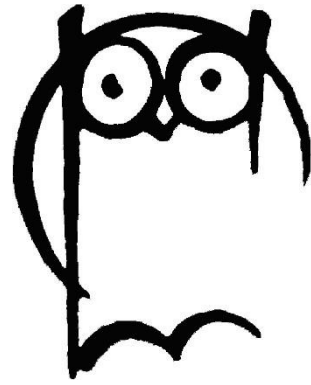


Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Építőmérnöki Tanszék



HALLÉPCSŐK HIDRAULIKAI PARAMÉTEREINEK VIZSGÁLATA SZOFTVERES VÉGESELEMES MÓDSZER ALKALMAZÁSÁVAL

Szerző: **Gencsi Gergő BSc**

Témavezető: Dr. Czédli Herta PhD

Tanszékvezető: Dr. Kovács Imre PhD

Debrecen
2024.

HALLÉPCSŐK HIDRAULIKAI PARAMÉTEREINEK
VIZSGÁLATA SZOFTVERES VÉGESELEMES MÓDSZER
ALKALMAZÁSÁVAL

TDK DOLGOZAT

GENCSI GERGŐ

3. évf. Építőmérnök szakos hallgató

Konzulens:

Dr. Czédli Herta PhD egyetemi docens,
DE MK Építőmérnöki Tanszék

2024

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Célkitűzés.....	4
3. Irodalmi áttekintés.....	5
3.1. Vízenenergia és természetvédelem kapcsolata az Európai Unióban.....	5
3.2. Az európai édesvízi ökoszisztémákat érő terhelések és veszélyek.....	7
3.3. A vízenenergia-termelés hatása az édesvízi ökoszisztémákra.....	8
3.4. A folyók konnektivitását helyreállító módszerek; hallépcsők szerepe az ökológiai helyreállítás módszertanában.....	9
3.4.1. Hallépcsők általános felépítése.....	10
3.4.2. Hallépcsők főbb típusai.....	10
3.4.2.1. Vertikális elrendezésű hallépcső (Vertical Slot Fishways).....	10
3.4.2.2. Denil hallépcső (Denil Fishway).....	10
3.4.2.3. Bukógátas hallépcső (Weir fishway).....	11
3.4.2.4 Csőáteresz kialakítású hallépcső (Culvert Fishways).....	12
3.4.3. Halátjárók tervezésének főbb szempontjai.....	12
3.4.4. Hidraulikai méretezés.....	13
4. Anyag és módszer.....	15
5. Eredmények és értékelésük.....	19
6. Összegzés.....	27
7. Köszönetnyilvánítás.....	28
8. Felhasznált szakirodalom.....	29

1. Bevezetés

Számos szakmai tanulmány rögzíti a duzzasztók okozta élőhely-leromlással kapcsolatos elemzéseket. A vízfolyások élővilágát több tényező veszélyezteti, többek között a klímaváltozás okozta hatások, az ipari-mezőgazdasági tevékenységből származó szennyezőanyagok, az egyre nagyobb mennyiségben jelentkező kommunális hulladékok és egyéb országhatárokon átvélő antropogén eredetű hatások. A duzzasztógátak létrehozása és kialakítása igény és lehetőség, azonban élőhely-leromlást okozó tényező is egyben. Nem szabad elfelejtenünk, hogy a vízfolyások esetében élő rendszerek fenntartására és szabályozására kell törekednünk, szem előtt tartva az adott víztérben élő fajok ökológiai igényeit. A halak vándorlása szempontjából a kialakított barrierék komoly akadályt képeznek, korábban egységes élőhelyek feldarabolódását idézik elő, ezáltal a korábban egységes élőhely több szegmensre tagolódik, akadályozva a szabad vándorlást. A duzzasztógátak az áramlási viszonyokat, illetve a lágy üledék lerakódását egyértelműen befolyásolják, a duzzasztott szakasz élővilágára is negatív hatást gyakorolnak. Ökológiai állapotértékelések igazolják, hogy a vízfolyásra jellemző ún. karakterfajok a duzzasztók megépülése után drasztikus változást mutatnak. Hidroökológiai szempontból a vízi gerinctelen fajok, illetve a halfajok vizsgálata kiemelt terület ezen szakaszokon. Az ökológiai állapotértékelések igazolják, hogy a korábbi karakterfajok egyedszáma lecsökken, eltűnnek bizonyos fajok a duzzasztott szakaszokról, vagy bizonyos egyedek előfordulása kétségesé válik. Alacsonyabb minőségi osztályba tudjuk sorolni ezen szakaszokat. A halközösség-alapú minősítés alkalmazásával szintén igazolni lehet a problémát, hiszen az áramláskedvelő fajok jelenléte, illetve eltűnése fontos indikátor a negatív hatások igazolása során. A Duna és a Tisza vonatkozásában is érintettek vagyunk a beavatkozások következményeit vizsgálva. A Vaskapu megépítése olyan mértékű mesterséges szintkülönbséget okozott, melyet egyetlen halfaj sem képes legyőzni, így az óriás tokfélék nem tudnak felúszni a Szigetközbe szaporodni a Fekete-tenger felől. A Kiskörén létesített duzzasztó szintén drasztikus változást eredményezett, a Tisza arculata átalakult, a mesterséges barrierék legyőzhetetlenek lettek itt is, a sodrás lelassult, az áramlási viszonyok megváltoztak, a fajok ökológiai igényeit az új mesterséges állapotok már nem tudták kielégíteni. A probléma kezelése-megoldása integrált szemléletű megközelítést igényel, mérnökök-ökológusok-hidrobiológusok együttműködésével.

2. Célkitűzés

Dolgozatom témaválasztását indokolja, hogy hazai és nemzetközi viszonylatban is a különböző duzzasztókkal, és egyéb vízszintszabályzó műtárgyakkal feldarabolt vízterek egységes és harmonikus ökológiai rendszerekké való helyreállítása kiemelt feladat. A korábban egységes ívóhelyek megközelíthetősége, az egyes folyószakaszok átjárhatósága, a szabad vándorlási útvonalak biztosítása, az egyes vízterek közötti folytonos összeköttetések létrehozása és fenntartása, az ökológiai vízigények biztosítása, a biodiverzitás megőrzése komplex tervezést igényel. Dolgozatomban szakirodalmi adatok, releváns tanulmányok segítségével mutatom be a hallépcsők szerepét, típusait és ökológiai hatásaikat.

Szendőfi Balázs halkutató, természetfilmes a következő véleményt fogalmazta meg: „Egy folyó duzzasztása olyan, mint egy trombózis, vagy egy infarktus, felül ödémás állapot alakul ki. Tudjuk, hogy ez mit jelent a saját szervezetünkre, de ilyen hatása van az élőhelyekre is. A gát olyan, mint egy plakk vagy vérrög, ami megakadályozza a szabad áramlást”. [1]

Munkám során a célom egy általános hallépcső hidraulikai modelljének szoftveres módszerrel történő elemzése, vizsgálata volt. Nyilvánvaló, hogy minden vízfolyás egyedi, így a tervezési gyakorlatban a hallépcsőt az adott vízfolyásra kell „személyre szabott módon” megtervezni és kivitelezni, szem előtt tartva minden esetben az ott élő fajok ökológiai igényeit. Az élő ökológiai rendszerek nem értelmezhetők sablonos megközelítésekkel. Élőhely központú szemlélet szükséges a XXI. századi gyakorlatban.

A vizsgált hidraulikai paraméterek alapján fogalmaztam meg észrevételeket, javaslatokat a hallépcsők működése, hatékonysága szempontjából, valamint az ökológiai hatások tekintetében. Önálló elemzéseim igazolják, hogy a vízfolyások kontinuitásának fenntartását, a biológiai sokféleség megőrzését az általam végzett elemzések támogatni tudják a mérnöki gyakorlatban.

3. Irodalmi áttekintés

3.1. Vízenergia és természetvédelem kapcsolata az Európai Unióban

A vízenergia fontos szerepet játszik a megújulóenergia-irányelv végrehajtásában, és hozzájárul az EU energiával kapcsolatos, 2020–2030-ra szóló céljainak eléréséhez [2,3]. Minden vízalapú tevékenységnek, így a vízenergia-termelésnek is meg kell felelnie az uniós környezetvédelmi jognak, amely Európa folyóit és tavait védi a jogszabályok révén. A jogi követelményrendszert több irányelv rögzíti többek között: a víz-keretirányelv, az árvízvédelmi irányelv, a madárvédelmi és az élőhelyvédelmi irányelv, valamint a környezeti vizsgálatokról szóló irányelvek (környezeti hatásvizsgálat – KHV és stratégiai környezeti vizsgálat – SKV) [3].

Az EU-ban 2011-ben a rendelkezésre álló adatok szerint megközelítőleg 23 000 vízerőművet tartottak nyilván. A működő erőművek többsége 10 MWH alatti kis erőmű, a nagy erőművek pedig a létesítmények 9 %-át adják és a vízenergiából származó teljes villamosenergiatermelés 87 %-áért felelnek. A terepi adottságok függvényében hegyvidéki területeken található az erőművek, azonban a kisebb vízfolyásokra is hatást gyakorolnak működésük révén, hiszen a vízhozam csökkenése, az áramlási viszonyok megváltozása, az ökológiai állapot tartós romlása hosszú távú kedvezőtlen hatást gyakorol a vízi ökoszisztémára [3].

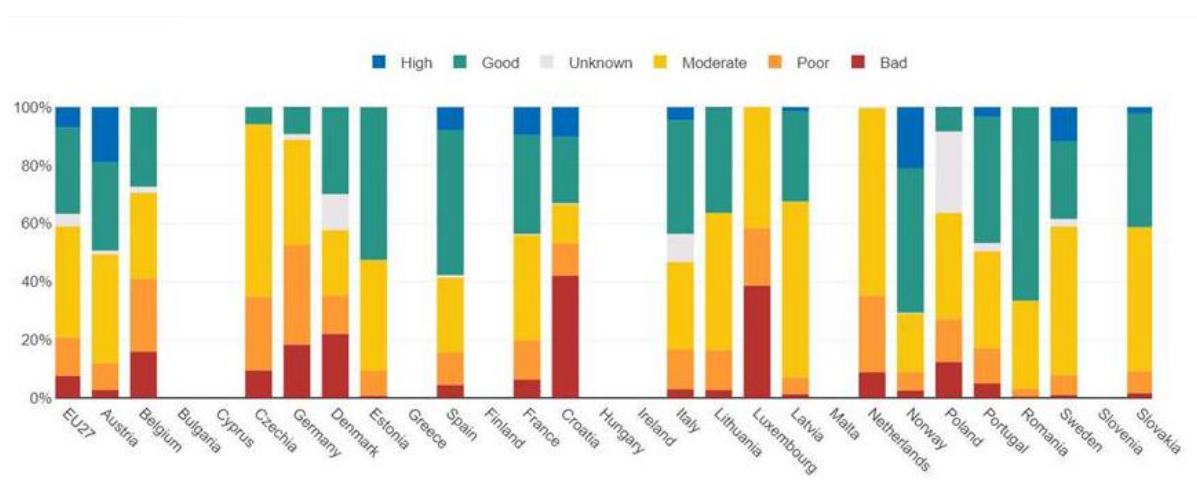
A leggyakrabban az alábbi vízierőmű típusokat alkalmazzák:

- Tározás nélküli folyami erőmű:
- Tározással kombinált folyami vízerőmű
- Tározós vízerőmű
- Szivattyús-tározós vízerőmű

A tározós vízerőmű esetében egy nagyméretű tározót lehetővé teszi a víz tározását a nedves és száraz időszakokban egyaránt. A vizet duzzasztógát mögött tározzák, és azt igény szerint bocsátják az erőmű rendelkezésére. Hatékonyságát és a szükségleteknek megfelelő teljesítményt a betározott vízmennyiség biztosítja, azonban a duzzasztógátak építése komoly ökológiai problémákat okoz, építésével a korábban egységes víztér fragmentálódik, ökológiai folyosók megszűnését eredményezi és a biodiverzitás csökkenésével jár [3].

A víz-keretirányelv megfogalmazza és deklarálja a szárazföldi felszíni vizek (folyók és tavak), védelmének és a velük folytatott fenntartható gazdálkodásnak a keretét. 2015-re volt tervezett cél, hogy minden víztest elérje a „jó állapotot” (a jelentősen módosított és mesterséges víztestek esetében a jó ökológiai potenciál elérését jelölte meg célként a VKI [3]. Szakirodalmi adatok

és felmérések igazolják, hogy a „jó állapot”elérése tekintetében milyen hiányosságok mutatkoznak az egyes vízfolyások esetében (Dodkins et al. 2005; Olajosné 2021; González-Paz et al. 2022). Az európai folyók általánosságban véve „nem jó”ökológiai állapotban vannak, degradált állapotok jellemeznek számos folyót, tehát a víz-keretirányelv korábban megfogalmazott céljait nem sikerült elérni, teljesíteni [6]. A vízminőség módszertani fejlődése a felmerülő egyre súlyosabb vízszennyezésből adódó következmények miatt vált egyre sürgetőbbé az utóbbi években (Somlyódy 2018). Hazai felmérés igazolta, hogy a vizek állapotára a habitattípusok nagyobb befolyást fejtenek ki a vízkémiai paraméterekhez képest, valamint a hidro-morfológiai állapot is nagy szerepet játszik a jó ökológiai állapot elérésében (Nagy 2007; Clement et al. 2015).



1. ábra: Felszíni víztestek ökológiai állapota az EU tagállamokban [6]

A víz-keretirányelv és az ún. természetvédelmi irányelvek Európa édesvízi ökoszisztémáinak védelmét és helyreállítását rögzítik, különös tekintettel az integrált működésre és az összehangolt cselekvésekre [4].

A bizottság jelentése alapján (EEA, 2015b, 17. cikk szerinti jelentések és vizsgálatok az édesvízi fajok és az édesvízi élőhelytípusok közel háromnegyede (74 %, illetve 73 %) volt kedvezőtlen–nem kielégítő vagy kedvezőtlen–rossz helyzetben [5].

Az Európai Bizottság 2011 májusában fogadta el a biodiverzitás 2020-as stratégiáját. 2017 áprilisában a Bizottság új cselekvési tervet indított, amelynek célja, az élőhelyvédelmi irányelv gyakorlati végrehajtása és felgyorsítása volt, a biológiai sokféleség és az ökoszisztéma-szolgáltatások csökkenésének megállítása és visszafordítása mellett. Európai viszonylatban a cselekvési terv kidolgozása egyértelműen indokolt volt.

3.2. Az európai édesvízi ökoszisztémákat érő terhelések és veszélyek

A víztesteket érő terhelések különböző tevékenységekből származnak. A hidromorfológiai terhelések hatása külön figyelmet érdemel, hiszen a folyami és átmeneti víztestek több mint 40 %-át érintették, így hatásuk nem elhanyagolható. A víztestek hidromorfológiai állapotát legerőteljesebben befolyásoló alapvető tényezőket elemezve megállapítható, hogy ide tartoznak a városfejlesztéssel, az árvízvédelemmel, az energiatermeléssel, a vízenergiával, a belvízi hajózással és a mezőgazdasági célú hasznosítással kapcsolatos különböző terhelések [6].

A Közös Duna Felmérés 1–JDS 1 2001-es eredményei az ökológiai státuszról rámutatnak, hogy a folyók vízi közösségei reagálnak mind a szennyezés, mind a környezeti változások hatásaira. A különböző vízi szervezetek megjelenését és elterjedését a folyókban több tényező is befolyásolja: áramlási viszonyok, élőhely/szubsztrátum viszonyai és variációi, szerves szennyezés vagy biológiailag könnyen lebontható anyagok, tápanyagtartalom, oxigéntartalom, mérgező anyagok), hőmérséklet, átlátszóság (Olajosné 2021). Minden egyes tagállamnak szükséges monitorinhálózatot és értékelési módszertant létrehozni. A halak, mint vízi szervezetek indexelését többféle módszertan alapján végezték [7,8,9,10], azonban a nagyobb vízfolyásokban a német halalapú értékelési megközelítés (fish-based assessments approach – FIS) és az osztrák hal index (Fish Index Austria – FIA) adott folyamatos értékelhető eredményt (Liška et al. 2015, Olajosné 2021).

3.3. A vízenenergia-termelés hatása az édesvízi ökoszisztémákra

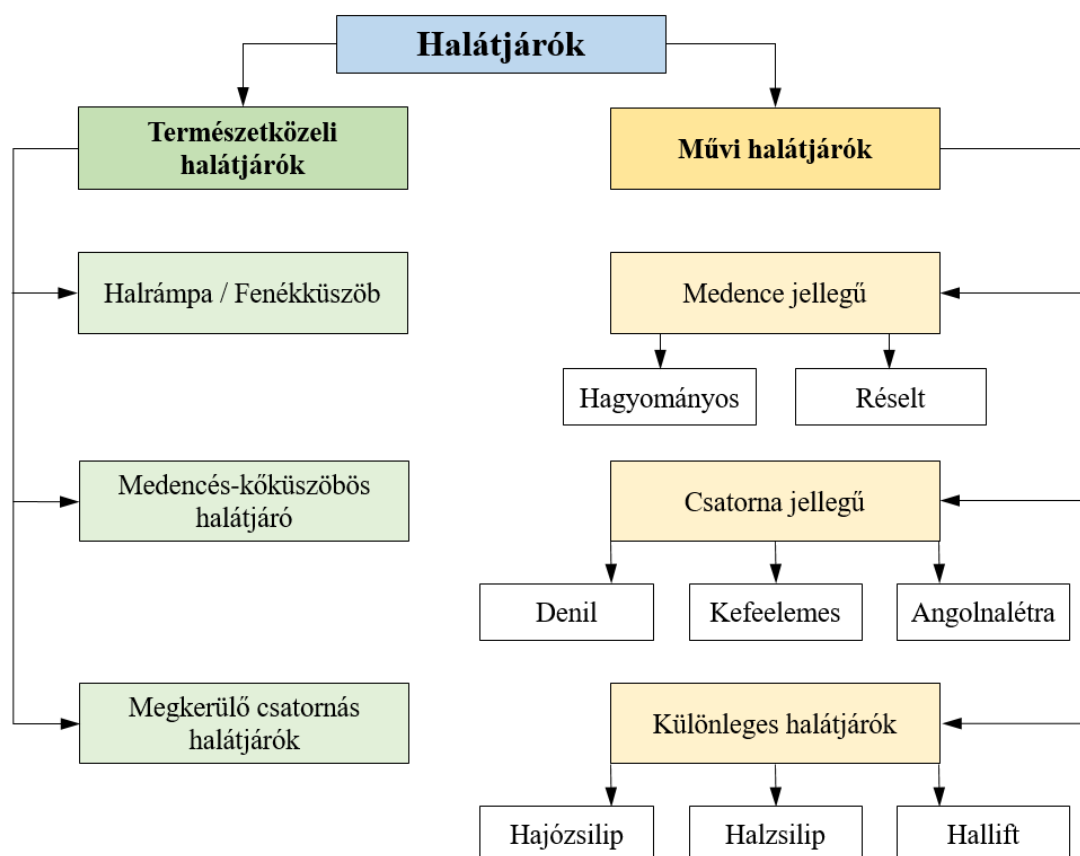
A vízerőművek többféle hatást fejtenek ki az egyes élőhelyekre és fajokra.

- a) A folyók morfológiája és a folyami élőhelyek megváltozása a hidrológiai folyamatokat befolyásolja, az édesvízi ökológiai rendszerek folytonosságát megszakítja hosszanti és oldalirányban egyaránt. A természetes hidromorfológiai folyamatokba való beavatkozás a biotikus és abiotikus körülmények megváltozását okozza.
- b) A védett fajok vándorlásának és terjedésének akadályai, a létesített gátak, mint fizikai barrierék akadályozzák a folyón való szabad mozgást, a fajok fennmaradását közvetlenül befolyásolják. A vízerőművek megzavarhatják és/vagy megakadályozhatják a fajok terjedését és vándorlását, így a halpopulációk mérete folyamatosan csökken, eltűnhetnek bizonyos fajok. A vízfolyáson felfelé és lefelé irányuló vándorlás minden anadrom és katadrom halfaj számára fontos [11]. Dolgozatomban a tervezett hallépcső tokfélék (folyásiránnyal szembeni vándorlás jellemzi őket) számára biztosít átjárhatóságot az alvízi és a felvízi szakasz között.
- c) A gátak a természetes hordalékmozgás megszakítását okozzák. A folyók ökológiai strukturáját fenntartható hordalékmoozgásba való mesterséges beavatkozás komoly ökológiai károkat eredményez. A duzzasztógátak felvízi oldalán, a hordalékszállítási kapacitás csökken, felhalmozódhat az üledék, amely egyes litofil halfajok számára pl. pénzper (Thymallus thymallus), végzetes, hiszen ezeket a területeket ívóhelyként használná.
- d) Az ökológiai vízhozam változásai a vizes élőhelyek kiterjedését lecsökkentik, akadályozzák a part menti élőhelyekkel való ökológiai folyosók fennmaradását, majd az élőhelyek elvesztését eredményezik. A túl kicsi vízhozam akadályozza a halak vándorlását. A vízkémiai paraméterek is megváltoznak, hiszen a nem elegendő vízhozam miatt a víz felmelegszik, csökken az oldott oxigén koncentrációja.
- e) A vízerőművek vízhozamának mesterséges megváltoztatása miatt a csúcsidőben kiengedett víz hőmérséklete jóval alacsonyabb, az állandó hőmérsékletet igénylő fajok ezt nem képesek tolerálni.

3.4 A folyók konnektivitását helyreállító módszerek; hallépcsők szerepe az ökológiai helyreállítás módszertanában

A hosszanti és oldalirányú folytonosság hiánya a vízfolyások esetében komoly terhelést jelent. a jó ökológiai állapot elérése érdekében biztosítani kell a konnektivitást, a vízben élő fajok vándorlását és a hordalékszállítását (Yagci et al 2010). A megkerülő csatornák, hallépcsők létesítése jelenleg is zajló környezeti integrációt támogató fejlesztési projektek részét képezi [12]. A halak vándorlását segítő megoldások, innovatív technológiák alkalmazása kiemelt feladat a vízfolyás folytonosságának megvalósítása/javítása érdekében [13].

A halátjárók olyan műszaki berendezések, melynek alkalmazásával lehetővé válik a vízi élőlények számára a közlekedési akadályok legyőzése, a halak és más vízi élőlények esetében a vándorlási, táplálkozási és szaporodási feltételek biztosítása (Pannonhalmi 2018). A hazánkban alkalmazott halátjárók tipizálását a 2. ábra mutatja be.



2. ábra: A halátjárók tipizálása (Pannonhalmi és társai 2018)

3.4.1. Hallépcsők általános felépítése

Abban az esetben, ha nagy magasságkülönbséget kell áthidalni akkor a hallépcsőket a következő részekre lehet tagolni:

- Rávezető szakasz
- Beeresztő rész
- Kitorkolló rész
- Csalivíz
- Pihenő rész
- Esés törő rész

3.4.2. Hallépcsők főbb típusai

- Vertikális elrendezésű hallépcső (Vertical Slot Fishways)
- Denil hallépcső (Denil Fishway)
- Bukógátas hallépcső (Weir fishway)
- Csőáteresz kialakítású hallépcső (Culvert Fishways)

3.4.2.1. Vertikális elrendezésű hallépcső (Vertical Slot Fishways)

A vertikális elrendezésű hallépcsőben, melyet más néven réselt hallátjárónak is nevezünk, a terelőlapátok egyenletes távolságonként vannak felszerelve, amivel medencék sorozatát hozzák létre. A halak könnyedén fenn tudják tartani a pozíciójukat az egyes medencékben, de a medencék közötti átjutáshoz plusz energia szükséges. A tervezési paramétereknek megfelelően a víz sebessége a medencékben szinte azonos. A vertikális elrendezés előnye a változatos vízszintek kezekésének lehetősége. A vízszintkülönbség a medencékben 300 milliméter a felnőtt lazacoknak és 200 milliméter a felnőtt édesvízi halaknak szakirodalmi adatok szerint. A vertikális elrendezésű hallépcsőt általában 10%-os lejtéssel tervezik (Branco et al 2023).

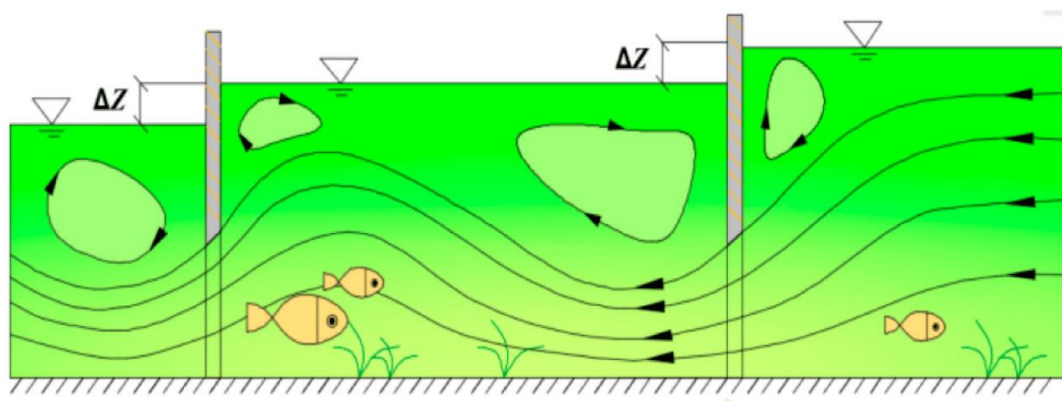
3.4.2.2. Denil hallépcső (Denil Fishway)

A Denil hallépcső négyszögletes csúszdából áll, alján és az oldalán egymáshoz közel elhelyezkedő terelőlapátokkal. Az egyszerű Denil hallépcső (Plain Denil) felépítését az jellemzi, hogy a terelőlapátok folyás iránnyal szemben, felfelé mutatnak, 45 fokot zárnak be a csúszda padozatával. Az áramlás turbulenciája nagy, így az energiaveszteség is. A víz a

csúszdában áramlik, relatíve kis sebességgel közel az aljához és relatíve nagygal a tetejéhez közel. Az erős áramlás csökkenti az üledék lerakódását a hallépcsőben. Tekintettel arra, hogy a halaknak folyamatosan úszni kell a csúszdában, pihenő medencék kialakítása is szükséges (10-15 méterenként a felnőtt lazacoknak és 5-10 méterenként a felnőtt édesvízi halfajoknak). A lejtés a Denil hallépcsőknél általában 10-15% a felnőtt édesvízi halaknak számára illetve 15-25% között a felnőtt lazacoknak (Seidl and Schneider, 2023).

3.4.2.3. Bukógátas hallépcső (Weir fishway)

A bukógátas hallépcsőben több medence kerül kialakításra lépcsős elrendezéssel. A struktúrából adódóan bukógátak választják el egymástól a medencéket. A halakat odavonzza az áramló víz, medencéről medencére úsznak, vagy ugranak a víz mélység függvényében. A vándorlás a medencék között nagy sebességet igényel. A halak meg tudnak pihenni a medencékben. A tervezési gyakorlatban egy nyílással egészítik ki a bukógátak alsó részét, hogy a halak számára az áthaladás lehetőségét biztosítsák (Bryan et al 2016). A hallépcső ezen típusának kialakítása egyszerű, viszont a medencék és a bukók nagyon érzékenyek az ingadozó vízszintre, ami folyamatos kalibrálást igényel az üzemeltetés során. A vízszint különbség az egyes medencék között általában 300 milliméter a felnőtt lazacok számára és 200 milliméter a felnőtt édesvízi halak esetében. A bukógátas hallépcsőknek a lejtését általában 10%-ra tervezik. A többlépcsős nyílásokon történő áramlás vázlatát a 3. ábra mutatja be. A nyílásokon keresztül víz alatti (nyomás alatti) átfolyás történik, amely az áramvonalak összehúzódásához vezet, és az áramlási sebesség fokozatosan nő ezáltal a nyílás közelében. A nem folytonos vízfelület és a környezetbarát jelleg hiánya ennek a szerkezetnek a fő hátránya (Katopodis et al 2001; Tudorache et al 2008; Acharya et al 2020).



3. ábra: Nyomás alatti átfolyás (Liu et al. 2022)

A folyásirányban, a nyílások kifolyásától távolodva, a vízmélység növekszik a keresztmetszvény kialakításának függvényében, a vízsebesség pedig fokozatosan csökken, mivel a Q vízhozamot konstansnak tekintjük. A kialakuló áramlási viszonyok megfelelő környezetet biztosítanak a halak megtelepedéséhez és a vízi élőlények szaporodásához egyaránt (Liu et al. 2022).

3.4.2.4. Csőáteresz kialakítású hallépcső (Culvert Fishways)

A csőáteresz kialakítású hallépcső keresztmetszete lehet: kör, ellipszis, íves, négyszögletes, vagy négyzetes alakú. Ha a csőátereszt arra használjuk fel, hogy halakat vezessünk át rajta, akkor speciális kialakítást kell biztosítani, hogy ne érje tartós stressz és sérülés az állatokat a beúszás-áthaladás-kiúszás során. A csőáteresz kialakítású hallépcsőknek a lejtése általában 0,5% és 5% között alakul.

3.4.3. Halátjárók tervezésének főbb szempontjai

Minimális fenntartásra kell tervezni a rendszert, természetes energiák felhasználásával, a hidrológiai, ökológiai, tájképi és klimatikus tényezők és adottságok figyelembevételével. Törekedni kell a többcélú rendszer tervezésére, a funkcionalitás és a hatékonyság legyen az elsődleges szempont, figyelembe véve az egyes halfajok ökológiai igényeit. A halátjáró, mint komplex ökológiai folyosó hatékony működéséhez kellő idő szükséges, ezt a tervezés során figyelembe kell venni

3.4.4. Hidraulikai méretezés

A méretezés során meg kell határozni a vízmélységet, a réseknél a kritikus vízsebesség értéket, a vízhozamot és a medencékben kialakuló teljesítménysűrűséget. Törekedni kell arra, hogy a résnél a közfal alatt $h_s > h_{kr}$ legyen, illetve $v_{max} > v_{kr}$ teljesüljön.

A kritikus vízmélység, a maximális sebesség, illetve a kritikus sebesség számítása az alábbi képletek alapján történik:

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot s^2}} [m]$$

$$v_{max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$v_{cr} = \sqrt{g \cdot h_{cr}} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Szakirodalmi adatok és tanulmányok rögzítik, hogy a minimális vízmélységet a rés alatt mérve közvetlenül biztosítani tudjuk minden üzemállapot esetén, a legkisebb felvízszint a bevezetés medermagasságának mértékadó értéke, illetve a legalsó medence fenékszintje a kisvízszint szinten lesz (Pannonhalmi 2018).

A szükséges medencék száma az alábbi képlet szerint számítható: $\Delta h = 0,2$ m értéknél $h_{min} = 0,5$ m minimális vízmélység esetén $\Delta h \leq 0,2$ m (Pannonhalmi 2018).

$$n = \frac{h_{össz.}}{\Delta h} - 1 [db]$$

A maximális vízsebességek a réseknél jelentkeznek, és minden esetben a maximális vízszintkülönbség Δh függvényében számíthatók a következő képlet segítségével:

$$v_u = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \left[\frac{m}{s} \right]$$

A réselt halátjáró vízhozama minden esetben a résnyílások hidraulikai viszonyaitól függ és az alábbi egyenlet segítségével becsülhető meg (Pannonhalmi 2018):

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_r \cdot s \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0^{\frac{2}{3}}} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\mu_r = f\left(\frac{h_u}{h_0}\right)$$

4. Anyag és módszer- A szoftveres végelelemes módszer felépítése a tervezéstől a modellezésig.

A 2D-s rajzok és a teljes 3D-s modell elkészítéséhez az ArchiCAD 28 programot használtam, a végelelemes modellt pedig az ANSYS-ban futtattam le. A 3D-s modell megtervezéséhez nélkülözhetetlen volt a megfelelő alap ötletek összegyűjtése, melyhez több szakirodalmat áttekintettem és tanulmányoztam. A dolgozatomban szereplő ábrákon bemutatott tokféléknek megfelelő halátjáró tervezését és hidrodinamikai vizsgálatát végeztem el. Először meghatároztam a műtárgy jellemző geometriai adatait. A hallépcsőt lehetőség szerint tájba kell illeszteni, de ez nem okozhatja a hatékonyságának romlását: természetközeli anyagok megválasztásával és helyi vegetáció betelepülésével ez megvalósítható. A dolgozatomban szereplő hallépcsőt ún. fiktív helyre terveztem, a helyi adottságokat nem vettem figyelembe, hiszen célom egyértelműen a hallépcső hidraulikai-hidrodinamikai vizsgálata volt, különös tekintettel az áramlási sebesség alakulására, így nem vettem figyelembe a tervezési hely adottságait, mert dolgozatomban a hallépcsők jellemző vízmozgási tulajdonságait általános helyzetben szeretném bemutatni. Az alaprajzot a 4. és 6. ábra, a hosszmetsetet az 5. és 7. ábra szemlélteti.

A tervezett műtárgy főbb paraméterei a következők:

Teljes tervezési hossz: 85,25m

Effektív tervezési hossz: 77,25m

Teljes tervezési szélesség: 3,30m

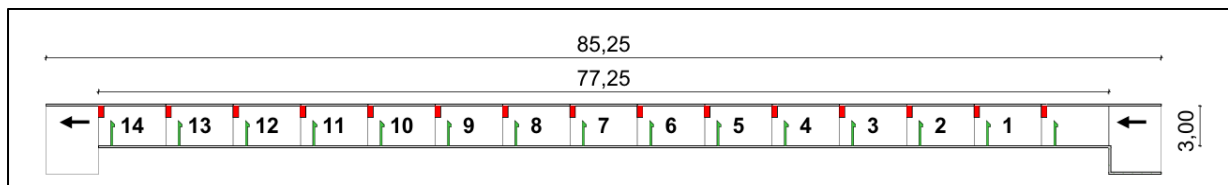
Effektív tervezési szélesség: 3,0m

Medencék közti tervezett magasságkülönbség: 0,1m

Tervezett medencék száma: 14db

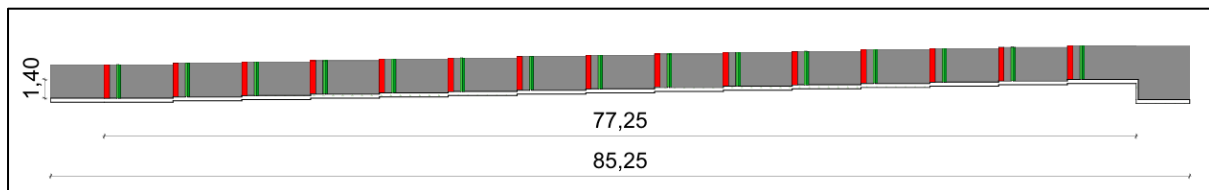
Tervezett leküzdött magasságkülönbség: 1,4m

Tervezett hosszesés: 1,81%

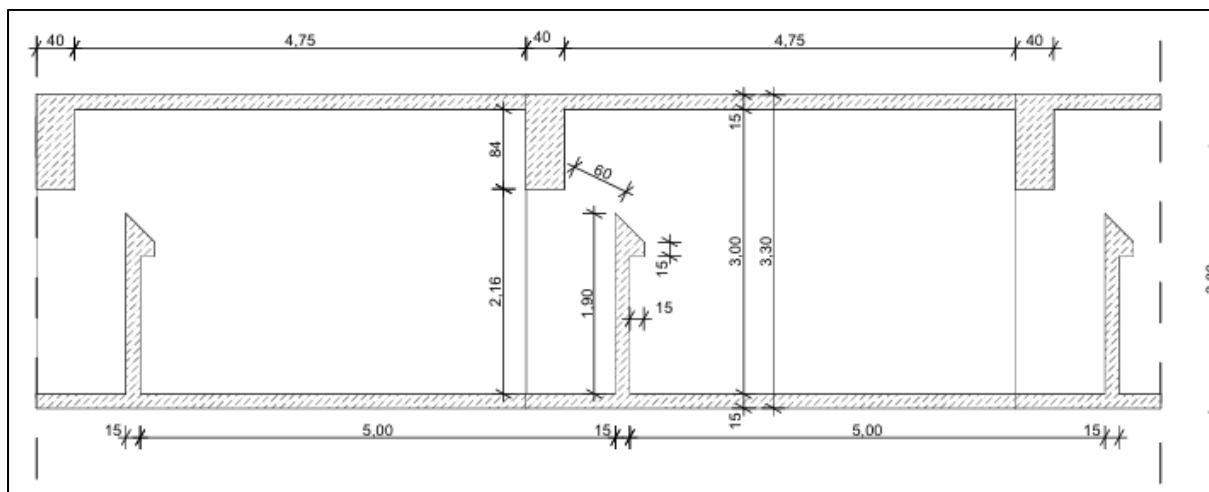


4. ábra: Átnézeti alaprajz [saját ábra]

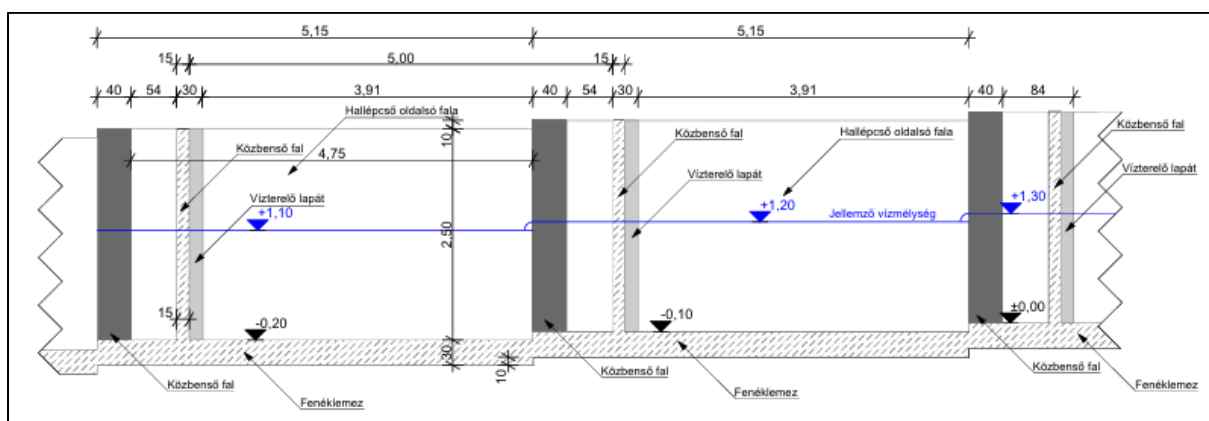
Az átnézeti alaprajzon (4. ábra) a fekete nyilak a víz folyásirányát jelölik.



5. ábra: Átnézeti hosszmetset (folyásirányra merőleges nézet) [saját ábra]

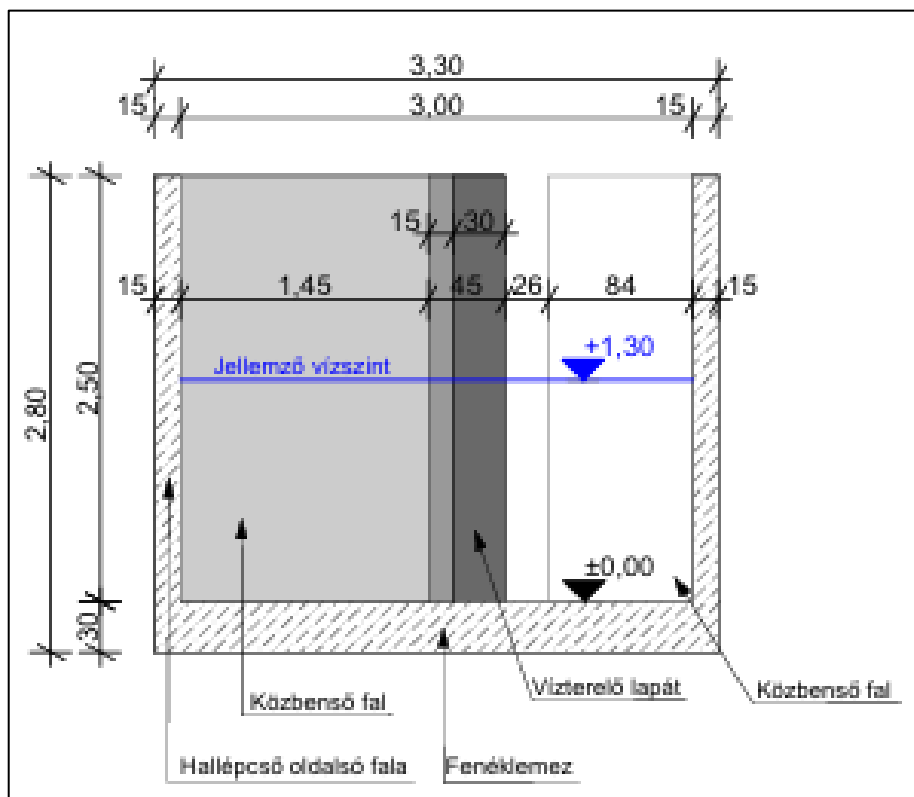


6. ábra: Alaprajz részlet



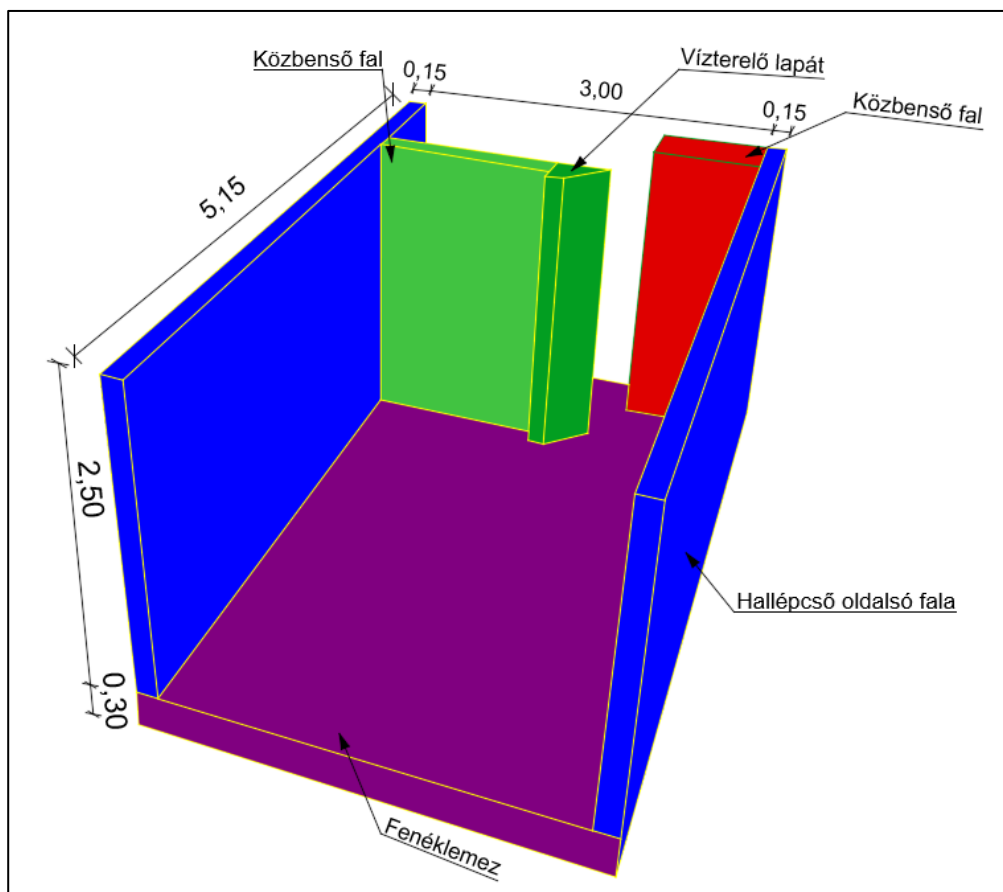
7. ábra: Hosszmetset részlet

2 dimenziós alapterveket készítettem el és a folyásiránnyal párhuzamos, folyásiránnyal megegyező irányú mintakeresztmetszelvényt és mintakeresztmetszetet terveztem. A mintakeresztmetszetet a 8. ábra mutatja be, melyen feltüntetésre került a jellemző vízszint, közbenső falak, a vízterelő lapát, a hallépcső oldalsó fala, fenéklemez.



8. ábra: Folyásiránnyal párhuzamos, folyásiránnyal megegyező irányú mintakeresztmetszet (saját ábra)

Ezt követően a 3 dimenziós modell felépítését kezdtem el. A kialakításnál arra törekedtem, hogy zárt, hézag mentes kialakítást hozzak létre, a vízszivárgás elkerülése miatt. A vízszivárgás elkerülésével $Q = \text{const.}$ vízhozamot tudunk beállítani, amely lehetővé teszi a kontinuitási egyenlet alkalmazását. Az elemek használata tetszőleges a tervezés során, az ún. egymásba metsződés is megengedett, sőt ajánlott, mivel hátrányt ez nem okoz, viszont a vízzárás biztonságosabbá válik. A fenéklemez, az oldalsó fal, közbenső fal, vízterelő lapát hosszát, magasságát, szélességét a 9. ábra mutatja be.



9. ábra: Egy hallépcső medence 3D-s felépítése [ábra]

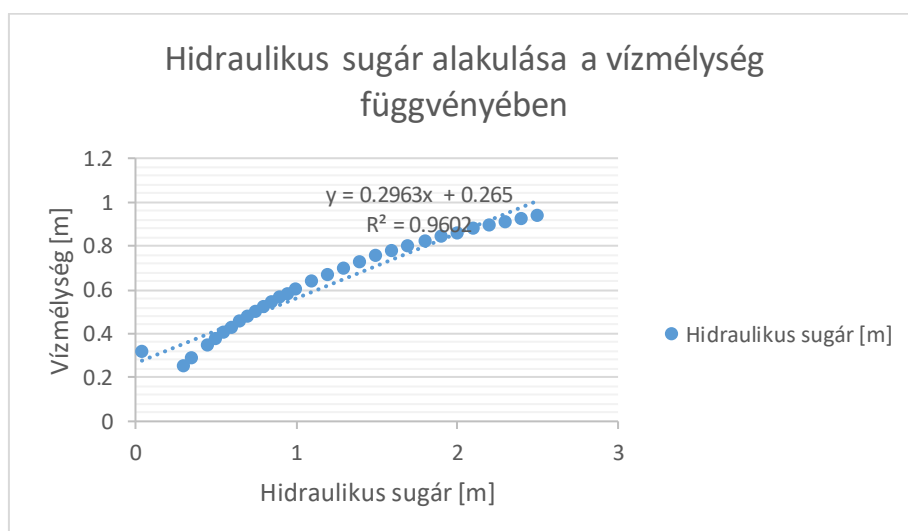
5. Eredmények és értékelésük

A medence 3D felépítése során alkalmazott paraméterek figyelembe vételével számítást végeztem a vízterelő lapátig, egyetlen medence esetében téglalap szelvényre a nedvesített terület, nedvesített kerület, hidraulikus sugár értékeinek alakulására vonatkozólag a vízmélység változásának függvényében. A fenéklemez szélessége a számítás során végig konstans volt.

Fenéklemez szélessége [m]	Vízmélység [m]	Nedvesített terület [m ²]	Nedvesített kerület [m]	Hidraulikus sugár [m]
3	2.5	7.5	8	0.9375
3	2.4	7.2	7.8	0.9231
3	2.3	6.9	7.6	0.9079
3	2.2	6.6	7.4	0.8919
3	2.1	6.3	7.2	0.8750
3	2.0	6.0	7.0	0.8571
3	1.9	5.7	6.8	0.8382
3	1.8	5.4	6.6	0.8181
3	1.7	5.1	6.4	0.7968
3	1.6	4.8	6.2	0.7742
3	1.5	4.5	6	0.75
3	1.4	4.2	5.8	0.7241
3	1.3	3.9	5.6	0.6964
3	1.2	3.6	5.4	0.6666
3	1.1	3.3	5.2	0.6346
3	1.0	3	5	0.6
3	0.95	2.85	4.9	0.5816
3	0.90	2.7	4.8	0.5625

3	0.85	2.55	4.7	0.5425
3	0.80	2.4	4.6	0.5217
3	0.75	2.25	4.5	0.5
3	0.70	2.1	4.4	0.4773
3	0.65	1.95	4.3	0.4535
3	0.60	1.8	4.2	0.4286
3	0.55	1.65	4.1	0.4024
3	0.50	1.5	4	0.375
3	0.45	1.35	3.9	0.3461
3	0.40	1.2	3.8	0.3158
3	0.35	1.05	3.7	0.2838
3	0.30	0.9	3.6	0.25

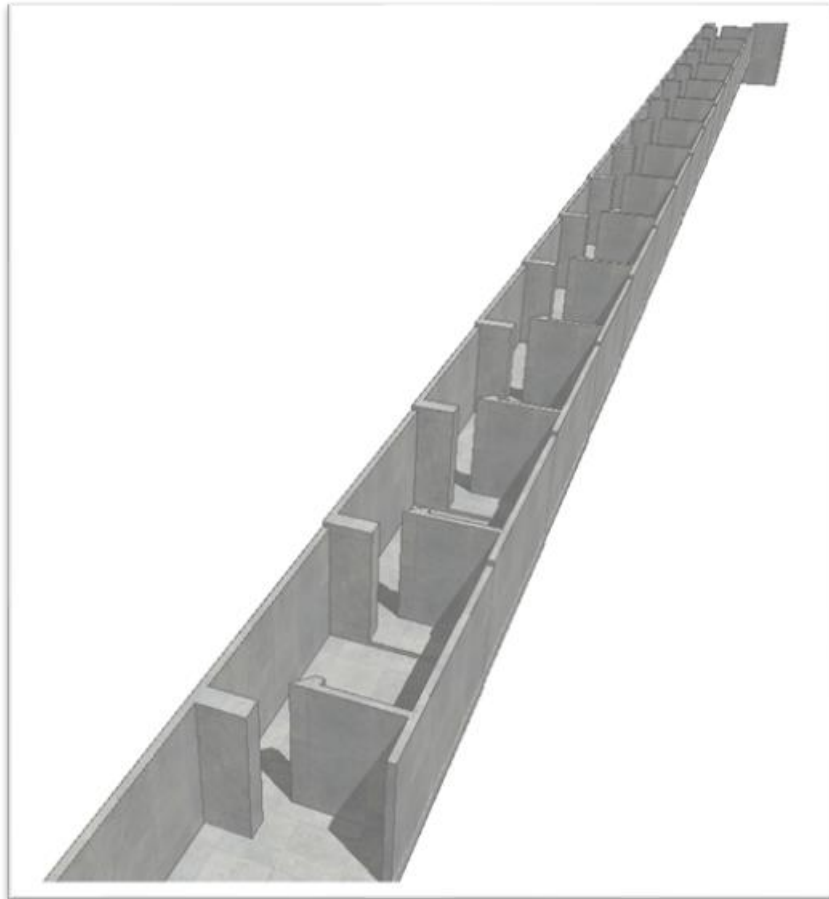
10. ábra: Nedvesített kerület, nedvesített terület és hidraulikus sugár alakulása a vízmélység függvényében [saját ábra]



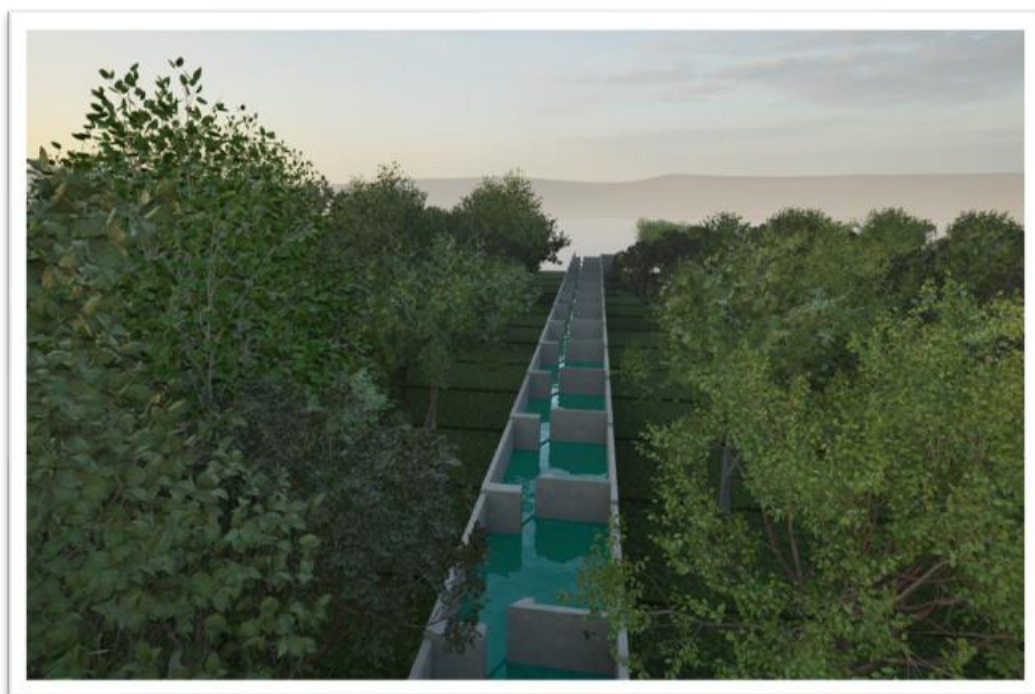
11. ábra: Hidraulikus sugár alakulása a vízmélység függvényében [saját ábra]

A 11. ábrán bemutatott eredmények alapján megállapítható, hogy a hidraulikus sugár az adott szelvényben a vízmélység függvényében növekszik a hidraulika törvényeinek megfelelően, és a vízsebesség alakulására hatást gyakorol.

Az áttekintő teljes 3D látványterv a 12. ábrán, a tájba illesztett teljes 3D látványterv a 13. ábrán kerül bemutatásra.



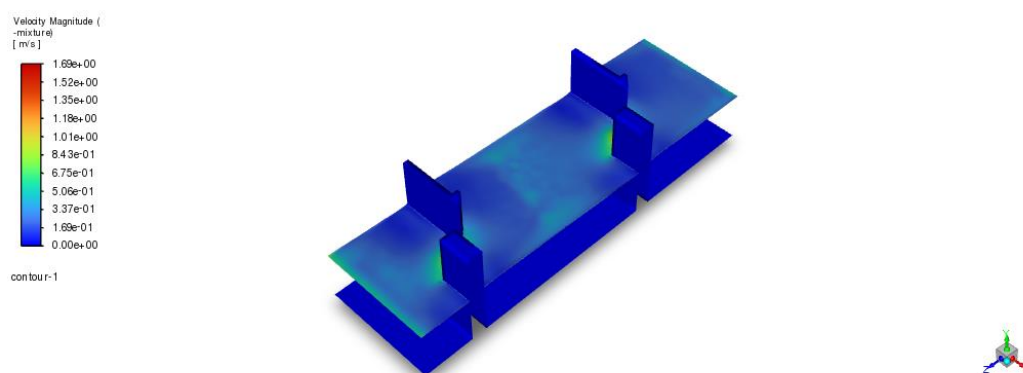
12. ábra: Áttekintő teljes 3D-s látvány [saját ábra]



13. ábra: Tájba illesztett teljes 3D-s látvány [saját ábra]

Vízfolyás sebességének vizsgálata ANSYS programmal:

A vizsgálatot csak egy adott medencére vonatkozólag futtattam le a program tanuló verziójának adottságai miatt. A 3D-s modellt az ANSYS-ban hoztam létre a 2D-s rajzoknak megfelelően (14.ábra).

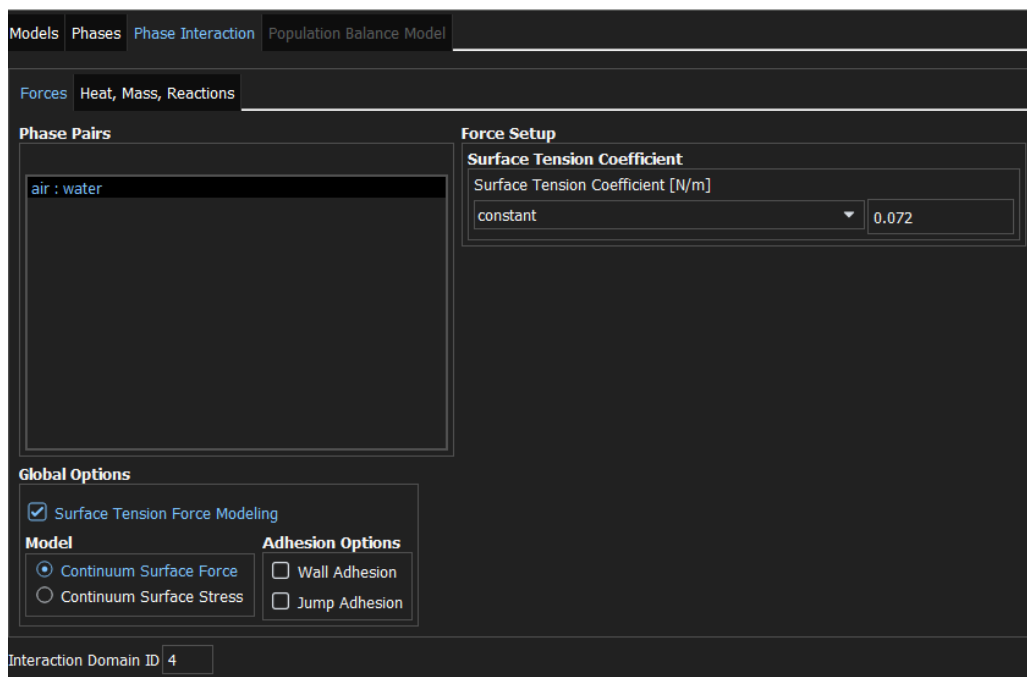


14. ábra: Egy medencére vonatkozó vizsgálat ANSYS programmal [saját ábra]

Miután a modellt létrehoztam egy a vizsgálatnak megfelelő hálót feszítettem rá ennek a segítségével értelmezi a program a vízfolyás irányát, a falakat és a vízterelő lapátokat. A vizsgálat során megadtam a gravitációs gyorsulást, amely Y irányban -9.81 m/s^2 a másik egymásra merőleges tengelyeken 0 m/s^2 . A víz sűrűségét 1000 kg/m^3 értékkel vettem figyelembe, a dinamikai viszkozitás $0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, a felületi súrlódás $0,072 \text{ N/m}$ értékkel szerepelt az elemzés során (15., 16. ábra).

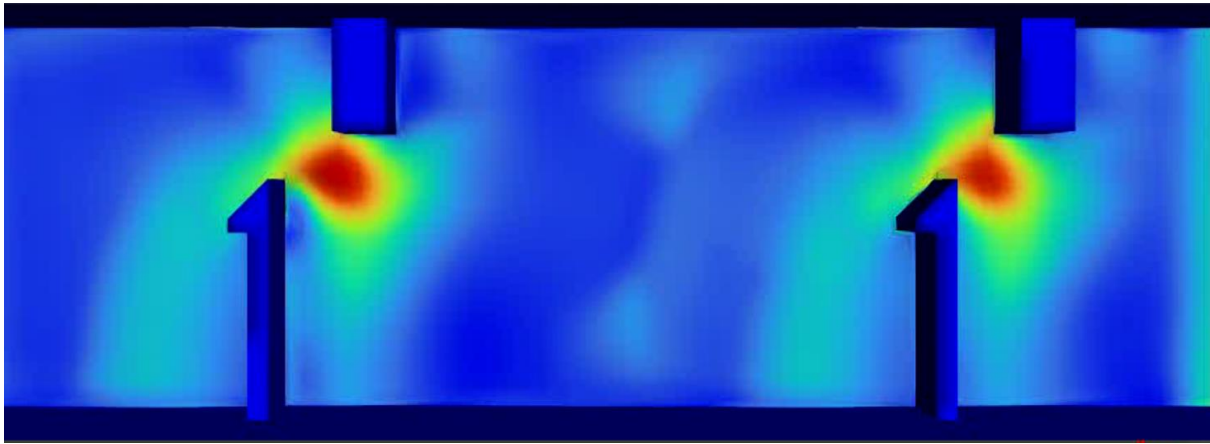


15. ábra: Gravitációs gyorsulás megadása [saját ábra]



16. ábra: Vizsgálati perspektívák beállítása [saját ábra]

Miután beállítottam a vizsgálati perspektívákat, elindítottam az analízist, amely szemléltette a sebesség változását. Felülnézeti képen a 17. ábra mutatja be a sebesség változást.



17. ábra: Felülnézeti kép [saját ábra]

Az analízis futtatása közben teljes képet kapunk az általam elképzelt, tervezett hallépcsőn kialakuló vízsebesség változásról.

A vízfolyás méretétől és vízhozamától függően választható meg a leghatékonyabban működtethető halátjáró típus. A hagyományos medence jellegű halátjáró szakirodalomban javasolt méretei alapján, tokfélékre méreteztem a dolgozatomban szereplő halátjárót (Pannonhalmi 2018).

A tokfélék esetében a megengedett maximális vízhozam $D = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. A medence érdekesség amellet, hogy hatást gyakorol az áramlási sebességre, csökkenti a felszínközeli vízsebességet így előnyös a kisebb halak és vízi gerinctelen fajok számára, segíti átjutásukat.

A hagyományos medencés jellegű halátjáró esetében a felvizet az alvízzel egy olyan csatorna köti össze, amelybe lépcsőzetesen közfalakat építünk be, ezzel medencék sorozatát alakítva ki. Az egyes medencékből a víz lefolyása a közfalokban kiképzett nyílásokon keresztül történik (Pannonhalmi 2018).

A réselt halátjáró a medencés halátjáró egy olyan változata, ahol a közfalakat a medence szélétől egy függőleges rés (nyílás) választja el.

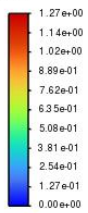
A rés alvizén található terelőfal biztosítja a medencében a halvándorlást segítő kedvező áramlási kép kialakulását.

Az ún. állandósult üzemi állapotot szimulálva megfigyelhetjük, hogy létrejöttek periodikusan ismétlődő zónák a hallépcsőben, pihenő és haladó zónák különülnek el: alacsony (0,127-0,254 m/s), közepes (0,381-0,635 m/s) és magasabb (1,2-1,27 m/s) áramlási sebességgel rendelkező szakaszok.

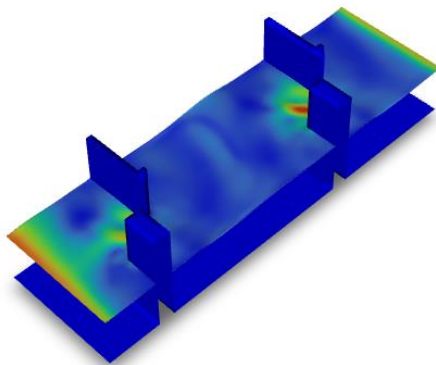
Pihenő zóna: Jellemzően alacsony sebesség uralkodik benne, közelíti a 0,25 m/s-ot, alkalmas a halak pihenéséhez, valamint mivel közel helyezkedik el a bukó részhez így megfelelő helyet képes biztosítani a halak kitörés szerű gyorsításának elkezdéséhez.

Haladó zóna: A halak a hallépcső leküzdésekor ezen az útvonalon haladnak keresztül, a pihenő zónához képest érzékelhetően magasabb a víz sebessége, viszont sehol sem éri el a 2 m/s-os tervezési felső határt.

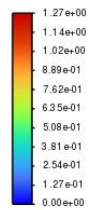
Velocity Magnitude
- (mixture)
[m / s]



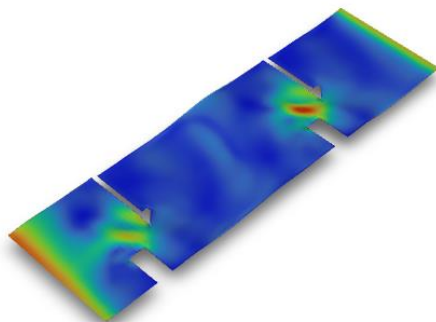
contour-2



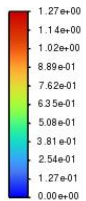
Velocity Magnitude
- (mixture)
[m / s]



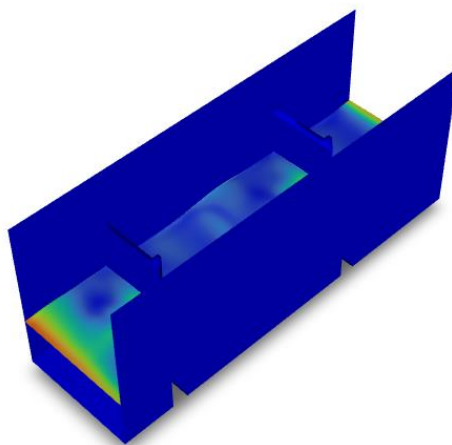
contour-3



Velocity Magnitude
- (mixture)
[m / s]



contour-1



18. ábra: Az analízis futtatása közben rögzített állapotok [saját ábra]

6. Összegzés

A vízfolyásokban élő halpopulációk állománycsökkenése a XIX. század vége óta Európában 90 % fölötti az antropogén hatások és beavatkozások következményeként. A duzzasztóművek és gátak elvágják a halak számára a vándorlási útvonalat, barriert képeznek, az eredetileg egységes populációk kisebb egységekre darabolódnak, fajok tűnhetnek el az egyes vizekből a megváltozott ökológiai állapotok következtében. A hordalék jellemzően a duzzasztóművek fölött gyűlik össze, a vízlépcsők alatti szakaszokon a folyók vízminőségi paraméterei drasztikusan megváltoznak, mederesedés alakul ki, egyre alacsonyabb vízszintek alakulnak ki a klímaváltozás hatására.

A hallépcsők tervezése során számos áramlástani és hidraulikai feltételt kell figyelembe venni, melyeknek meg kell felelniük a hallépcső kialakításának. A hallépcsőben kialakuló áramlási viszonyok, örvénylések következtében a víz sebesség nem haladhatja meg a halfauna és a gerinctelen élőlények által maximálisan elviselhető vízsebesség értéket.

A halátjárók/hallépcsők tervezése során a hidraulikus jellemzők mellett mindig figyelembe kell venni a halfajok úszási teljesítményét és az adott fajra jellemző speciális viselkedését is. A tervezésre vonatkozó biológiai és hidraulikai kritériumok természetesen változnak az egyes fajok esetében, illetve a halak mérete is meghatározó tényező.

A hallépcsők ökológiai hatékonyságát a működésük során lehet értékelni: a hallépcső elrendezése, a tervezett és mért vízmélység, a vízhozam, a medencék közti szintkülönbségek, a szűkületekben mérhető vízsebességek, a teljesítménysűrűség és az aljzat állapota mind-mind befolyásoló tényező. A nagy sebességek, erős turbulenciák vagy az alulméretezett átjárók rontják a hatékonyságot.

Dolgozatomban a hallépcsők hidraulikai paramétereinek vizsgálatát végeztem el szoftveres végelelemes módszer alkalmazásával. Az általam alkalmazott módszer megfelelő és megbízható támogatást nyújtott a vizsgálatokhoz. Az elemzések során a vízsebesség változását alátámasztó eredmények igazolták, hogy az általam vizsgált halfaj ökológiai igényeihez mérten tervezett hallépcső hatékonyan tudja biztosítani az egyedek áthaladását, vándorlását, valamint az alacsony vízsebességgel rendelkező pihenő zónák kialakítása az áthaladó egyedek számára ún. rekreációs teret biztosít.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Czédli Herta egyetemi docensnek a sok segítségért, türelméért, a TDK dolgozat megírása közben adott fantasztikus tanácsaiért, a szakirodalmakban nyújtott iránymutatásáért, és végtelen bizalmáért. Végül meg szeretném köszönni a barátnőmnek, aki segítette a rajzok és a modellek gyorsabb elkészülését, valamint a mindennapi feladatokban nyújtott segítségét.

8. Felhasznált szakirodalom

Acharya, M.; Kells, J.A.; Katopodis, C. Some hydraulic design aspects of nature-like fishways. *Water Resour.* 2020, 5, 39–43.

Branco, P.; Mascarenhas, A.M.; Duarte, G.; Romão, F.; Quaresma, A.; Amaral, S.D.; Ferreira, M.T.; Pinheiro, A.N.; Santos, J.M. Vertical Slot Fishways: Incremental Knowledge to Define the Best Solution. *Biology* 2023, 12, 1431. <https://doi.org/10.3390/biology12111431>

Bryan, A.M.; Abul, B.M.B.; David, Z.; Steven, J.C.; Christos, K. The hydraulics of a vertical slot fishway: A case study on the multi-species vianny-legendre fishway in Quebec, Canada. *Ecol. Eng.* 2016, 90, 190–202.

Clement Adrienne, Kardos Máté Krisztián, Szilágyi Ferenc (2015): Felszíni vizek minősítése az ökológiát támogató fizikai-kémiai jellemzők szerint – az állapotértékelés tanulságai, az intézkedési programok tervezése szempontjából. Magyar Hidrológiai Társaság, XXXIII. Országos Vándorgyűlés, Szombathely, 2015. július 1–3.

I. Dodkins, B. Rippey, T. J. Harrington, C. Bradley, B. Ni Chathain, M. Kelly-Quinn, M. McGarrigle, S. Hodge, D. Trigg (2005): Developing an optimal river typology for biological elements within the Water Framework Directive, *Water Research*, Volume 39, Issue 15, Pages 3479-3486.

L. González-Paz, C. Delgado, I. Pardo (2022): How good is good ecological status? A test across river typologies, diatom indices and biological elements, *Science of The Total Environment*, Volume 815.

Katopodis, C.; Kells, J.A.; Acharya, M. Nature-like and conventional fishways: Alternative concepts. *Can. Water Re-Sources J.* 2001, 26, 211–232.

Liška, I., Wagner, F., Sengl, M., Deutsch, K., Slobodník, J. (eds.) Joint Danube Survey 3 : a comprehensive analysis of Danube water quality International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR), Vienna, p. 277 – 283

Liu, M.; Xu, M.; Liu, Z.; Sun, D.; Guala, M. Ecohydraulic Characteristics of a Differential Weir-Orifice Structure and Its Application to the Transition Reach of a Fishway. *Water* **2022**, *14*, 1711. <https://doi.org/10.3390/w14111711>

Nagy Zsuzsanna: A biológiai elemek állapotát befolyásoló főbb hidromorfológiai tényezők meghatározása magyarországi kisvízfolyásokra. Doktori értekezés. Budapest, Corvinus Egyetem Kertészettudományi Doktori Iskola, 2007.

Olajosné Lakatos, B. (2021). A felszíni vizek ökológiai állapota: A Nemzetközi Duna-védelmi Bizottság Közös Duna Felméréseinek ökológiai állapotra vonatkozó eredményeinek összehasonlítása 2001–2020-ig. *Hadmérnök*, *16*(2), 107–125. <https://doi.org/10.32567/hm.2021.2.8>

Pannonhalmi Miklós szerk. (2018): Halátjárók tervezése, üzemeltetése és ellenőrzése. Útmutató. Győr – Budapest.

Seidl, G.; Schneider, J. Comparative Biotic Monitoring of a Modified Denil Fishway and a Pool and Weir Fishway on a Small Tributary in the Upper Trout Region. *Water* **2023**, *15*, 2322. <https://doi.org/10.3390/w15132322>

Somlyódy László: Vízminőség-szabályozás: Fejlődéstörténelem. *Hidrológiai Közlöny*, *98*. (2018), 2. 5–12

Tudorache, C.; Viaene, P.; Blust, R.; Vereecken, H.; De Boeck, G. A comparison of swimming capacity and energy use in seven european freshwater fish species. *Ecol. Freshw. Fish* **2008**, *17*, 284.

Yagci, O. Ydraulic aspects of pool-weir fishways asecologically friendly water structure. *Ecol. Eng.* **2010**, *36*, 36–46.

Online hivatkozások (letöltés ideje: 2024.11.10)

- [1] <https://telex.hu/techtud/2023/11/08/szendofi-balazs-ember-alkotta-para-duzzasztogatak-folyogyilkos-hatasai-mta-tudomanyunnep-eloadas-tisza-to-vizlepcs>
- [2] <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive>
- [3] <https://termeszetvedelem.hu/wp-content/uploads/2021/12/Utmutato-Az-unios-termeszetvedelmi-jogszabalyokkal-osszefuggesben-a-vizenergia-termelessel-kapcsolatos-kovetelmenye-1.pdf>
- [4] <http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/FAQWFD%20final.pdf>.
- [5] <http://www.eea.europa.eu/publications/state-of-nature-in-the-eu>
- [6] <https://www.waternewseurope.com/eea-report-europes-state-of-water/>
- [7] CPDR: Joint Danube Survey 4. 2019. Online: www.icpdr.org/main/publications/danu-be-watch-2-2019-joint-danube-survey-4
- [8] Liška, Igor– Franz Wagner – Jaroslav Slobodník (szerk.): Joint Danube Survey 2 Final Scientific Report. ICPDR 2008. Online: [www.danubesurvey.org/jds2/files/ICPDR Technical Report for web low corrected.pdf](http://www.danubesurvey.org/jds2/files/ICPDR_Technical_Report_for_web_low_corrected.pdf)
- [9] Liška, Igor– Franz Wagner – Jaroslav Slobodník: Joint Danube Survey 3. A Comprehensive Analysis of Danube Water Quality. ICPDR, 2015. Online: www.icpdr.org/main/activities-projects/jds3
- [10] Summary of the Final Report Joint Danube Survey May 2002. ICPDR – International Commission for the Protection of the Danube River – Permanent Secretariat Vienna International Centre, D0412. Online: www.icpdr.org/main/activities-pro-jects/joint-danube-survey-1
- [11] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/TXT/?uri=CELEX%3A32007R1100>
- [12] <http://www.life-netzwerk-donau.at/de/>
- [13] https://danubis.icpdr.org/system/files/shared/17_FRIK_VERBUND_Hydro%20Power%20GmbH_Ecological%20restoration%20measures%20at%20HP%20in%20AT.pdf

[14]

https://bpmkkepzések.hu/images/MMK_Hal%C3%A1tj%C3%A1r%C3%B3k_III_PM.pdf

[15] <https://greenfo.hu/hir/ember-alkotta-para-a-duzzasztok-folyogyilkos-hatasai/>

[16] <https://pecaverzum.hu/aktualis/szendofi-balazs-a-duzzasztok-kora-tudomanyos-es-etikai-ertelemen-lejart>