

- A dunai vízkiemelés szivattyúinak önfogyasztásából származó költség, a szivattyúk $Q - H$ görbéjének és hatásfokának, a Duna vízállásának változása szerinti emelési magasságnak és a kondenzátor ΔT hőlépcső, valamint a (elvonandó hő mennyiségétől függő) kiemelendő vízhozamok alapján számítható.
- Vízkészlethasználati díj, ami a kivett Duna-víz éves mennyiségének és a vízdíjnak a szorzatából adódik.

8.5.3 A költségek becslése üzemszimuláció alapján (jelenlegi környezetszabályozás)

(A) Adatok és jellemzők

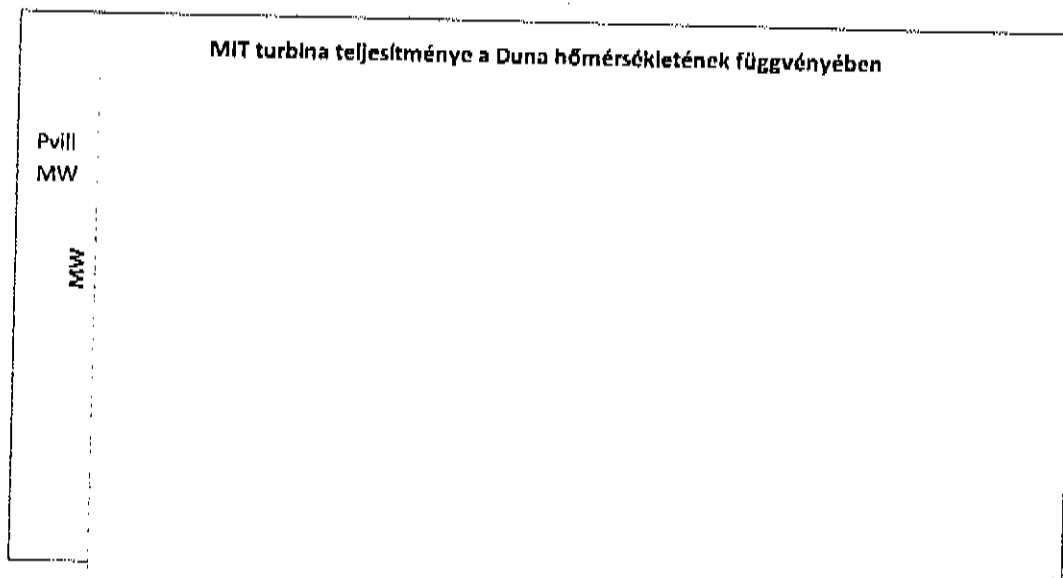
A számításokhoz az alábbi adatokat, környezeti szabályozási értékeket és üzemeltetési jellemzőket vettük figyelembe:

- (i) A Duna 21 éves (1990 - 2010) paksi vízállás és hőmérséklet idősorai, valamint a bajai 37 éves vízhőmérséklet és hozam idősor,
- (ii) A jelenleg érvényes környezetvédelmi szabályozás (lásd máshol),
- (iii) A Tanulmányban szereplő tervezési és üzemeltetési jellemzők (8.2 melléklet),
- (iv) Fajlagos költségadatok [REDACTED]

(B) A hűtőrendszer üzemelésének szimulációs modellje és eredmények (1990–2010): 2x1200MW

Annak érdekében, hogy vizsgálni lehessen a frissvízhűtéses megoldás önfogyasztásból és vízhasználatból származó üzemköltségét, összeállítottuk a rendszer hidraulikáját és hőtranszportját egyszerűsített módon leíró számítógépes modellt. Ezután meghatároztuk a jelentkező energia- és vízfogyasztásokat, valamint az ezekből számítható költségeket, az elmúlt évek valós dunai vízállás és hőmérséklet értékei esetére, napi bontásban.

A szimulációs modellben figyelembe vettük a frissvízhűtésre alkalmazott turbina hatásfokának a Duna hőmérsékletétől függő változását (8.7 ábra). Az átszámítás módját a 8.2 melléklet tartalmazza.



8.7 ábra: Frissvízhűtésre kifejlesztett turbina (MIT) teljesítmény görbéje a Duna hőmérsékletének függvényében

Ugyancsak figyelembe vettük a dunai átemelő szivattyúk hatásfokának változását a mindenkori emelőmagasság (dunai vízállás) függvényében (8.2 melléklet). A számítások a napi dunai vízállás és víz hőmérséklet, valamint a megadott környezeti és üzemeltetési szabályozás figyelembevételével történtek.

Másrészt a kisebb vízállásoknál a hatásfok javulása a nagyobbakéhoz képest csekély és nem kompenzálja az emelőmagassággal növekvő energia felvételt. Ennek eredményeképpen a dunai átemelés önfogyasztása érzékennyé válhat a medermélyülés miatt növekvő tartósságú kisvizek kialakulására.

A leírt módon elvégzett számítások eredményeit a 8.4 táblázat foglalja össze. Ebben a legnagyobb tétel – feltételezve, hogy visszaterhelés nincsen – a vízkészlehasználati díj.

Költségtétel, FVR	milliárd Ft/a	%
1. Visszaterhelés	0	0
2. Kicső energia	0	0
3. Kond. szivattyú önfogyasztás	0	0
4. Dunai átemelő önfogyasztás	0	0

Költségtétel, FVR		
5. Vízkészlethasználati díj		
6. Összesen		

8.4 táblázat: FVR üzemelési költség összetevők³⁵ (1990–2010 átlag)

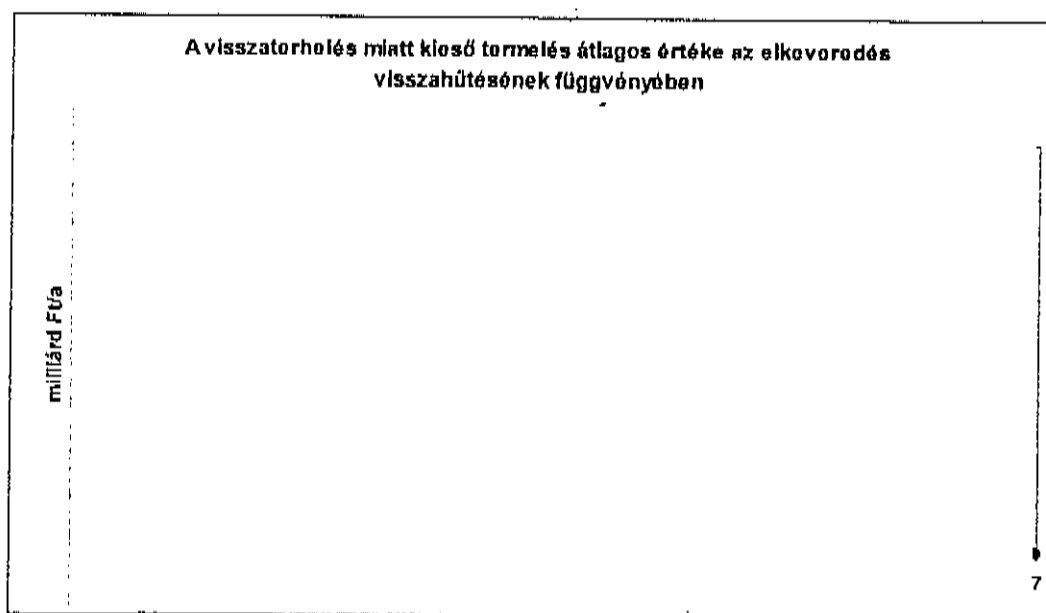
8.5.4 Az elkeveredés visszahűtésének hatása az üzemköltségre

A 21 év napi üzemelésének szimulációja során számítottuk a felmelegedett hűtővíz hőmérsékleteket is, és megvizsgáltuk, hogy a bevezetés alatt 500 m-re lévő ellenőrzési szelvényig az egyes lehűlési értékek mellett hogyan alakul a visszaterheléses napok száma és a szükséges visszaterhelés mértéke. Az eredményeket a 8.8 - 8.9 ábrákon mutatjuk be. Jól látható, hogy 2 °C visszahűlés szinte harmadolja/negyedeli az igen nagy veszteségeket. Ez ismételtlen kiemeli az elkeveredés kezelésének kérdését (6. fejezet).



8.8 ábra: A visszaterheléses napok számának alakulása az elkeveredési visszahűlés függvényében a vizsgált 21 év során

³⁵



8.9 ábra: Az éves átlagos termelésesükkedés költségének alakulása az elkeveredési visszahűtés függvényében a vizsgált 21 év során

8.5.5 A költségek összegzése

A 8.5 táblázatban összegezzük a 21 év szimulációs eredményeinek átlagolásával számított energiateljesítményt és költségeket (becsléseink jelölése: VKKT FVR az MTT turbinával), valamint a Tanulmányban közölt értékeket (EGI turbina).

A táblázat tartalmazza a beruházási költséget is (az interkaláris tényezővel felszorozva) és a teljes ÉcK költséget (a korábbi feltevésekkel számolva).

Változat	EGI FVR		VKKT FVR	
	[GWh, millió m ³]	[millió Ft]	[GWh, millió m ³]	[millió Ft]
Energiaszükséglet [GWh]				
Rendelésre állás csökkenés [GWh]				
Önfogyasztás [GWh]				
Vízkezelés [millió m ³]				
Karbantartás				
Személyzet				
Összesen egy évre				
Összesen 30 évre				
Beruházási költség, diszkontálva				
ÉcK 30 évre				

8.5 táblázat: Az EGI és a VKKT frissvízes üzemeltetési költségeinek összehasonlítása (rekuperáció és utóhűtés nélkül).

A legalsó három sor kivételével az adatok egy évre vonatkoznak.

Jelölések a 8.5 táblázatban:

EGI FVR = A Tanulmány 10.4-2. sz. melléklet 1. oszlopa szerinti becslés (2 x 1200 MW, $\Delta t = 11^\circ\text{C}$, kétlépesős Dunai vízkivétel)

VKKT FVR = VKKT üzemköltség-becslése az előzőekben ismertetett módon

(2 x 1200 MW, $\Delta t = 11^\circ\text{C}$, kétlépesős Dunai vízkivétel). Rendelkezésre állás csökkenés: 0.25 %.

*A Tanulmányból átvett, nem ellenőrzött adat.

A VKKT FVR változatnál a dunai hőmérsékleti korlát túllépése miatti visszaterhelés költsége nem szerepel, mert az általunk javasolt bevezetés mellett ilyen helyzet nem fordult elő. A táblázatból látható, hogy

- (a) a Tanulmány OMR költségbecslése jó. Számításaink szerint az FVR üzemeltetési költsége ugyanannyi, mint a Tanulmány szerint.
- (b) alkalmas dunai szivattyúzási üzemvitellel megtakarítás érhető el, ez előny a VKKT FVR javára (lásd 8.2 Melléklet),

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- (g) [REDACTED]
[REDACTED] Ennek ellenére megadott magasabb értékkel számoltunk, ugyanis a FVR-ben található nagy teljesítményű szivattyúk karbantartási igénye valóban magasabb lehet (és nem befolyásolja jelentősen a végeredményt).

- (h) [REDACTED]
[REDACTED] Az eltérés nem szignifikáns, a számítási pontosság nagyságrendjével azonos.

- (i) A következőkben a VKKT becsléseit fogadjuk el.

8.6 A klímaváltozás és a medermélyülés hatásai

A hűtőtornyos és a frissvízhűtéses megoldásnál az energiahatékonyságra és a keletkező veszteségek mértékére egyaránt hatással vannak a környezeti feltételek. Előbbi a léghőmérsékletek és a relatív páratartalmak, utóbbi pedig elsősorban a Duna vízállásának, hőmérsékletének, illetve részben vízhozamának alakulására érzékeny.

Elemzéseinkhez ezeket az információkat csak a múltbeli mérések adataiból nyerhettük, miközben az erőmű a jövőben, a klíma és a meder változása miatt módosuló környezeti feltételek között fog működni. Itt a jövőbeni változások szerepét kíséreljük meg becsülni.

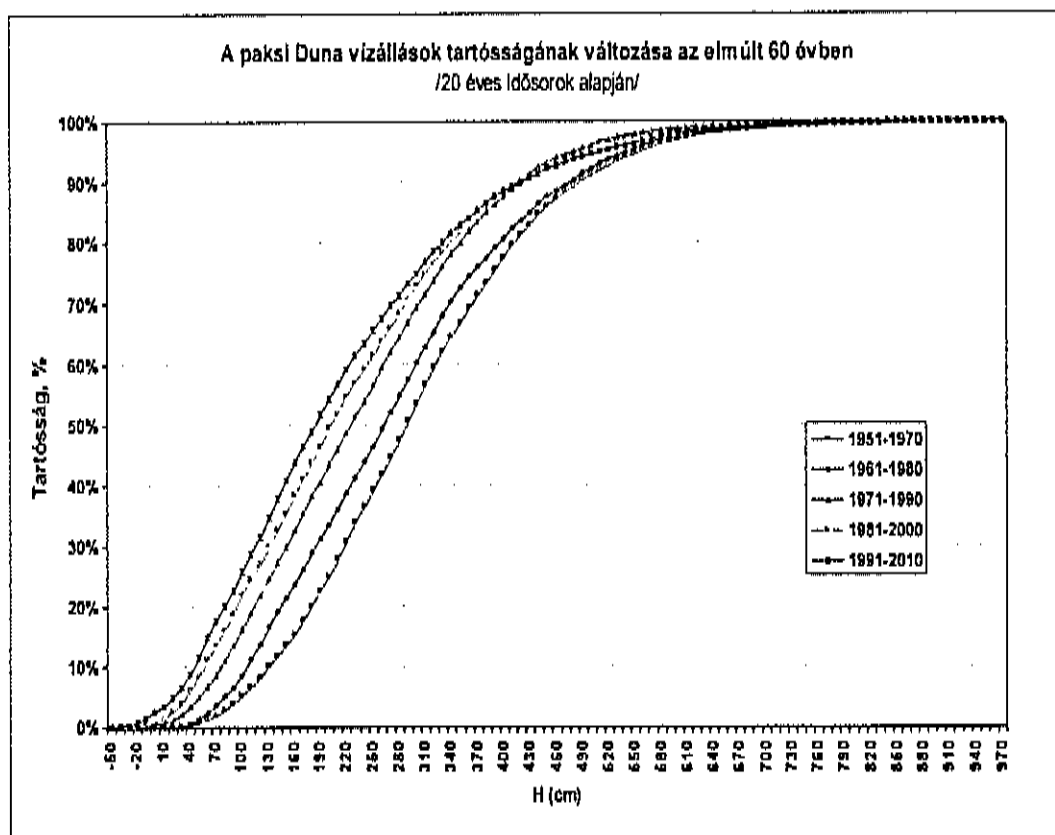
A klímamodellek a számunkra fontos paraméterek közül az éves és évszakos középhőmérsékletek változását képesek - nagy bizonytalanságok árán - előrejelezni. Ez itt elegendő, mert az elmúlt 21 év szimulációjával már meghatároztuk a hűtési rendszerek vonatkozó érzékenységét (8.1 és 8.2 függelékek). Ily módon a hűtőtornyos megoldásnál a következmények becsülhetők. Másik megközelítési mód az előrejelzésre az analógia módszere (4 fejezet). A frissvízhűtésnél jelentős szerepet kap a Duna vízállásainak várható alakulása is, amire a klímamodellek nem adhatnak választ, hiszen a kiváltó okok részben mások. Ennek a paraméternek a várható alakulását más megközelítéssel jelezzük előre.

8.6.1 A medermélyülés várható alakulása

A medernek (nem csak) a paksi szelvényben való mélyülése ismert jelenség. A mélyülés következtében feltehetően már a jelenleg üzemelő erőműnek is növekedtek a veszteségei azáltal, hogy a folyamattal együtt járt a kisvizek előfordulási gyakoriságának növekedése, ami az átemelőnél éves viszonylatban nagyobb összes emelési magasságot és a szivattyúk romló hatásfokát eredményezte.

A jelenséget valószínűleg több okra lehet visszavezetni. Ezek között szerepel a Duna felvízi szakaszán megépült (átfolyásos) vízlépcsők tározótereinek és a vízgyűjtőn bekövetkezett változások hordalék visszatartó hatása (amelyek megszüntetése nem várható, ezért a jelenség folytatódásával számolni kell).

Annak érdekében, hogy a mélyülés időbeni alakulásáról, a folyamat sebességéről információt szerezzünk, értékeltük a paksi szelvényre rendelkezésre álló 60 éves vízállás idősort. A 10 éves átfedésekkel készült 20 éves idősorokra vonatkozó vízállás tartóssági görbéket a 8.10 ábrán mutatjuk be.

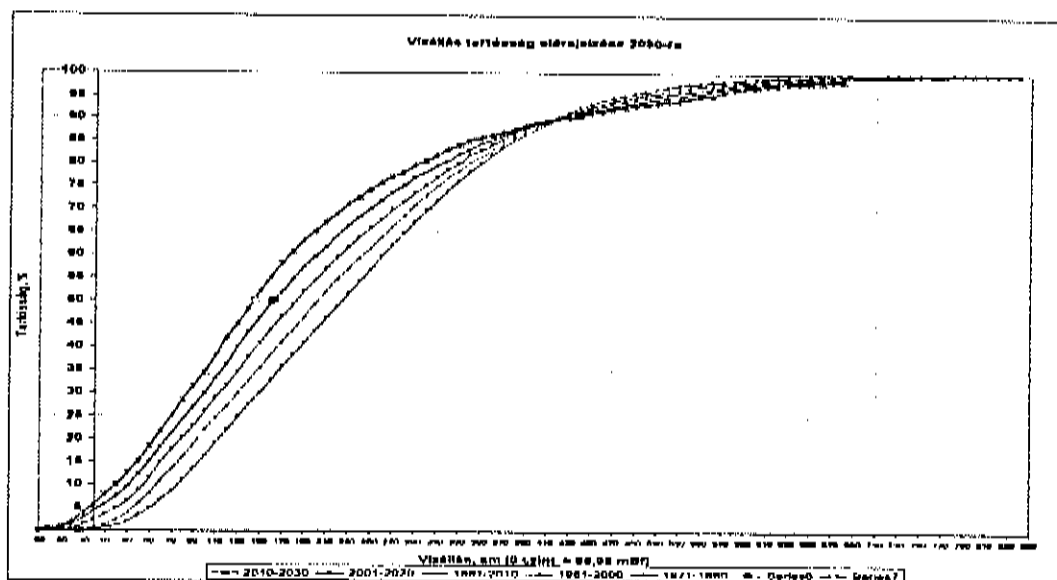


**8.10 ábra: Egymást követő 20 éves vízállás időszakok tartóssági görbéi
(1951–2010)**

Látható, hogy az 1951-1970-es évek 50%-os tartósságú (medián) 295 cm-es paksi vízállás értéke az 1991-2010-es időszakban már csak 188 cm-es értéket ért el, 60 év alatt a medián csökkenése tehát kicsivel meghaladta az 1 métert. A csökkenés üteme nem teljesen egyenletes, átlaga 17.8 cm/10 év.

Annak érdekében, hogy az új erőmű üzembe helyezési és üzemelésének kezdeti időszakában várható állapotot becsülhessük, a tartóssági görbékből előállítottuk az egyes vízállások tartósságainak változását ugyanezen időszakokra (8.3 melléklet). Az ott található ábrán látszik, hogy (i) elsősorban a kis és középvizek tartóssága növekszik a nagyvizeké rovására és (ii) az utolsó két évtizedben a változás közel lineáris (lásd a 8.10 ábrát is).

Ez a feldolgozás, a változások jellege miatt lehetőséget adott arra, hogy extrapoláljunk a jövőbe (8.3 melléklet). Feltételeztük, hogy a változások jellege megegyezik az értékelési időszak utolsó 20 évében tapasztalttal, tehát lineáris. A két utolsó 20 éves időszak (1981-2000 és 1991-2010) vízállásonként ismert tartóssági értékeire illesztett egyenesek egyenleteivel az extrapolációt a két következő 20 éves időtartamra, 2030-ig elvégeztünk és ezzel két jövőbeni tartóssági görbéhez jutottunk (8.11 ábra).



8.11. ábra: Egymást követő 20 éves vízállás idősorok tartóssági görbéi, 2001-2020 és 2010-2030

Az üzemelési mutatóinkat a szimulációk során nem a medián értékekkel, hanem az átlagértékekkel hoztuk kapcsolatba. Ezért megvizsgáltuk az adatsorok medián és átlagértékei közötti kapcsolatot és 60 év adatai alapján megnyugtatóan magas korrelációs tényezőt kaptunk. Ezzel a 2030-ra előrejelzett 149 cm-es medián értékhez 175 cm-es éves átlag vízállást kapunk.

A medermélyülés következményeit a dunai szivattyúk mindenkori energiafogyasztása és a korrelációs kapcsolatok segítségével értékelhetjük (8.3 melléklet). Ezek szerint a 2030-as évekre várható 175 cm-es átlagos éves dunai vízállásnál az átemelők önfogyasztása és költsége - változatlan villamosenergia egységár mellett -

8.6.2 A klímaváltozás várható hatása a veszteségekre: THNI

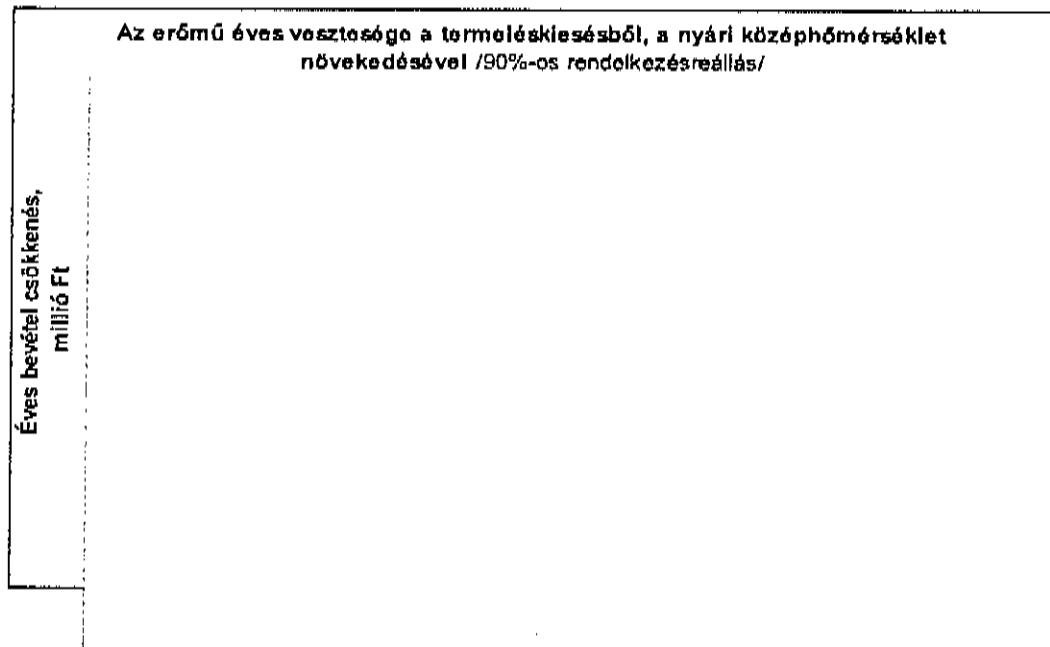
A 4. fejezetből a változás várható hatásával kapcsolatban két következtetést vonhatunk le:

- (i) a középhőmérséklet-növekedést jó becsléssel tehetjük át a tornyos erőmű jövőbeni veszteségének becslésére, és
- (ii) a nyári hónapokban jelentkező veszteségek aránya a jövőben növekedhet.

A veszteségek becsléséhez felhasználjuk a 4. fejezetben ismertetett éghajlati forgatókönyvek eredményeit. Eszerint a számításoknál értékelt 21 év megfelel a bázisidőszakhoz (1961-1990) képest 0.5 °C-os, míg ebből 13 év, 1998-tól 2010-ig az 1.0 °C-os nyári középhőmérséklet-növekedés időszakot. A 2.0 °C-os középhőmérséklettel jellemezhető időszakot a 2002, 2003, 2007, 2009 és a 2010 reprezentálja, míg a 2.5 °C-os a két szélsőségesen meleg év, 2003 és 2007 évek jelzik.

A tornyos hűtés költségeinek két tétele módosul a klímamutatók változásával: (i) a turbinák hatásfokának csökkenéséből származó termelésesökkenés és (ii) a pótvíz szivattyúk növekvő önfogyasztása. Utóbbi nagyságrendekkel kisebb tétel, ezért meghatározó lesz a

hatásfokosodás következménye. Az analóg évek felhasználásával a tornyos hűtés klímaváltozásra való érzékenységét a 8.12 ábra szemlélteti.



8.12 ábra: Az éves bevételcsökkenés módosulása a nyári hónapok középhőmérsékletének változásával
(változatlan energia egységarak mellett, 10,95 Ft/kWh)

[REDACTED]

A bizonytalanságok ellenére látható, hogy a tornyos hűtési rendszernél a klímaváltozással járó felmelegedés az éves üzemelési költségek [REDACTED]
Ugyanakkor bizonyos, hogy a termelés időbeni alakulásának kedvezőtlen jelleg [REDACTED]
[REDACTED] erősödni fog.

8.6.3 A klímaváltozás várható hatása a veszteségekre: FVR

Az üzemelési költségekre a hőmérséklet változása akkor kapna jelentős szerepet, ha az elkeveredési visszahűtést nem sikerül megoldani (ekkor a visszaterhelés költségei jelentőssé válhatnak). Amint azonban már a 7. fejezetben láttuk, megfelelő bevezetési megoldással a visszahűlés – egy bizonyos hőterhelésig – kézben tartható, így a kérdéssel itt tovább nem foglalkozunk.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a két hűtési rendszer közül a természetes huzatú nedves hűtőtornyos megoldás érzékenyebb a környezeti feltételek jövőbeni változására, de mindkét esetre igaz, hogy az költségek növekedése az előrejelzési bizonytalanságból származó hibahatáron belül van.

9. A VÁLTOZATOK TÖBB-SZEMPONTÚ ÉRTÉKELÉSE

9.1 Bevezetés

Ebben a fejezetben célunk a két, részletesebben elemzett alternatíva (FVR és THNH, 2 x 1200 MW, $\Delta T = 11\text{ }^{\circ}\text{C}$), továbbá az EGI által az első fázisban kiválasztott, [REDACTED]

[REDACTED] több szempontú értékelése. Az FVRUV jellemzőit a Tanulmányból vesszük át, anélkül, hogy azokat ellenőriznénk. Ennek megfelelően kevésbé részletesen foglalkozunk vele, mint a másik két változattal.

Az jövőre vonatkozó értékelési szempontok magukba foglalják

- (i) a költségeket;
- (ii) az energia, továbbá a víz árát;
- (iii) üzemelési elemeket (például a THNH érzékenysége a léghőmérséklet gyors változásaira);
- (iv) a mederváltozást;
- (v) az esetleges dunai visszaduzzasztást;
- (vi) az éghajlatváltozást;
- (vii) az elkeveredést, a kapcsolódó visszahűlést és a potenciális visszaterhelést;
- (viii) a környezeti hatásokat és
- (ix) a környezeti szabályozás lehetséges jövőbeni változását.

A felsorolt tényezők és szempontok jellegükben erősen eltérők. Tartalmaznak számszerűsíthető, de bizonytalan elemeket (költségek), kisebb jelentőségű tényezőket (az üzemelés egyes részletkérdései, medersüllyedés), alig vizsgált hatásokat (visszaduzzasztás), bizonytalan jelenségeket (éghajlat), a részletes vizsgálatokat igénylő elkeveredést és a környezeti hatásokat, valamint a mindenkori politikától, jogszabályalkotástól, intézményi rendszertől függő elemeket (díjak, árak, környezeti jogszabályok). Vannak tényezők, amelyek elsősorban kockázati elemnek tekinthetők (3.2 ábra). Nem ritkán az elsődleges kérdés az, a mögöttes jelenség bekövetkezhet-e vagy sem és melyek a lehetséges következmények. Ilyen például (v) és (ix), amelyek a jelenlegihez képest sok szempontból új, és bizonytalan helyzetet teremthetnek, továbbá növelhetik a probléma bonyolultságát.

További szempont és jövőbeni feladat lehet a rendszerek (FVR és THNH) felépítésének részletes összehasonlítása, az üzemelés megbízhatóságának mérlegelése és a termelés kiesés várható mértékének becslése.

A szempontokat, alternatívákat és hatásokat részletesebben a 9.1 táblázat foglalja össze, ami tárgyalásmódunk alapját képezi. A táblázatnak a környezeti hatások egyetlen aggregált sorát alkotják, a részleteket az 5.2 táblázat tartalmazza.

A több-szempontú elemzés számos módszere ismert. Ezek alapvetően abban különböznek egymástól, hogy mennyire kísérelnek meg számszerűsíteni és erre a célra milyen matematikai, számítástechnikai eszközöket alkalmaznak. Itt megelégszünk a kvalitatív jellegű elemzéssel, elsősorban azért, mivel a számszerűsítés azt sugallaná, hogy a ténylegesnél sokkal megalapozottabb, biztosabb ismeretekkel rendelkezünk.

Jó esetben a több szempontú elemzés eredménye az ésszerű alternatívák kijelölése és rangsorolása. Gyakran azonban az analízis nem vezet egyértelmű eredményhez: ennek magyarázata a bizonytalanságokban, a nehezen mérhető kockázatokban (lásd az 5. fejezetet), a „puha policy” tényezők jelenlétének és a probléma fontos elemeinek nem kellően feltárt

voltában keresendő. Ilyen körülmények között elsődleges feladat a döntés előkészítéshez szükséges hiányzó vizsgálatok kijelölése (lásd később).

Szempontok/Hatások Alternatívák	TINH	FVR	FVRUV	Megjegyzés
1. Beruházási költség (m Ft)				
2. OMR költség (m Ft/a)				
3. Életciklus költség (m Ft)				
3.a Évi összköltség (m Ft)				
4. Vízdíj				
5. Energia ára				
6. Üzemelési clemek				
7. Mederváltozás	Nem releváns	0	Mint FVR	Nincsen kimutatható hatás
8. Visszaduzzasztás	U.a.	Nem vizsgált	Nem vizsgált	Elkeveredést mérsékelheti
9. Éghajlatváltozás	Csekély negatív hatás, főként nyáron	Potenciálisan nagy hatás	Nem vizsgált, kis hatás (?)	Max T _{duuna} -tól és a tartósságtól függ
10. Elkeveredés: környezeti korlátok betartása	0	U.a. mint fent	Üzemelés? Csekély hatás (?)	Diffúzorok: elégséges lehűlés? Környezeti hatások?
11. Környezeti Hatások	Lásd 5.2	Lásd 5.2	Lásd 5.2	Külön vizsgálatok szükségesek
12. Környezet-szabályozás változása	Csekély hatás	Potenciálisan nagy hatás	Csekély hatás	Ellenőrző hely és kritérium változik? Pótvíz?

9.1 táblázat: Szempontok, hatások és alternatívák I.

A következőkben áttekintjük az egyes szempontok szerepét.

9.2 Költségek

A költségeket a 7. és 8. fejezetek, és a Tanulmány 10.4.1 melléklete (2011. május 4.) alapján a 9.1 és a 9.2 táblázat tartalmazza. A 9.2 táblázat az általunk részletesen vizsgált THNH és FVR változatok, illetve az EGI FVRUV jellemzőit foglalja össze.

Költség Változat	THNH		FVR		FVRUV
	EGI [m Ft]	VKKT [m Ft]	EGI [m Ft]	VKKT [m Ft]	EGI [m Ft]
Beruházási költség					
OMR költség/év					
ÉcK					

9.2 táblázat: A beruházási, OMR és ÉcK költségek összehasonlítása a három alternatíván

A
 különbség kisebb, mint azt a 7. fejezet és a tapasztalatok alapján várnánk.
 A
 A

Értékét egyaránt érzékenyen érintheti
 az éghajlatváltozás és a környezeti szabályozás változása (lásd később).

A VKKT becsléseit elfogadva, a legalacsonyabb életciklus költséggel

Ugyanakkor releváns kérdés az (FVRUV-hez kapcsolódóan is), van-e olyan költség-hatékony változat, ami rugalmasan illeszkedik a különböző időléptéken jelentkező változásokhoz (vízjárás, éghajlat, lépcsőzetes fejlesztés és a biztonság igényei).

Mindezek alapján a javasolt alternatíva – legalább is BK és ÉcK alapján -

³⁶ Ismételjük, a gondolat jó.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

9.3 Vízdíj és az energia ára

A Tanulmány részletes érzékenységvizsgálat keretében elemzi az energia- és víz paraméterek lehetséges jövőbeli változásának hatását. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] A következményekben némi különbséget az jelent, hogy a THNH változat költségeit, a vízkivétel és a befogadó oldalán két különböző vízdíj befolyásolja.

9.4 Üzemelési előnyök és hátrányok

Itt az FVR és THNH megoldásokkal kapcsolatos három üzemelési tulajdonságot említünk (9.1 táblázat), amelyeket vizsgálataink során tártunk fel. Ezek közül az első (i) a THNH tornyok gyors reakciója a légköri paraméterek dinamikus változásaira (8.3 fejezet). [REDACTED]

[REDACTED]

A másik két tulajdonsággal az FVR rendelkezik: (ii) a dunai átemelők üzemc optimalizálható és (iii) elvileg a turbinák a frissvízhűtés feltételeire méretezhetők. [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED] Ennek mértéke azonban ebben az esetben nem jelentős. Másrésről a Tanulmány GEA turbinája, jelleggörbéjénél fogva, érzékenyen reagál a klímaváltozás okozta környezeti változásokra.

9.5 Mederváltozás

A medernék (nem csak) a paksi szelvényben való mélyülése ismert jelenség. Ennek következtében feltehetően már a jelenleg üzemelő erőműnek is növekedtek a veszteségei: a folyamattal együtt járt a kisvizek előfordulási gyakoriságának növekedése, ami a dunai szivattyúzásnál éves viszonylatban nagyobb összes emelési magasságot és a szivattyúk romló hatásfokát eredményezte.

A jelenséget valószínűleg több okra lehet visszavezetni. Ezek között szerepel a Duna felvízi szakaszán megépült (átfolyásos) vízlépcsők tározótereinek és a vízgyűjtőn bekövetkezett változások hordalék visszatartó hatása. Annak érdekében, hogy a mélyülés időbeni alakulásáról információt szerezzünk, értékeltük a paksi szelvényre rendelkezésre álló 60 éves vízállás idősort. Megállapítottuk, hogy a csökkenés üteme nem teljesen egyenletes, átlaga 17.8 cm/10 év. A megfigyelt lineáris változásra alapozva 2030-ig extrapoláltunk.

A medermélyülés következményeit a dunai szivattyúk mindenkori energiafogyasztása és a levezetett korrelációs kapcsolatok segítségével értékeltük. [REDACTED]

9.6 Visszaduzzasztás

Elsősorban a figyelemkeltés céljából vettük fel ezt a tényezőt a 9.1 táblázatba: a Duna szabályozásának befejezésére régen állnak rendelkezésre tervek, olyanok is, amelyek duzzasztásra építenek. Amennyiben a következő, mintegy 70 év során duzzasztás valósulna meg (a jövő ismeretlen), az alapvetően befolyásolná többek között az áramlási viszonyokat, az elkeveredést, a vízminőséget, azaz az FVR-re épülő változatok megítélését.

9.7 Éghajlatváltozás

(A) THNH

Az éghajlatváltozással behatóan foglalkoztunk a 4. és 8. fejezetben. Utóbbi szerint a tornyos hűtés költségeinek két tétele módosul a klímáparaméterek változásával: (i) a turbinák hatásfokának csökkenéséből származó termeléseszkkenés és (ii) a pótvíz szivattyúk növekvő önfogyasztása. [REDACTED]

A bizonytalanságok ellenére látható, hogy a klímaváltozással járó felmelegedés az éves üzemelési költségek növekedésében nem játszik számottevő szerepet. [REDACTED]

³⁷ De fontos szerepet játszik a szivattyúzási szintek becslésében.

(B) FVR

A kérdés nagymértékben függvénye a Duna jövőbeni magas hőmérsékletű időszakainak, a várható maximális hőmérsékletnek, a tartósságnak és a környezet szabályozásnak (lásd később).

A 4. fejezet alapján készített összefoglalót a 9.3 táblázat tartalmazza. Négy vízhőmérsékleti küszöbszintet adtunk meg, részben önkényesen: 19 és 22 °C $\Delta T = 11$ illetve 8 °C mellett eredményezi a kilépő szelvényben mértékadónak tekintett 30 °C³⁸-ot (ami ugyan szabályozás szempontjából jelenleg itthon nem játszik szerepet), míg 24 °C a legmagasabb hőmérséklet, ami a rendelkezésre álló adatok alapján statisztikailag még értékelhető. Együtt az a szint, aminek a tartóssága a jövőben már számottevő veszteséget eredményezhet és közelítően az a legnagyobb háttér hőmérséklet, ami - figyelembe véve az elkeveredés hozamtól is függő hatását - még biztosan nem vezet a jelenleg érvényes környezeti korlát túllépéséhez a +500 m szelvényben (30°C). Szerepel még a százévente egyszer előforduló maximális vízhőmérséklet, statisztikai elemzések alapján és a mért legnagyobb érték (2003), ami azonban a bázis évekhez (1974 - 1990) viszonyítva már a „jövőt” jellemzi (a jelenben kb. 1/párezer év eseménynek felel meg).

Vízhőmérséklet melegedés	Tartósság (d)			Megjegyzés

9.3 táblázat: Különb vízhőmérsékletek és tartósságok éghajlati modellek és a dunai adatok elemzése alapján

A táblázatban feltüntetettük a közepes kibocsátású regionális éghajlati forgatókönyvek alapján a klíma modellekkel számított várható nyári átlagos felmelegedést (Bozó 2010), annak bekövetkeztét, a küszöbszinteket és a tartósságok alakulását (4.11 ábra).

A 9.3 táblázatból az alábbi fontos következtetések vonhatók le:

- A 30 °C-os küszöbön a tartósság a jövőben jelentősen csökken, ami a környezeti korlát túllépését jelenti.
- A 24 °C-os küszöbön a tartósság a jövőben már számottevő veszteséget eredményezhet.
- A 19 °C-os küszöbön a tartósság a jövőben már számottevő veszteséget eredményezhet.
- A 22 °C-os küszöbön a tartósság a jövőben már számottevő veszteséget eredményezhet.

³⁸ A 30 °C több országban követett érték (5. fejezet), a korlát megadásának helye azonban roppant változatos.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A bizonytalanságok ellenére a kérdés tehát most már az, hogy 11 és 8 °C-os hőlépcsőt, azokhoz tartozó, reális melegvíz hozamot, 27 °C háttér hőmérsékletet feltételezve, a becsült áron (7. és 8. fejezetek) tartható-e a +500 m-es szelvény 30 °C hőmérséklet maximuma? Más szóval a diffúzoros visszavezetés vezethet-e a folyóban biztonsággal 8 illetve 5 °C hőmérséklet csökkenéshez? Tudjuk-e ésszerűen kompenzálni az éghajlatváltozás hatását?

9.8 Elkeveredés és határértékek

A válasz első felét a 6. fejezet hidrodinamikai és hőtranszport vizsgálatai alapján, a 9.4 táblázatban adjuk meg (lásd a 3.2 ábrát is).

Blokkteljesítmény Hőlépcső Melegvíz [m³/s]	2 x 1200 MW			
	11 °C		8 °C	
	96	196	132	232
Thmax				

9.4 táblázat: Többlet hőmérséklet (+ 500m) és megengedhető maximális Duna hőmérséklet a teljesítmény, a hőlépcső és a melegvízhozamok függvényében

A táblázat 11 és 8 °C hőlépcső esetére, az új blokkokra külön-külön illetve a régikkel együtt, tartalmazza a +500 m szelvény legnagyobb növekményét és a megengedhető legnagyobb Duna hőmérsékletet. Zárójelben a legalább 1 °C biztonsággal rendelkező értékeket tüntettük fel.

Ez a kérdés második felét veti fel: a korlát túllépésének a tartósságtól függően milyen visszatérhelésből eredő költség következményei vannak³⁹? Vagy másképpen fogalmazva: milyen jellegű és mértékű kiegészítő hűtés szükséges?

A felvetés a 4.11 ábra alapján vizsgálható a környezetszabályozás és az éghajlatváltozás hatásaira együttesen, oly módon, hogy a hőmérséklet tartósság görbékből és a korlátokból becsüljük az energia kiesést (amit a ΔT arányokkal lineárisnak tételezünk fel). Az eredmények összefoglalóját a 9.5 táblázat tartalmazza. Ha több ponton történő bevezetéssel a hőmérsékleti kritérium a +500 m szelvényben biztosan tartható, nincsen veszteség (lásd később).

Az éghajlatváltozás (bizonytalan)

³⁹

gggrrrr

g r

grrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

grrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

grrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

rrrrrrrrrr

hozzájárulása változó és +2,5 °C esetén a [REDACTED] Az [REDACTED] Az ismételt kérdés: szóba jöhet-e valamilyen innovatív, több-célú kiegészítő hűtés?

Kieső energia (milliárd Ft) 2 x 1200 MW			
Éghajlat Környezeti korlát	Jelenlegi állapot	+1,5 °C ~ 2030	+2,5 °C ~ 2060
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

9.5 táblázat: Környezeti korlát, éghajlatváltozás és visszatérhelési veszteség

A részletesebb kifejtés érdekében ezután azt elemezzük, mi történik akkor, ha valamely diffúzoros bevezetéshez tartozó megengedhető háttérhőmérsékletet a Duna-víz - éghajlati vagy más okok miatt - meghalad. Ehhez azt vettük figyelembe, hogy

$$T_h \leq 30\text{ °C} - \Delta T + \Delta T_{\text{elk}},$$

ahol ΔT_{elk} az 500 m szelvényig bekövetkező hőmérséklet csökkenés. ΔT_{elk} értékét 0 és 9 °C között változtattuk (lásd a 9.4 táblázatot). Így T_h 19 és 28 °C között módosult. A 4.11 ábra alapján a veszteség számítását ismét elvégeztük a jelen, továbbá a +1,5 °C és +2,5 °C jövőbeni forgatókönyvekre ($T_{\text{max}} = 30\text{ °C}$, $\Delta T = 11\text{ °C}$). Ezeken túlmenően - érzékenységi vizsgálat jelleggel - elemeztük a csúcs hőmérséklet és a feltételezetten ahhoz tartozó (egyébként ismeretlen) tartósság szerepét. [REDACTED]

Kieső energia (milliárd Ft) 2 x 1200 MW					
Éghajlat		Jelenlegi állapot	+1,5 °C ~ 2030	+2,5 °C ~ 2060	2,5/3,5 Keverék
T_{max} (°C)	ΔT_{elk} (°C)				
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

9.6 táblázat: T_{max} , éghajlat és kieső energia

Az eredményeket a 9.6 táblázat foglalja össze, ami alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- Az utolsó sor értékei értelemszerűen megegyeznek a 9.5 táblázat 30 °C-hoz tartozó értékeivel;
- [REDACTED]

000

001

002

003

004

005

006

007

008

009

010

011

012

013

014

015

016

017

018

019

020

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- A keverék forgatókönyv eredményei arra utalnak, hogy önmagában a maximális hőmérséklet még nem „veszélyes”: a veszteség - miután az a tartósság görbe alatti területtel arányos - akkor kezd el markánsan nőni, amikor a [REDACTED]
- Ezért az 5 – 10 napos tartósságú maximum lehetne a mértékadó, ha az a sok bizonytalanság mellett becsülhető lenne.

9.9 Környezeti hatások

A környezeti hatásokat minőségileg az 5.2 táblázatban hasonlítjuk össze, hangsúlyozva, hogy valamely konkrét esetben elkerülhetetlen a hatásvizsgálaton alapuló részletes elemzés. Az eredmény és a sikeres kiválasztás azonban nem mindig biztosítható. Itt érdemes Reynoldsot (1980) idézni. Szerinte a fő stratégiai problémát az jelenti, hogy az alkalmas megközelítés hiányzik, ami súlyuknak megfelelően venné figyelembe a különböző kockázatok hatásait. Olyan módszer szolgálhatna alapul, ami értékelni tudna egy sor jellemzőt: a hatás jellegét, a bizonyosságát, a léptékét, az irreverzibilitását, a mitigáció lehetőségeit stb. Vitatható véleménye szerint a hűtőtornyos megoldásokat a bizonyosság mellett az jellemzi, hogy a legnagyobb a hatása a vízminőségre, az energia felhasználására és a veszteségekre. Emellett kicsiny a hatások mérséklésének a lehetősége.

A frissvízhűtésű megoldás ezzel szemben egyetlen nagy hatással bírhat, még pedig a vízi élővilágra gyakorolttal. Erre az a jellemző, hogy a terjedelmes kutatások ellenére, az ökoszisztémák összetettsége miatt a hatások továbbra is bizonytalanul becsülhetők. Az irritáló kérdés: változott a helyzet Reynolds óta, az elmúlt harminc év során?

9.10 Környezeti szabályozás

A különböző hatások közül talán a leendő környezeti szabályozás rendelkezik a legnagyobbval. Ezt már több helyen bemutattuk (5. és 9.8 fejezetek). Itt ismételtén arra hívjuk fel a figyelmet, hogy az ökológiai szempontok figyelembe vételével általában több korlátozó feltétellel kísérlék meg kizárni a nemkívánatos változásokat. Ezek tartalmazhatják a legnagyobb hőmérsékletet és a növekményt, a hígításra felhasználható vízhozamot, a vízkivétel kialakítását, ugyanitt a megelőző technológiai beavatkozásokat és az előírások statisztikai megfontolásainak következményeit.

9.11 Összefoglaló értékelés

Az összefoglaló értékelést több lépésben adjuk meg. Ehhez a 9.1 táblázatot kissé módosítva használjuk fel (9.7 táblázat). Itt többletként színekkel feltüntetettük az előnyöket, hátrányokat és a bizonytalanságokat.

Hatás/Alternatíva	THNH	FVR	Megjegyzés
1. Beruházási Költség (millió Ft)			
2. OMR költség (millió Ft)			
3. Életciklus Költség (millió Ft)			
6. Üzemelési vonatkozások			THNH érzékenysége, FVR üzemvitele
7. Mederváltozás			Nincs kimutatható hatás
8. Visszaduzzasztás		Nem vizsgált	Elkeveredést mértékkelheti. KH?
9. Éghajlatváltozás	Csekély negatív hatás	Potenciálisan nagy hatás	Max Th-tól és tartósságtól függ
10. Elkeveredés: körny. korlátok		U.a.	Betartható? Elégséges lehűlés? Vízhozam?
11. Környezeti hat.	KHT 1	KHT 2	$KH1 \leq ? \geq KH2$, lásd 5.2
12. Környezet szabályozás változása		Potenciálisan nagy hatás	Ellenőrző hely és Kritérium? Pótvíz?

9.7 táblázat: Szempontok, hatások és alternatívák II.
 [redacted], zöld = hátrány, lilá = bizonytalanság

(1) Költségek

A 9.7 táblázat alapján a következő megállapítások tehetők.

- [redacted]
- [redacted]

(2) Bizonytalanságok

- Az összképet a 8. - 12. tényezők alaposan befolyásolják. A környezeti hatásokat egyelőre félretéve, a THNH szempontjából csupán egyetlen kismértékű, negatív hatás jelentkezik, a többi pedig gyakorlatilag nem releváns. [redacted] Ezek döntően alakíthatják a leendő hőterhelési korlátok betarthatóságát és számos vízminőségi, ökológiai hatást is eredményezhetnek. Bekövetkeztük legfeljebb valószínűségekkel jellemezhető, hatásuk alapvetően bizonytalan.

⁴⁰ Ezt némileg növeli a leiszapolási víz kezelési költsége (OMRK és BK egyaránt).

- A részletesebb elemzés érdekében a 9.7 táblázat jelöléseit felhasználva elkészítettük a két változatra a keresztkapcsolatok mátrixát (9.8 (a) és (b) táblázatok), ahol a sorokban és az oszlopokban a 9.7 táblázat tényezői szerepelnek. X-szel a kapcsolat meglétét jelöltük, ez lehet előnyös, hátrányos vagy bizonytalan.

9.8 (a) táblázat: A keresztkapcsolatok mátrixa; FVR
1-BK, 2-OMRK, 3-ÉEK, 7-mederváltozás, 8-visszaduzzasztás,
9 - éghajlat, 10-elkeveredés, 11-környezeti hatások, 12-környezeti szabályozás
a színek jelentése: lásd a 9.7 táblázatot

9.8(b) táblázat: A keresztkapcsolatok mátrixa: THNH
1-BK, 2-OMRK, 3-ÉCK, 7-mederváltozás, 8-vlsszaduzzasztás, 9 - éghajlat, 10-elkeveredés,
11-környezeti hatások, 12-környezeti szabályozás
a színek jelentése: lásd a 9.7 táblázatot

- A 9.8(a) táblázat azt szemlélteti, hogy a bal felső költség-blokkot leszámítva nagyok a bizonytalanságok. Ezek sok szálon kapcsolódnak egymáshoz. A különböző jelenségek és hatások között számos visszacsatolás is érvényesül. A rendszer összetett és nehezen kézben tartható.
- [REDACTED]

- [REDACTED]
- A 8. - 12. szempontok kapcsán mérlegeljünk az előfordulási valószínűségeket. A duzzasztás valószínűsége 60 - 70 éves időtávlatban (a tervezett projekt élettartama) kb. 50 %, rövidebb időhorizonton azonban sokkal alacsonyabb (a döntést – a tervezett paksi bővítés miatt - a következő években kellene meghozni). Az éghajlatváltozás valószínűsége az IPCC szerint 90 % körüli (tehát majdnem bizonyosságról van szó), csak a hatás bizonytalan. A környezeti szabályozás leendő felülvizsgálata szintén bizonyossághoz közeli, többek között az EU VKI/VGT miatt. A tendenciák is kitapinthatók (5. fejezet), de a változás mértéke ismeretlen. A 9.8 pont részletesen tárgyalta, hogy a szélsőséges helyzetek az elkeveredés intenzifikálása révén milyen mértékben kezelhetők.

(3) A bizonytalanságok mérséklése: a költségek újra értékelése

A kockázat érzékeny továbbgondolás jegyében tekintsük behatóbban a bizonytalanságokat.

[REDACTED] Hogyan tudjuk ezt mérsékelni, a sérülékenységet csökkenteni? Mennyibe kerül?

Három eszközzel élhetünk (attól is függően, mikor döntünk a mitigációról):

- (i) $\Delta T = 11^\circ\text{C}$ esetén 19°C felett visszaterhelést alkalmazunk,
- (ii) Alacsonyabb hőlépcsőt választunk ($\Delta T = 8^\circ\text{C}$, ekkor 22°C Duna-hőmérséklet engedhető meg) és
- (iii) Hűtővizet vezetünk át a melegvízesatornába, [REDACTED]

Mindegyik lépés kiadással jár:

- (a) [REDACTED]
- (b) [REDACTED]
- (c) [REDACTED]

⁴¹ A mérnökök nem ritkán találkoznak ilyen helyzetekkel: „A” állapotra tervez, de a feltételek váratlan változása miatt „B”-be jut. Hogyan tudja a következményeket minimalizálni? Hogyan tud „A” közelébe kerülni?

⁴² Magasabb értékek is kezelhetők, de a költségek [REDACTED]

- (d) [REDACTED] körüli⁴³, az ÉcK pedig a korábban túlzottan drágának talált FVRUV közelébe emelkedik.

A felvázolt becslés azt mutatja, hogy

- (i) a bizonytalanságok számszerűsíthetők és
- (ii) nagy mértékben csökkenthetők, ennek azonban ára van;

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

(4) A környezeti hatások

A 9.7 és 9.8 táblázatok szerint a környezeti hatások a több-szempontú elemzésbe látszólag csupán egy elemként kapcsolódnak be (amelyek részét képezik a 8. - 10. tételek is). Ezeket az 5.1 és 5.2 táblázat kapcsán már részletesebben mérlegeltük. Itt pusztán azt a kötelességet ismétljük meg (5.2 fejezet), hogy míg a potenciálisan nagy (és eddig Pakson sem tapasztalt) hatások többsége az FVR-re jellemző, addig a hatások száma a THNH változatra sokkal több⁴⁵ (lásd a némileg módosított 5.2 táblázatot - 9.9 táblázat). Más szóval és leegyszerűsítve, az eredő hatás a több-szempontú elemzés szintjén - hatásvizsgálat hiányában és az érintettek véleményének kikérése nélkül - jelenleg még kétséges. Ez nyilván befolyásolja a több-szempontú elemzés kimenetelét.

Hűtővíz rendszer Hatás	Frissvízhűtés	Nedves hűtőtorony
1. Mennyiség	Nagy vízhozam	
2. Vízfogyasztás (párolgás)		~ 2x (2-3 % F3 m ³ /s/1000 MW)
3. Hőhatás	Potenenciálisan nagy	
4. Vízkivételi hatás	Potenenciálisan nagy	
5. Vízszennyezés		Potenenciálisan nagy
6. vízminőség	Helyileg	
7. Víz élővilág	Helyileg	
8. Legionella betegség		Lehet

⁴³ [REDACTED]

⁴⁴ [REDACTED]

⁴⁵ Ezek általában kisebb jelentőségűek, mint a 9.7 táblázatban összefoglaltak.

Hűtővíz rendszer Hatás	Frissvízhűtés	Nedves hűtőtorony
9. Légszennyezés		Potenci. szennyezés: talaj, növényzet
10. Ködképződés, Csóva, lefagyás		Általában nem nagy, vizgőzcsóva
11. Zaj		Kellemetlen lehet
12. Esztétika		Magas létesítmény
13. Terület igény		Nagy
14. Telepítés		Településtől távol Fővíz igény
15. Földrengés		Nagyobb

9.9 táblázat: FVR és THNH hűtőrendszerek környezeti hatásai
[redacted] Zöld-hatvány

9.12 Stratégiai kérdések

A döntés a hűtési rendszerről több stratégiai kérdés tisztázását igényli. Ezeket az alábbiakban foglaljuk össze:

- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]

⁴⁶ A bővítés lehet THNH vagy FVR rendszerű:

- Előbbi független a Duna terhelhetőségétől és egyéb szempontok alapján léptethető be egyszerre vagy időben eltolva.

- [redacted]
- [redacted]
- [redacted]

Úgy látjuk, az együttműködés módja és az ütemezés még nem eldöntött, további vizsgálatok feltétlenül indokoltak.

9.13 Javasolt vizsgálatok

Az elvégzett elemzések alapján a következő vizsgálatokat javasoljuk,

- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]

1.1

1.2

1.3

1.4

1.5

1.6

1.7

1.8

1.9

1.10

1.11

1.12

1.13

1.14

1.15

1.16

1.17

1.18

1.19

1.20

1.21

1.22

10. KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett sokoldalú elemzések alapján - rész-területenként - az alábbi megállapítások tehetők illetve következtetések vonhatók le.

A GEA/EGI Tanulmány kritikai értékelése

- A konzorcium szerteágazó, nagy volumenű, nehéz munkát végzett, amelyet tanulmány sorozat foglal össze. Ez kiterjed hőtechnikai, energetikai, gazdasági, környezeti, technológiai és egyéb kérdésekre. A színvonal általában jó, de heterogén, a hűtőtornyos megoldás javára.
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- Hiányzik azoknak a fontos kérdéseknek a kijelölése [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED] amelyek a költségeket nem elhanyagolható módon befolyásolhatják.
- A hőmérsékleti korlátot nem konzisztensen kezelik. [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- Nem világos a „kritikus állapot” definiálása sem (háttér hőmérséklet és vízhozam): a legkedvezőtlenebb múltbeli értékek, statisztikai megfontolások, klímaváltozás és egyebek keverednek, több jelentésben és egy-egy jelentésen belül is.
- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
- Összefoglalóan, a GEA/EGI Tanulmány egy nagy horderejű projekt hosszabb tervezési és megvalósítási folyamatának fontos kezdeti lépését tette meg, a kritikai

⁴⁷ Ennek nagysága [REDACTED]

észrevételek ellenére sok hasznos eredményt és a felülvizsgálat által is igazolt következtetést szolgáltatva.

Az éghajlatváltozás hatásai

- A térség számos meteorológiai és vízrajzi jellemzője emelkedő trendet mutat, ami azt sugallja, hogy már részesei vagyunk a változásnak.
- A vízhőmérséklet tartóssági görbéket a várható melegedés $0 - 2.5\text{ °C}$ tartományában 0.5 °C lépcsőben állítottuk elő. A görbék a jelenlegi éghajlatot jellemző állapottól (például 22 °C átlagos tartóssága 20 nap körüli) jobbra mozdulnak el, annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a melegedés (a 2030-ra várható $+1.5\text{ °C}$ -hoz 30-35 nap növekedés tartozik). Az analógia módszerén alapuló becslés megbízhatósága csökken a küszöbérték emelkedésével és a melegedés fokozódásával.
- A jelen éghajlati állapotra a rövid minta szerint észlelt legnagyobb évi maximum 25.4 °C nagyjából 100 évente egyszer fordul elő⁴⁸ (1%-os meghaladási valószínűségű). Az éghajlat 1.5 °C melegedése esetén a 100 éves gyakoriságú évi maximális vízhőmérséklet 25.4 °C -ról 27.0 °C -ra emelkedhet. Kisebb valószínűséggel a maximális vízhőmérséklet ennél nagyobb mértékű, akár $28-29\text{ °C}$ -ra történő növekedése sem zárható ki. A szélsőségek tartóssága a maximum környezetében - a meglévő ismeretek alapján - nem becsülhető.
- A kis vízhozamok ($Q < 1100\text{ m}^3/\text{s}$) - kedvezően - nem esnek egybe a dunai hőmérsékleti csúcsokkal; míg a hőmérséklet maximuma nyári hónapokban várható, addig a Duna vízhozam minimumok kora ősszel jelentkeznek.

Környezeti hatások

- Az FVR és THNH változatok egyaránt számos környezeti hatással rendelkeznek, de az irodalom „drámai” esetekről nem számol be.
- A frissvízhűtésű rendszerek sokkal több vizet mozgatnak meg, mint a tornyos megoldások és ezzel függenek össze a potenciálisan komoly vízkivételi-, hő- és vízminőségi hatások, amelyeket a nagy hígulás a legtöbb esetekben (Paks esetében is) mérsékel. Ugyanakkor a tized akkora vízigényű nedves hűtőtornyok vízfelhasználása párolgás révén kétszerese az FVR-nek. A többi hatás közül negatívként a hűtőtornyokban alkalmazott biocidok és a nem párolgó bedúsult anyagok emelendők ki, amelyek lebomlási (felezési) ideje roppant eltérő lehet (ma már csak engedélyezett összetételű biocidok alkalmazhatók). Aggodalmak a hosszú távú hatással kapcsolatban jelentkeznek.
- A THNH megoldás további jellemzője a partikulált anyagok potenciális kibocsátása a légkörbe, a nagy lábnym, a zaj-, és az esztétikai hatás (200 méter magas műtárgyakról van szó), ami csökkenti a rekreációs- és tájkép értéket. A vízgőzcsova többlethatást okozhat és kődhatással bírhat, lefagyást eredményezhet. A japán balesetet követően kiemelt, vizsgálandó kérdés a földrengésbiztonság.

⁴⁸ A múltban a legnagyobb maximális vízhőmérsékletet, 26.6 °C -ot 2006-ban észlelték. Ez a jelen éghajlatot az IPCC konvenció szerint jellemző 1974–1990. időszakon kívül van (azaz a jövőt képviseli), gyakorisága pedig 1000 és 10000 év közötti.

- Figyelemre méltó, hogy amíg az előbb említett szempontok többsége alapján a THNH változat tűnik kedvezőbbnek, addig az utóbb felsorolt - túlnyomóan kisebb jelentőségű - hatások kicsinyek vagy nem relevánsak az FVR rendszerekre és ezért ezek lehetnek előnyösebbek.

Környezeti szabályozók

- A hőmérsékleti korlátok - nagy bizonyossággal - nem válnak megengedőbbeké.
- Az UK példához hasonlóan valószínű az igazodás az EU VKI jó állapot osztályozásához, ami itthon még kimunkálásra vár (az Alkotmány Bíróság által felfüggesztett VGT javaslat legfeljebb háttéranyagul szolgál majd).
- A nemzetközi gyakorlatot követve, a Duna hűgtásra felhasználható legnagyobb vízhozamát (vagy keresztaszvéný hányadát) a szabályozás által minden bizonynal mekkötik.
- A felső korlát $T_{\max} = 28 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ lehet, a hűlépesőre pedig nyáron $\Delta T_{\max} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (télén magasabb érték) vonatkozhat;
- A csővára vonatkozó előírás függvénye a $T_{\max}$ meghatározásának;
- A legfontosabb és meghatározó $T_{\max}$ helyének előírása. Ez lehet a kilépő szelvény, a befogadó, a csőva, a + 500 m szelvény stb. Napjainkban az EU VKI által képviselt tendencia és más országok gyakorlata határozott elmozdulást jelent a befogadó határértékek irányába.

Elkeveredés és bevezetési változatok

- A jelenlegi kiépítettség és parti bevezetés mellett elegendő a természetes elkeveredés hatása. A bővítés eredményeként a melegvíz mennyisége akár a $200\text{ m}^3/\text{s}$ értéket is meghaladhatja, [REDACTED] A klímaváltozás hatására is emelkedhet a Duna-víz hőmérséklete. Ezek együttesen szükségessé teszik intenzív és költség-hatékony bekeverési módokat kialakítását.
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

Beruházási költségek

- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

⁴⁹ 1 °C bitonsági tartalék mellett.

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

Üzemelési és életciklus költségek

- Az életciklus elemzés valójában olyan mérnök-gazdasági konvenció alkalmazását jelenti, ami lehetővé teszi az évente visszatérően jelentkező költségek és az egyszeri beruházási költség kombinálását. Az eredmény számottevően függ az élettartam és a diszkont tényező megválasztásától, így az óvatosan kezelendő. Hasonló módszer az évi összköltség számítása. Míg előbbi igen nagy - talán túlzott - hangsúlyt fektet az üzemelési költségre, az ÉÖK-nál fordított a helyzet.
- [REDACTED]
- A hűtőtornyos rendszer gyors reagálása a léghőmérséklet változásaira, továbbá a hatásfokváltozás nem lineáris jellege miatt a napi középhőmérsékletekkel számítható veszteségek alulbecsültek. A termelés kiesés mértéke éves átlagban a hőmérséklet ingadozásától függ [REDACTED] magasabb hőmérséklet esetén [REDACTED] A klímaváltozással járó felmelegedés ezt a jellegzetes nemileg erősíteni fogja.
- [REDACTED]
- A dunai medermélyülés megfigyelt jelenség. Hatvan év adatait elemezve és az elmúlt húsz év trendjének fennmaradását feltételezve készítettünk jövőbeni prognózist. [REDACTED]

⁵⁰ Integrált Szennyezés Megelőzés és Szabályozás, Legjobb Rendelkezésre álló Technológia.

Több-szempon্তু elemzés

- A jövőre vonatkozó értékelés szerteágazó szempontjai/hatásai magukba foglalták a (i) költségeket; (ii) az energia, továbbá a víz árát; (iii) üzemviteli tulajdonságokat; (iv) a mederváltozást; (v) az esetleges dunai visszaduzzasztást; (vi) az éghajlatváltozást; (vii) az elkeveredést és a potenciális visszaterhelést; (viii) a környezeti hatásokat és (ix) a környezeti szabályozás lehetséges jövőbeni változását. Az elvégzett elemzés alapján - figyelembe véve az előnyöket, a hátrányokat és a bizonytalanságokat - az alábbi összefoglaló értékelés adható.

- [REDACTED]

Költség/Változat	THNH		FVR		FVRUV
	EGI [m.Ft]	VKKT [m.Ft]	EGI [m.Ft]	VKKT [m.Ft]	EGI [m.Ft]
Beruházási költség	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
OMR költség/év	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
ÉcK	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

1. táblázat: A beruházási, OMR és ÉcK költségek összehasonlítása a három alternatívára

- Az (v) - (ix) szempontok a látszólag egyszerű összképet alaposan összekuszálják. A THNH vonatkozásában csupán egyetlen kismértékű, negatív hatás jelentkezik (éghajlatváltozás), a többi gyakorlatilag nem releváns. Ezzel szemben az FVR esetében egymással összefüggésben jelenik meg számos nehezen kiszámítható hatás. Ezek döntően alakíthatják a leendő hőterhelési korlátok betarthatóságát és több vízminőségi, ökológiai következménnyel is járhatnak.

- [REDACTED]

- [REDACTED] Utóbbiak feltárása nélkül a kiválasztás és a döntés szinte lehetetlen.
- [REDACTED]

Javasolt vizsgálatok

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

⁵¹ A leiszapolási költség elhanyagolása ellenére is.

RÖVIDÍTÉSEK

BAT	Best Available Technology – legjobb elérhető technológia
BK	Beruházási költség
BME	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
CWA	Clean Water Act – Tiszta Víz Törvény (USA)
DTR	Döntéstámogató rendszer
EGI	Energiagazdálkodási Intézet
EPA	Environmental Protection Agency– az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala
ÉcK	Életciklus-költség
ÉöK	Évi összköltség
FVR	Frissvízhűtésű rendszer
FVR UV	Frissvízhűtésű rendszer utóhűtvel, VITUKI vízbevezetéssel
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control – Integrált Szennyezés Megelőzés és Szabályozás – A környezetszennyezés integrált megelőzéséről és csökkentéséről szóló 96/61/EK számú irányelv rövidítése
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MVM	Magyar Villamos Művek Zrt.
OMR	Operation, maintenance and repair cost – üzemeltetési, karbantartási költség
PAE	Paksi Atomerőmű
THNH	Természetes huzatú nedves hűtőtorony rendszerű hűtés
VGT	Vízgazdálkodási Terv
VITUKI	Vízügyi Tudományos Kutatóintézet
VKI	Víz Keretirányelv
VKKT	Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

IRODALOM

- Adams, E. E., 1982. Dilution analysis for unidirectional diffusers. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*. Vol. 108, No. HY3, Pg. 327-342. March 1982.
- Akar, P. J., and G. H. Jirka, 1991. CORMIX2: An Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Multiport Diffuser Discharges. Report Number EPA/600/3-91/073. Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, December 1991.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Csima, G., Horányi, A., Pieczka, I., Szabó, P., Szépszó, G. Torma, Cs. (2009) 2021-2040-re várható éghajlatváltozás a Kárpát-medence térségében magyarországi regionális klímamodellek együttes kiértékelése alapján (alapozó tanulmány a Környezeti jövőkép – környezet- és klímabiztonság stratégiai programhoz), (kézirat), Budapest, p13
- BME VKKT (2007) A Paksi Atomerőmű hőterhelése: az elkeveredés javításának vizsgálata (kézirat), Budapest
- BME VKKT (2010) A Paksi Atomerőmű hőterheléséhez kapcsolódó üzemviteli rendszer továbbfejlesztése és az elkeveredés javításának vizsgálata (kézirat), Budapest
- Bozó, L. (szerk.) (2010) Környezeti jövőkép – környezet- és klímabiztonság (MTA Köztudományi Stratégiai Programok). ISBN 978-963-508-597-2. p. 65, Budapest
- Brocard, D. N., B. J. V. Wheele, and L. A. Williamson, 1994. The New Boston Outfall. *Civil Engineering Practice*. Vol. 9, No. 1, Pg. 33. Spring/Summer 1994.
- Brooks, N. H., 1970. Conceptual design of submarine outfalls - II Hydraulic design of diffusers. Technical Memorandum 70-2. W. M. Keck Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California. January 1970.
- Economopoulou, M. A., and A. P. Economopoulou, 1998. Rapid Size and Performance Evaluation of Submarine Outfalls with Line Diffusers. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*. Vol. 124, No. 2, Pg. 138. February 1998.
- EPA (2000) Economic and Engineering Analyses of the Proposed 316(b) New Facility Rule, EPA-821-R-00-019
- EPA (2001) Technical Development Document for the Final Regulations Addressing Cooling Water Intake Structures for New Facilities, EPA-821-R-01-036
- Fischer, H. B., E. J. List, R. C. Y. Koh, J. Imberger, and N. H. Brooks, 1979. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press, New York.
- Holley, E. R., and G. H. Jirka, 1986. *Mixing in Rivers*. Technical Report E-86-11. Environmental Laboratory, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi. September 1986.
- Jirka, G. H., and D. R. F. Harleman, 1973. The Mechanics of Submerged Multiport Diffusers for Buoyant Discharges in Shallow Water. Technical Report 169. Ralph M Parsons Laboratory, MIT, Cambridge, Massachusetts. March 1973.
- Jirka, G. H., 1982. Multiport diffusers for heat disposal: A summary. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*. Vol. 108, No. HY12, Pg. 1425-1468. December 1982.
- Koh, R. C., N. H. Brooks, E. J. List, and E. J. Wolanski, 1974. Hydraulic Modeling of Thermal Outfall Diffusers For the San Onofre Nuclear Power Plant. Report Number KH-R-30. W.M. Keck Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California. January 1974.
- Najjar, K. F., Shaw, J.J., Adams, E. E., Jirka, G. H. and Harleman, D. R, F (1979) An environmental and economic comparison of cooling systems design for steam electric power plants, Energy Laboratory Report No. MIT-EL 79-037
- NEI (2010) Nuclear Energy Institute: Issues in Focus - Water Use and Electricity Production.
- Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008-2025 (2008)
- NUREG (2010) Generic Environmental Impact Statement 5 for License Renewal of Nuclear Plants, NUREG – 1437, Vol.1, Part 4, US Nuclear Regulatory Commission

- Reynolds, J. Z. (1980) Power Plant Cooling Systems: Policy Alternatives, Science, Vol. 207, No. 4429
- Somlyódy, L. (1985) A szennyezőanyagok elkeveredésének meghatározása vízfolyásokban, Vízügyi Közlemények 67:(2) pp. 185-202
- Somlyódy, L., and van Straten, G., eds. (1986): Modeling and Managing Shallow Lake Eutrophication. With application to Lake Balaton, Springer Verlag, Berlin
- Szilágyi, F. (2007) A hőszennyezés hidrobiológiai hatásai, BME VKKT (kézirat), Budapest
- Turnpenny, A.W.H. and Liney, K.E. (2010) Review and development of temperature standards for marine and freshwater environments

7.1 MELLÉKLET: 2 X 1200 MW TORONY BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEI (PAE ADATSZOLGÁLTATÁS)

	Megnevezés	Mennyiség/torony	m ³	Fajlagos költség [H]	Ar (Mrd Forint)	Megjegyzés
1	Hűtőtorny palást (vasbeton hé/szerkezeti)					Kulcsrahéza ár, vasbeton, szakszervelet technológiával
2	Hűtőtorny oszlopok ("X" vagy "A" írással)					Kulcsrahéza ár
3	Alaplemez és alapgyűrű					Kulcsrahéza ár
4	Hűtőtorny madaras fal					Kulcsrahéza ár
5	Felső alpadt vevőlélek (szatormák)					Kulcsrahéza ár
6	Fűtőtorok					Kulcsrahéza ár
7	Felső garandó szil, fűtőtorok és csatlakozású készlet vasbeton tartószerkezte					Kulcsrahéza ár
8	Tartószerkezetek ("X" vagy "A" írással)					Kulcsrahéza ár
9	Aré hűtőtorok fűtőtorok anyag költsége (kurtyók elleni védőbevonattal, szigeteléssel, mérőváltókkal)					
10	Aré hűtőtorok fűtőtorok építési munkái (csatlakozás, fűtőtorok, alapotlással, alapotlással)					
11	Pótló szivattyú gépház fajtájában 3 toronyra vonatkoztatva					
12	Keringető szivattyú gépház szűrőüzemi építéssel együtt					Kulcsrahéza ár
13	Vízlevezető építéssel fajtájában 3 toronyra vonatkoztatva					Kulcsrahéza ár
14	Építési torony					
15	Hűtőtorny					Telephelyre szállítva
16	Csepplévesztő					Telephelyre szállítva
17	Vízvezető felek, elvezető műanyag csövek, fagymentesítő kivezetések					Telephelyre szállítva
18	Elektronikus hűtőtorok szűrő, fagymentesítő szűrők					Telephelyre szállítva
19	Mérőműszerek, elektronikus kábelak, szűrők					Telephelyre szállítva
20	Vegyszeradagoló berendezés					Telephelyre szállítva
21	Járőrakok, tárolók, rúdmentesítő függőleges elemek, egyéb					Telephelyre szállítva
22	Gépfazeti tervezés					Két blokkra együttesen
23	Gépfazeti átalakítás, üzembe helyezés és szerelésvezetés					Berendezések szerelése, szerelésvezetés, üzembe helyezés
24	Keringető szivattyú gépház gépezet és szűrőüzemi gépezet					Telephelyre szállítva
25	Keringető szivattyú és egyéb szerelés és üzembe helyezés					Gépfázis átalakítás, üzembe helyezés
26	Pótló szivattyú gépház fajtájában 3 toronyra vonatkoztatva					Helyi építési árak
27	Fűtőtorok kondenzátor fajtájában 3 toronyra vonatkoztatva					
28	Vízlevezető berendezés fajtájában 3 toronyra vonatkoztatva					Kulcsrahéza ár

Megjegyzés: A táblázatban szereplő költségek egy blokkra értendők, kivéve a tervezés költségeit, ami blokkszámától független.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

7.2 MELLÉKLET: FRISSVÍZHŰTÉS ÉS MELEGVÍZ-VISSZAVEZETÉS BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEINEK BECSLÉSE

1. Frissvízhűtés

1.1 Építési költségek

A $\Delta T = 11^\circ\text{C}$ változatra a II. kötet mellékleteként viszonylag jó kidolgozottságú tervek (műtárgyanként alaprajz és metszet) álltak rendelkezésre. Ezek alapján, néhány méretet becsülve a műtárgyakba kerülő beton az 1. táblázat szerint alakul.

BETON MENNYISÉGE		
Dunai vízkivételi műtárgy	██████	m ³
Hidegvíz-csatorna ⁵²	██████	m
Dobszűrő-gépház	██████	m ³
Zárt vb. hideg- és melegvíz-csatorna (2 párhuzamos ág/blokk) Szűrőgépházról a kondenzátor szivattyúgépházig, Majd a szinttartó bukóműtárgyig	██████	m ³
Kondenzátor hűtővíz szivattyúgépház (5. blokk)	██████	m ³
Kondenzátor hűtővíz szivattyúgépház (6. blokk)	██████	m ³
Acél hűtővíz fővezeték anyagköltség (korrózió elleni védőbevonattal, szigeteléssel, merevítésekkel) ⁵³ (kondenzátor szivattyúgépházról a kondenzátorba, majd kondenzátortól a vb. csatornáig)	██████	m
Acél hűtővíz fővezeték építési munkái (csőárok térszín feletti vezetéssel, alátámasztásokkal, alapozással)	██████	m
Szinttartó bukóműtárgy (2 blokkra)	██████	m ³

1. táblázat: A műtárgyak beton mennyisége



ÉPÍTÉSI MUNKÁK		
Dunai vízkivételi műtárgy	██████	millió Ft
Hidegvíz-csatorna	██████	millió Ft
Dobszűrő-gépház	██████	millió Ft
Zárt vb. hideg- és melegvíz-csatorna (4 párhuzamos ág)	██████	millió Ft

⁵² Csatorna hossza

⁵³ Vezeték összes hossza

Kondenzátor hűtővíz szivattyúgépház (5. blokk)	■	millió Ft
Kondenzátor hűtővíz szivattyúgépház (6. blokk)	■	millió Ft
Acél hűtővíz fővezeték anyagköltség (korrózió elleni védőbevonattal, szigeteléssel, merevítésekkel)	■	millió Ft
Acél hűtővíz fővezeték építési munkái (csőárok térszín feletti vezetéssel, alátámasztásokkal, alapozással)	■	millió Ft
Szinttartó bukóműtárgy (2 blokkra)	■	millió Ft
Építészeti tervezés	■	millió Ft
ÉPÍTÉSZET ÖSSZESEN	■	■ millió Ft

2. táblázat: Építési költségek

1.2 Gépészeti költségek

A gépészeti költségekre - szintén fenti fajlagos költségek alapján - az alábbi költségbebecslést készítettük a $\Delta T = 11\text{ °C}$ esetre.

GÉPÉSZETI MUNKÁK		
Dunai átemelő műtárgy és szűrőgépház gépészete ■ ■	■	millió Ft
Szerelés és üzembe helyezés	■	millió Ft
Kondenzátor hűtővíz szivattyúgépház gépészete ■	■	millió Ft
Szerelés és üzembe helyezés	■	millió Ft
Járórácsok, létrák, rozsdamentes függesztő elemek, egyéb	■	millió Ft
Gépészeti szerelés, üzembe helyezés és szerelésvezetés	■	millió Ft
Gépészeti tervezés	■	millió Ft
Elektromossági munkák	■	millió Ft
GÉPÉSZET ÖSSZESEN	■	■ millió Ft

3. táblázat: Gépészeti költségek

2. VITUKI víz visszavezetés

Ennek a költségnek az ellenőrzéséhez hazai, közelmúltbeli kivitelezési példákat vettünk, az alábbiak szerint.

A mederbe való bevezetésre napjainkig két megoldás vált járatosná. Az első szerint az alapvetően acél anyagú vezeték a parton elkészítik; a meder alatti kotrással mélyített árok fölé úsztatják, majd vízzel megtöltve leengedik. Ezután történhet a lehorgonyzás, visszahúzás, esetleg körülbetonozás víz alatti betonozási technológiával.

A második megoldás a sajtolás, ennek több alváltozata ismert. A „microtunneling” eljárás gyakorlatilag a metróépítésből ismert módon fúrófejjel hozza létre a csővezeték számára az üreget. A munkák az indítógödörből indulnak, itt támaszkodik meg a sajtoló berendezés, ami - a végleges vezeték is képező csőveken keresztül - a fúrófejnek a megtámasztást biztosítja. Tekintettel arra, hogy hazai árreferenciát a közelmúltból csak ez utóbbira találtunk, költségbecslésünk erre a módszerre vonatkozik.

2.1 Árreferenciák (2005–2006; 1 € = 250 Ft)

(i) Buda nyers szennyvizét a Csepel-szigeti tisztítóba vezető nyomócső átsajtolása a Nagy Duna alatt (Kelenföldről):

	Szerződéses ár	2010. évi ár
Indító műtárgy	€	millió Ft
DN1400 cső sajtolása 2x493 m hosszan	€	millió Ft
Fogadóakna	€	millió Ft
Összesen	€	millió Ft

4. táblázat: Budai átvezetés a csepeli tisztítóba

(ii) Pest nyers szennyvizét a Csepel-szigeti tisztítóba vezető nyomócső átsajtolása a Ráckevei-Soroksári Duna-ág alatt (Ferencvárosból):

	Szerződéses ár	2010. évi ár
Indító műtárgy	€	millió Ft
DN1400 cső sajtolása 2x300 m hosszan	€	millió Ft
Fogadóakna	€	millió Ft
Összesen	€	millió Ft

5. táblázat: Pesti szennyvíz átvezetése

(iii) Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep (BKSzTT) tisztított szennyvizét a Duna sodorvonalába vezető műtárgy:

	Szerződéses ár	2010. évi ár
Parti akna készítése fűrt cölöpös oldalhatárolással	€	millió Ft

	Szerződéses ár	2010. évi ár
DN2400 vb. cső sajtolása (350 m hosszan) [REDACTED]	[REDACTED] €	[REDACTED] millió Ft
Fogadóakna, kitorkolló-fej	[REDACTED] €	[REDACTED] millió Ft
Tervezés	[REDACTED] €	[REDACTED] millió Ft
Összesen	[REDACTED] €	[REDACTED] millió Ft

6. táblázat: A BKSzTT bevezetése

2.2 A VITUKI bevezetés költségének becslése

A VITUKI bevezetés mennyiségei számításánál a II. kötet mellékletét képező 6335-D100 sz. rajzra támaszkodtunk (azt nem bíraltuk felül, lásd később).

A létesítmények:

1. Új melegvíz-csatorna leágazás, osztóműtárggyal és energiatörő műtárggyal [REDACTED] fm,
2. [REDACTED] csővezeték sajtolása, indító és fogadóaknával, [REDACTED] m hosszan,
3. [REDACTED] csővezeték sajtolása, indító és fogadóaknával, [REDACTED] m hosszan.

Ezekhez, a fenti árakból kiindulva az alábbi becsült árakat rendeljük:

1. Új melegvíz-csatorna, osztóműtárggyal és energiatörő műtárggyal [REDACTED]
2. Vezetéksajtolás (i):

Parti akna készítése fűtől cölöpös oldalhatárolással	[REDACTED]	millió Ft
[REDACTED] vb. cső sajtolása ([REDACTED] hosszan)	[REDACTED]	millió Ft
Fogadóakna, kitorkolló-fej	[REDACTED]	millió Ft
Összesen	[REDACTED]	millió Ft

7. táblázat: VITUKI bevezetés csőve (2)

3. Vezetéksajtolás (ii):

Parti akna készítése fűtől cölöpös oldalhatárolással	[REDACTED]	millió Ft
[REDACTED] vb. cső sajtolása ([REDACTED] hosszan)	[REDACTED]	millió Ft
Fogadóakna, kitorkolló-fej	[REDACTED]	millió Ft
Összesen	[REDACTED]	millió Ft

8. táblázat: VITUKI bevezetés csőve (3)

[REDACTED]

[REDACTED]

3. VKKT vízbevezetések

A már említett 6335-D100 számú rajzon szereplő bevezetéseket nem kellően átgondoltnak tartjuk. Indokolatlan és a gyakorlattól elrugaskodott megoldás, hogy a mederbe ferdén (a partvonalra és a sodorvonalra ne közel merőlegesen) történjen a sajtolás. Hasonló mértékű elkeveredés kisebb költségű beruházással is elérhető, különböző számú bevezetéssel, az alábbiak szerint:

3.1 Egy darab bevezetés

meder alatti sajtolás hosszan a partra merőlegesen.

Parti akna készítése fűrt cölöpös oldalhatárolással		millió Ft
vb. cső sajtolása		millió Ft
Fogadóakna, kitorkolló-fej		millió Ft
Összesen		millió Ft

9. táblázat: VKKT bevezetés (1)

3.2 Kettő darab bevezetés

bevezetés meder alatti sajtolással A megoldás a nagy vízhozam és átmérő (2.5 m/s sebesség) miatt nem alakítható ki egyetlen csőből történő leágazással.

Parti akna készítése fűrt cölöpös oldalhatárolással 1 db közös indítógödör		millió Ft
Cső sajtolása (hosszan)		millió Ft
vb. Cső sajtolása (hosszan)		millió Ft
Fogadóakna, kitorkolló-fej		millió Ft
Összesen		millió Ft

10. táblázat: VKKT bevezetés (2)

3.3 Három darab bevezetés

bevezetés meder alatti sajtolással A nagy vízmennyiség és átmérő miatt nem alakítható ki egyetlen csőből történő leágazással.

Parti akna készítése fűt cölöpös oldalhatárolással [redacted]	[redacted]	millió Ft
[redacted] vb. Cső sajtolása ([redacted] hosszán) [redacted]	[redacted]	millió Ft
[redacted] vb. Cső sajtolása ([redacted] hosszán) [redacted]	[redacted]	millió Ft
[redacted] vb. Cső sajtolása ([redacted] hosszán) [redacted]	[redacted]	millió Ft
Fogadóakna, kitorkolló-fej [redacted]	[redacted]	millió Ft
Összesen	[redacted]	millió Ft

11. táblázat: VKKT bevezetés (3)

[redacted]
[redacted]
[redacted] A három táblázat közel lineáris változást mutat, aminek az egyszerű magyarázata az, hogy a költségeket [redacted]
[redacted] További alternatívákat a 6. fejezet tartalmaz.

8.1 MELLÉKLET: A THNH ÜZEMELÉSI KÖLTSÉGE (2 X 1200 MW)

1. Az értékelés módszere

A hűtőtornyos megoldás értékelési módszere három, egymásra épülő lépésből áll:

- (i) A főhűtőrendszer energia felhasználását és a meteorológia jellemzőitől függő hatásfokeszkkenésből keletkező, elmaradó energiatermelést az elmúlt 15 év⁵⁴ (1996-2010) szimulált működési eredményeivel jellemezzük.
- (ii) Korrelációs kapcsolatokat határozzunk meg ezen évek jellemző léghőmérsékletei (éves, továbbá évszakos középhőmérsékletek) és a szimulációs eredmények között.
- (iii) A regionális klímaváltozási modell (PRUDENCE, 4. fejezet) által előrejelzett éves illetve évszakos középhőmérséklet változásait behelyettesítve a regressziós egyenletekbe, megkapjuk a jövőben várható üzemi jellemzők becsült értékeit.

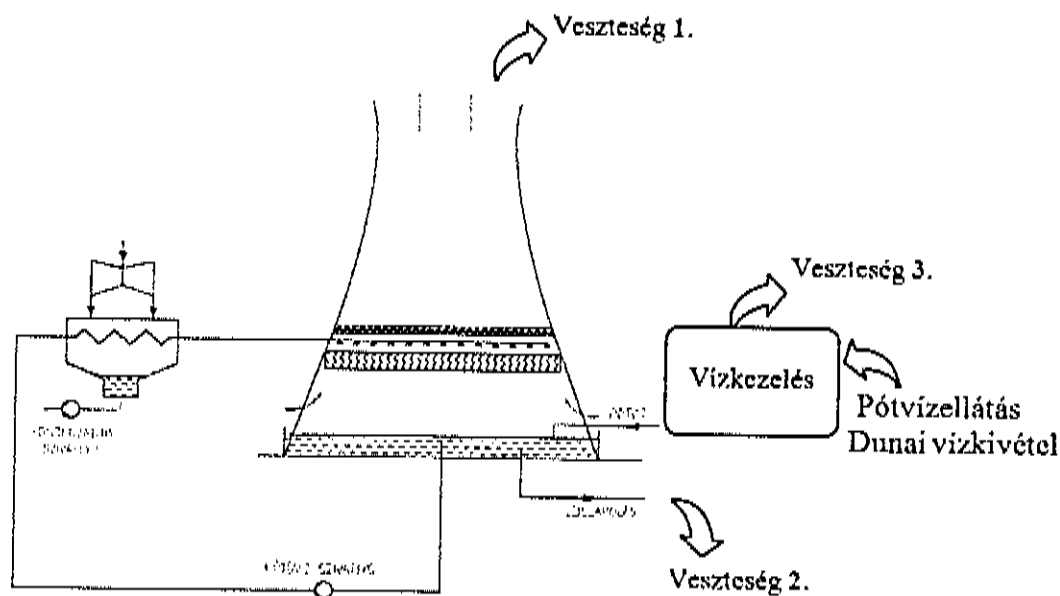
A továbbiakban a számítások a főhűtőrendszerre vonatkoznak, a segédhűtőrendszer fogyasztási adatait a Tanulmányból vettük át.

2. Költség- és veszteségforrások

2.1 A főhűtőkör és a pótvízellátás szivattyúinak önfogyasztása

A [REDACTED] természetes huzatú, nedves hűtőtorny (1. ábra) önfogyasztást meghatározó paraméterei a következők: keringetett hűtővízáram, emelési magasság és a beépítendő szivattyúk összhatásfoka (szivattyútelepi hatásfok), valamint a dunai vízállások (pótvíz).

⁵⁴ Megfigyelések Paks térségére 15, 21, 37 és 61 évre álltak rendelkezésre, attól függően, hogy légköri vagy hidrológiai adatokról van-e szó és azokon belül milyen jellemzőkről. Az adatsorok közül mindig a célnak legjobban megfelelőt választottuk. Így adódnak például 15 vagy 21 évre vonatkozó elemzések. Az egyes észlelési időszakok a következők: (i) 15 éves (1996 – 2010); (ii) 21 éves (1990 – 2010); (iii) 37 éves (1974 – 2010);, 61 éves (1950 – 2010).



1. ábra: A [redacted] természetes huzatú, nedves hűtőtorony elrendezése

2.1.1 Recirkulációs szivattyúk

Feltételezve, hogy az éves [redacted] rendelkezésre állás során a szivattyúk azonos hűtővízáramot forgatnak, a recirkulációs szivattyúk önfogyasztására a meteorológiai paramétereknek nincs hatása. A pótvízellátásra szolgáló dunai átemelők azonban a Duna mindenkor vízállásától függő energiafelhasználással jellemezhetők.

A hűtővízáram egy blokkra $136\,274\text{ m}^3/\text{h}$, az erőműre $272\,548\text{ m}^3/\text{h}$, ami [redacted] szivattyú között egyenlő arányban oszlik meg. A szivattyúk (természetesen nagyobb) szállító kapacitása $45\,425\text{ m}^3/\text{h}$, [redacted] mellett. A szivattyúk vízszállítását a Tanulmányban megadott hűtővízáram alapján vettük fel.

A Tanulmány a kondenzátor szivattyúkra nem ad meg hatásfokgörbét. Tekintettel az állandó hűtővízáramra és a közel állandó emelési magasságra, valamint a nagyteljesítményű gépek általában jobb hatásfokára, átlagos összh hatásfoknak a minimálisan elvárható [redacted] vettük fel. Egy szivattyú motorjába bevezetendő effektív teljesítmény:

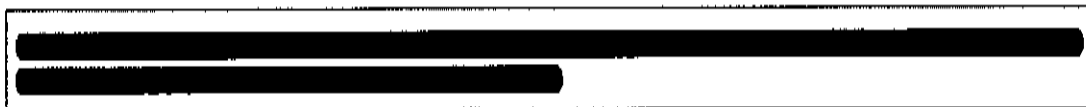
$$P(\text{kW}) = (Q \cdot H \cdot \rho \cdot g) / 1000 \cdot \eta.$$

Itt Q (m^3/s), H (m), ρ (kg/m^3), g (m/s^2), η (-), azaz

$$P = [redacted]$$

Ez [redacted] évi energiafogyasztást jelent [redacted] azaz

$$E_R = [redacted]$$



2.1.2 Pótvíz szivattyúk

A pótvíz szivattyúk energiafelhasználásának számításához ugyancsak hiányzik a hatásfokgörbe, vagy kagylódiagram.

Figyelembe vettük, hogy a pótvíz szivattyúk nagyságrenddel kisebb szállítóképességűek és nem ismert, hogy terveznek-e előperdület vagy fordulatszám szabályozást.

A frissvízhűtésnél a dunai szivattyúk a paksi vízállásra optimalizáltak. Ezt itt is elfogadtuk, és a vízállástól függő hatásfokváltozást az alábbi, a MÉLYÉPTERV által grafikusán megadott (Dok. Szám: 6335-D204, Generáltervezői azonosító: 000000A00200EGA) jelleggörbék kagylódiagramjából előállított lineáris egyenletekkel vettük figyelembe:

$$\eta =$$

illetve

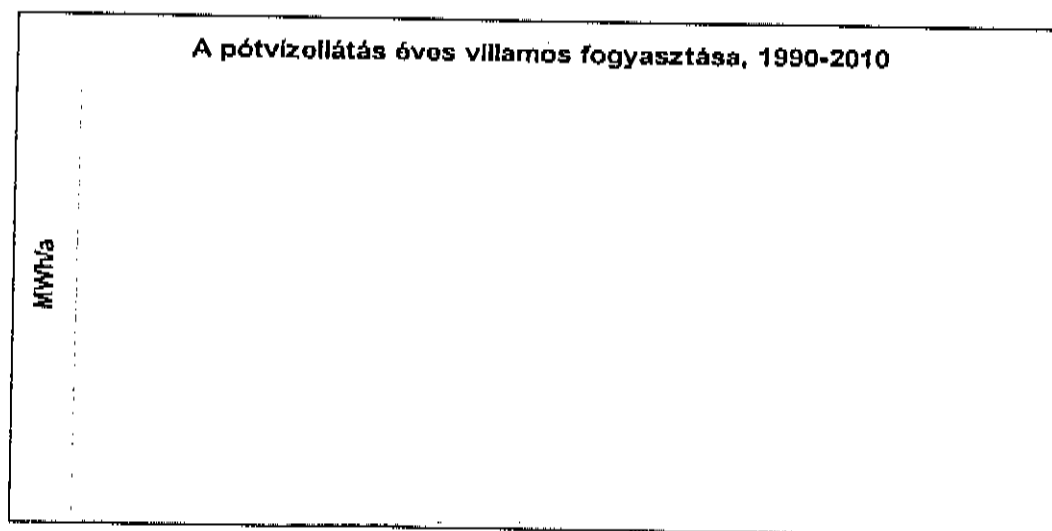
$$\eta =$$

Az egyenletekből következik, hogy a legnagyobb hatékonyságnál összhatásfokkal működnek.

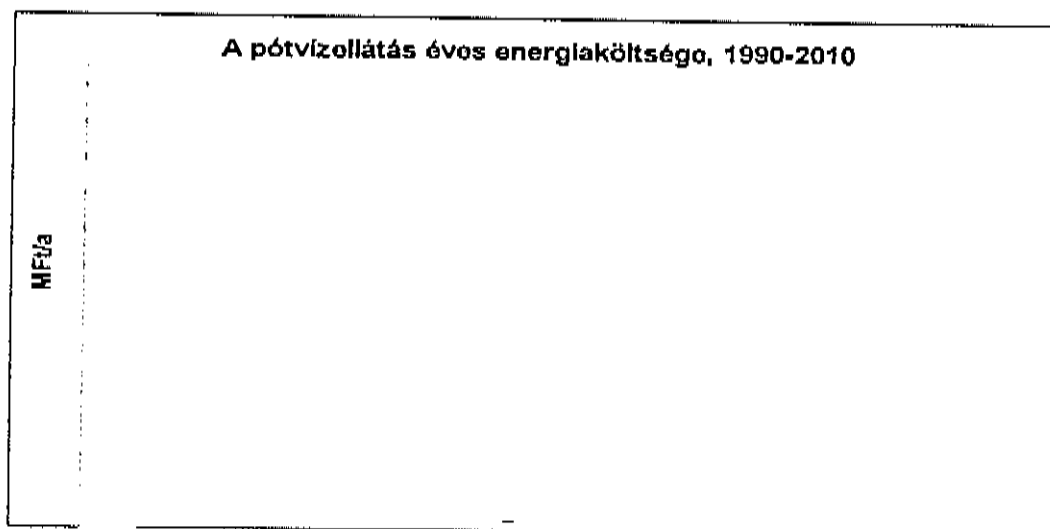
A vonatkozó műszaki tervek hiányában a pótvízszivattyúk szükséges emelőmagassága nem található a Tanulmány hűtőtornyos változatában.



A fogyasztás és költség változásának érzékenységet a dunai vízállásokra a 2. és 3. ábrák mutatják.



2. ábra: A pótvízszivattyúk önfogyasztása a dunai éves átlagvízszint függvényében



3. ábra: A pótvízszivattyúk energiafelhasználása a dunai éves átlagvízszint függvényében

2.2 Vízhasználat

A folyamatos üzemnél pótlendő vízmennyiséget a recirkulációs rendszer vízvesztései és a vízkezelés veszteségei képezik. További költségátétel a kivett és visszavezetett, tehát nem veszteségként jelentkező vízmennyiség is. A vízhasználatához köthető költségek a vízkészlehasználati járulékokkal számíthatók. A pótvíz mennyisége fedezi a hűtési rendszer veszteségeit, kivéve a vízkezelésnél keletkező és elszállított iszap víztartalmát (1. ábra, Veszteség 3.).

Amint az a Tanulmányból idézett mennyiségekből (2. lábjegyzet) látható a pótvíz kivétel és a veszteségek között nem állítható fel anyagmérleg, mivel az adatok ellentmondásosak.

A leiszapolás (Veszteség 2.) a Tanulmány szerint a Dunába visszavezethető, vagy közsatornába bevezethető.

A várható szennyezők közé tartozik a maradék biocid és a szervesanyag tartalom. Mindkét említett potenciális befogadónál az elsőszámú probléma a biocid. A maradék biocidtartalom még a közsatornában sem fogadható, mert tönkreteheti a biológiát a szennyvíztisztító telepen. Ugyan a Tanulmány szerint a recirkuláltatott vizet olyan biociddal fogják kezelni, amely lebomlik, a kérdés azonban az, hogy mennyi idő kell a lebomláshoz. Már most - a döntéselőkészítés szintjén - részletes vizsgálatokat tartunk szükségesnek a költségek feltárására, majd a hatósági engedély megszerzéséhez.

Összességében a leiszapolási víz minősége nem ismert, a kezelés nélküli Dunába vezethetősége előzetes hatósági állásfoglalást igényel. Ennek hiányában nem visszavezethetőnek tekintjük és vízhasználati költségeit is ekként számoljuk, de adathiány miatt nem vesszük figyelembe a kezelésének/elhelyezésének vagy tisztításának költségeit.

Esetünkben az ellentmondásos adatok nem zavarják a vízkészlehasználati költségek meghatározását, mivel megítélésünk szerint, ellentétben a Tanulmány megállapításával a leiszapolás nem kerülhet a Dunába vissza.

⁵⁵ Tanulmány 1. kötet szerint:

Vízkezelés vesztesége	Pótvíz		Párolgási veszteség		Cseppelragadás		Leiszapolás		Oldal

A fentiek tükrében a vízhasználat költsége a teljes pótvízmennyiségre vonatkoztatva:



2.3 A vízkezelésből származó iszap

[Redacted text]

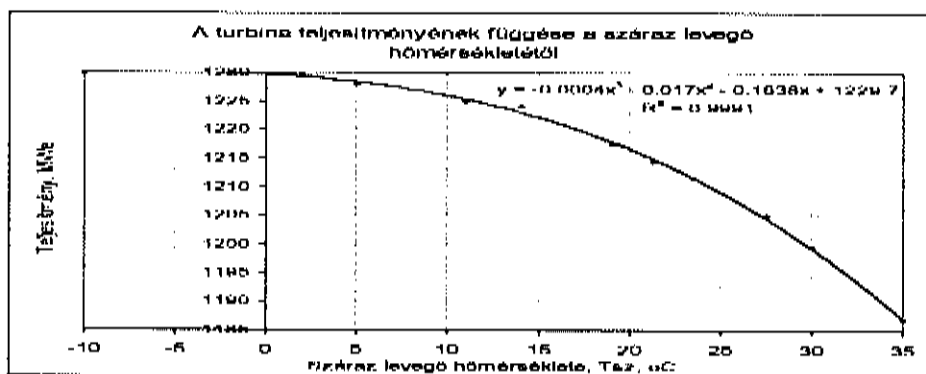
[Redacted text]

Ennek helyessége a lerakóhely ismeretének hiányában (van-e meglévő és az milyen távolságban, ha nincs hol létesíthető és ekkor még beruházási költség is jelentkezik) ebben a kidolgozottási fázisban nem ellenőrizhető. Részletes vizsgálatok szükségesek.



2.4 Termelés kiesés

Az OMSZ paksi meteorológiai állomásának az 1996 - 2010 évek óránkénti száraz léghőmérséklet és relatív páratartalom adatai, valamint a Tanulmányban megadott, egy turbinára vonatkozó hatásfok - száraz levegőhőmérséklet kapcsolat (4. ábra) felhasználásával kiszámítottuk, hogy a fenti 15 évben hogyan alakult volna egy bloknál a névlegeshez képest a termelt villamos energia. A termelés kiesési számítás elvégeztük az időszak órai és napi középhőmérsékleteire készített tartóssággörbék és a turbina jeleggörbéje segítségével is (lásd 8.2 Melléklet, 3.3 A turbina megválasztásának jelentősége)



4. ábra: A turbina teljesítményének változása a száraz levegő hőmérsékletének függvényében

A 4. ábrán látható, hogy a turbina által leadott teljesítmény érzékeny a kondenzátorbeli hőmérsékletre. A hűtőrendszer hidraulikai vizsgálata azt mutatta, hogy a torony alatti medencetérnek elhanyagolható a kiegyenlítő hatása, amiből következik, hogy a hűtővíz hőmérséklete néhány perces késéssel követi a léghőmérséklet (valójában természetesen a nedves levegő) hőmérsékletének változását. Mivel a teljesítményváltozás a száraz levegő hőmérsékletére vonatkozik, a mindenkorai teljesítményt ennek függvényében számítottuk.

A Tanulmányban a napi középértékekkel számolt veszteséget tüntették fel. A hőmérséklet-emelkedésnek/csökkenésnek az energiatermelésre gyakorolt hatása azonban nem szimmetrikus.

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

0.000

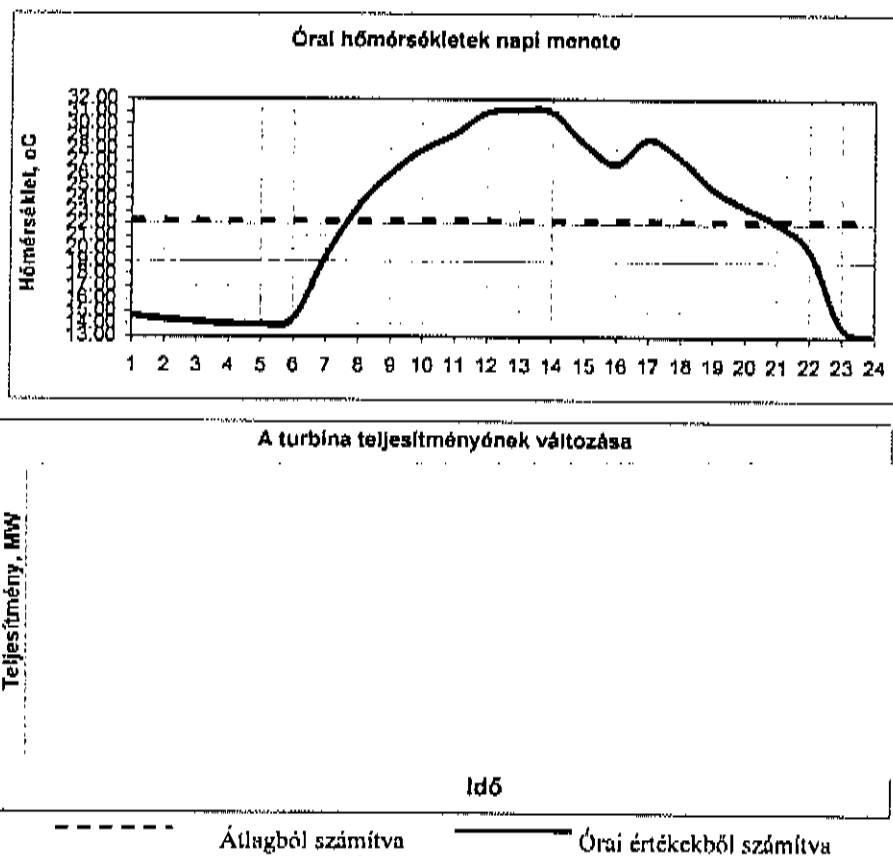
0.000

0.000

Például egy nap folyamán az éjszakai hidegebb levegőhöz tartozó jobb hatásfok nem kompenzálja a nappali melegben kieső veszteségeket.

Ezt láthatjuk a 5. ábrán, ahol egy nyári nap óránkénti hőmérsékletéhez, majd a napi átlaghőmérsékletéhez is meghatároztuk a teljesítményeket.

Az 1. táblázatban a napi középhőmérsékletekkel, a 2. táblázatban pedig az órai hőmérséklet adatokból számolt éves kieső energiameennyiségeket mutatjuk be.

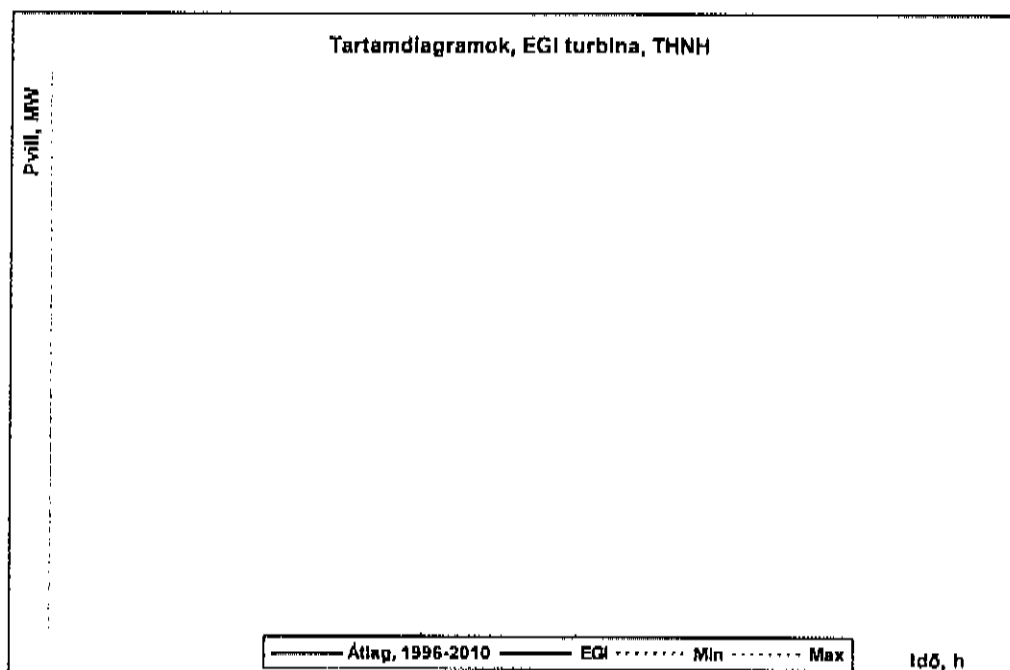


5. ábra: A turbína teljesítményének változása egy nap folyamán

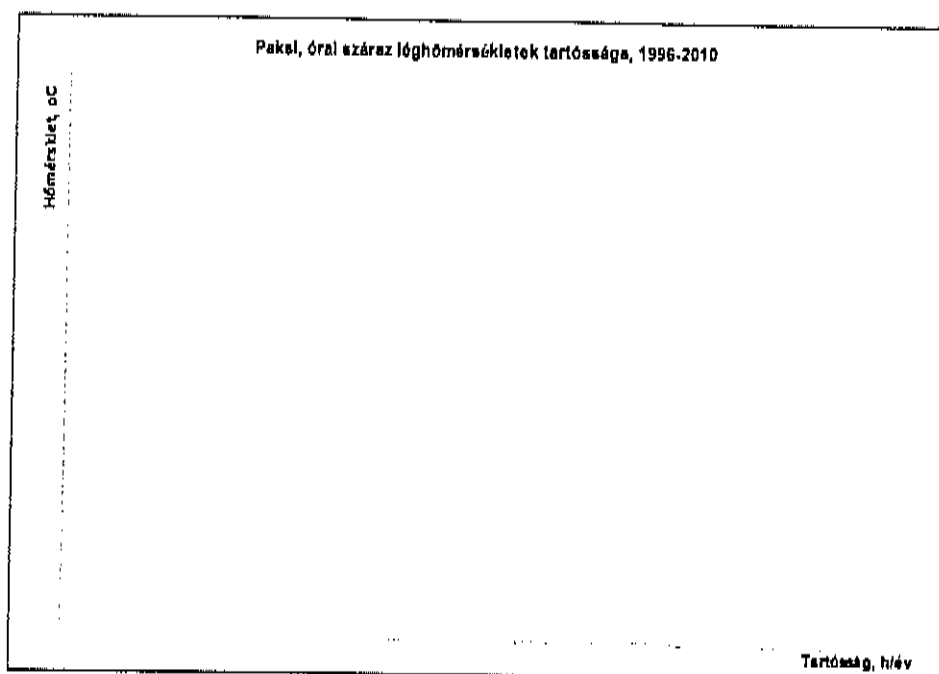
Év	Évi átlag hatásfok, %	Kieső termelés, GWh
1996		
1997		
1998		
1999		
2000		
2001		
2002		
2003		
2004		
2005		

Az eltérő sorrend a végeredményben különbséget okoz. Ha a turbina jelleggörbe lineáris lenne, az eredmények megegyeznének. A Tanulmányban közölt tartamgörbe ezzel a második módszerrel készült. A 6. ábrán ezt a piros vonal mutatja, ami csaknem azonos az első módszer szerint számított tartomány alsó burkológörbéjével. Megjegyezzük, hogy az általunk vizsgált időszak némileg eltér a Tanulmányétól: előbbi 1996-2010, utóbbi 1988-2006 éveket fogja át. Ennek ellenére az így számolt tartamgörbe elhanyagolható különbséggel megegyezik a Tanulmányéval (a 6. ábra piros vonalával).

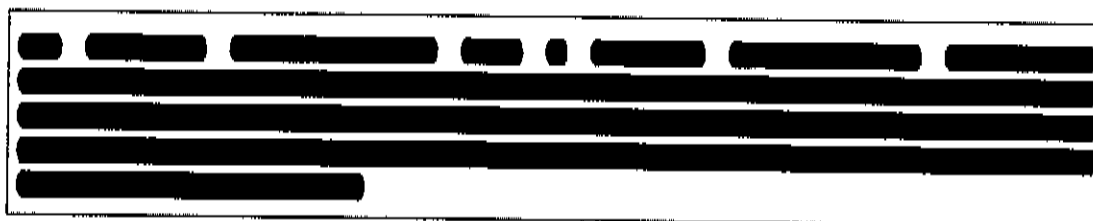
[REDACTED]



6. ábra: Eltérő módszerekkel számított tartamgörbék



7. ábra: A paksi, órai száraz léghőmérsékletek tartóssági görbéje



Számítottuk az átlagos veszteségek évszakonkénti alakulását.

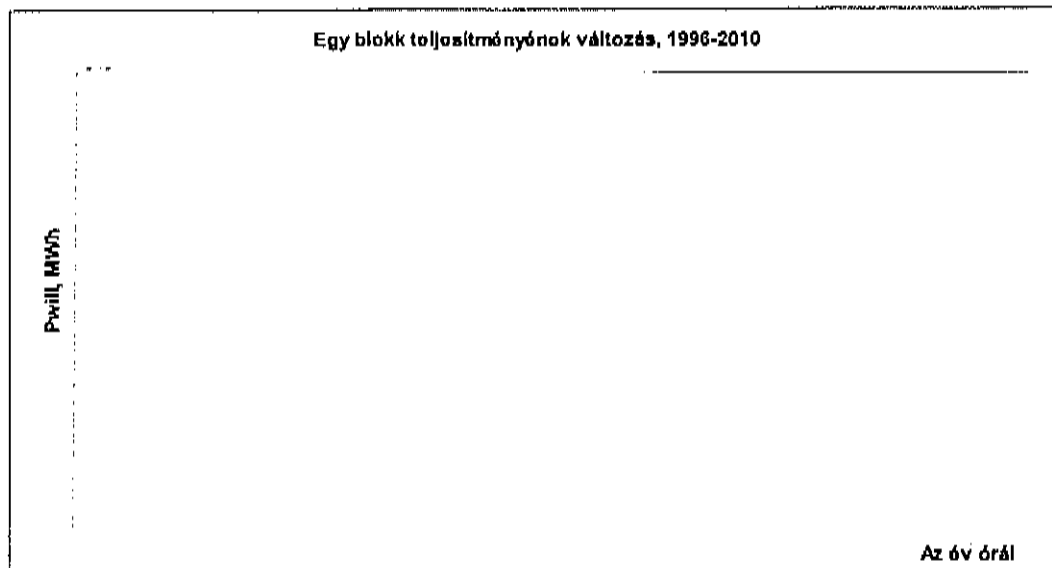
Évszak	Tél	Tavaszi	Nyár	Ősz
Veszteség az éves érték százalékában				
Min.				
Max.				
Átlag				

3. táblázat: A veszteségek évszakonkénti megoszlása a teljes éves érték százalékában, 1996-2010

Az elemzésből három következtetés vonható le:

- (i)
- (ii)
- (iii)

A 8. ábrán a 15 év óránkénti teljesítményeit tüntettük fel, ami ugyancsak a nyári melegebb időszakbeli kieső energia és az egyes évek hőmérsékleti viszonyainak jelentőségét mutatja.



8. ábra; Az óránkénti energiatermelés alakulása az egyes évek során (1996-2010)
/a piros terület a 15 év óránkénti átlagait ábrázolja/

Az erőmű termelési mutatóit nem érinti, de az országos hálózat és az értékesítés szempontjából valószínűleg kedvezőtlen, hogy az energiatermelés visszaesése éppen a nagyobb fogyasztású nappali órákban illetve a nyári időszakban jelentkezik.

3. Trendvizsgálat

A hűtőtornyos rendszer tehát érzékeny a hőmérsékleti viszonyok alakulására. A veszteség idősoros ábrázolása a vizsgált legutolsó 15 évben, éves átlagban és évszakonként is növekvő trendet mutat (9. – 10. ábrák). Az ábrákon feltüntetettük a változások átlagos mértékét is. Amint az várható, a trendet a nyári hónapok erős növekedése határozza meg.

Az elvégzett vizsgálatok szerint évente a kieső energia mennyisége az alábbiak szerint növekedett volna, ha az adott időszakban a hűtőtornyos erőmű üzemel: [REDACTED] Az értékek egy blokkra, a [REDACTED]-os rendelkezésreállítás nélkül értendők.

Bár határozott trend láthat, tekintettel a csekély korrelációs tényezőkre, a változások mértéke óvatosan kezelendők és azok értelemszerűen nem terjeszthetők ki a jövőre.



9. ábra: Az éves kieső energia mennyiség változása az értékel periodusban (órás hőmérséklettel számítva)



10. ábra: A nyári hónapokban kieső energia mennyiségének változása az értékel periodusban (órás hőmérséklettel számítva)

4. Érzékenységvizsgálat: kieső energia és léghőmérséklet

Elfogadható korrelációs tényezők mellett egyértelmű kapcsolatokat találtunk az órai léghőmérsékletekkel számított, kieső energia-mennyiség és az átlaghőmérsékletek között (11. - 12. ábrák). Az eredményeket az éghajlatváltozás hatásának megítélésére fogjuk felhasználni (8.3 melléklet).

Éves energiavesztés az éves középhőmérséklet függvényében, 1996-2010

11. ábra: Az évi középhőmérséklet és az éves energiavesztés kapcsolata

Vesztések a nyári hónapokban a nyári középhőmérsékletok

**12. ábra: A nyári középhőmérséklet és a nyári időszakbeli
(június - augusztus) energiavesztés kapcsolata**

5. Összefoglalás: üzemelési költségek az elmúlt évtizedek környezeti és szabályozási feltételei között

A természetes huzatú nedves hűtőtornyos rendszer üzemelési költségeit a bemutatott, eredmények, valamint a Tanulmányból átvett adatok felhasználásával a 8.3 táblázatban foglaljuk össze és a megfelelő fejezetben értékeljük.

8.2 MELLÉKLET: AZ FVR ÜZEMELÉSI KÖLTSÉGE

1. Az értékelés módszere

Az értékelés a nedves hűtőtornyos változatéhoz hasonlóan történt: a módszertani alapot az alábbi három fő lépés képezte:

- (i) A Tanulmányban közölt tervezési adatok (erőmű teljesítmény, elvonandó hő, a szivattyúk és azok beépítésének, valamint a kapcsolódó egyéb létesítmények és berendezések műszaki és költség adatai) felhasználásával modelleztük a hűtőrendszer működését 21 év (1990 - 2010) napi, paksi dunai vízállás és hőmérsékleti adatsoraira, mint üzemelési feltételekre, és számítottuk a keletkező üzemköltségeket.
- (ii) Meghatároztuk az idősorok statisztikai jellemzőit és a trendeket. Ezeket kapcsolatba hoztuk az üzemköltségek alakulásával.
- (iii) A Duna vízállásának és hőmérsékletének (a statisztikai jellemzőknek) a klímaváltozásból becsülhető módosulása lehetőséget nyújtott a hűtőrendszer jövőben várható üzemköltségeinek becslésére és később, ezek figyelembevételére az életciklus elemzésben.

2. Költség- és veszteségforrások

A főhűtőrendszer üzemelési költsége az alábbi öt tétel összegeként határozható meg:

- Az erőmű visszaterhelése miatt kieső energia ára, ami akkor jelentkezik, amikor a tervezett hűtőrendszer a mindenkori elkeveredési feltételek mellett sem képes biztosítani a Duna ellenőrzési szelvényében a víz hőmérsékletének megengedett legnagyobb értékét.
- A turbinák névleges teljesítményének csökkenése miatt kieső energia ára; ennek mértéke a mindenkori hűtővíz hőmérsékletének és a turbinák karakterisztikájának függvényében számítható.
- A kondenzátori szivattyúk önfogyasztásának költsége a szivattyúk $Q - H$ görbéjének, hatásfokának, a szükséges emelési magasságnak és a mindenkori hűtővíz hozamának alapján számítható.
- A dunai vízkiemelés szivattyúinak önfogyasztásából származó költség, a szivattyúk $Q - H$ görbéjének és hatásfokának, a Duna vízállásának változása szerinti emelési magasságnak és a kondenzátor ΔT hőlépcső, valamint a (elvonandó hő mennyiségétől függő) kiemelendő vízhozamok alapján számítható.
- Vízkészlethasználati díj, ami a kivett Duna-víz éves mennyiségének és a vízdíjnak a szorzatából számítható.

3. A költségek becslése üzemszimuláció alapján (jelenlegi környezetszabályozás)

3.1 Adatok és jellemzők

A számításokhoz az alábbi adatokat, környezeti szabályozási értékeket és üzemeltetési jellemzőket vettük figyelembe:

- i) A duna 21 éves (1990 - 2010) paksi vízállás és hőmérséklet idősorai, valamint a bajai 37 éves víz hőmérséklet és hozam idősor,
- ii) A jelenleg érvényes környezetvédelmi szabályozás (lásd máshol is):

„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 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-t”.
- iii) A Tanulmányban szereplő tervezési és üzemeltetési jellemzők:
 - kétlépcsős szivattyúzás,
 - az egyes lépcsőknél megadott emelési magasság: a 6335-D204 sz. rajz szerint az energiavonal átemelő utáni kezdő érték [REDACTED] és az alvíz mindenkori szintje közötti különbségével,
 - a szivattyúkhöz kapcsolt hidraulikai rendszer $Q - h_v$ jelleg-görbéje (veszteség-görbéje),
 - a kondenzátori szivattyúk $Q - H$ görbéje (hatásfokot a Tanulmány nem adott meg, az ilyen méretű átemelőknél elfogadható [REDACTED] értéket, mint a beépített átemelőre vonatkozó összhatófok értéket vettük figyelembe),
 - a kondenzátori szivattyúk darabszáma,
 - a dunai szivattyúk $Q-H$ görbéje és kagylódiagramja (a dunai vízállástól és szivattyúzott hozamtól függő, változó hatásfokokkal számoltunk, azzal a feltételezéssel, hogy a legjobb hatásfok érték a kagylódiagramon [REDACTED] és a diagram egyes görbéi között a hatásfok csökkenése [REDACTED]),
 - a dunai szivattyúk darabszáma,
 - a kondenzátorokban betartandó hőlépcső: 8 vagy 11 °C, de a 4°C-nál hidegebb Duna víz esetén 14°C,
 - a kondenzátorokra menő hűtővíz minimális hőmérséklete 10 °C, amikor ezt a felmelegedett hűtővíz recirkuláltatásával az ii)/a környezeti szabályozás betartása mellett meg lehetett tenni,
 - a hűtéssel elvonandó hő mennyisége (ami állandó, kivéve, ha a környezetvédelmi korlátok miatt a reaktorokat vissza kell terhelni),
 - a visszaterhelés mindenkori mértéke (arányos a hűtővíz hőmérsékletének csökkentésével),
 - 2*1200 MW névleges teljesítményű turbina,
 - a Tanulmány nem közöl frissvízhűtésre optimalizált turbina karakterisztika görbét, ezért azt az MIT tanulmányból vettük át,
 - [REDACTED]-os éves rendelkezésre állás.
- iv) Fajlagos költségadatok:
 - a villamosenergia ára: [REDACTED]
 - vízkészlet-használati díj: [REDACTED]

3.2 A hűtőrendszer üzemelésének szimulációs modellje, a veszteségek meghatározásának módszere (1990–2010): 2 x 1200 MW

Annak érdekében, hogy vizsgálni lehessen a frissvízhűtéses megoldás önfogyasztásból és vízhasználatból származó üzemköltségét, összeállítottuk a rendszer hidraulikáját és hőtranszportját egyszerűsített módon leíró számítógépes modellt. Ezután meghatároztuk a jelentkező energia- és vízfogyasztásokat, valamint az ezekből számítható költségeket, az elmúlt évek valós dunai vízállás és hőmérséklet értékei esetére, napi bontásban.

A számítások a napi dunai vízállás és vízhőmérséklet, valamint a megadott környezeti és üzemeltetési szabályozás figyelembevételével történtek. Utóbbiakat a következők jelentik: (i) az elvonandó hő mennyisége, (ii) a kondenzátorbeli hőfoklépcső ($\Delta T = 11$ °C), (iii) a természetes Duna víz felmelegíthetőségének mértéke (ΔT_D , 11, illetve 14 °C, lásd környezetvédelmi szabályozás korábban), és (iv) a kondenzátorra menő hűtővíz minimális hőmérséklete ($T_{Hmin} = 10$ °C). Kiemeljük, hogy valamennyi üzemeltetési paraméter egyidejű biztosítása nem minden dunai vízhőmérséklet mellett lehetséges.

A paraméterek felsorolási sorrendje egyben prioritási sorrend is. Ha $T_{Duna} < T_{Hmin}$, a felmelegedett hűtővizet (T_m) recirkuláltattuk a T_{Hmin} eléréséhez szükséges arányban. Mindazon alacsony dunai vízhőmérsékletnél azonban amelyeknél $(T_{Hmin} + \Delta T) - T_{Duna} > \Delta T_D$, a recirkulációt akkor is leállítottuk, ha $T_{Duna} < T_{Hmin}$ volt (például, ha $T_{Duna} = 8$ °C, és recirkulációval a hűtővizet 10 °C-ra melegítjük, a kimenő felmelegedett hűtővíz hőmérséklete, $T_m = 21$ °C, a hőmérséklet növekmény, 13 °C, nagyobb a megengedett $\Delta T_D = 11$ °C-nál.) A szimulációs sémát az 1. ábra mutatja be, az alkalmazott jelölések az 1. táblázatban találhatók.

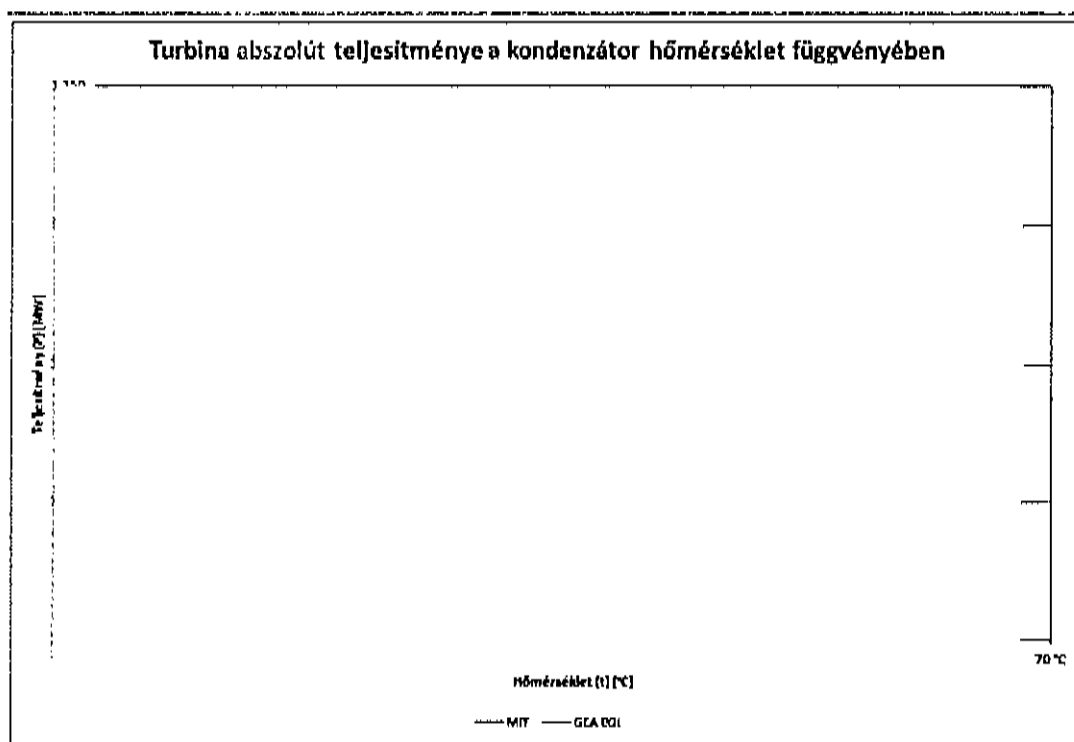
Paraméter	A paraméter jelentése
T_D	A duna vízének hőmérséklete a paksi szelvényben, (°C); napi adatok
H_D	A Duna vízállás a paksi vízmérca szerint, (cm); A vízmérca „0” szintje: 85,38 mBft.
T_m	A felmelegedett hűtővíz hőmérséklete, (°C)
ΔT	Hőfoklépcső a kondenzátorokban, (°C)
Q_r	Recirkulációs hányad (-): a recirkuláltatott meleg hűtővíz aránya a hűtővízben
T_H	A kondenzátorokra menő hűtővíz hőmérséklete, (°C)
D_{rel}	A turbinák hatásfokának romlása miatt kieső energia mennyisége, (MWh)
$D_{relár}$	A hatásfok-romlás miatt kieső energia éves ára, (milliárd Ft)
Q_h	A kondenzátorokra menő hűtővíz hozama, (m ³ /s)
Q_{rm}	A recirkuláltatott meleg hűtővíz hozama, (m ³ /s)
Q_D	A Dunából kiemelt vízhozam, (m ³ /s)
K_D	A vízkészlethasználat éves költsége, (milliárd Ft)
Q_{kond}	A kondenzátori szivattyú vízszállítása, (m ³ /s)
H_{kond}	A kondenzátori szivattyú emelőmagassága, (m)
η_k	A kondenzátori szivattyú hatásfoka, (-)
Q_{dun}	A dunai szivattyú vízszállítása, (m ³ /s)
H_{dun}	A dunai szivattyú emelőmagassága, (m)
η_D	A dunai szivattyú hatásfoka, (-)
P_k	A kondenzátori átemelés éves energiafogyasztása, (MWh)
K_k	A kondenzátori átemelés éves energiaköltsége, (milliárd Ft)
P_D	A dunai átemelés éves energiafogyasztása, (MWh)
K_D	A dunai átemelés éves energiaköltsége, (milliárd Ft)
P_v	A visszatérhelésből származó éves termelésekiesés, (MWh)
K_v	A visszatérhelésből származó éves bevétel kiesés, (milliárd Ft)

1. táblázat: Az energiafogyasztás és a költségek számításánál alkalmazott paraméterek jelentése

3.3 A turbina megválasztásának jelentősége

A Tanulmány nem ad meg a tornyos hűtéstől eltérő, frissvízhűtésre optimalizált turbina jellemzőket. A megfelelő turbina megválasztásának jelentőségét az értékelésnél az MIT hivatkozott tanulmányában szereplő turbina karakterisztika görbéjének figyelembevételével értékeltük a hűtőrendszer szimulációjánál.

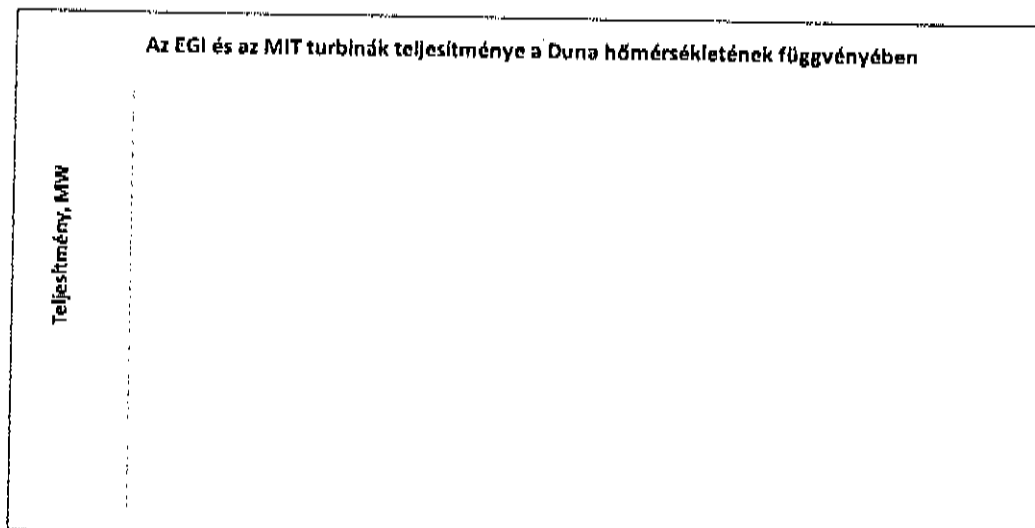
Az 2. ábrán ennek és a tornyos hűtéshez betervezett turbinának a jelleggörbéit mutatjuk be, feltüntetve a két turbina üzemelési tartományát is..



2. ábra: Az EGI és MIT turbinák teljesítménye a kondenzátor hőmérséklet függvényében

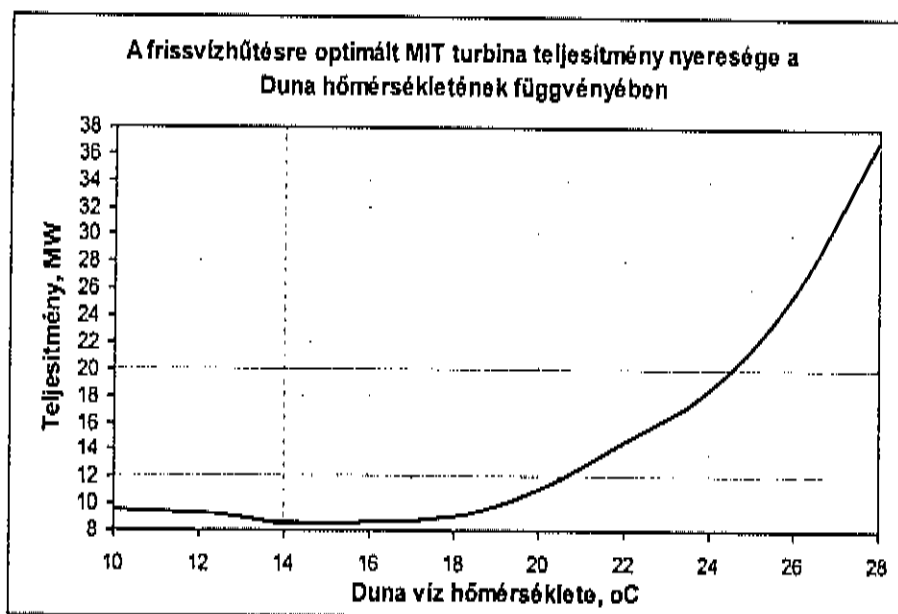
A GEA turbina frissvízhűtésre történő alkalmazásának teljesítmény veszteségeihez előállítottuk a turbina teljesítmény görbét a Duna hőmérsékletének függvényében. A görbét az MIT turbináéval együttesen a 3. ábrán mutatjuk be. Ezek ismeretében a frissvízhűtésnél bemutatott szimuláció mind a EGI, mind pedig az MIT turbina esetére elvégezhető, és értékelhető a két eltérő turbina alkalmazásából keletkező energiatermelési veszteség érzékenysége. A 2. és 3. ábrákon látható, hogy a két turbina érzékenysége a Duna vizének hőmérsékletére annak csak a magasabb értékeinél tér el.

Ha a klímaváltozás, egyebek mellett a Duna vizének tartósan magasabb hőmérsékleteivel is jár, az EGI turbinával való áramtermelés növekvő mértékű (a hatásfok csökkenéséből származó) teljesítmény kiesést eredményez. Másképpen fogalmazva, érzékenyebben reagál a klímaváltozás várható változásaira, mint egy frissvíz hűtésre tervezett turbina. A 4. ábra az MIT turbina teljesítmény-nyereségét mutatja.



t Duna	°C	10	12	14	15	18	20	22	24	26	28
Delta t	°C	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
T _{ki}	°C	21	23	25	26	29	31	33	35	37	39
hőfokrás	°C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
t csanak	°C	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
P vill MIT	MW	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
P vill EGI	MW	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

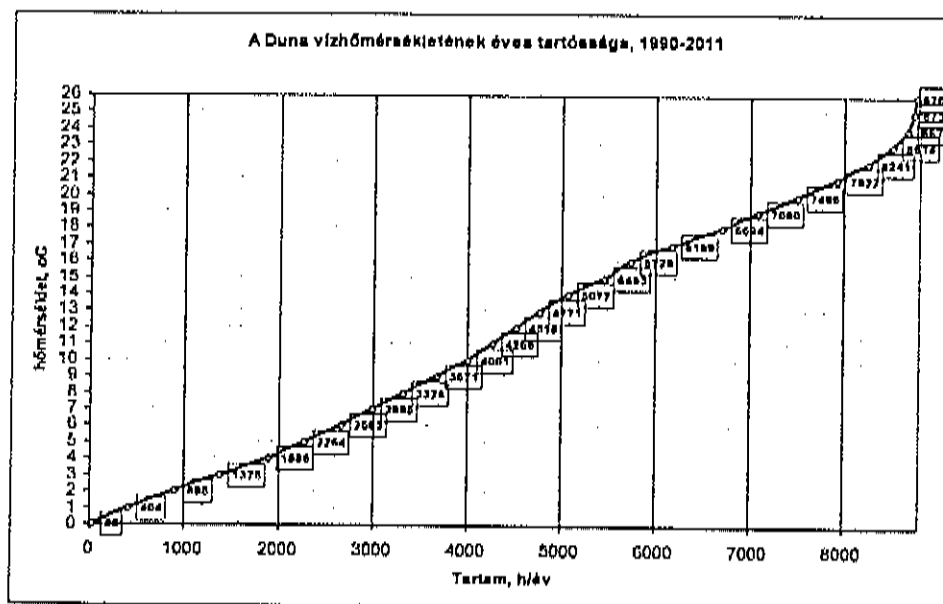
3. ábra: Az MIT és az EGI turbinák karakterisztika görbéi



4. ábra: Teljesítmény-nyereség a Duna hőmérsékletének függvényében

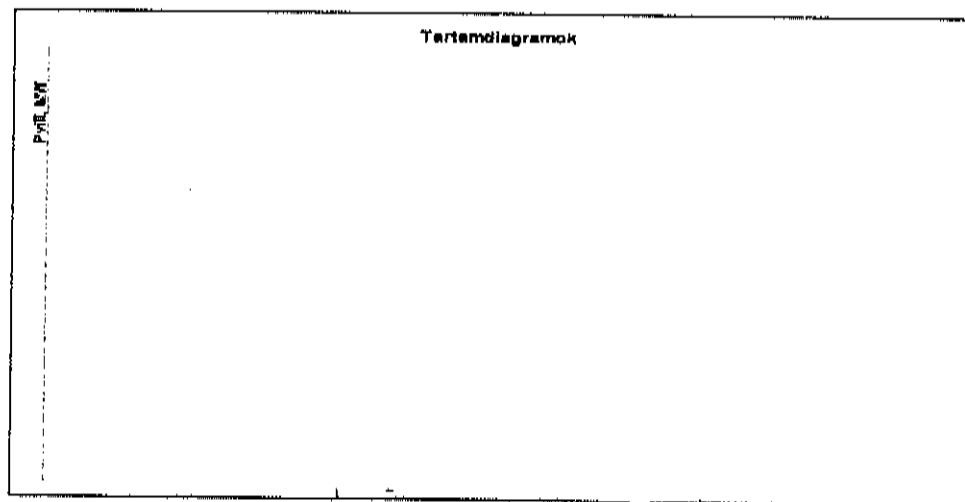
A két turbina energiatermelésének elemzését az 1990-2010 évek dunai napi vízhőmérsékleteivel

elvégzett szimulációja mellett elvégeztük a tartamgörbe alapján is. Az 5. ábrán a Duna hőmérsékleteinek tartóssági (tartam) görbéje látható a fenti időszakra.



5. ábra: A Duna víz hőmérsékletének tartóssági görbéje

A turbinák teljesítmény görbéivel (3.3 pont 3. ábra) előállítottuk az energiatermelés tartamdiagramjait, amit a 6. ábra mutat. Az összehasonlíthatóság érdekében feltüntettük az EGI turbina hűtőtornyos üzemben kapott tartamgörbét is.



6. ábra: Az EGI turbina tartamdiagramja THNH és FVR, valamint az MIT turbina tartamdiagramja FVR üzemelés mellett

A termelésesökkenés és az ebből keletkező bevételkiesés összegző számait a frissvízhűtéses üzemben a 2. táblázat foglalja össze.

	EGI FVR		MIT FVR	
	GWh/év	milliárd Ft	GWh/év	milliárd Ft
2 blokk névleges termelése				
2 blokk névleges termelése -os				

	EGI FVR		MIT FVR	
	GWh/év	milliárd Ft	GWh/év	milliárd Ft
rendelkezéscsökkentés mellett				
2 blokk energiatermelése -os rendelkezéscsökkentés mellett				
Energiavesztés				
Bevétel csökkenés				

2. táblázat: Termelésleskés és bevételecsökkenés

Összefoglalásként megállapítható, -vesztése csekély mértékben haladja meg - ha frissvízhűtésnél alkalmazzuk. Az éves megtermelhető energiakülönbség - döntően a frissvízhűtésre optimalizált turbina nagyobb névleges teljesítményből adódik.

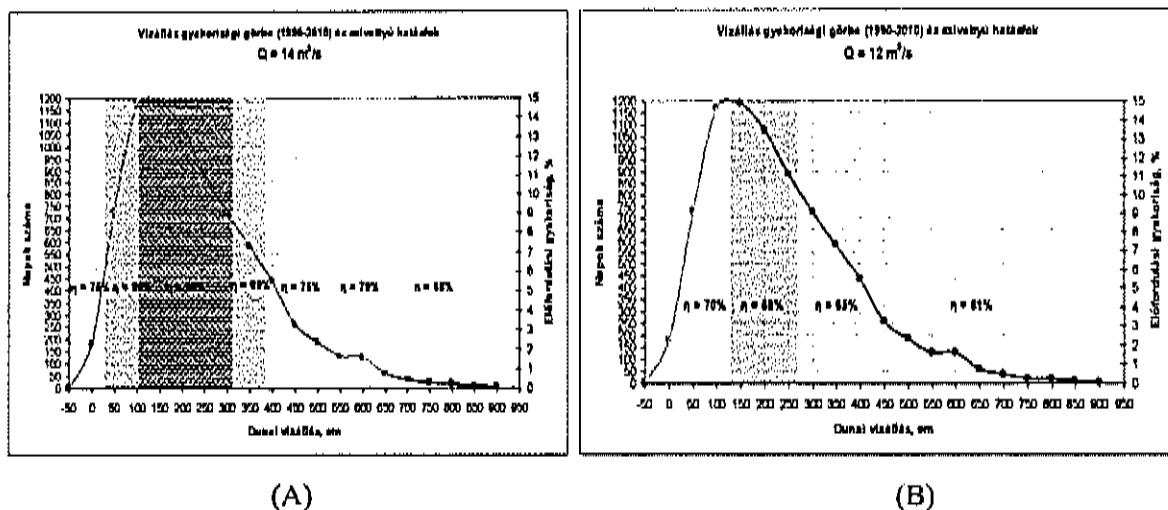
3.4 A dunai szivattyúzás megválasztásának jelentősége

Ugyancsak figyelembe vettük a dunai átemelő szivattyúk hatásfokának változását a mindenkori emelőmagasság (dunai vízállás) függvényében. A hatásfokváltozást a Tanulmány 6335-D204 sz. rajzi mellékletében található üzemi jellemzőket tartalmazó ábra alapján készítettük el (8. ábra). A kondenzátori szivattyúkhöz nem találtunk hatásfokgörbét. Ezeket a számításokban - állandó összhatásfokkal vettük figyelembe.



8. ábra: A tanulmányban alkalmazott dunai átemelő szivattyúk hatásfokának változása a Duna vízállásának függvényében

A dunai vízkivételhez beépítendő - árfogatáram elérésére alkalmas. A Tanulmány a $96 \text{ m}^3/\text{s}$ maximális hűtővízigény biztosításához az alsó szállítási értéket veszi figyelembe, ami két szempontból is kedvezőtlen választás. Egyrészt ennél a szállítási értéknél, szemben - (9. ábra) a dunai vízállások valamennyi tartományában. Másrészt a kisebb vízállásoknál a hatásfok javulása a nagyobbakéhoz képest csekély és nem kompenzálja az emelőmagassággal növekvő energia felvételt. Ennek eredményeképpen a dunai átemelés ünfogyasztása érzékenyebbé válik a medermélyülés miatt növekvő tartósságú kisvizek kialakulására.



9. ábra: A paksi vízállások gyakorisági görbéje (1990-2010) és az egyes vízállás-tartományokhoz tartozó átemelési hatásokok $14 \text{ m}^3/\text{s}$ (A), illetve $12 \text{ m}^3/\text{s}$ (B) átemelt térfogatáramok esetén

Megállapítható, hogy a szivattyúk kiválasztása helyes volt, [REDACTED]. Azokat célszerű a nagyobb értékre választani. Ez azzal jár, hogy például a recirkuláció nélküli, $96 \text{ m}^3/\text{s}$ hűtővízigényt [REDACTED] folyamatos és egy szivattyú időszakos üzemeltetése elégíti ki. A többlet és a hiányzó szivattyúzott mennyiségek kiegyenlítése a hidegvízcsatornabeli tározódással lehetséges.

Az energiafogyasztási és költségnövekedési következményeket, a frissvízhűtésre optimalizált turbina esetében a 3. és a 4. táblázatokban mutatjuk be [REDACTED].

Az összehasonlító 2. és 3. táblázatokban az utóbbi működéshez tartozó értékeket vettük figyelembe.

Számított év	1. Recirk. vízmennyiség 10 ⁶ m ³ /a	2. Dunai vízhasználat 10 ⁶ m ³ /a	3. Kond. szivattyúk fogyasztás GWh/a	4. Dunai szivattyúk fogyasztás GWh/a	5. Kiegészítő term. hatásfokrumlás miatt GWh/a	2. költség 10 ⁶ Ft/a	3. költség 10 ⁶ Ft/a	4. költség 10 ⁶ Ft/a	5. költség 10 ⁶ Ft/a	Összes költség 10 ⁶ Ft/a	Dunai sziv. átlagos hatásfoka
1990											
1991											
1992											
1993											
1994											
1995											
1996											
1997											
1998											
1999											
2000											
2001											
2002											
2003											
2004											
2005											
2006											
2007											
2008											
2009											
2010											
Átlag											
Az összes költség (segédhűtés nélkül) százaléka											

3. táblázat: A vízhasználat és a szivattyúzás ünfogyasztása és összegzett költségei, (a dunai átemelő szivattyúk szállítása:)

Szimulált év	1.	2.	3.	4.	5.	2.	3.	4.	5.	Dunai sziv. átlagos hatásfoka
	Recirk. vízmennyiség 10 ⁶ m ³ /a	Dunai vízhasználat 10 ⁶ m ³ /a	Könd. szivattyúk fogyasztás GWh/a	Dunai szivattyúk fogyasztás GWh/a	Kieső term. hatásfokromlás miatt GWh/a	költség 10 ³ Ft/a	költség 10 ³ Ft/a	költség 10 ³ Ft/a	költség 10 ³ Ft/a	
1990										
1991										
1992										
1993										
1994										
1995										
1996										
1997										
1998										
1999										
2000										
2001										
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
2010										
Átlag										
Az összes költség (segédhűtés nélkül) százaléka										
Összes költség 10 ³ Ft/a										

4. táblázat: A vízhasználat és a szivattyúzás önfogyasztása és összegzett költségei (a dunai átemelő szivattyúk szállítása)

A 5. táblázatban összehasonlítjuk 21 év (1990-2010) szimulációs eredményei közül azokat az üzemelési adatokat, amik a turbina kiválasztásához kapcsolódnak: a hatásfokcsökkenésből keletkező teljesítmény veszteségeket, valamint ezek hatását az összes éves és az időszak átlagára vonatkozó üzemelési költségek alakulására.

Az évenkénti kimutatásból azonban a jövőben várható veszteségek mértékére is következtethetünk. A klímaváltozással foglalkozó 8.3 mellékletben bemutattuk, hogy a 21 évből a 2.5 °C-os nyári középhőmérséklet növekedést a két szélsőségesen meleg év, 2003. és 2007. jól reprezentálja.

Év	Turbina típus					
	FVR					
	EGI	MIT	EGI	MIT	EGI	MIT
	Kieső termelés hatásfokromlás miatt		Kieső termelés költsége hatásfokromlás miatt		Összes költség	
	GWh/a		10 ⁹ Ft/a		10 ⁹ Ft/a	
1990						
1991						
1992						
1993						
1994						
1995						
1996						
1997						
1998						
1999						
2000						
2001						
2002						
2003						
2004						
2005						
2006						
2007						
2008						
2009						
2010						
21 év átlaga						

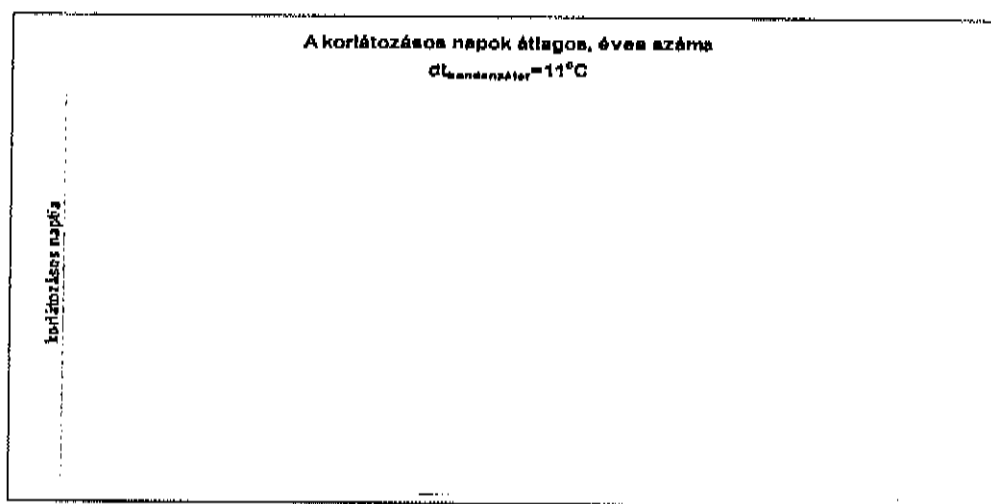
5. táblázat: A hőmérséklettől függő veszteségek és költségek alakulása a 21 szimulált év során

3.5 Eredmények: a költségek alakulása

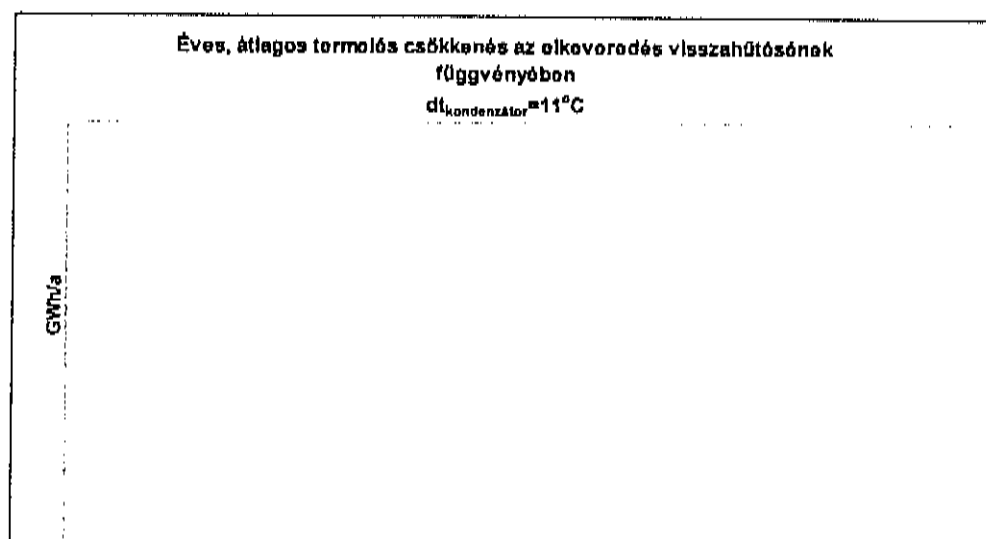
Az öt tétel költségeit a 8.4 táblázat tartalmazza.

3.6 Az elkeveredés visszahűtésének hatása az üzemköltségre

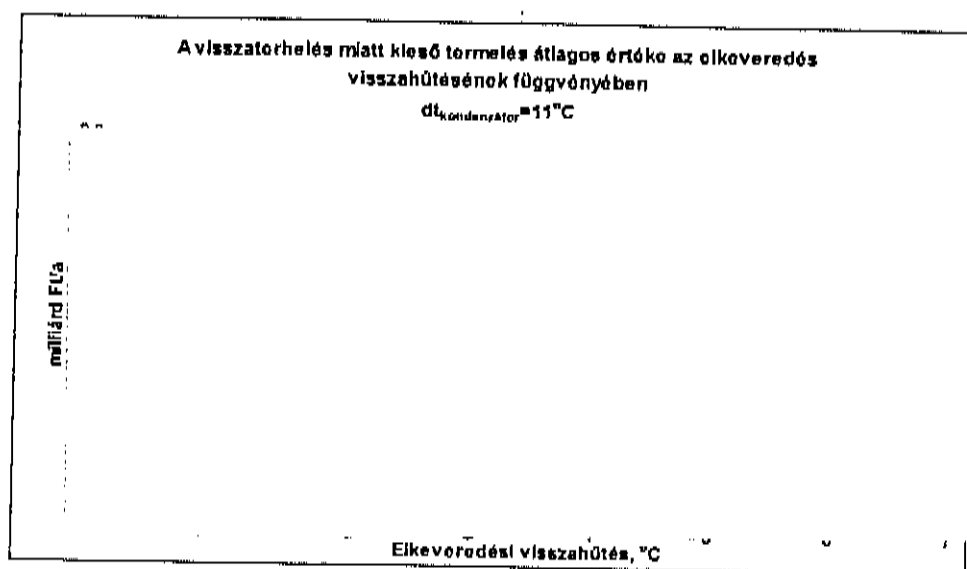
A 21 év napi üzemelésének szimulációja során számítottuk a felmelegedett hűtővíz hőmérsékleteket is, és megvizsgáltuk, hogy a bevezetés alatt 500 m-re lévő ellenőrzési szelvényig az egyes lehűlési értékek mellett hogyan alakul a visszaterheléses napok száma és a szükséges visszaterhelés mértéke. Az eredményeket a 10. – 13. ábrákon mutatjuk be.



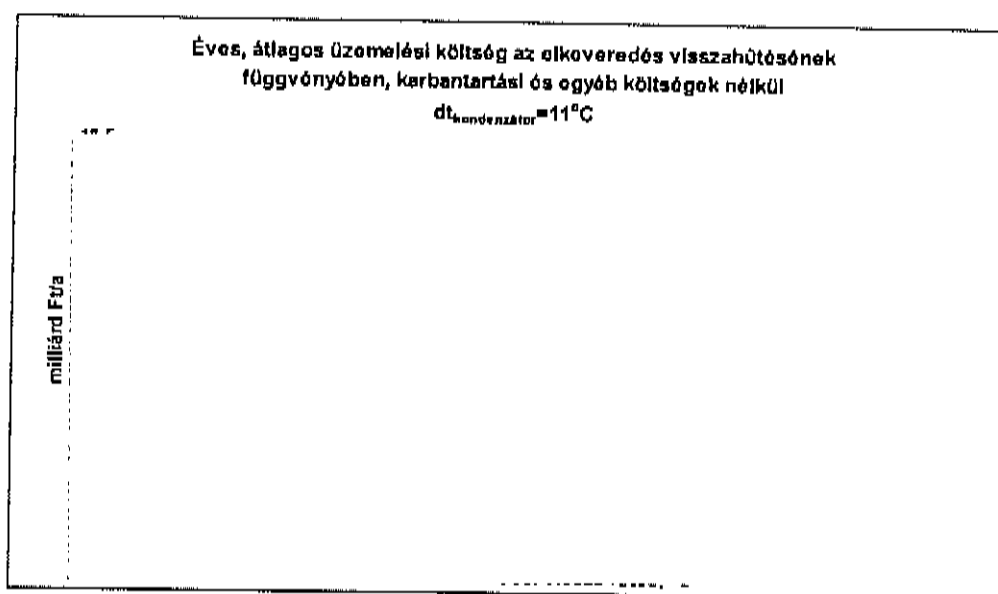
10. ábra: A visszaterheléses napok számának alakulása az elkeveredési visszahűlés függvényében a vizsgált 21 év során



11. ábra: Az éves átlagos termelés csökkenés alakulása az elkeveredési visszahűlés függvényében a vizsgált 21 év során



12. ábra: Az éves átlagos termelésesökkenés költségének alakulása az elkeveredési visszahűlés függvényében a vizsgált 21 év során



13. ábra: Az éves átlagos üzemelési költség alakulása az elkeveredési visszahűlés függvényében a vizsgált 21 év során

A nulla elkeveredési visszahűlés felel meg annak az esetnek, amelynél a környezeti szabályozás a mederbe bevezetett víz hőmérsékletére írja elő a legfeljebb 30°C -ot. A visszatérhetőségek mértéke arányos a hőmérsékleti határérték túllépésének mértékével.

Az ábrák alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy amennyiben sikerül olyan műszaki megoldást találni (lásd 7. fejezet), amely mellett az elkeveredési visszahűlés eléri a 6°C -t, a jelenlegi környezeti szabályozás mellett a megengedett hőmérsékleti határérték túllépése miatt nem kell számolni a visszatérhetőség költségével.

3.7 A költségek összegzése

A 8.5 táblázatban összegezzük a 21 év szimulációs eredményeinek átlagolásával számított energiafelhasználást és a költségeket (becsléseink jelölése: VKKT FVR), valamint a Tanulmányban közölt értékeket. A táblázat tartalmazza a beruházási költséget is (az interkaláris tényezővel felszorozva) és a teljes ÉcK költséget (a korábbi feltevésekkel számolva).

Az értékelés a főszöveg 8.5.3 fejezetében található.

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

8.3 MELLÉKLET: KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS MEDERMÉLYÜLÉS: AZ ÜZEMELTETÉS VÁRHATÓ JÖVŐBENI FELTÉTELEI

1. Bevezetés

Látuk, hogy mind a hűtőtornyos, mind pedig a frissvízhűtéses megoldásnál az energiahatékonyságra és a keletkező veszteségek mértékére hatással vannak a környezeti feltételek. Előbbi a léghőmérsékletek és a relatív páratartalmak, utóbbi pedig elsősorban a Duna vízállásának, hőmérsékletének, illetve részben vízhozamának alakulására érzékeny.

Elemzéseinkhez ezeket az információkat értelemszerűen csak a múltbeli mérések adataiból nyerhettük, miközben az erőmű a jövőben, a klíma és a meder változása miatt módosuló környezeti feltételek között fog működni. Döntési szempont ezért inkább a jövőben várható, mintsem a múltbeli feltételek lesznek mértékadók. Ez természetesen növeli a bizonytalanságot, abban megjelenik az előrejelzés bizonytalansága is.

A klímamodellek „csak” arra képesek, hogy a számunkra fontos paraméterek közül az éves és évszakos középhőmérsékletek változását jelezzék előre. Ez azonban elegendő is, mert az elmúlt 21 év szimulációjával már meghatároztuk a kétféle hűtési rendszer erre vonatkozó érzékenységet (8.1 és 8.2 függelékek). Ez a paraméter a hűtőtornyos megoldásnál elegendő is lesz a következmények becslésére. Másik megközelítési mód az előrejelzésre az analógia módszere, amit a 4 fejezet ismertet. Ennek lényege, hogy a múltbeli évek közül kiválogatjuk azokat az éveket, amik a klímaváltozás következtében várható állapotokat jellemezhetik, majd a szimulációt és az eredmények értékelését csak ezekre az évekre végezzük el.

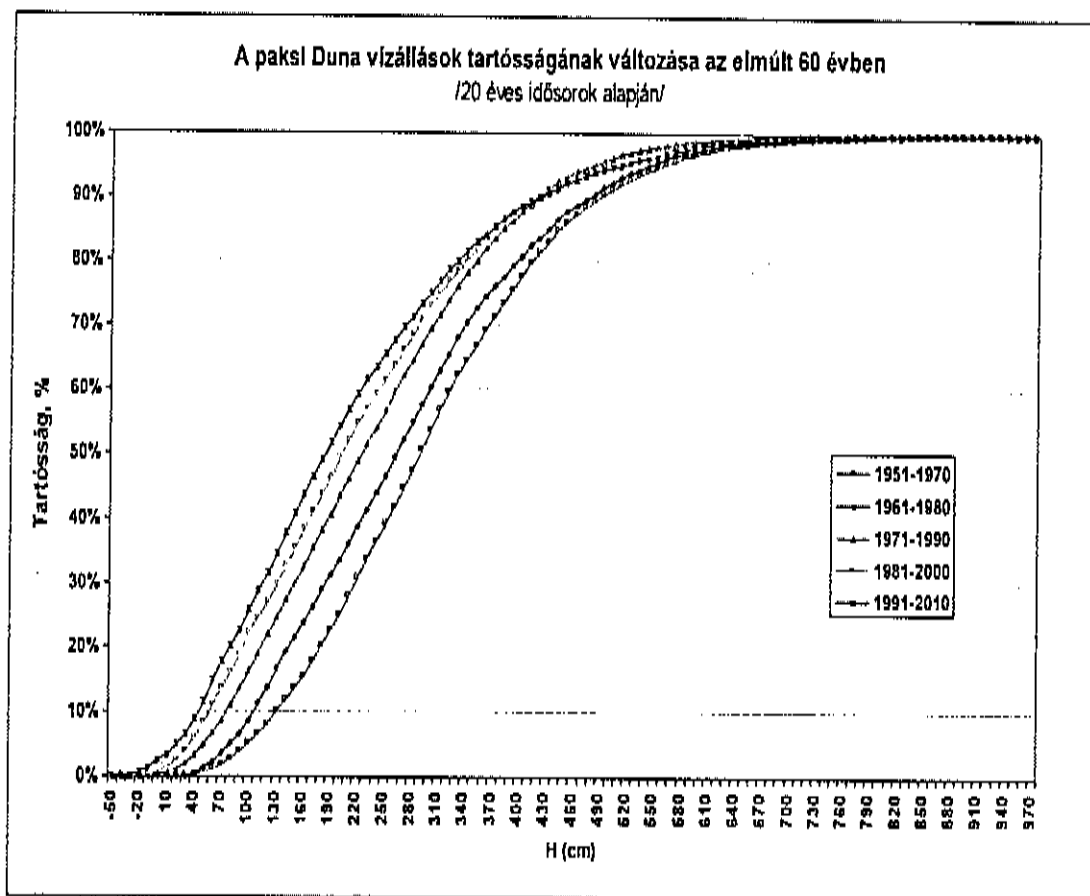
A frissvízhűtésnél azonban jelentős szerepet kap a Duna vízállásainak várható alakulása is, amire a klímamodellek nem adhatnak választ, hiszen a kiváltó okok mások. Ennek a paraméternek a várható alakulását más megközelítéssel jelezzük előre.

2. A medermélyülés várható alakulása

A medernek (nem csak) a paksi szelvényben való mélyülése ismert jelenség. A mélyülés következtében már a jelenleg üzemelő erőműnek is növekedtek a veszteségei azáltal, hogy a folyamattal együtt járt a kisvizek előfordulási gyakoriságának növekedése, ami az átemelőnél éves viszonylatban nagyobb összes emelési magasságot és a szivattyúk romló hatásfokát eredményezte.

A jelenséget valószínűleg több okra lehet visszavezetni. Ezek között szerepel a Duna felvízi szakaszán megépült (átfolyósos) vízlépcsők tározótereinek és a vízgyűjtőn bekövetkezett változások hordalék visszatartó hatása (amelyek megszüntetése nem várható, ezért a jelenség folytatódásával számolni kell).

Annak érdekében, hogy a mélyülés időbeni alakulásáról, a folyamat sebességéről információt szerezzünk, értékeltük a paksi szelvényre rendelkezésre álló 60 éves vízállás idősort. A 10 éves átfedésekkel készült 20 éves idősorokra vonatkozó vízállás tartóssági görbéket az 1. ábrán mutatjuk be.

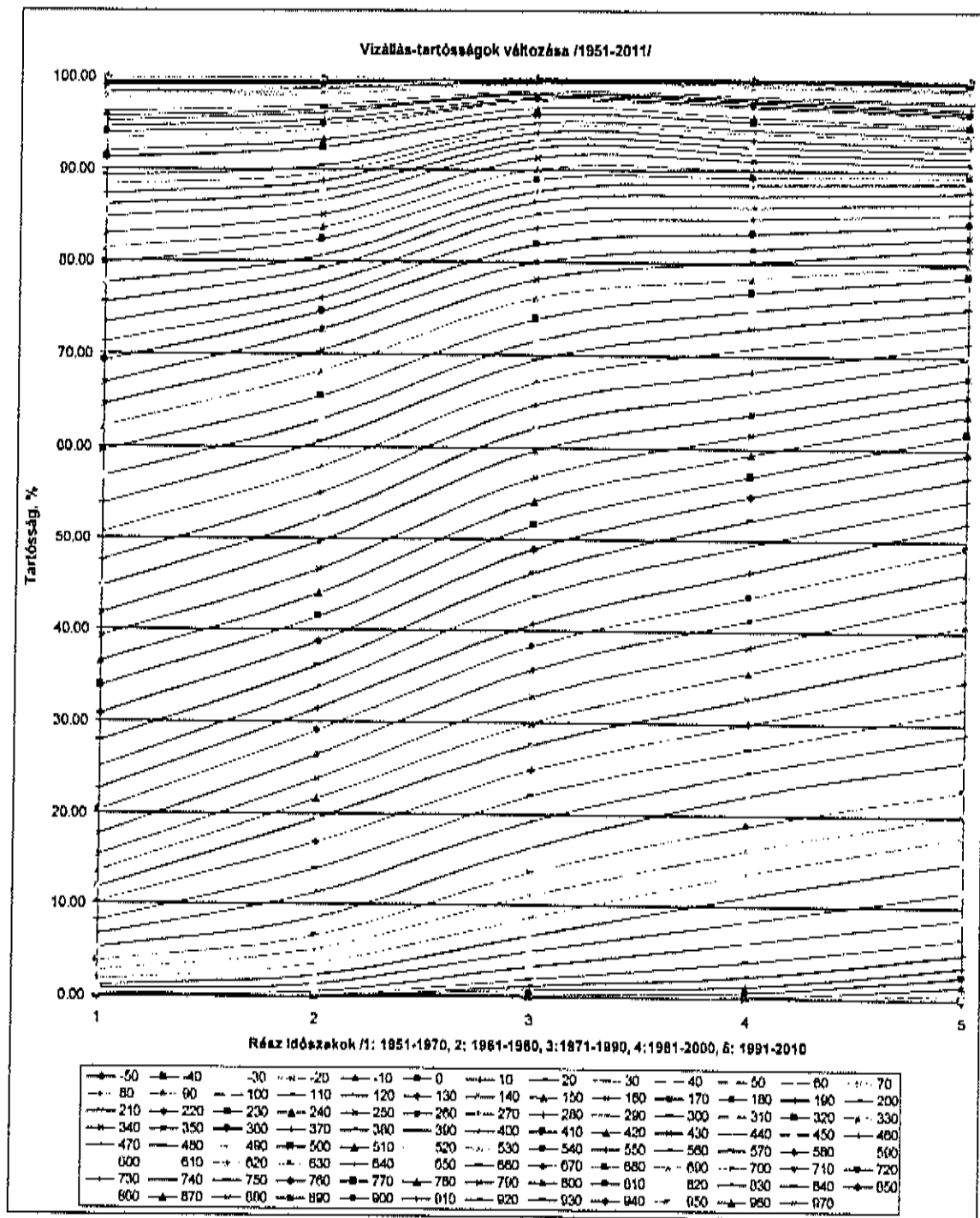


1. ábra: Egymást követő 20 éves vízállás időszakok tartóssági görbéi, 1951-2010

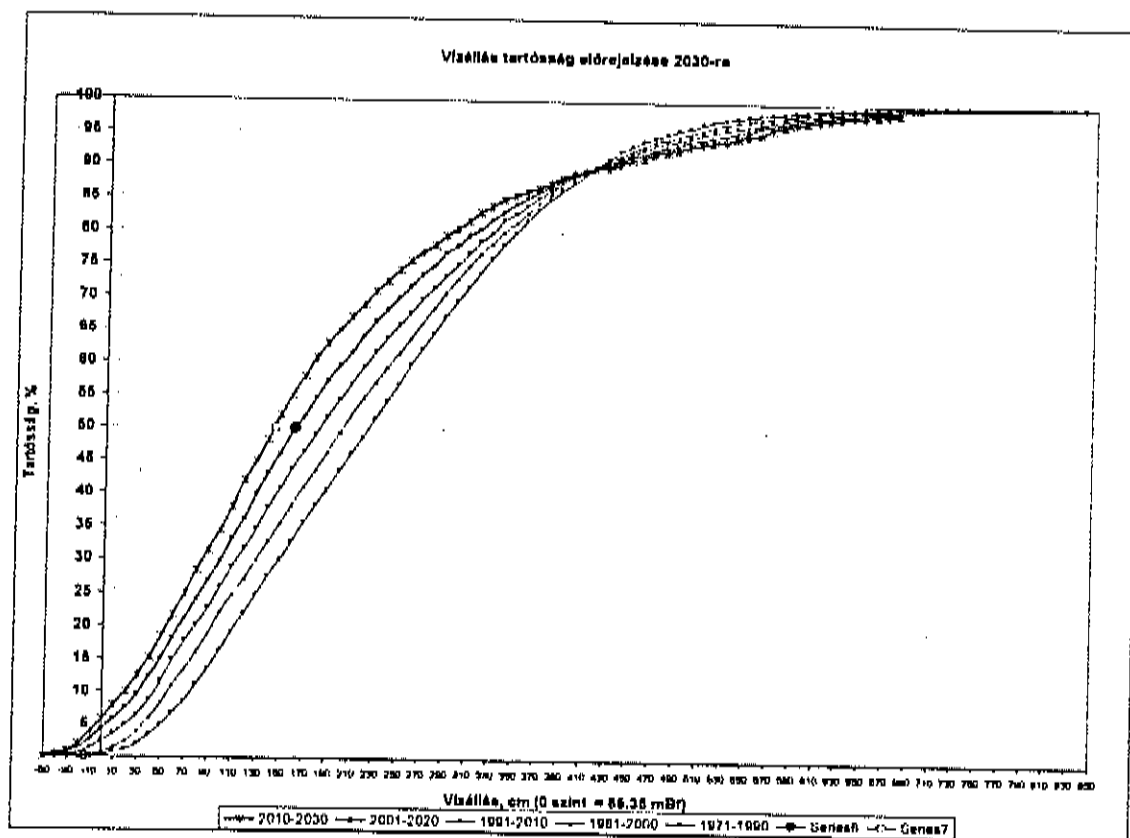
Látható, hogy az 1951-1970-es évek 50%-os tartósságú (medián) 295 cm-es paksi vízállás értéke az 1991-2010-es időszakban már csak 188 cm-es értéket ért el, 60 év alatt a medián csökkenése tehát 7 centiméterrel meghaladta az 1 métert. A csökkenés üteme nem teljesen egyenletes, átlaga 17.83 cm/10 év.

Annak érdekében, hogy az új erőmű üzembe helyezési és üzemelésének kezdeti időszakában várható állapotot becsülhessük, a tartóssági görbékből előállítottuk az egyes vízállások tartósságainak változását ugyanezen időszakokra (2. ábra). Az ábrán látszik, hogy (i) elsősorban a kis és középvizek tartóssága növekszik a nagyvizeké rovására és (ii) az utolsó két évtizedben a változás közel lineáris.

Ez a feldolgozás, a változások jellege miatt lehetőséget adott arra, hogy extrapoláljunk a jövőbe. Feltételeztük, hogy a változások jellege megegyezik az értékelte időszak utolsó 20 évében tapasztalttal, tehát lineáris (2. ábra). A két utolsó 20 éves időszak (1981-2000 és 1991-2010) vízállásonként ismert tartóssági értékeire (2. ábra X tengelyén a 4-hez és 5-höz tartozó tartósságok) illesztett egyenesek egyenleteivel az extrapolációt a két következő 20 éves időtartamra, 2030-ig elvégeztünk és ezzel két jövőbeni tartóssági görbéhez jutottunk (3. ábra).



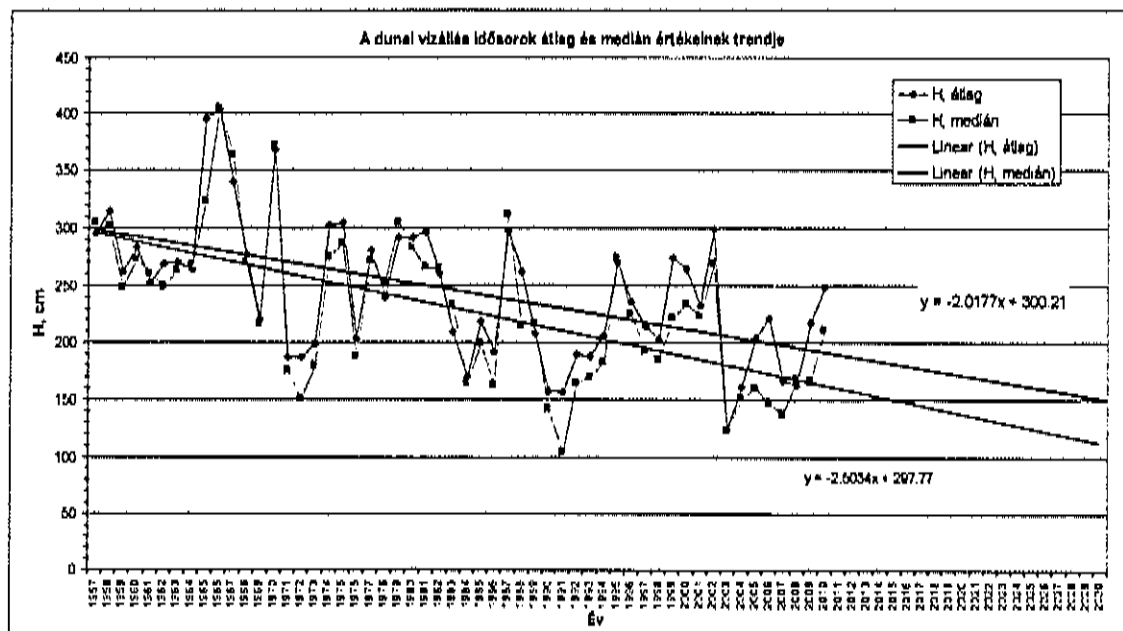
2. ábra: Az egyes vízállások tartósságának változása 1951-2010 között.



3. ábra: Egymást követő 20 éves vízállás idősorok tartóssági görbéi, 2001-2020 és 2010-2030

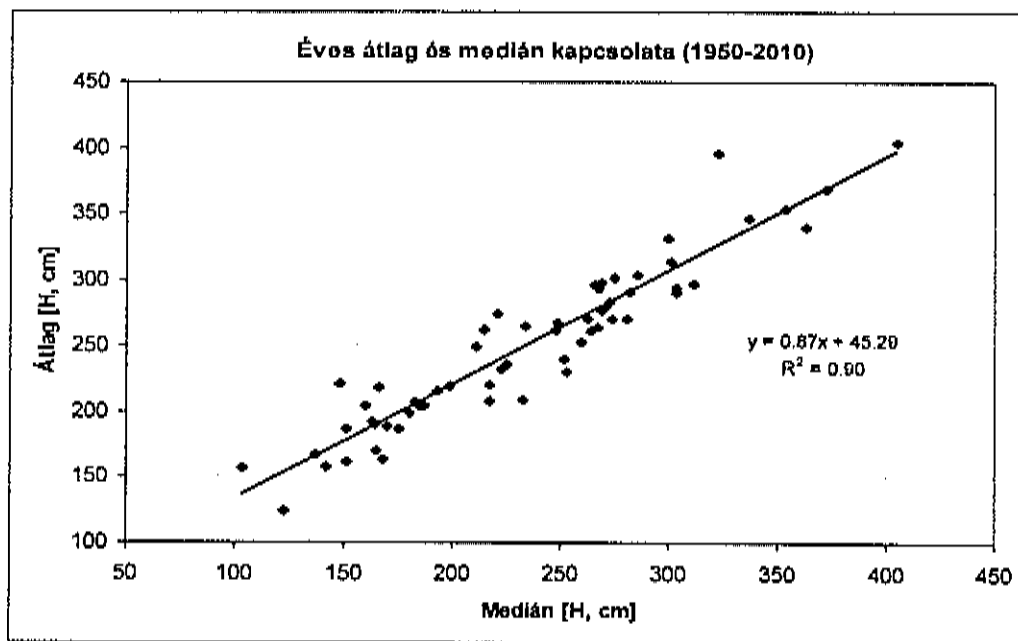
Azonban az üzemelési mutatóinkat a szimulációk során nem a medián értékekkel, hanem az átlagértékekkel hoztuk kapcsolatba, és bár nem kizárt, de nem is bizonyos, hogy ez a két paraméter megegyezik. Ezért megvizsgáltuk az adatsorok medián és átlagértékei közötti kapcsolatot. A 4. ábrán idősoros ábrázolásban láthatjuk hogyan változott e két paraméter.

Míg a múlt század '50-es éveiben csaknem egyenlők voltak, a medián meredekebb regressziós egyenese napjainkra már 40 cm-rel kisebb értéket ér el, mint az átlag. Mindez ugyancsak a kisvizek tartósságának növekedését mutatja



4. ábra: Az éves vízállás idősorok medián és átlagértékeinek alakulása a Duna paksi szelvényében, 1957-2010

A 60 év éves adatsorainak átlag és medián értékeit összevetve megnyugtatóan magas korrelációs tényező mellett jutottunk korrelációs összefüggéshez (5. ábra). Ezzel a 2030-ra előrejelzett 149 cm-es medián értékhez 175 cm-es éves átlag vízállást kapunk. Ennek várható hatását az FVR rendszer üzemelésére a jelen melléklet 3.3 fejezete elemzi.



5. ábra: Az éves vízállás idősorok medián és átlag értékeinek kapcsolata

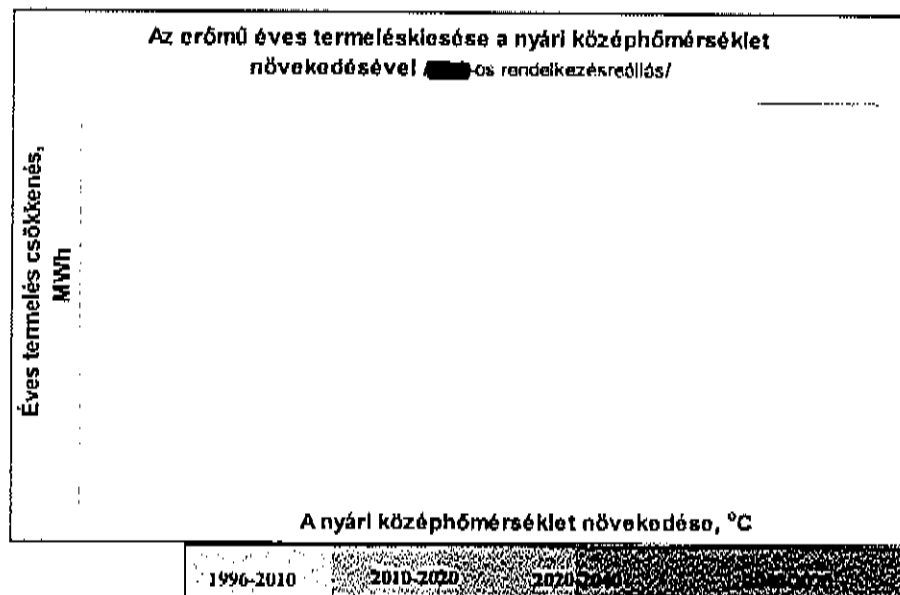
3. A klímaváltozás várható hatása a veszteségekre: THNH

A Klímaváltozás fejezetből a változás várható hatásával kapcsolatban két következtetést vonhatunk le:

- (i) a középhőmérséklet-növekedést jó becsléssel tehetjük át a tornyos erőmű jövőbeni veszteségének becslésére, és
- (ii) a nyári hónapokban jelentkező veszteségek aránya a jövőben növekedhet.

A várható veszteségek becsléséhez felhasználjuk a 4. fejezetben ismertetett éghajlati forgatókönyvek eredményeit. Eszerint a szimulációs számításoknál értékelt 21 év megfelel a bázisidőszakhoz (1961-1990) képest 0.5 °C-os, míg ebből 13 év, 1998-tól 2010-ig az 1.0 °C-os nyári középhőmérséklet-növekedés időszakának. A 2.0 °C-os középhőmérséklettel jellemezhető időszakot a 2002, 2003, 2007, 2009 és a 2010 reprezentálja, míg a 2.5 °C-os a két szélsőségesen meleg év, 2003 és 2007 évek jelzik az analógia alapján.

A tornyos hűtés költségeinek két tétele módosul a klímametéerek változásával: (i) a turbinák hatásfokának csökkenéséből származó termelésesökkenés és (ii) a pótvízszivattyúk növekvő önfogyasztása. Utóbbi nagyságrendekkel kisebb tétel, ezért meghatározó lesz a hatásfokcsökkenés következménye. Az analóg évek felhasználásával a tornyos hűtés klímaváltozásra való érzékenységet a 6. – 7. ábrákon jelenítjük meg.



6. ábra: Az éves termelésesökkenés változása a nyári hónapok középhőmérsékletének változásával



7. ábra: Az éves bevételek csökkenés módosulása a nyári hónapok középhőmérsékletének változásával
(az energia egységárának változatlanlansága mellett, 10.95 Ft/kWh)

[redacted]
[redacted]
[redacted]
[redacted]

A változást a VKKT THNH változat költségeivel hasonlítjuk össze. [redacted]
[redacted]

Ha nem az analógiára alapuló közelítést alkalmazzuk, hanem a szimulációs számítások évszakos középértékeitől való korrelációs kapcsolatot, akkor a mértékadó nyári hónapokban az 1.5 – 2 °C-os középhőmérséklet növekedéshez tartozó termelés kiesés és költség, ami a teljes éves érték 50-60%-át képviseli, hasonló eredményeket szolgáltat.

Megállapítható, hogy a tornyos hűtési rendszerrel a klímaváltozással járó felmelegedés az éves üzemelési költségek növekedésében nem szignifikáns, ha a számításokban rejlő bizonytalanságokat is figyelembe vesszük. Ugyanakkor bizonyos, hogy a termelés időbeni alakulásának kedvezőtlen jelleg (nappali és nyári időszakos hatásfokromlás) erősödni fog.

3.1 A klíma- és mederváltozás várható hatása a veszteségekre: FVR

A szimulációs vizsgálatokból láttuk (8.2 melléklet), hogy az üzemelési költségekre a hőmérséklet változásának hatása kisebb, mint a medermélyülésé. Jelentős szerepet akkor kapna, ha az elkeveredési visszahűtés nem éri el legalább a 6 °C értéket (ekkor a visszahűtés költségei jelentőssé válnak). Amint azonban már a 7. fejezetben láttuk, megfelelő bevezetési megoldással a visszahűtésnek ez az értéke elérhető, így nem kell a középhőmérséklet növekedésének hatásával számolnunk.

A medermélyülés következményeit a 8. és 9. ábrák, illetve a korrelációs kapcsolatok segítségével értékelhetjük (előbbiek a dunai szivattyúk energiafogyasztását és költségét szemléltetik a vízállás függvényében). [redacted]
[redacted]
[redacted]

A dunai szivattyúk éves energiafogyasztás a dunai vízállás függvényében,
 $\Delta t = 11^\circ\text{C}$

8. ábra: A dunai átemelő szivattyúk éves energiafelhasználásának kapcsolata a Duna paksi szelvényében mért vízállások éves átlagával

A dunai szivattyúzás költségei,
 $\Delta t = 11^\circ\text{C}$

9. ábra: A dunai átemelő szivattyúk éves energiafelhasználási költségének kapcsolata a Duna paksi szelvényében mért vízállások éves átlagával

Összefoglalóan megállapítható, hogy a két hűtési rendszer közül a természetes huzatú nedves hűtőtornyos megoldás érzékenyebb a környezeti feltételek jövőbeni változására, de mindkét esetre igaz, hogy az költségek növekedése az előrejelzési bizonytalanságból származó hibahatáron belül illetve annak közelében van.