

EÖTVÖS JÓZSEF FŐISKOLA

Műszaki és Közgazdaságtudományi Kar

Vízellátási és Környezetmérnöki Intézet

A medertározás lehetőségének vizsgálata a Ferenc-tápcsatornán

OTDK dolgozat

Készítette:

Fehér László Alex (W1KLPY)

Építőmérnök szak

Témavezetők:

Dr. Mátrai Ildikó, docens

Sziebert János, docens

Baja, 2014

Én Fehér László Alex, (Netpun azonosítóm: W1KLPY) az Eötvös József Főiskola építőmérnök szakos hallgatója büntetőjogi felelősségem teljes tudatában kijelentem, hogy a „A medertározás lehetőségének vizsgálata a Ferenc-tápcsatornán” című dolgozat a saját kutatómunkám eredménye. Az idézett szakirodalmat a szabályoknak megfelelően használtam fel, más szerzők elért eredményeit nem tüntettem fel sajátomként.



Fehér László Alex
Kelt.: Baja, 2014.05.01.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	iii
Előszó	iv
1.A tervterület ismertetése	1
2.Hidrológiai alapadatok elemzése	3
2.1.Duna – Baja vízállás adatsor trendvizsgálati eredménye.....	3
2.2.Összetett homogenitás vizsgálat.....	4
2.3.Duna – Baja vízhozam adatsor trendvizsgálati eredménye	5
2.4.Valószínűségi eloszlásvizsgálat.....	5
2.5.A Ferenc tápcsatorna vízpótlásának jelenlegi helyzete	8
2.6.A terület csapadék viszonyai	13
3.Medergeometria, domborzati jelleggörbék előállítás	17
3.1.Domborzati jelleggörbe előállítása	18
4.Párolgási veszteségek számítása	21
5.Szivárgási veszteségek számítása	30
5.1.Veszteségszámítási Módszer 1:	31
5.2.Veszteségszámítási Módszer 2	34
5.3.Szivárgási veszteségek / bevételek összegzése	41
5.4.Szivárgási veszteségek kiértékelése	47
6.Összegzés.....	49
Mellékletek	I
Ábrajegyzék.....	II
Táblázatjegyzék	III
Irodalomjegyzék	IV

Előszó

Tanulmányom témájaként a Ferenc-tápcsatorna vízpótlását sújtó nehézségek és az esetleges feloldásukra adott lehetséges válasz, a medertározás vizsgálatát választottam. Az adott téma személyesen érint, mivel Baján születtem és szabadidőmet rendszeres töltöttem a Ferenc-tápcsatorna partján, amelyre a Türr István átvágás mintegy „ajtót nyit” a Sugovica partján kíváncsiskodó járókelőknek. A főiskola vízpartra néző aulájából, rálátni az ország egyik legrégebbi műszaki történeti emlékművére a Deák Ferenc-zsilipre. Itt kezdődik a történelmi Magyarország egyetlen mesterséges csatornahálózata.

A csatornák a dunai hajózást a Pest - Szeged közötti hajóút szakaszt 223 km-rel rövidítették le, mintegy éves 350.000 tonna forgalommal, nem mellesleg 150.000 ha területet csapoltak le és tettek művelhetővé.

A Ferenc-csatorna Kiss József és Kiss Gábor mérnökök tervei alapján 1794 és 1801 között épült a Dunát és a Tiszát mindmáig egyetlen összekötő belvízelvezető - hajózó - öntöző csatorna. A délvidék részét képező Bácska jólétét és gyarapodását szolgálta sikerrel. Az első évtizedek múlásával felszínre törtek a csatorna üzemelését sújtó problémák, így a Duna vízjárásából adódó vízpótlási nehézségek és a csatorna, gyorsuló előregedéséből (feliszapolódásából) származó problémák. Ennek feloldását az egy a Dunával párhuzamos vonalvezetésű, de kisebb esést biztosító új tápcsatorna megépítésében láttak a kor szakemberei. Ezt a feladatot a Türr István tervei alapján, a kor elismert olasz, és brit mérnökei által tervezett, és az 1871-1878 között megvalósult rekonstrukció során épült új mintegy 46 km hosszú csatorna a köznyelven Ferenc-tápcsatorna (Baja – Bezdán csatorna) és az újonnan épült téglafalazatú Deák Ferenc-zsilip és a Sebesfoki-zsilip-ek látták el (Faludi 1996)

Az első világháborút lezáró békeegyezmények alapvetően rajzolták át Közép-Európa térképét, a Ferenc-csatornarendszer jelentős részben, az akkori Szerb-Horvát-Szlovén Királysághoz került. A Ferenc-tápcsatornán a hajózás megszűnt, mindössze a zsilipen történő vízbetáplálás maradt meg. A Ferenc-tápcsatorna helyzetét továbbá az is furcsává tette, hogy az alvízi vízszint szabályozó műtárgya a Sebesfoki-zsilip és mintegy 11 km-es szakasza ugyancsak a Szerb-Horvát-Szlovén Királyság fennhatósága alá került.

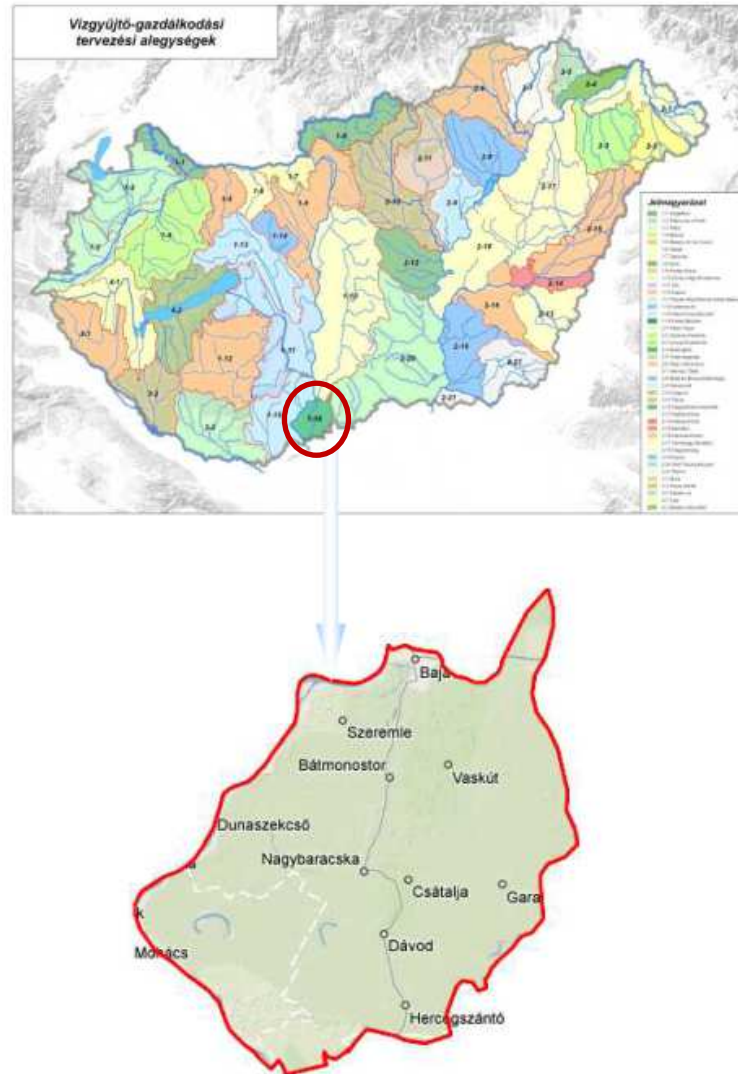
Ma a csatorna belvízelvezető és öntöző funkciót lát el, a csatorna közös kezelésben van a mai Szerbiával, a betáplálendő minimum és maximum vízmennyiségekről határközi egyezmény rendelkezik.

A csatorna vízpótlása a dunai vízjárásnak kiszolgáltatott, egyre nehezebben biztosítható. Dolgozatomban igyekeztem minél részletesebben feltárni a csatorna jelenlegi hidrológiai helyzetét és a felsőbb szakaszok domborzati sajátosságaiból adódóan a magas partok között megvalósuló esetleges vízviisszatartó, vagy vízszinttartó műtárgy hatásait.

Célom, a vízállás és vízhozam adatok feldolgozása, statisztikai elemzése mellett, vizsgálni a létrejövő tározóterek vízforgalmát a vízmérleg módszerben szereplő bevételi és kiadási oldalakkal, majd a tározóterrel nyerhető vízmennyiségek és a feltárt párolgási és szivárgási veszteségek ismeretében következtetéseket levonni, a koncepció életképességét tekintve.

1.A tervterület ismertetése

A Ferenc-tápcsatorna a Víz Keret Irányelv (továbbiakban VKI) szerint kijelölt 1-16 Felső-Bácska tervezési alegység [1-ábra] főgyűjtő csatornája. A Felső-Bácska tervezési alegység az Alföld nagytáj délnyugati részén található.



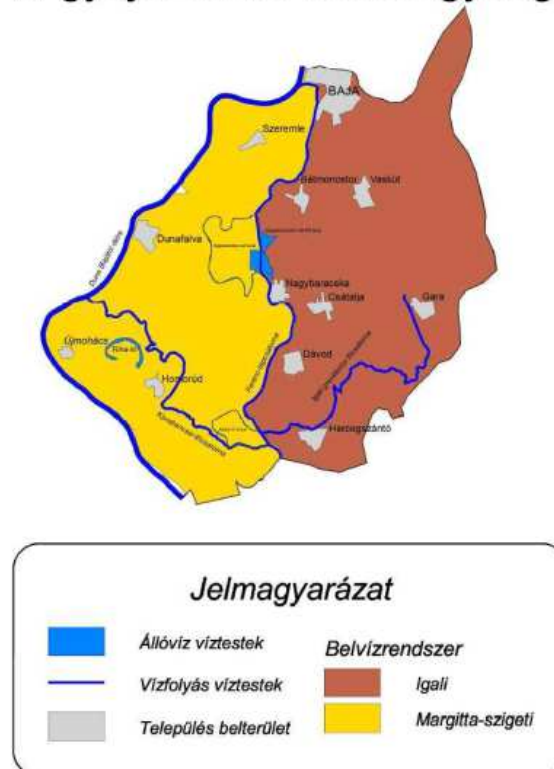
[1] – ábra

Délen az országhatár, nyugaton a Duna-folyam, Északon a Dunavölgyi-főcsatorna vízgyűjtő területe, míg keleten az Alsó-Tisza jobb parti tervezési alegység vízgyűjtő területe határolja. A csatorna a Margitta-szigeti vízrendszer, és az Igali-vízrendszer vizeit gyűjti össze [2-ábra].

A Margitta-sziget a Duna menti síkság része, teljes területe 277 km². A terület északi része ék alakú, nyugatról a Duna-folyam, keletről a Ferenc-tápcsatorna, míg délről az országhatár határolja. A terület átlagos tengerszint feletti magassága 83-85 m.Bf., a terület alig szabdalt, legmagasabb pontjait a Duna töltéséhez közeledve Szeremle és Újmohács, valamint a sziget közepén húzódó gerinc adja.

Az Igali vízrendszer 297 km² kiterjedésű átlagos tengerszint feletti magassága 100 m.Bf. legmagasabb pontja a vízgyűjtő területének északi részén Mátéházapuszat és Mátéháza található, dél felé fokozatosan lejt az Igali gravitációs csatorna torkolatánál (Ferenc-tápcsatorna 15+043 csatorna kilométer szelvénye) 85 m.Bf. szintre esik.

Felső-Bácska vízgyűjtő-tervezési alegység



[2] – ábra

A Ferenc-tápcsatorna, jelentős szerepet kap a régió vízgazdálkodásában. A Deák Ferenc zsilipen betáplálva vizet szolgáltat a terület mezőgazdasága számára megosztva a magyar és szerb partnerek között. Belvizes időszakban a már említett öblözetekről összegyűjtött káros víztöbblet elvezetését szolgálja.

A csatorna vízjárása szabályozott, vízpótlása teljes mértékben a Duna vízjárásának kitett, vízpótlási kérdései nyitott mondatot adnak, a vízpótlás biztosítására több koncepcióterv és tanulmány is készült, így többek között megvizsgálták a Duna Völgyi Főcsatornából történő nyomócsöves vízpótlás lehetőségét is.

A csatorna vízjárásától függően lehetőség van az Igali vízrendszer gravitációs úton történő vízelvezetésére, a 15+043 szelvényben (Igali gravitációs csatorna torkolati szelvénye). Amennyiben ez nem megoldható úgy a terület víztelenítését a Hercegszántói szivattyútelep látja el. A Margitta szigeti vízrendszer esetében jelenleg csak szivattyúsan lehet vizet átemelni a Ferenc-tápcsatornába, a Karapancsai szivattyútelep tehermentesítésére gravitációs elvezetés lehetőségének vizsgálatával (Mándity 2013) készült tanulmány.

Az említett víztestek VKI szerinti minősítésére sor került, ökológiai állapotuk nem érte el a jó állapotot. A tervezési alegység víztesteinek kémiai állapotáról nem tudunk pontos képet festeni a jelentős mértékű adathiány miatt, a jobb megismerés és vízminőség javító intézkedések előkészítése céljából expedíciós méréseket végeztek, valamint a csatorna speciális helyzetéből adódóan Magyarország - Szerbia IPA Határon átnyúló együttműködési program (Baja-Bezdan-csatorna rekonstrukciójának tervezése) keretein belül ökológiai állapotfelmérést végeztek, 2011-ben, majd 2013-ban.

A csatorna vízminőségi és mennyiségi biztonságát növelő intézkedések Baja város távlati településfejlesztési programjába is beilleszthetők.

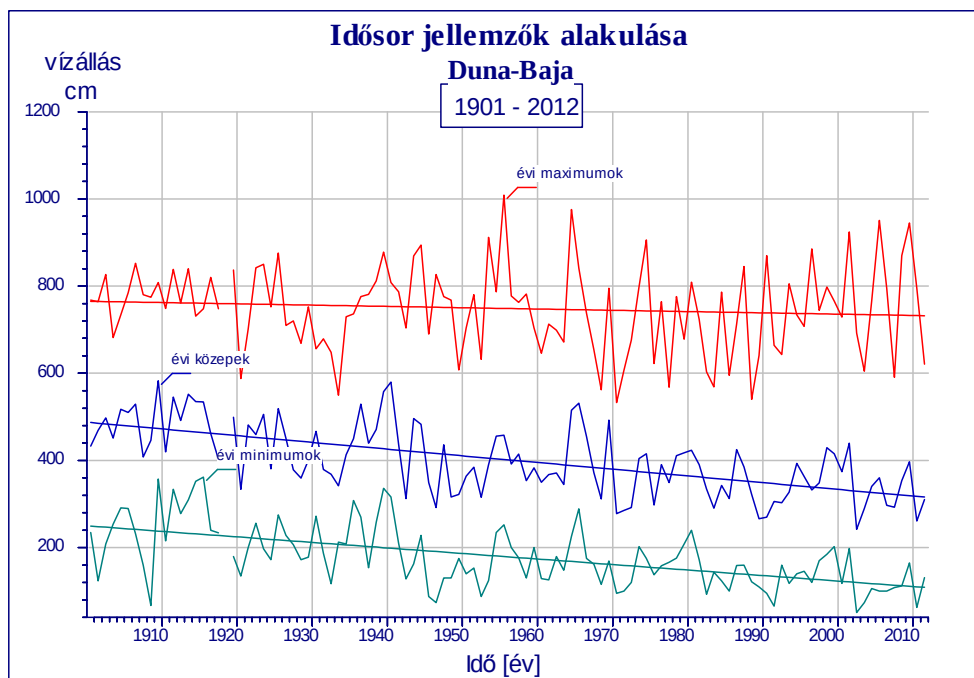
2.Hidrológiai alapadatok elemzése

A Ferenc tápcsatorna vízpótlásának szempontjából fontos hidrológiai alapadatok a Duna-Baja, mérési szelvényre vonatkozó, vízállás és vízhozam adatsorok. Valamint a Ferenc tápcsatorna (továbbiakban csatorna) vízpótlását biztosítani hivatott tápszilipnél mért alvízi, felvízi vízszintek és betáplált vízmennyiségek adatsora. A beeresztő zsilip 3 darab $2,1 \cdot 2,2$ m-es nyílással rendelkezik, ezeket görgős acéltáblák zárják le. A táblák a mindkét oldali víznyomást képesek felvenni, mozgatusokról villanymotoros felhúzó szerkezet gondoskodik. A zsilipnyitásokhoz tartozó görbékről közvetlenül leolvashatóak az aktuális vízszállításra vonatkozó vízhozam értékek.

A zsilip üzemrendje alapján amennyiben a Duna áradó vízállása eléri a csatorna vízszintjét, a görgős táblákat nyitni kell. Amikor a Duna vízállása 84,84 m.Bf. szintnél magasabb (a bajai vízmércén 387 cm), a táblák nyitását a magyar és Szerb együttes víz-igényeknek megfelelően kell szabályozni. Amikor a Duna apadó vízállása eléri a csatorna szintjét, a görgős táblákat zárni kell. Továbbá a kezelési utasítás fontos kitétele az is, hogy törekedni kell arra, hogy a csatorna vízszintje a Deák Ferenc zsilipnél ne haladja meg a 84,62 m.Bf. vízszintet, Baja 365 cm. A kezelési utasítás értelmében a normál üzemvízszintnél 84,32 m.Bf. Baja 335 cm lényegesen nagyobb duzzasztás tartása nem megengedett.

Az adatsorok feldolgozását részben az Műszaki Hidrológia (továbbiakban MHT) programcsomaggal végeztem, részben pedig EXCEL táblázatkezelő program segítségével.

2.1.Duna – Baja vízállás adatsor trendvizsgálati eredménye



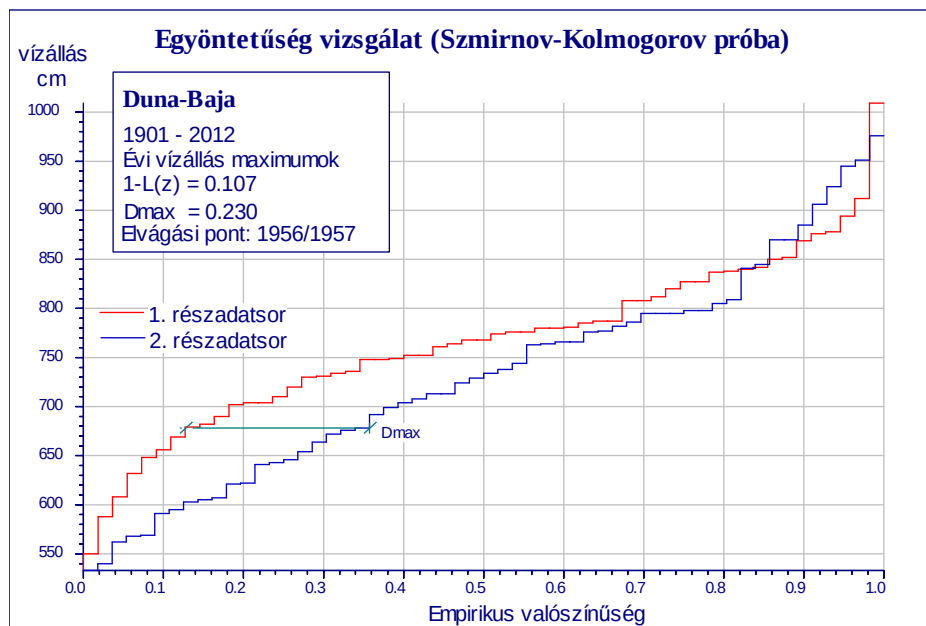
[3] – ábra

Duna-Baja vízállás idősor trendparaméterei

Trendparaméterek:				
Vizsgált időszak	Tárgy- időszak	Kezdőérték cm	Változás cm /Dt	Változás %/Dt
1901-2012 max.	év	765	-0.298	-0.04
1901-2012 átl.	év	488	-1.54	-0.38
1901-2012 min	év	251	-1.27	-0.71

[1] táblázat

Duna – Baja vízállás adatsor homogenitás vizsgálata:



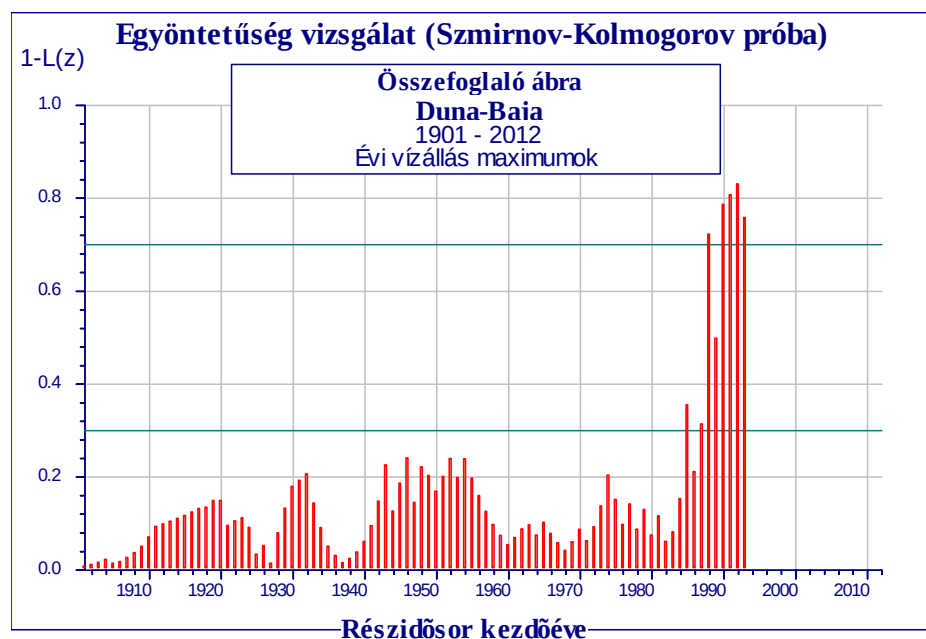
[4] – ábra

Homogenitás vizsgálat

Az adatsor metszése adott pontban (metszési pont: 1956/1957) A lépcsős függvények közötti legnagyobb eltérés, $D_{\max} = 0.230$. Az egyöntetűséget jellemző valószínűség, $P = 1 - L(z) = 0.107$. Tehát, az adott, 30 és 70 %-os szignifikancia határok figyelembe vételével az adatsor egyöntetűnek nem tekinthető.

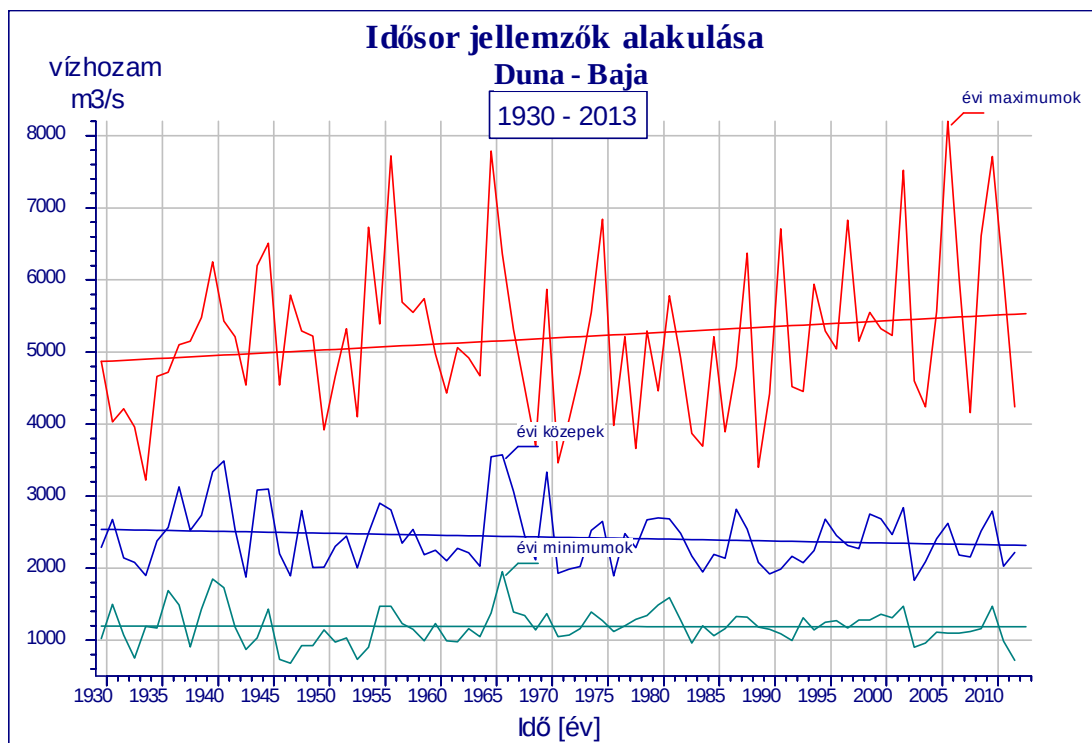
2.2.Összetett homogenitás vizsgálat

A szignifikancia szintek: alsó határ: 30 %, felső határ: 70 %. A leghosszabb időszak, amelynél vizsgálat eredménye eléri az alsó határnak megfelelő $1-L(z)$ értéket: 1985 – 2012. Az elmetszés éve: 1996 $D_{\max} = 0.354$ $P = 1 - L(z) = 0.356$. A leghosszabb időszak, amelynél vizsgálat eredménye eléri a felső határnak megfelelő $1-L(z)$ értéket: 1988 – 2012. Az elmetszés éve: 1998 $D_{\max} = 0.279$ $P = 1 - L(z) = 0.723$.



[5] – ábra

2.3.Duna – Baja vízhozam adatsor trendvizsgálati eredménye



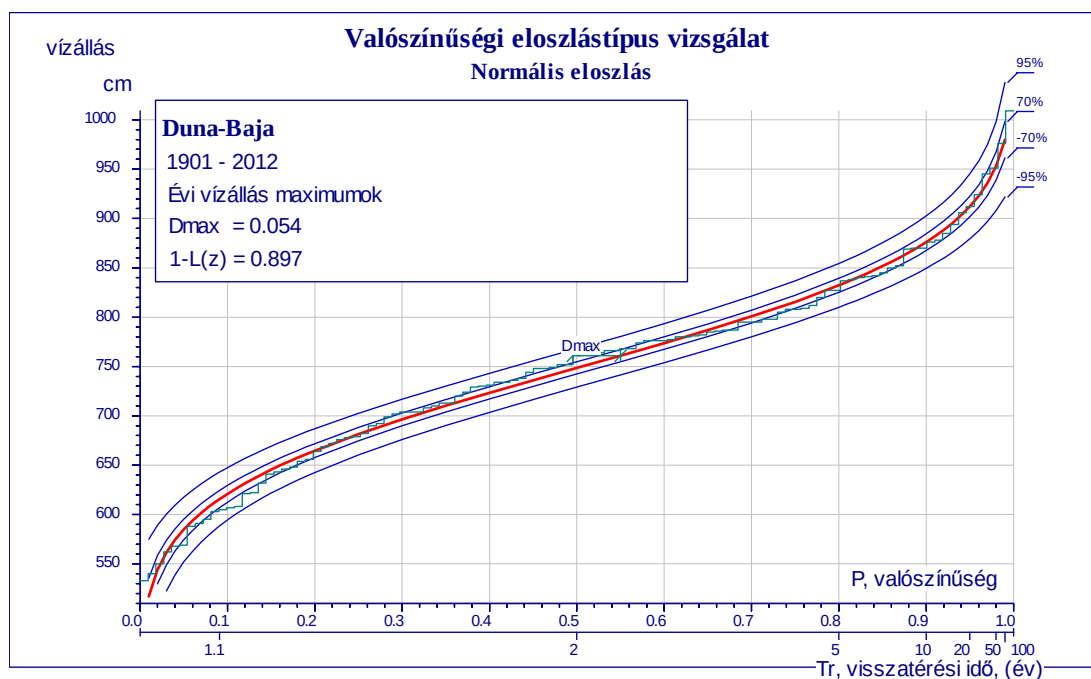
[6] – ábra

Duna-Baja vízhozam idősor trendparaméterei

Trendparaméterek:				
Vizsgált időszak	Tárgy- időszak	Kezdőérték m ³ /s	Változás m ³ /s /Dt	Változás %/Dt
1930-2013 max.	év	4860	8.01	0.15
1930-2013 átl.	év	2541	-2.68	-0.11
1930-2013 min.	év	1196	-0.136	-0.01

[2] táblázat

2.4.Valószínűségi eloszlásvizsgálat



[7] – ábra

Elkészítettem a valószínűségi eloszlásvizsgálat adatait a maximum és középértékek vizsgálatával az 1901-1930 tartó szakaszára és az 1983-2012 tartó szakaszára. A vizsgálat adattábláját és ábráit az [1] –melléklet tartalmazza.

A Duna - Baja vízmérce jellemző vízállásait a [3] táblázat foglalja össze. Nagy, 963 cm-es vízjáték mutatkozik. Az LNV 1014 cm, még az LKV értéke 51 cm, a számunkra fontos KÖV 401 cm a teljes időszakra vonatkozóan

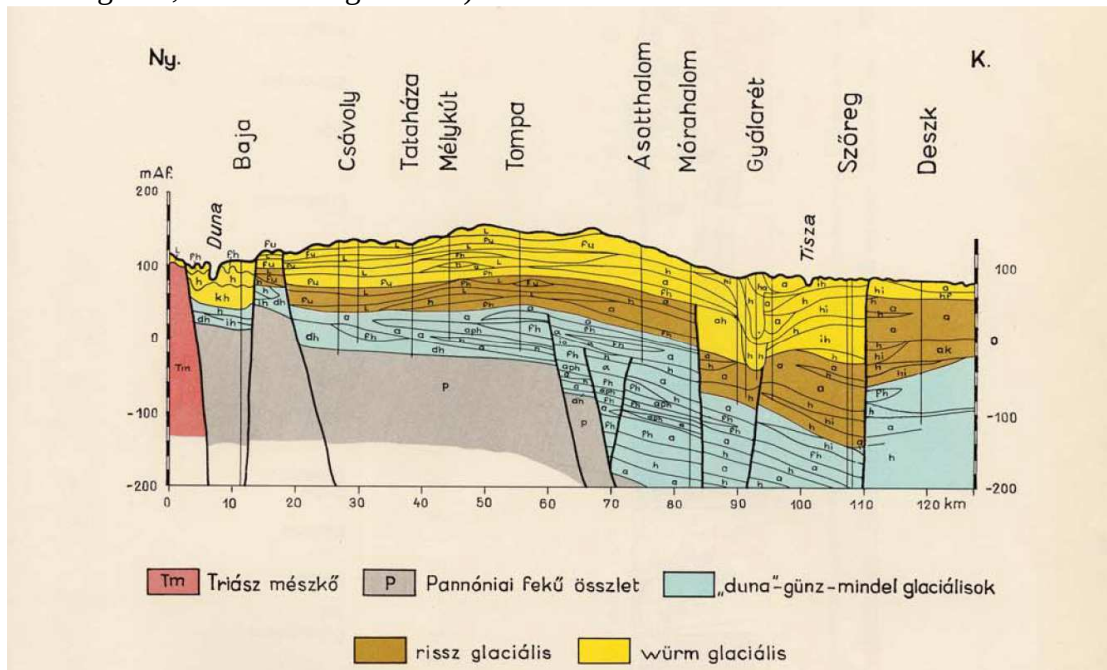
Az összetett homogenitás vizsgálat a nagyvizek esetében az 1988-2012-ig tartó időszak homogén voltát állapítja meg, ugyanez nem mondható el a kis és középvízi adatsorról.

Az 1901-2012-ig terjedő Duna Bajai vízállás adatsor trendvizsgálatából látszik, hogy a havi nagyvizek utolsó közel 30 éves adatsorának szórása egyenletes értéket ad, így a kisvízi és középvízi havi értékekhez viszonyítva elenyésző mértékben változik.

A meder berágódása magyarázatot ad az adatsor inhomogenitására. A Dunai szabályozások eredményeként, a kanyarulatok átvágásával, a folyam esését megnövelték, így nőtt a folyam hordalék szállító képessége is, ennek megfelelően számításba vették a meder süllyedését is.

A Duna egyes szakaszain a medersüllyedést gyorsította az intenzív mederanyag kitermelése, a hajóutak karbantartása, valamint az alpi eredetű hordalék fennakadása az osztrák és szlovák Duna szakaszokon (Csoma 1987).

Elsősorban a hajózhatóság szempontjából jelent problémát az egyes Duna szakaszokon felszínre kerülő eróziós küszöbök (Visegrád, Dunaföldvár) jelenléte, ami ugyanakkor gátat szab a további medersüllyedésnek. A geológiai rétegszelvények alapján, a számunkra fontos Bajai szelvényben (Baja-Deszk geológiai rétegszelvény – [8]) würm glaciális és „duna”-günz-mindel glaciálisok hordalékkúpjai alkotják a Duna almedrét, így természetes akadálya nincs a medersüllyedésnek (Vízrajzi Atlasz sorozat 11. Duna 4. Hidrográfia, Geomorfológia. 1971).



[8] – ábra

Felmerülhet a kérdés, hogy mennyire van befolyással a klímaváltozás a Duna vízjárására. Ebből a célból megvizsgáltam a napi vízhozam és vízállás adatsorok trendjét, Dr. Goda László munkája alapján. Az adatsort kiterjesztettem a 2013-as évig. A meder süllyedés tényét igazolja az azonos időszakhoz tartozó dunai vízállás és vízhozam adatsorok vizsgálata: a vízállás változás trendjét a vízhozam adatsor trendje nem

követi. Az alacsonyabban levonuló árhullámok oka nem a kevesebb érkező vízmennyiségben keresendő, az ugyanis mennyiségét tekintve továbbra is egyenletes. Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) negyedik értékelő jelentésének, szenárióiban (Alley, Richard et al. 2007) a század végéig prognosztizált 2,0-6,1°C átlagos középhőmérséklet változás, jelentős befolyással lesz a Duna vízgyűjtő éghajlatára is. A regionális éghajlati modellek alapján a nagycsapadékos napok száma valamint a nagycsapadékok intenzitása növekedni fog, várhatóan magasabb szinten levonuló árvizekre számíthatunk, amíg a meleg nyári napok és ezzel együtt az 1 mm-nél kisebb csapadéku napok, tehát a száraz időszakok száma nőni fog [a modellszámítások biztos növekedést a nyári időszakban prognosztizálnak], így a kis és közepes vizek szintjei várhatóan tovább csökkennek. A fentiekkel egyhangúan az 1930-2013-ig terjedő vízhozam adatsor trendvizsgálata alapján a közép és kisvizek mennyisége kis mértékben csökkent, addig a nagyvizek vízhozama mintegy 10%-kal megnövekedett, a trendvizsgálat alapján a jövőben a kis és közép, valamint a nagyvízi vízhozamok egyre inkább elválnak egymástól.

A csatorna vízpótlásának szempontjából lényeges problémát a levonuló árhullámok vízszint változása jelenti. A teljes időszak alatt a kisvizek szintjei 142 [cm]-rel, mintegy 79,52 [%] csökkentek, a közepes vizek szintjei 172 [cm]-rel, 42,56 [%] csökkentek, még a nagyvizek szintjei mindössze 33 [cm]-rel, 4,48 [%] csökkentek.

A probléma nem új, a felismert jelenség nem egyedüli ként a Ferenc-tápcsatorna vízpótlását érinti, a probléma kihatással van számos holtágra is, amelyek vízpótlása a dunai vízszintek csökkenése miatt kerül veszélybe. Műszaki megoldást jelentene a Duna vízlépcsőzése (Zsuffa 1999). A nagyvizek eloszlásvizsgálata alapján megállapítható, hogy a század elején a töltéslábat elérő, az egész hullámteret beborító 650-es Duna-Baja vízállások meghaladási valószínűsége 96,7[%] volt, addig ma már csak 77,9[%] valószínűséggel számíthatunk ilyen magas szinten levonuló árhullámra.

Sokkal jelentősebb a középvizeket érő változás. Így 320 [cm], illetve 335 [cm] Duna-Bajai vízállások eloszlásvizsgálatából kiderül, hogy amíg az 1901-1930-ig tartó időszak alatt mintegy 99[%] volt a 320 [cm] illetve 98,2[%] a 335 [cm]-es vízállások meghaladási valószínűsége, addig ugyanezen vízállásokra, az 1983-2012-ig tartó adatsor vizsgálata alapján csak 63[%], illetve 51,9[%]-os valószínűséggel számíthatunk.

Duna-Baja Jellemző vízállások

Legkisebb Víz	LKV:	51	cm
Legnagyobb Víz	LNv:	1014	cm
Közepes Kis Víz	KKV:	97	cm
Közepes Nagy Víz	KNV:	875	cm
Közép Víz	KÖV:	401	cm
Vízjáték	ΔH:	963	cm

[3] táblázat

Duna-Baja vízállás tartományok gyakorisága és tartóssága

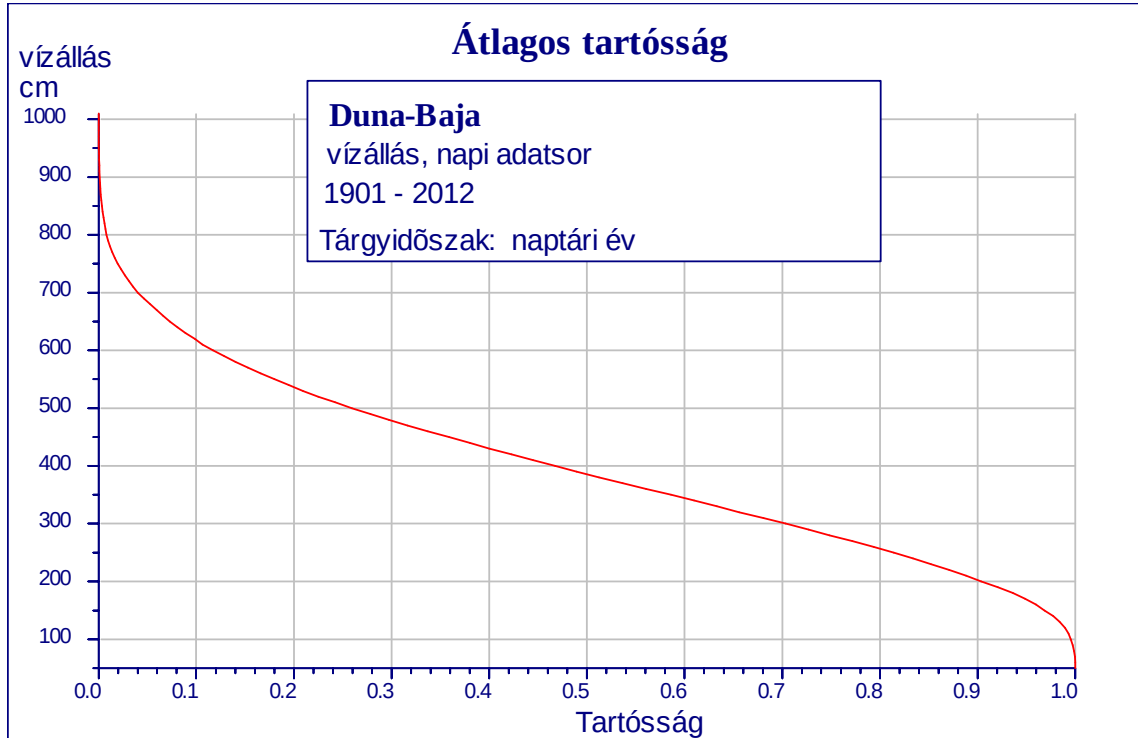
Duna-Baja 1901-2012					
Vízállás Intervallumok		Gyakoriság		Tartósság	
		nap	%	nap	%
950	1049	15	0.04	15	0.04
850	949	128	0.32	143	0.35
750	849	665	1.64	808	1.99
650	749	2196	5.42	3004	7.41
550	649	4394	10.84	7398	18.25
450	549	7302	18.01	14700	36.26
350	449	9224	22.75	23924	59.02
250	349	9216	22.73	33140	81.75
150	249	6187	15.26	39327	97.02
50	149	1210	2.98	40537	100.00

[4] táblázat

hiánylista

1919.01-12	365
1919.12	4
1919.11	1
1919.06	1
összes adat száma:	371

[5] táblázat



[9] – ábra

Az MHT programcsomaggal, mind pedig EXCEL táblázatkezelővel végzett adatfeldolgozás azonos eredményt ad a teljes adatsor 1901-2012-ig terjedő állományára.

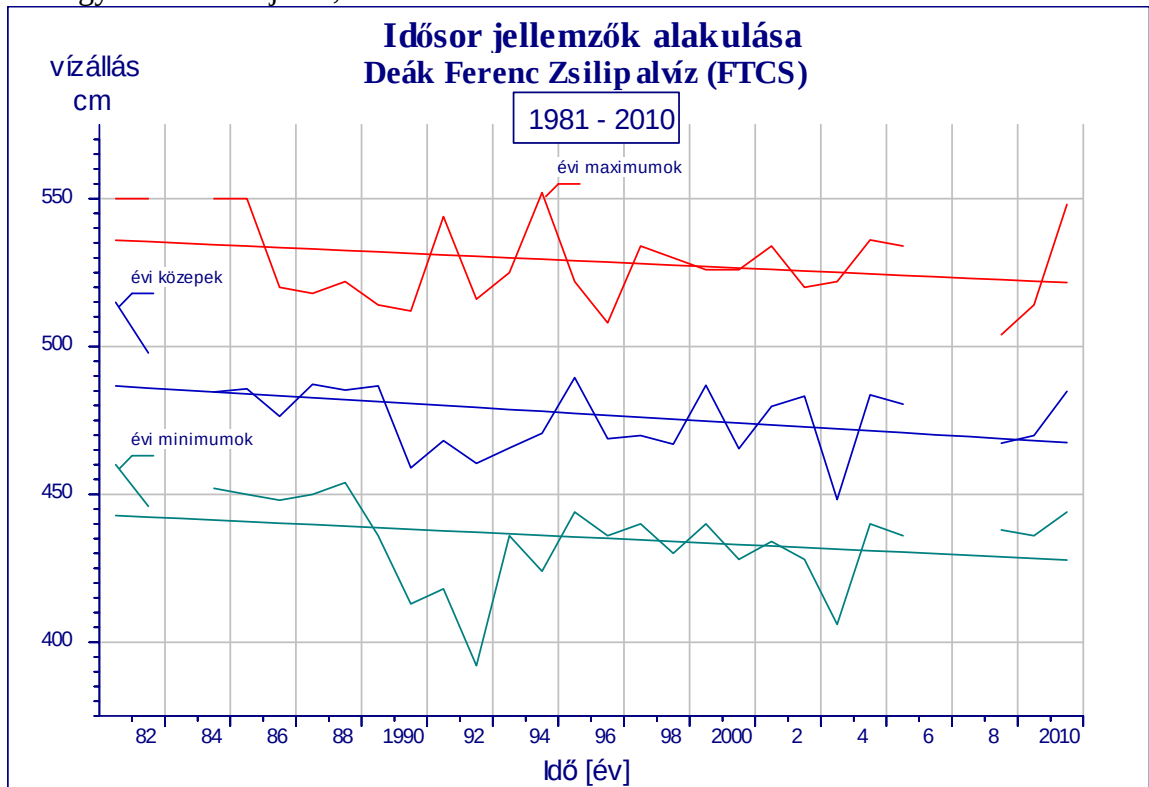
Elkészítettem a gyakorisági és tartóssági [9] ábrákat és táblázatot [4]. A számításhoz felhasznált adatsor hiányos, összesen 371 adat hiányzik [5] táblázat

Ennek értelmében 250-349 cm intervallum vízállásainak tartóssága több mint 80% részletesebb felbontásban vizsgálva az adatsort 10 cm intervallumokra bontva. a 250-259 81,75%, valamint 260-269 cm 79,71% tartóssággal bírnak, a kívánatos 335 cm-es Bajai vízállás, ami az 330-339 cm intervallumba esik csupán 63,69%-os tartósságú.

2.5.A Ferenc tápcsatorna vízpótlásának jelenlegi helyzete

A Ferenc – tápcsatorna vízutánpótlását a jelenlegi üzemrend értelmében a normál üzemvízszint Baja 335-cm tartására való törekvéssel, kell végezni. Az érvényben lévő üzemrend szerint a vízpótlást akadályozza az érkező alkalmas vízszintek gyakoriságának és tartósságának elégtelensége. A berágódó meder miatt ugyanazon árhullám tömegek alacsonyabb vízszinten vonulnak le. A Ferenc-tápcsatorna vízszintjeiről 30 éves adatsort [10] ábra és [6] - táblázat vizsgálva elmondhatjuk, hogy azok folyamatosan csökkenő trendet mutatnak. Az előálló Duna-Bajai vízszintek mellett a jelenlegi üzemrend nem alkalmas önmagában a csatorna vízpótlásának zavartalan biztosítására. A zsilip kezelési utasításának aktualizálása szükségesé válhat. A Duna-Baja vízmérce „0” pontja 80,99 m.Bf. A Deák-Ferenc zsilip vízmérce „0” pontja 79,32 m.Bf. szinten

van. A két vízmérce „0” pontja között 167 cm a különbség, ez alapján a Ferenc-tápcsatorna normál üzemvízszintje Baja 335 [cm] = Deák Ferenc zsilip 502 [cm]. A műtárgy küszöbszintje 81,72 m.Bf.



[10] – ábra

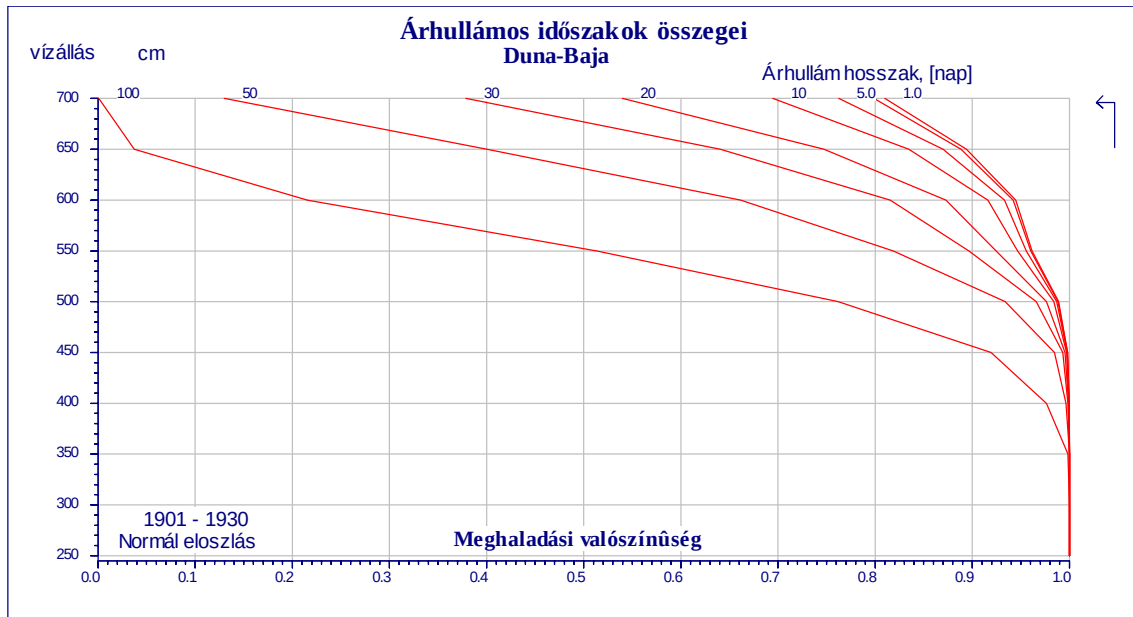
FTCS - Deák Ferenc Zsilip alvz vízálás idősor trendparaméterei

Trendparaméterek:				
Vizsgált időszak	Tárgy- időszak	Kezdőérték cm	Változás cm /Dt	Változás %/Dt
1981-2010 max	év	536	-0.494	-0.09
1981-2010 átl.	év	487	-0.658	-0.14
1981-2010 min	év	443	-0.518	-0.12

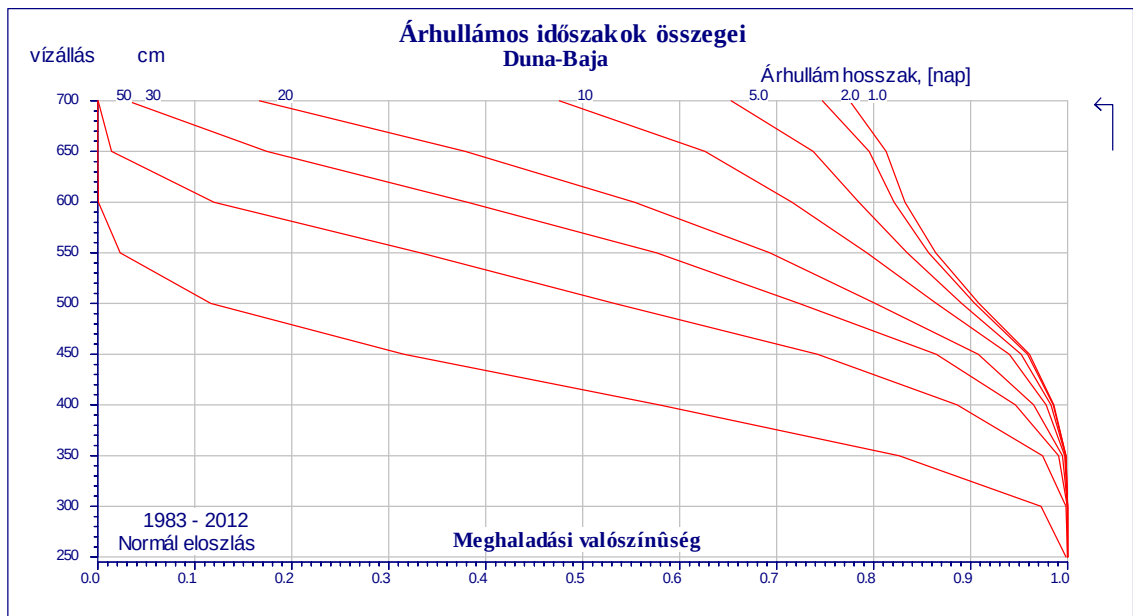
[6] táblázat

A trendvizsgálat alapján elmondhatjuk, hogy az időszak, mind nagy, közép, és kisvízi adatsorai csökkenő trendet mutatnak, a legszembeötlőbb változást a középvizek mutatják, átlagosan a vizsgált időszak alatt, mintegy 20 [cm]-rel, 4,2[%].

A vízpótlásra alkalmas Dunai vízálások tartósságának és gyakoriságának vizsgálatát a metsszék módszerrel végeztem el. A jelentős mértékben csökkent vízálások következtében a század elején az árhullámok különböző szintek fölötti hossza évi összegeinek feltételes valószínűségi eloszlásfüggvényei szerint a század elején a Duna hullámtéri mellékágaiba, így a Sugovicába befolyó vizek, a hullámtérre kifolyó és az egész hullámtérrel elöntő vizek meghaladási valószínűségei jóval nagyobbak voltak, mint a mostaniak [11 – 12] - ábra (Zsuffa 1999).

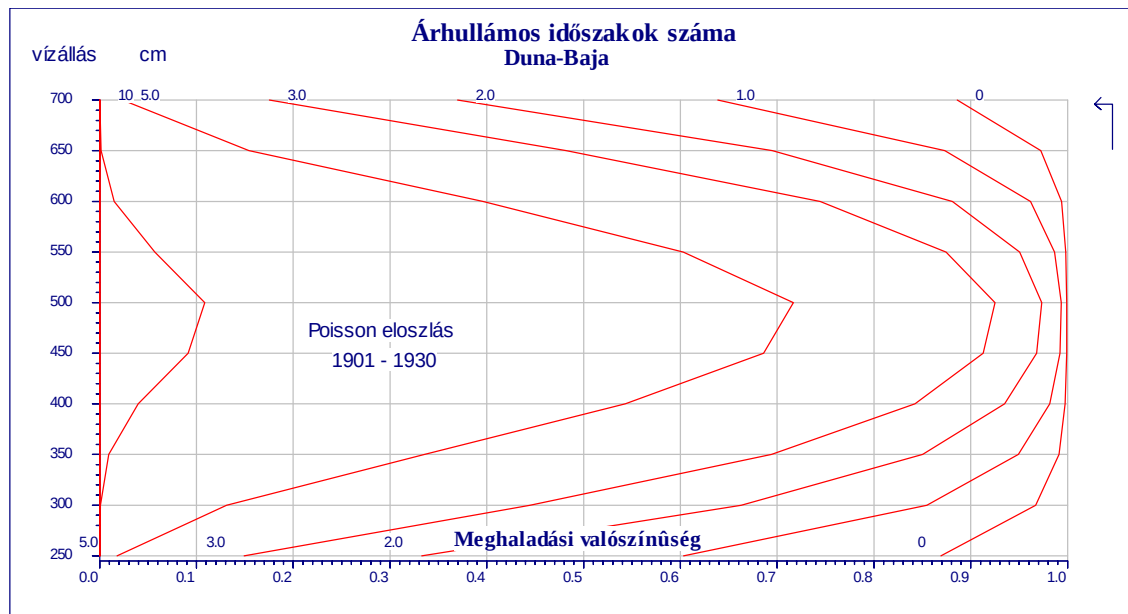


[11] – ábra

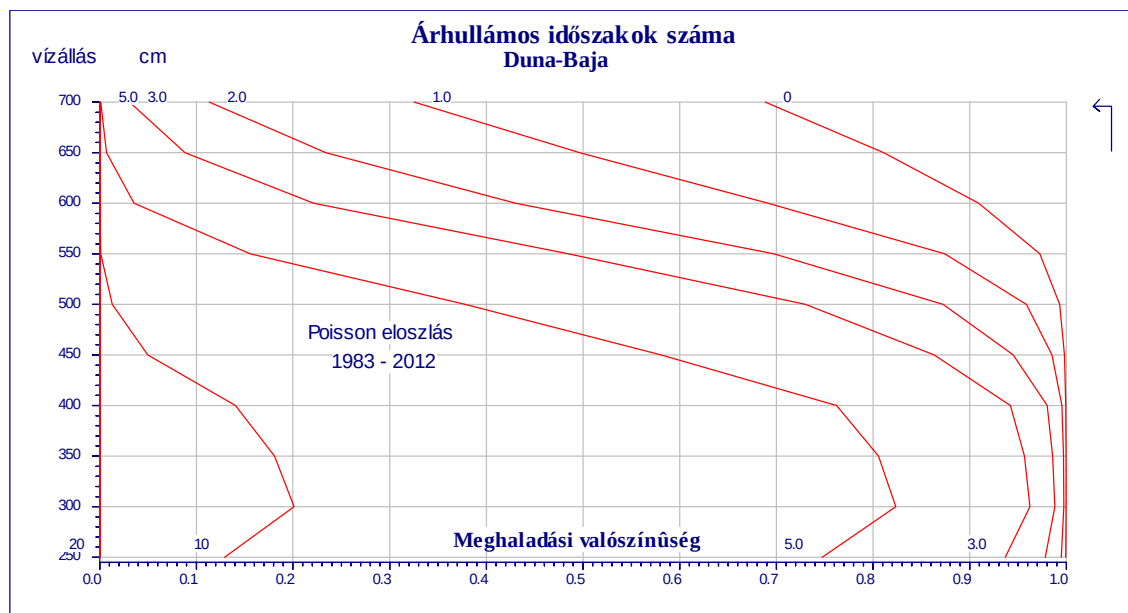


[12] – ábra

Hasonló módon megadhatjuk a mértékadó szinteket meghaladó, azaz részleges, vagy teljes elöntést előidéző árhullámok évi számának a feltételes valószínűségi eloszlásait [13 – 14] ábra (Zsuffa 1999). Így egyrészt a vízpótlást biztosítani képes árhullámok tartósságának és gyakoriságának előfordulási valószínűségeit is megadhatjuk az ábrákról. Az ábrákról leolvasott adatok alapján a század eleji és a mai viszonyok nagymértékben változtak. Kimondhatjuk, hogy amíg a század elején 50%-os valószínűséggel mintegy 282 napig ált. elő a vízpótlás szempontjából kívánatos 350 cm Duna – Baja szelvényben, addig a mai viszonyok mellett 50%-os valószínűséggel már csak 146 napig biztosítható a vízpótlás. Még a hullámteret elöntő 650 cm-es vizek 50%-os valószínűsége 41 napról 15 napra csökkent, az egyes vízállásokhoz tartozó valószínűségek szerinti eloszlásait a [7 – 8] táblázat foglalja össze.



[13] – ábra



[14] – ábra

A Ferenc tápcsatornába betáplált vizek mennyisége az elmúlt 30 évben jelentős mértékben változott az ismertett állapotok miatt, a lehető leginkább optimalizált üzemelés mellett is a jövőben várható a Ferenc tápcsatorna vízpótlási nehézségeinek egyre tartósabbá válása. A betáplált vízmennyiség sokéves középértékeinek havi eloszlása jól követi a Duna természetes vízjárását [15] - ábra. Az átlagos évben 62,738 millió m^3 vizet vezetnek a csatornába. A vizsgált időszak alatt 2006-ban 14,582 millió m^3 volt a legkisebb bevezetett vízmennyiség, ennek okai a rendkívüli árvizes időszakok a Dunán, ugyanis az érvényben lévő üzemrend az árvízi kockázatra való tekintettel, ilyenkor nem enged vízpótlást (a Deák Ferenc zsilip árvíz védekezési fővédvonal részét képezi). Valamint 1995-ben ált elő az időszak alatt a bevezetett legnagyobb éves vízmennyiség 138,289 millió m^3 . Az átlagos év, mint olyan nem létezik, ugyanakkor jól szemlélteti a lehetséges vízmennyiségek alakulását azonos üzemrendet feltételezve a jövőben is. az 1981-2012-ig terjedő időszakban a csatornába engedett csúcs vízhozam 17,900 m^3/s

volt a legkisebb $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Az előállított értékeket felhasználhatjuk a csatorna egyes szakaszainak vízháztartási egyenletének felírásához.

Duna-Baja Vízállás feltételes eloszlások táblázata: 1901-1930

vízállás	Pf	Meghaladási valószínűség								
		0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.03	0.02	0.01
		Árhullám hosszak, [nap]								
250	0.032	346.01	352.65	359.77	368.11	379.68	389.23	395.43	399.97	407.14
300	0.418	319.49	330.26	341.79	355.31	374.04	389.51	399.56	406.92	418.52
350	0.642	282.72	298.39	315.17	334.83	362.09	384.6	399.21	409.92	426.8
400	0.961	238.53	256.2	275.14	297.32	328.08	353.47	369.96	382.04	401.09
450	0.632	192.47	209.18	227.08	248.06	277.14	301.15	316.75	328.17	346.18
500	0.977	144.84	160.77	177.84	197.83	225.56	248.45	263.31	274.2	291.37
550	0.744	101.98	116.41	131.87	149.98	175.09	195.82	209.28	219.15	234.69
600	0.806	67.33	77.83	89.09	102.27	120.56	135.65	145.46	152.64	163.96
650	0.34	41.76	50.01	58.86	69.22	83.59	95.46	103.16	108.81	117.7
700	0.078	22.45	28.63	35.25	43.01	53.77	62.65	68.42	72.64	79.31

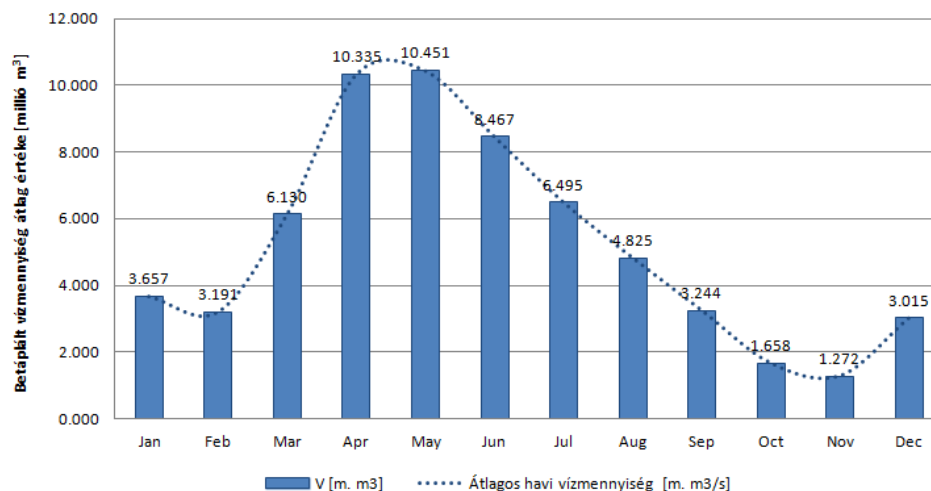
[7] táblázat

Duna-Baja Vízállás feltételes eloszlások táblázata: 1983-2012

vízállás cm	Pf	Meghaladási valószínűség								
		0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.03	0.02	0.01
		Árhullám hosszak, [nap]								
250	0.482	243.81	256.32	269.73	285.43	307.21	325.19	336.86	345.42	358.91
300	0.78	192.88	205.1	218.21	233.56	254.84	272.42	283.83	292.19	305.37
350	0.972	146.63	159.17	172.61	188.35	210.18	228.21	239.91	248.49	262.01
400	0.415	109.87	122.42	135.88	151.64	173.5	191.55	203.26	211.85	225.38
450	0.715	78.77	89.96	101.96	116	135.49	151.57	162.02	169.67	181.73
500	0.486	53.2	63.11	73.74	86.18	103.44	117.69	126.94	133.72	144.4
550	0.144	36.13	44.23	52.9	63.06	77.16	88.79	96.34	101.88	110.6
600	0.163	23.07	28.86	35.07	42.34	52.43	60.75	66.16	70.12	76.36
650	0.157	15.1	19.12	23.42	28.46	35.45	41.22	44.97	47.72	52.04
700	0.253	9.33	12.12	15.11	18.61	23.46	27.47	30.07	31.97	34.98

[8] táblázat

A Deák Ferenc szilipen betáplált vízmennyiségek sokéves középértékének havi eloszlása

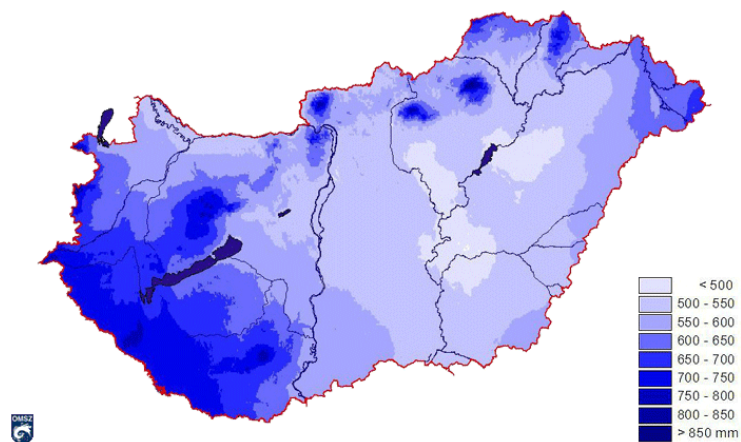


[15] – ábra

2.6.A terület csapadék viszonyai

Magyarországon az évi átlagos csapadék 500-850 [mm], ugyanakkor az egyes tájegységek csapadékviszonyai jelentősen eltérnek egymástól, a következő összefoglalót az OMSZ munkatársai állították össze:

Az éves csapadékösszeg területi eloszlásában [16] – *ábra* kettős hatás tükröződik, egyrészt a domborzat másrészt pedig a Földközi-tenger hatása érvényesül, de befolyásoló tényező az Atlanti-óceán is. 100 m-es magasságnövekedés nagyjából 35 mm-nyi évi csapadékhozam növekedést eredményez, a tengerektől való növekvő távolság pedig a csapadékösszeg csökkenésében mutatkozik meg. A legcsapadékosabb az ország délnyugati része, valamint a magasabban fekvő területek, ahol néhány kis foltban a jellemző csapadékösszeg a 800 mm-t is meghaladja. A legkevesebb csapadékot sokéves átlagban az alacsony fekvésű Tisza-völgy kapja, értéke nem éri el az 500 mm-t. Az évi csapadékösszeg DNy-ról ÉK felé csökken (Magyarország csapadék viszonyai 2014).



[16] – *ábra*

A csapadékjelentős, évről évre való változékonysága miatt az éves csapadékösszeg térbeli eloszlása a sokévestől nagymértékben eltérhet (Magyarország csapadék viszonyai 2014).

A legtöbb csapadék a május-július közötti időszakban hullik, a legkevesebb pedig január és március között [17] – *ábra*. Az ősz folyamán az erősebb ciklonaktivitás miatt az ország jelentős részén kialakul egy másodlagos csapadékmaximum is - ez a Dunántúl déli felén különösen jellemző (Magyarország csapadék viszonyai 2014).



[17] – *ábra*

A csapadék meglehetősen változékonny időjárási elemünk, mennyisége évről évre nagyon szeszélyesen ingadozik. Jellemző, hogy csapadékosabb éveinkben háromszor

annyi eshet, mint a szárazabb éveink során, és minden hónapban előfordulhat teljes csapadékhány, ami különösen a nyári hónapokban erős párolgással társulva súlyos aszálykárokat okozhat. (Magyarország csapadék viszonyai 2014) Az éves csapadékösszeg az elmúlt évszázadban változékonysága mellett is csökkenő tendenciát mutatott, a csökkenés 109 év alatt közel 10%-os.

A Ferenc tápcsatorna medertározásra kijelölt szakaszára jellemző csapadékadatok esetében pontszerű állomás adatsort kezelnek érvényesként a terület egészére nézve. Ez a megközelítés hibás, ugyanakkor, jelen esetben mivel földrajzi értelemben a feladatban tározásra kijelölt mederszakasz viszonylag közel esik az állomáshoz, az adatsort tekinthetjük érvényesnek, szolgáltatathat elfogatható információt a terület csapadékkosságára nézve.

A feldolgozott adatok egybevágó az OMSZ munkatársainak megállapításával. Az elsődleges csapadékmaximum értékei: 216 -214 [mm], a másodlagos csapadékmaximum értékei: 168-176 [mm]-nek felelnek meg.

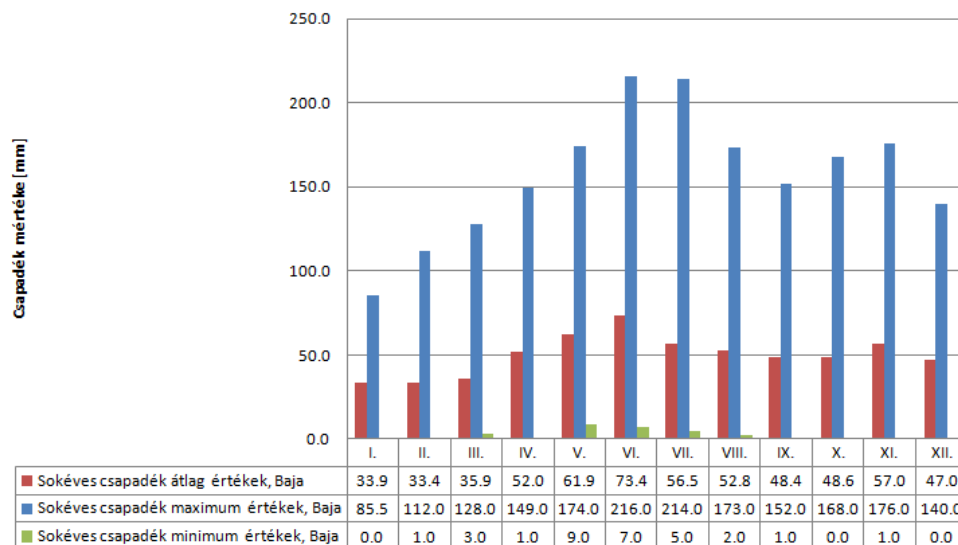
A Bajai meteorológiai állomáson 1901-től folytatnak csapadékmérést. Magyarországon 1903 óta a mérésre Helmann-rendszerű kettősfalú, alumínium csapadékmérőt használnak. A csapadékgyűjtő kör alakú felfogó edényének nyílása 0,02 m², a gyűjtőpalack mintegy 70 mm csapadék felfogására alkalmas (Szlávik Lajos & Sziebert János 2005). A sokéves csapadék átlagértéke 600,6 mm, a csapadék átlag minimum és maximum értékeinek havi eloszlásáról a következő [9] – táblázatok tájékoztatnak.

Baja sokéves jellemző csapadécai

Sokéves csapadék átlag értékek, Baja														
Hónapok												Téli	Nyá-	Év
												félév		
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-	V-X.	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
33.9	33.4	35.9	52.0	61.9	73.4	56.5	52.8	48.4	48.6	57.0	47.0	259.	341.	600.6
Sokéves csapadék maximum értékek, Baja														
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Maximum helye		
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	Téli	Nyári	Év
85.5	112.	128.	149.	174.	216.	214.	173.	152.	168.	176.	140.	Nov	Jun	VI.

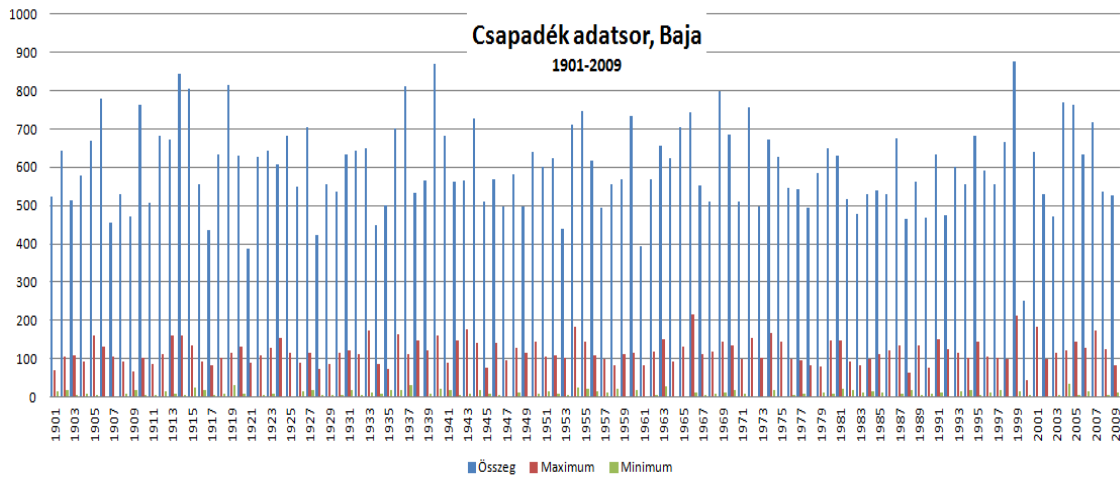
Sokéves csapadék minimum értékek, Baja														
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Minimum helye		
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	Téli	Nyári	Év
0.0	1.0	3.0	1.0	9.0	7.0	5.0	2.0	1.0	0.0	1.0	0.0	Jan	Oct	I.; X.;

[9] táblázat



[18] – ábra

A csapadék összegek az elmúlt 100 éves időszakban a következőképpen alakultak: [17] – ábra.



[19] – ábra

A csapadék adatok részletesebb vizsgálatához szükségünk van a terület domborzati viszonyait leíró terepmodellre [2] – *rajzi melléklet*, vagy térképekre, melyeken a minket érdeklő tározótérhez, és a választott elzárási szelvényhez tartozó vízgyűjtőterületet egyértelműen lehatárolhatjuk. A választott tározási szintektől függetlenül a tározóra hulló csapadék és a Ferenc tápcsatorna rendkívül kicsi saját vízgyűjtő területéről lefolyó csapadék mennyisége elhanyagolhatóan kicsi bevételt jelent a tápszilipen bevezetett vízmennyiségekhez képest. Egyszerűsítésként a domborzati jelleggörbéről [4-5] – *rajzi melléklet* leolvasható legnagyobb tározási szinthez tartozó felület maximumát veszem a tározó közvetlen vízgyűjtő területének. Ezzel az egyszerűsítéssel nem veszem figyelembe a homokhátság déli nyúlványát a Bajától Bátmonostorig terjedő szakaszt, illetve azon részét mely a csatorna irányába lejt, ezek a területek egyértelműen a Ferenc tápcsatorna vízgyűjtő területéhez tartoznak.

A vízháztartási egyenlet bevételi oldalán jelentkező csapadék összegeit a 37+850 szelvény összes tározási szintjéhez egy egyenessel tudom ábrázolni [11] – *táblázat*, emellett mivel a Bajai állomáson mért csapadékok havi eloszlását ismerem így havi bontásban ezt a bevételi tételt is felírhatom [10] – *táblázat*.

A 37+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves csapadékmennyiség havi eloszlása

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
üv.	0.032	0.031	0.034	0.049	0.058	0.069	0.053	0.050	0.046	0.046	0.054	0.044
mv	0.032	0.031	0.034	0.049	0.058	0.069	0.053	0.050	0.046	0.046	0.054	0.044
I.	0.032	0.031	0.034	0.049	0.058	0.069	0.053	0.050	0.046	0.046	0.054	0.044
II.	0.032	0.031	0.034	0.049	0.058	0.069	0.053	0.050	0.046	0.046	0.054	0.044
III.	0.032	0.031	0.034	0.049	0.058	0.069	0.053	0.050	0.046	0.046	0.054	0.044

[10] – táblázat

A 37+850 szelvényben várható csapadékból származó bevétel

Normál üzemvízszint: 84,32 m.Bf.	0,56
Maximális üzemvízszint: 84,62 m.Bf.	0,56
I. tározási szint: 85,30 m.Bf.	0,56
II. tározási szint: 85,80 m.Bf.	0,56
III. tározási szint: 86,30 m.Bf.	0,56

[11] – táblázat

A vízháztartási egyenlet bevételi oldalán jelentkező csapadék összegeit a 36+850 szelvény összes tározási szintjéhez egy egyenessel tudom ábrázolni [13] – *táblázat*,

emellett mivel a Bajai állomáson mért csapadékok havi eloszlását ismerem így havi bontásban ezt a bevételi tételt is felírhatom [12] – táblázat.

A 36+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves csapadékmennyiség havi eloszlása

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
üv.	0.035	0.035	0.037	0.054	0.064	0.076	0.059	0.055	0.050	0.050	0.059	0.049
mv	0.035	0.035	0.037	0.054	0.064	0.076	0.059	0.055	0.050	0.050	0.059	0.049
I.	0.035	0.035	0.037	0.054	0.064	0.076	0.059	0.055	0.050	0.050	0.059	0.049
II.	0.035	0.035	0.037	0.054	0.064	0.076	0.059	0.055	0.050	0.050	0.059	0.049
III.	0.035	0.035	0.037	0.054	0.064	0.076	0.059	0.055	0.050	0.050	0.059	0.049

[12] – táblázat

A 36+850 szelvényben várható csapadékból származó bevétel

Normál üzemvízszint: 84,32 m.Bf.	0,62
Maximális üzemvízszint: 84,62 m.Bf.	0,62
I. tározási szint: 85,30 m.Bf.	0,62
II. tározási szint: 85,80 m.Bf.	0,62
III. tározási szint: 86,30 m.Bf.	0,62

[13] – táblázat

A hidrológiai adatok vizsgálatából látszik, hogy a csatorna vízpótlása a Dunai vízjárásoknak kitett. Ez nem egyedi eset, a hullámtéri mellékágak vízpótlási problémája ismert. A fő problémát a medersüllyedés okozza, ezt a folyamszabályozás hagyományos eszközeivel nem lehet orvosolni, a probléma műszaki megoldására (Zsuffa 1999) adott javaslatot duzzasztóművek építésével. Érdemes fontolóra venni a művek megépítését és akár költségelemzést végezni. Megvizsgálni a duzzasztóművek megépítésével járó költségeket és az ugyanazon problémát megoldani, vagy enyhíteni kívánt kisebb lokális elszórtan megvalósuló műszaki megoldások összköltségét. Mindemellett célszerű az ilyen jellegű problémák megoldásába a lakosságot jobban bevonni, hiszen végső soron az egy-egy víztest környezetében élők nyugalma, rekreációját szolgálja, illetve a környék településeinek turisztikai értékét növeli egy-egy mennyiségileg és minőségileg jó állapotú víztest megléte. Érdemes a turisztikai értékekre külön hangsúlyt fektetni, és fontolóra venni a Ferenc tápcsatornában rejlő lehetőségeket, az egyre népszerűbbé váló öko-, mind pedig a vízi turizmus tekintetében. Ez utóbbi tekintetében a csatorna és környezete „erősebb”, hiszen elég csak a csatorna partján üzemelő Nagybaracscai termál-fürdőre, vagy a Dávod – püspökpusztai fürdőlétesítményre gondolni, ami nyaranta kedvelt célállomása a szerb turistáknak is.

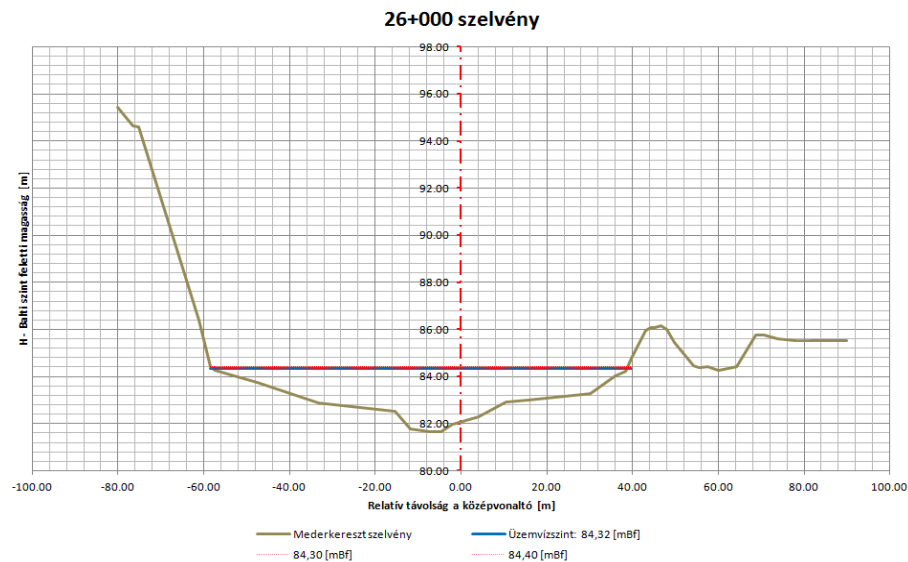
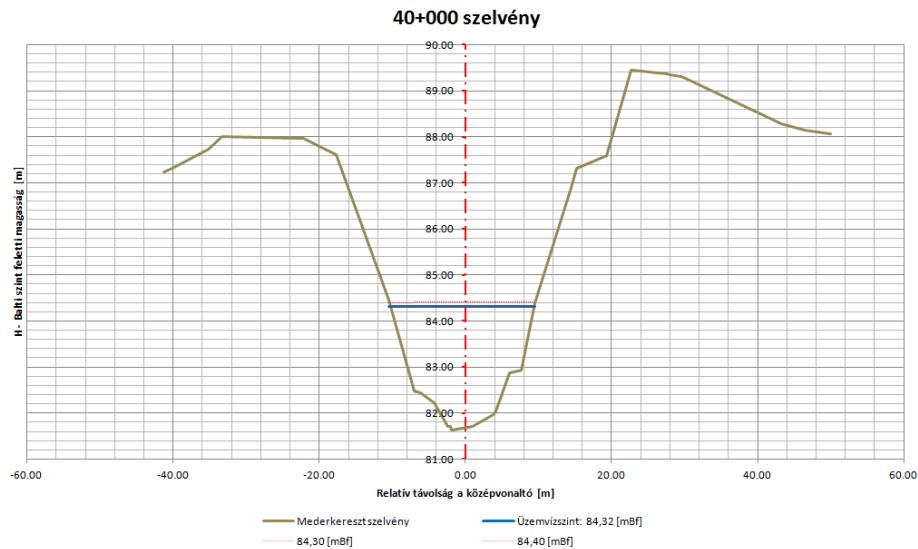
A csatorna vízháztartási bevételi oldalán a felszíni hozzáfolyásból R_H átlagos évben 62,738 millió m^3 víz érkezik a csatornába, e mellett a csatorna saját vízgyűjtő területére hulló csapadékból a (B) mederelzárási szelvényhez csak igen csekély 0,62 millió m^3 vízmennyiség érkezik. A bevezetett vizek közel 90%-a hagyja el a vizsgált szakaszt. A csatorna vízpótlása nem megoldható csak a csapadékból és a szivárgó vizekből származó bevételekből. A határvízi egyezmény értelmében Szerbiával szembeni kötelezettségként minimum 0,3 maximum 6,0 [m^3/s] vízhozam levezetéséről kell / lehet gondoskodni. A csatorna üzemrendje a jelen igényeket kielégíti, ugyanakkor bizonyossá vált, hogy a kívánatos vízszinteket az ez alapján végzett üzemeléssel nem tudjuk tartani a jövőben, a Deák Ferenc zsilip alvízi mércéjének trend vizsgálata alapján a csatorna vízszintje csökkenő tendenciát mutat. Igen nagy gazdasági teherviselés megkövetelő komplex műszaki beavatkozások nélkül csak lokális műszaki beavatkozások jöhetnek szóba. A hidrológiai alapadatok vizsgálatával kimondhatjuk, hogy a jelen üzemrend mellett is van mód a beérkező vízmennyiségek kiegyenlítettbb használatára, ugyanakkor nincs meg a műszaki megoldás arra, hogy a nagyobb árhullámokat kihasználva a csatorna vízjárását kiegyenlítő tározóteret hozzunk létre. Erre a célra alkalmas lehet a Baja és Bácsbokod közötti magas partokkal határolt szakasz.

A csatorna nem hajózható a 17/2002 (III.7) KöViM rendelet alapján, így nem kell hajóforgalommal számolni. Olyan műszaki megoldás is szóba jöhet, ami ugyan nem teszi lehetővé a kenuk, csónakok átzsilipelését, de rendelkezhet olyan résszel ahol a túrázók, csónakjaik kézi erővel történő átemelését biztonságosan és kényelmesen el tudják végezni (rámpa), ennek a műtárgyrésznek a kialakítása meg kell, hogy feleljen a fenntartást végző úszó munkagépek, így a HV-1500; HM-1500 és AMUR vízrebocsátására is. A dolgozatomban javasolt műtárgy változatok a tározási szintek függvényében eltérőek. Az átlagos, illetve maximális üvsz. esetében: nyíltzsilip; I-III. tározási szintek esetében a nyílt zsilip kiegészül technikai-; vagy természet közeli hallépcsővel.

3. Medergeometria, domborzati jelleggörbék előállítása

A Ferenc Tápcsatorna nyomvonala több szakaszra osztható [20] – ábra, ezt az ásott mederszakaszok (okkersárga) és természetes mélyvonulatok, régi holtágak (zöld) alkotják. A meder alakját az ásott szakaszokon trapézszelvénnel [21] – ábra, még a természetes szakaszokon szélesen kiterülő összetett trapéz szelvénnel, lehet közelíteni [22] – ábra (Mátrai 2011).





Bár a feladatomban nem a csatorna adott részének vízhasznosítási tározóként történő méretezése, ugyanakkor kikerülhetetlen része a domborzati jelleggörbe elkészítése. Ahhoz, hogy az egyes duzzasztási szintekkel nyert vízmennyiségeket és a tározó felszínét meg tudjuk határozni, szükségünk van a meder geometriai adataira.

A Ferenc tápcsatorna geodéziai felmérését 2011-ben IPA projekt keretein belül elvégezték, 50 m-enként, valamint a jellegzetes helyeken kereszt-szelvényeket vettek fel. Az így nyert adatállományból felépítették a meder 3D modelljét AutoCAD Civil 3D programmal. A dolgozatomban a modellből leválogatott kereszt-szelvényeket használhattam fel. Az adatállományból km-enként a jellemző szakaszok szelvényeit használtam. A tározótér méretezéséhez magát a modellt nem, de a modellből leválogatott kereszt-szelvényeket használhattam.

A további szelvényeket (altalaj jelleghatárok) a HEC-RAS felületen készített geometriai modellből válogattam le (interpolált kereszt-szelvények).

3.1. Domborzati jelleggörbe előállítása

A választott szakaszt lezáró kereszt-szelvényeket felosztottam egymással, párhuzamos 10 cm-es osztásközzű, egyenesekkel. A meder fenékhez legközelebb eső egyeneshez a meder legalacsonyabb pontmagasságát rendelttem. A megrajzolt egyeneseket a

depóniák tengelyében elmesztettem úgy hogy a szelvényben előálló lehetséges legmagasabb vízszintet megkapjam deciméter pontossággal. Az adatokat táblázatkezelő programmal rendeztem. A rajzi méret és a valós méret aránya alapján átszámítottam az egymással párhuzamos egyenesek hosszát. Az így kapott értékek a tulajdonképpeni víztükörszélességek értékei. Az egyenesek használatával, geometriai alakzatokkal közelítettem a meder alakját, az összes szinthez megadtam az összegzett mederterület nagyságát [1/1-3].

$$A_1 = \Delta H_1 \cdot L_{\text{valós1}} [1/1]$$

$$A_{2-n} = \Delta H_n \cdot \left(\frac{L_{n-1} + L_n}{2} \right) [1/2]$$

$$\sum_n^1 A [1/3]$$

Ugyanazon képlettel a két kereszttszelvény összetartozó (azonos szintfelülethez tartozó) $L_{\text{valós}}$; ΣA értékeit, valamint a két kereszttszelvény közötti távolság ismeretében a trapézterület képletével számíthatom a szakaszon, adott H [m.Bf.] értékhez tartozó tározófelületet F [2] és térfogatot V [3].

$$F_{\text{csk.sz}_1 - \text{csk.sz}_2} = \frac{L_{k1}[\text{m}] + L_{k2}[\text{m}]}{2} \cdot (\text{csk.sz}_1[\text{m}] - \text{csk.sz}_2[\text{m}]) [2]$$

ahol,

- L_{k1} : az 1 számú szelvényben mért víztükörszélesség [m]
- L_{k2} : a 2 számú szelvényben mért víztükörszélesség [m]
- csk.sz : csatorna kilométer szelvény és $\text{csk.sz}_1[\text{m}] > \text{csk.sz}_2[\text{m}]$

$$V_{\text{cskm}_1 - \text{cskm}_2} = \frac{\Sigma A_{k1}[\text{m}] + \Sigma A_{k2}[\text{m}]}{2} \cdot (\text{cskm}_1[\text{m}] - \text{cskm}_2[\text{m}]) [3]$$

ahol,

- ΣA_{k1} : az 1 számú szelvényben számított összegzett kereszttszelvény terület [m^2]
- ΣA_{k2} : a 2 számú szelvényben számított összegzett kereszttszelvény terület [m^2]
- cskm : csatorna kilométer szelvény és $\text{csk.sz}_1[\text{m}] > \text{csk.sz}_2[\text{m}]$

A domborzati jelleggörbe csak a megadott szelvények között értelmezett. A domborzati adatokat az 1990-es évekből származó $M=1:10.000$ méretarányú topográfiai térképszelvények szintvonalainak digitalizálásával állítottam elő. A kimeneti adatállomány méretaránya azonos. AutoCAD 2012 Civil 3D program segítségével, a jobb értelmezhetőség kedvéért szintsávós térképet állítottam elő. Az így előállított térkép nem ad adatot a nedves szelvényekre. A felmérésből származó mederadatokat (kereszttszelvények; csatorna kilométer szelvényszámok), AutoCAD 2012 Civil 3D valamint HEC-RAS programokkal állítottam elő. A 2010-es felméréshez illeszkedő, valamint vízépités követelményeinek megfelelő stacionált nyomvonal törésponti koordinátáit kinyertem. Ezt követően HEC-RAS környezetben előállítottam a medergeometriát. Az egyes betáplált szelvények sűrűsége nem megfelelő medermodell előállításához, ezért új szelvényeket interpoláltam be. Az így kiosztott kereszttszelvényeket elfogadhatjuk georeferált szelvényekként, így a program a rajzi koordinátákat rendeli hozzá a kereszttszelvényekhez (ezeket a lépéseket a program automatikusan elvégzi). A feladatrész végeztével a file-t mentettem. A project mappájában elmentett **FTCS.g04** file őrzi a medergeometria adatait. A file-ből Visual Basic 6.0 alatt Dr. Gálai Antal segítségével megírt programmal nyertem ki az adatokat PKÉZ_tab.txt formátumban, (ahol: P=Pontszám; K=Kelet;

É=Észak; Z=m.Bf.; tab=tabulátorral elválasztott). A file pontcsoportként behívható AutoCAD 2012 Civil 3D programban. A program Pszeudokódja a következő:

```

Do
    Do
        Loop Until Line Input = "Type RM Length L Ch R = 1"

        s = Input(Len("XS GIS Cut Line="), 1)
        Input #1, n

        Line Input #1, s
        X1 = Mid(s, 1,...): Y1 = Mid(s,...)
        For I = 3 To n Step 2
            Line Input #1, s
        Next
        X2 = Mid(s, ...): Y2 = Mid(s, ...)

        Line Input #1, NodeLastEditedTime

        Input #1, n
        ReDim l(1 To n), z(1 To n), X(1 To n), Y(1 To n)
        For I = 1 To n
            Input #1, l(I), z(I)
        Next I

        X1 = Val(X1): Y1 = Val(Y1): X2 = Val(X2): Y2 = Val(Y2)
        DL = l(n) - l(1)
        DX = X2 - X1
        DY = Y2 - Y1

        For I = 1 To n
            X(I) = X1 + (l(I) - l(1)) * DX / DL
            Y(I) = Y1 + (l(I) - l(1)) * DY / DL
            u = u + 1
            Print #2, u; vbTab; X(I); vbTab; Y(I); vbTab; z(I)
        Next I

```

A térképen ábrázoltam a csatorna stacionált középvezetét, valamint a lehetséges elzárási szelvényeket [3] – *rajzi melléklet*. A tervlap továbbá tartalmazza az elzárási szelvényekhez tartozó tározóterek domborzati jelleggörbéit, és a szerkesztéshez felhasznált keresztselektiókat [mivel nem a tározótér szerkesztett domborzati modelljének szintvonalai révén állítottam elő a domborzati jelleggörbéket].

Az általam javasolt medertározásra berendezett szakaszok **(A) változat: 44+500-37+850** és **(B) változat 44+500-36+850** domborzati jelleggörbéje: [4-5] – *rajzi mellékleteken* látható.

Az egyes változatoknál javasolt tározási (I-III.) szintek megkövetelhetnek további földmunkákat ezek megadására a korábban készült geodéziai felmérésből származó hossz-szelvényt vettem alapul. A (B) változat biztonságos üzeméhez szükséges kiépíteni a magassági hiánynak megfelelően a meglévő depóniákat a csatorna folyásirány szerinti jobb partján 85,80 m.Bf. tározási szinthez 37+850-36+850 közötti, 1000 m hosszú, valamint 42+860-42+822 38 m hosszú szakaszokon, a ball parton 37+850-36+850 1000 m hosszú szakaszon. A (A) változat esetében mindössze a jobb parton a 42+860-42+822 38 m hosszú szakaszon a magassági hiánynak megfelelő depóniát. További földmunkák nélkül megvalósítható a jelenlegi maximális üzemvízszint tartása (84,62 m.Bf. szint, Baja 365 cm). Amennyiben a csatorna üzemrendjében meghatározott maximális üzemvízszint tartása a cél akkor az önálló műtárgy lehetséges helyének a

36+850 szelvényt kell kijelölni ugyanis így érhetjük el a megépített vízszinttartó műtárggyal az adott szinthez tartozó legkedvezőbb vízviszátartást.

Az így kiépített szinthez tartozó vízmennyiség nem enged nagy mozgásteret a Ferenc tápcsatorna vízjárásának kiegyenlítésére. Így ez a megoldás elsősorban a makrofiton vegetáció vizsgálata során feltárt (Mátrai 2011) harmatkása „dugók” [így a potenciális vízminőség romlás egyik forrása szüntethető meg a felső szakaszon] képződésének meggátolásában játszhat szerepet, amennyiben a vegetációs időszakban biztosítható a csatorna érintett szakaszainak folyamatos vízszinttartása a helyes műtárgykezeléssel.

A javasolt műtárgy ebben az esetben nyíltzsilip, mivel, a folyamatos minimum $0,3 \text{ [m}^3/\text{s]}$ vízhozam átengedése egyezményben kötött a zsilip sosem kerül teljesen lezárt állapotba, a megfelelő átvilágítás és vízhozam biztosításával a nyílt zsilip koncepciója önmagában alkalmas a csatorna folytonosságának megőrzésére. Magasabb üzemvízszint tartásával szükségessé válhat hallépcső kialakítása. Technikai kaszkádos hallépcsőt javasolok, amin keresztül biztosítható a folyamatos minimum $0,3 \text{ [m}^3/\text{s]}$ vízszállítás, szakirodalomban ennél magasabb érték $1/10$ -e a zsilip vízhozamának javasolt.

4. Párolgási veszteségek számítása

A Ferenc tápcsatorna környezetére jellemző párolgási veszteségeket szakirodalom alapján határoztam meg. A szerkesztéshez kiindulási adatként az 1952-56 évi „Komlós Imre” kísérleti telepen végzett 5 éves kád párolgási adatok használatával szerkesztett térképeket használtam. A párolgási adatokat a gyakorlatban legalkalmasabbnak ítélt A. F. Meyertől származó képlet segítségével a levegő hőmérsékletének, páratartalmának és a szél sebességének törzs értékeire vonatkoztatva az ország mintegy 30 állomására átszámították a VITUKI szakemberei [23 – 24] – *ábra* (Puskás 1958).

Több szakirodalmi adatot is találtam a Ferenc tápcsatorna szabadvízfelületének veszteségszámítási feladatának elvégzésére. A térképes segédletek a mérések időtartamának növekedésével Magyarország területére magasabb párolgási értékeket adnak, mint az eredeti 52-56-ig terjedő mérések adataiból szerkesztett térkép. Az eredeti térképhez tartozó adatok alapján az Alföld Déli részén a várható átlagos éves párolgás mértékét az (a)-jelű izovonalas [23] – *ábra* térképről a Ferenc-tápcsatorna felületére vonatkozóan 700 mm/év -ben lehet meghatározni, ehhez képest más szakirodalmi forrás nagyobb 850 mm/éves értéket ad (Szesztay 1978). A biztonság javára történő számítás érdekében az utóbbival számítottam a veszteségek értékét.

Az egyes hónapok, illetve az évnél rövidebb időszakok párolgási veszteségeinek meghatározását a javasolt arányszámok használatával végeztem. A vonatkozó adatokat a [12] – *táblázat* foglalja össze.

A jellemző szélsőértékek megadását ugyancsak statisztikai számítások alapján adták meg minimum illetve maximum értékekre 5, 10; és 20 évenkénti ismétlődéssel. Az év; félév; hónap tekintetében a sokévi átlag, tehát az izovonalas térképről leolvasott érték százalékában kerülnek közreadásra a [14] – *táblázatban*. Ugyanígy alapon a Ferenc-tápcsatorna környezetének átlagos éves területi párolgását a (b)-jelű izovonalas térképről [24] – *ábra* leolvasva $575\text{--}525 \text{ mm/év}$ -ben lehet meghatározni. Szélsőértékeit havi eloszlását ugyanezzel az eljárással számíthatjuk.

A párolgás évi átlagos eloszlása a sokévi átlag százalékában

Hónapok												Téli	Nyári	Év
												félév		
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	
1.0	1.5	3.6	8.0	14.0	17.0	20.0	16.0	11.0	5.4	1.5	1.0	16.6	83.4	100.0

[14] – *táblázat*

Szabad vízfelület párolgás

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
8.5	12.8	30.6	68.0	119.0	144.5	170.0	136.0	93.5	45.9	12.8	8.5	141.1	708.9	850.0

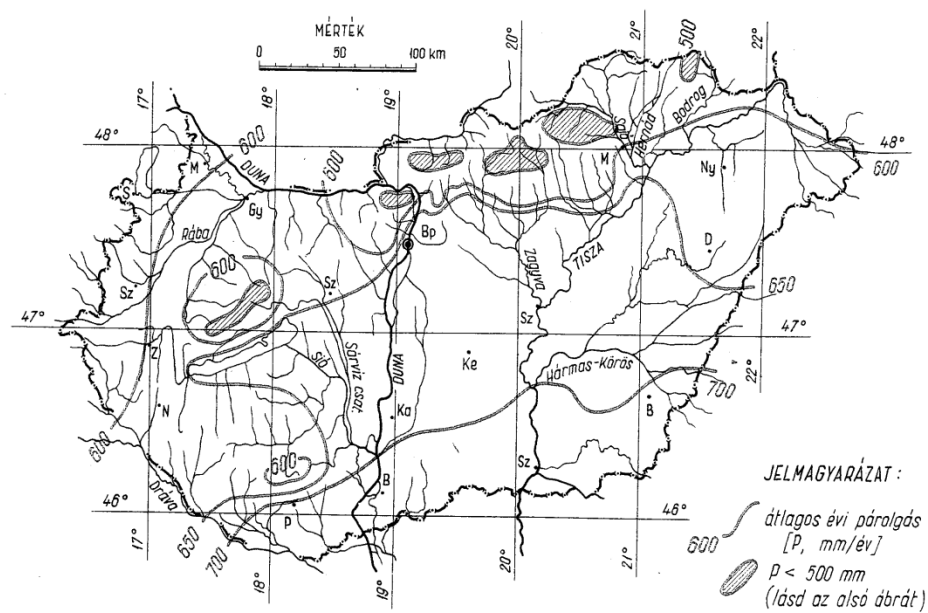
[15] – táblázat

Területi párolgás

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5.5	8.3	19.8	44.0	77.0	93.5	110.0	88.0	60.5	29.7	8.3	5.5	91.3	458.7	550.0

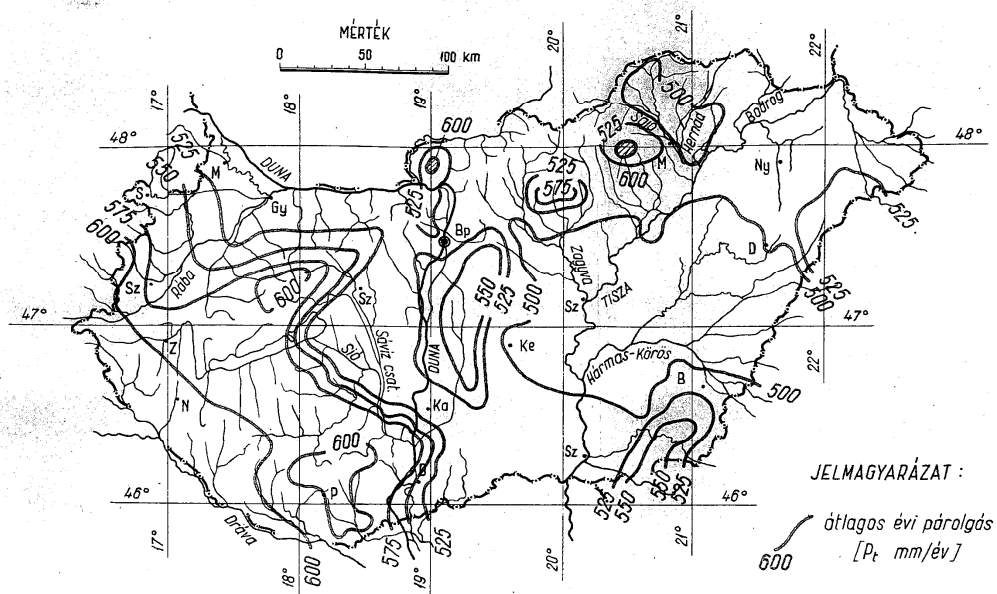
[16] – táblázat

⊙ TÁROZÓMEDENCEK ÁTLAGOS ÉVI PÁROLGÁSA, p [mm/év]
 (NAGYOBB VIDÉKEK ÁTLAGOS VISZONYAIT KIFEJEZŐ KÖZELÍTŐ ÉRTÉKEK)



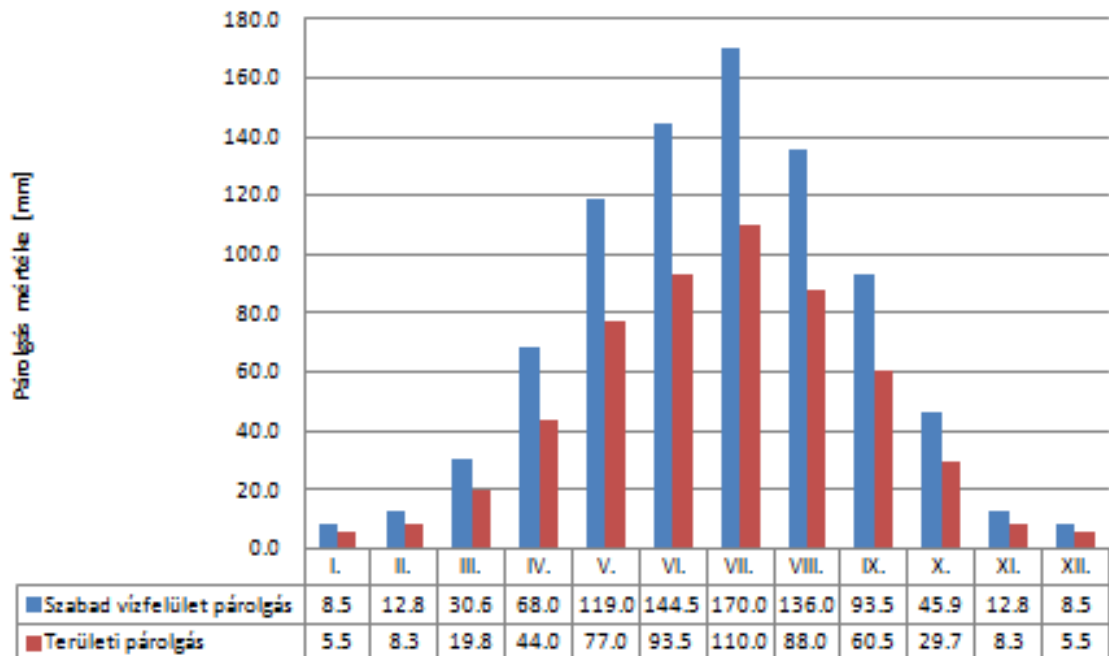
[23] – ábra

⊙ A FÖLD-FELSZÍN ÁTLAGOS ÉVI TERMÉSZETES PÁROLGÁSA (TERÜLETI PÁROLGÁS), P_t [mm/év]
 (KÖZELÍTŐ ÉRTÉKEK)



[24] – ábra

A párolgás számítás eredményeit oszlop diagramon ábrázoltam, az átlagos éves párolgás havi eloszlását mind a szabad vízfelszínre, mind pedig a környező területre vonatkozóan megadtam. Hasonló elrendezéssel a szélsőértékeket is ábrázoltam [26 – 27] – *ábrákon*. a párolgási értékek ilyen módon történő ábrázolása lehetővé teszi, hogy a vízháztartási egyenletben együtt kezeljem a többi veszteség és bevétel értékével.



[25] – ábra

A párolgás változékonysága

Az időszak hossza	20	10	5	5	10	20
	évenkénti ismétlődés					
	Maximum			Minimum		
	a sokévi átlag százalékában					
Hónapok	155	138	120	83	75	68
Félévek	138	124	114	88	82	74
Év	132	120	111	91	85	80

[17] – táblázat

Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{max,5\%}}$

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I.-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
10.2	15.3	36.7	81.6	142.8	173.4	204.0	163.2	112.2	55.1	15.3	10.2	160.9	808.1	943.5

[18] – táblázat

Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{max,10\%}}$

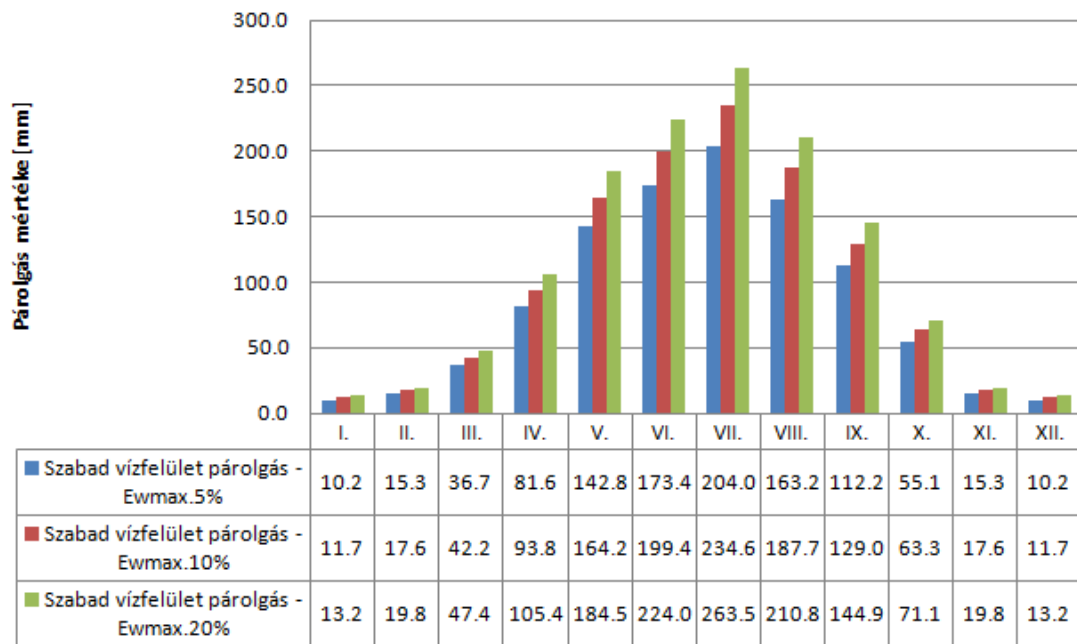
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I.-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
11.7	17.6	42.2	93.8	164.2	199.4	234.6	187.7	129.0	63.3	17.6	11.7	175.0	879.0	1020.0

[19] – táblázat

Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{max,20\%}}$

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I.-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
13.2	19.8	47.4	105.4	184.5	224.0	263.5	210.8	144.9	71.1	19.8	13.2	194.7	978.3	1122.0

[20] – táblázat



[26] – ábra

Szabad vízfelület párolgás - $E_{wmin.5\%}$

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I.-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
7.1	10.6	25.4	56.4	98.8	119.9	141.1	112.9	77.6	38.1	10.6	7.1	124.2	623.8	773.5

[21] – táblázat

Szabad vízfelület párolgás - $E_{wmin.10\%}$

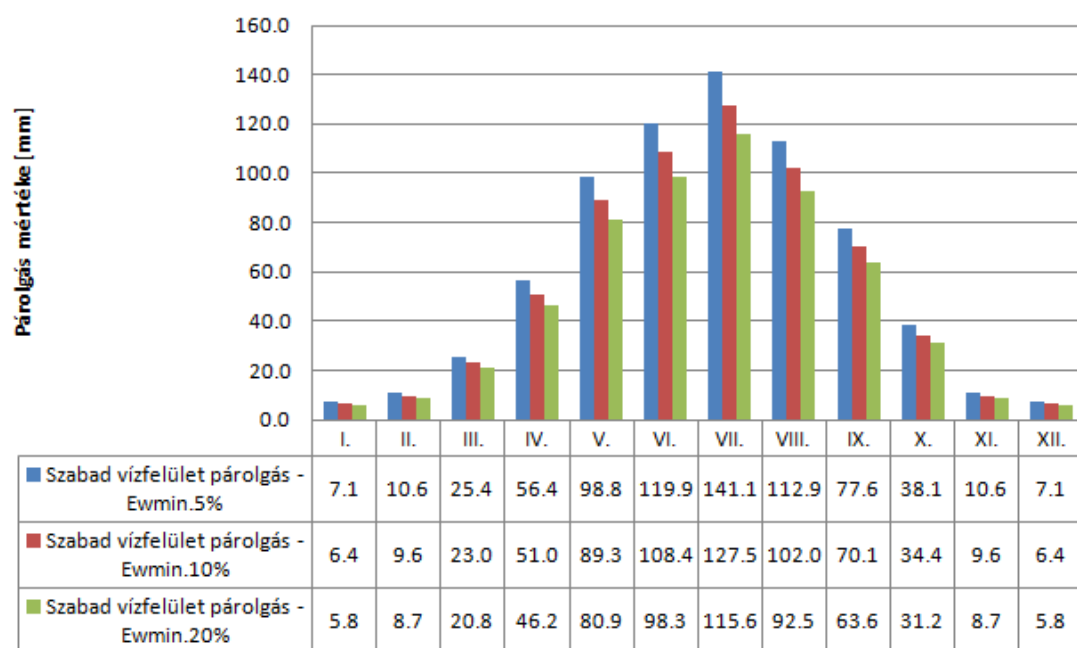
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I.-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
6.4	9.6	23.0	51.0	89.3	108.4	127.5	102.0	70.1	34.4	9.6	6.4	115.7	581.3	722.5

[22] – táblázat

Szabad vízfelület párolgás - $E_{wmin.20\%}$

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XI-IV.	V-X.	I.-XII.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5.8	8.7	20.8	46.2	80.9	98.3	115.6	92.5	63.6	31.2	8.7	5.8	104.4	524.6	680.0

[23] – táblázat



[27] – ábra

Hasznos lehet az utóbbi néhány év a párolgási veszteségeinek számítása a Meyer képlet [4] segítségével, ezzel az eljárással számítani tudjuk a területen elérhető meteorológiai állomások mérési adatai alapján a párolgás havi átlagos értékét. A számításhoz a Baja meteorológiai állomás online adatait használtam fel. A Meyer képlet egyszerűsített változata (Pálné 2007) [5] és az eredeti képlet (Kiss 2014) [4] között a levegő és vízhőmérséklet számításában van a különbség. Ugyanis amíg az eredeti képlet is a léghőmérséklet alapján határozza meg a vízhőmérsékletet és a felette kialakuló párafelvevő közeg (E) telítettségi nedvességtartalmát, az eredeti képletben a vízhőmérséklet a IV.-ik hónaptól kezdődően elválík a léghőmérséklettől és értékét Δt értékkel növelni kell, értéke valamelyest nagyobb, mint az azonos hónap levegőhőmérsékletének átlagos értéke. Az V-IX. hónapok átlaghőmérsékletéhez mérten az eltérés 3-4 ° C körüli egyenletes többletet ad. Újra csak a X. hónapban tér vissza a léghőmérséklet értékéhez. Az áprilisi vízhőmérséklet értékéhez a Február – Márciusi vízhőmérséklet súlyozott átlagát kell meghatároznunk [6], az eljárást részletesen (Szesztay 1978) ismerteti.

$$E_w = a \cdot (P_{e,max} - P_e) \cdot (1 + b \cdot u) = a \cdot (E(t') - e) \cdot (1 + b \cdot u) \quad [4]$$

ahol,

- E_w : az egységnyi vízfelületről adott idő alatti tényleges evaporáció [mm]
- $P_{e,max}$: a vízfelszín átlagos hőmérsékletéhez tartozó telítettségi párányomás [Pa]
- P_e : a vízfelszínre ható párányomás [Pa]
- E : a vízhőmérsékletéhez tartozó terítettségi páratartalom [g/m^3] mértékegységben kifejezve
- e : abszolút nedvességtartalom [g/m^3]
- u : szélesség [m/s]
- a és b : tapasztalati állandók, értékük függ attól, hogy P_e , u értékeit a felszíntől milyen magasságban mérik.

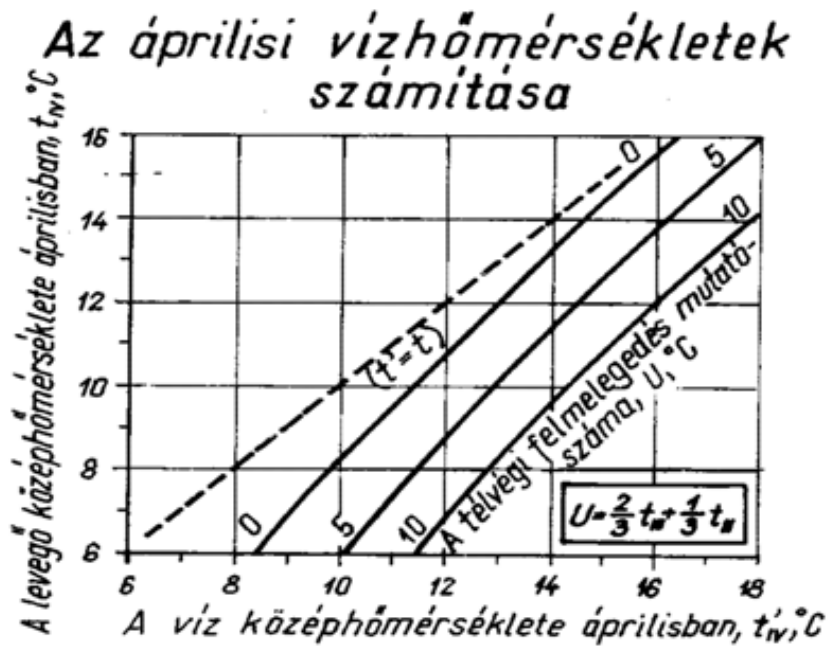
$$E_w = a \cdot D \cdot (1 + b \cdot u) \quad [5]$$

ahol,

- E_w : az egységnyi vízfelületről adott idő alatti tényleges evaporáció [mm]
- D : a léghőmérséklet alapján előálló telítettségi hiány [g/m^3]
- u : szélesség havi középértéke [m/s]
- a : diffúz párolgás tényezője értéke 0,39 napra vonatkoztatva, 11 hónapra vonatkoztatva.
- b : a szél okozta párolgás tényezője értéke 0,31 napra vonatkoztatva, 0,2 hónapra vonatkoztatva

$$U = \frac{2}{3} \cdot t_{\text{március}} + \frac{1}{3} \cdot t_{\text{február}} \quad [6]$$

Alapvetően az egyszerűsített képlet úgy számol, mintha a súlyozás eredményeként meghatározott U érték kevesebb, mint 0 [28] – ábra, ekkor ugyanis a számításnál a léghőmérséklet középértékét használjuk fel a vízhőmérséklet értékének közelítéseként. Az ezt követő hónapok esetében Δt értékét kell képeznünk majd ezt az értéket egy segéd nomogram [29] – ábra y – tengelyéről a következő hónap görbájére kell rávetítenünk, majd a metszéspontot x tengelyre levetíteni, ahol megkapjuk $\Delta t'$ értékét, ezt az értéket kell hozzárendelnünk az előző havi középhőmérséklet értékéhez (víz) (Szesztay 1987).

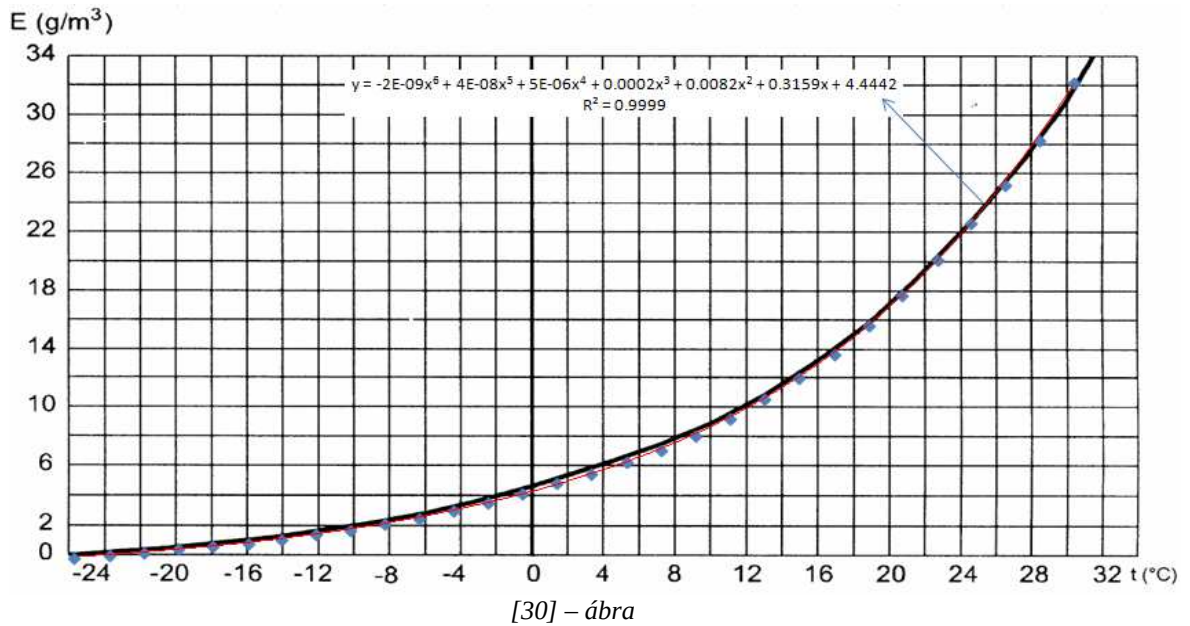


[28] – ábra



[29] – ábra

Miután a vízhőmérséklet értékét meghatároztuk, számítani tudjuk a telítettségi nedvességtartalom értékét. a telítettségi nedvességtartalom a léghőmérséklettel arányos felső páratartalom értékét adja meg. E értéket diagramról [28] – ábra olvashatjuk le, értéke $[\text{g}/\text{m}^3]$ dimenzióban van megadva. Az egyszerűsítésben a már említett lépést kihagytam, a víz és levegő havi középhőmérsékletét egymástól nem elválló értékeként kezeltem.



Ahhoz, hogy a számítás minden elemét gyorsan táblázatkezelő program segítségével elvégezhessem, a mellékelt ábra szerint hatod rendű polinomot illesztettem a görbére, az illeszkedés pontossága $R^2=0,9999$. Az összehasonlító [18] táblázat adatai alapján a polinom hibája 3% alatt van. A polinom egyenletét használva a középhőmérséklet értékéből meg tudom határozni a hőmérséklethez tartozó telítettségi páratartalom értékét.

Telítettségi nedvességtartalom polinom illeszkedése

t (°C)	E (g/m³)	E _{számított}	Δ [%]
-14.06	1.26	1.25	0.98
-12.03	1.61	1.58	1.66
-10.08	1.96	1.94	1.14
-8.09	2.33	2.34	-0.49
-6.08	2.72	2.79	-2.45
-4.10	3.27	3.27	-0.06
-2.15	3.81	3.80	0.16
-0.15	4.45	4.40	1.18
1.86	5.16	5.06	1.97
3.83	5.86	5.79	1.16
5.85	6.65	6.62	0.40
7.83	7.47	7.53	-0.81
9.83	8.46	8.57	-1.37
11.85	9.66	9.77	-1.12
13.79	11.01	11.05	-0.40
15.80	12.48	12.56	-0.63
17.83	14.18	14.26	-0.60
19.83	16.13	16.15	-0.07
21.77	18.27	18.19	0.47
23.79	20.68	20.54	0.66
25.74	23.24	23.05	0.79
27.69	25.94	25.79	0.60
29.68	29.04	28.81	0.80
31.67	32.99	32.08	2.76

[24] – táblázat

A telítettségi hiány D, a telítettségi nedvességtartalom és az abszolút nedvességtartalom különbsége, mértékegysége [g/m³]. Képlete [7] (Pálné 2007):

$$D = E - e [7]$$

A telítettségi nedvességtartalom értékét a diagramról határoztuk meg abszolút nedvességtartalom e az 1 m^3 levegőben lévő vízmennyiség grammokban kifejezve, mértekegysége $[\text{g}/\text{m}^3]$. Értékének meghatározásához az August-féle száraz-nedves hőmérőt használjuk. Képlete [8] (Pálné Schreiner Judit 2007):

$$e = E_n - 0,6 \cdot (t_{sz} - t_n) \text{ [8]}$$

Az E , e értékek a léghőmérséklet és a relatív páratartalom ismeretében is meghatározhatóak. a relatív páratartalom R a levegő pillanatnyi állapotát kifejező mutató. Az abszolút nedvességtartalom és a terítettségi nedvességtartalom hányadosa százalékban kifejezve [9]. Az emberi szervezet számára kedvező érték $R=40-50 \text{ [%]}$ közötti tartományba esik (Pálné 2007).

$$R = \frac{e}{E} \cdot 100 \text{ [9]}$$

Mivel E a léghőmérséklet függvényében ismert, ezért e értéke a következő átalakítással számítható [10]:

$$e = \frac{R}{100} \cdot E \text{ [10]}$$

A fentebb ismertetett levezetést használva számítottam a 2009-2012- évek havi párolgási értékeit Baja térségére. Itt kell megemlítenem, hogy a városklíma hatás miatt a városi terület hőmérséklete néhány fokkal magasabb, mint a külterületeké, így a számított értékek jelentős biztonsággal rendelkeznek. Az évek párolgási veszteségösszegeit [20] – táblázat és havi veszteségeit [19] táblázatban közlöm, az eredményekről külön és összegző diagramokat [29-33] is készítettem.

A 2009.01-2012.12 időszak havi párolgás: [mm]

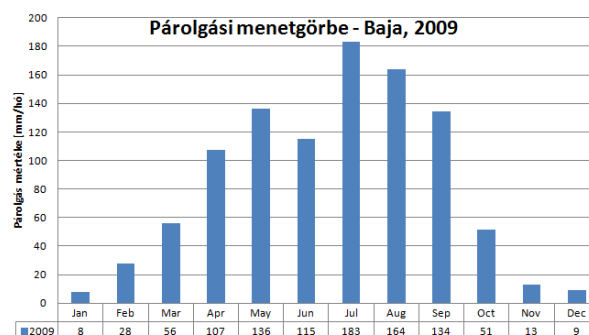
év:	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2009	8	28	56	107	136	115	183	164	134	51	13	9
2010	5	10	40	49	67	76	102	71	29	22	16	10
2011	10	14	37	87	98	116	118	136	111	46	10	14
2012			86	86	105	126	224	191	79	25		

[25] – táblázat

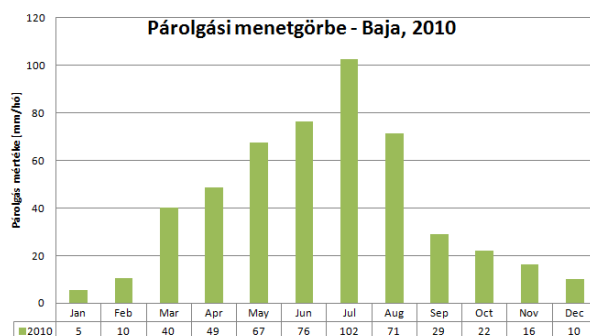
ΣE_w [mm]:

2009 év	1005.26
2010 év	498.74
2011 év	798.37
2012 év	920.69

[26] – táblázat

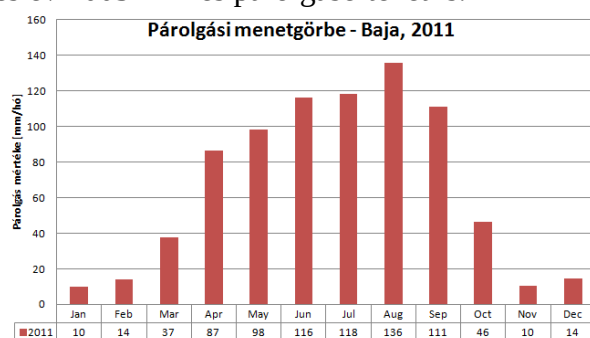


[31] – ábra

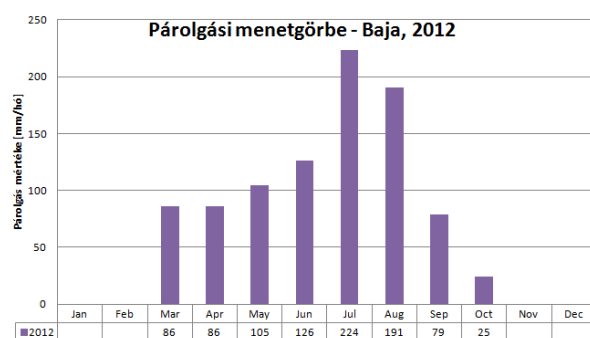


[32] – ábra

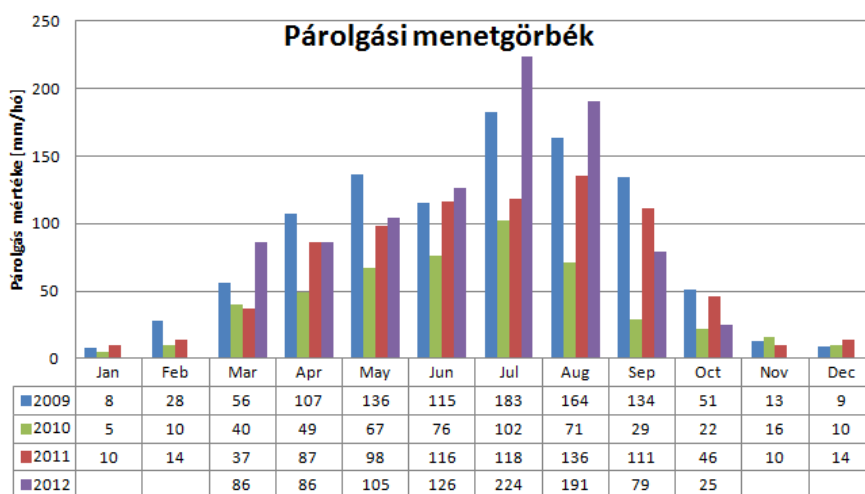
A 2012 évi meteorológiai adatsor hiányos, Január; Február; November; December hónapok adataival nem rendelkezem. Ugyanakkor a 4 hiányzó hónap adatai ellenére is 920 mm-es éves párolgást számítottam, vélhetően a 2012-es év párolgásösszege megelőzheti a 2009-es év 1005 mm-es párolgásértékét is.



[33] – ábra



[34] – ábra



[35] – ábra

A párolgási veszteségek, számított és térképről levett értékei alapján a párolgási veszteségek jelentősek. A kijelölt tározó tófelszínre vetítve (A) mederelzárási szelvényre 37+850 a következőképpen állnak elő a veszteségek millió m³ értékben megadva: [27-28] – táblázat.

A 37+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves párolgási veszteségek havi eloszlása

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ív.	-0.005	-0.008	-0.018	-0.041	-0.072	-0.087	-0.103	-0.082	-0.057	-0.028	-0.008	-0.005
mv	-0.005	-0.008	-0.020	-0.044	-0.076	-0.092	-0.109	-0.087	-0.060	-0.029	-0.008	-0.005
I.	-0.006	-0.009	-0.023	-0.050	-0.088	-0.107	-0.126	-0.101	-0.069	-0.034	-0.009	-0.006
II.	-0.007	-0.010	-0.025	-0.056	-0.098	-0.119	-0.140	-0.112	-0.077	-0.038	-0.010	-0.007
III.	-0.008	-0.012	-0.028	-0.063	-0.110	-0.134	-0.157	-0.126	-0.086	-0.042	-0.012	-0.008

[27] – táblázat

A 37+850 szelvényben várható párolgási veszteség

Normál üzemvízszint: 84,32 m.Bf.	-0.42
Maximális üzemvízszint: 84,62 m.Bf.	-0.45
I. tározási szint: 85,30 m.Bf.	-0.52
II. tározási szint: 85,80 m.Bf.	-0.57
III. tározási szint: 86,30 m.Bf.	-0.65

[28] – táblázat

A kijelölt tározó tófelszínre vetítve (B) mederelzárási szelvényre 36+850 a következőképpen állnak elő a veszteségek millió m³ értékben megadva: [29-30] – táblázat.

A 36+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves párolgási veszteségek havi eloszlása

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ív.	-0.005	-0.008	-0.020	-0.044	-0.076	-0.093	-0.109	-0.087	-0.060	-0.029	-0.008	-0.005
mv	-0.006	-0.009	-0.021	-0.046	-0.081	-0.098	-0.116	-0.093	-0.064	-0.031	-0.009	-0.006
I.	-0.007	-0.010	-0.024	-0.054	-0.094	-0.114	-0.135	-0.108	-0.074	-0.036	-0.010	-0.007
II.	-0.008	-0.011	-0.027	-0.060	-0.105	-0.128	-0.151	-0.121	-0.083	-0.041	-0.011	-0.008
III.	-0.009	-0.013	-0.031	-0.068	-0.120	-0.145	-0.171	-0.137	-0.094	-0.046	-0.013	-0.009

[29] – táblázat

A 36+850 szelvényben várható párolgási veszteség

Normál üzemvízszint: 84,32 m.Bf.	-0.45
Maximális üzemvízszint: 84,62 m.Bf.	-0.48
I. tározási szint: 85,30 m.Bf.	-0.55
II. tározási szint: 85,80 m.Bf.	-0.62
III. tározási szint: 86,30 m.Bf.	-0.70

[30] – táblázat

5.Szivárgási veszteségek számítása

A csatorna medertározásra kijelölt szakaszának szivárgási veszteségeit, a műtárgy alatt átszivárgó vízmennyiségek, valamint a csatorna permanens szabadfelszínű függőleges irányú elszivárgó víz mennyisége alkotja. Ez utóbbi számításánál az alkalmazott eljárás alapfeltétele a végtelen mélységig terjedő szabad – talajvíz által nem befolyásolt, vissza nem duzzasztott – szivárgás jelensége. (Kovács 1972). Amennyiben ez az állapot előáll úgy a lehetséges szivárgási értékek becsült maximumát kapjuk. A műtárgy alatt elszivárgó víz mennyiségét a műtárgyra ható hidraulikai erőhatások meghatározásánál részletezem. A kétféle szivárgás közül nem elhanyagolható vízvesztesség a tározótérből az altalaj irányába elszivárgó víz mennyisége, ami ugyanakkor a tározási szintfelületre is kivetíthető értéket képez. A számításhoz (Kovács 1972) Verigin nyomán levezetett eljárását használtam. Mivel nem ált rendelkezésemre rétegszelvény a csatorna altalajáról így annak tulajdonságai esetében jelentős egyszerűsítésekkel éltem. Feltételeztem, hogy a rétegek anyaga nem túl változatos, és helyzetük nem nagyon za-

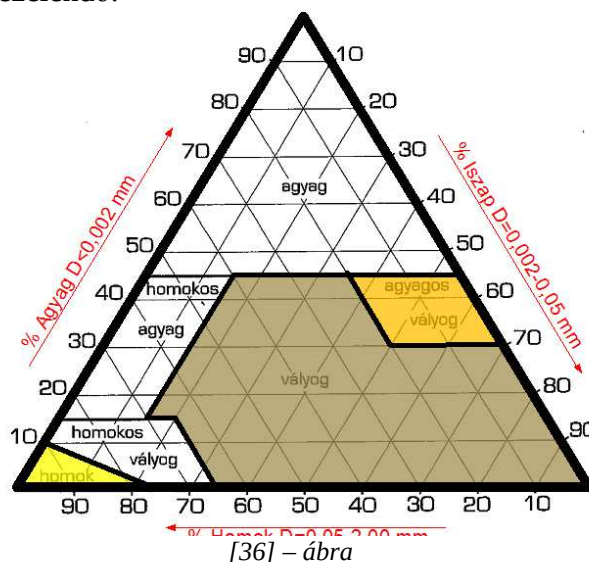
vart, tehát a szivárgási áramvonalak és úthosszak az egyes szerkezeti viszonyok a rétegek térbeli elhelyezkedése, kiékelődése, különböző távolságokban történő felszínre bukása, más vízvezető réteghez való csatlakozása stb., nem jelentkezik, maga az altalaj pedig így homogénnek tekinthető. A probléma megoldására több lehetséges módszert használhatunk, ezeknek ugyanazon elvi alapon nyugszanak. Rétegszelvény, a talajokra jellemző szemeloszlási görbék ismerete hiányában a csatorna altalaját a fizikai talajféleségekről tájékoztató $M=1:100.000$ léptékhelyes térképről vettem fel [6 – *rajzi melléklet*], az érintett terület talajféleségére nézve az így felvett fizikai talajféleséget érvényesnek tekintettem.

Gyakorlati célokra (talajhasználat, talajművelés, agrotechnika, öntözés, drénezés stb.) többnyire nincs is szükség a különböző méretű elemi szemcsék (ill. szemcseméret kategóriák) pontos százalékos arányának ismeretére, hanem elég a talaj fizikai féleségének meghatározása. Ez a talaj szerves- és ásványi alkotórészeinek méret szerinti arányát kifejező, a gyakorlatban jól használható jellemző.

5.1. Veszteségszámítási Módszer 1

Fizikai talajféleség meghatározása többek között a mechanikai összetétel alapján történhet. (Talajvédelem 2014) A mechanikai összetétel homok (0,05–2 mm), iszap (0,002–0,05 mm) és agyag (< 0,002 mm) frakciójának mennyisége alapján a [36 – *ábrán*] bemutatott háromszög-diagram segítségével a fizikai talajféleség kategóriák egyszerűen leolvashatóak. Esetünkben a [6 – *rajzi melléklet*] alapján az érintett mederszakaszokra három jellemző fizikai talajféleség osztályt tudunk elkülöníteni, ezek: **homok**; **vályog** és **agyagos vályog**. A Hazen féle mértékadó szemcsenagyság D_{10} meghatározásánál súlyozott átlagot veszek figyelembe, így a talajtípusra vonatkozó mértékadó szemcsemérettel számolhatok.

Amennyiben a mechanikai osztályba sorolásnál használt Homok; Iszap és Agyag frakció méretére vonatkozó $D_{\min} - D_{\max}$ értékeket elvi szemeloszlási görbéit egyenessel helyettesítem, úgy az egyes anyagok D_{10} értékét számítani tudom. A használt eljárás durva közelítésként kezelendő.



Az egyes fizikai talajtípusokra jellemző D_m és D_{10} értékeit a fizikai talajféleségek mechanikai osztályba sorolásához használt frakció eloszlási háromszög **homok**; **vályog** és **agyagos vályog** részeinek súlypontjában számolt értékeit használtam fel súlyszámnak $D_{m.sz}$ és D_{10} súlyozott átlagának meghatározására a már ismertett közelítés eredményeit [23] táblázat tartalmazza.

Szemcse tulajdonságok I.

Anyag	$D_{\min}-D_m-D_{\max}$ [mm]	$D_{1\%.sz}$ [mm]	$D_{m.sz}$ [mm]	$D_{10.sz}$ [mm]
Homok	0,05-x-2,00	0,0195	0,975	0,195
Iszap	0,002-x-0,05	0,00048	0,024	0,0048
Agyag	x-0,0003-0,002	0,00034	0,0003	0,0034

[31] táblázat

A Ferenc csatorna környezetére jellemző vályog és agyagos vályog talajokra többnyire a finomszemcsés, földes tömegekben előforduló fontos közetalkotó montmorillonit agyagásvány jelenléte jellemző. A veszteségszámításhoz, a fizikai talajféleségek jellemző tulajdonságait használtam fel. A megadott képleteknél h_k kapillaris szívás értékét a (Koženy 1953 idézte Kovács 1972) féle hatékony szemcseméret D_h értékeit szakirodalomból vett adatok alapján állítottam elő.

$$D_h = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta S_i}{D_i}} \quad [11]$$

ahol,

- D : i -edik szemcsetartományt jellemző közepes átmérő
- S : i -edik tartományra eső szemcsék súlya

Mivel alapvetően a mechanikai tulajdonságok szerinti osztályozás és a fizikai talajféleség osztályozása eltér, ezért az így felvett talajtípusoknál az azok osztályba sorolásához használt háromszögdiagram frakciók szerinti arányszámait vettem súlyszámmak a hatékony szemcseméret becsléséhez.

A hatékony szemcseméret D_h [12] meghatározásának több lehetséges módja van (Talajgazdálkodás 2014), így az általános szemcsékre vonatkozó fajlagos felület S_v , valamint a talajalkotó ásványok sűrűségének ρ_S ismeretében is meghatározható:

$$D_h = \frac{6}{S_v \cdot \rho_S} \quad [12]$$

ahol,

- S_v : fajlagos felület [g/m^2]
- ρ_S : talajalkotó ásványok sűrűsége [g/m^3]

A gyakorlati tapasztalatok alapján D_h értékét jól közelítő $S=10\%$ -hoz tartozó szemcseátmérővel D_{10} értékkel helyettesítem. A szakirodalomban fellelhető $D_m \approx D_{50}$ (D_m a szemeloszlási görbe inflexiós pontja) és a szemcse alaki tényező értékeit a [24] táblázat foglalja össze.

Szemcse tulajdonságok II.

Talaj szemcse megnevezése	D_m [mm]	α [-]	S_v [g/m^2]	ρ_S [kg/m^3]
kavics	10	10	0.0004	2.5
homok	1	8	0.003	2.67
iszap	0.005	10	0.75	2.67
agyag (kaolinit)	0.0008	50	23	2.72
agyag (montmorillonit)*	0.0003	90	109	2.75

[32] táblázat

Az egyes fizikai talajtípusokra jellemző D_m és D_{10} értékeit a fizikai talajféleségek mechanikai osztályba sorolásához használt frakció eloszlási háromszög ábra **homok**; **vályog** és **agyagos vályog** részeinek súlypontjában számolt értékeit használtam fel súlyszámmak $D_{m.sz}$ és $D_{10.sz}$ súlyozott átlagának meghatározására a már ismertett közélet eredményeit [25] táblázat tartalmazza.

Fizikai talajféleségekre jellemző felvett súlyszázalékok, számított D_m és D_{10} értékek

Fizikai talajféleség	homok [%]	iszap [%]	agyag [%]	$D_{m.sz}$ [mm]	$D_{10.sz}$ [mm]
Homok	90	5	5	0,878	0,175
Vályog	30	50	20	0,305	0,062
Agyagos Vályog	10	55	35	0.111	0.023

[33] táblázat

A hatékony szemcseméret, valamint α alaki tényező ismeretében a helyettesítő fizikai modell kapilláris eloszlását számolni tudjuk. Meghatározhatjuk a helyettesítő csököteg $d_{c.0}$ átlagos csőátmérőjét [13]; $d_{c.1}$ maximális pórusméret [14]; $d_{c.2}$ minimális pórusméret értékeit [15]. Ezek értékét homokra a szakirodalomban megadott vegyes szemű halmazok a hatékony szemcseméret D_{10} függvényében változó hézagterfogot [n] közeleső értékét adtam meg, **vályog**, valamint **agyagos vályog** fizikai talajféleségekre a (Vízkárelhárítás HEFOP jegyzet 2014) jegyzet alapján adtam meg hézagterfogot [n] értékeket [26] táblázat. Az értékek közül a tömör hézagterfogot és az abból számított hézagtenyező ($e = \frac{n}{1-n}$) értékével számoltam.

Talajféleségekre jellemző hézagterfogot és hézagtenyező értékei

Anyag/Fizikai talajféleség	n [%]	n [-]	e [-]
Homok (Chardabellas 1964) alapján	35.5	0.355	0.5504
Vályog	40.0	0.400	0.6667
Agyagos Vályog	45.0	0.450	0.8182

[34] táblázat

$$d_{c.0} = \frac{n}{1-n} \cdot 4 \cdot \frac{D_h}{\alpha} = \frac{4 \cdot n}{1-n} \cdot \frac{D_{10}}{\alpha} = 4 \cdot e \cdot \frac{D_{10}}{\alpha} [13]$$

$$d_{c.1} = \frac{d_{c.0}}{1,5} [14]$$

$$d_{c.2} = 1,25 \cdot d_{c.0} [15]$$

A $d_{c.0}$; $d_{c.1}$; $d_{c.2}$ ismeretében számítani tudjuk a kapilláris szívás h_k átlagos maximális és minimális értékeit. a következőkben (Stakman 1966 idézte Kovács 1972) összefüggésének mm mértékegységre történő átalakított formáját használok, ami a gyakorlatban jó közelítéssel a $T=20[^\circ\text{C}]$ -os $\omega=0,075$ [N/mm] felületi feszültségű víz esetében érvényes.

$$h_k = \frac{30}{dc} [\text{mm}] [16]$$

A megadott képlet alapján $d_{c.0}$; $d_{c.1}$; $d_{c.2}$, valamint ezek függvényében a kapilláris szívás h_k értéke az egyes fizikai talajféleségek esetében a következőképpen alakul [27] táblázat, Hazen ismert képlete [17] alapján a szivárgási tényező k értéke számítható. (Lambe & Whitman 2008) eredményeit használtam C_H értékeinek közelítő magadásához [28] táblázat. A továbbiakban nem az így számított értékkel, hanem az ezzel az értékkel ellenőrzött szakirodalmi ajánlás (Laza szemcsés anyagok: IV. csoport $k=5 \cdot 10^{-4}$ [cm/s]; Köttöt anyagok: VI. csoport $k=5 \cdot 10^{-6}$ [cm/s]) szerinti k értékével számítottam tovább a szivárgási veszteség értékeit.

$$k = C_H \cdot D_{10}^2 [17]$$

Fizikai talajféleségekre jellemző helyettesítő kapilláris cső átmérői és kapilláris szívás értékei

Fizikai talajféleség	α becsült	$d_{c.0}$ [mm]	h_k [mm]	$d_{c.1}$ [mm]	h_{k1} [mm]	$d_{c.2}$ [mm]	h_{k2} [mm]
Homok	12.2	0.032	949	0.021	1424	0.039	759
Vályog	25.4	0.007	4608	0.004	6912	0.008	3686
Agyagos Vályog	37.8	0.002	15064	0.001	22597	0.002	12051

[35] táblázat

C_H közelítő értékei talaj frakciók szerint

Talaj	d_{10} [mm]	k [cm/s]	$C_H=k/d10^2$
Durva kavics	0,82	0,11	0,16
Homokos kavics	0,20	0,016	0,40
Apró kavics	0,30	0,0071	0,08
Iszapos kavics	0,06	0,00046	0,13
Durva homok	0,11	0,00011	0,01
Közepes homok	0,02	0,000029	0,07
Finom homok	0,03	0,0000096	0,01
Iszap	0,006	0,000015	0,42

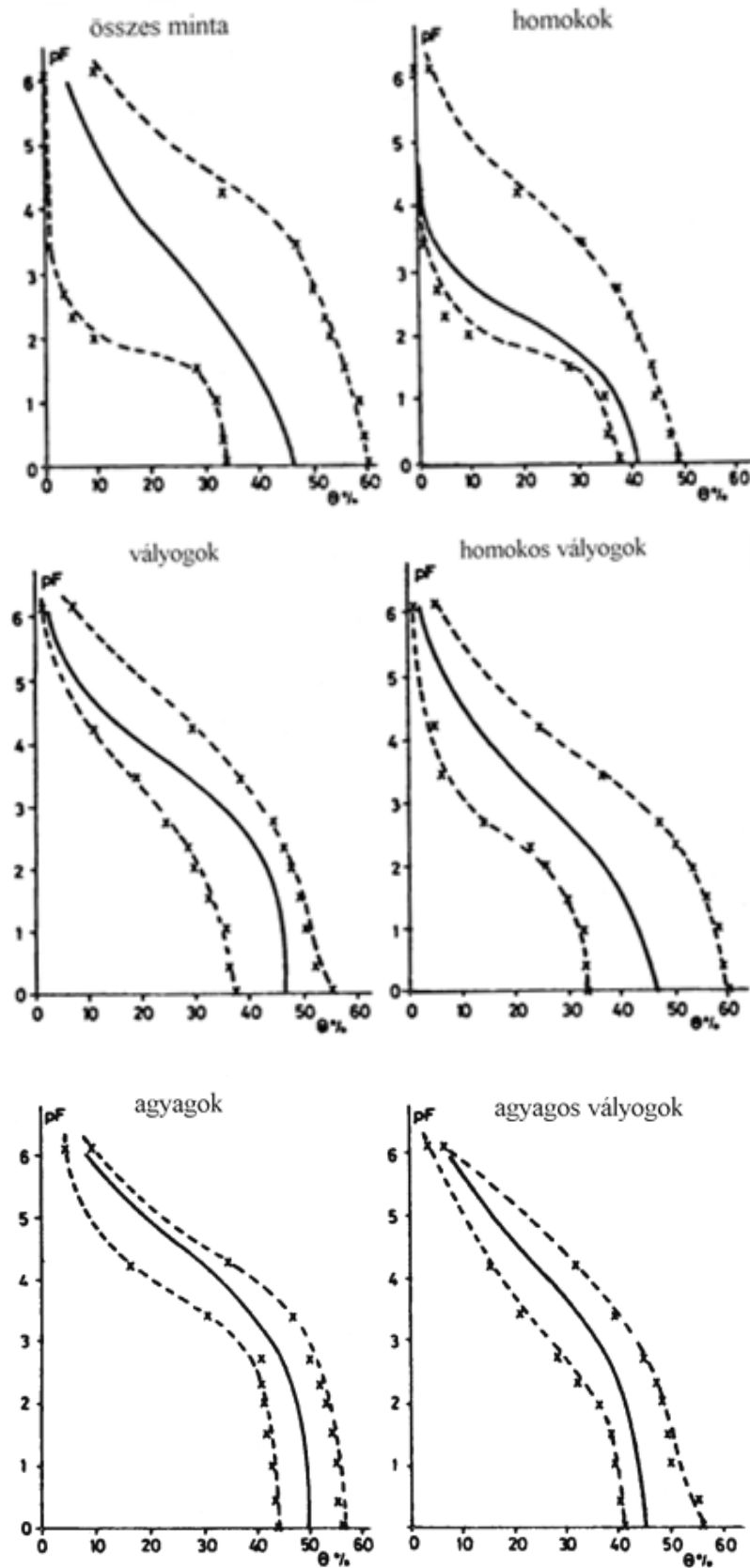
[36] táblázat

5.2. Veszteségszámítási Módszer 2

Várallyay és munkatársai 1979-ben a mezőgazdasági vízgazdálkodási beavatkozások országos és regionális talajtani megalapozására dolgozták ki kategória-rendszerüket és szerkesztették meg Magyarország talajainak vízgazdálkodási tulajdonságait ábrázoló 1:100 000 méretarányú térképet. Kategória-rendszerükben a talajokat vízgazdálkodási tulajdonságaik alapján kilenc kategóriába sorolták (Várallyay et al. 1979a):

1. Igen nagy víznyelésű és vízvezető képességű, gyenge vízraktározó képességű, igen gyengén víztartó talajok. Az első kategóriába tartoznak a **homoktalajok**, jele: (h).
2. Nagy víznyelésű és vízvezető képességű, közepes vízraktározó képességű, gyengén víztartó talajok. A második kategóriába tartoznak a homokos vályog talajok, jele: (hv).
3. Jó víznyelésű és vízvezető képességű, jó vízraktározó képességű, jó víztartó talajok. A harmadik kategóriába tartoznak a **vályog talajok**, jele: (v).
4. Közepes víznyelésű és vízvezető képességű, nagy vízraktározó képességű, jó víztartó talajok. A negyedik kategóriába tartoznak az **agyagos vályog talajok**, jele: (av).
5. Közepes víznyelésű, gyenge vízvezető képességű, nagy vízraktározó képességű, erősen víztartó talajok. Az ötödik kategóriába tartoznak az agyagtalajok, jele: (a).
6. Gyenge víznyelésű, igen gyenge vízvezető képességű, erősen víztartó, kedvezőtlen vízgazdálkodású talajok.
7. Igen gyenge víznyelésű, szélsőségesen gyenge vízvezető képességű, igen erősen víztartó, igen kedvezőtlen, extrémén szélsőséges vízgazdálkodású talajok.
8. Jó víznyelésű és vízvezető képességű, igen nagy vízraktározó és víztartó képességű talajok.
9. Sekély termőrétegűség miatt szélsőséges vízgazdálkodású talajok.

A kategóriák felállításához a kutatók több mint ezer talaj vizsgálatával elkészítették a teljes mintasort és Magyarország legfontosabb fizikai talajféleségeit jellemző pF görbéire vonatkozó adatanyagot (szórási sáv, átlaggörbe) [37] – ábrán. (Várallyay et al. 1979b).



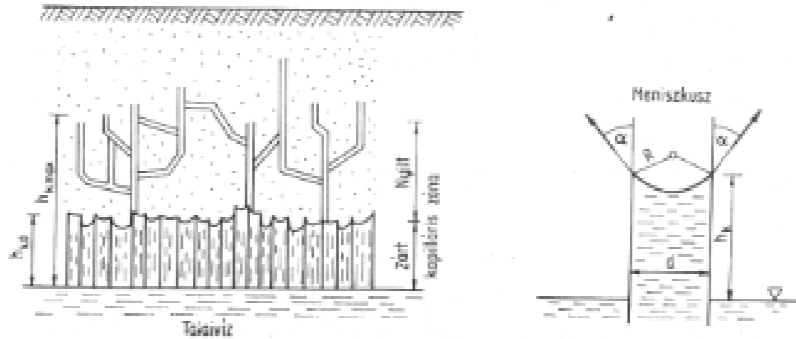
[37] – ábra

A szemcsehalmaz gravitációval szembeni víztartó képességét a kapilláris és tapadóerők egymásra hatása adja. Nyilvánvaló a kapcsolat a víztartalom és a vízhártya felületén mért szívófeszültség ψ között, az összefüggés általános jellemzésére alkalmas

a pF görbe. A görbe két tengelyén a térfogategységhez viszonyított víztartalom W [%] x-tengely és a vízoszlop cm-ben kifejezett szívás tizesalapú logaritmus a pF (érték) y-tengely található. A görbét három szakaszra lehet osztani. Számunkra a közbelső szakasz fontos, mivel itt a víztartalom alakulását döntően a kapilláris erő befolyásolja. Így ez a görbeszakasz a talajvíz fölötti kapilláris zóna magasságát méri. A görbeszakasz közel vízszintes szakasza – mivel a görbe a függőleges menti víztartalom eloszlását méri – ugyanazt a két értéket adja meg, mint a d_{c1} és d_{c2} ismeretében meghatározott kapilláris emelőmagasság legnagyobb h_{k1} és legkisebb h_{k2} valószínű értékei. A már számított értékeket a vízkapacitás, vagy a hézagtérfogat ismeretében rakhatjuk fel. Közelítésként a görbe két pontját egyenessel köthetjük össze.

A görbe egyes tartományai a következők, elvi vázlatukat tartalmazza a [38 – ábra]:

- $h_{k0}=h_{k2}$ {zárt kapilláris tartomány melynek magassága a telített állapothoz tartozó kapilláris szívást jellemzi}
- $h_{kmax}=h_{k1}$ {nyílt kapilláris tartomány már csak a vékonyabb járatokban emelkedik fel a víz a legnagyobb kapilláris vízemelés magasságáig}



[38]– ábra

A görbe inflexiós pontjai kijelölik a h_{k1} és h_{k2} értékeit, amennyiben a görbe bizonytalan lefutású, a második szakasz látszólag elmarad az 1-3 szakasz inflexiós pontjában h_{k2} értéke kijelölhető. A leolvasott pF értékekből ezek könnyen visszaszámíthatók [18]. Az így kapott felületi szívás értékei jól jellemzik az egyes fizikai talajféléseket.

$$pF = \log_{10} h_k \text{ (cm)} \quad [18]$$

A számunkra fontos három fizikai talajfélés (homok; vályog és agyagos vályog) leolvasott és visszaszámított értékeit az [29] eredmény táblázat tartalmazza.

Fizikai talajfélések jellemző h_k értékei pF görbéről visszaszámítva

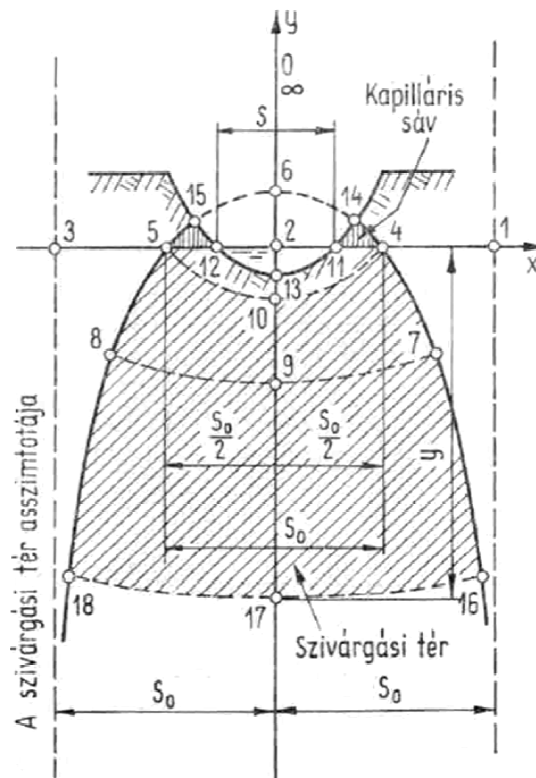
Megnevezés	min/max	pF	h_k [cm]	h_k [mm]	h_k [m]
Összes minta	$h_{k,0}$	1.88	75.84	758.45	0.76
	$h_{k,max}$	3.69	4846.76	48467.56	48.47
Homok	$h_{k,0}$	1.84	69.44	694.42	0.69
	$h_{k,max}$	2.46	291.38	2913.78	2.91
Homokos vályog	$h_{k,0}$	2.15	141.46	1414.64	1.41
	$h_{k,max}$	3.25	1784.70	17847.01	17.85
Vályog	$h_{k,0}$	2.60	398.78	3987.83	3.99
	$h_{k,max}$	3.72	5289.18	52891.83	52.89
Agyagos vályog	$h_{k,0}$	2.87	746.75	7467.52	7.47
	$h_{k,max}$	3.96	9120.11	91201.08	91.20
Agyag	$h_{k,0}$	3.00	1000.00	10000.00	10.00
	$h_{k,max}$	4.22	16595.87	165958.69	165.96

[37] eredmény táblázat

A h_k meghatározott értékek, a pF görbék átlagáról kerültek visszaszámításra. A szivárgás becslésére használt eljárásokkal bizonyos szemnagyságig és sebességhatárig a szivárgás jellemzésére alkalmas a lamináris vízmozgásokat leíró Darcy törvény [19].

$$v = \frac{Q}{A} = k \cdot I \quad [19]$$

A szakirodalom alapján (Kovács 1972) közelítésben a csatorna altalaját végtelen homogén réteggént vettem fel, így a végtelenben a gradiens (I) egység értékű, az-az: $(I = \frac{h_0 + h + h_k}{h} ; \lim_{h \rightarrow \infty} I = 1)$ ebből következik, hogy $v=k$ értékkel számolhatunk. Verigin a permanens szabadfelszínű függőleges szivárgás modelljeként a következő elvi vázlatot adta meg: [39 – ábra]



[39] ábra

ahol,

- S : víztükör szélessége
- S_0 : hatékony víztükör, ami a szivárgási tartomány két szélső áramvonalának távolsága a víztükör vízszintesében mérve. Verigin azt a következtetést vonta le, hogy az S_0 szélessége a végtelenben megkétszereződik a vízszint síkjában mért értékéhez képest.

A definiált rendszerben a keresztmetszeti felület ($F = 2 \cdot S_0$), tehát a megváltozott képlet értelmében a fajlagos szivárgás értéke q_0 (egységnyi sávban elszivárgó vízmennyiség) a következőképpen adódik, ha $(v = k; I = 1; A = 1\text{m}$ széles sávra értelmezve $= 1[\text{m}] \cdot 2 \cdot S_0)$ [20]:

$$q_{[1\text{m}]} = 2 \cdot k \cdot S_0 = \frac{\pi \cdot k \cdot h_k}{\ln} \quad [20]$$

ahol,

- k : Darcy-féle szivárgási tényező $[\text{m/s}]$
- S_0 : hatékony víztükörszélesség $[\text{m}]$

A szivárgási tényező értékét szakirodalomból vettem át a számításhoz azonos k értékeket használtam, mint a korábban ismertetett eljárásnál. Az egyes fizikai talajfélésekhez tartozó k (vízvezető képesség) értékét, a [cm/s] értékeket [m/s] értékre számoltam át.

A Margita-sziget geológiai képződményeinek ismeretében a k értékei pontosíthatók. Ismert, hogy a: „Duna-völgyben főleg ártéri képződési környezettel finomszemcsés alluviális üledékek, eolikus eredetű lösz és homok üledékek képződése volt jellemző. Talajai anyakőzetét a folyó hordalékanyaga alkotja, így a területének legnagyobb részén karbonátos humuszos öntéstalajok alakultak ki. továbbá a területen a talaj és rétegvízre telepített kutak vízáadó képessége a mederanyag kavicsos szerkezete miatt nagyon kedvező 4-500 l/perc hozamot biztosít.” [1-16 tervezési alegység vízgyűjtő gazdálkodási terve]

Verigin levezetéséből S víztükör szélesség függvényében számítható S_0 értéke, a számítás megkönnyítésére (Kovács 1972) adott közre [30], segéd táblázat, ahol δ segédváltozó meghatározásával $\frac{S_0}{2}$ értéke számítható.

Táblázat δ segédváltozó értékének meghatározására

A δ Segédváltozó értéke	A tényleges víztükör szélesség és a kapilláris szívás hányadosa $\frac{S}{h_k}$	A hatékony és tényleges víztükör szélesség hányadosa $\frac{S_0}{S}$
0.00	0.0	∞
0.01	0.0028	123.4
0.02	0.0065	61.7
0.04	0.0158	30.8
0.06	0.0272	20.4
0.08	0.0404	15.4
0.10	0.0554	12.3
0.20	0.159	6.1
0.30	0.318	4.1
0.40	0.565	3.0
0.50	0.948	2.4
0.60	1.56	1.96
0.70	2.66	1.65
0.80	5.25	1.40
0.90	12.3	1.20
0.92	16.6	1.15
0.94	22.5	1.12
0.96	34.4	1.09
0.98	71.5	1.05
1	∞	1.00

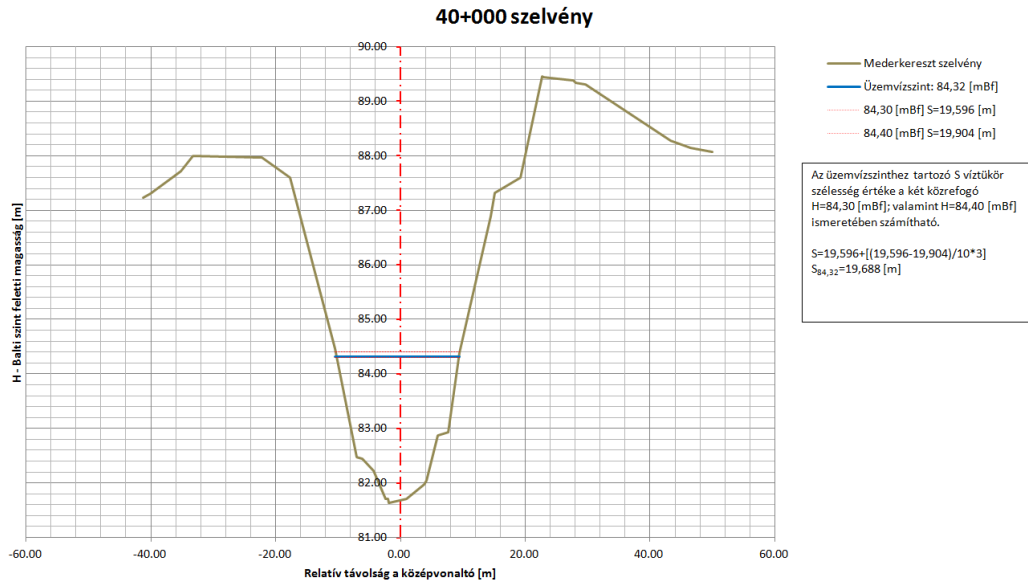
[38] segéd táblázat

Az ismert h_{k0} telített réteg kapilláris szívásának és a víztükör szélességének hányadosából előállíthatjuk a δ segédváltozó értékét, (delta várható értéke széles medrek esetében 1.). A változó ismeretében S_0 értéke számítható, és az egységnyi felületre jutó vízvesztés értéke számítható [21]:

$$q_{[1m]} = 2 \cdot k \cdot S_0 = \frac{\pi \cdot k \cdot h_k}{\ln} = 2 \cdot k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h_k}{4 \cdot \ln \cdot \delta} \right) \right] \quad [21]$$

A számítás során minden lehetséges tározási szintfelülethez S , meghatározhatóak az egyes szivárgási veszteségek értékei. Az analógia alapján az egyes fizikai talajfélések határszelvényeiben kiszámított értékek és a szelvényszám (határszelvények közötti távolság) ismeretében számíthatóvá válik a mederszakaszok szivárgási vesztesége. A következőkben a 40+000 szelvény 84,35 [mBf] üzemvízszint víztükör szélesség értékéhez tartozó szivárgási veszteség értékét számítom ki az egyes talajfélések jellemző kapilláris szívásának h_{k0} és szivárgási együtthatójának k ismeretében [40] – ábra, a veszteségszámításhoz továbbá szükséges értékeket [31] – táblázat tartalmazza. Módszer

1; Módszer 2 meghatározott h_{k0} értékeiből származó eredményeket számítom, a kapott eredményeket értékelem.



Az eltérő módszerekkel kapott kapilláris szívás értékei

Fizikai talajfőleség:	kapilláris szívás M1 - h_{k0} [m]	kapilláris szívás M2 - h_{k0} [m]	Szivárgási tényező k [m/s]
Homok	0,76	0,69	$5 \cdot 10^{-6}$
Vályog	3,69	3,99	$5 \cdot 10^{-8}$
Agyagos vályog	12,05	7,47	$5 \cdot 10^{-8}$

[39] táblázat

Homok altalaj esetén a várható szivárgási veszteség a következőképpen áll elő 1 [m] széles sávra:

$$\begin{aligned}
 \frac{S = 19,688 \text{ [m]}}{h_{k0.M1.Homok} = 0,76 \text{ [m]}} &= 25,9052 \rightarrow \delta = 0,9457 \\
 q_{[1m]} &= 2 \cdot k \cdot S_0 = 2 \cdot k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h_k}{4 \cdot \ln \delta} \right) \right] = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,76 \text{ [m]}}{4 \cdot \ln 0,9457} \right) \right] = \\
 &= 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot -21,3829 \text{ [m]} = -0,000021 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = -1,847 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{nap}} \right] = \\
 &= -674,331 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{év}} \right] \\
 \frac{S = 19,688 \text{ [m]}}{h_{k0.M2.Homok} = 0,69 \text{ [m]}} &= 28,533 \rightarrow \delta = 0,9501 \\
 q_{[1m]} &= 2 \cdot k \cdot S_0 = 2 \cdot k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h_k}{4 \cdot \ln \delta} \right) \right] = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0,69 \text{ [m]}}{4 \cdot \ln 0,9503} \right) \right] = \\
 &= 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot -21,1739 \text{ [m]} = -0,000021 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = -1,829 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{nap}} \right] = \\
 &= -667,740 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{év}} \right]
 \end{aligned}$$

Vályog altalaj esetén a várható szivárgási veszteség a következőképpen áll elő 1 [m] széles sávra:

$$\begin{aligned}
 \frac{S = 19,688 \text{ [m]}}{h_{k0.M1.Vályog} = 3,69 \text{ [m]}} &= 5,3355 \rightarrow \delta = 0,8012 \\
 q_{[1m]} &= 2 \cdot k \cdot S_0 = 2 \cdot k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h_k}{4 \cdot \ln \delta} \right) \right] = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 3,69 \text{ [m]}}{4 \cdot \ln 0,8012} \right) \right] =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot -26,1510[\text{m}] = -3 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = -0,226 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{nap}} \right] = \\
&= -82,470 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{év}} \right] \\
&\frac{S = 19,688 [\text{m}]}{h_{k0.M2.Vályog} = 3,99[\text{m}]} = 4,9343 \rightarrow \delta = 0,7878 \\
q_{[1\text{m}]} &= 2 \cdot k \cdot S_0 = 2 \cdot k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h_k}{4 \cdot \ln \delta} \right) \right] = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 3,99[\text{m}]}{4 \cdot \ln 0,7878} \right) \right] = \\
&= 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot -26,2775[\text{m}] = -3 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = -0,227 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{nap}} \right] = \\
&= -82,869 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{év}} \right]
\end{aligned}$$

Agyagos vályog altalaj esetén a várható szivárgási veszteség a következőképpen áll elő 1 [m] széles sávra:

$$\begin{aligned}
&\frac{S = 19,688 [\text{m}]}{h_{k0.M1.Agyagos vályog} = 12,05[\text{m}]} = 1,6338 \rightarrow \delta = 0,6067 \\
q_{[1\text{m}]} &= 2 \cdot k \cdot S_0 = 2 \cdot k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h_k}{4 \cdot \ln \delta} \right) \right] = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 12,05[\text{m}]}{4 \cdot \ln 0,6067} \right) \right] = \\
&= 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot -37,8773[\text{m}] = -4 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = -0,327 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{nap}} \right] = \\
&= -119,450 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{év}} \right] \\
&\frac{S = 19,688 [\text{m}]}{h_{k0.M2.Agyagos vályog} = 7,47[\text{m}]} = 2,6356 \rightarrow \delta = 0,6978 \\
q_{[1\text{m}]} &= 2 \cdot k \cdot S_0 = 2 \cdot k \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot h_k}{4 \cdot \ln \delta} \right) \right] = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 7,47[\text{m}]}{4 \cdot \ln 0,6978} \right) \right] = \\
&= 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot -32,6101[\text{m}] = -3 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = -0,282 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{nap}} \right] = \\
&= -102,839 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{év}} \right]
\end{aligned}$$

A 40+000 szelvényben különböző módszerekkel számított veszteségértékek 1fm sávra

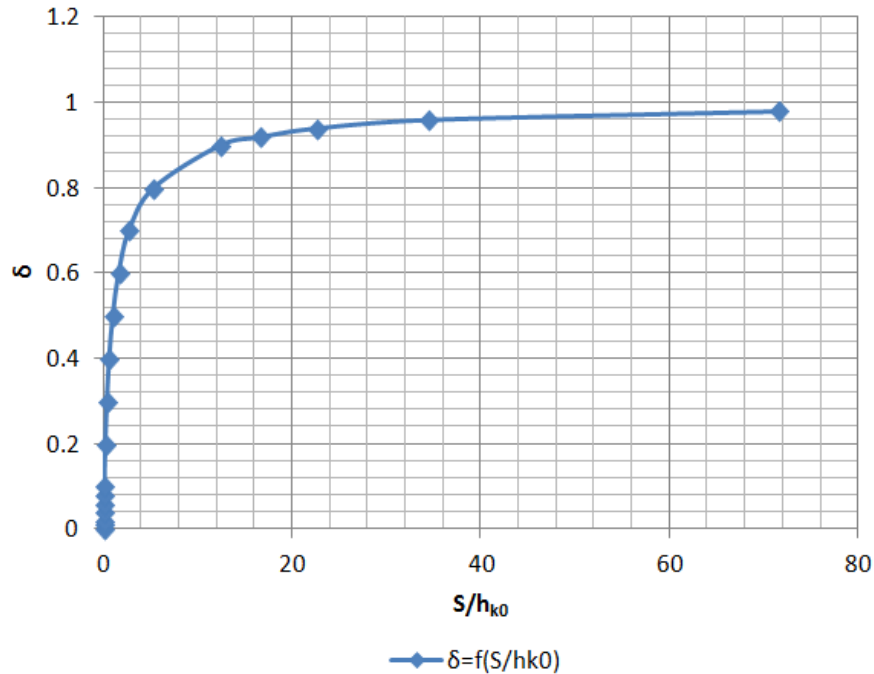
Fizikai talajfésülés	q1 Módszer 1			q2 Módszer 2		
	[m ³ /s]	[m ³ /nap]	m ³ /év	[m ³ /s]	m ³ /nap]	m ³ /év
Homok	-0.000021	-1.847	-674.331	-0.000021	-1.829	-667.740
Vályog	-0.000003	-0.226	-82.470	-0.000003	-0.227	-82.869
Agyagos vályog	-0.000004	-0.327	-119.450	-0.000003	-0.282	-102.839

[40] táblázat

Az eredményeket a [32] táblázat foglalja össze. Láthatjuk, hogy az eltérő megközelítéssel számított szivárgási veszteség értékek közel azonosak. A két számítási eljárás során a Homok fizikai talajfésülés számított értékeinek különbsége $\Delta=0,97\%$; a Vályog fizikai talajfésülés értékeinél $\Delta=0,48\%$, még az Agyagos vályog talajfésülés számított értékei esetében $\Delta=13,88\%$. A legnagyobb eltérést az agyagos vályog talajok esetén kaptuk, vélhetően a Módszer 1 hibás szemeloszlási modellje okozza az eltérést. Az eljárásokat elfogadhatjuk a Ferenc tápcsatorna szabadfelszínű permanens függőleges irányú veszteségeinek számítására érvényesként. A számítási sor δ segédváltozó értékének meghatározása nehezen automatizálható, egyetlen polinommal nem leképezhető [41 – ábrán], $\delta = f\left(\frac{S}{h_{k,0}}\right)$ függvény képe látható. Az egyes értékhatárok között interpolálnunk kell. Ami a meder összes $\Delta H=10$ [cm] osztásközeire tetemes többletmunkát jelent. Az egyes tartományok között ugyanakkor lineárisan változik δ értéke, így táblázatkeze-

lő programmal $HA(x \leq; =; > \text{mint})$ logikai láncot használva az egyes tartományok értékeit az egyenes egyenletével $R^2=1$ eredménnyel megadhatjuk.

A veszteségszámítás eredményeit [$\text{m}^3/\text{év}$]; [$\text{mm}/\text{év}$], valamint [$\text{mm}/\text{hó}$] dimenziókban közlöm, így a vízháztartási egyenlet tagjaival azonos dimenziókban vizsgálhatók.

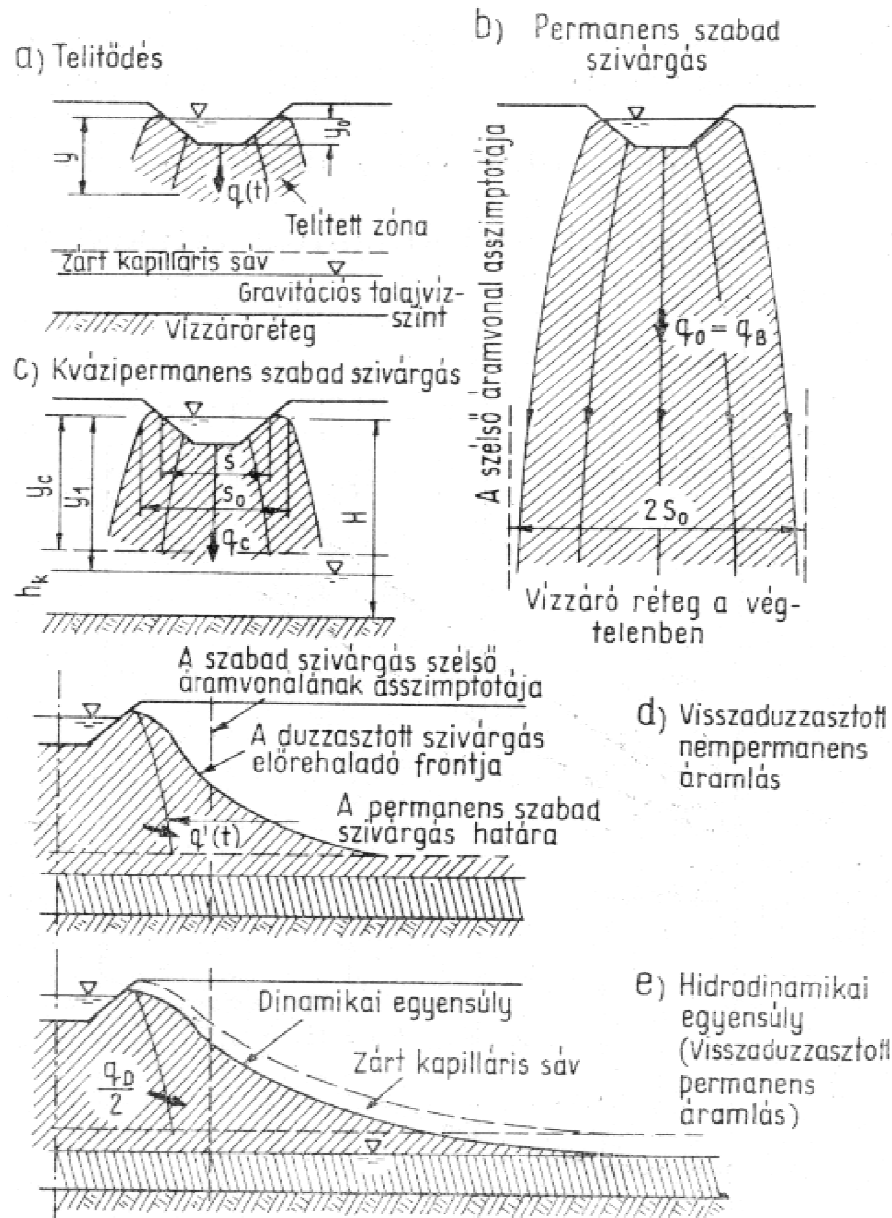


[41] – ábrán

5.3. Szivárgási veszteségek / bevételek összegzése

A veszteségszámítás elvégzését követően lehetőségünk van a vízháztartási egyenlet ($P + R_{M,h} + R_{Fa,h} = E_t + I + R_{M,e} + U + \Delta S$) tagjainak ábrázolására diagramon, az idő és az egyes szintfelületek függvényében. A P csapadék magasság esetében a csatorna saját vízgyűjtő területeként az érintett tározásra berendezett szakaszon a magas partok között előálló lehetséges legnagyobb tározási szintet vettem figyelembe, beláthatjuk, hogy a csatorna elenyészően kicsi saját vízgyűjtő területe miatt a bevételi oldalon a P csapadékból előálló vízmennyiség kevéssé jelentős. A szivárgási és párolgási veszteségek értékei a tározási szint (víztükörszélesség, vízfelület) függvényében változnak. Fontos megjegyezni, hogy a valóságban ilyen mértékű szivárgási veszteség mindössze a csatorna feltöltődésekor a csatorna alatti szivárgó réteg terítődése során állhat elő [40 – ábra]. Ennek oka a számítási metódus alapját képező egyszerűsítés a végtelen mélységig történő zavartalan áramlási tér, mint olyan nem létezik, a talajvíz szintje bizonyos t idő elteltével visszaduzzaszthat, a rendszer elér egy hidrodinamikai egyensúlyi állapotot, ami a számított maximális szivárgási veszteség értékét jelentős mértékben csökkentheti. A számítás pontosításához szükséges az áramlási tartomány számszerű leképezése, emellett a talajvízszint átlagos, és/vagy pillanatnyi értékének, a talajfizikai jellemzők (n ; h_k ; k) ismerete. Mindezek mellett számos egyéb tényező is befolyásolja a csatornák szivárgó víz veszteségének változását úgy, mint a csatorna medrének feliszapolódása (kolmatáció), a talajvízjárás, valamint a mélység függvényeként csökkenő hézagterfogat. Ezen paraméterek ismeretében nincs akadálya annak, hogy számítsuk a csatorna vízvesztésére legjellemzőbb szivárgási görbét. A bonyolult és számításigényes feladat jól algoritmizálható, számítógép segítségével.

A gyakorlatban a megszerkesztett görbe csak addig az időpontig van értelmezve, amikor a fokozatosan lefelé haladó nedvesítési front eléri a talajvíz felszínét, illetve a felette kialakult zárt kapilláris zóna felső síkját. Ekkor a kvázi-permanens szabad szivárgás kialakulásának pillanatában a telítődött talaj és a talajvíztér érintkezésével egy-
séges áramlási tér jön létre. Amennyiben ebben a pillanatban $q_c > q_D$ (q_D a talajvíztérben vízszintesen tovább szállítható víz mennyisége), akkor a talajvíz a csatornából megindult elszivárgást visszaduzzasztja, így fokozatosan csökkenti a szivárgási veszteséget. Ellen-
kező esetben a talajvízszintje csak kismértékben emelkedik, a csatorna környezetére pedig továbbra is a szabad szivárgás lesz a jellemző (Kovács 1972).



[42] - ábra

Dolgozatomban a teljes levezetést nélkülözve az [21] egyenlet alapján számítom q_0 , valamint $q_{c,y_1-y_{tv}}$ [22] mélységig bekövetkező értékeit a már ismertett talajfizikai jellemzők alapján. q_0 az a szivárgási veszteség érték, ami homogén talajfizikai tulajdonságok esetén végtelen zavartalan szivárgási tér esetén előállhat, q_c értékeit y választott mélységekben adom meg, y_{tv} a területen előálló sokéves talajvízszint közepes mélysége a vizsgált vízszinttől

$$q_c = \pi \cdot k \cdot \frac{y + h_k}{U_y - U_A} \quad [22]$$

ahol,

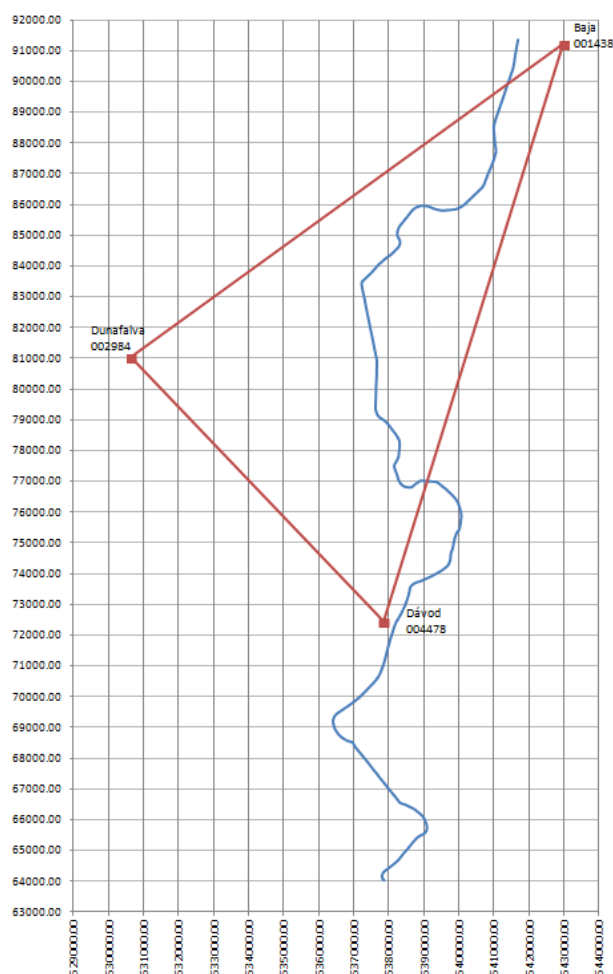
- k : Darcy-féle szivárgási tényező [m/s]
- y : felvett érték, a vizsgálni kívánt mélység [m]
- h_k : a telített állapothoz tartozó kapilláris szívás értéke $h_{k1}=h_{k0}$ [m]
- U_y ; U_A : geometriai jellemzők [23 – 24]

$$U_y = \ln \left(e^{\frac{y}{S_0} \cdot \frac{\pi}{2}} - 0,7071 \right) \quad [23]$$

$$U_A = \frac{1}{2} \cdot \ln \left[1,5 - 1,414 \cdot \cos \left(\frac{S}{S_0} \cdot \frac{\pi}{4} \right) \right] \quad [24]$$

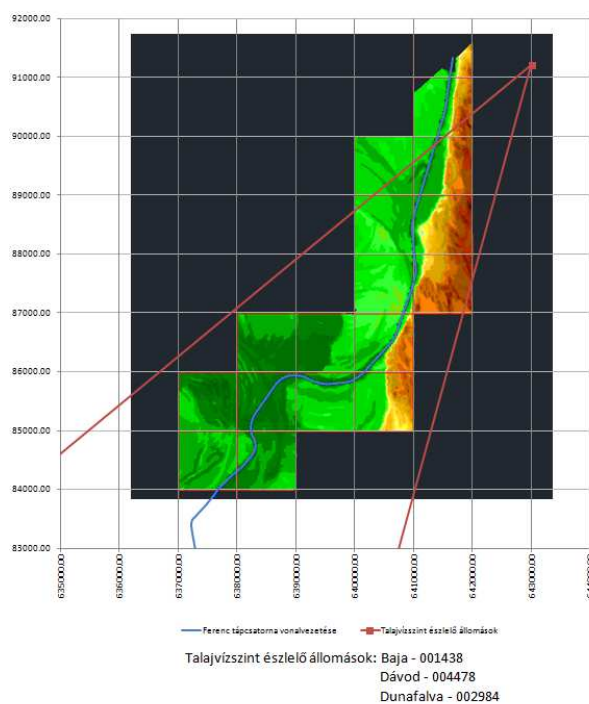
Láthatjuk, hogy amennyiben elő szeretnénk állítani a szivárgási veszteségek havi jellemző értékeit úgy ezt a talajvízszintek havi felszín alatti jellemző értékének és a választott üzemvízszint különbségeként felírt y értékkel jellemezni tudjuk. Fontos továbbá megjegyeznünk, hogy bizonyos üzemszintek mellett y_{tv} értéke negatív tartományba kerülhet, ilyenkor is történik elszivárgás, melynek mértéke lényegesen csekélyebb, ugyanakkor megindul a magasabb talajvízszint irányából a felszín alatti hozzáfolyás $R_{Fa,h}$. Értékének számítását a vizsgált üzemvízszint valamint a talajvízszint havi átlagos szintkülönbsége befolyásolja, értékének számításához a Boussinesq – egyenletet [25] használtam. Az egyenlettel időben változó állapot írható fel, ugyanakkor a közelítéshez használt határfeltétel permanens a folyamat kezdetétől állandó $s_m=s_0$ leszívást tart a befolyásolt szelvényben. Az egyenletet havi időszakokra írtam fel három talajvízszint észlelő állomás adataiból számítva a leszívás értékét. A pontszerű állomásadatokat a háromszög módszerrel egységesítettem. Az egyes állomásokat EOVS koordinátáik szerint helyszínrajzon [43] ábrázoltam, majd egyenessel kötöttem össze, úgy hogy az egyenesek egy háromszög oldaléleit képezzék. A háromszög csúcaiban található állomások adataiból számtani átlagot képeztem. A csatorna medertározásra berendezett szakaszán az így képzett talajvízszinteket érvényesnek tekintem [44] ábra. A domborzati viszonyokhoz igazodva jellemző terepszintnek 87,00 mBf adtam meg az 1990-es M=1:10.000 méretarányú szintvonalas térkép digitalizálásával készített terepmodell alapján [2 – rajzi melléklet]. Az egyes állomások adatait a [33] táblázat tartalmazza. A számításnál csak a sokéves havi és éves középértékekkel foglalkoztam ugyanis ezekkel tudom lekövetni kellő felbontásban a szivárgási veszteségek változását. A módszer hátránya, hogy a háromszög területén kívül eső részekre nem ad adatot, ugyanakkor további állomások bevonásával a vizsgált területre a sokkal távolabb eső pontszerű állomás-adatok már kevésbé jellemző értéket adhatnak.

A magyarországi talajvízszint észlelő kutak közül a régebbiek acél-, vagy eternitcsőből készültek, míg 1968-tól műanyagcsöveket alkalmaznak. A kutak átmérőjének többségében 0,09 m, kis számban 0,11, vagy 0,15 m. Mélységük 5-10 m között változik. a mérés kézi, úszó-ellensúly elven működő szalagos mérőberendezéssel történik. A mérések a régebbi állomásoknál 3 naponként történnek. A méréssűrűség a háromnapos észlelésről folyamatos átállással történt az egy napos méréssűrűsége, ugyanígy a kézi működtetésről az elektronikus adatgyűjtővel rendelkező műszeres észlelő berendezés használatára a kezelésben lévő állomások esetében (Szlávik Lajos & Sziebert János 2005).



[43] - ábra

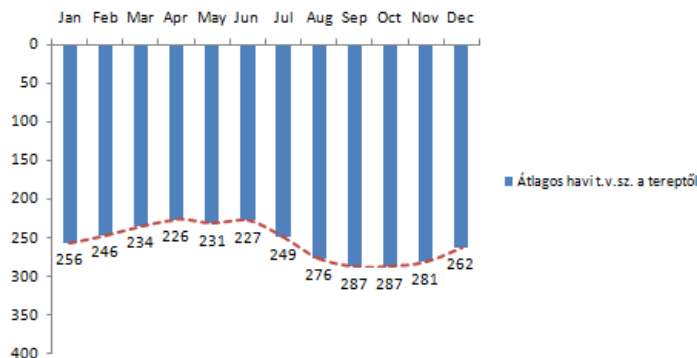
A háromszög módszerrel képzett középértékek érvényessége a medertározásra kijelölt csatornaszakaszon



[44] - ábra

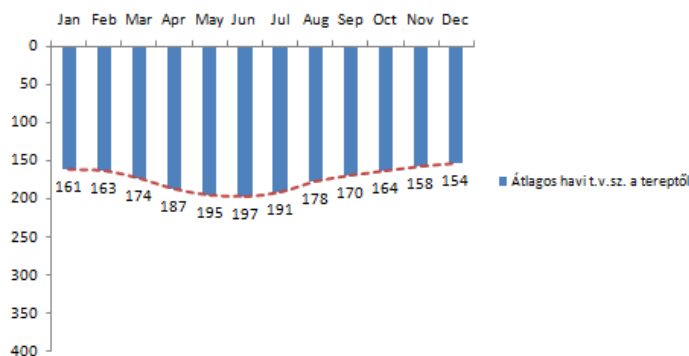
Az állomásoknál ez a változás az adtaűrűségben megfigyelhető. A szakirodalom alapján, a Duna-Tisza közén a talajvíz általában a terep alatt 2-4 m mélységben van, ugyanakkor igen nagy eltérés van az egyes területrészek között. a felhasznált állomás-adatok közül a Baja – 001438 [46]-*ábra*; valamint a Dunafalva – 002984 [43]-*ábra*. Az állomások sokéves adataiból szerkesztett havi középérték ábrái jól követik a Duna vízjárását. Amíg a Dunától távolabb eső Dávod – 004478 [47]-*ábra* állomás adatain ezek a változások már kevésbé szembeötlően jelentkeznek. A háromszög területére számított terep alatti sokéves talajvízszint havi átlagértékei a domináns Dávod állomásadataihoz igazodnak [48]-*ábra*. Az állomások adatait a [34] táblázat foglalja össze.

Dunafalva - 002984



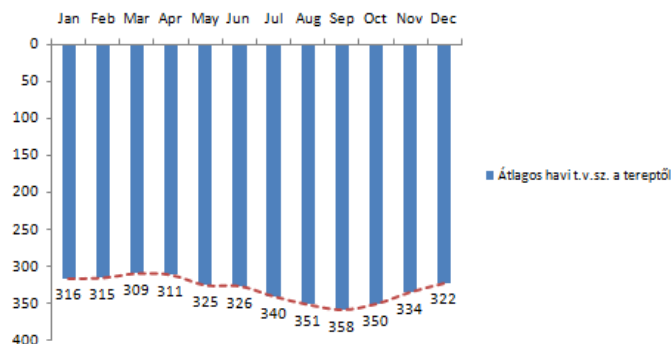
[45] - ábra

Baja - 001438

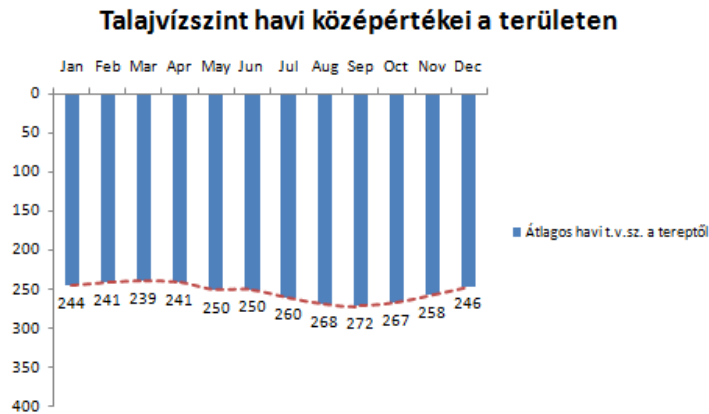


[46] - ábra

Dávod - 004478



[47] - ábra



[48] - ábra

Talajvízszint észlelő kutak adatai

	1	2	3
Törzsszám:	001438	004478	002984
Település:	Baja	Dávod	Dunafalva
EOV-x:	91215	72448	81030
EOV-y:	642998	637860	630647
Kútperem magasság:	107.9	87.07	85.88
Terep magasság:	107.65	86.4	85.6
Mélység:	704	1070	640

[41] táblázat

Észlelt talajvízszintek havi középértékei

	Átl.:	Átl.:	Átl.:	Átlag 1-3
Jan	161	316	256	244
Feb	163	315	246	241
Mar	174	309	234	239
Apr	187	311	226	241
May	195	325	231	250
Jun	197	326	227	250
Jul	191	340	249	260
Aug	178	351	276	268
Sep	170	358	287	272
Oct	164	350	287	267
Nov	158	334	281	258
Dec	154	322	262	246

[42] táblázat

Miután tisztáztuk a terület talajvíz viszonyait, havi bontásban mind a függőleges, mind pedig a vízszintes irányú áramlás értékeit meg tudjuk adni az egyes tározási szint-felületekhez viszonyítva. Abban az esetben, ha $y < 0$, tehát a talajvízszint magasabban van, mint a tározósára kijelölt szakasz üzemvízszintje, akkor a leszívás mértéke szerint a talajvízből érkező vízhozamot a Boussinesq – egyenlettel [25] számolom. A számítás eredménye a kiindulási szelvény egy oldaláról számított egységnyi széles szakaszán átfolyó víz mennyisége.

$$q_0(t) = s_0 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot k \cdot n_0}{2 \cdot t}} \quad [25]$$

ahol,

- s_0 : leszívás a tározási szint és a talajvízszint különbsége [m]
- m : szivárgó réteg vastagsága $m = h_{\text{átl}}$ [m]

- k : Darcy – féle szivárgási együttható jellemző értéke [m/s]
 - t : vizsgált időtartam 28; 29; 30; 31 nap az aktuális hónap szerint [s]
- A h átlagos értékét a következőképpen számíthatjuk [26]:

$$h_{\text{átl.}} = \frac{2 \cdot H_1 + H_2}{3} \quad [26]$$

ahol,

- H_1 : talajvíz szintje a vízzáró rétegtől [m]
- H_2 : aktuális vízszint a vízzáró rétegtől [m]

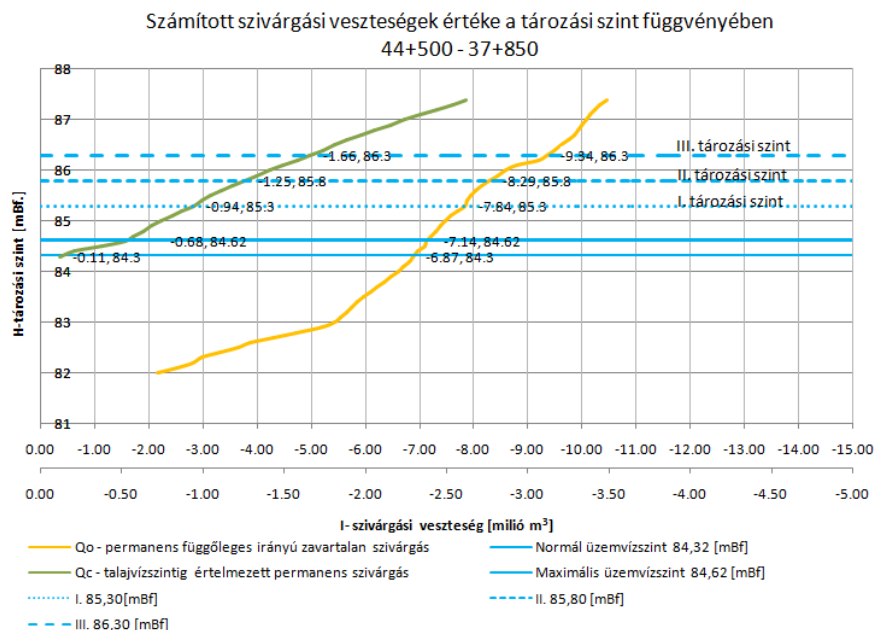
A vízzáró réteg helyzetét a számításokhoz használt szelvényben kialakuló legnagyobb mélység közelítő értékeként veszem fel.

Abban az esetben, ha $y=0$, tehát a talajvízszint és a tározási üzemi vízszint közti különbség 0, akkor az ismertetett képletben a kapilláris szivás h_k területre jellemző értéke lesz mérvadó a veszteségszámításban. Továbbá csak függőleges irányú szivárgással számolok, mivel az oldalirányú szivárgás számításában használt szivárgó réteg m vastagsága 0. Amennyiben $y>0$, abban az esetben a talajvízszintje és a tározási szint, jelentős mértékben elválík egymástól a szivárgási veszteségek jellemzésére a permanens függőleges irányú szivárgást leíró képletet alkalmaztam.

5.4. Szivárgási veszteségek kiértékelése

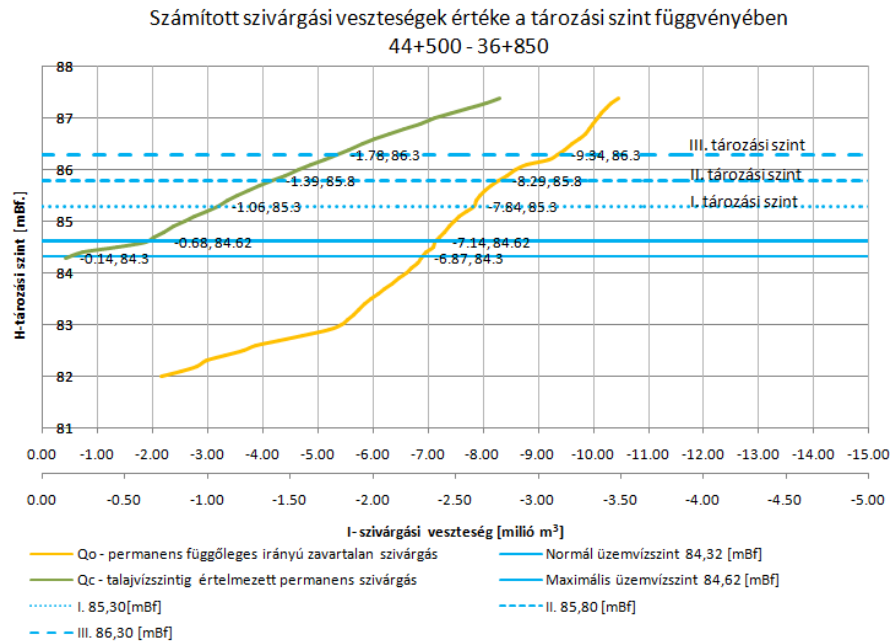
Az ismertetett veszteségszámítási eljárások alkalmazásával a Ferenc tápcsatorna normál üzemi vízszintjére 84,32 [mBf], valamint a három tervezett tározási szintre (I.=85,30 mBf, +1,00 m; II.=85,80 mBf, +1,50 m; III.=86,30 mBf, +2,00 m) adtam meg a veszteségeket. A veszteségeket az egyes szakaszok szerint az (altalajra jellemző fizikai talajféleség), valamint az 1 [Km] hosszú szakaszra eső veszteség dimenziójában is megadtam. Az eredményeket az (A) – változat és (B) – változat esetében [7] valamint [8] mellékletekben ismertetem.

A következő [49] – grafikonon kerül bemutatásra az (A) – változathoz tartozó maximális és talajvíz szintig értelmezett szivárgási veszteségek értéke, az egyes tározási szintek esetében.



[49] - ábra

A következő [50] – grafikonon kerül bemutatásra az (B) – változathoz tartozó maximális és talajvíz szintig értelmezett szivárgási veszteségek értéke, az egyes tározási szintek esetében.



[50] - ábra

Értelem szerűen a maximálisnak tekinthető függőleges irányú zavartalan szivárgás értéke követi a tározótér felszínigörbét. Még az azonos szelvényhez tartozó talajvízszintig értelmezett permanens szivárgás értéke ettől lényegesen eltérő alakú szivárgási görbét ad. Ez utóbbi kezdeti szakaszán párhuzamos, közel azonos meredekséget mutat, majd a maximális üzemvízszintet elhagyva a görbe meredeksége törik, az egységnyi tározásiszintre vetített, szivárgási veszteség értéke csökken ettől a szakasztól a görbe alakja közel lineáris felfutású n -ed fokú polinommal közelíthető görbét ad. A két görbe közötti távolság a tározásiszintek növelésével arányosan csökken. A levezetésnek megfelelően a tározásiszint emelésével a várható szivárgási veszteség értéke is növekszik, ami a vízháztartási elemek összegző oszlopábráin is jól nyomon követhető [9] valamint [10] mellékletek.

Az egyes elkülöníthető fizikai talajfélésegek függvényében ez a veszteség érték eltérően oszlik meg. Az egyes szakaszok veszteségértékeiről tájékoztatnak a [7] valamint [8] mellékletek. A veszteségek megoszlását szemléletesen az egyes szintekre vetítve kör diagrammal végeztem. Az ábrákon látható a javasolt tározási szinteknél jelentősebb veszteségnövekedést a nagy víznyelésű homok fizikai talajféléségüként azonosított altalajú szakaszok jelentik.

Az (A)-; (B) – változatok esetében a normál üzemvízszinten 84,32 [mBf], a várható veszteségek több mint 56%-a. Maximális üzemvízszinten 84,62 [mBf] az (A) – változat estén, a várható veszteségek több mint 77%-át, a (B) – változat estén, a várható veszteségek több mint 60%-át a 2; 4 jelű szakaszok teszik ki (ez az érték magasabb veszteség mutatónak tekinthető a valóságosnál, hiszen jelen állapotában a csatorna medre nagyrészt előregedett, szivárgó „csőhálózata” kolmatálódott).

Az (A) – változat esetében I.=85,30 mBf, +1,00 m tározási szintnél ez a vízvesztesség a szivárgási veszteségek 85%-a; II.=85,80 mBf, +1,50 m-en 87%; III.=86,30 mBf, +2,00 m-en 88%-át adják. Ennek ismeretében elmondhatjuk, hogy a lehetséges tározótér altalaja, ezek közül is a (2.)-jelű: 43+700 – 43+600 (100m) és a (4.)-jelű: 41+750 – 37+850 (3900m) szakaszok rendkívül rossz víztartó képességűek.

A (B) – változat esetében I.=85,30 mBf, +1,00 m tározási szintnél ez a vízvesztesség a szivárgási veszteségek 73%-a; II.=85,80 mBf, +1,50 m-en 79%; III.=86,30 mBf, +2,00 m-en 81%-át adják. Ennek ismeretében elmondhatjuk, hogy a lehetséges tározótér altalaja, ezek közül is a (2.)-jelű: 43+700 – 43+600 (100m) és a (4.)-jelű: 41+750 – 37+850 (3900m) szakaszok rendkívül rossz víztartó képességűek.

A 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet 6.§ (5) bekezdése a következőképpen fogalmaz: „Sekély, nagy párolgási és szivárgási veszteségű, elmocsarasodásra hajlamos tározót - belvítározó, ideiglenes tározó, árvízi tározó, hűtőtó, valamint természetvédelmi érdekből mesterségesen kialakított vizes élőhely kivételével - tilos kialakítani.” A rendelet értelmében a területen tapasztalható rendkívüli nagy, párolgási és szivárgási veszteségek mellett a Ferenc – tápcsatorna érintett szakaszának medertározásra történő berendezése magas üzemvízszint meghatározása esetén megkérdőjelezhető. Tekintetbe véve azt az esetet is, hogy ilyen módon, az előidézett talajvízdúsítással megemelnénk a környező területek talajvízszintjét is, ami a területhasználatot akadályozhatja, az amúgy is jelentős mértékben belvíz veszélyeztetett területeken.

Ugyanakkor a felsőbb szakaszon történő Maximális üzemvízszint Deák Ferenc – zsilip: 84,62 [mBf], -tartás, gondolatával továbbra is érdemes foglalkoznunk.

6.Összegzés

Nehéz feladat összefoglalni az eddigi munka eredményeit, és a további feladatokat. A rendelkezésre álló idő és terjedelem miatt, teljes mélységeiben nem tudtam megvizsgálni a problémát, az általam felvázolt megoldás megvalósíthatóságát és a környezetre gyakorolt későbbi hatásait. Ez a feladat úgy hiszem egy későbbi szakdolgozat részeként, vagy kutatási munkaként valósulhat meg.

Az előálló Duna-Bajai vízszintek mellett a csatornára vonatkozó jelenlegi üzemrend nem alkalmas önmagában a csatorna vízpótlásának zavartalan biztosítására. A zsilip kezelési utasításának aktualizálása szükséges. Emellett célszerűvé válhat a lehetséges medertározás vizsgálata és kiegyenlítő tározótér létrehozása, az időszakosan pangó vízzé váló Ferenc –tápcsatornán.

Elsősorban az így kialakított tározóterektől, a folyamatos legalább a határközi egyezményben rögzített minimális vízhozam biztosítását a csatorna alsóbb szakaszain várjuk el, ezzel valamilyen mértékű mennyiségi biztonságot és vízminőség javulást remélhetünk.

Felmerül a kérdés pontosan a fentiek okán, hogy milyen mértékű és egyáltalán milyen irányú változásokra számíthatunk. Ebből a célból is indokoltnak látom a vízminőségi adatok gyűjtését, és feldolgozását, valamint az új létrehozni kívánt rendszer vízminősé modellezését, eredményeinek összehasonlítását az eredeti „0” állapot eredményével. Ehhez vízminőségi és meteorológiai alapadatok előállítása válik szükségessé.

A jövőben ebből a célból kifolyólag érdemesnek tartom expedíciós jelleggel a kritikus nyári (dunai kisvizes időszakokban) a csatorna vízminőségi mintavételezését és vizsgálatát. Valamint korábbi mérési eredmények vizsgálatát úgy, mint a 2012-es év kritikusnak kijelölhető nyári időszakát, amikor a betáplálás nélküli időszak tartós nagy intenzitású párolgással társult. Célszerű ugyanis a megfelelő adatmennyiség (hidrológiai; meteorológiai; vízminőségi adatok) esetén akár erre az állapotra, mint mértékadó esetre HEC-RAS 1D vízminőségi modell vizsgálatokat végezni. Illetve a későbbi vizsgálatokat a szerint tervezni, hogy egy vízminőségi modell adatigényeit ki tudják elégíteni.

A megépülő tározóterekkel a már említett üzemrend aktualizációja elkerülhetlenné válik, hiszen lényegesen magasabb vízszintet is szükség szerint visszatárolhatunk, ezzel pedig felülírjuk a maximális megengedett üzemvízszintet.

A tározóterek (eltérő szelvényben megépülő duzzasztómű) egyes javasolt tározási szintjei kis mozgásteret engednek. Az egy-egy árhullámból betárolható maximum félmillió köbméter nagyságrendű vízmennyiséggel, csak rövid ideig biztosítható a folyamatos vízmozgás a tározótér felvízszintje és az alvízszint kiegyenlítődéskéig, érdeemes emiatt a felmerülő veszteségeket részletesen feltárni, hiszen kis túlzással élve ebben az esetben „minden csepp” számít.

Ezért a lehetséges tározóterek altalajának részletesebb vizsgálatát is szükségesnek látom, hiszen a szivárgási veszteségeket, csak nagyságrendileg vagyunk képesek becsülni a rendelkezésre álló módszerekkel (eltérő szakirodalmi ajánlások), holott az öszveszteség nagy részét a szivárgás adja. Hosszúidejű hidrometeorológiai és vízhozam mérési adatok hiányában a számítási eljárásokra kell hagyatkoznunk. Itt szeretném leszögezni, hogy az egyes altalajokra alkalmazott szivárgási tényezők pontosítása, valamint nagyobb részletességű talajtérképek ($M=1:10.000$), és részletes további talajvízszint észlelő állomásokkal képzett izovonalas térképek használata szükségessé válhat.

A dolgozatomban felhasznált források ingyenesen bárki számára hozzáférhetőek. A részletes talajtérképek beszerzése, többlet költséget jelent, még a szivárgáshidraulikai kisminta kísérletek elvégzését, költségességük mellett a lehetséges eredmények hitelessége miatt is megkérdőjelezhetőnek tartom, mivel az arányos kicsinyítések miatt pont a vizsgálni szándékozott paramétereket változtathatjuk meg. Helyette érdemesebb lehet, a meglévő talajvízszint észlelő kút adatsorok alapján a tározóterek és környezetük szivárgáshidraulikai leképzése modell környezetben, így pontosíthatók a modell kalibrációkkal a szükséges szivárgáshidraulikai paraméterek.

A munkák sora még itt sem ér véget, hiszen a pontos eredmények ismeretével mérlegelhetjük csak a műtárgyak megépítését, dolgozatomban így igyekeztem, e rész-eredmények alapján állást foglalni, és javaslatot tenni egy a maximális vízszinttartását célzó mű megépítésére, mivel e mellett a vízszint mellett az előzetesen számított veszteségek még kezelhető szinten tarthatóak.

A döntést természetesen nem nekem kell majd meghoznom, és ennyi kezdeti adat alapján csak, mint lehetőséget kínálhatom fel a medertározás gondolatát. Részletes vizsgálatok után sor kerülhet a lehetséges elzárási szelvényekben alkalmazandó műtárgyak hidraulikai méretezésére és állékonysági vizsgálataira.

Mint már jeleztem a későbbiekben, akár egy szakdolgozat formájában is befejezetté válhat, a most elkezdett munka.

Mellékletek

1. Kiegészítő statisztikai számítások összefoglaló táblázatai és ábrái
2. Domborzatmodell: M=1:10.000
3. Helyszínrajz: M=1:10.000
4. Domborzati jelleggörbe: 44+500-37+850
5. Domborzati jelleggörbe: 44+500-36+850
6. Talajtérkép: M=1:100.000
7. Szivárgási szakaszveszteségek: 44+500-37+850
8. Szivárgási szakaszveszteségek: 44+500-36+850
9. Vízháztartási mérleg oszlop diagram ábrái: 44+500-37+850
10. Vízháztartási mérleg oszlop diagram ábrái: 44+500-36+850

Ábrajegyzék

1. 1-16 Felső-Bácska tervezési alegység földrajzi helyzete
2. Margitta-szigeti és Igali vízrendszerek földrajzi helyzete
3. Vízállás idősor jellemzők alakulása Duna-Baja 1901-2012
4. Homogenitás vizsgálat (Szmirnov-Kolgomorov próba) Duna-Baja 1901-2012
5. Összetett homogenitás vizsgálat Duna-Baja 1901-2012
6. Vízhhozam idősor jellemzők alakulása Duna-Baja 1901-2012
7. Valószínűségi eloszlás vizsgálat Duna-Baja 1901-2012
8. Baja-Deszk geológiai rétegszelvény
9. Vízállás tartósság Duna-Baja 1901-2012
10. Vízállás idősor jellemzők alakulása Deák Ferenc Zsilip alvíz (FTCS) 1981-2010
11. Árhullámos időszakok összegei Duna-Baja 1901-1930
12. Árhullámos időszakok összegei Duna-Baja 1983-2012
13. Árhullámos időszakok száma Duna-Baja 1901-1930
14. Árhullámos időszakok száma Duna-Baja 1983-2012
15. A Deák Ferenc Zsilipen betáplált vízmennyiségek sokéves középértékének havi eloszlása
16. Magyarország éves csapadékösszegeinek területi eloszlása
17. Országos átlagos havi csapadékösszegek
18. Baja sokéves havi jellemző csapadékösszegei
19. Baja csapadékösszeg idősor 1901-2009
20. A Ferenc-tápcsatorna természetes és mesterséges mederszakaszai
21. 40+000 szelvény (ásott meder)
22. 26+000 szelvény (természetes meder)
23. Tározómedencék átlagos évi párolgása, P [mm/év]
24. A földfelszín átlagos évi természetes párolgása (területi párolgás), P_t [mm/év]
25. A szabadvízfelület és területi párolgás tervterületre értelmezett átlagos évi párolgási menetgörbéje
26. Szabadvízfelület párolgás 5; 10; 20%-os előfordulási valószínűségű maximum értékei
27. Szabadvízfelület párolgás 5; 10; 20%-os előfordulási valószínűségű minimum értékei
28. Az Áprilisi vízhőmérsékletek számítása
29. A május-októberi vízhőmérsékletek számítása
30. Telítettségi nedvességtartalom hőmérséklet függése
31. Párolgási menetgörbe – Baja, 2009
32. Párolgási menetgörbe – Baja, 2010
33. Párolgási menetgörbe – Baja, 2011
34. Párolgási menetgörbe – Baja, 2012
35. Párolgási menetgörbék
36. Fizikai talajfésések mechanikai összetételének háromszög diagramja
37. Magyarország legfontosabb fizikai talajféséseinek jellemző pF görbéi
38. Talajok kapilláris csőhálózatának elvi vázlata
39. Permanens szabadfelszínű függőleges szivárgás modellje
40. 40+000 szelvény (módszer összehasonlító szivárgáshidraulikai számítások)
41. δ -segédváltozó értékei az S/h_{k0} hányados szerint
42. Szivárgási fázisok értelmezése
43. Talajvízszint észlelő kutak EOVS szerinti helyzete
44. A háromszög módszerrel képzett középértékek érvényessége a medertározásra kijelölt csatorna szakaszon
45. Átlagos havi talajvízszintek a tereptől: Dunafalva – 002984
46. Átlagos havi talajvízszintek a tereptől: Baja – 001438
47. Átlagos havi talajvízszintek a tereptől: Dávod – 004478
48. Talajvízszint havi középértékei a területen
49. Számított szivárgási veszteségek értéke a tározási szint függvényében 44+500 – 37+850
50. Számított szivárgási veszteségek értéke a tározási szint függvényében 44+500 – 36+850

Táblázatjegyzék

1. Duna-Baja vízállás idősor trendparaméterei
2. Duna-Baja vízhozam idősor trendparaméterei
3. Duna-Baja Jellemző vízállások
4. Duna-Baja vízállás tartományok gyakorisága és tartóssága
5. hiánylista
6. FTCS - Deák Ferenc Zsilip alvíz vízállás idősor trendparaméterei
7. Duna-Baja Vízállás feltételes eloszlások táblázata: 1901-1930
8. Duna-Baja Vízállás feltételes eloszlások táblázata: 1983-2012
9. Baja sokéves jellemző csapadéakai
10. A 37+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves csapadékmennyiség havi eloszlása
11. A 37+850 szelvényben várható csapadékból származó bevétel
12. A 36+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves csapadékmennyiség havi eloszlása
13. A 36+850 szelvényben várható csapadékból származó bevétel
14. A párolgás évi átlagos eloszlása a sokévi átlag százalékában
15. Szabad vízfelület párolgás
16. Területi párolgás
17. A párolgás változékonysága
18. Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{max}}$.5%
19. Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{max}}$.10%
20. Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{max}}$.20%
21. Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{min}}$.5%
22. Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{min}}$.10%
23. Szabad vízfelület párolgás - $E_{w_{min}}$.20%
24. Telítettségi nedvességtartalom polinom illeszkedése
25. A 2009.01-2012.12 időszak havi párolgás: [mm]
26. ΣE_w [mm]:
27. A 37+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves párolgási veszteségek havi eloszlása
28. A 37+850 szelvényben várható párolgási veszteség
29. A 36+850 szelvényben a tározási szintekhez tartozó sokéves párolgási veszteségek havi eloszlása
30. A 36+850 szelvényben várható párolgási veszteség
31. Szemcse tulajdonságok I.
32. Szemcse tulajdonságok II.
33. Fizikai talajféleségekre jellemző felvett súlyszázalékok, számított D_m és D_{10} értékek
34. Talajféleségekre jellemző hézagterfogat és hézagtenyező értékei
35. Fizikai talajféleségekre jellemző helyettesítő kapilláris cső átmérői és kapilláris szívás értékei
36. CH közelítő értékei talaj frakciók szerint
37. Fizikai talajféleségek jellemző h_k értékei pF görbéről visszszámítva
38. Táblázat δ segédváltozó értékének meghatározására
39. Az eltérő módszerekkel kapott kapilláris szívás értékei
40. A 40+000 szelvényben különböző módszerekkel számított veszteségértékek 1fm sávra
41. Talajvízszint észlelő kutak adatai
42. Észlelt talajvízszintek havi középértékei

Irodalomjegyzék

- Pálné Schreiner Judit (2007). *Hidrológia*. Pécs: Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar.
- Szlávik Lajos & Sziebert János (2005). *Hidrológia és meteorológia*. Baja: Eötvös József Főiskola, Műszaki Közgazdaságtudományi Kar.
- Zsuffa István (1999). *Műszaki hidrológia III*. Budapest: Közlekedési Hírközlési és Vízügyi Minisztérium Országos Vízügyi Főigazgatósága.
- Szesztay Károly (1987). *Hidrológia II. kötet*. Budapest: Tankönyvkiadó.
- Kovács György (1972). *A szivárgás hidraulikája*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Lambe, T. W. & Whitman, R. V. (2008). *Soil Mechanics SI Version*. John Wiley & Sons.
- Puskás Tamás (szerk.) (1958). *Magyarország Vízkészlete III. Víz tározási lehetőségek 1. szövegrész*. Budapest: VITUKI.
- Vízrajzi Atlasz sorozat 11. Duna 4. Hidrográfia, Geomorfológia. (1971) Budapest: VITUKI.
- Mátrai Ildikó (2011). *A Baja-Bezdáni csatorna (Ferenc-tápcsatorna) magyarországi szakaszának ökológiai állapotfelmérése*. (Készült az Alsó-Duna-Völgyi Vízügyi Igazgatóság megbízásából).
- Várallyay György et al. (1979a). Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. *Agrokémia és talajtan* 28. pp. 363-384.
- Várallyay György et al. (1979b). Új kategória-rendszer a talajok vízgazdálkodásának korszerű jellemzésére. *VITUKI KÖZLEMÉNYEK* 16: pp. 51-54.
- Csoma János (1987). A Nagymarosi Vízlépcső alatti Duna-meder vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*. LXIX. évf. vol. 2. pp. 286.
- Kiss Melinda (2014). Hidrológia I. 1. gyakorlat párolgás számítás Meyer eljárásával (online)
Hozzáférés: 2014.03.04. Elérhető: www.vit.bme.hu/vit/dolgozok/feltoltesek/kiss/1_gyak_km.ppt
- Magyarország csapadék viszonyai (2014) Országos Meteorológiai Szolgálat (online).
Hozzáférés: 2014.03.04. Elérhető:
http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/
- Vízkárelhárítás HEFOP jegyzet (2014) BMEEOVVAT27 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére (online) Hozzáférés: 2014.03.04.
Elérhető: http://vit.bme.hu/targyak/ttp-vizkar/HEFOP_Vizkar.pdf
6. A talaj vízgazdálkodási tulajdonságai (2014) Oktatási segédanyag (online)
Hozzáférés: 2014.03.05 Elérhető:
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:UCILSu_agIwJ:kornyezet.csendben-jobb.hu/Talajgazd%25EF%25BF%25BDlkod%25EF%25BF%25BDs/Talaj_V%25E1rallyai/06a%2520.A%2520TALAJ%2520V%25CDZGAZD%25C1LKOD%25C1SI%2520TULAJDONS%25C1GAI-59-79.doc+&cd=4&hl=hu&ct=clnk&gl=hu

Alley, Richard et al. (2007). *Éghajlatváltozás 2007. Természettudományos alapok*. Genf: IPCC Titkárság.

Hozzáférés: 2014.03.02 *Elérhető:* <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/hungarian/ar4-spm.pdf>

Talajvédelem (2014) Egyetemi előadás (online). Hozzáférés: 2014.03.05 *Elérhető:*

ftp://witch.pmmf.hu:2001/Tanszeki_anyagok/Kornyeztmernoki%20Tanszek/Tantargyak/Talajv%C3%A9delem/Pdf%20el%C5%91ad%20talajtiszt%C3%ADt%C3%A1s/1ea%20talaj%20tulajdons%C3%A1g.pdf

Talajgazdálkodás (2014) Oktatási segédanyag (online)

Hozzáférés: 2014.03.08 *Elérhető:* http://users.atw.hu/kornyeztm/DE-MFK/7.%20felev/Talajgazdalkodas/Talajgazdalkodas_rovidített.pdf

Mándity Milán (2013) A Karapancsai szivattyútelep tehermentesítésének vizsgálata egydimenziós numerikus modellel (online) Hozzáférés: 2014.03.08 *Elérhető:*

http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/31/dolgozatok/124_mandity_milan.html

Faludi Gábor (1996). Türr és a Ferenc-tápcsatorna. *Bajai Honpolgár*. VII. évf. vol. 5. pp. 1-5.

A Víz Keretirányelv Hazai megvalósítása Vízyűjtő gazdálkodási terv 1-16 jelű, Felső-Bácska tervezési alegység vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (2009). (online) Hozzáférés: 2014.03.08

Elérhető: http://www.vizeink.hu/files/1-16-Felső-Bácska.pdf_100422.pdf