# MVM Paks II. Zrt.

# TELEPHELY BIZTONSÁGI JELENTÉS

## II. KÖTET

## 4. FEJEZET

## HIDROLÓGIA

2016.10.18.

# TARTALOMJEGYZÉK

4. Hidrológia ... 7
4.1. Hidrológiai leírás ... 7
4.1.1. A telephely tágabb környezetének hidrológiai jellemzése ... 7
4.1.1.1. Vízfolyások és csatornák az új blokkok telephelyének tágabb körzetében ... 8
4.1.1.2. Állóvizek az új blokkok telephelyének tágabb körzetében ... 9
4.1.2. A telephely közvetlen környezetének hidrológiai jellemzése ... 9
4.1.2.1. A közvetlen környezetben lévő Duna-szakasz általános jellemzése ... 9
4.1.2.2. Felszíni vizek a telephely közvetlen környezetében ... 11
4.2. Árvizek ... 11
4.2.1. Évi maximális vízállások a paksi vízmércén mért adatok alapján ... 11
4.2.2. A Duna nagyvizeinek vizsgálata a paksi vízmérce adatai alapján ... 14
4.2.3. A tervezéshez mértékadó maximális árvíz ... 14
4.2.3.1. Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek ... 14
4.2.3.2. Mértékadó jégmentes nagyvízszintek ... 15
4.2.4. Árvizek tartósságának jellemzése ... 17
4.2.4.1. Vízszintek tartósságának jellemzése ... 17
4.2.4.2. Vízszint tartósságok időbeli változása, medermélyülés ... 18
4.2.5. Mértékadó árvízszintek ... 19
4.2.5.1. Mértékadó árvízszintek a telephely környezetében ... 19
4.2.5.2. Árvízvédelmi készültségek elrendelése ... 20
4.2.6. A tágabb környezetben lévő vízrajzi állomásokra meghatározott mértékadó nagy-vízhozamok ... 20
4.2.7. Várható nagyvízi hozamok előrejelzése ... 21
4.2.9. Extrém nagycsapadékból származó villámárvizek hatásának vizsgálata ... 22
4.3. A jegesedés elemzése ... 30
4.3.1. Jégdugó prognosztizálása és nagyvízi hatásának vizsgálata ... 31
4.3.2. Felvízoldali jégtorlasz, jégdugó hatása a vízkivételre ... 32
4.4. Partfalomlások, partfalcsuszamlások elemzése ... 33
4.4.1. A partfalomlások, partfalcsuszamlások vízhozamra vonatkozó hatásai ... 35
4.4.2. A partfalomlások, –csuszamlások és töltésszakadás nagyvízi hatásai ... 36
4.5. Alacsony vízállás ... 37
4.5.1. Kisvízállások statisztikai vizsgálata ... 38
4.5.2. Várható kisvízszintek a mederváltozás figyelembevételével ... 40
4.5.3. A Duna mértékadó kisvízi vízhozamainak meghatározása ... 41
4.5.4. Várható kisvízhozamok előrebecslése klimatológiai változások nélkül ... 45
4.5.5. A 100 000 évente visszatérő Duna vízhozamok és vízhőmérsékletek számítása ... 45
4.5.6. Kisvízi esetek 2D modellvizsgálata ... 47
4.6. Vízi műtárgyak által okozott veszélyek ... 47
4.7. Felszín alatti hidrológia ... 47
4.8. A hidrológiai viszonyok hatása a végső hőelnyelőre ... 49
4.8.1. Hűtővíz biztosítása ... 49

4.8.2. Hűtővíz visszavezetése ..... 50
4.9. Terjedés a hidrogeológiai környezetben ..... 50
4.10. A hidrológiai jellemzők változékonysága, javaslat a monitorozásra ..... 51
4.11. A tervezés során és a biztonsági elemzésekben figyelembe veendő hidrológiai jellemzők ..... 51
Hivatkozott dokumentumok: ..... 53

# ÁBRAJEGYZÉK

4.1.1-1. ábra: A Duna magyarországi szakasza ... 8
4.1.2-1. ábra: A Duna 1531-1519 fkm közötti szakaszának áttekintő térképe ... 10
4.2.2-1. ábra: A Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce) nagyvízszintjeinek homogenitásvizsgálata és trendje az 1876-2013. évek időszakának éves nagyvízi adatainak feldolgozásával ... 14
4.2.3-1. ábra: A Jégmentes (NV) és jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek (JNV) éves maximális vízállás idősora és trendje 1876-2013., valamint 1965-2013. évek között – Duna 1531,3 fkm - Paks ... 16
4.2.4-1. ábra: A Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce) vízszinttartósságainak jellemzése és a 10 évenkénti változások bemutatása ... 18
4.2.9-1. ábra: A 4. forgatókönyv szerinti csapadékesemény hatására a jelölt aknákon ömlik ki víz. ... 24
4.2.9-2. ábra: A 100 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 24
4.2.9-3. ábra: A 100 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 25
4.2.9-4. ábra: A 100 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 25
4.2.9-5. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 26
4.2.9-6. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 26
4.2.9-7. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 27
4.2.9-8. ábra: Az 100 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 27
4.2.9.-9. ábra: Az 100 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 28
4.2.9-10. ábra: Az 100 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 28
4.2.9-11. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 29
4.2.9-12. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után ... 29

4.2.9-13. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után ..... 30
4.3.1-1. 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 ..... 31
4.3.2-1. ábra: Vízszint- és vízhozam változás a 93,0 mBf magas torlasz alvízén..... 33
4.4.1-1. ábra: Az elemzett kisvízi szcenáriók felszíngörbéi az 1530-1518 fkm között ..... 36
4.4.2-1. ábra: A mértékadó, 100 000 évente előforduló nagyvízi 12 100 $m^3/s$ vízhozamnál számított vízszintek a Duna 1500-1530 fkm szakaszán, jelen állapotban (Q=12 100 $m^3/s$), és a jelzett helyen feltételezett töltésszakadással..... 37
4.5.1-1. ábra: Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce) kisvízszintjeinek homogenitásvizsgálata és trendje az 1876-2013. évek időszakának éves kisvízi adatainak feldolgozásával..... 39
4.5.3-1. ábra: Duna 1580,6 fkm - Dunaújvárosi éves kisvízhozam adatok: 1924 – 2013. ..... 42
4.5.3-2. ábra: Duna 1506,8 fkm - Dombori éves kisvízhozam adatok: 1936 – 2013..... 43
4.5.3-3. ábra: Duna 1478,7 fkm - Bajai éves kisvízhozam adatok: 1930 – 2013..... 43
4.5.5-1. ábra: A bajai vízhőfok adatok (1974-2007) napi átlaga, szórása..... 46
4.7-1. ábra: Magyarország rendszertani tájai a vizsgált terület megjelölésével..... 48
4.7-2. ábra: Kiemelten érzékeny felszín alatti vízminőség-védelmi területek ..... 49

# TÁBLÁZATJEGYZÉK

4.2.1-1. táblázat: Az évenkénti legnagyobb, jégjelenséggel is befolyásolt vízszintek idősora (JNV) - Duna 1531,3 fkm Paksi, vízmérce (1965 – 2011) ..... 12
4.2.1-2. táblázat: Az évenkénti legnagyobb, jégjelenséggel nem befolyásolt (jégmentes) vízszintek idősora (NV) - Duna 1531,3 fkm, Paksi vízmérce (1965 – 2011)..... 12
4.2.4-1. táblázat: A Duna vízszint tartóssági adatai (1965–2013), a Duna telephelyi szelvényében (1527 fkm)..... 17
4.2.4-2. táblázat: A Duna vízhozamainak tartóssági adatai (1965–2013), a Duna 1506,8 fkm, Dombori vízmérce szelvényében ..... 17
4.2.5-1. táblázat: A 2013. évi legmagasabban tetőző jégmentes árhullám és a mértékadó árvízszintek (MÁSZ) alakulása a telephely környezetében..... 19
4.2.5-2. táblázat: A telephelyre jellemző árvízi és árvízvédelmi szintek..... 19
4.2.5-3. táblázat: Jellemző szintek a paksi telephely környezetében és az árvízvédelmi elrendelési fokozatok ..... 20
4.2.9-1. táblázat: Villámárvíz kialakulásának vizsgálata a telephely területén: Elemzett forgatókönyvek ..... 23
4.4.1-1. táblázat: A hűtővíz-ellátását potenciálisan veszélyeztető esemény és annak tervezési alapadatai ..... 36
4.5-1. táblázat: Az évenkénti legkisebb vízszintek idősora (KV) - Duna 1531,3 fkm, Paksi vízmérce (1965 – 2011) ..... 37
4.5.1-1. táblázat: Duna, Paksi vízmérce (1531,3 fkm) kisvízszintek jellemző gyakorisági értékei - mértékadó kisvízszint ..... 39
4.5.3-1. táblázat: A hűtővízkivétel környezetében vizsgált vízrajzi mérőállomások számított mértékadó kisvízhozamai, eloszlásfüggvények illesztésével (klimatológiai változás figyelembe vétele nélkül) ..... 44
4.5.4-1. táblázat: A Dunai kisvízhozamok előrejelzése 2120-ig (Dunaújváros, Dombori és Baja) ..... 45

# 4. Hidrológia

A fejezet a telephely hidrológiai sajátosságainak leírását tartalmazza, a telepíteni tervezett nukleáris létesítmény működési jellemzőivel szemben támasztott követelmények és a biztonságos működés szempontjából. Az általános jellemzők leírása mellett értékelésre kerülnek az árvizek és alacsony vízállású időszakok jellemzői, továbbá a fel-, és alvízi szakaszok tulajdonságait befolyásoló olyan jelenségek, mint a jegesedés, a partfalak drasztikus változásai, beleértve az egyes jelenségeket jellemző extrém paraméterek bemutatását. A fejezetben ismertetett adatok szolgálnak alapul a radioaktív anyagok terjedését leíró számításokhoz.

## 4.1. Hidrológiai leírás

### 4.1.1. A telephely tágabb környezetének hidrológiai jellemzése

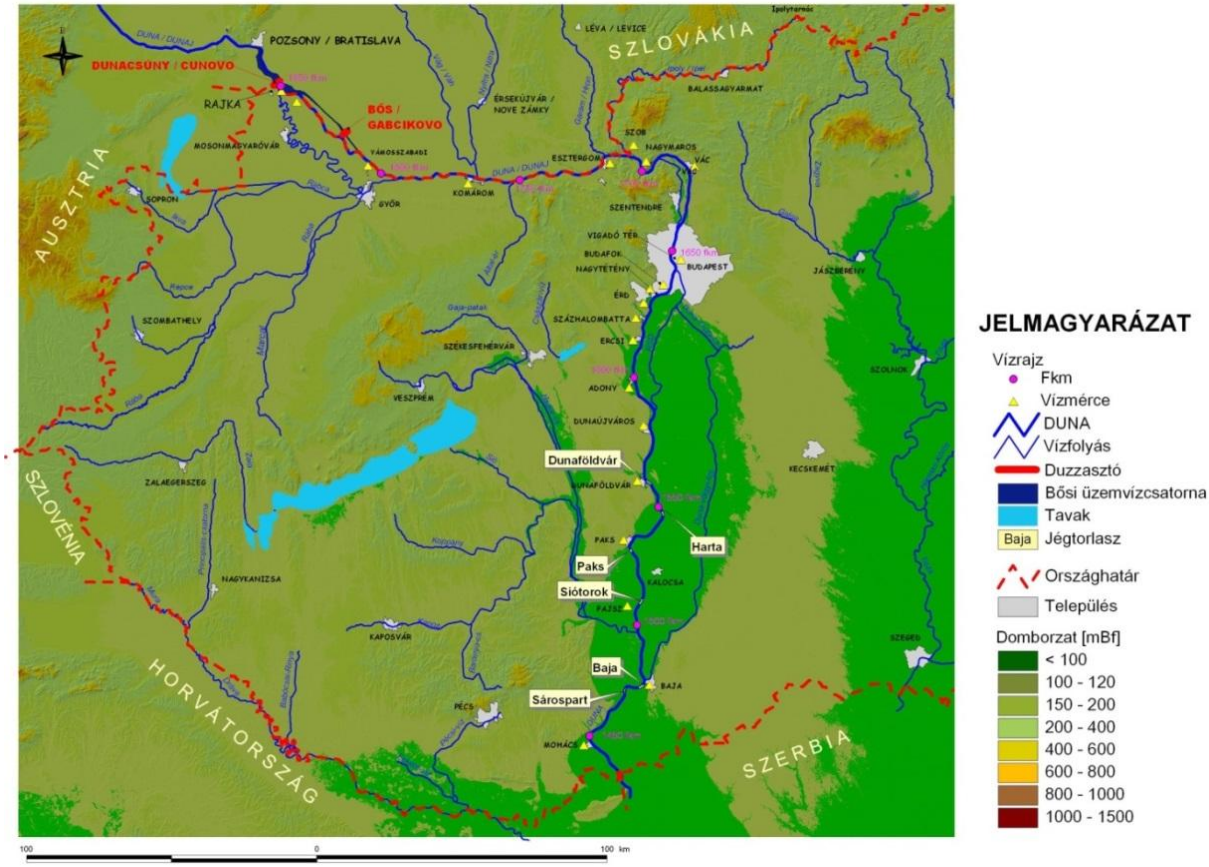
A Duna Európa második legnagyobb folyója, hossza 2857 km. Vízgyűjtő területe 817 000 km$^2$. Három jellegzetes szakasza van: a bajor és osztrák medencét magába foglaló, nagyesésű Felső-Duna, a Kárpátok koszorúján belül lévő Közép-Duna és a Havasalföldet átszelő Alsó-Duna.

Hazánkba Rajkánál, az 1850 fkm (folyam km) szelvényben lép be és Mohácstól délre, az 1433 fkm-nél hagyja el az országot. A 127 km hosszúságú Dunaföldvár-déli országhatár közötti Duna-szakaszt 32 kanyar alkotja. A kanyarok változó görbületűek, a Sáros-parti kanyarnál a görbületi sugár mindössze 1000 m. A folyó átlagos szélessége 400-600 m, esése Fajszig 6-8 cm/km, az alatt pedig 4-5 cm/km.

Az árvízi meder szélessége Dunafalvánál mindössze 450 m (ez az ország egyik legkisebb árvízi keresztmetszete), de a Gemenci és a Béda-Karapancsai tájegység területén eléri a 3-5 km-t. A paksi telephelynél (1527 fkm) a középvízi meder szélessége 430 m, a hullámtéré mintegy 1,2 km (amennyiben a nagyvízszintek az árvédelmi töltések között maradnak).

A meder anyaga a Foktő feletti szakaszon durvább szemcséjű kavics és homok, az alatta húzódó szakaszon pedig finom szemcséjű homok és iszap.

A paksi telephely (szelvénye a torkolattól 1527 fkm) környezetében a Duna enyhén alsószakasz jellegű. Jelentősebb mellékvízfolyás híján a Duna átlagos vízhozama Dunaújvárostól Mohácsig alig változik, mindenütt 2350 m$^3$/s körül van. A Duna egydimenziós hidrodinamikai számításokhoz alkalmazott modellterületét a TBJ II 4.1.1-1. ábra mutatja. [4-2]




**4.1.1-1. ábra: A Duna magyarországi szakasza**

### *4.1.1.1. Vízfolyások és csatornák az új blokkok telephelyének tágabb körzetében*

A paksi telephely hidrológiai és vízgazdálkodási vizsgálatra kijelölt kb. 5000 km$^2$ kiterjedésű közvetlen terület természetföldrajzi szempontból magába foglalja a Duna jobb partján a Mezőföld déli, a Sárrét északi részét, valamint a Tolnai-dombság keleti nyúlványait, a Duna bal partján pedig a Solti-síkság középső részét a Kiskunsági homokos hátság legkeletibb sávjával.

A felszíni összegyülekezés szempontjából a vizsgált területet három részre célszerű osztani:

- a Sió közvetlen vízgyűjtője, ez domborzati tagoltság tekintetében a legváltozatosabb. A dombsorok tetőszintje (különösen a Siótól nyugatra a Tolnai-dombságon) eléri a 270 mBf magasságot;
- a Duna közvetlen jobb parti vízgyűjtője a Dél-Mezőföld és Észak-Sárköz keleti sávját foglalja el. Vízfolyásai vagy közvetlenül a Dunába, vagy – mint többek között az erőművet és közvetlen körzetét is magába foglaló Paks-Faddi főcsatorna is – a Duna holtágaiba szállítják a hordalékos vizeiket;
- a Duna bal partján elhelyezkedő terület a Kiskunság homokos törmelékkapujából lehordott talaj felhalmozódási területe. Fő vízfolyása a (túlnyomórészt a Soroksári-Dunaágból kivett, mintegy 15-18 m$^3$/s vizet szállító) Dunavölgyi-főcsatorna.

A vizsgált terület felszíni vízhálózta nem túlságosan sűrű: a Sióba 4, a Dunába (vagy holtágaiba) jobboldalról 9, baloldalról 2, a Dunavölgyi-csatornába 10 (nagyrészt mesterséges) jelentősebb vízfolyás, illetve csatorna ömlik. Ezek hosszúsága 3-42 km, vízgyűjtő területük pedig 21-401 km$^2$ között váltakozik.

A vizsgált terület hidrológiai sajátossága az alábbiak szerint jellemezhető:

- A sokévi fajlagos felszíni lefolyás értéke nyugatról kelet felé haladva 2 l/s km$^2$ értékről 0,5 l/s km$^2$ értékre csökken. Közepes értéke mintegy 0,9 l/s km$^2$ körüli értéknek vehető. Ezen belül a Sió közvetlen vízgyűjtőjében 1,7, a Duna jobb parti vízgyűjtőiben 0,9-1,0; az alföldi területeken pedig 0,5 l/s km$^2$ alatti fajlagos lefolyással lehet számolni.
- A felszíni lefolyásból származó átlagos vízhozam a vizsgált területen 4,2 m$^3$/s (0,84 l/s km$^2$).

#### *4.1.1.2. Állóvizek az új blokkok telephelyének tágabb körzetében*

A terület természetes és mesterséges állóvizeit két fő csoportra célszerű osztani:

- a felszíni kifolyással nem rendelkező állóvizekre, amelyekben radionuklid szennyeződés akkumulálódhat;
- az ún. átfolyásos állóvizekre, melyek esetében a szennyezőanyagok akkumulálódása valószínű kisebb.

Összesen 169 állóvíz víztest (természetes és mesterséges tavak, holtágak, vizenyős területek) számbavétele történt meg, amelyek összfelülete 7067,65 ha.

A Dunamenti-síkság a XX. század elején hazánk állóvizekben egyik leggazdagabb területe volt, amely a később lecsapolások és a lefolyást biztosító csatornahálózatok kiépítésével merőben új hidrogeográfiai karaktert kapott. Napjainkban a lecsapolás magas foka, valamint a meteorológiai viszonyok (kevés csapadék, magas párolgás) és talajadottságok (jó vízvezető talajok) következtében a Dunamenti-síkság állóvizeinek területi részaránya az országos átlagnak csak mintegy egyharmada. A terület két legnagyobb tava a Szelidi-tó (54 ha) és a Nagy-Büdös tó (40 ha).

A Sió vízgyűjtőn 17 db, 977,5 ha összfelületű, a Duna jobb parti közvetlen vízgyűjtőjén 21 db, 1892,6 ha összfelületű állóvíz található. A természetföldrajzi tájak közül a Sárköz állóvizeinek hidrogeográfiai viszonyai hasonlítanak a bal parti Dunamenti-síkságon tapasztaltakra. A holtágak gyakran meglepően mély (3-5 méter) tavait folyószabályozásokkal létesítették, bár helyenként a természetes kanyarulat-lefűződés következményei.

### 4.1.2. A telephely közvetlen környezetének hidrológiai jellemzése

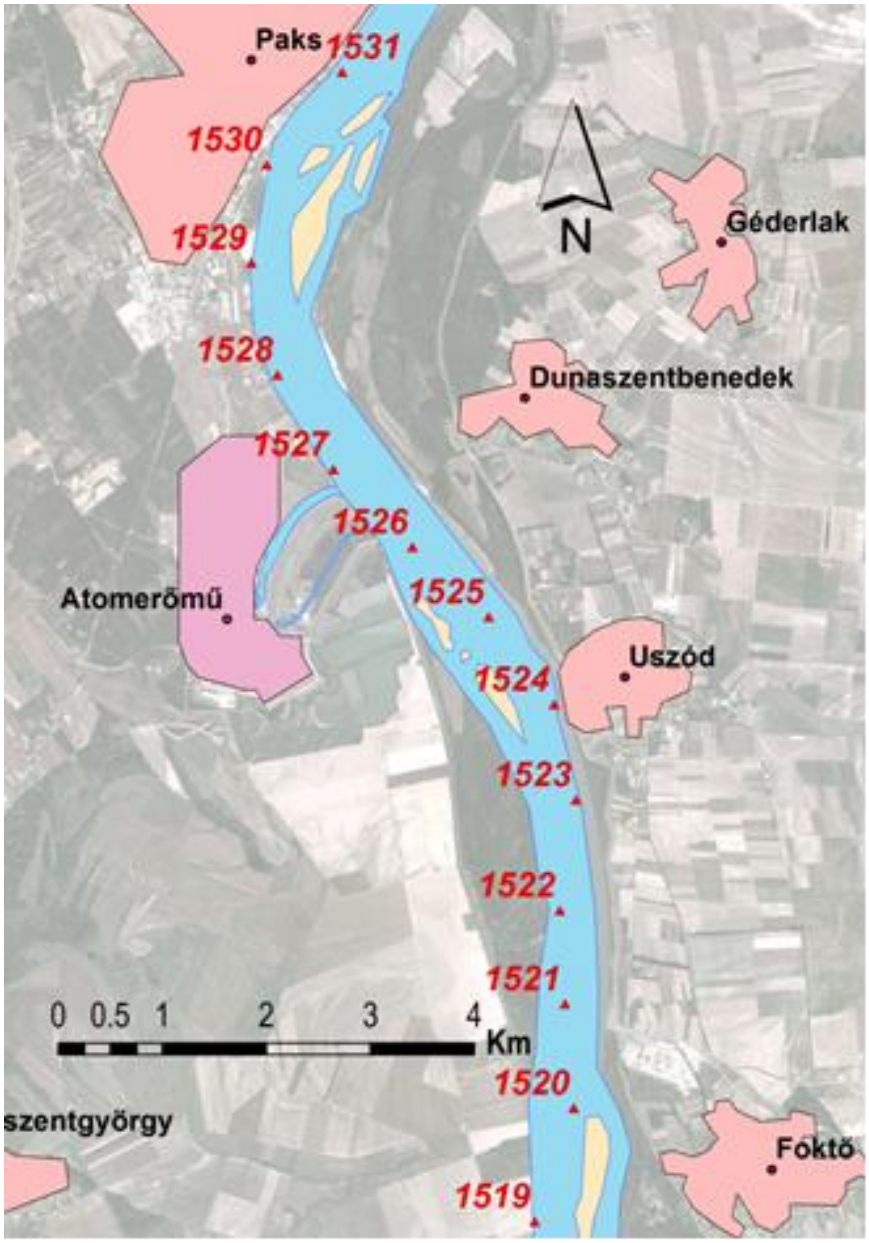
#### *4.1.2.1. A közvetlen környezetben lévő Duna-szakasz általános jellemzése*

Az új blokkok telephelyén a szükséges hűtővizet a Dunából történő vízkivétellel kívánják biztosítani.

A paksi telephely két nagysugarú folyókanyarulat között helyezkedik el a jobb parton. Környezetét a PAE 1-4 blokk hidegvíz-csatornájával és melegvíz visszavezető műjével mutatja be az 1531-1519 fkm közötti Duna-szakasz áttekintő térképe a TBJ II. 4.1.2-1. ábrán. [4-1]

A paksi telephelytől É-ra, közvetlenül Paks város fölött a Duna nagy kanyarral K-i irányból D-i irányba fordul. Emiatt a sodorvonal a jobb part felé közelít és az itteni mederszabályozás előtt a jobb partot alámosással bontotta. Jelenleg a város mellett végighúzódó partvonal mentén és az alatt is e homorú partot kőburkolat védi az erózió ellen. A partbiztosítás az 1528 fkm fölött 1906-ban készült, ettől lefelé az 1526,5 fkm-ig 1887-ben, míg az 1525,5-1526,5 fkm közötti szakaszon 1926-1927 között épült ki. Ezzel a partbiztosítással a folyó középvízi medre a homorú oldalon Pakstól Dunaszentbenedekig stabilizálva van. A paksi telephely alatt a jobb part közelében a Dunaszentbenedek magasságában kb. 2 km hosszú zátonysziget húzódik, ott ahol a jobb parti hullámtér fokozatosan kiszélesedik. Ezt a hajózás szempontjából kedvezőtlen jobb parti zátonyosodást már több évtizeddel ezelőtt sarkantyúkkal olyképpen szabályozták,

hogy a beöblösödés folyamatos természetes feltöltődését biztosítsák, ezáltal a közép- és kisvízi medret összeszorítva, a meder állandósága és a kellő hajózási mélység biztosítva van. A jobb parti partbiztosítással egyidejűleg a szemben lévő parton kb. 400 m-enként sarkantyúkat építettek. Ezek folyamatos kiépítésével a kisvízi meder leszűkült, s ez egyúttal a bal-part vonalát is, a meder mélységviszonyait is teljes mértékben stabilizálta.




**4.1.2-1. ábra: A Duna 1531-1519 fkm közötti szakaszának áttekintő térképe**

A PAE 1-4 blokk vízkivétel helyén a sodorvonal a jobb part felé közelít, majd az 1525-1527 fkm-ek között átvált a bal part felé, s az inflexiós pont kb. az 1526 fkm ± 500 m-be esik.

A Duna Bizottság által meghatározott hajózási kisvízszintnél (DB-vízszint), amelynek abszolút magassága az 1527 fkm-nél 86,72 mBf, a meder átlagos mélysége 4 m, a sodorvonalban 5-6 m.

A folyószakasz általában jól szabályozott állapotban van, átfogó folyamszabályozási terv áll rendelkezésre a további munkálatokra.

#### *4.1.2.2. Felszíni vizek a telephely közvetlen környezetében*

A telephely közvetlen környezetében csak a Paks-Faddi főcsatorna és néhány kis vízfolyás található, melyek időszakos jellegűek.

A paksi telephelytől délre fekvő terület és a Duna között helyezkednek el az úgynevezett horgásztavak, a létesítménytől K-i irányban kb. egy-két kilométerre. A tavak néhány hektár kiterjedésűek, részben természetes eredetűek (Kondor-tó, régi holtág), részben az erőmű építkezéséhez használt anyagok kinyerő gödreiből alakították ki. Mélységük néhány méter, vizük a Duna helyi üledékes összletein keresztül a Dunával áll összeköttetésben. A telephely közvetlen környezetében található még az egykori Biritói halastó területe is, amely az elmúlt időszakban teljesen kiszáradt.

## 4.2. Árvizek

Az új blokkok telephelyének környezetében (Duna 1527 fkm) a Duna eddig észlelt (1965-2013 között) vízhozama ~600 m³/s és 8 785 m³/s között változott, míg a vízszintek 84,6 – 94,06 mBf (jégmentes LNV 2013. június 11. Duna 1531,3 fkm Paksi vízmérce 891 cm vízállás, 94,29 mBf) között 2013. év végéig.

### 4.2.1. Évi maximális vízállások a paksi vízmércén mért adatok alapján

A PAE 1-4 blokk szelvényéhez (1527 fkm) legközelebbi, hosszú időtartamra vonatkozó észlelési adatsorral rendelkező mérőállomás a Paksi vízmérce (1531,3 fkm). Ennek főbb jellemzői:

- a Duna Paks felszíni vízrajzi állomást 1868. január 1-én létesítették, az állomáson rendszeres vízállás észlelést 1876 óta végeznek,
- vízhozam mérési adatok csak szórványosan állnak rendelkezésre,
- a szelvényhez tartozó vízgyűjtő terület nagysága 189 092 km²,
- a vízmérce ”0” pontjának magassága 85,38 mBf.

Vizsgálták a Paksi vízmérce (Duna 1531,3 fkm) és a vízkivételi öblözeti (Duna 1527 fkm + hidegvíz-csatorna) vízmérce, összetartozó mért vízszintadatainak regressziós mércekapcsolatát, a teljes Duna vízjárás tartományában.

A Duna Paksi vízmércéje (1531,3 fkm) és a Duna 1527 fkm szelvénye (hidegvíz-csatorna Dunai torkolata) között átlagosan ~27 cm a vízszintkülönbség, a 4,3 km-es szakasz átlagos vízfelszínesése 6,28 cm/km. Továbbiakban közelítésként ez került alkalmazásra.

A hidegvíz-csatorna ellenállása (a hidegvíz-csatorna medre mentén medersúrlódási-, és helyi veszteségekkel, pl. uszadékfogó) okozta vízszint különbségek a dunai torkolati és a vízkivételi mű szelvények között a Duna kis- és középvízi időszakaiban ~11 cm-nek, míg nagyvízi időszakban ~3 cm-nek tekinthető. A paksi vízmércén (1531,3 fkm) 1965-2011 között mért maximális vízállások idősorait a TBJ II. 4.2.1-1. táblázat (jégjelenséggel befolyásolt értékeket is tartalmazó vízállás) és a TBJ II. 4.2.1-2. táblázat (jégjelenség nélküli vízállás) tartalmazza.

Az eddig észlelt legmagasabb jeges vízszint 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. [4-1]

A legmagasabb jégmentes árvíz a Duna Paksi vízmérce szelvényében (1531,3 fkm) 2013 júniusában 891 cm-rel és 94,27 mBf vízszinttel (Paksi vízmérce „0” pontja: 85,38 mBf) , az erőműnél (Duna 1527 fkm) 94,06 mBf szinten tetőzött, az öblözeti vízmércén mérve: 93,97 mBf volt (öblözeti vízmérce „0” pontja: 85,00 mBf).

Ezt megelőző nagyvíz (872 cm: 1965. június 18.) a paksi vízmércén 94,10 mBf volt, a Duna 1527 fkm szelvényre átszámított tetőzés szintje 93,83 mBf (öblözeti vízmércén mérve: 93,80 mBf).

**4.2.1-1. táblázat: Az évenkénti legnagyobb, jégjelenséggel is befolyásolt vízszintek idősora (JNV) - Duna 1531,3 fkm Paksi, vízmérce (1965 – 2011)**

| Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] | Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1965 | 6. 12. | 94.10 | 25 | 1989 | 7. 17. | 89.36 |
| 2 | 1966 | 8. 2. | 92.67 | 26 | 1990 | 7. 15. | 90.76 |
| 3 | 1967 | 6. 15. | 91.50 | 27 | 1991 | 8. 9. | 93.36 |
| 4 | 1968 | 1. 21. | 91.98 | 28 | 1992 | 3. 29. | 90.87 |
| 5 | 1969 | 1. 20. | 90.52 | 29 | 1993 | 7. 25. | 90.57 |
| 6 | 1970 | 8. 18. | 92.21 | 30 | 1994 | 4. 22. | 92.47 |
| 7 | 1971 | 1. 17. | 90.38 | 31 | 1995 | 6. 12. | 91.53 |
| 8 | 1972 | 7. 19. | 90.29 | 32 | 1996 | 10. 26. | 91.48 |
| 9 | 1973 | 5. 12. | 90.94 | 33 | 1997 | 7. 25. | 93.33 |
| 10 | 1974 | 12. 15. | 92.40 | 34 | 1998 | 11. 15. | 91.56 |
| 11 | 1975 | 7. 10. | 93.50 | 35 | 1999 | 5. 30. | 92.15 |
| 12 | 1976 | 6. 7. | 90.54 | 36 | 2000 | 4. 4. | 91.83 |
| 13 | 1977 | 2. 16. | 91.96 | 37 | 2001 | 3. 29. | 91.58 |
| 14 | 1978 | 7. 10. | 90.00 | 38 | 2002 | 8. 20. | 93.97 |
| 15 | 1979 | 6. 25. | 92.21 | 39 | 2003 | 1. 7. | 90.91 |
| 16 | 1980 | 7. 27. | 91.05 | 40 | 2004 | 6. 8. | 90.10 |
| 17 | 1981 | 3. 18. | 92.59 | 41 | 2005 | 8. 29. | 91.78 |
| 18 | 1982 | 1. 11. | 91.36 | 42 | 2006 | 4. 5. | 93.99 |
| 19 | 1983 | 2. 3. | 90.08 | 43 | 2007 | 9. 12. | 92.27 |
| 20 | 1984 | 9. 29. | 89.92 | 44 | 2008 | 7. 27. | 89.95 |
| 21 | 1985 | 8. 13. | 92.52 | 45 | 2009 | 7. 3. | 92.84 |
| 22 | 1986 | 1. 23. | 90.10 | 46 | 2010 | 6. 9. | 93.74 |
| 23 | 1987 | 12. 25. | 91.40 | 47 | 2011 | 1. 19. | 92.18 |
| 24 | 1988 | 4. 1. | 92.89 | | | | |

**4.2.1-2. táblázat: Az évenkénti legnagyobb, jégjelenséggel nem befolyásolt (jégmentes) vízszintek idősora (NV) - Duna 1531,3 fkm, Paksi vízmérce (1965 – 2011)**

| Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] | Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1965 | 6. 12. | 94.10 | 25 | 1989 | 7. 17. | 89.36 |
| 2 | 1966 | 8. 2. | 92.67 | 26 | 1990 | 7. 15. | 90.76 |
| 3 | 1967 | 6. 15. | 91.50 | 27 | 1991 | 8. 9. | 93.36 |
| 4 | 1968 | 10. 8. | 90.70 | 28 | 1992 | 3. 29. | 90.87 |
| 5 | 1969 | 6. 12. | 89.95 | 29 | 1993 | 7. 25. | 90.57 |

| Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] | Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 1970 | 8. 18. | 92.21 | 30 | 1994 | 4. 22. | 92.47 |
| 7 | 1971 | 6. 16. | 89.70 | 31 | 1995 | 6. 12. | 91.53 |
| 8 | 1972 | 7. 19. | 90.29 | 32 | 1996 | 10. 26. | 91.48 |
| 9 | 1973 | 5. 12. | 90.94 | 33 | 1997 | 7. 25. | 93.33 |
| 10 | 1974 | 12. 15. | 92.40 | 34 | 1998 | 11. 15. | 91.56 |
| 11 | 1975 | 7. 10. | 93.50 | 35 | 1999 | 5. 30. | 92.15 |
| 12 | 1976 | 6. 7. | 90.54 | 36 | 2000 | 4. 4. | 91.83 |
| 13 | 1977 | 2. 16. | 91.96 | 37 | 2001 | 3. 29. | 91.58 |
| 14 | 1978 | 7. 10. | 90.00 | 38 | 2002 | 8. 20. | 93.97 |
| 15 | 1979 | 6. 25. | 92.21 | 39 | 2003 | 1. 7. | 90.91 |
| 16 | 1980 | 7. 27. | 91.05 | 40 | 2004 | 6. 8. | 90.10 |
| 17 | 1981 | 3. 18. | 92.59 | 41 | 2005 | 8. 29. | 91.78 |
| 18 | 1982 | 1. 11. | 91.36 | 42 | 2006 | 4. 5. | 93.99 |
| 19 | 1983 | 2. 3. | 90.08 | 43 | 2007 | 9. 12. | 92.27 |
| 20 | 1984 | 9. 29. | 89.92 | 44 | 2008 | 7. 27. | 89.95 |
| 21 | 1985 | 8. 13. | 92.52 | 45 | 2009 | 7. 3. | 92.84 |
| 22 | 1986 | 1. 23. | 90.10 | 46 | 2010 | 6. 9. | 93.74 |
| 23 | 1987 | 12. 25. | 91.40 | 47 | 2011 | 1. 19. | 92.18 |
| 24 | 1988 | 4. 1. | 92.89 | | | | |

Az utolsó komoly jeges árvíz 1956-ban volt, és a rögzített adatok általánosságban a jégjelenségek erőteljes csökkenését és időbeli rövidülését mutatják. A kutatások ezen változásokat három tényezővel magyarázzák:

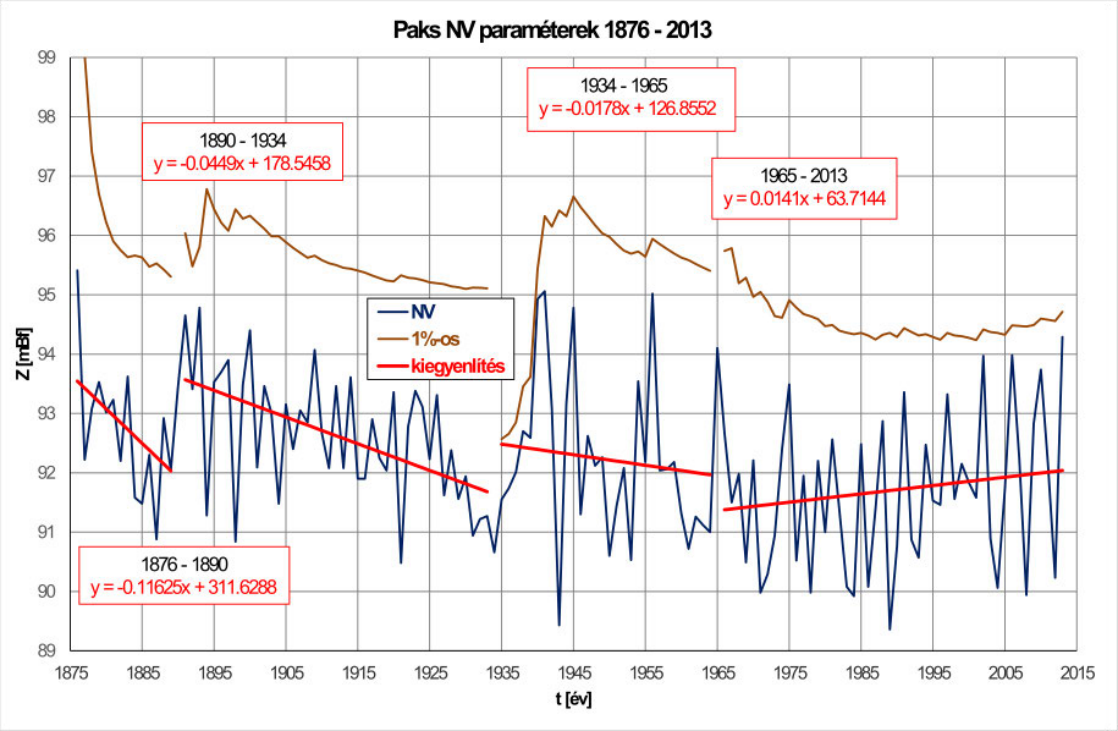
- A Duna ausztriai szakaszán láncszerűen nagy teljesítményű erőműveket építettek. A Duna menti településeket szinte mindenhol csatornázták. Az erőművek hűtővizének és a szennyvíznek a bevezetése komoly mértékű hőszennyezést jelent.
- A vízminőségben negatív változások álltak be. Az összes oldott anyag koncentráció növekedése a szilárd jégképződéshez szükséges időtartamot jelentősen növeli, de az egyéb vegyi szennyezések is akadályozzák a jégképződést.
- Az osztrák vízlépcsők üzemrendje szerint a duzzasztóterekből jeget nem eresztenek le, ezért nagymértékben csökkent az osztrák szakaszról származó jégutánpótlás.

A folyószabályozási beavatkozások és az egyéb emberi tevékenység eredményeképpen az utóbbi évtizedekben a jégtorlódás kialakulásának valószínűsége erősen csökkent. Ennek ellenére – tekintettel az előrejelzés bizonytalanságára – a jeges árvíz veszélyét továbbra sem szabad figyelmen kívül hagyni. A jégtörő hajóparkot jelenleg a vízügyi szervezetek (Országos Vízügyi Főigazgatóság: OVF és Vízügyi Igazgatóságok: VIZIG-ek) tartják fenn. A dunai jégtörő flotta 9 hajóból áll.

A táblázatok adatainak összehasonlításából megállapítható, hogy a vizsgált 47 év alatt 3 esetben tértek el az évi jeges maximum és a jégmentes nagyvízállás értékei, utoljára 1971-ben. [4-1]

### 4.2.2. A Duna nagyvizeinek vizsgálata a paksi vízmérce adatai alapján

A Duna 1531,3 fkm Paksi vízmérce szelvényében mért napi összes vízállás adata (jégjelenséggel befolyásoltakkal együtt) alapján meghatározták az évenkénti, vagy éves nagyvízszinteket 1876-tól 2013-ig. Elvégezték az adatsor homogenitás vizsgálatát és meghatározták a trendeket (kiegyenlítő egyenes szakaszokat) 1876 – 2013. évek között, amelyet a TBJ II. 4.2.2-1. ábra szemléltet. A nagyvízszintek 1965. év óta tekinthető homogénnek és azóta emelkedő trendet mutat.




**4.2.2-1. ábra: A Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce) nagyvízszintjeinek homogenitásvizsgálata és trendje az 1876-2013. évek időszakának éves nagyvízi adatainak feldolgozásával**

### 4.2.3. A tervezéshez mértékadó maximális árvíz

"A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről" szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet 3/A. melléklete ("Új atomerőművi blokkok tervezési követelményei") legalább $10^{-5}$ [1/év] ismétlődési gyakoriságnak megfelelően kell a természeti eredetű külső hatásokra, így a telephely árvízvédelmi érintettségével összefüggő szélsőséges nagyvízi viszonyokra méretezni a telephelyet.

#### *4.2.3.1. Jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek*

A mértékadó árvízszint az erőmű szelvényében (Duna 1527 fkm), $MÁSZ_{2014}$-től = 94,14 mBf, „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló hatályos, 74/2014. (XII. 23.) hatályos BM rendelet szerint (korábban a 2013. évi felülvizsgálatot megelőzően: 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendeletben 94,10 mBf volt).

A mértékadó jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek meghatározásához a vizsgált éves nagyvízi adatsor függetlenségének teljesülése esetén, megkeresték az időben utolsó, szignifikáns inhomogenitást, majd a szignifikáns inhomogenitásnál korábbi adatsor rész további vizsgálatától eltekintettek. Az éves nagyvizek független és homogén, majd rendezett

adatsorára (empirikus eloszlásfüggvény) eloszlásfüggvényeket (Normál, Gamma, Log-Pearson és Gumbel) illesztettek, majd a kiválasztották a legjobban illeszkedőt, mint legvalószínűbb értéket. A mért éves nagyvízi vízszintadatokra a Log-Pearson eloszlásfüggvény illeszkedett legjobban, a mért és számított értékek négyzetes eltérésének vizsgálata alapján. Ez kissé kedvezőtlenebb, mintha a Normál eloszlásfüggvény szerint alakulna a nagyvízszintek eloszlása.

Azonban bármely fent említett eloszlás függvény segítségével határozták meg a vízszintekből számítható 100 000 éves visszatérési gyakoriságú extrém magas vízállást, fizikailag értelmezhetetlen érték adódott. Éppen ezért a vízszintet a vízhozam alapján határozták meg, továbbra is tekintettel az NBSz-ben foglalt 100 000 éves visszatérési idejű árvízszintre. A teljesség érdekében a lehetséges töltésfejlesztési alternatívákat is vizsgálták, a telephely jövőben várható árvízvédelmi biztonságának értékeléséhez.

#### *4.2.3.2. Mértékadó jégmentes nagyvízszintek*

A vizsgált éves nagyvízi adatsor függetlenségének teljesülése esetén, megkeresték az időben utolsó, szignifikáns inhomogenitást, majd a szignifikáns inhomogenitásnál korábbi adatsor rész további vizsgálatától eltekintettek. Az éves nagyvizek független és homogén, majd rendezett adatsorára (empirikus eloszlásfüggvény) eloszlásfüggvényeket (Normál, Gamma, Log-Pearson és Gumbel) illesztettek, majd kiválasztották a legjobban illeszkedőt, mint legvalószínűbb értéket, a négyzetes eltérések számítása alapján.

A 100 000 évente visszatérő jégmentes árvízszint legvalószínűbb értéke ebben az esetben is fizikailag értelmezhetetlen értéket eredményez. A fentiekhez hasonlóan ebben az esetben is a vízszintet a vízhozam alapján határozták meg. A töltésfejlesztési alternatívákat vizsgálata ebben az esetben is megtörtént.

A 2013. évi árhullám tetőzési szintje az erőmű szelvényében (Duna 1527 fkm) 94,06 mBf volt. A mértékadó árvízszint az atomerőmű Duna szelvényében (Duna 1527 fkm), $MÁSZ_{2014}$--től = 94,14 mBf (74/2014. (XII.23.) hatályos BM rendelet szerint).

A TBJ II. 4.2.3-1. ábra, a Duna paksi vízmércéjén mért éves legnagyobb, jégjelenséggel befolyásolt és jégjelenséggel nem befolyásolt vízállásadatokat mutatja be 1876-tól 2013-ig. Az adatsor 1965-től tekinthető homogénnek, a jégjelenségek nagyvízszintet befolyásoló hatásának csökkenésével.

A TBJ II. 4.2.3-1. ábrán az évenkénti legnagyobb napi vízállás adatokból (Duna 1531,3 fkm, Paks) látszik, hogy az 1968, 1969 és 1971 évben, a jégjelenséggel befolyásolt nagyvizek nagyobb értékűek voltak, mint a jégmentesek, ezért a jégjelenséggel befolyásolt trendvonal meredeksége a jégmentes trendvonal meredekségénél kisebb, de az 1965-től vizsgált adatsorokban nincs szignifikáns eltérés. Mivel kb. 1999. óta a jégmentes trendvonal a jeges trendvonal fölé emelkedik, ezért a következőkben a mértékadóbb jégmentes nagyvízi adatsort alkalmazzák.

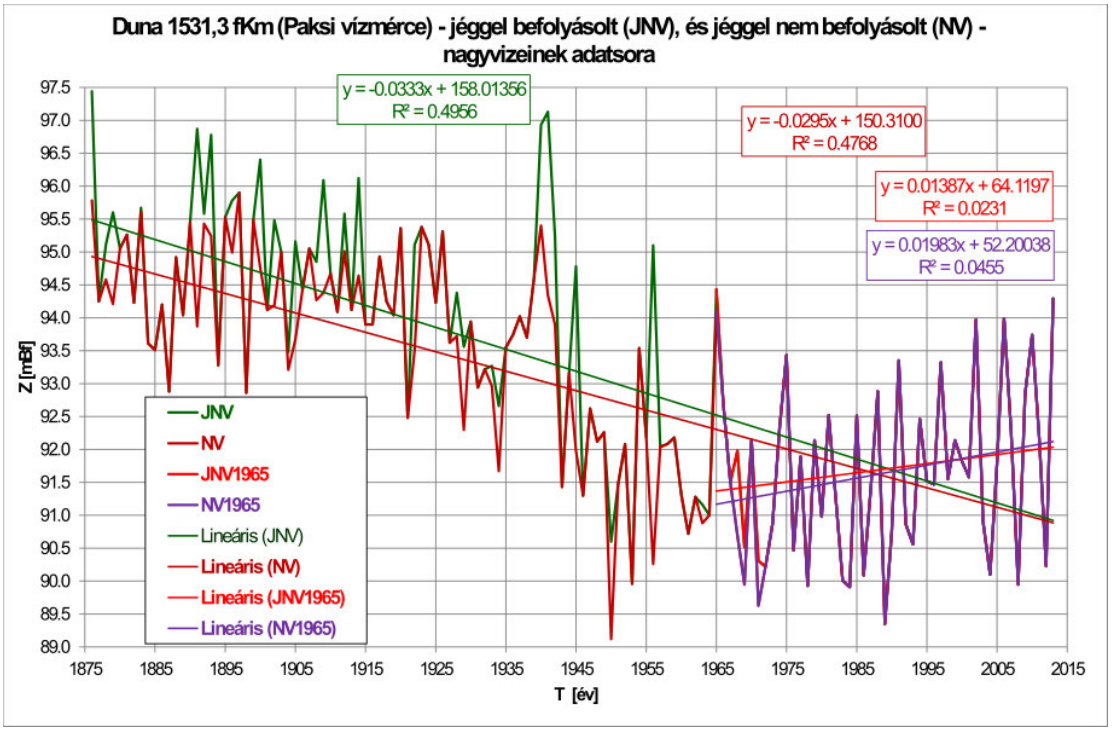
Fentiek alapján megállapítható, hogy a jégjelenséggel nem befolyásolt árvízszintek a mértékadók a jelenben és várhatóan azok maradnak a jövőbeli üzemidő során is.

Az új blokkok üzemideje tervezetten 2085-2086-ban ér véget, azonban az elemzések során mindkét blokkra konzervatívan 2090-es évet vesz figyelembe minden számítás az üzemidő végének és az így kapott eredmények a biztonság javára térnek el. Tehát az üzemidő végére egységesen a 2090. év, míg az új blokkok üzemidő hosszabbítását is figyelembe vevő üzemidejének végére konzervatívan 2120. év szerepel az értékelésben.

Az extrém visszatérési idejű vízállás meghatározását vízhozam alapján végzeték. A nemzetközi irodalomban ez a módszer Possible Maximum Flood (PMF) - Lehetséges Legnagyobb Árvíz-néven ismert. Rendkívül elterjedt az extrém események vizsgálatában, többek között a

NUREG/CR-7046 (Design-Basis Flood Estimationfor Site Characterization at Nuclear Power Plants) is ezt a módszert javasolja.

A maximális vízszint meghatározásához -először- 1D hidrodinamikai modellt használták, azzal a feltételezéssel, hogy a bal parti töltésen átbukó víz követve a terepviszonyokat a töltéstől távolodik, ezért nem folyik vissza a Dunába.




**4.2.3-1. ábra: A Jégmentes (NV) és jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek (JNV) éves maximális vízállás idősora és trendje 1876-2013., valamint 1965-2013. évek között – Duna 1531,3 fkm - Paks**

A Dunán eddig levonult árvizek történetében, az 1965-ös árhullám sorozat rendkívüli volt (mind tömegében, mind pedig telt mederre való halmozódása tekintetében), ezért ezt vették alapul a modellvizsgálathoz. A Duna Budapest-D-i országhatárának 1D/2D hidrodinamikai modelljével vizsgálták a jelenlegi és jövőben várható klimatológiai változások, valamint árvédelmi koronaszint fejlesztési alternatívák hatását. Budapestnél a legpesszimistább (28 300 m³/s) csúcsvízhozammal tetőző árhullám esetére végezték el a vizsgálatot. Az 1965-ös árhullám-sorozatot lineárisan feltranszformálták a Duna Budapesti szelvényére számított 100 000 évente visszatérő vízhozamra. [4-4]

A Duna jelenleg hatályos mértékadó árvízszintjei Budapest-D-i országhatár szakaszon (1%-os vízhozam levonulási szint) 2120-ra várhatóan legfeljebb 2,5 méterrel növekednek. Ez azt jelenti, hogy a Budapest-Paks Duna szakaszon az árvédelmi töltés-koronaszintek is kb. 2,5 m-rel növelve adnának a maihoz hasonló árvízvédelmi biztonságot. Dunaföldvár alatt a jégtorlaszos állapotra kiépített koronaszinteket, csak alig kellene 2120-ra emelni az atomerőmű környezetében.

Ehhez a vízhozamhoz 96,18 mBf vízszint tartozna a tervezett telephely környezetében. A Duna, 100 000 évente visszatérő árhullámcsúccsal tetőző, nagyvízi nem-permanens modellvizsgálatát, a Duna nagyvízi medrére kiterjedően egydimenziós (1D) áramlási modellel, míg a Duna mentett oldalra terjedően kilépő víz terjedését kétdimenziós (2D) áramlási modellel végezték, a két hidrodinamikai modell összekapcsolásával, azaz 1D+2D hidrodinamikai modellvizsgálattal, a Duna Budapest-D-i országhatár vízfolyás-szakaszára kiterjedően.

A modell vizsgálat szerint, a Duna budapesti szelvényére számított 100 000 évente visszatérő vízhozamot használva peremfeltételként Paksnál 12 100 m³/s-os vízhozam csúcs várható, melyhez 96,18 mBf vízszint tartozik.

### 4.2.4. Árvizek tartósságának jellemzése

#### *4.2.4.1. Vízszintek tartósságának* jellemzése

A vízállás, illetve a vízszint tartóssági feldolgozásának eredményeit a hidegvíz-csatorna Duna telephelyi szelvényére (Duna 1527 fkm) transzformált formában a 4.2.4-1. táblázat mutatja. A Duna Dombori (Duna 1506,8 fkm) szelvényre az 1965-2013 közötti (homogén) időszakra meghatározott vízhozam - tartóssági értékeket a TBJ II. 4.2.4-2. táblázat tartalmazza.

**4.2.4-1. táblázat: A Duna vízszint tartóssági adatai (1965–2013), a Duna telephelyi szelvényében (1527 fkm)**

| Duna 1527 fkm, PaksVízszint (Z) tartósság (1965 – 2013) | | |
|---|---|---|
| **Vízszint [mBf]** | **Vízszint tartósság [nap]** | **Vízszint tartósság [%]** |
| 93.94 | 0.04 | 0.01 |
| 91.85 | 3,65 | 1.00 |
| 89.54 | 36.35 | 10.00 |
| 88.67 | 72.92 | 20.00 |
| 88.13 | 109.31 | 30.00 |
| 87.67 | 146.45 | 40.00 |
| 87.25 | 182.86 | 50.00 |
| 86.86 | 219.41 | 60.00 |
| 86.50 | 255.29 | 70.00 |
| 86.13 | 291.90 | 80.00 |
| 85.70 | 328.82 | 90.00 |
| 85.07 | 361.47 | 99.00 |
| 84.57 | 365.22 | 100.00 |

**4.2.4-2. táblázat: A Duna vízhozamainak tartóssági adatai (1965–2013), a Duna 1506,8 fkm, Dombori vízmérce szelvényében**

| Duna, Dombori Vízhozam (Q) tartósság (1965 – 2013) | | |
|---|---|---|
| **Vízhozam, Q [m³/s]** | **Vízhozam tartósság [nap]** | **Vízhozam tartósság [%]** |
| 8896 | 0.02 | 0.01 |
| 5685 | 3.65 | 1.00 |
| 3655 | 36.29 | 10.00 |
| 3055 | 72.67 | 20.00 |
| 2665 | 109.08 | 30.00 |
| 2375 | 146.41 | 40.00 |
| 2125 | 182.86 | 50.00 |
| 1915 | 218.47 | 60.00 |
| 1705 | 254.98 | 70.00 |
| 1505 | 290.84 | 80.00 |
| 1295 | 327.86 | 90.00 |
| 942 | 360.86 | 99.00 |
| 825 | 364.51 | 100.00 |

#### *4.2.4.2. Vízszint tartósságok időbeli változása, medermélyülés*

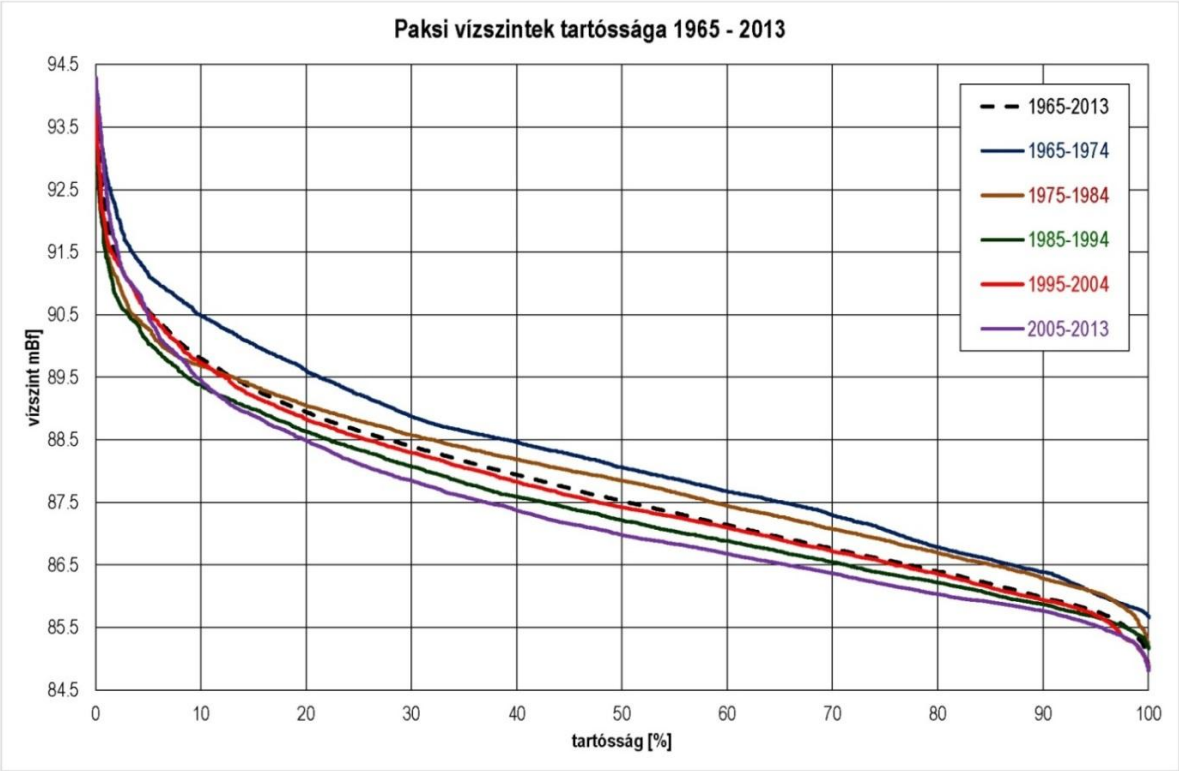
A Duna 1531,3 fkm (Paksi vízmérce) szelvényében 1965-től, 2013. év végéig napi gyakorisággal észlelt vízállások alapján meghatározható a sokéves vízszint-tartóssági görbe, amelyet a TBJ II. 4.2.4-1. ábra mutat, kiegészítve a teljes időtartamot 10 éves ciklusokra is elkészített vízszint-tartóssági görbékkel. Adott Duna vízszinthez tartozó tartósság, az adott vízszint alatti tartózkodási időt jelenti [nap/év], vagy [%] (egy évre vetítve) dimenzióban.

A 10 éves ciklusokban megadott vízszint-tartóssági görbék, kb. a 88,5 mBf vízszinttől alacsonyabb vízszintek alatt tendenciózusan csökkennek, ami nagyrészt a Duna középvízi- és kisvízi medrének süllyedésére utal. Látszik a görbéken az utóbbi évek levonuló árhullámainak (2002., 2006., 2010. és 2013.) a hatása is.

A középvizszintek lineáris trendet feltételezve az elmúlt 48 éves adatsor vizsgálata során kb. 1,0 métert, míg a kisvizek 1,4 métert süllyedtek. Az árhullámok, az 1965. évi inhomogenitás időpontja óta markánsan emelkedő vízszinttel tetőztek.

Az éves kisvizek idősorában az 1981-1983 közötti időszakban egy törés figyelhető meg. Az elmúlt 48 év kisvizeinek trendje enyhén csökken. Az 1983-2002 közötti, majd a 2003. extrém kisvizes év utáni 2003-2013 közötti időszakokban átmenetileg emelkedő trend figyelhető meg. A hatvanéves lineáris kiegyenlítés kapcsolata értelemszerűen jobb, mint a húszévesé, a közbenső ingadozások és a 2003-ban indult emelkedés ellenére hosszabb távon továbbra is a kisvízállások csökkenő, a közeljövőre várhatóan mérséklődő trendje uralkodik.

Az éves fajlagos mederváltozás a hidegvíz-csatorna környezetében és alatta 2013. évben is 2,0 cm/év mélyüléssel volt jellemezhető. Az 1537-1527 fkm közötti szakasz medre a hidegvíz-csatorna felett 2006-tól különböző mértékben, de folyamatosan mélyült. Az 1527-1512 fkm között 2006-2008-ban mélyülés volt, az utána következő három évet - ingadozásokkal - közelítő mederegyensúly jellemezte, majd 2013-ben ismét mélyülés volt tapasztalható.




**4.2.4-1. ábra: A Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce) vízszinttartósságainak jellemzése és a 10 évenkénti változások bemutatása**

### 4.2.5. Mértékadó árvízszintek

#### *4.2.5.1. Mértékadó árvízszintek a telephely környezetében*

Árvízvédelmi feladatok részeként jogszabály szerint meghatározásra kerültek a mértékadó árvízszintek (MÁSZ) a telephely környezetében is. A 2013. év júniusi rendkívüli árvízszinten tetőző, minden eddigi (jégmentes) tetőzési magasságot meghaladó árhullám hatására az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) kidolgoztatta a Duna mértékadó árvízszintjeinek felülvizsgálatát, vízhozam alapú 1D hidrodinamikai modellvizsgálattal. A VITUKI Hungary Kft. - BME VVT, („A Duna mértékadó árvízszintjeinek felülvizsgálata”, 2013. november) által kidolgozott modellszámítások képezték az alapját, „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 74/2014. (XII.23.) hatályos BM rendeletben, a Dunára vonatkozó MÁSZ értékek meghatározásának. A szóban forgó BM rendelet módosította a korábban hatályos, „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendeletet (MÁSZ 2010.).

A TBJ II. 4.2.5-1. táblázat mutatja be a 74/2014. (XII.23.) hatályos BM rendeletben rögzített – 100 évente visszatérő (1 %-os valószínűségű) - mértékadó árvízszinteket (MÁSZ), a telephely közvetlenebb környezetében lévő Duna szakasz (Duna 1525 – 1531,3 fkm) területén.

A TBJ II. 4.2.5-2. táblázat a paksi telephely jellemzőbb szintjeit és az árvízvédelmi fokozatok elrendelési szintjeit foglalja össze.

**4.2.5-1. táblázat: A 2013. évi legmagasabban tetőző jégmentes árhullám és a mértékadó árvízszintek (MÁSZ) alakulása a telephely környezetében**

| Duna [fkm] | MÁSZ számított (2014-től) [mBf] | MÁSZ 2010. [mBf] | Mért Zmax (2013. június) [mBf] | Megjegyzés |
|---|---|---|---|---|
| 1 531,30 | 94,39 | 94,33 | 94,29 | Paksi vízmérce (891 cm) |
| 1 530,00 | 94,32* | 94,25** | 94,23 | |
| 1 529,00 | 94,27 | 94,18 | 94,19 | |
| 1 528,00 | 94,21* | 94,13** | 94,13 | |
| 1 527,00 | 94,14* | 94,06** | 94,06 | |
| 1 526,00 | 94,08 | 94,02 | 94,00 | |
| 1 526,69 | 94,12* | 94,06** | 94,04 | hidegvíz-csatorna |
| 1 526,25 | 94,10* | 94,04** | 94,02 | melegvíz-csatorna |
| 1 525,75 | 94,06* | 94,00** | 93,99 | Referencia szelvén (+500 m) |
| 1 525,00 | 94,01* | 93,93** | 93,94 | |
| 1 524,00 | 93,94 | 93,85** | 93,89 | |

Megjegyzés a fenti táblázathoz:
* Interpolált értékek „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló 74/2014. (XII.23.) hatályos BM rendelet alapján.
** Interpolált értékek „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” szóló, 11/2010. (IV. 28.) KvVM rendeletben szereplő mértékadó árvízszintek alapján.

**4.2.5-2. táblázat: A telephelyre jellemző árvízi és árvízvédelmi szintek**

| Árvízi elöntéssel veszélyeztetett, főbb objektumok a telephely területén, a Duna 1527 fkm környezetében | Mértékadó vízszintek [mBf] (Duna 1527 fkm) |
|---|---|
| Töltéskorona szint a telephely térségében, jobb part | 96,30 mBf |
| Töltéskorona szint a telephely térségében, bal part | 95,80 mBf |
| A telephely terepszintje | 97,00 mBf |
| I. Árvízvédelmi Fokozat (öblözeti vízmérce) | 91,50 mBf |
| II. Árvízvédelmi Fokozat (öblözeti vízmérce) | 93,00 mBf |
| III. Árvízvédelmi Fokozat (öblözeti vízmérce) | 94,00 mBf |
| Legnagyobb jégmentes vízszint (LNV) 2013.06.11. | 94,06 mBf (8790 m³/s) |
| $MÁSZ_{2014}$ - A hatályos: 74/2014. (XII.23.) hatályos BM rendelet „A folyók mértékadó árvízszintjeiről” | 94,14mBf (a rendeletbeli értékek alapján lineárisan interpolálva) |

#### *4.2.5.2. Árvízvédelmi készültségek elrendelése*

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

Az árvízvédelmi készültség 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 készültségi fokozat is elrendelhető.

A készültség egyes fokozatait akkor kell megszüntetni, ha az apadó víz a fokozati vízállás alá csökkent, és újabb áradás nem várható, illetőleg a készültség elrendelésének oka megszűnt. A telephely közelében (Duna jobb part) az árvízvédelmi feladatokat jelenleg a KDT-VIZIG látja el a PAE 1-4 blokk megbízása alapján. A megbízás az I. fokú árvízvédelmi készültség elrendelésétől az I. fokú árvízvédelmi készültség megszüntetéséig tart.

A Paksi vízmérce (Duna 1531,3 fkm, a vízmérce ”0” pontjának magassága 85,38 mBf) alapján az egyes területi árvízvédelmi fokozatok életbe léptetésének értékeit a TBJ II. 4.2.5-3. táblázat tartalmazza.

**4.2.5-3. táblázat: Jellemző szintek a paksi telephely környezetében és az árvízvédelmi elrendelési fokozatok**

| 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 |

Megjegyzés:
* Az öblözeti vízmérce (Duna 1526,5 fkm) vízmérce ”0” pontjának magassága 85,00 mBf.

### 4.2.6. A tágabb környezetben lévő vízrajzi állomásokra meghatározott mértékadó nagy-vízhozamok

A telephely tágabb környezetére mértékadó nagyvízszintek meghatározásához az éves nagyvizek független és homogén, majd rendezett adatsorára, eloszlásfüggvényeket (Normál, Gamma, Log-Pearson és Gumbel) illesztettek, majd kiválasztották a legjobban illeszkedőt, mint legvalószínűbb értéket, a vízhozamadatok és a számított eloszlásfüggvény négyzetes eltéréseinek számítása alapján. Az éves nagy-vízhozamokra legjobban illeszkedő valószínűség-eloszlás Budapest és a Duna folyásirányban lentebbi vízmércéi esetében a Log-Pearson volt, Pozsonynál pedig a Gumbel.

Standard statisztikai számításokkal meghatározták a 100 000 évente visszatérő mértékadó (jégmentes) nagy-vízhozam értékeket. [4-4]

A Budapest-Baja szakaszon kialakuló vízhozam nagyságát a bal parti töltés korona szintje jelentősen befolyásolja. Meghatározták a lehetséges legnagyobb árvíz mértékét 2120-ra vonatkozóan, azzal a feltételezéssel, hogy a töltéskorona magasságára vonatkozó előírások nem változnak. Ebben az esetben Paksnál a maximális vízhozam 12 100 $m^3/s$.

### 4.2.7. Várható nagyvízi hozamok előrejelzése

Az éves nagy-vízhozamokat (NQ) 2014. évtől 2120. évig becsülték úgy, hogy a halmozott szórást 1965-től 2013-ig állandó értékkel vették figyelembe, az előrejelzés trendjét pedig logaritmikus kiegyenlítéssel.

A telephely környezetében lévő vízmércékre vonatkozó éves nagyvízi vízhozamokra előrebecslést végeztek.

A becslések szerint 2120-ra (az új blokkok üzemidejének végén) a jelenlegi szélsőségesen nagy-vízhozam értékek kb. 1-2 %-kal növekednek a klimatológiai változások figyelembevétele nélkül.

A becslések szerint Európában a téli és nyári időszakban, valamint az éves átlagot tekintve mindenütt növekszik a hőmérséklet. A csapadék a magasabb szélességeken minden időszakban nő, az alacsonyabb szélességeken csökken. A növekedést és csökkenést elválasztó vonal nagyjából a 48-50° szélességi kör mentén halad, helyzete nyáron a magasabb (53-57°), télen az alacsonyabb (44-46°) szélességi körök felé tolódik el. Hasonló képet mutatnak a PRUDENCE projekt keretében végzett vizsgálatok is, amelyekben az 1961-1990 időszak volt a viszonyítási alap.

A közelítő becslések szerint a Duna felső, Nagymaroshoz tartozó vízgyűjtőjében az évi középhőmérséklet növekedése a XXI. század végére átlagos kibocsátási ütemet tekintve 3,0-3,5°C/100 évet, téli félévben ennél valamivel kisebb, nyáron kissé magasabb lehet. A hőmérséklet ennél mintegy 1°C/100 évvel magasabb növekedési üteme várható a magasabb ütemet feltételező kibocsátási forgatókönyv esetén. Az évi középhőmérséklet növekedési üteme a Duna vízgyűjtőjében nagyjából 0,30-0,45°C/évtizedre becsülhető. A közelebbi jövőt tekintve az évi középhőmérséklet 1°C/100 éves emelkedés (az 1975-1995 évekhez képest) mintegy 2025-2030 körülre várható, a 2°C-os emelkedés legkorábban 2050 körül. A csapadék alakulása bizonytalanabb.

A XXI. század végére az évi csapadék csak kis mértékben, 5% csökkenés és 5% növekedés között változik. Ehhez hasonlóan néhány más tanulmány is az évi csapadéknak csak csekély mértékű változását jelzi előre mind rövidebb, mind hosszabb távon a Duna vízgyűjtőn átlagában. Ugyanakkor a régióban is várható az évi csapadék éven belüli átrendeződése a téli félév javára. A téli félévben hosszabb távon a csapadék 15 %-os vagy azt némileg meghaladó növekedése, a nyári félévben hasonló mértékű csökkenése lehetséges. Rövidebb távon, 2050-ig, némi spekulatív meggondolással, a téli növekedés mértékét 5% körülire, a nyári csapadék csökkenését hasonló mértékűre becslik.

Az extrém és valószínű klimatológiai forgatókönyvek elemzéséhez, és mértékadó nagy-vízhozam (NQ [$m^3/s$]) és vízhőmérséklet (T [°C]) értékek elemzéséhez szintetikus adatgenerátort fejlesztettek ki.

Leválogatással előállították:

- 18 melegebb és 18 hidegebb évekből álló,
- 10 legmelegebb és 10 leghidegebb évekből álló,
- 5 legmelegebb és 5 leghidegebb évekből álló éveket.

A leválogatott adatsorokhoz rendelt dunai vízhozam értékek havi elemzésével, a jelenhez viszonyított havi átlagos lefolyás arányát kiszámították, a fenti különböző klimatikus jellegzetességű évekre.

Az elemzett hidrológiai következményekkel egybevágó regionális éghajlat-modell eredményeket elemezték. Az éves átlagos vízhőmérséklet-változás alapján az 1,0; 1,5;

1,8°C/100 év (2071 - 2100 közötti 30 év átlagának növekménye a 1971 - 2000 közötti időszak átlagához viszonyítva. Ez megegyezik a Földfelszín átlagos becsült melegedési alternatíváinak hőmérsékletnövekményével, 2000-2100 évek között.) átlagos hőmérséklet-emelkedéshez legközelebb álló klimatológiai modellváltozatokat választották ki. Ezek: [4-4]

- REMO - közelítően, 100 év alatt az éves átlagos vízhőmérséklet ~1$^{o}$C-t emelkedik,
- RCA_BMC - közelítően, 100 év alatt az éves átlagos vízhőmérséklet ~1,5$^{o}$C-t emelkedik,
- HIRHAM5_ECHAM5 - közelítően, 100 év alatt az éves átlagos vízhőmérséklet ~1,8$^{o}$C-t emelkedik.

Illeszkedve a korábbi módszertani fejlesztésekhez, a vízhőfok és a vízhozam napi lépésben történő leírására a Thomas és Fiering által javasolt speciális ARMA modellt fejlesztették tovább. A modell az idősorokban rejlő determinisztikus információt lineáris autoregressziv modell-komponenssel, az e fölötti véletlen (random) tagot pedig véletlenszám-generálással közelíti, továbbá képes a regionális modellek eredményeit korrekcióként megjeleníteni.

Meghatározták a monitoring állomásokra, az észlelt napi vízhozam és vízhőmérséklet adatok, az NQ, KQ, T adatok dekádonkénti minimumait, átlagait, szórásait és autokorreláltságát a teljes adatsorból, Budapest, Dunaújváros és Baja állomásokra.

A generátor determinisztikus tagja segítségével meghatározták – az észlelések és a determinisztikus értékek különbségeként - a generátor maradéktagját, és arra dekádonként illesztettek egy új fejlesztésű hibrid eloszlást.

Az 1/100 000 év ($10^{-5}$ [1/év]) valószínűséggel előforduló hidrológiai szélsőségek (KQ, NQ, T) előállításához 100 000 évet generáltak, majd a generált adatokat rangsorolták és meghatározták a 100 000 generált év legnagyobb és legkisebb adatát, empirikus eloszlását. A generált empirikus eloszlásból tetszőlegesen gyakran előforduló adat értéke leolvasható (azaz pl. a 100, 1000, 10 000, 20 000, évente előforduló vízhozam, vízhőfok). A fenti eljárást százszor megismételték, vagyis százszor x százezer év (azaz mindösszesen tízmillió év) szimulációja alapján kapták az eredményeket, képezve a 100; 1000; 10 000; 20 000; 100 000 évente előforduló értékek átlagát, mediánját, minimumát és maximumát.

Nagyvízi mértékadó vízhozamokat állítottak elő Budapest, Dunaújváros és Baja vízmércék adatai alapján. Mindhárom állomásra a jelen hidrológiai állapot és három klimatikus forgatókönyv eredményei alapján történtek számítások.

Az éghajlatváltozás markáns hatást gyakorol a nagy-vízhozamokra. Az 1 000 éves visszatérési időhöz tartozó mértékadó vízhozamoknak közel kétszeresét is elérhetik a 100 000 éves visszatérési idejű vízhozamok. A leginkább markáns hatás nagy vízhozamoknál, az 1°C/100 év átlagos hőmérsékletnövekedés esetében figyelhető meg.

A hőmérsékleti hatást tekintve az állapítható meg, hogy a HIRHAM-ECHAM5 modell eredményei jeleznek leginkább drámai hatásokat (növekedést), ami megfelel az éves átlagban 2°C hőmérséklet növekedésnek. [4-4].

### 4.2.9. Extrém nagycsapadékból származó villámárvizek hatásának vizsgálata

A városi árvizek és a villámárvizek gyakorisága növekszik. Előfordulási valószínűségük, kártételeik és vagyonkockázatuk elemzése elsőrendű fontosságú. A problémák súlyossága és a predikciók bizonytalansága, azaz az ilyen események jövőbeni előfordulásának változásai felhívják a figyelmet az egyre pontosabb tudományos vizsgálatok fontosságára. A gyakoriság növekedését statisztikai adatok is alátámasztják. Ez a trend valószínűleg tovább fog tartani, mert az éghajlatváltozási forgatókönyvek alapján Magyarországon növekedni fog a nagycsapadékok gyakorisága, intenzitása, így a heves lefutású árvizek is.

Az üzemi területen jelentkező villámárvizek hatását több lépésben számították.

Először becslést tettek a 100 000 évente előforduló csapadékesemény intenzitására. Majd felső becslését adtak a klimatikus változások miatt várható változásoknak.

Második lépésben olyan fizikai alapú modellt alkalmaztak a terepi összegyülekezés leírására, amely képes térben és időben kellő pontossággal meghatározni az elöntés mélységeit, erre a célra a Koncsos és Jolánkai (2014) [4-4] által végzett kutatásban alkalmazott "public domain" modell alkalmazása látszott célszerűnek.

Ezt követően vizsgálták a csatornahálózat vízszállítási viszonyait – 1D modellel térben és időben egyaránt, azért, hogy a csapadékvíz elvezető hálózat „árvíz" csökkentő hatását a lehetőségekhez képest a legjobban megközelítsék; a kritikusnak tűnő helyeket azonosítsák, illetve, hogy az esetleges kiöntési helyeket, valamint a kifolyó vízmennyiséget meghatározzák.

A csapadék intenzitás-tartósság függvényekre logaritmikus illesztést tettek, mind a vizsgálatok szempontjából a korábbi elemzésekben fontosnak tartott 15 perces, mind a 60 perces tartósságú nagycsapadékokra.

A TBJ II. 4.2.9-1. táblázat alapján összefoglalóan mondható, hogy a csapadékfüggvények bizonytalan mértékű módosulásai miatt jó felső becslésnek látszik az, hogy a 100 000 éves visszatérési idejűnek becsült csapadékok a klimatikus változások miatt nem lesznek nagyobbak, mint a jelenleg 1 000 000 éves visszatérési idejű csapadékok. [4-4]

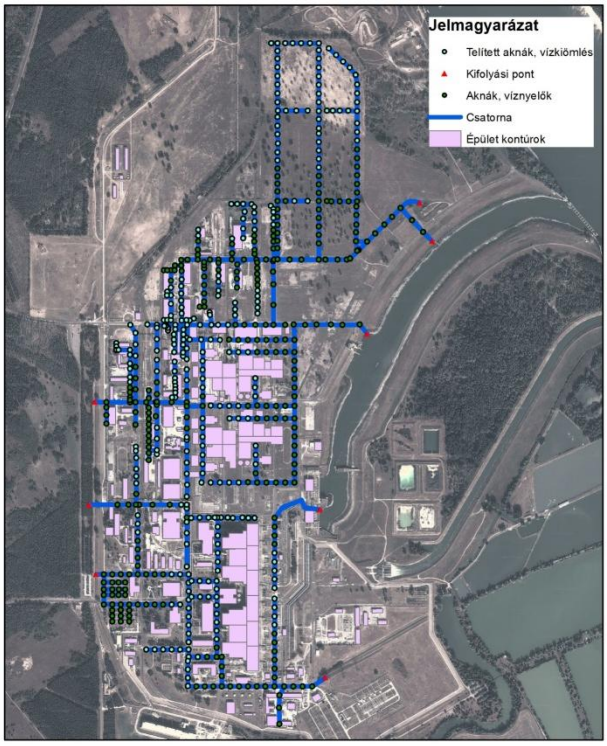
**4.2.9-1. táblázat: Villámárvíz kialakulásának vizsgálata a telephely területén: Elemzett forgatókönyvek**

| Szcenárió | Átlagos csapadék intenzitás | Tartósság | Átlagos egyszeri előfordulás | Csatorna hatás |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 1072 l/s/ha = 9262 mm/d | 15 perc | 100 000 év | N |
| 2. | 1269 l/s/ha = 10964 mm/d | 15 perc | 1 000 000 év | N |
| 3. | 395 l/s/ha = 3412 mm/d | 60 perc | 100 000 év | N |
| 4. | 467 l/s/ha = 4034 mm/d | 60 perc | 1 000 000 év | I |

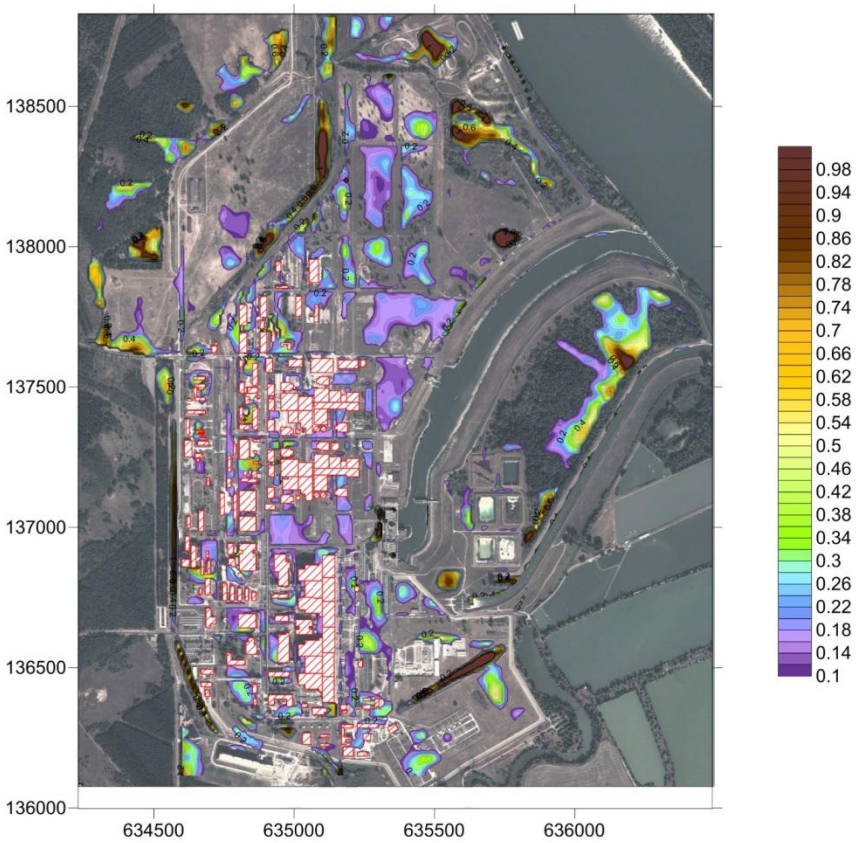
Az 1., és 3. szcenárió a jelen hidrometeorológiai viszonyokat, a 2. és 4. szcenáriók a klimatikus változások hatásait tükröző változatok. Az utolsó szcenárióban, mint az összes vizsgált eset közül kritikusnak adódó helyzetben, figyelembe vették a csatornák túlterheléséből származó kiömlési hatást is. Az 1-3. forgatókönyvekben ezt elhanyagolták.

A következő ábrák mutatják az egyes forgatókönyvek esetében számított elöntések mélységeit és kiterjedését.

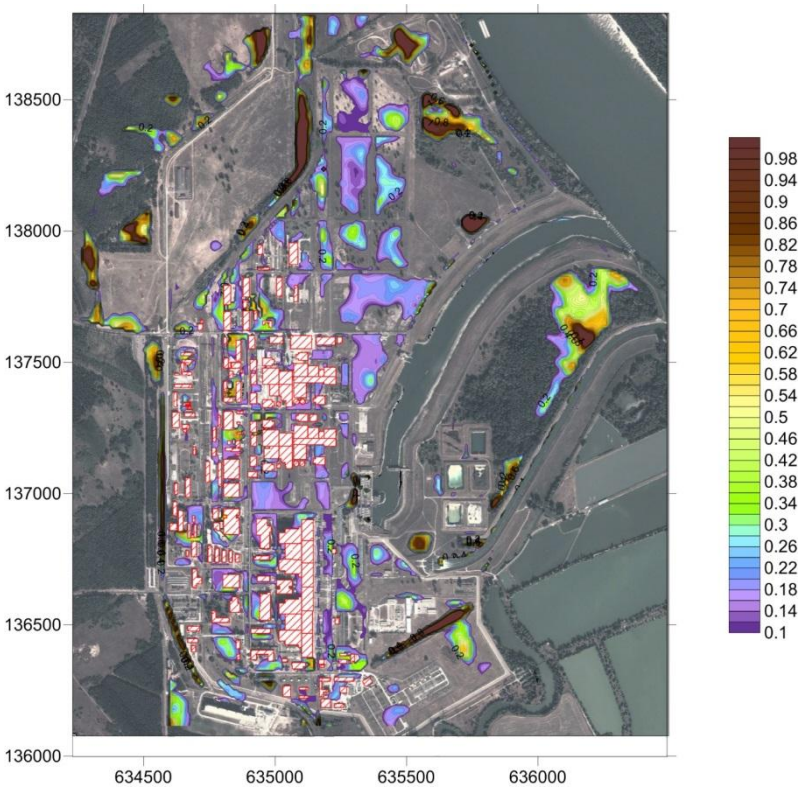
Az elemzések azt mutatják, hogy a villámárvizek a telephely jelentős területein okozhatnak elöntéseket. A számított mélységek alapján a 60 perces tartósságú 1 000 000 éves visszatérési idejű csapadék okozza a legnagyobb kiterjedésű és mélységű vízborítást. Ennek hatását a tervezés során vizsgálni kell, az eredményként kapott és mellékelt számítási térképek és az épületszerkezeti ismeretek alapján. [4-4]



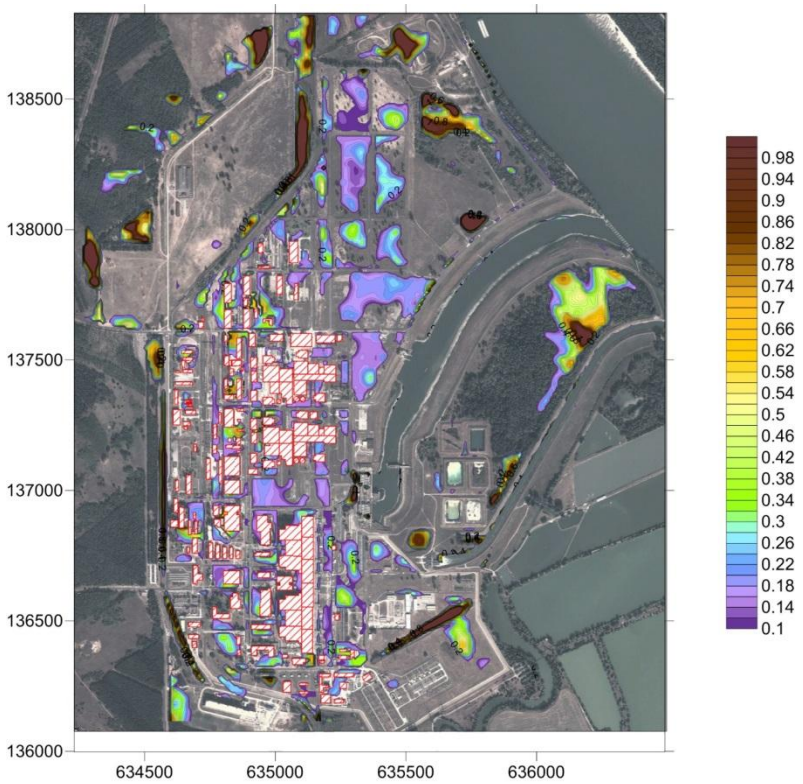

**4.2.9-1. ábra: A 4. forgatókönyv szerinti csapadékesemény hatására a jelölt aknákon ömlik ki víz.**



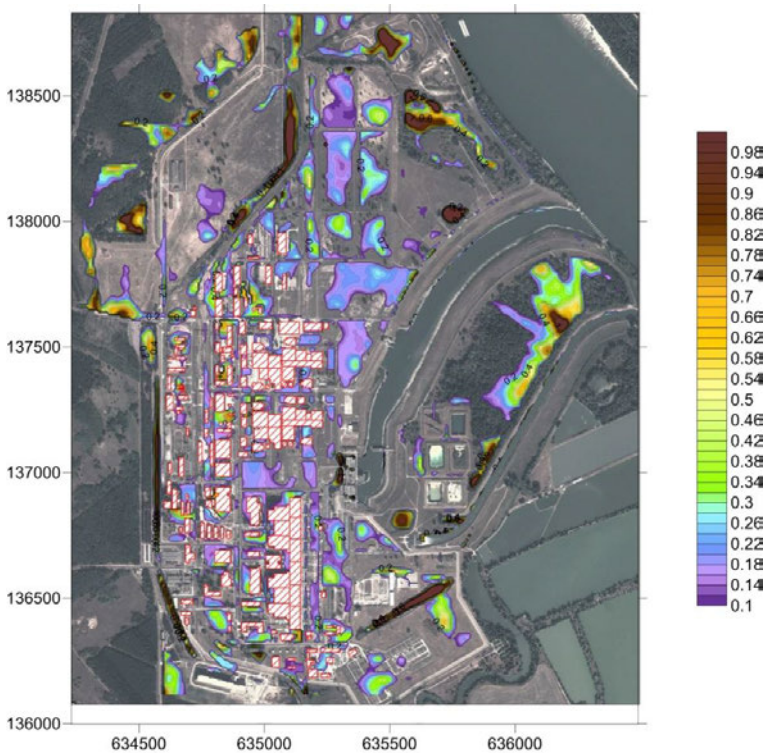

**4.2.9-2. ábra: A 100 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után**



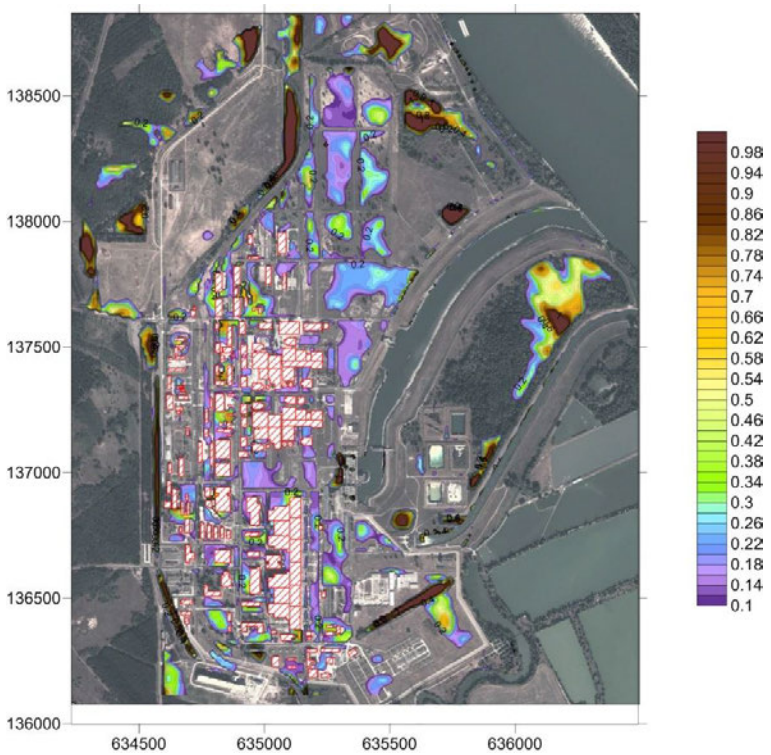

**4.2.9-3. ábra: A 100 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után**



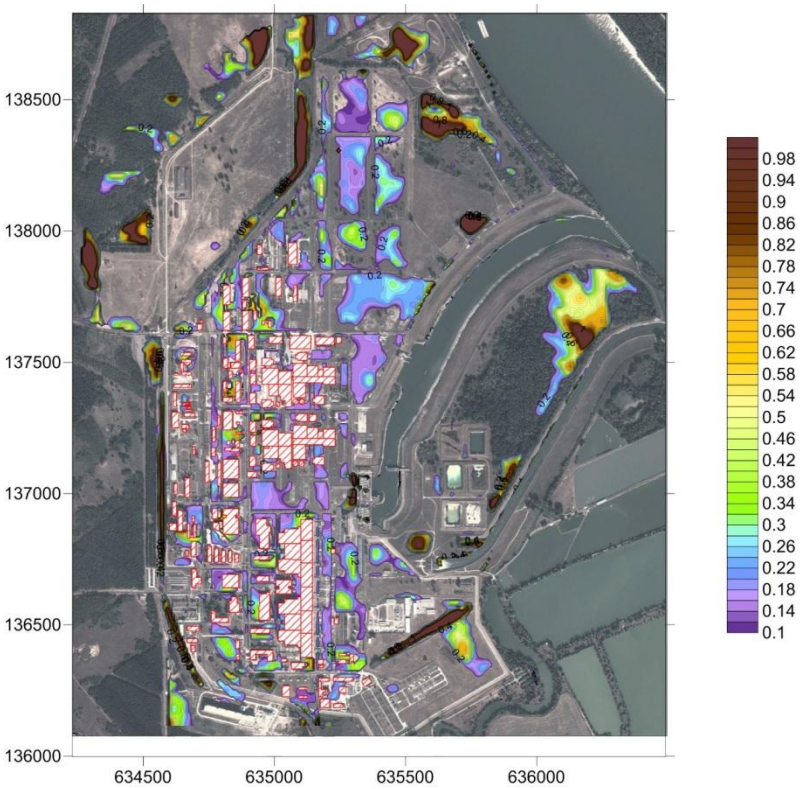

**4.2.9-4. ábra: A 100 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után**



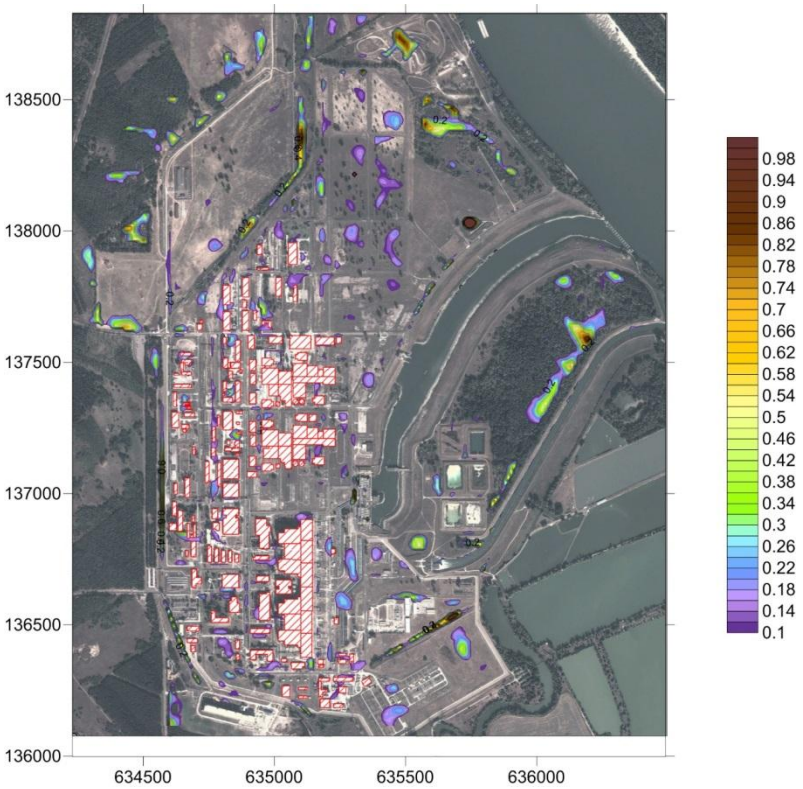

**4.2.9-5. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után**



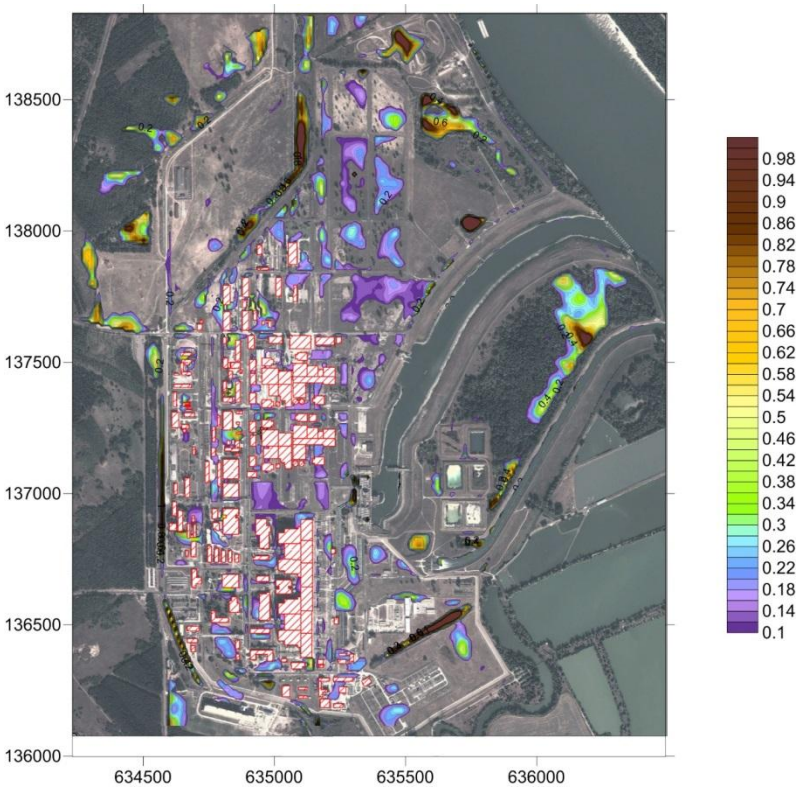

**4.2.9-6. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után**



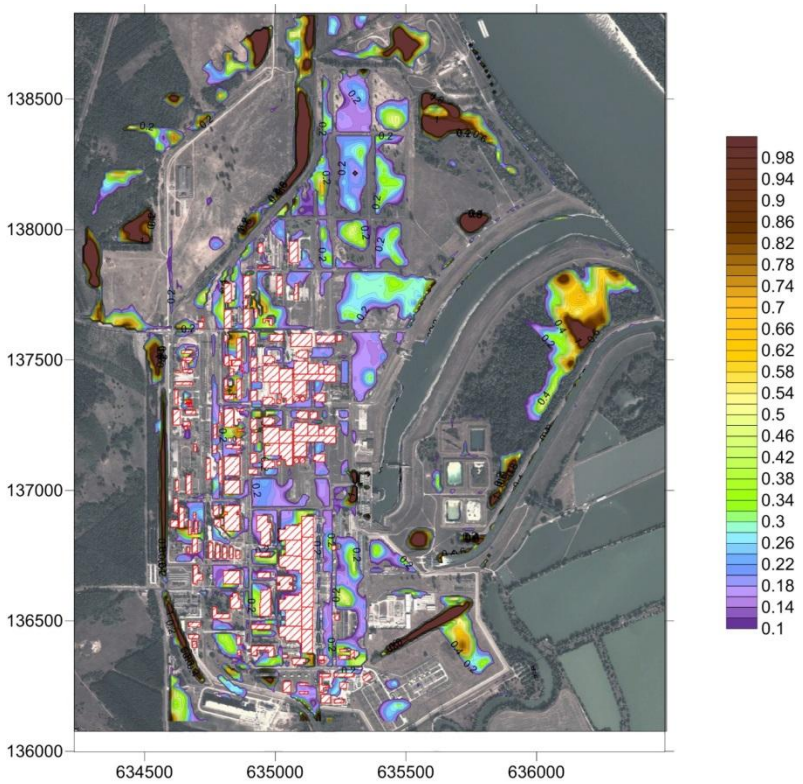

**4.2.9-7. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 15 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után**



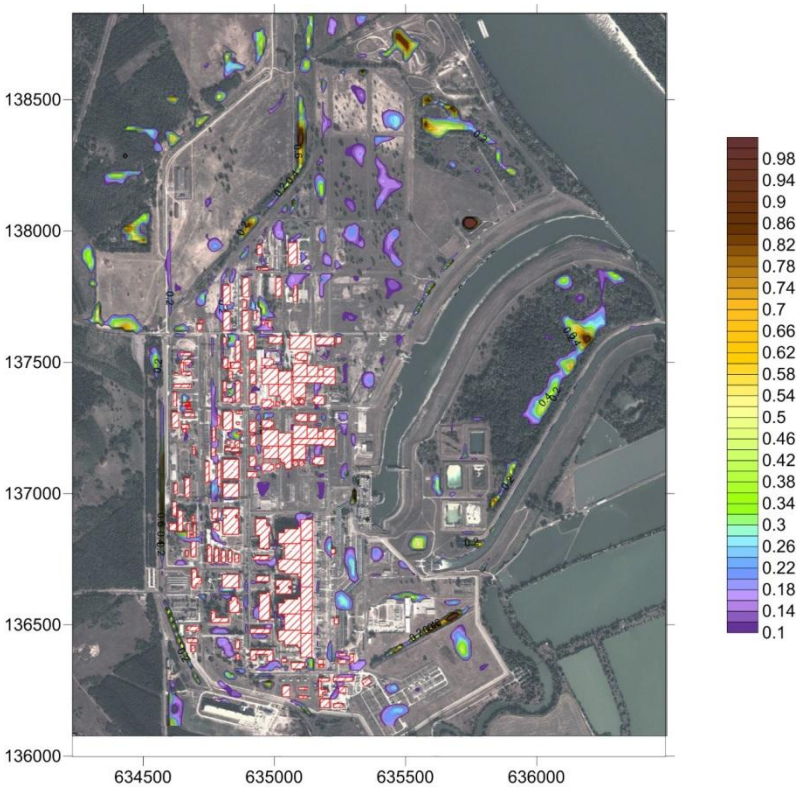

**4.2.9-8. ábra: Az 100 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után**



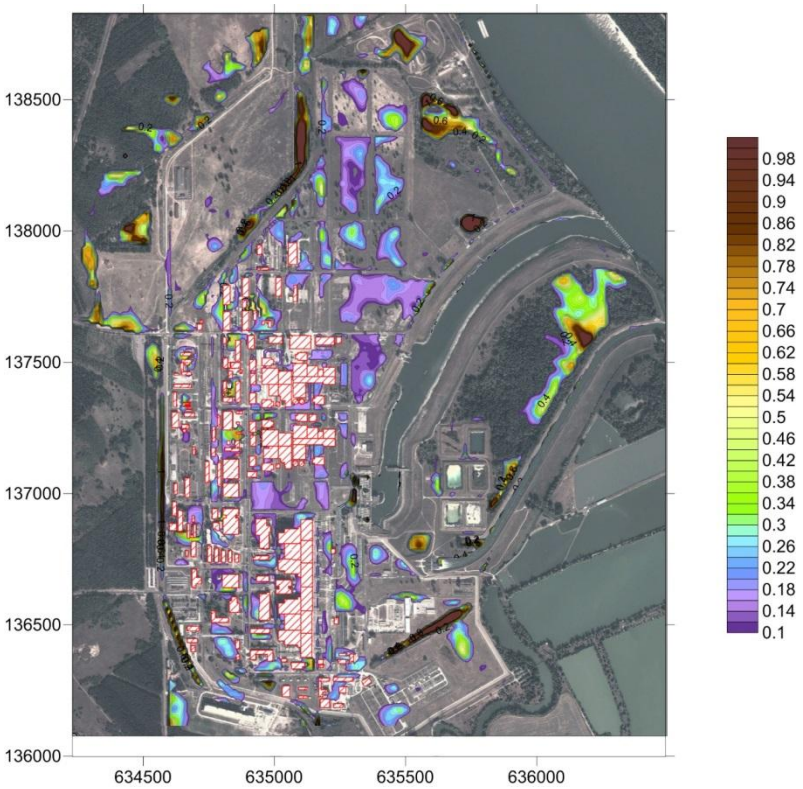

**4.2.9.-9. ábra: Az 100 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után**



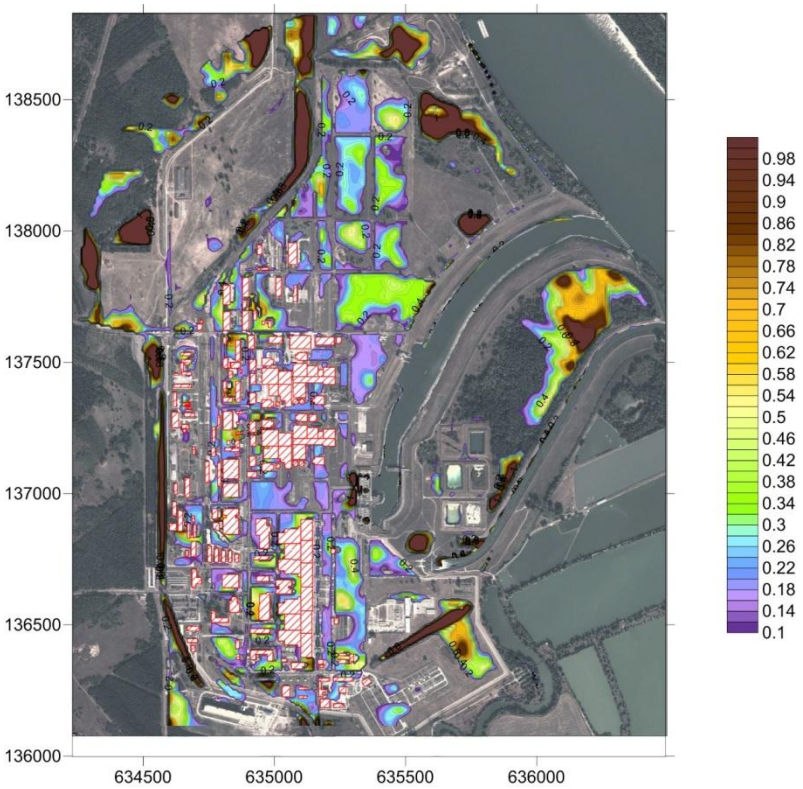

**4.2.9-10. ábra: Az 100 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után**




**4.2.9-11. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 15 perccel a csapadék esemény kezdete után**




**4.2.9-12. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 30 perccel a csapadék esemény kezdete után**




**4.2.9-13. ábra: Az 1 000 000 évente visszatérő 60 perces tartósságú nagycsapadékból számított elöntések mélységei [m] és kiterjedése 60 perccel a csapadék esemény kezdete után**

## 4.3. A jegesedés elemzése

A folyószabályozási beavatkozások és az egyéb emberi tevékenység eredményeképpen az utóbbi évtizedekben a jégtorlódás kialakulásának valószínűsége erősen csökkent. Ennek ellenére a jeges árvíz veszélyét célszerű értékelni.

A kialakuló jégtakaró, de már a zajló jég esetén is a nagyobb ellenállás leküzdéséhez többletenergiára van szükség. E miatt a vízszint már zajlás közben emelkedni kezd, miközben a vízhozam változatlan marad, vagy maradhat. A jég a teljes, 100 %-os zajlásnál megáll és a jégtakaró duzzasztott viszonyok mellett épül felfelé. A vízszintemelkedés tehát a duzzasztási határig vízhozam növekedés nélkül is létrejön.

A „normális”, alulról torlódás nélkül felépült jégtakaró, de már jelentősebb jégzajlás is a telephely téli, általában kisvízi vízellátása szempontjából előnyös, mert a jeges duzzasztás miatt a hidegvíz-csatorna dunai szelvényénél magasabb lesz a vízszint. Az állójég felszakadása, a jég megindulása tehát a telephely vízellátási feltételeit általános esetben nem rontja. Sőt, a kialakuló duzzasztás vagy az érkező árhullám a szokásos téli kisvizeknél magasabb szintet jelent. [4-4]

A jegesedés kezelésére jégtörőket alkalmaznak. A jégtörő hajóparkot jelenleg a vízügyi szervezetek (Országos Vízügyi Főigazgatóság: OVF és Vízügyi Igazgatóságok: VIZIG-ek) tartják fenn. A dunai jégtörő flotta 9 hajóból áll. A biztonságot növeli a célszerűen alkalmazott jégrombolási tevékenység. A tapasztalat a dunai jégtörő hajók több évtizedes munkáját igen hasznosnak minősíti. Az 1985-ös kemény télen a nagymértékű jégzajlás miatt először dolgozott jégtörő-csoportosítás a PAE 1-4 blokk hidegvíz-csatornájának térségében. A torlaszképződés lehetséges következményeinek hatékony megelőzése a Paks fölötti potenciális jégmegállási helyek ellenőrzését is igényli. A hidegvíz-csatorna közvetlen jégvédelme lokális, üzemi feladat.

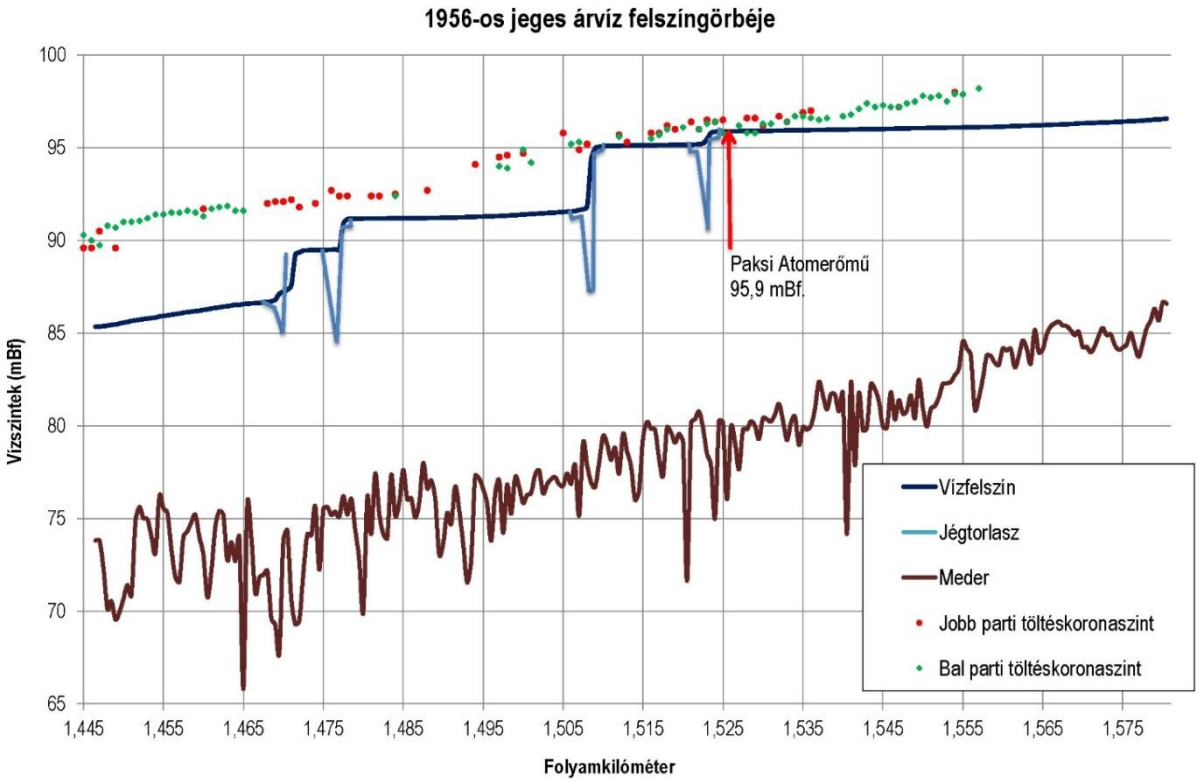
Ennek érdekében az atomerőmű megépíttette a hűtővízcsatornák torkolati szakaszait összekötő torkolati melegvíz-visszakeverést a hidegvíz-csatorna jégmentesítésére.

### 4.3.1. Jégdugó prognosztizálása és nagyvízi hatásának vizsgálata

A vizsgálat célja az volt, hogy meghatározza a telephely jeges nagyvízi érintettségét, a telephely 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).

A jelenlegi éghajlat-változási tendenciáktól eltekintve, az 1965. évi mértékadó jéghelyzetet (jégtorlaszokkal) vették alapul a vizsgálatok során, az akkori mértékadó jeges árvízszinteken túlmenően a PAE 1-4 blokktelephelyének melegvíz-csatornája alatt, a korábbi tapasztalatoknak megfelelő, mintegy 5 km hosszúságú jégtorlasz kialakulását generálták, annak ellenére, hogy az adott Duna szakasz, a mederviszonyaiból adódóan a jégmegállásra nem érzékeny.

A TBJ II. 4.3.1-1. ábra a MÁSZ$_{2014}$ alapján bearányosított vízszinteket és a jelenlegi töltéskorona szinteket ábrázolja.




**4.3.1-1. 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 megállapítható, hogy a lehető legkedvezőtlenebbnek ítélt jeges nagyvízszintek a paksi telephely környezetében, az árvízvédelmi mű koronaszintjével színeltek (95,80 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 telephely környezetében nem kell számolni.

Amennyiben a víz megkerüli a jégtorlaszt/jégdugót, elbontja a Duna bal- és/vagy telephelyet védő jobb partot, illetve megbontja az árvízvédelmi töltést és új mederben folyik le, elöntve

esetleg ezzel a telephelynél (97,00 mBf) mélyebben fekvő terület egyes részeit, úgy gyors apadásra lehet számítani, mert a jégtorlasz megbomlásával a folyó mederbeli lefolyása helyreáll, az elöntés legnagyobb szintje nem fogja megközelíteni a Duna telephely menti árvízvédelmi töltésének koronaszintjét (96,30 mBf).

Jégvédekezéskor fontos, hogy a zajló jég zavartalan továbbhaladását, lehetőség szerint mindenkor biztosítsák. 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.

Az elemzések azt mutatták, hogy nagyvízi helyzetben a melegvíz csatorna alatti Duna szakaszon kialakuló jégdugó esetén jeges árvízi elöntéssel nem kell számolni. Ebben az esetben kialakuló jégdugó/jégtorlasz esetén az elöntés legnagyobb szintje nem közelíti meg az árvízvédelmi töltés koronaszintjét (96,30 mBf). [4-3]

### 4.3.2. Felvízoldali jégtorlasz, jégdugó hatása a vízkivételre

A közvetlenül a hidegvíz-csatorna felett kialakuló jégdugó, extrém kisvízi Duna szinttel kombinált hatását két erősen konzervatív hipotetikus szcenárióval vizsgálták. Mindkét esetben teljes elzáródást okozó jégdugót feltételeztek, az első változatban 15,34 m, míg a második változatban 10,34 m magassággal.

A szimuláció indulásakor, a hidegvíz-csatorna torkolata felett egy óra alatt elzárták a teljes Duna medret, a jégtorlaszt, jégdugót helyettesítő bukó segítségével, a bukó korona-élének a jégtorlasz magasságával egyező, 93,0 mBf, illetve 88,0 mBf szintre történő emelésével. Ezután a táblát zárva tartották a szimuláció végéig.

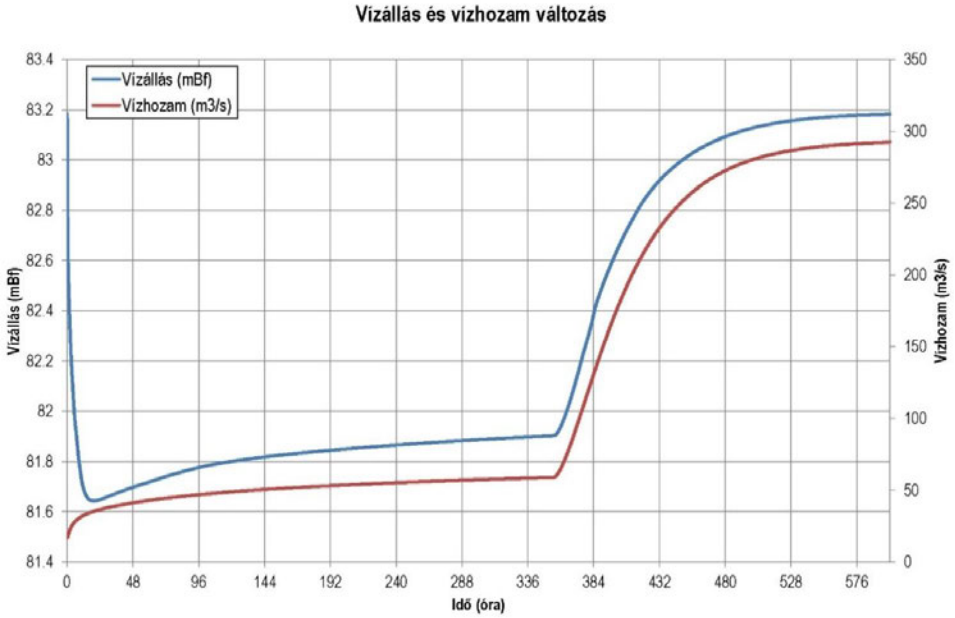
A magasabb jégdugót feltételező szimuláció során a várakozásnak megfelelően a mederlezárás felett a Duna vízhozama, a meder elzárásának következtében gyorsan csökkenni kezd, gyakorlatilag egy (1) óra alatt nullára esik vissza. Így a teljes 294 m³/s a felette levő meder feltöltődését segíti elő. Tizenöt (15) nap múlva a felvíz szintje eléri a bukó koronáját, illetve a jégdugó tetejét, így elindul az átbukás, vagyis a szelvény vízhozama fokozatosan nőni kezd, majd a mederelzárás után mintegy 24 nappal jól megközelíti, az elzárás után 26 nappal újra eléri a kiindulási vízhozamot.

A Duna mederelzárásának alvízén, a hidegvíz-csatorna torkolatánál a jelenség némileg másképpen zajlik le. A vízhozamok, természetesen, teljesen hasonló lefutást mutatnak, de a vízszint, itt ellentétes mozgást végez, ahogy ezt a TBJ II. 4.3.2-1. ábra mutatja. A teljes mederelzárást követően, az alvízszint gyors csökkenésnek indult (depressziós hullám), melyet csak a vízhozam újbóli megjelenése (elzárás után 15. nap) szakított meg, ezután a vízszintek mintegy 10-12 nap elteltével visszaálltak az eredeti szintre (83,33 mBf). A Duna meder tehát az elzárás után 24 nappal megközelítően teljesen, 26 nappal teljesen visszatöltődött.

A 88,0 mBf koronaszintű, azaz 10,34 m magasságú Duna-mederelzáró jégdugó esetén a jégdugó koronaszintje nem érte el a partéleket, tehát a jégdugón átbukó víz a főmederben marad (az előző esetben az átbukó víz kijutott a hullámtérre is), tehát – a rövidebb átbukási- vagy koronaszélesség miatt – relatíve nagyobb átbukási magasság alakul ki. A Duna vízhozamának teljes elzárása ebben az esetben is gyors alvízszint csökkenést okoz, de a kisebb jégtorlasz magasság miatt, az átbukás, már a harmadik nap közepén megindul. Ezért a vízszintek gyakorlatilag 6-7 nap alatt visszaállnak a jégtorlasz kialakulása előtti szintekre.

Az egyes szintek tartósságát tekintve megállapítható, hogy a 93,0 mBf koronaszintű jégtorlasz esetén a permanens kisvízszint alatti vízszintek tartóssága 12-576 óra közötti, azaz $\Delta t$ =564 óra,

míg alacsonyabb, 88,0 mBf koronaszintű jégdugó esetében 12-196 óra közötti (Δt=184 óra) időintervallumra csökkent.




**4.3.2-1. ábra: Vízszint- és vízhozam változás a 93,0 mBf magas torlasz alvízén**

A szimulációk legfontosabb tanulsága, hogy még a bemutatott erősen konzervatív, hipotetikus esetekben sem csökken a Duna szintje a hidegvíz-csatorna meder fenékszintje körüli, azaz 81,0 mBf szint alá.

A figyelembe vett konzervativizmus nagyságágának megítélésére a következők foglalhatók össze.

Dunacsúnyi Duzzasztómű és a Gabcikovoi Erőmű megépülte után, a jégképződés „nulláról" indul a magyar Duna felső szakaszán. A felső, osztrák, szlovák, szakaszon keletkezett jeget a Hrusovi Tározó visszafogja, így az erőmű/duzzasztómű alatt tiszta, jégmentes víz folyik le.

A jégzajlás és a jégbeállás között akár 10-15, nagyon hideg (a napi középhőmérséklet: -10 C alatti) napnak kell eltelnie, amely a telephely környezetében nem számít gyakori eseménynek, egyben elegendő időt biztosít a jégtorlasz kialakulásának megakadályozásához.

A magyar Duna-szakaszon a jég elleni védelmet egy jégtörő flotta is segíti. Amennyiben a fenti, nem várt esemény bekövetkezne, akkor a jégtörők munkájával megelőzhető lenne a jégdugó kialakulása.

Mint bemutatásra került, még az extrém konzervatív jégdugók kialakulás mellett, átmenetileg sem csökken a Duna szintje a hidegvíz-csatorna fenékszintje alá, a jégtorlaszok kialakulása, pedig a fentiek szerint kizárható, így összességében kijelenthető, hogy a telephelyen a vízkivételt befolyásoló jégtorlasz kialakulásával nem kell számolni.

A jégdugók következményeként fellépő vízkivétel ellehetetlenítő kockázat kizárására telephelyvédelmi intézkedésként a jégtorlasz monitoring és elhárítás figyelembe vételre került.

## 4.4. Partfalomlások, partfalcsuszamlások elemzése

A Duna meder változását előidéző magaspart csuszamlások, partfalomlások oka, hogy a Budapest alatti magyarországi szakaszon jórészt egy É-D irányú szerkezeti vonal mentén folyó Duna, 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 vízjárási helyzetben következnek be, hiszen nem több hónapos száraz időszakot követően fordulnak elő.

A csuszamlások esetében szerepe lehet a földrengésnek. A földrengések azonban általában nem közvetlen kiváltó okai a csuszamlásoknak, inkább egyfajta előkészítő szerepük van a kőzettestben létrehozott repedésrendszerek révén.

65 dokumentált csuszamlást lehetett detektálni 1862-ig visszamenőleg a Kulcstól Dunaszekcsőig húzódó szakaszon. 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.

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 hídhoz közel történt 1970. szeptember 15-én a mintegy 700 méter hosszú, 100-120 méter széles csuszamlás. A kimozdult kőzettest becsült térfogata kb. 1 millió $m^3$ 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 $m^3$-nyi kőzettest kb. 520 méter hosszon és maximum 240 méter szélességben mozdult meg. Ennél az esetnél ismertek a Duna medrében beállt változásra vonatkozó adatok is. Eszerint legalább 37 000 $m^3$ kőzet csúszott bele a mederbe, de nem több mint 45 000 $m^3$. Az arány a megmozdult összes kőzettömeg, 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.

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. [4-3]

A modellvizsgálatoknál két helyen történő földcsuszamlást vizsgáltak, egyet az új blokkok telephelye felett, egyet pedig alatta, Dunaszekcsőnél. Mindkét helyen nagymértékű mederelzáródást okozó csuszamlást feltételeztek, a mértékadónak tekintett (100 000 évente visszatérő) 12 100 $m^3/s$ vízhozamot szimuláltak.

### 4.4.1. A partfalomlások, partfalcsuszamlások vízhozamra vonatkozó hatásai

A partfalomlások, partfalcsuszamlások vízhozamra vonatkozó hatásainak vizsgálatára kiválasztott modellterület a Dunaújváros - Mohács Duna szakasz volt.

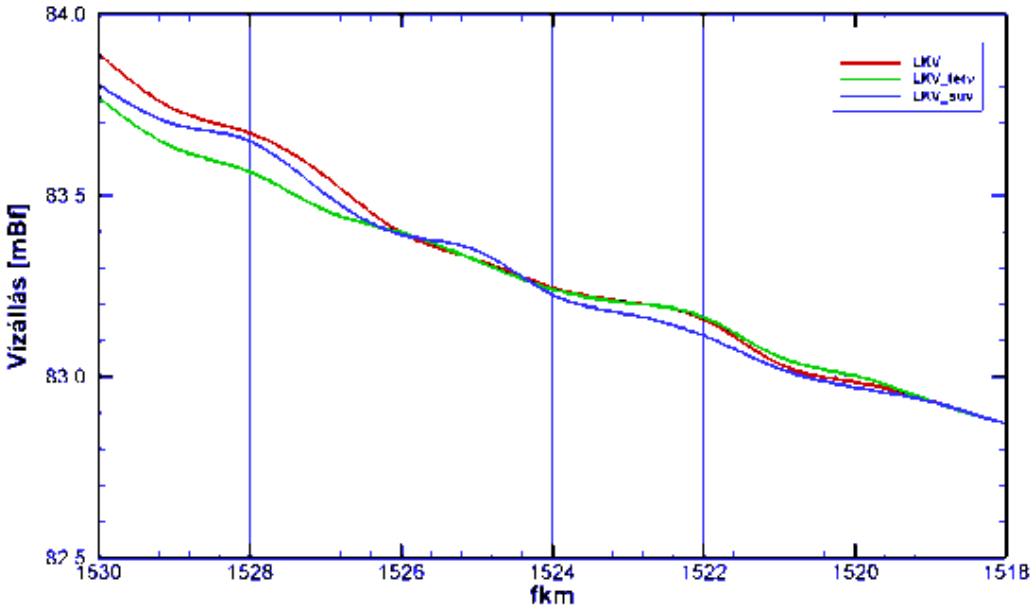
A modellvizsgálatnál egy helyen történő földcsuszamlást vizsgáltak - annak ellenére, hogy kialakulásának esélye szinte kizárható -, amely a telephely felett alakul ki. Nagymértékű Dunameder-elzáródást okozó csuszamlást feltételeztek a mértékadónak tekintett (100 000 évente visszatérő kisvízhozam) 294 $m^3/s$ szélsőséges kisvízi vízhozamnak megfelelő Duna állapotot szimuláltak. [4-4] . A hidegvíz-csatorna fölött feltételezett partomlás hatását vizsgálták a tervezett (232 $m^3/s$) vízkivétel mellett.

A partfalomlás és a vízkivétel együttes vízszint-hatása részletesen (1532-1518 fkm között) a TBJ II. 4.4.1-1. ábra szemlélteti. A 232 $m^3/s$-ra vonatkozó vízkivétel növeli a felvízi vízszint-süllyedést. Az LKV_suv görbe (kék színnel) mutatja a partfal omlás hatását 232 $m^3/s$ vízkivételi hatás mellett. Ez az omlási pont felett visszaduzzasztó hatású. Az omlási pont alatt a partomlásnak vízszintcsökkentő hatása van. A vízszinthatás maximum 10 cm, átlagosan 3 cm körül alakul. Sem a vízkivétel változás, sem a partfalomlás hatása nem terjed az 1518 fkm-ben lévő szelvény alá. [4-4] Ez a hatás benne van a lokális tranziensek (hullámzás) tartományában, azaz jelentősége igen csekély, a Duna vízszintjének egyéb változásai mellett elhanyagolható.

A Duna felvízi szakaszán bekövetkező partfalomlásoknak és partfalcsuszamlásoknak a vízszintváltozásokon kívül lehet olyan hatása, amely során potenciálisan eltömődést okozó szemcsés anyagok kerülhetnek a Dunába, illetve a hidegvíz-csatornába és a vízkivételi műbe. Ilyen esetben kockázatot mérséklő körülményt jelent, hogy a lösz döntő hányada a mederfenékre süllyed, ami a vízzel történő továbbhaladást gátolja vagy lassítja.

A fenti kiváltó esemény, azaz partfalomlások és partfalcsuszamlások miatt a Duna vizébe kerülő szemcsés anyagok következményeinek pontosabb megismerésére kiegészítő terjedésszámítások készültek [4-5]. A terjedésszámítás a TBJ. II 2.1.2.1 fejezetében ismertetett módszerrel és alkalmazott feltételekkel készült. Az elemzés megállapította, hogy a veszélyeztető tényező az új blokkok biztonsági hűtővíz rendszereinek hűtővíz ellátására hatással lehet. (TBJ II. 4.4.1-1. táblázat)

A veszélyeztető tényező nem zárható ki távolsági vagy valószínűségi alapon, ezért a tervezés során további vizsgálatokat kell végezni a szükséges tervezési, műszaki és adminisztratív telephelyvédelmi intézkedések meghatározása céljából. A veszélyeztető tényező tekintetében megállapítható, hogy az, az iparágban bevált megoldásokkal kezelhető. [4-3]




**4.4.1-1. ábra: Az elemzett kisvízi szcenáriók felszíngörbéi az 1530-1518 fkm között**

**4.4.1-1. táblázat: A hűtővíz-ellátását potenciálisan veszélyeztető esemény és annak tervezési alapadatai**

| Veszélyforrás (anyagcsoport) | A hidegvíz-csatornába bejutható szennyező mennyisége [kg] | A hidegvíz-csatornába bejutható szennyezőanyag koncentrációja [g/m$^3$] |
|---|---|---|
| Löszfal omlás (lösz) | 43 357 000 | 8312 |

### 4.4.2. A partfalomlások, –csuszamlások és töltésszakadás nagyvízi hatásai

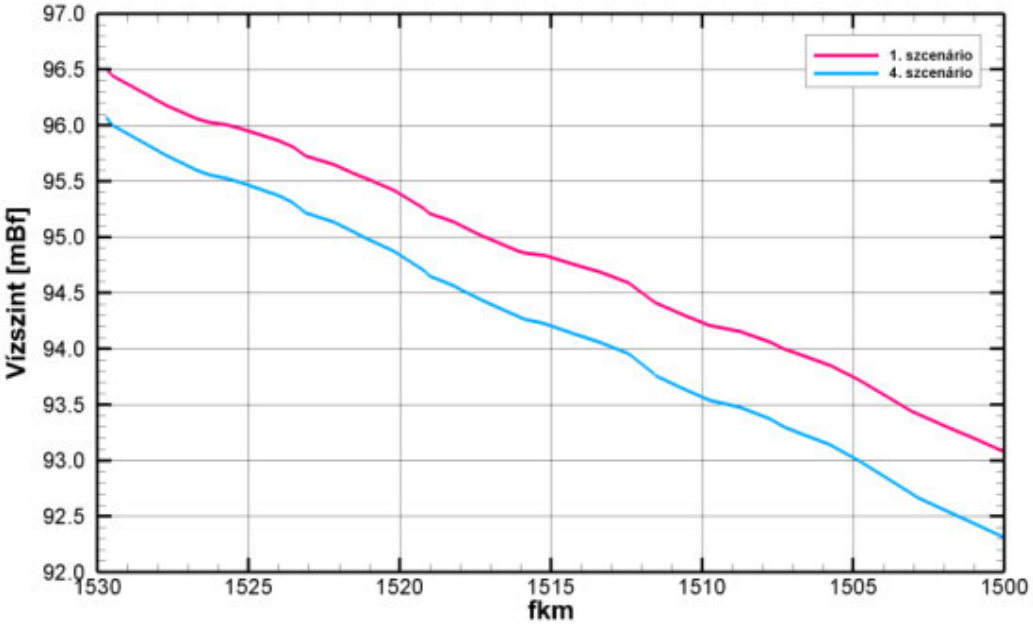
A szélsőséges dunai nagyvízi esetek hatását 2D modellvizsgálat (Duna 1500-1530 fkm szakaszán) keretében elemezték. Az eredményekből megállapítható, hogy ha az új blokkok telephelye feletti 1528,5 fkm szelvényben Q=12 100 m$^3$/s dunai vízhozamnál töltésszakadást (vagy mesterségesen előidézett szakítást) feltételeznek, akkor annak biztonsági szempontból jelentős vízszintcsökkentő hatása van: 50-75 cm csökkenés az egész vizsgált szakaszon végig terjedő módon (TBJ II. 4.4.2-1. ábra).

Összességében megállapítható, hogy minden változatban a vízszintek 97,0 mBf alatt alakulnak a telephely szelvényében, ami azt jelenti, hogy jobbparti töltésszakadás a telephely magasságában nem fenyeget elöntéssel. [4-3]

A Duna Paks feletti szakasza árvízvédelmi töltés-koronaszintjeinek jövőbeli fejlesztése nélkül a Duna telephelyi szelvényében, kb. 9 800 m$^3$/s vízhozamcsúcsú árhullám tud csak kialakulni, mert a Budapest alatti szakasz árvízvédelmi koronaszintjein a nagyobb árhullámok átbuknak a

mentett ártéri területekre, csökkentve ezzel a hullámtéri mederben maradó víztömeg árhullámcsúcsát.

A 2120-ra valószínűen várható árvédelmi koronaszint fejlesztés esetében a telephely környezetében 12 100 $m^3/s$ csúcs-vízhozam várható, mert a Budapest alatti szakaszon a többi kilép a Duna nagyvízi mederéből. [4-4]




**4.4.2-1. ábra: A mértékadó, 100 000 évente előforduló nagyvízi 12 100 $m^3/s$ vízhozamnál számított vízszintek a Duna 1500-1530 fkm szakaszán, jelen állapotban (Q=12 100 $m^3/s$), és a jelzett helyen feltételezett töltésszakadással**

## 4.5. Alacsony vízállás

A fejezetben bemutatásra kerül az alacsony vízállás jellemzése az üzemi és biztonsági hűtővíz-ellátás tervezéséhez.

A Duna Budapest és déli országhatár közötti szakaszán lévő vízmérce állomások éves kisvízszint adatait elemezve függetlennek és homogénnek az 1965 – 2013-ig terjedő időszak tekinthető.

A paksi vízmércén (1531,3 fkm) 1965-2011 között mért évi legkisebb vízállások idősorát a TBJ II. 4.5-1. táblázat tartalmazza.

A vizsgált időtartam alatt a legalacsonyabb vízállás -58 cm = 84,80 mBf (2011. december 3-án) volt a paksi vízmércén mérve.

**4.5-1. táblázat: Az évenkénti legkisebb vízszintek idősora (KV) - Duna 1531,3 fkm, Paksi vízmérce (1965 – 2011)**

| Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] | Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1965 | 11. 7. | 86.58 | 25 | 1989 | 12. 15. | 85.49 |
| 2 | 1966 | 10. 29. | 87.22 | 26 | 1990 | 2. 14. | 85.56 |
| 3 | 1967 | 12. 6. | 86.34 | 27 | 1991 | 11. 8. | 85.20 |
| 4 | 1968 | 11. 16. | 86.78 | 28 | 1992 | 10. 2. | 85.14 |

| Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] | Sor-szám | Észlelés időpontja | | Vízszint [mBf] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1969 | 11. 8. | 85.74 | 29 | 1993 | 12. 3. | 85.69 |
| 6 | 1970 | 1. 31. | 86.37 | 30 | 1994 | 10. 27. | 85.44 |
| 7 | 1971 | 11. 12. | 85.69 | 31 | 1995 | 11. 2. | 85.66 |
| 8 | 1972 | 2. 11. | 85.65 | 32 | 1996 | 3. 15. | 85.55 |
| 9 | 1973 | 1. 20. | 85.68 | 33 | 1997 | 11. 7. | 85.43 |
| 10 | 1974 | 9. 22. | 86.66 | 34 | 1998 | 2. 13. | 85.61 |
| 11 | 1975 | 12. 28. | 86.06 | 35 | 1999 | 11. 6. | 85.68 |
| 12 | 1976 | 7. 23. | 86.03 | 36 | 2000 | 12. 29. | 85.83 |
| 13 | 1977 | 10. 28. | 86.02 | 37 | 2001 | 11. 10. | 85.76 |
| 14 | 1978 | 12. 14. | 85.84 | 38 | 2002 | 1. 22. | 85.90 |
| 15 | 1979 | 1. 27. | 86.02 | 39 | 2003 | 8. 30. | 84.89 |
| 16 | 1980 | 10. 10. | 86.36 | 40 | 2004 | 1. 1. | 85.04 |
| 17 | 1981 | 2. 6. | 86.62 | 41 | 2005 | 11. 17. | 85.16 |
| 18 | 1982 | 11. 14. | 85.80 | 42 | 2006 | 12. 31. | 85.09 |
| 19 | 1983 | 11. 25. | 85.17 | 43 | 2007 | 1. 1. | 85.09 |
| 20 | 1984 | 11. 16. | 85.60 | 44 | 2008 | 11. 14. | 85.20 |
| 21 | 1985 | 1. 5. | 85.46 | 45 | 2009 | 1. 22. | 85.29 |
| 22 | 1986 | 10. 21. | 85.25 | 46 | 2010 | 2. 19. | 85.59 |
| 23 | 1987 | 11. 13. | 85.83 | 47 | 2011 | 12. 3. | 84.80 |
| 24 | 1988 | 11. 16. | 85.75 | | | | |

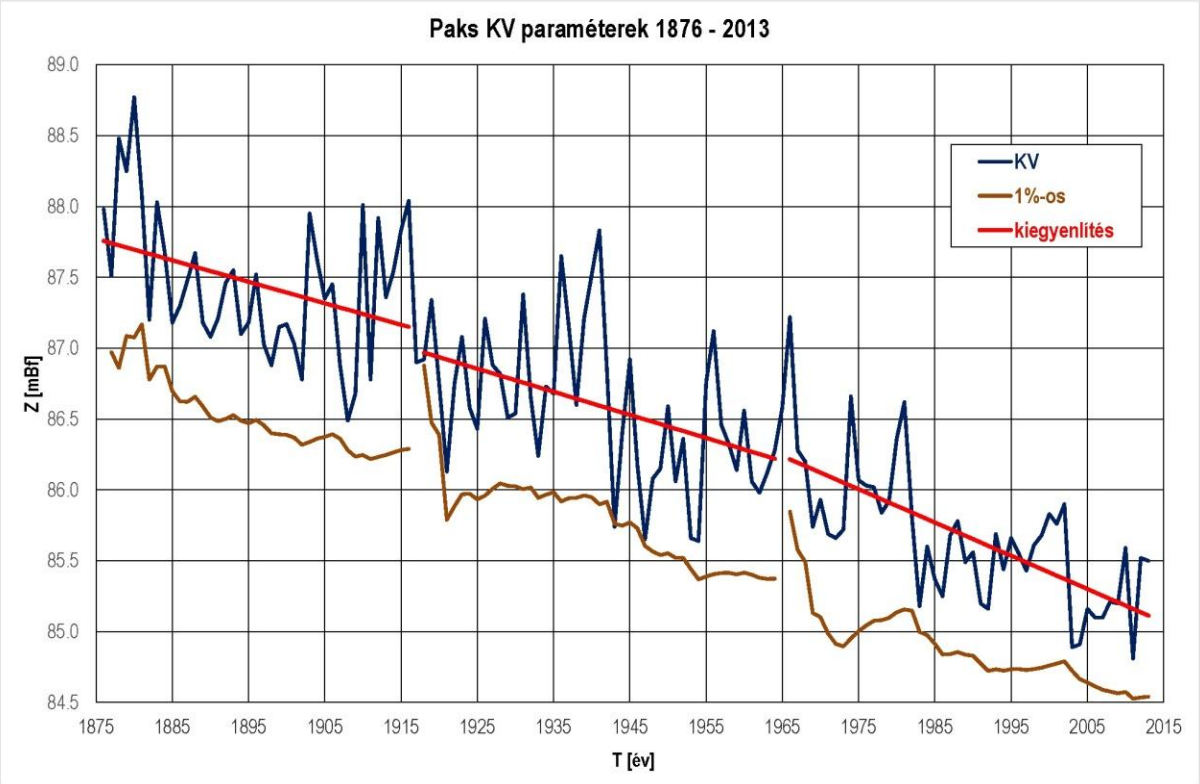
### 4.5.1. Kisvízállások statisztikai vizsgálata

Homogenitásvizsgálatnak vetették alá a Duna paksi vízmérce szelvényében (Duna 1531,3 fkm), az 1876-2013. időszak összes éves kisvízi vízszint adat idősorát. Két törést találtak 1919 és 1965 évek környezetében. Ezt figyelembe véve határozták meg szakaszonként a trendet, lineárisan kiegyenlítéssel, ahogy ezt a TBJ II. 4.5.1-1. ábra mutatja. Megjegyezendő, hogy a Duna összes hazai vízmérce szelvényében megtalálható mindkét inhomogenitás, az említett két év kis környezetében.

"A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről" szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet 3/A. melléklete ("Új atomerőművi blokkok tervezési követelményei") legalább $10^{-5}$ [1/év] ismétlődési gyakoriságnak megfelelően kell a természeti eredetű külső hatásokra, így a hűtővízellátási biztonsággal összefüggő szélsőséges kisvízi viszonyokra kell méretezni a telephelyet. A mértékadó kisvízszint meghatározása $10^{-7}$ [1/év] gyakoriság értékig történt.

A 100 000 évente visszatérő kisvízszint: 83,60 mBf a Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,3 fkm), amely a telephely szelvényében ~27 cm-rel kisebbre, azaz 83,33 mBf-re adódik.

A Paksi vízmérce szelvényben (Duna 1531,3 fkm) ezért az utolsó homogénnek tekinthető időszakra 1965-2013 évek kisvízszintjeire illesztettek Normál, Log-Pearson III (továbbiakban Log-Pearson), Gamma és Gumbel eloszlásfüggvényeket. A négyzetes eltérések alapján, és a biztonság javára a Normál eloszlás értékeit fogadták el. A jellemző gyakoriságú, Paksi vízmércénél számított Duna vízszinteket, az alábbi TBJ II. 4.5.1-1. táblázat tartalmazza.




**4.5.1-1. ábra: Duna 1531,3 fkm (paksi vízmérce) kisvízszintjeinek homogenitásvizsgálata és trendje az 1876-2013. évek időszakának éves kisvízi adatainak feldolgozásával**

**4.5.1-1. táblázat: Duna, Paksi vízmérce (1531,3 fkm) kisvízszintek jellemző gyakorisági értékei - mértékadó kisvízszint**

| **Duna Paksi vízmérce (Duna 1531,3fkm)** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 10 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-4}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KV [mBf] (1965-2013) | 84,60 | 83,87 | 84,61 | **83,86** |
| Visszatérési idő: T[év] | 20 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $5 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KV [mBf] (1965-2013) | 84,58 | 83,79 | 84,58 | **83,78** |
| **Visszatérési idő: T[év]** | **100 000 évente visszatérő** | | | |
| **Valószínűség: P [1/év]** | **$1 \times 10^{-5}$ [1/év]** | | | |
| **Vizsgált adatok: KV [mBf] (1965-2013)** | **84,54** | **83,61** | **84,53** | **83,60** |
| Visszatérési idő: T[év] | 1 000 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-6}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KV [mBf] (1965-2013) | 84,51 | 83,38 | 84,46 | **83,36** |
| Visszatérési idő: T[év] | 10 000 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-7}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KV [mBf] (1965-2013) | 84,48 | 83,16 | 84,40 | **83,14** |

### 4.5.2. Várható kisvízszintek a mederváltozás figyelembevételével

Az új blokkok üzemideje tervezetten 2085-2086-ban ér véget, azonban az elemzések során mindkét blokkra konzervatívan 2090-es évet vesz figyelembe minden számítás az üzemidő végének és az így kapott eredmények a biztonság javára térnek el. Tehát az üzemidő végére egységesen a 2090. év, míg az új blokkok üzemidő hosszabbítását is figyelembe vevő üzemidejének végére konzervatívan 2120. év szerepel az értékelésben.

A kisvízi adatsort (1965-2013) logaritmikus és lineáris trenddel kiegyenlítették és becsülték a 100 000 évente visszatérő kisvízszintet 2120-ra is.

Az éves kisvízszintek alapján a mederfenékszintre vonatkozó előrejelzés időelőnye (2014-től) - hidrológiai statisztikai megfontolások alapján -, nem nagyon haladhatja meg a bázisidőszak, homogén (1965 - 2013. évek közötti éves legkisebb vízszintekbőll álló) adatsorának hosszát. Ezért 2070-től 2120-ig, az előrebecslés megbízhatósága kérdésessé válik. Mivel azonban a figyelembe vett üzemidő 2090-ben ér véget, ezért a medermélyülés előrebecslését 2090-ig meghosszabbították. Nagyvízszintek és nagyvízhozamok viszonylatában az előrebecslést 2120-ig meghosszabbították, mert a lineáris trend fennmaradásának esélye megalapozottabbnak látszik, mint a kisvízszintek vonatkozásában.

Logaritmikus trend esetén (optimista becslés az ipari kotrások teljes leállását, hatásainak lecsengő tendenciáját figyelembe véve, valamint a meder mélyebb rétegeinek kisebb eróziós érzékenységét feltételezve) a 100 000 évente visszatérő kisvízszint értéke, a 2014-re számított 83,60 mBf-ről, 2090-re 83,26 mBf-re adódott a Duna 1531,3 fkm szelvényében. Az erőmű szelvényében ez 82,99 mBf szintű 2090-re, a csökkenés összesen -0,34 m, a csökkenés átlagos értéke 2090-ig: -0,45 cm/év.

Lineáris trend esetén (ha a jelenlegi kisvízszint csökkenés és a medermélyülés gyengítetlenül folytatódik) a 100 000 évente visszatérő kisvízszint értéke 2014-re 83,60 mBf-ra, míg 2090-re 81,95 mBf-re adódott, a Duna 1531,3 fkm szelvényében. Az erőmű szelvényében ez 81,68 mBf szintű, a csökkenés összesen -1,65 m, a csökkenés átlagos értéke 2090-ig: -2,17 cm/év.

A két (logaritmikus és lineáris kiegyenlítéses) módszerrel kapott vízszintsüllyedések átlagos értéke 1,0 m, a csökkenés átlagos értéke 2090-ig: -1,32 cm/év. Ebben az esetben a 100 000 évente visszatérő kisvízszint 2090-ben 82,60 mBf értékű a paksi vízmércénél, míg 82,33 mBf az erőmű Duna (1527 fkm) szelvényében.

A monitoring adatok szerint az atomerőmű környezetében lévő Duna mederben ~2 cm/év mértékű mélyülés tapasztalható. Megállapítható, az éves kisvízszintek hidrológiai statisztikai feldolgozása alapján, hogy az utóbbi 5 év adatai a ~2,8 cm/év-es kisvízszint süllyedési trendet méréskelték ~2,2 cm/év-re. A medermonitoring vizsgálatok és kisvízszintstatisztikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az erőmű vízkivétele térségében, a Duna kisvízi medermélyülése lineáris trend alkalmazásával, a biztonság javára elfogadható, nagyobb mértékű mélyülési trend jelenleg nem várható.

A várható medermélyülés mértéke nagymértékben függ a Duna medrének függély menti erodálhatóságától, szemösszetételétől. Mivel ez pontosan nem ismert, ezért a jelenlegi ismeretek alapján javasolható a lineáris és logaritmikus trend mederváltozási értékeinek átlagolása, megjegyezve, hogy a lineáris trend szerinti mélyülési folyamat az alapulvétele a biztonság javára van - jelenlegi ismeretek szerint.

Az új blokkok telephelyénél 2090. évben (a bővítés várható üzemideje, élettartama) az alábbi kis- és középvízszint csökkenésre lehet számítani:

- Lineáris trend meghosszabbítása esetén (2090.) 1,65 m csökkenés (-2,17 cm/év),

- Logaritmikus trend meghosszabbítása esetén (2090.) 0,34 [m] csökkenés (átlagosan: -0,45 cm/év),
- A Lineáris és Logaritmikus trend átlagértékével számolva (2090.) 1,0 m csökkenést mutat (átlagosan: -1,32 cm/év).

A 2090. évre becsült 100 000 éves kisvízszint, a Duna 1527 fkm szelvényében 82,33 mBf szintre várható, a lineáris és logaritmikus trend átlagából meghatározva, míg 2014-re 83,33 mBf adódott.

Logaritmikus trend esetében a 100 000 évente visszatérő kisvízszint előrebecslés 2090-re, 82,99 mBf vízszintet jelez a Duna 1527 fkm szelvényében.

Lineáris trend esetében a 100 000 évente visszatérő kisvízszint előrebecslés 2090-re, 81,68 mBf vízszintet jelez a Duna 1527 fkm szelvényében.

Ha az eddigi Duna medermélyülési folyamatot, a lineáris és logaritmikus trendek átlagával jellemezik 2090-ig, akkor a kisvízi Duna meder, 1,0 méterrel fog várhatóan süllyedni 2090-re, az erőmű Duna (1527 fkm) szelvényében.

A 100 000 évente visszatérő extrém kisvízhozamot 294 m³/s értékűre határozták meg.

A Duna 1527 fkm (telephely környezete) szelvényében - a hidegvízkivételi-csatorna - kitorkollásánál, a Duna szélsőséges kisvízhozamához (294 m³/s) 83,33 mBf vízszint tartozik a jelenlegi mederrel (1D hidrodinamika) számolva. Ha a 2090-re várható Duna medersüllyedés mértéke 1,0 méter, akkor a várható szélsőséges kisvízszint 82,33 mBf. [4-4]

### 4.5.3. A Duna mértékadó kisvízi vízhozamainak meghatározása

A Duna alábbi vízrajzi mérőállomásainak éves kisvízhozam adatait elemezték, a hidrológiai statisztika klasszikus eszközeivel:

- Dunaújvárosi (Duna 1580,6 fkm) vízhozam adatok: 1924 – 2013.
- Dombori (Duna 1506,8 fkm) vízhozam adatok: 1936 – 2013.
- Bajai (Duna 1478,7 fkm) vízhozam adatok: 1930 – 2013.

A Dombori és Dunaújvárosi éves kisvízhozamokat és kisvízszinteket megvizsgálva megállapítható, hogy 1965-1973 évek között a kisvízhozamok nem illeszkedtek a Q-H görbére, a kisvízszintek nagyobb vízhozamra engedtek következtetni, amelyet a Duna bajai vízmércén mért hozamai is alátámasztani látszottak. Emiatt két esetre is végrehajtották a hidrológiai statisztikai vizsgálatokat, az eredeti és a bajai vízmércénél mért vízhozamokkal korrigált adatsorokra. A kettő közül a kedvezőtlenebb kimenetelű eredményeket javasolják alapul venni.

A Duna Dunaújvárosi vízrajzi mérőállomásának éves kisvízhozamait, 1924-től, 2013-ig terjedően az alábbi TBJ II. 4.5.3-1. ábra szemlélteti (korrigált és eredeti vízhozamadatokra).

A Duna Dombori vízrajzi mérőállomásának éves kisvízhozamait, 1936-2013-ig terjedően a TBJ II. 4.5.3-2. ábra szemlélteti, korrigált és eredeti vízhozamadatokra.

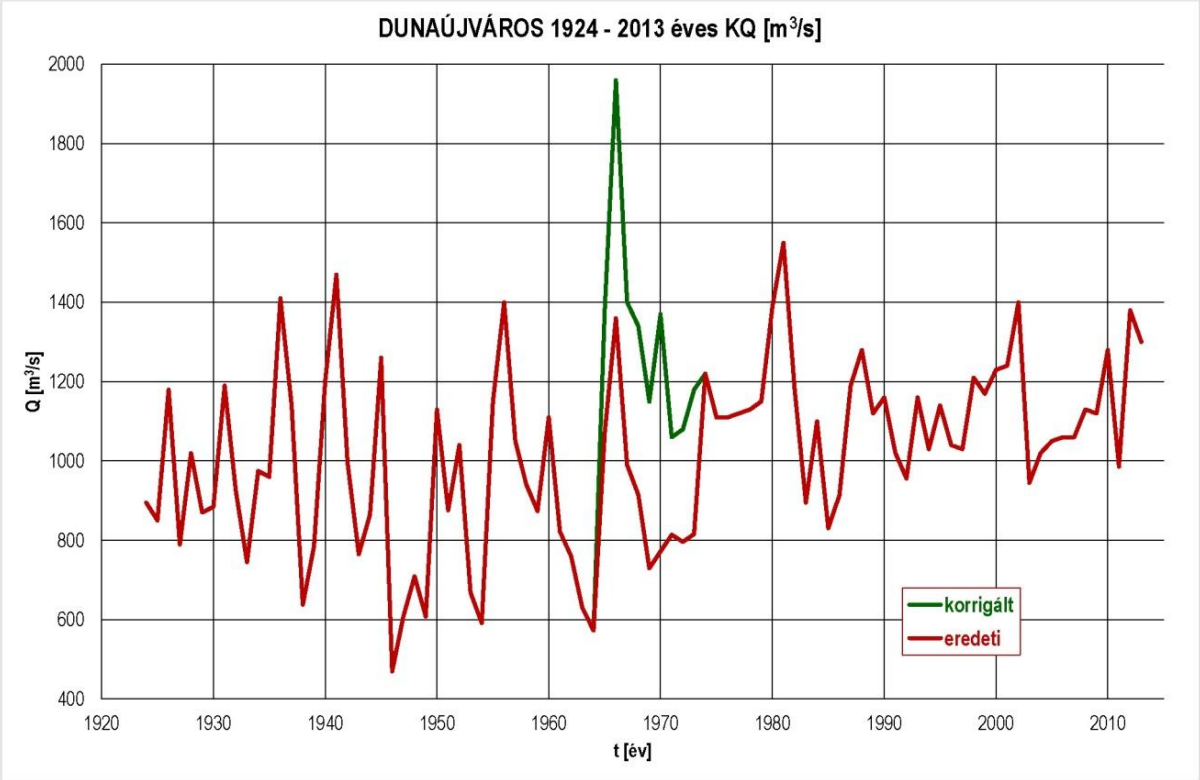
A Duna Bajai vízrajzi mérőállomásának éves kisvízhozamait, 1930-tól 2013-ig terjedően a TBJ II. 4.5.3-3. ábra szemlélteti.

A mértékadónak tekintett, szélsőséges kisvízhozamot, a 100 000 évenként visszatérő, azaz $10^{-5}$/év valószínűségi szintű eseményként, az éves kisvízhozam adatokra legjobban illeszkedő (Log-Pearson, Normál, Gamma és Gumbel) valószínűség eloszlás számításán keresztül határozták meg. Az adatsorok halmozott statisztikai jellemzőinek elemzése azt mutatta, hogy az éves kisvízhozamok 1965. évtől alkotnak csak homogén statisztikai mintát, így csak az 1965. évtől, 2013. évig terjedő adatokat elemeztük tovább.

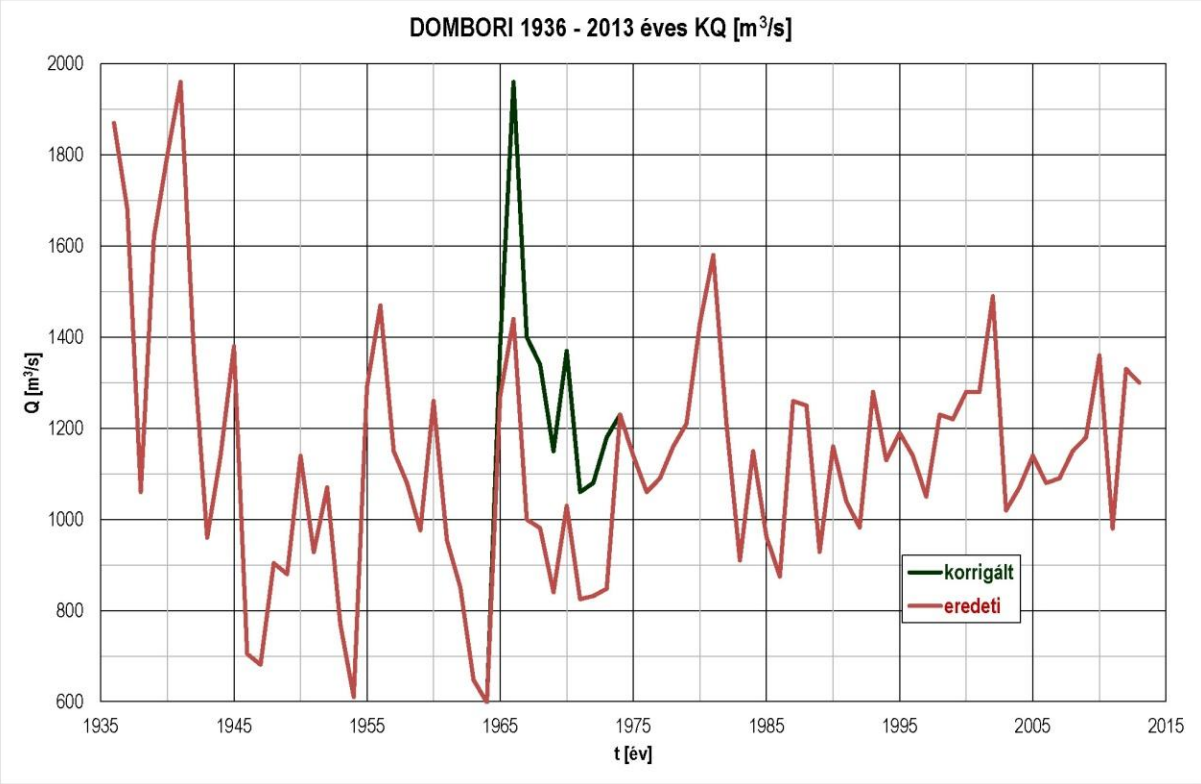
Az új blokkok telephelyére a 100 000 évente visszatérő események a mértékadóak.

A TBJ II. 4.5.3-1. táblázat összefoglalóan tartalmazza a 100 000 évente visszatérő mértékadó kisvízhozam értékeket ($Q_{KV}$, illetve KQ), a Duna Dunaújvárosi, Dombori és Bajai vízrajzi mérőállomásainak Duna szelvényére (és környezetére) vonatkoztatva, a homogénnek tekinthető 1965-2013. időszak évenkénti legkisebb vízhozamainak alapulvételével.

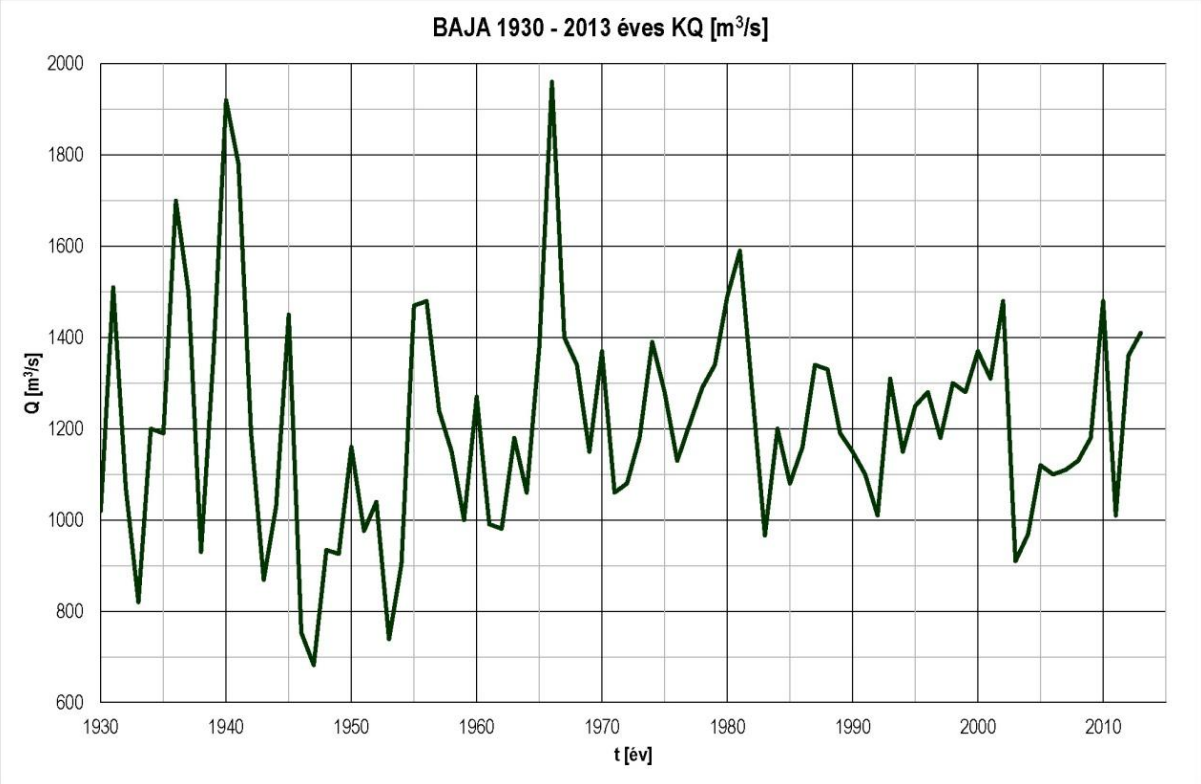
A Duna 100 000 évente visszatérő kisvízi hozamainak meghatározásánál, a négyzetes eltérés alapján, valamint a biztonság javára a Normál eloszlást fogadták el. Nincs lényeges eltérés a Dunaújváros és Dombori vízmércék 1965-1973 évek közötti korrigált kisvízhozam adataiból és az eredeti adatsorból meghatározott kisvízhozam értékek között. Ezért a biztonság javára az eredeti adatsort javasolják alapul venni.




**4.5.3-1. ábra: Duna 1580,6 fkm - Dunaújvárosi éves kisvízhozam adatok: 1924 – 2013.**




**4.5.3-2. ábra: Duna 1506,8 fkm - Dombori éves kisvízhozam adatok: 1936 – 2013.**




**4.5.3-3. ábra: Duna 1478,7 fkm - Bajai éves kisvízhozam adatok: 1930 – 2013.**

**4.5.3-1. táblázat: A hűtővízkivétel környezetében vizsgált vízrajzi mérőállomások számított mértékadó kisvízhozamai, eloszlásfüggvények illesztésével (klimatológiai változás figyelembe vétele nélkül)**

| **Dunaújváros (Duna 1580,6 fkm)** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 100 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KQ [m³/s] (1965-2013) | 443 | 496 | 678 | **339** |
| **Dunaújváros$_{KORRIGÁLT}$ (Duna 1580,6 fkm)** | | | | |
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 100 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KQ [m³/s] (1965-2013) | 810 | 532 | 726 | **366** |
| **Dombori (Duna 1506,8 fkm)** | | | | |
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 100 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KQ [m³/s] (1965-2013) | 537 | 538 | 725 | **391** |
| **Dombori$_{KORRIGÁLT}$ (Duna 1506,8 fkm)** | | | | |
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 100 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KQ [m³/s] (1965-2013) | 814 | 556 | 753 | **394** |
| **Baja (Duna 1478,7 fkm)** | | | | |
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 100 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KQ [m³/s] (1965-2013) | 796 | 615 | 816 | **467** |
| **Pozsony (Duna 1868,7 fkm)** | | | | |
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 100 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KQ [m³/s] (1965-2013) | 603 | 516 | 664 | **428** |
| **Budapest Vigadó tér (Duna 1646,5 fkm)** | | | | |
| | **Eloszlások** | | | |
| | **Log-Pearson** | **Gamma** | **Gumbel** | **Normál** |
| Visszatérési idő: T[év] | 100 000 évente visszatérő | | | |
| Valószínűség: P [1/év] | $1 \times 10^{-5}$ [1/év] | | | |
| Vizsgált adatok: KQ [m³/s] (1965-2013) | 531 | 521 | 699 | **383** |

### 4.5.4. Várható kisvízhozamok előrebecslése klimatológiai változások nélkül

A vizsgálatokat a hidrológiai statisztika eszközrendszerével végezték, a releváns vízrajzi mérőállomások máig összegyűjtött vízhozam adatainak felhasználásával, a klimatológiai viszonyok változásának figyelembe vétele nélkül.

A kisvízhozamok, vagyis az évenkénti legkisebb vízhozamok adatsora 1965-2013. időszakban tekinthető homogénnek, ezért az előrejelzés trendjét erre a bázisidőszakra határozták meg, logaritmikus kiegyenlítéssel. Az adatsorra a legkisebb négyzetek elve szerint a logaritmikus görbe két paraméterét úgy számították ki, hogy a mért pontoknak, az illesztendő görbétől való távolságának négyzetösszege minimális legyen.

Az éves kisvízhozamokat (KQ) 2014. évtől 2120. évig jelezték előre. A halmozott szórás 1965-től 2013-ig logaritmikusan, csökken 2013-ra. Az előrejelzés időszakára változó értékűre vették fel a halmozott szórást, extrapolálva a halmozott szórás logaritmikus függvényét időben 2120-ig.

A 100 000 évente visszatérő éves kisvízhozamok előrejelző görbéi a Duna dunaújvárosi szelvényéhez hasonló lefutásúak, azaz időben növekednek a Duna Domborinál (Duna 1506,8 fkm) és Bajánál (Duna 1478,7 fkm) lévő vízmércéi éves kisvízhozam adatai tekintetében.

A telephely környezetében lévő vízmérce szelvények éves kisvízhozamainak előrebecslési eredményeit a TBJ II. 4.5.4-1. táblázat foglalja össze.

Becslések szerint 2120-ra a jelenlegi, 100 000 évente visszatérő, szélsőségesen kicsi vízhozam értékek kb. 40-50 %-kal növekedhetnek.

**4.5.4-1. táblázat: A Dunai kisvízhozamok előrejelzése 2120-ig (Dunaújváros, Dombori és Baja)**

| | **$Q_{KV}$, illetve KQ** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Az előrejelzés bázisidőszaka** | **$T_0$ = 2014** | **T = 2120** | **T = 2120** | **$T_0$ = 2014** | **T = 2120** |
| | P=50% | | P=1% | P=0,001% | |
| | logaritmikus trend | | | | |
| **DUNAÚJVÁROS (Duna 1580,6 fkm)** | | | | | |
| $Q_{NV}$ (1965 - 2013) | 1 238 [m³/s] | 1 112 [m³/s] | 773 [m³/s] | **339** [m³/s] | **490** [m³/s]; 45 %-kal nő |
| **DOMBORI (Duna 1506,8 fkm)** | | | | | |
| $Q_{NV}$ (1965 - 2013) | 1 301 [m³/s] | 1 193 [m³/s] | 850 [m³/s] | **391** [m³/s] | **563** [m³/s]; 44 %-kal nő |
| **BAJA (Duna 1478,7 fkm)** | | | | | |
| $Q_{NV}$ (1965 - 2013) | 1 182 [m³/s] | 1 098 [m³/s] | 865 [m³/s] | **467** [m³/s] | **672** [m³/s]; 44 %-kal nő |

### 4.5.5. A 100 000 évente visszatérő Duna vízhozamok és vízhőmérsékletek számítása

Az extrém és valószínű klimatológiai forgatókönyvek elemzéséhez, és mértékadó nagy-vízhozam (NQ [m³/s]) és vízhőmérséklet (T [°C]) értékek elemzéséhez szintetikus adatgenerátort fejlesztettek ki.

Leválogatással előállították:

- 18 melegebb és 18 hidegebb évekből álló,
- 10 legmelegebb és 10 leghidegebb évekből álló,
- 5 legmelegebb és 5 leghidegebb évekből álló éveket.

A leválogatott adatsorokhoz rendelt dunai lefolyás értékek havi elemzésével, a jelenhez viszonyított havi átlagos lefolyás arányát kiszámították, a fenti különböző klimatikus jellegzetességű évekre.

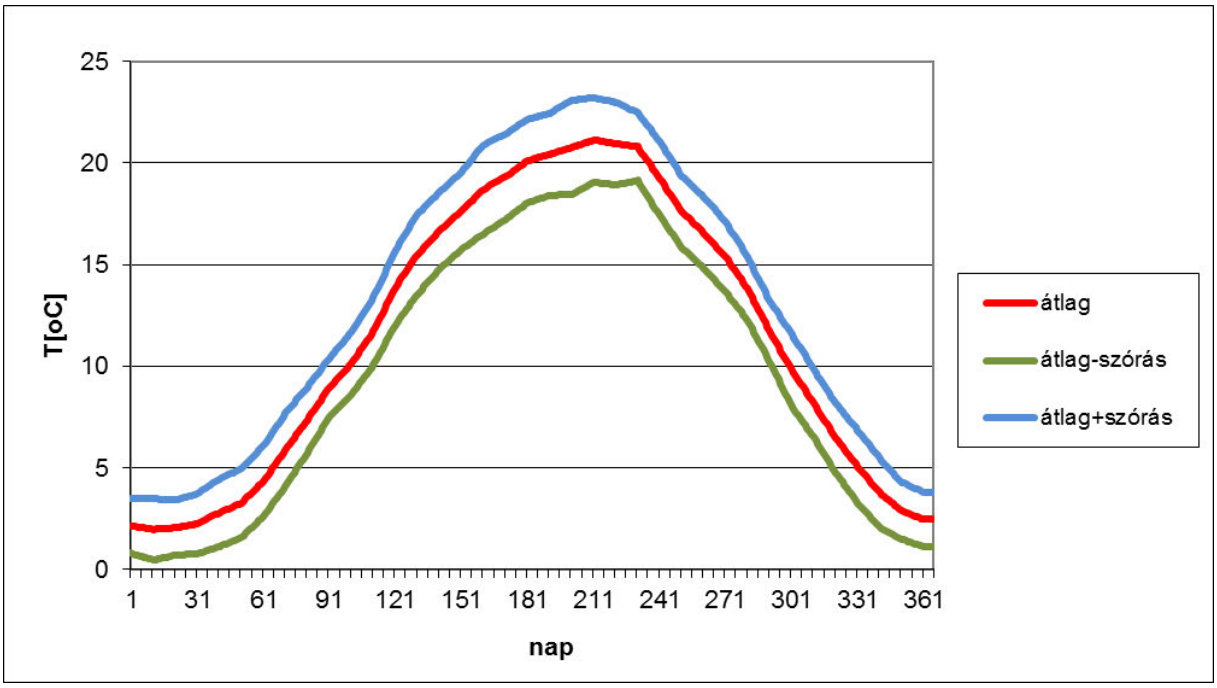
Az elemzett hidrológiai következményekkel egybevágó regionális éghajlat-modell eredményeket elemezték. Az éves átlagos vízhőmérséklet-változás alapján az 1,0, 1,5, 1,8°C/100 év (2071 - 2100 közötti 30 év átlagának növekménye a 1971 - 2000 közötti időszak átlagához viszonyítva. Ez megegyezik a Földfelszín átlagos becsült melegedési alternatíváinak hőmérsékletnövekményével, 2000-2100 évek között.) átlagos hőmérséklet-emelkedéshez legközelebb álló klimatológiai modellváltozatokat választották ki. Ezek:

- REMO - közelítően, éves átlagban 1°C emelkedést mutat (100 évre),
- RCA_BMC - közelítően, éves átlagban 1,5°C emelkedést mutat (100 évre),
- HIRHAM5_ECHAM5 - közelítően, éves átlagban 1,8°C emelkedést mutat (100 évre).

Az eredmények azt mutatják, hogy az előrejelzések éves átlagban 1-2°C-kal jeleznek magasabb vízhőfokot előre a századvégre.

A vízhőfok elemzése során a bajai vízhőfok napi átlagára és szórására kapott adatokat a TBJ II. 4.5.5-1. ábra mutatja.

Kisvizek esetében az mondható el, hogy a 100 000 éves visszatérési idejű értékek közel állnak az eddig valaha észlelt kisvízi hozamok feléhez. Itt az éghajlati hatás jóval csekélyebb, a jelen értéket 5-10%-kal módosíthatják. Kisvízhozamok esetében az egyes forgatókönyvek közötti különbségek hibahatáron belül vannak.




**4.5.5-1. ábra: A bajai vízhőfok adatok (1974-2007) napi átlaga, szórása**

### 4.5.6. Kisvízi esetek 2D modellvizsgálata

Szélsőséges dunai kisvízi esetek 2D modellvizsgálata a Duna 1500-1530 fkm szakaszán történt. A felvízi peremfeltételek (Duna 1530 fkm) vízhozamok, az alvízi peremfeltételek (Duna 1500 fkm) vízállások voltak.

Az eredmények alapján a következő megállapításokat tették:

- A partomlás hatása a legjelentősebb a vízszintekre. A hidegvíz-csatorna fölött feltételezett omlás közel 10 km-es hosszon 10 cm közeli vízszintsüllyedést idéz elő. A nagyobb vízkivétel (jövőbeni normál üzemelés) hatása kb. 8 cm-es növekvő leszívás, illetve vízszintsüllyedés. A partomlás hatása a vízkivétel növekedésével csökkenő. Az elemzett esetek a felső 10 km-es szakaszra korlátozódnak.
- Az 1515 fkm magasságában gázlósodás figyelhető meg. A gázló fontos vízszintmegtartó hatással rendelkezik - elkotrása veszélyeztetné az üzemrendet.
- A jelenlegi mederviszonyok mellett, a vizsgált forgatókönyvekben a hidegvíz-csatornába be tud folyni a Dunavíz (1527 fkm), mert annak Duna torkolati fenékszintje 81,0 mBf körüli, míg a legszélsőségesebb kisvízi esetben is a Duna vízszintje ~83,0 mBf.
- A Duna szélsőséges 294 m³/s kisvízhozama mellett a paksi telephely szelvényben, a jelenlegi mederfenékszintek esetében 83,33 mBf vízszint alakul ki. Ezt az értéket a Dunacsúnyi tározó töltése, vízvisszatartása okozta, levonuló depressziós hullámok tovább csökkenhetik a nem üzemszerű duzzasztó üzemeltetés mellett. A veszélyeztető tényezőt a TBJ II. 2.4.1. fejezete értékeli.

## 4.6. Vízi műtárgyak által okozott veszélyek

A vízi műtárgyak által okozott veszélyek a TBJ II. 2.4.1. fejezetében a „Telephelyet érintő fel és alvízi létesítmények értékelése” résznél kerül tárgyalásra.

## 4.7. Felszín alatti hidrológia

A telephely 50 km sugarú környezete rendszertani felosztás szerint két nagytáj (makrorégió), az Alföld és a Dunántúli-dombság hat középtájának (mezorégiójának) összesen tizenkilenc kistáján (mikrorégióján) helyezkedik el (TBJ II. 4.7-1. ábra).

A megyei rendezési tervek lehatárolják a kiemelten érzékeny felszín alatti vizek vízminőség-védelmi területének övezetét, amelyet a TBJ II. 4.7-2. ábra szemléltet.

A terület övezetében bányászati tevékenységet a bányászati szempontból kivett helyekre vonatkozó szabályok szerint lehet folytatni. Az övezet kiterjedése, lehatárolása a 2003-ban elfogadott OTrT-hez képest jelentősen csökkent, kevesebb települést érint. A felszín alatti vizek védelme a vizsgált területen belül különösen a Duna mentén szükséges.

Érintett települések a vizsgált területen:

Dunaegyháza, Dunaföldvár, Solt, Harta, Madocsa, Bölcske, Dunapataj, Ordas, Paks, Dunaszentgyörgy, Fadd, Gerjen, Uszód, Foktő, Bátya, Miske, Tolna, Bogyiszló, Őcsény, Szekszárd, Sükösd, Decs, Báta, Bátaszék, Bonyhád, Alsónána, Mórágy, Nagymányok, Váralja, Mecseknádasd, Erdősmecske, Feked, Véménd, Máza, Szászvár, Cikó, Mucsi, Kismányok, Hegyhátmaróc, Mekényes, Egyházaskozár, Nagyhajmás, Érsekcsanád, Baja, Szeremle, Akasztó, Csengőd, Izsák, Apostag, Dunavecse, Szalkszentmárton, Tass.

Tolna megyében az övezetbe tartozó területek (meglévő és távlati változások) elsősorban a Duna mentén, illetve a Sió, a Kapos és a Völgységi patak mentén találhatók. Ezek a víztározók

(víztestek) kellő földtani védelem hiányában érzékenyek (porózus és sekély porózus), így fokozott védelmet igényelnek.

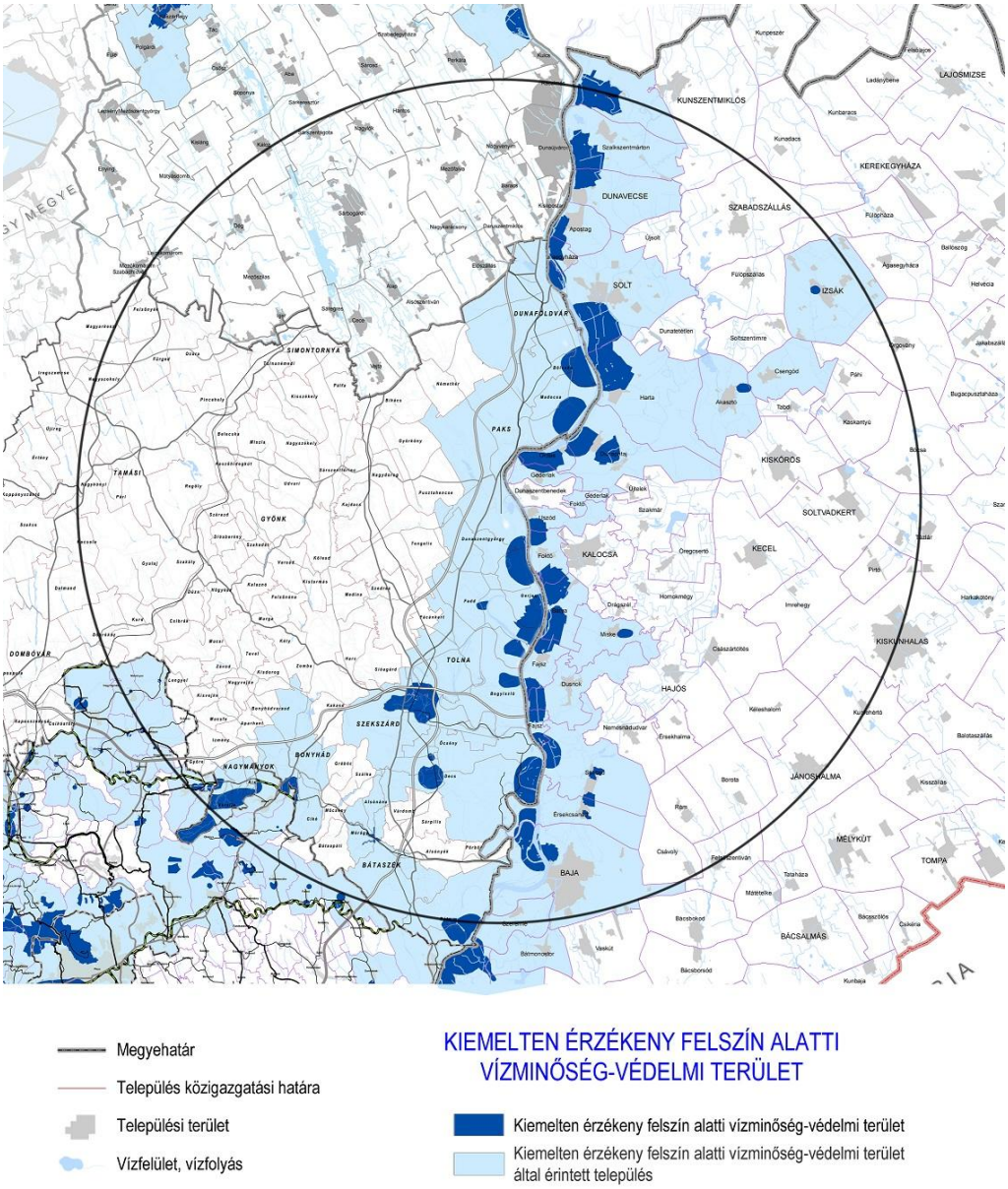
**4.7-1. ábra: Magyarország rendszertani tájai a vizsgált terület megjelölésével**

Bács-Kiskun megyében a kiemelten érzékeny felszín alatti vízminőség-védelmi területekre fokozott veszélyt jelent, hogy a felszíni szennyeződésre érzékeny, magas talajvízállású, dunai kavicsterasz területén találhatók. Emellett a fajlagos vízfogyasztás elmúlt években bekövetkezett csökkenésével a szennyvizek koncentráltabbakká válva kerülnek ki a környezetbe. Az övezetre vonatkozó szabály a bányászattal kapcsolatban fogalmaz meg korlátozásokat.

A Víz Keretirányelv alapján a felszín alatti vizek esetén a jó mennyiségi és kémiai állapot elérése és fenntartása a cél. A jó mennyiségi állapot azt jelenti, hogy a felszín alatti vízkészletek hasznosítása nem okoz tartós vízszintsüllyedést, nem okozza a felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek károsodását, a jó kémiai állapot pedig azt, hogy ha szennyezések elő is fordulnak, azok nem veszélyeztetnek ivóvízkivételt, egyéb vízhasználatokat, illetve felszín alatti vizektől függő vízfolyásokat és szárazföldi ökoszisztémákat.

Az OTrT 2013-as felülvizsgálatának módosítási javaslata tartalmazza az Országos vízminőség védelmi terület övezetének módosítását. A megyei rendezési tervekkel összevetve kitűnik, hogy a vizsgált területen belül változások várhatók ebben az övezetben. A változások esetleges hatásait a tervezés során értékelni kell és szükség esetén azok alapján kell meghatározni a tervezési, műszaki és adminisztratív telephelyvédelmi intézkedéseket.

A telephely hidrogeológiai viszonyainak részletes ismertetését a TBJ II. 5. fejezete tartalmazza.




**4.7-2. ábra: Kiemelten érzékeny felszín alatti vízminőség-védelmi területek**

## 4.8. A hidrológiai viszonyok hatása a végső hőelnyelőre

A rendelkezésre álló információk alapján elsődleges végső hőelnyelőként a Duna, másodlagos végső hőelnyelőként, mesterséges huzatú hűtőcellákon vagy szóróhűtő medencéken keresztül a környezeti levegő vehető figyelembe. Ebből következően a hidrológiai viszonyok hatása kizárólag a Dunára, mint elsődleges végső hőelnyelőre értelmezhető.

### 4.8.1. Hűtővíz biztosítása

Számos szakterület foglalkozott olyan veszélyeztető tényezőkkel, amelyek a hidrológiai viszonyokon keresztül fejtik ki hatásukat a végső hőelnyelőre, befolyásolva annak funkcióellátását. Ezek az alábbiak:

- A jegesedésből, partfalomlásból és alacsony vízállásból adódó hidrológiai veszélyeztetéssel és eseményekkel a jelen dokumentum vonatkozó fejezetei foglalkoznak. (TBJ II. 4.3., 4.4. és 4.5. fejezetek)
- Az emberi tevékenységből eredő külső veszélyek közül a biológiai eredetű veszélyek vonatkozásában kerültek bemutatásra azok a veszélyeztető tényezők, amelyek az új blokkok telephelyét a hidegvíz-csatornán keresztül veszélyeztetik (helyi vagy távoli populáció révén) és hatásuk a tartós hűtés friss vízutánpótlásának biztosításán keresztül jelentkezhet (vízkivétel ellehetetlenülés). Ennek keretében az emberi tevékenység során a folyóba kerülő toxikus anyagok másodlagos, közvetett hatását kell értékelni, amely különböző vízi szervezetek (elsősorban halak és kagylók) tömeges, hirtelen bekövetkező pusztulásában nyilvánulhat meg. Elemezni kell továbbá a konkrétan nem emberi tevékenység által kiváltott eseményt, mint a távolban elszaporodott vízinövények nagy felszínű növény tömegként történő megjelenését, mely veszélyeztető tényező hatásmechanizmusának azonossága indokolja a tárgyi szakterületen belüli értékelést. (TBJ II. 7. fejezet)

A klímaváltozás várható hatásainak vizsgálatakor elemzésre került a dunai vízhőfok becsült változása. A dunai vízhőfok – közeli - léghőfokból történő, pontos becslésének ténye abból következhet, hogy a viszonylag lassú folyású Duna, az Alföld peremvidékén relatíve hasonló (korrelált) hőmérsékletű térségeken át jut Paks térségébe, és valószínűleg termikusan kvázi egyensúlyban van a környezetével – azaz a paksi Duna víz hőmérsékletére a felsőbb szakasz klimatikus viszonyai már nem hatnak jelentősen. Az Aladin és REMO modellek által 2070-2100 évekre előrejelzett léghőfok értékekből számították a vízhőfok növekményeket az 1970-2000 évek mért havi átlagainak felhasználásával.

A Duna felvízi szakaszán bekövetkező partfalomlásoknak és partfalcsuszamlásoknak a vízszintváltozásokon kívül lehet olyan hatása, amely során potenciálisan eltömődést okozó szemcsés anyagok kerülhetnek a Dunába, illetve a hidegvíz-csatornába és a vízkivételi műbe. Ilyen esetben kockázatot mérséklő körülményt jelent, hogy a lösz döntő hányada a mederfenékre süllyed, ami a vízzel történő továbbhaladást gátolja vagy lassítja.

A veszélyeztető tényező nem zárható ki távolsági vagy valószínűségi alapon, ezért a tervezés során további vizsgálatokat kell végezni a szükséges tervezési, műszaki és adminisztratív telephelyvédelmi intézkedések meghatározása céljából. A veszélyeztető tényező tekintetében megállapítható, hogy az, az iparágban bevált megoldásokkal kezelhető.

### 4.8.2. Hűtővíz visszavezetése

A felszíni vizek hőterhelés elleni védelme érdekében a 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet 10. §. (1 bekezdés) szerint 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. 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.

A tervezés során figyelembe kell venni azt az időszakot, amikor a PAE 1-4 blokk és az új blokkok együttes üzeméhez kell a hűtővizet biztosítani.

## 4.9. Terjedés a hidrogeológiai környezetben

A hidrogeológiai környezetben történő terjedés a TBJ II. 5. fejezetében kerül tárgyalásra.

## 4.10. A hidrológiai jellemzők változékonysága, javaslat a monitorozásra

A meglévő monitoring rendszer (vízrajzi mérőállomások) a hidrológiai környezet jellemzéséhez szükséges adatok szolgáltatására alkalmas. Nem kerültek azonosításra olyan jellemzők, amelyek további monitoring tevékenységet igényelnek.

A Duna meder monitoringját 2011. évig a VITUKI Nonprofit Kft. végezte. 2012. évben a MICRO MAP Bt. végezte a felmérést és értékelést, majd 2013. évtől az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság folytatja a tevékenységet. A mederméréseket a Duna 1512 - 1537,5 fkm szelvények közötti szakaszon végzik, 100 méterenkénti keresztszelvényezéssel. A monitoring eredmények szerint az az új blokkoki telephelyének környezetében lévő Duna mederben ~2 cm/év mértékű mélyülés tapasztalható. Megállapítható, az éves kisvízszintek hidrológiai statisztikai feldolgozása alapján, hogy az utóbbi 5 év adatai a ~2,8 cm/év-es kisvízszint süllyedési trendet méréskelték ~2,2 cm/év-re. A medermonitoring-vizsgálatok és kisvízszint-statisztikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a telephely vízkivétele térségében, a Duna kisvízi medermélyülése lineáris trend alkalmazásával, a biztonság javára elfogadható, nagyobb mértékű mélyülési trend jelenleg nem várható.

Az árvízi események előrejelzése jelenleg megoldott, a vízszint, vízhozam előrejelzést telephely 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.

A partfalomlások, partfalcsuszamlások történeti adatainak feldolgozása megtörtént. Mivel a legtöbb veszélyes Duna szakaszt folyamatosan monitorozzák, illetve számos helyen jelenleg is partvédelmi munkák folynak, ezért a paksi szakaszon érzékelhető vízhozam-csökkenést és mederelzáródást okozó csuszamlás esélye rendkívül csekély, szélsőséges kisvízi helyzetben gyakorlatilag kizárható. Ugyanis még szélsőséges körülmények között sem várható a Duna kisvízi medrének a modellezettnél jelentősebb mértékű elzáródása.

## 4.11. A tervezés során és a biztonsági elemzésekben figyelembe veendő hidrológiai jellemzők

<u>Főbb paraméterek</u>

Úgy a jégjelenséggel befolyásolt nagyvízszintek, úgy a jégmentes nagyvízállások esetében a mért éves nagyvízi vízszintadatokra elvégzett eloszlásfüggvény illesztések során fizikailag értelmezhetetlen értéket kaptak. Éppen ezért a vízszint meghatározását a vízhozam alapján volt ajánlott meghatározni.

Maximális árvíznek a budapesti szelvényben számított 100 000 évente visszatérő vízhozamot használva peremfeltételként, Paksnál 96,18 mBf vízszint adódik, 12 100 $m^3/s$ paksi vízhozam mellett, figyelembe véve a töltés-koronaszintek jövőbeli fejlesztését és a prognosztizált klimatológiai hatásokat.

Összességében megállapítható, hogy minden változatban a vízszintek 96,18 mBf alatt alakulnak az erőmű szelvényében, ami azt jelenti, hogy jobb parti töltésszakadás az erőmű magasságában nem fenyeget elöntéssel.

A modellvizsgálatok során töltésszakadással nem számoltak, de ilyen árhullám levonulása esetén nagy valószínűséggel bekövetkezik (akár több helyszínen is), ami csökkenteni fogja a telephely környezetében kialakuló vízszinteket, így a 96,18 mBf tetőzési szint nagy valószínűséggel nem fog kialakulni.

A Duna Paks feletti szakasza árvízvédelmi töltés-koronaszintjeinek jövőbeli fejlesztése nélkül a Duna erőműi szelvényében, kb. 9 800 $m^3/s$ vízhozamcsúcsú árhullám tud csak kialakulni, mert a Budapest alatti szakasz árvízvédelmi koronaszintjein a nagyobb árhullámok átbuknak a mentett ártéri területekre, csökkentve ezzel a hullámtéri mederben maradó víztömeg árhullám csúcsát.

A 100 000 évente visszatérő minimális vízhozamhoz (294 $m^3/s$) tartozó kisvízszint 83,33 mBf a telephely szelvényében (1527 fkm). A 2090-re várható Duna medersüllyedés mértékét figyelembe véve a várható szélsőséges kisvízszint 82,33 mBf.

A felszíni vizek hőterhelés elleni védelme érdekében a 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet 10. §. (1 bekezdés) szerint 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. 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.

A tervezés során figyelembe kell venni azt az időszakot, amikor a PAE 1-4 blokk és az új blokkok együttes üzeméhez kell a hűtővizet biztosítani.

Jégtorlasz, jégdugó kialakulása

A jégdugók következményeként fellépő vízkivétel ellehetetlenítő kockázat kizárására telephelyvédelmi intézkedésként a jégtorlasz monitoring és elhárítás figyelembe vételre került.

Eltömődést okozó szemcsés anyagok

A Duna felvízi szakaszán bekövetkező partfalomlásoknak és partfalcsuszamlásoknak a vízszintváltozásokon kívül lehet olyan hatása, amely során potenciálisan eltömődést okozó szemcsés anyagok kerülhetnek a Dunába, illetve a hidegvíz-csatornába és a vízkivételi műbe. Ilyen esetben kockázatot mérséklő körülményt jelent, hogy a lösz döntő hányada a mederfenékre süllyed, ami a vízzel történő továbbhaladást gátolja vagy lassítja.

Partfalomlások és partfalcsuszamlások következtében a Duna vizébe kerülő lösz 8312 $g/m^3$ maximális koncentrációban jelenhet meg a hidegvíz-csatornában.

A veszélyeztető tényező nem zárható ki távolsági vagy valószínűségi alapon, ezért a tervezés során további vizsgálatokat kell végezni a szükséges tervezési, műszaki és adminisztratív telephelyvédelmi intézkedések meghatározása céljából. A veszélyeztető tényező tekintetében megállapítható, hogy az, az iparágban bevált megoldásokkal kezelhető.

Villámárvizek

Az elemzések azt mutatják, hogy a villámárvizek a telephely jelentős területein okozhatnak elöntéseket. A számított mélységek alapján a 60 perces tartósságú 1 000 000 éves visszatérési idejű csapadék okozza a legnagyobb kiterjedésű és mélységű vízborítást. Ennek hatását a tervezés során vizsgálni kell, az eredményként kapott és mellékelt számítási térképek és az épületszerkezeti ismeretek alapján.

Dunában lévő oldott anyagok

A vizsgálatok permanens állapotot feltételezve meghatározták 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 [4-1].

# Hivatkozott dokumentumok:

[4-1] A környezeti hatástanulmány összeállítását megalapozó szakterületi vizsgálati és értékelési programok kidolgozása és végrehajtása, Zárójelentés, ERBE dokumentum azonosító: S 11 122 0 009 v0 25, MVM ERBE Zrt., 2013.

[4-2] Paks II - Környezetvédelmi és telephely engedélyeztetését megalapozó kiegészítő szakterületi vizsgálatok, Zárójelentés, Azonosító: 13A380122000 25 14 002 v1, MVM ERBE Zrt., 2014. május

[4-3] Fel- és alvízi létesítmények sérülés veszélyének vizsgálata és értékelése, Összefoglaló értékelő dokumentáció, Dokumentumazonosító: 13A380042060-22-15-001, MVM ERBE ENERGETIKA Mérnökiroda Zrt., 2015. szeptember

[4-4] Nem földtani jellegű természeti eredetű veszélyeztető tényezők meghatározása, Hidrológia, Dokumentumazonosító: 13A380042038v3, MVM ERBE ENERGETIKA Mérnökiroda Zrt., 2016.09.26.

[4-5] Összefoglaló értékelő dokumentáció, Duna vizébe kerülő szennyeződések következményeinek vizsgálata és értékelése; 13A380042047-35 22 16 002 R1; MVM ERBE Zrt., 2016.10.04.