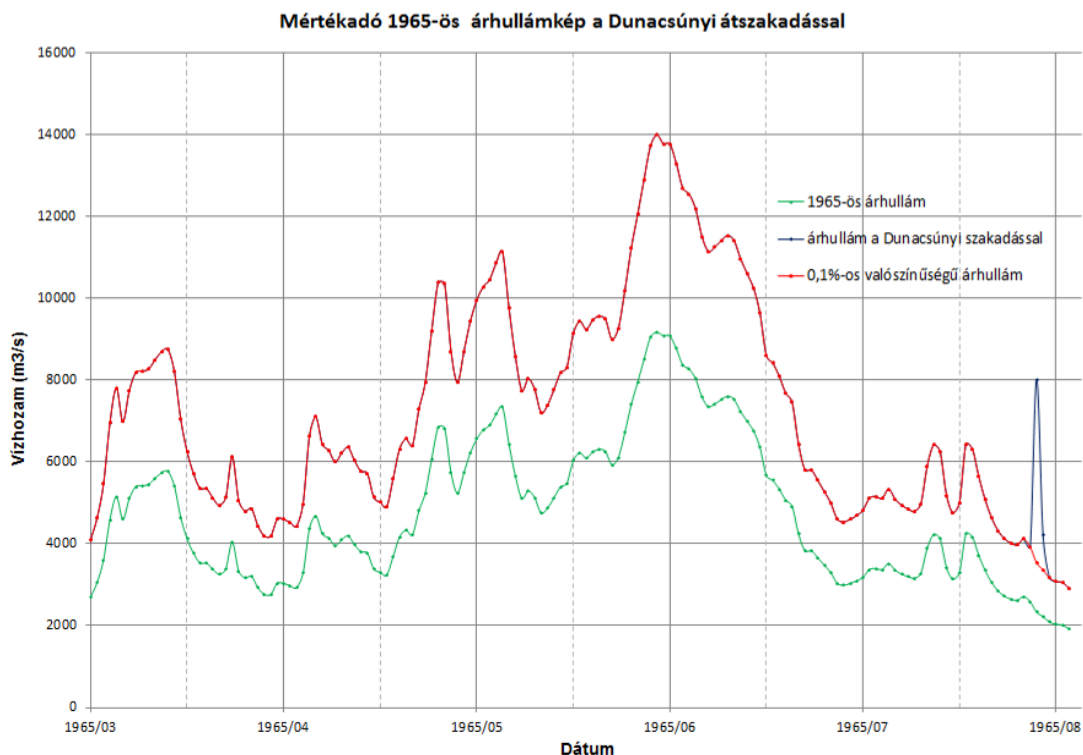
- A Bősi duzzasztótér teljes térfogata (110 millió m<sup>3</sup>) az üzemvíz-csatorna térfogatával együtt (190 millió m<sup>3</sup>), továbbá a kiömlés közbeni hozzáfolyással növelt, mindösszesen 293 millió m<sup>3</sup> víztérfogat, 2 nap alatt történő kiömlésével.

A legkedvezőtlenebb árhullám hatásának fokozására feltételezzük, hogy azzal egy időben mindhárom jelentős Duna mellékfolyó, a Vág (1765,7 fkm), Garam (1714,5 fkm) és Ipoly (1708,2 fkm) számított 1%-os valószínűségű árhullám csúcsúra növelt (Vág: Q1%=1950 m<sup>3</sup>/s; Garam: Q1%=900 m<sup>3</sup>/s; Ipoly: Q1%=570 m<sup>3</sup>/s;), 2006. évben levonult árhullámmal terheli a Dunát, úgy, hogy a mellékfolyók legnagyobb vízhozama éppen a Duna tetőző vízhozama idején lép be a Dunába.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	83/128



5.11-1. ábra Az 1954-ös árvíz alapján generált 0,1% valószínűségű árhullám képe



5.11-2. ábra Az 1965-ös árvíz alapján generált 0,1% valószínűségű árhullám képe

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	84/128



A biztonság javára a Paksi Atomerőmű környezetében lévő Duna meder középvízi- és nagyvízi medrének arányosított (kalibrált) mederérdességi tényezőit, mintegy 30 km hosszúságú folyószakaszon (Duna, 1511,5 – 1541,5 fkm), 20%-kal megnöveltük, ami mintegy 5 cm-rel emelte az árhullám csúcsának tetőzési szintjét.

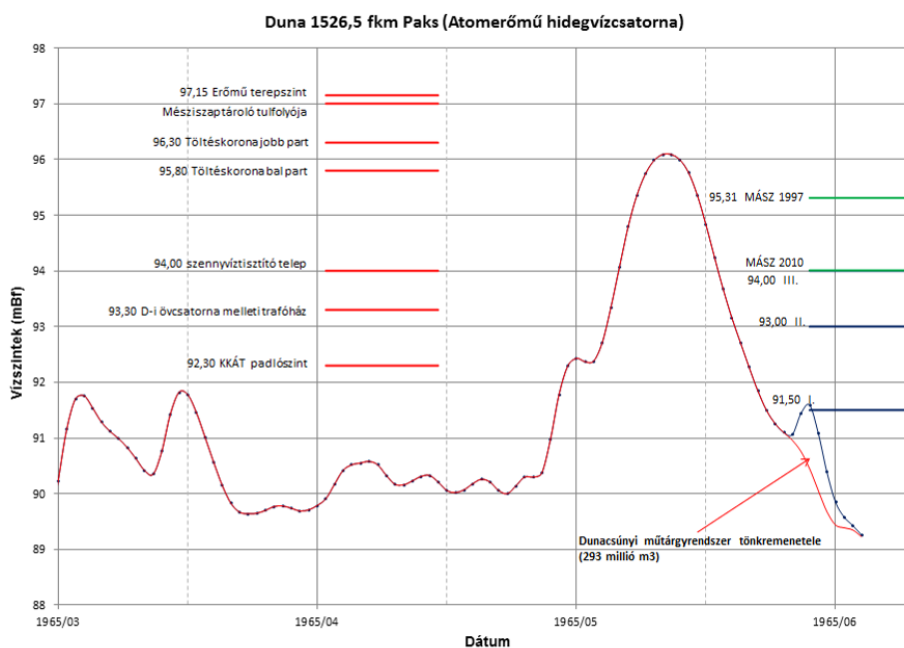
Az egydimenziós hidrodinamikai modell, a Duna Vámoszabadi – Mohács szakaszára vonatkozó alkalmazásával kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a Bósi vízlépcső lehetséges legkedvezőtlenebb módon történő átszakadása Paksnál egy rövid idejű, de jelentős vízszintemelkedést eredményez ugyan, de nem tekinthető a nagyvízi érintettség tekintetében mértékadónak. A Bósi duzzasztómű ugyanis mintegy 4 000 m<sup>3</sup>/s-nál nagyobb érkező Duna vízhozamok esetén teljesen nyitott állapotban van, ha nem tudna teljesen nyitni, akkor a felvízi árvédelmi töltésszakasz koronaszintje felett kilépne a víz ezzel alvízi szakaszok árhullám csúcsát lefejezve. Ez az oka annak, hogy az apadó árhullám 4 000 m<sup>3</sup>/s vízhozama alatt képzelhető csak el, egy hirtelen zárás hatására történő tönkremenetel.

Mértékadónak tekintendő a lehető legkedvezőtlenebb, 1 ‰-nél is kisebb valószínűségű, még éppen az árvízvédelmi töltések koronaszintjén ki nem lépő csúcs-vízhozamú árhullám, amely a Paksi Atomerőmű (Duna, 1526,5 fkm) környezetében az árvízvédelmi töltés koronaszintje felett tetőzne, ha az útja során nem bukna át a Budapest alatti árvédelmi töltésszakaszok koronáin, ezzel az árhullám tetőzési szintjét több mint 2,5 méterrel csökkentve az Erőműnél. A Budapest-Paks Duna szakaszon, árvízvédelmi töltéskorona szintek emelésére nem kell számítanunk, ugyanis a jelenlegi koronamagasság biztonsága eddig is megfelelő volt. „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendelet, a korábbiakban előírtakhoz képest, az Esztergom alatti Duna szakaszon csökkentette a mértékadó árvízszinteket, ezzel a töltéskorona szintek megfelelőségét növelve.

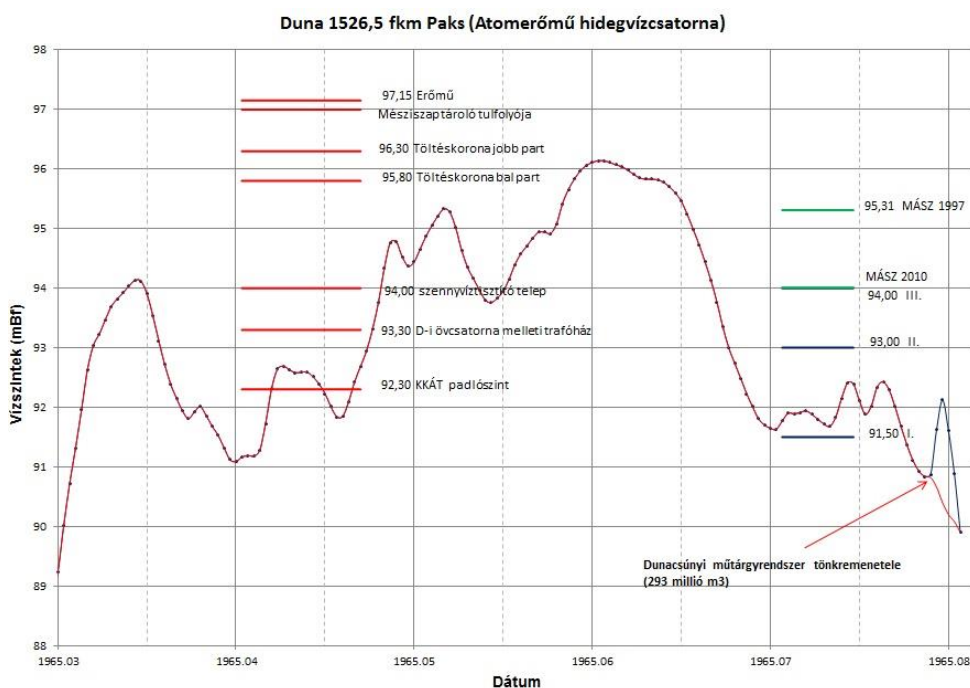
Az Erőmű számára az is előnyt jelent, hogy a Duna bal parti, az Erőmű környezetében lévő árvízvédelmi töltésszakasz koronaszintje, átlagosan mintegy 0,5 méterrel alacsonyabb (lásd az alábbi 5.11-1 táblázatot) szintű, mint a jobb parti árvédelmi töltésszakasz koronaszintje, ami a Duna tetőzési szintjét tovább csökkentheti. A Paksi atomerőmű térségében tehát, a legkedvezőtlenebb helyzetben sem kell számítani a Duna jobb parti árvédelmi töltéskorona (96,30 mBf) szintjét meghaladó árvízi elöntési szintre. A bal parti árvédelmi töltések kiépítettsége is megfelel a jelenlegi előírásoknak (MÁSZ<sub>2010</sub> + 1,0 méter), ezért azok erősítése nem indokolt.

Az árvédekezés időszakában az Erőmű érintett szakaszán, aktív beavatkozásokra, a töltéskorona magasítására csak korlátozottan van lehetőség. A Duna vízjárása és az előrejelzési lehetőségek általában legfeljebb 4-5 napos időelőnyt tesznek lehetővé, ami limitálja a beavatkozással érintett szakasz hosszát és annak volumenét (például: a homokzsákokból épített nyúlgát magassága nem haladhatja meg a 0,5-0,6 métert). A homokzsák vagy a nyúlgát kiépítésére a térségben lévő mindkét oldali árvédelmi töltéskoronán lehetőség van.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	85/128



5.11-3. ábra Az 1954-es árhullám levonulásának hatására a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna, 1526,5 fkm) kialakuló vízszintek időbeli alakulása



5.11-4. ábra Az 1965-ös árhullám levonulásának hatására a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna, 1526,5 fkm) kialakuló vízszintek időbeli alakulása

A legkedvezőtlenebb árhullám levonulása esetén a Paksi Atomerőmű telephelyi (Duna, 1526,5 fkm szelvénye) domborzata és az ott lévő főbb létesítmények tekintetében mértékadó, az Atomerőmű által is jegyzett biztonsági szintek feletti elöntési időtartamok ( $T_{\text{túllépés}}$ ) az alábbiak szerint alakulnak (lásd még az 5.11-3 és 5.11-4 ábrákat):

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	86/128



<b>Veszélyeztetett, főbb objektumok</b> (Paksi Atomerőmű területén, a Duna 1526,5 fkm környezetében)	<b>Mértékadó vízszintek</b> (Duna 1526,5 fkm) [mBf]	<b>Túllépési időtartam</b> (a kedvezőtlenebb 1965-ös árhullám levonulása esetén) [nap]
Töltéskorona szint a PA Zrt. térségében, jobb part	<b>96,30</b> mBf	<b>0,0</b>
Töltéskorona szint a PA Zrt. térségében, bal part*	<b>95,80*</b> mBf	<b>16,0</b>
Az Erőmű terepszintje	<b>97,15</b> mBf	<b>0,0</b>
KKÁT kirakó csarnok padlószintje	<b>92,30</b> mBf	<b>68,5</b>
Déli övcsatorna melletti trafóház padlószintje	<b>93,30</b> mBf	<b>59,5</b>
Szennyvíztisztító telep szintje	<b>94,00</b> mBf	<b>57,0</b>
Mésziszaptározó túlfolyó küszöbszintje	<b>97,00</b> mBf	<b>0,0</b>
Árvízvédelmi fokozatok** (az PA Zrt. öblözeti vízmércéje szerint, Duna 1526,5 fkm)		
I. Fokozat	<b>91,50</b> mBf	<b>108,0</b>
II. Fokozat	<b>93,00</b> mBf	<b>61,0</b>
III. Fokozat	<b>94,00</b> mBf	<b>56,5</b>
Mértékadó árvízszintek		
MÁSZ <sub>2010</sub> (A hatályos: 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendelet „A folyók mértékadó árvízszintjeiről”)	<b>94,01</b> mBf (a rendeletbeli értékek alapján lineárisan interpolálva)	<b>56,7</b>
MÁSZ1997 (15/1997. (IX. 19.) KHVM rendelet „A folyók mértékadó árvízszintjeiről”)	95,31 mBf (a rendeletbeli értékek alapján lineárisan interpolálva)	<b>22,0</b>

5.11-1. táblázat A Paksi Atomerőmű környezetének legkedvezőtlenebb szintű (96,30 mBf) árvízi elöntése esetén meghatározott, néhány fontosabb védelmi szint túllépésének várható időtartama.

#### Megjegyzések:

\* A táblázatban feltüntetett magassági adat forrása:

*A Duna bal parti töltéskorona szintek vonatkozásában (95,80 mBf), az adatforrás a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI), M=1:10 000-es méretarányú topográfiai térképe, illetve az azon feltüntetett árvízvédelmi töltéskorona szint adatok.*

\*\* Árvízvédelmi készütségek elrendelése:

*Az árvízvédelmi készütséget, a veszélyes vízjárási helyzettel (árhullámmal) érintett területileg illetékes Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (KÖVIZIG) rendeli el és szervezi, irányítja a védekezést. Amennyiben egy adott vízfolyáson két, vagy annál több KÖVIZIG is érintett III. fokú készütséggel, akkor az Országos Műszaki Irányító Törzs (OMIT) hatáskörébe kerül a védelemirányítás.*

**A Paksi Atomerőmű telephelyén a Duna jobb parti árvédelmi töltéskoronájával (96,30 mBf) színelő elöntési szintnél nagyobb, azt meghaladó vízszint, még a fent vizsgált extrém nagyvízi terhelések hatására sem alakult ki.**

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	87/128

## 5.12 ALVÍZOLDALI FÖLDCSUSZAMLÁS, JÉGDUGÓ KIALAKULÁSÁNAK PROGNOZTIZÁLÁSA, HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA ÁRAMLÁSI MODELL ALKALMAZÁSÁVAL

### 5.12.1 A DUNA MEDER VÁLTOZÁSÁT ELŐIDÉZŐ MAGASPART CSUSZAMLÁSOK HATÁSAINAK VIZSGÁLATA

A *partfalomlások, csuszamlások kiváltó okai*. A Duna Budapest alatti magyarországi szakasza jórészt egy É-D irányú szerkezeti vonal mentén folyik. A folyó a jobb parton húzódó magaspart alámosásával geológiai időlépcsőben továbbra is nyugat felé vándorol. Ez a folyamat az alapvető oka a magaspart peremén kialakuló csuszamlásoknak, omlásoknak.

A második tényező maga a partfalat felépítő kőzet: a lösz. Ezek a tulajdonságok teszik lehetővé, hogy a vizsgált szakaszon 20-60 méter magas partfalakat alkosson, illetve hogy megfelelő körülmények esetén, viszonylag gyakran le is omoljon.

A Duna medréhez közeli partfal szakaszokra az ún. szeletes csuszamlás (suvadás) jellemző. Ez a tömegmozgási forma olyan lejtőkön, meredek falakon jön létre, ahol a lejtő stabilitása valamilyen oknál fogva megszűnik és egy csúszópálya mentén a partfal anyaga szeletekben lecsúszik, egészen addig, amíg a fal nem kerül újra stabil, egyensúlyi helyzetbe

A Duna menti csuszamlások esetében az eseményt megelőző néhány hónapban rendszerint az átlagosnál több csapadék volt tapasztalható, ami felülről átáztatta a lösz réteget. Ezentúl jellemző volt a Duna hosszan tartó, magas vízállása, amit gyors apadás követett. Utóbbi tény oda vezet, hogy a jelenségek kisvízi, de nem szélsőségesen alacsony vízjárás helyzetben következnek be, hiszen nem több hónapos száraz időszakot követően fordulnak elő.

Több szerző megemlíti a csuszamlások kapcsán a földrengések szerepét. A földrengések azonban általában nem közvetlen kiváltó okai a csuszamlásoknak, inkább egyfajta előkészítő szerepük van a kőzettestben létrehozott repedésrendszerek révén.

#### 5.12.1.1 Az egyes partfal szakaszok jelenlegi állapota, és a dokumentált csuszamlások.

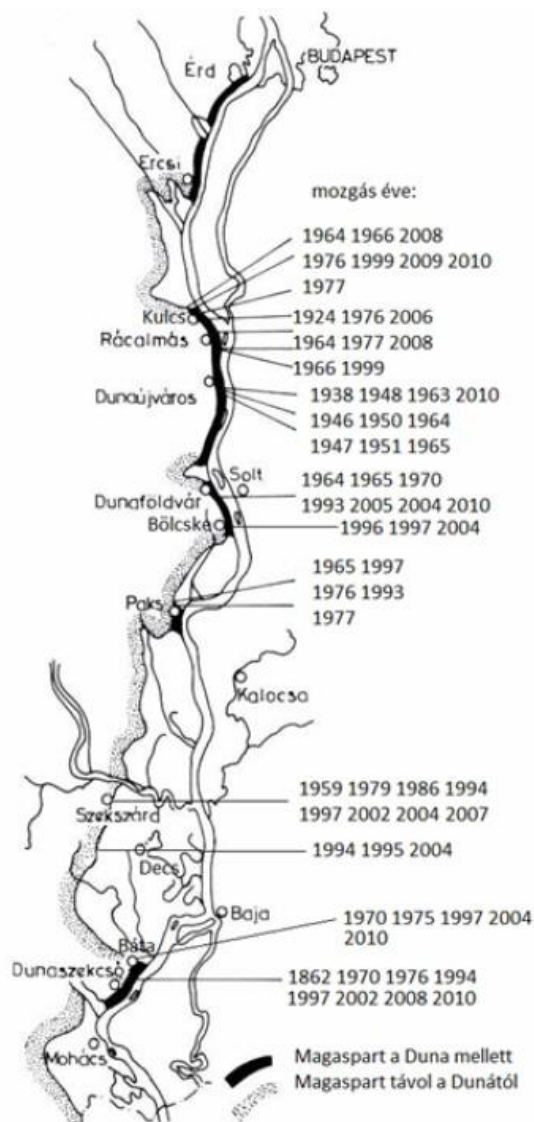
Irodalmi források alapján 65 dokumentált csuszamlást lehetett detektálni 1862-ig visszamenőleg a Kulcstól Dunaszekcsőig húzódó szakaszon (lásd **5.12-1** ábrát). Vizsgálatunk szempontjából azok a falszakaszok fontosak, amely közel húzódnak a Duna medréhez, így egy esetleges omlás, vagy csuszamlás megváltoztathatja a mederkeresztmetszetet.

Az *érdi magaspart* 30-50 méter magas, közel függőleges falszakasz. A Duna közvetlenül rombolja a partfal lábát. Ezen a szakaszon több kisebb méretű omlást jegyzett fel a szakirodalom. Itt tehát a nagy tömegű csuszamlások nem jellemzőek.

Az *ercsi szakasz* általában 30-40 **fokos** lejtővel kapcsolódik a Dunához. A Duna medréhez közeli **szakasz** az 1618,3 fkm-től az 1613,4 fkm-ig húzódik. Itt a nagytömegű csuszamlás veszélye viszonylag csekély, részben a partvédelmi intézkedéseknek köszönhetően.

A *kulcs-dunaújvárosi szakasz* mintegy 20 km hosszú. Az elmúlt évtizedekben itt voltak a legjelentősebb károkat okozó földmozgások. Kulcs község területén ma is több területet - mintegy három kilométer hosszan - omlásveszélyesnek minősítettek, amiből több mint egyharmada különösen veszélyes, már mozgásban lévő szakasz.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	88/128



5.12-1. ábra Az elmúlt évtizedek partfal mentén dokumentált csuszamlásos esetei

A *dunaföldvári szakasz* két részre osztható. A dunaföldvári hídtól északra alacsonyabb (kb. 20 méter) a partfal. Itt az omlás a jellemző tömegmozgás. A hídtól délre a magaspart magasabbra, 30-50 méterre emelkedik a **Duna** fölé. Itt már a szeletes csuszamlás az uralkodó. Itt, a hírhoz közel történt 1970. szeptember 15-én a mintegy 700 méter hosszú, 100-120 méter széles csuszamlás. A kimozdult közettest becsült térfogata kb. 1 millió m<sup>3</sup> volt. A dunaújvárosi eseményhez hasonlóan a Duna medre itt is több száz méter hosszan deformálódott, de a dunaföldvári és paksi napi két vízállás észlelésből az omlás vízállásokra gyakorolt hatása nem állapítható meg egyértelműen.

A *dunaszekcsői szakasz* az egyetlen Pakstól délre található, közvetlenül a Duna mellett magasodó partszakasz. Ez a szakasz is különösen instabil. Itt volt az utolsó nagyobb méretű csuszamlás 2008. február 12-én. 550.000 m<sup>3</sup>-nyi közettest kb. 520 méter hosszon és maximum 240 méter szélességben mozdult meg. Ennél az esetenél ismertek a Duna medrében beállt változásra vonatkozó adatok is. Eszerint legalább 37.000 m<sup>3</sup> közet csúszott bele a mederbe, de nem több mint 45.000 m<sup>3</sup>. Az arány a megmozdult összes közettömeg, illetve a mederbe jutó rész között feltehetően hasonló lehet a többi csuszamlásos esetben is. Ennek a csuszamlásnak egyébként sem a bajai, sem a mohácsi mércén kimutatható hatása nem volt.

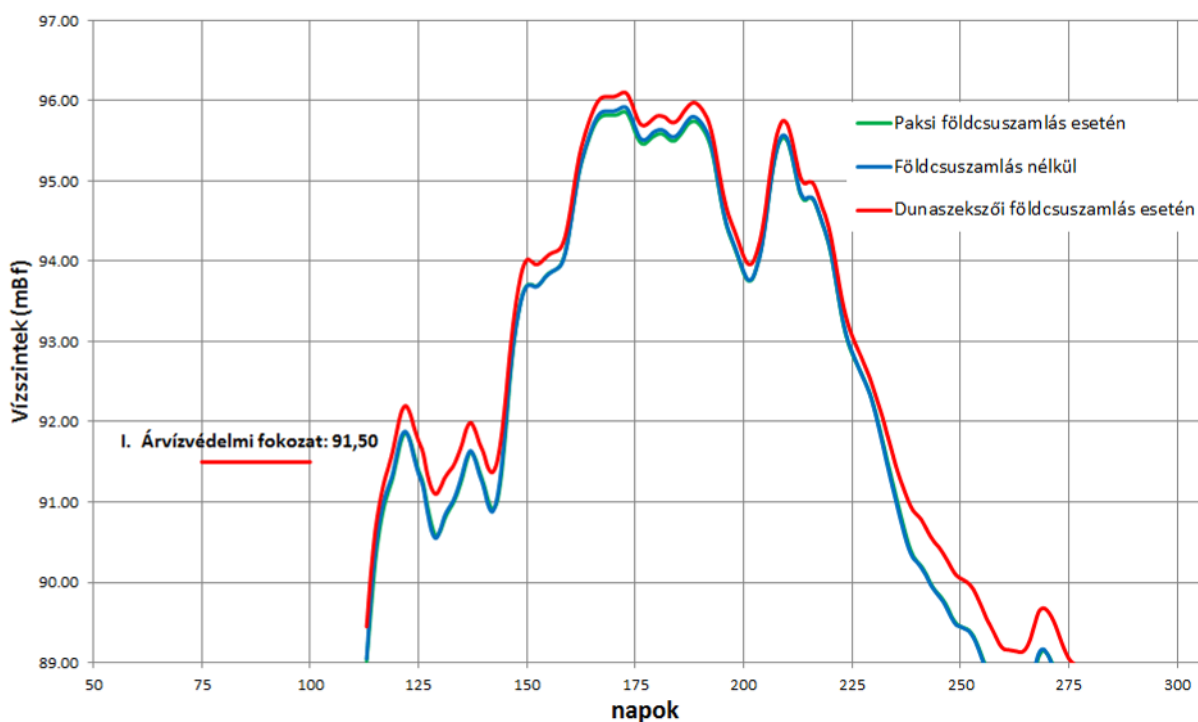
MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	89/128

Jelenleg három olyan szakasz van a Duna mellett, ahol komoly csuszamlásveszély áll fenn. Ezek közül a kulcsi közvetlenül a főmeder mellett található. Itt elképzelhető egy mederdeformációval járó földcsuszamlás is, de tekintettel a Pakstól való távolságra komolyabb hatással semmiképpen nem kell számolni. A Dunaújváros-táborállási szakasz távolabb esik a főmedertől, és bár itt is bármikor bekövetkezhet egy csuszamlás, a főmedret ez valószínűleg nem fogja érinteni. A harmadik, már jóval Paks alatt lévő dunaszekcsői veszélyzónában is számolni kell további csuszamlásokkal, de a közelmúltban bekövetkezettnél csak nagyságrenddel nagyobb tömegmozgás okozhat komolyabb mederelzáródást.

Mivel a legtöbb veszélyes szakaszt folyamatosan monitorozzák, illetve számos helyen jelenleg is partvédelmi munkák folynak. A paksi szakaszon érzékelhető vízhozam-csökkenést okozó, mederelzáródást okozó csuszamlás esélye rendkívül csekély, szélsőséges kisvízi helyzetben gyakorlatilag kizárható.

A modellvizsgálatunknál két helyen történő földcsuszamlást vizsgáltunk, egyet a Paksi Atomerőmű felett, egyet pedig Dunaszekcsőnél. Mindkét helyen nagymértékű mederelzáródást okozó csuszamlást feltételeztünk, mintegy 1000 méter hosszón, a mértékadónak tekintett (20 000 évente visszatérő) 12 200 m<sup>3</sup>/s -ra transzformált 1926-os árhullámot szimuláltunk. Mindét esetben megállapítható, hogy a feltételezett földcsuszamlások hatásai nem jelentősek, a Paks feletti földcsuszamlás esetében a maximális vízszintek 5 cm-el csökkennek, a dunaszekcsői földcsuszamlásnál 13 cm-el növekednek a tetőző vízállások (lásd az 5.12-2 ábrát).

### 12200 m<sup>3</sup>/s-ra transzformált budapesti 1926-os évi árhullám paksi vízszintjei partfalomlás esetén



5.12-2. ábra A felszorzott budapesti 1926-os árhullám paksi levonulási vízszintjei földcsuszamlások esetén

## 5.12.2 JÉGDUGÓ KIALAKULÁSÁNAK PROGNOZTIZÁLÁSA, NAGYVÍZI HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA ÁRAMLÁSI MODELL ALKALMAZÁSÁVAL

Jelen vizsgálat célja, hogy meghatározza a Paksi Atomerőmű területének jeges nagyvízi érintettségét, az Erőmű alatt kialakuló jégdugó hatására, a lehető legkedvezőtlenebbnek ítélt jeges nagyvízi, illetve jégtorlasz vagy jégdugó által előidézett nagy vízszintemelkedés hatására kialakuló helyzetben (amely általában a téli időszak kis- és középvíz hozamú időszakában történt meg).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	90/128

A ma már hatályon kívüli, „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló, 15/1997. (IX. 19.) KHVM rendeletben közzétett mértékadó árvízszinteket (MÁSZ) a Duna Esztergom alatti szakaszán, az addigi mérési adatok alapján megismert jeges nagyvízi helyzetek, míg az Esztergom feletti Duna szakaszon a nem jeges nagyvízi események determinálták. A Paksi Atomerőmű környezetében a Dunában kialakult mértékadó árvízszinteket, így tehát nem a jégmentes, hanem a jeges nagyvízszintek (gyakorlatilag az 1956-os jégtorlaszos időszak) határozták meg. A MÁSZ<sub>1997</sub> (95,31 mBf, a Duna 1526,5 fkm szelvényében) szintek határozták meg a kiépített árvédelmi művek koronaszintjeit is, az Atomerőmű környezetében az egy (1) méteres biztonság (MÁSZ<sub>1997</sub> + 1 m) tartásával.

2010. május 6-tól hatályba lépett „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendelet, amely hatályon kívül helyezte a korábbi, 15/1997. (IX.19) KHVM rendeletet. Az új rendeletben, az elmúlt időszak tapasztalatai alapján megszüntették a jeges nagyvizek Esztergom alatti mértékadó szerepét, ezzel a jégmentes árvízszintek lettek a Paksi Atomerőmű térségében a mértékadó árvízszintek: MÁSZ<sub>2010</sub> (94,01 mBf, a Duna 1526,5 fkm szelvényében).

A feladat megoldására egydimenziós hidrodinamikai modellt kalibráltunk eredményesen a Duna Dunaújváros (1580,6 fkm) – Mohács (1446,9 fkm) szakaszára, az eddigi legkedvezőtlenebb, 1956. március 5-6-án kialakult jeges nagyvízszintek meghatározása érdekében (a Duna Dunaújvárosi szelvényében 2 nap alatt 3,68 métert emelkedett az alvízen kialakult jégdugók miatt a jégfelszín).

A vizsgált Duna szakaszon mértékadó, az 1956-os jeges árvíz idején jégmegállásos helyek az alábbiak voltak:

- Dunaföldvár 1560,6 – 1558,0 fkm
- Harta 1548,0 – 1546,0 fkm
- Siótorok 1510,0 – 1489,0 fkm
- Baja (híd) 1485,0 – 1480,0 fkm
- Sárospart 1475,0 – 1470,0 fkm

### 5.12.2.1 Meder geometriai adatok

A Duna 1580,6 – 1446,9 fkm közötti szakaszán a nagyvízi állapot számítására alkalmas keresztshelvény adatokat az alábbi alapadatokból állítottuk elő. Rendelkezésünkre állt:

- 2009. évi középvízi mederfelvétel 500 m-es szelvénytűrésséggel a vizsgált szakaszon
- M = 1:10000 méretarányú topográfiai térkép

A térkép alapján a középvízi mederszelvények MÁSZ +1,5 m magasságig kiegészítésre kerültek. Az alábbi táblázat a Duna szakasz vízmerce szelvényeit tartalmazza.

Vízmerce	Fkm
Dunaújváros	1580,6
Dunaföldvár	1560,6
Paks	1531,3
Dombori	1506,8
Baja	1478,7
Mohács	1446,9

5.12-1. táblázat Vízmerceszelvények a Duna 1581 – 1446 fkm közötti szakaszán

### 5.12.2.2 A modell hidraulikai beárnyosítása

Felső határfeltételként a dunaújvárosi szelvényben (1580,6 fkm) az 2006. április 1. - 20. közötti levonult árhullámnál kialakuló maximális vízhozamot vettük permanens állapotként.  $Q_{\text{Dunaújváros}} = 8460 \text{ m}^3/\text{s}$ .

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	91/128

Alsó határfeltételként vízszintet a mohácsi szelvényben (1446,9 fkm) adtunk meg a rendelkezésre álló napi vízállás adatok alapján.

Egy a természetben lejátszódó háromdimenziós, időben és térben is változó, turbulens hidraulikai folyamat 1D permanens numerikus modellezése csak közelítése a valóságnak. Gyakorlatban és a probléma kezelésére elfogadható pontossággal végezhetünk számításokat, ha a modellt bearányosítjuk.

A bearányosítás a vízmérce szelvényekben mért vízszintekre történt a főmeder, a bal- és jobb oldali hullámterek simasági együtthatóinak meghatározásával. Az észlelt és a bearányosítás során számított vízszinteket az alábbi táblázatban adjuk meg:

Vízmérce	fkm	Z <sub>számított</sub>	Z <sub>mért</sub>	dZ
		mB.f.	mB.f.	cm
Dunaújváros	1580,6	97,47	97,49	-2,0
Dunaföldvár	1560,6	95,75	95,79	-4,4
Paks	1531,3	93,95	93,98	-3,0
Dombori	1506,8	92,42	92,37	4,6
Baja	1478,7	90,52	90,50	2,4
Mohács	1446,9	88,50	88,50	0

5.12-2. táblázat Mért és a bearányosítás során számított vízszintek

### 5.12.2.3 Bearányosítás az 1956-os jeges árvízre:

Az alkalmazott 1D hidraulikai modell jégdugó és zajló jég kialakulása esetén is használható. Mivel a jégdugó megadásánál több adat ismerete szükséges (jégdugó helye, vastagsága, kiterjedése, simasági együtthatója), a modell bearányosítása az 1956-os jeges árvízi eseményre történt.

Hasonlóan a hidraulikai bearányosításhoz itt is a simasági együtthatók meghatározásával történt a bearányosítás. A jégdugó vastagságának függvényében az alábbi simasági együtthatók felvételét ajánlja a program:

Vastagság	Manning féle simasági együttható
m	
0,1	0,015
0,3	0,04
0,5	0,05
0,7	0,06
1,0	0,08
1,5	0,09
2,0	0,09
3,0	0,1

5.12-3. táblázat Manning féle simasági együttható

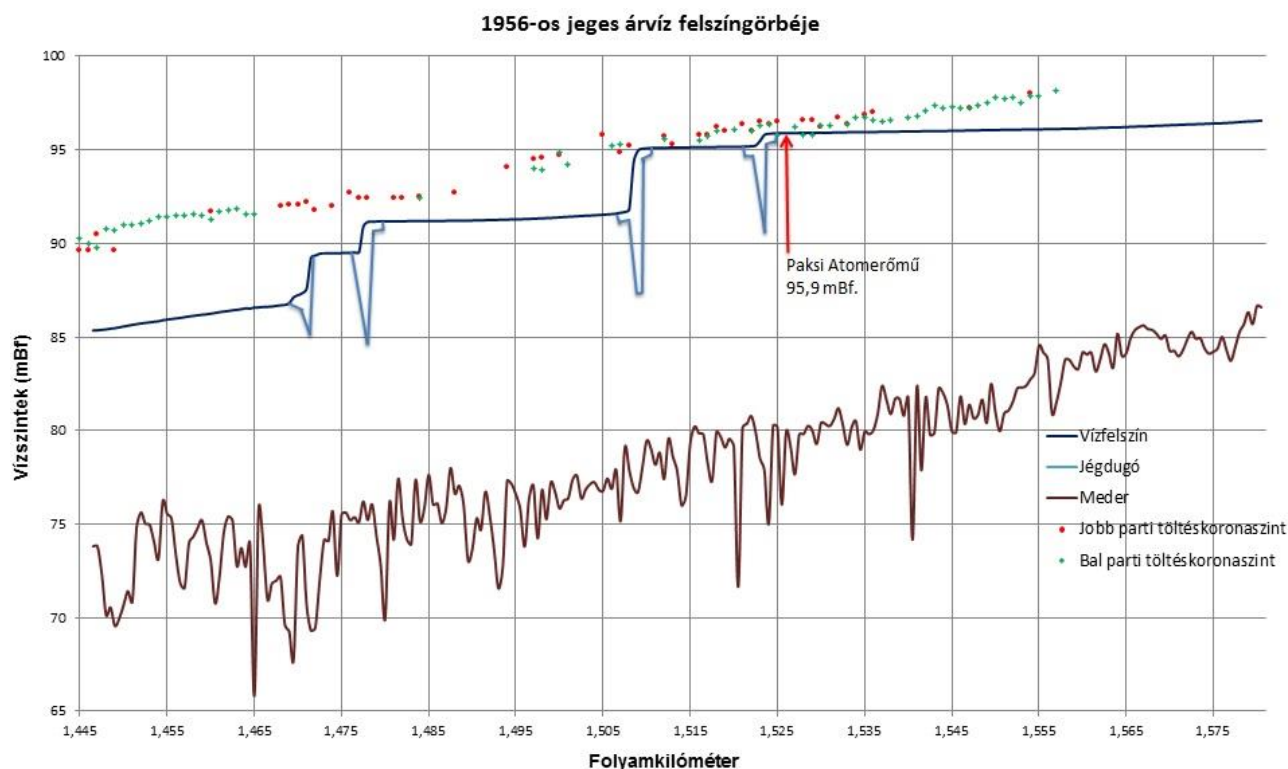
A bearányosítás során arra törekedtünk, hogy a Duna 1510 és 1565 fkm szelvények közötti szakaszon a vízszintek jó egyezést mutassanak. Az alsó és felső határfeltételek bizonytalansága miatt a többi szakaszon nagyobb hibát is elfogadtunk.

A jelenlegi éghajlat változási tendenciáktól eltekintve, ezt a jég helyzetet vettük alapul a vizsgálataink során, az akkori mértékadó jeges árvízszinteken túlmenően az Erőmű melegvíz-csatornája alatt, a korábbi tapasztalatoknak megfelelő, mintegy 5 km hosszúságú jégdugó kialakulását generáltunk, a Duna szakasz mederveviszonyaiból adódó jégmegállási hajlamra való érzéketlensége ellenére.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	92/128



Az alábbi (5.12-3 ábrán) a MÁSZ<sub>1997</sub> alapján bearányosított vízszinteket és a jelenlegi töltéskorona szinteket ábrázoljuk:



5.12-3. ábra A legkedvezőtlenebb jeges nagyvízszintek alakulása a Paksi Atomerőmű környezetében (Duna, 1526,5 fkm), az 1956-os mértékadó helyzethez képesti extra jégdugóval a melegvízcsatorna alatti Duna szakaszon

A hidraulikai vizsgálat eredményeképpen megállapíthatjuk, hogy a lehető legkedvezőtlenebbnak ítélt jeges nagyvízszintek a Paksi Atomerőmű környezetében, az árvízvédelmi mű koronaszintjével szineltek (95,90 mBf). Korábbi tapasztalatok- és jéghidraulikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a kedvezőtlenül nagy szintet elérő jégborítás tartóssága, időtartama legfeljebb 2-3 nap, amelyet követően a feltorlódást okozó jégdugó/jégtorlasz összeomlik. Jeges árvízi elöntéssel a Paksi Atomerőmű környezetében nem kell számolni.

Amennyiben a víz megkerüli a jégtorlaszt/jégdugót, elbontja a Duna bal- és/vagy Erőművet védő jobb partot, illetve megbontja az árvízvédelmi töltést és új mederben folyik le, elöntve esetleg ezzel a Paksi Atomerőmű külső, a telephelynél (97,15 mBf) mélyebben fekvő területének részeit, úgy gyors apadásra számíthatunk, mert a jégtorlasz megbomlásával a folyó mederbeli lefolyása helyreáll, az elöntés legnagyobb szintje nem fogja megközelíteni a Duna Erőmű menti árvízvédelmi töltésének koronaszintjét (96,30 mBf). A 96,30 mBf szint alatti létesítmények érintettségét az előző fejezetben közölteknek megfelelően alakul.

Jégvédekezéskor fontos, hogy a zajló jég zavartalan továbbhaladását, lehetőség szerint mindenkor biztosítsuk. Amennyiben kialakul a jégtorlasz/jégdugó, azt alulról kell megbontani, amely történhet jégtörő hajóval vagy robbantással. A jégtáblák akadálytalan levonulását biztosítani kell. A jégzajlás megindulása után, ameddig mód van rá, célszerű lehet a jégtáblákat kiszedni, hogy egy következő szűkületnél ne épülhessen újra fel a torlasz.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	93/128



## 5.13 ÜZEMZAVARI ÉS BALESETI KIBOCSÁTÁSOKBÓL SZÁRMAZÓ NEM RADIOAKTÍV SZENNYEZŐANYAGOK TERJEDÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA A DUNÁBAN

### Fogalomtár:

Transzport: a vizsgált állapotjellemző megváltozását írja le. Részei a lokális megváltozás, az áramlási viszonyoktól függő konvekció, a térbeli egyenlőtlenségből adódó diffúzió és egyéb forrás/nyelő tagok.

Lagrange-i közelítés: áramlásba helyezett modellrészecskék sorsának követése

Near-field modell: a melegvíz bevezetésének környéke, ahol az áramlás háromdimenziós hatása érvényesül

Far-field: „távoltéri” modell, ahol a mélység menti jellemzők (sebesség, hőmérséklet) kiegyenlítődése figyelhető meg

### 5.13.1 A 3D MODELLEZÉS KIINDULÁSI ALAPJA, AZ IMPULZUSHATÁS FIGYELEMBE VÉTELÉNEK FONTOSSÁGA

A modellfejlesztésünkhöz alapvetően „A Paksi Atomerőmű hőterhelése: a monitorozás és az üzemirányítás fejlesztése”, BME VKKT, 2008. dokumentumot használjuk teljes egészében, mely az alábbiakat tartalmazza:

- 2D-s hidrodinamikai és hőtranszport modell felépítése, kalibrációja, validációja,
- 3D-s modell számítási eredményei,
- mérések (Lagrange-i részecskevizsgálat, sebességtér, hőmérséklet).

E tanulmányban bemutattuk a 2D és 3D hidrodinamikai és hőtranszport modellt, melyet a mostani munkafázisban ki fogunk terjeszteni.

Eddigi megállapításaink az elkeveredési folyamatokat illetően:

A vizsgált folyószakasz (1528+000 fkm - 1523+000 fkm) két részre, a keresztgát (1525+500 fkm szelvény) feletti és alatti szakaszra bontható („near field” illetve „far field”).

A felső szakaszon („near field”) jelentkező háromdimenziós hatások (például partközeli visszaáramlások, lokális örvények, és ezek eredményeként létrejövő szabálytalan rétegződés) és a bevezetés miatt kialakuló intenzívebb turbulencia meghatározó módon befolyásolják a hőtranszportot. Kisvízi állapotok mellett elvégzett méréseink alapján a „near field” zónában a legnagyobb függély menti átlagsebességek nem a mélység-maximumok, hanem a jobb part környezetében jelentkeznek. Ez a Duna más szakaszaira tett megfigyelések, illetve a modellezési tapasztalatok alapján némileg meglepő sajátosság.

Az áramlás és a transzport alakulása szempontjából a keresztgátnak kiemelt jelentősége van. A műtárgy irányeltérítő hatása idézi elő a felvízi szakaszon még bevezetés-oldali sodorvonal fokozatos, bal part felé való áthelyeződését. A hőmérséklet eloszlások a „far field” zónában kimérhető szétterülése elsősorban ugyancsak a keresztgát következménye.

Ezen kívül, inkább elvi jelentőségű észrevételünk, hogy magas vízállások esetén a sodorvonal – az elvárásoknak megfelelően – a bal part irányába mozdul el. Ebből adódóan a bevezetés oldali sebességek, és így a csóva tartományában létrejövő hígulás és elkeveredés is csökken(het). Utóbbi jelenség felveti annak lehetőségét, hogy a középvízi állapotot is, mint potenciális kritikus helyzetet kezeljük. A kérdés további vizsgálatot igényel: a jelenséget csupán egyetlen mérési eredmény támasztja alá.

### 5.13.2 AZ IMPULZUSHATÁST LEÍRÓ MODELL INTEGRÁLÁSA A 3D HIDRODINAMIKAI ÉS TRANZSPORT MODELLBE

A „Paksi Atomerőmű hőterhelése: a monitorozás és az üzemirányítás fejlesztése” című projektfeladat keretében megalkottunk egy 3D-s hidrodinamikai és hőtranszport modellt, mellyel a Paksi hűtővíz bevezetés közvetlen

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	94/128

környezetének áramlási és ez által hőmérséklet viszonyai vizsgálhatóvá váltak, ebből következően a határérték-szélvénnyel hőmérsékletkorlát betartása ellenőrizhető lett.

A háromdimenziós modell - részletes felbontása révén – jól leírja a sebességteret, és azt alapvetően meghatározó turbulenciát és turbulens diffúziót. A modell figyelembe veszi a mederváltozás, a sarkantyúk áramkép módosító hatását és kielégítő részletességgel tudja számolni a lokális jelenségeket (pl. sarkantyú mögötti holtter, szekunder áramlások). Azonban további pontosítások szükségesek és lehetségesek: egyrészt az elkeveredési folyamatoknál döntő szerepe van a beömlési pont körüli térrész pontos ismeretének, másrészt célszerű a csóva szélén kialakuló hőmérséklet gradiens miatt a jobb felbontásra. Így ezen részfeladat keretében a meglévő modell fejlesztéséhez a belépés környezetében és a csóva szélén a térbeli felbontást jelentősen javítottuk egy jóval sűrűbb hálót létrehozva. A modell fejlesztése alapot jelent a további vizsgálatokhoz; az elkeveredés és a hőcsóva számításához különös tekintettel az impulzushatásra a „near field” zónában és intenzív bekeverési módok esetében (pl. diffúzorok alkalmazásával).

Az eredeti 3D modellt – mely a hidegvíz csatornától a nagy sarkantyúig (keresztgát) terjed – mintegy 245 000 tetraéder és ezekből létrehozott polihedra térfogatelemre osztottuk (ez lett a numerikus háló). A csóva szélén végrehajtott sűrítés 13 500, míg a belépés közelében 12 500 többlet elemet jelentett. A régi és új hálón végzett számítások eredményeinek összehasonlítását a hőcsóva modellezés fejezetében mutatjuk be.

### 5.13.3 ÜZEMZAVARI ÉS BALESETBŐL SZÁRMAZÓ SZENNYEZŐK TERJEDÉSE A DUNÁBAN

Jellegét tekintve a baleseti szennyezés lökészerű terhelést jelent a befogadó számára: rövid idő alatt véges mennyiségű káros anyag ömlik a folyórendszer valamelyik pontjába. A szennyezési hullám vagy felhő viszonylag gyorsan levonul; a Duna esetében ez az országhatárig 1-2 napot jelent.

Szennyezőanyagok sorsát a vízi környezetben az áramlási viszonyok, a kémiai és a biológiai folyamatok határozzák meg. A potenciális baleseti szennyezések levonulásának elemzése során utóbbiakat nem vizsgáljuk, és konzervatív anyagot feltételezünk (a szennyezőanyag nem bomlik le, nem alakul át, nem lép ki a víz fázisból stb.). A feltételezés több ok miatt is helyénvaló: a kérdéses szennyezők körét jellemző radioaktív izotópok felezési ideje nagy, az olajszenyezések biológiai hozzáférhetősége pedig kicsiny. Ezzel a közelítéssel a biztonság javára térünk el.

A baleseti szennyezők modellezése lehetővé teszi, hogy a szennyező felhő levonulását előre jelezhessük és a káros környezeti hatásokat mérséklő intézkedéseket megtehessek. Ehhez ismernünk kell a kiemelten veszélyeztetett helyeket (ilyenek például a vízbázisok), a megérkezési és levonulási időket, a maximum koncentrációt és ezek tartósságát.

A konzervatív anyag terjedését leíró modell alapja a jól ismert transzport egyenlet, amelynek bemenete a feltételezett szennyezőanyag terhelés. Az összefüggés azt írja le, hogy a lökészerű szennyezés a konvekció és a turbulens diffúzió hatására foltként (felhőként) vonul le a vízfolyásban.

A modell felépítése hossz-menti szakaszonként történik, ahogyan a terjedés jellege változik. A bevezetés közvetlen környezetében három-dimenzióban számolunk, ezt felváltja a mélység menti elkeveredést követően a gyorsabb 2D modell használata, majd - a numerikus modellel történt kalibrálás alapján - közelítő analitikus megoldást alkalmazhatunk (két-dimenziós Gauss görbe fél-térre).

A szennyező terjedését a háttéráramlás sebességtére (konvekció) és a turbulens diffúzió határozza meg. A leíró egyenlet:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(c \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(c \cdot v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(c \cdot v_z)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} D_z \frac{\partial c}{\partial z}$$

ahol a bal oldalon a lokális megváltozás és a három konvekciót kifejező tag, a jobb oldalon pedig a turbulens diffúzió található. Itt

D - az irányfüggő diffúziós tényező [m<sup>2</sup>/s],

v - a Duna háttérsebessége [m/s],

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	95/128

c - a szennyezőanyag koncentrációja [g/m<sup>3</sup>].

Az egyenlet ilyen formában csak numerikus módszerekkel oldható meg, mivel a számítás igényli a sebességtér és diffúziós tényezők minden szimulációs pontra történő meghatározását. Ennek érdekében az anyagtranszport egyenlet megoldását a 3D hidrodinamikai modellhez kapcsoljuk. A 3D modellezés időigényes volta miatt - ahogyan már említettük - a mélység menti elkeveredést követően áttérünk az egyszerűbb 2D modell használatára.

Számításaink során az anyagtranszport egyenletet kissé átalakítva az ún. térfogati fázisarányra (definíciószerűen szennyező térfogata/Duna víz térfogata) írtuk fel. A modellezés első lépésében az áramképet a Duna vízhozam és vízállás adataiból kiindulva határoztuk meg. Ezután feltételeztük, hogy a melegvíz-csatornán szennyezés jut a Dunába, és számoltuk az elkeveredést az anyagtranszport egyenlet felhasználásával. Másképpen, mivel a két közeg fizikai tulajdonságai megegyeznek, a szennyezőt egyszerűen megjelöltük azért, hogy meg tudjuk a Duna víztől különböztetni. A transzport egyenletet most már a megjelölt (szennyezett) víz és az eredeti Duna víz arányára írjuk fel. A módszer előnye, hogy a sebességtér számításában a szennyező okozta impulzus(változás) is szerepel. Nem konkrét koncentrációra számolunk, ezért azok érvényessége jóval tágabb: a szennyező felhő koncentrációja a fázisarány és a kiindulási koncentráció (ezt továbbiakban „k”-val jelöljük) szorzataként számítható. Ily módon, csupán k értékének változtatásával több változat könnyen elemezhető.

### 5.13.3.1 A modellezés feltevései és eredményei

Illusztrálás céljából vegyük az alábbi hipotetikus példát: a Duna vízhozama 1400 m<sup>3</sup>/s, 33 t konzervatívnak tekintett szennyező (2000 mg/l koncentrációval) a melegvíz-csatornán keresztül 2 perc alatt jut be a vízfolyásba.

A felhő levonulását pillanattfelvételek segítségével követjük. Az 5.13-1 ábra a szennyező fázisarány Duna felszínén kialakuló képét mutatja.

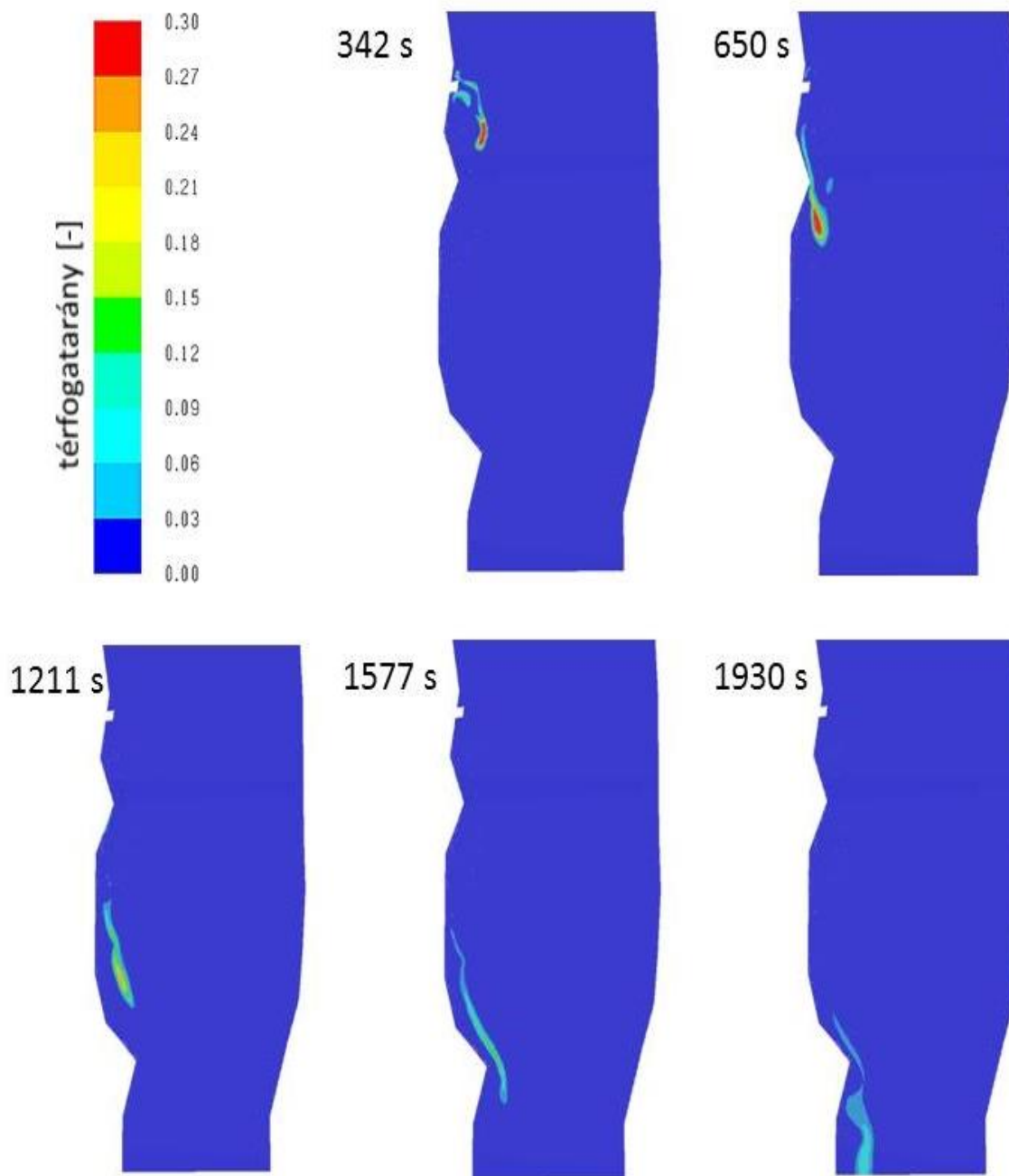
A modellel a térfogatarányokat tudtuk megjeleníteni, mely alapján a koncentrációk a kezdeti értékből származtathatók. A levonulási időket, a maximális koncentrációkat, a felhő átlagos koncentrációját az 5.13-1 táblázat foglalja össze.

levonulási idő (s)	124	342	650	1210	1570	1931
x irányú távolság (m)	10	100	150	500	650	700
fázisarány (-)	0,92	0,57	0,35	0,22	0,13	0,08
max. konc. (mg/l)	1840	1140	700	440	260	160

5.13-1. táblázat A felhő levonulási ideje és a kialakuló koncentrációk

Megjegyezzük, hogy a 3D numerikus modell által számolt turbulens diffúzió a felhő esetében  $D = 0,11 - 0,14$  m<sup>2</sup>/s volt, mely összhangban van a korábbi tapasztalatainkkal.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	96/128

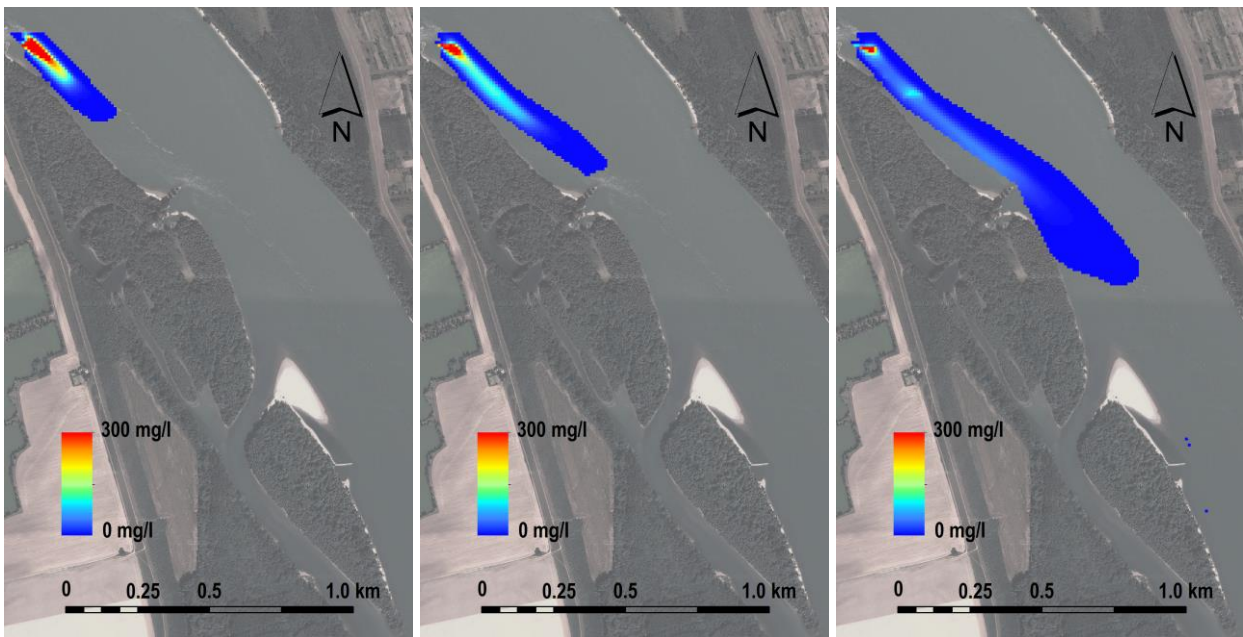


5.13-1. ábra A szennyezőanyag felhő terjedése az idő függvényében. A szennyező csóva/Duna víz térfogataránya

Az 5.13-1 ábrából több érdekes, szennyező terjedést érintő következtetés vonható le:

- A bevezetési ponttól mért 500 m-es szelvényig a felhő közepe 1100 s alatt ér le úgy, hogy a részecskék átlagosan 1200 m utat tesznek meg. Ez a pangó zónák és holtterek jelentős hatására utal.
- A szennyezés egy része sokáig bent „ragad” a bevezetés mögötti holtterben (lásd a „650s” ábrát).
- A felhő nem marad egyben, a hosszirányú diffúzió hatásán túl találhatók „leváló” részek
- A felhő kiterjedése (hossza és szélessége) folyamatosan ingadozik a mederváltozás miatt (nem csak a diffúzió függvényében).

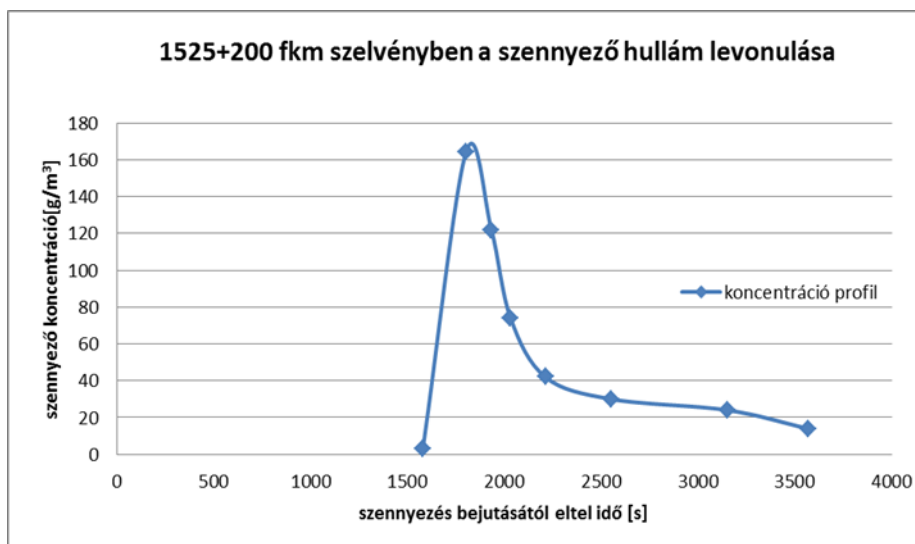
MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	97/128



5.13-2. ábra Baleseti szennyezés-felhő terjedése 2D modellel számolva.  $\Delta t = 6, 11, 20$  perc

A maximális térfogatarányok az idővel rohamosan csökkennek, a második sarkantyúig több mint egy nagyságrendet (a kezdeti 1 értékből 0,08 lesz), azaz a kezdeti 2000 mg/l-es koncentráció az elkeveredés hatására 160 mg/l-re mérséklődik.

A 3D modell eredményeként a vizsgált tartomány végén (1525+200 fkm) megkaptuk a szennyező hullám levonulását (a függély menti átlag koncentráció időbeli változását), melyet az 5.13-3 ábra mutat.



5.13-3. ábra A szennyező hullám levonulása az 1525+200 fkm keresztmetszében-koncentráció

### 5.13.3.2 Szennyezőanyag felhő levonulásának számítása analitikus modellel

A 3D-s modellel számolt szennyező felhő levonulását, a koncentráció változását az idő függvényében részletesen az 5.13-1 ábra, az 1525+200 fkm-nél kialakuló koncentrációt az 5.13-3 ábra mutatta. Lehetőség lesz az igen gyors analitikus, Gauss-típusú modell használatára is. Jelen fejezetben analitikus közelítéssel mutatjuk be szennyező felhő levonulását egészen az országhatárig.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	98/128



A transzportegyenlet analitikus megoldásához jelentős egyszerűsítésekkel kell élnünk. A szennyezőanyag-hullám levonulásának kétdimenziós megoldása azt jelenti, hogy vertikális (mélységmenti) integrál átlagokkal dolgozunk és bevezetjük az ún. diszperziós tényezőket. Diszperzió alatt a térbeli egyenlőtlenségekből származó konvektív transzportot értjük, amely az átlagolás eredményeként jelenik meg: bizonyos vírzecskék előresietnek, mások meg lemaradnak. A diffúzióhoz hasonlóan a koncentráció kiegyenlítődéjét segíti. A folyamat alapvetően a sebességtér függvénye, a diszperziós tényező(k) annál nagyobb(ak), minél szabálytalanabb a meder (Somlyódy, 1985).

A lökészerű terhelések okozta elkeveredést két dimenzióban az alábbi egyenlet írja le:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_x \frac{\partial c}{\partial x} = D_x^* \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y^* \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}$$

ahol

$D_x^*$  = a folyásirányban vett diszperziós tényező [m<sup>2</sup>/s],

$D_y^*$  = a keresztirányú diszperziós tényező [m<sup>2</sup>/s].

Az egyenlet analitikusan akkor oldható meg, ha a diszperziós tényezők és a folyásirányú sebesség állandónak tekinthetők, ami első közelítésben általában elfogadható feltevés. A  $v_x$  átlagsebesség és a H átlagmélység Q(H) görbe segítségével vagy egyszerű hidraulikai számítások alapján becsülhető. A diszperziós tényezők számításához egyaránt kiindulhatunk a 3D numerikus modellszámítás eredményéből és közelítő tapasztalati képletekből (Somlyódy, 1985).

A 3D modell alapján az alábbi összefüggésekkel lehet meghatározni a hosszirányú és keresztirányú diszperziót (Fisher és mtsai, 1979):

$$D_x^* = -\frac{1}{H} \int_0^H v_x'' \int_0^z \frac{1}{D_z} \int_0^z v_x'' dz dz dz$$

$$D_y^* = -\frac{1}{H} \int_0^H v_y'' \int_0^z \frac{1}{D_z} \int_0^z v_y'' dz dz dz$$

ahol

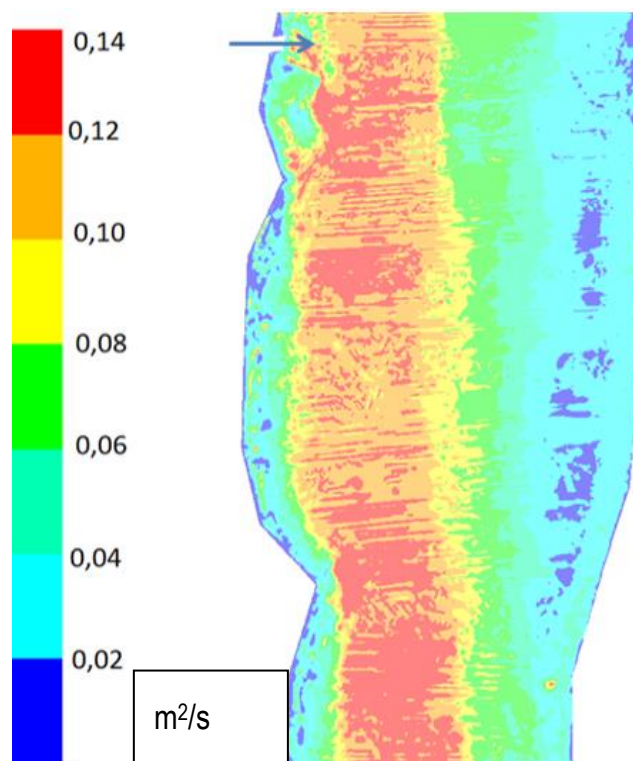
$D_z$  a turbulens diffúzió vertikális komponense [m<sup>2</sup>/s],

H a mélység [m].

A diszperzió meghatározásához szükség van a hármass integrál kiszámításához, melyben az egyes sebességkomponensek ( $v_x$  és  $v_y$ ) mélység menti átlagértéktől való eltérése ( $v_x''$  és  $v_y''$ ) szerepel.

Az izotrópnak tekintett turbulens diffúzió természetét jól jellemezhetjük, ha a 3D modell eredményeként a felszín közeli diffúziós tényezőket ábrázoljuk (5.13-4 ábra). Látható, hogy a vizsgált folyószakaszon rendkívül inhomogén eloszlású, a sodorvonal mentén nagy (0,1-0,14 m<sup>2</sup>/s, lásd korábban is), míg a két part közvetlen közelében akár egy nagyságrenddel kisebb értékek (0,008 - 0,04 m<sup>2</sup>/s) is kialakulhatnak.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	99/128



5.13-4. ábra Turbulens diffúzió tényezője a felszínen az atomerőmű közelében

A diszperziós tényezőket négy mederszelvényben négy-négy függélyre számoltuk ki, majd a keresztmetszvény átlagokat képeztük. Az eredményeket az 5.13-2 táblázat mutatja be. Látható, hogy (a) az elvárásoknak megfelelően  $D_x$  lényegesen meghaladja  $D_y$  értékét és (b) a megzavart folyószakaszon lokális hatásoknak betudhatóan nagy a területi inhomogenitás.

Keresztmetszvény	Hosszirányú diszperzió $D_x^*$ [m <sup>2</sup> /s]	Keresztirányú diszperzió $D_y^*$ [m <sup>2</sup> /s]
1526+400 fkm	5	0,01
1525+800 fkm	80	0,62
1525+600 fkm	12	0,17
1525+200 fkm	0,7	0,35

5.13-2. táblázat A hosszirányú és keresztirányú diszperzió meghatározása a 3D modell segítségével

Az eredmények tapasztalatainknak nem mondanak ellent (Somlyódy, 1985) és megerősítik a korábbi dunai mérések eredményeit, továbbá az irodalomban ajánlott empirikus összefüggéseket. Utóbbiak az átlagos diszperziós tényezőket a vízfolyás mentén változó, főbb hidraulikai paraméterek függvényében adják meg (Fischer és mtsai, 1979, Muszkalay, 1980). Segítségükkel becsülhetők a diszperziós tényezők a Duna országhatárig terjedő, mintegy 100 km hosszú, további szakaszára. Természetesen a bizonytalanságok miatt mindig célszerű a számításokat átfogó érzékenységvizsgálattal kiegészíteni.

A leggyakrabban használt empirikus összefüggés-pár szerint az x és y irányú diszperziós tényezők a következőképpen fejezhetők ki:

$$D_x^* = d_x (gRI)^{0,5} R$$

$$D_y^* = d_y (gRI)^{0,5} R$$

ahol

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	100/128



$l$ : meder esése [m/m],

$R$ : a hidraulikus sugár [m],

$d_x$ : hosszirányú diszperzió együttható, melynek értéke logaritmikus sebességprofil és rendezett áramlást feltételezve 6 [-] körüli érték,

$d_y$ : keresztirányú diszperziós együttható, mely a Dunára 0,6 körüli értéket vesz fel.

A fenti összefüggésekkel számolt diszperziós tényezők ( $D_x^*=1,3 \text{ m}^2/\text{s}$  és  $D_y^*=0,13 \text{ m}^2/\text{s}$ ) a 3D modellből nyert tartományba esnek (az átlagnál némileg alacsonyabbak). Az analitikus modell használata során a továbbiakban ezekkel az értékekkel dolgozunk majd és a számításokat elvégezzük a diszperziós tényezőket felezve és kétszerezve is (érzékenységvizsgálat).

Az előzőekben tárgyalt lökészerű terhelést leíró egyenlet zárt alakú megoldása:

$$c(x, y, t) = \frac{G}{4\pi H t (D_x^* D_y^*)^{0,5}} \exp \left[ -\frac{(x - v_x t)^2}{4D_x^* t} - \frac{y^2}{4D_y^* t} \right]$$

ahol

$G$ : a havária révén lökészerűen bejutó szennyezőanyag mennyisége [kg],

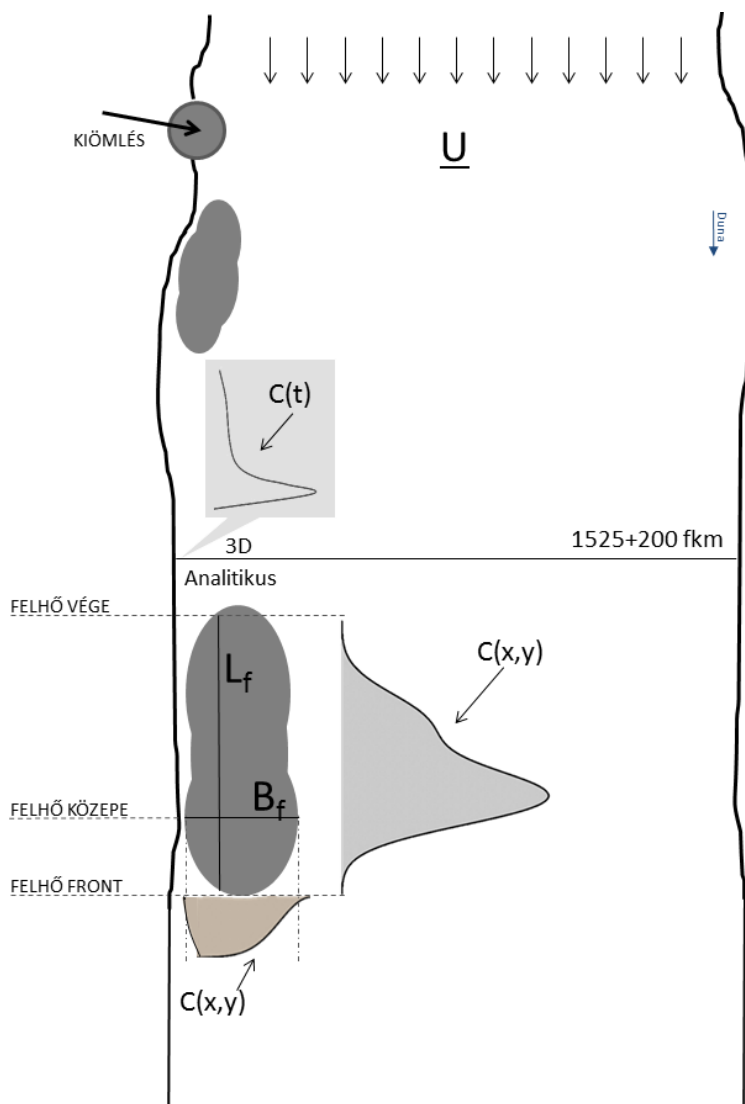
$t$ : a szennyező beengedésétől számított idő [s].

Mivel  $t$  a nevezőben szerepel, ezért a képlet a beengedés közvetlen közelében nem érvényes, hiszen ekkor végtelenül kis számmal kellene osztani.

Jelen esetben az egyenletet nem a kiömléstől használjuk, hanem értelemszerűen a 1525+200 fkm szelvénytől, melyben a 3D modell eredményei már rendelkezésre állnak. Itt ezeket a mélység mentén integráljuk (lásd a korábbi 5.13-3 ábra elnyújtott, asszimmetrikus koncentráció eloszlását), ami a további számítás kezdeti feltételét jelenti. Oly módon járunk el, hogy az szelvényterhelését elemi egységekre bontjuk, ezekre alkalmazzuk az előbb említett összefüggést, majd összegezzük a koncentrációkat. Ezt az egyenlet linearitása teszi lehetővé (Somlyódy, 1985).

A felhő levonulását szematikusan az 5.13-5 ábra szemlélteti. A felhő „közepét” a maximális koncentráció érték helyének tekintjük, mely nem feltétlenül egyezik meg a geometriai középponttal. A felhő frontjának és végének a maximális koncentráció 10 %-a által meghatározott helyeket tekintjük. Ezekkel definiálhatjuk a felhő hosszát ( $L_f$ ) és szélességét ( $B_f$ ). Az ábrán vázlatosan bemutatjuk a felhő vonulását a Duna jobb partja mentén, a 3D modell határát, amely egybeesik az analitikus modell kezdetével. A felhőben vettünk egy hossz- és egy keresztirányú metszetet, melyekhez a koncentráció eloszlást berajzoltuk.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	101/128

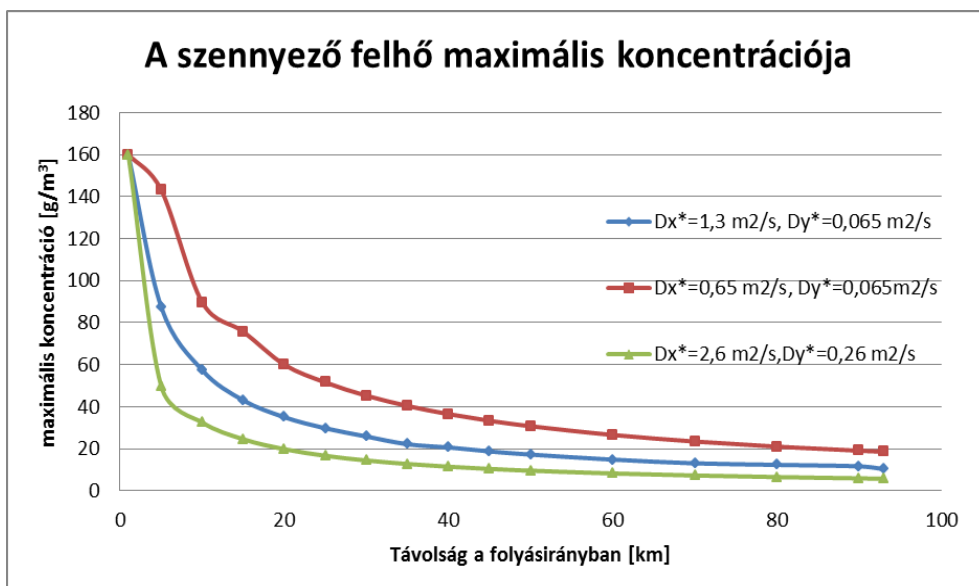


$U$ : Duna sebessége [m/s],  $L_f$ : szennyező felhő hossza,  $B_f$ : szennyező felhő szélessége  $C$ : koncentráció profil

5.13-5. ábra Lökésszerű terhelés szennyező felhőjének levonulása –vázlatos ábra

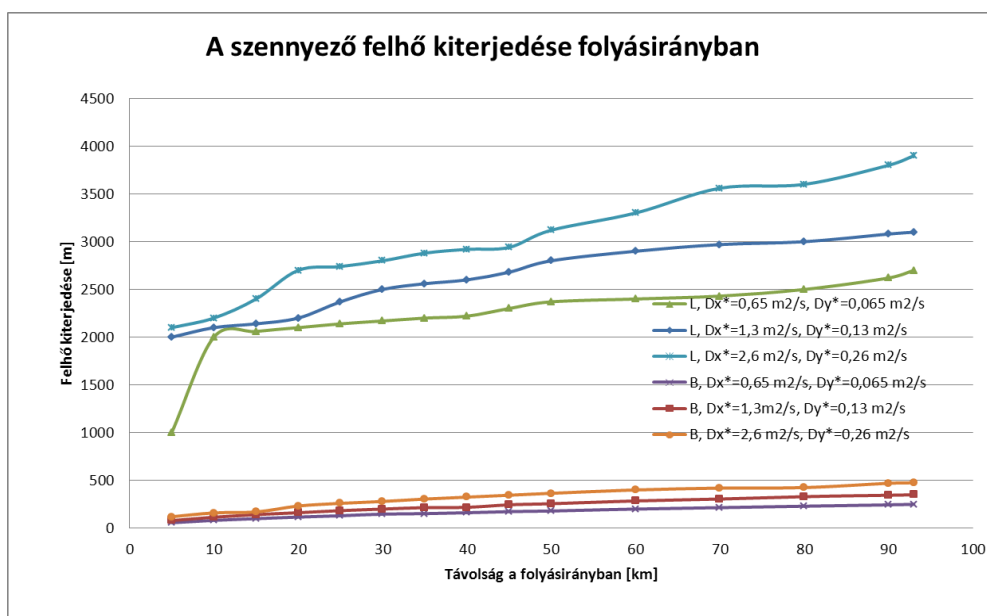
A feltételezéseink szerint 33 t tömegű és 2000 mg/l kezdeti koncentrációjú havária szennyezés az első 1 km-en belül több mint 10-szeres hígulást éri el (lásd korábban). A további szakaszokon a hígulás mértéke egyre kisebb, így a maximális koncentrációk is mérsékelten csökkennek. A szennyező felhő maximális koncentrációját különböző diszperziós tényezők esetében az 5.13-6 ábra szemlélteti. Jól látható, hogy az első, mintegy 15-20 km szakaszon a hígulás és elkeveredés intenzív, a kialakuló koncentráció pedig a diszperziós tényező megválasztásától erősen függ. A koncentráció felére, harmadára csökken. 60 km után a maximális koncentráció a kezdeti érték százada, a diszperziós tényezők hatása egyre kisebb.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	102/128



5.13-6. ábra A szennyező felhő maximális koncentrációja a beömléstől mérve

A vízbázisok szempontjából nemcsak a maximális koncentráció érdekes, hanem a felhő kiterjedése is. A számításokból megállapítható, hogy a felhő frontja és a közepe közötti távolság (ahol „feltöltődés következik be) csupán mintegy harmada a felhő közép és vége távolságának (kiürülés). Ez nem meglepő, hiszen a 3D numerikus modell eredménye is ehhez hasonló volt (lásd 5.13-3 ábra). A felhő kiterjedését (hossz- és keresztirányban) az 5.13-7 ábra mutatja. Megfigyelhető, hogy a különböző diszperziós tényezők alkalmazásával folyásirányban a felhő hossza különböző mértékben változik. A vizsgált tartományban a felhő az országhatárig megközelíti, de nem éri el a bal partot.

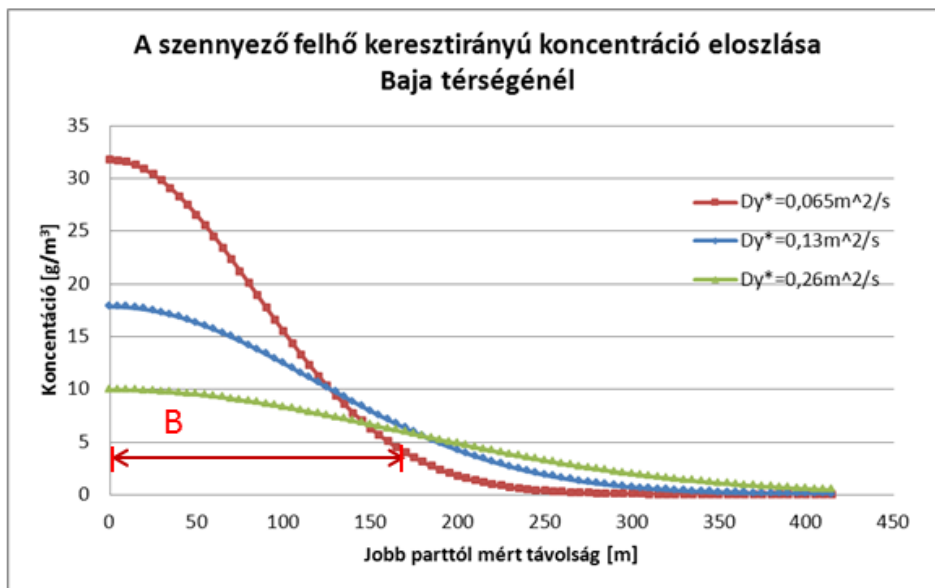


5.13-7. ábra A szennyező felhő kiterjedése folyásirányban, L=felhőhossz [m], B=felhőszélesség [m]

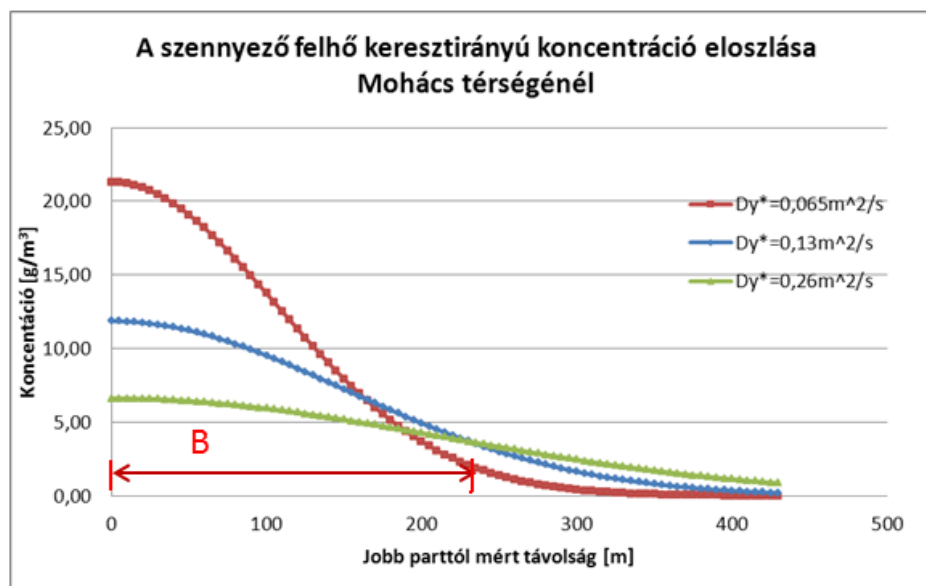
Fontosabb helyek elérésekor érdemes pillanatképet is készíteni a szennyező felhőről. Az 5.13-8 - 5.13-13 ábrákon Bajánál (48 km-re a bevezetéstől), Mohácsnál (79 km) és az országhatárnál (93 km) mutatjuk be a keresztirányú- és hosszirányú koncentráció eloszlásokat, mely ábrákból a maximális koncentráció és a felhő kiterjedése olvasható ki, az 5.13-8 - 5.13-10 ábrákon a felhő szélessége (B), az 5.13-11 - 5.13-13 ábrákon a felhő hossza (L).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	103/128

A keresztirányú eloszlások gyakorlatilag fél Gauss görbék, folyásirányban csökkenő maximumokkal.

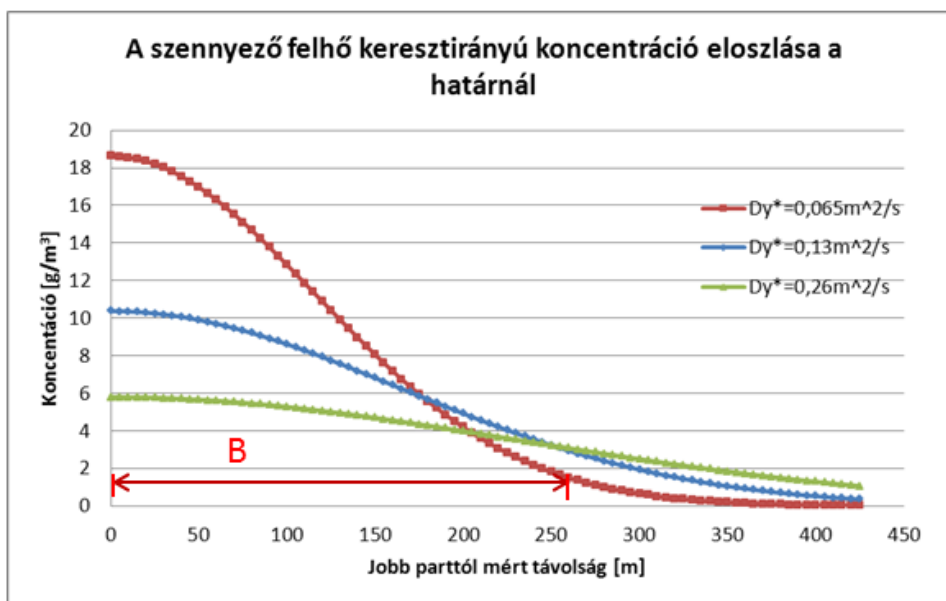


5.13-8. ábra A szennyező felhő keresztirányú koncentráció eloszlása Baja térségénél, B: felhő szélessége



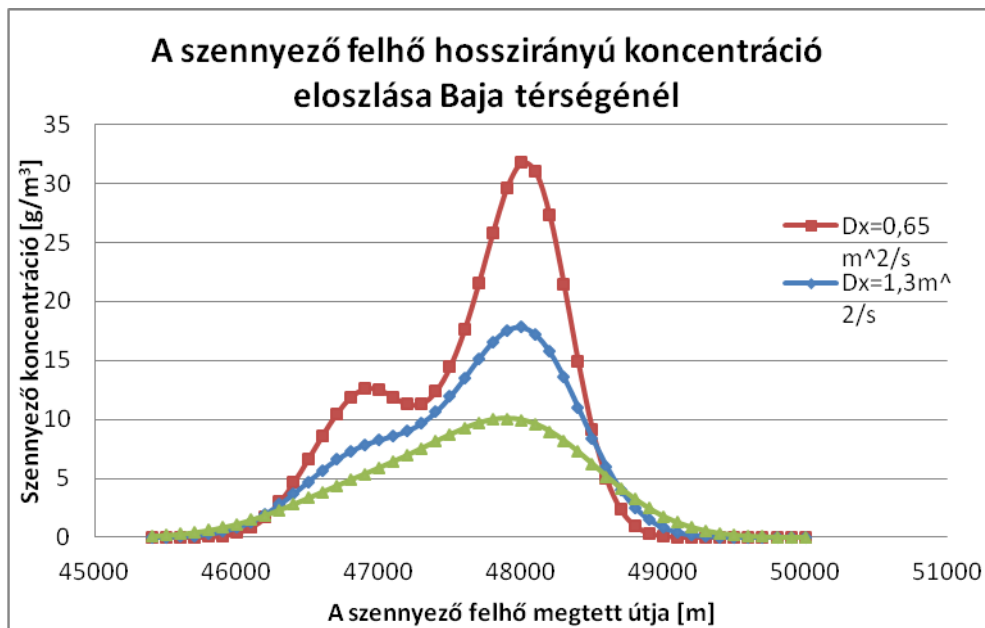
5.13-9. ábra A szennyező felhő keresztirányú koncentráció eloszlása Mohács térségénél, B: felhő szélessége

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	104/128



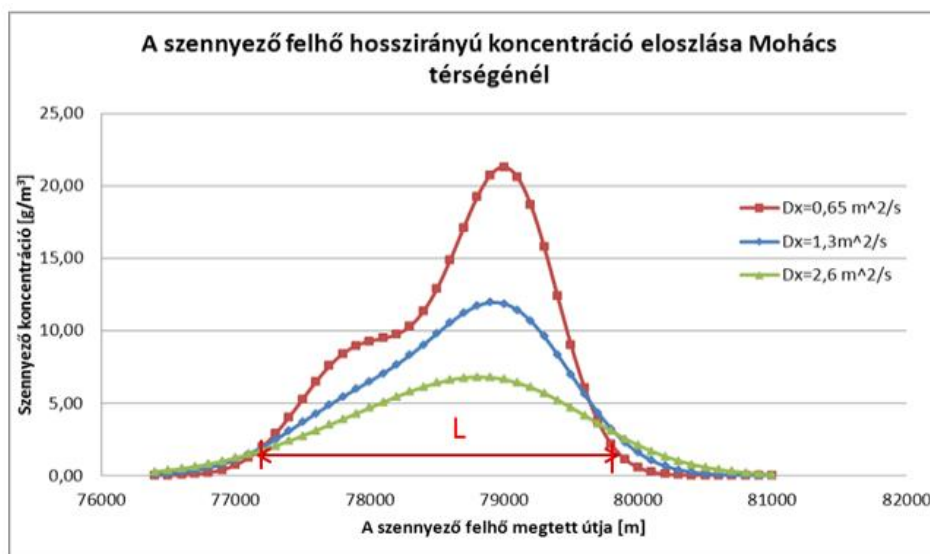
5.13-10. ábra A szennyező felhő keresztirányú koncentráció eloszlása a határnál, B: felhő szélessége

A szennyező felhő hosszirányú koncentráció eloszlásában Baja térségében, alacsony diszperzió esetében – a kezdeti feltétel következményeként - egy nagyobb és egy kisebb csúcs figyelhető meg. A hosszirányú diszperziós tényező növelésével, illetve a Duna alsóbb szakaszain ez a „kétpúpú” jelleg eltűnik, a diszperzió mintegy „elsimítja” az egyenlőtlenségeket, a koncentráció profil kezd a Gauss-féle eloszláshoz hasonlítani.

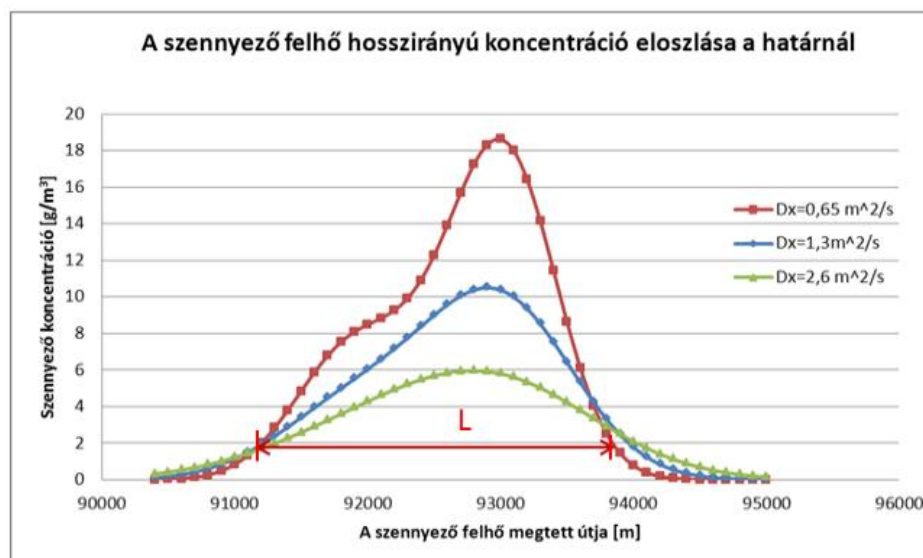


5.13-11. ábra A szennyező felhő hosszirányú koncentráció eloszlása Baja térségénél, L: felhő hossza

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	105/128



5.13-12. ábra A szennyező felhő hosszirányú koncentráció eloszlása Mohács térségénél, L: felhő hossza



5.13-13. ábra A szennyező felhőhosszirányú koncentráció eloszlása a határnál, L: felhő hossza

A hatások szempontjából legfontosabb helyek közé tartoznak a jelenlegi és távlati vízbázisok. Az elmondottak alapján, a koncentráció maximumok hosszirányú változása és a felhő kiterjedtsége ismeretében ezekre egyszerűen meg tudjuk határozni az elérési időket a felhő frontjára, középpontjára és végére.

Paks és a déli országhatár között egy felszíni-víz tisztító üzem (Mohács, jobb part), és három nagy, partiszűrésű vízbázisra telepített vízmű (Kalocsa - Duna bal part; Baja – Duna bal part és Mohács-sziget – Duna bal part) üzemel (Ü) folyamatosan. (lásd az 5.13-14 ábrát és az 5.13-3 táblázatot. A hatások felszíni vízkivétel esetében közvetlenül, míg partiszűrés esetében áttételesen számíthatók.

A Kalocsa térségében kialakult partiszűrésű vízbázisra telepített vízmű - mely 16.000 m<sup>3</sup>/d kapacitású vas- és mangántalanításra alkalmas víztisztítási technológiával rendelkezik (ami előnyös az esetleges radioaktív szennyezők eltávolítása szempontjából) - az igényeknek megfelelően jelenleg átlagosan 5000 m<sup>3</sup> ivóvizet szolgáltat naponta.

A bajai partiszűrésű vízbázis vizet használó vízmű szintén vas- és mangántalanítással üzemel. A vízműnek jelenleg 13 működőképes kitermelő kútja van, a rendszer kapacitása 20000 m<sup>3</sup>/d. A vízigényeknek megfelelően a vízmű naponta átlagosan 6000 m<sup>3</sup>, a nyári csúcsgigények idején 9000 m<sup>3</sup> ivóvizet szolgáltat.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	106/128

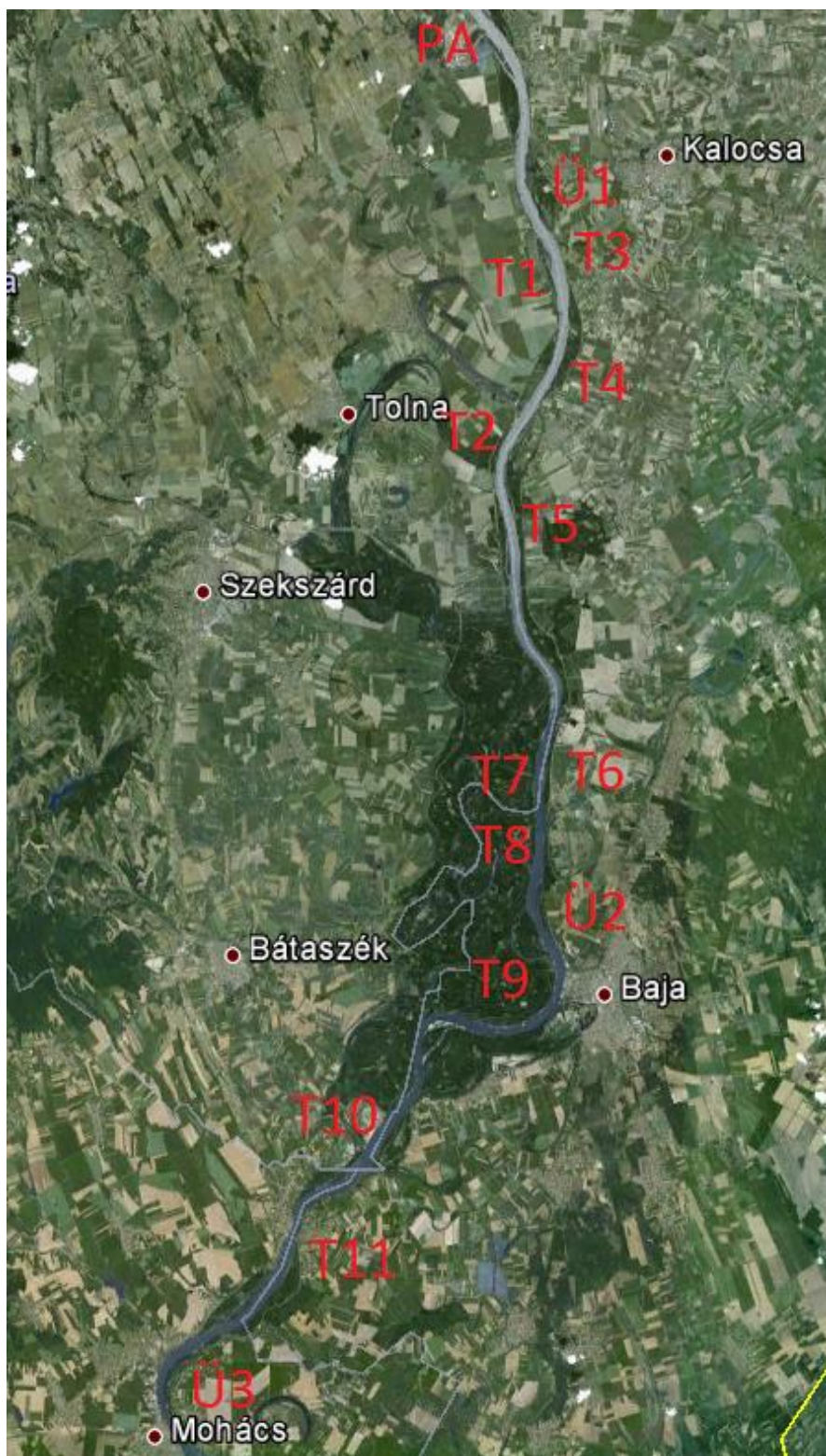


A mohács-szigeti partiszűrős vízbázis vizét Duna alatti csővezetékekkel átvezetik a jobb partra, ahol vas- és mangántartalmát a 201/2001. sz. Korm. rendeletben meghatározott szint alá csökkentik. A kapacitás 30000 m<sup>3</sup>/d, jelenleg átlagosan 8000 m<sup>3</sup> ivóvizet biztosít naponta a lakosságnak. Mohácson felszíni-víz tisztító üzem is működik, iparivíz ellátási célból. A tisztító üzem kapacitása 50000 m<sup>3</sup>/d, jelenleg 3000 m<sup>3</sup> vizet biztosít naponta.

A felsorolt, működő (Ü) és viszonylag nagy mennyiségű ivóvizet termelő üzemek mellett nem szabad megfelelkezni az adott térségben jelenlévő egyéb – elsősorban kisebb – vízművekről és távlati vízbázisokról. A jelentős távlati (T) vízbázisok között említhetjük a Duna jobb partján a Gerjen – Dombori (T1), a Bogyiszló – Dombori (T2), a Gemenc – Gerebec(T7), a Gemenc – Koppány(T8), a Gemenc – Cuha fok(T9) és a Bába(T10); a bal parton pedig a Bába(T3), a Bába - Fajszt(T4), a Fajszt – Dusnok (T5) a Sükösd(T6) és a Mohács – Dunafalva(T11) vízbázist. A felsorolt távlati vízbázisok védendő vízkészlete meghaladja a 250 000 m<sup>3</sup>/d kitermelhető mennyiséget. A távlati vízbázisok elhelyezkedését a 5.13-14 ábrán, az adott vízbázisokról kitermelhető vízmennyiségeket és kiterjedésüket 5.13-3 sz. táblázatban mutatjuk be.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	107/128





PA: Paksi Atomerőmű, Ü: jelenleg üzemelő vízművet ellátó vízbázis, Ü1: Kalocsa-Barákai, Ü2: Baja partiszűrés, Ü3: Pécs-Mohácsi regionális, T1: Gerjen-Dombori, T2: Bogyzsló – Dombori, T3: Bática, T4: Fajsz, T5: Sükösd-Észak, T6: Sükösd-Dél, T7: Gemenc – Gerebec, T8: Gemenc-Koppány, T9: Gemenc – Cuha fok, T10 Bática, T11 Mohács – É Dunafalva  
5.13-14. ábra Paks alatti jelenleg használt és jövőben potenciális használható vízbázisok

Az 5.13-3 táblázat részletezi az egyes vízbázisokra érkező szennyező felhő elérési idejét, ami ahhoz szükséges, hogy a front, a középpont vagy a felhő vége elérje a vízbázis felvízi határát lökészerű terhelés esetére. Az

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	108/128

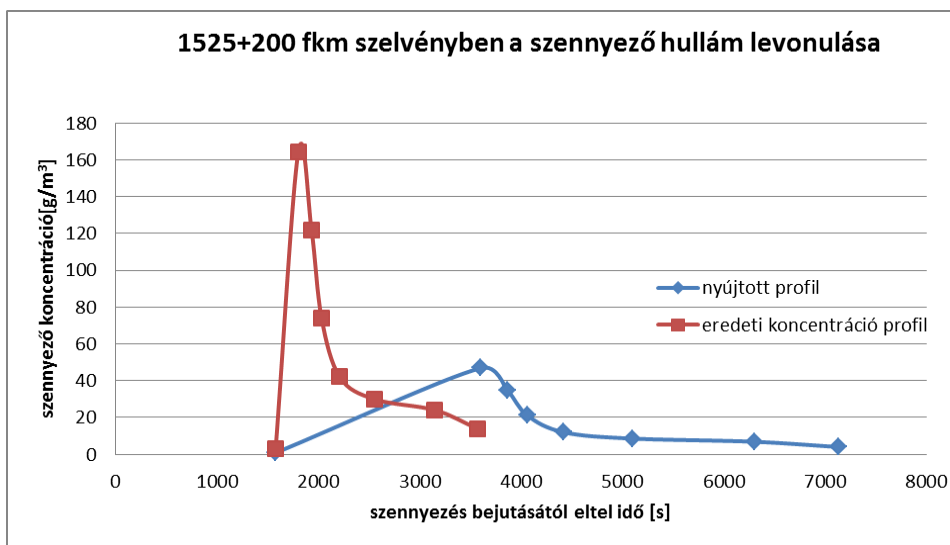
érintettségi idő vagy tartósság azt fejezi ki, hogy a szennyező felhő mennyi ideig tartózkodik a vízbázis területén. Ez a felhő vége és front elérési idő különbsége figyelembe véve a vízbázis kiterjedését is. A távlati vízbázisok esetében nem minden esetben ismert a kitermelhető vízmennyiség, a táblázatban ezeket üresen hagytuk.

Vízbázis jele	Elhelyezkedés fkm	Kapacitás /kitermelhető víz [m <sup>3</sup> /d]	Jelenlegi termelés [m <sup>3</sup> /d]	A felhő maximális koncentrációja [g/m <sup>3</sup> ]	front elérési idő [h]	közép elérési idő [h]	felhő vége elérési idő [h]	érintettségi idő [h]
Ú1 (bal part)	1522,4-1521	16000	5000	A felhő nem éri el a bal partot				
Ú2 (bal part)	1481,5-1480	20000	6000-9000	A felhő nem éri el a bal partot				
Ú3 (bal part)		30000	8000	A felhő nem éri el a bal partot				
T1 (jobb part)	1512-1508,5	40.000	-	41,2	4,10	4,32	5,85	1,75
T2 (jobb part)	1506-1502	12000	-	33,3	5,35	5,56	7,08	1,73
T3 (bal part)	1519,5-1517	27000	-	A felhő nem éri el a bal partot				
T4 (bal part)	1515-1514	52000	-	A felhő nem éri el a bal partot				
T5 (bal part)	1502-1498	45000	-	A felhő nem éri el a bal partot				
T6 (bal part)	1495-1493		-	A felhő nem éri el a bal partot				
T7 (jobb part)	1492,5-1489,5		-	22,2	9,07	9,31	10,61	1,54
T8 (jobb part)	1485-1481,5		-	20,2	10,66	11,39	12,84	2,18
T9 (jobb part)	1473-1470		-	16,8	14,46	14,72	15,24	0,78
T10 (jobb part)	1467-1465,5		-	14,9	16,12	16,39	16,93	0,81
T11 (bal part)	1463-1459		-	A felhő nem éri el a bal partot				

5.13-3. táblázat A szennyező felhőnek a vízbázisokig számított eljutási ideje

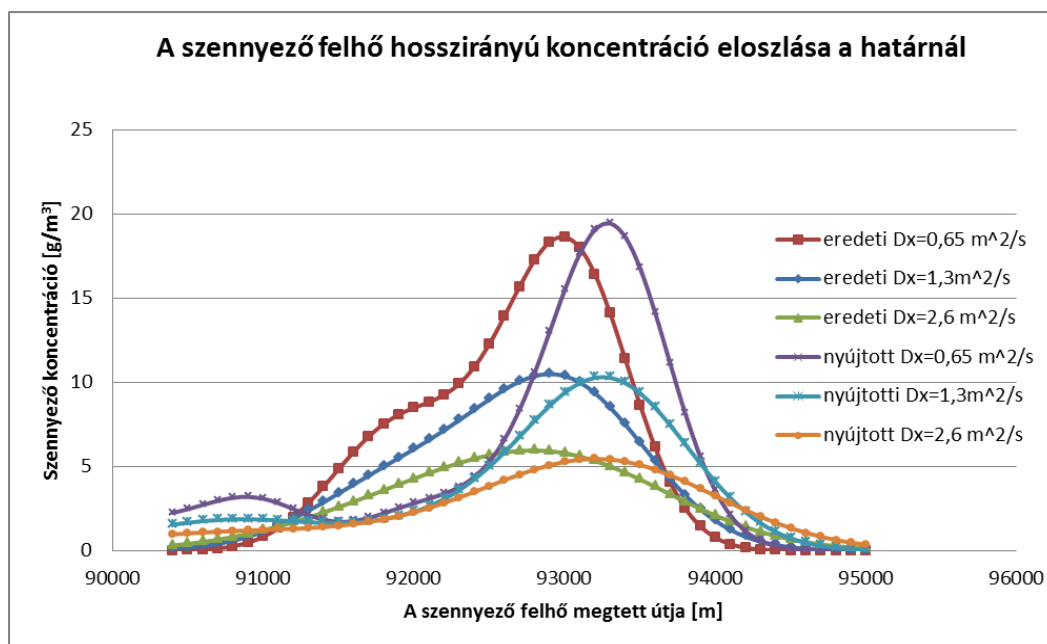
Jelen részjelentésünkben megvizsgáltuk, mi történik akkor, ha a terhelés nem lökésszerű, hanem bizonyos visszatartás vagy szakaszosság jellemző a rendszerre: a szennyezőanyag nem egyszerre ömlik a szennyező a folyóba, hanem időben elnyújtva (5.13-15 ábra). Ez azt jelenti, hogy az analitikus modell számára megadott koncentráció profil is megnyúlik (a kiömlő anyagmennyiség változatlan), amelynek következtében – egy darabig - kisebb maximális koncentrációk alakulnak ki. A nyújtás elve az volt, hogy a ugyanakkora anyagmennyiség kétszer olyan hosszú idő alatt kerül a rendszerbe.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	109/128



5.13-15. ábra Az analitikus modell bemeneti értékének változtatása, nyújtott profil alkalmazása

Az elnyújtott bemeneti feltétel hatását a hosszirányú koncentráció eloszlásra az országhatárnál vizsgáltuk. Az eredményeket az 5.13-16 ábra tartalmazza. Az ábrából elsősorban az tűnik ki, hogy a második, elnyújtott havária esemény ellenére a legnagyobb koncentráció gyakorlatilag mindegyik diszperziós tényező mellett változatlan marad. Valójában ez nem meglepő, mivel ugyanaz az anyagmennyiség terheli a folyót, csupán az ütemezés más, ennek hatását azonban nagyobb távolságban a diszperzió elmosza. A piros és lila görbe összehasonlításából látjuk, hogy az eloszlás „kétpúpú” jellege eltűnik, a második „púp” beleolvad az elsőbe (a felhő elején lévő anyag egy része lemarad és a hátsó részhez adódik).



5.13-16. ábra A szennyező felhő hosszirányú koncentráció eloszlása a határnál kétfajta havária (lökésszerű és elnyújtott) esetében

A morfológiai- és a 2D hidrodinamikai modell fejlesztését és a Lagrange-i részecske kísérletet a 8. fejezetben ismertetjük.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	110/128

## 5.14 DUNA ATOMERŐMŰI HŰTŐVÍZ KIBOCSÁTÁSBÓL SZÁRMAZÓ HŐTERHELÉSÉNEK MODELLEZÉSE

### 5.14.1 A 3D HIDRODINAMIKAI ÉS HŐTRANSPORT MODELL: A HŐCSÓVA MEGHATÁROZÁSA ÉS A HÁTTÉRHŐMÉRSÉKLET ALAKULÁSA

A hőterhelés szempontjából kritikus, mértékadó állapotot (vagy az azt jellemző tartományt) az alacsony vízhozam (alacsony hígulás) és a Duna megengedhető háttérhőmérséklete (tartalék a folyóbeli lehűlésre), illetve ezek egybeesése határozza meg. A háttérhőmérsékletet alapvetően két tényező befolyásolja. Az első az éghajlatváltozás: ennek függvényében a Duna hőmérséklete a jövőben minden bizonnyal növekedni fog. A másik a mindenkori környezeti szabályozás, ami korlátozza a bevezetésnél vagy a csóva előírt pontjában mérhető legnagyobb hőmérsékletet (küszöbérték) és áttételesen a még elfogadható (mértékadó) háttér hőmérsékletet. Jelenlegi formájában a Paksi Atomerőműre a 15/2001. KöM rendelet értelmében a felszíni vizek hőterhelés elleni védelme érdekében (a) a kibocsátásra kerülő és a befogadó víz hőmérséklete közötti különbség 11 °C-nál, illetve +4 °C alatti befogadó víz hőmérséklet esetén 14 °C-nál nem lehet nagyobb; (b) a kibocsátási ponttól folyásirányban számított 500 m-en lévő szelvény bármely pontján a befogadó víz hőmérséklete nem haladhatja meg a  $T_{\max} = 30$  °C-ot. Az 500 m-es szelvény hőmérsékletére igaz, hogy:

$$T = T_{\text{Duna}} + \Delta T - \Delta T_{\text{elk.}}, \quad (5.13-1)$$

ahol

T: az 500 m szelvény hőmérséklete, ahol a jelenlegi szabályozás szerint  $T \leq T_{\max} = 30$  °C,

$T_{\text{Duna}}$ : a Duna háttérhőmérséklete,

$\Delta T$ : a kilépő szelvény hőlépcsője, vagyis  $T_{\text{hűtővíz}} - T_{\text{Duna}}$ ,

$\Delta T_{\text{elk.}}$ : az elkeveredés miatti hőmérséklet csökkenés a bevezetés és az 500 m szelvény között.

Az (5.13-1) egyenlet szerint,  $\Delta T = 8-11$  °C esetében  $T_{\text{Duna}}$  nem haladhatja meg a  $22-19 + \Delta T_{\text{elk}}$  értéket, ahol – ahogyan később látni fogjuk, a jelenlegihez hasonló parti bevezetés mellett  $\Delta T_{\text{elk}} = 2 - 5$  °C. Így módon, a mértékadó háttérhőmérséklet közelítően  $T_{\text{Duna}} \leq 24 - 25$  °C, vagy kissé tágabban  $22 - 26$  °C (a tervek ma 8 °C hőlépcsőt valószínűsítenek, amihez a magasabb vízhozam értékek tartoznak). Ezzel szemben a Duna eddig észlelt legnagyobb hőmérséklete Bajánál 25-26 °C, azaz a küszöbérték roppant erős korlátot jelent, különösen ha majd a klímaváltozás hatását is figyelembe vesszük. A következőkben a kérdéskör áttekintését az éghajlatváltozás hatásának becsülésével folytatjuk.

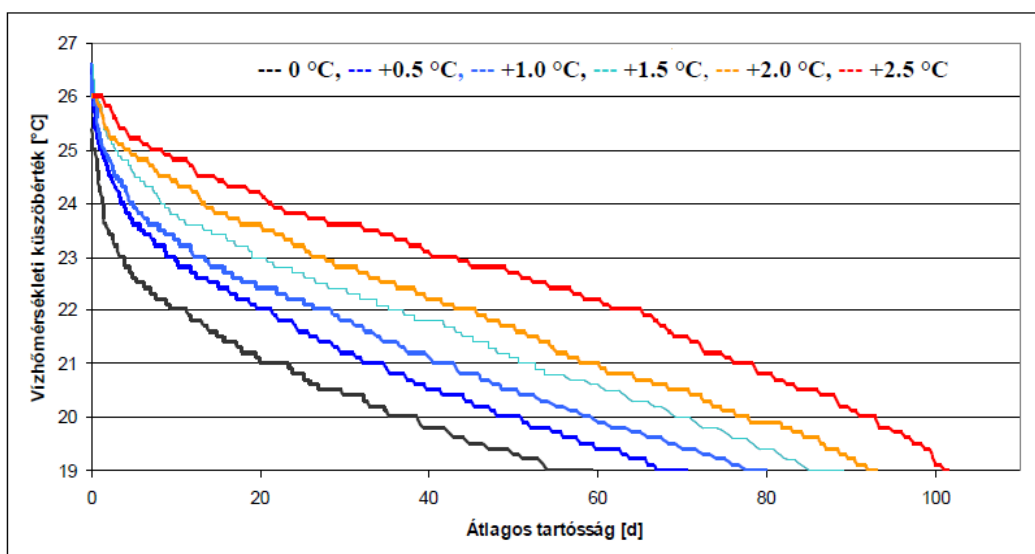
A 2020-2040 időszakra készült regionális klímamodellek szerint hazánkban a hőmérséklet várhatóan évről-évre emelkedik, Paks – Baja térségére nyáron nagyjából 1,5 °C hőmérsékletemelkedés várható. Ezt figyelembe véve éghajlati forgatókönyveinkben a nyári hőmérséklet 0,5–2,5 °C emelkedésével számolunk, és a megadott tartományon belül végzünk érzékenységi vizsgálatokat.

Az éghajlati forgatókönyvek előállításánál következőképp járunk el. A bajai léghőmérséklet 37 éves adatsorát felhasználva az évek módszeres leválogatásával megkeressük azokat az éveket, amelyek átlagában a nyári időszak (VI-VIII. hónapok) középhőmérséklete a forgatókönyvben feltételezett növekedés mértékében tér el az 1974–1990. „jelenlegi” időszak nyári középhőmérsékletétől, azaz amelyekre a nyári középhőmérséklet rendre 0.5 °C, 1°C, 1.5 °C, 2°C és 2.5 °C értékkel magasabb az 1974-1990. évek értékénél (az éghajlati forgatókönyvek az éghajlati elemek változását az 1961–1990. évek - bázis időszak - alapján jellemzett jelenlegi éghajlathoz viszonyítva adják meg, mivel az utóbbi húsz évben már kimutatható a növekvő tendencia a hőmérsékleteket illetően; esetünkben észlelések hiányában a bázis időszak 1974-1990-re módosul).

Ezt követően feltesszük, hogy az új éghajlat(ka)t reprezentáló múltbeli évek alapján előállított vízhőmérsékleti tartóssági görbék az új éghajlatnak megfelelően jellemzik a vízhőmérsékletet. A vízhőmérséklet tartóssági görbéket a melegedés 0 – 2,5 °C tartományában 0,5 °C lépcsőben végeztük el, az eredményt az 5.14-1. ábra mutatja be.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	111/128





5.14-1. ábra A víz hőmérsékleti tartóssági görbék változása a nyári középhőmérséklet különböző mértékű növekedését feltételezve

A tartóssági görbék a jelenlegi éghajlatot jellemző állapottól jobbra mozdulnak el annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a melegedés. Például a 22 °C-nál nagyobb hőmérsékletű napok száma 1,5°C-os átlagos hőmérsékletnövekedés mellett 10 napról mintegy 35 napra nő (24 °C esetében ez mintegy 10 nap). Figyelembe kell venni, hogy a küszöbérték és/vagy nyári középhőmérséklet növekedésével a megbízhatóság csökken, mivel az alkalmazott módszertanból adódóan az adott hőmérsékletnövekményt reprezentáló évek leválogtatásába egyre kevesebb megfigyelés esik bele. Az analógia módszere természetesen a múltban észlelt hőmérsékletnél magasabbat nem eredményezhet; ilyen szempontból a becslések inkább konzervatívak, mint túlzók.

Kiemelve az 1,5 °C-os, 2020-2040-re előre jelzett hőmérsékletemelkedést az éves maximális víz hőmérsékletek eloszlását vizsgáljuk (5.14-1. táblázat). Ezek az éves víz hőmérsékletek különböző valószínűséggel meghaladt, normális eloszlás-függvényről leolvasható értékei, tehát a táblázatban szereplő jelen állapotnál feltüntetett 26,2 és 26,9 °C nagyon kis valószínűséggel előfordulható értékek, nem pedig mért eredmény.

	99	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	3	1	0,1	0,01
Jelen	20,5	21,6	22,1	22,4	22,7	23,0	23,2	23,5	23,8	24,3	24,7	25,0	25,4	26,2	26,9
1,5 fokal melegedés	22,0	23,2	23,6	24,0	24,3	24,5	24,8	25,1	25,4	25,9	26,3	26,5	27,0	27,8	28,5

5.14-1. táblázat Éves maximális víz hőmérsékletek valószínűségei

A jelen éghajlati állapotra észlelt legnagyobb évi maximum 25,4 °C nagyjából 1 %-os meghaladási valószínűségű, azaz 100 évből egyszer fordul elő. Kisebb valószínűséggel ezt meghaladó maximális víz hőmérséklet is előfordulhat, csupán az éghajlat változékonyságából adódóan is.

Az évi maximális víz hőmérséklet növekedése lényegében egyezik a léghőmérséklet emelkedésével. Az éghajlat 1,5 °C melegedése esetén az 1 % meghaladási valószínűségű (100 éves gyakoriságú) évi maximális víz hőmérséklet 25,4 °C-ról 27,0 °C-ra emelkedhet. Kisebb valószínűséggel akár magasabb értékek is előfordulhatnak.

#### 5.14.1.1 A vízhozam és hőmérséklet egybeesése, sebességeloszlások

Az 5.14-2. táblázat mutatja az 1973 -2011-es évek adatai alapján azokat az éveket, amikor a Duna vízhozama kisebb volt, mint 1100 m<sup>3</sup>/s. Ez alapján elmondható, hogy a kis hozamok (Q < 1100 m<sup>3</sup>/s) előnyösen nem esnek egybe a dunai hőmérsékleti csúcsokkal. A 38 év alatt ugyan egyszer előfordult, hogy 23,8 °C Duna víz hőmérsékletet mértek kis víz mellett, de a vízhozam tartóssága csupán négy nap volt.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	112/128

Előfordulás ideje	Duna vízhozama [m <sup>3</sup> /s]	Duna hőmérséklete [°C]	Kisvízszint tartóssága [nap]
1983	960	3	9
1985	1060	0,1	4
1992	1000	16,5	2
2003 aug.	910	23,8	8
2003. szept.	940	19	5
2004	970	1	5

5.14-2. táblázat Kis vízhozamok előfordulása a Dunán (1973-2011)

Az 1100 - 2500 m<sup>3</sup>/s vízhozam és magas víz hőmérséklet múltbeli egybeesését az 5.14-3. táblázat mutatja. A táblázatból megállapítható, hogy a melegebb háttérhőmérséklet főleg az 1100 - 2200 m<sup>3</sup>/s vízhozamokhoz tartozik.

T <sub>h</sub>	Napok száma (éves átlag)	Q>2500 m <sup>3</sup> /s	Q<1100 m <sup>3</sup> /s
> 22°C	22,6	9%	1%
> 23°C	11,8	4%	2%
> 24°C	4,7	4%	3%
> 25°C	1,7	5%	2%
> 26°C	0,4	0%	0

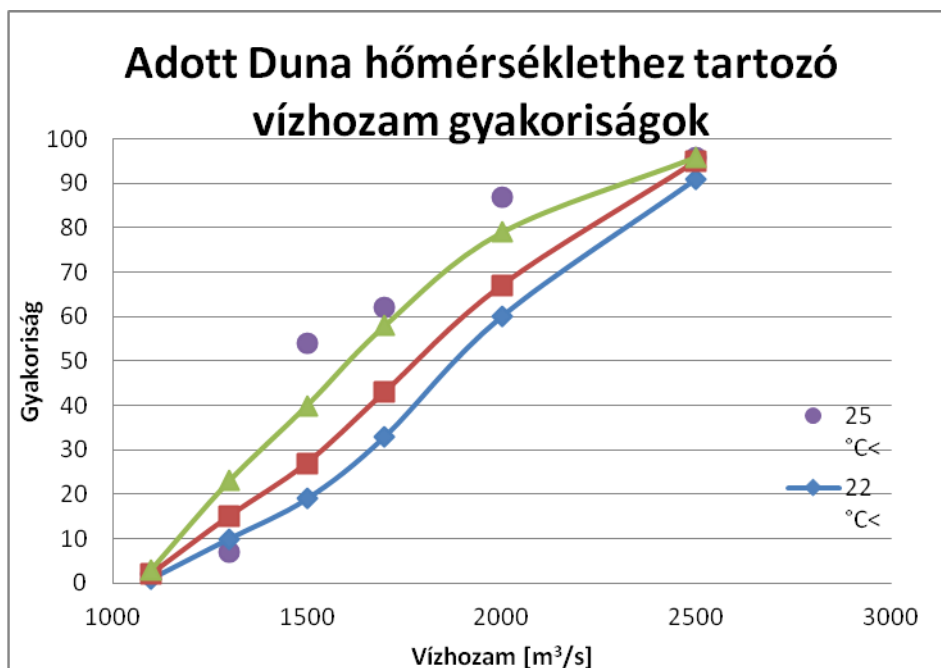
5.14-3. táblázat Adott hőmérsékletet meghaladó Duna víz-hőmérsékletek és vízhozamok gyakorisága

Látható, hogy a kritikus napokat és a mértékadó állapotot alapvetően a magas víz hőmérséklet határozza meg. Ez a kis vizek mellett alig fordul elő, inkább a kis-közepes tartományban található. Más szóval, az 5.14-3. táblázat alapján nincs egyetlen kitüntetett vízhozam, amelyet „kritikusként” kezelhetnénk.

Felbontva az 1100-2500 m<sup>3</sup>/s-os vízhozam tartományt (a mértékadó hozamok a következők: kisvíz – 906 m<sup>3</sup>/s, közepes kisvíz - 1167 m<sup>3</sup>/s, középvíz - 2200 m<sup>3</sup>/s) az ideeső vízhozam gyakoriságok egyenletes eloszlást mutatnak, melyet az 5.14-2 ábra szemléltet. Az ábrából szintén látszik, hogy a múltbeli észlelések alapján az 1100 m<sup>3</sup>/s alatti vízhozamok és a 22 °C - 25 °C feletti, meleg Duna hőmérsékletek egybeesési valószínűsége kicsi, 1-3 %. A 25 °C-nál nagyobb Duna víz hőmérsékletek a múltban kis számban fordultak elő (éves átlagban csupán 1,7 nap), ezért a kis számú rendelkezésre álló adat miatt nem célszerű a pontok összekötése.

Természetesen az éghajlatváltozás ezt a képet is befolyásolja és minden bizonnyal az egybeesések szaporodását eredményezi. A kérdés autoregresszív modellel vizsgálható.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	113/128



5.14-2. ábra Adott Duna hőmérséklethez tartozó vízhozam gyakoriságok

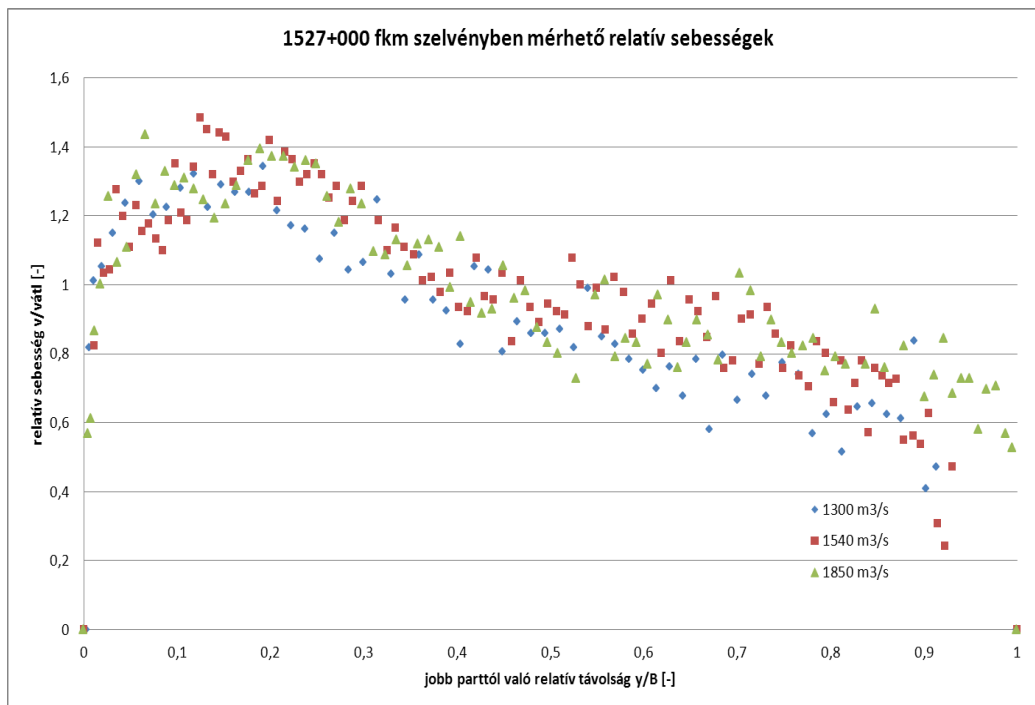
A korábbi méréseink alapján két szelvényben, különböző vízhozamok mellett vizsgáltuk a sebességek alakulását, mely alapvetően befolyásolja az elkeveredést. Az egyes mérési eredmények összehasonlításához, melyek más-más vízhozamhoz tartoznak, normalizáltuk a jobb parttól számított relatív távolságot a folyó szélességével, a sebességet pedig a szelvény átlag értékkel. A mélység mentén átlagolt sebesség keresztirányú változását az 5.14-3 és 5.14-4 ábrák tartalmazzák.

Az 1527+000 fkm szelvényben három mérési sor állt rendelkezésre 1300-1850 m<sup>3</sup>/s Duna vízhozam tartományban. Az ábrából megállapítható, hogy a vizsgált tartományban a dimenziótalanított profilok jó egyezést mutatnak, különösen a jelen probléma szempontjából fontos jobb parti régióban. A +500 m-es szelvényben több adat áll rendelkezésre, mint felette azonban nem mindegyik mérés terjedt ki a teljes keresztmetszetre, főleg a melegvíz csóvát mintázták. Az 5.14-4 ábra megmutatja, hogy a jobb part közvetlen közelében kis sebességek alakulnak ki (pangó zóna), a parttól távolodva megjelenik a csóva hatása, a sebesség nő, majd a bal part felé ismét csökken. A különböző vízhozamok mellett felvett sebesség profilok itt is jó egyezést mutatnak, amiből az következik, hogy az elkeveredés szempontjából az 1100-1850 m<sup>3</sup>/s-os tartomány hasonlóan viselkedik.

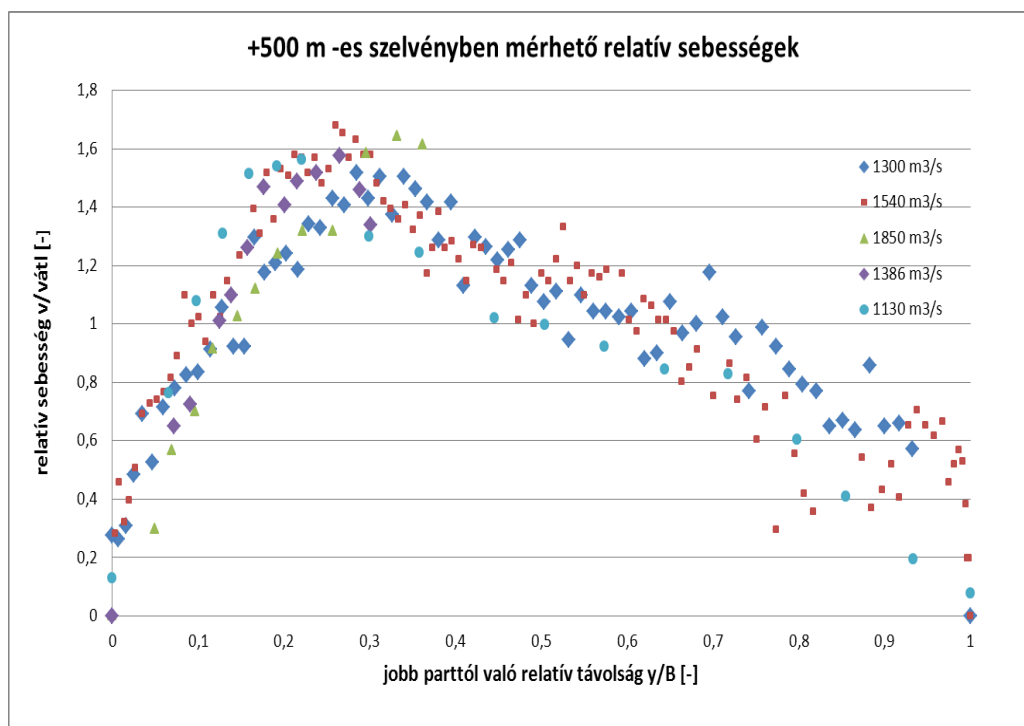
A következő fázisban az 1527+000 fkm sebességprofilhoz alsó és felső burkológörbét rendelünk, és megvizsgáljuk, hogy a 3D hidrodinamikai és hőtranszport modell (elsősorban a +500 m-es szelvényben mérhető hőmérsékleteloszlás) mennyire lesz érzékeny a peremfeltétel változására (a min – max tartományban).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	114/128





5.14-3. ábra Az 1527+000 fkm szelvényben mérhető relatív sebességek



5.14-4. ábra A +500 m-es (határérték)szelvényben mérhető relatív sebességek

## 5.14.2 AZ ELKEVEREDÉS HATÁSA A HATÁRÉRTÉK-SZELVÉNY MAXIMÁLIS HŐMÉRSÉKLETÉRE KÜLÖNBÖZŐ KIÉPÍTETTSÉGEK MELLETT

A 15/2001. KöM rendelet (b) pontjában megfogalmazott hőmérsékleti korlát betarthatóságának ellenőrzésére 3D hidrodinamikai és hőtranszport modellt fejlesztettünk, mely modellnek a kalibrálása és igazolása megtalálható az

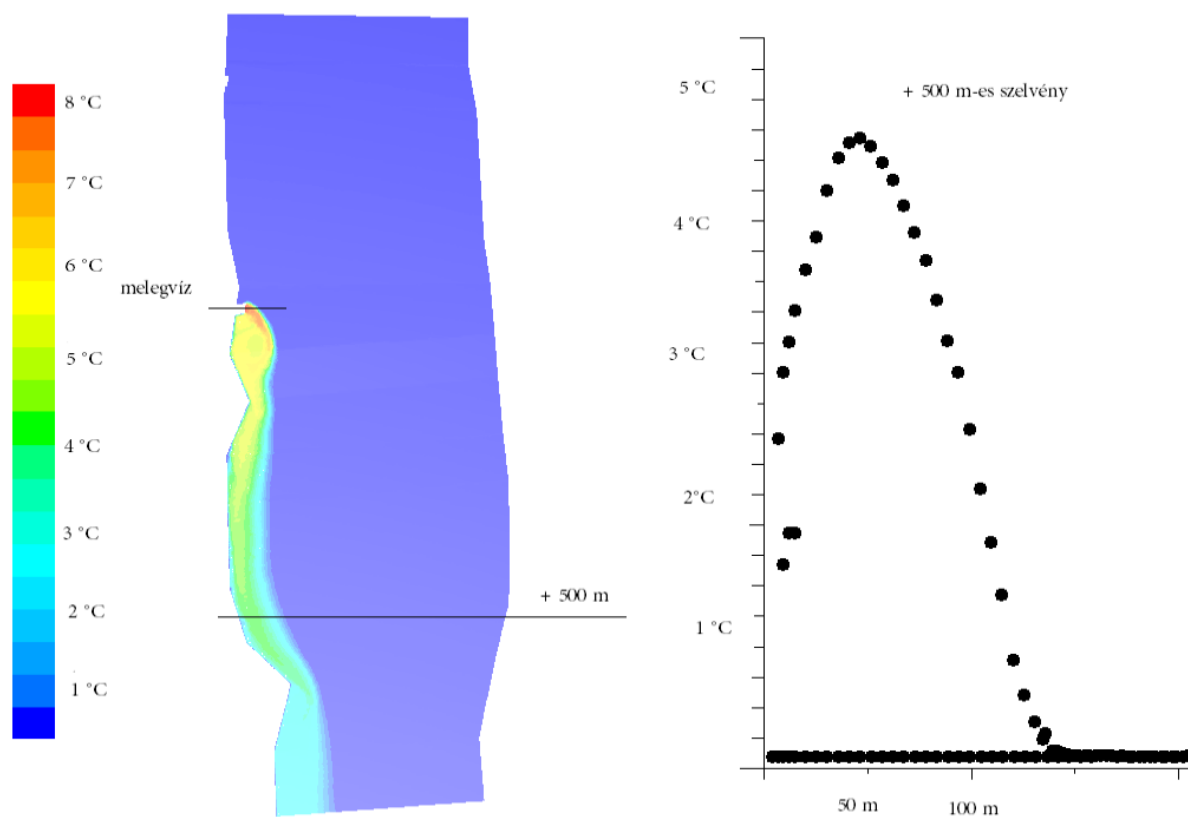
MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	115/128

„Atomerőmű hőterhelése: a monitorozás és az üzemirányítás fejlesztése” című tanulmányunkban és ezt az előző pontban leírt módon továbbfejlesztettük.

### 5.14.2.1 Egy ponton történő bevezetés vizsgálata

Jelen részfeladat keretében három kisvízi dunai vízhozam és három különböző melegvíz terhelés esetében, érzékenységvizsgálat jelleggel, parti bevezetés mellett vizsgáltuk a hűtővíz elkeveredését, a + 500 m-es szelvényben kialakuló maximális hőmérsékletet. Számításainkat a megrendelő kérésére 8 °C-os hűtővíz és Duna víz hőmérséklet különbségre (hőlépcsőre) végeztük el. Az 5.14-5. ábra példaként az 1100 m<sup>3</sup>/s-os dunai vízhozamhoz és 100 m<sup>3</sup>/s-os hűtővíz hozamhoz 8 °C-os hőlépcsővel rendelkező meleg víz elkeveredését mutatja, kiemelve a + 500 m-es szelvényt.

A Duna folyásirányában a hőcsóva maximális hőmérsékletei a kezdeti szakaszon gyorsan csökkennek. Ennek oka a bevezetésnél kialakuló erős turbulencia és a csóva iránytörése, melyet az 5.13 fejezetben már tárgyaltunk. A partközeli sekély részen a lehűlés mértéke csökken, ezt szintén mutatja az 5.14-5. ábra.



5.14-5. ábra Hőcsóva Paks térségében egy számítási esetben kontúrvonalakkal a többelhőmérséklet a dunai háttérhőmérséklethez viszonyítva és a határértékszelvény hőmérséklet eloszlása  $Q_{Duna} = 1100 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $q_{hűtővíz} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , hőlépcső = 8 °C

A Paksi Atomerőmű hűtővíz hozama jelenleg mintegy 100 m<sup>3</sup>/s, a hőlépcső pedig 8 °C körüli. A jövőben az új blokkok teljesítményének (2x1200 vagy 2x1600 MW) és a meglévő blokkok tervezett élettartam hosszabbításának függvényében lényegesen több hűtővízre lehet szükség. Így 2\*1200 MW teljesítményű blokkok esetében a Dunából kiveendő többlet vízhozam  $q=132 \text{ m}^3/\text{s}$ , míg 2\*1600 MW-s blokkoknál  $q=172 \text{ m}^3/\text{s}$  a jelenleg is kivett 100 m<sup>3</sup>/s-on felül. A 3D hidrodinamikai - hőtranszport modellel végzett vizsgálataink során ennek megfelelően vettük fel a  $q$  értékeket, amelyeket az 5.14-4. táblázat és 5.14-5. táblázat tartalmaznak.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	116/128

Az érvényes környezeti szabályozással összhangban – első lépésben – azt vizsgáltuk, hogy egy pontban történő bevezetés mellett, a +500 m-es szelvényben mekkora lesz a hőmérsékleti növekmény maximuma ( $\Delta T_{\max}$ ) vagy másképpen fogalmazva, az milyen mértékben csökken ( $\Delta T_{\text{elk}}$ ) a szelvényig. Utóbbi a folyóban a „természetes” lehülést jellemzi.

Alapesetként a régi - hálósűrítés nélküli - modell eredményeit hasonlítottuk össze 100 m<sup>3</sup>/s – os hűtővíz hozam és 8°C-os hőlépcső mellett. Mint látható a táblázatból, a régi és az új modell eredményei közötti különbségek nem számottevők, az eltérés néhány tizedet nem halad meg. Utóbbi az instacionér numerikus megoldás jellege és számítás leállítási feltétele határozza meg. Ez magyarázza azt is, hogy 1400 m<sup>3</sup>/s mellett a két különböző bővítési változatra (132 és 172 m<sup>3</sup>/s-os hozam esetén) azonos  $\Delta T_{\max}$  adódott.

Amint azt már az 5.14.1 alfejezetben is láttuk, a kritikus dunai háttérhőmérsékletek előfordulása az 1100 m<sup>3</sup>/s-nál kisebb Duna hozamoknál kicsi. A klímaváltozás hatására is utaltunk: egyrészt a háttérhőmérséklet emelkedése, másrészt a vízszintek csökkenése miatt ez a vízhozam, és hozzátartozó gyakorisági határ lejjebb tolódhat. Ezért vizsgálatainkat 800 m<sup>3</sup>/s-ra is elvégeztük. A jövőben előforduló kisvízszint-magas háttérhőmérséklet együttállások meghatározásához külön vizsgálatok szükségesek (lásd 5.14.1 is).

2*1200 MW	Q =800 m <sup>3</sup> /s			1100 m <sup>3</sup> /s			1400 m <sup>3</sup> /s			1800 m <sup>3</sup> /s		
Duna vízhozam												
Hűtővíz hozam	q=100 m <sup>3</sup> /s	132	232	100	132	232	100	132	232	100	132	232
$\Delta T_{\text{elk}}$ (+500 m)	2,5	2,4	1,9	3,2 (2,9)	2,4	2	3,2 (3,4)	2,4	2,1	3,0(2,9)	2,7	2,3

5.14-4. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hűlése a határértékszelvényig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2\*1200 MW-s blokkteljesítménynél

2*1600 MW	Q =800 m <sup>3</sup> /s			1100 m <sup>3</sup> /s			1400 m <sup>3</sup> /s			1800 m <sup>3</sup> /s		
Duna vízhozam												
Hűtővíz hozam	q=100 m <sup>3</sup> /s	172	272	100	172	272	100	172	272	100	172	272
$\Delta T_{\text{elk}}$ (+500 m)	2,5	2,2	1,8	3,2 (2,9)	2,3	1,5	3,2 (3,4)	2,4	1,6	3,0(2,9)	2,7	1,6

5.14-5. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hűlése a határértékszelvényig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2\*1600 MW-s blokkteljesítménynél

Itt

- Q - a dunai vízhozam,
- q - hűtővíz hozama,

A táblázatok alapján megállapítható, hogy:

- adott  $\Delta T$  mellett minél nagyobb a hűtővíz mennyisége és ezáltal a hőterhelés, annál kisebb lesz a csóva lehülése a +500 m-es szelvényig,
- a 2\*1600 MW-os blokkok üzembe helyezése nagyobb hűtővízhozam alkalmazását jelenti, ezáltal a természetes hőmérséklet csökkenés kisebb, mint az 2\*1200 MW-os blokkok esetén,
- a  $T_{\text{Duna}} + \Delta T - \Delta T_{\text{elk}} \leq T_{\text{határérték}}$  összefüggés alapján elmondható (lásd korábban is), hogy 100 m<sup>3</sup>/s és  $\Delta T = 8$  °C esetén mintegy 24 °C-os dunai vízhőmérsékletig nem valószínű a hőmérsékleti korlát túllépése (1100-1800 m<sup>3</sup>/s-os hozamnál),
- 25°C-os Duna vízhőmérséklet esetén az előző képlet szerint 3 °C visszahűlés szükséges. Ez az 5.14-5 táblázat szerint, a bővítés eredményeként megkívánt vízhozamoknál, parti bevezetés mellett nem biztosítható),
- 800 m<sup>3</sup>/s-os dunai vízhozamnál és 100 m<sup>3</sup>/s-es melegvíz bevezetésénél a lehülés mértéke 2,5 °C-ra csökken. Ez az alacsony vízszintnek és a csóvában kialakuló kis sebességeknek köszönhető. Ugyanakkor, a jobbparton bevezetett 272 m<sup>3</sup>/s-s melegvíz hozam a Dunához képest impulzustöbblettel rendelkezik, és ez elősegíti az elkeveredést. Ezekből adódóan a visszahűlésben jelentős eltérések nem tapasztalhatók a vizsgált dunai vízhozam tartományban,

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarajelentes_314_v1	2013. június 11.	117/128

- Kedvezőtlen hatású a klímaváltozás, hiszen a Duna-víz hőmérséklete akár 27-28 °C-ra is emelkedhet (lásd korábban).
- Frissvízhűtés esetén az elmondottak szükségessé teszik intenzív (és költség-hatékony) bekeverési módokat kialakítását. Megoldást a több ponton történő bekeverés és a vízhozam megosztás jelenthet (utóbbi történhet a keresztiszelvény mentén vagy hosszirányban elhelyezett bevezetési pontokban).

#### 5.14.2.2 Több-pontú bevezetés valamely keresztiszelvényben (diffúzorok)

A több pontban történő bevezetés célja a folyó terhelésének elosztása. Ez többféleképpen valósítható meg: (i) keresztiszelvényen belül, (ii) folyásirányban vagy (iii) a kettő kombinációjaként.

A hűtővíz egy ponton történő bevezetése a befogadóba - a hőmérséklet eloszlás Gauss görbe jellegéből adódóan - a környezeti szabályozás korlátait meghaladó, túlzott mértékű növekedést eredményezhet. Ilyen esetekben - a nemzetközi gyakorlat és korábbi munkáink alapján hatékonyabb megoldást jelenthet a több (2-5) ponton megvalósított visszajuttatás. Valójában ezzel a hígulás és a keresztirányú elkeveredés elősegítése érdekében, közelítően vonal menti forrást hozunk létre. A műszaki megoldást diffúzor sor jelenti: a felmelegedett hűtővizet általában a meder fenéken, nagy átmérőjű csövekben vagy alagutakban szállítják, majd egy-egy „állomáson” leágazó, hidraulikailag gondosan megtervezett diffúzoron (szórófejeket vagy fúvókákat) vezetik be, a megfelelő irányú és nagyságú sebesség létrehozásával (az impulzus- kiegyenlítés javítja az elkeveredést).

A hűtővíz hozamának megosztása biztosítja, hogy az adott hőmennyiséget már a kezdeti szakaszon nagyobb Duna vízmennyiséggel keverjük el. Ezáltal a határértékszélvényben (a meglévő erőműre jelenleg +500 m) a hűtővíz hőmérsékleti maximumai csökkennek. Utóbbiak függenek a megosztás számától,

- a diffúzorok egymástól és parttól mért távolságától, azok kialakításától,
- a hűtővíz- és dunai háttér hozamtól.

Az előző alfejezet és a rendelkezésre álló mérések alapján elmondható, hogy a kisvizet magába foglaló 1100 – 1800 m<sup>3</sup>/s dunai vízhozamon belül az elkeveredés hasonlóan alakul. A jobb part közelében a sebesség keveset változik, az áramlás turbulens jellege következtében a hőmérsékleti maximumokban csupán 0,2-0,3°C-os különbségek jelentkezhetnek. Ezért a hőterjedési számításokhoz alapvetően olyan Duna vízhozamot érdemes választani, ahol a numerikus modell a legmegbízhatóbban működik. Alapos mérlegelést követően az 1400 m<sup>3</sup>/s-hoz tartozó áramkép mellett döntöttünk.

A hűtővíz bevezetésének vízhozama jelenleg 100 m<sup>3</sup>/s körüli. Ez a jövőben, 2\*1200 MW-os blokkok esetén 132 m<sup>3</sup>/s-ra nő (8 °C-os hőlépcsővel számolva). Közös működés mellett a két hozam összege, azaz 232 m<sup>3</sup>/s várható. 2\*1600 MW-es blokkoknál a hűtővíz hozama 172 m<sup>3</sup>/s, közös működésnél 272 m<sup>3</sup>/s.

Számításaink során vizsgáltuk a különböző vízhozam megosztási változatokat egy és három diffúzor alkalmazásával, majd ezeket összehasonlítottuk az eredeti, parti bevezetés eredményeivel. A számításokat elvégeztük a 3D-s hidrodinamikai és hőtranszport modellel és analitikus közelítéssel is, majd az eredményeket egybevetettük.

Az analitikus számítás a Gauss-féle modell alapján történik, mely megadja, hogy adott pontforrásból származó hőmennyiség milyen hőmérséklet eloszlást idéz elő a vizsgált Duna szelvényben. A hőmérséklettöbblet maximális értéke

$$\Delta T_{\max \text{ } 500m} = \frac{q \cdot \Delta T_{\text{hőlépcső}}}{2H \sqrt{\pi D_y v_x x}}$$

ahol

q a bevezetett meleg víz hozama [m<sup>3</sup>/s],  
H az átlagmélység [m],

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	118/128

$D_y$  a keresztirányú diszperziós tényező [ $m^2/s$ ],  
 $v_x$  a csóva átlagsebessége,  
 $x$  pedig az 500 m-es távolság.

Feltételezzük, hogy az áramlás permanens és a mélység menti változások elhanyagolhatóak. Ha a csóva eléri a partot, akkor onnan a részecskék „visszaverődnek”, ezért a peremfeltételt kielégítendő, a tükrözési elvet alkalmazzuk. Így a koncentráció keresztirányú eloszlása:

$$\Delta T(500m, y) = \frac{q \cdot \Delta T_{hőlépcső}}{2H \sqrt{\pi D_y v_x x}} \left( \exp\left(-\frac{v_x (y - y_0)^2}{4 D_y x}\right) + \exp\left(-\frac{v_x (y + y_0)^2}{4 D_y x}\right) \right)$$

ahol  $y_0$  a bevezetés helye a parttól mérve.

A közelítő számítás felvett értékei a Duna ezen szakaszára:  $v_x = 1,1$  m/s,  $H = 4,1$  m,  $D_y = 0,4$   $m^2/s$ ,  $x = 500$  m és a hőlépcső:  $8$  °C,  $y_0$  pedig változik a különböző esetekben.

A különböző hűtővíz mennyiségek és vízhozam megosztások mellett a +500 m-es szelvényben fellépő legnagyobb többlethőmérsékleteket az 5.14-6. táblázat tartalmazza, összehasonlítva a 3D és az analitikus modell eredményeit (a Duna hozama  $1400$   $m^3/s$  volt; lásd korábban).

$T_{500m} - T_{Duna}$ [°C]	hűtővíz: $q = 100$ $m^3/s$			$q = 132$ $m^3/s$			$q = 232$ $m^3/s$		
Part	100 $m^3/s$	30 $m^3/s$	10 $m^3/s$	132 $m^3/s$	42 $m^3/s$	12 $m^3/s$	232 $m^3/s$	100 $m^3/s$	22 $m^3/s$
Pontforrás (diffúzor)	Nincs	1 db 70 $m^3/s$	3 db 30-30-30 $m^3/s$	Nincs	1db 90 $m^3/s$	3 db 40-40-40 $m^3/s$	Nincs	1 db 132 $m^3/s$	3 db 70-70-70 $m^3/s$
	többlethőmérséklet [°C]								
3D modell	5,2	2,5	1,1	5,8	3,5	1,5	6,5	4,8	2,5
Analitikus	5,4	2,6	1,1	6,1	3,4	1,5	-	4,8	2,6

5.14-6. táblázat Különböző hűtővízmennyiségek és megosztások hatása a határérték-szelvénybeli maximális hőmérsékletekre

A táblázatban részletesen megadtuk a hűtővíz mennyiségének megosztását az eredeti parti bevezetés és a diffúzorok között. Az analitikus számításnál  $y_0$  értékét – az impulzus kiegyenlítődés hatását figyelembe veendő -  $15$  m-re vettük fel. A pontforrások hozamát azonosnak tételeztük fel. Ezek elhelyezése a parttól mérve a következő: egy forrás esetében  $120$  m, 3 mellett  $60$ ,  $120$  és  $180$  m.

A számítás eredményei azt mutatják, hogy

- a numerikus és analitikus megoldás jó egyezést mutat, ezért célszerű a jóval gyorsabb analitikus módszert követni
- $q = 232$   $m^3/s$  és vízhozam megosztás nélküli esetben a megnövekedett impulzus hatások miatt a numerikus modell eredményeire kell hagyatkozni

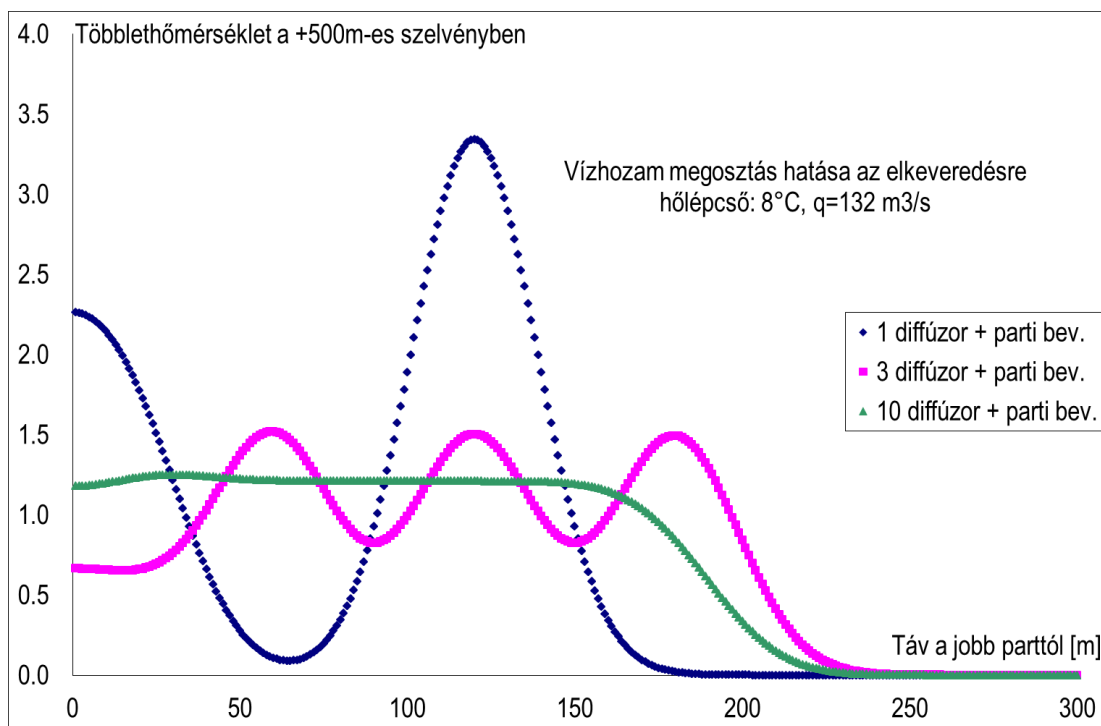
A következőkben a vízhozam megosztás hatását vizsgáltuk. A pontforrások elhelyezése a parttól  $180$  m-ig tart, a beömlési pontok egyenlő távolságban vannak elosztva. Ez azt jelenti, hogy három forrás esetén a beömlések  $60$ ,  $120$ ,  $180$  m távolságra, míg kilenc mellett  $20$ ,  $40$ ,  $60$ ,  $80$ ,  $100$ ,  $120$ ,  $140$ ,  $160$  és  $180$  m-re található. A különböző vízhozamok és megosztások számának függvényében a +500 m szelvény maximális hőmérsékleteit az 5.14-7. táblázat mutatja. Az eredményekből megállapítható, hogy öt pontforrásnál több alkalmazása általában nem ésszerű (ez utóbbit például a beömlések geometriai kialakítása és a nagy vízhozamok kezelése tehetik szükségessé).

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	119/128

pontforrások száma: melegvíz vízhozama:	1 db	2 db	3 db	4 db	5 db	6 db	7 db	8 db	9 db	10 db
q = 100 m <sup>3</sup> /s	2,6	1,5	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
q = 132 m <sup>3</sup> /s	3,4	2,0	1,5	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
q = 232 m <sup>3</sup> /s	4,8	3,5	2,6	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1 °C

5.14-7. táblázat Maximális többlethőmérséklet ( $\Delta t$ ) a határérték-szelvényben [ $^{\circ}\text{C}$ ] a beömlési helyek számának függvényében

A szemléltetés érdekében az 5.14-6. ábrán a tervezett blokkokból származó, 132 m<sup>3</sup>/s vízhozammal és 8 $^{\circ}\text{C}$ -os hőlépcsővel rendelkező hűtővíz lehűlését ábrázoltuk, különböző számú bekeverési pontot alkalmazva. Látszik, hogy a hőmérséklet Gauss jellegű eloszlásokból tevődik össze és az is, hogy a csóva a jobb parton marad. A 10 beömlési ponton történő bekeverés – mint ahogy azt az ábra is mutatja – hasonlít a vonal menti bevezetéshez.



5.14-6. ábra Vízhozam megosztás hatása a + 500m-es szelvény hőmérséklet eloszlására

Kiemelve a három ponton történő és parti bevezetést használó változatot, a beömlési pontok egymástól mért távolságának [L] változtatásával vizsgáltuk a +500 m szelvény maximális hőmérsékleteit. Az eredményeket az 5.14-8. táblázat tartalmazza. Látható, hogy az egyes bevezetési pontokat 60 m-nél nagyobb távolságra felesleges elhelyezni, mivel az adott 500 m-es távolságon belül az egyes beömlések nem fognak nagyobb Duna vízhozammal elkeveredni. Ugyanakkor a táblázatból ennek a fordítottja is érzékelhető; nem megfelelő távolságban elhelyezett beömlési pontok kevés háttér vízzel keverednek, a csóvák a keresztirányú diffúzió miatt találkoznak, és magasabb többlethőmérsékletet okoznak.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	120/128



Távolság a beömlési pontok között:	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m
<b>Melegvíz vízhozama:</b>						
q = 100 m <sup>3</sup> /s	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1
q = 132 m <sup>3</sup> /s	2,4	1,9	1,7	1,5	1,5	1,5
q = 232 m <sup>3</sup> /s	4,2	3,3	2,8	2,6	2,6	2,6 °C

5.14-8. táblázat Maximális többlethőmérséklet ( $\Delta t$ ) a határérték-szelvényben [°C] a távolság függvényében

Az intenzív bekeverés vizsgálata során egy-egy változatot mutattunk be, de a módszertan és algoritmus ismeretében más változatok is elemezhetők, így a 2x1600 MW bővítési alternatíva is.

A több ponton való bekeverés költségeire jelen tanulmányunk nem tér ki, mivel az nem képezte feladatunkat.

### 5.14.2.3 Part menti bevezetés több, egymás alatti pontban

A hűtővizet úgy is megoszthatjuk, hogy két (vagy több) eltérő helyen parti bevezetést alkalmazunk. A megrendelő kérésére olyan esetet vizsgáltunk, melyben a jelenlegi bevezetés (1526,04 fkm) alatt 1 km-re újabb bebocsátási ponton (1525,04 fkm) keresztül juttatjuk be a hűtővizet. A jelenlegi bevezetés hozama 100 m<sup>3</sup>/s, a tervezetté 132, illetve 172 m<sup>3</sup>/s, a kialakítandó blokkok (2\*1200 MW, illetve 2\*1600 MW) függvényében. A hőmérsékleti korlát a jelenlegi bevezetés alatt +500 m-re található. A jövőbeli bevezetésre egyelőre még nincsen szabályozás. Ezért abból indulunk ki, hogy ott is az alvízi oldalon, az 500 m szelvényre szabják meg a korlátot.

Az elemzések során az egyes szelvényeket az alábbi módon jelöljük:

jelenlegi melegvíz bevezetés helye a viszonyítási, „0” pont,

a hőmérsékleti korlát betartásnak szelvénye: +500 m,

a tervezett második melegvíz visszavezetés helye: +1000 m,

hőmérséklet kiértékelési szelvény, melyben benne van a második visszavezetés hatása is: +1500 m.

Az 1525,04 fkm-es, tervezett bevezetés hőterhelésének számításához a 3D hidrodinamikai és hőtranszport modell kiterjesztettük, melyhez a 8. Duna meder fejezetben leírt mederfelméréseket alkalmaztuk. A modell felvízi peremét az 1527+400 fkm, az alvízi peremét az 1524+250 fkm jelentette. A számításokat 800, 1100, 1400 és 1800 m<sup>3</sup>/s-ra végeztük el, ugyanúgy, mint az egyponos bevezetés számításánál (lásd 5.14.2 alfejezet). A 800 m<sup>3</sup>/s dunai vízhozam esetén a hűtővíz elkeveredést az 5.14-7. ábra mutatja.

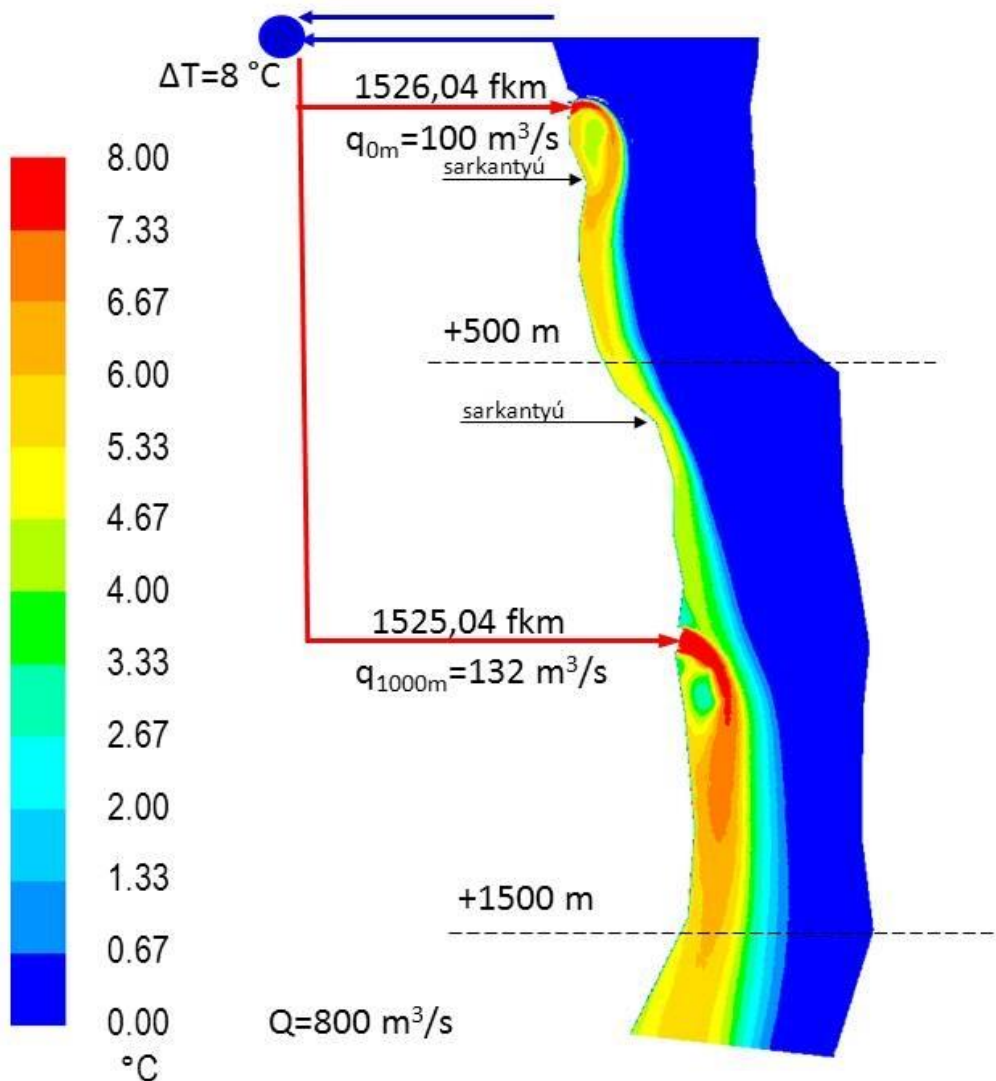
A modellben a Dunából két helyen történik a vízkivétel, a jelenlegi 1526,75 fkm-nél és a tervezett, 1527,21 fkm-nél található hidegvíz csatornából. Ezután a háttér Duna vízéhez képest 8°C-al melegebb hűtővizet két ponton át vezetnek vissza a Dunába. Mindkét visszavezetés esetében megfigyelhető, hogy a bevezetett hűtővíz impulzustöbblettel rendelkezik, mely a rövid kezdeti szakaszon segíti az intenzív elkeveredést. Ez a hatás addig érvényesül, amíg a bevezetett víz nem veszi fel a Duna sebességét és folyásirányát, melyhez csupán kb. 50 m távolság szükséges. Ezen a szakaszon belül a csóva mögött ellenforgó zóna is kialakul, mely a nagy sebességkülönbségek és ebből származó nagy nyírás eredménye.

Az impulzuskiegyenlítődés után az elkeveredést a mederviszonyok és háttér Duna áramlás szabja meg. A jelenlegi bevezetés alatt a jobb part közvetlen közelében egy kb. 80-100 m-es sekély szakasz található. Ennek határán, de még mindig a jobb part közelében húzódik a sodorvonal. Ezzel szemben a tervezett, második bevezetés alatt a jobb parti sekély rész jóval szélesebb (150 m – 180 m körüli), a sodorvonal pedig a bal part felé helyeződött át. Ennek következménye, hogy a második bevezetés alatt kedvezőtlenebb elkeveredés várható. Ezt igazolja az 5.14-7. ábra is. A +500 m-es szelvényben 5,5 °C-os többlethőmérséklet (vagyis 2,5 °C-os visszahűlés), a +1500 m-es szelvényben 6,1 °C-os többlethőmérséklet (1,9 °C-os hűlés). A második bevezetés után számolt visszahűlés értéke nemcsak a Duna mederviszonyainak és sebességterének következménye, hanem annak is, hogy az első bevezetés

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	121/128

csóvája 1 km-rel lejjebb is a jobb part közelében található, és ezen első csóva hőtöbblete hozzájárul a második csóva hőmérsékleti viszonyainak alakulásához.

A +1500 m-es szelvényben kialakuló többlethőmérséklet-eloszlás két összetevője tehát (i) jelenlegi bevezetésnél beengedett hűtővíz többlethőmérséklete 1500 m-rel a bevezetés alatt és (ii) a tervezett bevezetésen keresztül bejuttatott hűtővíz 500 m-rel a bevezetés alatt. A két csóvából származó, a +1500 m-es szelvényben kialakuló hőtöbblet maximuma nem esik egybe. Ennek oka Duna kanyargóssága, a meder szabálytalansága és a beépített sarkantyúk.



5.14-7. ábra Melegvíz visszavezetés két parti bevezetéssel, hőmérséklettöbblet

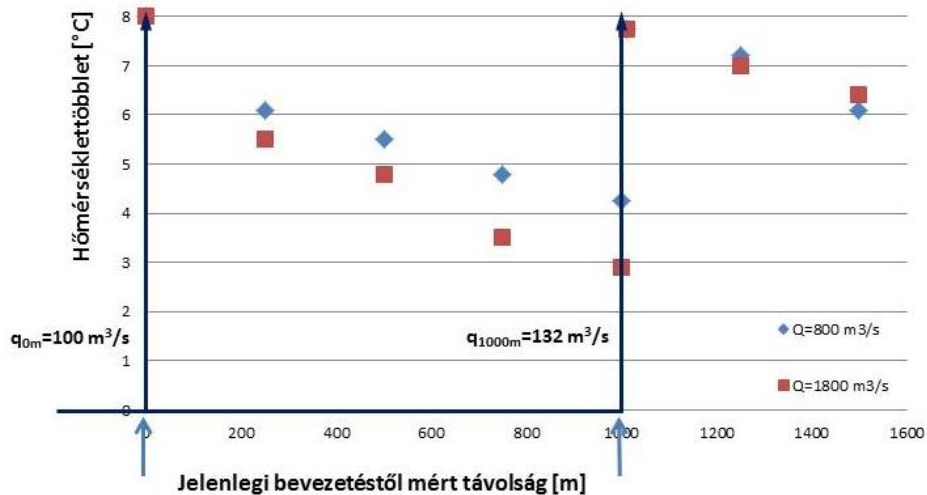
Ha mindkét bevezetési pontból nyomjelző részecskéket indítunk, akkor látható, hogy az első csóva a jobb parttól eltávolodik, és a második csóvát akadályozza a háttér hőmérsékletű Duna vízzel való elkeveredésében. Az 5.14-8. ábrán látható sárga színű részeckepályák a jelenlegi bevezetésen bekerülő hűtővízre vonatkoznak, a piros színű pályák a tervezett bevezetésen bejutó részecskék pályáját mutatja.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	122/128



5.14-8. ábra Részecskepályák a két bevezetési pontból

### Hosszirányú maximális hőmérséklet többlet a Dunában



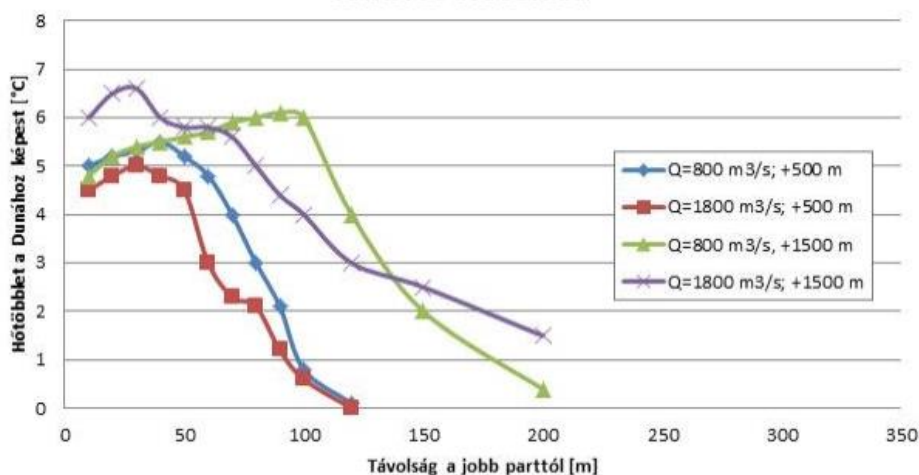
5.14-9. ábra A hőmérséklet többlet hosszirányú változása – kétpontos parti bevezetés

Az 5.14-9. ábra a hosszirányú hőmérséklet többlet változását mutatja a 800 és 1800 m<sup>3</sup>/s-os dunai vízhozamnál. A kiindulási „0” pontnál megjelenik a 8 °C-os hőlépcső, majd ezt követően a már korábban említett impulzushatásnak, és a sarkantyúnak köszönhetően gyors az elkeveredés. A +250 m-es szelvényig mintegy 2 °C-os hűlés következik be. Ezután az elkeveredés üteme lassul, hiszen a hőtöbblet, mint a folyamat hajtóereje egyre kisebb lesz. A második bevezetés a +1000 m-es szelvényben ismét a Duna háttérhőmérsékletéhez képest 8 °C-os hőlépcsőt jelent. A +1000 m-es szelvényig - a második bevezetés előtt a melegvíz csóvában mérhető legnagyobb

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	123/128

többlethőmérséklet 1800 m<sup>3</sup>/s-os háttérhozamnál 3 °C, 800 m<sup>3</sup>/s-nál 4,2 °C körüli. A második bevezetés után az elkeveredés (hűlés) lassabb a már korábban említett okok miatt (sekély part menti zóna, sodorvonal a balpart közelében), melyhez még hozzáadódik az első csóva „maradék” hőmérséklettöbblete. A +500 m-es és +1500 m-es szelvény többlethőmérséklet eloszlását az 5.14-10. ábra mutatja. Az ábrából leolvasható, hogy az egyes szelvényekben a csóva szélessége eltérő: a +500 m-es szelvényben 120 m, a +1500 m-es szelvényben több, mint 200 m széles. Érdekes megfigyelni, hogy az adott szelvényen belül hol találhatók a maximális hőmérsékletek. Nagyobb Duna vízhozam (1800 m<sup>3</sup>/s) esetén a csóva hamarabb felveszi a Duna folyásirányát, kisebb háttérhozam esetén (800 m<sup>3</sup>/s) keresztirányban tovább eljut a csóva. Ez azzal magyarázható, hogy a bevezetett vízmennyiség az utóbbi esetben az összes vízmennyiséghez képest nagyobb részaránnyal rendelkezik. Az ábrán ezt a jelenséget a piros-kék és lila-zöld görbepárosok mutatják.

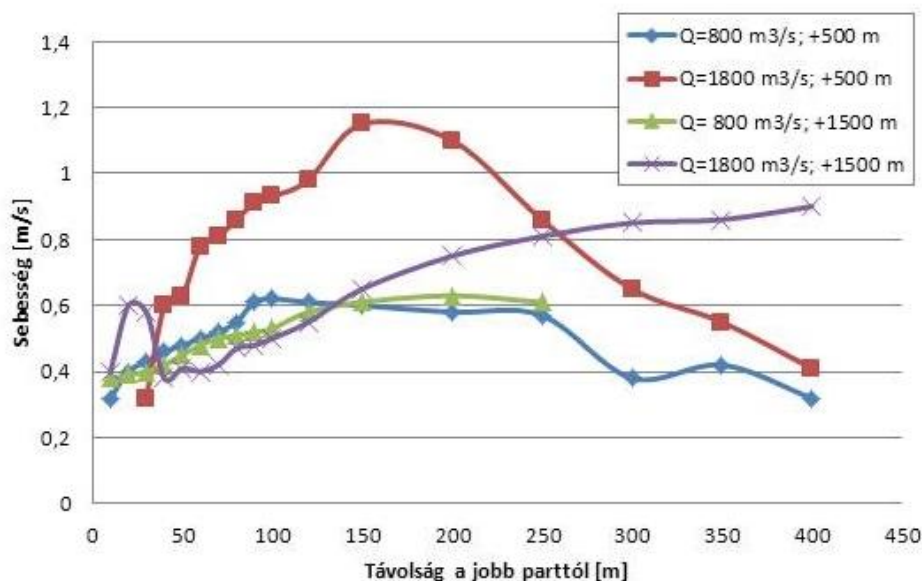
### A +500 m és +1500 m-es szelvény hőmérséklet többlet eloszlása



5.14-10. ábra A +500 m-es és +1500 m-es szelvény többlethőmérséklet eloszlása Q=800 és 1800 m<sup>3</sup>/s-os Duna vízhozamnál

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	124/128

## Sebességeloszlások



5.14-11. ábra A +500 m-es és +1500 m-es szelvény sebességeloszlása Q=800 és 1800 m<sup>3</sup>/s-os Duna vízhozamnál

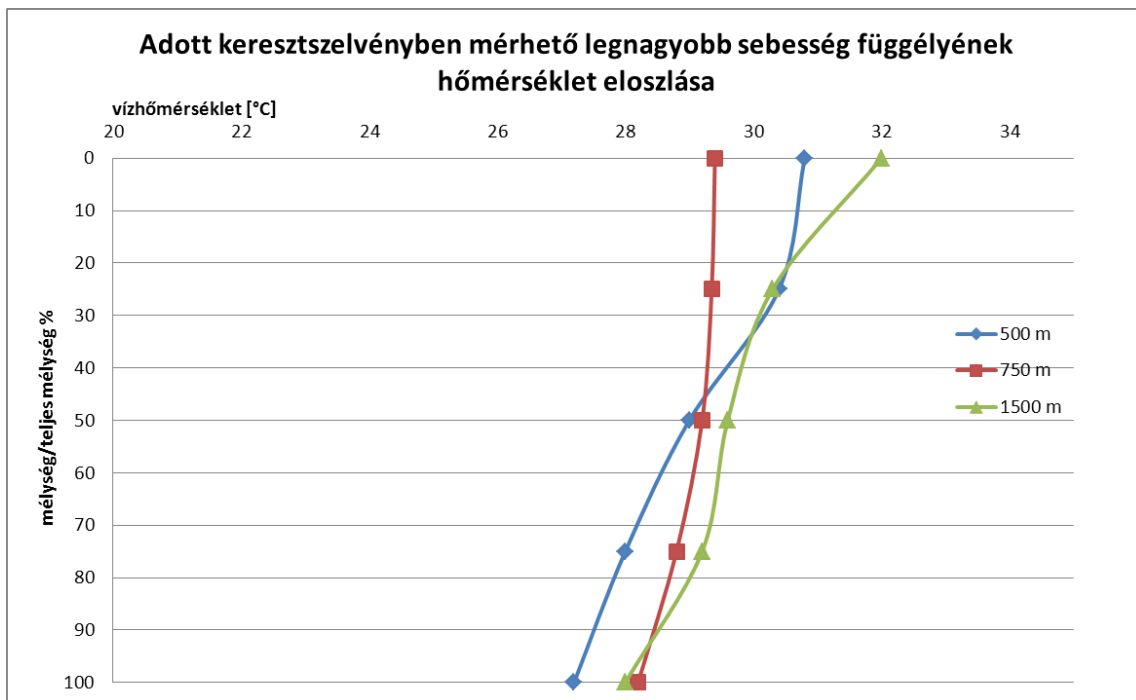
Az 5.14-11. ábrán az előbb vizsgált keresztmetszvények sebességeloszlása található. Látszik, hogy a +500 m-es szelvényben számolt sebességek a két Duna vízhozamnál eltérőek, melyből következik, hogy a 800 m<sup>3</sup>/s-os Duna hozamnál kisebb lesz az elkeveredés.

### 5.14.2.4 A hőmérséklet mélység menti eloszlása

A 3D-s hidrodinamikai és hőtranszport modell segítségével a hőmérséklet vertikális (mélységmenti) eloszlása nyomon követhető, különböző kiválasztott szelvényben kiértékelhető. Az 5.14-12. ábrán különböző szelvényekben előforduló legmagasabb hőmérsékletekhez tartozó függvényben ábrázoltuk a hőmérséklet mélység menti eloszlását. A Duna vízhozam 1400 m<sup>3</sup>/s, hőmérséklete 26 °C, a hűtővíz hozama az első bevezetési ponton 100 m<sup>3</sup>/s, a második bevezetési ponton 132 m<sup>3</sup>/s volt. A hőlépcső 8°C. Az 5.14-12. ábrán a kék görbe a bevezetési ponttól 500 m-re lévő, a hőmérsékleti korlát betartása szempontjából fontos keresztmetszvényben felvett függélyt mutatja. A függély kiválasztása az adott keresztmetszvényben mérhető legnagyobb hőmérséklet alapján történt. A görbe alapján megfigyelhető, hogy az 500 m alatt a Dunába bevezetett hűtővíz a mélység mentén még nem keveredett el; a különböző vízhőmérsékletű zónák a sűrűségkülönbség alapján rétegződtek. A felső, körülbelül 1 m-es rétegben a vízhőmérséklet mintegy 3 – 3,5°C-ot hűl le a bevezetett hűtővíz hőmérsékletéhez képest (háttérhőmérséklet: 26 °C + hőlépcső: 8 °C – hőmérsékletkülönbség: 4 °C körüli), ami a mérési eredményekkel is összhangban van (az eddigi számításainkból származó visszahűlések is erre a felső rétegre vonatkoznak).

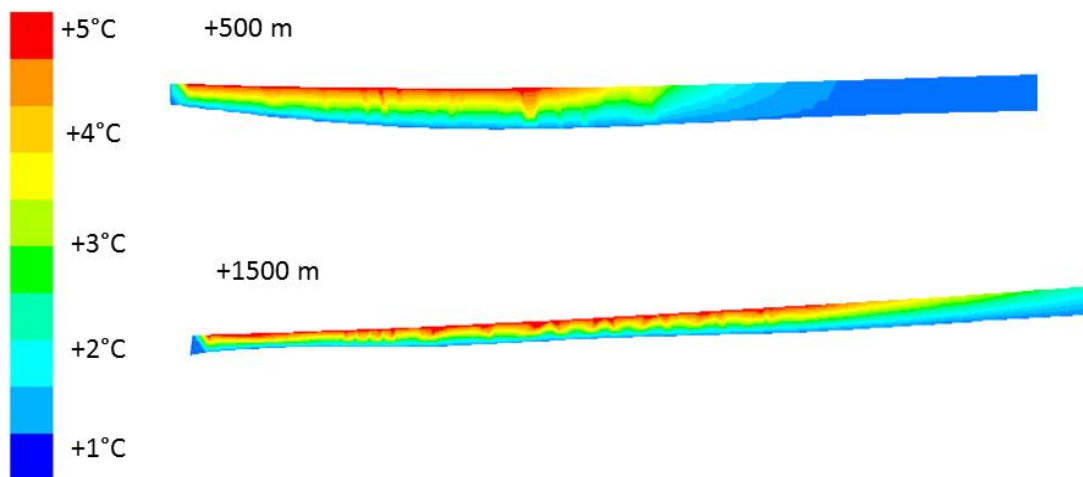
A bevezetéstől számított 750 m-re felvett függélyben (a második sarkantyú után) a hőmérséklet mélység menti változása már nem számottevő, a függély felső felében közel állandó hőmérsékleteket kapunk. A jó vertikális elkeveredés a második sarkantyúnak köszönhető, hiszen az a csóvát eltéríti, az eltérülés folytán a különböző sebességű vírzecskék nyírása örvényességhez vezet.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	125/128



5.14-12. ábra Hőmérsékleteloszlás különböző függvényekben

Az első bevezetéstől számított 1500 m-re, mely a második bevezetés után 500 m-re található (azaz a jelenlegi szabályozás mellett ez a mértékadó szelvény), ismét megfigyelhető a függély menti hőmérséklet-inhomogenitás.

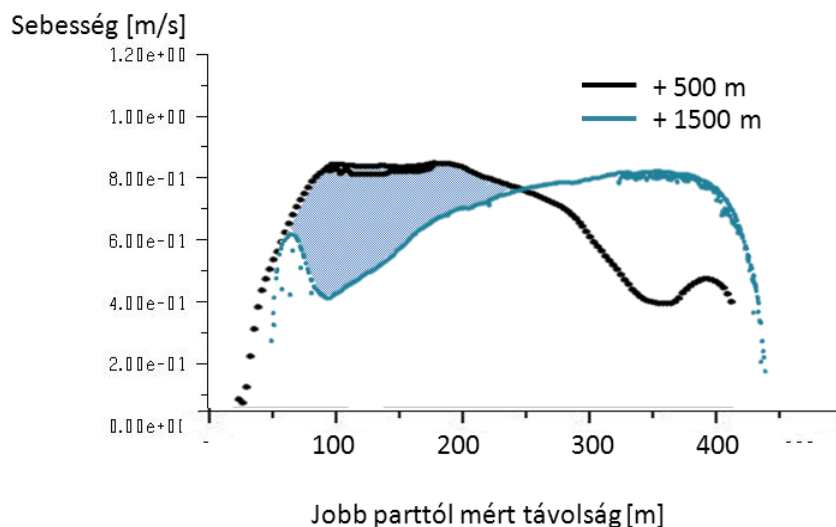


5.14-13. ábra Hőmérsékleteloszlás a bevezetéstől számított 500, illetve 1500 méterre

A visszahűlés sem olyan intenzív, mint az első bebocsátási hely utáni 500 m-en, és emellett az első csóva hőmérsékleti viszonyai is befolyásolják a rétegződést. A melegvíz-elkeveredést a jobb part közelében tapasztalható kis vízsebességek korlátozzák. Ahogy már korábban említettük, a sodorvonal a bal part felé húzódik, a dunai vízhozam nagy része is a bal part környékén található. Az 5.14-14. ábra szemlélteti a felső és alsó bevezetés után 500 m-re felvett szelvények sebességviszonyait. Jól látható a két sebességtér különbözősége. A +1500 m-es szelvényben a jobb part közelében tapasztalható kismértékű sebességnövekmény a bevezetés hatásának tekinthető. A két sebességprofil közötti satírozott terület érzékelteti, hogy a felső bevezetés hatására kialakuló csóvának mennyivel nagyobb vízhozam áll rendelkezésre az elkeveredéshez.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	126/128





5.14-14. ábra Sebességeloszlás a jelenlegi hűtővíz bevezetéstől számítva 500 és 1500 m-re

#### 5.14.2.5 A modelleredmények összevetése az önellenőrzés mérési eredményeivel

Információink szerint ellenőrző mérések jelenleg 25 °C háttérhőmérséklet felett folynak, mozgó mérőhajóról, két mélységben pásztázva, az adatokat statisztikailag értékelve. Eddig egyetlen ilyen esemény adataival rendelkezünk, 2006. nyarán (a 29. héten). A Duna átlagos vízhozama 1400 m<sup>3</sup>/s, a háttér hőmérséklet 26 °C, a melegvíz csatorna hőmérséklete 34 °C körüli volt. A +500 m szelvény maximális hőfoka 29,5 °C, azaz a lehűlés 4-5 °C. Az elvégzett 3D hőterjedési számítások a folyó felső 1 m-es rétegére valamivel magasabb hőmérsékleti maximumot eredményeztek. A +500 m szelvényben a sűrűségkülönbség és a felúszás hatása világosan kimutatható. A mérések leírása és értékelése nem áll rendelkezésünkre: hol, hogyan mintáztak, mi a hiba/pontosság tartománya, hogyan történik a statisztikai értékelés. Így a szimulációkkal történő összevetés csak nagyságrendi lehetett.

#### 5.14.2.6 Az elvégzett számítások összefoglalása

Az összes elvégzett számítást az 5.14-9. táblázat és az 5.14-10. táblázat foglalja össze. A különböző blokkteljesítmények a +1000 m-en hozzávezetett hűtővíz mennyiségi eltéréseben mutatkoznak meg. A táblázatok a lehűlés mértékét adják meg. Ezekből a csóvák többlethőmérséklete úgy határozható meg, hogy a 8 °C-os hőlépcsőből levonjuk az elkeveredés ( $\Delta T_{elk}$ ) értékét.

2*1200 MW	Q= 800 m <sup>3</sup> /s	Q= 1100 m <sup>3</sup> /s	Q= 1400 m <sup>3</sup> /s	Q= 1800 m <sup>3</sup> /s
Duna vízhozam				
Hűtővíz hozam	q <sub>0m</sub> =100 m <sup>3</sup> /s, q <sub>1000m</sub> =132 m <sup>3</sup> /s	q <sub>0m</sub> =100 m <sup>3</sup> /s, q <sub>1000m</sub> =132 m <sup>3</sup> /s	q <sub>0m</sub> =100 m <sup>3</sup> /s, q <sub>1000m</sub> =132 m <sup>3</sup> /s	q <sub>0m</sub> =100 m <sup>3</sup> /s, q <sub>1000m</sub> =132 m <sup>3</sup> /s
$\Delta T_{elk_1}$ (+500 m)	2,5	2,8	3	3,2
$\Delta T_{elk_2}$ (+1500 m)	1,9	1,7	1,6	1,6

5.14-9. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hülése a határértékszelvényig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2\*1200 MW-s blokkteljesítménynél két bevezetéssel

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	127/128

2*1600 MW Duna vízhozam	Q= 800 m <sup>3</sup> /s	Q= 1100 m <sup>3</sup> /s	Q= 1400 m <sup>3</sup> /s	Q= 1800 m <sup>3</sup> /s
	Hűtővíz hozam	q <sub>0m</sub> =100 m <sup>3</sup> /s, q <sub>1000m</sub> =172 m <sup>3</sup> /s	q <sub>0m</sub> =100 m <sup>3</sup> /s, q <sub>1000m</sub> =172 m <sup>3</sup> /s	q <sub>0m</sub> =100 m <sup>3</sup> /s, q <sub>1000m</sub> =172 m <sup>3</sup> /s
ΔT <sub>elk1</sub> (+500 m)	2,5	2,8	2,9	3,1
ΔT <sub>elk2</sub> (+1500 m)	1,7	1,7	1,6	1,6

5.14-10. táblázat A csóva maximum hőmérsékletének hűlése a határértékszélvénnyig különböző dunai- és hűtővízhozamoknál, 2\*1600 MW-s blokktelepítésménynél két bevezetéssel

A táblázatok alapján az alábbi megállapításokat tehetjük.

ΔT<sub>elk1</sub> (+500 m) értékei közel azonosak az 5.14-9. táblázatban illetve az 5.14-10. táblázatban hozzátartozó q=100 m<sup>3</sup>/s-os értékeihez. A modellbizonytalanságok miatt (kerekítési hibák, eltérő numerikus felbontás) néhány tized fokos (0,1-0,3 °C) eltérés tapasztalható.

A jelenlegi bevezetésnél az 1100-1800 m<sup>3</sup>/s –os Duna vízhozam tartomány az elkeveredés szempontjából közel azonosan viselkedik, 800 m<sup>3</sup>/s-nál kb. 0,5 °C-al kisebb mértékű az elkeveredés hatása.

A tervezett bevezetésnél a teljes számolt Duna vízhozam tartomány közel azonosan viselkedik.

Az eddig elvégzett számítások eredményeit felhasználva a következő alfejezetben összehasonlítjuk a különböző beavatkozási változatokat.

### 5.14.3 A BEVEZETÉSI LEHETŐSÉGEK ÉRTÉKELÉSE

A Megbízó által javasolt, két-pontos parti bevezetést az jellemzi, hogy a második bevezetés alatt a jobb parti sekély rész jóval szélesebb (150 m - 180 m körüli), mint a felső bevezetés környezetében, a sodorvonal pedig a bal part felé helyeződik át. Az eredmény kedvezőtlenebb elkeveredés kialakulása. A visszahűlés nemcsak a Duna mederszerveinek és sebességterének következménye, hanem annak is, hogy az első bevezetés csóvája egy km-rel lejjebb is a jobb part közelében marad, és hőtöbblete hozzájárul a második csóva hőmérsékleti viszonyaihoz. Az eredmények azt mutatják, hogy a megoldás - a jelenlegi környezeti szabályozás mellett - kielégítően működik, amíg a Duna hőmérséklete nem éri el a 24 °C-ot. Az ilyen időszakok tartóssága jelenleg nem számottevő, de az éghajlatváltozás hatására 2040-re elérheti az évi húsz napot, oly módon, hogy a legnagyobb vízhőmérséklet a 28 °C körüli lehet.

A helyzetet lényegesen javítana a tervezett parti bevezetés helyett a sodorvonal irányába történő bevétel, oly módon, hogy a felső és alsó csóva kedvezően találkozzék. Ezzel vagy a keresztmetszvényen belüli megosztással, minden bizonnyal 26-28 °C is tartható lenne. Természetesen - részletes hidraulikai és gazdasági elemzések alapján - szóba jöhet a két különböző megosztás (hossz- és keresztirányú) kombinációja is.

A frissvízhűtés - bármelyik változatról is van szó - két markáns bizonytalansággal szembesül várhatóan hosszú élettartama során. Az egyik a többször hangsúlyozott éghajlatváltozás. A másik a környezeti szabályozás, és annak lehetséges változásai. A nemzetközi tendenciákat látva, a hőmérsékleti korlátok minden bizonnyal szigorodni fognak, ez vonatkozik a maximális értékre a befogadóban és a hőlépcsőre egyaránt. Ezt szemlélteti például az UK igazodása az EU VKI osztályozásához vagy az USA, ahol az új frissvízhűtésű megoldások megvalósítását a napjainkra érvényesített korlátok szinte kizárják.

MVM ERBE Zrt.	ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25	Dátum:	Lapszám:
	Fájl név_verzió szám: 5_hidrologia_Zarojelentes_314_v1	2013. június 11.	128/128