

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

GYALOG GERGŐ

**KAPOSVÁRI EGYETEM
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR**

2019

**KAPOSVÁRI EGYETEM
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
MÓDSZERTANI INTÉZET**

Doktori Iskola vezetője:
PROF. DR. FERTŐ IMRE
MTA doktora

Témavezető:
DR. HABIL. CSUKÁS BÉLA
Kémiai tudományok kandidátusa

**A HAZAI HALASTAVI TERMELÉS MODELL ALAPÚ
VIZSGÁLATA**

Készítette:
GYALOG GERGŐ

KAPOSVÁR
2019

Tartalom

1.	Bevezetés.....	1
2.	Irodalmi áttekintés.....	4
2.1.	A hazai halastavi termelés helyzete.....	4
2.1.1.	Globális és európai akvakultúra környezet.....	4
2.1.2.	A hazai tógazdasági szektor helyzete és kihívásai.....	10
2.2.	Ökonometria módszerek alkalmazása az akvakultúrában.....	17
2.3.	Az akvakultúrában alkalmazott szimulációs modellek áttekintése.....	22
2.3.1.	Intenzív akvakultúrában alkalmazott bio-ökonómiai modellek.....	24
2.3.2.	Természetes vizekre alkalmazott ökológiai rendszermodellek.....	30
2.3.3.	Tavi akvakultúra folyamatok modellezése.....	33
2.3.4.	A Programozható Struktúrák módszere.....	36
3.	A disszertáció célkitűzései.....	39
4.	Anyag és módszer.....	43
4.1.	Az ökonometria modell anyaga és módszertana.....	43
4.1.1.	Az ökonometria modellhez rendelkezésre álló adatrendszer.....	43
4.1.2.	A termelési függvény input és output változóinak kiválasztása.....	46
4.1.3.	A függvényformula matematikai specifikációja.....	48
4.2.	A tógazdasági folyamatmodell módszertana.....	51
4.2.1.	A folyamatmodell működésének keretei, peremfeltételek.....	51
4.2.2.	A tógazdasági folyamatmodellben felhasznált összefüggések.....	54
4.2.3.	A tógazdasági folyamatmodell struktúrája.....	62
4.2.4.	A folyamatmodell validálása: adatok és módszertan.....	63
4.2.5.	A folyamatmodellre épülő ökonómiai értékelés módszertana.....	65
5.	A kutatás eredményei és azok értékelése.....	68
5.1.	Az ökonometria modell eredményei és azok értékelése.....	68
5.1.1.	Az üzem szintű adatok elemzése.....	68
5.1.2.	Az ökonometria modell eredményei.....	70
5.1.3.	Az ökonometria modell eredményeinek értékelése.....	74
5.2.	A tógazdasági folyamatmodell eredményei és azok értékelése.....	77
5.2.1.	A modell validálásának eredményei és azok értékelése.....	77

5.2.2.	A folyamatmodell szimulációi a jelenlegi klíma mellett.....	79
5.2.3.	A szimulációk alapján végzett ökonómiai kalkulációk.....	86
5.2.4.	A folyamatmodell szimulációi megváltozó klíma mellett.....	95
6.	Következtetések, javaslatok.....	103
7.	Új, illetve újszerű tudományos eredmények.....	110
8.	Összefoglalás	112
9.	Summary	115
10.	Köszönetnyilvánítás	118
11.	Irodalomjegyzék.....	119
12.	A disszertáció témaköréből megjelent publikációk, közlemények	133
13.	A disszertáció témakörén kívüli publikációk, közlemények	135
14.	Szakmai Önéletrajz	137
15.	Glosszárrium	138

Ábrajegyzék

1. ábra	A világ halászati termelésének változása 1970 és 2016 között.....	5
2. ábra	Akvakultúra termelés átlagos éves bővülési üteme 1990 és 2016 között, régiók szerint	8
3. ábra	A magyar étkezési méretű haltermelés alakulása	10
4. ábra	A magyar tógazdasági haltermelés mutatói.	13
5. ábra	A magyar tógazdasági akvakultúra termelési költségeinek megoszlása 2006/07-ben.....	14
6. ábra	Élőmunka-intenzitás és munkatermelékenység egyes EU tagállamokban, termelési rendszer szerinti bontásban 2006/07-ben.	15
7. ábra	Kutatási munkám során felhasznált tudomány-területek, amelyek mentén a szakirodalmi feldolgozást tagoltam.	23
8. ábra	A három komponensű bio-ökonómai modellben az egyes részmodellek kapcsolata.....	25
9. ábra	A halastavi termelés vizsgálatának lehetséges szintjei.	40
10. ábra	A modellezett folyamatok sematikus áttekintése	56
11. ábra	A bruttó pontyhozamok eloszlása tógazdasági méretcsoportok szerint....	69
12. ábra	Az élőmunka határhasznának értéke a pontyhozam függvényében	72
13. ábra	A szegedi III.-as tó vízszintjének alakulása a tónaplóban rögzített mérések, illetve a modell által kalkulált mérések szerint	77
14. ábra	A szegedi III.-as tóban a kihelyezett és lehalászott ponty mennyisége, illetve a modell által kalkulált ponty állomány	79
15. ábra	A folyamatmodell alapján szimulált nettó pontyhozam a népesítési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.....	81
16. ábra	A folyamatmodell alapján szimulált nettó pontyhozam a takarmányozási intenzitás függvényében, különböző népesítések mellett.....	82
17. ábra	A folyamatmodell alapján szimulált takarmányértékesítési együttható (FCR) a takarmányozási intenzitás függvényében, különböző kihelyezési scenáriók mellett	83
18. ábra	A folyamatmodell alapján szimulált ponty egyednövekedés egy átlagos szezon folyamán, különböző takarmányozási és kihelyezési stratégiák mellett.....	84
19. ábra	A dinamikus folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált fajlagos munkaerőköltségek (A), valamint fajlagos takarmányozási és tenyésztanyag	

költségek (B) a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási szcenáriók mellett.	88
20. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált fajlagos víz és egyéb költségek (A), valamint fajlagos tőkeköltségek (B) a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.	89
21. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált önköltség tőkeköltségek nélkül, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.	91
22. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált önköltség tőkeköltségeket is beleszámítva, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási szcenáriók mellett.	92
23. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált pénzügyi eredmény a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.	92
24. ábra Halastavi párolgásra és pótló vízigényre vonatkozó szimulációk az április 1. és október 31. közötti időszakot tekintve.	96
25. ábra A dinamikus modell szimulációi alapján kalkulált hozamok különböző időhorizonton, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási szcenáriók (A-D alábrák) mellett.....	98
26. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált önköltség két időhorizonton, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási szcenáriók mellett.	100

1. Bevezetés

Az akvakultúra globálisan az egyik leggyorsabban fejlődő mezőgazdasági ágazat az 1980 óta eltelt időszakot tekintve: évi 8,2%-os növekedési üteme jelentősen felülmúlja az egyéb mezőgazdasági ágazatokra jellemző 2-4 %-os évi átlagos bővülést (FAO 2018a,b). Gyorsan fejlődő, egyben fiatal ágazatként azonban fokozottan szembesül az élelmiszertermelést érintő globális kihívásokkal. Egyfelől a növekvő népesség és az élelmiszerek iránti rohamosan bővülő kereslet a termelékenység növelésre ösztönöz, másfelől a rendelkezésre álló vízkészletek, ásványi tápanyagok, energiahordozók és termelésre alkalmas területek szűkössége, valamint ezek használatának egyre szigorúbb szabályozása korlátokat támaszt ennek. A klímaváltozás hatásai tovább élezik az élelmiszerek iránti igények, valamint a természeti erőforrások adta lehetőségek között meghúzódó feszültséget. Mindez az erőforrások egyre hatékonyabb használatára és a technológiai beállítások optimalizálására ösztönzi a haltermelőket.

Ebben a folyamatban a hagyományos agrárkutatói diszciplínák (takarmányozás, genetika, állategészségügy, stb.) mellett a több diszciplínán átívelő, ökonómiát is érintő kutatási irányokra is kulcsszerep hárul. Ezenfelül az agrárinformatika fejlődése, az információk, adatok, kutatási eredmények bővülő halmaza és az ezekre épülő, komplex modell alapú kutatások is nagyban segítenek az élelmiszertermelő rendszer jobb megértésében és fejlesztésében (Jones és mtsai. 2016).

A hazai akvakultúra domináns ágazatát, a halastavi pontytermelést is érinti a fentebb leírt, az inputok költséghatékony használatára ösztönző kihívás. Ugyanakkor a gazdaságilag optimális technológia azonosítása a tógazdasági termelés jellemzőit figyelembe véve nehéz feladat.

Egyrészt a termelés olyan mértékig beágyazott a vízi ökoszisztémába, hogy az egyes inputok (takarmány, tenyészanyag stb.) hatásmechanizmusa nehezen érthető. Ebből kifolyólag a termelők között sincs egyetértés arra vonatkozóan, hogy milyen tenyészanyag kihelyezési sűrűséggel, takarmányozási és trágyázási technológiával, valamint élőmunka felhasználással érdemes gazdálkodni. Jól jellemzi ágazatban alkalmazott technológia heterogenitását az, hogy a termelők egy jelentős része extenzíven (takarmányozás nélkül) gazdálkodik 500 kg/ha alatti bruttó pontyhozamok mellett, ugyanakkor számos termelő 2000 kg/ha feletti hozamokat ér el.

Másrészt, ha egy adott időszakban lenne is konszenzus az optimális technológiai beállításokra vonatkozóan, az évek során állandóan változó input- és termék piaci árak ezeket az optimális beállításokat folytonosan idejétműlttá tennék. Ennek belátásához elég arra gondolni, hogy az élőmunka költségének emelkedése az elmúlt években jelentősen felülmúlja a takarmány és energia árak, valamint a gépek fenntartási költségeinek emelkedését (KSH 2018a,b,c), így ökonómiai szempontból célszerű valamelyest módosítani a technológiát (azaz a felhasznált inputok kombinációját) az élőmunka-intenzív megoldások rovására.

A NAIK Halászati Kutatóintézetében dolgozó agrárközgazdászként számos alkalommal találkoztam olyan kutatási feladatokkal, amelyek a tógazdasági technológia gazdasági hatékonyságának emelésére irányultak. A technológia komplexitása miatt az ilyen kutatási kérdések megválaszolása igényli egyfelől az ökonómiától távol álló tudományterületek bevonását az elemzésbe, másfelől a kvantitatív modellek használatát.

Jelen disszertációban azon eredményeimet foglalom össze, amelyeket a magyar tógazdasági akvakultúra ökonómiai helyzetének és problémáinak modell alapú tanulmányozása során értem el. Az itt bemutatott munka három eltérő tudományterületre, i) a mikroökonómia, ii) az akvakultúra

technológiára; illetve iii) a folyamat modellezésre épít. A kutatási munkám alapját biztosító módszer csak ezek metszetében helyezhető el, ezért mindenképpen türelmet kíván az olvasótól a dolgozat azon részeinek olvasása, amelyet nem érez saját szakterületének. Az eredményeket, illetve az abból levont következtetéseket azonban igyekeztem olyan nyelven megfogalmazni, hogy minden, a magyar tógazdasági akvakultúra fejlesztése iránt érdeklődő szakember számára érthető legyen.

2. Irodalmi áttekintés

Jelen fejezetben elsőként az akvakultúra szektor fejlődési tendenciáit mutatom be, majd kitérek az ágazat problémáira, kihívásaira (2.1 fejezet). Ezt követően (a 2.2 fejezetben) a szakirodalom feldolgozása alapján megvizsgálom, hogy az ökonometriai módszerek hogyan használhatók bizonyos ágazati vagy farm szintű problémák feltárására, elemzésére, valamint az input felhasználás racionalizálására. Végül, a 2.3 fejezetben áttekintem a folyamat típusú rendszerek modell bázisú elemzésére alkalmazott módszereket, különös tekintettel a komplex hidrológiai és ökológiai rendszerekbe illeszkedő halastavak szimulációjára.

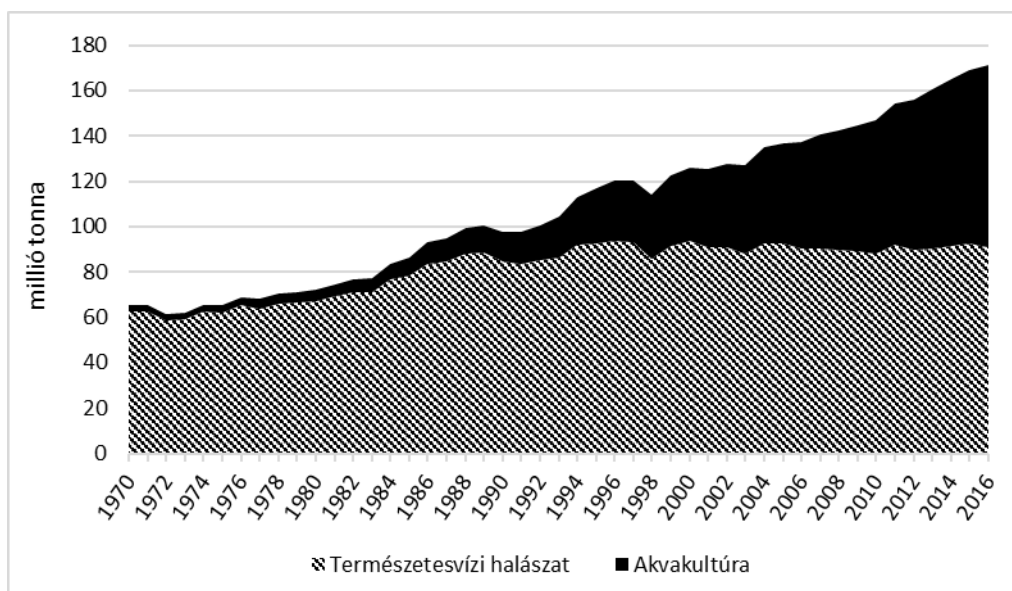
2.1. A hazai halastavi termelés helyzete

2.1.1. Globális és európai akvakultúra környezet

Az akvakultúra kiemelt szerepét globális viszonylatban az adja, hogy termelési volumenének bővülését tekintve a világ leggyorsabban fejlődő mezőgazdasági ágazatának tekinthető (FAO 2014). Az 1980 és 2016 közötti időszakot tekintve a világ akvakultúrás termelése 4,7 millió tonnáról 80,1 millió tonnára nőtt, ami éves szinten átlagosan 8,2 %-os növekedést takar (FAO 2018b). Ezzel szemben ugyanezen periódust tekintve a globális gabonatermelés átlagosan évente mindössze 1,7 %-al bővült, az állattenyésztési ágazatok közül a baromfihús termelés évi 4,4 %-al, a sertéshústermelés 2,2 %-al, a juh- és kecskehús termelés 2,0 %-al, a nyúlhústermelés 1,9 %-al, a tojástermelés 3,0 %-al, a tejtermelés pedig 1,5 %-al nőtt (FAO 2018a).

Az akvakultúra termelés magas ütemű növekedése eredményezte azt, hogy a világ összes halászati termelése (természetes vízi halászat és akvakultúra összesen) is gyorsabban nőtt az 1980 és 2016 közötti időszakban (évi 2,4 %),

mint a világ népessége (évi 1,5%), biztosítva ezáltal a kínálati alapot az egy főre jutó halfogyasztás jelentős növekedéséhez. Az akvakultúra nagy ütemű fejlődésével szemben a természetes vízi halászati termelés stagnált az elmúlt 25 évben a tengeri állományok túlhalászott (*overexploited*) vagy maximális szinten halászott (*fully exploited*) állapota miatt. Az 1. ábra mutatja, ahogy a haltenyésztés egyre meghatározóbb szerepet nyert az elmúlt 30-40 évben a világ halászati termelésében.



1. ábra A világ halászati termelésének változása 1970 és 2016 között (Forrás: FAO 2018b és FAO 2018c)

Az akvakultúra szektornak ezt a robbanásszerű fejlődését szokták kék forradalomnak nevezni, amit egyrészt a termelési technológia fejlődése és a termelés intenzifikálása indukált, másrészt a haltermelési tevékenység számára biztosított egyre nagyobb terület és víztér¹ is hozzájárult a szektor bővüléséhez. Számos tanulmány tesz említést mind a termelési intenzitás növekedéséről, mind a termelésre használt terület expanziójáról (FAO 2016;

¹ Ezt egyetlen globális szinten érvényes indikátorral nem lehet alátámasztani, hiszen az egyes termelési rendszerek diverzitása miatt a termelékenység mértékegysége kg/m³ és kg/ha is lehet rendszertől függően, a haltermelési célra allokált területet pedig egyes esetekben hektárban, máshol pedig m³-ben vagy éppen km partszakaszban mérik.

Hasan és mtsai 2007; Hasan 2013; Nadarajah és Flaaten 2017). A nagy ázsiai haltermelő országokban például a tógazdasági hozamok 5-10 szeresére nőttek a két évtizeddel ezelőtti szintekhez képest (FAO 2011; Nandeeshha és mtsai 2013; Wang és mtsai 2015). Az iparilag gyártott haltápok felhasználása gyorsabb ütemben növekszik, mint maga a termelés (Tacon és Metian 2015), amiből szintén arra lehet következtetni, hogy a természetes tavi táplálékra alapozott extenzív technológiákat felváltják az intenzívebb termelési módszerek.

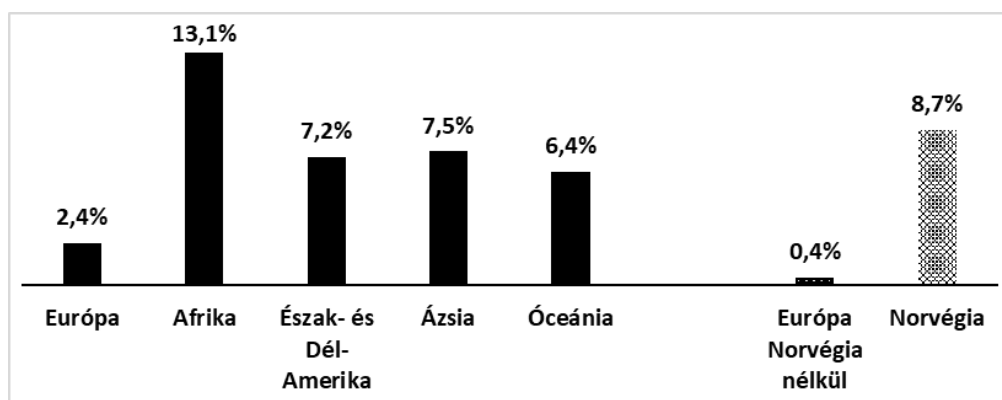
A termelés intenzitásának növelését technológiai oldalról elsősorban a takarmányozásban és a genetikában tett fejlesztések eredményezték, másodsorban a fajlagos input (tenyésztőanyag, takarmány, műtrágya, energia) bevitel növelése, amelyet a vízkezelési és az akvakultúra gépészeti fejlesztések is támogattak (Li és mtsai. 2011; FAO 2016; Hasan 2013). Az input menedzsment optimalizálásában is komoly eredmények születtek. Ez erősen összefügg a szenzorika és a digitalizáció fejlődésével (Bostock és mtsai 2010; Browdy és mtsai 2012), ami kapcsolódik disszertációm témájához. A FAO által, az európai akvakultúra helyzetéről szóló tanulmány kiemeli, hogy a termelés fejlődése egyre jobban támaszkodik az információ technológiára, és egy felsorolást nyújt a régió haltenyésztésében alkalmazott döntéstámogató szoftverekről (FAO 2017).

Az intenzifikáció magyarázatát azonban nem csak a technológiai fejlődésben kell keresni, hanem gazdasági hajtóerőkben is. Ennek megértéséhez azt kell látni, hogy az extenzív és az intenzív termelési technológiák között egy egymással ellentétes irányú kölcsönhatás („*trade-off*”) van a fajlagos input használat tekintetében, vagyis az egy kg hal megtermeléséhez szükséges erőforrások vonatkozásában. Az alacsonyabb hozammal dolgozó, a fotoszintézisre és a tavak természetes táplálékkészletére alapozó extenzív technológiák fajlagosan több helyhez kötött természeti erőforrást (vízkészletet

és földterületet) és kevesebb külső inputot (takarmányt, műtrágyát, energiát, állatgyógyászati szereket, gépi eszközöket stb.) használnak fel egy kg hal előállításához, mint az intenzívebb technológiák (Bostock és mtsai. 2010; Costa-Pierce és mtsai. 2012). Ennek fényében belátható, hogy a termelési intenzitás növeléséhez az akvakultúrában a technológia fejlődésén túl az is hozzájárult, hogy az ázsiai országokban szűkösen rendelkezésre álló föld és vízkészletek felértékelődtek az innovációnak köszönhetően olcsón elérhető takarmányokkal, műtrágyával és hozamfokozó gépészeti megoldásokkal (pl. levegőztető, automata etető) szemben. Más szóval a farmerek egy intenzívebb technológiával tudtak termelési költséget minimalni. Ráadásul egyes régiókban, a földterület elérhetőségének korlátozott volta miatt, a termelők nem is fajlagos termelési költség minimumát tartják szem előtt, mint gazdasági célfüggvényt, hanem az egy hektárra eső gazdasági eredmény (profit) maximumát (Edwards 2011). Ez a gazdasági megfontolás még magasabb termelési intenzitás felé tolja az alkalmazott technológiákat, hiszen a termelők inkább magasabb fajlagos termelési költséggel és kisebb nyereségrátával, de jóval többet termelnek egységnyi földterületen. Az akvakultúra rendszerekben is megfigyelhető a mikroökonómiai tankönyvekben gondosan tárgyalt U-alakú átlagköltség görbe, vagyis az a tény, hogy adott méretű termelési infrastruktúrát – pl. egy hektár tavat – alapul véve a fajlagos termelési költség előbb csökken, majd nő a termelés fokozásával (Engle 2010). Számos publikáció bizonyítja, hogy intenzívebb technológiákkal a kisebb nyereségráta ellenére magasabb egy hektárra eső profit érhető el (Ahmed és mtsai. 2010; Gyalog és mtsai. 2011; Hasan 2007).

A termelési statisztikákat elemezve megállapítható, hogy az elmúlt két évtizedet tekintve globális viszonylatban nincs jelentős különbség a tengeri és édesvízi akvakultúra növekedési üteme között. Regionális csoportosítás szerint vizsgálva azonban figyelemre méltó különbségek fedezhetők fel: az európai növekedés üteme messze elmarad a többi kontinens haltermelésének

növekedésétől (2.ábra). Megjegyzendő, hogy az afrikai kék forradalom azért olyan látványos, mert a '90-es évek elejéig gyakorlatilag nem létezett akvakultúra a fekete földrészen. Ma, a globális akvakultúra termelés 89,4 %-a származik Ázsiából, 4,2%-a Észak- és Dél-Amerikából, 0,3 %-a pedig az ausztrál kontinensről. Európa 2016-ban a világ akvakultúra termelésének mindössze 2,4 %-át adta, holott 1990-ben még 12,2 % volt ez az arány.



2. ábra Akvakultúra termelés átlagos éves bővülési üteme 1990 és 2016 között, régiók szerint (Forrás: FAO, 2018b)

Az európai – beleértve a magyar – akvakultúra bővülése előtti akadályok tárgyalása elválaszthatatlan az Európán belüli heterogén fejlődési trendek ismertetésétől. A norvég haltermelés, amely az európai akvakultúra 45 %-át adja, a globális átlaghoz hasonló ütemű bővülést tud felmutatni. Ezzel szemben mind az EU-28, mind az egyéb európai országok csoportjának termelése stagnál, immáron 2-3 évtizedes távlatban. Ennek okaként leggyakrabban az EU-ra jellemző túl szigorú szabályozási környezetet, illetve az annak köszönhető alacsony nemzetközi versenyképességet szokták elsődlegesen megemlíteni (Mente és Smaal, 2016; STECF 2014).

Termelési rendszer szerinti bontásban vizsgálva fontos megemlíteni, hogy egyedül a ketreces tengeri akvakultúra tudott növekedést felmutatni 1990 óta (Norvégiában nagyobb, az EU-ban kisebb mértékben). Az egyéb meghatározó alszektorok, mint például a tengeri kagylótenyésztés, az édesvízi medencés

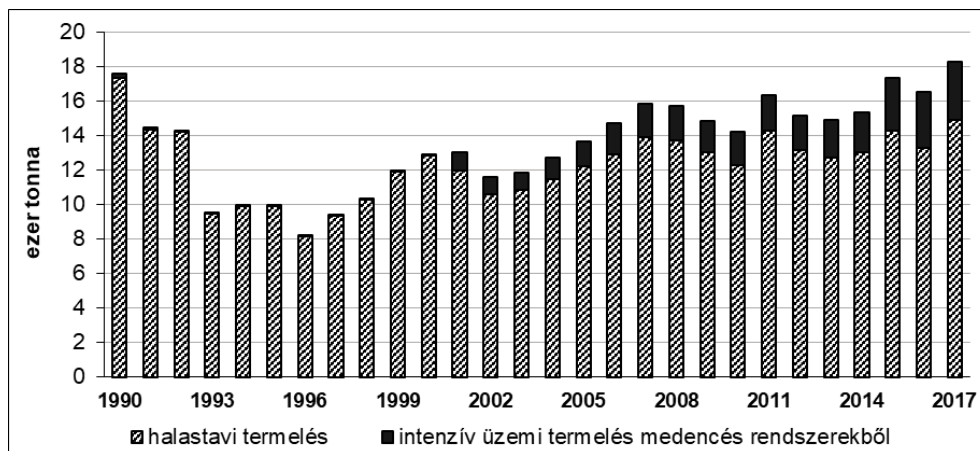
rendszerek és az édesvízi tógazdálkodás nem tudtak érdemben bővülni az elmúlt 20-25 évben. Ennek okát abban kell keresni, hogy a ketreces haltenyésztésben tudták a termelési folyamat legmagasabb fokú termelői szabályozását megvalósítani, ez pedig nagyon jelentős csökkenést eredményezett a fajlagos termelési költségekben, a méret-gazdaságossági tényezőknek köszönhetően. A termelési folyamat fokozott szabályozása többek között a szaporítás biztonságának megoldását, a célfaj táplálkozási igényeire optimált tápreceptúrák kidolgozását, a domesztikációt (beleértve az egyednövekedés heterogenitásának csökkentését), a folyamatok gépesítését és automatizálását, a halbetegségekkel szembeni védelmet, a környezeti tényezőktől való egyre nagyobb mértékű függetlenedését jelenti. A magas szintű technológiának köszönhetően a tengeri ketreces szektorban a termelést biztonságosabbá és programozhatóbbá tették az elmúlt 30-40 évben. Azzal, hogy a termelés időben és mennyiségben pontosabban tervezhető lett, a technológia vonzóvá vált a nagyobb volumenű befektetések számára. A nagyobb volumenű termelés pedig egy magas fokon gépesített technológia esetében jelentős fajlagos költségcsökkenést eredményezett. Ehhez hozzájárult a beszállítók specializációja, valamint a nagyobb kapacitású termelési infrastruktúra (pl. a 30 évvel korábban alkalmazott 80 köbméteres ketrecekhez viszonyítva 2010-ben már 80 ezer köbméteres ketreceket használtak) költségcsökkentő hatása is. Méretgazdaságossági tényezőnek köszönhetően a lazac fajlagos termelési költsége 1985 és 2007 között reál értékben 70%-al csökkent (Asche 2008; Asche és mtsai. 2013).

Ezzel szemben az európai édesvízi haltermelés nem tudott profitálni a mérethozadékból, a szektor tulajdonlási szerkezete továbbra is elaprózott, az átlagos üzemméret kicsi, és mindez összefüggésbe hozható a szegmens stagnálásával (Nielsen és mtsai. 2016). Ehhez kapcsolódóan kutatási témámhoz tartozott annak a kérdésnek a megválaszolása is, hogy az európai

édesvízi haltermelés 40 %-át kitevő tógazdasági pontytermelés esetében jellemzi-e a technológiát a méretgazdaságosság.

2.1.2. A hazai tógazdasági szektor helyzete és kihívásai

A magyar haltermelés múltját és bővülési lehetőségeit az európai akvakultúra helyzetéről elmondott adatok és problémák fényében kell vizsgálni. A 3. ábra mutatja, hogy hasonlóan más poszt-szocialista országokhoz, a termelés a rendszerváltást követően jelentősen visszaesett, 1996 óta azonban – a klimatikus viszonyok miatti ingadozásokkal tarkítva – látványosan nőtt a termelés. A tógazdasági ágazat az évezred elejére megközelítette a nyolcvanas évekre jellemző termelési potenciált, de azóta csak elenyésző mértékben bővült. Az elmúlt 15 évben azonban az akvakultúra ágazat növekedési motorja az intenzív üzemi, medencés haltermelés volt, amely elsősorban az egész évben ütemezett termelésnek és a ráépülő poszt-harveszt láncnak (feldolgozás, logisztika, áruházláncokban való elérhetőség) köszönheti sikerét. Elsősorban az afrikai harcra termelése futott fel, de a tokfélék hazai akvakultúrája is bővül (AKI 2018a).



3. ábra A magyar étkezési méretű haltermelés alakulása (Forrás: AKI, 2018a [1996-2017 évek adatai], illetve FAO, 2018b [1990-2016 évek adatai]. A két forrás adatai az 1996-2016 közötti, átfedésben lévő időszakra teljesen egyeznek.)

Disszertációm célkitűzésével összhangban, a továbbiakban a tógazdasági szektorra, illetve azon belül a termelési („pre-harveszt”) folyamatra fókuszálok. Mivel egy időjárásnak kitett technológiáról van szó, a termelési mutatók évek közötti változása számos, a termelékenységre és az input felhasználásra vonatkozó tendenciát elfed. Az évek közötti – időjárásnak tulajdonítható – ingadozások elsimítása céljából öt éves mozgóátlagokat alkalmazva a 4. ábrán bemutatok több olyan folyamatot, amely szemlélteti a tógazdasági technológia átalakulását.

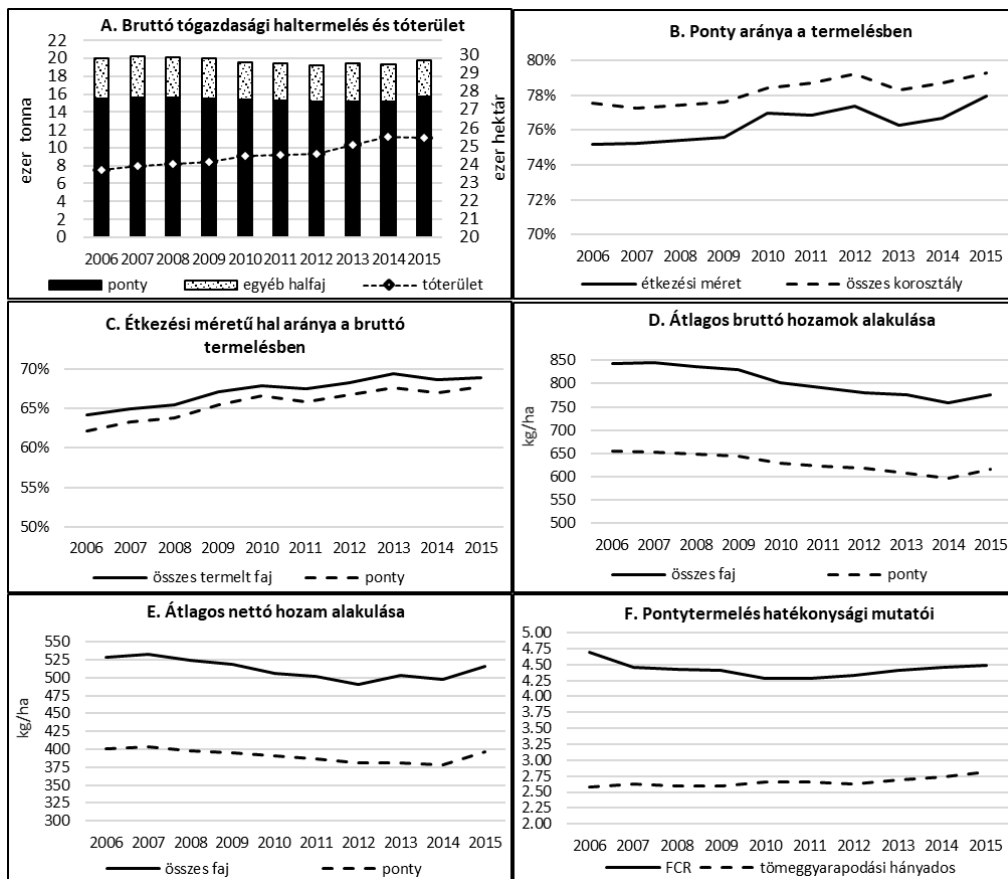
A 4.A. ábrán látható, hogy bruttó (étkezési méretű hal + tenyészhal + ivadék) termelésünk némileg csökkenő-stagnáló tendenciát mutat az elmúlt 10 évben, miközben az üzemelő tavak területe mintegy 8 %-al nőtt (23,7 ezer hektárról 25,5 ezer hektárra). A két tényező eredőjeként az átlagos (bruttó) hozamok jelentősen csökkentek, a tíz évvel ezelőtt jellemző 850 kg/ha körüli szintekről 760 kg/ha körüli szintre (4.D. ábra). Érdekes módon, mindez nem járt hatékonyságvesztéssel, hiszen az átlagos nettó hektáronkénti hozam változatlan maradt ugyanebben az időszakban (4.E. ábra). Ez utóbbi szorosan összefügg azzal, hogy a ponty tömeggyarapodási mutató (a lehalászott és a behelyezett állomány hányadosa) jelentősen, mintegy 10 %-al javult a 2000-es évek közepe óta (4.F. ábra). Ez a javulás a rendelkezésre álló statisztikai adatok alapján nem magyarázható takarmányozási oldalról, hiszen sem a vegyesabrak takarmányozás intenzitása (amely 1800 kg/ha körüli szinteken van), sem a takarmány-átalakítási együttható (FCR) nem változott az elmúlt évek folyamán. Ugyanakkor a hektáronkénti kihelyezés az elmúlt tíz évben mintegy 15 %-al csökkent, az összes fajt tekintve 320 kg/ha körüli értékekről 270 kg/ha szintre, míg ponty esetében 250 kg/ha-ról 220 kg/ha-ra. Ez részben magyarázhatja a tömeggyarapodási hányados javulását, de a hektáronkénti nettó hozam változatlan szintje kérdést vett fel arra vonatkozóan, hogy a javulás pusztán ennek, vagy más tényezőknek is a következménye.

Az inputhatékonyság kérdése kapcsolódik a több változós hozammodellek tárgyához, amelyek a hozamokat – mint output változókat – a takarmányozás, a kihelyezés és esetleg más inputok függvényében mutatják. Ezen függvények elemzése képezheti alapját a gazdaságilag optimális inpuhasználat meghatározásának. Hazai tógazdasági viszonylatban eddig többek között Péteri és mtsai. (1986) és Csengeri és mtsai. (2018) foglalkozott hozammodellek parametrizálásával, de a gazdaságilag optimális inpuhasználatra vonatkozó következtetéseket nem vontak le belőlük. Ennek a kérdéskörnek az aktualitása is vezérelt kutatási céljaim meghatározásakor, amikor egy olyan komplex modell felírására vállalkoztam, amelynek elemzése révén az optimális inpuhasználatról is lehet nyilatkozni.

Visszatérve a magyar tógazdálkodás szerkezeti átalakulásához, érdekes tendenciaként mutatkozik, hogy polikultúrán alapuló haltenyésztésünkben a ponty aránya a teljes termeléshez viszonyítva mintegy 2 százalékkal nőtt az elmúlt tíz évben (4.B. ábra), az alacsonyabb piaci értékű kiegészítő növényevő fajok rovására. Ugyanakkor az értékesebb ragadozófajok aránya változatlan maradt (2,1-2,2 %), így a termelési statisztikák nem támasztják alá, hogy ágazati szinten látható módon sikerült volna eredményt kovácsolni a harcra, a süllő és a csuka termelés növelésére irányuló erőfeszítésekből, és a termelési érték ilyen módon történő növelését.

Szintén fontos és az előzőekben említett folyamatoknál jelentősebb technológiai szerkezeti átalakulásra utal az, hogy az étkezési méretű halak termelése egyre nagyobb súlyt képvisel bruttó tógazdasági termelésünkben az ivadék és növendék előállítás rovására. Ez jele lehet annak, hogy egyre több gazdaság áll át a hároméves üzemformáról a kétéves termelési ciklusra (AKI 2018b), de a jelenlegi statisztikai adatgyűjtési rendszer nem teszi lehetővé ennek a kapcsolatnak az alátámasztását. Ponty esetében például 62%-ról 68

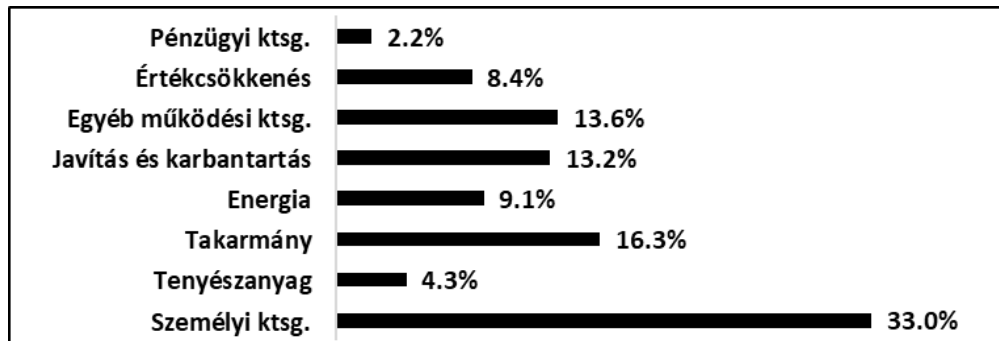
%-ra nőtt az elmúlt tíz évben az étkezési méretű állomány aránya a teljes lehalászott mennyiségben (4.C. ábra).



4. ábra A magyar tógazdasági haltermelés mutatói. Az adatok 5 éves mozgóátlagokat jelölnek az évjáratí hatások elsimítása céljából (Forrás: AKI 2018a)

A pénzügyi-gazdasági mutatókat illetően a KSH, illetve NAV adatbázisból nem állnak rendelkezésre ágazati szintű gazdasági mutatók, hiszen az akvakultúra (és ezen belül a tógazdasági akvakultúra) nem önálló ágazat, a természetes vízi halászattal való együtt kezelése pedig jelentősen torzítja az ilyen mutatókat. Az Agrárgazdasági Kutató Intézet sem működtet a haltenyésztésre vonatkozó testüzemi rendszert a pénzügyi teljesítmény monitorozására. Framian (2009) közölt ugyanakkor 2006-07. évre vonatkozó

pénzügyi mutatókat a magyar tógazdálkodási szektorra. Ennek alapján a teljes termelési költség költségnemenkénti megoszlását az 5. ábra mutatja.

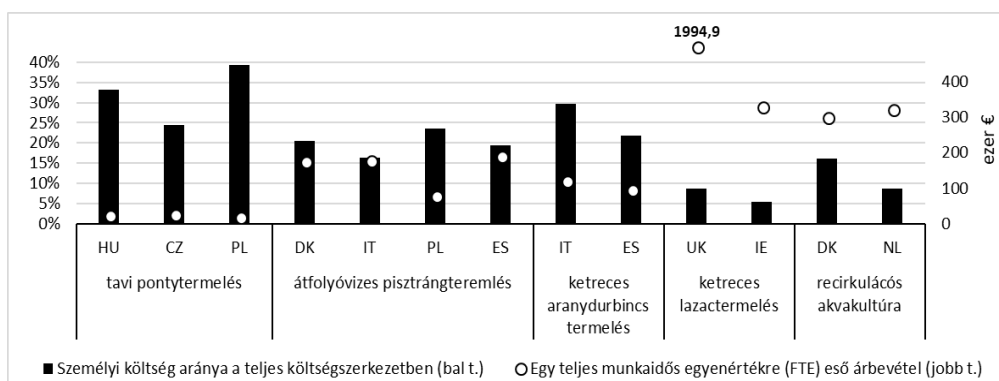


5. ábra A magyar tógazdasági akvakultúra termelési költségeinek megoszlása 2006/07-ben (Forrás: Framian, 2009)

A költségek összetétele alapján jól kirajzolódik, hogy egy alacsony termelési intenzitású (extenzív, illetve fél-intenzív) technológia jellemző mind a magyar, mind a közép-európai tógazdálkodásra (Váradí és mtsai. 2012). Erre enged következtetni az, hogy a takarmányozási költségek aránya mind az egyéb hazai állattenyésztési ágazatokhoz, mind a többi európai akvakultúra technológiához képest nagyon alacsony, ugyanakkor a személyi költségek aránya igen magas (Framian 2009). A tenyészanyag költségek arányára vonatkozó adattal kapcsolatban mindenképpen meg kell jegyezni, hogy a hazai tógazdaságok döntő többsége teljes vertikumú termelésre rendezkedett be, azaz a szaporítást és az ivadéknevelést is maga végzi, így a vállalati szintű költségkimutatásokban ez nem jelentős tétel. Ugyanakkor, ha egy adott szezonban, egy adott nevelési fázis költség-haszon elemzését végezzük, akkor a tenyészanyag a takarmányéhoz hasonló költségtételt képvisel.

Összességében látható, hogy a pontytermelés eredményességét a biológiai jellegű inputok (takarmány, tenyészanyag) használatának hatékonysága csak kis mértékben magyarázhatja, miközben az egyes farmok költség versenyképessége a humán-erőforrás gazdálkodásnak, a tőkeköltségek menedzselésének és a termelési infrastruktúra állagmegóvásának minőségén

áll vagy bukik. Ez némileg kapcsolódik a fentebb leírtakhoz is: a hektáronkénti nettó hozam úgy maradt változatlan (4.E. ábra), hogy az évek során nem nőtt a takarmányozás, viszont csökkent a kihelyezés. Ha nem voltak korábban túl népesítve a tavak, akkor elképzelhető, hogy egy időben minőségileg javuló általános menedzsment, valamint gépesítési és humán tényezők eredménye az input-hatékonyabb gazdálkodás. A tógazdálkodásnak ez a fentebb leírt sajátossága jelentős hatással volt kutatási céljaim megválasztására, amikor azt vizsgálom, hogy a gépesítés, illetve a munkaerő milyen szinten magyarázza a tavi hozamok alakulását.



6. ábra Élőmunka-intenzitás és munkatermelékenység egyes EU tagállamokban, termelési rendszer szerinti bontásban 2006/07-ben². (Forrás: Framian (2009) adatai alapján)

Az extenzív/fél-intenzív technológia magas élőmunka intenzitása napjaink egyik legégetőbb problémája a tógazdálkodás szempontjából, hasonlóan a mezőgazdaság más ágazataihoz. A 6. ábra mutatja, hogy a közép-európai tógazdálkodás milyen erősen alapul az élőmunkán, összehasonlítva más európai termelési rendszerekkel: a három nagy tradícióval bíró régiós országban nagyon jelentős költségtételt képviselnek a személyi költségek,

² A kétbetűs országkódok jelentése: Magyarország (HU), Csehország (CZ), Lengyelország (PL), Dánia (DK), Olaszország (IT), Spanyolország (ES), Egyesült Királyság (UK), Írország (IE), Hollandia (NL).

ugyanakkor az egy alkalmazottra eső árbevétel a tavi pontytermelés esetében volt a legalacsonyabb a felmérés idején, mindössze 21.700 – 28.400 €.

A magas élőmunka intenzitás azért jelent problémát, mert a mezőgazdasági munkaerőhiány miatt a bérköltségek növekedése húzza legjobban a termelési költségek emelkedését a főbb input-tényezőket tekintve a magyar tógazdasági haltenyésztésben a 2007 és 2017 közötti tízéves időszakot tekintve:

- Ez idő alatt a teljes munkaidőben alkalmazásban állók rendszeres havi bruttó átlagkeresete a „Mezőgazdaság, erdőgazdálkodás, halászat” ágazatban 122.231 Ft-ról 230.638 Ft-ra nőtt (KSH 2018a). Ha ezt az indikátort tekintjük mértékadónak (hiszen kifejezetten a halászati szektorra lebontott adatok nem állnak rendelkezésre), akkor megállapítható, hogy az élőmunka költsége az elmúlt tíz évben 89 %-al nőtt.
- Ezzel szemben a búza felvásárlási átlagára 2007-ben és 2017-ben is 43,7 Ft/kg volt, míg a kukoricáé ez idő alatt 45,3 Ft/kg-ról 42,6 Ft/kg-ra csökkent (KSH 2018b). Ezeket véve indikátornak, a takarmányárak nem emelkedtek az elmúlt tíz évben.
- A KSH által közölt mezőgazdasági ráfordítások árindexeiből látható, hogy 2007 és 2017 között az energiaköltségek mindössze 27 %-al, a gépek fenntartási és javítási költségei 30 %-al, az épületek fenntartási költségei 36%-al nőttek (KSH 2018c).
- Az étkezési méretű ponty ára ezen az időtávon 510 Ft/kg-ról 655 Ft/kg-ra nőtt. A tenyészanyag árára nem állnak rendelkezésre statisztikai idősoros adatok, de mind az ivadék, mind a kétnyaras ponty árát hagyományosan az étkezési méretű ponty árához szokták indexálni. Ennek alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy a tenyészanyagnak, mint inputnak a költsége az elmúlt tíz évben 28 %-al nőtt. (MA-HAL 2012-16; AKI 2018b).

A fenti adatokból tehát látható, hogy míg az élőmunka fajlagos költsége évenként 6,6 %-al nőtt, addig a takarmányárak -0,6 - 0 %- al, az energiaárak

2,4 %-al, a fenntartási és javítási költségek 2,6 – 3,1 %-al, a tenyészanyag költsége pedig 2,5 %-al emelkedett a 2007 és 2017 közötti időszakban. Ez azt a jól ismert problémát jelzi, hogy a bérek növekedésének üteme jóval a többi input költség növekedési üteme felett van.

A bérköltségek magas inflációja ronthatja a ponty versenyképességét a kevésbé élőmunka-intenzív technológiával termelt akvakultúra termékekhez képest. Ez kutatási munkám során ráirányította a figyelmem a munkaerő problémájára is, és ehhez kapcsolódóan vizsgáltam azt, hogy a munkaerő mennyire képezi korlátját a hozamok növelésének.

2.2. Ökonometriai módszerek alkalmazása az akvakultúrában

Jelen alfejezetben az ökonometriai eszközök alkalmazásait szeretném áttekinteni az akvakultúra szektor vonatkozásában. Csak olyan tudományos munkákat mutatok be, amelyek relevánsak a disszertáció témája szempontjából, és a haltermelési („preharveszt”) folyamatot próbálták a matematikai közgazdaságtan eszközeivel leírni. Ebből kifolyólag a „posztharveszt” (feldolgozás, logisztika, értékesítés) fázist is vizsgáló irodalmakat kihagyom a további bemutatásból. Elsősorban azon szakirodalmi forrásokat dolgoztam fel, amelyek előre definiált formájú termelési függvények parametrizálásával az optimális input menedzsmentre keresték a választ, hiszen disszertációm céljai között szerepel a magyar tógazdasági akvakultúrában az input tényezők gazdaságilag optimális kombinációjának vizsgálata, mind a nagyobb input-csoportok (forgóeszközök, munkaerő, gépesítettség, tóterület) tekintetében, mind a forgóeszközök csoportján belüli biológiai jellegű inputok (takarmány, tenyészanyag) vonatkozásában.

Azon cikkeket is áttekintettem, amelyek érdeklődésének fókuszában nem a farm szintű, hanem ágazati szintű problémák állnak, és azokat a termelési tényezőket próbálják azonosítani ökonometriai eszközökkel, amelyek az

akvakultúra szektor fejlődésének korlátját képezik. Kapcsolódóan az előző alfejezetben felvetett problémákhoz, külön figyelmet szenteltem azon tudományos munkák bemutatásának, amelyek ökonometriai eszközökkel vizsgálták az egyes haltermelési technológiákra jellemző méretgazdaságosság mértékét.

Bár a vonatkozó szakirodalom egy része nem a tavi technológiákra, hanem más haltermelési technológiákra fókuszál, mégis relevánsak a magyar tógazdasági pontytermelés vizsgálata számára, több szempontból is. Egyrészt tanulságos, hogy a szakirodalomban matematikailag hogyan specifikálják a függvényszerű kapcsolatot az input tényezők mennyisége, illetve a termelés (output) szintje között. Másrészt hasznos technikákat kínálnak ezen cikkek abból a szempontból, hogy az input-tényezőket hogyan ragadják meg a szerzők: mely inputokat veszik figyelembe, milyen formában csoportosítják azokat, milyen mértékegységben fejezik ki mennyiségüket. A fenti okból kifolyólag az ebben a fejezetben bemutatott irodalmat módszertani kitekintéssel dolgoztam fel, elsősorban az imént vázolt kérdésekre keresve a válaszokat, továbbá arra, hogy melyek voltak a kutatás céljai, milyen gyakorlati feladatot akartak megoldani az adott termelési függvény felírásával és elemzésével.

A mezőgazdasági termelési folyamat elemzésének matematikai háttéréről nagyon jó áttekintést nyújt Debertain (2012). Széleskörűen elemezi a gyakorlatban leginkább használt termelési függvény típusokat, aprólékosan taglalva az egyes függvények algebrai jellemzőit. Részletesen kitér a Cobb-Douglas típusú függvényekre, valamint a transzlog termelési függvényre is; ezek matematikai tulajdonságainak elemzése a további szakirodalom tanulmányozásakor jelentős hasznomra szolgált. A könyv külön fejezetet szentel a mérethozadék témakörének, és ehhez kapcsolódóan a homogén

függvényeknek, amelyekkel a mérethozadék meglete számszerűen könnyen vizsgálható.

Annak ellenére, hogy a Cobb-Douglas típusú függvények jóval korlátozóbbak, mint a transzlog függvények, széles körűen használják ezeket az akvakultúra termelési folyamat specifikációjára. A Cobb-Douglas típusú függvények egyik legelső használata az akvakultúra ökonómiai szakirodalomban Luce és Maitland (1973) cikkében lelhető fel, ahol a szerzők amerikai pettyes harcsát termelő tógazdaságok adatai alapján az egy farmra jutó termelést használták output változóként (természetes mértékegységben kifejezve), a munkaidőt (munkaórában mérve) és az éves tőkeköltéseket pedig magyarázó változóként. A mintaszámról nem számol be a cikk, valószínűleg ebben az időben ez nem képezte részét a módszertani leírás protokolljának. A szerzők azt találták, hogy a termelési technológiában erős mérethozadék van jelen, hiszen a két inputváltozó kitevőjének összeg jóval magasabb, mint 1. A szerzők a termelési függvény analízisével megállapították, hogy a farmok többsége gazdaságilag optimális arányban használja a tőkét és a munkát, hiszen 1 dollárnyi további ráfordítás mind a tőke mind az élőmunka esetében hasonló marginális jövedelmet hoz.

Szintén Cobb-Douglas típusú termelési függvényt használtak akvakultúrás vonatkozásban Coffen és Charles (1991), akik két fajta kagyló termelési technológia esetében vizsgálták többek között a mérethozadék jelenlétét. Függvényanalízissel arra jutottak, hogy csak az egyik tárgyalt technológiára jellemző a mérethozadék. Nerrie és Maitland (1990) 66 db, szintén pettyes harcsát termelő farm adatai alapján a takarmányt, a kihelyezett tenyészanyagot és a tőkét magyarázó változókként használó Cobb-Douglas függvény alkalmazásával jutottak arra a következtetésre, hogy a termelés jelentősen intenzifikálható, hiszen a legtöbb input határhaszna jóval meghaladja azok egységköltését.

Az újabb keletű Cobb-Douglas alkalmazások közül Ali és mtsai (2016) cikke érdemel említést. Itt 177 db bangladesi pontytermelő farm adatait használva a szerzők az egy hektárra eső termelést (hozamot) használták output változónak, míg a magyarázó változók között az egy hektárra eső kihelyezett tenyészanyag, az egy hektáron felhasznált szerves trágya, műtrágya és különböző takarmánykomponensek, az élőmunka (ledolgozott munkanap/ha), továbbá olyan technológiai mutatók szerepeltek, mint a vízmélység, a vízborítás időszakának hossza és a tavak átlagos kora. Továbbá a farmok elhelyezkedését reprezentáló minőségi (*dummy*) változókat is használtak, amelyek lényegesen emelték a függvényilleszkedés (R^2) értékét. Az egyes input változókra kapott paraméterek értékéből és szignifikancia szintjéből a szerzők arra vonatkozóan vontak le következtetéseket, hogy melyek azok az inputok és technológia jellemzők, amelyek meghatározzák az egyes farmok termelékenységét. A legfontosabb magyarázó változók a következők voltak: a takarmány, a kihelyezett tenyészanyag, a munkaerő és a tó mélysége. A függvény elemzéssel a szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy ezen inputok használatának növelésével (a vízmélység esetén ez kotrási munkákba való tőkebefektetést jelent) jelentősen intenzifikálni lehet a termelést.

Ahmed és mtsai. (2010) szintén bangladesi farmokon vizsgálták az intenzifikáció lehetőségeit. 20-20 extenzív, fél-intenzív, illetve intenzív farm adatai alapján külön-külön parametrizálva egy-egy Cobb-Douglas függvényt, arra az eredményre jutottak, hogy amíg az extenzív és fél-intenzív technológiával működő gazdaságok rentábilisan növelhetnék hozamaikat a takarmányozás, a tenyészanyag kihelyezés és a trágyázás intenzitásának növelésével, valamint a magasabb élőmunka használatával, addig az intenzív farmokon már nem hatékony a forgóeszközök használata, így további növelésük nem racionális.

A fentebb részletesebben bemutatott cikkeken túl számos más hasonló tanulmány használja a Cobb-Douglas típusú függvényeket ágazati jellegű kérdések és problémák kutatására, mind akvakultúrás (Ali és mtsai 2018; Ahmed és mtsai 2008; Olagunju és mtsai 2007) vonatkozásban, mind tágabb mezőgazdasági kontextusban (pl. Ozsabuncuoglu 1998). Némely tanulmány (Nastis és mtsai 2012; Kumar és mtsai 2016) még a klímaváltozásnak a termőföldek produktivitására gyakorolt hatásait is ilyen függvény segítségével elemzi, beépítve a klimatikus tényezőket (pl. kánikulás napok száma, évi csapadék összege) a magyarázó változók közé.

Singh és mtsai (2009) 101 db indiai tógazdaság adatai alapján az egy farmra jutó termelést magyarázták kilenc különböző input változóval: tóterület, műtrágya, szerves trágya, mész, kettő féle takarmány, tenyészanyag, munkaerő és állategészségügyi beavatkozások (ez utóbbi monetáris, az előbbieket pedig természetes mértékegységben mérve). Mind a transzlog, mind a Cobb-Douglas formájú függvényt parametrizálták, és azt találták, hogy az utóbbi függvény statisztikai illeszkedése jobb.

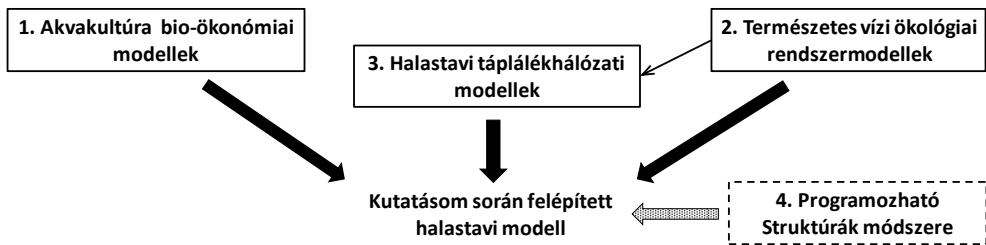
Fuentes-Santos és mtsai. (2017) egy galíciai kagylótenyésztő modell farm adatai alapján próbált javaslatot megfogalmazni az optimális input menedzsmentre vonatkozóan. Ehhez mind Cobb-Douglas típusú, mind transzlog termelési függvény formájában próbáltak statisztikai kapcsolatot teremteni az egységnyi területre jutó termelés, valamint két input változó között (egységnyi területre jutó tenyészanyag, illetve a tenyésztésre fordított idő). A tenyésztési idő inputként való kezelése érdekesnek tűnhet, de logikus abból a szempontból, hogy így közös nevezőre tudták hozni a szerzők azt a két fő inputot és költségételt (munkaerő, illetve termelési infrastruktúra használata, amortizációja), amelynek mennyisége csak időben értelmezhető. Míg a biológiai jellegű inputok (pl. tenyészanyag, takarmány) használata ugyanis idő nélküli, természetes mértékegységben (pl. kg, db) is értelmezhető,

addig a felhasznált munkaerőt mindenképpen időbeli mértékegységgel lehet csak megjeleníteni (pl. munkanap vagy munkaóra), és ez hasonlóan igaz az infrastruktúra amortizációjára (pl. egy évre számolt értékvesztés). Mivel a kagylók planktonszűrő állatok, így takarmányozási költség nem merül fel, így a legnagyobb költségtételek a cikk által lehatárolt két input csoportban reprezentálva voltak. A szerzők azt találták, hogy a transzlog függvény jobb statisztikai illeszkedéssel írja le az inputok és az output közötti kapcsolatot, mint a Cobb-Douglas típusú, ami a két inputcsoport mennyisége közötti erős kapcsolattal magyarázható.

A Cobb-Douglas és translog típusú függvényeken túl egyéb termelési függvény típusokat is használnak az akvakultúra ökonometriai tanulmányokban (Losinger és mtsai. 2000), de ezek bemutatását a disszertációban terjedelmi okok miatt mellőzöm.

2.3. Az akvakultúrában alkalmazott szimulációs modellek áttekintése

Az előző alfejezetben áttekintettem azokat a leíró modelleket, amelyek közgazdasági koncepciók mentén ábrázolják a termelést és magyarázzák, hogy az egyes inputoknak milyen szerepe van a hozamok alakulásában. Ezzel szemben jelen alfejezetben azokat a komplexebb modelleket szeretném bemutatni, amelyek alkalmasak arra, hogy különböző technológiai alternatívák mellett szimulálják a haltermelés folyamatát. Ezek a szimulációs modellek értelemszerűen mélyebben hatolnak le a biológiai folyamatok egyes szintjeire, azonban olyan általánosabb inputokat, mint például a munkaerő és az állótöke, nem vesznek figyelembe.



7. ábra Kutatási munkám során felhasznált tudomány-területek, amelyek mentén a szakirodalmi feldolgozást tagoltam. A fekete nyilak a tematikai kapcsolatot jelölik, a szürke nyíl pedig az modellezési módszertani kapcsolatot.

Mivel kutatási munkám során a tavi modell felépítésekor négy, egymástól logikailag lehatárolható modellezési, illetve módszertani területre támaszkodtam (7. ábra), célszerűnek láttam ugyanezen területi lehatárolás mentén tagolni ezt a fejezetet:

- Elsőként szeretném bemutatni az akvakultúra bio-ökonómiai modellezés irodalmát, amely főként a termelési technológia gazdasági optimalása tekintetében kapcsolódik kutatásomhoz. (2.3.1. fejezet)
- Ezt követően röviden szeretném felvázolni a halászat területén alkalmazott ökológiai rendszermodellek alkalmazását (2.3.2. fejezet). Bár a természetes vízi halgazdálkodásban az akvakultúrához képest jóval kisebb mértékű az emberi beavatkozás mértéke, a természetes vízőkológiai folyamatok rendszerszintű leképzése sok hasznos tudást közvetít a halastavi modellek felé. Ráadásul a természetes biológiai folyamatok modellezése régebbre tekint vissza, mint az akvakultúrák folyamatok modellezése, és ez a felhalmozódott tapasztalat a döntéstámogató eszközök (szoftver-csomagok) fejlesztésében is előbb jelent meg a természetes vízi halászatban, mint a haltermelésben.
- Harmadjára a halastavak tápláléklánc alapú modellezésének történetét mutatom be, amely szakterület maga is épít az ökológia rendszermodellekre. (2.3.3. fejezet)

- Végül, a kutatási munkám módszertani keretét adó Programozható Struktúrák módszerét ismertetem, amely rugalmasságánál fogva képes arra, hogy implementálja azon modelleket, amelyek a fentebb bemutatott három forrásból származnak. (2.3.4. fejezet)

2.3.1. Intenzív akvakultúrában alkalmazott bio-ökonómiai modellek

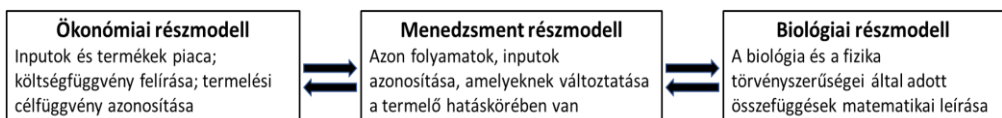
Az akvakultúra modellek azon része, amelyek a termelők döntéseit segíti elő, nem korlátozódik pusztán az élettani és mechanikai folyamatokra, hanem ezeket ökonómiai környezetbe is integrálja. A bio-ökonómiai modellezést leggyakrabban úgy határozzák meg, mint *a matematikai modellek olyan célú használatát, ami összeköti egy haltermelő rendszerben lezajló biológiai folyamatokat az ökonómiai és műszaki feltételekkel* (Allen és mtsai. 1984; Bjorndal és mtsai. 2004). Más megfogalmazás szerint, a bio-ökonómiai modellezés lényege *a mikroökonómiai megközelítésnek a biológiai szférára való kiterjesztése* (Van der Ploeg és mtsai., 1987).

Hernandez és mtsai (2003) definíciója, miszerint *a bio-ökonómiai modell a menedzseri döntések és a termelés gazdasági eredménye közötti mechanizmust tárja fel*, áll legközelebb ahhoz a szemlélethez, ami mentén be kívánom mutatni a téma szakirodalmát. A bio-ökonómiai modelleknek az a szerkezeti tagolása, amely a téma szakirodalmában rendszerint felbukkan (Hernandez és mtsai., 2003; Ponce-Marbán és mtsai., 2006; Poót-López és mtsai., 2010; Poót-López és mtsai., 2014), három különböző rész-modellre osztja a nagy modellt:

- **Ökonómiai rész-modellre**, ami a termelés outputjainak és inputjainak a piacát vázolja fel, valamint egyenletekkel leírja a haltermelésből származó pénzáramokat (bevételek, költségek). Ide tartozik továbbá a célfüggvény matematikai specifikálása, ami az optimalási feladat kiinduló pontját képezi.

- **Menedzsment rész-modellre**, ami azokat az inputokat, folyamatokat határozza meg, amelyek i) a modellben a termelő irányítása alatt vannak, ii) és közvetlen, számszerűsíthető hatással vannak a rendszer biológiai, műszaki működésére. Az optimalizációs feladat során ezeket hívjuk *döntési változóknak*, hiszen ezeken keresztül tudja irányítani a termelés folyamatát a termelő. Ilyen döntési változó lehet a tenyészanyag mennyisége, a kihelyezés időpontja, a takarmányadag nagysága, a takarmány minősége (pl. fehérjetartalma) stb. Egy kezdetleges, gyerekcipőben járó haltermelési technológiában kevés tér van a termelői beavatkozásra, hiszen a legtöbb technológiai elem „kötött”, nincs igazán döntési helyzetben a termelő, de ahogy fejlődik egy technológia az évek során, a technológiai opciók száma is nő.
- **Biológiai rész-modellre**, ami a természettudomány területére tartozó összefüggéseket írja le (pl. a hal egyednövekedése a takarmány adag, a hőmérséklet stb. függvényében).

A 8. ábra szemlélteti az egyes rész-modellek egymáshoz való viszonyát. Logikai értelemben a menedzsment rész-modell közvetít a másik két modell között. Egy példán keresztül szemléltetve: a fehérjekomponensek piaci árának növekedése következtében (ökonómiai rész-modell) a termelő mérlegeli az alacsonyabb fehérje-tartalmú tápra váltást (menedzsment rész-modell), ami visszafogná az egyednövekedést (biológiai rész-modell). Azt az ökonómiai célfüggvény értéke adja meg, hogy az elmaradt bevételek és a költségcsökkentés együttes eredménye alapján megéri-e egy ilyen technológiai váltás.



8. ábra A három komponensű bio-ökonómiai modellben az egyes részmodellek kapcsolata

A célfüggvény megválasztása általában annak a tényezőnek a függvénye, ami az akvakultúra termelés fejlesztésének a legszűkebb keresztmetszetét képezi. Ahol a forgótőke a limitáló tényező, ott célszerű a költségarányos bevétel maximumát keresni, vagy a fajlagos termelési költségek minimumát; ahol pedig a termelésre alkalmas terület képez korlátot, ott érdemes az egy hektár tóterületre jutó pénzáramok nettó jelenértékének (NPV) maximumát keresni.

A bio-ökonómiai modellek tehát lehetőséget teremtenek arra, hogy egy gazdasági célfüggvényt szem előtt tartva optimaljuk a technológiai folyamatokat. Így lehet meghatározni, hogy például a fajlagos termelési költségek minimalálására törekedve milyen technológiai beállításokra van szükség, és mit kell változtatni ezeken a beállításokon, ha a célfüggvény megváltozik (például költségminimalálás helyett a képződő pénzáramok nettó jelenértékének maximumát keressük). Ökonómiai rész-modell hozzákapcsolása nélkül egy tisztán biológiai modell csak azt tudja szimulálni, hogy mi a maximális növekedést biztosító víz hőmérséklet és oxigénszint, arra nem lehet következtetni, hogy gazdaságilag optimális-e annyira felfűteni a rendszert vagy érdemes-e azt az oxigénszintet tartani.

Az alábbiakban néhány tanulmány bemutatásán keresztül szeretném szemléltetni, hogy mennyire változatos az akvakultúra bio-ökonómiai modellezés mind a kontroll-változókat, mind az alkalmazott célfüggvényeket tekintve. A témával foglalkozó cikkekről egyébként részletesebb bemutatást közöl Cacho (1997), valamint Bjorndal és mtsai (2004).

Talpaž és Tsur (1982) az izraeli tavi pontytermelési technológiában az állománymenedzsmentet (kihelyezési sűrűség, ritkító halászatok és lehalászás végső időpontja), valamint a vízminőség javító vízcsere mértékét optimalta. A modell a mindenkori állománysűrűség és növekedési potenciál között teremtett empirikus függvényszerű kapcsolatot, feltételezve, hogy a magasabb állománysűrűség a természetes táplálék elérhetőségén és a vízminőségen

keresztül negatív hatással van a növekedésre. A kiegészítő takarmányozás optimalására nem vállalkoztak és a modellben a takarmányozási technológiát kötöttnek vették. Az optimalálás során a hektáronkénti profit maximálása volt a célfüggvény, a költségek között a takarmányozási költségeket, a lehalászási költségeket és a vízcserehez szükséges energiaköltségeket vették figyelembe, valamint a tőke alternatív költségével is kalkuláltak (diszkont ráta alkalmazásával).

Bjorndal (1988) egy olyan technológiára vonatkoztatva (lazac és rombuszhal ketreces termelése) optimalálta a tenyésztési ciklus hosszát, ahol nincs szezonális, az ivadékokat egy csoportban helyezik ki és egyben is halásszák le (azaz nincs szelektív halászat). Ezen túlmenően a végső egyedméretre nincsenek kritériumok, ugyanakkor a hal ára emelkedik az értékesítési mérettel. Az optimalálás során a kihelyezett állományra eső profitot tekintette célfüggvénynek. A biológiai modellben egy polinomiális növekedési függvényt használt, amely előbb gyorsuló, majd lassuló pályát írt le. A költségtételek között a takarmányozási, az ivadék, a biztosítási és a kamat költségeket szerepeltette. Szintén a norvég ketreces lazactenyésztés kapcsán publikálta Arnason (1992) optimalálási eljárását, a termelési ciklus hosszát, valamint a takarmányozási intenzitást tekintve döntési változónak. Célfüggvénynek az egy kihelyezett ivadéokra eső profitot használta, amihez a költségfüggvényben csak a takarmányozási költségek, a lehalászási költségek és a kamatköltségek szerepeltek.

Cacho és mtsai. (1990) munkája jól illett abba folyamatba, amelyben az optimalálási feladatokat egyre inkább számítógépi szimulációval, numerikusan oldották meg, miközben a függvény analitikai eszközökkel történő optimalizálás háttérbe szorult. A szerzők az amerikai pettyes harcsa tavi termelés folyamatában kívánták optimalálni a napi takarmányadagot (amit a maximális takarmányfelvétel százalékában határoztak meg), a takarmány

fehérje tartalmát (15 és 45 % közötti tartományban), valamint az ivadék kihelyezés időpontjait. Ez utóbbihoz egy szinoid alakú hőmérsékleti görbét használtak, amit az egyes naptári napok több éves átlaghőmérsékletére illesztettek. Ennek segítségével modellezni tudták 36 különböző kihelyezési időpontra vonatkoztatva azt, hogy hány nap szükséges a 600 grammos piaci méret eléréséhez. A modellben alkalmazott célfüggvény az említett piaci méret eléréséhez szükséges költség minimalása volt, amelyben a takarmányköltségek kalkulációjánál fontos szerepet játszott, hogy a táp egységára arányosan nőtt annak fehérjetartalmával. Fontos szerepet játszott a cikk abban, hogy grafikus eszközökkel, (a mikroökonómiai tankönyvekből jól ismert *isoquant-isocost* görbékkel) tudatosította a közgazdaságilag nem képzett agrárkutatókban is, hogy bizonyos input párok (pl. takarmány minősége és a takarmány mennyisége; a takarmány mennyisége és az adott méret eléréséhez szükséges idő) egymással – legalábbis közelítőleg – helyettesíthetők, és így az egyes input költségek egymáshoz viszonyított aránya határozza meg a gazdaságilag optimális input kombinációt. Ennek alapján a takarmányozás technológiai paramétereit dinamikusan változtatni kell a piaci viszonyok függvényében. Ez a grafikus eszköz azóta is gyakran használt elem a szakirodalomban, hiszen vizuális jellege miatt jól használható a farmerek számára nyújtott döntés-támogatási eszközök kialakítására irányuló alkalmazott kutatásokban (León és mtsai. 2001; Poót-López és mtsai 2014).

Seginer és Halachmi (2008) egy olyan technológia kapcsán publikált bio-ökonómiai tanulmányt, ahol a medencék folyamatosan népesíthetők és lehalászhatók, viszont a változó klimatikus tényezők miatt a növekedés napról napra eltér, amit trigonometrikus függvénnyel írtak le. Ilyen feltételek mellett vizsgálták a szerzők az optimális kihelyezési és lehalászási (állomány-menedzsment) gyakorlatot. Egy olyan ökonómiai rész-modellt specifikáltak, ahol a piacnak elvárásai vannak az értékesített mennyiségre, az ettől való

eltérést pedig a felvásárlási árban megmutatkozó büntetéssel sújtják. Ebben a cikkben már sokkal fejlettebb a költségeket leíró egyenlet is, számolnak az állandó költségekkel is.

1. Táblázat Bio-ökonómiai modellek alkalmazása az akvakultúra termelésre

Tanulmány	Faj/ technológia	Biológiai modell	Döntési változók	Célfüggvény
Talpa és Tsur (1982)	Fél-intenzív tavi ponty termelés (Izrael)	Von Bertalanffy egyednöv. függvény Magyarázó változók: állomány sűrűség vízcseré (vízminőséget szabályozza)	Kihelyezési sűrűség Lehalászás időpontja Szelektív halászat (állomány ritkítás) gyakorisága Vízcsere intenzitása	Egy hektárra eső NPV maximálása (\$/ha)
Bjorndal (1988)	Intenzív ketreces lazac-tenyésztés (Norvégia)	Polionomiális egyednöv. függvény + mortalitás.	Tenyésztési ciklus hossza	Egy kihelyezett ivadékcsoporthoz eső NPV maximálása (\$/ivadékcsoport)
Cacho és mtsai. (1990)	Intenzív tavi pettyes harcsa termelés (USA)	Bio-energetikai alapú egyednöv. függvény, Magyarázó változók: takarmányadag; fehérje%; vízhőmérséklet	Napi takarmány adag Takarmány fehérjetartalma Kihelyezés dátuma	Fajlagos termelési költség minimálása (\$/kg)
Seginer és Halachmi (2008)	Aranydurbincs termelés reciklációs r. (Izrael)	Allometrikus egyednöv. függvény, magyarázó változók: takarmányadag; vízhőmérséklet	Állomány-menedzsment (kihelyezett biomassza tömege és állománya)	Egységnyi termelő-térfogatra eső NPV maximálása (\$/m ³)
Poot-López és mtsai (2014)	Medencés tilápia tenyésztés (Mexikó)	Von Bertalanffy egyednöv. függvény; magyarázó változók: takarmányadag	Napi takarmányadag Tenyésztési ciklus hossza	Egységnyi termelő-térfogatra eső NPV maximálása (\$/m ³)

Poot-López és mtsai (2014) a mexikói tilápia termelő farmerek számára próbálta optimalizálni a takarmányozási technológiát. Egy részletes költségfüggvényt specifikált, amiben a munkaerő, az energia költség, a takarmányozási költség, az ivadékköltségek és a kamatköltségek is szerepeltek. A biológia rész-modellben lassuló növekedéssel és növekvő elhullással számoltak. A farmerek piacain az eladási ár a méret függvénye, és a szerzők ezt figyelembe véve adtak optimális megoldást az egyedmérethez, a napi takarmányadagra (az *ad libitum* szint arányában) valamint a tenyésztési ciklus hosszára.

Az 1. sz. Táblázat foglalja össze a fent bemutatott cikkekben használt modell jellemzőket. Ezeket a tanulmányokat a disszertációm tematikája szempontjából értékelve elmondható, hogy nagyon sok hasznos adatot és matematikai összefüggést közölnek, pl. a takarmány fogyasztás, illetve a hőmérséklet és a növekedés közötti kapcsolatra vonatkozóan, amely jól beépíthető a ponty termelését leíró komplex modellekbe. Ugyanakkor ezek a modellek olyan termelési rendszerekre készültek, amelyekben a célfaj egyedüli táplálékforrása a termelő által bevitt takarmány, valamint amelyekben az anyagcsere termék, illetve a fel nem vett takarmány bomlása nincs jelentős hatással a vízminőségére. A magyar halastavi gazdálkodás ezeknél az az egy-két egyenletből álló modelleknél jóval komplexebb, a tavi ökoszisztéma lényeges folyamatait magába foglaló folyamatmodellel írható csak le. Egy ilyen komplex, a táplálékhálózat egyes elemei közötti folyamatokat is leíró modell létrehozásakor hasznos tapasztalatot nyújtanak az ökológiai rendszermodellek, amelyeket a következő alfejezetben mutatok be.

2.3.2. Természetes vizekre alkalmazott ökológiai rendszermodellek

Az ökológiai rendszermodellek célja, hogy a valóság bonyolult jelenségeiből az adott szempontból leglényegesebb folyamatokat és összefüggéseket (pl. trofikus kapcsolatokat, energiaáramlási folyamatokat) egyszerűsített formában, de hűen tükrözze, leírhatóvá és tanulmányozhatóvá tegye (Pénzesné, 2013). Ezen modellek állapot változói között megjelennek a táplálékhálózat (*food web*) elemei: a szerves anyag *termelői* (növények), a különböző táplálkozási szinten álló *fogyasztók*, az elhalt szervezetek szerves anyagai (*detritus*), valamint az ezeket fogyasztó és lebontó szervezetek (*mikroorganizmusok*).

A természetes vízi életközösségek komplexitásának megértésére, valamint egyes alternatív környezeti scenáriók vagy emberi beavatkozások hatásainak felbecsülésére egyre nagyobb mértékben használnak ökológiai rendszermodelleket (Bigford, 2012). Környezeti scenáriónak tekinthetők például a klímaváltozási forgatókönyvek vagy egy szennyezési forrás megléte, míg az emberi beavatkozás forgatókönyvei alatt például különböző intenzitású halászati tevékenységet, ivadék utánpótlást vagy egy fauna idegen faj betelepítését kell érteni.

A táplálékhálózat alapú ökológiai rendszermodellek közül az elmúlt években mindenekelőtt az *Ecopath with Ecosim* (EwE) szoftvercsomag vált dominánssá a tengeri életközösségek és halászat modellezésében (Coll és mtsai. 2009; Colléter és mtsai. 2015). Az EwE ingyenesen hozzáférhető (<http://ecopath.org>), bővebb leírást közöl használatáról Christensen és Pauly (1992), Christensen és Walters (2004) és Christensen (2009). Az Ecopathnak, az EwE statikus, anyagmérlegen (*mass balance*) nyugvó moduljának, van néhány édesvízi ökoszisztémára és rekreációs halászatra vonatkozó alkalmazása is (pl, Colvin és mtsai., 2015; Fayram és mtsai., 2006; McGregor, 2014), ezek közül egy tanulmányt mutatok be az alábbiakban abból a célból, hogy szemléltessem a tavi (édesvízi) ökoszisztéma modellek működését, hiszen ez erősen kapcsolódik disszertációm témájához.

Colvin és mtsai. (2015) azt vizsgálták, hogy az iowai Clear-tóban milyen változások álltak be a tápláléklánc egyes elemeinek biomasszájában és fogyasztásában az idegen honos ponty és vándorkagyló inváziójának hatására. A táplálékláncot a következő elemekkel modellezték: a fogyasztók 32 db csoportra voltak osztva, a termelők (növényi szervezetek) 5 db csoportra, míg a detritus egyetlen csoportot alkotott. A 32 fogyasztói csoportból 21-et alkottak a halak, ezek egyes esetekben egy bizonyos faj egy bizonyos korcsoportját jelentik, más esetben egy faj, minden korosztályát, megint más

esetben pedig több hasonló táplálkozási szokású faj alkot egy csoportot. Korcsoport szerint azokat a fajokat modellezték külön, amelyek egyrészt jelentősek, másrészt amelyeknek az életciklusuk folyamán jelentősen megváltozik táplálkozási habitusok. A további fogyasztói csoportokat a valamilyen rendszertani szint alapján csoportosított zooplankton, illetve bentikus makrogerinctelen fauna alkotja. Ennek alapján érthető, hogy a modellezés folyamán bizonyos – intuíción alapuló – leegyszerűsítésre van szükség, hiszen a táplálékhálózat több száz elemét nem lehet külön kezelni, és ahol ésszerű, ott csoportképzésre van szükség. A modell használatának eredményeként azt mutatták ki a szerzők, hogy az idegen honos fajok inváziójának köszönhetően egy négyéves periódusban jelentősen megnőtt a tó összes biomasszája, elsősorban a cianobaktériumok mennyiségének felfutása miatt. A vándorkagyló biomasszája pedig 200-szorosára nőtt a vizsgált négyéves periódus alatt. Az invázió fő pozitívuma az volt, hogy a pontyfogas növekedett, ugyanakkor negatív hatással volt a ponty és a vándorkagyló táplálék konkurensainak és zsákmányainak az állományára.

Az EwE szoftvernek van szocio-ökonómiai rész-modellje is, amely a vizsgált vízi életközösség vagy halászati terület ökológiai állapotát összekapcsolja gazdasági és társadalmi mutatókkal is. A szoftvert bio-ökonómiai modellezésre is lehet használni, ahol optimalni lehet egyes emberi beavatkozások mértékét vagy a halászati tevékenység módját és intenzitását, többféle célfüggvényt figyelembe véve. A válaszható célfüggvények között lehetnek társadalmi jellegűek (pl. foglalkoztatottság maximálása), ökonómiai jellegűek (pl. a jövőbeli halászati fogások nettó jelentértékének a maximálása), valamint ökológiai jellegűek (pl. egy bizonyos állománystruktúra elérése). A felhasználó több célfüggvényt is választhat együttesen, különböző súlyokat beállítva az egyes céloknak. Az EwE bio-ökonómiai célú felhasználására példát nyújt Ainsworth és Pitcher (2009), valamint Martell és mtsai. (2002).

A természetes halászati vizekre alkalmazott ökológiai rendszermodellek nagyon hasznos ismereteket közvetítenek a tavi akvakultúra modellek számára arról, hogy a tápláléklánc működése hogyan képezhető le egyenletekkel. Ugyanakkor ezeket a modelleket a természetes (emberileg csak kis mértékben szabályozott) életközösségek folyamatainak feltérképezése céljából hozták létre, így a technológiai beavatkozások (trágyázás, takarmányozás, ivadék kihelyezés stb.) hatásainak szimulálására kevés támpontot nyújtanak. Azokat a modelleket, amelyek akvakultúrák (termelő által input bevittel szabályozott) környezetben próbálják leírni a biológiai folyamatokat, a következő alfejezetben tekintem át.

2.3.3. Tavi akvakultúra folyamatok modellezése

A tógazdasági folyamatok matematikai egyenletekkel történő leírása a nyolcvanas évekre tekint vissza (Svirezhev és mtsai.1984; Cuenco és mtsai.,1985a,b,c; Wolfe és mtsai., 1986; Piedrahita, 1984; Piedrahita 1988), hiszen ekkora teremtette meg az informatika fejlődése, hogy a korábban feltárt részletes haltakarmányozástani és vízökológiai összefüggéseket egységes keretbe foglalják egy integrált folyamat-modellben. A későbbi munkák is gyakran az előbb felsorolt művekben publikált matematikai összefüggésekre építenek, és azokat implementálják az azóta továbbfejlődő modellezési módszerekkel és szoftver környezetekbe. Ezek közül kettő tanulmányt szeretnék bemutatni az alábbiakban.

Hagiwara és Mitsch (1994) egy 6 fajból álló kínai hagyományos polikultúrák táplálékhálózatát modellezte. A tanulmány sajátossága, hogy a biológiai állapotváltozókat mind energia koncentrációban fejezi ki, KJ/m^2 mértékegységben. A szerzők két termelői inputtal kalkulálnak, a kihelyezett tenyészanyaggal, illetve a takarmánnyal, trágyázás nincs a modellben. A táplálékhálózat elemei a következők: ponty, fehér busa, pettye busa, fekete

amur, fehér amur és wuchang keszeg (halak); fitoplankton; zooplankton; detritus; üledék; valamint az egyes takarmány típusok. Az összes közöttük lévő kapcsolat (ez esetben energiaáramlás) hőmérséklet függő, a vízhőmérséklet a tóban homogén. Ugyanakkor az oldott oxigén, ami szintén magyarázó változó az energiaáramlási folyamatok nagy részében, a modell szerint változik: a vízoszlop mentén a mélyebb rétegekben alacsonyabb. A táplálékfelvételt az oldott oxigéneken és a vízhőmérsékleten túl a megvilágított időszak (fotoperiódus) hossza, illetve az elérhető táplálék koncentrációja határozza meg; ez utóbbi egy Michaelis-Menten egyenlettel van leírva. A vízminőségi paramétereket, mint az ammónia, nitrit, stb. koncentráció, nem tekintették a szerzők a folyamatokat limitálóknak, ezért nem modellezték. A függvény paraméterek nagyobb részét nem saját adatok alapján kalibrálták, hanem más tanulmányokból importálták. A cikkben bemutatott validálás alapján az elsődleges termelést jól szimulálja a modell, a megfigyelt plankton állomány azonban kisebb eltérés mutat a modell által előre jelzettől. Szintén jól működik a modell a halak biomasszájának, valamint az oldott oxigén koncentrációjának számítására. A tanulmány célja az volt, hogy vizsgálják, milyen változásokat okozna a táplálékláncban és a növekedésben, ha bármelyik fajt kihagynák a polikultúrából. Input-menedzsmentre vonatkozó vizsgálatokat nem végeztek a szerzők, mind a takarmányozást, mind a kihelyezési sűrűséget tekintve egyetlen technológiai eljárással kalkuláltak.

Szintén csak leíró jelleggel próbált modellezni egy tavi akvakultúrák folyamatot Li és Yakupitiyage (2003), de a technológia optimalására és gazdasági racionalizálása vonatkozó törekvés nem volt céljaik között. A szerzők egy trópusi, tilápia monokultúrán alapuló tógazdálkodást írtak le, két különböző takarmányozási technológiai eljárás mellett. A modellezett tápláléklánc elemei i) a szerves tápanyagok, az ii) autotrofikus (fitoplanktonikus) szinten lévő fajok, iii) a heterotrofikus táplálkozási szinten lévő élőlények (zooplanktonikus és bentikus szervezetek homogén csoportja),

valamint iv) a tilápia voltak. Az első szintet leszámítva itt is energia mértékegységben (cal / l) voltak kifejezve az állapotváltozók. Az eredményeket validálták a tápláléklánc összes szintjén, és jó eredményeket kaptak.

Néhány további tanulmány a tavi folyamatoknak egy szűk szeletére koncentrált, és azt írja le jóval részletesebb egyenletekkel. Culberson és Piedrahita (1996) három különböző földrajzi lokációt véve az oldott oxigén és vízhőmérséklet szintjének és rétegződésének modellezésében lépett előre, és különböző szimulációs modellfutások mellett demonstrálta, hogy hogyan alakulnak e változók a tó mélység, illetve a fitoplankton koncentráció függvényében. Kumar és mtsai (2013) ennél tovább léptek, és különböző típusú és teljesítményű levegőztetők működését modellezték indiai intenzív halastavakban, és ebből következtetéseket vontak le leggazdaságosabb levegőztetési opcióra.

A vonatkozó szakirodalom áttekintése alapján látható, hogy a tavi folyamatok komplexitása miatt a korábban készített tavi modellek nem nagyon vállalkoztak ökonómiai rész-modell integrálására, és nem is vizsgálják olyan technológiai elemek (pl. takarmányozás, tenyészanyag kihelyezés mennyisége és időpontja, trágyázás, tenyésztési idő hossza, stb.) alternatív kimeneteit, aminek segítségével a termelési technológia gazdaságilag optimális beállításaira lehetne következtetni. További hiányosság, hogy a változó meteorológiai tényezőkre nem helyeznek hangsúlyt. Nem tartalmaznak egyenleteket a külső meteorológiai tényezők (levegő hőmérséklet, radiáció, szélsebesség, csapadék) és a víz fizikai tulajdonságainak (vízhőmérséklet, párolgás) megváltozása közötti összefüggések leírására.

2.3.4. A Programozható Struktúrák módszere

A kutatási témám modellezési módszertani háttérét biztosító Programozható Struktúrák a folyamatmérnökség (*Process Systems Engineering, PSE*) egy a közelmúltban kifejlesztett, nem konvencionális módszere.

A folyamat típusú rendszerek mérnöksége (PSE) eredetileg a vegyészmérnöki folyamatok modellezéséből fejlődött ki, mintegy 50 évvel ezelőtt. Az ezredfordulón Grossmann és Westerberg (2000) összefoglalta azokat a kutatási-fejlesztési kihívásokat, amelyek mentén a Process Systems Engineering alkalmazási területe jelentősen kiszélesedett. Napjainkban ez a tudományterület a különböző diszciplínákban megjelenő folyamat típusú rendszerek általános problémamegoldó eszközeit alapozza meg a nano-szintű sejtbiológiai és anyagtudományi folyamatoktól a tera-szintű komplex agrár- és környezeti folyamathálózatokig terjedően.

A hagyományos PSE modelleket általában differenciálegyenletek, parciális differenciálegyenletek vagy differenciál-algebrai egyenletek rendszerével írják le (pl. Klatt és Marquardt, 2009). Ezek a modellek, a vegyészmérnöki területen rendelkezésre álló komprehenzív adatbázisok hiányában, a komplex biológiai és ökológia folyamatokra csak korlátozottan alkalmazhatók. A sokszor már automatikusan is képződő „Big Data” növekvő mennyisége ellenére a komplex agrár-környezeti folyamatok tervezéséhez és üzemeltetéséhez szükséges rendszerezett adatok és ismeretek biztosítása többnyire nincs még megoldva.

A dinamikus szimuláción alapuló megoldások hiányában manapság gyakran alkalmazzák a matematikai programozás (pl. MILP, MINLP) különböző módszereit a szóban forgó folyamatok egyszerűsített modellen alapuló egzakt optimumának meghatározására (pl. Guillén-Gosálbez, 2011). A modell ehhez szükséges egyszerűsítése azonban nem teszi lehetővé a gyakran idő- és/vagy esemény-vezérelt, többskálás folyamatok figyelembevételét. A komplex, nem

lineáris, többskálás kölcsönhatások figyelembevételét a statisztikai módszerek, és az újabban alkalmazott, hálózat analízisen alapuló módszerek (Liu et al, 2011) sem biztosítják.

A Közvetlen Számítógépi Leképezésen (Direct Computer Mapping, DCM) alapuló modellezési és szimulációs módszer kiindulási alapja az, hogy a folyamat típusú rendszerek modelljeinek építőelemei közvetlenül leképezhetők egy számítógépi programra, bármilyen egyedi, specifikus matematikai apparátus felhasználása nélkül (Csukás, 1998; Csukás et al, 1999, 2011). Ezt az elvet eredményesen alkalmazták különböző technológiai folyamatok (pl. Csukás et al, 1999; Temesvári et al, 2004; Csukás et al, 2013), anaerob fermentációs folyamat (pl. Varga, 2009) vagy szektorokon átívelő agrár-élelmiszeripari folyamatok nyomon követésére (pl. Varga et al, 2012).

Az utóbbi években a továbbfejlesztés eredményeként kialakult a Programozható Struktúrák módszere (Programmable Structures, PS), ahol a komplex folyamatmodelleket automatikusan lehet generálni és végrehajtani egy (opcionálisan többszintű vagy többskálás) folyamathálózat és két általánosan használható funkcionális alapelem felhasználásával. A Programozható Struktúrák módszerét eredményesen alkalmazták a Balaton egy vízgyűjtő területének földhasználatot is figyelembe vevő hidrológiai modellezésénél (Varga et al, 2016b), Recirkulációs Akvakultúra Rendszerek vizsgálatánál (pl. Varga et al, 2016a), sejten belüli signalling folyamatok leírására (Varga et al, 2017), ökológiai táplálékhálózatok modellezésénél (Varga és Csukás, 2017b).

A Programozható Struktúrák jelenlegi implementációja (Varga és Csukás, 2017a) könnyen módosítható, bővíthető és összekapcsolható módszert biztosít a különféle multidiszciplináris folyamatok szimuláción alapuló elemzéséhez, tervezéséhez és irányításához. A struktúra és a funkcionalitások egységesített kezelése segíti az állapot és változás elemekből álló szakértői modellek

automatikus generálását, egyúttal a feladat-specifikus kezdeti jellemzők és paraméterek automatikus feltöltését. A lokális programok egyedileg szerkeszthetők a grafikus felületen keresztül is. A modellek generálását és végrehajtását egy általános, deklaratív nyelven (Prolog) írt alap-program támogatja. A módszer egy fontos jellemzője, hogy a lehetőségek és az értékelések leírása az állapot és változás elemekbe ágyazhatók. Ez támogatja a szimulátor összekapcsolását a feladat megoldást segítő különféle külső (pl. optimáló) algoritmusokkal.

Dolgozatomban témavezetőm kutatócsoportjával együttműködve a Programozható Struktúrák módszerét alkalmaztuk a tógazdasági akvakultúra rendszerek dinamikus szimuláción alapuló vizsgálatára.

3. A disszertáció célkitűzései

Disszertációm a magyar tógazdasági akvakultúra modellezési koncepciókon alapuló tanulmányozására irányul.

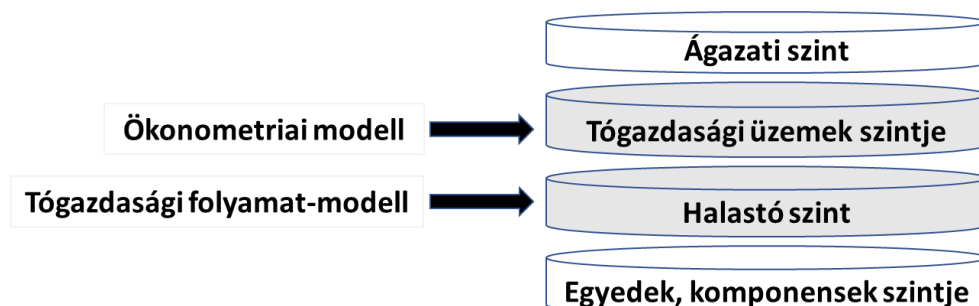
A hazai haltermelés bemutatásánál (2.1. fejezet) rávilágítottam arra, hogy az ágazat számos kihívás előtt áll, különösen a globális akvakultúra trendek kontextusában. Míg a globális akvakultúrában egy intenzifikációs folyamat figyelhető meg, addig Magyarországon az elmúlt években csökkent a hektáronkénti tenyészanyag kihelyezés. Kérdésként merül fel, hogy a hazai input árak mellett valóban az extenzív technológiák tekinthetők-e hosszabb távon racionális technológiai választásnak, vagy az intenzifikáció elmaradása elsősorban olyan gátló tényezők számlájára írható, mint a technológia váltástól való idegenkedés a termelők részéről, az intenzívebb termelésre alkalmatlan termelési infrastruktúra (feliszapolódott tavak, rendszeres takarmányozást lehetetlenné tevő utak), a gépesítettség alacsony foka, a munkaerőhiány stb.

A szakirodalmi áttekintés során azt is kimutattam, hogy a tógazdasági technológia erősen élőmunka-intenzív, ezért különösen érzékenyen érintheti a teljes magyar agráriumra jellemző munkaerő-hiány, és azon belül a szakképzett munkaerő hiánya. Az előző ponthoz is kapcsolódik az a kérdés, hogy korlátját képezi-e a munkaerő elérhetősége és a szaktudás hiánya a termelés bővítésének és a hozamok növelésének.

Az egyes szegmensek fejlődését az európai akvakultúrában nagyban meghatározza az, hogy ki tudják-e használni a mérethozadék nyújtotta előnyöket. Azok a technológiák kínálnak méretgazdaságosságot, amelyekben a termelési folyamat jól szabványosítható és egységesíthető (standardizálható), azaz a termelés élő-munka igénye alacsony, jól gépesített (esetleg automatizált) és jól függetleníthető a külső környezeti tényezőktől (pl.

időjárás, vízminőség). Ez nagyban hozzájárul a termelés programozhatóságához, a kapacitások optimális tervezhetőségéhez. Kérdés, hogy a hazai pontytermelők a tógazdasági technológiának a fentiekől távol álló sajátosságai mellett tudnak-e építeni a mérethozadéokra és van-e lehetőségük fajlagos költségcsökkentésre a nagyobb volumenű termelésen keresztül.

Kutatási munkám során a fenti kérdések megválaszolásához kvantitatív szemlélettel szeretnék hozzájárulni. A magyar halastavi gazdálkodás komplex tanulmányozására nem vállalkoztam, ágazati szintű folyamatok kutatásával nem foglalkozok. Általános célom az volt, hogy modell alapú vizsgálatok eredményeként mind a halastavak, mind a tógazdasági üzemek szintjén (9. ábra) következtetéseket tudjak levonni az erőforrások optimális használatára vonatkozóan.



9. ábra A halastavi termelés vizsgálatának lehetséges szintjei. A kutatásom során vizsgált szintek színezettek, a hozzájuk kapcsolódó modelleket a nyílak jelölik

Az általános célomhoz kapcsolódóan az alábbi konkrét célokat fogalmaztam meg kutatásom során:

1. Ökonometriai eszközökkel vizsgálom a mérethozadék mértékét a tógazdasági akvakultúrában, továbbá azt, hogy az egyes főbb inputcsoportok (forgóeszközök, munkaerő, gépi eszközök, tóterület) használata mennyiben optimális a vizsgált gazdaságokban.

2. Egy dinamikus, tavi táplálék hálózaton alapuló folyamatmodellt kívánok létrehozni, ami alkalmas arra, hogy az 1. pont szerinti modellben nem kezelhető biológiai, technológiai és környezeti folyamatok részletes figyelembevételével írja le a hozamok alakulását a takarmány, a tenyészanyag és a szerves trágya használat függvényében.
3. A tavi folyamatmodell használatával vizsgálom a takarmányozás és a tenyészanyag kihelyezés optimális intenzitását a i) hektáronkénti gazdasági eredmény (profit) maximálás, illetve a ii) fajlagos termelési költség minimálás két célfüggvényét alkalmazva.
4. A folyamatmodellel kezelhető rendszerre korlátozva elemzem a klímaváltozás hatását a halastavi hozamokra és a termelési költségekre (ami a teljesség igénye nélkül hozzájárulhat az éghajlatváltozás halastavi technológiákra gyakorolt hatásainak teljes feltárásához).

A 2.2. illetve 2.3. alfejezetekben bemutattam azokat a modelleket, amelyek a haltermelő üzemek, illetve a konkrét termelő rendszer (tó, ketrec, medence) szintjén vizsgálják az akvakultúra tevékenységet. Ezeket áttekintve, a fenti célok által lehatárolt kutatásom a következő pontokban járulna hozzá a téma tudományos feldolgozásához:

- A közép-kelet európai pontytermelés vonatkozásában elsőként szeretnék ökonometria modellt parametrizálni, és következtetést levonni a mérethozadék mértékére.
- A Közvetlen Számítógépi Leképzésen alapuló Programozható Struktúrák alkalmazásával egységes keretbe foglalva a szerteágazó szakirodalomban található biológiai és hidrológiai összefüggéseket egy olyan egyedi folyamatmodellt hozok létre, amely könnyen használható a pontyhozamok különféle technológia paraméterek mellett, valamint különböző meteorológiai körülmények között való szimulációjára.

- A dinamikus folyamatmodellel végzett szimulációkra építve egy olyan új megközelítésű ökonómiai értékelést végzek, amelynek segítségével vizsgálható a takarmányozás és a tenyészanyag kihelyezés optimális szintje az input és a termék piaci árak függvényében.

4. Anyag és módszer

A disszertáció céljainak lehatárolásakor leírtaknak megfelelően kutatásom két, egymástól jól elválasztható módszertani alapra építkezett:

- i. ökonometriai modell vizsgálatokra, amelynek célja a nagyobb input csoportok termelésben betöltött szerepének, illetve a mérethozadék mértékének a meghatározása, valamint
- ii. egy, a részletes biológiai és technológiai relációkat feltáró tógazdasági dinamikus folyamatmodellre, amelynek segítségével a takarmányozás és a tenyészanyag kihelyezés ökonómiai kérdései is vizsgálhatók.

Ennek megfelelően a jelen fejezet tagolása is kettős, előbb az ökonometriai modell anyagát és módszerét, ezt követően pedig a folyamatmodellt megalapozó módszertant ismertetem.

4.1. Az ökonometriai modell anyaga és módszertana

4.1.1. Az ökonometriai modellhez rendelkezésre álló adatrendszer

A magyar tógazdasági haltermelés ökonometriai vizsgálatához szükséges farm szintű adatokat az Agrárgazdasági Kutatóintézet (AKI) bocsátotta rendelkezésemre egy kutatási együttműködés keretében. A termelési függvények parametrizálásához szükséges üzemi szintű adatokat két különböző felmérés eredményei szolgáltatták.

- i. Az éves lehalászási jelentéshez kapcsolódóan az AKI minden naptári évre vonatkozóan az összes hazai haltermelő (jelenleg 376 tógazdasági és 16 intenzív haltermelő) üzemegységtől bekéri azok üzem-szintű adatait a termelési mutatókra valamint egyes inputok felhasználására vonatkozóan. A jelentőlap tartalmaz információt a tóterületről, a lehalászási eredményekről (fajonkénti és korcsoportonkénti

bontásban), a behelyezett tenyészanyagról (szintén fajonkénti és korcsoportonkénti bontásban), a felhasznált takarmányról, valamint az alkalmazottak létszámáról. Gép- és eszköz-állományra vonatkozó adatokat ez a felmérés nem tartalmaz.

- ii. Az AKI 2014-ben végzett egy reprezentatív országos halászati gép- és eszköz állomány felmérést 51 tógazdasági üzemre kiterjedően. Ebben rákérdeztek mind a nagyobb tókarbantartó, rakodó és szállítójárművekre, mind a kisebb a halászati eszközökre. Az adatok az adott év január elsejei állományra vonatkoznak.

Kutatásomhoz a fenti két adatbázis közös metszetét képező 51 üzemre vonatkozó adatokat anonim (cégnév ismerete nélkül) módon, az AKI akkori adatkezelési szabályzatának megfelelően kaptam meg az intézet munkatársaitól. Az éves lehalászási jelentés keretében gyűjtött adatokból a 2013-ra és 2014-re vonatkozókat használtam, hiszen az adatok datálása miatt ezeket volt értelme párosítani a gépesítési felmérés 2014-re vonatkozó adataival. A tógazdálkodás időjárásnak való kitettsége és a hozamok évek közötti ingadozása miatt úgy láttam célszerűnek, ha a termelt mennyiségre, a tóterületre, a takarmány felhasználásra és a munkaerőre vonatkozó adatok 2013-ra és 2014-re vonatkozó értékének az átlagát szerepeltetem az ökonometriai modellben.

Az így kapott, 51 db üzemegységet tartalmazó másodlagos adatbázisból az adatok előzetes szemrevételezése folyamán 7 db kisebb méretű üzemegységet kizártam, hiszen ezek esetében a pontyra vonatkozó nettó hozam két év átlaga alapján negatív volt, vagyis kevesebb halat halásztak le, mint amennyit behelyeztek. Ez következhetett akár abból, i) hogy szokatlanul magas elhullás volt ebben az időszakban, akár abból, ii) hogy ezek a kisebb tógazdasági egységek elsősorban nem termelésre, hanem nagy állománysűrűségben való tárolásra és nyári értékesítésre rendezkedtek be. Mivel a termelési függvényt

az inputok és output között meglévő függvényszerű kapcsolat feltárására használjuk feltételezve egy tipikus technológiai keretet és normális, rendkívüli elhullások nélküli időszakot, ezen farmok figyelembevétele mindenképpen torzította volna a modellt.

Az így maradt 44 db üzemegység részesedése a teljes hazai pontytermelésből 60 % volt 2014-ben, míg az üzemelő tóterületet tekintve 58 %-os a lefedettsége. Ez alapján a kutatásom alapjául szolgáló – fent részletezett módon összeállított – másodlagos adatbázis jól reprezentálja a hazai tógazdálkodást.

A takarmány felhasználásra vonatkozó adatok kapcsán említést érdemel, hogy a jelentősen nem tesznek különbséget az egyes gabonafajták között, így a termelők által közölt mennyiség a vegyes abrak kategóriában szerepel, ami döntően kukoricából és búzából áll. Mivel a takarmányozásra használt gabonaféléknek mind az ára, mind a táplálkozási értéke nagyon hasonló, a termelési függvényben a takarmányt homogén inputként kezeltem. A keveréktápok használata egyébként jelentősen komplikálná a modellnek ezen feltételezését, de Magyarországon ezek használata minimális: 2017-ben az összes takarmány 1,7 %-át tették ki a keveréktápok (AKI, 2018), korábban pedig erre nem közöltek adatokat.

Ugyan az input és az output változók is természetes mértékegységben kifejezve kerültek be az ökonometriai modellbe, az élőmunka határhasznának elemzéséhez szükség volt monetáris értékekre is. Egységnyi munkaerő (ÉME = Éves munkaerő egyenérték) átlagos költségét 2.190.266 Ft-tal kalkuláltam, a 2014. évre vonatkozó mezőgazdasági (országos) bruttó átlagkereset és a hozzá kapcsolódó járulékok, valamint az alföldi és országos átlagkeresetek hányadosának szorzataként (KSH 2018a alapján). A szorzat ez utóbbi tagját az indokolja, hogy az üzemek döntő többsége az Alföldön helyezkedik el, és itt a bérszínvonal értelemszerűen elmarad az országos átlagtól. A termelt

ponty piaci értékét 596 Ft/kg-nak vettem, a MA-HAL által a 2014. évre közölt piaci ponty termelői árak (MA-HAL 2012-2016), valamint az egynyaras és kétnyaras pontyok felárára (+20 %; illetve +30 %) vonatkozó általánosan elfogadott megközelítés alapján, azt feltételezve, hogy a teljes pontytermelés 70 %-a piaci (háromnyaras) ponty, 20 %-a kétnyaras, 10 %-a pedig egynyaras.

4.1.2. A termelési függvény input és output változóinak kiválasztása

A *termelési függvény* általában egy adott mezőgazdasági tevékenység fizikai mértékegységben mért termelésének mennyiségét (pl. hozamát) fejezi ki a termelés során felhasznált inputok függvényében (Ozsabuncuoglu 1998). A hazai tógazdálkodás esetében a termelés mennyiségét reprezentáló output változó kijelölését két technológiai sajátosság bonyolítja: i) a polikultúrás népesítés; illetve ii) a három évre kiterjedő termelési ciklus.

Mivel a termelési függvény az inputok és az output közötti tervszerű, nem esetleges kapcsolatokat hivatott modellezni, az egyes üzemek a termelt ponty mennyisége alkalmasabbnak tűnt számomra az output változó szerepére, mint az összes fajból termelt mennyiség. A busa fajok részaránya erősen eltér az egyes üzemegységek között (0 és 40 százalék között); egyes termelők a busa fajok jelenlétével többlet input-bevitel nélkül (hiszen a busa nem takarmányfogyasztó) jelentősen emelik termelésüket, míg mások inkább mellőzik a busa kihelyezését annak nehéz eladhatósága miatt. A másik sajátossághoz kapcsolódón pedig az összes korosztályt tartalmazó (bruttó) termelést találtam megfelelő mutatónak a termelés jó reprezentálására, hiszen a 44 db üzemet tartalmazó mintában az egyes üzemegységek eltérő mértékben specializálták magukat ivadék-, kétnyaras- és piaci ponty nevelésre, ugyanakkor az input felhasználás a statisztikai adatszolgáltatásban nincs megbontva az egyes korosztályok között. Összegezve, a modell output változójaként a ponty összes korosztályának termelését használtam.

2. Táblázat A termelési függvényben szereplő változók

Változó	Jelölés	A változók képzésének módja, leírása
Ponty termelés	Y	A termelt ponty mennyisége az összes korosztályt tekintve, tonnában kifejezve
Forgó-eszközök	F	A takarmány és tenyészanyag felhasználásból kombinált változó. Képzése: takarmány felhasználás (kg-ban) + tenyészanyag kihelyezés (kg-ban) szorozva 15-el. A 15-ös szám a két input egységárában meglévő különbséget tükrözi.
Gépek, járművek	M	Gépek száma darabban kifejezve. Számítása: hínárkaszáló gépek + földmunkagépek + mg-i erőgépek + rakodógépek. A gépeknek a tavak karbantartásán és produktivitásának fenntartásán, illetve az inputok gépi mozgatásán keresztül van kapcsolata a termeléssel
Élő-munka felhasználás	L	A felhasznált munkaerő éves munkaerőegységben kifejezve. Számítása: Teljes munkaidős alkalmazottak + Rész-munkaidős alkalmazottak + Alkalmi munkavállalók által ledolgozott munkanapok száma osztva 200-al
Tóterület	P	Üzemelő tóterület hektárban kifejezett nagysága

Az input változók kijelölését az adatok elérhetősége, valamint gyakorlati megfontolások vezérelték. Fontos vezérlőelv volt, hogy kutatásom ezen részének nem volt célja, hogy biológiai kapcsolatokat térképezzen fel, ellenben a termelési tényezők nagyobb csoportjainak (forgóeszközök, gépek és járművek, munkaerő, tóterület) szerepét szerettem volna vizsgálni a pontytermelésben. Másik fontos szempont volt, hogy az input változók számát minimalizáljam a célból, hogy elkerüljem a multikollinearitás okozta problémákat a paraméter becslés során. Ezeket figyelembe véve, a takarmányt, illetve a tenyészanyagot egyetlen változóba sűrítettem, és ez reprezentálja a modellben a forgóeszközöket. A forgótőkének az állótőkétől, az élőmunkától valamint a földterülettől való lehatárolása és egységes magyarázó változóként való szerepeltetése gyakori a mezőgazdasági termelésre alkalmazott termelési függvények specifikálásakor (Tauer 2016). Hasonlóan a forgóeszközökhöz, a modellben egyetlen input változó jeleníti meg a munkaerőt, magába foglalva a teljes munkaidős, a rész-munkaidős alkalmazottakat, illetve az alkalmi munkavállalókat. Szintén egy változó reprezentálja a gépi eszközöket, négy különböző típusú járműre vonatkozó

adatokat kombinálva. Ezzel kapcsolatban megjegyzem, hogy mivel a modell a haltermelési („pre-harveszt”) folyamatra koncentrál, csak olyan gépeket vettem figyelembe, ami a tó karbantartását, illetve a takarmány, trágya és tenyészanyag mozgását segíti; a megtermelt hal értékesítéséhez szükséges teherautók és pótkocsik meglétét figyelmen kívül hagytam, hiszen álláspontom szerint ezekkel a hozamok nem fokozhatók. Végül, negyedik input változóként az üzemelő tóterület nagyságát vontam be a termelési függvénybe. A 2. sz. Táblázat nyújt áttekintést a változókról, és azok pontos képzésének módjáról.

4.1.3. A függvényformula matematikai specifikációja

A termelési függvény matematikai keretének a szakirodalomban leggyakrabban használt formulát, a Cobb-Douglas típusú specifikációt választottam. Ahogy a 2.2-es fejezetben bemutattam, a Cobb-Douglas típusú függvényeket i) mind az egy farmra eső termelés modellezésére, ii) mind az egy hektárra eső termelés modellezésére használják. Az utóbbi eset a gyakoribb, hiszen az előbbi esetben gyakran fellépő multikollinearitás jelentősen kiküszöbölhető akkor, ha mind a termelést, mind az inpuhasználatot egy hektár tóterületre vetítjük. Ugyanakkor a pontos specifikáció nem csak gyakorlati megfontolásoktól függ, hanem a kutatás céljától is: míg az egy farmra eső termelést modellező függvények jól használhatók a mérethozadék mértékének elemzésére, addig az egy hektárra vetített termelést modellező függvények az egyes inputok termelésben betöltött szerepének vizsgálatára alkalmasabbak. Mivel kutatásomnak több célja van, úgy döntöttem, hogy mindkettő specifikációra parametrizálom a Cobb-Douglas egyenleteket. A két egyenlet – a hagyományosan elterjedt logaritmikus formában kifejezve – így a következő:

$$\ln Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(F_i) + \alpha_2 \ln(L_i) + \alpha_3 \ln(M_i) + \alpha_4 \ln(P_i) + \varepsilon_i \quad (\text{CD-1})$$

$$\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(f_i) + \beta_2 \ln(l_i) + \beta_3 \ln(m_i) + \varepsilon_i \quad (\text{CD-2})$$

Az egyenletekben az Y, F, L, M és P változók a 4. Táblázatban ismertetett outputot és inputokat jelölik, az y, f, l és m változók pedig a jelölésüknek megfelelő nagybetűs változók egy hektárra számított értékét. Az α és β értékek pedig a kutatás során megbecslendő koefficiensek, az ε pedig a normál eloszlású maradékváltozó. Az i alsóindexek az egyes mintaelemeket (üzemeket) jelölik.

A Cobb-Douglas függvények algebrai tulajdonságai közül kettő olyat szeretnék megemlíteni, amelyet kihasználtam a változók meghatározása, illetve az eredmények értékelése folyamán. Elsőként azt, hogy az $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ valamint a $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ koefficiensek nem függenek a hozzájuk tartozó input változó mértékegységétől; α_2 például változatlan marad, ha nem ember-évben, hanem ember-hónapban vagy éppen azonos fajlagos bérek alapján kalkulált bértömegben fejezzük ki az élőmunka inputot. Így a mértékegységek változtatása mindössze a két konstans koefficiensre (α_0, β_0) van hatással, de ezeknek nincs jelentősége az eredmények értelmezése szempontjából. Másik fontos függvény attribútum az, hogy amennyiben több termelésben használt inputot fejezünk ki az egyenletben egyetlen input változóként additív módon, akkor az így kombinált input változó koefficiense megfelel azon koefficiensek összegének, amelyeket akkor kapnánk, ha külön-külön használtuk volna ezeket a termelésben használt inputokat magyarázó változókként. Ez a tulajdonság akkor igaz, ha az egyes inputokat közel azonos arányban használják (pl. a tenyésztőanyag kihelyezéssel a takarmányhasználat is nő). Ebben az esetben így a forgóeszközök α_1 koefficiense egyenlő azon két koefficiens összegével, amelyek a takarmányhoz és a tenyésztőanyaghoz, mint külön-külön szerepeltett input változóhoz tartoznának, ha az első egyenletben ezeket önálló magyarázó változókként specifikáltuk volna. Ezen

tulajdonságok a mérethozadék mértékének vizsgálata során bizonyulnak hasznosnak.

A mérethozadék mértékének a mutatója az inputváltozókhoz tartozó koefficiensek összege. Amennyiben ez az összeg – statisztikailag szignifikánsan – nagyobb, mint 1 akkor növekvő mérethozadékról beszélünk; ha 1, akkor állandó hozadékról; és csökkenő hozadékról, ha kisebb, mint 1.

A modellek paramétereit kétfajta eljárással határoztam meg: i) legkisebb négyzetek (OLS) módszerével, illetve ii) kvantilis regressziós becslőfüggvénnyel, az eredményváltozók feltételes eloszlásának egyes deciliseire (beleértve a mediánt) illesztve a függvényeket. A kvantilis (medián) regressziós eljárás az OLS megközelítésnél kevésbé érzékeny a kiugró értékekre, így a koefficiensek becslt értékét kevésbé torzítja az olyan üzemeknek a mintában való jelenléte, amelyek az átlagosnál jóval kisebb vagy nagyobb hatékonysággal termelnek, vagy amelyeknél az inpuhasználat nagyon eltér a többi üzemtől (Koenker és Hallock, 2011).

Az OLS becsléssel nyert függvények elemzésekor a szokásos statisztikai tesztek végzettem el A lineáris modellekhez kötődő kitételek közül a homoszkedaszticitásról Breusch-Pagan teszttel, míg a maradékváltozók normális eloszlásáról Shapiro-Wilk teszttel győződtem meg. Az input változók multikollinearitásának tesztelését a VIF (Variációs infláló faktor) értékek elemzésével végeztem. A modellekben a becslt koefficiensek tesztelésére a t-próbát alkalmaztam, a magyarázó változók együttes hatását, vagyis az egész modell alkalmasságát pedig globális F-próbával vizsgáltam.

Az egyenletek parametrizálására és a tesztekre statisztikai programként az „R”-nek (Team R, 2011) a *miscTools*, *lmtest*, *perturb* és *quantreg* csomagjait (Hendrickx, 2012; Henningsen és Toomet, 2011; Zeileis és Hothorn, 2002; Koenker 2017) használtam.

4.2. A tógazdasági folyamatmodell módszertana

A kutatásom alapjául szolgáló dinamikus tógazdasági folyamatmodell szimulációjának tárgya egy 7 hónapos szezonra kiterjedő áruhal nevelési fázis volt, amely gabona kiegészítő takarmányozáson és bi-kultúrás fajszerkezeten alapszik. Azért a ponty tenyésztési ciklusának az utolsó (harmadik) szezonját választottam az elemzés alapjául, mert a hazai tóterület mintegy 70 %-án ez a tevékenység folyik, így reprezentatívnak tekinthető a tógazdálkodás szempontjából.

A 9. ábra áttekintés nyújt a modellezett folyamatokról. Ezen látható, hogy a modell bemeneti tényezőit (*external forcing factors*) az input gazdálkodásra vonatkozó hipotézisek, illetve a meteorológiai adatok alkotják. Előbb ezeket a bemeneti tényezőket, illetve a modell peremfeltételeit szeretném bemutatni a 4.2.1-es alfejezetben, majd a 4.2.2. alfejezetben rátérek az egyes elemi folyamatok matematikai egyenletekkel történő leírására. A modell működésének számítógépi leképzéséről a 4.2.3. alfejezetben lesz szó, a 4.2.4. alfejezetben pedig a modell érvényességének ellenőrzésére (validálására) szolgáló módszertanról. Végül, a 4.2.5. alfejezetben az ökonómiai kutatáshoz szükséges adatokat és egyenleteket ismertetem.

4.2.1. A folyamatmodell működésének keretei, peremfeltételek

A szimulált halastavi technológia kereteit az 3. sz. Táblázatban található feltevések határozzák meg. A modell – definíciójánál fogva – egyszerűsít, elvesz a valóság komplexitásából, hogy a lényeges folyamatokra tudjon koncentrálni (Watson és mtsai, 2013). Ezzel összhangban, a táblázatból jól látható módon, az általam használt szimulációs modell is néhány egyszerűsítéssel él. Így például a hagyományosan a magyar polikultúra részét képező amur, illetve a ragadozó fajok nem tárgyai a modellnek, hiszen mind a makrovegetáció, mind a gyomhalak jelenléte és fogyasztása olyan állapotok

és folyamatok, amelyekre egyrészt nincs kvantitatív ismeret, másrészt vizsgálatunk szintjén elhanyagolásuk nem okoz nagy hibát. Ugyanígy, bár a valóságban a megmaradási mutatókon állhat vagy bukhat a gazdasági eredmény, a modell előre (exogén módon) kalkulált elhullással számol, így a mortalitás nem függvénye a vízminőségi paramétereknek, a fertőző ágensek és a ragadozó madarak jelenléte pedig nem szerepel a modellben. A táblázatban leírt értékek képezik a modell bemeneti adatainak egyik részét.

A modell bemeneti értékek másik részét a meteorológiai adatok és feltevések adják, ahogy a 10. ábrán szematikusan is látható. Ezek közül a levegő hőmérséklet a vízhőmérsékletre és a párolgásra hat, a szélsébség a párolgásra, a radiáció a fitoplankton termelésre, a csapadék pedig a tó vízszintjére van hatással. A felsorolt meteorológiai tényezők közül a hőmérsékletnek van a legnagyobb hatása a biológiai modellre, illetve erre és a csapadéokra érhető el a legtöbb adat is. Az egyéb tényezőket illetően (radiáció, szél) az adatok nehezebb elérhetősége miatt a legtöbb esetben egyszerűsítő feltevéseket kellett használni azok értékére vonatkozóan. Az előzetes érzékenység vizsgálatok azt támasztották alá, hogy a modell kevésbé érzékeny ezek jellemzők pontos értékére, illetve ezek a tényezők viszonylag jól becsülhetők a tenyészidőszakra vonatkozóan.

3. Táblázat A tógazdasági folyamatmodellben a technológiára és az input gazdálkodásra vonatkozó feltevések

Szezonális keretek	- Április 1-i kihelyezés, október 31-i lehalászás (tenyésztési idő: 214 nap) - Állományritkító (nyári) lehalászás nincs
Tenyészanyag kihelyezés	- Két faj (ponty és hibrid busa) alkotta polikultúra - 0,475 kg/db átlagtömegű (kétnyaras) ponty kihelyezése ¹ , 10 különböző technológiai alternatíva szimulációja (110 kg/ha; 150 kg/ha; 190 kg/ha; 230 kg/ha; 270 kg/ha; 310 kg/ha; 350 kg/ha; 376 kg/ha; 400 kg/ha; 450 kg/ha) - Hibrid busa kihelyezés, 15 kg/ha telepítési sűrűséggel
Takarmányozás	- Gabona takarmányozás, a különböző takarmányok táplálkozási értéke homogén - Az éves takarmánymennyiség (=100 %) kijuttatásának havi eloszlása ² : április: 5%; május: 13%; június 19%; július 25%; augusztus 28%; szeptember 10% - 7 különböző technológiai alternatíva szimulációja (1 t/ha; 1,5 t/ha; 2 t/ha; 2,5 t/ha; 3 t/ha; 3,5 t/ha; 4 t/ha)
Trágyázás és tápanyag ellátás	- Szerves trágyázás 1 t/ha mértékben, május 1-től szeptember 30-ig naponta 6,5 kg/ha - Előkészítő trágyázással nem kalkulál a modell, csak fenntartó trágyázással - Exogén módon beállított értékek a tápanyag koncentrációra és vízminőségre április 1-én (ez felfogható az előkészítő trágyázás eredményének): fitoplankton 30,5 kg/ha; zooplankton 72,7 kg/ha; bentsz 0,71 kg/ha; nitrogén 15 mg/l, foszfor 2,5 mg/l, detritusz 131,9 kg/ha; oldott oxigén 9,76 mg/l.
Víz-gazdálkodás	- Körtöltéses tóra jellemző vízgazdálkodás - Április 1.-én 1 m-es vízszint az induló érték - A vízszint a napi párolgás és a csapadék függvényében változik, laterális és horizontális elszivárgással nem számol a modell - Pótlóvíz mindig rendelkezésre áll igény esetén. Ennek mechanizmusa: i. Április 1-től augusztus 15-ig terjedő időszak: amennyiben a vízszint 0,95 m alá csökken, akkor 1,05 m-re töltik a tavat ii. Augusztus 16-tól október 31-ig terjedő időszak: amennyiben a vízszint 0,6 m alá csökken, akkor 0,9 m-re töltik a tavat - A túlfolyási szint 1,1 m, túlzott csapadék esetén sem tartják e fölött a vízszintet
Egyéb feltevések	- A tó vízteste homogén vízkémiai paraméterek tekintetében (nincs rétegződés) - A tó mélység egyenletes - A ponty megmaradási mutatója a szezonban 74,5% (az elhullás napi 0,14%) ³ , és ez nem függvénye sem a vízhőmérséklet, sem az oxigén-szint változásának

¹ A kihelyezett kétnyaras ponty átlagos tömege 0,45 kg/db volt 2017-ben ágazati szinten (AKI 2018b)

² A takarmányozás havonkénti elosztását Hancz (2007) ajánlása alapján határoztam meg

³ A kihelyezett kétnyaras ponty átlagos megmaradása 74% volt a 2015-17 időszakban ágazati szinten (AKI 2018b)

A modell mind tényleges (elmúlt évekből származó) meteorológiai adatokkal, mind jövőbeli, klíma modellek által generált adatokkal lett futtatva. Ez utóbbi

arra szolgált, hogy a klímaváltozás hatásainak értékelését is be tudjam vonni kutatási munkámba. Itt fontosnak tartom megjegyezni, hogy – dolgozatom fókuszával összhangban – terjedelmi korlátok miatt mindössze egy alfejezet erejéig térek ki a klímaváltozás hatásaira, sem annak irodalmi háttérét nem volt szándékomban bemutatni, sem a felhasznált klímaszcenáriók komplex elemzésére és értelmezésére nem térek ki.

Mind a jelenlegi klíma, mind a jövőbeli klíma melletti technológia elemzésekor az évjáratí hatásokat úgy szűrtem ki, hogy a modellt több év hőmérsékleti és csapadék adataival számítottam, és a több évre vonatkozó output adatokból (pl. hozamok, párolgás, stb.) átlagot számítottam. A jelenlegi klíma melletti eredmények így a 2006 és 2016 közötti 11 év modellfutásainak átlagaként értelmezendők, míg a jövőbeli klíma hatását kettő időhorizonton, rövidtávon (2026 és 2035 közötti 10 év átlaga) és hosszú távon (2046 és 2055 közötti 10 év átlaga) vizsgáltam. A meteorológiai adatokról az 4. Táblázat nyújt áttekintést. A tógazdasági folyamatmodell napi időlépéssel készült.

4. Táblázat A tógazdasági folyamatmodell meteorológiai bemeneti adatai

Levegő hőmérséklet és csapadék	2006-16: Szegedre vonatkozó napi minimum és maximum hőmérsékleti, illetve napi csapadék adatok az OMSZ-tól 2016-55: napi minimum és maximum hőmérsékleti, illetve napi csapadék adatok a NORESM-1 klímamodellből ¹ RCP 4.5 klímaszcenárió, szegedi lokáció (46.335823É, 20.099082K)
Relatív páratartalom	A vizsgált április-október időszakra napi átlagban 60%-os becsült relatív páratartalom érték
Szélsébség	2009-2014 síófoki OMSZ tényadatok alapján napi szélsébség átlagok (minden egyes naptári napra átlagolva a 6 év ugyanazon napján mért értékeket)
Radiáció	Napi átlagban 120 W/m ² , a szezon mind a 214 napján

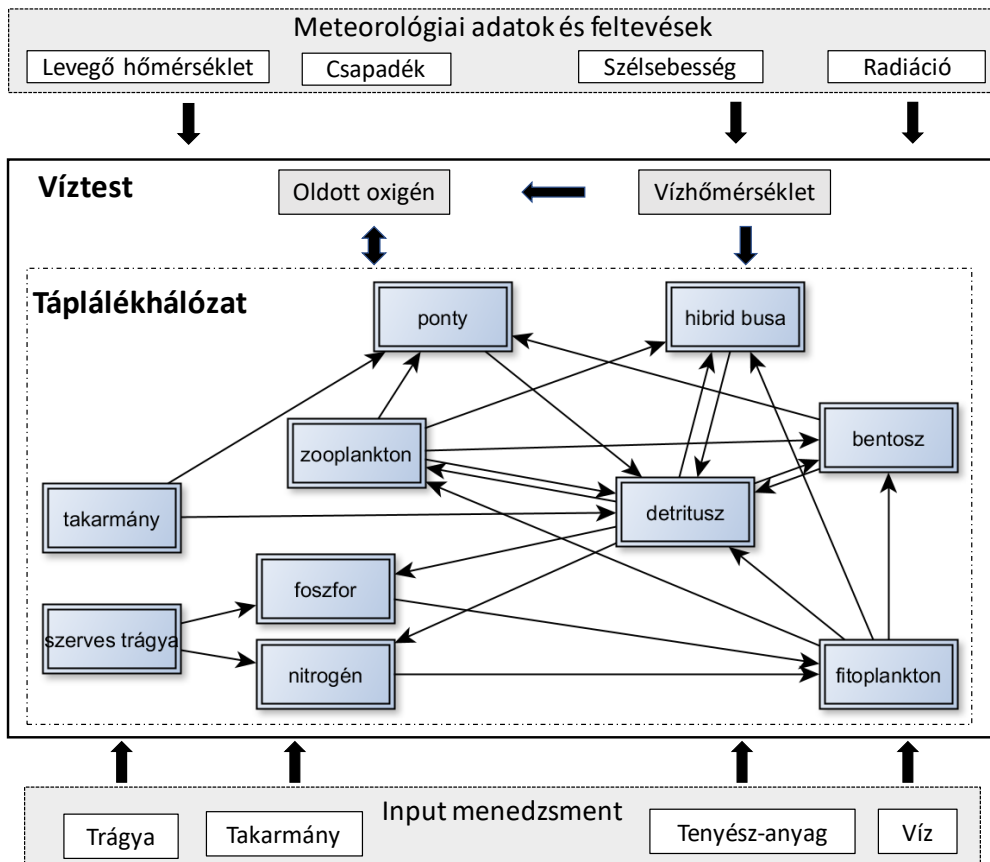
¹ A NORESM-1 modellt Bentsen és mtsai (2012) ismerteti

4.2.2. A tógazdasági folyamatmodellben felhasznált összefüggések

A modell felépítése a 10. sz. ábrán tekinthető át. A tápanyag áramlás kiinduló elemei a gazdálkodás során inputként bevitt szerves trágya, illetve a takarmány. A szerves trágyából kioldódnak az elemi tápanyagok (N, P); a

takarmány egy részét pedig felveszi a ponty, a maradékból elhalt szerves anyag (detritusz) képződik. Az elemi tápanyagokból az autotróf élőlények (fitoplankton) szerves anyagot termelnek, a fitoplanktont pedig táplálékként fogyasztja a zooplankton állomány, a bentikus szervezetek, illetve részben a hibrid busa. A zooplanktont a ponty, a hibrid busa és a bentikus szervezetek fogyasztják. A ponty fogyaszt még ezen túl a bentoszból is, a bentosz pedig a detrituszból, ahogy a hibrid busa és a zooplankton is. További fontos folyamat a táplálékláncban az, hogy az élőlények metabolikus termékeiből, illetve az elhullott tetemekből detritusz képződik, amiből lassan kioldódnak az elemi tápanyagok.

A szerves anyag áramlásának fentebb ismertetett útján kívül a modell formálisan rendezi a környezeti tényezők hatását is. Így például az autotróf planktonikus szervezeteknek a szerves anyag képzési folyamata függvénye a napfény intenzitásának, a vízhőmérsékletnek illetve az oxigén-szintnek is. A vízhőmérséklet, valamint az oldott oxigén-szint majdnem az összes tápláléklánc-folyamatban input változóként van jelen, amit tovább bonyolít, hogy az oxigén-szintre hatással van az egyes szervezetek oxigén-fogyasztása, a fitoplankton közösség oxigén-termelése és a szerves anyag lebomlás oxigén igénye is. Végül, olyan egyenletek is szerepelnek a folyamatmodellben, amik az egyes fizikai változók közötti kapcsolatokat írják le, például a vízhőmérséklet illetve az oldott oxigén szint relációját, valamint a légköri oxigénnek a tóba való beoldódását.



10. ábra A modellezett folyamatok sematikus áttekintése. A nyilak a táplálékhálózati, illetve a környezeti kapcsolatokat jelölik.

A folyamatmodellben a tápláléklánc interakcióit számszerűen leíró egyenleteket alapvetően a Svirezhev és mtsai. (1984) által közölt cikkből vettem, azonban számos egyenletet módosítottam. A módosítások egyik része a bentosz, a zooplankton, ponty és a hibrid busa táplálék felvételi függvényét, valamint ehhez kapcsolódóan a növekedési függvényét érinti. Ezen élőlénycsoportok esetében a táplálkozás matematikai leírásának komplexitását az okozza, hogy különböző típusú táplálékokat fogyasztanak. Svirezhev és mtsai (1984) a különböző típusú táplálékok közötti választást leíró függvényeknél „preferencia alapú fogyasztás” megközelítést használt, én ehelyett Varga és Cukás (2017b) tápláléklánc modellje alapján az adott táplálék relatív elérhetőségén alapuló fogyasztásra alapozó egyenleteket

használtam. Matematikailag ez a következő módon van reprezentálva például a bentosz esetében, ami detrituszt, fitoplanktont és zooplanktont fogyaszt:

$$\frac{dB}{dt} = \left[\left(\mu_{BD} \cdot \frac{D^2}{K_{BD}^2 + D^2} \cdot \frac{D}{D + F + Z} + \mu_{BF} \cdot \frac{F^2}{K_{BF}^2 + F^2} \cdot \frac{F}{D + F + Z} + \mu_{BZ} \cdot \frac{Z^2}{K_{BZ}^2 + Z^2} \cdot \frac{Z}{D + F + Z} \right) \cdot B \cdot \tau_B \cdot \delta_B \right] \cdot (1 - Exr_B - RE_B) - M_B \cdot B$$

ahol B a bentosz koncentrációt jelöli (kg/ha); dB/dt a bentosz állomány változását (kg/ha/nap), a D, F és Z pedig a bentosz három táplálék forrásának, a detritusznak, a fitoplanktonnak és a zooplanktonnak a koncentrációját (kg/ha); μ_{BD} , μ_{BF} és μ_{BZ} a bentosznak a detrituszra, a fitoplanktonra és a zooplanktonra vonatkozó maximális táplálékfelvételi sebességét jelölő paraméter (1/nap), K_{BD} , K_{BF} és K_{BZ} pedig ugyanezen relációkban a Michaelis-Menten típusú egyenletekhez tartozó fél-telítettségi paraméter; τ_B és δ_B ugyanazon *hőmérséklet vs. növekedés* és *oxigén vs. növekedés* standardizált belső függvényeket jelölik, amelyek a Svirezhev és mtsai (1984) munkájában is megtalálhatóak; Exr_B és RE_B a bentoszra jellemző exkrétum hányados illetve respirációs energiavesztési hányados; M_B pedig a bentosz állomány napi mortalitási (elhullási) mutatója. A bentoszhoz teljesen analóg módon változtattam a busa, illetve a zooplankton élettani függvényein. A μ , K , Exr , RE és M paraméterekre, valamint a τ és δ belső függvények további paramétereire is ugyanazon értékekkel kalkuláltunk, amelyeket Svirezhev és mtsai (1984) publikáltak, a többi egyenletet (pl. oxigénfogyasztás, detritusz képződés) pedig változatlanul hagytam ezen élőlények esetében is.

Svirezhev és mtsai (1984) tanulmányához képest a másik nagyobb volumenű módosítást a ponty élettani folyamataival kapcsolatos egyenletekben végeztem. A hivatkozott cikkben a pontyot is – hasonlóan a fent bemutatott bentoszhoz, zooplanktonhoz és busához – állomány alapon (*biomass based*) modellezték. Ez annyit tesz, hogy a modell számára indifferens ezen élőlények esetében, hogy az állomány hány egyedből áll és mekkora az átlagos egyedi tömeg; a lényeges a kettő tényező szorzataként meghatározott állomány

nagysága. Mivel a ponty esetében az egyedi tömeg is lényeges információt hordoz a termelői döntések szempontjából, ezért a kutatásomban használt folyamat modellben a pontyra vonatkozó élettani függvények nagy részét módosítottam olyan módon, hogy az állomány alapú megközelítésről áttértem az egyed alapú (*individual based*) megközelítésre, elsősorban a Kapetsky és Nath (1997) által közölt összefüggéseket felhasználva. A pontyra vonatkozó módosított egyenletrendszer az 5. táblázat mutatja be részletesen. Az egyedszám napi 0,14 %-os csökkenése (1-es egyenlet) egy teljes szezonra vetítve 74,5 %-os megmaradási mutatót eredményez, ez megfelel a 2015-17 időszak ágazati átlagának (AKI 2018b). A hal növekedés egy általánosan elfogadott modellje a von Bertalanffy egyenleten alapul (von Bertalanffy, 1938), amely szerint az egyedi tömeg változása egy olyan, az anabolikus és katabolikus folyamatokat reprezentáló két tag összegével írható le, amely tagokban az aktuális egyedi tömeg különböző hatványkitevőkkel (m és n) szerepel (Ursin, 1967). Ezt reprezentálja a táblázatban a (2)-es egyenlet. A modell szerint az anabolikus folyamat számos tényezőtől függ (3a-d, illetve 4a-f egyenletek), a katabolikus folyamatra pedig csak a hőmérséklet van hatással (6ab). A modellnek ez a felírása Winberg (1960), Ursin (1967), Brett (1979), Bolte és mtsai. (1995), valamint Kapetsky és Nath (1997) alapján alakult ki. Az anabolikus tevékenység megfelel az összes tényleges táplálékfelvétel nagyságának (3a), amit két tényező határoz meg (4abc): i) a táplálék elérhetősége, illetve ii) a ponty étvágyának mértéke. A különböző táplálékforrások napi elérhetősége a modell más moduljaiban (pl. a zooplankton élettani folyamatait leíró lokális programban) alakul ki, de természetesen implicit módon ez is függvénye számos tényezőnek. Az étvágy (maximális tápanyag felvételi képesség) nagyságára, ami az anabolikus testtömeggel arányos, viszont explicit módon van hatással a hőmérséklet, az oxigénszint és egyéb környezeti (pl. vízminőségi) hatások (4def). Az anabolikus tevékenységen belül a hőmérsékleti részfüggvény (5ab) a

modellben egy 0 és 1 közötti értékeket felvevő, fordított U alakú standardizált függvény, ami az 1-es értéket akkor veszi fel, ha a hőmérséklet a ponty számára kedvező tartományban van (Brett, 1979; Bolte et al, 1995). Ezt úgy kell értelmezni, hogy ha a vízhőmérséklet az optimális szint közelében van, akkor ez a tényező nem korlátozza a táplálékfelvételi aktivitást (vagyis hagyja érvényesülni a többi tényező által megszabott teljesítményt), ha pedig nagyon eltér ettől, akkor jelentősen korlátozza azt. Teljesen hasonló a standardizált oxigén rész-függvény szerepe (7abc) az anabolikus folyamatban: ahol a monoton növekvő függvény: 1-hez tart, és a 100%-os anabolikus működéshez szükséges oxigénszint (DO_{crit}) elérése után végig 1-et vesz fel.

A fentebb bemutatott módosításoktól eltekintve disszertációm tavi folyamat modelljében az egyenletek és azok paraméter értékei megegyeznek a Svirezhev és mtsai (1984) által közöltekkel. Ez a cikk azonban a víz hőmérsékletének és vízszintjének kalkulációjára nem ad útmutatást.

A halastó folyamatmodelljében a meteorológiai viszonyokat figyelembe véve számítani kell a napi vízháztartást, valamint a levegő hőmérséklettől is függő vízhőmérsékletet. A disszertációmban szereplő modellben a bemeneti tényezők a levegő hőmérsékletre és a csapadékra vonatkozó adatok, illetve a levegő relatív nedvességtartalmára, a napi szélsőségekre és a radiációra vonatkozó feltevések, ezért a folyamatmodellben figyelembe kell venni az erre vonatkozó fizikai jellegű elemi folyamatokat is.

A hiányos meteorológiai adatokhoz alkalmazkodó egyszerűsített számítások elvégzésénél a Balaton vízmérlegének számítására vonatkozó modellezési tapasztalatokat (Varga és mtsai, 2016b) hasznosítottam. A Balaton modellezése alapján tett feltételezések lehetővé tették, hogy a kizárólag napi minimális és maximális hőmérsékletet, valamint napi csapadék mennyiséget meghatározó klímaszenáriók halastavi gazdálkodásra gyakorolt hatását is megvizsgáljam. Egy napos (24 órás) modell időlépés esetén a vizsgált (április

- október) időszakra azonosnak tekintetem a levegő és a víz átlagos hőmérsékletét.

A halastó vízszintjének változását a napi csapadék és a napi párolgás különbözeteként számoltam. Pótlóvíz bevezetésekor természetesen kalkuláltam annak vízszint emelő hatásával. A napi párolgás kalkulációjához az Antal-formulát alkalmaztam. Ezt eredetileg a sekély vizű Balatonra dolgozták ki Antal és Tóth (1976), majd fejlesztették tovább és validálták a VITUKI munkatársai (VITUKI 1986). A párolgási modell az

$$EP = a * (P_{0,H_2O}(T) - P_{H_2O}) * (0.59 + 0.013 * v)$$

összefüggésen alapszik, ahol az EP a napi párolgást jelöli (mm/nap); a $P_{0,H_2O}(T)$ az egyensúlyi gőznyomás a hőmérséklet függvényében (mbar); a P_{H_2O} az aktuális parciális gőznyomás, ami relatív nedvességtartalom felhasználásával számolható (mbar); a v az átlagos szélesség (m/s); míg az a egy szezonális faktort jelöl, amelynek értéke márciusban 0,7; áprilisban 0,8; októberben 1,3; egyébként pedig 1. Az egyensúlyi gőznyomás hőmérséklet függését a

$$P_{0,H_2O} = \exp\left(7.3.649 - \frac{7258.2}{T} - 7.3037 \ln T + 0.0000041653 T^2\right)$$

egyenlet adja meg (Perry és Green, 2008), ahol T a víz hőmérséklete (K). Az aktuális parciális gőznyomást az egyensúlyi gőznyomás és a relatív páratartalom szorzataként becsültem. Az esetemben ismeretlen relatív páratartalmat az április - október időszakban a sekély vizű Balatonra mért adatokból számított átlagos érték (60%) felhasználásával becsültem.

5. Táblázat A folyamatmodellben a pontyra vonatkozó élettani folyamatok matematikai leképezése

Folyamat neve	Matematikai képlete	Változók, paraméterek jelölése	Paraméter
Egyedszám változása	(1) $\frac{dN}{dt} = N \cdot (1 - M)$	dN/dt napi darabszám változás (egyed/ha/nap); N aktuális napi ponty egyedszám (egyed/ha); M napi elhullási arány (1 / nap)	$M = 0,0014$
Általános egyednövekedési függvény	(2) $\frac{dW}{dt} = H \cdot W^m - k \cdot W^n$	dW/dt napi egyednövekedés (g/nap/egyed); W aktuális napi ponty egyedi tömeg (g/egyed); H anabolikus tényező (lásd lentebb); k katabolikus tényező (lásd lentebb); m, n anabolikus és katabolikus testtömeg hatványkitevője	$m = 0,6722$ $n = 0,5166$
Anabolikus tag, és annak megoszlása tápanyagok között	(3a) $H \cdot W^m = A_F + A_B + A_Z$ (3b) $A_F = b_F \cdot (1 - a) \cdot C_F$ (3c) $A_B = b_B \cdot (1 - a) \cdot C_B$ (3d) $A_Z = b_Z \cdot (1 - a) \cdot C_Z$	A_F, A_B, A_Z a takarmányfelvételnél, a bentosz fogyasztásnak és a zooplankton fogyasztásnak tulajdonítható anabolikus működés a felvett tápanyag katabolikus folyamatokra felhasznált hányada b_F, b_B, b_Z takarmány, bentosz és zooplankton beépített aránya C_F, C_B, C_Z takarmány, bentosz és zooplankton fogyasztás (g/nap/egyed)	$a = 0,0786$ $b_F = 0,55$ $b_B = 0,7$ $b_Z = 0,7$
Egyes táplálék fajták fogyasztása	(4a) $C_F = \min(F/N, R_F)$ (4b) $C_B = \min(B/N, R_B)$ (4c) $C_Z = \min(Z/N, R_Z)$ (4d) $R_F = \frac{F}{F+B+Z} \cdot E \cdot h \cdot \tau \cdot \delta \cdot W^m$ (4e) $R_B = \frac{B}{F+B+Z} \cdot E \cdot h \cdot \tau \cdot \delta \cdot W^m$ (4f) $R_Z = \frac{Z}{F+B+Z} \cdot E \cdot h \cdot \tau \cdot \delta \cdot W^m$	F, B, Z : takarmány, bentosz és zooplankton koncentráció (g/ha) $F/N, B/N, Z/N$: egy ponty egyedre számolt napi koncentrációk (g/egyed) R_F, R_B, R_Z : A ponty étvágya az egyes táplálékfajtákra (g/egyed/nap) E : környezeti tényező, a vízminőségnek az étvágy korlátozó hatását jelzi h : maximális tápanyag felvételt jelölő tényező τ : hőmérsékleti függvény, lásd lentebb ($0 < \tau < 1$) δ : oldott oxigén tényező, lásd lentebb ($0 < \delta < 1$)	$h = 0,3282$ $E = 0,9215$
Anabolikus folyamatok hőmérséklet függése	(5a) $\tau = \exp\{-4,6[(T_{opt}-T)/(T_{opt}-T_{min})]^4\}$, ha $T < T_{opt}$ (5b) $\tau = \exp\{-4,6[(T-T_{opt})/(T_{max}-T_{opt})]^4\}$, ha $T > T_{opt}$	T aktuális (napi) vízhőmérséklet (C^0) T_{min} anabolikus működés alsó hőmérsékleti határa (C^0) T_{max} anabolikus működés felső hőmérsékleti határa (C^0) T_{opt} optimális anabolikus működést biztosító hőmérséklet (C^0)	$T_{min} = 10,1 C^0$ $T_{max} = 36,2 C^0$ $T_{opt} = 30,6 C^0$
Katabolizmus hőm. függése	(6a) $k = k_{min} \exp[s(T - T_{min})]$, ha $T > T_{min}$ (6b) $k = k_{min}$, ha $T < T_{min}$	k_{min} katabolizmust gyorsító koeficiens ; s hőmérséklet hatását figyelembe vevő tényező ; T_{min} alsó hőmérséklet küszöbérték (C^0)	$k_{min} = 0,0104$ $s = 0,0027$
Anabolikus folyamatok oxigén függése	(7a) $\delta = 1,0$, ha $DO > DO_{crit}$; (7b) $\delta = (DO - DO_{min}) / (DO_{crit} - DO_{min})$, ha $DO_{min} \leq DO \leq DO_{crit}$; (7c) $\delta = 0,0$, ha $DO < DO_{min}$	DO oldott oxigén koncentráció (kg/m^3) DO_{min} anabolikus működéshez szükséges minimális oxigénszint (kg/m^3) DO_{crit} 100%-os anabolikus működéshez szükséges oxigénszint (kg/m^3)	$DO_{min} = 0,001$ kg/m^3 $DO_{crit} = 0,0025$ kg/m^3
Ponty napi oxigénfogyasztása és exkrétuma	(8a) $\frac{dDO}{dt} = -N \cdot W \cdot Resp$ (8b) $\frac{dEX}{dt} = N \cdot ((1 - b_F + b_F \cdot a)A_F + (1 - b_B + b_B \cdot a)A_B + (1 - b_Z + b_Z \cdot a)A_Z + k \cdot W^n) + 0,273 \cdot \frac{dDO}{dt}$	dDO/dt a teljes pontyállomány napi oxigénfogyasztása ($kg/ha/nap$) $Resp$ oxigén-fogyasztási koeficiens (1/nap)	$Resp = 0,01$ $\frac{dEX}{dt}$: napi exkrétum ($kg/ha/nap$)

4.2.3. A tógazdasági folyamatmodell struktúrája

A fentebb ismertetett modell elemeket felhasználva a Közvetlen Számítógépi Leképzésen alapuló Programozható Struktúrák módszerével (Varga és Csukás, 2017a) témavezetőmmel egy egységes dinamikus szimulációs modellt generáltunk. Ennek során

- a tavi tápláléklánc és a kapcsolódó fizikai folyamatok hálózat struktúrája és a Programozható Struktúrák két GraphML meta-prototípusa felhasználásával felépítettük a 20 állapot és 15 változás elemet tartalmazó és összekapcsoló GraphML modellt; majd
- elkészítettük modellszámításokhoz szükséges lokális programokat tartalmazó 8 állapot és 12 változás prototípust. A folyamatmodell lokális programokat tartalmazó prototípusairól a 6. sz. Táblázat nyújt áttekintést.

6. Táblázat A folyamatmodell prototípusai (lokális programjai)

Változás elemek	Állapot elemek
- Ponty élettani folyamatai	- Ponty állomány jellegű mutatói
- Hibrid busa élettani folyamatai	- Hibrid busa állomány jellegű mutatói
- Zooplankton állomány élettani folyamatai	- Egyéb élőlények állomány jellegű mutatói
- Fitoplankton állomány élettani folyamatai	- Input „raktár” - kivett mennyiség ¹
- Bentsosz állomány élettani folyamatai	- Vízsztint
- Detritusz állomány folyamatai	- Vízhőmérséklet
- Vízfeltöltés (pótlóvíz) folyamata	- A víz fizikai, kémiai tulajdonságai
- Vízmérleg, vízhőmérséklet és vízkémia napi változása	- Meteorológiai napi adatok
- Takarmány napi kijuttatása	- A takarmány és szerves trágya kijuttatásának ütemezésére vonatkozó adatok
- Trágyázás napi kijuttatása	
- Takarmány dekompozíció	
- Trágya dekompozíció	

¹ A „raktárak” elemként való megjelenítése egy modellbeli absztrakció, a tömegmérleg szemlélet következetes érvényesítését szolgálja

Az egyes lokális programok közül a folyamat elemekben mintegy 5-15 egyenlet írja le az adott élőlény-csoport (pl. fitoplankton, bentsosz, stb.) vagy fizikai-kémiai mechanizmus (pl. hidrológiai mérleg, vízkémia, stb.) napi változásait. Az állapotelemekben pedig az egyes extenzív és intenzív állapot

jellemzők (pl. ponty egyedsúly, darabszám, víz oldott oxigéntartalma, hőmérséklete, stb.) napi értékét kalkulálja a program oly módon, hogy az előző napi állapot extenzív jellemzőit növeli vagy csökkenti a napi változást számoló lokális programok eredményeivel, majd kiszámítja az intenzív jellemzőket.

Mivel a Programozható Struktúrák módszerével egy mérleg alapú szemléletet érvényesítettünk, minden egyes változás – érintsen az akár élő, akár élettelen komponenst – legalább egy állapot elemben jelentkezik a modellben. Így például a ponty metabolikus melléktermékei növelik a detritusz tömegét, az elfogyasztott zooplankton mennyiségével csökken a tó zooplankton állománya, a metabolizmus során felhasznált oxigén kivonásra kerül a tóban oldott oxigéntömegeből, a fitoplankton által termelt oxigén pedig hozzáadódik ahhoz, stb.

4.2.4. A folyamatmodell validálása: adatok és módszertan

A modell érvényességét az egyik legnagyobb hazai tógazdaságtól, a SzegedFish Kft.-től kapott adatok alapján ellenőriztem. Az említett gazdaságtól a III-as számú, 139,4 hektáros tónak az éves naplóját kaptam meg a 2006 és 2016 közötti időszakra vonatkozóan. A tónaplók az alábbi adatokat tartalmazzák:

- Kihelyezett tenyésztésanyag: átlagos egyedsúly és darabszám, korosztályonként és fajonként
- Lehalászott állomány: átlagos egyedsúly és darabszám, korosztályonként és fajonként
- Szezon közbeni próbahalászatok eredményei: átlagos egyedsúly, és időpont
- Havonta kijutatott takarmány mennyisége és fajtája (búza, kukorica, tritikálé)

- Havonta kijutatott szerves trágya mennyisége
- Vízpótlás mennyisége, időpontja és forrása [i) Tisza, ii) belvíztároló vagy iii) másik tóból származó]
- Tavi vízmércén mért vízmélység, és a mérés időpontja (szezononként 6-15 db ellenőrzés)
- Vízvizsgálati eredmények (vízhőmérséklet, pH, plankton koncentráció és vízkémiai mutatók) és azok időpontja

Ezen felül a tógazdaság területén mért napi csapadék adatokat is rendelkezésemre bocsátották, ami értelemszerűen különbözött az OMSZ által Szegedre megadott adatoktól, hiszen a gazdaság mintegy 10 km-re fekszik a belvárostól. A modell validálásához így az OMSZ-től származó hőmérsékleti adatokat, de a tógazdaságnál nyilvántartott napi csapadékadatokat használtam.

A validálási modell futásakor természetesen az input menedzsmentre vonatkozó bementi adatok is módosítottam: a kihelyezett állomány nagysága, egyedi átlagtömege, a beadott takarmány és szerves trágya, valamint a vízbevezetés is a tónapló szerint meghatározott ütemben lett betáplálva a modellbe a vizsgált 11 évre vonatkozóan.

A hidrológiai eredményeket (vízszint, párolgás) mind a 11 évre vonatkozóan validáltam, a hozamok alakulását azonban csak a 2010 és 2016 közötti időszakra, hiszen a tónaplóban lévő adatok alapján a 2006 és 2009 közötti években a megmaradási mutatók nagyon alacsonyak voltak. Ez arra engedett következtetni, hogy ebben a 4 évben olyan tényezők (betegségek, kiugró madárkár, lopás) is jelentősen befolyásolhatták a hozamok alakulását, amik a kutatásomban használt folyamatmodell „hatáskörén” kívül vannak, tehát nem volt célszerű olyan feltételek mellett is lefuttatni a modellt, ami kívül esik annak értelmezési tartományán.

4.2.5. A folyamatmodellre épülő ökonómiai értékelés módszertana

Kutatómunkám céljai között szerepel a tavi folyamatmodell eredményeire építve meghatározni a takarmányozás és a tenyészanyag kihelyezés optimális intenzitását (hektáronkénti mennyiségét). Az optimaláláshoz két különböző gazdasági célfüggvényt vettem figyelembe:

$$AC \rightarrow \min, \quad \text{illetve} \quad \pi \rightarrow \max$$

ahol AC a ponty fajlagos termelési költsége (Ft/kg), π pedig az egy hektárra jutó eredmény. A két gazdasági függvényt az alábbi módon definiáltam:

$$TC = Stock \cdot C_s + Stock_b \cdot C_{sb} + Feed \cdot C_f + Labour \cdot C_L + Water \cdot C_w + C_{cap} + C_o$$

$$AC = \frac{TC - Stock_b \cdot C_{sb}}{Y}$$

$$R = Yield \cdot p + Yield_b \cdot p_b$$

$$\pi = R - TC$$

ahol TC az egy hektárra jutó termelési költség (Ft/ha); R pedig az egy hektárra jutó bevétel. Az egyenletekben látható változók leírását a 7. Táblázat tartalmazza. A költségek számolására egy alternatív kalkulációt is használtam: ebben kihagytam a termelési infrastruktúra tőkeköltségeit (C_{cap}) azon megfontolás alapján, hogy az értékcsökkenési költségek a már működő tógazdaságok többségében nem jelentősek, mivel a hazai halastavak többsége (amelyek 1970 előtt létesültek) már közel nullára íródott (Szűcs és Gábor, 2007). A tőkeköltségekkel való kalkuláció azonban az újabb létesítésű tavak gazdasági mutatóinak értékelésekor szükséges.

A táblázatban a tenyészanyag (kétnyaras ponty és busa) esetében az 1,2-es szorzó azért szükséges, mert ezekre nem közölnek adatot a statisztikák, de a gyakorlatban elfogadott megközelítés, hogy ezek ára kb. 20-30%-al haladja meg az étkezési hal értékesítési árait (Szűcs és Gábor, 2007). Az értékesített

termékek árait a IV. negyedévre, a tenyészanyag árait pedig az I. negyedévre közölt adatok alapján kalkuláltam, összefüggésben ezen tételek időbeli jelentkezésével.

Az optimalást numerikusan végeztem olyan módon, hogy a folyamatmodell le lett futtatva a 80 különböző technológiai alternatívát tükröző bemeneti kombinációra (8 különböző takarmányozási szint és 10 különböző ponty kihelyezési intenzitás), és a modell output alapján meghatároztam egyrészt a fajlagos költségfüggvény minimumát, másrészt a hektáronkénti pénzügyi eredmény (profit) maximumát.

7. Táblázat Az ökonómiai értékelés változói

A változó neve és jelölése		M.e.	A változó értéke
<i>Stock</i>	Kétnyaras ponty kihelyezés	kg/ha	Modell bemeneti érték (lásd 4. Táblázat)
<i>Stock_b</i>	Busa tenyészanyag kihelyezés	kg/ha	Modell bemeneti érték (lásd 4. Táblázat)
<i>Feed</i>	Takarmány felhasználás	kg/ha	Modell bemeneti érték (lásd 4. Táblázat)
<i>Water</i>	Felhasznált víz	m ³ /ha	Modell output
<i>Labour</i>	Munkaerő szükséglete	ÉME ¹ /ha	0,035 ÉME/ha + minden egyes kg bruttó pontyhozam után további 0.000024 ÉME ²
<i>Yield</i>	Ponty bruttó hozam	kg/ha	Modell output
<i>Yield_b</i>	Busa bruttó hozam	kg/ha	Modell output
<i>p</i>	Ponty értékesítési ára	Ft/kg	616 Ft/kg (Étkezési ponty 2017/IV. né. átlagára ³)
<i>p_b</i>	Busa értékesítési ára	Ft/kg	259 Ft/kg (Étkezési p. busa 2017/IV. né. átlagára ³)
<i>C_S</i>	Kétnyaras ponty ára	Ft/kg	756 Ft/kg (Étkezési ponty 2017/ I. né. átlagárának ³ a 120%-a)
<i>C_{Sb}</i>	Busa tenyészanyag ára	Ft/kg	310 Ft/kg (Étkezési p. busa 2017/ I. né. átlagárának ³ a 120%-a)
<i>C_f</i>	Takarmány beszerzési költsége	Ft/kg	43,7 Ft/kg (Búza felvásárlási átlagára 2017-ben ⁴)
<i>C_w</i>	Vízszolgáltatási díj ⁵	Ft/m ³	1 Ft/m ³ (Saját becslés, 2 Ft/m ³ átlagos nominális díj és 50%-os állami szerepvállalás [2017] feltételezése alapján)
<i>C_L</i>	Munkaerő költsége	Ft/ÉME	2.744.840 Ft/ÉME (A mezőgazdaságban foglalkoztatottak bruttó átlagkeresete ⁶ [2017] valamint a dél-alföldi régió és az országos átlagkereset közötti különbség alapján kalkulálva)
<i>C_{cap}</i>	A termelési infrastruktúra évesített beruházási költsége	Ft/ha	48.000 Ft/ha (Saját becslés: új halastó létesítésének költsége 3.000.000 Ft/ha; támogatási intenzitás: 50%; CRF ⁷ : 3.2% [kamatláb: 2%; élettartam: 50 év])
<i>C_o</i>	Egyéb költségek (meszezés, trágyázás, energia, stb.)	Ft/ha	18.000 Ft/ha (Saját becslés Szűcs és Gábor (2007) alapján)

¹ ÉME = Éves munkaerő-egység (2200 munkaóra)

² Az egyenlet azon a megfigyelésen alapszik, hogy a termelési intenzitás növekedésével nő a fajlagos munkaerő-szükséglet. A bruttó hozamok és az élők munkája közötti összefüggést a 4.1.1. alfejezetben bemutatott 44 gazdaság adatai alapján határoztam meg.

³ AKI (2018a) alapján

⁴ KSH (2018b)

⁵ A vízkészlet használati járulékkal nem kalkulálok annak kis összege és az az alól való részleges mentesség miatt

⁶ KSH (2018a)

⁷ CRF = Capital Recovery Factor. A beruházási költségek annualizálásánál (évesítésénél) alkalmazott szorzótényező, a kamatláb és a beruházás hasznos élettartamának függvénye

5. A kutatás eredményei és azok értékelése

A kutatásom eredményeit és azok értékelését is az előző fejezethez hasonló tagolásban mutatom be, hiszen az eredmények generálása szorosan kötődik az alkalmazott módszertanhoz.

5.1. Az ökonometriai modell eredményei és azok értékelése

5.1.1. Az üzem szintű adatok elemzése

A 44 db tógazdasági üzemtől nyert, termelésre és input felhasználásra vonatkozó adatokat a 8. sz. Táblázatban mutatom be üzemméret szerinti csoportosításban. A táblázat számaiból jól látható a magyar tógazdálkodási ágazat néhány sajátossága. Egyrészt kivehető, hogy az 50 hektár alatti üzemek átlagosan magasabb hozamot eredményező technológiával termelnek, mint a nagyobb üzemek, ugyanakkor a kis üzemek csoportján belüli szórás is jóval nagyobb mind a hozamokra, mind input-felhasználási mutatókra. Ennek értelmezésére az eredmények értékelésénél térek vissza. A táblázat utolsó kettő oszlopából látható, hogy az egyes mutatók országos átlagait az 500 hektár feletti üzemekre jellemző extenzívebb technológia adta keretek határozzák meg. A legnagyobb üzemek csoportjában az egyes mutatók alacsony szórása arra enged következtetni, hogy a nagy tógazdaságok üzemi méretben nem próbálkoznak alternatív technológiákkal.

A 11. ábrán egy boxplot diagramon a legfontosabb indikátort, a bruttó pontyhozamokat külön is kiemeltem. Az ábrán a színezett interkvartilis terjedelem grafikusán is jól megjeleníti, hogy legkisebb méretű tógazdaságok csoportja igen heterogén az alkalmazott technológia tekintetében, de átlagosan magasabb hozammal termelnek, míg a nagy gazdaságok csoportja jóval homogénebb.

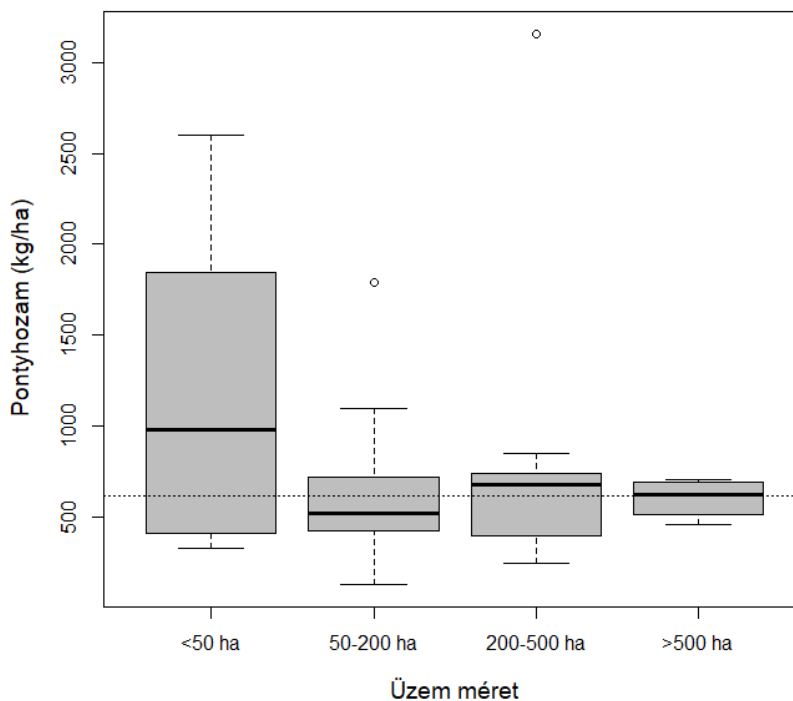
8. Táblázat A 44 db felmért üzem termelési mutatói

	Felmért üzemek adatai (átlag ± szórás)				Országos ágazati átlag ³
	<50 ha	50-200 ha	200-500 ha	500 ha <	
Felmért üzemek száma méret szerint	12	19	9	4	
Bruttó hozam (t/ha)					
Ponty	1,17 ± 0,77	0,64 ± 0,37	0,86 ± 0,83	0,61 ± 0,11	0,62
Összes faj	1,30 ± 0,77	0,83 ± 0,37	1,11 ± 0,97	0,77 ± 0,09	0,78
Nettó hozam (t/ha)					
Ponty	0,88 ± 0,66	0,38 ± 0,27	0,48 ± 0,43	0,35 ± 0,06	0,38
Összes faj	0,97 ± 0,67	0,51 ± 0,29	0,66 ± 0,55	0,45 ± 0,06	0,49
Tenyészanyag kihelyezés (t/ha)					
Ponty	0,30 ± 0,18	0,26 ± 0,14	0,38 ± 0,42	0,26 ± 0,06	0,24
Összes faj	0,32 ± 0,18	0,33 ± 0,15	0,45 ± 0,45	0,32 ± 0,05	0,29
Munkaerő (ÉME/ha ¹)	0,12 ± 0,11	0,04 ± 0,05	0,05 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,05
Takarmány felhasználás (t/ha)	3,35 ± 2,18	1,72 ± 1,09	2,29 ± 1,55	1,67 ± 0,61	1,72
Tógazdasági gépek száma (db/ha ¹)	0,06 ± 0,10	0,03 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,00	n.a.
Hatékonysági mutatók					
FCR	5,07 ± 5,08	5,38 ± 2,96	5,65 ± 2,25	4,72 ± 1,45	4,48
Ponty tömeggyarapodási hányados	4,29 ± 1,95	2,60 ± 0,88	2,57 ± 0,77	2,38 ± 0,25	2,61
Munkatermelékenység (t/ÉME) ²	14,0 ± 12,3	16,7 ± 9,4	23,6 ± 21,2	13,1 ± 2,5	n.a.

¹ Az Éves munkaerő egység (ÉME) és a tógazdasági gépek számának kalkulációját az 1. Sz. Táblázat ismerteti

² A bruttó pontyhozam és az éves munkaerő egység hányadosa

³ 2014-re vonatkozó országos lehalászási jelentés alapján (AKI 2018a)



11. ábra A bruttó pontyhozamok eloszlása tógazdasági méretcsoportok szerint. A horizontális pontozott vonal az országos ágazati átlagot jelöli

5.1.2. Az ökonometriai modell eredményei

A módszertani leírásban ismertetett két Cobb-Douglas modellnek a legkisebb négyzetek (OLS) módszerével becsült paraméterei a 9. Táblázatban láthatók. A mérethozadék meglétére vonatkozó kutatást illetően a legfontosabb eredmény az, hogy CD-1 egyenlet paramétereinek összege 0,97. A delta módszerű t-teszt azt mutatja, hogy ez az érték nem különbözik szignifikánsan 1-től. Ezért az állandó hozadékra vonatkozó nullhipotézis nem vethető el, így növekvő mérethozadék biztosan nem jellemzi a hazai pontytermelést a 44 gazdaság adatai alapján. A tóterület (P) változóhoz tartozó paraméter negatív (ennek értelmezésére az 5.1.3. alfejezetben térek ki), és ez nagyban hozzájárul ahhoz, hogy a paraméterek összege egy alatti.

A 10. Táblázat tartalmazza az üzemek szerinti és hektáronkénti pontytermelés feltételes eloszlásának mediánjára illesztett modellek koefficienseit. A táblázatból leolvasható, hogy a kvantilis regresszióval nyert paraméter értékek nem különböznek jelentősen a legkisebb négyzetek (OLS) módszerével nyert értékektől. Az egyes inputokhoz tartozó koefficiensek összege itt is 0,97, vagyis az OLS módszerrel nyert eredményeket – miszerint növekvő mérethozadék nem jellemzi általánosan a pontytermelést – nem a mintában lévő egyes kiugró értékkel bíró üzemek torzító hatása okozza, hiszen a szélsőséges értékekre kevésbé érzékeny medián regressziós becsléssel is hasonló eredmények születtek.

A 11. Táblázat tartalmazza a feltételes eloszlás egyes deciliseire illesztett függvények koefficienseit. A táblázat utolsó sorából látható, hogy egyes inputokhoz tartozó koefficiensek összege a legkisebb decilistől a legnagyobb decilisig haladva csökken, 1,05-1,06 értékről 0,89-re. Ezt úgy lehet értelmezni, hogy a legkisebb üzemek esetében még (gyenge) pozitív mérethozadék van (az üzemméret növelésével növelhető a termelési hatékonyság), míg a legnagyobb üzemeknél pedig negatív mérethozadék. Ez

megfelel a mezőgazdaságban általánosan tapasztalható tendenciáknak (Shaik, 2014).

9. Táblázat A Cobb-Douglas termelési függvények becsült paraméterei OLS regressziós becsléssel

CD-1 Egy üzemre jutó pontytermelés (Ln Y)			CD-2 Egy hektárra jutó pontytermelés (Ln y)		
Változók	Paraméterek értéke (és szórása)		Változók	Paraméterek értéke (és szórása)	
Konstans	-0,011	(0,666)	Konstans	-0,094	(0,652)
Ln(F)	0,857	(0,069)***	Ln(f)	0,859	(0,069)***
Ln(L)	0,201	(0,065)**	Ln(l)	0,219	(0,060)**
Ln(M)	0,033	(0,022)	Ln(m)	0,034	(0,023)
Ln(P)	-0,117	(0,089)			
R ²	0,956		R ²	0,808	
F-érték	231,7***		F-érték	61,48***	

A változók jelölését a 3. Táblázat tartalmazza. A *** 1%-os, a ** 5%-os a * 10%-os szignifikancia szintet jelöl.

10. Táblázat A Cobb-Douglas termelési függvények becsült paraméterei kvantilis regressziós becsléssel (a feltételes eloszlás mediánjára illesztve)

CD-1 Egy üzemre jutó pontytermelés (Ln Y)			CD-2 Egy hektárra jutó pontytermelés (Ln y)		
Változók	Paraméterek értéke (és szórása)		Változók	Paraméterek értéke (és szórása)	
Konstans	0,508	(0,794)	Konstans	-0,094	(0,652)
Ln(F)	0,805	(0,076)***	Ln(f)	0,875	(0,073)***
Ln(L)	0,191	(0,091)**	Ln(l)	0,185	(0,069)**
Ln(M)	0,043	(0,024)*	Ln(m)	0,025	(0,018)
Ln(P)	-0,069	(0,090)			

A változók jelölését a 3. Táblázat tartalmazza. A *** 1%-os, a ** 5%-os a * 10%-os szignifikancia szintet jelöl.

11. Táblázat A CD-1 függvény becsült paraméterei OLS és kvantilis regressziós becsléssel (a feltételes eloszlás egyes deciliseire illesztve)

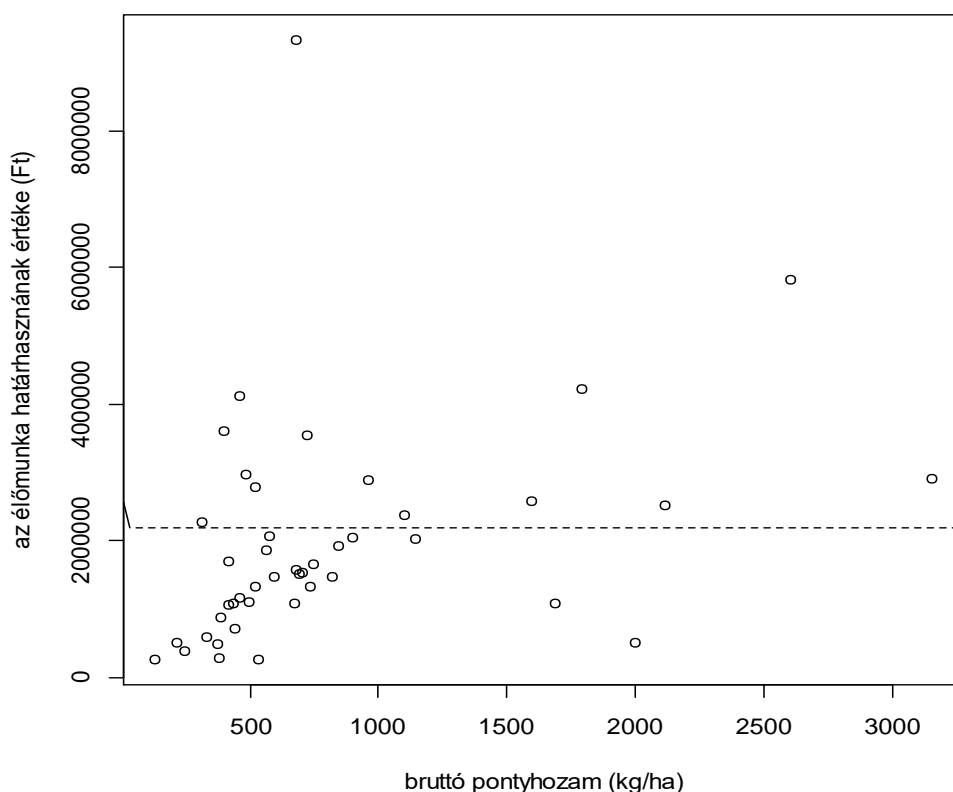
OLS becslés	Kvantilis regressziós becslés (a feltételes eloszlás deciliseire)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ln(P)	-0.117	-0.075	-0.123	-0.089	-0.105	-0.069	-0.099	-0.149	-0.165	-0.110
Ln(M)	0.030	0.050	-0.003	0.001	0.021	0.043	0.044	0.063	0.079	-0.008
Ln(L)	0.201	0.237	0.258	0.162	0.168	0.191	0.207	0.206	0.152	0.134
Ln(F)	0.857	0.838	0.925	0.930	0.902	0.805	0.822	0.828	0.867	0.871
$\sum Bi$	0.971	1.050	1.057	1.004	0.986	0.970	0.974	0.948	0.933	0.887

A változók jelölését a 3. Táblázat tartalmazza. A konstans paramétert nem tüntettem fel. A $\sum Bi$ az inputváltozókhoz tartozó koefficiensek összegét mutatja, a méretgazdaságosság indikátoraként.

Az OLS módszerrel parametrizált CD-1 modellből kiszámoltam a forgóeszközök és az élőmunka határhasznának értékét (*VMP*, *value of*

marginal product). A másik két input-tényezőre (P, M) becsült alacsony koeficiensek miatt azoknál nem volt értelme ilyen kalkulációnak. Az input változók határhasznának értékét a termelési függvénynek az adott input változó szerinti deriváltja és a ponty piaci értékesítési árának szorzata adja.

Az élőmunka (L) határhasznának értéke a 44 üzem közül 13 esetében haladja meg az élőmunka egységének (ÉME) költségét, vagyis ennyi üzemre igaz az, hogy további egy foglalkoztatott alkalmazása nagyobb bevétel növekményt generálna, mint amennyivel emelné a termelés költségeit. Ennek eredményeit egy pontfelhő diagrammon mutatom be a 12. ábrán. Az ábrán látható, hogy az említett 13 üzem azon gazdaságok közül kerül ki, amelyek a mediánnál nagyobb termelési intenzitással termelnek, azaz a munkaerőhiány ezeket a gazdaságokat érintheti érzékenyebben.



12. ábra Az élőmunka határhasznának értéke a pontyhozam függvényében. Az egyes pontok az egyes üzemeket jelölik. A szaggatott vízszintes vonal az élőmunka egységének (ÉME) költségét mutatja 2014-es áron.

A forgóeszközök határhasznának értéke mind a 44 farm esetében meghaladja a határkölséget, ami azt jelzi, hogy az intenzifikáció növelné a jövedelmezőséget a modell feltételei mellett, de mivel a takarmány és a tenyészanyag is egy input csoportot alkot, az intenzifikáció mikéntjére ez a modell nem tud választ adni. Ezért ezt a kérdéskört majd a tógazdasági folyamatmodell szimulációi kapcsán taglalom.

Az egy hektárra jutó hozamokat vizsgáló modell (CD-2) paraméterei azt mutatják meg, hogy az egyes input csoportok mennyiben magyarázzák a bruttó hozamok alakulását. A forgóeszközök és az élőmunka szerepe statisztikailag is szignifikáns, a tógazdaságok gépesítettsége ugyanakkor minimális magyarázó erővel bír. Az egy hektárra jutó forgóeszközök, illetve az élőmunka koefficiensei (0,85 és 0,21) arra utalnak, hogy ez a két termelési tényező mintegy 80-20 százalékban osztozik a termelékenység szintjének meghatározásában. Önmagában tehát a biológiai tényezők (takarmány és tenyészanyag) nem magyarázzák teljesen az egyes üzemek hozamai közötti eltéréseket.

A multikollinearitás tesztelésekor a CD-1 modellben a tóterület (P) és az F (forgóeszközök) változók VIF értékei (7,5 ill. 5,2) magasnak bizonyultak. Ezek a számok ugyan zavarók, de a modellt nem teszik értékelhetetlenné, hiszen a kritikus szintnek a 10-es értéket javasolja a szakirodalom (Hair és mtsai. 1995; Kennedy, 2008). Ugyanakkor a változók értékeinek egy hektárra történő kalkulációja teljesen megszüntette a multikollinearitást a CD-2 modellben, hiszen ott az összes változó VIF értéke 1,02 alatt volt. Emiatt az utóbbi modellben sokkal megbízhatóbbak a paraméter becslések. A lineáris modellek alapvető feltételei teljesültek mindkét modell esetében, hiszen a Shapiro-Wilk teszt és a Breusch-Pagan teszt alkalmazásával nem volt elvethető a maradékváltozók normális eloszlásának és homoszkedaszticitásának feltételezése ($p > 0,05$).

5.1.3. Az ökonometriai modell eredményeinek értékelése

A leíró statisztikai eszközökkel (8. Táblázat és 11. ábra) bemutatott üzemi adatokból az látható, hogy az alkalmazott haltermelési technológia tekintetében a nagyobb gazdaságok csoportja homogénebbnek tekinthető, mint a kis üzemeké. Ez arra enged következtetni, hogy a kis és közepes tógazdaságok nagyobb számban választanak a konvencionálistól eltérő, extenzívebb vagy éppen intenzívebb termelési módot. Ebben a választásban leginkább komparatív előnyeik és hátrányaik, valamint a tavaik konkrét elhelyezkedéséhez kötődő korlátok játszhatnak magyarázó szerepet. Ilyen meghatározó adottságok lehetnek az infrastrukturális tényezők (pl. feliszapolódott tavak; a rossz minőségű, napi takarmányozást gazdaságtalanná tevő utak), az őrzés nehéz megoldhatósága; vagy a takarmányhoz és a tenyészanyaghoz való alacsony/magas áron való hozzájutás. A kis üzemek csoportján belül az egyes termelési és input-felhasználási mutatók nagy szórása annak a jele, hogy a kis, egy-két tóból álló, részüzemű gazdaságok eltérő termelési feltételekkel rendelkeznek.

Az a tény, hogy a kisebb üzemek az átlagosnál jóval magasabb hektáronkénti hozamok mellett termelnek, összevethető azon tanulmányok (Barett, 1996; Cornia, 1985; Gorton és Davidova, 2004) eredményeivel, amelyek az egyéb mezőgazdasági ágazatok vonatkozásában ugyanezt mutatták ki számos országban. Cornia (1985) arra is rávilágít, hogy kevés kivételtől eltekintve a farm méret és a hozamok közötti negatív korreláció nem a nagyobb inputhatékonyság eredménye, hanem az intenzívebb input-használatnak tulajdonítható.

A 8. táblázat tartalmaz inputhatékonysági indikátorokat is üzemméret szerinti bontásban. Ebből látható, hogy a ponty tömeggyarapodási hányados a legkisebb üzemeknél jóval magasabb, mint a többi csoportban. Ez részben tulajdonítható az intenzívebb takarmányozásnak, de a hatékonyabb

tőkezésnek (*pond management*) is van szerepe ebben (jobb állategészségügy, haljólét, vízminőség, madárkár elhárítás, stb). A kis üzemek takarmány-együtthatója (FCR) ugyan nem jobb, mint a nagyobb üzemeké, de figyelembe véve, hogy esetükben a takarmányozási intenzitás mintegy duplája az átlagosnak, az azonos FCR mutató is hatékonyabb gazdálkodást tükröz, hiszen a csökkenő hozadékot meghatározó biológiai törvényszerűségek értelmében a magasabb takarmányozási szintnek romló FCR mutatóval kellene együtt járnia. Összességében, a kisebb üzemek nagyobb hatékonysága azt sejteti, hogy a nagyobb és közepes méretű magyar tógazdaságok a hosszú távú átlagköltség-görbe emelkedő szakaszán vannak, csökkenő mérethozadék érvényesül, alátámasztva az ökonometriai elemzés eredményét.

Bár statisztikailag nem igazolható a csökkenő mérethozadék (az OLS módszerrel becsült függvény koefficienseinek összege nem szignifikánsan tér el 1-től), a termelési függvény további elemzése is arra enged következtetni, hogy a csökkenő mérethozadék érvényesül a vizsgált üzemek által reprezentált haltermelésben. A gépi eszközök koefficiensének (0,03) az élőmunka koefficiensével (0,20) való összehasonlításából nyilvánvaló, hogy a magyar tógazdálkodás sokkal inkább élőmunka-intenzív, mint tőke-intenzív. Ezzel szemben a növekvő mérethozadék általában tőke-intenzív és nem az élőmunka-intenzív iparágakra jellemző (Barett, 1996; Jong-Il You, 1995).

A technológia élőmunka-intenzív jellege az egyik oka annak, amiért az üzem irányításának kérdése hangsúlyos, hiszen az alkalmazottak motiválása és megtartása a menedzsment feladata.

A tóterület (P) változónak a negatív koefficiense – ami szintén nem szignifikáns – is összefüggésbe hozható a csökkenő mérethozadékkal. Így a modell szerint a tóterület határterméke negatív, azaz ha egy átlagos gazdaságban a tavak területét úgy bővítenénk, hogy az alkalmazotti létszám és a forgóeszközök mennyisége változatlan maradna, akkor a termelés

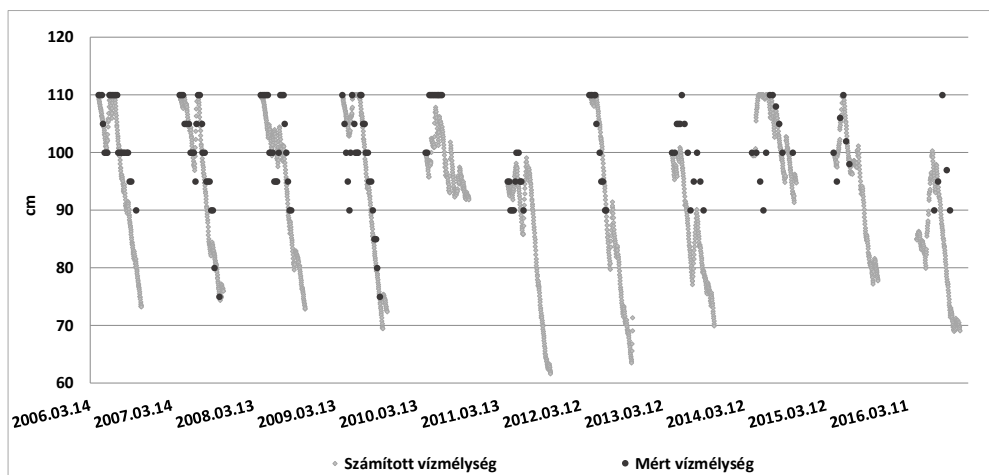
csökkenne. Ez azért lehet így – a 44 db felmért üzem alapján – mert ez esetben a tógazdaság irányításának figyelme több részre oszlana és ez hatékonyságvesztéssel járna. A hazai tógazdasági akvakultúrában a tulajdonlás és az üzem menedzsment (a gazdaság napi szintű irányítása) jellemzően nem válik ketté, és ez értelmezhető úgy, hogy az üzemmérettel fordítottan arányos az egységnyi területre jutó figyelem, és emiatt gazdálkodnak hatékonyabban az 50 hektár alatti üzemek.

Az ökonometriai elemzés eredménye, miszerint a magyar tógazdasági akvakultúrára nem jellemző a növekvő mérethozadék, belehelyezhető a közép-kelet európai mezőgazdaságot hasonló szempontból vizsgáló tanulmányok eredményeinek kontextusába (Gorton és Davidova, 2004). Hughes (2000) kifejezetten a magyar agárszektor vonatkozásában jutott arra a következtetésre, hogy egy bizonyos üzemméreten felül a mezőgazdaságot csökkenő mérethozadék jellemzi.

5.2. A tógazdasági folyamatmodell eredményei és azok értékelése

5.2.1. A modell validálásának eredményei és azok értékelése

A módszertani fejezetben leírtak szerint a modell validálását a SzegedFish Kft. III-as számú, 139 ha területű tavára vonatkozó tónapló adatai alapján végeztük. A víz kérdése egyre inkább felértékelődik egyrészt a vízszolgáltatási díjak és a vízkészletjárulék mértékéről folytatott társadalmi egyeztetések tükrében, másrészt a klímaváltozás felszíni vizek elérhetőségére gyakorolt várható hatásai miatt. Ezért a tógazdasági folyamatmodellnek a hidrológiai komponensét szeretném először kiemelni és vizsgálat tárgyává tenni. A 13. ábra mutatja a párolgási modell alapján számított vízszintnek és a tónapló által rögzített vízszintnek az alakulását a 2006 és 2016 közötti időszakban.

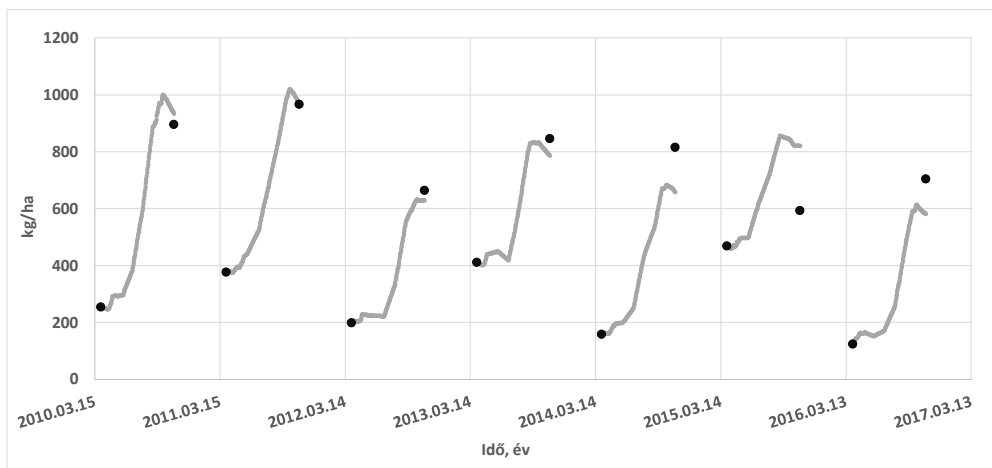


13. ábra A szegedi III.-as tó vízszintjének alakulása a tónaplóban rögzített mérések (fekete pontok), illetve a modell által kalkulált mérések (szürke vonal) szerint a 2006 és 2016 közötti szezonok során

Az ábrán látható, hogy a modell a vizsgált 11 évből az évek többsége során megfelelő egyezést adott a tényszerű adatokkal. Az eltérések tulajdoníthatók az adatok bizonytalanságának, hiszen a mért vízmélység 5 cm-kénti diszkrét értékeket vesz fel. A mért és a tényadatok eltérése a belvizes, csapadékos időszakokra jellemző, amikor laterális irányú beszivárgás is jelentkezhet a

talajvízszint emelkedése miatt. Látható, hogy a 2010-es rendkívül csapadékos évben, amikor Szegeden az évi csapadékösszeg a 800 mm-t meghaladta és az Alsó-Tisza vidékén jelentős belvíz alakult ki, a tó mért vízszintje folyamatosan a maximális érték közelében volt. A 2014-es évben (ahol az ábrán látható módon az eltérés jelentős), szintén az átlagost jóval meghaladó csapadék hullott. Ezzel szemben azokban az időszakokban, amikor sem jelentős csapadék nem volt, sem pótlóvíz feltöltésre nem került sor, a modell láthatóan jól szimulálja a vízszint alakulását. Így az Antal-féle párolgási formulát alkalmasnak találtam a tógazdasági folyamatmodell hidrológiai komponensében való alkalmazásra.

A hozamokra vonatkozó adatok és a modell által számított értékek összehasonlítása a 14. ábrán látható. A validálás alapját képező 7 szezonból a modell 4 esetben rendkívül jó egyezést adott a valósággal, további 2 évben pedig elfogadható mértékben, de alábecsülte a valós állomány-növekedést. A modell és a valós üzemi eredmények közötti legnagyobb eltérés a 2015-ös évben tapasztalható, de – ahogy az ábra adataiból is kikövetkeztethető – ez a szezon gyenge termelési mutatókkal párosult: a ponty tömeggyarapodási hányadosa mindössze 1,27-szeres volt, a nettó hektáronkénti pontyhozam pedig csak 125 kg. Mivel ezek az indikátorok jelentősen alulmúlják az ágazati szintű átlagos értékeket (lásd 8. Táblázat), ezért arra lehet következtetni, hogy ebben az évben betegség, rendkívüli madárkár, vagy lopás (ami időnként jelentős tényező a hazai tógazdálkodásban) hátráltatta a gazdálkodás sikerességét. A modell peremfeltételeinek (4.2.1. alfejezet) meghatározásakor leírtak szerint ezek a tényezők kívül esnek a modell keretein, így a modelltől nem is „várható el”, hogy egy ilyen évben pontos becslést adjon.



14. ábra A szegedi III.-as tóban a kihelyezett és lehalászott ponty mennyisége (fekete pontok), illetve a modell által kalkulált ponty állomány (szürke vonal)

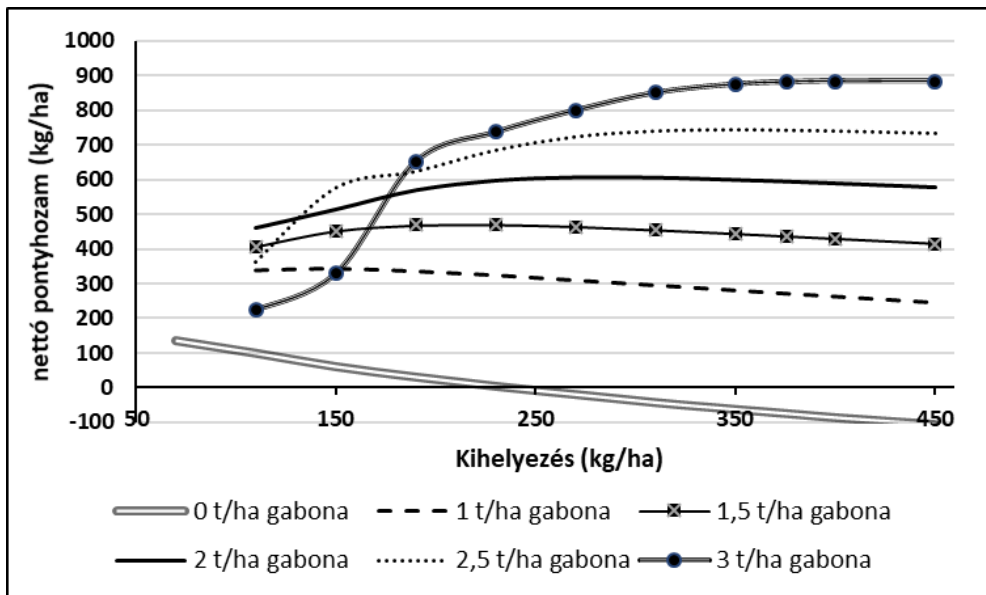
A szimulációs modellek validálásának van egy olyan szubjektív formája (ún. *face validity test*), amelynek keretében a modellezett folyamat, tevékenység szakértői vizsgálják, hogy a modell különböző beállítások melletti futásokra mennyire ésszerű, elfogadható outputokat ad (Pidd, 1992). A disszertációmban taglalt folyamatmodellt egy európai kutatási projekt (ClimeFish) keretében készítettem, ahol a munkaterv részét képezte a szimulációs eredmények megvitatása a hazai akvakultúra szektorban érdekelt szakértőkkel. Így alkalmam nyílt a tógazdasági folyamatmodellt egy ilyen szubjektív validálás alá vetni, szervezett keretek között 2018. április 23-án Szarvason. Ezen a workshopon a részt vevő haltermelők hitelesnek, a valós termelési eredményeket jól tükrözőnek vélték a modell által kalkulált hozamokat, valamint az ebből számolt gazdasági mutatókat is.

5.2.2. A folyamatmodell szimulációi a jelenlegi klíma mellett

A modell segítségével generált számos kvantitatív eredmény közül elsőként a hektáronkénti nettó pontyhozamra vonatkozó szimulációkat szeretném bemutatni, ezek ugyanis jól láthatóan demonstrálják azt, hogy a modell alkalmas-e az ökológiai rendszerek alapvető törvényszerűségeinek leképezésére. A halastavak ugyanis a természetes ökológiai rendszerekhez

analóg módon felfoghatók úgy, mint mesterségesen fenntartott, input-bevitellel – és ezen belül tápanyag bevitellel – szabályozott ökológiai rendszerek. Az ilyen rendszerekben egy adott táplálék-szint mellett van egy maximális tömeggyarapodást biztosító népesítési (kihelyezési) sűrűség, amitől mindkét irányban eltérve alacsonyabb nettó hozamra lehet számítani (Walter, 1934; Lorenzen, 1996). Ráadásul, amennyiben az elérhető táplálékkészlethez képest a tavak irracionálisan „túl vannak népesítve”, akkor negatív is lehet az állományváltozás egy szezon alatt, hiszen az elérhető táplálékra alapozott felépítő élettani mechanizmushoz tartozó tömeggyarapodás nem tudja fedezni a katabolikus folyamatok miatt tömegvesztéséget. Ez a kapcsolat, amely a kihelyezett állomány és a növekedés közötti van, szorosan kötődik a tó eltartó-képességének (*carrying capacity*) fogalmához. Minél nagyobb az elérhető táplálékkészlet (vagyis minél több tápanyagot visz be a termelő), annál nagyobb a maximális tömeggyarapodást biztosító népesítési sűrűség, hiszen a több tápanyaggal növekszik a tó eltartóképessége.

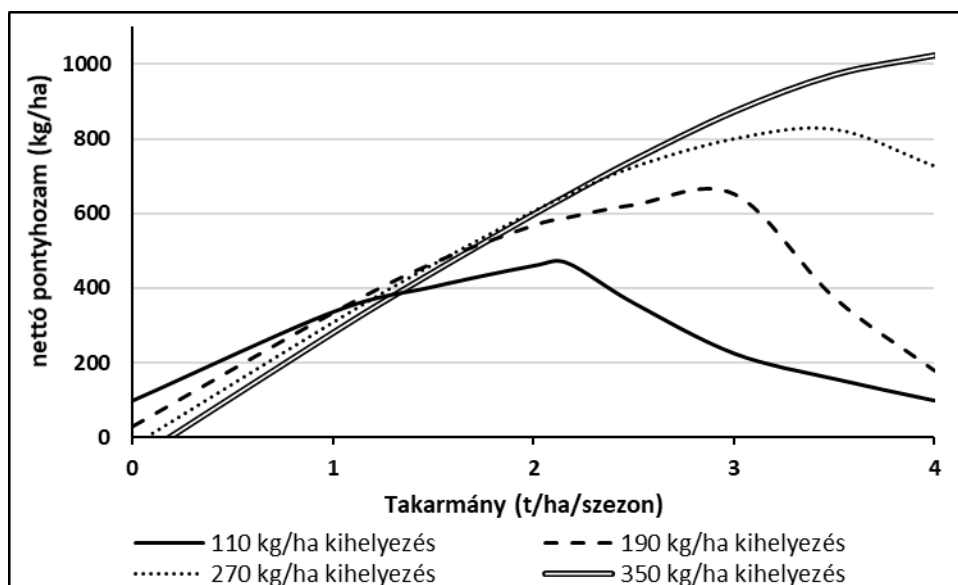
Ebből következően a modell akkor írja le jól a tógazdálkodás során lejátszódó ökológiai folyamatokat, ha az output adatokból kirajzolható görbék tükrözik az imént bemutatott törvényszerűségeket. Ez azt jelenti, hogy a hektáronkénti kihelyezés függvényében ábrázolt nettó pontyhozam görbéknek egy olyan alakot kell venniük, amelyben a globális maximumponton túl nincsenek lokális maximumok, vagyis a maximum érték előtt növekszik, azután pedig csökken a szimulált hozam. Továbbá, minél nagyobb takarmányozási intenzitás mellett jelenítjük meg ezt a görbét, egyrészt annál nagyobb a maximális nettó hozam, másrészt annál inkább jobbra tolódik a maximális nettó hozamot biztosító kihelyezési sűrűség.



15. ábra A folyamatmodell alapján szimulált nettó pontyhozam a népesítési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.

A 15. ábra alapján látható, hogy a modell teljesíti a fent leírt követelményeket, így kijelenthető, hogy képes a valóság lényeges elemeit megragadni és leképezni. Modellszimulációk csak a 70 kg/ha és 450 kg/ha közötti ponty kihelyezési opciókra készültek, így nem látható, hogy a takarmányozás nélküli, teljesen extenzív pontytermelési technológia mellett melyik kihelyezési stratégia adja a hozam maximáló szintet. Az ábrán az ide vonatkozó vonalgörbe értékei azonban teljesen összhangban vannak a takarmányozás nélküli ponty termelést vizsgáló, korábbi tanulmányokkal, melyek kísérleti eredmények alapján hasonló éghajlati adottságok mellett a maximális nettó pontyhozamot 200 kg/ha körüli értékben, az ehhez tartozó kihelyezést pedig 30-50 kg/ha sávban határozták meg (Walter, 1934). Az is összeegyeztethető a tapasztalattal, hogy takarmányozás nélkül már a 230 kg/ha feletti kihelyezések tömegvesztéshez vezetnek egy szezon alatt. Jól mutatja az ábra, hogy minden egyes magasabb takarmányozási szintet megjelenítő függvény nagyobb és nagyobb hozamokat eredményez, és ez a maximum pont egyre inkább jobbra tolódik az ábrán: 1 t/ha kijuttatott

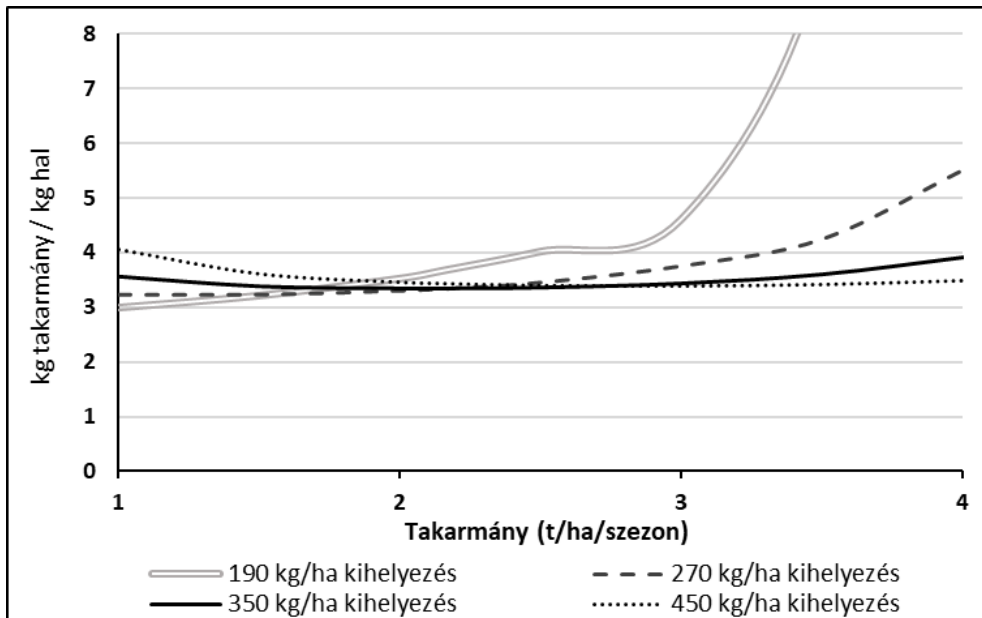
takarmány mellett a 150 kg/ha-os kihelyezés vezet a legmagasabb nettó hozamhoz, 1,5 t/ha esetében a 230 kg/ha-os kihelyezés, 2 t/ha takarmánynál 270 kg/ha kihelyezés, 2,5 t/ha-nál pedig a 350 kg/ha-os kihelyezés.



16. ábra A folyamatmodell alapján szimulált nettó pontyhozam a takarmányozási intenzitás függvényében, különböző népesítések mellett

Ha ugyanezen szimulált, nettó hozamra vonatkozó adatok egy olyan diagrammon vannak ábrázolva, amin a takarmányozás van az x-tengelyen, akkor szintén ellenőrizhető, hogy a vonalak olyan alakot vesznek-e föl, amilyen a tápanyagbevitelre vonatkozó biológiai törvényszerűségekből is következik. A takarmány bevitel nagyságával ugyanis a súlygyarapodásnak egy pontig nőnie kell, de egyre kisebb mértékben (*csökkenő hozadék törvénye*). Azon a ponton túl, amely a tóban lévő állomány maximális takarmányfelvételi képességét jelzi, már romlik a súlygyarapodás, hiszen a fel nem vett és lebomlásnak induló takarmány a vízminőségben és az oldott oxigén-szintben olyan negatív változásokat idéz elő, amely visszafogja a ponty növekedését. A 16. ábra mutatja az ilyen módon rendezett adatokat, és látható, hogy a diagramm visszaadja ezeket a törvényszerűségeket: a görbék

nagyjából konkáv³ formát öltenek, ami a csökkenő hozadék törvényének geometriai kifejeződése, míg a maximális állomány növekedést biztosító takarmányozási szint úgy tolódik jobbra, ahogy a kihelyezett állomány, illetve annak táplálék-felvételi képessége nő.



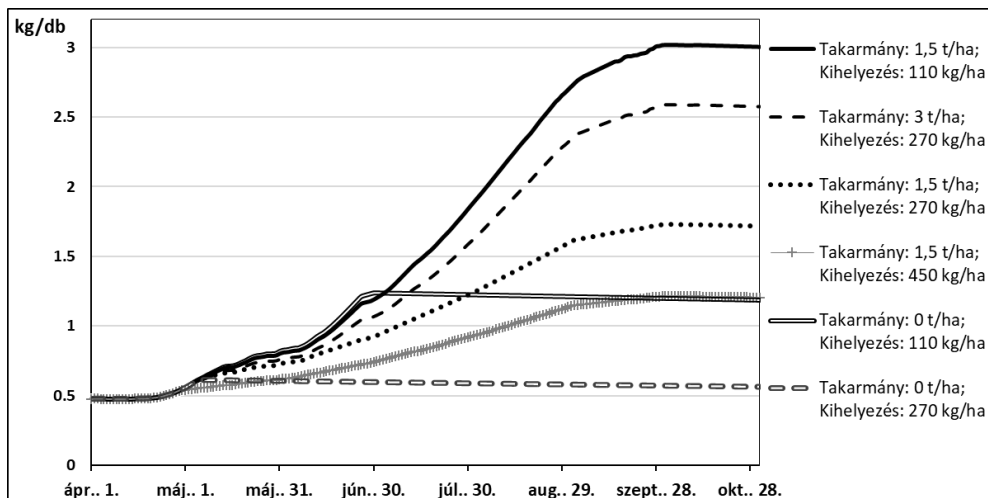
17. ábra A folyamatmodell alapján szimulált takarmányértékesítési együttható (FCR) a takarmányozási intenzitás függvényében, különböző kihelyezési scenáriók mellett

Haltermelők számára nagyon fontos hatékonysági mutató a takarmány értékesítési együttható (FCR), amit a bevitt takarmány mennyiségének és a nettó hozamnak a hányadosaként kalkulálnak és geometriailag is következik a 16. ábrából. A mutató azt jelzi, hogy 1 kg súlygyarapodáshoz mennyi takarmányt kellett feletetni. A 17. ábra mutatja a modell szimulációs eredményei alapján számolt FCR-görbéket, amelyek a táplálkozástani összefüggéseknek megfelelően „U”-alakot vesznek fel, amelyen megtalálható egy, a leghatékonyabb takarmányértékesülést jelző minimumpont. Ez természetesen csak a nagyobb kihelyezési sűrűségű technológiákra igaz, az

³ A vonalak görbülete természetesen nem szabályosan monoton, hiszen az inputmenedzsmentre vonatkozó modell bemeneti tényezők diszkrét értékűek

extenzívebb stratégiáknál a természetes hozam (a tó táplálékkészletének tulajdonítható növekedés) nagyobb szerepet játszik, és módosítja a görbék bal oldali ívét. Jól látható ugyanakkor, hogy az alacsonyabb kihelyezést jelölő vonalgörbék jobb oldali szára meredeken emelkedik, ami annak köszönhető, hogy a kisebb állományok a magas takarmányadagot nem tudják felvenni, ezért a takarmányozás hatékonysága látványosan romlik.

A halak egyedi tömegének – amelyre a továbbiakban egysúlyként hivatkozom az itthon meghonosodott terminológia szerint – szintén fontos mutató, mert a termelőknek alkalmazkodniuk kell az értékesítési méretre vonatkozó piaci elvárásokhoz. Ráadásul ez a mutató sokkal nagyobb változatosságot mutat a különböző takarmányozási és kihelyezési technológiák függvényében, mint az állomány-alapú (*biomass based*) mutatók (pl. hektáronkénti hozam).



18. ábra A folyamatmodell alapján szimulált ponty egyednövekedés egy átlagos szezon folyamán, különböző takarmányozási és kihelyezési stratégiák mellett. A szimulációban az április 1-én kihelyezett kéttyaras pontyok átlagtömege 475 gramm.

A 18. ábra mutatja a modellszimulációk eredményeit különböző technológiai beállításokat feltételezve. Az előző ábráktól eltérően, itt most a mutató jellegénél fogva dinamikusan, a modell napi időlépését kihasználva

folyamatában mutatom be az egyedsúly alakulását. Mivel ez a mutató nem csak a technológiai beállításokra érzékeny, (mint a hozam-mutatók), hanem a modell paramétereire is, természetesen sokkal óvatosabban kell kezelni ezeket az eredményeket, mint a fentieket. Mégis, a szimulált eredményekből látható, hogy racionális a diagrammok lefutása. Mivel az alacsonyabb kihelyezési sűrűség magasabb egy egyedre jutó táplálék készletet von maga után, adott takarmányozási szint mellett ez rendre nagyobb növekedéshez vezet. Viszont az is igaz, hogy a takarmányozási intenzitás növekedésével gyorsabban nőnek a halak. Jól látható, hogy a takarmányozás nélküli menedzsment scenáriókat feltételezve igen lassú a növekedés, sőt, amennyiben ez egy átlagos kihelyezéssel (270 kg/ha) párosul, akkor a tó természetes táplálékkészlete csak a halak fenntartási energiaszükségletét tudja fedezni. Ennél nagyobb kihelyezés pedig negatív nettó hozammal járna, de ezt nem ábrázoltam az ábra áttekinthetősége érdekében. Kifejezetten érdekes, hogy a 110 kg/ha-os kihelyezést feltételező, takarmányozás nélküli technológiai kombináció esetében a modell szimuláció szerint júliusra megáll a növekedés. Ez annyiban összevág a tapasztalattal, hogy ez az az időszak, amikorra kimerül a tavak zooplankton állománya (Hancz, 2007). A többi görbének is jellemzően itt van az inflexiós pontja, és az ezt követő időszakban már csak a bevitt takarmány járul hozzá nagyobb mértékben a növekedéshez.

Mivel az értékesítés során a piacnak követelményei vannak az egyedek tömegére vonatkozóan, ebben az esetben táblázat formájában a teljes, modell által generált adatsort is bemutatom. Az elmúlt 10-15 évben Magyarországon a fogyasztói preferenciák eltolódtak a nagyobb méretű pontyok felé. Az utolsó 3 évben már 1,96-2,04 kg körül volt az átlagos értékesítési méret, az egy évtizeddel ezelőtti 1,7 kg-al szemben (AKI 2018a). Általában azonban a piac csak alulról támaszt elvárásokat az étkezési ponty méretére vonatkozóan, az átlagosnál nagyobb egyedek nehézségek nélkül értékesíthetők. Tekintettel arra, hogy a modell által, az egyes technológiai alternatívákra szimulált

átlagsúlyok egyedek közötti szórást is takarnak (azaz az állomány egy része az átlagosnál lassabb növekedést mutat), a termelőknek célszerű olyan kihelyezési és takarmányozási stratégiát választani, ami várhatóan 2 kg/db feletti átlagos egyedsúlyokhoz vezet, hiszen ezáltal az állomány nagyobb része felel meg a fogyasztói preferenciáknak. A 12. Táblázatban ezek a technológiai kombinációk szürke háttérrel vannak feltüntetve.

12. Táblázat A folyamatmodell alapján szimulált lehalászási átlagsúlyok (kg/db) 475 grammos induló testtömeget feltételezve

		Takarmányozási intenzitás (kg/ha)							
		0	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Kihelyezési sűrűség (kg/ha)	70	1.31							
	110	1.01	2.54	2.91	3.26	2.69	1.95	1.56	1.22
	150	0.81	2.05	2.50	2.75	3.04	2.04	1.51	1.17
	190	0.70	1.72	2.16	2.49	2.66	2.78	1.89	1.24
	230	0.64	1.50	1.90	2.24	2.48	2.62	2.49	1.65
	270	0.59	1.34	1.70	2.02	2.30	2.47	2.53	2.31
	310	0.56	1.22	1.54	1.84	2.11	2.33	2.46	2.45
	350	0.54	1.13	1.42	1.69	1.95	2.18	2.35	2.45
	400	0.52	1.04	1.29	1.54	1.78	2.00	2.20	2.34
	450	0.51	0.97	1.20	1.43	1.64	1.85	2.04	2.21

Megjegyzés: A piac által elvárt egyedsúlyt (> 2kg/db) adó opciók szürke háttérrel vannak jelölve

5.2.3. A szimulációk alapján végzett ökonómiai kalkulációk

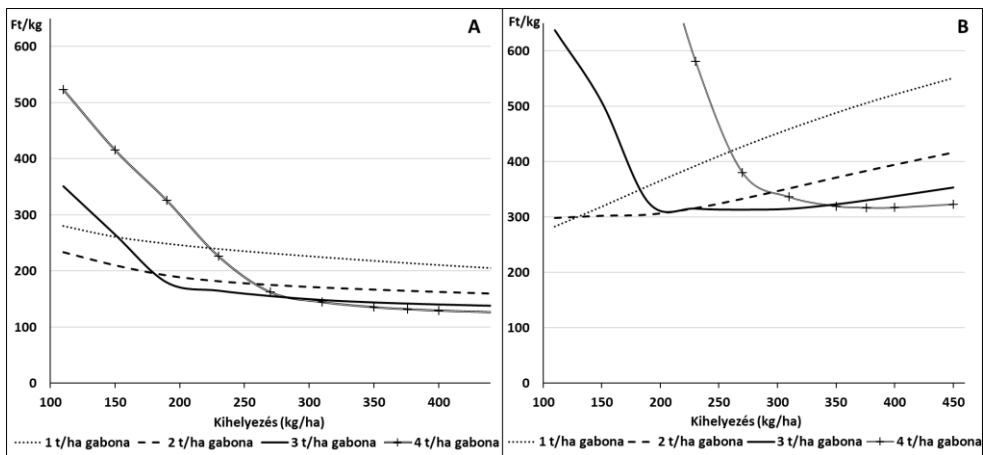
Az ökonómiai elemzéseket az önköltségre vonatkozó számítások bemutatásával kezdem, hiszen ezek fókuszában csak a ponty termelése van, így a busával, mint járulékos hallal való kalkuláció egyelőre mellőzhető. Az önköltség görbéknek a mikroökonómiai terminológiában az átlagköltség (AC, *average cost*) görbék felelnek meg. A termeléselméletben a rövid távú (azaz adott méretű termelési infrastruktúrát feltételező) AC görbék tárgyalásakor megkülönböztetik azok két összetevőjét, az átlagos változó költségek (AVC, *average variable cost*) valamint az átlagos állandó költségek (AFC, *average fixed cost*) függvényét, amelyek összege adja ki az AC görbe alakját. (Varian,

2010). A fajlagos változó költségek a hozamok és az inputhasználat növelésével előbb csökkennek, majd növekednek, azaz a minimum pontjuk általában az ábrázolt tartományon belül van. Ezzel szemben az AFC görbe monoton csökken az intenzitás függvényében, hiszen minél nagyobbak a hozamok, annál alacsonyabbak az 1 kg termelésre eső állandó (fix), a termelés intenzitásától nem függő költségeitek. Alább bemutatott eredményeim értelmezésénél ezeket a tulajdonságokat szükséges figyelembe venni. A kalkulációk során külön vettem a fajlagos élőmunka költségeket a többi, állandónak mondható – azaz a termelési intenzitástól nem függő – költségétől. Ennek egyrészt az az oka, hogy a haltermelés élőmunka-igényére vonatkozóan a 4.2.5. alfejezetben olyan feltételezéssel éltem, ami némileg a hozamok függvényévé is teszi azt és így kvázi-állandó ráfordításnak tekinthető, másrészt így külön vizsgálat tárgyává tudom tenni azt a költségételt, amely jelentős problémát okoz a hazai haltermelőknek, a bérek a 2.1.2. alfejezetben bemutatott nagymértékű növekedése miatt.

A 19/A ábra mutatja az 1 kg pontytermelésre eső kalkulált munkaerőköltségeket a kihelyezés függvényében több takarmányozási technológiai opció mellett. Az ábráról leolvasható, hogy az 1 kg megtermelt piaci pontyra eső személyi jellegű kiadások csak intenzívebb takarmányozás és tenyészanyag kihelyezés mellett tarthatók 150 Ft (az értékesítési ár mintegy 25 százaléka) alatt. A kalkulációkból nyilvánvaló, hogy az extenzív technológiát alkalmazó üzemek akár 150 Ft-os hátrányban vannak az élőmunkára eső önköltség tekintetében a magasabb kihelyezési és takarmányozási intenzitással dolgozó üzemekkel szemben. Ha figyelembe vesszük, hogy a mezőgazdasági szektorban a bruttó keresetek egyre gyorsuló, az elmúlt két évben immáron évi 12 % feletti ütemben nőnek (KSH, 2018a), akkor belátható, hogy pusztán a bérköltség növekedése évente 15-20 Ft/kg mértékben emeli a pontytermelés önköltségét az intenzívebb kihelyezést

alkalmazó gazdaságok esetében is, az extenzívebb üzemeknél pedig ennél is komolyabb ez a kihívás.

A 19/B ábra mutatja a fajlagos takarmányozási és tenyészanyag költségek összegére vonatkozó kalkulációkat. Mivel ezek a tételek változó költségek, a görbék – a kihelyezés függvényében ábrázolva – hasonlítanak az AVC függvényekre: a megjelenített tartományban van egy minimum-pontjuk, ami a két szóban forgó inputra nézve a maximális hatékonyságot tükrözi. A legkisebb intenzitású takarmányozási opció esetében ez nem látható, hiszen itt a természetes táplálék szerepe nagyon nagy, ezért nem érvényesül a takarmányozási hatékonyság „U-alakja”. A görbéről jól leolvasható, hogy – a takarmányozás nélküli technológiát leszámítva – a modellben alapul vett takarmány és tenyészanyag árak mellett 300 Ft/kg körüli fajlagos változó költség szintet lehet elérni a különböző technológiai opciókkal, ehhez azonban a takarmányozás és a tenyészanyag kihelyezés intenzitását arányosan egymáshoz kell igazítani.

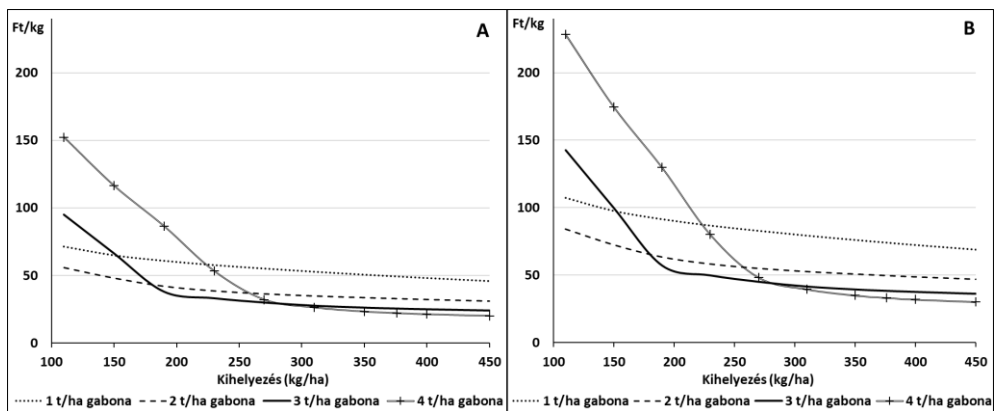


19. ábra A dinamikus folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált fajlagos munkaerőköltségek (A), valamint fajlagos takarmányozási és tenyészanyag költségek (B) a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.

A 19/A és 19/B ábra egymás mellé igazításával és megegyező skálázásával összehasonlítható a kétfajta költségétel szerepe az egyes technológiai opciók

esetében. Míg az extenzív technológiák esetében a termelési költség szerkezetben ugyanolyan súllyal vannak jelen az élőmunka költségei, illetve a takarmány és tenyészanyag költségek, addig a magas kihelyezésre és intenzívebb takarmányozásra alapozó technológiai opciók esetében jóval nagyobb az utóbbi tétel súlya.

A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált fajlagos tőkeköltségeket, valamint a fajlagos víz és egyéb költségeket a 20. ábra mutatja. A kalkulációk azt mutatják, hogy az 1 kg pontytermelésre vetített vízszolgáltatási díjak és egyéb költségek 20-70 Ft-os tételt képviselnek az önköltségen belül az ésszerű input-kombinációk (egymással arányos takarmányozási és kihelyezési intenzitás) esetében. Természetesen, az AFC görbék jellegéből adóan, ezen a sávon belül a magasabb intenzitású technológiáknak van előnyük, így mintegy 50 Ft/kg mértékű ezen a költségsoron a fajlagos költség megtakarításuk a nagyon extenzív gazdálkodáshoz képest.



20. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált fajlagos víz és egyéb költségek (A), valamint fajlagos tőkeköltségek (B) a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.

Ennél nagyobb a differencia a fajlagos tőkeköltségek (értéksökkenési és kamat költségek) tekintetében, ahol az ésszerű termelési technológiai opciók esetében a kalkulált értékek a 30 Ft/kg és 100 Ft/kg közötti sávon mozognak. Ezzel kapcsolatban azonban meg kell jegyezni, hogy az újabb építésű

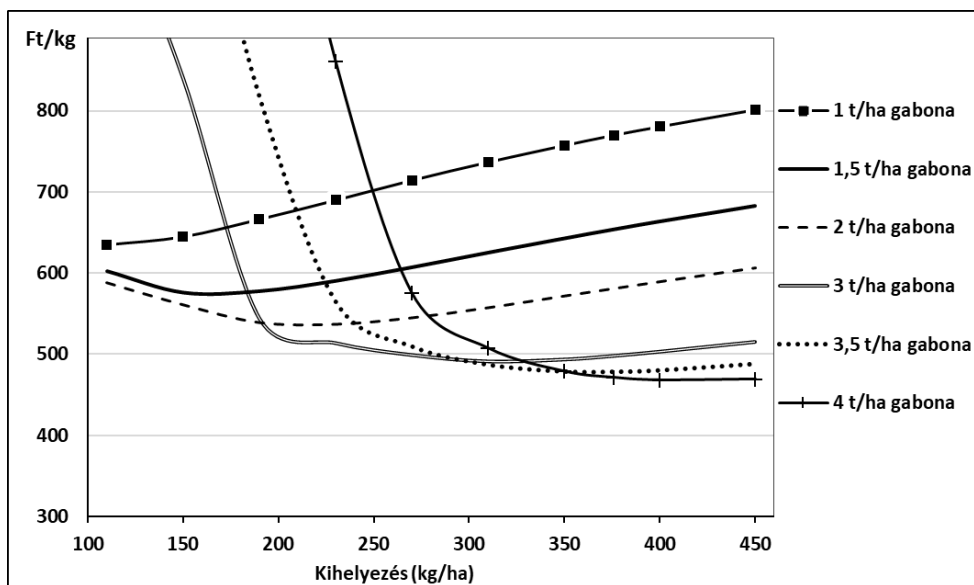
halastavakban nem szoktak extenzív technológiával termelni, hiszen ilyen mértékű költséghátrány már nem teszi rentábilissá a termelést. A 4.2.5. alfejezetben említetteknek megfelelően azonban a tógazdasági üzemek többségében a tavi termelési infrastruktúra értékcsökkenési költségei minimálisak, hiszen a régebbi építésű tavaknak már nincs számviteli értéke.

Összegezve az önköltség egyes komponenseinek értékére vonatkozó kalkulációkat, a következő megállapításokat lehet tenni az intenzívebb (3-4 t/ha takarmányozás és 350-450 kg/ha kihelyezés) valamint az extenzív (<1,5 t/ha takarmányozás és <150 kg/ha kihelyezés) technológiák fajlagos termelési költségei közötti különbségek vonatkozásában:

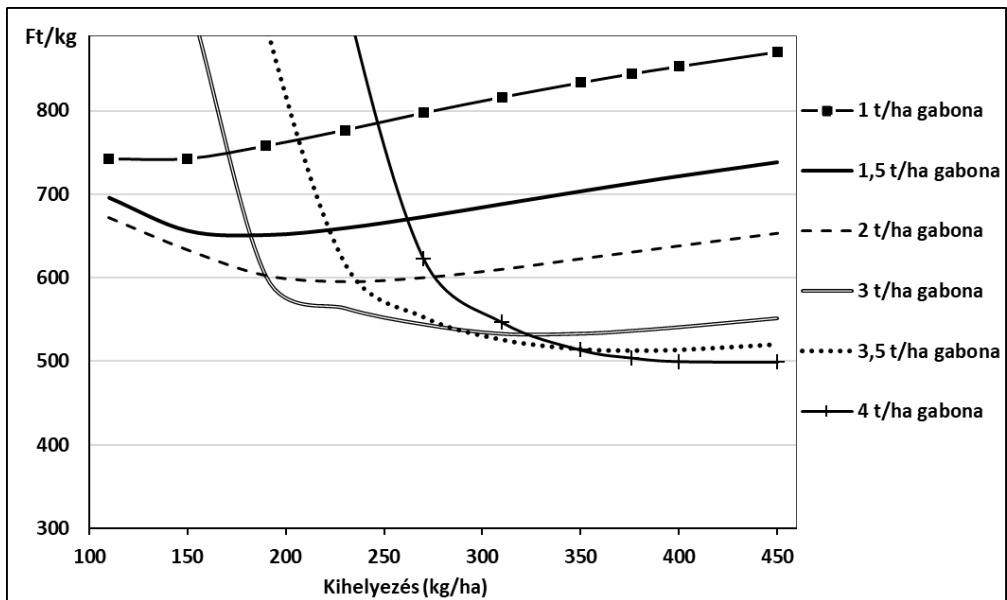
- A termelés intenzitásának növelésével a növekvő fajlagos takarmányozási és tenyészanyag költségek – a csökkenő hozadék törvényének érvényesülése miatt – mindössze 30-40 Ft/kg mértékű emelkedést vonnak maguk után a pontytermelés önköltségében.
- Ezzel szemben a fajlagos állandó (és kvázi-állandó) költségekben ennél jóval nagyobb mértékű megtakarítást lehet elérni az intenzifikálással. Ez elsősorban az élőmunka költségeknek tulajdonítható: itt 150 Ft-nál is nagyobb mértékű a különbség az intenzívebb és az extenzív technológiák között az 1 kg termelésre eső személyi költségek tekintetében.

A két ellenkező irányú hatás eredőjeként egyértelműen az intenzívebb technológiáknak van versenyelőnyük az önköltség tekintetében. Ez jól látható a 21. és 22. ábrán, amely az önköltséget mutatja az egyes technológiai opciókra, tőkeköltségek nélkül (régebbi halastavakra), illetve azokkal is számolva (újabb tavakra). A teljes önköltségre vonatkozó kalkulációk értelmezésekor mindenképpen figyelembe kell venni, hogy ezek csak a termelés és lehalászás folyamán felmerült közvetlen költségeket tartalmazzák, a „poszt-harveszt” lánchoz (raktározás, szállítás, feldolgozás, értékesítés)

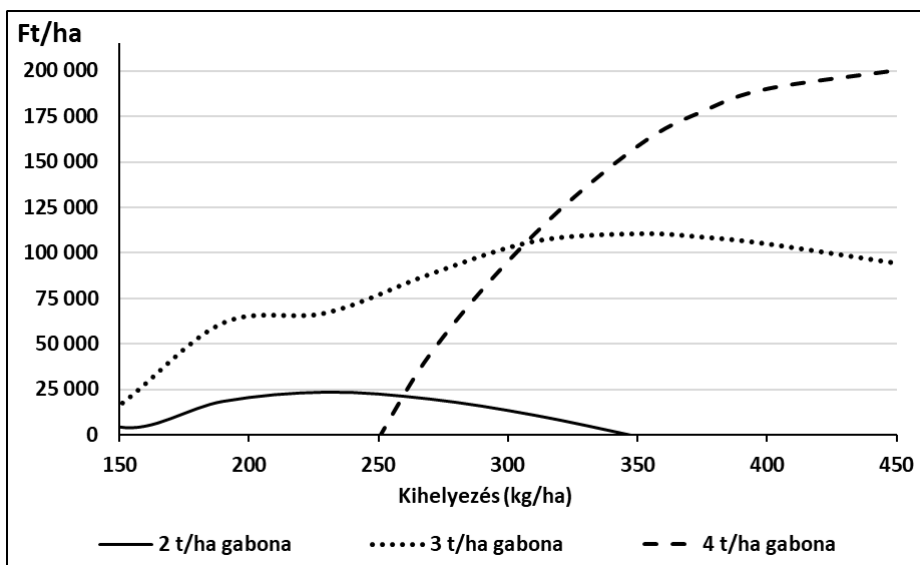
tartozó költségek, illetve az általános költségek itt nem jelentkeznek. A minimális önköltséget nyújtó technológia a szimulált tartomány szélén van, a tőkeköltség nélküli esetben a 4 t/ha takarmányozással és 400 kg/ha-os tenyésztanyag kihelyezéssel, míg a tőkeköltségekkel számolt önköltség esetében a 4 t/ha takarmányozással és 450 kg/ha kihelyezéssel jellemezhető input-gazdálkodás jelöli azt.



21. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált önköltség tőkeköltségek nélkül, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.



22. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált önköltség tőkeköltségeket is beleszámítva, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.



23. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált pénzügyi eredmény a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.

A kalkulált hektáronkénti eredményt (tőkeköltségeket is beleszámítva) a 23. ábra mutatja. A folyamatmodellnek a pontytermelésre vonatkozó szimulációin túl ez a diagram már tartalmazza a busa hozamokra, illetve az abból számított

pénzügyi eredményre vonatkozó adatokat is. Az ábra csak a 2 t/ha-nál nagyobb intenzitású takarmányozási opciókat mutatja, hiszen az extenzívebb technológiákra vonatkozó kalkulált eredmények a negatív tartományban vannak. Ez abból adódik, hogy a tőkeköstségekkel együtt számított önköltség (22. ábra) ezekben az esetekben az értékesítési ár felett mozog. A maximális hektáronkénti eredményt nyújtó technológia ez esetben is a szimulált tartomány szélén van, a 450 kg/ha-os kihelyezéshez és 4 t/ha-os takarmányozáshoz köthető.

A dinamikus szimulációs modellre épülő gazdasági kalkulációk azt mutatják, hogy mind a pontytermelés önköltségét minimalizáló technológia, mind az üzemi eredményt maximáló technológia magasabb fajlagos inputhasználatot feltételez, mint az országos átlagos hektáronkénti takarmány felhasználás és tenyészanyag kihelyezés (lásd 4. ábra). A modellre épülő eredmények által meghatározott optimális technológia, valamint az átlagos hazai technológiai berendezkedés között feszülő ellentétet a következő megfontolások árnyalják:

- A hazai tógazdálkodás nagyon heterogén az alkalmazott technológia tekintetében, az egyes indikátorok átlagai jelentős szórást takarnak (8. Táblázat). Mind a takarmányozási, mind a kihelyezési mutatók vonatkozásában az országos átlagtól jelentősen eltérő gazdaságok is vannak. 2014-ig bezárólag az országos statisztikákban meggyesorosán is publikálták az egyes mutatókat, és ebből jól látható, hogy egyes megyékben az országos átlagnál jóval intenzívebb (400 kg/ha körüli) a ponty tenyészanyag kihelyezés, ugyanakkor vannak olyan megyék, ahol az országos átlagot jelentősen (2-3 szorososan) meghaladja a hektáronkénti takarmány-felhasználás (AKI, 2014). Az ökonometriai elemzés keretében felmért 44 gazdaság között is számos olyan van, amely az országos átlagnál sokkal intenzívebb technológiát (5-8 t/ha takarmány és 500-700 kg/ha feletti kihelyezés) alkalmaz. Ez arra utal,

hogy a pontytermelők jelentős része a gazdálkodás ökonómiai optimumát az átlagosnál jóval intenzívebb technológia mellett találja meg.

- Elemzéseimből egyértelműen kiderül, hogy az állandó (fix) jellegű költségtételeknek (elsősorban a munkabérnek) jelentős szerepe az, amely az intenzívebb megoldások felé tolja a gazdaságilag optimális technológiát. Mivel az élőmunka költsége gyorsabban emelkedett az utóbbi években, mint a takarmány és tenyészanyag árak, ez egy, az alkalmazott technológiát érintő, megváltozó helyzet elé állítja a termelőket. Az erre való gazdálkodói reakció természetesen nem mehet olyan gyorsan végbe, mint az inputárak piaci változása. Mikroökonómiai megfontolások alapján ugyanilyen szerepe van az elmúlt években csökkenő területalapú támogatásoknak is.
- Az ökonómiai kalkulációkhoz az élőmunka szükséglet és annak költségei esetében feltételezésekkel kellett élnem, hiszen az nem része a biológia folyamatmodellnek. A feltételezett munkaerő használatától, a bérektől, a bérezési rendszertől természetesen nagyon eltérhetnek az ország különböző régióiban a termelők, és ez kihatással van az alkalmazott technológiára is.
- A dinamikus folyamatmodell eredményeit egy olyan képzeletbeli halastóra vetítettem, amelyik nem iszapolódott fel, ahol a pótlóvíz szükséglet fedezésére rendelkezésre áll vízkészlet, a tavak közötti utak és egyéb kapcsolódó infrastruktúra állapota lehetővé teszi a napi takarmányozást és a rendszeres trágyázást, valamint ahol a halállomány őrzése és a madárriasztás megoldott. A valóságban számos tógazdaság esetében ezen körülmények hiánya gátolja azt, hogy olyan termelési intenzitással üzemeljenek, amely a kalkulációk szerint a maximális gazdasági hasznot nyújtaná.

Összességében azonban a folyamatmodell szimuláció alapján készült gazdasági számítások összhangban vannak az 5.1. alfejezetben bemutatott ökonometriai modell eredményekkel abban a tekintetben, hogy a működő tógazdaságok jelentős részében az intenzifikáció javítaná a gazdasági mutatókat.

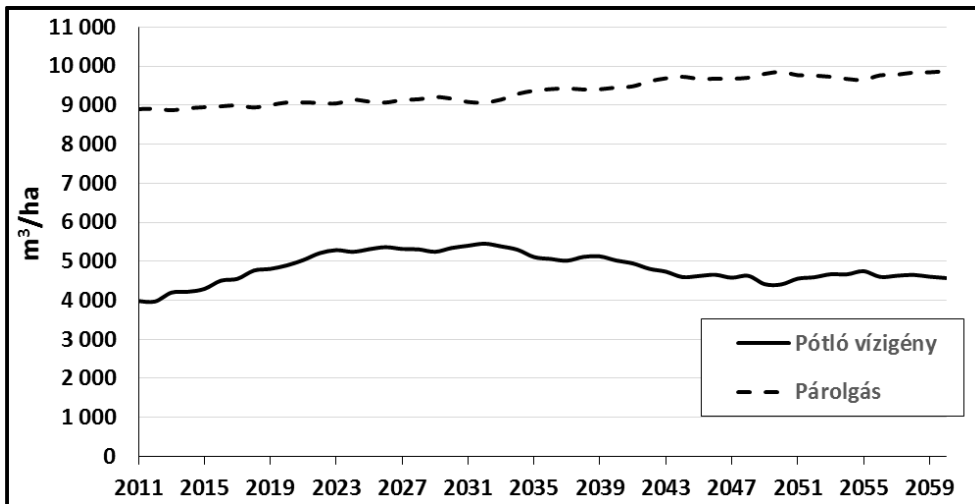
5.2.4. A folyamatmodell szimulációi megváltozó klíma mellett

Ahogy a teljes agráriumra, úgy a tógazdasági akvakultúrára is hatással lehet a klímaváltozás, és ez hatás különösen hangsúlyos lehet a haltermelés extenzív, időjárásnak kitett jellege és a vízi erőforrásokkal való szoros kapcsolata miatt. Jelen alfejezetben nem egy komplex hatásbecslést szeretnék végezni, hanem a tógazdasági folyamatmodellnek a megváltozó klímára kiterjesztett eredményeit mutatom be. Erre az teremti meg a módszertani lehetőséget, hogy a modellnek a bemeneti tényezői (*forcing factors*) között szerepelnek a meteorológiára vonatkozó adatok is, így különböző klimatikus feltételek mellett is szimulálható a tógazdasági termelési folyamat. A 4.2.1. alfejezetben leírtaknak megfelelően a megváltozó éghajlati tényezőket én a NORESM klímamodell által, az RCP 4.5 IPCC⁴ klímaszcenárióra generált hőmérsékleti és csapadék adatokat alapul véve tettem vizsgálat tárgyává mintegy fél évszázados távlatban.

A klímaváltozás következtében halastavak vízellátását is biztosító felszíni vizek vízhozama az áprilist követő időszakban csökkeni fog, a Duna, a Tisza és mellékfolyóik esetében akár 40 %-kal (Bates, 2009; Stahl és mtsai., 2010; Stagl és Hatterman, 2015). Magyarországon a tógazdasági akvakultúrának kiemelt szerepe van a mezőgazdasági vízgazdálkodásban, hiszen a halastavak éves vízfelhasználása az összes mezőgazdasági célú vízfelhasználás 60-70 %-át teszi ki (Székely és mtsai. 2011). Ezért először a klímaváltozásnak a

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

halastavi párolgásra és vízfelhasználásra vonatkozó modellezett hatásait szeretném bemutatni.



24. ábra Halastavi párolgásra és pótló vízigényre vonatkozó szimulációk az április 1. és október 31. közötti időszakot tekintve. Az egyes évekhez tartozó értékek 11 éves mozgóátlagokat jelölnek. A szimuláció alapjául szolgáló meteorológiai adatok 2016-ig tényadatok, 2017-től pedig NORESM klímamodell által az RCP4.5 szcenárióra adott értékek.

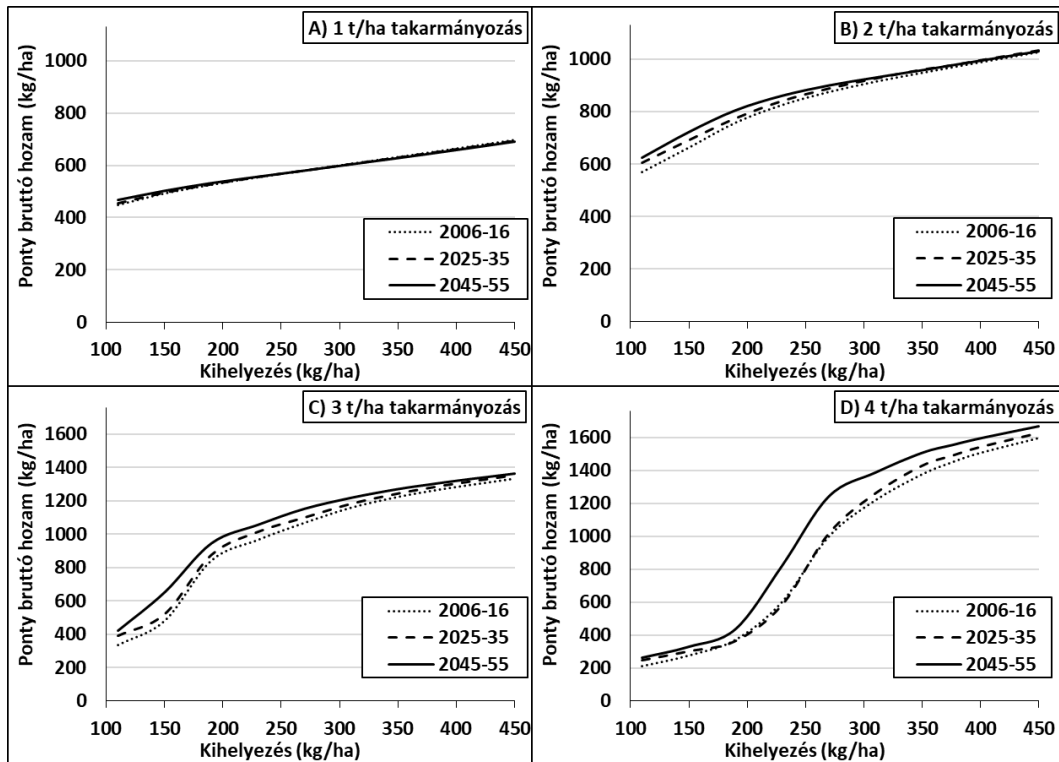
Az elkövetkező évekre a tógazdasági dinamikus modell alapján kalkulált halastavi párolgást és pótló vízszükségletet a 24. ábra mutatja. Míg a párolgási értékek pusztán hidrológiai folyamatok eredményei, addig a pótló vízszükségletet részben hidrológiai (párolgás és csapadék) részben pedig a tó minimális és maximális üzemi vízszintjére vonatkozó termelői döntések határozzák meg (lásd 3. Táblázat). A diagramról jól látható, hogy a globális felmelegedés miatt a párolgási intenzitás monoton növekszik az elkövetkező évtizedekben. Ezzel szemben a klímamodellek a csapadék-viszonyok megváltozását nem monoton folyamatként kalkulálják. Jelen esetben, a tógazdasági folyamatmodellemben használt NORESM klímamodellnek a RCP4.5 szcenárióval számolt, szegedi lokációra generált adatai szerint a tenyész-szezon alatti csapadék rövidtávon jelentősen visszaesik, majd a további felmelegedés következtében némileg nő. A párolgási és csapadék prognózisok eredőjeként a halastavi vízszükséglet nem egyenletesen nő, rövid

távon (10-20 éves távlatban) kb. 1000-1400 m³/ha növekménnyel lehet kalkulálni a nyári halastavi vízigények esetében, hosszabb távon (30-40 év) azonban már csak mintegy 500-700 m³/ha a szimulált érték. Ez a jelenlegi vízkészlethasználati járulékkal és vízszolgáltatási díjakkal kalkulálva nem jelentős pénzügyi teher. Amennyiben a globális felmelegedés és a növekvő vízhiány következményeként a víz ára felértékelődik más inputokhoz képest, akkor a tógazdaságok növekvő nyári vízszükséglete komolyabb mértékben növelheti a termelési költségeket.

A növekvő párolgás miatt egy-két évtizedes távlatban a jelenleg (2016-ban) üzemelő tóterülettel kalkulálva (Dél-Alföld: 5960 ha, Észak-Alföld: 9413 ha) mintegy 15-20 millió m³ többlet nyári vízigényt fog támasztani az akvakultúra a Tisza vízrendszerében. Bár, ha a FAO által használt egy főre jutó évente megújuló vízkészletet tekintjük indikátornak (*TARWR - Total Annual Renewable Water Resources*), akkor Magyarország hasznosítható vízben gazdag országnak tekinthető (FAO 2018d), mégis a klímaváltozás előidézhet vízhasználati konfliktusokat egyes időszakokban és egyes területeken.

Miután áttekintettem a klímaváltozásnak a tógazdasági vízhasználatra gyakorolt hatásait, rátérek a halastavi tápláléklánc egyes elemeire gyakorolt hatásokra, illetve az ennek következtében megváltozó hozamokra. A modellben az összes élő komponens metabolikus folyamatai függenek a hőmérséklettől, így értelemszerűen az éghajlatváltozás legközvetlenebb hatása itt nyilvánul meg. Ezen túlmenően az oldott oxigén szint is változik, ami további hatást gyakorol az élőlényekre. A fő termelt faj, a ponty szemszögéből nézve megváltozik mind az étvágy (anabolizmus), mind a számára elérhető táplálék-készlet. Mivel a modell peremfeltételei közé tartozik az, hogy pótlóvíz igény esetén rendelkezésre áll, ezért az intenzívebb párolgás miatt bekövetkező erősebb betöményedés és a tápanyagok nagyobb koncentrációja elkerülhető. A klímaváltozásnak természetesen számos

egyéb, nagyon komoly hatása van (pl. új fertőző ágensek megjelenése; a felöltővíz minőségének romlása; az átteleltetett tenyészanyag megváltozó immunstátusza), ezeket a folyamatokat azonban a modell nem kezeli. Ennek ellenére a modell szimulációk értékes információt közvetítenek arra vonatkozóan, hogy a klímaváltozás hogyan hat a hozamokra az előlények metabolikus folyamatain keresztül.



25. ábra A dinamikus modell szimulációi alapján kalkulált hozamok különböző időhorizonton, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók (A-D alábrák) mellett. A szimuláció alapjául szolgáló meteorológiai adatok 2016-ig tényadatok, 2017-től pedig NORESM klímodell által az RCP4.5 scenárióra adott értékek.

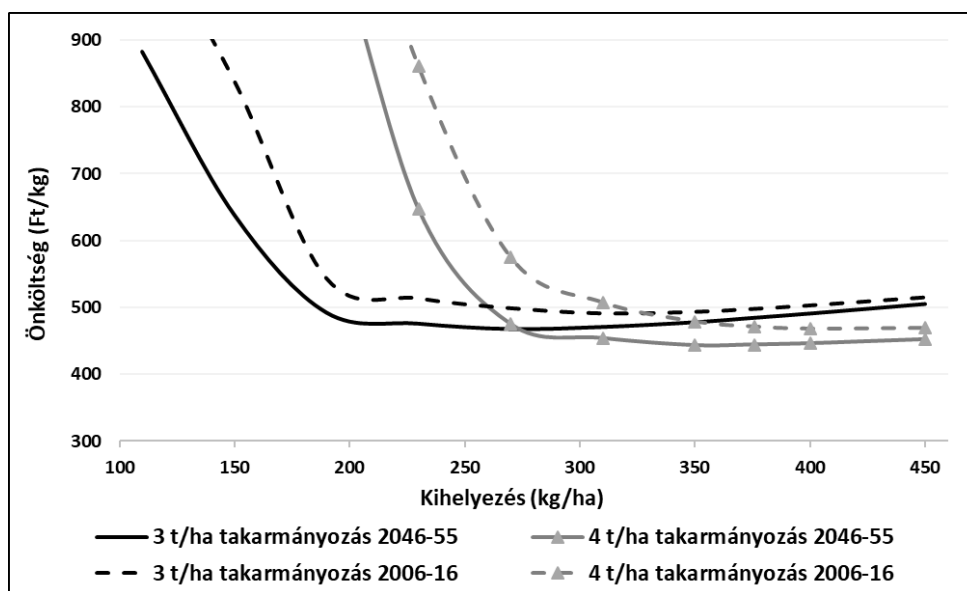
A 25. ábra mutatja a bruttó pontyhozamok kalkulált értékét a jelenlegi (2006-16) klimatikus feltételek mellett, valamint éghajlatváltozással számolva rövid távon (2025-35), illetve hosszú távon (2045-55). A legfontosabb információ, amit az ábra hordoz, hogy a felmelegedő klíma egy átlagos évet tekintve pozitív hatással van a hozamokra, elsősorban a ponty, illetve annak

táplálékszervezeteinek felgyorsult anabolizmusán keresztül. A másik lényeges tendencia a szimulációkban, hogy az alacsonyabb kihelyezést alkalmazó technológiák esetében erőteljesebben érvényesül a klímaváltozásnak ez a pozitív hatása. Grafikailag ez abban mutatkozik meg, hogy az egyes időhorizontokat jelképező vonalak egymástól való távolsága csökken balról jobbra haladva. Ez egyben azt is jelenti, hogy nemcsak relatív értelemben (százalékosan), hanem abszolút értékben is többet profitálnak az extenzív kihelyezésre alapozó technológiák a felmelegedésből. Ugyanakkor a takarmányozási technológiákat tekintve pont ennek az ellenkezője látszik, azaz az intenzívebb gabonaetetésű technológiák esetében nagyobb mértékű a hozamváltozás. Ennek az érdekes kombinációnak – miszerint a visszafogott tenyészanyag kihelyezésre, de intenzívebb takarmányozásra alapozó technológiák bruttó hozama nő leginkább – a magyarázatát a következő folyamatokban, összefüggésekben kell keresni:

- A gyorsuló anabolizmus miatt a pontynak nagyobb étvágya van, gyorsabban tud nőni, és több takarmányt, illetve természetes táplálékot tud felvenni.
- A planktonikus szinten is gyorsul az élőlények anabolizmusa. Az alacsonyabb kihelyezést alkalmazó technológiák esetében erőteljesebben érvényesül a klímaváltozásnak ez a pozitív hatása, hiszen ilyen körülmények között a plankton állomány kisebb predációs nyomásnak van kitéve, és intenzívebb a táplálékforrásul szolgáló plankton képződése.

Az éghajlatváltozásnak a halastavi hozamokra gyakorolt hatásának természetesen üzemgazdasági következményei is vannak. Ezekre a gazdasági hatásokra csak a modell szimulációk nyújtotta lehetőségek erejéig szeretnék

kitérni⁵. Így az alábbi kalkulációk készítésekor azzal a nagyon erős feltevéssel éltem, hogy az inputok árai nem változnak. Amennyiben az egyes inputok árának csak az abszolút értéke változik, de egymáshoz viszonyított értéke nem – vagyis az infláció azonos mértékű az egyes költségek tekintetében –, akkor ezek a számítások is helytállóak az éghajlatváltozás hatásainak demonstrálására.



26. ábra A folyamatmodell szimulációi alapján kalkulált önköltség két időhorizonton, a kihelyezési sűrűség függvényében, különböző takarmányozási scenáriók mellett.

Mivel az alacsonyabb tenyészanyag kihelyezést alkalmazó technológiáknál a hozamnövekedés nagyobb mértékű, a legalacsonyabb önköltséget eredményező kihelyezés az extenzívebb tartományba kerül minden egyes takarmányozási scenárió mellett (vagyis a görbék minimum pontja balra toródik a 26. ábrán).

⁵ A klímaváltozásnak a halastavi akvakultúra gazdasági mutatóira való hatásainak komplex elemzése túlmutat jelen disszertáció keretein, hiszen az input-áraknak nemcsak az abszolút szintje, hanem egymáshoz viszonyított aránya is jelentősen megváltozhat több évtizedes távlatban, és az ezekre vonatkozó, módszertanilag is megalapozott feltevések beépítése a modell-alapú ökonómiai értékelésbe önálló kutatási területként is megállná helyét.

Az előzőekben bemutatott szimulációs eredmények a klímaváltozás pozitív oldalát hangsúlyozzák, hiszen 10 éves átlagokat tekintve a felmelegedés hozamnövelő hatását tükrözik. A klímaváltozásnak számos negatív következménye is lehet, ilyen például a termelésbiztonságra gyakorolt negatív hatás. Ennek egy indikátoraként lehet értelmezni az olyan esetek gyakoriságát, amikor az oldott oxigénszint a termelt fajok számára a szuboptimális (maximális növekedéshez szükséges érték alatti), esetleg a szubkritikus (alapvető élettani funkciók fenntartásához szükséges érték alatti) tartományba kerül. A ponty esetében a maximális anabolikus működéshez minimálisan 3-4 mg/l oldott oxigén szintre van szükség, a kritikus tartomány a 2 mg/l alatti szint. (A pontos metabolikus folyamatok természetesen nem csak az oxigénszint pillanatnyi értékétől függenek, hanem az adott szintnek való kitettség időbeli hosszától is). Vannak ugyanakkor olyan fajok a hagyományos tógazdasági polikultúras technológiában, amelyek a pontynál érzékenyebbek az oxigén szintre, ezért az oxigénszint alakulásában a szélsőségek növekedése komoly problémát okozhat, főleg az értékesebb fajok (pl. süllő) étvágyának csökkenésén, az immunstátusz romlásán, esetleg az elhullás növekedésén keresztül.

A tógazdasági folyamatmodell napi időlépés mellett nem alkalmas a hajnalban előforduló napi minimum értékek, valamint az oxigénszint napon belüli alakulásának szimulálására, ugyanakkor jól használható a szezon során az oxigénszint szempontjából problémás napok számának növekedésének előrejelzésére. Ezekből a számokból – a 24 órás időlépés miatt – az elhullásra nem érdemes következtetni, de arra igen, hogy a termelés biztonság kedvezőtlenül alakul a klímaváltozás hatására. A modellszimulációk alapján a klímaváltozás a közepesnél nagyobb intenzitású technológiák esetében veszélyezteti a termelésbiztonságot a szuboptimális oldott oxigénszintek gyakoriságának növekedésén keresztül (12. Táblázat).

13. Táblázat Szuboptimális tartományba eső oldott oxigénszintek előfordulási gyakorisága a folyamatmodell szimulációi alapján

Technológiai opció	Időtáv	Adott oldott oxigéntartomány szimulált előfordulási gyakorisága (nap/év)		
		<5 mg/l	<4 mg/l	<3 mg/l
Extenzív (0 t/ha takarmány, 110 kg/ha kihelyezés)	2006-16	0,1	0,0	0,0
	2026-35	0,0	0,0	0,0
	2046-55	0,0	0,0	0,0
Fél-intenzív (2 t/ha takarmány, 270 kg/ha kihelyezés)	2006-16	12,6	0,1	0,0
	2026-35	11,0	0,0	0,0
	2046-55	24,0	0,8	0,0
Intenzív ¹ (4 t/ha takarmány, 450 kg/ha kihelyezés)	2006-16	93,2	60,5	15,6
	2026-35	96,7	65,6	14,9
	2046-55	101,6	69,3	25,9

¹ Lásd a glosszárium *intenzív technológia* szócikkénél

Az oldott oxigén koncentráció hatásainak pontosabb számításához a tényadatokra félnapos időlépéssel is elvégeztük a számításokat, azonban (a megfelelő adatok hiányában) csak becsült éjszakai és nappali radiáció mellett. A vizsgálat pontosságát csökkentette a plankton biomasszára vonatkozó adatok hiányában a planktonokra vonatkozó modellrész közelítő jellege. Ennek ellenére kimutatható volt, hogy fél napos időlépés mellett tovább növekszik az időszakosan kisebb oxigénszint valószínűsége. Ezen hatás pontosabb elemzéséhez a további vizsgálatoknál plankton biomassza méréseken és pontos radiációs méréseken alapuló pontosabb modell alakítható ki.

Mindezek után is marad azonban számos olyan negatív hatása a klímaváltozásnak, ami kívül marad a vizsgált folyamatmodell értelmezési tartományán, sőt egy részük a megfelelő adatok és ismeretek hiányában más módszerekkel is nehezen kezelhető. Ilyenek például az új invazív halfajok térhódítása, eddig ismeretlen kórokozók megjelenése, a termelési infrastruktúra intenzívebb amortizációja a viharok és árvizek gyakoriságának növekedése miatt, a feltöltő víz rosszabb minősége a vízgyűjtőkön a tápanyagok intenzívebb bemosódása és az erősebb párolgás miatt, stb.

6. Következtetések, javaslatok

Az ökonometriai elemzés keretében az akvakultúra ökonómiai szakirodalmában is gyakran használt Cobb-Douglas függvényekkel írtam le a matematikai kapcsolatot a termelés és a felhasznált inputok között. A felmért üzemek tényleges termelési adatai jól illeszkednek a modellek által predikált értékekhez (OLS módszerrel parametrizált CD-1 modell esetében $R^2=0,96$; CD-2 modell esetében $R^2=0,81$). A felhasznált inputok közül a takarmány és a tenyészanyag mennyisége a termelés legfontosabb magyarázó változói, ennek megfelelően a két termelési függvényben a forgóeszközhöz tartozó koefficiens a legmagasabb érték. Ugyanakkor az élőmunka inputhoz tartozó koefficiens is jelentős és statisztikailag szignifikáns, ami alátámasztja a tógazdasági technológia élőmunka-intenzív jellegét.

A forgóeszköz input koefficiense egyben mutatja azt is, hogy a személyi állomány növelése nélkül a takarmányozásra és a kihelyezett tenyészanyag növelésére alapozott intenzifikáció során érvényesül a csökkenő hozadék törvénye, tehát a hazai tógazdálkodásban a hozamok erőforrás-hatékony növeléséhez szükség van további munkaerőre. Ennek a fordítottja is igaz, vagyis a munkaerő hiánya jelentős hatékonyságvesztést okozhat egy ilyen élőmunka-intenzív technológiát alkalmazó ágazatban. Figyelemre méltó eredmény, hogy az ökonometriai vizsgálat során is ugyanarra a következtetésre jutottam, mint a tógazdasági folyamatmodell elemzése során, miszerint a termelési technológia olyan jellegű intenzifikációja, ami a fajlagos inputhasználat egyenletes növelésével jár (beleértve a munkaerőt is), gazdaságilag hatékonyabbá tenné a termelést.

Az ökonometriai elemzés elsősorban a mérethozadék mértékének vizsgálatára irányult. A CD-1 modellben az inputváltozókhoz tartozó koefficiensek összege 1 alatt van (0,97 mind az OLS, mind a medián regressziós eljárással parametrizált modell esetén), ami számszerűleg alátámasztja, hogy –

általánosan – a hazai tógazdasági ágazatban a technológia jellegénél fogva nem érvényesül mérethozadék. (A kvantilis regressziós eljárással az egyes decilisekre becsült modell koefficiens összegei is csak az alsó két decilis, vagyis a legkisebb méretű farmok esetében haladják meg az egyet.) A mérethozadék egyik hajtóereje az lenne, ha termelés erősen automatizált lenne, de a hazai tógazdálkodásra nem jellemző az etetési és tókezelési folyamatok gépesítettsége, így hiányzik az erős mérethozadék feltétele a pontytermelő üzemek jelentős részében. A termelés magas élőmunka igénye is gátolja azt, hogy a nagyobb üzemek nagyobb hatékonysággal – azaz méretgazdaságosan – tudjanak működni, hiszen így a termelési folyamat túlságosan egyedi, nem szabványosítható: egyfelől az emberi mulasztás okozta veszteségnek nagy a jelentősége, másfelől az eredményesség a telepvezető és szakmunkásai tapasztalatán, jó meglátásain múlik. A tógazdasági termelés ráadásul nem függetleníthető az időben változó külső környezeti tényezőktől (pl. időjárás, vízminőség), gátolva a termelés programozhatóságát és a kapacitások optimális tervezhetőségét, ami szintén feltétele lenne a nagyobb volumenű befektetések gazdasági racionalitásának.

Más szóval, egy átlagos farm a méret növelésével nem tudja csökkenteni a fajlagos termelési költségét. Így a jelenlegi technológia nem indokolja a farm koncentrációt és az átlagos gazdaság méretének a növelését, hiszen a termelés jellege ehhez túlságosan egyedi mind az egyes tavak, mind a szakértelem tekintetében. A legtöbb hatékonysági mutatóban (hozamok, tömeggyarapodási hányados, munkatermelékenység) a legnagyobb, 500 hektár feletti üzemek rosszabban teljesítenek, mint az ennél kisebb gazdaságok. Emiatt az olyan jellegű szakpolitikai beavatkozások, amelyek a legnagyobb gazdaságokat preferálják vagy koncentrációra ösztönöznék, nem indokoltak.

A méretgazdaságosság hiánya miatt olyan jelentős termelékenységi növekedésre, mint amilyen a ketreces haltenyésztésben megfigyelhető volt, nem lehet számítani a tógazdasági akvakultúrában. Ahhoz ugyanis nagyvállalati háttér kellett, az ehhez szükséges tőkebefektetést pedig a ketreces haltenyésztés standardizálható (szabványosítható) jellege adta. Ettől függetlenül a hazai tógazdasági termelés még sok száz évig élhet, de a termelés gazdasági fenntarthatóságát a gazdálkodás környezeti szolgáltatásainak kompenzálásával, a helyi, egyedi igények felismerésével és kiszolgálásával kell elsősorban biztosítani. A technológiai modernizáció jelentőségét nem kívánom ezzel kicsinyíteni, mindössze arra szeretném felhívni a figyelmet, hogy más szektorokkal ellentétben, kívülről jött befektető csoportok aligha tudnak több tíz milliárd forint árbevételt elérő pontytermelő üzemeket sikeresen létrehozni és fenntartani, hiszen ehhez nincs meg a szükséges szabványosítható technológia.

Az ökonometriai modell azonban a részletes biológiai folyamatok és a környezeti hatások vizsgálatára nem ad lehetőséget. A tógazdasági (technológiai) folyamatok komplexitása miatt egy dinamikus folyamatmodellt hoztam létre, amivel a hozamok alakulását vizsgáltam a takarmány, a tenyészanyag és a szerves trágya használat függvényében. A validálás eredménye azt mutatta, hogy a modell jó egyezést ad a valósággal, mind a számszerű összehasonlítás során, mind a gazdálkodók véleménye alapján. Ezen túlmenően a modell szimulációk eredményei összhangban vannak az alapvető vízőkológiai és takarmányozástani összefüggésekkel. A megmaradási folyamatokon alapuló dinamikus modell megfelelően identifikált és validált paraméterek mellett hihető és megvalósítható (*feasible*) eredményeket szolgáltat.

A létrehozott folyamatmodell fontos tulajdonsága, hogy mind a technológiai beavatkozások (takarmányozás, tenyészanyag kihelyezés, trágyázás,

vízgyártás), mind a klimatikus tényezők bemeneti tényezőkként szerepelnek. A Programozható Struktúrák módszere robusztus eszközt biztosít a többéves, idő- és esemény-vezérelt szimulációhoz. A modell így alkalmas különféle technológiai megoldások termelési és gazdasági eredményeinek szimulációjára.

A tógazdasági termelés olyan mértékig beágyazott a vízi ökoszisztémába, hogy az egyes inputok (takarmány, tenyészanyag, szerves trágya stb.) hatásmechanizmusa nehezen azonosítható. A táplálékhálózat egyes komponensei közötti interakciókat leíró modellek nélkül a termelést irányító agronómusok számára a különböző tenyészanyag kihelyezési és takarmányozási kombinációkhoz tartozó várható hozamok, egyednövekedési mutatók csak múltbéli tapasztalatokra alapozva határozhatók meg. A kihelyezési sűrűség tervezése ennek ellenére lényeges feladat, hiszen minden év kora tavaszán az előző évtől eltérő számú és átlagsúlyú tenyészanyag áll rendelkezésre a teljes vertikumú gazdaságokban. Ilyen esetekben a disszertációban bemutatott folyamatmodellel készített szimulációk komoly segítséget nyújthatnak a technológia tervezésében. Az Eredmények fejezetben bemutatott modellfutások ugyan csak 475 grammos induló egyedsúllyal kalkulálnak, azonban alternatív kihelyezéskori egyedsúlyok feltételezése mellett is készíthetők szimulációk, kis ráfordítással. Ezen túlmenően a modell segítségével szimulálható az, hogy a ponty konvencionálisan alkalmazott termelési ciklusának (három, kora tavasztól őszig terjedő szezon) módosításával (pl. kétéves üzemforma, nyári lehalászás) milyen lehalászási egyedsúlyok érthetők el. Nagyon nagy számú szimuláció rendelkezésre állása esetén vizsgálható az is, hogy (szélsőségesen extenzív kihelyezés mellett) létezik-e olyan kétéves üzemforma, amely mellett elérhető a piac által megkívánt minimális egyedsúly az étkezési pontyra vonatkozóan.

A folyamatmodelleket manapság gyakran használják a kutatásban is a kísérleteket megelőzően a vizsgált kezelési szintek számának csökkentésére és az infrastruktúra használat minimálására (ún. virtuális laboratóriumként való alkalmazás). A jelen disszertációban bemutatott tógazdasági folyamatmodell is alkalmas olyan kísérletek tóigényének csökkentésére, amelyekben a kihelyezési sűrűség és a takarmányozási intenzitás hatása is a vizsgált faktorok között van. Előzetes modell szimulációkkal a kísérleti beállítások leszűkíthetők ezen faktoroknak arra a 2-3 db kezelési szintjére, amely a gazdálkodás szempontjából racionális, optimumhoz közeli tartományban helyezkedik el.

A tógazdasági folyamatmodell szimulációira alapozva meghatározható a különböző termelési technológiákhoz tartozó önköltség és gazdasági eredmény is, amennyiben empirikus adatokra támaszkodva feltevésekkel élünk a gazdálkodás során felhasznált, de a modell által nem kezelt inputok (munkaerő, állótöke stb.) mennyiségére, valamint a termék és az inputok piaci áraira vonatkozóan.

Mivel ezek az adatok minden gazdaságban és régióban egyediek, valamint változnak az egyes évek között is, a termelők számára még nagyobb segítséget nyújthat a modell, ha az ő egyedi piaci áraiknak, valamint munkaerő és állótöke adottságaiknak megfelelően kalkulálhatók a gazdasági mutatók. Az információk ilyen egyedi bevitelére alkalmas eszköz lehet egy olyan döntéstámogató szoftver, amelynek a felhasználói felületén megadhatók a szóban forgó adatok. A disszertációban bemutatott folyamatmodell szimulációira alapozva a CLIMEFISH projekt keretében készül egy ilyen szoftver, amely kalkulálja a pontytermelés önköltségét és a hektáronkénti eredményt úgy, hogy a felhasználó beállíthatja a kihelyezett tenyészanyag vételi és a lehalászott halak eladási árát, a felhasznált gabona beszerzési árát, a farmra jellemző vízszolgáltatási díjat, a foglalkoztatottak számát, az egy

foglalkoztatottra eső havi személyi költséget, valamint a területarányos egyéb költségeket és bevételeket. A szoftvernek egyelőre a prototípusa van kész, ez egy termelői fórumon és a *Halászat* c. szaklapban is be lett mutatva a nyilvánosságnak (Gyalog 2018).

Disszertációmban az egységárakra, valamint az élőmunka felhasználásra a szakirodalomból és ágazati statisztikai jelentésekből vett (többnyire ágazati szinten átlagolt) értékeket használtam, és ezzel végeztem az ökonómiai kalkulációkat. A kapott eredmények arra engednek következtetni, hogy a termelés intenzitása általánosan elmarad attól a szinttől, amellyel az önköltséget minimálni lehetne. A piaci trendek azt mutatják, hogy az állandó költségek a jövőben (hasonlóan az elmúlt 3-5 évhez) magasabb ütemben fognak emelkedni, mint a forgóeszközök (takarmány, tenyészanyag) költségei. Ez a folyamat még inkább az intenzívebb kihelyezések és takarmányozási technológia irányába ösztönzi a termelőket. Amennyiben a területalapú támogatások összege a következő EU programozási időszakban megemelkedne, akkor indokolt lenne az extenzívebb technológiák fenntartása.

Összességében megállapítható, hogy komplex biológiai és műszaki folyamatokon alapuló élelmiszer termelő technológiák üzemi szintű gazdasági vizsgálatát érdemes dinamikus folyamatmodellre alapozni.

A szimulációs modell alkalmazásával számos további probléma, jelenség vizsgálható. Disszertációmban példaként a klímaváltozás hatásainak vizsgálatára tértem ki. Ugyanakkor további technológiai elemek tesztelésére is alkalmas a modell. Ilyen lehet például a kihelyezéskor különböző egyedsúlyú pontyok növekedésének szimulációja, valamint a kétéves termelési ciklushoz szükséges kihelyezési egyedsúlyok és népesítési sűrűség meghatározása. Megfelelő adatok rendelkezésre állása esetén, és a modell továbbfejlesztésével tesztelhető a különböző minőségű takarmányoknak a növekedésre gyakorolt hatása. Megfelelő, kvantitatív jellegű

állategészségügyi ismeretek esetén, a takarmányozás, a népesítés, a vízminőség és az elhullás közötti függvényszerű kapcsolatokra alapozva a modell további részletek figyelembevételével további feladatok megoldására is kibővíthető.

A modell további fejlesztéséhez szükség van a zooplankton és fitoplankton összes biomasszájának mennyiségére vonatkozó ismeretek bővítésére. Ehhez kapcsolódóan javaslatként fogalmazható meg az erre vonatkozó mérési eredmények bővítése és elérhetővé tétele. Érdemes a mérlegeken alapuló folyamatmodellezési szemlélet alapján megtervezni a méréseket, olyan módon, hogy azok felhasználhatóak legyenek a tógazdasági folyamatmodellben szereplő paraméterek identifikálásra és az eredmények validálására. Jelenleg a plankton mérések elsősorban az egyes egyedi fajok előfordulására és azonosítására fókuszálnak, holott a halastavi modellben sokkal hasznosabb lenne a fontosabb plankton csoportok biomassza tömegére vonatkozó ismeret.

A meteorológiai adatoknál a radiációra vonatkozó múltbeli értékek elérhetősége, valamint a radiációnak a klímaváltozási scenáriókban való közelítő becslése szintén nagyban hozzájárulna a planktonoktól is függő folyamatok pontosabb modellezéséhez.

7. Új, illetve újszerű tudományos eredmények

1. Megmutattam, hogy egy – 44 hazai tógazdaság adatai alapján parametrizált – Cobb-Douglas típusú termelési függvényben az inputváltozókhoz tartozó koefficiensek összege 1 alatt van (OLS módszer használata esetén). Ennek alapján megállapítottam, hogy a hazai tógazdálkodásban általánosan nem érvényesül a mérethozadék, vagyis az üzemméret növelésével nem lehet csökkenteni a fajlagos termelési költséget.
2. A Közvetlen Számítógépi Leképzésen alapuló Programozható Struktúrák módszerét és a módszer akvakultúras alkalmazásának tapasztalatait felhasználva, a kutatócsoport munkatársaival együttműködve kialakítottam egy, a tógazdasági termelést szimuláló komplex folyamatmodellt. A folyamatmodell figyelembe veszi a természetes ökoszisztéma és a telepített halak által alkotott táplálékláncot, a tenyészanyag kihelyezés technológiai műveleteit, valamint a tenyészidőszak alatt és tenyészidőszakok során változó meteorológiai viszonyokat. A modell újdonsága, hogy több termelés technológiai (takarmányozási, tenyészanyag kihelyezési és trágyázási) opció mellett, valamint különböző meteorológiai körülmények között biztosítja a komplex folyamatok szimulációját. A tógazdasági folyamatmodellt validáltam a szeged-fehértói halastavak tónaplóiban szereplő adatok alapján a 2006 és 2016 közötti időszakot tekintve. A modell által számított, valamint a tónapló által rögzített tényleges adatok jó egyezést mutattak.
3. A validált folyamatmodell alapján szimulációkat készítettem a halastavi hozamokra és ponty növekedésre 8 különböző takarmányozási és 10 különböző tenyészanyag kihelyezési intenzitást alkalmazó termelési technológia mellett. Ezekre a szimulációs

számításokra alapozva (a jelenlegi piaci árakat mellett) meghatároztam a minimális fajlagos termelési költséget, valamint a maximális hektáronkénti pénzügyi eredményt nyújtó input kombinációkat. Kimutattam, hogy a jelenlegi inputárak mellett az intenzívebb technológiák alkalmazásával lehet a legjobb eredményeket elérni.

4. A folyamatmodell alapján, a NORESM klímamodell RCP 4.5 scenáriójának prognózisát felhasználva, többféle termelés technológiai opció mellett végzett szimulációkkal tanulmányoztam a halastavi hozamok jövőbeli alakulását a várható éghajlat változási hatásokat figyelembe véve. Számszerűsítettem a klímaváltozásnak a termelési önköltségre gyakorolt hatásait. Megállapítottam, hogy (feltételezve az inputok egymáshoz viszonyított költségének változatlan arányát) az alacsonyabb tenyésztési anyag kihelyezéssel, ugyanakkor a magasabb takarmányozási intenzitással jellemezhető technológiai megoldások mellett a klímaváltozás költségcsökkentő hatása tapasztalható.

8. Összefoglalás

Az akvakultúra a világ leggyorsabban fejlődő mezőgazdasági ágazatának tekinthető az 1980 óta eltelt időszakot tekintve: évi 8,2%-os növekedési üteme bőven felülmúlja az egyéb mezőgazdasági ágazatokra jellemző 2-4 %-os évi átlagos bővülést. Gyorsan fejlődő, egyben fiatal ágazatként azonban fokozottan szembesül az élelmiszertermelést érintő globális kihívásokkal. Egyfelől a klímaváltozás és a rendelkezésre álló természeti erőforrások szűkössége, valamint azok használatának egyre szigorúbb szabályozása korlátokat támaszt a termelés növelésének, másfelől a növekvő népesség haltermékek iránti kereslete nő. Mindez az erőforrások egyre hatékonyabb használatára és az input-gazdálkodás optimalására ösztönzi az akvakultúra termelésben érdekelt ágazati szereplőket. E folyamat támogatásában a hagyományos agrárkutatói diszciplínák (takarmányozás, genetika, stb.) mellett a több diszciplínán átívelő, ökonómiát is érintő kutatási irányokra is kulcsszerep hárul. Ezen felül a mérnöki modellezés és az agrárinformatika fejlődése, a kutatási és mérési adatok bővülő halmazának tudatos hasznosítása és ehhez kapcsolódóan a modell alapú kutatások is nagyban segítenek az élelmiszertermelő rendszer jobb megértésében és fejlesztésében.

A globális jellegű nehézségeken túl az európai pontytermelésnek a régióra, illetve a tógazdasági technológiára jellemző problémákkal is szembe kell néznie. A tógazdálkodásban, más akvakultúra szegmensekkel ellentétben, nem tudtak mérethozadéokra alapozott fajlagos költségcsökkentés elérni az elmúlt években. Az inputárak egyenlőtlen emelkedése, a bérek jelentős növekedése és az utóbbi években jelentkező munkaerőhiány az alkalmazott technológia és az inputfelhasználás átgondolására készteti a hazai pontytermelőket.

Jelen disszertációban általános célom az volt, hogy modell alapú vizsgálatok eredményeként mind a halastavak, mind a tógazdasági üzemek szintjén

következtetéseket tudjak levonni az erőforrások optimális használatára vonatkozóan. Ökonometriai eszközökkel az üzemek szintjén azt vizsgáltam, hogy jelen van-e a mérethozadék a tógazdasági technológiában, továbbá azt, hogy mi az egyes inputok termelésben való szerepe. Egy dinamikus tógazdasági folyamatmodell kialakításával pedig a biológiai, technológiai és környezeti folyamatok részletes elemzése alapján a halastavak szintjén vizsgáltam a hozamok alakulását a takarmány, a tenyészanyag és a szerves trágya használat függvényében. A folyamatmodell alapú szimulációk segítségével kerestem azokat a takarmányozási és tenyészanyag kihelyezési technológiákat, amelyek mellett i) a fajlagos termelési költséget minimálni lehet, illetve ii) maximális hektáronkénti eredményt (profitot) biztosítanak. Ezenfelül a folyamatmodell segítségével a klímaváltozásnak a halastavi hozamokra és a termelési költségekre gyakorolt hatásait is elemeztem.

Az ökonometriai elemzés alapjául egy Cobb-Douglas modell szolgált, amelyet mind OLS módszerrel, mind kvantilis regressziós módszerrel parametrizáltam 44 tógazdasági üzem adatai alapjánra. A Cobb-Douglas modellben az inputváltozókhoz tartozó koefficiensek összege 1 alatt van (a kvantilis regresszió alsó három decilise kivételével). Ez azt jelzi, hogy a hazai tógazdálkodásban nem érvényesül a mérethozadék, vagyis az üzemméret növelésével nem lehet csökkenteni a fajlagos termelési költséget. Az élőmunka felhasználás szignifikáns magyarázó változó a Cobb-Douglas termelési függvényben, ami a technológia élőmunka-intenzív voltát bizonyítja.

Az ökonometriai elemzést követően egy tógazdasági termelést szimuláló folyamatmodellt alakítottam ki a Programozható Struktúrák módszerét és a módszer akvakultúrák alkalmazásának tapasztalatait felhasználva. Ez a napi időlépésű dinamikus modell figyelembe veszi a halastavi tápláléklánc egyes elemei közötti kölcsönhatásokat, a meteorológiai körülményeket, valamint a

termelés technológiai (takarmányozási, tenyészanyag kihelyezési és trágyázási) folyamatait. A tógazdasági folyamatmodellt a szeged-fehértói halastavak tónaplóiban szereplő adatok alapján validáltam. A modell által számított, valamint a tónapló által rögzített tényleges adatok jó egyezést mutattak.

A validált folyamatmodell alapján szimulációkat készítettem a halastavi hozamokra és ponty növekedésre 8 különböző takarmányozási és 10 különböző tenyészanyag kihelyezési intenzitást alkalmazó termelési technológia mellett. Ezekre a szimulációs számításokra alapozva meghatároztam a minimális fajlagos termelési költséget, valamint a maximális pénzügyi eredményt nyújtó input kombinációkat. A számítások azt mutatják, hogy az önköltséget csak intenzívebb takarmányozási technológiával (3-4 t/ha) és intenzív tenyészanyag kihelyezéssel (300-450 kg/ha) lehet leszorítani az 500-550 Ft/kg körüli szintre.

A folyamatmodell alapján, a NORESM klímamodell RCP 4.5 scenáriójának prognózisát felhasználva szimulációkat készítettem – a többféle termelés technológiai változatot megtartva – a halastavi hozamok jövőbeli alakulásáról az éghajlatváltozási hatásokat figyelembe véve. Ezekre a szimulációs számításokra alapozva számszerűsítettem a klímaváltozásnak a termelési önköltségre gyakorolt hatásait. Megállapítottam, hogy a klímaváltozás költségcsökkentő hatása (az input költségek állandó arányát feltételezve) alapvetően az alacsonyabb tenyészanyag kihelyezéssel, ugyanakkor a magasabb takarmányozási intenzitással jellemezhető technológiai opciók mellett tapasztalható.

9. Summary

Aquaculture has been the fastest growing food production sector since 1980 with an annual growth rate of 8.2 %, which is significantly higher than the annual growth rate of 2-4 % in other agricultural sectors. However, being a young but rapidly developing sector, fish farming faces more seriously the global challenges present in food production. First, further increase in production is constrained by climate change and the scarcity of natural resources. Second, demand for food is steadily increasing with rising global population and incomes. The tension between supply constraints and demand urges the farmers to use resources (including land, water, nutrient, energy and genetic resources) more efficiently, as well as to optimize input management. Traditionally, the development efforts are supported by disciplinary fields of agricultural research, but recently interdisciplinary research activities involving economic component also contribute to this process. In addition, recent development of engineering modelling, agro-informatics, and increasing amount of data from research and industrial farming systems enabled model-based research to contribute to the understanding food production systems.

Apart from global challenges, the European carp farmers face region specific and technology specific problems. Unlike marine aquaculture, pond aquaculture did not reduce unit production costs by exploiting economies of scale. Using a labour-intensive technology, pond farmers are forced by rapid increase in wages and by labour shortages to re-think production technology and input management.

Thus, the general objective of the present work is to use model-based research approaches to determine the optimal input use in Hungarian pond farming. First, I investigated whether economies of scale exist in Hungarian pond farming, and analysed the role of inputs in production at farm level, by using

econometric tools. Second, by developing a dynamic simulation model of biological, technological and environmental processes at pond level, I investigated the impact of different feeding and stocking strategies on carp yields. Based on the simulations I identified those pond management strategies i) which minimize unit cost of carp production; and ii) which maximize per-hectare profit. In addition, I used the simulation model to quantify the impacts of climate change on carp yields and on economics of carp farming.

For the econometric analysis, a Cobb-Douglas model was parameterized on data from 44 farms, using both OLS and quantile regression method. The sum of the parameters (except for the lower quantiles in the quantile regression method) was less than unity, meaning that there were no economies of scale in carp farming. In other words, per unit production costs cannot be reduced by increasing farm sizes.

For the pond-level investigations, a dynamic simulation model was developed using the methodology of Programmable Structures. The model encompasses the daily processes in the pond food web, the impacts of actual meteorology, as well as the daily managerial interventions (including feeding, stocking, manuring). Simulated results were validated against the production data of a private farm, with a satisfying difference between the calculated and measured data.

The validated model was used to simulate carp yields for 10 different stocking densities and 8 different feeding rates. Based on these simulations, the unit cost minimizing and profit maximizing farming technologies were identified. Simulation results show that economic optimum of input management is characterized by relatively high stocking densities (300-450 kg/ha) and by intensive cereal feeding rates (3-4 t/ha). Unit costs can be kept under 550 HUF/kg by the optimized technological settings.

The impact of climate change on carp yield and production costs was modelled by the dynamic pond model, using forecasted climate data of the NORESM RCP4.5 scenario. Simulation results show that global warming will generally increase carp yields. However, different farming technologies will unequally benefit from climate change: farming technologies, applying high stocking densities and intensive feeding will be impacted more beneficially, than the other technological options.

10. Köszönetnyilvánítás

Elsőként feleségemnek, Anettnek szeretnék köszönetet mondani, aki nagy áldozatokat hozott azért, hogy jelen disszertáció megszülessen és sok-sok órát töltött 4 gyermekünk nevelésével, nélkülözve engem. Szeretnék családom további tagjainak is köszönetet mondani türelmükért.

Ezen kívül hálával tartozom konzulensemnek, Dr. Csukás Bélának azért, hogy szakértelmével támogatta munkám. Köszönöm továbbá Dr. Varga Mónikának, az egyetemi kutatócsoport tagjának a disszertáció megírása során nyújtott segítségét.

Köszönetet szeretnék mondani munkahelyi kollégáimnak is, kiemelve Berzi-Nagy Lászlót, aki az adatok rendszerezésében nyújtott nagy segítséget. Az ökonometriai elemzéshez nyújtott adatokért az Agrárgazdasági Kutatóintézet munkatársainak, elsősorban Bojtárné Lukácsik Mónikának tartozom köszönettel. A tógazdasági folyamatmodell validálására felhasznált tónaplókért pedig a SzegedFish Kft. vezetését illeti köszönet.

A disszertáció alapjául szolgáló kutatás jelentős része az EU-H2020-BG-02-2015-677039-2 azonosítószámú, „*Co-creating a Decision Support Framework to Ensure Sustainable Fish Production in Europe under Climate Change [CLIMEFISH]*” című projekt keretében készült.

11. Irodalomjegyzék

Adnan, N., Ahmad, M. H. and Adnan, R. 2006. A comparative study on some methods for handling multicollinearity problems. *Matematika*, 22: 109-119.

Ainsworth, C. and Pitcher, T. 2009. A bioeconomic optimization approach for rebuilding marine communities: British Columbia case study. *Environmental Conservation*, 36(4), 301-311.

Allen, P.G., Botsford, L.W., Schuur, A.M., Johnston, W.F. 1984. *Bioeconomics of Aquaculture*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands (351 pp.).

Arnason, R., 1992. Optimal feeding schedules and harvesting time in aquaculture. *Marine Resource Economics* 7, 15–35.

Asche, F. 2008 Farming the sea. *Marine Resource Economics*, 23, 527–547.

Asche, F., Roll, K.H., Sandvold, H.N., Sorvig, A., Zhang, D. 2013. Salmon aquaculture: larger companies and increased production. *Aquaculture Economics and Management*, 17, 322–339.

Ahmed, N., Ahammed, F., Brakel, M.V. 2008. An economic analysis of freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, farming in Mymensingh, Bangladesh. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39, 37–50.

Ahmed, N., Alam, M.F., Hasan, M.R. 2010. The economics of sutchi catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) aquaculture under three different farming systems in rural Bangladesh. *Aquaculture Research*, 41, 1668–1683.

AKI [Agrárgazdasági Kutató Intézet]. 2018a. Lehalászási jelentés 1996-2017. XXIII. Évfolyam. URL: <http://repo.aki.gov.hu/3176/> Hozzáférve: 2018/07/23

AKI [Agrárgazdasági Kutató Intézet]. 2018b. Lehalászási jelentés 2017.év. XXIII. Évfolyam. URL: <http://repo.aki.gov.hu/3175/> Hozzáférve: 2018/07/23

AKI [Agrárgazdasági Kutató Intézet]. 2015 LEHALÁSZÁS JELENTÉS (megyesoros bontásban) 2014. év. URL: <http://repo.aki.gov.hu/80/> 0

Ali, H., Murshed-e-Jahan, K., Belton, B., Dhar, G.C., Rashid, H.O. 2016. Factors determining the productivity of mola carplet (*Amblypharyngodon mola*, Hamilton, 1822) in carp polyculture systems in Barisal district of Bangladesh. *Aquaculture*, 465, 198–208.

Ali, H., Rahman, M.M., Murshed-e-Jahan, K., Dhar, G.C. 2018. Production economics of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*, Sauvage, 1878) farming under polyculture system in Bangladesh. *Aquaculture*, 491, 381–390.

Antal, E. and Tóth, E. 1976. A Balaton és a Fertő tó hőháztartása és párolgása. *Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 80, 125-134.

Barrett, C.B. 1996. On price risk and the inverse farm size-productivity relationship. *Journal of Development Economics*, 51, 193–215

Bates, B. 2009. Climate Change and Water: IPCC technical paper VI. World Health Organization.

Bentsen, M., Bethke, I., Debernard, J. B., Iversen, T., Kirkevåg, A., Seland, Ø., Drange, H., Roelandt, C., Seierstad, I. A., Hoose, C. and Kristjánsson, J.E. 2012. The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M—part 1: description and basic evaluation. *Geoscientific Model Development Discussions*, 5, 2843–2931.

Bigford, T.E. 2014. Ecosystem modeling to support fishery management. *Fisheries* 39 (102), 140–141.

Bjorndal, T. 1988. Optimal Harvest Time in Fish Farming. *Marine Resource Economics*, 5(2), 139-159.

Bjørndal, T., Lane, D.E., and Weintraub, A. 2004. Operational research models and the management of fisheries and aquaculture: A review. *European Journal of Operational Research*, 156 (3), 533-540.

Bolte, J.P., Nath, S.S., & Ernst, D.H. 1995. POND: A decision support system for pond aquaculture. Twelfth Annual Administrative Report, PD/A CRSP, Corvallis, OR. pp. 48–67.

Bostock J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I., Corner, R. 2010. Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365, 2897 – 2912.

Brett, J.R. 1979. Environmental factors and growth. pp. 599–675, in: Hoar, W.S., Randall, D.J., & Brett, J.R. (eds). *Fish Physiology*, Vol. 8. New York, NY: Academic Press.

Browdy, C.L., Hulata, G., Liu, Z.J., Allan, G.L., Sommerville, C., Andrade, T.P., Pereira, R., Yarish, C., Shpigel, M., Chopin, T., Robinson, S.,

Avnimelech, Y., Lovatelli, A. 2012. Novel and emerging technologies: can they contribute to improving aquaculture sustainability. In: Subasinghe RP, Arthur JR, Bartley DM, De Silva SS, Halwart M, Hishamunda N et al. (eds) *Farming the Waters for People and Food. Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010*, Phuket, Thailand. 22–25 September 2010. pp. 149-191. FAO, Rome and NACA, Bangkok.

Cacho, O.J., Upton, H., Kinnucan, H.W. 1990. Bioeconomic analysis of fish growth: effects of dietary protein and ration size. *Aquaculture* 88, 223–238.

Cacho, O.J. 1997. Systems modelling and bioeconomic modelling in aquaculture. *Aquaculture Economics and Management* 1, 45–64.

Christensen, V., Pauly, D. 1992. Ecopath II. A software for balancing steady-state models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*, 61, 169–185.

Christensen, V., Walters. C.J., 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling*, 172, 109–139.

Christensen, V., 2009. Ecopath with Ecosim: linking fisheries and ecology, in: Jørgensen, S.E., Chon, T.S., Recknagel, F.A. (Eds.), *Handbook of Ecological Modelling, Network and Informatics*. WIT Press, Southampton, Boston, pp. 55-63.

Coffen, S.S. and Charles, A.T. 1991. Production economies of shellfish aquaculture in Atlantic Canada: a preliminary analysis. *Aquaculture and Fisheries Management*, 22, 192-202.

Coll, M., Bundy, A., Shannon, L.J. 2009. Ecosystem modelling using the Ecopath with Ecosim approach. In: Megrey, B.A., Moksness, E. (Eds.), *Computers in Fisheries Research*. 2nd ed. Springer, pp. 225–292.

Colléter, M., Valls, A., Guitton, J., Gascuel, D., Pauly, D., Christensen V. 2015. Global overview of the applications of the Ecopath with Ecosim modeling approach using the EcoBase models repository. *Ecological Modelling*, 302, 42-53.

Colvina, M., Pierceb, C.L., Stewart, T.W. 2015. A food web modeling analysis of a Midwestern, USA eutrophic lake dominated by non-native Common Carp and Zebra Mussels. *Ecological Modelling*, 312, 26-40.

Cornia, G.A. 1985. Farm size, land yields and the agricultural production function: An analysis for fifteen developing countries. *World Development*, 13, 513–534.

Costa-Pierce, B.A., Bartley, D.M., Hasan, M. Yusoff, F., Kaushik, S.J., Rana, K., Lemos, D., Bueno, P. and Yakupitiyage, A. 2012. Responsible use of resources for sustainable aquaculture. In: Subasinghe RP, Arthur JR, Bartley DM, De Silva SS, Halwart M, Hishamunda N et al. (eds) Farming the Waters for People and Food. Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010, Phuket, Thailand. 22–25 September 2010. pp. 113-147. FAO, Rome and NACA, Bangkok.

Cuenco M. L., Stickney R. S. & Grant W. E. 1985a. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: I. Individual fish model development. *Ecological Modelling* 27, 169-90.

Cuenco M. L., Stickney R. S. & Grant W. E. 1985b. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: II. Effects of interactions among size, temperature, dissolved oxygen, unionized ammonia and food on growth of individual fish. *Ecological Modelling* 27, 191-206.

Cuenco M. L., Stickney R. S. & Grant W. E. 1985c. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: III. Effects of intraspecific competition, stocking rate, stocking size and feeding rate on fish productivity. *Ecological Modelling* 28, 73-95.

Culberson, S.D and Piedrahita, R.H. 1996. Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction — mechanism and application. *Ecological Modelling*, 89 (1–3), 231-258.

Csengeri I., Ruttkay A., Zsigri A., Zsigri Cs., Horváth L., Péteri A. 2018. A medencés és tavi haltermelés erőforrásai: a takarmányozás alapegyenlete - módosított 1985-ös modell. *XLII. Halászati Tudományos Tanácskozás*, Szarvas, 2018. május 30-31.

Csukás, B, Balogh S, Kováts S, Aranyi A, Kocsis Z, Bartha L. 1999. Process design by controlled simulation of the executable structural models. *Computers & Chemical Engineering*, 23(Suppl), 569-572.

Csukás, B, Varga, M., Miskolczi, N., Balogh, S., Angyal, A., Bartha, L. 2013. Simplified Dynamic Simulation Model of Plastic Waste Pyrolysis in Laboratory and Pilot Scale Tubular Reactor, *Fuel Process Technol* 106: 186-200.

Csukás, B. 1998. Simulation by Direct Mapping of the Structural Models onto Executable Programs. In: AIChE Annual Meeting 1998, Miami, Paper 239/9.

Csukás, B., Varga, M., Balogh, S. 2011. Direct computer mapping of executable multiscale hybrid process architectures. In: Proceedings of Summer Simulation Multiconference'2011, Den Haag, The Netherlands, 2011.06.26-2011.06.29. p. 87–95. (ISBN:1-56555-345-4).

Debertin, D L. 2012. "Agricultural Production Economics, Second Edition," Monographs, *Applied Economics*, number 158319, March.

Dey, M.M., Rab, M.A., Paraguas, F.J., Bhatta, R., Alam, M.F., Koeshendrajana, S., Ahmed, M. 2005. Status and economics of freshwater aquaculture in selected countries of Asia. *Aquaculture economics and management*, 9, 11-37.

Edwards, P. 2011. Aquaculture for enhancing nutritional and economic improvement in Asia. Compendium of Asian-Pacific Aquaculture 2011, Annual Conference of the WAS-APC, 17-20 January, 2011, Kochi, India, pp. 1-11.

Engle, C.R. 2010. Aquaculture Economics and Financing: Management and Analysis; John Wiley & Sons: Ames, IA, USA. P. 260. ISBN 978-0-8138-1301-1/2010.

FAO. 2011. Regional Review on Aquaculture in the Asia-Pacific: Trends and Prospects—2010 *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*; No. 1061/5; FAO, Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific: Rome, Italy; p. 89.

FAO. 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture 2014. Rome. 223 pp.

FAO. 2016. Sustainable intensification of aquaculture in the Asia-Pacific region. Documentation of successful practices. W. Miao and K. K. Lal, editors. FAO, Bangkok, Thailand.

FAO. 2017. Regional review on status and trends in aquaculture development in Europe – 2015, by Roy Clarke and John Bostock. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular* No. 1135/1. Rome, Italy

FAO. 2018a. FAOSTAT Database. Rome, Italy: FAO. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data> hozzáférve: 2018.07.18.

FAO. 2018b. Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950-2016 (FishstatJ). In: *FAO Fisheries and Aquaculture*

Department [online]. Rome. Updated 2018. URL: www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en hozzáférve: 2018.07.18

FAO. 2018c. Fishery and Aquaculture Statistics. Global capture production 1950-2016 (FishstatJ). In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 2018. URL: www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en hozzáférve: 2018.07.18.

FAO. 2018d. AQUASTAT Main Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>

Fayram, A.H., Hansen, M.J., Ehlinger, T.J. 2006. Characterizing changes in maturity of lakes resulting from supplementation of walleye populations. *Ecological Modelling*, 197, 103–115.

Framian B. V. 2009. Definition of data collection needs for aquaculture: Part 1. Review of the EU aquaculture sector and results of costs and earnings survey. FISH/2006/15-Lot 6. URL: http://ec.europa.eu/fisheries/documentation/studies/data_collection/index_en.htm hozzáférve: 2018.07.18.

Fuentes-Santos, I., Cubillo, A.M and Labarta, U. 2017. A bioeconomic approach to optimize mussel culture production. *Reviews in Aquaculture*, 9, 125–140.

Gorton, M., Davidova, S. 2004. Farm productivity and efficiency in the CEE applicant countries: A synthesis of results. *Agricultural Economics*, 30, 1–16.

Grossmann, I.E., Westerberg, A.W. 2000. Research challenges in process systems engineering. *AIChE Journal*, 46, 1700–1703.

Guillén-Gosálbez, G. 2011. A novel MILP-based objective reduction method for multi-objective optimization: Application to environmental problems. *Computers & Chemical Engineering*, 35, 1469–1477.

Gyalog, G., Váradi, L., Gál, D. 2011. Is intensification a viable way for pond culture in Central and Eastern Europe? *AACL Bioflux* 4, 584–589.

Gyalog G. 2018. Termelői döntéseket támogató szoftver kerül kialakításra a HAKI-ban. *Halászat*, 2, 59.

Hagiwara, H. and Mitsch, W.J. 1994. Ecosystem modeling of a multi-species integrated aquaculture pond in South China. *Ecological Modelling*, 72, 41-73.

Hair, J. F. Jr., Anderson, R. E., Tatham, R. L. and Black, W. C. 1995. *Multivariate Data Analysis* (3rd ed). New York: Macmillan.

Hancz Cs. 2007. *Haltenyésztés. Egyetemi jegyzet. Kaposvári Egyetem, Kaposvár*, p. 262.

Hasan M. R. (ed.) 2007. Economics of aquaculture feeding practices in selected Asian countries. *FAO Fisheries Technical Paper No. 505*. Rome, FAO. 205 p.

Hasan, M. R., T. Hecht, S. S. De Silva, and A. G. J. Tacon. (Eds.) 2007. Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development. *FAO Fisheries Technical Paper No. 497*. Rome, FAO. 510 pp.

Hasan, M. R. and M. B. New, (Eds.) 2013. On-farm feeding and feed management in aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583*. Rome, FAO, 585 pp.

Hendrickx, J. *Perturb: Tools for Evaluating Collinearity, Software. Manual*. 2015. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/perturb/perturb.pdf>

Henningsen, A. 2014. *Introduction to Econometric Production Analysis with R (Draft Version)*; Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen: Copenhagen, Denmark.

Henningsen, A.; Toomet, T. 2016. *miscTools: Miscellaneous Tools and Utilities*. R Package Version 0.6-20. Manual. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=miscTools>

Hughes, G. 2000. *Agricultural Decollectivisation in Central Europe and the Productivity of Emergent Farm Structures*. Ph.D. Thesis, Wye College, University of London,

Jones, J.W., Antle J.M., Basso B., Boote K.J., Conant R.T., Foster I., Godfray H.C.J., Herrero M., Howitt R.E., Janssen S., Keating B.A., Munoz-Carpena R., Porter C.H., Rosenzweig C., Wheeler T.R. 2017. Brief history of agricultural systems modeling. *Agricultural Systems*, 155, 240-254.

Jong-Il You. 1995. Small firms in economic theory, *Cambridge Journal of Economics*, 19 (3), 441–462.

Karagiannis, G. and Katranidis, S.D. 2000. A production function analysis of seabass and seabream production in Greece. *Journal of the World Aquaculture Society*, 31, 297-305.

Kapetsky, J.M. and Nath, S.S. 1997. A strategic assessment of the potential for freshwater fish farming in Latin America. COPESCAL Technical Paper. No. 10. Rome, FAO. 128p.

Kennedy, P. 2008. *A Guide to Econometrics*; Blackwell: Oxford, UK.

Klatt, K.U., Marquardt, W., 2009. Perspectives for process systems engineering-Personal views from academia and industry. *Computers&Chemical Engineering*, 33, 536–550.

Koenker, R. and Hallock, KF. 2001. "Quantile Regression." *Journal of Economic Perspectives*, 15 (4): 143-156

Koenker, R. 2017. quantreg: Quantile Regression. R package version 5.33. <https://CRAN.R-project.org/package=quantreg>

KSH. 2018a. 2.1.41. A teljes munkaidőben alkalmazásban állók havi bruttó átlagkeresete a nemzetgazdaságban (2000–). http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qli012b.html

KSH. 2018b. 3.6.13. A fontosabb növénytermesztési termékek felvásárlási átlagára (2002–). http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qsma002a.html

KSH. 2018c. 3.6.12. Agrárrolló (2000–) http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qsma001a.html

Kumar, A., Moulick, S., Chandra Mal, B. 2013. Selection of aerators for intensive aquacultural pond, *Aquacultural Engineering*, 56, 71-78.

Kumar, A., Sharma, P., and Joshi, S. 2016. Assessing the impacts of climate change on land productivity in indian crop agriculture: An evidence from panel data analysis. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 1-13.

Lacewell, R.D., Nichols, J.P. and Jambers, T.H. 1973. An analysis of pond raised catfish production in Texas. *Southern Journal of Agricultural Economics*, 5, 141–145.

León C.J., Hernández J.M. and Gasca-Leyva E. 2001. Cost minimization and input substitution in the production of gilthead seabream. *Aquaculture Economics & Management*, 5 (3-4), 147-170.

Li, L. and Yakupitiyage, A. 2003. A model for food nutrient dynamics of semi-intensive pond fish culture. *Aquacultural Engineering*, 27 (1), 9-38.

Li, X., Li, J., Wang, Y., Fu, L., Fu, Y., Li, B., and Jiao, B. 2011. Aquaculture Industry in China: Current State, Challenges, and Outlook, *Reviews in Fisheries Science*, 19:3, 187-200

Liu, Y.Y., Slotine, J.J., Barabasi, A.L., 2011. Controllability of complex networks. *Nature*, 473, 167-173.

Lorenzen, K. 1996. A simple vonBertalanffy model for density-dependent growth in extensive aquaculture, with an application to common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 142, 191-205.

Losinger, W., Dasgupta, S., Engle, C. & Wagner, B. 2000. Economic interactions between feeding rates and stocking densities in intensive catfish *Ictalurus punctatus* production. *Journal of the World Aquaculture Society*, 31 (4), 491 – 502 .

MA-HAL [Magyar Haltermelők és Halászati Vízterület-hasznosítók Szövetsége] 2012-16. Éves jelentések. URL: <http://www.magyarhal.hu/kiadvanyaink/eves-jelentes>

Martell, S. J. D., Beattie, A. I., Walters, C. J., Nayar, T. and Briese, R. 2002. Simulating fisheries management strategies in the Strait of Georgia ecosystem using Ecopath and Ecosim In: Pitcher, T. and Cochrane, K. (eds.) The Use of Ecosystem Models to Investigate Multispecies Management Strategies for Capture Fisheries. *Fisheries Centre Research Reports*, 10(2), 16-23.

McGregor, A.M. 2014. Using Ecopath modeling to describe historical conditions for a large, boreal lake ecosystem prior to European settlement. *North American Journal of Fisheries Management*, 34, 16–29.

Mente, E. and Smaal, A.C. 2016. Introduction to the special issue on “European aquaculture development since 1993: the benefits of aquaculture

to Europe and the perspectives of European aquaculture production”. *Aquaculture International*, 24: 693-698.

Nadarajah, S., Flaaten, O. 2017. Global aquaculture growth and institutional quality. *Marine Policy* 84, 142-151

Nandeesh, M.; Sentilkumar, V.; Antony Jesu Prabhu, P. 2013. Feed management of major carps in India, with special reference to practices adopted in Tamil Nadu. In: Hasan, M.R., New, M.B., (eds.); *On-Farm Feeding and Feed Management in Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583*; FAO: Rome, Italy, 2013; pp. 433–462.

Nastis, S.A., Michailidis, A. and Chatzitheodoridis, F. 2012. Climate Change and Agricultural Productivity. *African Journal of Agricultural Research*, 7(35): 4885-4893.

Nerrie, B.L., Hatch, L.U., Engle, C.R. and Smitherman, R.O. 1990. The economics of intensifying catfish production: a production function analysis. *Journal of the World Aquaculture Society*, 21, 216-224.

Nielsen, R., Asche, F., Nielsen, M. 2016. Restructuring European freshwater aquaculture from family owned to large-scale firms – lessons from Danish aquaculture. *Aquaculture Research*, 47, 3852–3866.

Olagunju, F.I., Adesiyun I.O. & Ezekiel A.A. (2007) Economic viability of catfish production in Oyo state, Nigeria. *Journal of Human Ecology*, 21, 121-124.

Ozsabuncuoglu, I.H. 1998. Production function for wheat: a case study of south-eastern Anatolian project (SAP) region. *Agricultural Economics*, 18, 75-87.

Pénzesné Kónya Erika (szerk.) 2013. Ökológia: gyógy- és fűszernövénytermesztő és feldolgozó felsőfokú szakképzésben tanulóknak. Eger: EKF Földrajz Tanszék; Agria-Innorégió Tudáscentrum; Agria Geográfia Közhasznú Alapítvány, 2013.

Perry, R. H. és Green, D. W. 2008. *Perry's chemical engineers' handbook*. New York: McGraw-Hill.

Pidd, M. 1992. *Computer Simulation in Management Science*, Third edition. John Wiley and Sons, Chichester, UK.

- Piedrahita, R.H. 1984. development of a computer model of the aquaculture pond ecosystem. Ph.D. Thesis. University of California, Davis, CA.
- Piedrahita, R.H. 1988. Introduction to computer modelling of aquaculture pond ecosystems. *Aquaculture and Fisheries Management*, 19, 1-12.
- Ponce-Marbán, D., Hernández, J.M., Gasca-Leyva, E. 2006. Simulating the economic viability of Nile tilapia and Australian redclaw crayfish polyculture in Yucatan, Mexico. *Aquaculture*, 261 (1), 151-159.
- Poot-López, G.R., Hernández, J.M., Gasca-Leyva, E. 2010. Input management in integrated agriculture–aquaculture systems in Yucatan: Tree spinach leaves as a dietary supplement in tilapia culture, *Agricultural Systems*, 103 (2), 98-104,
- Poot-López G.R., Hernández J.M., Gasca-Leyva E. 2014. Analysis of ration size in Nile tilapia production: Economics and environmental implications. *Aquaculture* 420–421, 198–205.
- Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) 2014. The economic performance of the EU aquaculture sector (STECF 14-18). *JRC Scientific and Technical Reports*. Nielsen R., Motiva A. (eds.) Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Shaik, S. 2014. Re-examination of production, cost, and restricted profit functions using quantile regression approach. *Agricultural Economics* 45, 199–212.
- Singh, K., Dey, M.M, Rabbani, A.G., Sudhakaran P.O. and Thapa G. 2009. Technical Efficiency of Freshwater Aquaculture and its Determinants in Tripura, *India Agricultural Economics Research Review*, 22, 185-195.
- Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L., Van Lanen, H., Sauquet, E., Jordar, J. 2010. Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 23-67.
- Stagl, J. C., Hattermann, F. F. 2015. Impacts of climate change on the hydrological regime of the Danube River and its tributaries using an ensemble of climate scenarios. *Water*, 7(11): 6139-6172.
- Svirezhev, Y. M., Krysanova, V.P. and Voinov, A.A. 1984. Mathematical modelling of a fish pond ecosystem, *Ecological Modelling*, 21 (4,) 315-337.

Székely E., Bojtárné Lukácsik M., Valentinyi K. 2011. A mezőgazdasági vízgazdálkodás és az öntözés fejlesztése In.: Bíró Sz., Kapronczai I., Szűcs I., Váradi L. (szerk.) *Vízhasználat és Öntözésfejlesztés a magyar mezőgazdaságban*. Agrárgazdasági könyvek. Agrárgazdasági Kutatóintézet, Bp.

Szűcs I., Gábor J. 2007. A halhús-termelés szervezése és ökonómiája. In. Nábrádi A., Pupos T., Takácsné György K. (szerk.) *Üzemtan II*. Debreceni Egyetem, pp. 306-335.

Tacon, A.G.J. and Metian, M. 2015. Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23:1, 1-10.

Talpaz, H. & Tsur, Y. 1982. Optimizing aquaculture management of a single-species fish population. *Agricultural Systems*, 9, 127-142.

Tauer L.W. (2016) Production Response in the Interior of the Production Set. In: Greene W., Khalaf L., Sickles R., Veall M., Voia MC. (eds) *Productivity and Efficiency Analysis*. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham

Team, R.C. R. 2011. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria.

Temesvári, K., Aranyi, A., Csukas, B., Balogh, S. 2004. Simulated Moving Bed Separation of a Two Components Steroid Mixture. *Chromatographia*, 60, 189-199.

Ursin, E. 1967. A Mathematical Model of Some Aspects of Fish Growth, Respiration, and Mortality. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 24(11), 2355-2453.

Van der Ploeg, S.W.F., Braat, L.C. and Van Lierop, W.F.J. 1987. Integration of resource economics and ecology. *Ecological Modelling*, 38, 171-190.

Váradi, L., Lane, A., Harache, Y., Gyalog, G., Békefi, E., Lengyel, P. 2012. Regional Review on Status and Trends in Aquaculture Development in Europe, 2010. FAO: Rome, Italy. ISBN 9250068670.

Varga, M, Csukás B, Balogh S. 2012. Transparent Agrifood Interoperability, Based on a Simplified Dynamic Simulation Model. In: Mildorf T, Charvat K

(eds.) ICT for Agriculture, Rural Development and Environment: Where we are? Where we will go?. Prague: Czech Centre for Science and Society, 2012. pp. 155-174. (ISBN:978-80-905151-0-9)

Varga, M, Csukas, B. 2017a. Programmable Process Structures, Generated from a Network and from Functional Meta-Prototypes. In: 2017 AIChE Annual Meeting: Proceedings : Computing and Systems Technology Division : Software Tools and Implementations for Process Systems Engineering. Minneapolis (MN), USA, 2017.11.30 Paper 448e.

Varga, M, Csukas, B. 2017b. Generation of extensible ecosystem models from a network structure and from locally executable programs. *Ecological Modelling*, 364:25-41.

Varga, M, Prokop A, Csukas B. 2017. Biosystem models, generated from a complex rule/reaction/influence network and from two functionality prototypes. *BioSystems*, 152, 24–43.

Varga, M. 2009. Economic optimization of sustainable complex processes (model based optimization under uncertain cost parameters for industrial scale anaerobic fermentation of sugar beet slice). PhD Thesis, Kaposvar University, Kaposvar (in Hungarian)

Varga, M., Balogh, S., Csukas, B., 2016b. An extensible, generic environmental process modelling framework with an example for a watershed of a shallow lake. *Environmental Modelling & Software*, 75, 243-262.

Varga, M., Balogh, S., Wei, Y., Li, D., Csukas, B., 2016a. Dynamic simulation based method for the reduction of complexity in design and control of Recirculating Aquaculture Systems. *Information Processing in Agriculture*, 3, 146–156.

Varian, H R. 2010. Intermediate Microeconomics: A Modern Approach. 8th ed. New York: W.W. Norton & Co.

VITUKI. 1986. A Balaton vízháztartási mérlegkészítésének fejlesztése. VITUKI témajelentés. Budapest, 1986

von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquires on growth laws II). *Human Biology* 10, 181-213.

Walter, E. 1934. Grundlagen der allgemeinen fischereilichen produktionslehre, einschlieSlich ihrer Anwendung auf die Fütterung. Handbuch d. Binnenfischerei Mitteleuropas 4(5): 48 1-662

Wang, Q., L. Cheng, J. Liu, Z. Li, S. Xie, and S. S. De Silva. 2015. Freshwater aquaculture in PR China: Trends and prospects. *Reviews in Aquaculture*, 7(4): 283–302.

Watson, T.A., Doherty, J.E. and Christensen S. 2013. Parameter and predictive outcomes of model simplification, *Water Resources Research*, 49, 3952–3977.

Winberg, G.G. 1960. Rate of metabolism and food requirements of fishes. Fish. Res. Bd. Can., Ottawa, Ontario, Translation Series, No. 194. 201pp

Wolfe, J.R., Zweig, D., Engstrom, D.G. 1986. A computer simulation model of solar-algae pond. *Ecological Modeling*, 34, 1-59.

Zeileis, A.; Hothorn, T. 2002. Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News*, 2, 7–10. <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.

12. A disszertáció témaköréből megjelent publikációk

Tudományos folyóiratban megjelent közlemények

Gyalog, G., Oláh, J., Békefi, E., Lukácsik, M. and Popp, J. 2017. Constraining Factors in Hungarian Carp Farming: An Econometric Perspective. *Sustainability*, 9(11), 2111; doi:10.3390/su9112111

Gyalog, G., Varga, M., Kucska, B. and Csukás, B. 2017. Testing of a dynamic simulation model for Recirculating Aquaculture System to support managerial decisions. *Regional and Business Studies*, 9(1): 33-42.

Gyalog, G., Váradi, L. and Gál, D. 2011. Is intensification a viable way for pond culture in Central and Eastern Europe? *AAFL Bioflux*, 4(5): 584-589.

Konferencia kiadványban teljes terjedelemben megjelent közlemények

Gyalog G., Varga M., Berzi-Nagy L., Halasi-Kovács B. és Csukás B. 2017. A klímaváltozás halastavak vízháztartására gyakorolt hatásai In: Bodnár K. és Privóczi Z. (szerk.): *Tudomány a vidék szolgálatában c. tudományos konferencia előadásainak kötete*. Csongrád 2017.11.17. Csongrád: Agro-Assistance Kft., 2017. pp. 72-78.

Gyalog, G. and Váradi, L. 2011. Economic and social importance of aquaculture in Europe. *Aquaculture in Central and Eastern Europe - Workshop on the Role of Aquaculture in Rural Development*, Chisinau, Moldavia, October 17-19, 2011, Kishinev: Pontos, 2011, p. 59-63

Gyalog G., Gál D. és Váradi L. 2012. Fenntarthatósági kérdések az intenzív akvakultúrában In: Jakabné Sándor Zs., Bozzáné Békefi E., Jancsóné Kosáros T., Bíró J. és Jancsó M. (szerk.): *Halászatfejlesztés - Fisheries & Aquaculture Development Vol. 34*. pp. 121-128.

Könyv, könyvrészlet

Gyalog G., Varga M., Berzi-Nagy L., Halasi-Kovács B. és Csukás B. 2018. A klímaváltozás halastavak vízháztartására gyakorolt hatásai. In. Somogyi, N; Radó, G; Gyuricza, Cs. (szerk.) *Változások kora 2*. Gödöllő, Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ. pp. 57-64.

Gyalog G. 2015. Ökonómia. In. Csorbai, B; Péteri, A. és Urbányi B. (szerk.) *Intenzív haltenyésztés*. Gödöllő, Szent István Egyetem. pp. 115-119.

Gyalog G. 2015. Economic rationale behind intensification. In. Kumar S., Kumar Singh M. (eds.): *Innovative outdoor fish farming technologies and technical solutions - applicable to low-investment farming opportunities*. AQUARED POT project Deliverable 5.4. NARIC-HAKI, Szarvas.

Váradi, L.; Lane, A.; Harache, Y.; Gyalog, G.; Békefi, E.; Lengyel, P. 2012. Regional Review on Status and Trends in Aquaculture Development in Europe, 2010; FAO, Rome, Italy.

Bojtárné L. M., Gyalog G., Szűcs I., Váradi L. 2011. A hazai akvakultúra ágazat jellemzői In: Bíró Sz., Kapronczai I., Szűcs I., Váradi L (szerk.): Vízhasználat és öntözésfejlesztés a magyar mezőgazdaságban. Agrárgazdasági Könyvek, Budapest, AKI. pp.89-100.

Szakmai folyóiratban megjelent nem tudományos cikkek

Gyalog, G., és Bojtárné Lukácsik M. 2017. A farmméret és a termelékenység kapcsolata az akvakultúrában. Halászat 110: (4) 25-26

Toussaint, M., Gyalog, G., Hough, C. and Ytteborg, E. 2018. Climefish- Effects of climate change upon aquaculture. International Aquafeed Magazine, October 2018, pp. 18-20.

Szóbeli előadások tudományos és szakmai konferencián

Gyalog, G., Varga, M., Berzi-Nagy, L., Kerepeczki, É. and Csukás, B. Impact of climate change on the economics of carp farming. Adaptation of inland fisheries and aquaculture to climate change, EIFAAC International Symposium. 2017.09.03-06., Stare Jablonki, Poland.

Gyalog G., Varga M., Berzi-Nagy L., Kerepeczki É., Csukás B. A klímaváltozás hatása a halastavak vízháztartására: gazdasági és termelési technológiai következmények. XLI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2017.06.14-15.

Gyalog G., Varga M., Berzi-Nagy L. és Csukás B.: Az éghajlatváltozás hatása a magyar tógazdálkodásra. VIII. Gödöllői Halászati-Horgászati Szakember Találkozó. Gödöllő, 2018.02.01

Gyalog, G, Varga, M., Berzi-Nagy, L. and Csukás, B. Impact of climate change on the economics of carp farming. 4th International Carp Conference, Zágráb, 2017.09.21-22.

Gyalog, G. Constraining Factors in Hungarian Carp Farming: An Econometric Perspective 1st Research Conference, Kaposvár, 2018.02.22

Gyalog G., Berzi-Nagy L., Csukás B. és Varga M. A kihelyezési és takarmányozási intenzitás hozamra és költségekre gyakorolt hatásának modellezése ponty halastavi termelésénél. XLII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2018.06.14-15.

13. A disszertáció témakörén kívüli publikációk, közlemények

Tudományos folyóiratban megjelent közlemény

József Popp, László Váradi, Emese Békefi, András Péteri, Gergő Gyalog, Zoltán Lakner and Judit Oláh (2017). Evolution of Integrated Open Aquaculture Systems in Hungary: Results from a Case Study. *Sustainability*, 10(1), 177; doi:10.3390/su10010177

Bozánne Békefi Emese, Gyalog Gergő, Váradi László (2017) A multifunkcionális halgazdaságok szerepe és jelentősége. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, 12 (1–2): 121–125.

Gal, D., Kerepeczki, E., Gyalog, G., Pekar, F. (2015) Changing face of Central European aquaculture: sustainability issues. *Survey in Fisheries Sciences* 2(1): 42-56

Gál D, Kucska B, Kerepeczki E, Gyalog G. (2011) Feasibility of the sustainable freshwater cage culture in Hungary and Romania. *AAFL Bioflux*, 4 (5): 598-605

Kerepeczki É., Gál D., Kosáros T., Hegedűs R., Gyalog G., Pekár F. (2011) Natural water treatment method for intensive aquaculture effluent purification. *Studia Universitatis "Vasile Goldiș" Seria Științele Vieții*, 21(4):827-837.

Békefi E., Gyalog G., Váradi L., Szűcs I. (2008) Importance and role of multifunctionality in pond fish farming in Hungary. *Agrár és Vidékfejlesztési Szemle*, 3 (1): 42.

Konferencia kiadványban teljes terjedelemben megjelent közlemények

Gyalog, G., Békefi, E., Váradi, L., (2010) The economic value of recreational fishing through the example of a Hungarian multifunctional pond fish farm. Proceedings of the symposium on "Interactions between social, economic and ecological objectives of inland commercial and recreational fisheries and aquaculture, Antalya, Turkey, 21-24 May 2008. EIFAC Occasional Paper No.44. pp.112-119. Rome, FAO. 2010. ISSN 0285-6096 <http://www.fao.org/docrep/012/i1373e/i1373e.pdf>

Gyalog G., Váradi L., Pekár F. (2007) Elméleti ökonómiai módszerek a vizes élőhelyek teljes gazdasági értékének felbecsülésére. AVA-3 Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés, Agrárinformatika Nemzetközi Konferencia. Debrecen, 2007. március 20-21. (CD-kiadvány)

Gál, D.; Gyalog, G. (2012) Changing face of aquaculture: Ecological sustainability issues In: D. Kuhcharczyk (ed.) Domestication in finfish Aquaculture. Olsztyn, Poland. Praownia Wydawnicza „ElSet”. pp. 119-123.

D. Gál, B. Kucska, E. Kerepeczki and G. Gyalog (2011) Freshwater cage aquaculture and sustainability. The II. Assembly NACEE and the Workshop on the Role of Aquaculture in Rural Development, Chisinau, Moldavia, October 17-19, 2011, Kishinev: Pontos, 2011, p.296

Kerepeczki É., Gyalog G., Halasi-Kovács B., Gál D. és Pekár F. (2010). Ecosystem functions and values of extensive fishponds In: Kerepeczki É., Békefi, G. Gyalog and I. Lehoczki (eds.): Halászatfejlesztés - Fisheries & Aquaculture Development Vol. 33 ISSN 1219-4816

Könyv, könyvrészlet

Gyalog, Gergő; Németh, István; Sziráki Bence (2018) Haltenyésztési együttműködési lehetőségek Észak-Afrikában. In: Somogyi, N; Radó, G; Gyuricza, Cs. (szerk.) Változások kora 2. Gödöllő, Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ. pp. 65-70. ISBN 9786155748073

Kerepeczki, É.; Bozáné B., E., Gyalog G., Lehoczky I. (szerk.) (2011). Halászatfejlesztés 32 – Fisheries and Aquaculture Development Vol. 33, HAKI, Szarvas, p. 185.

Varga E., Gyalog G., Körösparti J., Pekár F. (2011). Az öntözés potenciális vízforrásainak alternatív hasznosítása In: Bíró Sz., Kapronczai I., Szűcs I., Váradi L (szerk.): Vízhasználat és öntözésfejlesztés a magyar mezőgazdaságban. Agrárgazdasági Könyvek, Budapest, AKI, ISBN: 9789634915683. pp. 101-108.

Szakmai cikk nem tudományos folyóiratban

Halasi-Kovács, B.; Berzi-Nagy, L; Bozáné Békefi, E.; Gyalog, G., András, G.; Körösparti, J.; Kerepeczki, É. (2016) Pozitív vélemények a tógazdasági haltermelésről. *Halászat*, 109(1): 29-32.

14. Szakmai Önéletrajz

Gyalog Gergő 1981-ben született. Egyetemi oklevelet a Budapesti Corvinus Egyetem Közgazdaságtudományi Karán szerzett 2006-ban. 2015-ben nyert felvételt a Kaposvári Egyetem Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskolájába, ahol 2018-ban *summa cum laude* minősítéssel szigorlatot tett.

2005 óta dolgozik a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központhoz tartozó, szarvasi székhelyű Halászati Kutatóintézetben (HAKI). Jelenleg tudományos munkatárs, egyben az intézet *Akvakultúra Ökonómia* kutatási csoportjának vezetője. A HAKI-ban töltött évei alatt öt különböző, az EU kutatási keretprogramjaiból finanszírozott nemzetközi projektben vett részt, ezek közül kettő esetében (AQUARED POT, illetve CLIMEFISH projekt) intézeti projekt-vezetői minőségben. A HAKI hagyományosan erős nemzetközi kapcsolatai révén számos európai és ázsiai országban volt lehetősége személyesen tanulmányozni egy adott régió akvakultúráját, illetve halászati kutatását. 2016-ban egyéni szakértőként vett részt Üzbegisztánban egy, a helyi akvakultúra fejlesztését célzó, német forrásból megvalósított projektben.

Házass, négy gyermeke van.

15. Glosszárium

Akvakultúra	Vízi élőlények termelése, amely az eredményesség növelése érdekében magában foglal olyan beavatkozásokat, mint rendszeres népesítés, takarmányozás, ragadozók elleni védelem (állomány elkerítése) stb. Hazai viszonylatban az akvakultúra a haltermelés fogalmának szinonimájaként is használható, hiszen a rákok, kagylók és egyéb vízi állatok, valamint vízi növények tenyésztése Magyarországon nem jelentős. Lásd még a természetes vízi halászat szócikket.
Anabolikus folyamat	Modellezési szempontból anabolikus folyamatoknak a felépítő anyagcsere folyamatokat nevezik, amelyek a testtömeg növekedéséhez járulnak hozzá.
Bemeneti tényező (modellnek)	A modell kalkulációkhoz szükséges adatok, paraméterek. Ezeket a modell nem számolja, kívülről szükséges megadni. A disszertációban szereplő folyamatmodell esetében ilyen például a napi levegőhőmérséklet és a napi takarmányadag. Ezek meghatározására nem szerepel egyenlet a modellben, ugyanakkor ezen adatokra szükség van más változók (pl. vízhőmérséklet, anabolizmus) kalkulációjához.
Bentosz	A tófenéken, illetve az üledékben élő szervezetek.
Betöményedés	A párolgási veszteség miatt a sókoncentráció növekedése a halastó vizében.
Big Data	A Big Data fogalma alatt azt az óriási adatmennyiséget értjük, mely a különféle cégek, intelligens hálózatok, magánszektor, stb. által napi szinten képződik. Magában foglalja ugyanakkor azt a komplex technológiai környezetet is (szoftvert, hardvert, hálózati modelleket), mely lehetővé teszi ezen adatok feldolgozását.
Bi-kultúra	Két faj együttes nevelése. Lásd a polikultúra szócikket.
Bio-ökonómiai modell	Különböző definíciókért lásd a disszertáció 20. oldalát.
Boxplot	Több csoportra osztható adatok grafikus ábrázolása az egyes csoportok kvartilis értékeire megjelenítve. A kvartilisek a sokaságot négy azonos létszámú részre osztják. Az ábratípus nevét adó doboz (<i>box</i>) egy csoport adatain belül az interkvartilis tartományt jelöli. Az interkvartilis terjedelem az első és a harmadik kvartilis közötti adattartomány.
Bruttó hozam	Egységnyi területre (egy hektárra) jutó lehalászott állomány. Mértékegysége kg/ha.
Célfüggvény	Optimalási feladatnál azt a matematikai kifejezést jelöli, amelynek maximumát vagy minimumát keressük.

Csökkenő hozadék törvénye	A csökkenő hozadék elve arra utal, hogy az egyik input egyoldalú növelésével annak határterméke egyre csökken. A csökkenő hozadék törvénye nem keverendő össze a mérethozadék fogalmával, ez utóbbi az összes input egyetemleges növelésének hatásait vizsgálja.
Detritusz	Elpusztult növények és állatok maradványainak törmeléke.
Dinamikus modell	Időben változó struktúrák és folyamatok leképezése
Döntéstámogató eszköz, szoftver	Olyan interaktív szoftver, amelyek csoportok, közösségek hatékonyabb működését és működtetését, vagy az üzleti folyamatok előrejelzését, követését teszi lehetővé (<i>Wikipédia</i>)
Egyensúlyi gőznyomás	Adott hőmérsékleten, zárt térben a kondenzált (folyadék vagy szilárd) fázissal egyensúlyban lévő telített gőz parciális nyomása.
Előkészítő trágyázás	Kora tavaszi, nagy adagban történő trágyázás, a halak kihelyezését megelőzően. Célja a bőséges induló planktonállomány elérése.
Extenzív technológia	Takarmányozás nélküli, vagy minimális takarmánybevitelre alapozó termelési technológia. A termelők ilyen esetben csak a tó (kagylótermelés esetén: az öböl) természetes táplálék készletére alapoznak. Tógazdasági extenzív technológia mellett a bruttó hozam jellemzően nem éri el az 500 kg/ha szintet. Egyes esetekben a minimális gabonabevitel (<1 t/ha takarmány) alapú technológiát is nevezik extenzív technológiának, amennyiben a bruttó hozam nem éri el az 500 kg/ha-t.
FCR	Lást a takarmány-átalakítási együttható szócikknél .
Fél-intenzív technológia	Vegyesabrak (gabona) takarmánybevitelre alapozó termelési technológia. A gabonával bevitt szénhidrát kiegészíti a fehérjében gazdag természetes táplálékot. Fél-intenzív technológia mellett a bruttó hozam jellemzően 500 kg/ha és 2000 kg/ha között van.
Folyamatmodell	A dolgozat vonatkozásában alkalmazott folyamatmodell az alapvető fizikai, kémiai, biológiai és technológiai folyamatok figyelembevételén alapuló számítási modellre utal.
Gabona kiegészítő takarmányozáson alapuló technológia	Vegyesabrak (gabona) takarmánybevitelre alapozó termelési technológia. A gabonával bevitt szénhidrát kiegészíti a fehérjében gazdag természetes táplálékot. Ezt félintenzív technológiának nevezik, és ilyen feltételek mellett a bruttó hozam jellemzően 500 kg/ha és 2000 kg/ha között van.
Halászati termelés	Az akvakultúra termelés és a természetes vízi halászati fogások összege.

Háromnyaras ponty	Három szezonon át nevelt ponty. Általában ez már eléri az értékesítési súlyt, így végterméknek tekinthető.
Homo-eszkadicitás	A fogalom azt jelöli, hogy a maradékváltozók szórása állandónak tekinthető, és nem függ az eredményváltozó értékétől
Homogén függvény	A matematika homogén függvénynek nevezi az olyan függvényeket, melyek multiplikatív skálázási tulajdonsággal rendelkeznek: ha a függvény argumentumát egy faktorral megszorozzuk, a függvényérték ennek a faktornak valamely hatványával szorozódik (<i>Wikipédia</i>).
Input-hatékonyság	A hatékonyság a termelés és a ráfordítás viszonyozása (<i>Wikipédia</i>). Egy inputra vetített hatékonyság a termelés és az ahhoz felhasznált inputmennyiség hányadosa.
Input menedzsment	A termelés során felhasznált inputok mennyiségére és kombinációjára vonatkozó termelői tervezés. Másnéven input gazdálkodás. Szoros kapcsolatban van az alkalmazott technológiával.
Intenzifikáció	A termelés intenzitásának növelését eredményező technológia váltás. Lásd a termelés intenzitása szócikket.
Intenzív technológia	Keveréktáp bevitelre alapozó termelési technológia. Medencés és ketreces rendszerek esetében mindenképpen intenzív termelésről beszélünk. Hazai kontextusban a nagyon intenzív gabona alapú takarmányozást (4-6 t/ha takarmány) is nevezik intenzív technológiának, amennyiben a bruttó hozam eléri a 2000-2500 kg/ha-t.
Katabolikus folyamat	Modellezési szempontból katabolikus folyamatoknak a lebontó anyagszere folyamatokat nevezik, amelyeknek során a hal életfenntartó energiát termel.
Ketreces rendszer	Olyan akvakultúra termelési rendszer, ahol a halállományt a természetes víztestben (tározóban, tóban, fjordban, tengeröbölben) elkerítve nevelik, de a víz (és a benne lévő oxigén, valamint a tápanyag) szabadon áramlik az elhatárolt víztér és a külső környezet között. A ketreces rendszerben nevelt halakat intenzíven nevelik és teljes értékű takarmánnyal etetik.
Kétnyaras ponty	Két szezonon át nevelt ponty tenyészanyag, más néven növendék. A tenyészanyag szó jelentését lásd lejjebb.
Kihelyezés	A tenyészanyagnak a tóba való behelyezése, telepítése.
Körtöltéses halastó	Síkvidéken épített halastó, amelyet minden oldalról épített gát határol. Magyarországon jellemzően 1,2-1,3 m tómélységre tervezik az ilyen halastavakat, de a feliszapolódással csökken a mélység.
Lokális program	Az alkalmazott Programozható Struktúrák modellezési módszere esetén az összefüggéseket deklaratív nyelven leíró, elkülönítve is végrehajtható programelemek megnevezése.

Makrovegetáció	A termelési teret (tőfelületet) szűkítő növényzet: hínár, nádas, gyékényes.
Maximális szinten halászott állomány	A <i>fully exploited stock</i> fordítása. Olyan halállományt jelöl, amelynek halászati hasznosítása során a legnagyobb fenntartható hozammal (MSY) közel megegyező az évenkénti termelés.
Medencés rendszer	A <i>tank&raceway system</i> fordítása. Olyan akvakultúra termelési rendszer, amelyben a halállományt a környezettől teljesen elkülönített, betonból vagy szintetikus anyagból készített medencékben, tartályokban nevelik. A vízátfolyás típusa szerint lehetnek recirkulációs vagy átfolyóvízes rendszerek.
Méretgazdaságosság	Méretgazdaságosságnak az nevezik, amikor a termelés mennyiségének növekedésével a termékek előállításának fajlagos költsége csökken.
Mérethozadék	A méretgazdaságosság mértéket jelzi. Pozitív mérethozadék méretgazdaságosságot jelöl, negatív mérethozadék ennek ellenkezőjét. Állandó mérethozadék pedig azt jelenti, hogy termelés mennyiségétől (üzem nagyságtól) függetlenül azonos fajlagos költséggel lehet termelni.
Meta-prototípus	A Programozható Struktúrák módszerénél a modell generálás két kiindulási egysége. Két általános minta építő elem az állapotot és a változást leíró elemek elkészítéséhez.
Michaelis-Menten egyenlet	Eredetileg egy biokémiában használt egyenlet, amely egy szubsztrát koncentrációjának a függvényében adja meg az enzimatis reakció sebességét. Az egyenlet matematikai formáját gyakran használják takarmányozástani összefüggésekben a takarmány koncentráció (adag) és az anabolikus folyamatok sebessége közötti összefüggés leírására.
Modell	Jelen disszertációban a modell a valós termelési folyamatok leképzése matematikai kifejezésekkel, és/vagy programokkal.
Multikollinearitás	A magyarázóváltozók közötti lineáris kapcsolatot nevezzük multikollinearitásnak. Nagy fokú kapcsolat bizonytalanná teszi a paraméterbecslést.
Nano-szintű folyamat	A térben/időben nano-szinten lejátszódó (például sejtbiológiai) folyamatok.
Nettó hozam	Egységnyi területre (egy hektárra) jutó lehalászott állomány és behelyezett állomány különbözete. Más néven az egy hektárra jutó nettó növekmény. Mértékegysége kg/ha.
Parciális gőznyomás	Egy adott komponens gőznyomása.
Parametrizálás	Előre meghatározott formájú egyenletek koefficiens (paraméter) értékeinek a keresése a meglévő empirikus adatok alapján. Több

módszer létezik a paraméter értékek meghatározására, jelen disszertáció például az OLS és a kvantilis regresszió eljárást taglalja.

Piaci ponty	Piaci méretet elért ponty. Másnéven háromnyaras ponty.
Polikultúra	Több faj együttes, azonos termelési térben (pl. tóban, ketrecben) történő tenyésztése. A hazai tógazdasági technológiára jellemző a ponty mellé olyan, a pontynak táplálék konkurenciát nem jelentő fajok telepítése, amelyekkel kiaknázható a tó teljes természetes táplálékkészlete. A legjelentősebb kiegészítő fajok: fehér- és pettyes busa (plankton fogyasztók), amur (makrovegatáció fogyasztó), csuka/süllő/lesóharsca (gyomhalat fogyasztó ragadozók).
Poszt-harveszt	Az értéklánc azon szakasza, amely a lehalásztól a kiskereskedelmi értékesítésig tart. Komplementer fogalma a pre-harveszt szakasznak.
Pótlóvíz	A késő tavaszi és a nyári időszakra eső halastavi vízhasználat, amely a párolgási és elszivárgási veszteség pótlására szolgál.
Pre-harveszt	A haltemelés azon szakasza, amely a szaporítástól a lehalászásig tart. Komplementer fogalma a poszt-harveszt szakasznak.
Rendszermodell	Lásd 25. oldal.
Részüzemű gazdaság	Nem teljes vertikumú gazdaság. Lásd a teljes vertikumú gazdaság szócikket.
Standardizált függvény	Olyan függvény, amelyet matematikailag úgy transzformáltak, hogy maximum értéke 1 legyen. Gyakran a minimum érték 0, így a függvény 0 és 1 közötti értékeket vesz fel.
Szeméthal	Nem tudatosan telepített faj, másnéven gyomhal. Többnyire a pontynak táplálék konkurenciát jelentő fajokat nevezik így.
Szimuláció	A szimuláció olyan vizsgálat, amikor egy rendszer, folyamat számítógépes modelljén tanulmányozzák a rendszer várható, illetve valódi viselkedését (<i>Wikipedia</i>).
Takarmány-átalakítási együttható	A beadott takarmány mennyiségnek, valamint a lehalászott és behelyezett pontymennyiség különbségének (nettó termelésnek) a hányadosa. A takarmány inputra vetített termelési hatékonyság mérőszáma.
Takarmányozás nélküli technológia	Lásd az extenzív technológia szócikknél

Takarmányozási intenzitás	Egységnyi üzemelő tóterületre eső takarmány felhasználás. Mértékegysége t/ha
Tápláléklánc	Egy adott ökoszisztémán belül élő fajok közti táplálkozási kapcsolatok összessége.
Technológia	Lásd termelési technológia szócikknél
Teljes vertikumú gazdaság	Olyan halgazdaság, amely a szaporítást, az egynyaras (ivadék) nevelést, a kétnyaras (növendék) nevelést és az étkezési méretű (háromnyaras) halnevelést is maga végzi. Nem szorul rendszeres tenyészanyag vásárlásra.
Tenyészanyag	Magyarországon mind a pontyot, mind a többi tógazdasági halfajt több éves (általában hároméves) üzemformában termelik. Tenyészanyagnak azt a lehalászott állományt hívják, amely még nem érte el az értékesítési súlyt, emiatt a következő évben (tavasszal) még további kihelyezésre kerül. A fogalom egyszerre jelöli az egynyaras (ivadék) és kétnyaras (növendék) állományt.
Tera-szintű folyamat	A térben/ időben tera-szinten lejátszódó folyamatok (pl. agrár-környezeti rendszerek folyamatai, hidrológiai rendszerek, stb.).
Termelési ciklus	Az étkezési méretű hal előállításához szükséges időszak hossza (szezónok száma). Magyarországon a hároméves üzemforma a leggyakoribb. Lásd még a tenyészanyag és a teljes vertikumú gazdaság szócikket.
Termelési függvény	A termelés mennyiségét az egyes inputok függvényében kifejező egyenlet. A változók lehetnek természetes mértékegységben vagy pénzügyi mértékegységben is kifejezve.
Termelési intenzitás	Az egységnyi területre (egy hektárra) jutó input (elsősorban takarmány) használat mértékét jelölő fogalom. További értelmezését lásd az extenzív technológia, a felintenzív technológia és az intenzív technológia szócikknél.
Termelési rendszerek	Elsősorban a haltermelésre használt vízfelület/víztér és az ahhoz tartozó infrastruktúra alapján elkülönített termelési módok.
Termelési technológia	A termelési rendszer, a haltermeléshez használt inputok és eljárások összessége által meghatározott fogalom. Egy adott termelési rendszeren belül (pl. halastóban) is többféle technológiát lehet alkalmazni az inputhasználat intenzitása változtatásával.
Természetes vízi halászat	Természetes vizek halállományának hasznosítására irányuló üzemszerű vagy rekreációs tevékenység. Annyiban különbözik az akvakultúrától, amennyiben a vadászat különbözik az állattenyésztéstől.

Tógazdálkodás, tavi akvakultúra	Földmedrű (kör-, és hosszöltéses, illetve völgyzárógátas) halastavakban végzett akvakultúras tevékenység. Magyarországon a pisztrángfélék földmedrű tavakban történő tenyésztését nem értik ide, így a tógazdálkodás kizárólag a melegvízi halfajok (elsősorban pontyfélék) akvakultúráját jelöli.
Többskálás folyamat	Térben és/vagy időben különféle szinteken lejátszódó folyamatok.
Tömeggyarapo- dási hányados	A lehalászott és a behelyezett állomány hányadosa.
Túlhalászott állomány	Az <i>overexploited stock</i> fordítása. Olyan halállományt jelöl, amely a legnagyobb fenntartható hozamhoz (MSY) tartozó állományszintnél alacsonyabb.
Vízkezelés	Jelen disszertációban a vízkezelés azon termelői tevékenységet jelenti, amely a halastó vízminőségének kedvező tartományban való fenntartására irányul (<i>water quality management</i>).