

MAGYAR VILLAMOS MŰVEK Zrt.

A PAKSI ATOMERŐMŰ Zrt.

területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek vizsgálata,

Döntés előkészítő tanulmány

II. kötet

FRISSVÍZ HŰTÉS

Rev.0

Megrendelő:	MVM Zrt.
Végfelhasználó:	PAKSI ATOMERŐMŰ Zrt.
Léval projekt azonosító	530400A00222 DAR
Generálazonosító:	000000A00200 ERBE
Tervazonosító:	PA 00 0 JNG XS 0002 EGI
Készítette:	MÉLYÉPTERV KOMPLEX Zrt.
Munkaszám:	6/6335
Dátum:	Budapest, 2011. 05.04

A PAKSI ATOMERŐMŰ Zrt.
területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek vizsgálata,

Döntés előkészítő tanulmány
II. kötet

FRISSVÍZ HŰTÉS

MÓDOSÍTÁSOK NYILVÁNTARTÁSA

Név	Kring Botond Kovácsné Miklós	Czakó György	Alleram László	Hertelendy Miklós		
Dátum	2011.05.04	2011.05.04	2011.05.04	2011.05.04		
Aláírás					0	új kiadás 2011.04.20.-i zsűri módosításokkal
	Készítették	Ellenőrizte	Vezető tervező	Létesítmény felelős	Rev.	Módosított dok./oldalak

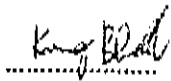
TERVEZŐI NYILATKOZAT

A tanulmánykötet készítői az atomerőművek létesítésénél kötelező hatósági előírásokat, amelyeket a magyar szabványok, rendeletek és hatósági előírások, szabályzatok rögzítenek, maradéktalanul betartották. Figyelembe vették az NBSZ előírásait, 89/2005. (V. 5.) Kormány Rendelet, valamint az OAH NBI által kiadott műszaki irányelvekben megfogalmazott követelményeket. Az alkalmazott előírások:

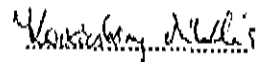
Nukleáris Biztonsági Szabályzat 1. – 4. sz. kötet
BIZT Biztonsági szabályzat
MVSZ Munkavédelmi szabályzat
TVSZ Tűzvédelmi szabályzat
FEL 005 Szállítók nukleáris biztonság szempontú minősítése
IOP 004 Nem-megfelelőségek kezelése
TKO 303 Műszaki változás előkészítése, tervezése, megvalósítása, lezárása
Az MVM ERBE Zrt. által készített 000097G00044 EBA számú „Tervdokumentációk tartalmi és formai követelményei, Gépészet”

Budapest, 2011.május 04.

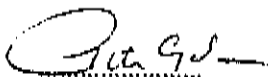
Szakági tervező:


Kring Botond

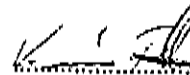
Szakági tervező:


Kovács Miklós

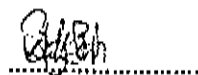
Szakági tervező:


Péter Gábor

Szakági tervező:


Kovács Péter

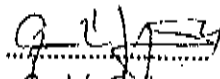
Szakági tervező:


Bodányi Balázs

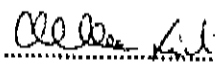
Szakági tervező:


Rokob Ágnes

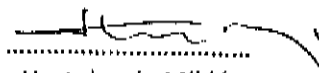
Ellenőr:


Czákó György

Vezető tervező:


Alleram László

Létesítmény felelős:


Hertelendy Miklós

Rövidítések jegyzéke

VGT	Vízgyűjtő –gazdálkodási Terv
KöM	Környezetvédelmi Minisztérium
KvVm	Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium
WMO	World Meteorological Organization (Világ Meteorológiai Szervezete)
UNEP	United Nations Environment Programme (ENSZ környezet védelmi programja)

**A PAKSI ATOMERŐMŰ Zrt.
területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek vizsgálata,**

Döntés előkészítő tanulmány
II. kötet
FRISSVÍZ HŰTÉS

A DOKUMENTÁCIÓ KÖTETEINEK JEGYZÉKE

Kötet száma	Címe	Készítette	GEA EGI Zrt. tervazonosító	Generálazonosító
I.	Döntés előkészítő tanulmány I. kötet (Tanulmány főkötet)	GEA EGI Zrt.	PA 00 0 JNG XS 0001	000000A00200 EGA
II.	Döntés előkészítő tanulmány II. kötet (Frissvíz hűtés)	MÉLYÉPTERV KOMPLEX Zrt.	PA 00 0 JNG XS 0002	000000A00200 EGA
III.	Döntés előkészítő tanulmány III. kötet (Környezetvédelem)	POYRY-ERŐTERV Zrt.	PA 00 0 JNG XS 0003	000000A00200 EGA
IV.	1. kivonat, Összehasonlító elemzés a felsővezetői döntés előkészítéséhez	GEA EGI Zrt.	PA 00 0 JNG XS 0004	000000A00200 EGA
V.	2. kivonat, Összefoglaló a Lévai Projekt 1. munkacsoport számára, a finanszírozáshoz	GEA EGI Zrt.	PA 00 0 JNG XS 0005	000000A00200 EGA
VI.	3. kivonat, Összefoglaló a Lévai Projekt 2. munkacsoport számára, a műszaki feltételekről	GEA EGI Zrt.	PA 00 0 JNG XS 0006	000000A00200 EGA
VII.	4. kivonat, Összefoglaló a Lévai Projekt 4. munkacsoport számára, a környezeti hatásokról	POYRY-ERŐTERV Zrt.	PA 00 0 JNG XS 0007	000000A00200 EGA

A PAKSI ATOMERŐMŰ Zrt.
területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek vizsgálata,

Döntés előkészítő tanulmány
II. kötet

FRISSVÍZ HŰTÉS

A KÖTET FEJEZETEINEK JEGYZÉKE

Fejezet száma	Címe	Készítette	Tervazonosító	Generálazonosító
1.	Frissvíz hűtés összefoglalása	Hertelendy Miklós Alleram László	1003-1406	000000A00200EGA
2.	Frissvíz hűtési változatok előkészítő vizsgálata, megoldási javaslat két blokk nagyság esetén	Hertelendy Miklós	1003-1406	000000A00200EGA
3.	Frissvíz hűtés technológiájának részletes bemutatása (két blokk nagyság esetén)	Alleram László Kovács házy Miklós Kring Botond	1003-1406	000000A00200EGA
4.	Nedves lég hűtő rendszer pótvíz ellátása	Alleram László	1003-1406	000000A00200EGA
5.	Környezeti kapcsolódás, környezetvédelem	Alleram László	1003-1406	000000A00200EGA
6.	Beruházási és üzemeltetési költségek	Alleram László Kring Botond	1003-1406	000000A00200EGA
7.	VITUKI vizsgálat	VITUKI Szél Sándor	1003-1406	000000A00200EGA
8.	Kétlépcsős frissvízhűtés utó hűtővel, többpontos bevezetéssel	Alleram László Hertelendy Miklós	1003-1406	000000A00200EGA
9.	Megvalósítási ütemterv	Kovács házy Miklós	1003-1406	000000A00200EGA
10.	Gépészeti főberendezések	Kring Botond	1003-1406	000000A00200EGA
11.	Lehetséges szállítók	Hertelendy Miklós	1003-1406	000000A00200EGA
12.	Üzemeltetési stratégia	Alleram László	1003-1406	000000A00200EGA
13.	Építési engedély	Alleram László	1003-1406	000000A00200EGA
14.	Minőség bizt. terv	Horváthné Margit	1003-1406	000000A00200EGA
15.	Blokk típusok adaptációja	Kring Botond	1003-1406	000000A00200EGA

TARTALOMJEGYZÉK

1.1	FRISSVÍZ HÜTÉS ÖSSZEFOGLALÁSA	11
1.2	JELENLÉGI ÜZEMELŐ ATOMERŐMŰ HÜTŐVÍZELLÁTÁSA.....	11
1.2.1	Kondenzátorok hűtővízellátása:	12
1.2.2	Biztonsági hűtővízrendszer:.....	12
1.2.3	Technológiai hűtővízrendszer:.....	12
1.2.4	Tűzoltó vízellátó, ipari- és lacsoló rendszer:	12
1.3	KONDENZÁTOR HÜTŐVÍZRENDSZER.....	13
1.3.1	Dunai torkolat, uszadék fogó	14
1.3.2	Hidegvíz csatorna	14
1.3.3	Vízkivételi mű I és II.	14
1.3.4	Hidegvíz nyomóvezetékek	15
1.3.5	A kondenzátorok csatlakozó vezetékei 1-2, 3-4- blokkokhoz	15
1.3.6	Melegvíz kivezetés.....	15
1.3.7	Vasbeton melegvíz csatorna 1-2 és 3-4.....	15
1.3.8	Szinttartó bukó.....	16
1.3.9	Külső melegvíz csatorna	16
1.3.10	Energiatörő műtárgy, tervezett rekuperáció	16
	A melegvíz csatorna végén egy energiatörő műtárgy van. ezen keresztül jut be a használt víz a Dunába..	16
1.4	TECHNOLÓGIAI HÜTŐVÍZRENDSZER (ALRENDSZER)	16
1.5	BIZTONSÁGI HÜTŐVÍZRENDSZER.....	17
2	FRISSVÍZ HÜTÉSES VÁLTOZATOK ELŐKÉSZÍTŐ VIZSGÁLATA, MEGOLDÁSI JAVASLAT KÉT BLOKKNAGYSÁG ESETÉN	20
2.1	KIEGÉSZÍTŐ HÜTÉS SZÜKSÉGSÉGÉNEK VIZSGÁLATA.....	23
3	FRISSVÍZ HÜTÉS TECHNOLÓGIÁJÁNAK RÉSZLETES BEMUTATÁSA.....	36
3.1	ÖBLÖZETI VÍZKIVÉTELEL KIALAKÍTOTT HÜTŐVÍZRENDSZER	36
3.1.1	Kondenzátor hűtővízrendszer	36
3.1.2	Dunai torkolat, uszadék fogó	36
3.1.3	Hidegvíz csatorna	37
3.1.4	Vízkivételi mű	37
3.1.5	Hidegvíz nyomóvezetékek	39
3.1.6	Kondenzátorok csatlakozó vezetékei.....	40
3.1.7	Melegvíz kivezetés.....	40
3.1.8	Szinttartó bukó.....	40
3.1.9	Külső melegvíz csatorna	41
3.1.10	Energiatörő műtárgy, rekuperáció.....	41
3.1.11	Műtárgyak szerkezeti kialakítása	42
3.2	DUNA PARTI VÍZKIVÉTELEL KIALAKÍTOTT HÜTŐVÍZ RENDSZER	42
3.2.1	Kondenzátor hűtővízrendszer	42
3.2.2	Vízkivételi mű	43
3.2.3	Hidegvízcsatorna	44
3.2.4	Nyitott szűrőház	44
3.2.5	Hidegvíz vasbeton csatorna	45
3.2.6	Kondenzátor hűtővíz szivattyúház.....	45
3.2.7	Kondenzátor körüli csővezetékek	45
3.2.8	Vasbeton melegvíz csatorna	46
3.2.9	Szinttartó bukó.....	46
3.2.10	Külső melegvíz csatorna.....	46
3.2.11	Energiatörő műtárgy, rekuperáció.....	47
3.2.12	Műtárgyak szerkezeti kialakítása	47
3.3	FRISSVÍZHÜTÉS VÁLTOZATOK ÉRTÉKELÉSE	48
3.4	ÖBLÖZETI VÍZKIVÉTELEL KIALAKÍTOTT HÜTŐVÍZRENDSZER HÜTŐTORNYOS KIEGÉSZÍTŐ HÜTÉSSSEL	49

3.5	DUNA-PARTI VÍZKIVÉTELEL KIALAKÍTOTT HŰTŐVÍZ RENDSZER HŰTŐTORNYOS KIEGÉSZÍTŐ HŰTÉSSEL.....	50
3.6	ÖBLÖZETI VÍZKIVÉTELEL KIALAKÍTOTT HŰTŐVÍZ RENDSZER SODORVONALI MELEGVÍZBEVEZETÉSSSEL	50
3.7	DUNA-PARTI VÍZKIVÉTELEL KIALAKÍTOTT HŰTŐVÍZ RENDSZER SODORVONALI MELEGVÍZBEVEZETÉSSSEL.....	50
4	NEDVES LÉGHŰTŐ RENDSZER PÓTVÍZELLÁTÁSA.....	51
5	KÖRNYEZETI KAPCSOLÓDÁS, KÖRNYEZETVÉDELME	51
6	BERUHÁZÁSI ÉS ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉGEK.....	52
6.1	FRISSVÍZHŰTÉS	52
6.2	KIEGÉSZÍTŐ HŰTÉS HŰTŐTORONNYAL(KONDEZÁTORI HŰTŐKÖR KÖLTSÉGE NÉLKÜL).....	56
6.3	SODORVONALI BEVEZETÉS(KONDEZÁTORI HŰTŐKÖR KÖLTSÉGE NÉLKÜL).....	56
6.4	NEDVES LÉGHŰTÉS PÓTVÍZELLÁTÁS.....	56
7	VITUKI VIZSGÁLAT.....	57
7.1	TERVEZETT BŐVÍTÉS VÍZMINŐSÉGI HATÁSAINAK ELŐZETES VIZSGÁLATA	58
7.2	A PAKSI ATOMERŐMŰ ÁLLAPOTÉRTÉKELÉSÉVEL KAPCSOLATOS KORÁBBI VÍZKÉMIAI, VÍZBIOLÓGIAI VIZSGÁLATOK ÖSSZEFOGLALÁSA.....	58
7.2.1	A telephely tágabb környezetében lévő Duna-szakasz általános jellemzése	58
7.2.2	A Duna vízminősége	59
7.3	A PAKSI ATOMERŐMŰ ÁLLAPOTÉRTÉKELÉSÉVEL KAPCSOLATOS KORÁBBI HIDROLÓGIAI VIZSGÁLATOK ÖSSZEFOGLALÁSA.....	68
7.3.1	Fitoplankton	68
7.3.2	Zooplankton	69
7.3.3	Vízi makroszkópikus gerinctelenek.....	69
7.3.4	Halak	70
7.4	A HŐMÉRSÉKLETI KORLÁTOZÓ FÜLTÉTELEKKEL KAPCSOLATOS MEGFONTOLÁSOK	71
7.5	TOVÁBBI KUTATÁSOKRA VONATKOZÓ JAVASLAT	72
7.6	JAVASLAT KIDOLGOZÁSA A BŐVÍTÉS MELLÉTTI HŐTERHELÉS OPTIMÁLIS SZETOSZTÁSÁRA, A TERHELTETŐSÉGI KAPACITÁSOK HŰTŐTORONY NÉLKÜLI MEGOSZTÁSÁVAL	74
7.7	A PAKSI ATOMERŐMŰ JELENLEGI ÉS A BŐVÍTÉS UTÁNI ÜZEMI HŐTERHELÉSI HATÁSAINAK VIZSGÁLATA 2D ÁRAMLÁSI ÉS ELKEVEREDÉSI MODELL ALKALMAZÁSÁVAL.....	74
7.7.1	A vizsgálat módszertana, fejlesztett elkeveredési modellek ismertetése.....	74
7.7.2	A hidrodinamikai modell bemutatása	75
7.7.3	A fejlesztett 2D numerikus hőtranszport modell bemutatása.....	85
7.7.4	A fejlesztett VITUKI 2D numerikus hőtranszport eredmények bemutatása	90
7.7.5	Az alkalmazott analitikus elkeveredési modell ismertetése	97
7.8	A DUNA TERHELTETŐSÉGE: A JELENLEGI ÉS A BECSÜLTETŐ KLIMAVÁLTOZÁS HATÁSÁRA.....	102
7.8.1	Duna víz hőmérsékleteinek és kisvízhozamainak egybeesés vizsgálata.....	102
7.8.2	A meglévő, Duna jobbparti melegvíz bevezetés, hőmérsékleti korlát sértése nélküli kapacitásának vizsgálata.....	105
7.9	MEDERBELI BEVEZETÉSI LEHETŐSÉGEK VIZSGÁLATA.....	106
7.9.1	Egy új mederbeli bevezetési hely alkalmazhatóságának lehetőségvizsgálata.....	106
7.9.2	Két új mederbeli bevezetési hely vizsgálata	114
7.10	PARTI VÍZRENDSZEREK KAPACITÁSVIZSGÁLATA.....	118
7.11	A TERVEZETT BŐVÍTÉS HŐTERHELÉSE, ADDITÍV ESZKÖZÖKKEL TÖRTÉNŐ HATÁSCSÖKKENTÉSE LEHETŐSÉGEINEK ELŐZETES VIZSGÁLATA.....	122
7.12	IRODALOMJEGYZÉK	122
8	KÉTLÉPCSŐS FRISSVÍZHŰTÉS UTÓHŰTŐVEL, TÖBBPONTOS BEVEZETÉSSSEL	124
8.1	ELŐZMÉNYEK	125
8.2	KLIMATIKUS VISZONYOK, TERVEZÉSI ALAPADATOK, JOGSZABÁLYOK.....	125
8.3	ÜZEM ÁLLAPOTOK $\Delta T=11^{\circ}\text{C}$	130
8.4	ÜZEM ÁLLAPOTOK $\Delta T=8^{\circ}\text{C}$	132
8.5	KONDEZÁTOR HŰTŐVÍZRENDSZER.....	134
8.5.1	Átemelő műtárgy	134

8.5.2	Függő medrű hidegvízcsatorna	135
8.5.3	Nyitott szűrőház	136
8.5.4	Hidegvíz vasbeton csatorna	136
8.5.5	Kondenzátor hűtővíz szivattyúház	136
8.5.6	Kondenzátor körüli csővezetékek	137
8.5.7	Vasbeton melegvíz csatorna	137
8.5.8	Szinttartó bukó	138
8.5.9	Külső melegvíz csatorna	138
8.5.10	Energiatörő műtárgy, rekuperáció	139
8.5.11	Műtárgyak szerkezeti kialakítása	139
8.6	DUNA PARTI VÍZKIVÉTELLEL KIALAKÍTOTT KÉTLEPCSŐS HŰTŐVÍZRENDSZER HŰTŐTORNYS KIEGÉSZÍTŐ HŰTÉSSEL	140
8.7	DUNA PARTI VÍZKIVÉTELLEL KIALAKÍTOTT KÉTLEPCSŐS HŰTŐVÍZRENDSZER SODORVONALI MELEGVÍZ BEVEZETÉSSEL	141
8.8	TECHNOLÓGIAI SEGÉDÜZEMI VÍZELLÁTÁS	141
9	MEGVALÓSÍTHATÓSÁGI ÜTEMTERV	143
10	KÉTLEPCSŐS VÍZKIVÉTEL GÉPÉSZETI FŐBERENDEZÉSEI	145
10.1	T=11°C-OS KONDENZÁTOR ESETÉN	145
10.2	T=8°C-OS KONDENZÁTOR ESETÉN	145
11	LEHETSÉGES SZÁLLÍTÓK, HAZAI BESZÁLLÍTÁS LEHETSÉGES MÉRTÉKE	147
11.1	JAVASOLT BESZÁLLÍTÓK	147
11.2	HAZAI BESZÁLLÍTÁS LEHETSÉGES MÉRTÉKE	147
11.3	AJÁNLATI MŰSZAKI SPECIFIKÁCIÓ	147
12	ÜZEMELTETÉSI STRATÉGIA	150
13	ÉPÍTMÉNYEK ENGEDÉLYEZÉSI FOLYAMATA	152
13.1	BEVEZETÉS	152
13.2	NUKLÉÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK FŐ ENGEDÉLYEZÉSI ELJÁRÁSAI	152
13.3	A TELJES ENGEDÉLYEZÉSI FOLYAMAT	153
13.4	TELEPHELY ENGEDÉLYEZÉSI ELJÁRÁS HELYE A TELJES FOLYAMATBAN	153
13.5	TELEPHELY ENGEDÉLYEZÉSI ELJÁRÁS CÉLJA	154
13.6	SZAKHATÓSÁGI ELJÁRÁSOKAT BEFOLYÁSOLÓ SZEMPONTOK	154
14	MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI TERV	155
	A TERMÉK ELŐÁLLÍTÁSA, SZOLGÁLTATÁS NYÚJTÁSA	155
14.1	A TERMÉK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK MEGTERVEZÉSE	155
14.2	A VEVŐVEL KAPCSOLATOS FOLYAMATOK	155
14.3	A TERVEZÉS ÉS FEJLESZTÉS	156
14.3.1	A tervezés és fejlesztés megtervezése	156
14.3.2	A tervezés és fejlesztés bemenő adatai	157
14.3.3	A tervezés és fejlesztés kimenő adatai	157
14.3.4	A tervezés és fejlesztés átvizsgálása	157
14.3.5	A tervezés és fejlesztés igazolása	158
14.3.6	A tervezés és fejlesztés érvényesítése	158
14.3.7	A tervezés és fejlesztés változtatása	158
14.3.8	A tervezés és fejlesztés dokumentum kezelése	158
14.4	BESZERZÉS	162
14.4.1	A beszerzés folyamata	162
14.4.2	Beszerzési információ	162
14.4.3	A beszerzett termék igazolása	163
14.5	ELŐÁLLÍTÁS ÉS SZOLGÁLTATÁS NYÚJTÁSA	163
14.5.1	Az előállítás és szolgáltatás nyújtásának szabályozása	163
14.5.2	A szolgáltatásnyújtás folyamatainak érvényesítése	163
14.5.3	Azonosítás és nyomonkövetés	163

14.5.4	A vevő tulajdona	164
14.5.5	Kezelés, tárolás, állagmegőrzés	165
14.6	A MEGFIGYELŐ ÉS MÉRŐESZKÖZÖK KEZELÉSE	165
14.6.1	Mérés, elemzés és fejlesztés	165
14.7	FIGYELEMMEL KÍSÉRÉS ÉS MÉRÉS	166
14.7.1	A vevő megelégedettsége	166
14.7.2	Belső audit	166
14.7.3	A folyamatok figyelemmel kísérése és mérése	167
14.7.4	A Társaság tevékenységeinek figyelemmel kísérése és mérése	167
14.7.5	A minőségellenőrzés szervezete	169
14.8	AZ ELTÉRÉSEK KEZELÉSE	170
14.9	AZ ADATOK ELEMZÉSE	172
14.10	FEJLESZTÉS	173
14.10.1	Folyamatos fejlesztés	173
14.10.2	Helyesbítő tevékenységek	173
14.10.3	Megelőző tevékenység	173
15	BLOKKTÍPUSOK ADAPTÁCIÓJA	175

1.1 Frissvíz hűtés összefoglalása

Az atomerőmű 2x1200MW-os vagy 2x1600-os blokk típusokkal történő bővítéséhez az ipari és kondenzátor hűtővízellátás alapvetően

- a Dunából vételezett frissvíz hűtással, és
- recirkulációs rendszerrel, azaz hűtőtornyos hűtással valósítható meg.

Ez utóbbihoz csak a párolgási és egyéb veszteségek pótlásáról kell gondoskodni a folyóból.

A frissvíz hűtés lehetőségét a Duna környezetvédelmi szempontból megengedett hőterhelésének határáig lehet igénybe venni. A határokat —amедdíg a frissvíz hűtés igénybe vehető— a Duna víz hőmérsékleti eloszlásának hőfok maximumai és a vízhozam és vízállás tartósság minimumai, valamint a bevezetett használt melegvíz folyóban való elkeveredésének határértékei határozzák meg.

A határértékek túllépése esetén lehetőség van a kibocsátott víz hőmérsékletét az előírt mérési pontig kiegészítő hűtással, többlet frissvíz hozzákeverésével, -tartalék szivattyú üzembehelyezésével - a melegvíz egy részének más ponton történő bevezetésével. Az előírt szélsőértékek egyébként az erőmű villamos energia termelésének korlátozását kényszerítik ki. (Természetesen az erőmű hűtőrendszeri-karbantartás miatt szükségszerű termeléseszkkenése is figyelembe vehető.)

Jelen projektben MÉLYÉPTERV Zrt. feladata az új 2x1200 MW illetve 2x1600 MW teljesítményű blokkok Dunából történő ipari frissvíz ellátásának, illetve az erőműi frissvízes hűtővízellátás lehetőségének a vizsgálata és e témában döntés előkészítő tanulmányterv készítése.

A GEA-EGI Energiagazdálkodási Zrt. vizsgálja az I. kötetben a recirkulációs tornyos hűtés megoldásaira vonatkozó lehetőségeket. Ezek:

- nedves természetes huzatú,
- nedves ventillátoros,
- száraz tornyos hűtés
- hibrid tornyos hűtés

Ahhoz, hogy az Atomerőmű bővítésével kapcsolatos hűtővíz ellátási változatoknál tiszta képet lássunk, szükséges a jelenleg üzemelő első négy blokk hűtővízrendszerének az átfogó ismerete.

1.2 Jelenleg üzemelő atomerőmű hűtővízellátása

Közép Európa legnagyobb folyója mellett létesült és az 1980-as évek óta üzemel a Paksi Atomerőmű erőmű 1-4. blokkja. Az első négy blokk kiépítése során természetes volt, hogy az erőmű ipari- és hűtővízellátását —mint vízforrás— a Duna biztosítja.

Az 1-4 blokk eredetileg 8x220 MW névleges teljesítményre épült négy reaktorról és nyolc kondenzációs gőzturbinával.

Azóta több lépcsőben növelték a blokkok teljesítményét és a hozzájuk tartozó hűtővíz fogyasztás is kis mértékben változott, azaz növekedett. Ezzel ellentétes irány, hogy a VKJ-val (vízkészlet használati járulékkal) való takarékoság miatt víztakarékosságot is lehet tapasztalni, ami a hidegebb Duna víz

hőmérsékletek mellett a korábbinál nagyobb arányú melegvíz újrahasznosítást, vagyis visszakeverést jelent.

Az erőmű a Duna vizét nyers, vegyileg kezeletlen, állapotban, az úszó- és lebegő hordaléktól durva- és finomabb mechanikai tisztítással (szűrve) használja.

A felhasználás során a hűtővizet kizárólag hővel terheli, azaz melegíti. A használt vizet azután teljes egészében a folyóba visszaengedi.

Ahhoz, hogy a feladatot képező erőműbővítés meglévő adottságait és hűtőrendszeri adottságait, lehetőségeit tisztán lássuk a meglévő erőmű négy blokkjához tartozó létesítmények legalább nagyvonalú ismerete szükséges.

Az atomerőmű területét már az 1980-as években előirányzott 2000 MW-os 4 új blokkos bővítésnek megfelelően, É-i irányban, a jelenlegi felvonulási terület, illetve a bővítésre előirányzott terület úthálózatának és részben közműveinek a kiépítésével előkészítették.

Jelen tervezett fejlesztés során előirányzott 2x1200, illetve 2x1600 MW-os bővítés is ezen —az erőmű tulajdonát képező területen— valósítható meg.

1.2.1 Kondenzátorok hűtővízellátása:

A működő kondenzátor hűtővízrendszer a következő főbb elemekből áll:

1-4 blokk közös létesítményeként:

- dunal torkolat, uszadék fogó
- hidegvíz csatorna

1-2 és 3-4 blokkhoz tartozó

- vízkivételi mű I és II.
- hidegvíz nyomóvezetékek
- kondenzátorok csatlakozó vezetékei 1-2, 3-4- blokkokhoz
- melegvíz kivezetés
- vasbeton melegvíz csatorna I-II.

1-4 blokk közös létesítményei:

- szinttartó bukó
- külső melegvíz csatorna
- energiatörő műtárgy

1.2.2 Biztonsági hűtővízrendszer:

A hidegvíz csatornához a vízkivételi mű építményében csatlakozik a három biztonsági hűtővíz kivételi mű.

1.2.3 Technológiai hűtővízrendszer:

A hidegvíz nyomóvezetékekhez nyomásfokozó szivattyúkkal csatlakozik a technológiai hűtővízrendszer.

1.2.4 Tűzoltó vízellátó, ipari- és locsoló rendszer:

Részben a hidegvíz csatorna partján telepített parti szűrészű kutakkal, részben a hűtővízrendszerhez csatlakozó nyomásfokozó szivattyúüzemekkel táplált csőhálózat.

Az üzemelő blokkok hűtővízrendszerei a következő vízfogyasztókkal terhelik a Dunát:

- A teljes vízkészlet használat az 1-4 blokkra: közel 100-123 m³/s,
- Kondenzátorok hűtővízellátása: ~ 180 000 m³/h ≈ 50 m³/s
- Biztonsági hűtővízellátás: ~ 1800-4300 m³/h ≈ 0.5 -1.2 m³/s
vízforgalommal és
- Technológiai hűtővízellátás: ~ 2800-3600 m³/h ≈ 0.8 -1.0 m³/s
vízforgalommal.
- Ez az 1-4 blokknál összesen: ~ 187 000 m³/h ≈ 104 m³/s**

Valamennyi fogyasztó Ø 0.2 - 0.4 mm-, valamint a kondenzátor rendszernél Ø 5 mm-es szűrő berendezéseken átszűrt, kezeletlen, nyers Duna-vizet használ és azt gyakorlatilag teljes egészében, szennyezés mentesen, kizárólag hővel terhelve juttatja vissza a Dunába, ahol az a folyó vizével elkeveredve, annak hőmérsékletét kis mértékben megemeli.

A következőkben a meglévő hűtővízrendszereket [lásd....sz.rajz] ismertetjük:

1.3 Kondenzátor hűtővízrendszer

Az erőmű eredetileg blokkonként 440 MW névleges villamos teljesítményre lett tervezve. Ehhez blokkonként 2 db 220 MW-os turbó gépcsoport tartozott.

A gőzturbinákhoz a hagyományos kondenzációs erőművekhez hasonló felületi kondenzátorok kerültek beépítésre.

A hűtővízellátó rendszer alapvető feladata ezeken a kondenzátorokon, valamint a velük párhuzamosan kapcsolt kisebb erőműi segédberendezéseken át a hűtővízforgalom biztosítása.

Az erőmű több mint negyed százada üzemel, és a hűtővízrendszeri létesítményei —annak ellenére, hogy tervel- és kivitele az akkori kor technológiájával készültek alapján véve kifogástalanul üzemel.

Sajnos jelentős problémát okozott és várhatóan még okoz is a Duna 1 m közeli medermélyülése és az ezzel járó vízszint csökkenése, továbbá az időjárási viszonyok és az ehhez kapcsolódó kb.: 1,5-2 m-es átlagos vízszint csökkenése, ami a vízkivételi szivattyúüzemek szivattyúinak a munkapontjait és hatásfokát jelentősen rontotta.

A hűtővízrendszert ezzel ellentétes hatásként érte, hogy az erőműi blokkokon idő közben teljesítménynövelő- és korszerűsítést szolgáló intézkedéseket hajtottak végre. Ennek következtében a vízigény megnőtt.

A teljes hűtővízellátás jelenlegi vízigénye az 1-4 blokkokra:

$$\Sigma Q_{1-4} = 120 \text{ m}^3/\text{s} (432\,000 \text{ m}^3/\text{h}) = (10\,368\,000 \text{ m}^3/\text{d})$$

A kondenzátor hűtővízrendszer kiépítésenkénti I vízigénye (tervezési adat!):

$$Q_N = 50,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ez magába foglalja az erőműi segédüzemek-, valamint a rendszer saját fogyasztását is.

A Dunából egylépcsős szivattyúzással kialakított frissvizes vízszállítási rendszer valósult meg.

A vízellátó rendszer főbb elemei:

1.3.1 Dunai torkolat, uszadék fogó

Az erőmű a Dunából vételezi a vizet, a folyó 1527 fkm. szelvényénél kezdődő trapézszelvényű, földmedrű, csatorna elején.

A dunai torkolatnál egy —a vízszintváltozást követni képes— jég- és uszadék fogó rács létesült, pontonokra szerelve.

Ennek rendeltetése a nagyobb faágak, rönkök, uszadékok és télen a jég távoltartása a vízrendszerből.

1.3.2 Hidegvíz csatorna

hosszú hidegvíz csatorna vezeti be a Duna vizét az erőműi öblözetig, ahol az erőműt kiszolgáló két vízkivételi szivattyútelep emeli ki a vizet az 1-2 és 3-4 turbinák kondenzátorainak hűtésére.

A csatorna fenék szélessége [] a gátkoronánál [] széles. Rézshű hálása []

A fenéken többszöri kotrás mellett kőszórás is van. Tervezett fenékszintje [REDACTED]. A kőszórás előtti állapotában átlagos fenékmélysége [REDACTED]. A kőszórás után jelenlegi állapotában erősen hullámos, [REDACTED] között változik az időközi kotrások és kőszórás következtében.

A csatorna jobb parti, — 0+850 m—szelvényében, egy nehéz (2200 kN) teherbírási magán célú kikötő létesült. Eredeti rendeltetése a Cseh Skoda művektől a Dunán érkező reaktortartályok kiemelése volt. Tulajdonosa maga az erőmű. Ennek daruja a Duna magyar szakaszán a legnagyobb terheket képes kiemelni. A kikötőhöz külön út csatlakozik.

A csatornához a bal parton —a torkolat közelében csatlakozik a DN 800 mm-es torkolati melegvíz visszakeverő vezeték.

A jobb parton pedig a 0+360 szelvényben az erőműt körülvevő óvárok szivattyúüzemének a DN 1000 nyomóvezetéke van bekötve.

A csatorna 96.40-96.50 mBf. szintű jobb parti, É-i gátja az erőmű területéig bevezetett elsőrendű árvédelmi védőmű. Kozelője és az árvédelemér felelős a PAKSI A. Erőmű Zrt. Az erőmű teljes területe a $\pm 0 = 97.00$ mBf terep-szintre lett feltöltve, jórészt a csatornából kiemelt földdel.

A meder manapság is időszakos kotrásra szorul, különösen a torkolat környezetében jelentős iszaplerakódások miatt.

1.3.3 Vízkivételi mű I és II.

A hidegvíz csatornához két vízkivételi mű csatlakozik az 1-2 és a 3-4 blokkok vízellátására, mindkettőben 4-4 szivattyúval.

A szivattyúk egyenkénti tervezett, névleges vízszállítása: $Q_N \approx 13 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $H_N \approx 17 \text{ m}$ emelőmagasságra,

Üzemelési határok: vízszállítás: $Q_{\text{MIN}} \approx 7 \text{ m}^3/\text{s}$, és $Q_{\text{MAX}} \approx 17 \text{ m}^3/\text{s}$

emelő magasság: $H_{MIN}=9\text{ m}$ és $H_{MAX}=21\text{ m}$

Az üzemelési határok között szívóoldali előperdület állítással szabályozhatók.

A vízkivételi mű függőleges tengelyű szivattyú egységei a hidegvíz csatorna öblözetéhez csatlakozó mélyalapozású vb. műtárgyakba kerültek beépítésre.

A szivattyútelepekbe beépített Ganz MÁVAG MJO 2200 típusú szivattyúk tervezett munkapontjai az év jelentős részében jelentősen eltérnek a tervezettől. Azok átlagosan mintegy $\Delta H_{\Delta} \approx 2$ m-rel nagyobb emelőmagasságra kényszerülnek, ami jelentős hatások romláshoz is vezethet.

A szivattyúk szívó oldali védelmét kiemelt állapotban tisztítható u.n. váltórács biztosítja, ennek pálcaköze 5 cm.

A rácsok méretezési vesztesége tiszta és közepesen elpiszkolódott állapotában: $\Delta h = 0.2-0.5$ m.

Tisztításukat nehézkes kézi munkával végzik, mivel a tervezéskor nem engedélyezték a gépi tisztítású rácsok beépítését.

A szivattyúk nyomóoldalához egy-egy nagyméretű (2200 x 4000 mm-es) olajhidraulikus kiemelő-és fékező berendezéssel ellátott végcsappantyú-val csatlakozik a szűrőüzemek nyersvíz oldali gyűjtő- és elosztó tere.

A szűrőüzemekbe négy-négy db (Mélyépterv tervezésű) hazai gyártmányú $\Phi 6.5$ m átmérőjű $\Phi 5$ mm lyukbőségű szabad felszínű dobszűrőt építettek be.

A nyersvíz oldali medencékből a hidegvíz csatornába visszavezető – egy-egy szivattyúegység maximális vízszállítására méretezett – túlfolyó bukók épültek. Ezek feladata a szűrőmedencék túltöltésének megakadályozására.

A nyitott felszínű szűrőüzemekről kezdve – a dunai visszavezetésig – a hűtővízrendszeren –és természetesen a kondenzátorokon– át a hűtővíz gravitációsan folyik át.

1.3.4 Hidegvíz nyomóvezetékek

A szűrőmedencék szűrtyíz oldalához blokkonként két-két db a térszint közelében a felszínen, vasbeton csőtámaszokon szerelt, D3600 mm átmérőjű acél un. hidegvíz nyomócső csatlakozik.

Ezekről ágaznak le a DN 2000-mm-es földfelszín alatt a gépházba bevezető kondenzátor csatlakozó vezetékek.

A hidegvíz csövekről egy-egy DN800-as leágazás a technológiai hűtővíz rendszer szivattyúüzemének a vízellátását biztosítja.

1.3.5 A kondenzátorok csatlakozó vezetékei 1-2, 3-4- blokkokhoz

A gőzturbinák kétutas kondenzátorai, a főépületbe bevezető DN2000 - es —szakaszoló csőzárakkal lezárható —két-két bemenő hidegvíz-, és két-két kivezető melegvíz vezetékkel csatlakoznak.

A kondenzátorok tisztítása céljából a hideg- és melegvíz vezetők között TAPROGGE golyós kondenzátor tisztító berendezések vannak beépítve.

1.3.6 Melegvíz kivezetés

A melegvíz vezetés kapcsolása, kialakítása a hidegvíz bevezetéssel teljesen megegyező.

A két darab melegvíz kivezető cső reaktoronként egy-egy vasbeton melegvíz csatornához csatlakozik. A csatorna zárt, de szabadfelszínű, négyszög keresztmetszetű vízvezető műtárgyakként épült.

A gépházról a melegvizet, a hidegvíz csövekkel azonosan és párhuzamosan fektetett DN2000 mm-es földalatti acél csövek vezetik ki, a vasbeton melegvíz csatornáig.

1.3.7 Vasbeton melegvíz csatorna 1-2 és 3-4

Blokkonként 2-2 négyszög szelvényű, szabadfelszínű 5000x3000 mm keresztmetszetű vasbeton íkercsatorna vezet ki a vizet a gépházból.

- Az ikerszelvényű vasbeton csatornák reaktorblokkonként egy –egy szinttartó bukó műtárgyhoz csatlakoznak.

1.3.8 Szinttartó bukó

A szinttartó bukó rendeltetése, hogy a melegvíz elvezető rendszer vízszintjét tartva a kondenzátorok vízdallal nyomását a telített gőznyomás feletti értéken, tartva azok vákuum alatt szivornyaként üzemelhessenek és ezzel szivattyúzási energia takarítható meg.

A bukóél szintje: 95.40 mBf. Minden blokkhoz 4 bukóvályú tartozik. Ezek közül 1 db a melegvíz visszakeverés lehetőségét biztosítja, melyhez a vízkivételi öblözetben egy visszakeverő mű csatlakozik. Eredetileg 25%-nyi víz visszakeverése lett tervezve. A későbbi átalakítás során ez a mennyiség: 33-35%-ra lett növelve a bukó élek „levésése” árán.

1.3.9 Külső melegvíz csatorna

A szinttartó bukótól a Duna partig burkolt trapézzselvényű, magasan vezetett földmedrű csatorna vezeti ki a használt, felmelegedett vizet.

A csatorna fenékszélessége 20 m. Rézsű hajlása 1:2. A meder középvonalában a fenéken szivárgó árok van.

A csatorna meder oldalt un. vasbeton x elemekkel van burkolva Feneke beton burkolattal van ellátva. A burkolatlábnál támasztó gerenda fut végig.

A gátkorona mindkét oldalon: 96.63 mBf. A D-I gát egyúttal árvédelmi fővonal. Ezért ez gondosabb kivitelezéssel épült.

A csatorna D-i oldalán az u.n. övcsatorna helyezkedik el, a hozzá tartozó szivattyús átemelővel.

A csatorna fenék esése a szinttartó bukótól: 90.23—90.50 –ig.

Eredetileg $Q = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ víz szállítására méretezték. Terv szerint a felszíni esése nagyjából követi a fenék esést.

1.3.10 Energiatörő műtárgy, tervezett rekuperáció

A melegvíz csatorna végén egy energiatörő műtárgy van. ezen keresztül jut be a használt víz a Dunába.

Az erőmű ebbe a műtárgyba képzelettel el melegvíz helyzeti energiájának a hasznosítását 10 db. Mátrix turbina beépítésével a meglévő műtárgyba.

Jelenleg a projekt a Vízjogi Létesítési Engedélyezési Dokumentum-nál tart.

A dunai csatlakozás úgy van kialakítva, hogy a bevezetett használt víz a környezetvédelmi előírásoknak megfelelően elkeveredhessen.

Az 1-4 hűtővízrendszer hidraulikai – működési hossz-szelvényét, valamint a minimális, névleges és maximális vízforgalomhoz tartozó nyomásvonalakat a mellékeljük : [lásd 6335-015 sz.ra]z]

Természetesen a kondenzátorok szokványos módon szivornyaüzemben üzemeltethetők.

1.4 Technológiai hűtővízrendszer (alrendszer)

Külön un. technológiai hűtővíz-ellátási rendszer tartozik az erőmű szekunderköri segédüzemeinek kiszolgálására, melyeknél nagyobb tápnomásra és igényesebb megsűrt vízre van szükség.

Vízigényét a kondenzátor hűtőrendszer vízigénye magába foglalja.

A rendszer névleges vízforgalma – két-két reaktoros névleges üzemben reaktorblokkonként:

$$Q_1 = 476 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Az indítási és leállási ún. különleges üzemállapotokban kívánt keringtetett vízmennyiség:

$$Q_{1\text{MAX}} = 757 \text{ m}^3/\text{h}.$$

A Főépület „A” pillérsoránál megkívánt csatlakozási nyomásigény: $H_1 \approx 4 \text{ bar}$

A víz minősége: 0,4 mm-es lyukbőségű szűrőelemeken átszűrt víz.

A rendszer nyomásfokozó és utószűrő üzei a tűzoltó út mentén épültek.

A technológiai rendszer elemei technológiai sorrendben blokkonként következnek:

- 2 x DN800 Szívóvezetékek
- Nyomásfokozó szivattyú és utószűrő üzem
- 2 x DN700 Hidegvíz nyomóvezetékek
- 2 x DN700 Melegvíz elvezetés a melegvíz csatornáig

A szivattyúüzemek 2 - 2 db DN800 méretű szabadon vezetett szívóvezetékekkel csatlakoznak a kondenzátor rendszerek DN 3600mm-es hidegvíz nyomócsővezetékeihez.

A szivattyúház épületén belül a szívóvezetékek elosztó vezetékként egyesülnek. Ehhez csatlakoznak a szivattyú szűrőblokkok, összesen mindkét gépházban három db (két üzemi és egy tartalék).

Egy-egy szivattyúblokk egy db DAF 500 típusú Ganz-Mávag szivattyúból és egy-egy vele sorba kapcsolt DDS-KINNEY A-600 típusú (német) nyomószűrőből áll.

A normál vízigényt egy, az indítás és leállítás vízigényét blokkonként 2 szivattyú képes kielégíteni.

A szivattyúk nyomócsövei az erőmű blokkjaihoz vezető két-két db DN700-as földbe fektetett, acél hidegvíz nyomóvezetékhez csatlakoznak. Egy-egy cső a blokk teljes, maximális (3029 m³/h) vízmennyiségét képes a gépházba szállítani.

1.5 Biztonsági hűtővízrendszer

A biztonsági hűtővízrendszer a reaktor üzem létfontosságú és üzemzavari hűtőberendezéseket látja el hűtővízzel. A vízigény szempontjából különböző ún. normálüzemi és üzemzavari állapot fordulhat elő. Ez utóbbi esetekben a remanens hő elvezetésére szolgál.

Mindkét reaktorblokkhoz 3x 100%-os rendszer csatlakozik.

A rendszer vízkivételi szivattyú üzei – a kondenzátor hűtővízrendszer szivattyútelepe mellett, annak folytatásaként – egy alvízoldali szalagszűrő üzemen keresztül csatlakozik a hidegvíz csatornához.

A szűrőüzem egymástól függetlenül szilipekkel kiszakaszolható, aknáiban 3 db egyenként 10000 m³/h maximális teljesítőképességű német Geiger gyártmányú szalagszűrő került elhelyezésre.

A szűrők előtt – automatikus gépi tisztítású gerebek vannak beépítve.

Az előszűrés 2 mm-es lyukbőségű szűrőelemeken át történik.

A hűtővízrendszer egészen a földmedrű melegvíz klvezető csatornáig – három teljesen független azonos vonalból áll. Egy vonal részai:

- előszűrő üzem: --durva gereb, gépi tisztítású gereb, kosaras szalagszűrő,
- vízkivételi mű, és másodlagos szűrőüzem(DDS zárt, nyomás alatti szűrők)
- hidegvíz nyomóvezeték
- reaktorüzemi hűtőrendszer
- melegvíz kidobó vezeték
- dozimetriai akna
- csatlakozás a kondenzátor rendszer melegvíz csatornájához.

Mindhárom rendszer egy-egy dozimetriai akna után csatlakozik a kondenzátor hűtővízrendszer vasbeton melegvíz csatornáihoz.

A vízkivételi szivattyúüzem szivattyúaknáiban vonalanként 2-2 db, összesen 6 db BQS 600 típusú szivattyú van beépítve. Ezek DN 700-as szívócsővel az előszűrő üzem szűrtvízoldali gyűjtőteréhez csatlakoznak.

Nyomóoldalon szivattyúként egy-egy másodlagos szűrő van.

Ezek zárt nyomás alatti, üzemközben visszaöblíthető DDS-KINNEY Á 600 típ. szűrőberendezések. Szűrőfelületük a Ø 0,2 mm-es méretűnél nagyobb szennyezőanyagok kiszűrését biztosítják.

A szivattyúk a szűrőblokk után visszacsapó szelepen keresztül páronként egy-egy DN 700 acél nyomóvezetékre csatlakoznak, melyek a gépházig szállítják a vizet.

Normál üzemvitelnél rendszerenként egy-egy szivattyúegység üzemel.

A gépház tetején 200m³-es puffer tározó tartály van és egy-egy túlfolyó elvezető rendszer, amely az igényeket meghaladó vizet elvezeti. Ez egyúttal behatárolja a rendszer nyomását a szivattyúkat a károsan magas értékektől védve.

Az DN 700 mm-es nyomócsővezetékek az út alatti átvezetésckig vasbeton védőcsatornában, majd ezt követően földbe fektetett acélcsövek. Az egymással párhuzamos csővezetékek a kondenzátor hűtővízvezetékek mellett haladnak az erőműig, majd az erőmű előtti utakat keresztezve váltanak át a főépületbe Bevezető D600 méretű falátvezető csövekre.

Az erőműből távozó melegvíz csővezetékei a hidegvízhez hasonlóan földbe fektetett acélcsővezetékek, amelyek egy-egy dozimetriai aknán keresztül a kondenzátorok melegvíz elvezető rendszerébe csatlakoznak.

A dozimetriai aknák szabadfelszínű bukóval ellátott vasbeton műtárgyak, melyekben az esetleges rádióaktív sugárzás megjelenését ellenőrzik.

Az értékel időszak ilyen módon történő szétbontása lehetővé teszi a Paks Atomerőmű üzembe lépése előtti és utáni vízminőségi viszonyok összehasonlítását. Az eredmények alapján látható, hogy a legtöbb jellemzőnél a vízminőség nem változott, vagy javult.

Az előző bekezdésben leírtakkal kapcsolatban ki kell hangsúlyozni, hogy azok a Dunaföldvári (Paks fölötti) mintavételi helyre is jellemzőek voltak a szóban forgó időszakokra vonatkozóan.

A törzshálózati helyeken 1979-2004 között végzett vízkémiai vizsgálatok értékelése szerint a rész időszakok összehasonlítása alapján a Paks Atomerőmű fölötti és alatti mintavételi helyek figyelembe vételével a következő főbb megállapítások tehetők:

A legtöbb mintavételi helyen és vízminőségi jellemzőnél az idő függvényében kedvezően alakultak a vízminőségi viszonyok.

A Paksi Atomerőmű alatti mintavételi helyeken (Fajsz, Baja, Mohács, Hercegszántó) általában nem mutatott eltérést a víz minősége a felette lévőhöz (Dunaföldvár) képest. (Ebből a szempontból a Dunaföldvári (közép) és a Fajszai szelvény átlagadatainak az egybevetése tekinthető igazán mértékadónak.) Vonatkozik ez a megállapítás mindhárom részidőszakra és mindegyik értékeltsziszatikai paraméterre (időszakok átlaga, 90%-os értéke, minősítése).

Ez azt jelenti, hogy az atomerőmű – az értékelts komponensek vonatkozásában – a Duna vízminőségének alakulásában számottevő szerepet eddig nem játszott; ha változott a Duna vízminősége, az nem a Paksi Atomerőmű hatására történt. [3. 4. és 5. táblázat]

2 Frissvíz hűtéses változatok előkészítő vizsgálata, megoldási javaslat két blokknagyság esetén

A Paksi Atomerőmű fejlesztése e munkánk alapját képező energia ipari koncepció szerint a jelenlegi kiépítéssel műszakilag teljesen azonos. A jelenlegi tanulmány alapvetően az idevonatkozó szakmai tapasztalatainkról, helyismereteink, és a birtokunkban lévő korábbi anyagok alapján készítettük.

A Paksi Atomerőmű bővítésére a telephely az erőmű rendelkezésére áll.

A terület legnagyobb részt rendezett és a korábbi —1980-as években —már tervezett bővítés céljára, valamint az 1-4 blokk építési felvonulás céljára fel lett töltve és a rendezett terepen belül úthálózattal és közmű hálózattal elő is lett készítve. Természetesen az előkészített terület és létesítményei nem biztos, hogy a jelen elképzelések szerint megvalósítandó blokkokhoz alkalmasak.

Jelen projektben a Paksi atomerőmű által a bővítésre kijelölt területet és a lehetséges blokk telepítések helyét kell figyelembe vennünk.

A tervezett bővítés 2x1200 MW és 2x1600 MW –os kondenzációs gőzturbina blokkjaihoz tartozó hűtővízrendszerre alapvetően két változatot vizsgáltunk.

- *Öblözeti, a meglévő hidegvíz csatornára telepített vízkivétellel*
- *Dunaparti vízkivétel*

Az öblözeti vízkivétel esetén a hidegvízcsatorna öblözeti részére tervezett szivattyútelep biztosítja az erőmű kondenzátor hűtővízrendszerének vízigényét.

A számításaink, terveink alapját a következő alapadatokra építettük.

A hűtővíz felmelegedése a kondenzátorban $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$; ill. a GEA-EGI 2010.okt.20.-i adatszolgáltatása alapján $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$

A kondenzátorok névleges vízigénye **2x1200 MW** beépített teljesítmény esetén blokkonként

$\Delta t=11^{\circ}\text{C}$; kondenzátori hőfoklépcső esetén $Q=48\text{ m}^3/\text{s}$ –összesen $96\text{ m}^3/\text{s}$,

$\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ kondenzátori hőfoklépcső esetén $Q=66\text{ m}^3/\text{s}$ –összesen $132\text{ m}^3/\text{s}$,

2x1600 MW beépített teljesítmény esetén blokkonként

$\Delta t=11^{\circ}\text{C}$; kondenzátori hőfoklépcső esetén $Q=63\text{ m}^3/\text{s}$ –összesen $126\text{ m}^3/\text{s}$,

$\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ kondenzátori hőfoklépcső esetén $Q=86\text{ m}^3/\text{s}$ –összesen $172\text{ m}^3/\text{s}$,

A kondenzátorba belépő hűtővíz minimális előírt hőmérséklete

$\Delta t=11^{\circ}\text{C}$; kondenzátori hőfoklépcső esetén [REDACTED]

$\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ kondenzátori hőfoklépcső esetén [REDACTED]

Ezek a hőmérsékleti értékek mind az 1200MW-os, mind az 1600MW-os ikerblokkok alkalmazása esetén érvényesek, nagyon csekély –pár tized fok – eltéréssel.

A Dunába visszavezetendő melegvíz megengedett bevezetési hőmérsékleti határértékénél két értéket vettünk figyelembe, amelyekre a számításainkat alapoztuk.

Az egyik az általunk elméleti megfontolások alapján kalkulált, és a PA ZRT 2010.09.29.-i állásfoglalásában is jóváhagyott és jelen tervfázisban elfogadható 32°C -os értéket, a másik az EGI által javasolt, és kinyilatkoztatott 30°C –os hőmérsékleti határ.

Az ezekhez tartozó kalorikus számításokat, ill. a számítási adatokból levonható következtetéseket a jelen tervkötet 3.1 fejezetében részletezzük.

Konceptcionális tervezésünk során a az alábbi alapvető szempontokat vettük figyelembe

- Duna vízszint alakulása - vízállástartósság
- Duna vízhőmérséklet alakulása – vízhőmérséklet tartósság
- Meglévő hideg és melegvízcsatornák kapacitása,állapota
- Kondenzátor hidegvízoldali belépő-hőmérséklet igények
- Kondenzátor hőfoklépcsője
- Kondenzátor kilépő – melegvíz – oldali hőmérséklete

A Duna parti-vagy más néven dunai kétlépcsős vízkivételi rendszer üzemeltetés szempontjából kedvezőbb, mivel a kétlépcsős vízszállítás egy állandó emelőmagasságú gépparkra, és egy változó, de kisebb emelőmagasságú gépparkra oszlik, szemben az egylépcsős szivattyúüzemmel, ahol egy nagy emelőmagasságú, -és ezáltal nagy energia igényű szivattyúparkot kell kisebb emelőmagassági tartományokban is, és ezáltal gyengébb hatásfokkal üzemeltetni.

A Duna vízszintje a mederfenék mélyülése miatt az elmúlt évtizedekben közel 1,5 m-t süllyedt a kotrások, ill. a Duna által szállított hordalékmennyiség elmaradása, ill. csökkenése miatt. Ezért a távlati trendeket is figyelembe véve, a dunai, ill. az öblözeti vízkivételi műveknél a szivattyúkat olyan szinten helyeztük el, melyek további medermélyülésnél is biztosítják a biztonságos vízszállítást, a kondenzátor hűtővízellátás zavartalan üzemét.

A Duna vízhőmérsékletének alakulásánál az elmúlt 18 évet vizsgáltuk. A vizsgált időszakban készített adatsorból megállapítható, hogy 2003-ban extrém meleg és egyidejűleg alacsony vízjárás jellemezte a nyári – kora őszi időszakot, ezért ez az év a hosszennyezési veszély szempontjából a sokéves átlagtól kedvezőtlen irányban és számottevő mértékben eltért.(l. 6335-15 sz-ú terv) A nyári hónapokban hosszan tartó forró időszakok voltak, amelyhez augusztusban a rendkívüli kisvíz is párosult. Folyamatos üzemi ellenőrzés mellett az erőmű a hatósági hőterhelési korlátokat ezen körülmények között is betartotta,

A Dunába engedhető melegvíz hőmérsékletének meghatározásánál a jelenleg is érvényben lévő 15/2001 sz KÖM –i előírást tartottuk szem előtt,, A 15/2001. sz. „Az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről” című KÖM rendelet 10§-a szerint

„...(1) kiemelt létesítmény esetén a felszíni vizek és víztartó képződmények hosszennyezés elleni védelme érdekében

a) a kibocsátásra kerülő és a befogadó víz hőmérséklete közötti különbség 11 °C-nél, illetve +4 °C alatti befogadó víz hőmérséklet esetén 14 °C-nál nem lehet nagyobb;

b) a kibocsátási ponttól folyásirányban számított 500 m-en lévő szelvény bármely pontján a befogadó víz hőmérséklete nem haladhatja meg a 30 °C-t. ...”

A 2010 májusában életbe lépett kormányhatározat, ennek a fenti határozatnak némileg ellentmond, ugyanis a 8-3. melléklet PT3 pontja szerint a ΔT_{max} értéke 4°C alatti hidegvíz esetén 10-12°C lehet, - lassab és gyorsabb folyású folyók esetében, míg 4°C feletti vízhőfok esetén ugyanezek az értékek 5-8°C-a módosulnak. Ezen ellentmondásokat a későbbiek során tisztázni szükséges.

Az Európai Unió a PRUDENCE projekt (A PRUDENCE (Predicting of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects) az EU által finanszírozott

regionális klímamodellezési projekt, amely konkrét regionális klíma előrejelzéseket szolgáltatott Európa térségére) keretében az európai országok tekintetében összegzett hőmérséklet- illetve csapadék-változási adatokat tett közzé 50 km-es horizontális felbontású modellek által készített eredmények kiértékelése alapján. Ily módon lehetőség nyílik az összes regionális előrejelzés Magyarországra vonatkozó eredményeinek összegzésére a modellek átlagos viselkedése, illetve az eredmények szórása alapján. Az eredmények vizsgálata során az átlagos értékek iránymutatást adhatnak, a szórás mértéke az előrejelzésekben rejlő bizonytalanságokról (amelyek a modellek különbözőségeiből, illetve a természetes változékonyságból adódhat) nyújt felvilágosítást. A PRUDENCE projekt által előállított eredmények kibocsátási forgatókönyvre támaszkodnak, s a 2071-2100-as időszakra vonatkoznak (a referencia-időszak az 1961-1990-es harminc év). *(E szerint a forgatókönyv szerint az 1 fokos globális felmelegedés várhatóan 2025-re következik be).* A modellfuttatások együttese, illetve a modellek múltra vonatkozó tesztelése szolgáltatja a projekciókban rejlő bizonytalanságok feltérképezését. Az alábbiakban használt hőmérséklet értékek 1 °C fokos átlagos globális felmelegedéshez tartozó hazai adatokat tükröznek, azt mutatják meg, hogy a globális skálájú 1 °C fokos felmelegedés esetén Magyarországon milyen irányú változások várhatóak az évszakos hőmérséklet, illetve a csapadék vonatkozásában.

1 °C fokos átlagos globális felmelegedéshez tartozó éghajlatváltozás Magyarországon

Hőmérséklet °C	Éves	Téli	Tavaszi	Nyári	Őszi
Átlag	1,4	1,3	1,1	1,7	1,5
Szórás	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
Medián	1,3	1,3	1,1	1,6	1,5

Figyelembe véve azt, hogy az előrejelzések szerint az 1 °C-os átlagos éves léghőmérséklet növekedés 2025-re következik be (az A2 IPCC kibocsátási forgatókönyv szerint számolva és a 2071-2100 időszakra az 1961-1990-es referencia időszakokkal összehasonlítva) megállapíthatjuk, hogy a reálisan előrelátható közeljövőben az éves néhány tizedfokos átlagos vízhőfok emelkedés nem irreális.

A táblázatban is felsejlő tendencia, miszerint a felmelegedés mértéke – igaz viszonylag magas szórás értékkel – de a nyári hónapokban lesz a legjellemzőbb, arra mutat, hogy a nyári üzemmód kockázatának kezelése mindenesetre szükséges feladat. Ha ehhez még hozzávesszük azt a többszörösen megismételt megfigyelést és az eltelt 6-10 évben nyilvánvaló tendenciát, hogy az időjárásban és vízállásban tapasztalt extrém körülmények gyakorisága kedvezőtlenül változott, egybeesően minden hazai és nemzetközi előrejelzéssel.

A Duna vízminősége több évtizede töretlenül javul, és az elmúlt időszak nagyberuházása nyomán - Csepel Központi Szennyvíztisztító - gyakorlatilag az összes, Paks felvén lévő pontszerű kibocsátás (kommunális és ipari eredetű szennyvízterhelések) nagyságrendileg csökkentek

A korábban - 2007-ben - végzett tanulmányok, és mérési eredmények –amelyek a meglévő blokkok által kibocsátott melegvíz mennyiségére, és hőmérsékletére vonatkoznak, megállapítható, hogy a ca.120 m³/s kibocsátott melegvíz mennyiség esetén a betartandó hőmérsékleti határt a Duna hőfoka soha nem éri el, és a meghatározott 500 m-es távolságon a Dunába engedett melegvízcsova hőmérséklete 3,5 – 4°C-kal csökkent, nyáron,- júliusban – LKV közeli vízmagasságnál.

A Duna vízszintjeit, ill. a mért kritikus hőmérsékleteit összefoglaló ábrákon jelenítettük meg. A 6335-012 sz.-ú terv a 2003 június- július- augusztus a 6335-013, 2006 július-augusztus, ill. 6335-014 sz.-ú terv a 2009-es év összefüggő adatait tartalmazzák.

2.1 Kiegészítő hűtés szükségességének vizsgálata

A Dunába visszavezetendő, ill. visszavezethető melegvíz hőmérsékleti határértéket jelen tanulmány keretei között, **30°C-ban** -ll. –a Mélyépterv Komplex Zrt. elméleti számításai alapján **32°C-ban** határoztuk meg.

A jövőbeni bevezetendő melegvíz csóva megengedhető hőmérséklet maximuma, ill. hőmérséklet korlátai részletesebb, és szélesebb körű tanulmányt, és szerteágazó hatósági egyeztetéssel dönthető el, ill. határozható meg.

Jelen tervben tehát alapvetően két sarokpontot vettünk figyelembe:

- megengedhető hőterhelés oldaláról, ill.
- a kondenzátorban kialakuló hőfoklépcső oldaláról.

Ez eleve 4 alternatívát jelent, csak a kiegészítő megoldásokra vonatkozó számításoknál.

A tanulmányterv készítése során elsősorban az érvényben lévő 15/2001 sz.-ú KöM rendelet 10.§-t vettük alapul. Ennek alapján a melegvíz a kibocsátási ponttól folyásirányban számított 500m-en lévő referencia szelvény bármely pontján a befogadó víz hőmérséklete nem haladhatja meg a 30°C-t.

A jelenlegi üzemállapotra vonatkoztatott mérések azt mutatják, hogy a vízcsóva a nagy – évezredes - vízhőmérsékleti melegrekord, és igen alacsony paksi vízállás –85,8-85,79 mBf- és 4 blokkos üzemhez tartozó hűtővízmennyiség, – 115-117 m³/s – esetén, 500 m hosszúság alatt ca. 4,6°C-t veszít a hőmérsékletéből. Ha a bővítést önállóan, - függetlenül a meglévő üzemtől – kezeljük, -max. 132m³/sec, -2x1200MW esetén - akkor közelítőleg ugyanezt a hőmérséklet csökkenést feltételezhetjük, ill. érhetjük el, vagyis elméletileg a 26°C -nál magasabb vízhőmérséklet esetén lenne csak szükség valamilyen kiegészítő megoldásra.

Ha a 2x1600MW erőműl teljesítményhez tartozó max.172 m³/sec vízmennyiséggel kalkulálunk, akkor az 500 m-en való hőmérsékletcsökkenés csak ca.3,1°C, ami azt jelenti, hogy 25,1°C-os Duna hőmérsékletig nincs probléma. Ennél magasabb Duna vízhőmérséklet esetén szüksége valamilyen kiegészítő megoldás. Ez azonban évente átlagosan 1,1 nap időtartamra alakul ki, amikor kiegészítő megoldást alkalmazni kellene.

Visszatérve a megfontolás alapadataihoz, ha a Dunába vezetendő vízmennyiséget durván duplájának tételezzük fel – 230 m³/s akkor ugyanolyan hosszon, az eddig is figyelembe vett 500 m-re lévő referencia szelvényig, a keveredés következtében ca. fele akkora hőmérséklet csökkenéssel lehet számolni, vagyis 2,3°C-ka.

Ennek értelmében a torkolati hőfok 32,3°C lehet.

A tanulmánytervben kétféle kondenzátori hőfoklépcsőt vettünk figyelembe:

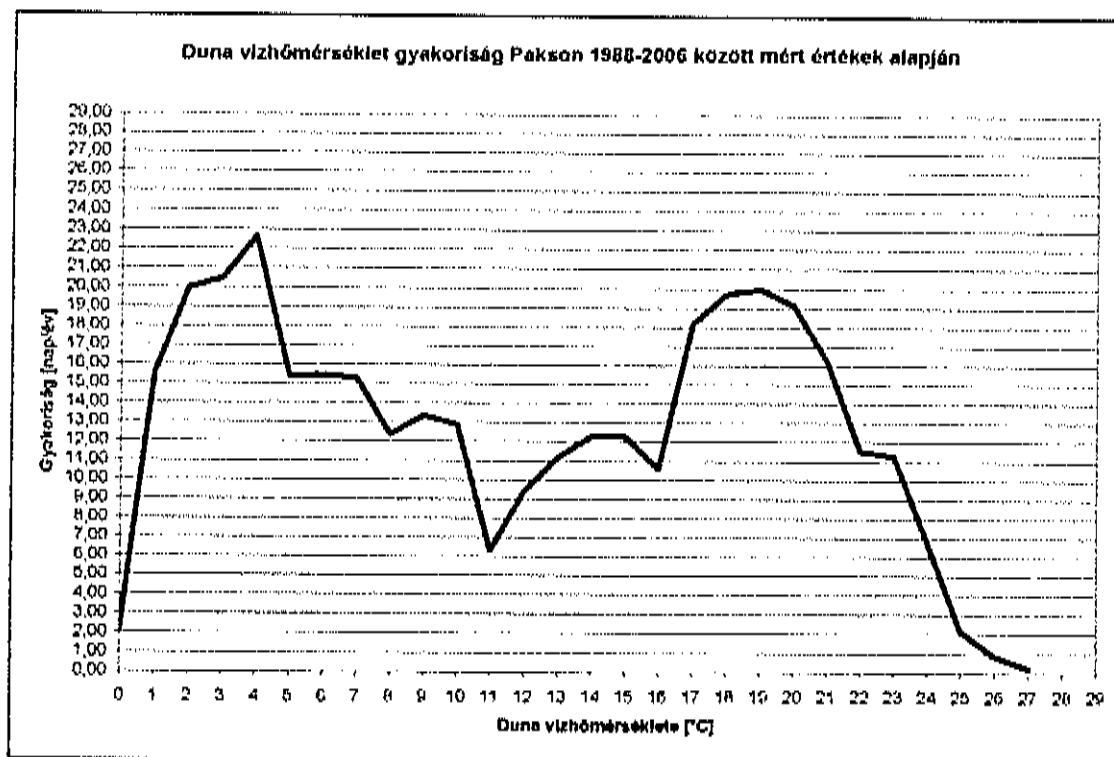
$$\Delta t=8^{\circ}\text{C}, \text{ ill. } \Delta t=11^{\circ}\text{C}$$

és kétféle hőfokkorlátozást

- vízhőfok korlát 500 m-re 30°C
- bevezethető vízhőfok 30°C

Az alábbiakban ezek kombinációjából fellépő lehetőségeket vizsgáljuk

- ❖ $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ kondenzátori
hőfoklépcső, vízhőfok korlát 500 m-re 30°C



A fenti ábra az elmúlt 17 év adatai alapján mért vízhőmérsékletek éves gyakoriságát mutatja. Megállapítható, hogy az elmúlt 17 év viszonylatában nézve egy év alatt 24,0°C-nál magasabb Duna vízhőmérséklet 3,3, 25°C-nál magasabb Duna vízhőmérséklet 1,1, 26°C-nál magasabb Duna vízhőmérséklet 0,23 nap gyakorisággal fordult elő.

Összességében tehát évente átlagosan maximum 3,3nap az az időtartam, amikor a frissvízhűtés mellett kiegészítő megoldásra is szükség lehet, természetesen csak abban az esetben, amikor a meglévő blokkok és a tervezett blokkok közös, együttes üzemét vizsgáljuk.

A globális felmelegedéssel kapcsolatos kutatások által említett - vízhőmérséklet emelkedés következtében a 3,3 nap/év érték 10,1 nap/évre növekedhet.

Összefoglalásként: max 230m³/sec vízforgalom, max.24,6°C Duna víz hőmérséklet, valamint $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ kondenzátori hőfoklépcső – adatok egyidejűsége mellett kiegészítő hűtési megoldásra nincs szükség.

Az alábbi üzemmódokban van szükség kiegészítő megoldásra

-ha a vízforgalom, és meghaladja a 230 m³/sec értéket

- 247m³/sec (régí blokkok+2x1200MW bővítés esetén)

ill.

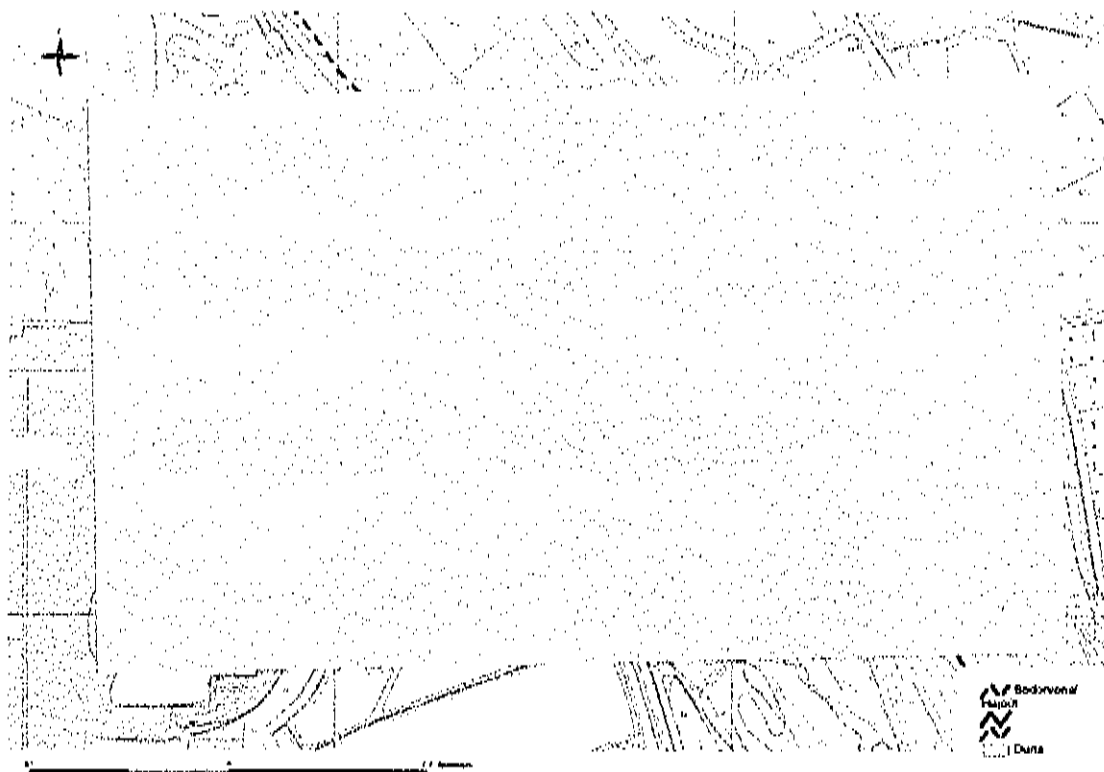
- 287 m³/sec (régí blokkok+2x1600MW bővítés esetén)

- ha emelkedik a Duna vízhőmérséklete, és meghaladja a 24,6°C – t.

Ezen esetekben az egy ponton történő bevezetés már nem elégséges. Ilyenkor a 230 m³/sec vízmennyiség feletti vízmennyiséget – tehát max. 57m³/sec – egy kialakított másik helyen vezetjük

be a Dunába. A második, vagy harmadik bevezetési pont kialakítására az alábbi lehetséges megoldások adódnak

- Bevezetési pont kialakítása a sodorvonal közelében. [REDACTED]
- Olcsóbb megoldás, ha a jelenlegi [REDACTED] alakítjuk ki a második bevezetési pontot.
- Lehetséges megoldás a Duna bal partjára történő átvezetés a Duna meder alatti keresztezésével.
- erőmű teljesítmény csökkentése a 3,3 napra



(Az SB, ill. az SJ pontok a sodorvonal jobb ill. baloldalián történő bevezetést jelentik)

A Duna víz hőmérsékletének emelkedését ($\geq 24,3^{\circ}\text{C}$) a bevezetési pontok közötti vízmennyiségi arányok megváltoztatásával lehet követni, és ezáltal a 15/2001 KÖM rendelet betartását biztosítani.

[REDACTED]

Előzetes számításaink szerint a $0,5^{\circ}\text{C}$ Duna víz hőmérséklet emelkedés ca. $8-10\text{m}^3/\text{s}$ vízmennyiséggel csökkentve az egy helyen bevezethető $230\text{m}^3/\text{sec}$ vízmennyiséget, vagy fordítva fogalmazva $8-10\text{m}^3/\text{sec}$ meleg víz mennyiségi növekedés, csak $0,5^{\circ}\text{C}$ Duna víz hőmérséklet csökkenés mellett lehetséges, hogy a törvényi előírásoknak ne mondjunk ellent.

Legideálisabb megoldásnak az adódik, hogy a melegvízcsatornából elágazó, első lépésben $95\text{m}^3/\text{sec}$ kapacitású melegvíz csatorna szakaszt felbővítsük, - max. $130\text{m}^3/\text{sec}$ vízmennyiség szállítására, és a

[REDACTED]
 [REDACTED]
 [REDACTED]

A két ponton – meglévő bevezetési pont és sodorvonal/ Duna bal-part/ déli energiatörő műtárgy – történő bevezetés vízmennyiség arányainak alakulása a Duna vízhőmérséklet függvényében

Erről az időszakra lehet szükség kiegészítő hűtőtoronyra, vagy az erőmű teljesítményét kell csökkenteni. Ennél a helyzetenél lehet élni a hidegvíz melegvíz oldali bekeverésének lehetőségével, amely a kétlépcsős rendszernél biztosítható az automatikus keverő műtárgyon keresztül. A

visszakeverendő víz mennyiségének csak a vb. melegvízcsatorna mérete szab határt, de ca. 40m³/s Duna hőfokú víz hozzákeverése akár 50%-kal is csökkentheti az előzőekben említett időtartamot. Természetesen ennek részletes vizsgálódását egy másik tanulmány keretében lehetséges elvégezni. Ez többlet beruházással jár, mind a szivattyú telep esetében, mind a melegvízcsatornák esetében.

- ❖ $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$ kondenzátori
hőfoklépcső, bevezethető
vízhőfok 30°C (1127/2010) Korm. hat.

Az általános helyzet hasonló mint az előzőekben.
Ilyen peremfeltételek mellett, hűtővízmennyiségtől, és a Duna vízhozamától függetlenül a Duna mint befogadó, csak 19°C vízhőmérsékletig funkcionál. Ennél magasabb vízhőmérséklet esetén már nem lehet közvetlenül a Dunába engedni a hűtővizet. A hőmérséklet tartóssági görbe alapján ez átlagosan évente 69 napot jelent.
Erre az időszakra lehet szükség kiegészítő hűtőtoronyra,
Ez csökkenthető a hidegvíz melegvíz oldali bekeveréssel, amely a kétlépcsős rendszernél biztosítható az automatikus keverő műtárgyon keresztül. Ennek csak a vb. melegvízcsatorna szállítóképessége szab határt, de pl. a 69 napos tartamot akár 40 napra is csökkenteni lehet.

A fentiekben vázolt számítások, és műszaki megoldások bizonyítják, hogy a frissvízhűtés önállóan is megállja a helyét, ha csak nem teljesen szélsőséges peremfeltételek együttes meglétét vesszük kiindulási alapadatként.

Hőmérsékleti tartomány	Napok száma
$25 > T \geq 24$	21
$24 > T \geq 23$	33
$23 > T \geq 22$	49
$22 > T \geq 21$	68
$21 > T \geq 20$	89
$20 > T \geq 19$	110

Mivel a frissvízhűtés alkalmazása mellett a hűtési korlátok a 24°C vízhőmérséklet felett jelentkeznek, ezért ezen hőmérséklet érték feletti tartományra a prognosztizációt nem végeztük el.

Természetesen azt is figyelembe kell venni, hogy 60 év múlva a számítás alapját képező maximális 287m³/sec vízmennyiség csak max 172 m³/sec vízmennyiség lesz.

A GEA-EGI Zrt - mint Megbízónk - elképzelése, hogy a teljes kondenzátori hűtővízmennyiséget, - ami a bővítés során jelentkezik, tehát 96,, 126m³/s, ill. 132, és 172 m³/s, vízmennyiségek - lehűti, 30°C -ra.

Természetesen abban az esetben ha a befogadóba beengedett víz hőfoka nem haladhatja meg a 30°C-t. (1127/2010Korm.hat.)

De még abban az esetben is, ha a befogadóba beengedhető víz hőfoka 32°C, akkor is kiegészítő hűtőtornyok telepítését látja célszerűnek, melyekkel a teljes hűtővízmennyiséget a kívánt hőfokra visszahűtheti.

A Mélyépterv Komplex Zrt számba vette a lehetséges variációkat, és a jelenleg birtokában lévő időjárási, klimatikus, valamint hidrológiai adatok alapján számításokat végzett a lehetséges megoldásokra, és kialakításokra, arra az esetre, hogy milyen időtartamra, mekkora hűtési kapacitás szükséges, ha teljesen figyelmen kívül hagyjuk az előzőekben ismertetett megoldásokat.

Az alábbiakban bemutatott táblázatok közül az 1.;2.;3. és 4.sz.-ú táblázat a $\Delta t=11^\circ\text{C}$ kondenzátori hőfokemelkedés konzekvenciáit, előfordulási valószínűségeit, míg az a; b; c; d; jelű táblázatok $\Delta t=8^\circ\text{C}$ kondenzátori hőfokemelkedéshez tartozó hasonló adatokat mutatja be.

A számítások minden esetben ikerblokkokra vonatkoznak

Abban az esetben, ha a Megrendelőnk által javasolt kiegészítő hűtőtornyos hűtési megoldás kerül kialakításra, akkor a kiépítendő keringtető szivattyúüzemnek a nagysága

az GEA-EGI javaslata alapján telepítendő hűtőtorny a 2x1200 MW blokknagyság esetén a 2x1600MW blokknagyság esetén pedig cellából áll.

A hűtőtornyokból a lehűtött vizet természetesen vissza kell vezetni a melegvízcsatornába, amely szintén hűtővízrendszerű nagyságú csővezeték rendszert jelentene.

A következő 1-4 táblázatban feltüntetett számításoknál lényegében véve a meglévő jelenlegi blokkokat figyelmen kívül hagytuk, és a bővítéshez tartozó vízforgalmat, és ezáltal a dunai hőterhelést önállóan, a meglévő üzemtől szeparáltan vizsgáltuk.

E vizsgálat alapján megállapítható, hogy a Duna hőterhelése szempontjából valamelyest kedvezőtlenebb a tervezett állapot, mint a jelenlegi, a kondenzátorokra megadott aránylag magas hőfoklépcső miatt. A tervezett állapot esetén a hőfoklépcső közel 11°C a jelenlegi ca.7,9-9,1°C-kal szemben.

A kondenzátor hőtechnikai paramétereit a Mélyépterv Komplex ZRT mint kapott adat kezelte, és ekként vette figyelembe. A kondenzátor hőfoklépcsője vizsgált esetben $\Delta t=11^\circ\text{C}$, ami azt jelenti, hogy már abban az esetben amikor a Duna vízhőfoka 20°C, akkor is kiegészítő hűtésre van szükség. Ennek szélsőséges esete, hogy a Duna vízhőfoka 27°C körüli érték, és a lehűtendő vízhőmérséklet 38°C-ra emelkedik.

A másik vizsgált esetben a kondenzátori hőfoklépcső csak $\Delta t=8^\circ\text{C}$. Ezt az adatot 20010.10.20.-án kaptuk a GEA-EGI-től. Ez az eset természetesen minden szempontból kedvezőbb.

A Mélyépterv Komplex ZRT vizsgálta azt az esetet, hogy a bővítés hűtővízmennyiségét - hőtechnikai oldalról nem önállóan, szeparáltan kezeli, ill. veszi figyelembe, hanem közösen a jelenlegi hűtővízmennyiségekkel.

Ez azért jelentős, mert a meglévő erőműi kibocsátott melegvíz „visszahűti” a tervezett blokkok melegvizét - a kisebb kondenzátori hőfoklépcső miatt. Legalábbis $\Delta t=11^\circ\text{C}$ kondenzátori hőfoklépcső esetén. A 23°C Duna víz hőmérséklet felett azonban már az elkeveredés sem segít, és ekkor kiegészítő hűtésre van szükség.

Ez a kiegészítő hűtés a GEA- EGI adatszolgáltatása szerint azt jelenti, hogy a 2x1200 MW erőműi blokkok esetén $Q=96\text{ m}^3/\text{s}$ vízmennyiséget, a 2x1600 MW beépítőse esetén $Q=126\text{ m}^3/\text{s}$ vízmennyiséget kell visszahűteni, az előzőekben vázolt koncepciók miatt.

A Mélyépterv Komplex ZRT azt a lehetőséget is vizsgálta, hogy a melegvízcsatornán érkező vízmennyiségnek egy részét a limitnek tekinthető hőfok alá visszahűti. Így kevesebb vizet kell kiemelni, ami természetesen energiát meg takarítással jár.

Az érthetőség kedvéért táblázatosan is összefoglaljuk a kiegészítő hűtés alternatíváit, ill. kiinduló adatait, ill. azokat a hőmérsékleti alappontokat, amelyekre a számításokat elvégeztük.

	Kondenzátor		Dunába engedett víz hőmérséklete		Keveredéssel elérendő Duna víz hőmérséklet	
	hőfok	lépcső				
1200MW	11°C	8°C	30°C	32°C	30°C	32°C
1600MW	11°C	8°C	30°C	32°C	30°C	32°C

A Mélyépterv Komplex ZRT ebben a kiegészítő hűtési változatban a rendszer keringtető szivattyú üzemét tervezi.

A tervezett szivattyútelep zárt vasbeton csatornával csatlakozik a meglévő melegvízcsatornához. Abban az esetben ha a GEA-EGI koncepcióját vesszük figyelembe, - és a teljes hűtővízmennyiséget visszahűtjük, - akkor a maximális vízmennyiség hűtőtoronyba juttatásához a 2x1200MW erőműi blokkok esetén a 2x1600MW erőműi blokkok esetén pedig függőleges tengelyű, vízesaknás, félaxiális átömlésű, lemezhasas szivattyút kell beépíteni.

Minden más visszahűtési variáció esetén a kialakítandó szivattyútelep kapacitása kisebb lehet ill. a beépítendő szivattyúk száma kevesebb.

Ezáltal a felhasznált energia is kevesebb.

A hűtőtorony celláihoz DN 900 mm-es lemezcsővezetékén keresztül csatlakozik a keringtető szivattyú telep.

A hűtőtoronyból a lehűtött víz gravitációs úton kerül vissza a melegvízcsatornába,

A kiegészítő hűtés mesterséges huzatú tornyait a GEA-EGI ajánlata alapján terveztük be.

A keringtető szivattyú teleptől méretű csővezeték juttatja el a vizet a hűtőtoronyba, ill. ennek a szelvénynek megfelelő csatornákon keresztül juttatjuk vissza a hűtött vizet a melegvízcsatornába.

Jelen tervfázisban a kiegészítő hűtés két alternatíváját vizsgáltuk meg.

Kiindulási, ill. betartandó környezetvédelmi előírásként az érvényben lévő 15/2001 sz.-ú KöM rendelet 10§-t vettük alapul.

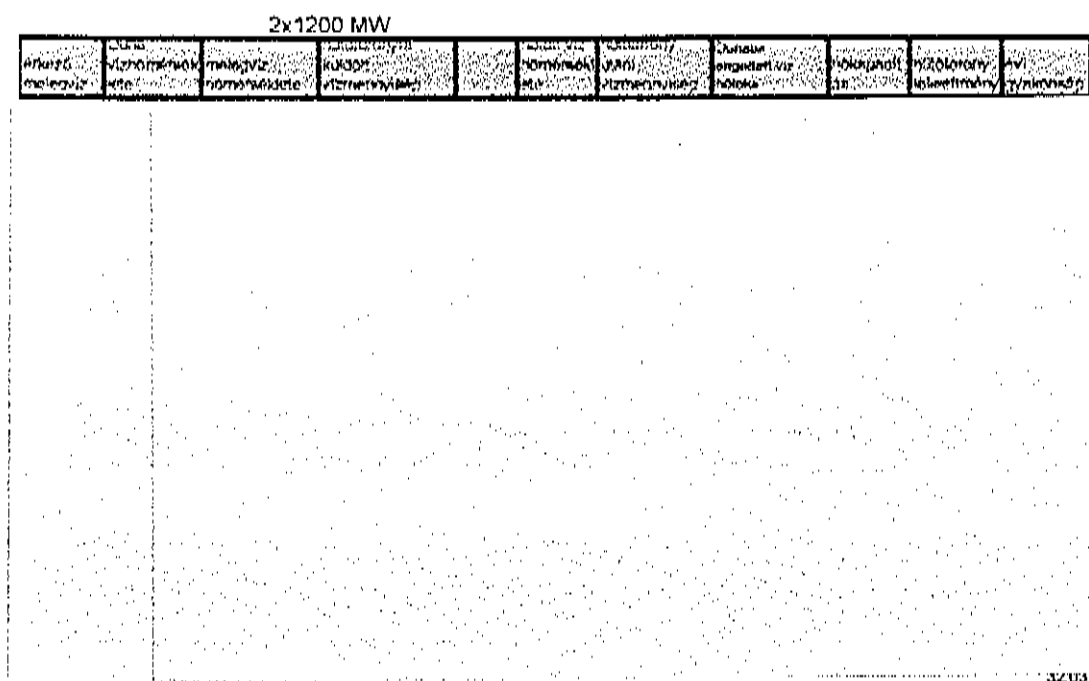
A 32°C érték figyelembevétele a következő megfontolásokkal magyarázható. A jelenlegi üzemállapotra vonatkoztatott mérések azt mutatják, hogy a vízcső a nagy - évezredes - vízhőmérsékleti melegrekord, igen alacsony paksi vízállás -85,8-85,79 mBf- és 4 blokkos üzemhez tartozó hűtővízmennyiség, - 115-117 m³/s - esetén is 500 m hosszúság alatt ca. 4,6°C-t veszít a hőmérsékletéből.

[REDACTED]

Ezek az adatok, és számítások természetesen a teljes kapacitással, 4. ill. 6 blokkal üzemelő régi és újonnan építendő erőmű vízforgalmi adataira vonatkoznak. Minden ennél kisebb erőműi teljesítménylepcső esetén a Dunai hőterhelés problematikája teljesen eljelenlégtelenedik.

A táblázat utolsó oszlopában tüntettük fel, hogy különböző hűtési teljesítményekre évente hány napig van szükség, természetesen a teljes blokki kapacitásokkal, az adatszolgáltatásként kapott kondenzátori hőfoklépcsővel, valamint a szintén adatszolgáltatásként kezelt hűtővízmennyiséggel üzemelő blokkok esetén.

Az 2.) táblázatban a 32°C megengedett torkolati hőmérséklet mellett a szükséges kiegészítő hűtési teljesítményeket ábrázoltuk. $\Delta t=11^\circ\text{C}$



A következő 4 db táblázat az alábbi üzemi esetekre vonatkozó számításokat tartalmazzák:
a számításokat úgy végeztük, hogy a meglévő blokkokat is figyelembe vesszük, mint párhuzamosan üzemelő blokkok. Ezt a számítást a jelenleg birtokunkban lévő adatok segítségével végeztük el. A bővítésként létesítendő blokkok hűtővíze a meglévő melegvízcsatornában keveredik az üzemelő blokkok hűtővizével. Az erre az állapotra jellemző számsorokat, kalorikus adatokat tüntettük fel az alábbi táblázatokban.

Érdekes megfigyelni, hogy ez az állapot csekély mértékben ugyan, de csökkenti a torkolati vízhőmérsékletet, mivel az üzemelő blokkok kondenzátori hőfoklépcsője, még nagy nyári meleg, és teljes kapacitás estén is alacsonyabb mint a tervezett blokkok esetén.

3.) táblázat Meglévő hűtővízrendszer és a bővítés hűtővízrendszerének elkeveredés utáni együttes vizsgálata, Dunába engedett víz megengedett hőfoka 32°C víz visszahűtéssel, és visszakeveréssel kondenzátori hőfoklépcső $\Delta t=11^\circ\text{C}$

2x1200 MW

Duna vízszintje	Döntés megnevezése	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés	Döntés megnevezése	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés	Döntés megnevezése	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés
szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint

4.) táblázat Meglévő hűtővizrendszer és a bővítés hűtővizrendszerének elkeveredés utáni együttes vizsgálata, Dunába engedett víz megengedett hőfoka 30°C vízvisszahűtéssel, és visszakeveréssel kondenzátori hőfoklépcső $\Delta t=11^\circ\text{C}$

2x1200 MW

Duna vízszintje	Döntés megnevezése	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés	Döntés megnevezése	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés	Döntés megnevezése	Megnevezés	Megnevezés	Megnevezés
szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint	szint

[REDACTED]

Ugyancsak a számításokat elvégeztük $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedés estére is. A számítások eredményeit az alábbi táblázatokban összegeztük.

a.) A meglévő hűtővízrendszer és a bővítés hűtővízrendszerének elkeveredés utáni együttes vizsgálata, Dunába engedett víz megengedett hőfoka 30°C vízvisszahűtéssel, és visszakeveréssel kondenzátori hőfoklépcső $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$

A hűtővízmennyiség $132 \text{ m}^3/\text{sec}$, ill. $172 \text{ m}^3/\text{sec}$

2x1200 MW

	hűtési mennyiség	melegvíz mennyiség	meglévő blokkok hűtési mennyiség	új blokkok hűtési mennyiség	egyesített hűtési mennyiség	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség	Dunába engedett víz hőfoka	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség
--	---------------------	-----------------------	---	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------------------	----------------------	----------------------

b.) A meglévő hűtővízrendszer és a bővítés hűtővízrendszerének elkeveredés utáni együttes vizsgálata, Dunába engedhető víz megengedett hőfoka 32°C vízvisszahűtéssel, és visszakeveréssel kondenzátori hőfoklépcső $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ A hűtővízmennyiség $132 \text{ m}^3/\text{sec}$, ill. $172 \text{ m}^3/\text{sec}$

2x1200 MW

	hűtési mennyiség	melegvíz mennyiség	meglévő blokkok hűtési mennyiség	új blokkok hűtési mennyiség	egyesített hűtési mennyiség	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség	Dunába engedett víz hőfoka	hűtővíz mennyiség	hűtővíz mennyiség
--	---------------------	-----------------------	---	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------------------	----------------------	----------------------

A hűtővízmennyiség $132 \text{ m}^3/\text{sec}$, ill. $172 \text{ m}^3/\text{sec}$

2X1200 MVV										
0 (m/s)	1 (m/s)	2 (m/s)	3 (m/s)	4 (m/s)	5 (m/s)	6 (m/s)	7 (m/s)	8 (m/s)	9 (m/s)	10 (m/s)
0 (m/s)	1 (m/s)	2 (m/s)	3 (m/s)	4 (m/s)	5 (m/s)	6 (m/s)	7 (m/s)	8 (m/s)	9 (m/s)	10 (m/s)
V1 (m/s)	V2 (m/s)	V3 (m/s)	V4 (m/s)	V5 (m/s)	V6 (m/s)	V7 (m/s)	V8 (m/s)	V9 (m/s)	V10 (m/s)	V11 (m/s)

A hűtővízmennyiség **132 m³/sec**, ill. **172 m³/sec**

[illegible]

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.
Tervszám: 10.03-1406
Irat szám: 6335-002

A.) amennyiben a $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedés, ill. a Dunába beengedett víz maximális hőfoka $T=32^{\circ}\text{C}$, akkor gyakorlatilag a jelenleg rendelkezésünkre álló szélsőséges adatok alapján elvégzett számítások szerint **semmilyen kiegészítő hűtésre nincs szükség**

B.) Ha $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedéssel számolunk, és a Dunába engedhető víz megengedett hőfoka $T=30^{\circ}\text{C}$, akkor az elvégzett számítások szerint előfordulhat évente - táblázatok alapján - [REDACTED] kiegészítő hűtésre szükség van

C.) amennyiben a $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedés, ill. a Dunába beengedett víz maximális hőfoka $T=32^{\circ}\text{C}$, akkor gyakorlatilag a jelenleg rendelkezésünkre álló szélsőséges adatok alapján elvégzett számítások szerint **kiegészítő hűtésre [REDACTED] van igény**

D.) Ha $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedéssel számolunk, és a Dunába engedhető víz megengedett hőfoka $T=30^{\circ}\text{C}$, akkor az elvégzett számítások szerint [REDACTED] amikor kiegészítő hűtési igény merül fel.

Közös üzem esetén az alábbi lehetőségek állnak fent

E.) : amennyiben a $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedést, ill. a Dunába beengedett víz maximális hőfoka 32°C , akkor gyakorlatilag a jelenleg rendelkezésünkre álló szélsőséges adatok alapján elvégzett számítások szerint **semmilyen kiegészítő hűtésre nincs szükség**, [REDACTED]

F.) Ha $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedéssel számolunk, és a Dunába engedhető víz megengedett hőfoka 30°C , akkor az elvégzett számítások szerint előfordulhat évente - táblázatok alapján [REDACTED] amikor kiegészítő hűtésre szükség van.

G.) amennyiben a $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedés, ill. a Dunába beengedett víz maximális hőfoka $T=32^{\circ}\text{C}$, akkor gyakorlatilag a jelenleg rendelkezésünkre álló szélsőséges adatok alapján elvégzett számítások szerint **kiegészítő hűtésre évente [REDACTED] igény**

H.) Ha $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedéssel számolunk, és a Dunába engedhető víz megengedett hőfoka $T=30^{\circ}\text{C}$, akkor az elvégzett számítások szerint [REDACTED] amikor kiegészítő hűtési igény merül fel.

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Természetesen 50-60 évre előre megjósolni a prognosztizált globális felmelegedés következtében fellépő folyami víz hőmérsékletek alakulását nem lehet, ill. komoly valóság alapja sem lenne.

A becsült beruházási költségek, [REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Az esetleges hőfoktúllépés elkerülhető a termelés kismértékű csökkentésével, -amire a 6 blokk együttes üze me estén nagy lehetőség van,- valamint blokk karbantartások hőfokemelkedés idejére való időzítésével.

Ha továbbra is lehetőségnek tekintjük az 500 m-re lévő referenciaszelvényre megadott $T=30^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet határt, és feltételezzük az eddigi mérésekkel igazolható 500m-en történő 4°C -os

hőmérséklet esést, ca 120m³/s vízmennyiségnél, akkor arra a következtetésre juthatunk, hogy egy újabb, de max. 2 újabb bevezetési pont kialakításával a frissvízhűtés teljes mértékben megoldást jelent a hűtővízrendszeri feladatok ellátására.

A fentiekben felsorolt esetleges szükséges korlátozásokon túlmenően egyéb, biztonságot, III. biztonságos üzemeltetést befolyásoló kockázat valószínűsége nulla. Extrém időjárási viszonyok, földrengés, folyami medermélyülés eseteire, esetleges egyidejűségükre a méretezési, és tervezési módszerek, technikák kellő biztosítékot nyújtanak.

3 Frissvíz hűtés technológiájának részletes bemutatása

3.1 Öblözeti vízkivétellel kialakított hűtővízrendszer

3.1.1 Kondenzátor hűtővízrendszer

Helyszínrajz 6335-101 sz.-ú terven 2x1200MW és 2x1600MW

Kapcsolási séma a 6335-200sz.-ú terven 2x1200MW

Kapcsolási séma a 6335-202sz.-ú terven 2x1600MW

Hidraulikai hossz-szelvény a 6335-207sz.-ú terven 2x1200MW

Hidraulikai hossz-szelvény a 6335-209sz.-ú terven 2x1600MW

A kondenzátor hűtővízrendszer feladata, hogy a Dunából a hidegvízcsatornán, -mint üzemvízcsatornán befolyható hűtővízmennyiség a kondenzátorhoz és a segédüzemi hőcserélőn áthajtva a Dunába visszavezessen, biztosítva ezzel az erőmű szekunderköréből a hulladékhő elvitelét. A kondenzátor és technológiai hűtővízrendszerek alapadataiban, kialakítási feltételeiben egyelőre még számos részlet kismértékben változhat. Ezek véglegesítése csak a Dunára vonatkozó további vizsgálatok, és végleges hatósági állásfoglalások után lesz lehetséges.

3.1.2 Dunai torkolat, uszadék fogó

Az új blokkok a szükséges hűtővízmennyiséget a Dunából vételezik, a folyó 1527 fkm. szelvényénél kezdődő trapézszelvényű, földmedrű, csatorna elején, a meglévő 1-4 blokkokhoz tartozó vízkivételi művek mellett, - azoktól északra – mintegy azok folytatásaként.

A dunai torkolatnál létesített, meglévő —a vízszintváltozást követni képes— jég- és uszadék fogó rács megmarad.

Ennek rendeltetése a nagyobb faágak, rönkök, uszadékok, valamint télen a jég távoltartása a vízrendszertől.

3.1.3 Hidegvíz csatorna

Az új hűtővízrendszer felhasználja a meglévő hidegvízcsatornát, annak szelvényét a kisvízi állapotokban szükséges mértékig bővítve.

A hidegvízcsatornának az erőmű bővítése után a jelenlegi 120 m³/s vízmennyiség helyett a 2x1200 MW teljesítmény kiépítése esetén Q=216 m³/s, vagy 252 m³/s, a 2x1600 MW teljesítmény kiépítése esetén Q=246 m³/s és 287 m³/s maximális vízmennyiséget kell szállítani.

A jelenlegi mederszelvény nem alkalmas ilyen mennyiségű víz elvezetésére, - elsősorban a 2x1600 MW-os fejlesztéshez tartozó vízmennyiség bevezetése jelentene gondot. Ezért a mederszelvényt bővíteni kell.

A hidegvíz csatornaszelvény szükséges átalakításokra vonatkozó előzetes javaslatunkat a 6335-300 sz-ú torv tartalmazza

Ez esetben a megnövekedett hűtővízmennyiség szállításának biztosítása érdekében a meglévő csatorna szelvény bővítésre kerül. A csatorna két oldalán a meglévő létesítményekre való tekintettel a csatorna szelvényének szélesítése helyett a mélységi növelést választottuk.

A kőszórás a rézsű alsó éle mentén ugyancsak vízepítési terméskőből kialakított lábazati gerendára támaszkodik.

Az árokfenék burkolására a jelenlegi állapottal azonos módon továbbra sincs szükség, a kialakuló sebességviszonyok a mederfenék talajában a jelenleginél nagyobb károsodást nem okoznak.

A szélesítés kisvízi állapotban azt biztosítja, hogy a megnövekedett vízforgalom mellett a hidegvízcsatorna esés ellenében a jelenlegi értéket nem haladja meg. A csatorna kiágazásának hidraulikai körülményeit a megnövekedett vízforgalomra véleményünk szerint akár további modell kísérletekkel ellenőrizni kell. Meghatározva az esetleges medermódosító beavatkozásokat.

A Duna változó vízszintjével azonosan változó vízfelszínű szélestükrű üzenvíz csatornánál a magas Duna-víz állások idején természetes üleptőként jelentős mennyiségű iszap lerakódásával kell számolni.

3.1.4 Vízkivételi mű

Hidraulikai hossz-szelvény és szivattyú üzem jellemzői	6335-207	2x1200MW
Hidraulikai hossz-szelvény és szivattyú üzem jellemzői	6335-209	2x1600MW
Öblözeti vízkivételi szivattyú telep	6335-220	2x1200MW
Öblözeti vízkivételi szivattyú telep	6335-222	2x1600MW

A hidegvíz csatornához, - a meglévő 1-4 blokkokhoz tartozó vízkivételi művek szinte folytatásaként egy újonnan tervezett vízkivételi mű csatlakozik az új blokkok hűtővízellátásának biztosítására. A két blokk szivattyúüzemét közös monolit vasbeton műtárgyba javasoljuk beépíteni.

E műtárgyba erőműi blokkonként a 2 x1200 MW-os bővítés esetére [REDACTED] a 2x1600MW-os bővítés estére pedig [REDACTED] szivattyú beépítését terveztük.

A szivattyúk vízszállítási paraméterrel az alábbiak

2x1200 MW erőműi blokk esetén

$Q_N =$ [REDACTED]

$H_N =$ [REDACTED] emelőmagasságra,

$P_{VII} =$ [REDACTED]

Beépített szivattyú száma [REDACTED]

2x1600 MW erőműi blokk esetén

$Q_N =$ [REDACTED]

$H_N =$ [REDACTED] emelőmagasságra,

$P_{VII} =$ [REDACTED]

Beépített szivattyú száma [REDACTED]

A szivattyúk az üzemeleti határok között szívóoldali előperdület állítással szabályozhatók. A szivattyúk beépítési magassága – járókerék tengelyszintje [REDACTED]

A méretezési vízszintet a 100 év visszatérési valószínűségi vízszintből kiindulva, valamint a jelenlegi és a távlati medermélyülést is figyelembe véve határoztuk meg.

Ez a beépítési szint biztosítja megfelelő biztonsággal a Duna folyam további medermélyülése esetén kialakuló LKV esetén is a hűtővízrendszer biztonságos működését.

A hűtővízrendszer hidraulikai, valamint üzemi jellemzőit a 2x1200MW-os blokkok vonatkozásában a 6335-207 sz.-ú terven, a 2x1600 MW-os blokkok esetében pedig a 6335-209 sz.-ú terven tüntettük fel.

A szivattyútelep elrendezése a 6335-220 sz.-ú terven látható, amely magába foglalja mind a 2x1200MW, mind a 2x1600MW kiépítés lehetőségét.

A hidegvíz csatorna öblözetéhez csatlakozó mélyalapozású vb. műtárgyba szárazakadás, függőleges tengelyű, lemezházas, szívókönyökös, félaxiális átömlésű, fix lapátozású, előperdület szabályozással ellátott szivattyú egységek kerültek beépítésre.

A szivattyútelepen beépített szivattyúk [REDACTED]

A szívóoldalon perdület állítási lehetőséggel bíró szivattyúk lehetővé teszik a szívóoldali vízszintingadozás automatikus követését.

A nagy szállítómagasság miatt a normális szívóképességet(hozzáfolyási igényt) is biztosítva, kisebb jellemző fordulatszámú járókerékre kell számítanunk.

A szivattyúk tengelyen igényelt maximális teljesítménye, [REDACTED] körül várható.

Közvetlen hajtásukra húspólusú, rövidrezárt forgórészű 6kV feszültségű függőleges tengelyű szabadtéri beépítésű közvetett vízűtésű, földemre szerelt hajtómotort irányoztunk elő.

A szivattyúüzem segédberendezéseinek (motorhűtés, szűrőöblítés, víztelenítések) ill. a telep belső installációját is az eddigi bevált megoldásokkal irányoztuk elő.

A telep üzemvitele teljes mértékben távirányítható, ill. automatizálható.

A szivattyúk uszadékokkal szembeni szívó oldali védelmét a betéttáblák által biztosított kiszakasozási lehetőséggel beépített függőleges elrendezésű, gépi tisztítású forgó láncos gerebek biztosítják. Szívócsatornánként 1-1 db gereb kerül beépítésre.

A gépi tisztítású gereb maximális hidraulikai ellenállása [REDACTED]

Ezen érték elérésekor a szűrőgereb automatikusan tisztítja a szűrőfelületét, és az uszadékot a felszínre hozza. Itt a rácsszemét dekontaminálása után a szemetet egy szállítószalag konténerbe hordja, míg a víz a szívóoldali visszavezetését biztosítja.

A szivattyúvédelmet szolgáló gereb pálcasztása [REDACTED]

A gereb felületet előzetes számításainkban szivattyúként [REDACTED]-re irányoztuk elő.

A függőleges sík a vízkivételi műtárgy mértének csökkentésére mindenképpen célszerűnek látszik.

A gépi tisztítású gerebek után szívócsatornánként 1-1 db [REDACTED] es lyukbőségű, központi áramlású szalagszűrő került beépítésre. (A víz áramlása a szűrőn belülről kifelé történik.)

A szivattyúk nyomóoldalon elektromechanikus működtetésű kombinált kialakítású csapózár-torlósappantyún keresztül csatlakoznak a nyomóoldali csővezetékekhez.

3.1.5 Hidegvíz nyomóvezetékek

A szivattyúk nyomóoldalon önműködő csőzáron keresztül nadrágidomokkal kialakított gyűjtő csőrendszerhez csatlakoznak

Önműködő csőzárként a kombinált, kettős funkciót ellátó csapózár-torlósappantyú szerelvényt irányoztuk elő. [REDACTED]

A csőrendszer [REDACTED] szivattyúegységet további két szakaszoló pillangószeleppel a két a főépülethez csatlakozó gerincvezetékhez kapcsolja.

A vízkivételi szivattyúüzemtől az erőmű főépület környezetéig blokkonként két db, szabadon vezetett [REDACTED] méretű, többtámaszú tartóként méretezett, hegesztett, gyűrű és patkóbordákkal merevített acéllemez –csővezeték továbbítja a vizet.

A vízsebességek $96 \text{ m}^3/\text{s}$ estén [REDACTED] $126 \text{ m}^3/\text{s}$ estén [REDACTED] értékre adódnak.

A vasbeton alaptesteken görgős alátámasztásokkal szerelt csővezetékek hődilataciós mozgásait acéllenecsés kompenzátorok veszik fel.

A hidegvíz gerincvezetékek [REDACTED] névleges mérettel érik el a főépület falsíkját, és onnan fokozatos átmérő csökkenéssel csatlakoznak a kondenzátorok hidegvízoldali vízkamráihoz. A különböző átmérőjű csőszakaszok közel azonos fajlagos hidraulikai ellenállással rendelkeznek, így biztosítva az egyenletes áramlás kialakulását.

A hidegvíz csővezetékek a 2x1200 MW-os blokkok esetén [REDACTED] 2x1600MW esetén [REDACTED] névleges méretű csővezetékekkel csatlakoznak a kondenzátorokhoz.

A hidegvíz csővezetésekről – mindegyik blokki nagyság esetén – egy-egy [REDACTED] leágazás a technológiai hűtővíz rendszer szivattyúüzemének a vízellátását is biztosítja.

3.1.6 Kondenzátorok csatlakozó vezetékai

A gőzturbinák három részes kondenzátorai a főépületbe bevezető [REDACTED] és —szakaszoló csőzárakkal lezárható —blokkonként [REDACTED] hidegvíz-, és [REDACTED] melegvíz vezetékekkel csatlakoznak a főépületek déli oldalán

A kondenzátorok tisztítása céljából a hideg- és melegvíz vezetékek között TAPROGGE típusú golyós kondenzátor tisztító berendezést terveztünk.

A kondenzátorok csatlakozó vezetékai 1600MW-os blokkok [REDACTED] 1200MW-os blokkok [REDACTED] névleges méretűek.

3.1.7 Melegvíz kivezetés

Kapcsolási séma 6335-200

Kapcsolási séma 6335-202

A melegvíz kivezetés kapcsolása, kialakítása a hidegvíz bevezetéssel teljesen meggyező.

A két darab [REDACTED] névleges méretű melegvíz kivezető cső reaktoronként [REDACTED] melegvíz csatornához csatlakozik. A csatorna zárt, de szabadfelszínű, gravitációs, négyszög szelvényű vízelvezető műtárgyként épül.

A főépülettől a melegvíz kivezetés a vasbeton melegvíz csatornáig, a hidegvíz csövekkel azonos méreteken és részben azokkal párhuzamosan fektetett [REDACTED] méretű földalatti acél csövek,

Vasbeton melegvíz csatorna

Blokkonként [REDACTED] a 2x1200 MW teljesítményű blokkok esetén [REDACTED] a 2x1600 MW teljesítményű blokkok esetén pedig [REDACTED] keresztmetszetű vasbeton ikercsatornák vezetik ki a vizet az erőmű üzemi területén a szinttartó bukóhoz, ill. a nyíltfelszínű, mederszelvényű meglévő melegvízcsatornához.

Az ikerszelvényű csatornáig a hidegvízvezetékekkel azonos méretű acél lemezvezetékek juttatják el a melegvizet.

Az ikerszelvényű vasbeton melegvíz csatornák reaktorblokkonként egy-egy szinttartó bukó műtárgyhoz csatlakoznak.

3.1.8 Szinttartó bukó

A szinttartó bukó rendeltetése, hogy a melegvíz elvezető rendszer vízszintjét tartva a kondenzátorok vízálló nyomását a telített gőznyomás feletti értéken tartva azok vákuum alatt szivornyaként üzemelhessenek és ezzel szivattyúzási energia takarítható meg.

A bukóél szintje: [REDACTED]

A kondenzátorok szivornyüzemét az 1-4 blokkok esetén legfeljebb [REDACTED] geodetikus szivornya magasságra lehet beállítani.

A bővítésre vonatkozó kondenzátori magassági adatok hasonló értékeket tartalmaznak, ezért feltételezhetjük, ill az előzetes számítások alapján, hogy a melegvízoldali tartott vízszint hasonló az 1-4 blokkok szintjeihez.

Blokkonként [REDACTED] lesz kialakítva.

A téli hideg időszakra való tekintettel a hűtővíz előírt $+11^{\circ}\text{C}$ -os minimális hőmérsékletének biztosítása céljából a 2x1200 MW-os erőmű bővítés esetén [REDACTED] melegvíz visszakeverést, a 2x1600 MW erőmű bővítés esetén [REDACTED] melegvíz visszakeverést tervezünk blokkonként.

A víz visszakeverését az üzemterületen kialakítandó szivattyúteleppel valósítanánk meg, mely közvetlenül csatlakozna szivóoldalon a melegvízcsatornához, míg nyomóoldalon a hidegvíz csővezetékekhez. Ezáltal túl. képen rövidre zárnánk a hideg és melegoldalt. E megoldással energiát is meg lehet takarítani, mivel nem a már „elcjtett” vizet emelnénk fel a melegvízcsatornából.

[REDACTED]
[REDACTED]

3.1.9 Külső melegvíz csatorna

Az általunk elvégzett hidraulikai számítások azt bizonyítják, hogy a meglévő melegvízcsatorna nem csak a jelenlegi üzem $\text{ca.}120 \text{ m}^3/\text{s}$ vízmennyiségét, de még a bővítés során a 2x1600-as erőmű blokk hűtéséhez illesztett $\text{max.}172 \text{ m}^3/\text{s}$, -tehát összesen $\text{max.} 287 \text{ m}^3/\text{s}$ együttes vízmennyiséget is képes elvezetni, [REDACTED] vízszint mellett.

Természetesen a vízmennyiség levezetéséhez a csatorna felújítása elengedhetetlen.

A meglévő melegvíz csatorna szelvénye tehát elvileg az új blokkok által kibocsátott növelt mennyiségű, felmelegedett hűtővízmennyiség szállításra is alkalmas, csak a dunai bevezetésnél kialakítandó, rekuperációs erőmű tehermentesítése érdekében van szükség egy önálló újabb dunai bevezetés létesítésére. Ez az új csatornaág a meglévő, Duna felé forduló íves szakasz előtt, egy új osztóműtárgyon keresztül ágazik le a meglévő csatornáról. Az osztóműtárgy biztosítja a megnövekedett hűtővízmennyiség egy részének az új csatornaszakaszba történő áramlását.

A kialakítandó új csatornaágnak az 1200MW-os bővítés esetén $\text{max. ca.}87 \text{ m}^3/\text{sec}$, az 1600 MW-os bővítés $\text{ca.}127 \text{ m}^3/\text{s}$ vízmennyiséget kell elvezetnie.

A csatorna kialakítását a vonatkozó mintakeresztmetszvény mutatja, méretei az alábbiak:

Fonókszélessége

2x1200MW bővítés esetén [REDACTED]

2x1600MW bővítés esetén [REDACTED]

Az oldalfalak [REDACTED] készülnek, mélysége [REDACTED] változik.

Üzemi vízszintje [REDACTED] Az oldal és fenékburkolat a hidegvíz csatornáéval megegyező kialakítású.

Megjegyezzük, hogy az üzemi vízszint a meglévő terepszint fölé esik, a csatorna két oldalán szükséges feltöltést a vízlevezetés biztonsága indokolja. Hasonló okból kisebb feltöltés szükséges a hidegvíz csatorna mentén is.

A meglévő talaj ezen feltöltés kialakításra nem alkalmas, a töltéscépités hozott anyagból készítenendő.

3.1.10 Energiatörő műtárgy, rekuperáci

A nyílt felszínű, burkolt melegvízcsatorna „szűk” keresztmetszete a folyami csatlakozásnál lévő energiatoró műtárgy, ill. az ebben elhelyezésre kerülő rekuperációs erőmű. Az újonnan létesítendő blokkok megvalósulásáig valószínűleg üzembehelyezésre kerülő rekuperációs erőmű $160 \text{ m}^3/\text{s}$

menntiségű víznyelésre képes. A fennmaradó – max. 86 m³/s vízmenntiséget a melegvízcsatornából - az energiatörő műtárgy előtt – elágazó, oldal mellékcsatornán keresztül vezetnék be a Dunába. Ez a mellékcsatorna ca. [REDACTED] lenne a jelenlegi energiatörő műtárgytól, déli irányba. Az újonnan kiépülő energiatörő műtárgyba szintén be lehet építeni – energianyerési lehetőség szem előtt tartásával - rekuperációs turbina üzemeltet, amely jelen esetben [REDACTED]

A kialakított második melegvíz bevezetési hellyel a Duna hőmérséklet terhelését is szétosztanánk. Az előzetes durva számítások szerint a visszanyerhető, ill. megtermelhető energia nagysága ca. 11.000 MWh/év az 1200MW-os fejlesztés esetén, 19000 MWh/év 1600MW-os blokkok esetén. Ez a teljesítmény természetesen csak az újonnan kialakított rekuperációs erőműre vonatkozik a jelenleg engedélyezés alatt álló rekuperációs erőművel együtt [REDACTED] villamos energia termelhető.

3.1.11 Műtárgyak szerkezeti kialakítása

A tárgyi bővítés műtárgyát jelentős alapterületű és nagy mélységű szerkezetek, melyek vasbetonból készülnek. A nagy méretek miatt a munkagödörök kialakítása és elkészítése jelentős feladatát képezi a műtárgyépítésnek.

A munkagödör határolása vízzáró résfalakkal történik. A résfalak a vízzáró agyagtalajba állnak be és a munkagödör szakaszos földkiemeléshöz igazodóan térbeli, több szinten kialakított acélszerkezetű belső dűcolattal kerülnek megtámasztásra.

A műtárgyak a földmegtámasztó résfalhatároláson belül készülnek. A műtárgyak önmagukban vízzáró, monolit vasbeton szerkezetek. Az alaplemez, falak, födémek geometriai méreteit és kialakítását a technológiai igényeken túlmenően a statikai, stabilitási (felúszás) kérdések határozzák meg (merevítő falak, stb.).

A nagyméretű [REDACTED] műtárgyak két részre osztva dilatációval készülnek. A szerkezetépítés során a műtárgyakban a technológiai igények szerinti felbetonozások készülnek.

A műtárgyak mellett esetlegesen szükségessé váló kiszolgáló utak, - melyek a víztér felett haladnak - résalapozású pengefalakra terhelő több támaszú vasbeton lemezszerkezetek, melyek hídépítés, valamint az útépités szabályai szerinti geometriai kialakításának megfelelőek.

A műszaki megoldáshoz tartozó mélyvezetésű, több csatornás vasbeton szerkezetek is dűcolt munkagödör megtámasztás védelmében készülnek, monolitikusan a helyszínen betonozva.

Az egyes csatorna szelvények méretét a hidraulikai igények határozzák meg. A csatornák a hosszúsághoz igazodó számú dilatációval készülnek.

A szerkezeti betonok minősége: az érvényes szabványok szerinti kitéti besorolásokat figyelembe vevő szilárdságú és minőségű vízzáró beton.

3.2 Duna parti vízkivétellel kialakított hűtővíz rendszer

3.2.1 Kondenzátor hűtővízrendszer

Helyszínrajz 6335-102 sz.-ú terven 2x1200MW

Kapcsolási séma a 6335-201sz.-ú terven 2x1200MW

Kapcsolási séma a 6335-203sz.-ú terven 2x1600MW
Hidraulikai hossz-szelvény a 6335-206sz.-ú terven 2x1200MW
Hidraulikai hossz-szelvény a 6335-208sz.-ú terven 2x1600MW

A kondenzátor hűtővízrendszer feladata, hogy a Dunából a hidegvízcsatornán, -mint üzemvízcsatornán befolyható hűtővízmennyiség a kondenzátorhoz és a segédüzemi hőcserélőn áthajtva a Dunába visszavezessen, biztosítva ezzel az erőmű szekunderköréből a hulladékhő elvitelét. A kondenzátor és technológiai hűtővízrendszerek alapadataiban, kialakítási feltételeiben egyelőre még számos részlet kismértékben változhat. Ezek véglegesítése csak a Dunára vonatkozó további vizsgálatok, és végleges hatósági állásfoglalások után lesz lehetséges. A szivóoldali szalagszűrő berendezések helyett ennél a változatnál a nyomóoldali szűrést, tisztítást terveztük ki.

3.2.2 Vízkivételi mű

Dunai vízkivételi szivattyú telep 6335-210 2x1200MW
Dunai vízkivételi szivattyú telep 6335-221 2x1600MW

A Dunai vízkivételi szivattyú telep a meglévő [REDACTED] [REDACTED] vert elhelyezést. A Dunai vízkivételi szivattyúteleppel kialakított hűtővízrendszer azt jelenti, hogy a vízszállítási vonal kétlépcsős lesz. A Duna partjára telepített szivattyútelepnek több előnye is mutatkozik – a gazdaságossági szempontokon túl. A kétlépcsős változat a szivattyúüzem helyes üzemeltetésével igen jelentős technológiai lehetőségeket rejt magában. A szivattyúk üzemének szabályozásával meg lehet oldani a közvetlen melegvíz visszakeverést, a többlet hűtővíz szállítást, -ami a meleg Duna víz hőmérséklet esetén előnyös. A meglévő hidegvízcsatorna és a melegvízcsatorna között u. n. apadási hullám alakul ki, bizonyos geometriai méretekkel. Az apadási hullám elsősorban dunai kisvízek esetén lehet jelentős. Ha a meglévő hidegvízcsatornán keresztül a kiemelendő vízmennyiséget ca. duplájára növeljük, akkor ez a kialakuló apadási hullám még jelentősebbé válhat. Dunai vízkivétel alkalmazásának előnye, hogy bár az apadási hullám hossza természetesen megnő, de az amplitúdója nem változik. 1 db épületben nyer elhelyezést mind a két blokk vízellátását biztosító szivattyúpark.

A szivattyúk egyenkénti tervezett, névleges vízszállítása: 2x1200 MW erőműi blokk esetén
 $Q_N = [REDACTED]$

$H_N = [REDACTED]$ m emelőmagasságra,

$P_{vill} = [REDACTED]$

Beépített szivattyú száma [REDACTED]

A szivattyúk egyenkénti tervezett, névleges vízszállítása: 2x1600 MW erőműi blokk esetén
 $Q_N = 1 [REDACTED]$

$H_N = [REDACTED]$ m emelőmagasságra,

$P_{vill} = [REDACTED]$

Beépített szivattyú száma [REDACTED]

Az egyben emelendő legnagyobb tömeg: [REDACTED]

A szivattyúk szárazaknás, függőleges tengelyű, előperdület szabályozású lemezházas, félaxiális átömlésű gépegységek.

A szivattyúk szívóoldalán kiszakaszoló betéttáblán, és függőleges síkú gerében keresztül csatlakoznak a Duna folyamhoz.

A szivattyúk nyomócsonkjai egy [REDACTED] lemezcső, és a szivattyúk ezen és egy átmeneti idomon keresztül csatlakoznak a földmedrű, burkolt hidegvízcsatornához.

A nyomóág magaspontján egy légkibocsátásra és légbeszívásra alkalmas szelep van, amely leálláskor levegőt szív be, és ezáltal csökkenti a tranziens jelenségeket.

A szivattyú egységek és az előszűrőberendezések túl. képen blokkos kapcsolásban vannak.

Véleményünk szerint ez megfelelő összehangolt karbantartás esetén az üzembiztonságot nem rontja.

Az üzemelési határok között szívóoldali előperdület állítással szabályozhatók. [REDACTED]

3.2.3 Hidegvízcsatorna

Helyszínrajz 6335-102 2x1200MW

Helyszínrajz 6335-104 2x1600MW

A szivattyútelepet köti össze a nyitott szűrőházzal. A csatornában a vízszint [REDACTED] A csatorna hossza [REDACTED] Benne a vízszint közel állandó.

A tervezett hidegvíz csatorna okkor értelemszerűen csak az új blokkok hűtővízigényéhez igazodóan került kialakításra, fenékszélessége 2x1200MW bővítés esetén [REDACTED]
2x1600MW bővítés esetén [REDACTED]

Mélysége [REDACTED] változik, ami [REDACTED] üzemi vízszintet tesz lehetővé [REDACTED] es részű koronaszint mellett.

A tervezett csatorna oldalai [REDACTED] rézsúhajlással készülnek, az állékonyság biztosítása érdekében mind az oldalak, mind a fenékszint burkolt, vízszigeteléssel ellátott burkolatot kap.

3.2.4 Nyitott szűrőház

Ennél a változatnál a nyomóoldali nyitott közbenső szűrőüzemet vizsgáltuk meg. A szűrőüzembe beépíthető import szalagszűrőberendezés, vagy hazai gyártású dobszűrő berendezés. A nyomóoldali szűrők alkalmazása jelentős építési megtakarítást eredményezhet.

A szűrők betéttáblán, és függőleges síkú gerében keresztül csatlakoznak a felvízoldali hidegvízcsatornához. A szűrők után szintén betéttáblát terveztünk, így ezáltal a betéttáblákkal a javítás idejére a szűrő kiszakaszolható.

A szűrők utáni felvízoldali medencét úgy alakítottuk ki, hogy annak minden keresztmetszetében [REDACTED] érték körüli vízsebességek alakulnak ki.

3.2.5 Hidegvíz vasbeton csatorna

A szűrőháztól a kondenzátor hűtővíz szivattyú házig zárt vasbetoncsatornán keresztül érkezik a víz. ■

■ A 2x1200 MW teljesítmény esetén a csatornában kialakuló sebesség ■ míg a 2x1600 MW teljesítmény esetén ■

A vasbetoncsatornák ■ szinten csatlakoznak a kondenzátor hűtővízszivattyú szívóoldali medencéjéhez.

Blokkonként ■ csatlakozik a főépületek előtti szivattyúházakhoz.

3.2.6 Kondenzátor hűtővíz szivattyúház

6335-224 sz.- ú terv 2x1200 MW 2x1600 MW

A szivattyúüzem feladata, az előírt hűtővízmennyiség áthajtása a kondenzátorokon az érkező hidegvízcsatornából, az elmenő melegvízcsatornába. Az alkalmazott önműködő visszakeveréssel az áthajtott mennyiség független lehet az érkező hidegvíz mennyiségtől.

A vasbetoncsatornák a főépület előtt telepített kondenzátor hűtővíz szivattyúházhoz csatlakoznak.

A mindegyik szivattyúházban a 2x1200 MW erőműi blokk esetén ■ a 2x1600MW erőműi blokk esetén ■ vízesaknás, függőleges tengelyű, lemezházas félaxiális átömlésű szivattyúegység került beépítésre. A hajtómotor szabadtéri kialakítású. 6kV feszültségű ■ teljesítményű előreláthatóan ■ aszinkron motor.

A szivattyúk egyenkénti tervezett, névleges vízszállítása: 2x1200 MW erőműi blokk estén

$Q_N = \text{■}$

$H_N = \text{■}$ emelőmagasságra,

$P_{VII} = \text{■}$

Beépített szivattyú száma ■

A szivattyúk egyenkénti tervezett, névleges vízszállítása: 2x1600 MW erőműi blokk estén

$Q_N = \text{■}$

$H_N = \text{■}$ emelőmagasságra,

$P_{VII} = \text{■}$

Beépített szivattyúk száma ■

A szivattyúk szívótete zártáblával szakaszolható.

A szivattyúházból kilépő vezetékek elzárószerelvénnyel keresztül csatlakoznak a kondenzátori csővezetékekhez.

A hidegvízvezetékek ■ méretűek, amelyek ■ méretű csővezetékhez csatlakoznak

A melegvízvezetékek szintén hasonló méretűek.

3.2.7 Kondenzátor körüli csővezetékek

A kondenzátor körüli csőrendszer ki és bevezetések pillangószelepei a főépület előtti zárkamrában kerültek elhelyezésre. A csővezetéki kialakítások az előzőekkel megegyező. A kondenzátorok körüli

csővezeték rendszerek kialakításánál figyelembe vettük a TAPROGE típusú golyós kondenzátor tisztító berendezést, a golyóadagolót, és a golyófogó elemeket.

3.2.8 Vasbeton melegvíz csatorna

A főépületből a melegvízelvezetés ugyancsak négyvonalas. A folyó szelvények [REDACTED] szelvénymértetű, enyhén túlnyomásos, nem szabadfelszínű vb. csatornák. Ezek csatlakoznak a szinttartó bukóhoz.

A téli üzemben szükséges melegvíz visszakeverést -mivel a kondenzátor belépő csomóján csak min. $+11^{\circ}\text{C}$ -os hőmérséklet engedhető meg – „automatikus „üzemmóddal oldottuk meg, a melegvízcsatorna azon szakaszán, ahol a melegvízcsatorna és a hidegvízcsatorna egymás felett halad. Ezen a szakaszon a két csatorna között kialakított nyíláson keresztül a hideg és melegvízcsatorna egymással tud kommunikálni.

Ha hűl a Duna vizének hőmérséklete, akkor a dunai vízkivételi műben csökkenteni kell az üzemelő szivattyúk számát, így a második szivattyúlépcsőhöz eljutó vízmennyiség kevesebb lesz, mint a kondenzátori szivattyútelep vízzárló kapacitása. A „hlányzó” vízmennyiséget a szivattyútelep a melegvízcsatornából pótolja, a kialakított nyíláson keresztül.

A téli hideg időszakra való tekintettel a hűtővíz előírt $+11^{\circ}\text{C}$ -os minimális hőmérsékletének biztosítása céljából a 2x1200 MW-os erőmű bővítés esetén [REDACTED] melegvíz visszakeverést, a 2x1600 MW erőmű bővítés esetén [REDACTED] melegvíz visszakeverést tervezünk.

[REDACTED]
[REDACTED]

3.2.9 Szinttartó bukó

A kondenzátorok biztonságos szivornyüzemét a melegvíz-kivezetéssel közösen kialakított műtárgyban búkóéles szinttartás biztosítja. A szinttartás felvízoldalon még osztott, alvízoldalon már nem.

A szinttartó bukó éle, mivel egyéb adatok nem állnak rendelkezésünkre, [REDACTED]

A bővítésre vonatkozó kondenzátori magasságokra sem kaptunk adatokat, ezért csak feltételezni merjük, hogy a melegvízoldali tartott vízszint hasonló az 1-4 blokkok szintjeihez.

[REDACTED]

A téli hideg időszakra való tekintettel a hűtővíz előírt $+11^{\circ}\text{C}$ -os minimális hőmérsékletének biztosítása céljából [REDACTED] melegvíz visszakeverését tervezünk.

3.2.10 Külső melegvíz csatorna

Az általunk elvégzett hidraulikai számítások azt bizonyították, hogy a melegvízcsatorna nem csak a jelenlegi üzem $120 \text{ m}^3/\text{s}$ vízmennyiségét, de a 2×1600 -as erőműi blokkhoz tartozó $123 \text{ m}^3/\text{s}$, tehát összesen $246 \text{ m}^3/\text{s}$ együttes vízmennyiséget is képes elvezetni, [REDACTED] vízszint mellett. A meglévő melegvíz csatorna szelvénye elvileg az új blokkok által kibocsátott növelt felmelegedett hűtővízmennyiség szállításra is alkalmas, csak a Dunába vezetésnél üzemelő meglévő rekuperációs erőmű tehormentesítése érdekében van szükség egy önálló dunai bevezetés létesítésére. Ez az új csatorna a meglévő Duna felé forduló íves szakasz előtt, a meglévő csatorna alvíz felé eső oldalán, egy új osztóműtárgyon ágazik le a meglévő csatornáról. Az osztóműtárgy a megnövekedett hűtővízmennyiség új csatorna felé terelését szolgálja.

A csatorna kialakítását a vonatkozó mintakeresztelvény mutatja.

Fenékszélessége	$2 \times 1200 \text{ MW}$ bővítés esetén	[REDACTED]
	$2 \times 1600 \text{ MW}$ bővítés esetén	[REDACTED]

Az oldalfalak [REDACTED] rézsűhajlással készülnek, mélysége [REDACTED] változik.

Üzemi vízszintje [REDACTED] Az oldal és fenékburkolat a hidegvíz csatornával megegyező kialakítású.

Megjegyezzük, hogy az üzemi vízszint a meglévő terepszint fölé esik, a csatorna két oldalán szükséges feltöltést a vízlevezetés biztonsága indokolja. Hasonló okból kisebb feltöltés szükséges a hidegvíz csatorna mentén is.

A meglévő talaj ezen feltöltés kialakításra nem alkalmas, a töltésepítés hozott anyagból készítenendő.

3.2.11 Energiatörő műtárgy, rekuperáció

A nyílt felszínű, burkolt melegvízcsatorna „szűk” keresztmetszete a folyami csatlakozásnál lévő energiatörő műtárgy, ill. az ebben elhelyezésre kerülő rekuperációs erőmű, [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

3.2.12 Műtárgyak szerkezeti kialakítása

A tárgyi bővítés műtárgyai jelentős alaprajzi méretű és nagy mélységű szerkezetek, melyek vasbetonból készülnek. A nagy méretek miatt a munkagödörök kialakítása és elkészítése jelentős feladatát képezi a műtárgyépítésnek.

A munkagödör határolása vízzáró résfalakkal történik. A résfalak a vízzáró agyagtalajba állnak be és a munkagödör szakaszos földkiemeléséhez igazodóan térbeli, több szinten kialakított acélszerkezetű belső dúcolattal kerülnek megtámasztásra.

A műtárgyak a földmegtámasztó résfalhatároláson belül készülnek. A műtárgyak önmagukban vízzáró, monolit vasbeton szerkezetek. Az alaplemez, falak, födémek geometriai méreteit és kialakítását a technológiai igényeken túlmenően a statikai, stabilitási (felúszás) kérdések határozzák meg (merevítő falak, stb.).

A nagyméretű [REDACTED] műtárgyak két részre osztva dilatációval készülnek. A szerkezetépítés során a műtárgyakban a technológiai igények szerinti felbetonozások készülnek.

A műtárgyak mellett esetlegesen szükségessé váló kiszolgáló utak, - melyek a víztér felett haladnak - rászalapozású pengefalakra terhelő több támaszú vasbeton lemezszerkezetek, melyek hidépítés, valamint az útépítés szabályai szerinti geometriai kialakításának megfelelőek.

A műszaki megoldáshoz tartozó mélyvezetésű, több csatornás vasbeton szerkezetek is dúcolt munkagödör megtámasztás védelmében készülnek, monolitikusan a helyszínen betonozva.

Az egyes csatorna szelvények méretét a hidraulikai igények határozzák meg. A csatornák a hosszúsághoz igazodó számú dilatációval készülnek.

A szerkezeti betonok minősége: az érvényes szabványok szerinti kitéti besorolásokat figyelembe vevő szilárdságú és minőségű vízzáró beton.

3.3 Frissvízhűtési változatok értékelése

A Mélyépterv Zrt által kidolgozott frissvízhűtési rendszerek közül véleményünk szerint a kétlépcsős rendszer az optimálisabb.

A kétlépcsős - Duna parti vízkivételi művel és a rendszeren belül kialakított automatikus hidegvíz-melegvíz keverő műtárggyal (a hideg és melegvíz csatorna rövidre zárásával) kialakított vízellátó rendszer előnye, hogy tetszés szerinti kapacitással kiépíthető szivattyúüzemekkel a kívánságnak megfelelő, legrugalmasabb üzemvitelt tesz lehetővé. Beállítható a Dunából kivett vízmennyiség, Q_0 , a kondenzátoron áthajtott vízmennyiség Q_1 , és a kettő közötti különbséget $|Q_0| \pm |Q_1|$. Ez lehetővé teszi akár a melegvíz visszakeveredését a hidegvíz oldalra, akár a hidegvíz bekeverését a melegvíz elvezetésbe. Ezzel akár a kondenzátorra menő víz hőmérséklete, akár a Dunába bevezetett víz hőmérséklete is a kívánalmaknak megfelelően beállítható.

A kondenzátornál szükséges [REDACTED] hőmérsékletű víz téli üzemidő alatt történő előállítását teljesen automatikusan történik, ez azt jelenti, hogy évente [REDACTED] nem kell a Dunai vízkivételi műnek teljes kapacitással üzemelnie, hanem csak [REDACTED]. Ez jelentős energia megtakarítást eredményez.

A két szivattyúüzem energia szükséglete együttesen sem nagyobb az egylépcsős rendszerénél, sőt kisebb! Csak a Dunai vízkivétel határfoka tér el a Duna vízállásváltozása miatt (a névleges (H_N)

középvízszinttől eltérő, kisebb és nagyobb vízállásoknál). Így annak határfoka az optimális [REDACTED]

[REDACTED] A blokkszivattyúk ezzel szemben gyakorlatilag a teljes éves üzemidejükben a jelleggörbéjük optimális hatásfokú pontján üzemelhetnek.

A kétlépcsős rendszerénél a vízkivételi mű műtárgyának mélyépítési költsége — annak mérete miatt — lényegesen kisebb. Ezzel szemben a felszínen — [REDACTED] építési szempontból lényegesen kedvezőbb körülmények között — építhető műtárgyak kis mértékben ugyan [REDACTED]

A rendszerben sehol sincs 1 m/s -nál kisebb sebesség, emiatt a biológiai fertőzés telepek kialakulása nem valószínűsíthető, így védekezni sem kell.

1. Az öblözteti vízkivételi mű építési munkái, résfal kidöntése nem zavarja az üzemelő ormű vízellátását. (vízminőség, iszap és hordalék felkeveredés).

2. A hidegvíz csatorna szükséges mélyítése és kotrása, valamint a fenék kőszórás és mederkialakítás munkálatai, nincsenek hatással az üzemelő blokkok vízellátására. (vízminőség, iszap és hordalék felkeveredés).
3. Nem kell új melegvíz visszakeverő műtárgyat, vagy szivattyús visszakeverő rendszert építeni.
4. Nincs jégmentesítési probléma, jég- és uszadék fogó üzemeltetése nem szükséges.
5. Nem terheli a beruházást a hidegvíz csatorna fenntartási költségei
 - [REDACTED]
 - [REDACTED]
 - Rézsű karbantartás,
 - Fűnyírás, parlagfű mentesítés
 - Árvédelmi út-fenntartás
- Kagyló, mohaállat és egyéb a hidegvíz csatornában kialakuló biológiai élet elleni védelem. (a csatornában az év jelentős részében 1 m/s alatti sebesség van.

3.4 Öblözeti vízkivétellel kialakított hűtővízrendszer hűtőtornyos kiegészítő hűtéssel

**6335-103 sz.-ú terv 2x1200 MW
2x1600 MW**

Jelen tanulmányban figyelembe vettük azt a lehetőséget is, hogy a klimatikus viszonyok oly módon alakulnak, hogy azok következtében globális felmelegedés valószínűsége is fellép, aminek következménye a folyók hőmérsékletének emelkedése.

Olyan szélsőséges esetet is számításba vettünk, - az esetlegesen bevezetésre kerülő egyéb joghatású intézkedések következtében is - hogy

- a folyóvízbe beengedhető hőforrás maximális hőmérséklete 30°C lehet,
- az erőmű teljes kapacitással, -tehát 6 blokkal - üzemel,
- Duna vízhozama a minimális érték körül.

Ilyen szélsőséges helyzet előfordulásának gyakoriságát, ill. tartósságát a - ma rendelkezésünkre álló információk alapján elvégzett számításokat - a 3.1 sz.-ú fejezetben tárgyaltuk. Természetesen egy peremfeltételekkel rendelkező környezetben a jelenlegi kondenzátori hűtővízrendszer sem felelne meg, így annak kiegészítő hűtési rendszeréről is a bővítés alkalmával kiépítendő kiegészítő hűtési rendszernek kell gondoskodni.

A kiegészítő hűtés mellékágként, „secunder körként” csatlakozik a kondenzátori hűtőkörre.

A kondenzátori hűtőkör kialakítása, technológiai folyamata, technológiai paraméterei mindenben megegyeznek a 4.1 sz.-ú fejezet alatt ismertetekkel.

A kiegészítő hűtőkör szivattyúüzeme a melegvízcsatornából emeli ki a hűtendő vízmennyiséget, és juttatja el a mesterséges huzatú, nedves hűtőtornyokhoz.

A szivattyúüzem nyíltfelszíni csatornával csatlakozik a meglévő melegvízcsatornához.

A nedves hűtőtornyok vízgyűjtő medencéiből a lehűtött víz gravitációs úton jut vissza a melegvízcsatornába, és onnan a Dunába.

A kiegészítő hűtés szivattyútelepén függőleges tengelyű, nedves aknás, fix járókerekű, lemezházas szivattyúk nyernék elhelyezést. Számuk [REDACTED]

A szivattyútelep ezt a vízmennyiséget legalább [REDACTED] méretű vezetéken juttatja el a [REDACTED] hűtőcellasorhoz.

A hűtőtornyokból nyíltfelszíni földmedrű csatornák vezetik vissza a lehűtött vizet a melegvízcsatornába

3.5 Duna- parti vízkivétellel kialakított hűtővíz rendszer hűtőtornyos kiegészítő hűtéssel

6335-103 sz.- ú terv 2x1200 MW
2x1600 MW

Az alapfelvetések természetesen hasonlóak a 4.3 sz.-ú fejezetben leírtakkal.

A kondenzátori hűtővízrendszer megegyezik a 4.2 sz.-ú fejezetben leírtakkal, a kiegészítő hűtés pedig természetesen megegyezik a 4.3 -ban említettekkel.

3.6 Őblözeti vízkivétellel kialakított hűtővízrendszer sodorvonal melegvízbevezetéssel

Jelen tanulmány, ill. annak részét képező VITUKI jelentés megvizsgálta azt a lehetőséget is, hogy a 3. sz.-ú fejezetben említett szélsőséges helyzetben milyen lehetőség van a melegvíz szétosztására, vagyis több ponton történő bevezetésére, annak reményében hogy teljesíthető legyen a 15/2001 sz.-ú rendelet.

A vizsgálatokat részleteiben a VITUKI Nonprofit Kft által készített tanulmány tartalmazza.

A kondenzátori hűtőkörrendszer mindenben megegyezik az eddigiekben ismertetekkel. A sodorvonal bevezetés tanulmányban jelzett Duna szelvényben, a sodorvonal jobb és bal partján [REDACTED] csővezetékekkel oldható meg.

A csővezetékek egy osztó műtárgyon keresztül ágaznak ki a melegvízcsatornából. Természetesen ezek a leágazó csővezetékek szilipoltózárral kiszakaszolhatóak, és csak a szükséges időben biztosítanak átfolyást.

A sodorvonal bevezetés helyén megfelelő kialakítású, vasbetonműtárgyat kell készíteni.

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

3.7 Duna parti vízkivétellel kialakított hűtővíz rendszer sodorvonal bevezetéssel

A kondenzátor hűtőkörrendszer megegyezik a 4.2 sz.-ú fejezetben írottakkal, a sodorvonali bevezetés kialakítása pedig a 4.5 sz.-ú fejezetben található.

4 Nedves léghűtő rendszer pótvízellátása

Pótvízellátó szivattyútelep 6335-240

Kapcsolási séma 6335-241

A nedves léghűtőrendszer pótvízellátó szivattyútelepe a meglévő hidegvízcsatorna öblözeti részén kerül telepítésre, a meglévő vízkivételi művek folytatásaként.

A mértékadó pótvíz igény –ami magába foglalja a vizelőkészítő berendezések vízigényét, turbina és csapágys hűtéshez szükséges vízigényt, valamint a hűtőkörfolyamatban fellépő párolgás vízigényét.

A szivattyútelep az alábbi főbb gépészeti berendezéseket tartalmazza.

- 1.) Függőleges tengelyű félaxiális átömlésű lemezhasas szivattyú
Q= H= P=
- 2.) Gépi tisztítású gereb, 20 mm-es pálcasztással
- 3.) Kosaras szalagszűrő 3 mm lyukbősséggel
- 4.) Elektromos működtetésű csapózár

A szivattyúk előperdület állító berendezéssel ellátottak.

Üzemszerű állapotban a beépített szivattyúk közül szivattyú üzemel, szivattyú pedig tartalék. A maximális vízigény esetén mind a üzemszerűen üzemelhet.

A szivattyútelep névleges méretű acélcsővezetékekkel csatlakozik a hűtővízrendszer pótvízellátó rendszeréhez.

A pótvíz mennyisége a 2x1200 MW esetén max.6,4 m³/s, 2x1600MW blokkok esetén 8,9m³/s
(Ezeket az adatokat a GEA-EGI határozta meg)

5 Környezeti kapcsolódás, környezetvédelem

- A fejezet célja annak bizonyítása, hogy a létesítmény használata során környezetet károsító anyag nem keletkezik, ill. annak mértéke nem lépi túl a megengedett határértéket. A létesítmény technológiail funkcióit a technológiai műszaki leírás tartalmazza.
- A környezeti vizsgálat elvégzési kötelezettségét több feltétel együttesen határozza meg
- Általánosan azokra a tervekre, programokra állhat fenn, amelyek megvalósítása jelentős környezet károsító, vagy módosító hatással járhat.
- A hűtővízrendszer a nukleáris erőmű rendszer azon területe, amely az üzemelés során közvetlen kapcsolatba sugárveszélyes területtel nem érintkezik, és így normál hűtővízrendszerként foglalkoztunk vele, környezetvédelmi szempontból.
- A környezetvédelmi hatások előzetes vizsgálatánál, ill. azok figyelembevételénél a környezetvédelem szempontjai közül az alábbiakat vettük figyelembe.
- ☐ Levegőtisztaság-védelem
- ☐ Hulladékok, veszélyes hulladékok keletkezése, átmeneti tárolása
- ☐ Talajszennyezés, vízminőség-védelem
- ☐ Csendvédelem, a környezetet érő zajterhelés

-
-
- A kialakított hűtővízrendszer a levegőtisztaság védelmi előírásokat követelményeket nem érinti, káros anyag levegőbe történő kibocsátása nem fordul elő
- A kondenzátor hűtővízrendszer technológiai kialakítása során ill. későbbi üzemeltetés során a technológiából fakadóan káros anyag nem keletkezik, azok tárolásáról, kezeléséről ennek folytán gondoskodni sem kell.
- Vízminőség védelem: a víz minőségének alakulására a hűtővízrendszer nincs hatással. A hűtővízrendszer a Duna megnövekedett hőterhelése kapcsán „kapcsolódna” a környezetvédelemhez. A megnövekedett hőterhelés azonban a technológia leírása során említett módszerrel csökkenthető. ill.további vizsgálataink is arra irányulnak, hogy a lehetőségeket skáláját szélessítsük.
-
- Környezeti zajterhelés szempontjából elsősorban a hűtővíz-keringtető szivattyúk nagyteljesítményű villamos motorjai jelölhetnek vizsgálat tárgyát képező anyagot. A keletkező hangnyomásszintet ill. hangteljesítményszintet a végleges motorok zajadatainak birtokában tudjuk vizsgálni, ill. eldönteni, hogy szükséges-e a vizsgálat.
-

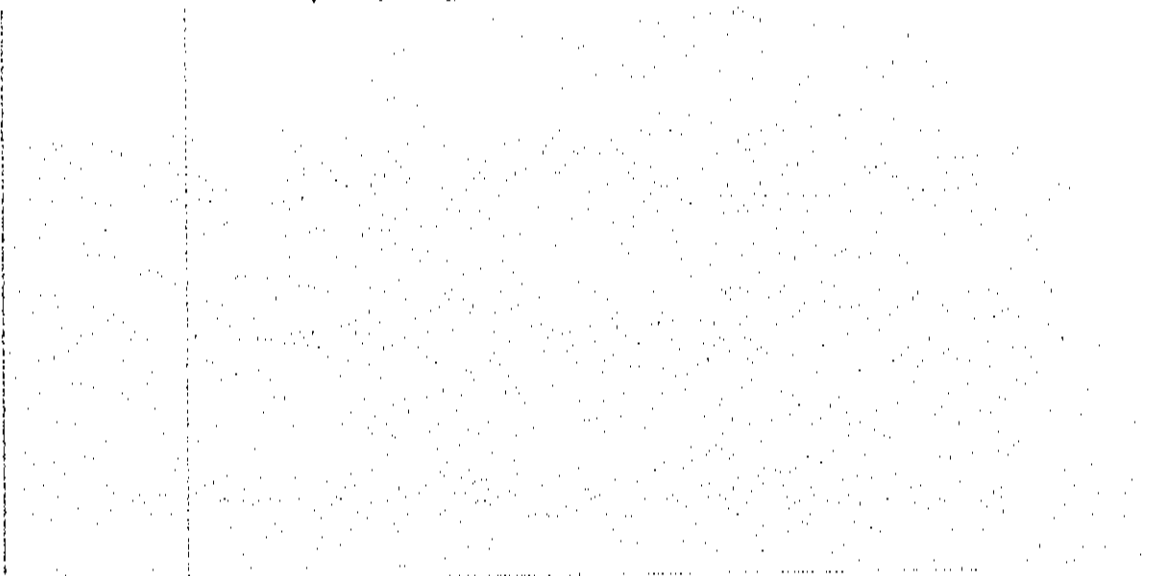
6 Beruházási és üzemeltetési költségek

6.1 Frissvízhűtés

$\Delta t=11^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedésnél
Kiegészítő hűtés nélkül

1. HŰTŐVÍZRENDSZERI NETTÓ BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK
Az Alkalmazott Hűtőrendszer 30 éves előélettartással (Működési)

2.1. Összeállított villamos teljesítmény és energiaigény:



$\Delta t = 11^\circ\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedésnél
Kiegészítő hűtéssel (kondenzátori hűtőkör költsége nélkül)

1. HŰTŐVÍZRENDSZERI NETTÓ BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK
Az Automatizált Hűtővízrendszerrel 300000 literes víz tárolással

2x1200MM/ 2x1600MM/

2. HŰTŐVÍZRENDSZERI NETTÓ ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉGEK

$\Delta t=8^{\circ}\text{C}$ – os kondenzátori hőfokemelkedésnél
Kiegészítő hűtés nélkül

DAR:530400A00222EGA

54. old.

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

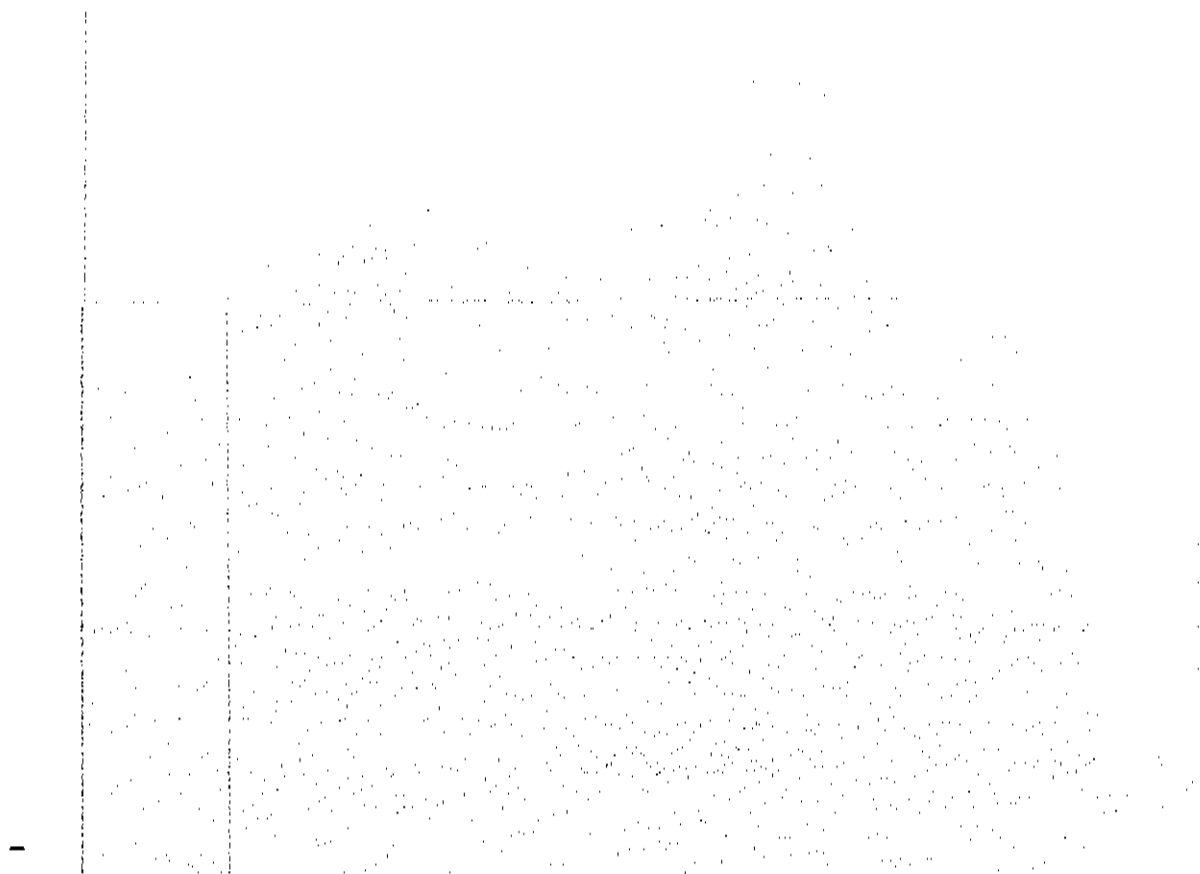
Műszaki leírás 6335-002 II fázis

Tervszám: 10.03-1406

Módosítás: Rev.0, Dátum:2011.05.04

Irat szám: 6335-002

1. HÜTŐVÍZRENDSZERI NETTÓ BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK
Az Alapszámú Hűtőrendszer 21 éves átlagosnál kevesebb



6.2 Kiegészítő hűtés hűtőtoronnyal(kondenzátori hűtőkör költsége nélkül)

Nettó beruházási költség, hűtőtorony nélkül 2x1200 MW $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$	
2x1600MW $\Delta t=8^{\circ}\text{C}$	
2x1200 MW $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$	
2x1600MW $\Delta t=11^{\circ}\text{C}$	

6.3 Sodorvonalai bevezetés(kondenzátori hűtőkör költsége nélkül)

Csak a 32°C megengedett torkolati hőmérséklet melletti megoldás. A költségbecslési táblázatokban nem szerepel.

Nettó beruházási költség, hűtőtorony nélkül 2x1200 MW	
2x1600MW	

6.4 Nedves léghűtés pótvízellátás

Nettó beruházási költség: 2x1200MW	
2x1600MW	

7 VITUKI vizsgálat

A MÉLYÉPTERV KOMPLEX Zrt felkérésére a VITUKI Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Nonprofit Közhasznú Kft vizsgálatokat végzett a tervezett bővítés vízminőségi hatásainak előzetes felmérésére, a bővítés során keletkező hőterhelés optimális szétosztására, valamint a keletkező hőterhelés additív eszközökkel történő hatáscsökkentésének lehetőségeinek előzetes vizsgálatára.

A kapott vizsgálati anyagból kitűnik, hogy a tervbe vett bővítés kondenzátori hűtővízrendszere által létrehozott dunai hőterhelés nem jelent problémát a frissvízhűtés megvalósításánál.

Tul. képen a vizsgálati anyag a legszélsőségesebb környezeti paraméterek egyidejűségét tételezi fel. Vagyis a legmagasabb vízhőmérsékletet, a legkisebb Duna vízhozamot, és a 6 blokk egyidejű maximális üzemét.

Ha részleteiben vizsgáljuk a hőterhelés technológiai paramétereit, akkor a fentebb említett paramétereken túl figyelembe kell venni a melegvízcsatorna terheltségét is. A kérdéskört teljes komplexitásban csak ekkor lehet értékelni.

A vizsgálati anyag a javasolt hőterhelés elosztási megoldásai közül –amelyeket azonban csak az év nagyon rövid időszaka alatt kell üzemeltetni - nem dönt, mivel a döntéshez még részletesebb, átfogóbb, nagyobb adatsor szükséges.

A tanulmány a melegvíz elkeveredésére vonatkozóan, 2D-s számítási modellt alkalmaz. A későbbiekben célszerű lenne 3D modell számításokat is elvégezni, amely valóságosabban tükrözné a térbeli elkeveredés következtében bekövetkező hőmérséklet csökkenést.

Szintén további vizsgálatokat érdemes végezni arra az esetre is, hogy milyen jelentőséggel bír a Duna hőterheltségének csökkentése szempontjából, hogy a bővítés kiépítése során már kialakul egy második bevezetési pont, [REDACTED]

7.1 TERVEZETT BŐVÍTÉS VÍZMINŐSÉGI HATÁSAINAK ELŐZETES VIZSGÁLATA

7.2 A Paksi Atomerőmű állapotértékelésével kapcsolatos korábbi vízkémiai, vízbiológiai vizsgálatok összefoglalása

Az Atomerőmű térségében végzett részletes vízkémiai és vízminőségi vizsgálatok 2001. és 2003. évek között folytak. Jelentésünkben összefoglaljuk a helyszíni vizsgálatokon alapuló eddigi eredményeket. A tervezett teljesítmény-bővítéshez olyan későbbi, részletes felmérésekre lesz szükség, amelyek minden szempontból kielégítik a Víz Keretirányelvben rögzített előírásokat és kiterjednek az összes fontosabb biológiai, vízkémiai és hidromorfológiai mutatóra is.

7.2.1 A telephely tágabb környezetében lévő Duna-szakasz általános jellemzése

A Duna Európa második legnagyobb folyója, hossza 2857 km. Vízgyűjtő területe 817 000 km². 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 legveszélyesebb a Sárosparti kanyar, ahol 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-Karapancsa tájegység területén eléri a 3-5 km-t.

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

A Paksi Atomerőmű (az atomerőmű szelvénye a torkolattól 1527 fkm) telephelyének környezetében a Duna enyhén alsószakasz jellegű. A Duna 50%-os tartósságú, középvízhozama Dunaujvárostól Mohácsig alig változik, mindenütt 2350 m³/s körül van.

A Dunán mért vízhozam jellemzőket (Dunaujváros, Mohács), valamint vízhozam-tartóssági értékeket az 1. táblázat és a 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A telephely közvetlen környezetén kívül lévő Duna-szakasz sokévi vízhozam-jellemzői

Mérőállomás	Távolság a torkolattól	Vizsgált időszak	Vízhozam-jellemzők (m ³ /s)		
	Fkm	év - év	Legkisebb napi	sokévi napi átlag	legnagyobb napi
Dunaujváros	1586,6	1960-89	784	2310	8868
Mohács	1446,9	1960-89	764	2363	8250

2. táblázat: A telephely közvetlen környezetén kívül lévő Duna-szakasz sokévi vízhozam-tartósságai

Mérőállomás neve	Vízhozamok (m ³ /s)							
	% nap	3 11	10 37	20 73	50 183	80 292	90 329	97 354
Dunaújváros	1960-89	4240	3510	3080	2190	1470	1260	1120
Mohács	1969-89	4200	3530	3080	2230	1580	1400	1250

7.2.2 A Duna vízminősége

A Duna vízminőségének értékelését a törzshálózati vizsgálatok alapján a VITUKI Rt. Vízminőség-védelmi Intézet Hidrobiológiai Osztálya végezte, a Dunaföldvár-Hercegszántó közötti szakaszon, öt szelvényben hét mintavételi helyen. A vizsgált időszak az 1979-2004 közötti évekre terjedt ki.

A vízminőség értékelésére az 1994-ben életbe lépett MSZ 12749 szabványt alkalmazták, amely öt vízminőségi osztályt különböztet meg és a 90 %-os tartósságú értéket tekinti mértékadónak.

Az MSZ 12749 szabvány alapján történő minősítésnél alkalmazott határértékrendszert osztályok meghatározásával történik – a Paksi Atomerőmű üzemidő-hosszabbítása Környezeti Hatástanulmányának 4.3.3.6. pontja tartalmazza a három értékelte rész időszak (1979-1982, 1983-1990 és 1991-2004) bontásában. [4. táblázat]

Az értékelte időszak ily módon történő szétbontása lehetővé teszi a Paksi Atomerőmű üzembe lépése előtti és utáni vízminőségi viszonyok összehasonlítását. Az eredmények alapján látható, hogy a legtöbb jellemzőnél a vízminőség nem változott, vagy javult.

Az előző bekezdésben leírtakkal kapcsolatban ki kell hangsúlyozni, hogy azok a Dunaföldvári (Paks fölötti) mintavételi helyre is jellemzőek voltak a szóban forgó időszakokra vonatkozóan.

A törzshálózati helyeken 1979-2004 között végzett vízkémiai vizsgálatok értékelése szerint a rész időszakok összehasonlítása alapján a Paksi Atomerőmű fölötti és alatti mintavételi helyek figyelembe vételével a következő főbb megállapítások tehetők:

A legtöbb mintavételi helyen és vízminőségi jellemzőnél az idő függvényében kedvezően alakultak a vízminőségi viszonyok.

A Paksi Atomerőmű alatti mintavételi helyeken (Fajsz, Baja, Mohács, Hercegszántó) általában nem mutatott eltérést a víz minősége a felette lévőhöz (Dunaföldvár) képest. (Ebből a szempontból a Dunaföldvári (közép) és a Fajsi szelvény átlagadatainak az egybevetése tekinthető igazán mértékadónak.) Vonatkozik ez a megállapítás mindhárom részidőszakra és mindegyik értékelte statisztikai paraméterre (időszakok átlaga, 90%-os értéke, minősítése).

Ez azt jelenti, hogy az atomerőmű – az értékelte komponensek vonatkozásában – a Duna vízminőségének alakulásában számottevő szerepet eddig nem játszott; ha változott a Duna vízminősége, az nem a Paksi Atomerőmű hatására történt. [3. 4. és 5. táblázat]

3. táblázat: Minősítésnél alkalmazott határértékrendszer

Vízminőségi jellemzők	Mértékegység	Határértékek a vízminőségi osztályokban				
		I. Kiváló	II. Jó	III. Tűrhető	IV. Szennyezett	V. Erősen szennyezett
Oxigén háztartás						
Oldott oxigén	mg/l	7,0	6,0	4,0	3,0	<3,0
Oxigéntelítettség	%		70-80	50-70	20-50	<20
BOI ₅	mg/l	4,0	6,0	10,0	15,0	>15,0
KOI _{pn}	mg/l	5,0	8,0	15,0	20,0	>20,0
KOI _k	mg/l	12,0	22,0	40,0	60,0	>60,0
Szaprobítási index	-	1,80	2,30	2,80	3,30	>3,30
Tápanyag háztartás						
Ammónium-N	mg/l	0,20	0,50	1,00	2,00	>2,00
Nitrit-N	mg/l	0,01	0,03	0,10	0,30	>0,30
Nitrát-N	mg/l	1,0	5,0	10,0	25,0	>25,0
Ortofoszfát-P	µg/l	50	100	200	500	>500
Összes foszfor	µg/l	100	200	400	1000	>1000
Klorofill-a	µg/l	10,0	25,0	75,0	250,0	>250,0
Mikrobiológia						
Coliformszám	i/ml	1	10	100	1000	>1000
Szerves és szervesetlen mikroszennyezők						
Kőolaj és termékei	µg/l	20	50	100	250	>250
Fenolok	µg/l	2	5	10	20	>20
Anionaktív detergenssek	µg/l	100	200	300	500	>500
Alumínium (oldott)	µg/l	20	50	200	500	>500
Cink (oldott)	µg/l	50	75	100	300	>300
Higany (oldott)	µg/l	0,10	0,20	0,50	1,00	>1,00
Kadmium (oldott)	µg/l	0,50	1,00	2,00	5,00	>5,00
Króm (oldott)	µg/l	10,0	20,0	50,0	100,0	>100,0
Nikkel (oldott)	µg/l	15,0	30,0	50,0	200,0	>200,0

Ólom (oldott)	µg/l	5,0	20,0	50,0	100,0	>100,0
Réz (oldott)	µg/l	5,0	10,0	50,0	100,0	>100,0
Radioaktív anyagok						
Összes aktivitás	Bq/l	0,17	0,35	0,55	1,10	>1,10
Egyéb jellemzők						
pH	-	6,5-8,0	8,0-8,5	8,5-9,0	9,0-9,5	>9,5
Fajlagos vezetés	µS/cm	500	700	1000	2000	>2000
Vas (oldott)	mg/l	0,10	0,20	0,50	1,00	>1,00
Mangán (oldott)	mg/l	0,05	0,10	0,10	0,50	>0,50

4. táblázat: Időszakok 90 %-os* tartósságú értékeinek összehasonlítása (1979-1982, 1983-1990 és 1991-2004)

Vízminőségi jellemző	Mértékegység	Dunaföldvár (bal part)		Dunaföldvár (közép)		Dunaföldvár (jobb part)		Fajsz		Baja		Mohács		Hercegszántó			
		79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	91-04	
		82	90	82	90	82	90	82	90	82	90	82	90	82	90		
I. Határértékekkel rendelkező komponensek																	
Oxigén háztartás																	
Oldott oxigén	mg/l	7,8	8,5	9,0	8,0	8,7	9,0	8,2	8,6	8,8	8,0	8,6	8,4	8,9	7,9	8,2	8,8
Oxigéntelítettség	%	72	75	87	72	77	87	75	77	85	73	77	78	86	74	77	86
BOI ₅	mg/l	7,5	6,6	5,7	7,2	6,3	5,8	7,0	6,4	6,1	7,2	6,2	6,6	5,9	6,5	5,8	5,9
KOI ₅	mg/l	9,5	8,5	6,4	9,4	8,4	6,3	8,6	8,3	6,3	9,6	8,2	7,9	6,0	9,3	8,2	5,6
KOI ₁	mg/l	29,0	27,6	24,4	27,7	27,7	24,3	29,3	28,7	23,9	29,6	27,7	27,1	23,9	28,4	27,8	22,1
Szaprobitási index	-	2,88	2,76	2,66	2,88	2,69	2,64	2,91	2,76	2,69	2,84	2,67	2,67	2,60	2,79	2,57	2,57
Tápanyag háztartás																	
Ammónium-N	mg/l	0,85	0,77	0,29	0,80	0,76	0,29	0,78	0,71	0,31	0,82	0,71	0,87	0,33	0,92	0,86	0,27
Nitrit-N	mg/l	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
Nitrát-N	mg/l	2,68	3,12	3,15	2,82	3,16	3,16	2,76	3,12	3,22	2,65	3,14	3,10	3,14	2,65	3,10	3,15
Ortofoszfát-P	µg/l	232	201	95	228	197	91	245	209	90	244	205	238	201	245	218	91
Összes P	µg/l		245	208		255	195	258	187		292	198	334	198	342	199	205
Klorofill-a	µg/l			83,8		125,3	109,1		82,2		124,6	112,4	129,3	107,7	125,9	112,2	103,4
Mikrobiológia																	
Coliformszám	i/ml			412			363			241				170			180
Szerves és szervesetlen mikroszennyezők																	
Kőolaj és termékei	µg/l	545	497	196	528	505	221	595	626	224	493	555	168	490	433	574	206
Fenolok	µg/l	8	6	5	8	6	5	8	7	5	7	6	5	8	7	5	5

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT. PAE területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek vizsgálata 6/6335

Döntés előkészítő tanulmány

Frissvíz hűtés

Anionaktív detergensek	µg/l	178	141	53	167	168	52	209	161	50	195	163	50	160	155	50	149	50	153	140	51
Alumínium (oldott)	µg/l			64,8			57,9			60,8			71,5			65,4		70,2			63,9
Cink (oldott)	µg/l			25,6			21,9			31,4			34,6			24,2		27,3			25
Higany (oldott)	µg/l			0,20			0,20			0,20			0,25			0,20		0,20			0,20
Kadmium (oldott)	µg/l			0,30			0,28			0,22			0,18			0,27		0,33			0,19
Króm (oldott)	µg/l			1,3			0,9			1,0			1,2			1,4		1,5			1,3
Nikkel (oldott)	µg/l			2,1			1,9			2,0			2,0			2,0		2,3			4,0
Ólom (oldott)	µg/l			1,6			1,7			1,8			1,8			1,8		1,5			2,1
Réz (oldott)	µg/l			6,6			7,7			8,4			6,5			7,3		6,7			6,7
Radioaktív anyagok																					
Összes aktivitás	Bq/l			0,17			0,18			0,17						0,17		0,16			0,17

DAR:530400A00222 EGA

Műszaki leírás 6335-002 II fázis

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. hh. nn.04

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

Tervszám: 10.03-1406

Irat szám: 6335-002

4. táblázat: Időszakok 90 %-os* tartósságú értékeinek összehasonlítása (1979-1982, 1983-1990 és 1991-2004) (folytatás)

Vízminőségi jellemző	Mértékegység	Dunaföldvár (bal part)			Dunaföldvár (közép)			Dunaföldvár (jobb part)			Fajsz			Baja			Mohács			Hercegszántó		
		79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04
		Egyéb jellemzők																				
pH	-	8,4	8,6	8,7	8,3	8,6	8,6	8,6	8,4	8,6	8,6	8,6	8,6	8,3	8,5	8,5	8,4	8,5	8,6	8,4	8,6	8,5
Fajlagos vezetés	µS/cm	450	480	449	446	481	449	443	477	461	450	489	449	461	499	465	471	490	456	467	492	457
Vas (oldott)	mg/l	0,30	0,23	0,10	0,38	0,24	0,10	0,32	0,25	0,10	0,29	0,24	0,10	0,29	0,24	0,10	0,37	0,27	0,10	0,35	0,25	0,10
Mangán (oldott)	mg/l	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02
II. Határértékkel nem rendelkező komponensek																						
Tápanyag háztartás																						
Ásványi nitrogén	mg/l	3,64	3,80	3,46	3,69	3,76	3,40	3,50	3,79	3,50	3,48	3,81	3,45	3,77	3,81	3,39	3,63	3,85	3,41	3,59	3,80	3,37
Egyéb jellemzők																						
Levegő hőmérséklet	°C	19,1	19,5	21,1	19,0	19,4	21,1	19,3	19,5	21,0	19,9	20,1	21,7	19,9	20,3	21,8	20,0	20,2	21,8	20,5	20,4	21,7
Víz hőmérséklet	°C																					
Vízhozam	m³/s	3375	3094	3536	3375	3094	3536	3375	3094	3536	3420	3301	3657	3690	3275	3641	3663	3184	3702	3653	3178	3727
Átlátszóság (íráspróba)	mm	352	375	494	380	362	494	360	391	494	372	366	494	383	359	494	382	367	494	381	367	495
Metilorange lúgosság	mval/l	3,6	3,7	3,5	3,6	3,7	3,5	3,5	3,7	3,6	3,5	3,7	3,5	3,7	3,8	3,7	3,7	3,8	3,6	3,6	3,8	3,6
Kalcium	mg/l	66,9	67,8	64,0	66,8	67,6	64,0	66,9	67,5	64,1	66,3	67,9	64,0	67,4	67,9	65,8	67,2	68,0	64,1	68,0	67,8	64,0
Magnézium	mg/l	16,3	17,4	16,4	16,5	17,6	16,8	16,8	18,4	17,3	16,8	17,5	16,6	18,0	18,5	17,4	17,8	18,5	17,0	17,4	18,4	17,1
Nátrium	mg/l	18,3	23,7	16,9	18,4	23,7	16,8	19,2	23,9	17,9	18,5	23,6	16,7	19,2	25,2	19,1	18,7	24,8	17,6	18,9	24,4	17,0
Kálium	mg/l	4,5	4,3	3,4	4,4	4,3	3,5	4,5	4,3	3,8	4,5	4,2	3,4	4,8	4,3	3,5	4,7	4,3	3,5	4,7	4,3	3,4

DAR:530400A00222 EGA

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

Műszaki leírás 6335-002 II. fázis

Tervezési: 10.03-1406

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. éh. nn.04

Irat szám: 6335-002

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT. PAE területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek vizsgálata 6/6335

Döntés előkészítő tanulmány

Frissvíz hűtés

Nátrium százalék	%	15	18	15	15	15	18	15	14	16	19	16	15	19	15	15	18	14
Magnézium százalék	%	30	32	34	31	32	34	35	33	32	33	34	32	33	33	31	32	34
Összes kem. (CaO)	mg/l	132	134	127	132	134	128	130	132	134	136	130	135	137	127	136	136	129
Karbonát kem. (CaO)	mg/l	100	103	98	100	103	98	100	99	103	106	103	103	105	101	102	105	100
Klorid	mg/l	28,0	30,5	26,0	28,5	30,2	26,2	27,7	28,2	30,5	28,8	31,3	27,6	28,4	26,9	28,6	30,7	26,0
Szulfát	mg/l	62,7	68,0	49,9	62,5	69,3	50,5	51,9	63,6	68,1	66,3	70,9	50,9	63,9	51,8	63,2	69,5	51,2
Hidrokarbonát	mg/l	217	224	212,	217	224	212,	215,	217	224	223	230	219,	224	217,	222	213,	213,
t				4		6		5		7			1		7		4	
Összes lebegő anyag	mg/l	60	58	49	57	53	47	49	48	49	49	47	47	48	42	43	44	41

* Oldott oxigén esetén 10%-os.

félkövér: IV. osztály;

félkövér+dől: V. osztály.

5. táblázat: Időszakok vízminőségi osztályba sorolásának (minőségének) összehasonlítása (1979-1982, 1983-1990 és 1991-2004)

Vízminőségi jellemző	Mérté k-egység	Dunaföldvár (bal part)		Dunaföldvár (közép)		Dunaföldvár (jobb part)		Fajsz		Baja		Mohács				Hercegszántó	
		79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90
		Oxigén háztartás															
Oldott oxigén Oxigéntelítettség BOI ₅	mg/l	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
	%	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	II.	I.	II.	I.	II.	II.	I.
	mg/l	III.	II.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	II.	II.	III.	II.	II.

DAR:530400A00222 EGA

Műszaki leírás 6335-002 II fázis

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. hh. nn.04

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

Tervszám: 10.03-1406

Irat szám: 6335-002

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT. PAE területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek vizsgálata 6/6335
Döntés előkészítő tanulmány
Friss víz hűtés

Vízminőségi jellemző	Mértékegység	Dunaföldvár (bal part)			Dunaföldvár (közép)			Dunaföldvár (jobb part)			Fajsz			Baja			Mohács			Hercegszántó			
		79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	
KO ₂	mg/l	III.	III.	II.	III.	III.	III.	II.	III.	III.	II.	III.	III.	II.	III.	III.	III.	III.	II.	III.	III.	II.	
KO ₄	mg/l	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	
Szaprobitási index	-	IV.	III.	III.	IV.	III.	III.	IV.	III.	III.	III.	IV.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	
Tápanyag háztartás																							
Ammónium-N	mg/l	III.	III.	II.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	
Nitrit-N	mg/l	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	
Nitrát-N	mg/l	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	II.	
Orthofoszfát-P	µg/l	IV.	IV.	II.	IV.	III.	IV.	IV.	IV.	II.	IV.	IV.	II.	IV.	IV.	II.	IV.	IV.	II.	III.	III.	II.	
Összes P	µg/l	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	II.	III.	III.	II.	III.	III.	II.	III.	III.	II.	IV.	IV.	III.	
Klorofil-a	µg/l			IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	IV.	
Mikrobiológia																							
Coliformszám	1/ml		IV.	IV.			IV.	IV.	IV.	IV.						IV.						IV.	

5. táblázat: Időszakok vízminőségi osztályba sorolásának (minősítésének) összehasonlítása (1979-1982, 1983-1990 és 1991-2004) (folytatás)

Vízminőségi jellemző	Mértékegység	Dunaföldvár (bal part)			Dunaföldvár (közép)			Dunaföldvár (jobb part)			Fajsz			Baja			Mohács			Hercegszántó			
		79-82	83-90	91-00	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	79-82	83-90	91-04	
		Szerves és szervesetlen mikroszennyezők																					
Kőolaj és termékei	µg/l	V.	V.	IV.	V.	V.	IV.	V.	V.	IV.	V.	V.	IV.	V.	V.	IV.	V.	V.	IV.	V.	V.	IV.	
Fenolok	µg/l	III.	III.	II.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	III.	II.	
Anionaktív detergens	µg/l	II.	II.	I.	II.	II.	I.	III.	II.	I.	II.	II.	I.	II.	II.	I.	II.	II.	I.	II.	II.	I.	
Alumínium	µg/l			III.			III.			III.			III.			III.			III.			III.	

DAR:530400A00222 EGA **MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.**

Műszaki leírás 6335-002 II fázis

Tervező: 10.03-1406

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. hh. nn.04

Irat szám: 6335-002

Vízminőségi jellemző	Mértékegység	Dunaföldvár (bal part)		Dunaföldvár (közép)		Dunaföldvár (jobb part)		Fajsz		Baja		Mothács		Hercegszántó	
		79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90	79-82	83-90
(oldott)															
Cink (oldott)	µg/l		I.		I.		I.				I.		I.		I.
Higany (oldott)	µg/l		II.		II.		II.				II.		II.		II.
Kadmium (oldott)	µg/l		I.		I.		I.				I.		I.		I.
Króm (oldott)	µg/l		I.		I.		I.				I.		I.		I.
Nikkel (oldott)	µg/l		I.		I.		I.				I.		I.		I.
Ólom (oldott)	µg/l		I.		I.		I.				I.		I.		I.
Réz (oldott)	µg/l		II.		II.		II.				II.		II.		II.
Radioaktív anyagok															
Összes aktivitás	Bq/l		II.		II.		I.				II.		I.		I.
Egyéb jellemzők															
pH	-	II.	III.	II.	III.	II.	III.	II.	III.	II.	III.	II.	III.	II.	III.
Vezetőképesség	µS/cm	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.
Vas (oldott)	mg/l	III.	I.	III.	I.	III.	I.	III.	I.	III.	I.	III.	I.	III.	I.
Mangán (oldott)	mg/l	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.	I.

félkövér: IV. osztály

félkövér+dől: V. osztály

DAR:530400A00222 EGA

Műszaki leírás 6335-002 II. fázis

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. hh. nn.04

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

Tervszám: 16.03-1406

Irat szám: 6335-002

7.3 A Paksi Atomerőmű állapotértékelésével kapcsolatos korábbi hidrobiológiai vizsgálatok összefoglalása

Az Atomerőmű felmelegedett hűtővizének a Duna élővilágára gyakorolt hatásának megállapítására 2001-2003 között részletes fito- és zooplankton, valamint a vízi makroszkopikus gerinctelen állatok vizsgálatát végeztük el. Ezeknek a vizsgálatoknak a keretében vizsgáltuk a felsorolt élőlény-együttesek faji összetételének, egyedszámának és biomassza értékének a változásait a folyó Paks-Mohács közötti szakaszán a hőcsóva mentén. Az Atomerőmű térségében halfaunisztikai felmérések is történtek a Dunában.

7.3.1 Fitoplankton

A 2001-2002. években összesen öt vizsgálati sorozat eredményel alapján a fitoplankton kismértékű fiziológiai károsodását állapítottuk meg, ami a Duna víznek az erőmű hűtőrendszerén való áthaladása során bekövetkező hő- és mechanikai hatások következménye.

Ezeket a megállapításokat a 2003. tavaszi és őszi vizsgálatok eredményei nem erősítették meg.

A melegvíz-csatornában, valamint a paksi jobb parti és sodorvonali szelvényekben mért biomassza, a-klorofill koncentráció és a-klorofill % értékeket összehasonlítva hol növekedést, hol csökkenést állapítottunk meg. A fitoplankton biomassza számított, valamint százalékos aránya széles tartományban, 44,0 és 222,9%, ill. 6,7 és 260,6% között változott. Az a-klorofill koncentráció és az a-klorofill % esetében a Paks jobbparti és a sodorvonali, valamint a melegvíz csatornában mért értékek 112,7-114,5% és a 98,4-129,0%, ill. 113,2-215,0% és 100,1-126,7% voltak. Az elmúlt három év összesen kilenc mennyiségi fitoplankton és a-klorofill vizsgálatának eredményei alapján nem állapítható meg egyértelműen az erőmű károsító hatása.

A lebontás első lépcsőit jelző bakteriológiai paraméterek 2003-ban is szeszélyesen változtak, de a heterotróf aktivitás nagyságrendben hasonló volt az előző évekéhez. A 2001. és a 2002. évi eredményekkel összehasonlítva a mikrobiológiai vizsgálatoknál szokásos variabilitás 2003-ban is fellelhető. A nagyságrendi eltéréseket figyelembe véve az látható, hogy 2003-ban a heterotróf telepszámok esetében csak a termofil paramétereknél található jelentős növekedés 2001-hez és 2002-höz viszonyítva.

A hőterhelés esetleges kedvezőtlen hatását a bakteriológiai vizsgálatok 2003-ban sem jelzik.

A hőterhelésnek a fitoplankton fotoszintetikus oxigén termelésére gyakorolt hatását világos-sötét palack módszerrel vizsgáltuk. Az eredményekből az állapítható meg, hogy a hidegvíz-csatornából vett minta fitoplanktonjának fotoszintetikus oxigén-termelése mintegy 20%-kal volt nagyobb a melegvízi, mint az eredeti környezetben.

A melegvíz-csatornából vett minta fitoplanktonjának fotoszintetikus oxigén-termelése a hidegvízben való expozíció hatására ugyanakkor az eredeti melegvízi környezetben exponált mintáénál mintegy 21%-kal volt kisebb. A legnagyobb értéket a hidegvíz-csatornából vett és a melegvízben exponált mintában mértük.

Az a tény, hogy a hidegvízi fitoplankton fotoszintézisének intenzitása minden összehasonlításban nagyobb volt, mint a melegvíz-csatorna fitoplanktonjáé azt jelenti, hogy a fitoplankton kis mértékben károsodik a Duna vízének az erőmű hűtőrendszerén való áthaladása során.

Ez a hatás közvetlen mikroszkópos vizsgálattal nem, vagy csak speciális esetben (pl.: Sceletonema-tömegprodukció esetén a fonalak szétesése) mutatható ki. A fiziológiai károsodás azonban a fotoszintetikus oxigén-termelés mérésével kimutatható, ami megerősíti régebbi 1984-ben végzett vizsgálataink eredményeit.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

7.3.2 Zooplankton

A zooplankton minőségi és a mennyiségi vizsgálati eredménnyel szerint a 2001-2003. közötti három évben előforduló fajok száma is és a közös fajok száma is közel azonos volt. A három vizsgált állatcsoport közül a Duna vizére jellemző eutróf vízi kerekeshéjúak dominanciája volt jellemző.

A leggazdagabb faji összetételű állományokat a korábbi vizsgálatok eredményeihez hasonlóan most is a Paks fölötti szelvényben, a melegvíz-csatorna torkolata alatt, Gerejen-Dombori, továbbá Baja és Mohács térségében találtuk. 2001-ben mindkét alkalommal, továbbá 2002 júniusában és szeptemberében azt állapítottuk meg, hogy a fajszám a hossz-szelvény mentén lefelé haladva fokozatosan növekszik. Ennek az lehet az oka, hogy Mohács felé haladva a lassú áramlási sebességű folyam vizében egyre több ritka előfordulású faj került elő a mintákból. 2003-ban hasonlóan egyértelmű fajszám növekedést nem tapasztaltunk.

Az Atomerőmű hűtőrendszerén átfolyt felmelegedett Duna vízében 2001-ben és 2002-ben is csak kis mértékben, vagy egyáltalán nem csökkent a faj- és egyedszám. 2001. augusztus 29-én is és 2002. június 18-án is meghaladta a melegvíz-csatorna torkolata térségében a víz hőmérséklete a kritikusnak tartott 30°C-ot. Ennek ellenére csak az utóbbi mintavételkor tapasztaltuk azt, hogy számottevően csökkent az állatok egyedszáma. 2003 júliusában szintén hasonló mértékű csökkenést állapítottunk meg. 2001 és 2002 nyarán azt is megfigyeztük, hogy az állatok egyedszáma a melegvíz-csatorna torkolata fölött levő szelvényben is és alatta a hossz-szelvény mentén egészen Dombori-Fajsz térségéig a jobb parti szelvényekben lényegesen kisebb volt, mint a szelvények közepén és a bal parton. A fajszám esetében ugyanakkor hasonló jelenség nem volt megfigyelhető. Ezt a jelenséget a többi vizsgálat alkalmával nem tapasztaltuk.

A melegvíz-csatorna torkolata térségében az említett három év során végzett vizsgálataink eredményei alapján elmondható, hogy az Atomerőmű hűtőrendszerén áthaladó Duna vízében általában akkor következik be a kerekeshéjúak és a plankton rákok nagyobb mértékű (15-40%) pusztulása, amikor a felmelegedett hűtővíz hőmérséklete eléri vagy túllépi a 30°C-ot. A hidegvízű évszakokban ilyen mértékű változások ezzel szemben nem tapasztalhatók. A 30°C körüli felső hőmérsékleti határ megadása a kerekeshéjúak és a plankton rákok tekintetében a fentiek értelmében indokoltnak tűnik.

7.3.3 Vízi makroszkópikus gerinctelenek

A korábbi évek kutatásával megegyezően a Paksi Atomerőmű által kibocsátott melegvíz hatása a vízi makroszkópikus gerinctelen együttes megváltozása szempontjából a kibocsátás helyétől (1526 fkm) alvízi irányba, a folyam jobb parti régiójában, az 1525,8 fkm-nél kijelölt mintavételi szelvényig, tehát csupán néhány száz méteren keresztül tekinthető jelentős mértékűnek. A változás az élőlény-együttes faj- és egyedszám növekedésében nyilvánul meg. A legjelentősebb különbséget a hőterhelt szakaszon élő taxonok (leginkább a Corbicula-fajok és az Unionidae-család, főként a *Sinanodonta woodiana*) egyedszámának a többszörösére történt növekedésében találtuk. Általánosan érvényes a makrozoobenton együttesre az a megállapítás, hogy a melegvíz hatására kialakuló kedvezőbb táplálkozási és ezzel együtt a növekedési feltételek a populációk méretének jelentős változását okozzák, vagyis lokálisan néhány faj egyedszám-adatai látványosan megnőnek.

Az ez évi eredményeket a 2001. és 2002. évek eredményeivel összehasonlítva megállapítható, hogy a csóvaszerűen levonuló felmelegedett hűtővíz csupán lokális hatást fejt ki a helytől vízi élőlény-együttes tagjaira. A helyszíni vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a torkolati műtárgy közvetlen környezetében (1526 fkm), valamint a nagy sarkantyú (1525,8 fkm), mindkét helyszínen a jobb part mentén az évszaktól és a vízállástól függetlenül, bármelyik vizsgálati időszakban néhány élőlény-csoport fajainak egyedszám-növekedése tapasztalható. Az egyes taxonok tömegességének szignifikáns növekedése volt kimutatható a vízi csigák közül az elevevízű csiga (*Viviparus acerosus*) és a kagylók közül az összes megtalált Unionidae-faj, valamint az újonnan,

DAR:530400A00222 EGA

Műszaki leírás 6335-002 II fázis

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. hh. nn.04

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

Tervszám: 10.03-1406

Irat szám: 6335-002

emberi tevékenység eredményeképpen behurcolt két *Corbicula*-faj esetében. A plócák három fajánál volt tapasztalható hasonló populáció-növekedés.

A felmért Paks-Mohács közötti Duna-szakaszon egyébként az alsó folyószakasz hidrogeográfiai és hidraulikai viszonyai jellemzők, amelyekhez az itteni gerinctelen együttes tipikus fajai rendelhetők. A makrozoobenton-együttes társulás-szerkezetében az említett két szelvényen kívül a többi hat szelvényben nem tapasztaltunk jelentős eltéréseket, amely azt igazolja, hogy az erőműből kibocsátott hűtővíznek jelenlegi ismereteink szerint csak kifejezetten lokális hatásai vannak. A torkolati műtárgytól lefelé néhány folyam km-rel lejjebb az élőlény-együttes összetétele már nem különbözik jelentős mértékben az Atomerőmű feletti szelvény együttesétől és az alvízi irányban kimutatható együttesétől sem.

A melegvíz-csatorna torkolata alatt tapasztalható állomány-növekedés azoknak a szervezeteknek az esetében követhető nyomon, amelyek kifejezetten szervesanyagban gazdag, bőven termő, eutróf környezetet igényelnek. Közöttük a legelő, a szűrő, az ektoparazita és a ragadozó fajok egyaránt megtalálhatók. Ezen állatok populációját a melegvíz által alig vagy egyáltalán nem érintett szakaszokon a többiéhez hasonlóan alakul. Megállapítható, hogy a torkolati műtárgy közvetlen szomszédságában kialakult tömeges állományok az alvízi folyószakaszon már nem képesek fennmaradni. Mindezek alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy a Paksi Atomerőmű hűtővize csupán lokális hatást fejt ki a vízi makroszkopikus gerinctelen állatok néhány fajára.

7.3.4 Halak

Az eddigi halbiológiai felmérések eredményeit összefoglalva és az irodalmi tapasztalatokat összevetve látható, hogy a víz hőmérséklet közvetlen módon hat a vízi élőlények anyagcsere folyamataira, fiziológiájára, életmenetének jellegére, valamint hozzájárul olyan fontos folyamatok rátáinak meghatározásához, mint a tápanyag körforgás és a produktivitás (Allen, 1995). Minden organizmus rendelkezik egy bizonyos hőmérséklet tolerancia tartománnyal, mely felett a hosszabb kitétség már halálos. Ezen elfogadható tartományon belül az anyagcsere, a növekedési ráták, a szaporodás és a felépülési siker széleskörűen változik. Az egyéves csukák nyári hőmérséklet-toleranciájának felső határát például 30,8 °C-ban állapították meg (Cvancara et al., 1977). Hidegvérű élőlényekben, mint amilyenek a halak is, a magasabb környezeti hőmérséklet növeli az anyagcsere rátáit és az ehhez kapcsolódó folyamatokat. A növekedési és fejlődési ráták egy bizonyos küszöbértékig általában nőnek a hőmérséklettel, azonban e felett a többlet energiára már a túléléshez van szükség, és a ráták meredeken csökkennek (Mustard et al., 1999).

Meleg vizekben a hőmérséklet növekedés hatására bekövetkező bakteriális abundancia növekedés (Valliel, 1995), tovább bonyolítja az oldott oxigén és tápanyag koncentráció közösségekre gyakorolt hatását (Paine, 1993).

A meleg vízű befolyók vonzzák a halakat, ezért ezeken a helyeken gyakran nagy tömegekben fordulnak elő. Azonban a nagy egyedsűrűség mellett számos kedvezőtlen körülményt is tapasztaltak:

- A meleg vízű kifolyók közelében a csukák bőre és úszói bakteriális fertőzöttsége nagyobb mértékű volt, és ugyan ez volt tapasztalható a dévterek - Magyarországon is gyakori (Molnár, 2003) - szilgalandféreg (*Ligula intestinalis*) által okozott parazitáltságára is (Lukšienė et al., 2000).
- A prédahalak nem rendelkeztek a nagyszámú predátornak megfelelő nagyságú állománnyal, így azok általában éheztek a területen. A táplálékhiány negatívan befolyásolta a halak kondícióját: az itt kifogott csukák és sügerek átlagos testtömege 5-10 %-kal kevesebb volt, mint a távolabb eső területeken élőké (Willemsen, 2002).
- A hőszennyezés hatása más, nehezen azonosítható fiziológiás tulajdonságok megváltozásában is megnyilvánulhat. A hőterhelés hatására nőstény bodorkáknál, csukáknál

és sügereknél csökkent szaporodási képességet tapasztaltak, valamint más anomáliák mellett sok sejtmagos oocitákat és hermafroditizmust figyeltek meg. A karikakeszegnél nem találtak szignifikáns eltérést, míg a vágó durbincs további érett oocita generáció képzési hajlammal reagált a szaporodási periódus során (Lukšienė *et al.*, 2000).

- További problémát jelenthet az az eset is, amikor valamilyen okból leáll a hűtővíz befolyás, majd újra indul. Ilyenkor hő sokk érheti a meleg környezethez adaptálódott halakat. Ez különösen drasztikus lehet a tél folyamán, és hatására halpusztulás is bekövetkezhet (Dinan, 1992).

2002-2003 között, tavasszal és ősszel Halasi-Kovács (2003) végzett halállomány összetétel vizsgálatokat a kérdéses paksi Duna szakaszon. Az általa végzett két halászat-sorozat alapján megállapította, hogy a Dunába történő hűtővíz beeresztés a víz hőmérsékletének emelése révén kimutatható hatással van a vizsgált Duna-szakasz halállományára. A hőmérséklet emelkedés hatására a hűtővíz kifolyó közvetlen környékén klugró faj- és egyedszám volt megfigyelhető. Véleménye szerint ez a zavartság hatására alakult ki. 2010 tavaszán a felvízen végzett vizsgálataink (VITUKI, Hidrobiológiai Laboratórium, 2010) során azonban már mind a halállomány fajszerkezete, mind egyedszáma jelentős eltérést mutatott a 2002-2003-as felmérésekhez képest. Az egyes fajok relatív gyakoriságai eltérőnek és általában magasabbnak bizonyultak, valamint különbség mutatkozott a domináns halfajok között is. Míg 2002-2003-ban a küsz, a pontokaszpikus eredetű kessler-géb, a balin és a bodorka bizonyult dominánsnak, addig 2010-ben a védett halványfoltú küllő, a küsz, a szintén pontokaszpikus eredetű, invazív feketeszájú géb és a paduc. A 2010-ben végzett felmérések a Duna felvízére korlátozódtak, így a két terület közötti összehasonlításra, és az esetleges különbségek kimutatására nem volt lehetőségünk. Azonban a két időszak közötti különbség jól jelzi a további feltáró vizsgálatok szükségességét, mivel a halállomány összetételére vonatkozó eredményeink és a 7 évvel ezelőtti eredmények között jelentős különbségek vannak.

7.4 A hőmérsékleti korlátozó feltételekkel kapcsolatos megfontolások

Az eddigi környezetvédelmi jogi szabályozás alapja „Az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről” szóló 15/2001. (VI. 6.) KÖM rendelet. Ezen jogforrás előírásait (A vizek és víztartó képződmények radioaktív- és hőszennyezés elleni védelmének kiemelt szabályaival fejezet) szükséges alapul venni, amely szerint: „10. § (1) Kiemelt létesítmény esetén a felszíni vizek és víztartó képződmények hőszennyezés elleni védelme érdekében

- a) a kibocsátásra kerülő és a befogadó víz hőmérséklete közötti különbség 11°C-nál, illetve +4°C alatti befogadó víz hőmérséklet esetén 14°C-nál nem lehet nagyobb;
- b) a kibocsátási ponttól folyásirányban számított 500 m-en lévő szelvény bármely pontján a befogadó víz hőmérséklete nem haladhatja meg a 30°C-ot.”

Az említett 15/2001. (VI. 6.) KÖM rendelet a téli mértékadó időszakban nagyobb hőmérsékleti különbséget enged meg a Duna-víz természetes hőmérséklete és a kibocsátott hűtővíz hőmérséklete között, mint egyéb évszakokban. Ugyanakkor az is komoly engedmény a korlátozásban,

DAR:530400A00222 EGA

Műszaki leírás 6335-002 II fázis

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. hh. nn.04

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

Tervszám: 10.03-1406

Irárt szám: 6335-002

hogy a befogadó víz maximális hőmérsékletének mérését nem a kibocsájtás helyén, hanem attól 500 m-rel lejjebb határozza meg.

Az Atomerőmű üzembe indulásakor ez utóbbi engedménnyel kapcsolatban viták voltak, a 30 °C-os hőmérsékleti határérték mérését a néhányan a kibocsájtási ponton, azaz a torkolati műtárgynál javasolták. A megszületett kompromisszum eredményeképpen engedélyezett mérési hely az eltelt időszakban megfelelőnek bizonyult, mert a felmelegedett hűtővíznek csupán lokális hatásait lehetett regisztrálni a vízi élőlény-együttesekre nézve.

A „Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervéről” szóló 1127/2010. (V.21.) Korm. határozat mellékletét képező „Magyarország Vízgyűjtő-gazdálkodási Terve – a Duna-vízgyűjtő Magyarországi része” (VGT) című dokumentum műszaki intézkedési programja tartalmaz a felszíni vizekbe történő pontszerű bevezetésekkel kapcsolatosan egyéb intézkedéseket. Az intézkedési program elemeinek egyike a hűtővíz közvetlen bevezetésének módosítása alpont. A VGT hivatkozott alpontja csak elvárásokat fogalmaz meg, de nem tekinthető jogszabálynak. Így nem rögzíti a kibocsájtott melegvíz hőmérsékletmérésének ellenőrző szelvényét. A Paksi Atomerőmű bővítésénél a hidegvízi és a melegvízi oldal közötti maximális hőlépcsőként ($\Delta T_{\max}$) 8°C-ot javasolunk alapul venni a mértékadó nyári ($T_{\text{Duna}} > 20^\circ\text{C}$) időszakban, a Duna ellenőrző szelvényében biztosítandó ($T_{\max} = 30^\circ\text{C}$) vízhőmérséklet betarthatósága érdekében. A VGT egyértelműen fogalmaz a teljes elkeveredés utáni hőmérséklet-változás maximális értéke tekintetében, amely legfeljebb $\Delta T = 3^\circ\text{C}$ lehet – ez a tervezett fejlesztés paramétereinek ismeretében teljesül. A vízfolyás vízkivételi szelvényénél, legfeljebb annak környezetében eddig mért legkisebb vízhozam 50%-a vehető ki hűtővíz felhasználási céllal, ami szintén teljesül, a tervezett 246 m³/s-os vízkivétel esetén is.

A jövőben várható a környezetvédelmi előírások szigorodása úgy a frissvíz-hűtés, mint a hűtőtornyos hűtés esetén. A nemzetközi irodalom alapján két általánosan alkalmazott határérték figyelhető meg:

- általában a 30 °C $T_{\max}$ értéket alkalmazzák, s ennek mérését a hűtővíz visszavezetésének pontján írják elő.
- A teljes elkeveredés szelvényében a $\Delta T = 3^\circ\text{C}$ hőmérsékleti növekményt határozzák meg.

A hidegvízi és a melegvízi oldal közötti maximális hőlépcső ($\Delta T_{\max}$) az egyszeri átfolyásos, vagy közvetlen hűtésű erőművek esetében 12 °C lehet, ennél azonban feltehetően kisebb $\Delta T_{\max}$ előírására van szükség megfelelően körültekintő környezetvédelmi szabályozás során. Ennek egyértelműen alátámasztható meghatározásához azonban további hidrobiológiai vizsgálatok szükségesek, amelyek elsősorban a mértékadó hőmérsékleti körülményekre fókuszálnak.

7.5 További kutatásokra vonatkozó javaslat

Az erőműi teljesítmény növelésekor tehát fokozott biológiai hatásokra kell számítani, ezért nyilvánvalónak tűnik, hogy a hőterheléssel kapcsolatos jogi szabályozás tartalmát újra kell gondolni. A spekulatív út erre a célra csak korlátozottan érvényes megállapításokat tesz lehetővé. Emellett feltétlenül szükségesnek látszik annak pontosabb, célorientált helyszíni vizsgálata, hogy miképpen reagál az a néhány vízi élőlény-együttes a mértékadó időszakban előálló hőmérsékleti terhelési viszonyokra, amelyeket a telephely-jellemzési program keretében végrehajtott vizsgálatok során már

tanulmányoztak. Így szükségesnek látszik a plankton-állományok (bakterio-, fito- és zooplankton), a bevonatlakó alga-együttesek, a vízi makrogerinctelenek és a halak együtteseinek helyszíni vizsgálata mind a téli alacsony vízhőmérsékleti viszonyok, mind pedig a nyári maximum-hőmérsékleti tartomány fennállása idején.

Mindemellett az is megállapítható, hogy a VKI előírásait követő monitoring rendszer kiépítésére és működtetésére is szükség van a Duna paksi szakaszán. A korábbi élőlény-csoportok vizsgálatát, amely a hűtőrendszeren történő áthaladásra (planktonikus együttesek esetében), valamint a hőcsóva menti változásokra irányul, meg kell ismételni. Emellett meg kell vizsgálni a közvetlenül a torkolati műtárgy alatti Duna-szakaszon, tehát nem kizárólag a part-közi régióban, hanem a csóva területén a mélyebb meder-zónában is milyen mortalitási viszonyokat lehet regisztrálni a makrogerinctelen élőlények között. Korábbi eredmények alapján ugyanis ismeretes, hogy az elsősorban nem őshonos kagylófajoknak, de a hazai fajoknak is óriási tömegű héja figyelhető meg a part menti sekély zónában. A VITUKI Hidrobiológiai Munkacsoportja az utóbbi években olyan mélyvízi mintavételi eljárást dolgozott ki a vízi makrogerinctelen élőlény-együttes részletes térbeni feltárására, amely a folyam teljes kereszt-szelvénye mentén alkalmazható, évszaktól és vízállástól függetlenül. Ezen módszerrel megvalósítható a korábban nem vizsgált, hőcsóva által érintett mélységi zóna is.

Magyarországon célzottan, a halak fiziológiai állapotában, anyagcsere folyamataiban, ill. szaporodásában, a hőterhelés hatására bekövetkező változásokat behatóan egyelőre még nem vizsgálták. Fontos lenne a közeljövőben megfelelő monitoring program kidolgozása, mind fiziológiai, mind populáció dinamikai paraméterek felvételével és elemzésével. Különös figyelmet fordítva a szélsőséges időszakokra, mint a téli alacsony hőmérsékletű periódus, amikor a befolyó és a befogadó víz hőmérséklete közti különbség (ΔT) a legnagyobb, ill. a nyári meleg időszak, amikor ez a különbség a legkisebb, vagyis elérheti a 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet 10. § (1) bekezdésében meghatározott küszöbértékeket. Továbbá a felméréseknek megtervezésénél javasoljuk nagyobb terület részletesebb halbiológiai vizsgálatát a hőterhelés tér- és időbeni hatásainak pontosabb megismerése érdekében.

Javasoljuk a lehető legkisebb hőterhelést okozó megoldás megvalósítását a vonatkozó 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet 10 § (1) bekezdésének mindenkorl betartásával, a hőmérséklet állandó és a vízi élővilág további monitoringja mellett a kérdéses Duna szakaszon.

A halakkal kapcsolatos eddigi megállapítások csak a 2002-2003 folyamán végzett, korlátozott mértékű feltáró halászat eredményein alapulnak. Az akkor végzett halászati módszer, a sekély vízben alkalmazott elektromos halászat eredményei mellé az azóta ugyancsak a VITUKI Hidrobiológiai Munkacsoportja által kidolgozott mélyvízi halászati eljárás szolgáltatna megfelelő adatokat, amelyek a hőcsóva és az egyéb, csatlakozó vízterületek részletes hal-felméréséhez szolgáltatna értékes eredményeket.

A Duna természetes bakterioplanktonjának hőterhelés hatására bekövetkező viselkedését megfelelő mikrobiológiai kutatócsoport bevonásával kellene nyomon követni. Erre a célra az ELTE TTK Mikrobiológiai Tanszéke alkalmas lehet. A plankton-állományok (fito- és zooplankton), valamint a bevonatlakó kóvalgák részletes vizsgálatára az MTA Duna-kutató Állomás szakembereit lehetne felkérni. A makrogerinctelen élőlény-együttesrel és halakkal kapcsolatos részletes felmérést a VITUKI Nonprofit kft. Hidrobiológiai Osztályának szakemberei megfelelőképpen el tudják végezni. A VKI

monitoringgal kapcsolatos tervezést és működtetést a VKKI, a területileg illetékes környezetvédelmi hatóság, valamint a VITUKI Nonprofit kft. Hidrobiológiai Osztálya láthatná el. Ez utóbbi feladat komplikált volta indokolja azt, hogy több intézménynek is részt kellene vállalnia a feladat ellátásában, hiszen a folyam VKI kompatibilis monitoring eljárásainak pontos módszertani kidolgozása még jelenleg sem zárult le.

7.6 Javaslat kidolgozása a bővítés melletti hőterhelés optimális szétosztására, a terhelhetőségi kapacitások hűtőtorony nélküli megosztásával

A Paksi Atomerőmű hűtővizét a Dunából az Erőmű Hidegvíz-csatornája a Duna 1526+463 fkm szelvényének jobb partján veszi ki (torkolati szelvénye: 1526,37 – 1526,53 fkm között helyezkedik el). A Paksi Atomerőmű Melegvíz-csatornájában szállított, felmelegedett hűtővíz, a Duna 1526+056 fkm szelvényben (torkolati szelvénye: 1526,03 – 1526,07 fkm között helyezkedik el), a jobbpartja mentén folyik a Dunába, jó elkeveredési körülményeket biztosító helyen, a jobbpart közelében haladó sodorvonal (a meder mély, legnagyobb vízszállító képességű, áramlási irányú sáv) közelében. Vizsgálataink során a jelenleg üzemelő Melegvíz-csatorna lehetőség szerinti, minél intenzívebb jövőbeli igénybevételével számolunk. A Duna háttér vízhőmérséklete, a kivett (majd visszavezetendő) hűtővízhozam és a hőlépcső által meghatározott hőterhelés szétosztásánál előnyben részesítjük a meglévő Melegvíz-csatornát, a terhelhetőség felső határáig, azaz a bevezetés alatti 500 m-re lévő kontroll-, vagy referenciaszelvényben legfeljebb $T_{\text{Duna, 500m, max}} = 30^\circ\text{C}$ -ig.

A Melegvíz-csatornán kibocsátott melegvíz hőterhelése (térfogatarama*vízhőmérséklet) a mindenkori hidrometeorológiai és energiatermelési jellemzők, valamint a legnagyobb megengedhető hőlépcső függvénye, melyet elsősorban a Duna vízhozama és háttér vízhőmérséklete határozza meg (a vízhőmérséklet egyéb meteorológiai jellemzőktől függő változását elhanyagoljuk, ugyanis annak, mint forrástagnak a hatása két nagyságrenddel kisebb, mint a Dunában történő elkeveredés hatása).

7.7 A Paksi Atomerőmű jelenlegi és a bővítés utáni üzemi hőterhelési hatásainak vizsgálata 2D áramlási és elkeveredési modell alkalmazásával

7.7.1 A vizsgálat módszertana, fejlesztett elkeveredési modellek ismertetése

2D hidrodinamikai modell

A dunai hőterhelés hatásának elkeveredés-vizsgálatát kétdimenziós, mélységintegrált (sekélyvízi) áramlási modell alkalmazására építettük.

Az áramlási modellel vizsgáltuk a jelenlegi üzem során alkalmazott jobbparti bevezetés (legfeljebb $115 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta t = 8^\circ\text{C}$ hőlépcsőre vetítve) dunai áramlási térre való hatását, a jövőben mértékadó július-augusztus-szeptemberi legkisebb Duna vízhozam esetén ($800 \text{ m}^3/\text{s}$), továbbá a középvízi viszonyok ($Q_{50\%} = 2210 \text{ m}^3/\text{s}$) között.

Modelleztük 2D áramlási modell alkalmazásával, a jövőben várható melegvíz hozamok különböző módon javasolt bevezetéseknek hatására kialakuló mértékadó - nagy Duna alap-vízhőmérséklet idején várható - kisvízi viszonyok közötti kvázi-permanens áramlási terek alakulását.

2D numerikus és 2D analitikus hőtranszport modell

A Duna számított 2D áramlási mezőinek felhasználásával 2D analitikus és 2D numerikus elkeveredési, illetve transzport modellt fejlesztettünk, a hőterhelés elkeveredésének modellezésére.

A 2D numerikus elkeveredési modellt kalibráltuk a rendelkezésre álló szakirodalmak (VEKI modell, BME elemzések) eredményei alapján, majd ehhez illesztettük az analitikus modellt is, amelyet azután alkalmaztunk a különféle változatok részletesebb vizsgálatára.

7.7.2 A hidrodinamikai modell bemutatása

A hűtővíz-bevezetés következtében kialakuló melegvízcsova modellezéséhez szükség van a Dunában, mint befogadóban kialakuló hidrodinamikai peremfeltételek ismeretére. A hőterhelés terjedésének kétdimenziós mélységintegrált modellezése esetében a hidrodinamikai peremfeltételeket a vízmélységek, valamint a mélységintegrált sebességek kétdimenziós mederbeli eloszlásai képezik.

7.7.2.1 A számítás matematikai alapjai

Az alapegyenleteket a viszkózus, összenyomhatatlannak tekintett folyadék egy adott pontjában, a turbulens mozgás időben átlagolt közepes értékeire érvényes, háromdimenziós *Reynolds-egyenlet* mélység menti Integrálásából kapjuk. A kiindulási *Reynolds-egyenlet* származtatása a *Navier-Stokes-egyenletekből*, egyetemi jegyzetekben, irodalmakban megtalálható, (néhány ezek közül: *Németh 1963, Liggett 1975, Abbott-Bosco 1989*). A mélységmentén Integrált, szabadfelszíni, kétdimenziós, egyrétegű, nempermanens vízmozgás számításánál a következő alapegyenletekből indulunk ki (*Rátky 1986*)

A tömegmegmaradás egyenlete:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (uh)}{\partial x} + \frac{\partial (vh)}{\partial y} = 0$$

Impulzus egyenletek

x irányban:

$$\begin{aligned} \frac{\partial (uh)}{\partial t} + \frac{\partial (u^2 h)}{\partial x} + \frac{\partial (uvh)}{\partial y} + gh \frac{\partial}{\partial x} (z_0 + h) + \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \int_0^h \left(\frac{\partial (\overline{u'u'})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{u'v'})}{\partial y} \right) dz + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h \rho u \Sigma dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_0^h (\Delta u)(\Delta v) dz = 0 \end{aligned}$$

y irányban:

$$\begin{aligned} \frac{\partial (vh)}{\partial t} + \frac{\partial (uvh)}{\partial x} + \frac{\partial (v^2 h)}{\partial y} + gh \frac{\partial}{\partial y} (z_0 + h) + \frac{\tau_{by}}{\rho} - \int_0^h \left(\frac{\partial (\overline{u'v'})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{v'v'})}{\partial y} \right) dz + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h (\Delta u)(\Delta v) dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_0^h \rho v \Sigma dz = 0 \end{aligned}$$

ahol

u és *v* – időben (*t*) és mélység (*z*) mentén átlagolt sebességek *x* és *y* irányokban;

u' és *v'* – pulzációs sebességek *x* és *y* irányokban;

h – a vízmélység;

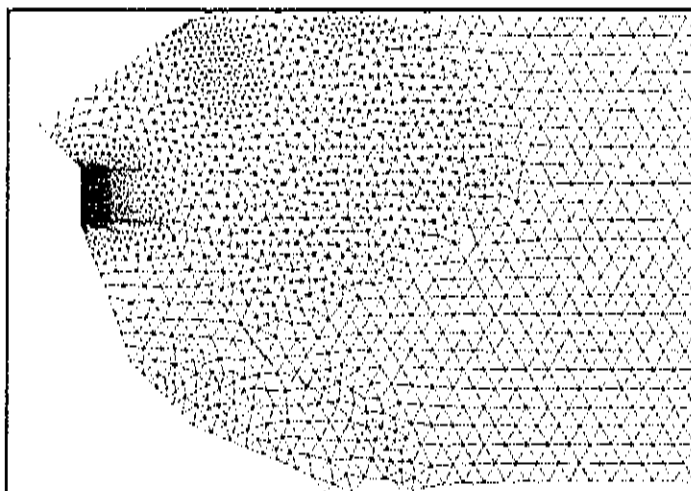
z₀ – a fenékszint valamilyen viszonyító sík felett;

τ_{bx} és *τ_{by}* – fenéksúrlódási feszültségek *x* és *y* irányokban;

- Δu – az x irányú, időben átlagolt (Reynolds-átlagolt) sebesség és az időben és mélységben átlagolt sebesség különbsége;
 Δv – az y irányú, időben átlagolt (Reynolds-átlagolt) sebesség és az időben és mélységben átlagolt sebesség különbsége;
 ρ – a folyadék sűrűsége, (állandó).

A (1)–(2b) egyenletek **nem zártak**, hasonlóan a Reynolds-egyenletekhez. Zárt rendszer létrehozásához a Reynolds-analógiát alkalmazzák.

A kétdimenziós számításokhoz a **River2D** modellt használtuk, mely az Albertai Egyetem szakemberei fejlesztettek ki. A **River2D** a numerikus megoldást egy **véges elem módszeren** alapuló eljárással állítja elő. Ennek részletes leírása a (Steffler&Blackburn, 2002) tanulmányban megtalálható. A fent bemutatott egyenletek megoldásához a vizsgált területet egy **szabálytalan háromszög hálózattal** fedjük le.



1. ábra: A River2D modell háromszög hálójának részlete a Duna 1526 fkm-nél

A vizsgált 16,2 km hosszú Duna szakaszt (1526,2 fkm-től – 1510 fkm-ig), 61299 db csomóponttal és 119877 db elemmel fedtük le melyek változó sűrűsége lehetővé teszi a geometria pontosabb leképezését olyan helyeken is, ahol a nagyobb a domborzat magasságváltozása, nagyobb sebesség-gradiens várható (1. ábra).

A számítás eredményeképpen többek között:

$$h = h(x,y,t)$$

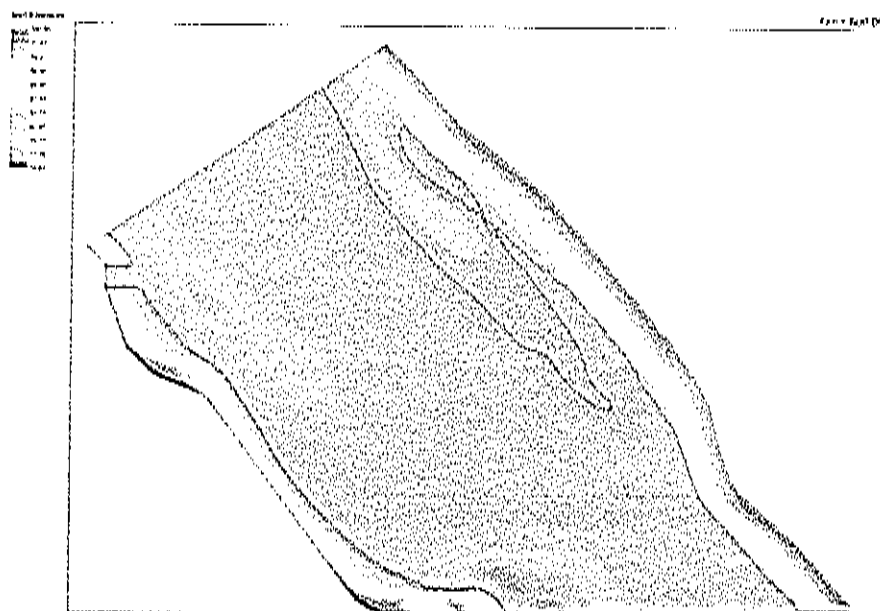
$$u = u(x,y,t)$$

$$v = v(x,y,t)$$

függvények diszkrét pontbeli értékeit kapjuk.

Geometriai adatok

A vizsgált Duna szakasz medergeometriai adatai alapjául szolgált a 2009. évi 100 m-enkénti keresztmetszvény felmérésekből generált terepmodell alapján diszkrétizált háló rácspontjaiban EOY_Y, EOY_X-nél a terepszintek, Z magassági értékek. A vizsgált terület a Duna 1526,2 fkm-től az 1510 fkm-ig terjed, egyes változatoknál 1528 fkm-től 1510 fkm-ig.



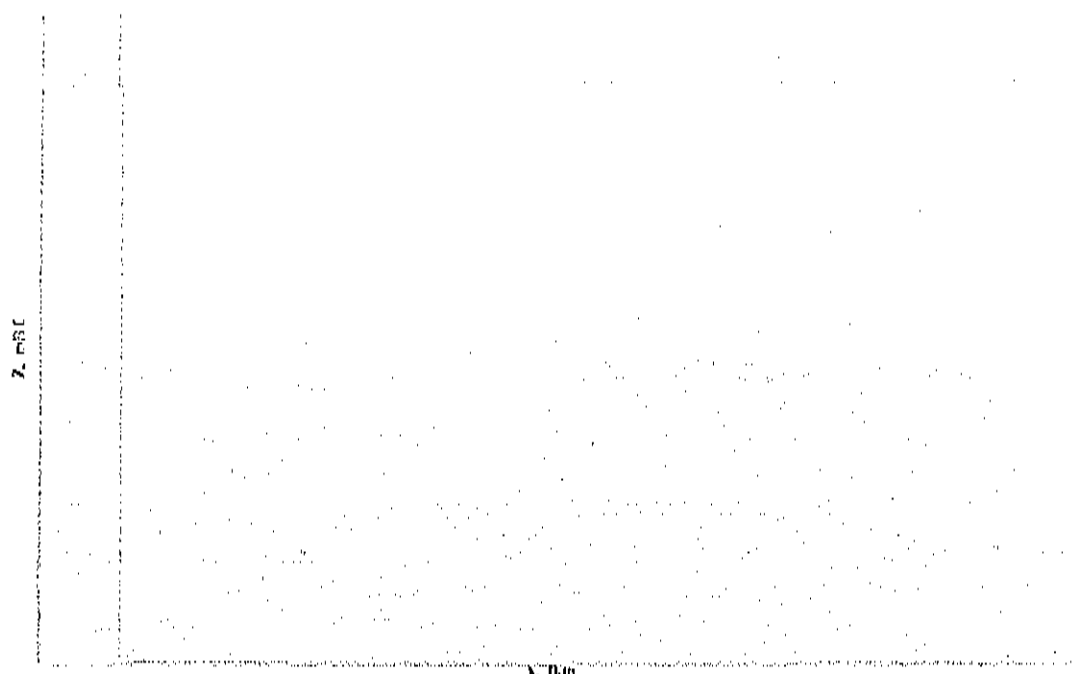
2. ábra: Digitális terepmodellből előállított domborzati térkép részlet

A 2. ábrán adtuk meg a terület digitális terepmodelljéből előállított domborzati térkép egy részletét.

Hidraulikai adatok és a modell bearányosítása

A modell bearányosítása többek között a meder érdességi együtthatójának megváltoztatásával történhet. Lehetőség van az abszolút érdesség k_s (m) vagy a *Manning féle* érdességi együttható n ($m^{1/3}/s$) megadására. A modell bearányosításához a 2004. évi Duna Bizottság (DB2004) által elfogadott hajózási kisvízszint felszíngörbe rögzítése szolgált alapul $Q_{rakt} = 1180 \text{ m}^3/s$ vízhozamnál.

A bearányosításnál (1.változat) a felszíngörbétől való legnagyobb eltérések $\Delta Z = Z_{DB2004} - Z_{számított} = [+3,7 \text{ cm}; -2,6 \text{ cm}]$.



3. ábra: Az áramlási modell kalibrálása a Duna Bizottsági 2004. évi $Q = 1180 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamhoz tartozó felszíngörbéhez

Üzemi adatok

Kezdeti feltételek:

Minden változatnál ún. 'hideg Indítás' volt a kezdeti feltétel. Ez azt jelentette, hogy a határoknál csak a vízszinteket kellett megadni. A modell ezekből vízszintet állított elő minden csomópontra és a sebesség komponenseket 0-nak tette fel.

Határfeltételek:

Permanens állapotokat vizsgáltunk. A kezdeti feltételtől kiindulva addig futtattuk a modellt, míg a vizsgált területen be nem állt a kvázi-permanens állapot.

Felső határfeltételek

A Duna 1526,200 fkm-e a melegvíz csatorna bevezetése felett.

$Q_{\text{Duna}} = 800 \text{ m}^3/\text{s}; 1180 \text{ m}^3/\text{s} \text{ és } 2210 \text{ m}^3/\text{s},$

$Q_{\text{jobbparti bevezetés}} = 115 \text{ m}^3/\text{s}; 151 \text{ m}^3/\text{s}; 191 \text{ m}^3/\text{s} \text{ és } 241 \text{ m}^3/\text{s},$

$Q_{\text{szodorvonalai bevezetés}} = 50 \text{ m}^3/\text{s},$

$Q_{\text{hőzőút bal szél bevez}} = 50 \text{ m}^3/\text{s}; 60 \text{ m}^3/\text{s} \text{ és } 126 \text{ m}^3/\text{s},$

$Q_{\text{balparti bevezetés}} = 126 \text{ m}^3/\text{s}.$

Alsó határfeltétel:

A Duna 1510 fkm-es szelvényében vízszintet adtunk meg, amit a legközelebbi Q-H görbe alapján interpoláltuk.

Vizsgált változatok

DAR:530400A00222 EGA

Műszaki leírás 6335-002 II fázis

Módosítás: Rev.0, Dátum: 2011. hh. nn.04

MÉLYÉPTERV KOMPLEX ZRT.

Tervszám: 10.03-1406

Irat szám: 6335-002

A 2D hidrodinamikai számítások alapvető célja volt a Dunán a melegvíz bevezetés hatására kialakuló függélymenti átlaghőmérséklet eloszlás meghatározásához a függély-vízmélység és a függély-középsébsesség megadása. A 6. táblázatban mutatjuk be a 2D hidrodinamikai számítások lényegesebb kiindulási geometriai és hidraulikai adatait.

A táblázat oszlopait 'beszédese' és a szakmában szokásos jelölésekkel láttuk el. Külön magyarázatot csak néhányhoz tartottunk szükségesnek megadni.

- Z_0 – Melegvíz-, Hidegvíz-csatorna fenékszint,
 B – trapéz csatorna fenékszélessége,
hajószél – a hajóút bal szélét jelenti, (oda vezetjük be a melegvíz egy részét),
hidegvíz-cs típus – 'nincs' azt jelenti, hogy a hidegvíz kivezetéshez nem alakítottunk ki 'csatorna-szerű' kivezetést, azonnal a Duna partvonalánál volt a kivételi hely. A 7.-17. sorszámú változatoknál a számítás felső határfeltétele 1526,2 fkm-nél volt megadva, így a hidegvíz csatorna bevezetését tartalmazó dunai szakaszt nem vettük figyelembe.
 DB_{2004} -től $|\Delta Z_{max}|$ – a számított vízszint beáramosításához használt DB2004 jelű rögzített vízszinttől való abszolút értékű maximális eltérése.

Minden egyes 2D hidrodinamikai számításokhoz nem végeztük el a 2D numerikus és az analitikus transzport modellszámításokat. Erre nem volt szükség, csak a hőmérséklet eloszlást lényegesebben befolyásoló kialakítások sebességtérrel alapján végeztünk számításokat. Ugyanakkor egyetlen hidrodinamikai számítás sem volt felesleges, (itt csak azokat adtuk meg melyek eredményeiből hasznos információkat tudunk levonni). Csak felsorolás szerűen az eredmények alapján meg lehetett állapítani többek között:

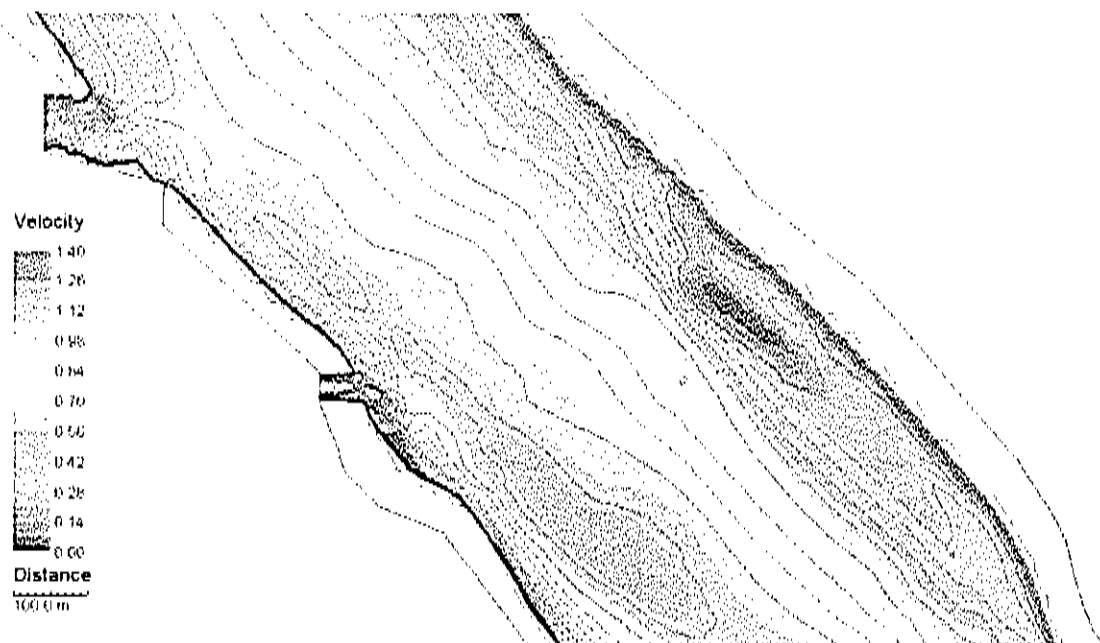
- a dunai vízhozamok változásának hatását,
- a Melegvíz-csatorna fenékszintjének hatását,
- fenékszélesség változtatásának hatását,
- a kivett vízhozam nagyságának hatását,
- az egyszerre több helyen történő bevezetés hatását,
- a kivétel helyének hatását,
- a Hidegvíz-csatorna numerikus közelítésének hatását a sebességtérre.

Jelen megalapozó munkánkban nem vizsgáltuk a mederbe (sodorra, hajóút szélére) történő vízbeeresztés (sebesség-gradiensek) hajókra való hatását. Feltételeztük, hogy a bevezetés műszakilag megoldható úgy, hogy az ne korlátozza a hajózást. Ezekből az eredményekből hasznos információt lehet kapni a hajókat érő sebességekre, sebesség-gradiensekre vonatkozóan is.

Az alábbiakban csak néhány ábrán mutatjuk be a 2D hidrodinamikai számítások eredményeinek egy részét. A rövid címek a leglényegesebb jellemzőket emelik ki, részletesebb információk a változatok paramétereiről a 6. táblázatban található.

6. táblázat: Áramlási modellszámítások összefoglaló paramétertáblázata

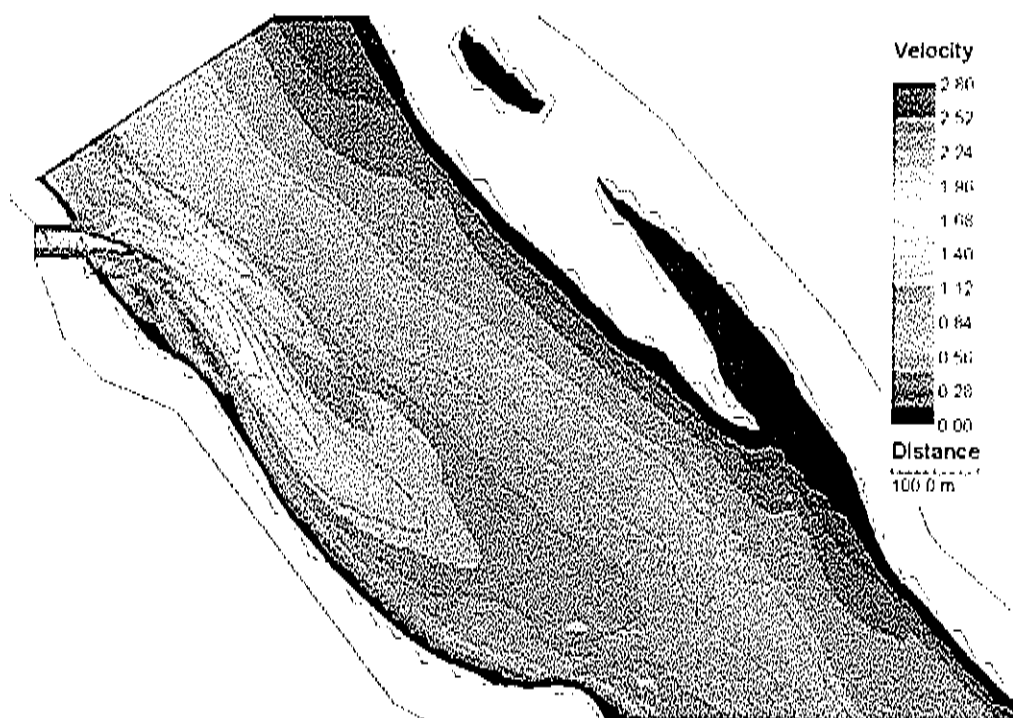
váltósz. sorsz.	jele	jobbparti Melegvíz-csatarna		bal parti Melegvíz-cs.			sodorra		hajózó út széle		hidegiz-cs.		DB _{max} -tól
		Z _o	B	Q	Z _o	B	Q	Q	Q	Q	típus	Q	
		mB.f.	m	m ³ /s	mB.f.	m	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		m ³ /s	cm
1.	Valt_6	1180	34	115	-	-	-	-	-	-	nincs	-	3,7
2.	Valt_7	1180	34	115	-	-	-	-	-	-	nincs	-	9,6
3.	KisCs_120_82,12	1180	34	115	-	-	-	-	-	-	van	-115	8,9
4.	Tovlati_216_5	1180	34	211	-	-	-	-	-	-	nincs	-	4,3
5.	Tovlati_246_1	1180	34	241	-	-	-	-	-	-	nincs	-	4,5
6.	Cs_0_120_82	1180	34	115	-	-	-	-	-	-	van	0	6,2
7.	KozBe	1180	34	151	-	-	-	-	60	60	nincs	-	7,1
8.	KozBe_ks0,05	1180	34	151	-	-	-	-	60	60	nincs	-	4,3
9.	Q_0_szeles	800	55	0	-	-	-	-	-	-	nincs	-	
10.	Q120_82,7	800	34	115	-	-	-	-	-	-	nincs	-	
11.	Q120_82,0	800	34	115	-	-	-	-	-	-	nincs	-	
12.	Q120_126_82,0	800	34	115	81,9	34	126	-	-	-	nincs	-	
13.	Q196_50_82,0	800	34	191	-	-	-	50	-	-	nincs	-	
14.	Q246_82_szeles	800	55	241	-	-	-	-	-	-	nincs	-	
15.	Q196_szeles_50Bal	800	55	191	-	-	-	-	50	50	nincs	-	
16.	Q120_126Duna	800	55	115	-	-	-	-	126	126	nincs	-	
17.	Q120_0	2210	55	115	-	-	-	-	-	-	nincs	-	



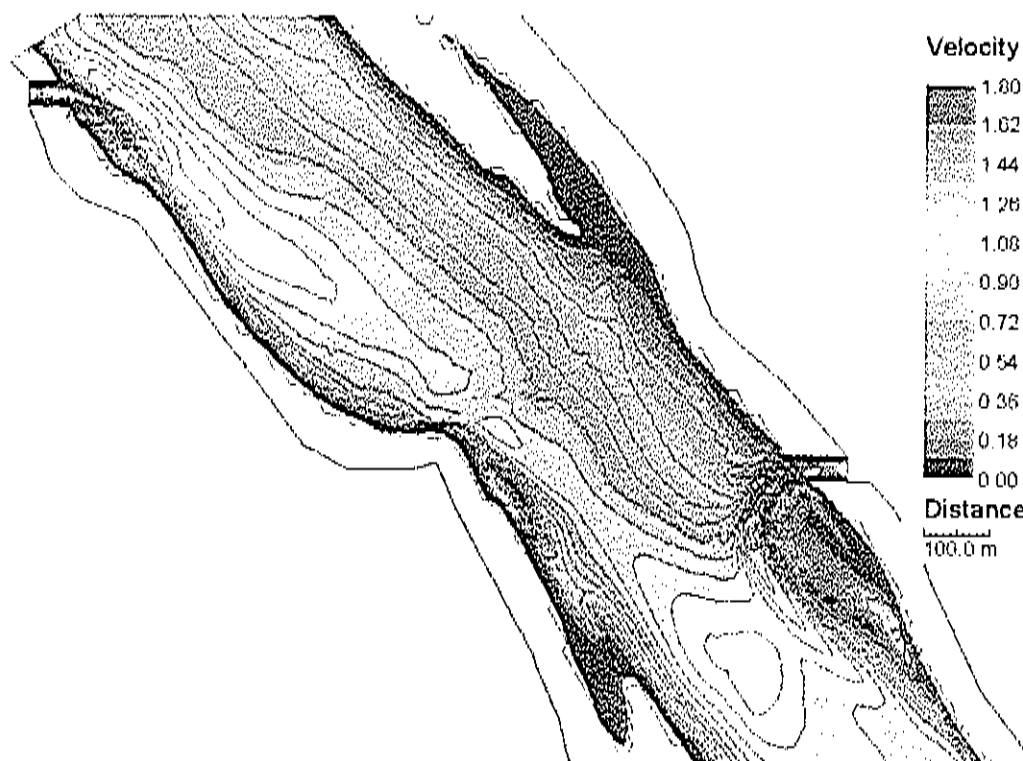
4. ábra: Függély-középsébség térbeli eloszlása a Hidegvíz, ill. Melegvíz-csatorna környezetében (3. változat)



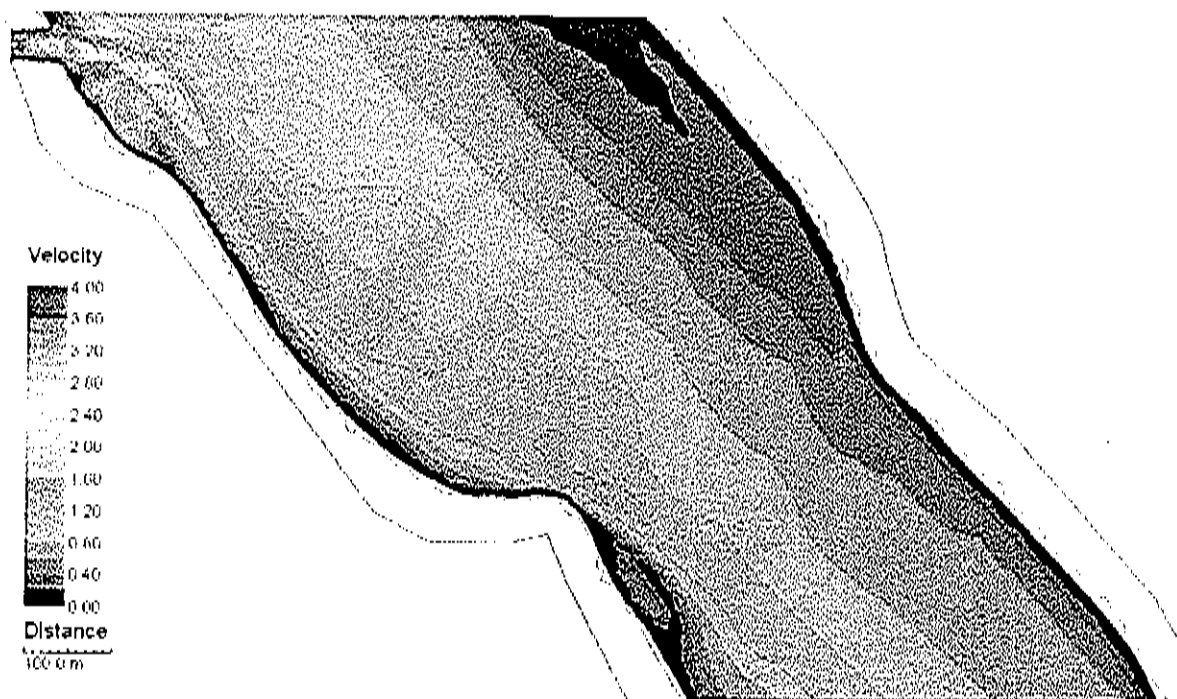
5. ábra: Függély-középsébség térbeli eloszlása jobbsparti ill. a hajozóút bal oldalán történő bevezetés esetén (7. változat)



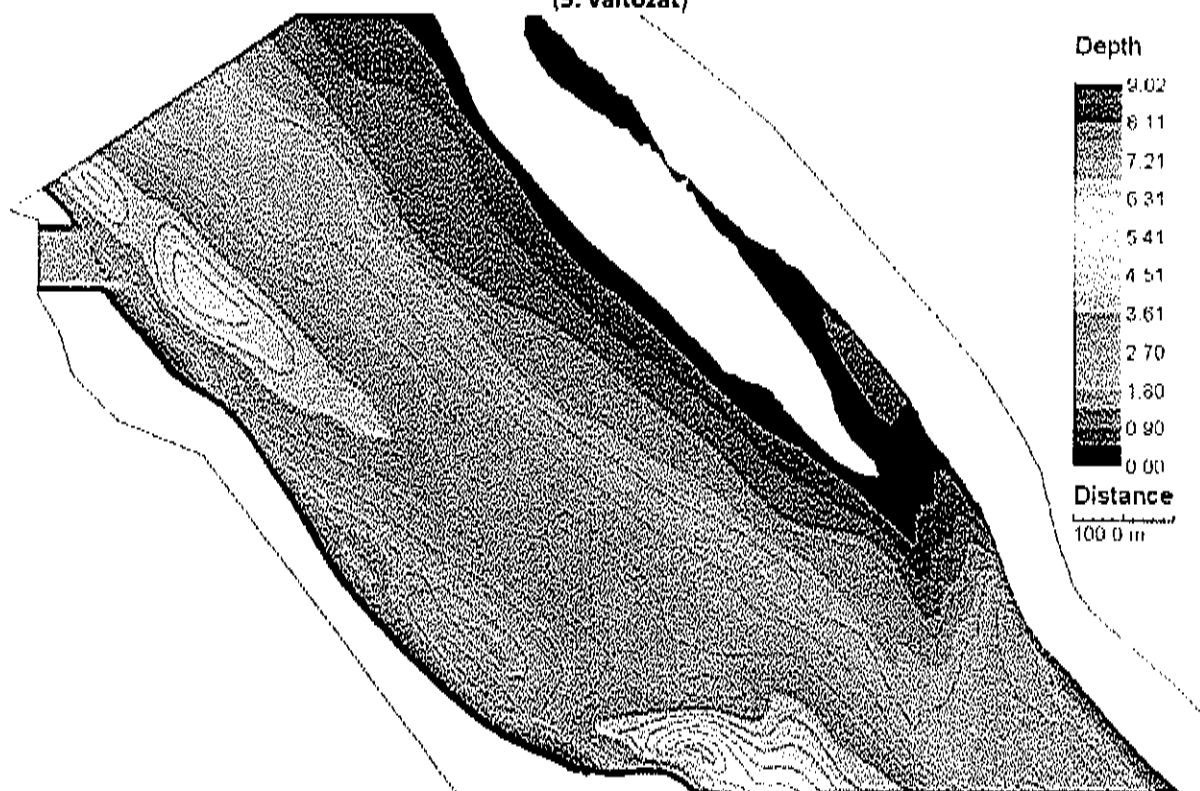
6. ábra: Függély-középsébség térbeli eloszlása jobbparti és a sodorvonal menti bevezetés esetén (13.változat)



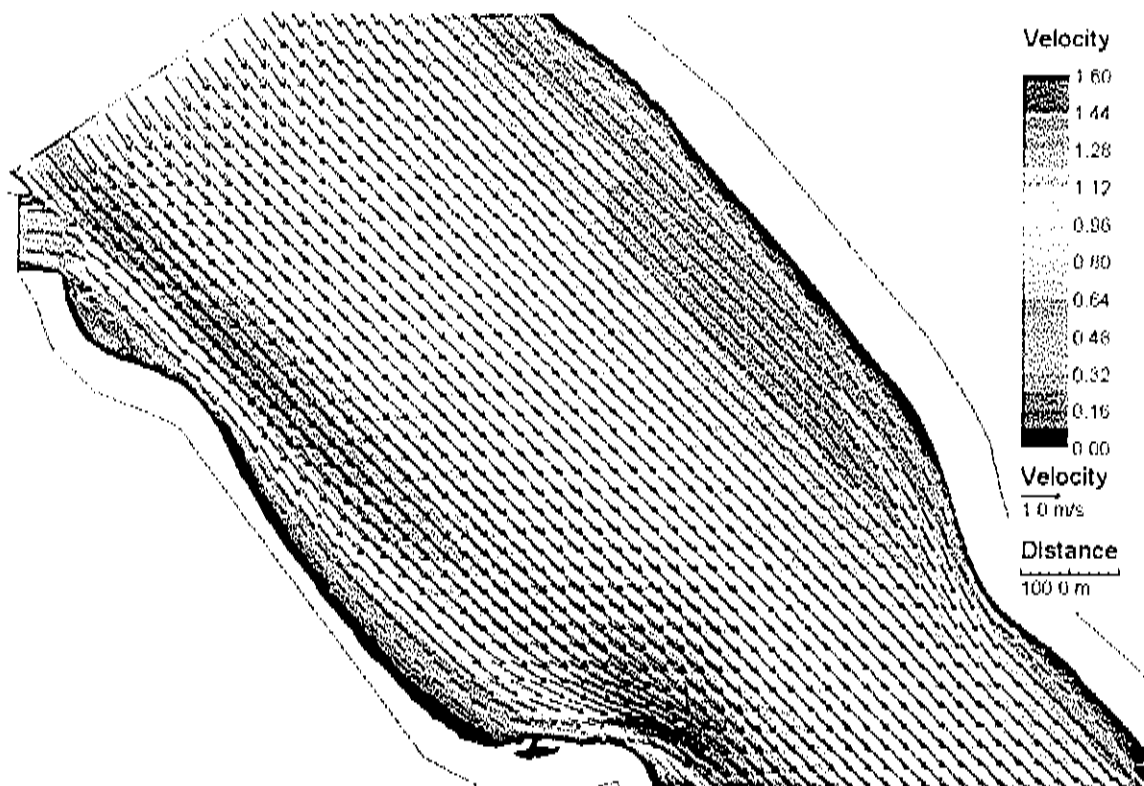
7. ábra: Függély-középsébségek térbeli eloszlása jelenlegi és baloldaltól bevezetett melegvíz esetén (12. változat)



8. ábra: Függély-középssebesség térbeli eloszlása a tervezett 241 m³/s maximális hozam esetén (5. változat)



9. ábra: Vízmélység térbeli eloszlása (16. változat)



10. ábra: Függély-középsébségek térbeli eloszlása és sebességvektorok $Q_{Duna} = 2210 \text{ m}^3/\text{s}$ és jobbparti bevezetés esetén (17. változat)

7.7.3 A fejlesztett 2D numerikus hőtranszport modell bemutatása

VITUKI 2D hőtranszport modell bemutatása

Az alkalmazott kétdimenziós (mélységintegrált) transzport modell, Szél, S., Józsa, J. (1990) „Kétdimenziós hordaléktranszport modell kifejlesztése a Keszthelyi-öböl térségére” (VITUKI Jelentés, témaszám: 7612/2/1688, Budapest) című jelentése keretében fejlesztett transzport modell továbbfejlesztésével készült.

A kétdimenziós sekélyvízi áramlásokban, a hőtranszportot vagy más néven konvektív diszperziót a következő lokális mérlegegyenlet fejezi ki (konzervatív formában):

$$\frac{\partial (hT)}{\partial t} + \frac{\partial (hU T)}{\partial x} + \frac{\partial (hV T)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) = F = \frac{\Phi}{\rho c_p}$$

ahol:

h	[L]	-	vízmélység, $(h(x, y, t))$,
ρ	[ML ⁻³]	-	folyadék sűrűség (T-től függést elhanyagoljuk)
c_p	[JM ⁻¹ °C]	-	víz fajhője állandó nyomáson (J: Joule),
$\mathbf{v}$	[LT ⁻¹]	-	mélységintegrált, Reynolds-időátlagolt áramlási sebesség, $(\mathbf{v}(U, V))$,
T	[°C]	-	mélységintegrált, Reynolds-időátlagolt vízhőmérséklet,

F [$^{\circ}\text{CL}^{-1}\text{T}^{-1}$] - forrástag, $F=F(x,y,t,T)$,
 f [$^{\circ}\text{CL}^{-1}$] - forrástag $/f=f(x,y,t,T)/$ a nem-konzervatív egyenletekhez (lásd alább).

A következő átalakítások végezhetők el a fenti egyenlet egyszerűsítése érdekében, a sekélyvízi hidrodinamikai modell folytonossági egyenletének felhasználásával (és mivel $D_{xx} = D_{yy}$) írható, (nem-konzervatív formában):

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial T}{\partial y} - \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_{xy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \\ - \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_{xy} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) = f = \frac{\Phi}{h\rho c_p}$$

A diszperziós tenzor elemei közelítőleg számíthatók, ugyanis elméleti számítások és mérések az aktuális sebességvektor irányába eső, és arra merőleges diszperzióelosztás meghatározására történtek (lásd pl. Elder, J.W. (1959), Holly Jr., F.M. (1985)). Esetünkben a következő Elder-féle hossz- (vagy longitudinális) és keresztirányú (vagy transzverzális) diszperziós együtthatókat alkalmazzuk:

$$D_L = e_L \cdot v_* \cdot h, \quad D_T = e_T \cdot v_* \cdot h,$$

ahol:

- e_L - hosszirányú diszperziós tényező, $(\kappa/6 + 0.404/\kappa^3 = 5,93)$,
- e_T - keresztirányú diszperziós tényező, $(\kappa/6 + 0.16 = 0,23)$,
- v_* - fenékcúsztató-sebesség,
- κ - a Kármán-féle univerzális állandó ($\kappa \approx 0.4$).

A csúsztató sebesség a Strickler-Manning és a Chézy-féle együttható alkalmazása esetén:

$$v_* = |v| \cdot \frac{\sqrt{g}}{C}, \quad v_* = |v| \cdot \frac{\sqrt{g}}{k \cdot h^{1/6}}$$

ahol

- C - Chézy féle sebesség együttható,
- k - Manning-Strickler féle simasági együttható.

A hossz- és keresztirányú, illetve a pillanatnyi és lokális sebességvektor irányába, és arra (vízszintes síkban) merőleges irányba eső diszperziós anizotrópia tényezőinek (e_L , e_T) meghatározásánál, a számos helyszíni mérések (Szolnoky-Fleit 2007, stb.) és kutatások lehetővé tették a modell beárnyosítását.

A forrástag elhanyagolásának indoklása

A fentiekben bemutatott turbulens konvektív-diszperzív, 2D hőtranszport egyenletben a hőmérséklet nem konzervatív, skalár és passzív, intenzív mennyiség. Az egyenlet jobboldali tagja az ún. forrástag veszi figyelembe azt, hogy a folyamat közben a szállított hő (pontosabban a termikus-energia) összes mennyisége változhat, a környezetből felvehet, vagy a környezetnek leadhat termikus-energiát. E pontban azt mutatjuk be, hogy a kitűzött feladat szempontjából ennek a tagnak az elhanyagolása megengedhető. Irodalmi forrásokra támaszkodva bemutatjuk, hogy a melegvíz Dunába való

bevezetését követő ~500 m-ig (a kontroll szelvényig), a forrástag a számított hőmérsékletet elhanyagolható mértékben befolyásolná.

Az Irodalmi források (részletesebben lásd: *Irodalomjegyzék*):

- Paily, P.-Kennedy, J.-Macagno, E.: Winter-Regime Surface Heatloss from Heated Streams.
- Starosolsky, Ö.: A jég a vízepítésben,
- BME: Termodinamikai folyamatok számítása szabadfelszíni áramlásokban,
- Abraham, G.: Reference Notes on Density Currents and Transport Processes.
- Csoma, R.: Termodinamikai folyamatok számítása vízfolyásokban.
- VEKI: A Paksi Atomerőmű 3760 MW-os kiépítési szintjén várható hőtermelés.

Folyóvizek hőterhelésekor legtöbbször az összegzett forrástag a vizsgált rendszer tekintetében nyelőként és nem forrásként működik, ezért is szokták veszteségnek, hővesztésnek nevezni. A hővesztés meghatározására ma még nincsenek tudományosan megalapozott elméletek, pontos összefüggések. Ahogy ilyenkor lenni szokott, **számtalan tapasztalati képlet van** a vízfelületre érkező vagy onnan távozó termikusenergiák számítására. A fenti irodalmak ezek közül többet bemutatnak, sokszor nem adva meg születésük körülményeit, alkalmazásuk pontos korlátait. Az alábbiakban **nem mutatjuk be a különböző módszereket** (legtöbbször közelítéseket) **csak egyet ismertetünk**. Szem előtt tartva azt, hogy most csak, a forrásnak az transzportegyenlet többi tagjához viszonyított a nagyságrendjét akarjuk meghatározni. Ugyanezen okból nagyon röviden, megjegyzések, magyarázat nélkül csak az **egyenleteket és azokban szereplő változók, paraméterek értékeit adjuk meg**.

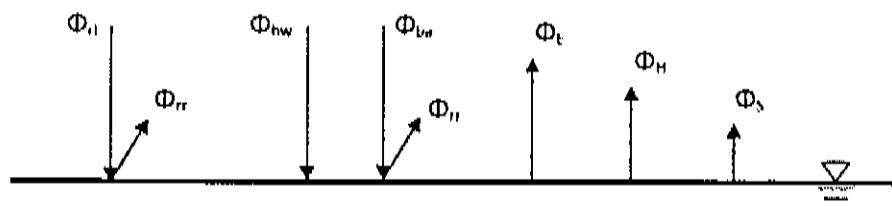
A folyóvíz a környezetével két felületen érintkezik: a mederfenéken és a vízfelszínen. Ezek a felületeken lehet termikusenergia-áram (régiesen hőcsere). Legtöbbször a mederfenéken történő termikusenergia-áramot, a talajvíz hozzá- vagy elfolyásából és a sűrűlődségből származó hőhatást el szokták hanyagolni, mi is ezt tesszük.

A vízfelszínen a termikusenergia-fluxus öt fő formáját különböztetik meg, ezek:

1. A Nap rövidhullámú sugárzásából
 - Φ_n a vízfelszínre érkező és
 - Φ_{rr} a vízfelszínről visszaverődő.
2. A hosszúhullámú sugárzásából
 - Φ_{hw} a vízfelszínről kibocsátott,
 - Φ_{ba} az atmoszférában található vízpára, ózon, széndioxid és oxigén sugárzása és
 - Φ_{br} a vízfelszínről visszaverődő.
3. Párolgásból, Φ_e
 - Φ_e evaporációból és
 - Φ_w a víztömeg-vesztéséből.
4. Víz és levegő közötti vezetési „hőcsere”: Φ_H
5. Víz felszínre hullott, olvadó hóból származó termikusenergia-fluxus: Φ_s .

A víz felszínét érő **eredő termikusenergia-fluxus** ezek előjelhelyes összegéből adódik:

$$\Phi = (\Phi_n - \Phi_{rr}) - (\Phi_{hw} - \Phi_{ba} + \Phi_{br}) - (\Phi_e + \Phi_w) - \Phi_H - \Phi_s$$



Az egyes tagok nem azonos súlyúak. Természetesen az utolsó tagot a mostani vizsgálatunkból ki lehet hagyni. *Csoma Rózsa (1985)* hazai, jellemző nyári és téli éghajlati-meteorológiai körülményeket figyelembe véve részletes számításokat végzett. Mindkét évszakra reális paramétereket vett fel, de törekedett arra, hogy azok felöleljék a Φ -k minimális, átlagos és maximális értékeit. Megállapította, hogy hazai körülmények mellett a vízfolyások hőterhelésének számításánál **elégséges figyelembe venni csak a:**

Φ_{ri} , Φ_{bw} , Φ_{ba} és Φ_t

termikusenergia-fluxusokat. Különösen igaz ez a minket érdeklő nyári időszakra, mert akkor e négy tagban az összes Φ 97-98 %-a benne van.

Csoma 1D modellt alkalmazott számításaihoz és az ehhez megengedhető elhanyagolásokat vizsgálta. Mivel a hővesztéségi tag 1D és 2D számítások esetén megegyezik, ezt a közelítést mi is megtehetjük.

Rövidhullámú napsugárzás vízfelületet érő hőfluxusa

$$\Phi_{ri} = F(C) \Phi_{CL}$$

ahol: $F(C)$ – a felhőborítottsági függvény,
 C – felhőborítottság mértéke 0–10-ig terjedő skálán,
 Φ_{CL} – tiszta égbolt esetén a víz felszínét érő rövidhullámú napsugárzás fluxusa.

$$F(C) = 1 - 0.062 C,$$

$$\Phi_{CL} = a - b(\theta - 50)$$

ahol: a és b értékeit *Monteith* által összeállított táblázatból vettük
(Paily-Kennedy- Macagno in BME 1980)

a legnagyobb értéket adó júniusi hónapban: $a = 731, \text{ cal}/(\text{cm}^2 \text{ d})$ és

$$b = 2,1$$

θ – a vizsgált hely földrajzi szélességi foka $\theta = 46^\circ$.

A víz által kibocsájtott hosszuhullámú sugárzás hőfluxusa

$$\Phi_{hw} = E_w \sigma T^4$$

ahol: E_w – a víz emissziós tényezője, $E_w = 0,97$,
 σ – *Stefan-Boltzmann* állandó, $\sigma = 5,7687 \cdot 10^{-8}, \text{ J}/(\text{m}^2 \text{ s K}^4)$,
 T – a víz hőmérséklete $^\circ\text{K}$ -ban.

Atmoszférikus hosszuhullámú sugárzás hőfluxusa

$$\Phi_{ha} = F(C) \epsilon_a \sigma (T_a + 273,16)^4$$

ahol: $F(C)$ – felhőborítottsági függvény, mely nem egyezik meg a fenti $F(C)$ -vel,
 ϵ_a – az atmoszféra emissziós tényezője,