

A vízlábnyom és a vízhasználati hatékonyság vizsgálata
fejőházakban

Ph.D. értekezés

Nagypál Virág

Témavezető:

Prof. Dr. Hodúr Cecilia

Egyetemi tanár, az MTA Doktora

Társ-témavezető:

Dr. habil Mikó Edit

Egyetemi docens

Környezettudományi Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	5
2. Irodalmi áttekintés.....	7
2.1. Fenntartható vízhasználat szükségszerűsége a mezőgazdaságban	9
2.2. Vízlábnyom	10
2.3. Az állattenyésztés vízhasználata és vízlábnyoma.....	13
2.3.1. A tejlő tehenészetek vízhasználata és vízlábnyoma	14
2.4. Szennyvíztisztítási eljárások.....	20
3. Célkitűzés.....	26
4. Anyag és módszer	28
4.1. A vizsgált tejtermelő tehenészeteki telepek bemutatása	28
4.1.1. 'HLSZ' tejlő tehenészet.....	30
4.1.2. 'POL' tejlő tehenészet	31
4.1.3. 'ROB' tejlő tehenészet	32
4.2. A tehenek ivóvíz fogyasztásának kiszámítása.....	34
4.3. Vízlábnyom értékek meghatározása.....	35
4.3.1. Kék vízlábnyom	35
4.3.2. Szürke vízlábnyom.....	36
4.4. Szennyvízkezelési eljárások	37
4.4.1. Koagulálás -Flokkulálás.....	38
4.4.2. Centrifugálás	38
4.4.3. Mikroszűrés.....	38
4.4.4. Ultraszűrés.....	39
4.4.5. Ózonozás	40
4.4.6. Fenton reakción alapuló oxidációs kezelés	40
4.4.7. Ultrahanggal kísért membránszűrés	41
4.4.8. Vibrációval segített ultraszűrés - VSEP	41

4.4.9.	Kémiai Oxigénigény meghatározása.....	41
4.5.	A vizsgálatban alkalmazott statisztikai módszerek	42
5.	Eredmények és értékelésük	44
5.1.	Ivóvíz fogyasztási adatok	44
5.2.	A fejeési művelet vízhasználata	49
5.3.	Kék vízlábnyom.....	52
5.4.	Szürke vízlábnyom	57
5.5.	Szennyvíz kezelések	63
5.5.1.	Flokkulálás	63
5.5.2.	Centrifugálás	67
5.5.3.	Mikroszűrés.....	67
5.5.4.	Ózonozás	68
5.5.5.	Fenton reakción alapuló oxidációs kezelés alkalmazása.....	68
5.5.6.	VSEP Ultraszűrés	69
5.5.7.	Ultrahanggal segített statikus ultraszűrési sorozat	74
5.5.8.	Vibráció és ultrahang energetikai összehasonlítása	78
6.	Összefoglalás.....	82
7.	Új tudományos eredmények.....	87
8.	Köszönetnyilvánítás	89
9.	Irodalomjegyzék.....	90
10.	Publikációs listák.....	101

Rövidítések jegyzéke

Abstr: absztrakció/kivétel víztérfogata [térfogat/idő-evaporáció]

AOPs: (Advanced oxidation processes) Nagyhatékonyságú oxidációs eljárások

BOI₅ : 5 napos biokémiai oxigénigény [mgdm⁻³]

BOPAC: polialumínium-klorid

c_{act}: intake bevitt víz aktuális szennyezőanyag koncentrációja [mg/L]

c_{effl}: szennyezőanyag koncentráció a szennyvízben [mg/L]

c_{max}: maximálisan elfogadható szennyezőanyag koncentráció [mg/L]

c_{nat}: természetes vagy alap szennyezőanyag koncentráció [mg/L]

EB: Európai Bizottság

Effl: effluent: szennyvíz térfogat [L/nap]

FPCM: 4%-os zsír- és 3,3%-os fehérje tartalomra korrigált napi átlagos tejtermelés [L]

HLSZ: halszálkás fejőberendezéssel rendelkező telep

IVF: a laktáló tehenek ivóvíz fogyasztása [liter/nap]

KOI: kémiai oxigénigény [mgdm⁻³]

m_{Na} : a napi nátrium felvétel mennyisége [g/nap]

m_{tejtermelés} : a próbafejésekből származó, napi tejmennyiség értéke [kg/nap]

m_{testtömeg} : az állatok testtömege [kg]

PAN: poliakrilnitril

PES: Poliéter-szulfon

PMR: (Partial Mixed Ratio) részleges takarmánykeverék

POL: poligon-halszálkás fejőberendezéssel rendelkező telep

Rt: teljes ellenállás [m-1]

Rrev: reverzibilis ellenállás [m-1]

Rirrev: irreverzibilis ellenállás [m-1]

RISKA: Szarvasmarhatelep irányítási rendszer

ROB: robot fejőberendezéssel rendelkező telep

T_{átl} : az adott időpontra vonatkozó hőmérsékleti átlagértékek [°C]

TMR: (Total Mixed Ratio) komplett keverék vagy teljes takarmánykeverék

T_{szennyezőa}: szennyezőanyag terhelés [L/nap]

UH: ultrahang

UVA : 400-320 nm közötti sugárzási tartomány

UVC: 290 nm alatti sugárzási tartomány

VB: Vasbeton

VL : Vízlábnyom

VL_(a,c,s) : egy állat vízlábnyoma [$\text{m}^3/\text{év}/\text{állat}$] adott kategórián belül (a), adott országban (c),
adott termelési rendszerben (s)

VL_(szürke) : szürke vízlábnyom

VL_{itatás(a,c,s)} : az itatás vízlábnyoma

VL_{takarmányozás(a,c,s)} : takarmányozás vízlábnyoma

VL_{technológia(a,c,s)} : technológiai vízlábnyom

VRR: (volume reduction ratio) besűrítési arány

VSEP: Vibrációval segített membránszűrés

η_s : dinamikai viszkozitás [Pas]

1. Bevezetés

A víz napjainkban stratégiai fontosságú eleme a gazdaságnak, így a mezőgazdaságnak is, tehát a vízforgalom és a vízmenedzsment kiemelt fontosságú minden termelői és fogyasztói területen. Az ENSZ által megfogalmazott fenntartható fejlődési célok közül kettő is vízzel kapcsolatos. A 6. a tiszta víz és alapvető köztisztaság, illetve a 14., mely az óceánok és a tengerek védelmére hívja fel a figyelmet. A magasabb hőmérséklet, a kevesebb csapadék, az extrém időjárási körülmények mind befolyásolják a víz elérhetőségét, csökkentik az ökoszisztémák vízszolgáltató képességét a társadalom számára.

A vízgazdálkodás kiemelt szerepének erősítésére és az egyes ágazatok, tevékenységek vízfogyasztásának összehasonlítására kiváló lehetőséget nyújt a vízlábnyom, ezenbelül a kék-, a zöld-, és a szürke vízlábnyom értékének használata.

A mezőgazdaság és ezen belül az állattenyésztés vízfogyasztásának jelentőségére egyre több figyelem irányul mind tenyésztői, mind kutatói szemmel. A tejelő tehenészetek vízlábnyomának meghatározása egyre több országban kulcsfontosságú ahhoz, hogy fenntartható módon végezhessek a termelést, figyelembe véve annak környezeti, szociális és ökonómia hatásait. Az állattenyésztés vízlábnyoma egy átfogó mutató, ami adott telep szintjén elemzi a kék, a zöld és a szürke vizek mennyiségi és minőségi alakulását.

Az állattartó telepek szennyvízkezelése fejtörést okoz minden nagyüzemi tejtermelő szarvasmarha telepen. A tartási körülmények, a választott fajta, a menedzsment, a fejéstechnológia, a takarmányozás, az itatás és a keletkező szennyvíz tárolási lehetőségei mind befolyásolják egy tejelő szarvasmarha telep vízforgalmát, illetve a keletkező szennyvíz újra hasznosításának lehetőségeit.

Ahhoz, hogy a telepeken keletkező szürke vizet/szennyvizet újra fel lehessen használni a mezőgazdaságban, meg kell felelni a minőségi kritériumoknak. Ehhez szennyvízkezelési módszerek szükségesek. Kutatásom során kíváncsi voltam mely előkezelési módok bizonyulnak a leghatékonyabbnak és teszik lehetővé az előkezelt fejőházi szennyvíz további felhasználását. Ehhez a fő iránymutató a csatornába bocsátható víz szervesanyag határértéke, amely 1500 mg/L volt, ami egyúttal a környezetbe bocsátható szürke víz szerves anyag terheltségét is meghatározza.

2. Irodalmi áttekintés

Az Európai Bizottság, a körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési terv végrehajtásának részeként 2018. május 28-án, elfogadta a víz újra felhasználására vonatkozó minimum követelményekről szóló javaslatát. „A legnagyobb nyertes pedig a környezet lesz, mivel a javaslat a legértékesebb erőforrásunkkal, a vízzel való jobb gazdálkodáshoz járul hozzá” – mondta Karmenu Vella, a környezet politikáért, a tenger ügyekért és a halászati politikáért felelős biztos (MASZESZ, 2018). Az Európai Parlament 2019. február 12-én fogadta el a javaslatot, a tanácsi álláspont (általános megközelítés) pedig 2019. június 26-án került elfogadásra. Az Európai Parlamenttel október 10-én kezdődtek meg a tárgyalások, és azokat december 2-án sikerült egy ideiglenes megállapodással lezárni. A rendelet harmonizált paramétereket állapít meg azért, hogy a vizet mezőgazdasági öntözés céljából biztonságos legyen újból felhasználni, valamint további célja, hogy ezt a gyakorlatot ösztönözze, segítsen kezelni az aszályt és a vízhiányt (EUR-Lex, 2023). A rendelet a visszanyert víz felhasználási módjaként a mezőgazdasági öntözést javasolja, vízminőségi osztályokat határozott meg, és a tisztított szennyvíz mezőgazdasági felhasználását négy terménykategóriára osztotta, lsd. 2.1 táblázat).

A vízminőségi minimum követelményeket; E-coli, BOI₅, összes lebegő szilárd részecske, zavarosság, egyéb ellenőrzési követelményeket, hitelesítő ellenőrzésének szabályait, teljesítmény céljait és kockázatkezelési tervét is meghatározza. A Víz Keretirányelv (VKI) és az uniós irányelveknek való megfelelés érdekében Magyarország Kormánya víziközmű rendszerek és zöld-kék infrastruktúra megvalósítására hirdetett felhívást víziközmű tulajdonosoknak, a víziközmű szolgáltatókkal alkotott konzorciumoknak, a felszíni vizek minőségének javítása, a víziközmű hálózatok hatékonyságának növelésére, a fenntartható vízgazdálkodás előmozdítására, víztakarékosság és ellátásbiztonság, valamint a települési zöld-kék infrastruktúra kialakításának megvalósítása érdekében, melyet 2023. június 30-ig adhattak be a pályázók (PALYAZAT.gov.hu, 2023).

2.1 táblázat: A visszanyert víz minőségi osztályai és az engedélyezett mezőgazdasági felhasználási és öntözési módok és minőségi követelmények (Európai Tanács, 2020)

A visszanyert víz minőségi osztálya	Terménykategória	Öntözési módszer	Minőségi követelmények		
			BOI ₅ mg/L	össz. lebegő anyag mg/L	zavarosság NTU
A	Valamennyi nyersen fogyasztandó élelmezési célú termék, amelynek ehető része közvetlen kapcsolatba kerül a visszanyert vízzel.	Valamennyi öntözési módszer	≤ 10	≤ 10	≤ 5
B	Nyersen fogyasztandó élelmezési célú termények, amelyek ehető része a föld felett terem, és nem kerül közvetlen kapcsolatba a visszanyert vízzel, valamint a tej- vagy hústermelő állatok takarmányozására használt termények.	Valamennyi öntözési módszer	A 91/271/EGK	A 91/271/EGK	-
C	Nyersen fogyasztandó élelmezési célú termények, amelyek ehető része a föld felett terem, és nem kerül közvetlen kapcsolatba a visszanyert vízzel, valamint a tej- vagy hústermelő állatok takarmányozására használt termények.	Csepegtető öntözés			
D	Ipari növények, energianövények, vetőmagkultúrák	Valamennyi öntözési módszer			

Magyarországon, a tisztított szennyvíz mezőgazdasági felhasználása engedélyhez kötött tevékenység. A tevékenységet a talajvédelmi hatáskörében eljáró megyei kormányhivatal (talajvédelmi hatóság) engedélyezi.

Alkalmazási területek (GIFT, 2023):

- (EU) 2020/741 rendelet "minden olyan esetben érvényes, amikor a kezelt települési szennyvizet újra felhasználják öntözési célokra a mezőgazdaságban" és megfelel a következő minimális követelményeknek;

A "finomított" vizek újra felhasználhatók öntözésre a mezőgazdaságban. A tagállamok dönthetnek úgy is, hogy a vonatkozó előírásoknak betartásával más célokra – például ipari, polgári és környezetvédelmi célú újrafelhasználásra – használják fel.

Dolgozatomban ezt az iránymutatást követve vizsgáltam a tejelő tehenészetekben alkalmazott vízhasználati gyakorlatokat, és a lehetséges vízvisszaforgatási lehetőségeket.

2.1. Fenntartható vízhasználat szükségszerűsége a mezőgazdaságban

A globális vízhasználatból egyes tanulmányok szerint 69%-ot (Vos 2019), mások szerint 85 %-t (Shilomanov, 2020) a mezőgazdaság tesz ki. 2050-re 9,6 milliárd ember élelmiszer ellátásához 69%-kal kell növelni a kalóriabevitelt, ami rendkívüli kihívás a mezőgazdaság számára (Vos, 2019). A növénytermesztés és az állattenyésztés termelési kapacitásának növeléséhez alapfeltétel a víz célszerű használata különösen, hogy édesvíz készleteink kimerülő, véges formában állnak rendelkezésre. A magasabb hőmérséklet, kevesebb csapadék egyenlőtlen eloszlással és az extrém időjárási körülmények, mint az aszály, a belvív, az árvíz és az erdőtüzek mind befolyásolják a víz elérhetőségét, csökkentik az ökoszisztémák vízszolgáltató képességét (Payen és mtsi, 2018).

Az új szabályok lehetővé teszik a szennyvíz hasznosítását, így új vízkészletek kialakítását és ez gazdasági és környezeti költségek megtakarítását jelenti. A vízhiány okozta nyomás leküzdésére a célszerű vízhasználat, az újrahasonosítás és a sótalanítás tűnhet a legígéretesebb megoldásnak (Peters, 2019). A növekvő vízigény, az erőforrás hatékony technológiák alkalmazása, és a tisztított víz újra-használatának elfogadása mind döntő tényező egy olyan világban, ahol a lakosság egyötöde vízhiányos területeken él. 2025-re a világ népességének 30-35 %-a olyan területen fog élni, ahol az éves ivóvíz elérhetősége kevesebb lesz, mint 1000 m³ (Shiklomanov és Rodda, 2003). A világ népesség rohamos növekedése az élelmezés vízfogyasztásának növekedését vonja maga után, még akkor is, ha nem vesszük figyelembe a klímaváltozás negatív hatásait (UNDP, 2006).

Fontos azonban tisztázni a vízhasználat és vízfogyasztás közötti különbséget. Az ISO 14046 alapján, az emberiség vízhasználatát alatt értjük azt a vízhasználatot, ami nem csak a vízkivételt

foglalja magában, hanem bármilyen olyan vízfeltárást, ami befolyásolja vízkészletek minőségét, beleértve az *in-situ* (helyben történő) vízhasználatot: halászat, rekreáció, szállítás. A vízfogyasztás pedig olyan vízkivétel jelent, melynél a víz nem kerül vissza ugyanabba a vízhálózatba, hanem elpárolog a felszínről vagy a növényeken keresztül, termékbe integrálódik vagy más víztározóba pl.: a tengerekbe kerül. A tározókból történő párolgás is vízfogyasztásnak tekinthető.

A vízhiányos területek problémája felveti a hatékonyabb vízhasználat iránti igényt, mivel az édesvíz kivétel 80%-a felszíni vizekből táplálkozik. Az Európai Unió teljes vízkivételének 44%-át az energiatermelésre, 24%-át a mezőgazdaságban, 21%-át a társadalom és 11%-át az ipar használja fel (Neubauer, 2012). A lakossági vízhasználat javarészt a talajvízből származik. A vízkészletek mennyiségi és minőségi hanyatlása az emberi tevékenység által tovább fokozódik, azonban a technológiai innovációnak és az ipar szerepének változása miatt az ipari vízhasználat összességében csökken.

Nemzetközi viszonylatban a víz áramlását a kereskedelemben virtuális vízként, más termékek importjához és exportjához társították. Tehát a kereskedelem befolyásolja a virtuális vízforgalmat. A legtöbb virtuális víz vízhiányos területekről vándorol vízzel jól ellátott területekre étel, bioüzemanyag és ipari alapanyagok, pl. gyapot formájában.

A vízkészlet megőrzése stratégiai fontosságú tényező a jövő generáció számára. A fenntarthatóság a gazdaság, a környezet és társadalom harmóniáját feltételezi. Az Egyesült Nemzetek szervezete (ENSZ) által kitűzött fenntartható fejlődési célok közül kettő is vízzel kapcsolatos; a Tiszta víz és alapvető köztisztaság (6.) és Az óceánok és tengerek védelme (14.) (UNIS, 2019). A víz fenntartható használata a növénytermesztés és állattenyésztés termelési kapacitásának növeléséhez nélkülözhetlenné vált, figyelembe véve, hogy az édesvíz készleteink kimerülő erőforrások. Ezáltal a fenntartható vízkészlet gazdálkodás a jelenkor egyik legnagyobb kihívása. Az egyre kiszámíthatatlanabb időjárás, például a súlyos szárazságok, valószínűleg szintén kedvezőtlenül befolyásolják majd az édesvízkészletek mennyiségét és minőségét.

2.2. Vízlábnyom

A vízlábnyom a vízfogyasztás és a vízszennyezés együttes mutatója. Összetevői a kék, a zöld és a szürke vízlábnyom. A kék vízlábnyom a felhasznált felszíni és a talajvizet jelenti (Hoekstra és Hung, 2002). A zöld vízlábnyom azt a vízmennyiséget jelöli, amely vagy a csapadékból származik, vagy a talajban, illetve magában a növényzetben halmozódik fel. A szürke vízlábnyom pedig azt a vízmennyiséget jelöli, amely a szennyezett víz olyan mértékű hígításához szükséges, hogy az megfeleljen az előírásoknak.

A globális vízfogyasztással és vízhasználattal kapcsolatos kérdéseket elemzik a vízlábnyom segítségével. A hatékonyabb vízhasználat eléréséhez célszerű ismerni a vízlábnyom és komponenseinek fogalmát. Hoekstra és Hung 2002-ben definiálta a vízlábnyom fogalmát (VL), amely mennyiségi és minőségi indikátor is egyben. Ehhez a virtuális víz (Allan, 1993) és a környezeti lábnyom (Wackernagel és Rees, 1996) fogalmakat értelmezték együtt. A virtuális víz egy termék előállításánál felhasznált vízmennyiség. Az ökológiai lábnyom egységnyi terület, ahol a napi életvitelünkhöz szükséges élelem és energia megtermelhető.

A vízlábnyom összes komponense térben és időben is értelmezhető (Hoekstra és mtsi, 2011). Borsato és mtsi (2018) szerint, a termelési és a fogyasztási tevékenységek által keletkezett szennyvíz mennyiségi csökkentése globális kihívás a vízlábnyommal kapcsolatban. Ez egy mennyiségi változás, ami magába foglal egy minőségbeli terhelést is, így nyomást gyakorol a helyi édesvízkészletek elérhetőségére (Galli és mtsi, 2012; Pfister és Bayer, 2014). Azért is mennyiségi mutató, mert arra a vízmennyiségre utal, ami az emberiség adott életszínvonalon történő hosszú távú fenntartásához járul hozzá (Hoekstra és Chapagin, 2007). Egyre több kutatás vizsgálja a víz, az energia, és az élelmezés összefüggéseit. Ez a szemlélet a fenntarthatóság jegyében keres összefüggéseket az élelmiszeripari termékek és azok vízkészletekre gyakorolt hatásuk között. Liu és mtsi, (2008 a) szerint az állati termék előállításához szükséges vízmennyiség; a „virtuális víz” az egyik fő tényezője Kína vízhiányának. Későbbi tanulmányok (Huang és mtsi, 2014), már nem csak a növekvő tejipar mennyiségi vízhasználatát mérik fel, hanem környezeti szempont szerint vizsgálják annak hatását. Így az új nemzetközi standard „vízlábnyom” indikátorát veszik bele felmérésükbe. Vanham és Bidoglio (2013) és (UNEP, 2012) szerint a vízlábnyom olyan tényező, ami magába foglalja a fogyasztó vagy a termelő közvetlen (háztartási vízhasználatát) és a közvetett vízhasználatát (vízszükséglet ipari vagy a mezőgazdasági termékek előállításához).

Azonban, amikor a vízlábnyomot a mezőgazdaságon belül elemezzük, az extrém időjárási körülmények, a talajtulajdonságok és a mezőgazdasági termelékenység mind eltérő vízlábnyom szinteket eredményezhet (Kumar és Singh, 2005). Mekonnen és Hoekstra (2012) szolgáltatta a mezőgazdasági termékek vízlábnyomát tartalmazó, első globális adatbázist. Később többen követték őket (Castellanos és mtsi, 2016; Nana és mtsi, 2014). Az alapkoncepció a fenntartható vízerőforrás használatból indult ki, szem előtt tartva egy ország etikus vízfogyasztását, amely elősegíti az elővigyázatos víz politikát (Tuninetti és mtsi, 2016). Az élelmiszertermelés hatáselemzéséhez a környezeti indikátorok bevezetését tartották szükségesnek úgy, mint a karbon lábnyom vagy a vízlábnyom, ahol a vízlábnyom a termelő vagy a fogyasztó tevékenységéhez köthető vízpazarlást hivatott megállapítani.

A vízlábnyom a mezőgazdasági termékek vízfogyasztását a „termőföldtől az asztalig” (from farm to fork) értelmezi. Pontosabb megállapításokhoz a helyi környezeti indikátorokat kell számba venni, azonban Borsato és mtsi 2018 tanulmánya egyértelműen igazolja, hogy a mezőgazdasági termékek fenntarthatósága a víz és az energia készletekre kifejtett hatásuktól függ. A fenntartható vízkészlet gazdálkodás eléréséhez azonban a vízlábnyom a zöld, a kék és a szürke komponenseit részleteiben is elemeznünk kell. A WWF (World Wild Fund for Nature, 2010) szerint, a vízhiányos területek vízlábnyomának további növekedésével, még súlyosabbá válhat a természetes élőhelyek és a veszélyeztetett fajok helyzete, és az agrárpiaci árak is tovább növekedhetnek.

A vízlábnyomot elemző módszerek elkülönítik egy termék vagy egy folyamat közvetlen és közvetett vízhasználatát. A közvetlen vízhasználat a termék előállítás során közvetlenül kerül felhasználásra úgy, mint a csapadékból származó zöld víz vagy az öntözéssel kijuttatott kék víz. A közvetett vízhasználat a műtrágya gyártáshoz, az elektromossághoz közvetett módon felhasznált vizet jelenti.

A globális vízhasználatból és a vízfogyasztásból megközelítőleg 85 %-ot a mezőgazdaság teszi ki Shiklomanov (2000) szerint, Vos 2019-ben készült tanulmánya szerint viszont 69%-t. Mindkét érték magas, ezért különösen fontos minden vízforrás mezőgazdasági alkalmazásra történő megfeleltetése. A zöld vizet keletkezésének helyén csapadék formájában használjuk fel. Rockström és mtsi (2009) szerint a zöld víz a telítetlen talajrétegben tárolt víz, ami csapadékkal keletkezik és elérhető a növények számára. A kék víz a folyókban, a tavakban, és vizes élőhelyeken vagy a tározókban fellelhető víz.

A zöld vízkészlet mezőgazdasági felhasználása az öntözésen keresztül egyre inkább az érdeklődés homlokterébe kerül (Glavan és mtsi 2012, Willaarts és mtsi, 2012, Falkenmark és Lannerstad, 2007; Rockström és Gordon, 2001). A legnagyobb kékvíz készlet felhasználó pedig az öntözéses mezőgazdaság, ezért a későbbi vízlábnyom tanulmányok már együtt értelmezték a kék és a zöld vizet; Aldaya és mtsi (2008), Sonnenberg és mtsi (2009), Van Oel és mtsi (2009), Bulsink és mtsi (2010), Liu és Savenije (2008 B), Verma és mtsi (2009). A szürke vízlábnyom a szennyeződéssel kapcsolatos jellemző mennyiség, így összehasonlítható a vízfogyasztás mennyiségével (Hoekstra és Chapagain, 2008).

Az édesvíz felhasználás magába foglalja az elfogyasztott vizet és azt a vizet, ami asszimilálja a szennyező anyagokat tehát a zöld, a kék és a szürke vízlábnyomot is (Mekonnen és Hoekstra, 2011 b).

A legutóbbi kutatások a vízszennyezést a vízhiány egyik fő okaként tartják számon. Egy jelentés felfedte, hogy a vízfogyasztás mellett a szennyezés is meghatározó tényező a vízhiány fokozásában (UNDP, 2006). A szürke víz vizsgálata akkor lehet érdekes, ha a szennyvízkezelés után felhasználásra kerül egyéb célra: pl.: öntözés. Ha sikerül elérni az öntözővíz minőséget, csökkenthető a környezetterhelés mértéke. Ha a kezelt szürke víz helyettesítheti a kék vizet nem csak környezeti, de ökonómiai szempontból is fenntarthatóbbá teszi a vízhasználatot.

2.3. Az állattenyésztés vízhasználata és vízlábnyoma

Az állattenyésztés vízfogyasztására egyre több figyelem irányul, mind tenyésztői, mind kutatói szemmel (Ridoutt és Pfister, 2010).

Az állati eredetű termékek előállításához szükséges alapanyagok hatékonyabb felhasználása az egyik legnagyobb kihívás a jövő élelmiszer termelésében (Aiking, 2014; Steinfeld és mtsi, 2013). Az állati eredetű termékek minél hatékonyabb módon történő alapanyag felhasználása az egyik legnagyobb kihívás a jövő élelmiszer-alapanyag termelésében (Steinfeld és mtsi, 2013, Aiking, 2014). Kína a világ legnépesebb országa rohamos gazdasági fejlődéssel. Étkezési szokásai egyre inkább a magas kalóriatartalmú állati zsírok és a fehérjék felé irányulnak. A tejtermékek fogyasztása 1990 és 2000 között évi 6 kg-ról 30 kg/főre emelkedett (FAO, 2012). A tejelő tehenészetek vízlábnyomának meghatározása egyre több országban kulcsfontosságú

ahhoz, hogy fenntartható módon végezhessek a termelést figyelembe véve annak környezeti, szociális és ökonómia hatásait.

Az állattenyésztés vízlábnyoma egy olyan átfogó mutató, ami egy adott telep szintjén elemzi a kék-, a zöld- és a szürkevíz mennyiségi és minőségi alakulását. A vízlábnyom, magától értetődően, nagymértékben függ az adott ország gazdasági és környezeti adottságától.

Az állattenyésztés globális vízlábnyoma 2,4 billió m³ évente (87% zöld, 6% kék, 7% szürke). Ennek egyharmada a húsmarhákhoz, 19%-a a tejelő szarvasmarhákhoz köthető (Mekonnen és Hoekstra, 2010).

Az állattenyésztés vízlábnyomának 98%-át a takarmányozás teszi ki. A maradék 2% megoszlik az ivóvíz, a technológiai víz és az egyéb vízhasználat között (Hoekstra, 2011). Egy ország állattenyésztésének vízlábnyomát a gazdasági és a környezeti adottságok mellett meghatározza a potenciálisan tenyésztett állatfaj, a fajta, az állományméret, a tartásmód és a takarmányozás.

2.3.1. A tejelő tehenészetek vízhasználata és vízlábnyoma

A tejtermelés a világon mindenhol jelentős, így jó példaként szolgál a vízhasználat elemzésére a különböző földrajzi elhelyezkedés, a technológia és a menedzsment tekintetében.

A tejelő tehenészeti telepek intenzív vízfelhasználók (Singh és mtsi, 2004). A tejelő tehenészetek vízfelhasználását nagyban befolyásolja a fajtaválasztás. A holstein-fríz mennyiségi tejtermelésben világelső, ami a tejmennyiségre való szelekciónak köszönhető. Ezáltal kevesebb egyedszámmal tud egységnyi mennyiségű tejet termelni az adott tehenészeti telep, hatékonyabb vízfelhasználás mellett (Drastig és mtsi, 2010). Magyarországon ez a tejhasznú fajta a legelterjedtebb, ami indokolja a vízhasználatának felmérését adatgyűjtés szempontjából is.

A tejtermelő tehenészetek vízhasználatának fenntarthatósága jelentős gazdasági érdek is. A tudatos vízhasználat az export tej piacképességének javulását eredményezheti (Murphy és mtsi, 2016). Ezért nem csak hosszú távú környezeti és társadalmi hatások válnak fontossá a tejtermelés vízlábnyomának felmérésénél, hanem a rövid távú gazdasági haszon is. A hatás elemzés szempontjából tehát fontos, hogy az üzleti érdeket, a környezetet vagy a társadalmat tartjuk szem előtt.

A vízzel kapcsolatos kihívások sokkal komolyabbak a vízhiánnyal sújtotta területeken. Az édesvíz készleteink túlzott kiaknázása is problémát jelent, különösen, hogy azok kimerülő, véges formában állnak rendelkezésre. A kárenyhítő stratégiákat társadalmi, ökológiai, környezeti és gazdasági szempontok szerint érdemes számba venni, melyek lefedik a fenntarthatóság alappilléreit (Borsato és mtsi, 2018). Looper és Waldner 2002-ben megállapították, hogy szarvasmarha esetében a víz építőköve a testfolyadékoknak, felelős a megfelelő ionegyensúlyért, az emésztésért, a tápanyag felvételért, az emésztésért, a szervezet számára felesleges anyagok elkülönítéséért, a hőelvezetésért, a magzat számára ideális környezet megteremtéséért és a tápanyagtranszportért a testszövetekből és azok közé.

Khelil-Arfa és mtsi 2012, meghatározták, hogy a szarvasmarha vízfelhasználásának legnagyobb része ivóvíz (67%), ami a kék vízbázison alapul. A National Research Council 2001-es tanulmánya szerint 83%-a a tejelő szarvasmarha vízszükségletének maga az ivóvíz. A megfelelő mennyiségű ivóvíz biztosítja az állategészségügyi, tejtermelési és állatjóléti szükségleteket (LeJeune és mtsi, 2001). Nagyon fontos megemlíteni a hőmérsékletet is, mivel az alapvetően meghatározza az állatok ivási szokásait. A tejelő szarvasmarha $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ között érzi a legjobban magát (Cardot és mtsi, 2008, Meyer és mtsi, 2004).

A zöldvíz a takarmány fogyasztással kerül bevitelre. A szervezetben a víz 25%-a tejbe integrálódik, 58%-a a vizeletbe és a bélsárba kerül, így szürkevíz lesz belőle. Azonban nagyon fontos figyelembe venni, hogy nincs egységesített vízigény egyedenként. A felvett vízmennyiséget számos tényező befolyásolhatja; a testtömeg, a fiziológiai állapot, a vemhességi idő, a laktáció, a takarmányozás, a hőmérséklet, a vízellátás, a tartásmód és a környezeti stressz (FAO, 2018). A cranfieldi egyetem szakértői tejtermelő telepeken elemezték a víz útját. A közvetlen vízfogyasztás az ivóvízből, a mosóvízből (tőgy, fejő- és hűtő berendezés) és a tisztításhoz (padozat) szükséges vízből tevődik össze (Hess, 2012).

A tejelő tehenészetek vízlábnyoma 19 %, azaz 460 millió $\text{m}^3/\text{év}$ a teljes állattenyésztés vízlábnyomából (Mekonnen és Hoekstra, 2010). A vízlábnyom alakulását befolyásoló tényezők (az éghajlat, a fajta, az állományméret és a takarmányozási és a tartási gyakorlat) egy adott telepen nagyon összetetté teszik az elemzést. A környezeti tényezők mellett a fejéstechnológia, a menedzsment és a tejtermelés mértéke szintén meghatározza a telepek vízhasználatát.

Gac és mtsi (2016) elemzése környezeti szempontból értékelté élelmiszeripari termékek vízlábnyomát 1990 és 2035 között nemzetközi vonatkozásban. A funkcionális mértékegységet

1 kg fehérjére és zsírra korrigált tej jelentette. A korábbi termelési rendszer, az állomány létszám és a napi menedzsment adatok alapján számolták ki a gázkibocsátást, az energiafelhasználást és a hozzájuk tartozó vízlábnyomokat. 1990 és 2010 között az üvegházhatású gázkibocsátás 11%-kal, az energiafogyasztás 22%-kal csökkent a szarvasmarha szektorban. Ennek az az oka, hogy a tejtermelés hatékonysága nőtt mivel kevesebb tehenlétszám mellett is tartották a jövedelmező termelési szintet. Javult az energiatakarékosság és a termékenyítési arány is. A termelés intenzifikációja és a törzsállományok központosítása hozzájárult az állandó legelőterületek csökkentéséhez. Ezek a kutatások mind azt bizonyítják, hogy a tehenészetek vízlábnyomát környezeti szempontok szerint is érdemes elemezni. A michigani Gough és mtsi (2010) szerint a vízhiányos területeken verseny folyik a különböző vízhasználók közt. Így a jövőben feltétlen növelni kell a tehenészetek vízhasználatának hatékonyságát.

A tehenészetek vízhasználata a típustól, és a fajtától függően is eltérhet. A zebu x szarvasmarha keresztezésével kialakított hibridek jelentősebb hő-stressztűrő képességük miatt kevesebb vizet fogyasztanak, mint a brit és az európai szarvasmarha fajták (NSW, 2014). Drastig és mtsi (2010) szerint a holstein fríz fajtára történő váltás nagyban befolyásolta a tejtermelő tehenészetek vízhasználatának alakulását. A 2.2. táblázatban a szarvasmarhák napi vízigénye látható korcsoportonként.

2.2. táblázat: Tejtermelő tehenek napi vízigénye

Kategória	Tejtermelés (kg tej/nap)	Vízigény (L/nap)
Növendék (1-4 hó)	-	4,9-13,2
Üsző (5-24 hó)	-	14,4-36,3
Tejtermelő	13,6	68-83
	22,7	87-102
	36,3	114-136
	45,5	132-155
Szárazonálló	-	34-49

Forrás: FAO 2018

Az állományméret növelésével javul a telep gazdaságossága (Gilmour és mtsi, 2009). Így egységnyi terméket (1 liter tej) kisebb beviteli anyagszükséglettel tudnak előállítani. Azt is megállapították, hogy a telep jövedelmezősége leginkább a menedzsmenttől függ. Az állomány méret függ a vízelérhetőségtől, az elhullástól, az infrastruktúrától, a takarmánytól, az üszők felvásárlási árától és a tervezés hatékonyságától. A napi vízhasználat az állomány méret növekedésével arányosan nő (Agriculture Victoria, 2019).

A takarmányozási technológia, a takarmányértékesítés hatékonysága, valamint a takarmányok összetétele szintén befolyásolja a vízlábnyom alakulását. A takarmányozáshoz köthető vízlábnyom alakulását befolyásolja a takarmányértékesítő képesség. Legelőre alapozott, extenzív tartásmódnál az állatok többet mozognak, ezáltal a kívánt testtömeg gyarapodást hosszabb idő alatt, nagyobb mennyiségű takarmány fogyasztása mellett érik el, mint az intenzív megoldás során. Ezért az intenzív tartásnál jellemző a legkisebb vízlábnyom. A koncentrált takarmány előállításánál gyakran öntöznek kék vízzel és tápanyag utánpótlást is végeznek. Emiatt itt a kék- és a szürkevíz is felhasználásra kerül. A koncentrált takarmányadagok növelésével a vízlábnyom is nőni fog, mivel ezen takarmányok előállítása jóval nagyobb vízlábnyommal jellemezhető, mint a fűfélék vagy más tömegtakarmányok. Ezek alapján összefüggés van a tartásmód és a takarmányozási gyakorlat között. A termelési régió, a takarmány összetétele és az összetevők származási helye mind befolyásolja a vízlábnyom alakulását.

A vízlábnyom értékének kiszámításánál alapvető meghatározó elem az ivóvíz fogyasztás. Ennek megállapításához több elmélet, számítási koncepció is megszületett. Ezeket a 2.3 táblázatban foglaltam össze.

2.3 táblázat: Napi vízfogyasztási becslő modellek

Forrás	Modell
Castle és Thomas (1975)	$-15,3 + (2,53 \times \text{tej kg}) \times (\text{takarmány szárazanyag}\%)$
Meyer és mtsi (2004)	$-26,1 + (1,30 \times \text{tej kg}) + (0,406 \times \text{Na bevitel}) + (1,516 \times \text{napi középhőm.}) + 0,058 \times \text{élősúly}$
Khelil és mtsi (2012)	$-77,6 + (3,22 \times \text{szárazanyag bevitel kg}) + (0,92 \times \text{tejtermelés kg}) - (0,28 \times \text{abrak szá. tartalmának \% - az összes szá.-on belül}) + (0,83 \times \text{takarmány szá.}\%) + (0,037 \times \text{élősúly kg})^*$
	$-41,1 + (1,54 \times \text{tejtermelés kg}) - (0,29 \times \text{abrak szá. tartalmának \% - a az összes szá.-on belül}) + (0,97 \times \text{takarmány szá.}\%) + (0,039 \times \text{élősúly kg})^{**}$
Appuhamy és mtsi (2016)	$-68,8 + (2,89 \times \text{szárazanyag bevitel}) + (0,44 \times \text{takarmány szá.}\%) + (5,6 \times \text{hamu \%}) + (1,81 \times \text{CP}\%)^*$
	$68,8 + (1,43 \times \text{tej}) + (0,064 \times \text{NaK}) + (0,83 \times \text{takarmány szá.}\%) + (0,54 \times \text{metabolizálható fehérje}\%) + (0,08 \times \text{szá. bevitel})^{**}$

*szárazanyag bevitel ismeretében, ** szárazanyag bevitel ismerete nélkül

Az emberi tevékenység által okozott minőségi és mennyiségi romlás az édes víz készleteinkben egyre komolyabb méreteket ölt. A vízlábnym indikátor bevezetésével pontosabban értékelhetjük az elsődleges termelés és a feldolgozás vízfelhasználását. Amennyiben a termelők és a feldolgozók meg tudják állapítani, hogy melyek azok a pontok a termelés és feldolgozás során, melyek a legnagyobb vízigényűek, könnyebben találnak megoldást a hatékonyabb vízgazdálkodásra. A kék-, a zöld- és a szürkevíz, valamint a folyamatok kék, a zöld és a szürke vízlábnymának külön-külön történő elemzése átfogó és részletes értékelést tesz lehetővé, így a következtetések és javaslatok is pontosabbak lehetnek a jövő szakemberei számára.

Csak néhány tudományos elemzés áll rendelkezésre a fejőházi vízhasználatról (Palhares és Pezzopane, 2015). Krauss és mtsi (2015), ezek mindegyike hangsúlyozza, hogy a fejőberendezés és a tejtankok belső mosása automatikus, tehát a vízhasználatuk ezáltal állandó. Azonban a fejőház teljes vízhasználata függ a fejőház alapterületétől, a dolgozók takarításra

alkalmazott vízhasználatától, pl. a víznyomás szabályzóval felszerelt tömlőkkel takarékosabb vízhasználat érhető el, a fejőberendezés típusától és a telep menedzsmenttől. Drastig és m (2010) feltárták, hogy az intenzív tartási rendszerek vízhasználata fenntarthatóbb, mint a hagyományos rendszereké. Eredményük alapján $3,94 \pm 0,29$ liter átlagos kékvíz használat volt szükséges 1 kg tej előállításához.

A genetikai előrehaladás, a tejtermékekre vonatkozó egyre szigorúbb minőségi követelmények, és az újabb és újabb hardverek és szoftverek mind befolyásolták a fejéstechnológia fejlődését (Mihina és Lobotka, 2001), az egyre nagyobb átlagos tejtermelés pedig meghatározta a fejőberendezés típusok alakulását. Először parallel, halszálkás, tandem és körforgós fejőházak terjedtek el Magyarországon. Ezek különböző változatait ma is használják (poligon halszálkás fejőház). A fejéstechnológia legnagyobb fejlődése annak a komplex hatékonyság növelésnek köszönhető, amely bevonta a tejhigiéniát, a tejleadás fiziológiát, és az online fejési paraméterek vizsgálatát is a fejőberendezések értékelésébe. A minőségi tejtermelés garanciája a környezeti higiénia biztosítása a fejőberendezések belső és külső mosását, fertőtlenítését, valamint a fejőház rendszeres tisztítását is jelenti.

Ezzel együtt az egyedi termelési paraméterek elemzése is fontossá válik az egyedi azonosítással az állatjólét figyelembevételével. A fejőrobotok sokkal inkább biztosítják a tehenek egyedi igényeinek kielégítését, mint a hagyományos fejőházi, csoportos fejési megoldások. Tremblay és mtsi (2016) megállapították, hogy nagyobb az átlagos fejt tejmennyiség szabad tehenforgalmú rendszerben (robot), mint irányított forgalmú fejőrendszerekben. Jurkovich és mtsi (2017) vizsgálatai alapján a hagyományos fejéssel szemben a robotfejés kevesebb stresszt okoz a tehenek számára. Azonban fontos a termelékenység, és a nyugodt vérmérsékletre történő szelektálás, mivel a teheneknek alkalmazkodniuk kell a teljesen automatizált környezethez (Húth és mtsi, 2019).

Boguniewicz-Zablockae és mtsi (2019) szerint, $1-10 \text{ m}^3$ víz szükséges 1 m^3 tej termeléséhez. Wankhade és mtsi (2021) szerint a fejőberendezés vízhasználata 42 L/tehen/nap és kézi fejésnél ez 28 L/tehen/nap-ot jelent. Azonban 1 kg tejtermelésre vonatkoztatott vízhasználat kevesebb vizet igényelt (4 L) mint a kézi fejés (4,26 L), mivel a fejőberendezéssel nagyobb átlagos tejtermelés érhető el a technológia és a fejésszám miatt, a magasabb vízhasználatot kompenzálja a nagyobb tejtermelés. Krauss és mtsi (2015) szintén alátámasztotta, hogy az tejtermelés van a legnagyobb hatással a vízhasználatra. A fejőrobot esetében 0,2 - 0,4 liter volt az 1 kg

tejtermelésre vonatkoztatott vízhasználat (Rasmussen és Petersen, 2004). Norvégiában a technológiai vízhasználat 0,3 liter 1 kg tejtermelésre vonatkoztatva (Eide, 2002). Németországi tejelő tehenészetekben nem több mint a teljes vízhasználat 5 %-a a technológiai vízhasználat, ami még mindig lényegesnek számít, ha azt vesszük figyelembe, hogy kékvizet használunk hozzá (Krauss és mtsi, 2015). Krauss és mtsi, (2016) feltárták, hogy a fejőrobot tisztítására tehenenként 28,6 liter vizet használtak fel, ami a teljes vízmennyiség 7%-a. A halszállás fejőberendezésnél 18%-kal több, 33,8 L/tehen volt a napi felhasznált mosóvíz mennyiség.

Mindent összevetve tehát kimondhatjuk, hogy három alapvető stratégia segíti az állattenyésztés vízhatékonyágát közvetlenül: a takarmány eredete, a termelékenység fokozása és a vízmegőrzés (Peden és mtsi, 2007).

2.4. Szennyvíztisztítási eljárások

A mezőgazdaság számára meghatározó szerepet tölt be a tejelő tehenészetekben keletkező szennyvíz. A szennyvíz mezőgazdasági hasznosítása nem újkeletű dolog, hiszen amikor a települések csapadék- és szennyvizét a csatornázások bevezetésével tudatosan összegyűjtötték, akkor már ebből öntözték a termőterületeket. Ezt szennyvízöntözésnek nevezték, melynek célja egyértelműen annak hasznosítás volt (MASZESZ, 2018).

Hazánkban jelenleg a 40/2008 (II.26.) Korm. rendelet (50/2001 (IV. 3.) Korm. rend. módosítása) határozza meg a szennyvizek és a szennyvíziszapok felhasználásának és kezelésének szabályait. Az engedélyezési eljárás talajtani vizsgálathoz kötött, illetve a közegészségügyi, a vízügyi, az állategészségügyi és a környezetvédelmi szakhatósági szakvéleményt és az önkormányzati hozzájárulást is megköveteli. A talajtani vizsgálatokhoz és az engedélyezéshez szükséges határértékeket a 10/2000 (VI.2.) KöMEüM-FVM-KHVM együttes rendelete, illetve annak módosítása, a 6/2009. (IV. 14.) KvVMEüM-FVM adja meg. A rendelet szennyezettségi határértékeket határoz meg a földtani közegre és a felszín alatti vízre vonatkozóan (Jogtár, 2022).

A talajtípust figyelembe véve, a szennyvizek öntözésre való alkalmasságát azok toxikus anyag tartalma és összes oldott só koncentrációja határozza meg. A talaj sótartalmának növekedése szikesedéshez vezethet. A szennyvíz öntözéshez a közép-kötött és a könnyebb vályogtalajok a legmegfelelőbbek (Tamás és Blaskó, 2014).

A tejtermelő tehenészeti telepeken 2,5-szer több szennyvíz keletkezik a napi fejt tejmennyiséghez képest (Slavov, 2017). Ennek mennyiségét azonban befolyásolja a fejőberendezés típusa, a fejéstechnológia és a vízgazdálkodási gyakorlat is. Így elérhető 1 m³ szennyvízmennyiség 1 tonna fejt tej mennyiségre vonatkoztatva. A tejelő tehenészeti telepeken keletkezett szennyvizet szikkasztó medencékben tárolják, ahonnan rendszerint a környező termőföldekre juttatják ki. A hígtrágya termőföldre történő kijuttatását „a termőföld védelméről” szóló 2007. évi CXXIX. törvény 50/A. §-a szabályozza, mely szerint a hígtrágya termőföldi kijuttatási szándékot egy talajvédelmi terv, valamint a földhasználói hozzájáruló nyilatkozat benyújtásával együtt be kell jelenteni a talajvédelmi hatóság (a kormányhivatalok növény- és talajvédelmi osztálya) részére (Agrofórum, 2019).

A kellően tisztított szennyvíz használatával hozzájárulunk a környezeti célkitűzések megvalósításához, stabilizálhatjuk vízkészleteinket a víz helyben tartásával, az aszály és a vízhiány által veszélyeztetett területek vízutánpótlása megoldható, illetve a mezőgazdasági, az ipari, valamint a települési/tájképi célú hasznosításra nyílik lehetőség. Mindezek fényében vizsgáltam különböző szennyvízkezelési eljárásokkal az újra használható víz előállítását és annak felhasználási lehetőségeit.

A mai gazdasági és környezetvédelmi elvárásokat, és előírásokat a három fokozatos víztisztítók elégítik ki. Az első fokozat a mechanikai tisztítás, ahol a rácsokkal, ívszítákkal szűrik ki a 3-6 mm-nél nagyobb szilárd anyagokat, és zsírfogók alkalmazásával a zsíradékokat. A biológiai tisztítás jelenti a második fokozatot, melynek során a természetben is előforduló aerob baktériumok segítségével eltávolítják, lebontják a szennyvízből a szerves anyagokat, majd a harmadik fokozatban történik az ún. kémiai tisztítás. Itt a mikro-szennyeződések aktív szénnel lehet megkötni, míg az ammónia, nitrit, nitrát, foszfor stb. sóinak koncentrációját desztillációval, fordított ozmózissal, ioncseréléssel, elektro dialízissel lehet csökkenteni. Az EU ajánlsainak megfelelően a közeli jövőben tervezik a szennyvíztisztítóknak egy újabb lépés bevezetését, ami a nehezen lebontható mikroszennyezők (homon-, gyógyszer-, növényvédőszer maradványok) eltávolítását célozza, pl. nagyhatékonyságú oxidációs eljárás vagy membránseparáció segítségével.

A szennyvizek tisztítását és újrahasznosítását szolgáló műveletek közül a koaguláció és flokkuláció (pelyhesítés) egy igen jelentős tisztító művelet. A koaguláció-flokkuláció a

szennyvíztisztítás folyamatában a biológiai kezelés után helyezkedik el. A koaguláció során a szennyeződések aggregálódnak és összetapadnak, ezáltal nagyobb és nehezebb részecskéket képeznek. A flokkuláció során pedig az apró szilárd/kolloid részecskék csoportosulnak össze nagyobb, láthatóbb csomókká/flokkokká, a részecskék közötti vonzó erők vagy kölcsönhatások következtében. Az elmélet ugyan külön választja a két folyamatot, a szakmai hivatkozásoknál azonban többnyire csak a flokkuláció kifejezést használják, beleértve a koaguláció mechanizmusát is, ezért dolgozatomban én is többnyire csak flokkulációként említem ezt a kettős, egymástól alig elválasztható mechanizmust.

A képződött flokkokat különválasztják a folyadéktól, így lehetővé téve a tisztább víz vagy a feldolgozott anyagok további használatát. A polielektrolitok elektromos töltéssel rendelkező polimerek, amelyek vonzzák vagy taszítják a részecskéket a folyadékban. Pozitív vagy negatív töltésük alapján kationos vagy anionos flokkuláló szerekként használhatók. Bizonyos fém-sók, például az alumíniumsók (például alumínium-szulfát) és a vas-sók (például vas-klorid vagy vas-szulfát), is flokkuláló hatással bírnak. Ezek a vegyületek elektrokémiai reakciókon keresztül képesek aktiválni a részecskék összecsapódását és flokkolódását. Néhány természetes anyag, például a keményítő, a zeolitok vagy a lignin környezetbarátabbak és biológiai lebomlóak, így előnyt jelenthetnek a flokkuláláskor. A szennyvíztisztítás során felhasznált flokkulálószer kiválasztását elsősorban az határozza meg, hogy milyen típusú részecskéket és milyen folyadékot szeretnének kezelni.

A flokkulálást, elsősorban tejipari szennyvíztisztításánál, már több kutató vizsgálta; Wolf és mtsi, (2015) a hagyományos módon kezelt szennyvizeknél alkalmazott flokkuláló szereket és azok optimális dózist határozták meg. Muniz és mtsi, (2021) szintetikus tejipari szennyvizeknél vizsgálták a szerves koaguláló szerek optimális dózist és pH értékét. Husein és Al-As'ad (2015) állattartó telepek szennyvizének reverz ozmózis tisztítását elősegítően, a felhabzás megelőzésére alkalmazták a flokkulálást, sikeresen. Tejelő szarvasmarha telepek esetében flokkulálással kapcsolatban Pariseau és munkatársai (2013) közöltek adatokat, de nem közvetlenül a keletkező szennyvizet, hanem a telep környéki felszíni vizek mikrobiológiai változását vizsgálták meg.

A flokkulálással képződő csomók, szilárd halmazállapotú tömörülések ülepítéssel, flotálással, ill. centrifugálással választhatók le a rendszerből. Kétségtelen tény, hogy a centrifugális erő sokszorosan, több százszorosan felül tudja múlni a gravitációs erőter által nyújtott szétválasztási

hatékonyságot, de az energia felhasználás szempontjait figyelembe véve az ülepités kétségtelenül előnyösebb, különösen olyan nagy mennyiségek, és piaci szempontból nem túl értékes rendszerek esetében, mint a szennyvizek. Néhány ígéretes felhasználási lehetőség esetén azonban, például a rothasztás után megmaradt szagtalan szennyvíziszapot centrifuga segítségével víztelenítik, és hasznosítják a mezőgazdaságban (Aerzen, 2023).

A flokkulumoktól megtisztított szennyvíz, vagyis a felülúszó tovább-tisztítására membránszűrés ad kiváló, hatékony, irányítható lehetőséget, akár közvetlen áramban, akár a kémiai tisztítást követően.

A membránszűrés egy olyan szétválasztási eljárás, ahol a fluidumok a szűrőközegként használt membrán segítségével két részre, a permeátumra - átáramlott rész-, ill. a koncentrátumra - visszamaradó rész - bonthatóak. A membránok pórus méretének i.e. cut off/vágási érték megválasztásával szabályozhatjuk a permeátum és a koncentrátum áramának összetételét. A vágási érték az a daltonban kifejezett globuláris fehérjére vonatkoztatott móltömeg érték, amelyet a membrán az anyagtranszport során 90%-ban visszatart. A membránszűrési transzportfolyamat hajtóereje a nyomáskülönbség. A membránszűrési műveletek közé sorolható mikroszűréssel a kolloid anyagok, mikroorganizmusok leválasztást végezhetjük el (0,1- 1 mikrométer). Az ultraszűrési technika egy nagyságrenddel kisebb összetevők, polimer molekulák leválasztására megfelelő (10 - 500 kDa), míg a nanoszűrés a kisméretű szerves molekulák eltávolítására alkalmas (3000 - 10000 Da). A reverz ozmózis elméletileg csak a vízmolekulákat engedi átáramlani a membránon. A membránszűrési eljárások jól ismertek az italiparokban, a tejiparban a tartósító iparban és a gyógyszeriparban. Számos kutatási eredmény elérhető ebben a témában ezekre az iparágakra vonatkozóan (Zakar és mtsi, 2016, Das és mtsi, 2016, Chen és mtsi, 2018), azonban tejelő tehenészetekben keletkező szennyvíz membránszűréssel kapcsolatos eredmények még nem elérhetők, ami kutatásom újdonság értékét mutatja.

A leggyakoribb membrán alapanyagok: a poliszulfon és származékai, a poliamid, a poliakrilnitril és származékai, a cellulóz származékok és az alifás poliamidok. A membránszűrések hatékonyságát a membrán pórusainak eltömődése, ill. a membrán felületén kialakuló ellenállás-rétegek kialakulása nagymértékben csökkentik. Ennek a kedvezőtlen hatásnak minimalizálására több módszer is alkalmazásra került, melyek vagy a membrán felületén kialakuló nyíróerő növelésével - vibráció, ultrahang, visszamosás - , vagy a membrán-

fluidum kölcsönhatás megváltoztatásával - kompozit membránok, katalitikus membránok - fejtik ki hatásukat. A vibráció alkalmazása a membránszűrési technológia kapacitásának növelése mellett a nyert permeátum minőségi paramétereit is pozitívan befolyásolja (Hodúr és mtsi, 2013). Vibrációs membránszűrővel történő ipari szennyvízkezelések kutatása egyre szélesebb körben elterjedt (Chen és mtsi, 2018, Kim és Min 2019, Ganju és Gogate, 2017, Kertész és mtsi, 2011). A tejelő tehenészetek vibrációs membránszűréssel történő szennyvízkezelését viszont még senki nem vizsgálta, ami megerősíti témaválasztásomat.

Az ultrahang, mint szűrési hatékonyságot növelő módszer, a kavitáció miatt segíti az anyagátvitelt (Gondrexon és mtsi, 2015) elsősorban azért, mert az ultrahang által generált nyomásváltozás következtében a képződő gőz- és gázbuborékok (Ahmad és mtsi, 2012, Kentish és mtsi, 2010) adott nyomás elérése esetén szétrobbannak, vagyis kavitálnak. Ez a jelenség az anyagátvitel mellett a reverzibilis (fizikai behatással megszüntethető) és irreverzibilis (kémiai kezeléssel csökkenthető) ellenállás mértékére is hatással van (Lemmer és mtsi 2020). Az ultrahang alkalmazását több kutatás említi szennyvízkezeléssel kapcsolatosan, például Adulkar és Rathod (2014) a magas zsírtartalmú tejipari szennyvizek enzimes zsírbontását és emulgeálását segítette sikeresen ultrahang alkalmazásával. Zinadini és mtsi, (2015) szakaszos reaktorokban, szintetikus szennyvizek alkalmazása mellett vizsgálták a nagy frekvenciájú ultrahang hatását az üledék lerakódására. Az 1,7 MHz-en végzett ultrahang kezelés növelte az üledék lerakódás sebességét, viszont a mikrobiológiai aktivitást nem befolyásolta. Kertész és mtsi (2016) szerint, az időszakos ultrahangos kezelés membránszűrés során nem csak a szűrés hatékonysága, hanem az energiafogyasztás hatékonyság szempontból is eredményes lehet ipari víztisztításnál. Ezek alapján kézenfekvőnek adódott az ultrahanggal egybekapcsolt membránszeparáció alkalmazhatóságának vizsgálata.

A nagyhatékonyságú oxidációs eljárások (advanced oxidation processes, AOPs) számos szennyező anyagot képesek oxidálni kémiai adalékok nélkül fotolízis, fotokatalízis vagy ózonozás alkalmazásával. Az AOPs eljárások során olyan rövid élettartamú köztitermékek, gyakran szabadgyökök képződnek, amelyek képesek a perzisztens és ellenálló szerves anyagokat biológiai anyagokká, akár szén-dioxiddá és vízzé valamint szervesetlen sókká átalakítani (Boczkaj és Fernandes, 2017). Ezek az eljárások gyakran olyan esetekben is alkalmazhatók, amikor a biológiai kezelések nem vezetnek célra így időnként a nem

biológiailag lebontható vegyületek előkezelésére is használják őket (Ippolito és mtsi, 2025), pl. membrán szűréseket megelőzően, hiszen a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások csökkentik az oldott anyag hidrofób jellegét és megváltoztatják a szürendő komponensek méretét, ezáltal csökkentik a membráneltömődést és hatékonyabbá válik a membránszűrési folyamat (László és mtsi, 2009). Az ózon 10 %-kal növelte a permeátum fluxusát poliéterszulfon membrán alkalmazásánál Park (2002) vizsgálataiban, mert az ózon reakcióba lép a membránon eltömődést okozó anyagokkal, így magasabb fluxust eredményez.

Veréb és mtsi (2015) szerint az olajszennyezett vizek zavarossága ózonos előkezeléssel kombinált membránszűrés hatására már 20 %-kal csökkent az első 5 percben, később pedig nem csökkent tovább. A csökkenés oka, hogy az oxidáció hatására keletkező poláris vegyületek megváltoztatták a cseppek felületi töltését.

A membrán-szeparációt megelőző vagy ahhoz kapcsolt ózonozás és Fenton reakción alapuló oxidációs kezelés közül a Fenton reakcióval történő kezelés eredményezte a legmagasabb ultraszűrési permeátum fluxust és a legjobb szennyezőanyag visszatartást előkezelt tejipari szennyvíz esetében (Hodúr és mtsi, 2012). Az ózonnal kezelt szennyvíz biológiai bonthatósága megnőtt, mivel a makromolekulák részleges oxidációja miatt a mikroorganizmusok gyorsabban lebontják azokat. Az ózonos eljárások környezeti hatásukat tekintve is pozitívak, mivel nem képződik ártalmas szennyeződés és melléktermék. Viszont alkalmazásuk során rendkívül körültekintően kell eljárni az ózon egészségkárosító hatása miatt. A Fenton reakción alapuló oxidációs kezelés alkalmazása szennyvízkezeléshez azonban egy nagy hátránnyal bír, mégpedig, hogy hosszú a reakció időt igényel, mely mikrohullámú energiaközléssel lecsökkenthető. Húsipari szennyvíz szerves szennyezőanyag koncentrációját eredményesen csökkentették mikrohullámmal és Fenton reakción alapuló oxidációs kezeléssel (Jákói és mtsi, 2018). Tejipari szennyvizet is kezeltek már Fentonnal reakción alapuló oxidációval (Jaltade és mtsi, 2020), azonban tejelő tehenészetben keletkező szennyvizet még nem kezeltek AOPs eljárások egyikével sem, ami erősíti e kutatás újszerűségét.

3. Célkitűzés

Az állattenyésztésben az állatok ivóvíz szükségletének fedezése adja a legnagyobb kékvíz használatot. A tejtermelő tehenészetekben a másik nagy kékvíz fogyasztó terület a fejés. Mivel élelmiszer előállítás folyik a fejőházakban, ezért a berendezések tisztításához kizárólag ivóvíz minőségű vizet szabad használni. Az így keletkező szennyvíz újrahasznosításának lehetőségeit feltétlenül célszerű megvizsgálni. A keletkező szennyvizek vizsgálata és azok tisztítás utáni újra felhasználása, egy olyan kihívás, amelyet mielőbb meg kell oldani.

A doktori értekezésem célja a fejéshez köthető vízhasználat vizsgálata eltérő fejéstechnológiát alkalmazó magyarországi tejelő tehenészetekben, ehhez kapcsolódóan célom volt a fejőházakban keletkezett szennyvíz újrahasznosítására irányuló víztisztítási eljárások feltérképezése.

Usva és mtsi (2013) a hagyományos, vagyis a kötött tartási rendszerben történő vezetékes fejőberendezés, a kötetlen tartási rendszerben lévő fejőházi fejőberendezés, illetve a fejőrobot vízhasználatát vizsgálták, és megállapításaik szerint nincs szignifikáns különbség az eltérő fejéstechnológiák és a takarmányozási gyakorlatok vízfogyasztása között. Ez a kutatás erősítette meg munkám alapötletét, hogy összevessem egymástól fejéstechnológiailag jelentősen különböző tehenészeti telepek fejéshez köthető vízszükségletét. Ezek a különbségek vonatkoztak a fejőberendezés elrendezésére (fejőház; fejőrobot), a napi fejési gyakoriságra, valamint a fejési műveletekre (vizes, illetve fertőtlenítőszeres előkészítés). Arra a kérdésre kerestem a választ, hogy vízfelhasználás szempontjából van-e statisztikailag igazolható különbség a különböző fejési gyakorlatok között.

Mivel az ivóvíz az egyik legértékesebb természeti kincsünk, célom, hogy tudományos és a gyakorlatban is hasznosítható adatokkal, információkkal, technológiai javaslatokkal szolgáljak a fejőházi vízhasználat optimalizálásához.

További célom a felesleges vízfogyasztás visszaszorítása mellett megvizsgálni, hogy milyen lehetőségek vannak a fejőházban keletkezett szennyvíz olyan mértékű tisztítására, hogy az

felhasználható legyen a tehenészetben egyes eszközök, épületek mosására, kiváltva ezzel a további kékvíz fogyasztást.

Kísérleti munkám során három jelentős területre fókuszáltam:

a vizsgált telepek kék- és szürkevíz használatának felmérésére és

az ezekhez társított kék- és szürke vízlábnym értékének kiszámítására,

a vizsgált telepeken használt fejési rendszerekből származó szennyvíz tisztítására kombinált technológiák segítségével.

A kitűzött célokat az alábbi lépésekben közelítettem:

A telepek kék- és szürkevíz használatának felmérése.

A telepek kék- és szürke vízlábnymának kiszámítása.

A telepeken használt fejőberendezések technológiai és fejéshez kapcsolható vízhasználatának részletes elemzése, célszerű mintavételi helyek meghatározása.

A kombinált tisztítási műveletek: flokkulálás, mikroszűrés, ózonozás, fentonozás, centrifugálás, mikroszűrés, ultraszűrés, hatékonyságának vizsgálata a fejőházi szennyvíz szerves szennyezőanyag tartalmának csökkentésére.

Az ultraszűrés permeátum-fluxusának növelése céljából alkalmazott ultrahang, illetve vibráció energia hatékonyságának vizsgálata

4. Anyag és módszer

A vizsgált telepek vízhasználatának feltérképezéséhez, valamint a víztisztítási kísérletekhez felhasznált anyagok, eszközök és számítási módszerek bemutatását foglalja össze ez a fejezet.

4.1. A vizsgált tejtermelő tehenészeti telepek bemutatása

Három eltérő fejési technológiát alkalmazó tejtermelő nagyüzemi szarvasmarha állomány került kiválasztásra a hipotézis bizonyítására, vagyis eltérő fejéstechnológiát alkalmazó telepeket választottam ki. Mind a három telep Dél-kelet Magyarországon található, ahol az évi átlaghőmérséklet 9-10 °C és az évi átlagos csapadék 500 mm (AccuWeather , 2023). A vizsgálati időszak egy évet ölel fel, augusztustól augusztusig. A termelési és létszám adatokat a RISKÁ telepírányítási szoftverből gyűjtöttem össze. A fejéstechnológiai rendszereket, valamint a telepek vízforgalmát a telepvezetők segítségével térképeztem fel. Mindhárom telephely megjelölésénél a meghatározó fejési technológiából, illetve a fejőház elrendezése alapján származtatott rövidítést alkalmaztam; HLSZ – a halszállás, POL – a poligon-halszállás, ROB – a robot fejési módszerre utal. A telepek bemutatásánál a vízforgalomra és vízhasználatra, valamint a fejéstechnológiára helyeztem a hangsúlyt. A kiválasztott telepek megválasztásával kapcsolatban szeretném kiemelni, hogy a mai használatos technológiákat figyelembe véve nem reprezentatív. Igyekeztem három olyan telepet kiválasztani, melyek vízhasználatát eltérő fejéstechnológiára alapozva vizsgálhatom illetve a földrajzi elhelyezkedés szempontjából sem eredményez nagy eltérést. A poligon fejőberendezés már nem a legelterjedtebb technológia, azonban a vizsgált régióban több ilyen telep is található. A kísérleti telepek főbb fejésre és takarmányozásra vonatkozó adatai a 4.1. táblázatban összesítve láthatók.

4.1.táblázat: A vizsgált telepek főbb fejésre és takarmányozásra vonatkozó adatai

	HLSZ telep	POL telep	ROB telep
Laktáló tehenek átlagos létszáma	218	534	522
Fejések száma (nap)	436	1602	1461
Standard átlagos zárt laktáció (kg)	8585	11715	11130
Takarmányozás	TMR	TMR	PMR
A tehenek átlagos testtömege (kg)	~600		
Napi fejésszám	2	3	2,8
Tőgyelőkészítés	Folyóvízzel történő mosás, majd szárazra törlés	„Szárász” előkészítés: fertőtlenítőszeres tőgybimbó mártás, majd szárazra törlés	Automatizált tőgytisztító kehely

TMR - Totally Mixed Ratio : minden tápanyag etetőhelyen történő táplálása

PMR - Partial Mixed Ratio: részleges takarmánykeverék etetés, fejőállásban is történő takarmányozás

Mivel a tejtermelő tehenészetekben az állomány létszáma és a tehenek laktációs állapota (fejős, szárazonálló) folyamatosan változik, azért a vizsgálatban az éves átlagos fejős tehenek számát vettem alapul.

Annak ellenére, hogy a takarmánybázis mindhárom telepen azonos, a takarmányozási technológiában különbségek vannak. A HLSZ és a POL telepeken a nagyüzemi struktúrában hagyományosnak tekinthető csoportos komplett takarmányozási TMR (Totally Mixed Ratio) technológiát alkalmazzák. A ROB telepen PMR (Partial Mixed Ratio, részleges takarmánykeverék) etetést alkalmaznak, tehát az abrak egy részét a fejéssel egyidőben, a robot fejőrobot egyedi állásában adagolják a tehenek számára, míg a tömegtakarmányokat és az abrak adag fennmaradó részét az istállóiban etetőhelyen kapják meg. Így elősegítik a minimális számú és megfelelő gyakoriságú fejőrobot látogatást.

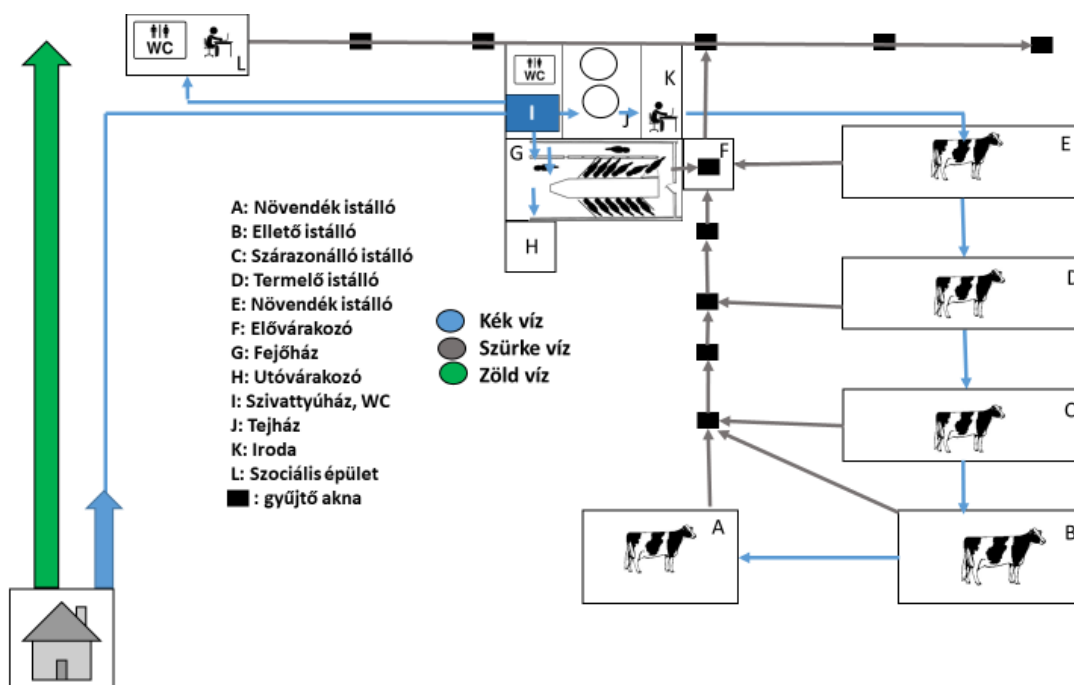
A tehenek átlagos testtömege az egyes telepeken mért adatok átlagát mutatja.

4.1.1. 'HLSZ' tejelő tehenészet

A 4.1. ábrán a HLSZ kísérleti telep vízforgalmi rajza látható. A telep vízforrását vezetékes vízhálózat szolgáltatja. Ez a rendszer látja el az istállókat, a tejházat, a fejőházat és a szociális épületeket kékvízzel (kék nyíl). A telepen szalmás almozást alkalmaznak, így az istállóban nem keletkezik szennyvíz, a szalma szívja fel a vizeletet és trágyát. A szürke nyilak a telepen keletkező szürkevíz útját jelzik. Az összes szürkevíz aknákon keresztül kivezetésre kerül a telepről.

A telep érdekessége, hogy a környező faluból kifolyt összegyűjtött csapadékvíz átfolyik egy csatornán keresztül a telepen, így ideiglenesen, zöld vízforrás is található a telep közelében eddig kihasználatlanul.

A fejőházban 2x12 állásos halszálkás elrendezésű fejőberendezéssel, a technológia szerint napi kétszeri fejést alkalmaznak. A fejéstechnológia részét képezi a hagyományos tőgyelőkészítés, azaz a fejés előtt a tőgybimbókat és az azok körüli szennyezett területeket folyó vízzel mossák, majd szárazra törlik.

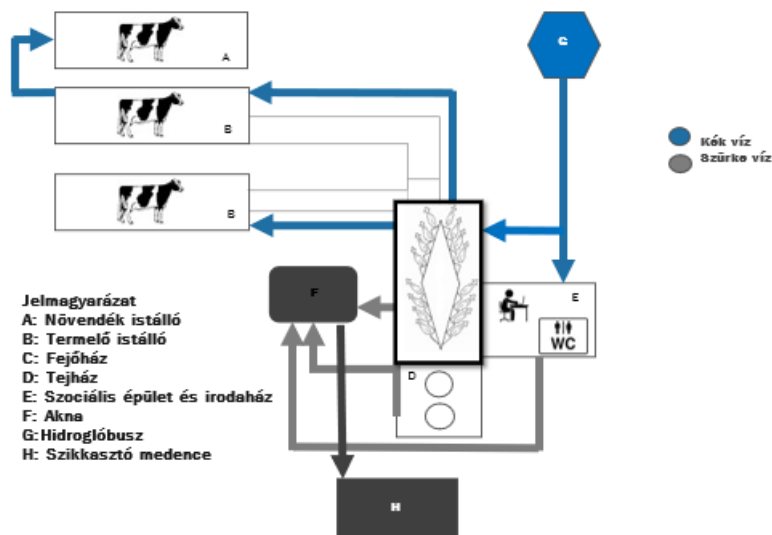


4.1 ábra: A 'HLSZ' kísérleti telep vízforgalmi rajza

A fejéseket követően a fejőállásokban keletkezett szennyeződések (a trágya, a vizelet, és a tej) szilárd részeit lapát segítségével távolítják el, majd vízzel öblítik le a padozat és a készülékek felszínét.

A tőgymosást és a berendezések külső mosását a fejőaknában felszerelt tőgymosó pisztolyokkal végzik. A fejéseket követően a berendezések mosása a rendszer mosó-automatájával, a fejőház és a készülékek külső tisztítása manuálisan a tőgymosó pisztolyokkal és további mosótömlőkkel történik. A fejőberendezés automatikus mosóprogramja három fázisból áll, az első egy langyos, a második a meleg vizes, mosószeres főmosás, majd a hideg vizes öblítés. A tejházban két tejhűtő tartály, egy 5000 és egy 6000 literes található, melyeknek a tisztítása mosó automatával történik. A telepen hetente két alkalommal végeznek teljes körű fejőház és fejőberendezés mosást. Ilyenkor az automatikus mosás előtt a készülékeket szétszedik és kefével, kézi úton is elvégzik a tisztítást. A keletkező szennyvíz tejmaradványt és mosószeret tartalmaz. A külső felületek mosásakor tej és szervestrágya kerül a szennyvízbe.

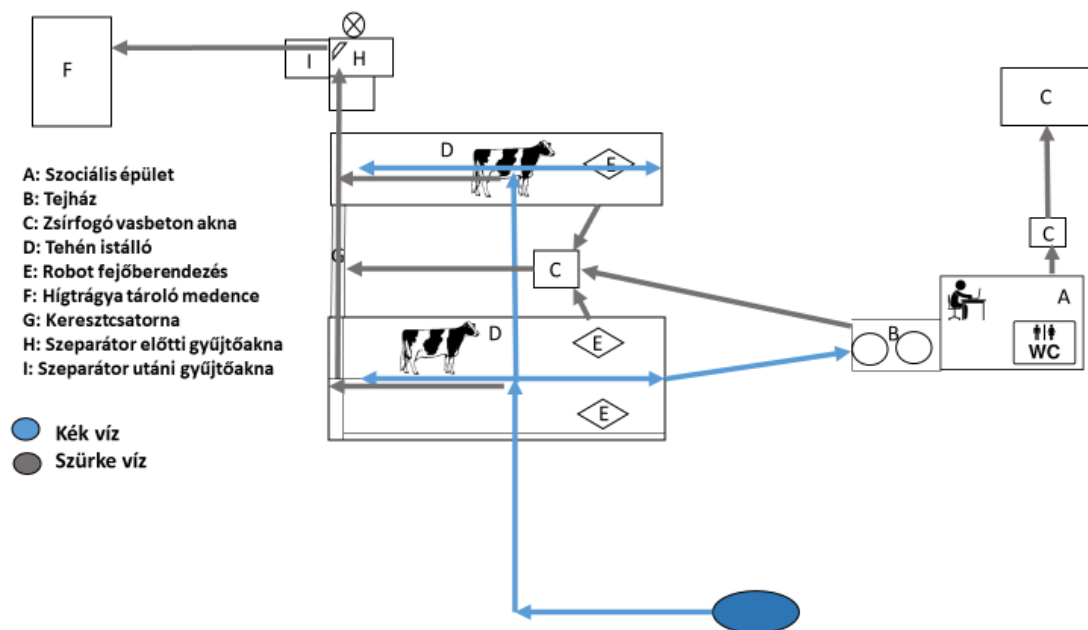
4.1.2. 'POL' tejelő tehenészet



4.2 ábra: A 'POL' kísérleti telep vízforgalmi rajza

A 4.2. ábrán a POL kísérleti telep vízforgalmi rajza látható. A telep vízforrását 70 m³ –es hidroglóbusz szolgáltatja, amelybe az ivóvíz minőségű kék vizet 365 m mélyről szivattyúzzák. Ez a víz látja el a szociális épületeket, a fejőházat és az állatokat vízzel. Ezen a telepen is szalmás almozást alkalmaznak, az istállóban tehát nem keletkezik szennyvíz. A fejőházban, a tejházban és a szociális épületekben keletkezett szürke vizet egy központi aknába gyűjtik, majd egy szikkasztó medencébe kerül és kockabálából álló szalmaszűrőn halad át. A telepen 4x8 állásos poligon fejőberendezés található. A fejesnél „száraz” tőgyelőkészítést alkalmaznak, a tőgybimbókat víz helyett fertőtlenítő hatású impregnált tőgytörő kendőkkel tisztítják. A tejházban egy 6000 literes és két 6400 literes hűtőtartály található. A fejőberendezések, a hűtőtartályok és a fejőház tisztítása a HLSZ telepéhez hasonlóan történik. A POL telepen az állományt naponta háromszor fejjik.

4.1.3. 'ROB' tejelő tehenészet



4.3 ábra: A 'ROB' vizsgálati telep vízforgalmi rajza

A ROB telep (4.3. ábra) vízforrását fúrt kút szolgáltatja 300 m mélységből. Ez a kút látja el a szociális épületeket, a fejőrobotokat és az állatokat ivóvízzel. Az istállókban nem használnak alomanyagot, a keletkezett hígtrágyát az épületek végében található aknába gyűjtik, majd egy szeparáló berendezés segítségével híg- és szilárd részekre választják. A híg fázis egy szikkasztó medencébe kerül, a szilárd részt a növénytermesztésben használják fel szervesanyag pótlásra. A fejest fejőrobotokkal végzik. A két istállóban 12 fejőállás található, melyet 6 robotkar szolgál ki. A robotok naponta négyszer végeznek alapmosást, ekkor mosásonként 60 liter vizet használnak el fejőegységenként. A berendezés külső tisztítását naponta háromszor végzik el, ezen kívül óránként átmosják (gumitömlővel leöblítik) a fejes területét. Az alkalmazott robottechnológia részét képezi a tögybimbók vízzel történő mosása is, valamint a fejkelyhek átmosása is a fejések között. A tejházban 2 darab, egyenként 14000 literes hűtőtartály és egy 800 literes puffer hűtő tartály található, melyet a két nagy hűtő mosási idejében használnak, mivel a telepen a fejes folyamatosan történik.

A robotoknál és a tejházban keletkezett szennyvíz egy zsírfogó aknán keresztül a szennyvízcsatornába, majd a 150 m³-es befogadó kapacitású vasbeton (VB) aknába kerül. A szociális blokk szennyvize az épület előtti kommunális gyűjtőbe folyik át (C), majd szivattyúzás után a szeparátorra jut, ahol összekerül az összes többi elfolyó vízzel. Az istálló közepén folyamatosan alacsony sebességgel halad egy kétoldalra nyíló trágyakihúzó szán, amit elektromos meghajtó működtet és egy külön vezérlő szabályoz. A szán az istálló végén található kereszt-csatornába tolja ki az összegyűjtött hígtrágyát, ami tovább folyik a vasbeton aknába.

4.2. A tehenek ivóvíz fogyasztásának kiszámítása

A tejtermelő állomány létszámára vonatkozó adatok a vizsgált telepek RISKA telepírányítási rendszeréből kerültek felhasználásra, így az átlagos létszám 218 a HLSZ, 534 a POL telepen, és 650 a ROB telepen (4.1. táblázat). A laktáló tehenek ivóvíz fogyasztása (IVF, (liter/nap) Meyer és mtsi (2004) képletével került kiszámításra.

$$IVF = -26,12 + 1,516 \cdot (T\acute{a}tl) + 1,29 \cdot (mtejtermelés) + 0,058 \cdot (mtestt\acute{o}meg) + 0,46 \cdot mNa \quad (1)$$

ahol, "Tátl" az adott időpontra vonatkozó hőmérsékleti átlagértékek az AccuWeather portál adatai alapján;" mtejtermelés" a napi átlagos tejtermelés mennyiségének értéke (kg/nap); "mtesttömeg" az állatok testtömege (kg), "mNa" a napi nátrium felvétel mennyisége (g/nap).

Az 1 liter, illetve 1 kg tej előállításához szükséges vízmennyiség korrekt összehasonlíthatóság érdekében 4%-os zsír- és 3,3%-os fehérje tartalomra korrigált napi átlagos tejtermelési (FPCM: fat and protein corrected milk) adatokat határoztam meg a FAO, 2021 javaslatára alapozva:

$$FPCM = tej \left(\frac{kg}{nap} \right) \cdot (0,0337 + (0,116 \cdot zs\acute{i}r\%) + (0,06 \cdot feh\acute{e}rje\%)) \quad (2)$$

A napi technológiai vízhasználat a fejőberendezés külső- belső- és a padozat mosásából, a tőgyek manuális mosásból (csak a HLSZ telep esetében) és a tejtankok mosásából állt. A fejőberendezés és a tejtankok mosása automatizált a telepeken így a gépkönyvi adatokból egyértelműen kiderült a mosások vízszükséglete. A fejőberendezések külső mosására és a padozat mosására használt kékvíz mennyiséget saját mérések alapján határoztam meg, figyelembe véve a vízhasználat különbözőségeit (a mosások száma, a tömlők-, tőgymosó pisztolyok száma, és a napi fejésszám). A fejőházi kékvíz technológiai célra történő használatának főbb adatait a három vizsgált telephely esetében a 4.2. táblázatban mutatom be.

4.2. táblázat: Fejőházi kék víz technológiai célú felhasználásának jellemzői

	HLSZ telep	POL telep	ROB telep
Fejőberendezés belső mosása	automata	automata	automata
Padozat mosása	manuális	manuális	manuális
Tőgyelőkészítés, tőgytisztítás	Folyóvízzel történő mosás, majd szárazra törlés	„Szárász” előkészítés: fertőtlenítőszeres bimbó mártás, majd szárazra törlés	Automatizált tőgytisztító kehely
Fejőberendezés	2x12 halszállkás	4x8 halszállkás, poligon elrendezésben	6 automata fejőrobot 12 állással

4.3. Vízlábnym értékek meghatározása

A vízlábnym értékek olyan mutatók, amelyek a vízterhelést mind mennyiségi mind minőségi szempontból jellemzik, ezért a kék-, szürke- és zöld vízlábnym értékek külön-külön és összegükben is rendkívül fontos paraméterek.

4.3.1. Kék vízlábnym

Mekonnen és Hoekstra, (2012) alapján a kék vízlábnymot meghatározó összefüggés:

$$VL_{(a,c,s)} = VL_{\text{takarmányozás}}_{(a,c,s)} + VL_{\text{itálás}}_{(a,c,s)} + VL_{\text{technológia}}_{(a,c,s)} \quad (3)$$

ahol $VL(a,c,s)$: egy állat vízlábnyma [$m^3/\text{év}/\text{állat}$] egy adott kategórián belül (a), egy adott országban (c), az adott termelési rendszerben (s). Egy állattartó telep vízlábnyma három kategóriába sorolható; a takarmányozás, az itatás és a technológiai vízhasználat vízlábnymának kategóriájába. A takarmányozás vízlábnyma nem került be a számításaimba, mivel ez elsősorban a takarmánynövény termesztés során felmerülő vízszükségletet, az öntözővízhasználatot jelenti, a telepektől független, leginkább növénytermesztési kérdés. A

kutatás célja nem a vízlábnyom abszolút értékének a vizsgálata, hanem sokkal inkább, a különböző fejesi technológiák vízhasználatának és vízlábnyomának összehasonlítása volt, ezért számításaimban az ivóvíz és a technológiai célra felhasznált kékvíz vízlábnyomának kiszámítására összpontosítottam.

4.3.2. Szürke vízlábnyom

Hoekstra (2011) szerint pontszerű szennyezés esetén a szennyezőanyag terhelés közvetlenül a befogadó víztestbe kerül, így a terhelés megbecsülhető a kifolyó víz mennyiségének és a benne lévő kémiai anyagok koncentrációjának ismeretében.

$$VL_{(szürke)} = \frac{T_{szennyezőa}}{(c_{max} - c_{nat})} = \frac{(Effl \times c_{effl} - Abstr \cdot c_{act})}{(c_{max} - c_{nat})} \quad (4)$$

ahol, $T_{szennyezőa}$:szennyezőanyag terhelés [tömeg/idő], c_{max} :maximálisan elfogadható szennyezőanyag koncentráció [tömeg/térfogat], c_{nat} :természetes vagy alap szennyezőanyag koncentráció [tömeg/térfogat], $Effl$:effluent szennyvíz térfogat [térfogat/idő], c_{effl} :szennyezőanyag koncentráció a szennyvízben [tömeg/térfogat], esetünkben a kémiai oxigénigény; $Abstr$:absztrakció/kivétel víztérfogata [térfogat/idő-evaporáció], c_{act} :intake bevitt víz aktuális szennyezőanyag koncentrációja [tömeg/térfogat], $Abstr \cdot c_{act}$ nem került számításba, mert a szennyvíz zárt rendszerben mozog, így nem kellett számolni evaporációs veszteséggel.

Mindent összevetve tehát, esetünkben a következő módon történt a szürke vízlábnyom meghatározása:

$$VL_{(szürke)} = \frac{(Effl \cdot c_{effl})}{(c_{max} - c_{nat})} \quad (5)$$

A közcatornába bocsáthatóság szerves anyag tartalomra vonatkozó, kémiai oxigén igénnyel kifejezett határértéke (28/2004.XII.25KvVM rendelet szerint 1000 mg/L. A természetes szennyezőanyag koncentráció a befogadó víz esetében, KOI értékben kifejezve 4 mg/L volt,

mivel ennyi a magyar ivóvíz átlagos szervesanyag tartalma. A szürke vízlábnyom ezen kémiai oxigénigény adat figyelembevételével került kiszámolásra a (6) összefüggés segítségével:

$V_{\text{szürke}} =$

$$= \frac{\text{napi szürkevíz térfogat } \frac{l}{\text{nap}} \cdot \text{befogadó víz KOI értéke } \frac{mg}{l}}{\text{maximálisan elfogadható szennyezőanyag koncentráció} - \text{természetes vagy alap szennyezőanyag koncentráció } \frac{mg}{L}} \quad (6)$$

4.4. Szennyvízkezelési eljárások

Ahhoz, hogy újra hasznosítható vizet nyerjünk, különböző szennyvíztisztítási eljárások kísérleti próbáit végeztem el a különböző helyeken keletkező, tehát eltérő tisztaságú szennyvizek esetében. A három vizsgált telepen legalább három ismétlésben mintát vettem a fejőházban, illetve fejőrobotból összegyűlt szennyvíz elvezetőkből, szennyvíztároló aknákból. A mintavétel időpontjait úgy határoztam meg, hogy a napi fejések ismeretében tudjak átlagos szervesanyag terhelést megállapítani a különböző mintavételi helyeken (4.3. táblázat).

4.3. táblázat: Mintavételi helyek és időpontok a vizsgált telepeken

	Mintavételi hely	Mintavételi időpont
HLSZ	Elővárakozóban található akna, fejőházból érkező szennyvíz gyűlik, össze miután átmegy egy szalmaszűrőn	Reggeli és esti fejés előtt és közben: a fejés kezdetétől mért 30 perc múlva
	Tartálymosás közben kiömlő tejes vízből közvetlenül a tejtank	Automata mosás közben
POL	Fejőházi szennyvíz elvezető csatorna	Esti fejés előtt és közben a fejés kezdetétől számított 30 perc elteltével
	Szennyvíztároló szikkasztó medence	Fejések időpontjától függetlenül
ROB	Zsírfogó akna: istállóban a robotoktól kifolyó a mosóvíz és tej és az állatok lába alóli víz is ide folyik	Fejések időpontjától függetlenül
	Trágyaszeparátor utáni akna	

Trágyaszeparátor előtti akna	Fejések időpontjától függetlenül többszöri ismétlésben
Szennyvíztároló szikkasztó medence	

Az alkalmazott szennyvíztisztítási eljárások hatékonyságának értékelésére a kezelési hatások értékeit alkalmaztam. A kezelési hatások (P) kiszámítása az alábbi összefüggéssel történt:

$$P = \frac{c_0 - c_1}{c_0} 100 \quad [\%] \quad (7)$$

c_0 - a kémiai oxigénigény kezdeti értéke, c_1 - végső értéke.

4.4.1. Koagulálás -Flokkulálás

Koagulánsként polialumínium-kloridot ("BOPAC; Unichem Kft., műszaki minőség), vas(III)-klorid ("UNIFLOC-C", Unichem Kft., műszaki minőség), került felhasználásra. A művelet megelőzően minden esetben a szennyvíz mintákból fémszűrővel leválasztottam a nagyobb darabokat (3 mm), majd 400 - 400 ml-t mértem ki főzőpohárba és 5 ml vas (III)-klorid-, és 0,5 ml 5 g/L Al^{3+} tartalmú BOPAC oldat hozzáadását követően 150 rpm fordulatszámon kevertetem 30 percig. 10 perc ülepedési időt követően kémiai oxigénigény és a zavarosság értékének meghatározásához mintát vettem a felülúszóból. A zavarosság méréséhez Hach 2100N nefelmeterikus zavarosságmérőt használtam

4.4.2. Centrifugálás

A flokkulálást követően kétszer 250 ml felülúszóból vett mintát 5000 rpm fordulatszámmal, 5 percig centrifugáltam egy Thermo Scientific, Hereaus Megafuge 16R típusú centrifugával.

4.4.3. Mikroszűrés

A tisztításhoz alkalmazott mikroszűrő berendezés egy klasszikus keretes szűrőprés, melybe 10 mikronos pórusméretű, ROVER Pompe szűrőlapokat (400x400 mm) helyeztem be.

4.4.4. Ultraszűrés

Az ultraszűrést egy XFUF07601 típusú, Millipore gyártmányú berendezéssel hajtottam végre. Először a szétválasztáshoz egy 200 kDa vágási értékű PES membránt, majd a későbbiekben egy 10 kDa vágási értékű PAN membránt alkalmaztam a permeátum további tisztításához. A szűrés során alkalmazott nyomáskülönbséget egy N₂ palack biztosította, 0,3 MPa értéken; a membrán felületén elhelyezett mágneses keverő fordulatszáma pedig 250 rpm volt. A szűrést minden esetben a 200 ml permeátum eléréséig folytattam.

A sorosan kapcsolt ellenállás modell segítségével lehet átláthatóan leírni a membránszűrés mechanizmust. A térfogatáram sűrűség, vagyis a fluxus (J) értéke a hajtóerő és az ellenállások arányából határozható meg, Darcy féle szűrőegyenletből kiindulva (Kertész és mtsi, 2011):

$$J = \frac{TMP}{\eta \cdot Rt} \quad [m^3 s^{-1} m^{-2}] \quad (8)$$

R_t a teljes ellenállás [m^{-1}], TMP a membrán két oldalán mérhető nyomáskülönbség (transmembrane pressure) [Pa], η a dinamikai viszkozitás [Pas].

A membránon történő áthaladás során keletkező ellenállások összessége (R_t) határozza meg tehát a permeátum térfogatáramát.

$$R_t = R_m + R_{irr} + R_{rev} \quad [m^{-1}] \quad (9)$$

R_m – a membrán ellenállása, R_{irr} az irreverzibilis/visszafordíthatatlan eltömődés ellenállás értéke, R_{rev} a reverzibilis/visszafordítható eltömődés ellenállás értéke.

A membrán hidrodinamikai ellenállása (R_m) desztillált vízzel végzett fluxus (J_{dw}) mérésekből a viszkozitás segítségével (η) számolható, mivel ebben az esetben nem alakul ki ellenállást jelentő réteg a membrán felületén és a membrán pórusai sem tömődnek el így a számított ellenállás megegyezik a teljes ellenállással (Li és mtsi, 2008):

$$R_m = \frac{TMP}{J_{dw} \eta} \quad [m^{-1}] \quad (10)$$

A pórusos/irrevezibilis eltömődés okozta ellenállási értékek (R_{irr}) meghatározhatók a modul szétszerelése után a membrán felületén lerakódott réteg eltávolításával (kémiai tisztítás mellőzése miatt a pórusos eltömődés megmarad), majd desztillált vízfluxus (J_{dw2}) méréseivel:

$$R_{irr} = \frac{TMP}{J_{dvz} \eta} - Rm \quad [m^{-1}] \quad (11)$$

ahol a J_{VU} a desztillált vizes fluxusok a szennyvízsűrűsége után eltömődött pórusú membránnal $[m^3 m^{-2} s^{-1}]$.

A reverzibilis réteg ellenállásának (R_{rev}) meghatározásához a szennyvíz szűrések során állandósult fluxus értékeket (J_{all}) használhatók:

$$R_{rev} = \frac{TMP}{J_{all} \eta} - Rm - R_{irr} \quad [m^{-1}] \quad (12)$$

4.4.5. Ózonozás

A kombinált kezelések során a flokkulálás és a centrifugálás után ózonnal is kezelték a szennyvíz mintákat, hogy tovább csökkenjen azok szerves anyag tartalma. Az ózonos előkezelés során az ózont oxigénből (Linde, 3.0 oxigénpalack) állítottam elő csendes elektromos kisülés elvén működő ózon generátorral (Ozomatic Modular 4, Wedeco Ltd., Germany). Az ózon tartalmú gázt folyamatosan buborékolttam át egy 6 dm^3 -es reaktoron. A kezelési időt és a buborékoltatott gáz térfogatáramát változtattam a mérések során. A reaktorba belépő és kilépő gáz ózonkoncentrációját áramlási követően átvezetve UV spektrofotométerrel (WPA 38 Lightwave S2000, Németország) folyamatosan mértem 254 nm-en, az ózon elnyelési maximumán. Az elnyelt ózon mennyiségét a Lambert-Beer törvény segítségével számoltam ki. A fényút hossza 1 cm, az abszorpciós együttható irodalmi adatok alapján $2900 \text{ dm}^3/\text{mol cm}$, az abszorbanciát pedig 254 nm-en mértem. Mivel a reaktorba bemenő és az abból kimenő ózon abszorbanciáját is mértem, ezért ki tudtam számolni a bemenő és a kimenő gáz ózon koncentrációját is, illetve a gáz térfogatárama alapján a reaktorba időegység alatt belépő és kilépő ózon mennyiségét is, majd a kettő különbsége adta meg a folyadék által időegység alatt elnyelt ózon mennyiségét. Figyelembe véve, hogy az ózongenerátor ózontermelő képessége időben változik, a méréseket percenként végeztem, és a teljes kezelési időre összegeztem.

4.4.6. Fenton reakción alapuló oxidációs kezelés

A fenton reakción alapuló oxidációs kezelés során 0,26 g 88%-os vas(III)-szulfát ("UNIFLOC", Unichem Kft., műszaki minőség) és 2,4 ml 30 %-os H₂O₂ 1:25 molarányú oldatát adtam a 400 ml szennyvíz mintához. A reakció előtt a kémhatás savas (pH 3-3,5) volt, a reakció után pedig (semleges pH 7). A reakció 200 rpm fordulatszám mellett zajlott le 120 percig, melynek során 60 perc és 120 perc elteltével mintát vettem.

4.4.7. Ultrahanggal kísért membránszűrés

A XFUF07601 típusú, Millipore gyártmányú membránszűrő berendezés cellájához egy egyedi gyártású záróelem segítségével ultrahang generátor Hielscher UP100H 30 kHz illeszhető. Az alkalmazott poliéterszulfon (PES) membrán vágási értéke 200 kDa, a transzmembrán nyomás 0,3 MPa. Az ultrahang berendezésen az intenzitás, azaz a generátor bekapcsolt állapotának időaránya 0 és 1 között fokozatmentesen állítható, amit vizsgálataim során a maximális értéken tartottam. A berendezés teljesítményét az amplitúdó állításával szabályozhatjuk. Kísérleteim során 60%-os amplitúdót állítottam be.

4.4.8. Vibrációval segített ultraszűrés - VSEP

A fejőrobot szennyvizének tisztításához VSEP (New Logic Research Inc., USA) vibrációs ultraszűrő berendezés került kiválasztásra. A rotálás növeli a membrán felületén kialakuló nyíróerőt így a fluxust is. A modul belsejébe körgyűrű alakú ($d_{\text{belső}}: 4,7 \text{ cm}$, $d_{\text{külső}} = 27 \text{ cm}$), 503 cm² hatékony felületű, poliéter-szulfon (PES) alapanyagú, 200 kDa-os (PES-10 SYN, New Logic Research Inc., USA) vágási értékű membrán került felhasználásra. A transzmembrán nyomás 0,8 MPa volt a szűrés során. A hőmérsékletet 25 °C-on tartottam. Flokkulált és előszűrt (10 mikrométer), fejőrobotból származó szennyvíz képezte a betáplálási áramot. A szűrés végpontját a VRR = 2 érték jelezte.

4.4.9. Kémiai Oxigénigény meghatározása

A kémiai oxigénigény (KOI) azt az oxigén mennyiséget jelenti (mg/L), amely szükséges az egységnyi térfogatú vízben lévő szerves anyag oxidációjához, oxidálószer (kálium-

permanganát vagy kálium-dikromát) alkalmazásával. A minták kémiai oxigénigény meghatározásához kálium-dikromátos módszert használtam a DIN ISO 15705: 2003-01 vizsgálati módszer szerint. Ehhez az Lovibond ET 108 roncsoló blokkot használtam. A roncsolást 150 °C-on 2 órán keresztül végeztem (Hanna Instruments). A vízminta szennyezettségétől függően a következő méréstartományú teszt csöveket használtam: 0-150; 0-1500 mg/L és 0-15000 mg/L. Vario photometer, és Lovibond PC CheckIt 46 fotométerrel három ismétlésben lemértem az egyes minták kémiai oxigénigényét.

4.5. A vizsgálatban alkalmazott statisztikai módszerek

A telepek egységesen a RISKÁ telepirányítási rendszert alkalmazzák a tehenek termelési-, reprodukciós paramétereinek és egészségügyi státuszának rögzítésére. Az ivóvízfogyasztás kiszámításához a tehenek termelési és a laktációs állapotát ezért a RISKÁ telepirányítási program segítségével gyűjtöttem össze. Az adatok rendszerezése Microsoft Excel programmal történt. A statisztikai elemzéseket az IBM SPSS Statistics 26 programmal végeztem. A grafikonok szerkesztéséhez a GIMP képszerkesztő programot használtam.

A termelési és a vízhasználati paraméterek telepek közötti összehasonlítását egytényezős variancia-analízis (One-Way ANOVA) módszerével vizsgáltam. A paramétereken belül a homogenitás vizsgálatot a Levene-teszt segítségével végeztem. A csoport-párok közötti különbséget Tamhane (heterogenitás esetén), vagy LSD (homogenitás esetén) tesztekkel vizsgáltam. A különböző változók közötti összefüggések elemzését regresszió analízis módszerével végeztem.

Az optimalizálási feladatokhoz, pl. a koagulálás- flokkulálás dózisének meghatározásához a válaszfelületi módszert ill. a középpontos kísérlet tervezési módszert használtam.

A válaszfelületi módszertan (RSM) egy olyan matematikai és statisztikai módszer, amelyet széles körben használnak különféle folyamatok modellezésére és elemzésére, ahol a kívánt választ különböző változók befolyásolják és célja a válasz optimalizálása. Nagyon hatékonyak mivel minimális számú kísérlettel veszik figyelembe a fő hatásokat és az interakciós hatásokat, ezáltal egyértelművé teszik a tényezők és válaszok közötti ok-okozati összefüggést. A középpontos kísérlettervezés (CCD) az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a

válaszfelület tervek között, melyet széles körben használnak a kísérleti változók optimalizálására.

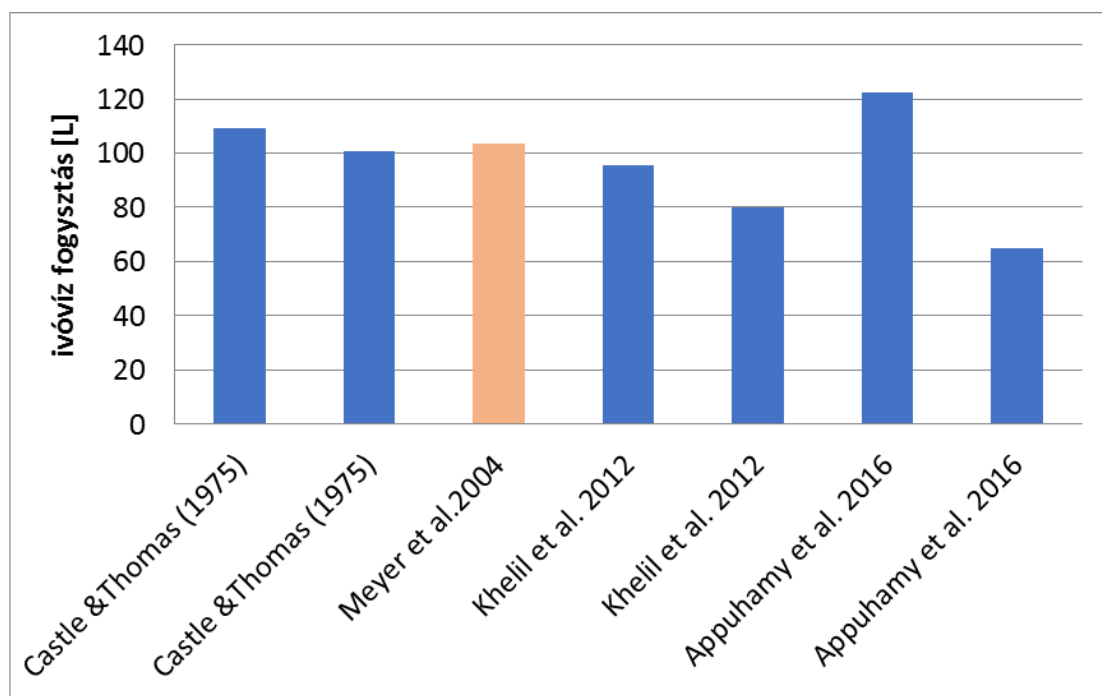
5. Eredmények és értékelésük

Az Eredmények és értékelésük fejezetben az elvégzett kísérletek és számítások eredményeit, valamint azok irodalmi adatokkal történő összevetését és értékelését adom meg.

5.1. Ivóvíz fogyasztási adatok

Tekintettel arra, hogy a szakirodalomban több, ivóvízfogyasztási értéket meghatározó összefüggés található, elsőként, a telepek valós értékeinek pontosabb megközelítését leíró módszert választottam ki. A 2.3.1. fejezetben, a 2.3. táblázatban megadott képletek alapján kiszámított értékeket az 5.1 ábrán összegzem.

Az eredmények alapján jól látszik, hogy a szerzők mennyire más-más értékeket tartanak elfogadhatónak, attól függően, hogy az ivóvíz fogyasztás szempontjából fontos paraméterek közül melyiket, milyen mértékben veszik figyelembe, ill. milyen adatok állnak pontosan a rendelkezésre. Khelil és Appuhamy 2-2 modellje pl. abban különbözik, hogy ismert-e a szárazanyag bevitel nagysága vagy sem.



5.1. ábra: Egy tehenre meghatározott ivóvíz fogyasztási adatok irodalmi összefüggések alapján számolva

Számításaim alapjául Meyer és munkatársai által megadott modellt alkalmaztam, mert ez az összefüggés is holstein fríz tehenekre vonatkozik, míg pl. Appujamy és mtsi modellje alapjául vegyes tehenállományok szolgáltak adatforrássul.

Mivel a telepek termelési színvonala szignifikáns eltérést mutat, ezért a korrekt összehasonlíthatóság miatt az egy tehenre vonatkoztatott átlagos napi ivóvízfogyasztás, illetve az 1 liter FPCM (4%-os zsírra és 3,3%-os fehérjére korrigált) tej előállításához szükséges ivóvíz mennyiség szintúgy megállapításra került. Az egy tehenre vonatkoztatott napi ivóvízfogyasztás (L_{viz}), az átlagos napi tejtermelés (L_{tej}), a speciális napi ivóvízfogyasztás ($L_{\text{viz}}/L_{\text{tej}}$) és a normalizált napi vízszükséglet, azaz 1 liter FPCM tej előállításához szükséges vízmennyiség ($L_{\text{viz}}/L_{\text{FPCMtej}}$) adatai az 5.1. táblázatban láthatók.

5.1. táblázat: A telepek legfontosabb tejtermelési és vízfogyasztási adatai fejési átlag alapján

	Átlagos napi ivóvízfogyasztás (L/tehen)	Átlagos napi tejtermelés (L/tehen)	Átlagos napi FPCM tejtermelés (L/tehen)	Fajlagos napi ivóvízfogyasztás ($L_{\text{viz}}/L_{\text{tej}}$)	Normalizált napi ivóvízfogyasztás ($L_{\text{viz}}/L_{\text{FPCMtej}}$)
HLSZ telep	87,8 ^a	25,47 ^a	24,54 ^a	3,45 ^a	3,61 ^a
POL telep	103,4 ^b	36,53 ^b	33,80 ^b	2,83 ^b	3,09 ^b
ROB telep	97,1 ^c	35,93 ^b	35,71 ^c	2,70 ^b	2,78 ^c

^{abc}: a különböző betűvel jelölt értékek között szignifikáns ($P < 5\%$) különbség van

A termelő tehenek átlagos napi ivóvízfogyasztása az HLSZ, a POL és a ROB telepek tekintetében 87,8 L/tehen, 103,4 L/tehen és 97,1 L/tehen, tehát érzékelhetően jelentős, szignifikáns eltérés van az egyes tehenészetekben a napi ivóvíz fogyasztási értékek között. A kapott eredmények viszont jól illeszkednek Schroeder (2015) által közölt értékekhez, ahol a 27 - 35 liter napi tejtermelés mellett, 10°C átlaghőmérsékleten az ivóvízfogyasztás 88,9 - 101,8

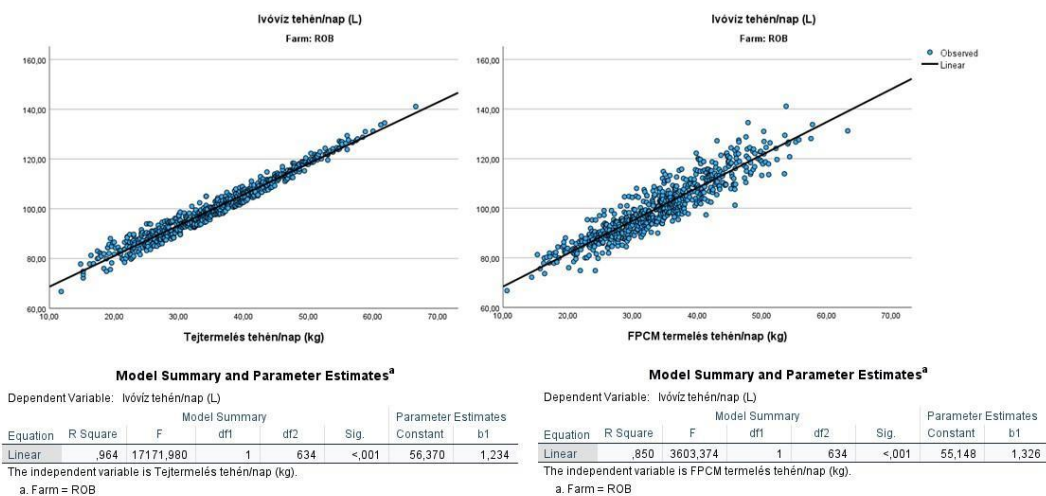
liter/nap. Castle és mtsi (2010) brit fríz állományok vizsgálatánál kimutatták, hogy az átlagos napi ivóvízfogyasztás 49,9 (20,1 és 87,1 közötti) kg/tehén volt az átlagosan 16,8 kg tejet adó állatok esetében, 8,2 °C-os átlaghőmérsékletű és 84-88%-os relatív páratartalmú környezetben. Ez az átlagos vízfogyasztási érték kisebb a dolgozatomban szereplő holstein fríz állománynál mért értékeknél, ám a napi átlagos tejhozam lényegesen magasabb (25 -35 L/tehén), valamint az átlaghőmérséklet is nagyobb érték az általam vizsgált esetekben. Castle és mtsi (2010) pozitív és szignifikáns kapcsolatot bizonyítottak, a naponta megivott víz mennyisége és a napi átlagos tejhozam között, de nem találtak szignifikáns kapcsolatot sem a levegő átlag hőmérsékletével, sem a relatív páratartalommal, ami a vizsgálatuk alacsony hőmérsékleti értékei mellett helytálló és elfogadható.

Murphy és mtsi (1983), Holter és Urban (1992) valamint Meyer és mtsi (2004) szerint azonban az ivóvíz szükséglet leginkább a termelés mértékétől és a takarmányok szárazanyag tartalmától, a külső hőmérséklettől és a tehének test tömegétől a függ. Mivel a telepek közötti földrajzi távolság nem jelentős (HLSZ-ROB: 40 km; POL-ROB 62 km; HLSZ-POL 50 km), és a takarmányozás is azonos bázison alapszik, ezért a különbséget elsősorban az eltérő termelési színvonalban (termelt tej mennyiségében) kell keresni (5.2 – 5.4. ábra). A statisztikai elemzés alapján, mindhárom telepen megfigyelhető, hogy a tej mennyiségével nagyon szoros korrelációban van az ivóvízfogyasztás ($R^2_{ROB}:0,964$; $R^2_{POL}:0,955$; $R^2_{HLSZ}:0,845$).

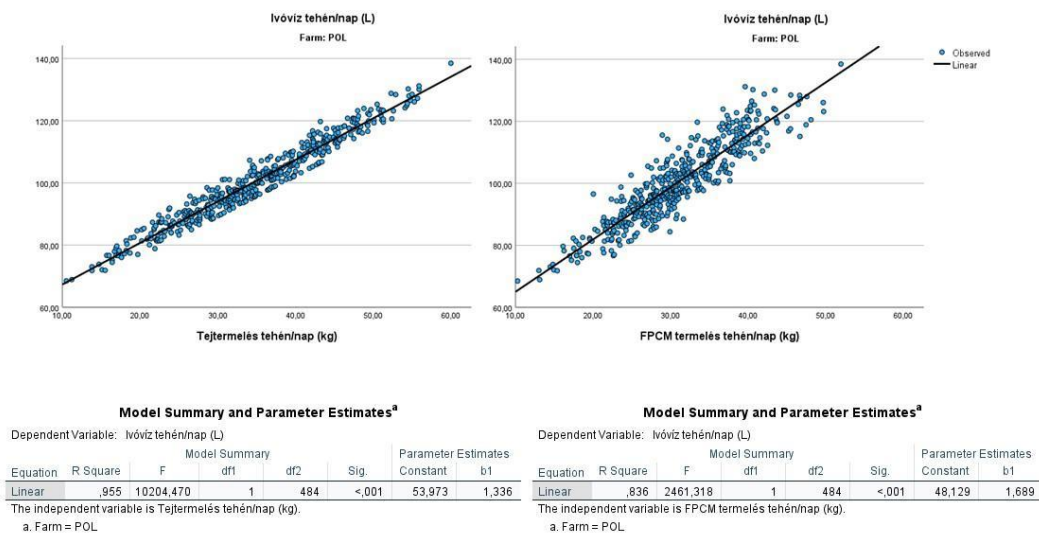
A ROB (5.2. ábra) és a POL (5.3. ábra) telepen a regressziós állandó, amely azt mutatja meg, hogy a létfenntartás ivóvíz szükséglete átlagosan hogyan alakul a teheneknél, kisebb ($a_{ROBt}:56,37$; $a_{ROBfpcm}:55,15$; $a_{POLt}:53,97$; $a_{POLfpcm}:48,13$), mint a HLSZ (5.4. ábra) farmon ($a_{HLSZt}:73,19$; $a_{HLSZfpcm}:74,16$).

A regressziós egyenlet „b” értéke megmutatja, hogy a tejtermelés 1 kg-mal történő növekedése hány liter ivóvízigény többletet jelentene. A legmeredekebb emelkedést a POL (5.3. ábra) telepen figyelhetünk meg, ahol 1 kg FPCM tejmenység növekedés 1,69 L többlet ivóvíz szükségletet eredményez. A ROB telepen ez az érték 1,33 L, míg a HLSZ tehenészet teheneinek 1,23 L többlet ivóvíz igényük van minden megtermelt FPCM tejk után.

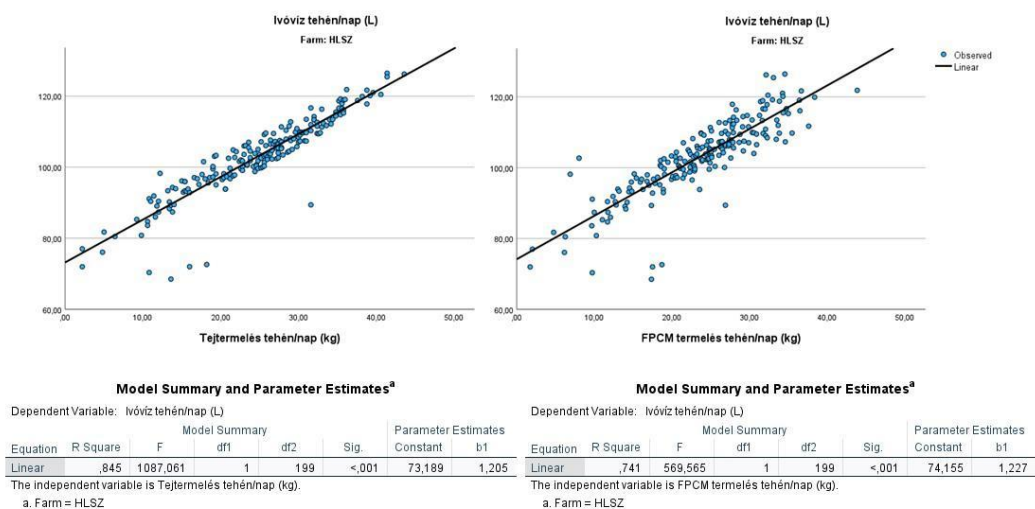
Oliveira és mtsi (1965) genetikailag nem jelölt állománynál ezt az értéket 0,87 kg többlet víz/1 kg többlet tejhozam értéknek határozta meg.



5.2. ábra: Az ivóvízfogyasztás valamint a tejtermelés, és az FPCM termelés kapcsolatának vizsgálata lineáris regresszió analízissel (ROB telep)



5.3. ábra: Az ivóvízfogyasztás valamint a tejtermelés és az FPCM termelés kapcsolatának vizsgálata lineáris regresszió analízissel (POL telep)



5.4. ábra: Az ivóvízfogyasztás valamint a tejtermelés és az FPCM termelés kapcsolatának vizsgálata lineáris regresszió analízissel (HLSZ telep)

Amennyiben a telepeken belül vetjük össze a normál termelés (t) és az FPCM termelés közötti eltéréseket ($a_t - a_{FPCM}$) a vízszükséglet függvényében, akkor a HLSZ telepen találunk legkisebb különbséget a regressziós állandó értékében. Itt az eltérés -0,966 L, tehát a normál termelésnél számított érték csaknem 1 literrel kevesebb, mint az FPCM-re becsült állandó. Ennek a tendenciának az ellenkezője figyelhető meg a másik két vizsgálati helyszínen, a POL telepen 5,84 liter, a ROB telepen 1,22 liter különbség volt a regressziós állandók között. Az illetett egyenes meredekség értékében is a POL telepen figyelhető meg a legnagyobb különbség, ahol egy kg termelésnövekedés 1,376 liter többlet vízigényt eredményez, míg ez az érték az FPCM termelés esetében 1,689 liter, a két érték különbsége 0,353 liter. Ugyanez az eltérés a ROB telepen 0,092 liter és a POL farmon 0,022 liter.

A kapott eredmények azt igazolják, hogy a vizsgált tehenészetek közötti különbségek (fejések száma, termelési színvonal, ivóvízszükséglet) a telepen belüli eredmények összefüggéseit is meghatározzák. A HLSZ telepen a fejési átlag 10,77 kg-mal maradt el a másik két állomány átlagos termeléséhez képest, az FPCM termelésben pedig 10,22 kg-os különbség volt. A fejési átlag és az FPCM termelés közötti differencia a HLSZ telepen 0,93 kg, a POL telepen 2,73 kg és a ROB telepen 0,22 kg. Mivel mindhárom tehenészet azonos genetikai potenciállal rendelkezik, ezért a kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a robotos fejés és az ahhoz

tartozó takarmányozási technológia kedvezőbben befolyásolja a tej beltartalmi paramétereit. A POL telepen a normál termelés és az FPCM termelés közötti jelentős eltérés elsősorban a napi háromszori fejésnek és az abból adódó alacsonyabb beltartalmi értékeknek a következménye. Összességében megállapítható, hogy a nagyobb mennyiségű szárazanyag tartalom, azáltal a nagyobb FPCM termelés és az ivóvíz fogyasztás közötti kapcsolat pozitívan hat a kékvíz fogyasztás alakulására. Ez a tendencia figyelhető meg Ibidhi és Salem (2019) munkájában is, ahol az 1 kg FPCM tejtermeléshez számított ivóvíz szükséglet a nagyobb termelésű állományokban alakult kedvezőbben. Britt és mtsi (2021) is ezt a megállapítást tette munkájában, vagyis, hogy a nagyobb teljesítményű tejelő állomány több tej termelés mellett fajlagosan kisebb ökológiai lábnyommal rendelkezik az alacsonyabb hozamú állományokhoz viszonyítva.

5.2. A fejési művelet vízhasználata

A fejés technológiai vízhasználata a tejtankok mosását, a tőgyelőkészítést, a fejőberendezés belső és külső mosását, és a fejőállás padozatának mosását foglalta magában. Az átlagos napi technológiai vízhasználati (m³/nap) adatok a 5.2. táblázatban láthatók.

5.2. táblázat: Átlagos napi technológiai vízhasználat a vizsgált telepeken

	HLSZ	POL	ROB
Tejtank/ok (m ³ /nap)	0,17	0,28	0,43
Tőgyelőkészítés (m ³ /nap)	2,23	k)	2,68
Fejőberendezés belső mosása (m ³ /nap)	1,36	2,88	2,88
Padozat és fejőberendezés külső mosása (m ³ /nap)	3,80	5,70	4,20
Teljes átlagos napi technológiai vízhasználat (m ³ /nap)	7,56 ^a	8,86 ^b	10,19 ^c
1 tehén napi technológiai vízhasználat (m ³ /tehén/nap)	0,0346 ^a	0,0167 ^b	0,0195 ^c
1 fejés napi technológiai vízhasználat (m ³ /nap/fejés)	0,0173 ^a	0,0055 ^b	0,0069 ^c

k) a tőgyelőkészítés fertőtlenítő kendővel történik, nem jár vízhasználattal

^{abc}: a különböző betűvel jelölt értékek között szignifikáns (P<5%) különbség van

A táblázat értékeinek meghatározásához az alábbi adatok kerültek felhasználásra:

- A HLSZ telepen egy 5000 literes és egy 6000 literes tejtank, a POL telepen két 6400 literes és egy 6000 literes tejtank és a ROB telepen két 14000 literes illetve egy 800 literes tejtank. A tejtank mosásához szükséges víz 1,5%-a tejtank térfogatának, így naponta 165 liter (HLSZ), 282 liter (POL) és 432 liter (ROB) volt a tejtank mosás vízhasználata a telepeken.
- A HLSZ telepen manuális tőgyelőkészítést/mosást végeznek, melynek vízszükséglete függ a tőgy szennyezettségétől, ami méréseim alapján 2 és 7 liter között változott, ezért a vizsgálatban átlagos 5 liter vízhasználattal számoltam fejésenként. A tőgyelőkészítés így 2230 liter napi vízhasználatot jelentett a HLSZ telepen.
- POL telepen a már említett száraz tőgyelőkészítést alkalmazzák, így itt nem merült fel a tőgymosóvíz használat.
- A ROB telepen a fejőrobot végzi a tőgyelőkészítést, itt a fejésenkénti 1,8 liter vízhasználat a berendezés technológiai leírása alapján került megállapításra. 1360 liter volt a fejőberendezés belső mosásához szükséges napi vízmennyiség a HLSZ telepen. A POL és a ROB telepen 2880 liter kék vizet használnak naponta a fejőberendezés belső mosására a fejőberendezések gépkönyveinek adatai alapján.
- A padozat és a fejőberendezés külső mosására 3800 liter kékvizet használnak fel a HLSZ telepen 5700 litert a POL telepen és 4200 litert a ROB telepen.

Tehát amennyiben a napi átlagos technológiai vízhasználatot tekintjük értékmérőnek, akkor a HLSZ telep 7,56 m³-es vízfogyasztása a legkisebb, ám ha a realisabb értéket, az egy tehenre vonatkoztatott napi technológiai vízhasználatot vizsgáljuk akkor a POL telep adata a kedvezőbb (16,7 liter), még akkor is, ha a fejések számára vonatkoztatva értékeljük az adatokat (5,5 L/fejés). A telepeken mért egy tehenre vonatkoztatott technológiai vízhasználati értékek a ROB (19,5 L/tehen/nap) és POL (16,7 L/tehen/nap) telepek esetében összhangban állnak Chapagain és Hoekstra (2004) számításai alapján publikált 22 L/tehen/nap értékkel.

A statisztikai próba mindhárom telep esetében szignifikáns eltérést igazolt a napi technológiai vízhasználat különbségeiben összesítve, egy tehenre és egy fejésre viszonyítva egyaránt P<5%-os megbízhatóság mellett.

Wankhade és mtsi (2021) a fejőberendezés (M/S DeLaval bucket milking system) és a kézi fejés összehasonlításánál azt mutatták ki, hogy a fejőberendezések alkalmazásánál a vízhasználat 42 liter naponta tehenenként. Az általam vizsgálat telepeknél minden fejési típus esetében ennél alacsonyabb értéket kaptunk, igaz, hogy a vizsgált tehenészetnél az átlagos hőmérséklet 31,1 °C míg a tejhozam átlag 10 liter tehenenként. Thomson és mtsi (2018) DeLaval System fejőrobot esetében kimutatta, hogy átlagosan 6,9 liter a vízhasználat fejésenként, ami egyezik a ROB azaz robot fejést alkalmazó telepen mért, fejésenkénti 6,9 liter

értékkel és magasabb, mint a POL, azaz poligon-halszállás telepen mért 5,5 liter. Ezek az eredmények egybecsengenek Nitzan és mtsi (2006) eredményeivel, akik azt mutatták ki, hogy egy legfeljebb 14 fejőállással rendelkező fejőház esetében a halszállás kialakítás nagyobb kapacitást biztosít, mint a párhuzamos vagy a forgó fejőállások, de a fejőállások további bővítése cc. 20 fejőállásra már csökkentette a teljesítményt.

A technológiai vízhasználat az a terület, ahol lehetőség nyílik a kékvíz mennyiségének kiváltására, ezért különösen fontos ezen értékek elemzése.

A HLSZ telepen volt a legnagyobb a technológiai vízhasználat, majdnem kétszerese a POL és a ROB telepekhez viszonyítva, melynek oka elsődlegesen a tőgyelőkészítésben keresendő. Közel azonos mennyiségű víz kerül felhasználásra a HLSZ és ROB telepen a tőgy előkészítésre, annak ellenére, hogy a naponta fejt tehenek száma jelentősen eltérő: 436 (HLSZ) és 1461 (ROB). A POL telep kedvező egy fejésre eső technológiai vízfogyasztásának az oka az ún. száraz tőgyelőkészítés alkalmazása, hiszen a padozat és fejőberendezés külső mosására ezen a telepen használták a legtöbb vizet.

5.3. Kék vízlábnyom

Mekonnen és Hoekstra (2012), kék vízlábnyomra bevezetett összefüggését (3) alkalmazva a három vizsgált telep adatai alapján $40,39 \text{ m}^3/\text{év}/\text{tehén}$ volt a HLSZ telep, $43,85 \text{ m}^3/\text{év}/\text{tehén}$ a POL telep és $42,85 \text{ m}^3/\text{év}/\text{tehén}$ volt a ROB telep kék vízlábnyoma. (5.3. táblázat).

5.3. táblázat: Kék vízlábnyom eredmények HLSZ, POL és ROB telepeken

	HLSZ	POL	ROB
Ivóvízfogyasztás kék vízlábnyoma (m ³ / év/tehén)	32,04 ^a	37,76 ^b	35,44 ^b
Technológiai vízhasználat kék vízlábnyoma (m ³ / év/tehén)	12,62 ^a	6,09 ^b	7,11 ^c
Teljes kék vízlábnyom (m ³ / év/tehén)	44,66 ^a	43,85 ^b	42,55 ^c
Teljes kék vízlábnyom (m ³ / év/fejés)	22,33 ^a	14,61 ^b	15,19 ^b

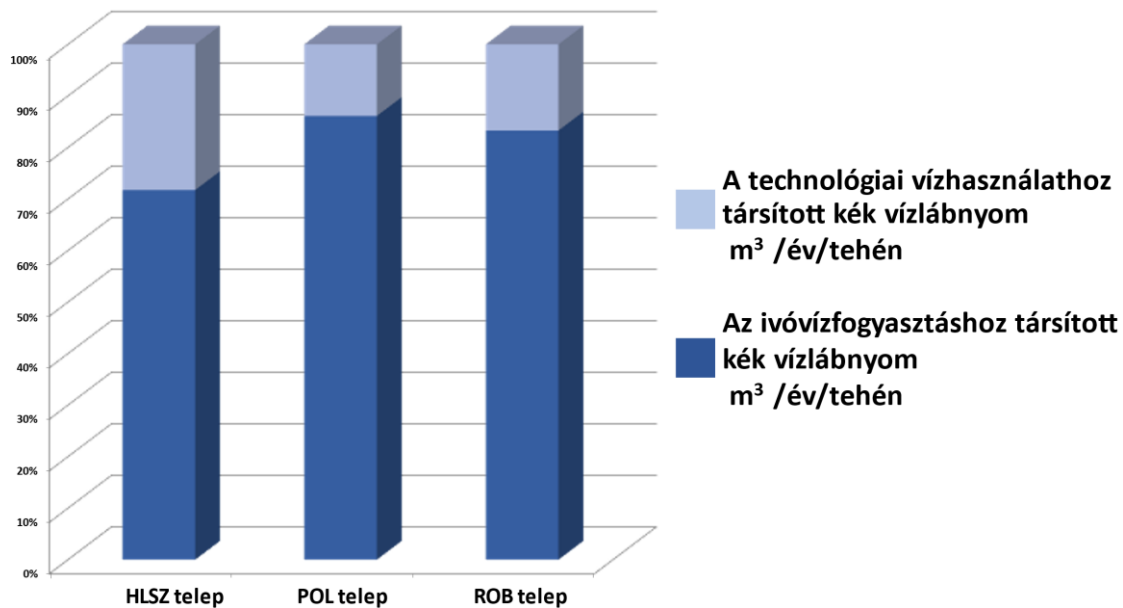
^{abc}: a különböző betűvel jelölt értékek között szignifikáns (P<5%) különbség van

A fejések számára vonatkoztatva a sorrend és az értékek változnak, 22,33 m³/év/fejés a HLSZ, 14,61 m³/év/fejés a POL és 15,19 m³/év/fejés a ROB telep értéke, vagyis így a POL telep a legkedvezőbb a kék vízlábnyom szempontjából.

Az ivóvízfogyasztás kék vízlábnyoma jelentős részt tett ki a teljes kék vízlábnyomból mindhárom telep esetében. Ez az érték a HLSZ telepnél volt a legkisebb (32,04 m³/év/tehén), azonban ezen a telepen volt a legmagasabb a technológiai vízhasználat kék vízlábnyoma (12,62 m³/év/tehén), és a teljes kék vízlábnyom is (44,66 m³/év/tehén). A technológiai vízhasználat kék vízlábnyomát figyelembe véve, a POL és a ROB telepek egymáshoz közeli – 6,09 m³/év/tehén és 7,11 m³/év/tehén- értékeket, míg az HLSZ telep majd kétszeres eredményt hozott – 12,62 m³/ év/tehén- az előbbiekhöz képest (5.3. táblázat).

Az ivóvízfogyasztás összehasonlításakor a varianciaanalízis a HLSZ telep esetében igazolt szignifikáns különbséget, a POL és a ROB állomány adataihoz képest. A többi paraméter vizsgálatokor (technológiai vízhasználat kék vízlábnyoma (m³/ év/tehén), teljes kék vízlábnyom (m³/ év/tehén) teljes kék vízlábnyom (m³/ év/fejés)) mindhárom telep adatai között P<5%-os szignifikancia szinten találtam eltérést.

A kék vízlábnyom megoszlása az ivóvízfogyasztás és a technológiai vízhasználat tekintetében az 5.5. ábrán látható.

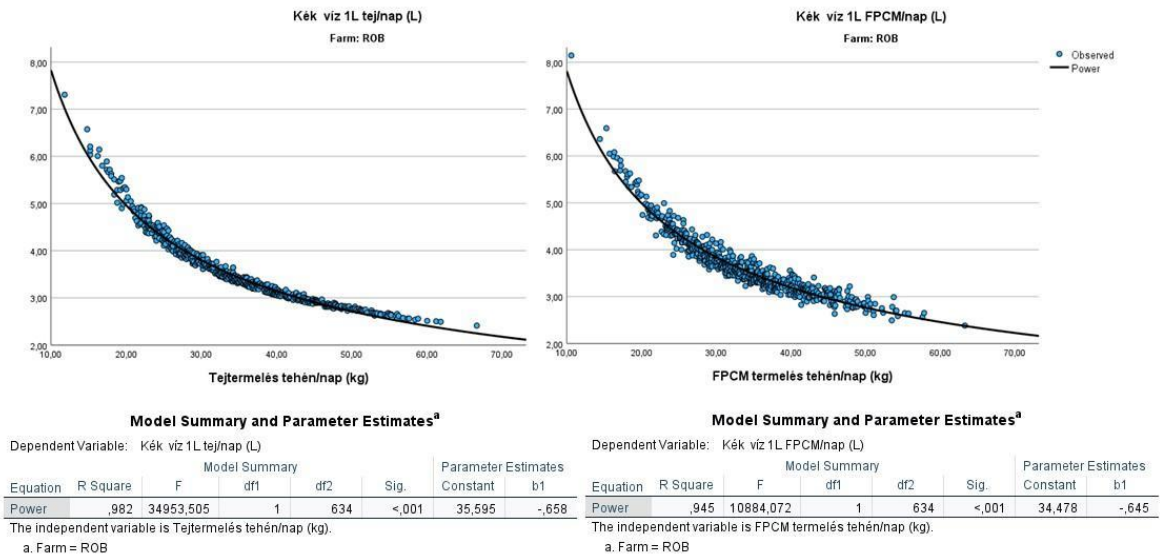


5.5. ábra. Kék vízlábnyom megoszlása ivóvízfogyasztás és technológiai vízhasználat tekintetében

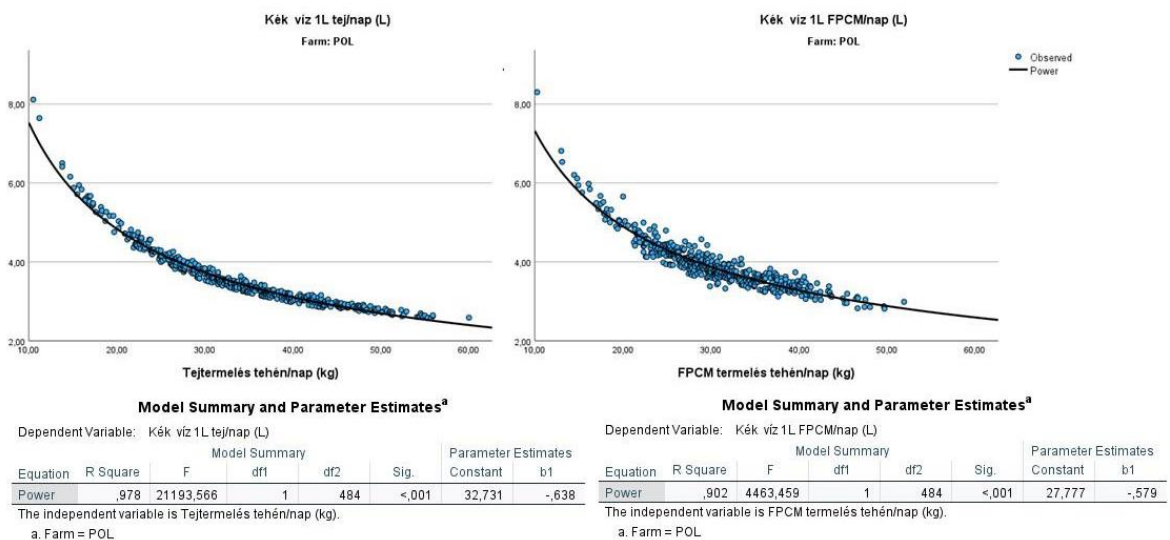
Amennyiben az ivóvízfogyasztást és a technológiai vízhasználatot vesszük alapul (a takarmány fogyasztáshoz társított kék vízlábnyom nem része a kutatásnak), akkor az ivóvízfogyasztás a HLSZ telepen 72%-át, a POL telepen 86%-át, a ROB telepen pedig 83 %-át tette ki a kék vízlábnyom értékének.

A 5.6 – 5.8. ábrák arra a kérdésre adnak választ, hogy egy liter tejre visszavetítve, hogyan alakul a telepen felhasznált kékvíz szükséglet. Elmondható, hogy minél nagyobb a tehén termelése, annál kevesebb az egységnyi tejmenyiségre eső kékvíz mennyisége, azonban ebben az esetben nem lineáris az összefüggés, hanem a hatványkitevős modell egyenlet illeszthető az értékekre. A regressziós egyenlet állandója (a) megmutatja, hogy 1 kg tejtermelés esetén hány liter kékvíz szükséglet várható. Ez az állandó a HLSZ ($a_{HLSZt}:84,05$; $a_{HLSZfpcm}:87,3$) telepen a legnagyobb, ahol a tőgymosás jelentősen megemelte a technológiai víz használatát. A ROB telepen a regressziós állandó értéke 35,6 liter a tej mennyiség és 34,48 liter a korrigált termelés (FPCM) esetében, ezek az értékek meghaladják a POL telep eredményeit ($a_{POLt}:32,73$; $a_{POLfpcm}:27,77$), melynek magyarázata a nagyobb technológiai vízhasználat a fejőrobot esetében.

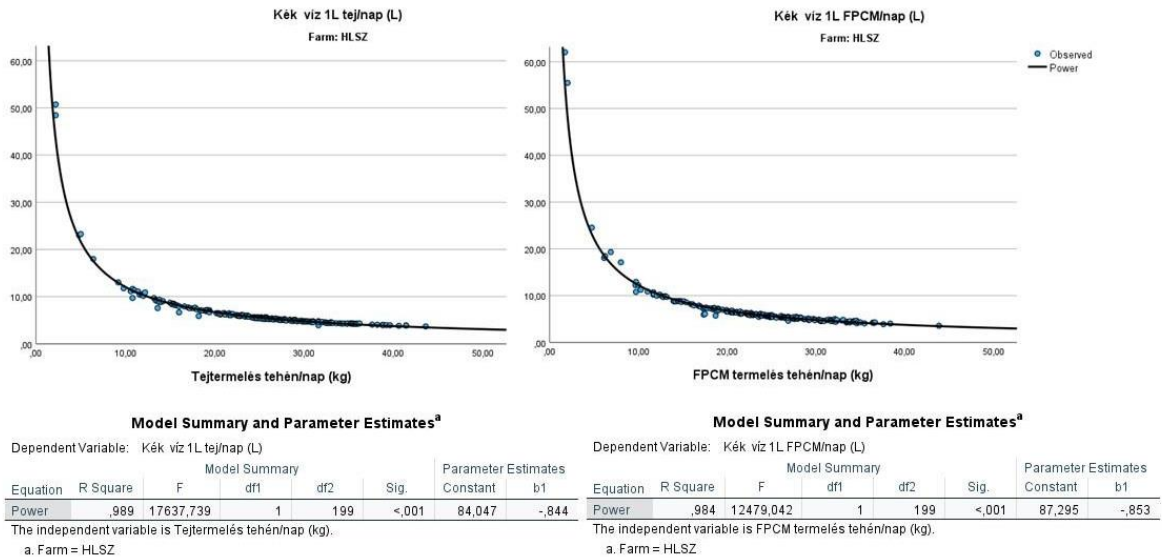
A regressziós együttható (b) értéke megmutatja, hogy 1%-os tejtermelésbeni javulás hány %-kal kevesebb vízszükséglettel egyenértékű. Legjelentősebb eredményt a HLSZ telepen kaptam, ahol a tejtermelés 1%-os növekedése 0,84%-os fajlagos ($b_{HLSZfpcm}$) csökkenést eredményezett az 1 kg korigált tej előállításához felhasznált kék víz mennyiségében.



5.6. ábra: A tényleges, valamint a korigált tejmennyiség és a kék víz felhasználása közötti összefüggés vizsgálatára szolgáló regressziós görbe illesztése (ROB).



5.7. ábra: A tényleges, valamint a korrigált tejmenység és a kék víz felhasználása közötti összefüggés vizsgálatára szolgáló regressziós görbe illesztése (POL).



5.8. ábra: A tényleges, valamint a korrigált tejmenység és a kék víz felhasználása közötti összefüggés vizsgálatára szolgáló regressziós görbe illesztése (HLSZ).

Az 5.4 és a 5.5. táblázat a regressziós egyenlet alapján számított vízszükségleti értékeket mutatja, 10 kg – 80 kg között feltételezett termelési színvonal mellett. Az eredmények megmutatják, hogy legnagyobb különbségek a kisebb termelési szint mellett mutatkoznak meg.

5.4. táblázat: A regressziós egyenlet alapján kalkulált egy kilogramm tej termelésére vonatkozó kékvíz szükséglet

Napi átlagos tejtermelési szint	1 kg	10 kg	20 kg	50 kg	80 kg
Egy kg tejure jutó kékvíz szükséglet ROB (L)	35,60	7,82	4,96	2,71	1,99
Egy kg tejure jutó kékvíz szükséglet POL (L)	32,73	7,53	4,84	2,70	2,00
Egy kg tejure jutó kékvíz szükséglet HLSZ (L)	84,05	12,04	6,71	3,09	2,08

5.5. táblázat: A regressziós egyenlet alapján kalkulált egy kilogramm FPCM termelésre vonatkozó kékvíz szükséglet

Napi átlagos FPCM tejtermelési szint	1 kg	10 kg	20 kg	50 kg	80 kg
Egy kg FPCM tejre jutó kékvíz szükséglet ROB	34,48	7,81	4,99	2,77	2,04
Egy kg FPCM tejre jutó kékvíz szükséglet POL	27,78	7,32	4,90	2,88	2,20
Egy kg FPCM tejre jutó kékvíz szükséglet HLSZ	87,30	12,25	6,78	3,10	2,08

Összességében megállapítható, hogy egy olyan szakmai döntés, mint a tőgyomosás alkalmazása a fejés előkészületeiben, jelentős plusz kékvíz fogyasztást eredményezhet a telepen. Azonban, ha a fajlagos, egy kg tejre vetített vízszükségletet nézzük, akkor a termelési szint növekedése mellett a fejéstechnológiai különbségekből eredő vízfogyasztás különbsége hatványosan csökken.

5.4. Szürke vízlábnyom

A szürke vízlábnyom egy adott víztestet elérő szennyezőanyag-terhelést fejez ki. A szürke vízlábnyomot a maximális elfogadható szennyezőanyag koncentráció (1000 mg/L), a víz alap szennyezőanyag koncentrációja (4 mg/L) illetve a különböző szennyvízminták kémiai oxigénigény adata értéke befolyásolja, ahogy az az (5) egyenletben látható. A technológiai feladatokhoz használt ivóvíz természetesen a kék vízlábnyomban is meghatározó érték, majd a technológiából kikerülve a szürke vízlábnyomba számít bele. Így a fejőházak szürke vízlábnyomának meghatározásához a laktáló tehenek ivóvízfogyasztása és a technológiai víz mennyisége, valamint a keletkezett szürkevíz mennyisége és annak kémiai oxigénigénye került felhasználásra.

A szürke vízlábnyomot hígítási vízszükségletként is nevezhetnénk, de nem célszerű ezt az elnevezést használni, mivel félreértésre adhat okot, hiszen ez egy vízszennyezési indikátor, ami azt mutatja meg, hogy mennyi kékvíz kellene ahhoz, hogy ez a szürkevíz megfeleljen az ivóvíz előírásainak. Ha tehát szennyvízkezelés történik csökkentjük a szürke vízlábnyom nagyságát. Azonban fontos kiemelni, hogy a különböző fejés technológiát alkalmazó telepeken jelentős eltérés van a keletkező szürke víz mennyiségi és minőségi mutatói között, a fejési gyakoriság, az egyszerre fejt tehének száma, a tisztítási gyakorlat (savas, lúgos és azok gyakorisága) és padozat mosási rutin tekintetében. A fejőberendezés mosása során keletkező szennyvíz nem, vagy minimálisan tartalmaz fekális eredetű szennyeződések, míg a fejőberendezés külső mosásából és a padozat mosásából származó szennyvíz nagymértékben tartalmaz tej-, vizelet és trágya maradványt.

Az átlagos napi technológiai vízhasználati adatok (5.2. táblázat) kerültek felhasználásra a szürke vízlábnyom kiszámításához. A számítás alapját a különböző helyről vett minták szennyezőanyag-terhelése jelentette, amit a kémiai oxigénigény jellemez. A minták átlag KOI eredményei láthatók az 5.6. táblázatban.

5.6. táblázat: Kémiai oxigénigény értékek különböző mintavételi helyeken

Telep	Mintavételi hely	Kémiai oxigénigény (mg/L)
HLSZ	tejtank	350 ± 35
	fejőberendezés belső mosása	590 ± 87
	tógy egyelőkészítés: tógymosás manuális	6790 ± 430
	padozat és fejőberendezés külső mosása	6790 ± 590
POL	tejtank	600 ± 70
	fejőberendezés belső mosása	300 ± 33
	padozat és fejőberendezés külső mosása	4123 ± 700
ROB	tejtank	440 ± 55
	fejőrobot belső mosása és tógyelőkészítés	22693 ± 1350

	padozat és robot külső mosása	1200 ±180
--	-------------------------------	-----------

A legnagyobb kémiai oxigénigény értékeket a HLSZ (6790 mg/L) és POL telepeken (4123 mg/L) a padozat és fejőberendezés külső mosásából származó minták adták, ami érthető mivel a vizelet és trágya is a szennyvízbe került. A HLSZ telepen a manuális tőgymosás során nem csak a bimbókat, hanem az egész tőgyet mosták, így nagydarabos szilárd szennyeződés is a szennyvízbe került. Ennek KOI értéke szintén átlag 6790 mg/L. A tejtank belső mosásából származó minta KOI eredménye 350 mg/L a HLSZ telepen, 600 mg/L a POL telepen és 440 mg/L a ROB telepen. Látható, hogy az automatikus mosási rendszer hasonló szervesanyag terheléssel dolgozik. A fejőberendezés belső mosásakor vett minták átlagos KOI értéke 500 mg/L a HLSZ telepen és 300 mg/L a POL telepen. A ROB telepen a fejőrobot által végzett tőgyelőkészítés és fejőberendezés együttes mosási szennyvíz mintájának átlagos KOI értéke 22693 mg/L. A fejőrobotok esetében a dolgozók a beálló részt és környékét és a padozatot tömőkkel, manuálisan is mossák, amellett, hogy a robot fertőtleníti és mossza magát, így a ROB telep esetében a padozat és robot külső mosása során keletkező szennyvíz átlagos KOI értéke 1200 mg/L.

Az (5) egyenlet alapján számolt szürke vízlábnyom eredményeket az 5.7. táblázat tartalmazza. A padozat és fejőberendezés külső mosásának szürke vízlábnyoma a vizsgált telepeken hasonlóképpen alakult 41,96; 24,64 és 70,84 m³/nap a HLSZ, a POL és a ROB telepeken. A többi mintavételi helyhez képest magasabb szürke vízlábnyom a padozatra és a fejőberendezés külső részére kerülő trágya, vizelet és tejmaradványnak tudható be, mivel az innen vett szennyvízminták szervesanyag tartalma is magas volt (5.6. táblázat).

A tej tankhoz társított szürke vízlábnyom 0,06 m³/nap volt a HLSZ telepen, 0,17 m³/nap volt a POL telepen és 0,18 m³/nap a ROB telepen. Az alacsony értékek oka, hogy a tejtankból származó vizet csak a többszöri öblítés miatt erősen hígított mosószeres víz és a kevés tejmaradvány szennyezi.

A HLSZ telepen lévő tőgyelőkészítés szürke vízlábnyoma 15,2 m³/nap. A napi fejésszám 436 tehén, 5 liter fejésenkénti napi vízhasználattal számolva, tovább növeli a napi szürkevíz mennyiséget és következésképpen a szürke vízlábnyomot az HLSZ telepen.

A fejőberendezés belső mosásának szürke vízlábnyoma 0,8 m³/nap a HLSZ, és 0,87 m³/nap a POL telepen. Ennek alakulását befolyásolta a fejőberendezések száma és a napi fejési gyakoriság, illetve a mosási szokások (savas, lúgos, gyakoriság) a telepeken.

A fejőrobot belső mosásából és a tőgy előkészítésből együttesen származó szennyvíz szürke vízlábnyoma 65,6 m³/nap volt a ROB telepen, ami magas, és ezt valószínűsíthetően a nagy vízfelhasználás, a magas detergens tartalom és tejmaradvány okozza.

Ezek alapján a napi szürke vízlábnyom a ROB telepen a legnagyobb 70,84 m³/nap, ezt követte a HLSZ telep 41,96 m³/nap eredménnyel. A napi szürke vízlábnyom a POL telepen volt a legkisebb 24,64 m³/nap.

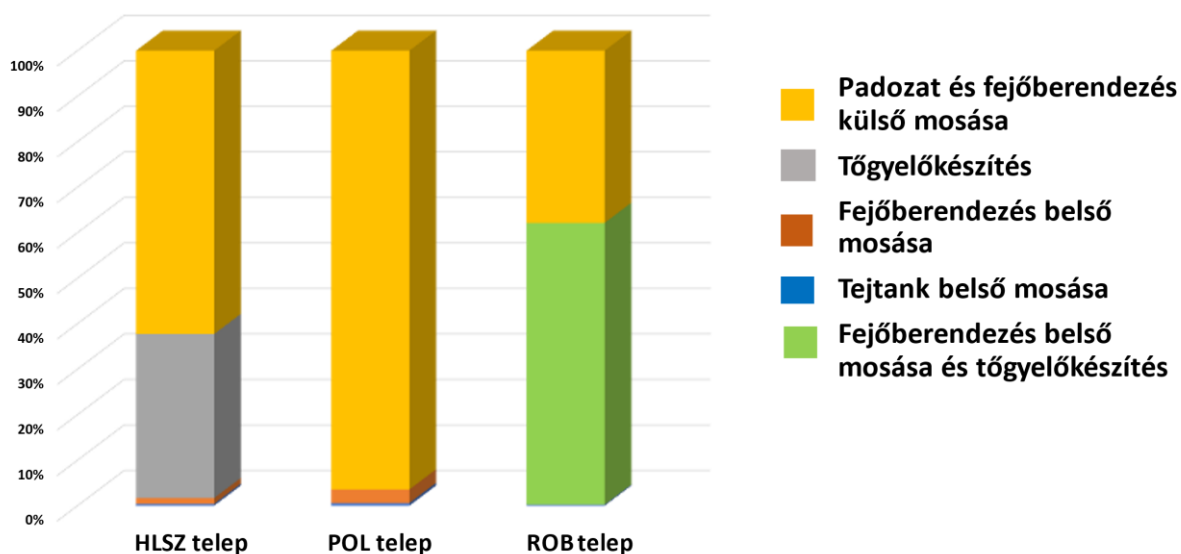
5.7. táblázat: Szürke vízlábnyom eredmények különböző mintavételi helyeken HLSZ, POL és ROB telepeken

Telep	Mintavételi hely	Szürke vízlábnyom (m ³ /nap)	
HLSZ	tejtank	0,06	41,96
	fejőberendezés belső mosása	0,8	
	Tőgy előkészítés: tőgymosás manuális	15,2	
	padozat és fejőberendezés külső mosása	25,9	
POL	tejtank	0,17	24,64
	fejőberendezés belső mosása	0,87	
	padozat és fejőberendezés külső mosása	23,6	
ROB	tejtank	0,18	70,84
	Fejőrobot belső mosása és tőgyelőkészítés	65,6	
	padozat és fejőrobot külső mosása	5,06	

A legegértelműbb ok a szürke vízlábnyom eltéréseire a robot fejőberendezés belső mosása és a tőgyelőkészítés. Emiatt a ROB telep szürke vízlábnyoma közel kétszerese lett a HLSZ és a POL telepekhez viszonyítva. A POL telepen a legkisebb a szürke vízlábnyom (24,64 m³/nap). A különbségeket tehát a fejési módszer különbözősége okozta. Míg a HLSZ és a POL telepen a fejőberendezések külső mosása minden fejt csoport után, a belső mosás pedig a teljes

állomány fejését követően történik, addig a fejőrobot esetében minden egyes fejt tehén után történt automatikus mosószeres mosás.

A szürke vízlábnyom megoszlása technológiai vízhasználat tekintetében különböző mintavételi helyekről származó szennyvizek esetében a 5.9.ábrán látható.



5.9. ábra. Szürke vízlábnyom megoszlása technológiai vízhasználat tekintetében különböző mintavételi helyekről származó szennyvizek esetében

A HLSZ telepen a szürke vízlábnyom legnagyobb hányadát (61,7%) a padozat és fejőberendezés külső mosása tette ki. 36,2 % volt a tőgyelőkészítés szürke vízlábnyoma, 2 % volt a fejőberendezés belső mosásához, illetve 0,1 % volt a tejtank belső mosásához társított szürke vízlábnyom.

A POL telepen szintúgy a padozat és fejőberendezés mosásának szürke vízlábnyoma volt a legnagyobb 95,8 %. További 3,5 % volt a fejőberendezés belső mosásának és 0,7 % volt a tejtank mosásának szürke vízlábnyoma.

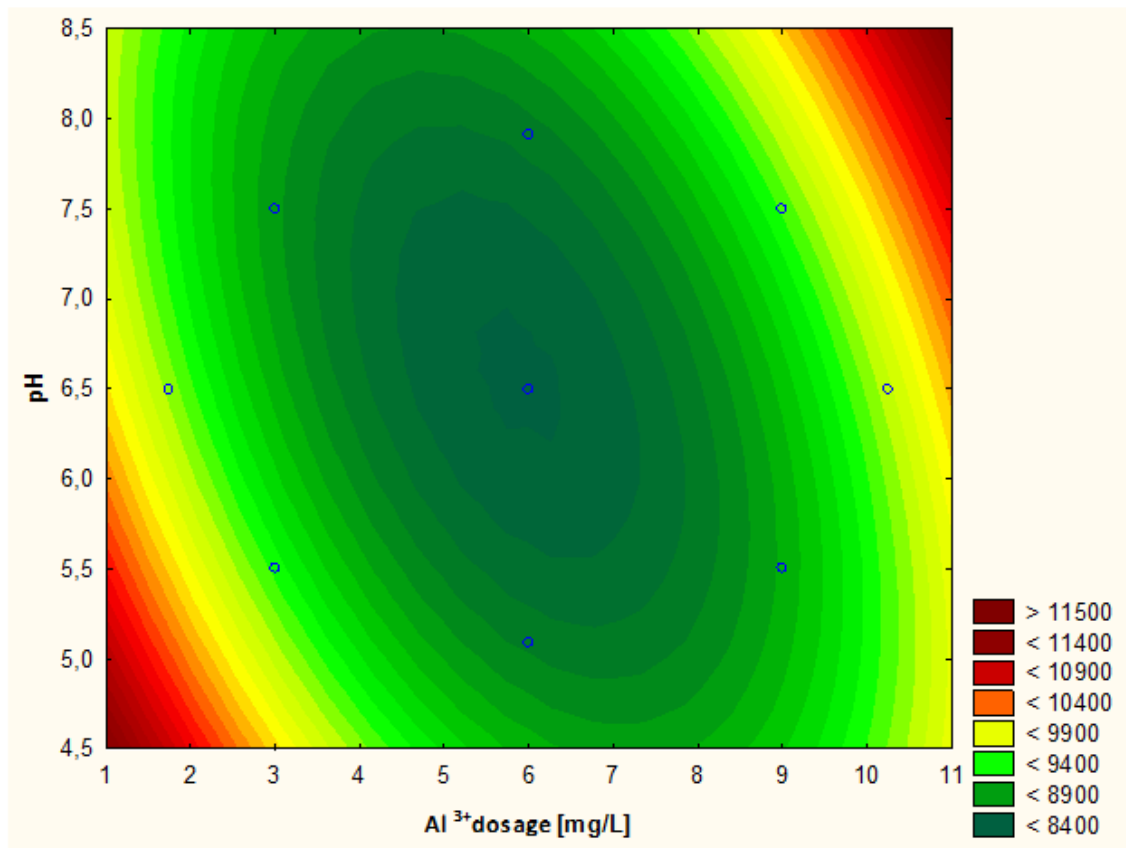
A ROB telepen 92,6 %-ot tett ki a fejőberendezés belső mosása és a tőgyelőkészítés szürke vízlábnyma, 7,15 % volt a padozat és fejőberendezés külső mosásának és 0,25 % volt a tejtank belső mosásának szürke vízlábnyma. Ezek alapján a padozat és fejőberendezés külső mosása (ROB telep esetében belső is), illetve a tőgyelőkészítés folyamata eredményezték a legnagyobb szürke vízlábnym volument, így a legnagyobb szervesanyag terhelést is környezetünknek.

5.5. Szennyvíz kezelések

Annak érdekében, hogy a fejőházi szennyvizek esetében ne csak a környezetterhelés csökkentésének szempontját, hanem a körforgásos környezetgazdálkodást is érvényesíthessük, többféle egyedi, majd komplex víztisztítási eljárásokat vizsgáltam meg a legegyszerűbb flokkulálástól a nagyhatékonyaságú oxidációs eljárásokon keresztül az ultrahanggal segített membránszűrésig, a vibrációs ultraszűrésig.

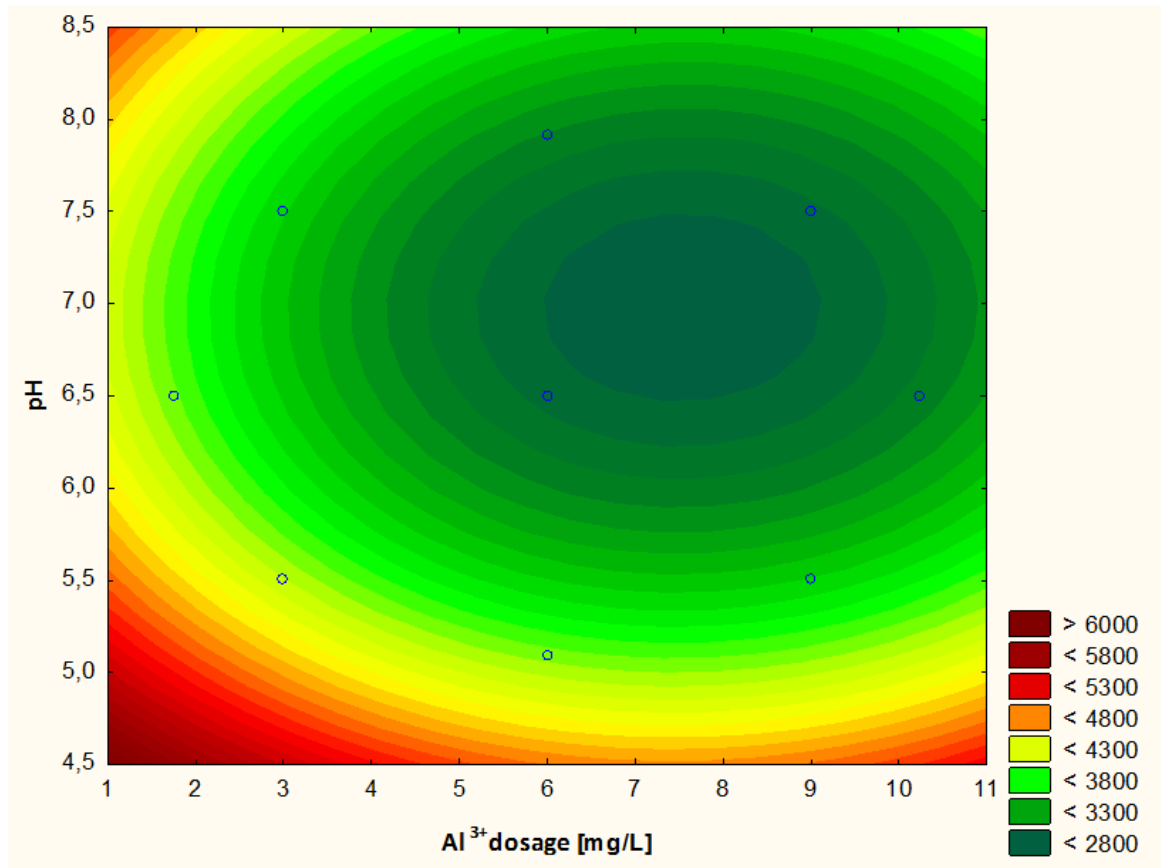
5.5.1. Flokkulálás

A koagulálás-flokkulálás, mint a szakirodalmakban is leggyakrabban alkalmazott szennyvíz tisztítási/előtisztítási módszernél az optimális dózis és pH meghatározását végeztem el elsőként. Az értekezésemben szereplő sokféle szennyvízminta közül erre a célra a fejőházi robot szennyvizét használtam, mert ennek volt a legmagasabb a kiindulási kémiai oxigénigénye. Az optimáláshoz forgatható középpontos kísérlettervet használtam, hogy meghatározzam a pH és az Al^{3+} optimális értékeit, melyet a további kísérleteim során alkalmazni szeretnék. A két változó az Al^{3+} mennyisége (3, 6, 9 mg/L) és a pH (5,5; 6,5; 7,5) voltak. Ezeket összesen 5 szinten vizsgáltam (-1, +1, - α , + α , 0) és a középpontban 3 ismétlést végeztem, így a kísérletek száma 11 volt. Válaszként a kémiai oxigénigény értékét (KOI) és a zavarosságot vizsgáltam. Az eredmények kiértékeléséhez Statistica programot használtam (5.10 és 5.11 ábra).



5.10.ábra. Flokkulálás Al^{3+} dózisének és pH értéke a kémiai oxigénigény minimumára vonatkozó optimalásának 2D ábrája

Az 5.10. ábrán a KOI minimum értékére optimalt eredményeket látjuk a pH és az Al^{3+} függvényében 2D-s ábrán. Az ábra segítségével és a program által is meghatározható, hogy a minimális KOI érték 5,86 mg/L Al^{3+} koncentrációnál és 6,58-os pH-nál érhető el.



5.11. ábra: Flokkulálás Al^{3+} dózisának és pH értékének a zavarosságra vonatkozó optimalálásának 2D ábrája

Az 5.11. ábrán a zavarosság mérések eredményeit látjuk a pH és az Al^{3+} függvényében 2D-s ábrán. Itt a zavarosság minimális értékét határoztam meg, ami 2712 NTU, ez 7,53 mg/L Al^{3+} koncentrációval és 6,98-as pH-val érhető el. Ezen mérési eredmények alapján a továbbiakban a 4.4.1. fejezetben leírt recept alapján (6,8 mg/L Al^{3+} koncentráció és pH 6) dolgoztam, elsősorban a KOI változását részesítve előnyben.

5.8. táblázat: Flokkulált és centrifugált minták kémiai oxigénigény értékei

Minta forrása		Kiindulási minta	Flokkulálási felülűszó		Centrifugálás felülűszója	
		KOI mg/L	KOI mg/L	Kezelési hatásfok [%]	KOI mg/L	Kezelési hatásfok [%]*
HLSZ	Fejőházi szennyvíz	6790±590	4580±320	32,5	4360±22	4,8
	Fejőberendezés mosóvíz	590±87	290±33	50,8	277±25	4,4
	Tejtank mosóvíz	350±35	330±90	5,7	312±70	5,4
POL	Fejőházi szennyvíz	4123±700	2680±115	34,9	2610±100	2,6
	Szikkasztó medence	4997±680	3447±270	31,1	3390±240	1,65
ROB	Fejőrobot szennyvíz	22693±3350	14703±1590	35,2	10840±1300	26,2
	Hígtrágya	52520±4200	28460±3200	45,8	24570±3000	13,6

*Kezelési hatásfok a flokkulás felülűszójához képest [%]

A vizsgált telepekről származó, különböző eredetű szennyvizek mintáinak kémiai oxigénigény értékei az 5.8. táblázatban a flokkulálás utáni, valamint a flokkulálás felülűszójának centrifugálásából eredő minták kémiai oxigénigény értékeit, valamint a kezelési hatásfokot mutatja. Már első megközelítésben is látszik, hogy a koagulálás-flokkulálás az eltérő mintáknál eltérő mértékben (50,8 - 31,1%), de min. 31,1%-val csökkentette a KOI értékét. A maximális kezelési hatásfok, 50,8 % a HLSZ telep fejőberendezésének igen alacsony KOI értékű

szennyvizénél adódott, de a kiugróan alacsony szennyezettségű mintáktól eltekintve ez az érték átlagban 35,9%. Eredményimet más kutatók eredményeivel nem tudom összevetni, annak ellenére, hogy a flokkulálás az egyik leggyakoribb szennyvízkezelési módszer, mert fejtőházi szennyvízminták flokkulálási eredményeit az adatbázisokban nem találtam. Elsősorban a tejipari és más ipari eredetű szennyvizek flokkulálását, a flokkulálószer anyagának és dózisának vizsgálatát kutatják.

5.5.2. Centrifugálás

A centrifugálást minden esetben flokkulálást követően alkalmaztam, ahol a flokkulálás felülúszója jelentette a kiindulási mintát. Az 5.8 táblázat adatai alapján szembevetve, hogy a flokkulálás utáni felülúszó tovább tisztítása centrifugálással nem vezet gyakorlatilag/gazdaságilag számottevő eredménnyel. Az így elért kezelési hatások értékek, melyek a minták átlag értékei alapján kerültek kiszámításra, 3-5 % körül mozognak, kivéve az igen nagy szennyezettségű minták esetében, ahol a KOI érték a centrifugálással további 13% 26 %-val csökkenthető, de ezek az értékek elmaradnak a flokkulációnál mérhető hatások (35%, 45%) értékek mögött, valamint a szórások figyelembe vételével nem jeletenek minden esetben szignifikáns változást.

A centrifugálással végrehajtott szétválasztás tehát a flokkulálást követően csak a legszennyezettebb minták esetében jelentett minimális javulást a KOI tekintetében. Ezért gazdaságossági szempontból érdemes megfontolni a centrifugálási művelet technológiai sorba történő beillesztésének szükségességét.

5.5.3. Mikroszűrés

A mikroszűrést szintén a flokkulálást követően alkalmaztam. A fejtőházi szennyvízmintája esetében a flokkulálás felülúszójának KOI értéke 48 %-kal csökkent a mikroszűrésnek köszönhetően. A szikkasztó medencéből származó szennyvízminták esetében pedig a mikroszűrés 49 %-kal csökkentette a KOI értékét. Így mindkét szennyvízminta tekintetében eredményes kezelésnek bizonyult a mikroszűrés, hiszen az közel felére csökkentette a minták

KOI értékét. Viszont a szűrőközeg rendkívül gyorsan eltömődött, ezért ez a kezelés gazdasági szempontból nem lenne kifizetődő ilyen mennyiségű szennyvíz tisztítása esetén.

5.5.4. Ózonozás

Az ózon hatásának vizsgálatához a kezeletlen, azaz koagulálás/flokkulálással sem kezelt mintákat alkalmaztuk (5.9 táblázat).

A HLSZ telep fejtőházi szennyvizének KOI értékét átlag 6790 mg/L -ről átlag 4173 mg/L-re sikerült csökkenteni (38%) 30 perces ózonozással, 898 mg ózon/Lvíz elnyelés érték mellett. A POL telep fejtőházi szennyvizének KOI értékét átlag 4123 mg/L -ről átlag 3043 mg/L-re sikerült csökkenteni (26%) 30 perces ózonozással. A fejtőrobot esetében a ROB telepen, a kiindulási minta kémiai oxigénigénye átlag 22693 mg/L; ózonozáskor (320 mg ózon/1 L víz) fél óras kezelés hatására átlag 11780 mg/L-re csökkent (38%) a minta KOI értéke.

5.9. táblázat Ózonos előkezelés eredményei HLSZ, POL és ROB telepeken

	HLSZ fejtőházi szennyvíz	POL fejtőházi szennyvíz	ROB fejtőrobot szennyvíz
KOI ózonozás előtt mg/L	6790±590	4123±700	22693±3350
KOI ózonozás után mg/L	4173±390	3043±180	11780±1800
Kezelési hatásfok %	38,5	26,1	48,8

Az előkezelések tekintetében az ózonos kezelés önmagában is eredményesen csökkentette a nyers fejtőházi szennyvíz KOI értékét a vizsgált HLSZ, POL és ROB telepek esetében.

5.5.5. Fenton reakción alapuló oxidációs kezelés alkalmazása

A Fenton reakción alapuló oxidációs kezelések esetében is a közvetlenül begyűjtött, semmilyen tisztító kezelésen át nem esett mintákat alkalmaztuk.

A fejtóházi szennyvíz KOI értékét a Fenton reakción alapuló módszerrel a HLSZ telepen 120 perc elteltével 31 %-kal csökkent a KOI értéke, számottevően nem nagyobb értékkel, mint az ózonozásnál (5.10 táblázat).

5.10.táblázat: Fenton reakción alapuló oxidációs kezelés eredményei HLSZ, POL és ROB telepeken

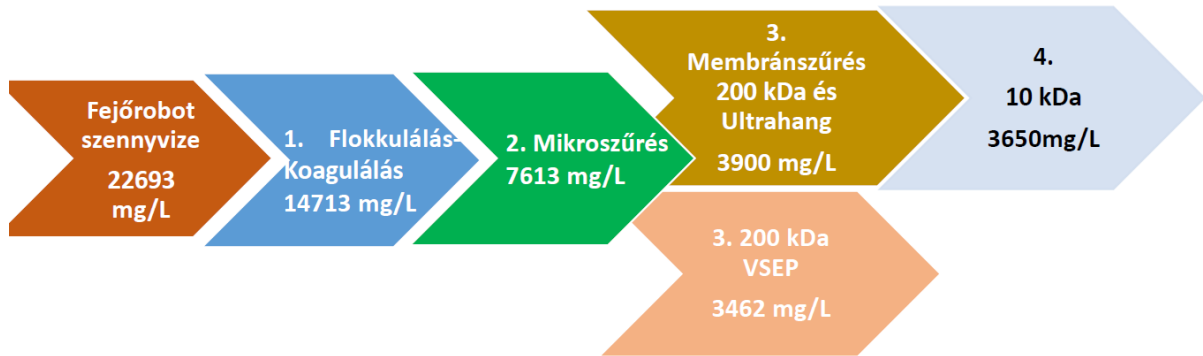
	HLSZ telep fejtóházi szennyvíz	POL telep fejtóházi szennyvíz	ROB telep fejőrobot szennyvíz
KOI fenton-oxidáció előtt mg/L	6790±590	4123±700	22693±1350
KOI fenton-oxidáció után mg/L	4650±330	4060±275	12160±950
Kezelési hatásfok %	31,5	1,5	46,4

Ugyanez a tendencia a másik két telephely esetében is, vagyis a fentonos kezelésnél ózonozással közel hasonló értékeket kaptunk, ezek alapján eseti döntést igényel, hogy a flokkulálás, az ózonozás vagy a Fenton reakción alapuló oxidációs eljárás kerüljön felhasználásra az adott telepen. A három kezelés idő, berendezés és vegyszer igényét figyelembe véve a flokkulálás látszik a gyakorlatban legkönnyebben és leggazdaságosabban kivitelezhetőnek.

5.5.6. VSEP Ultraszűrés

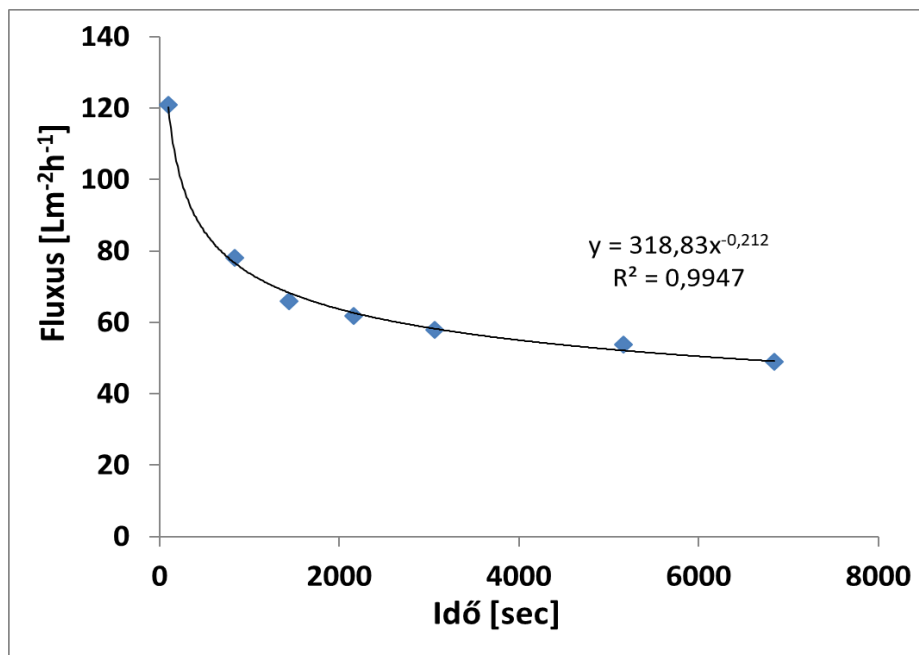
A ultraszűrés tisztítási hatékonyságának vizsgálatához a ROB telep fejőrobotjának szennyvizét használtam fel. Tekintettel az ultraszűrés leválasztási tartományára (200 kDa) a mintákat tisztító-előkezeléseknek vettem alá, melynek sorrendjét az 5.12 ábra mutatja. A kiindulási minta a ROB telep fejőrobot szennyvize volt, amit flokkulálás követett. Az ülepített felülúszót mikroszűrtem, és ennek a műveletnek a permeátuma adta a betáplálási áramot mind a vibrációs- mind pedig az ultrahanggal segített ultraszűréshez. Mindkét ultraszűrési műveletet 200 kDa

vágási értékű PES membránnal hajtottam végre. A “statikus”, azaz nem vibráltatott ultraszűrés permeátumát egy 10 kDa vágási értékű PAN membránra vezettem rá.



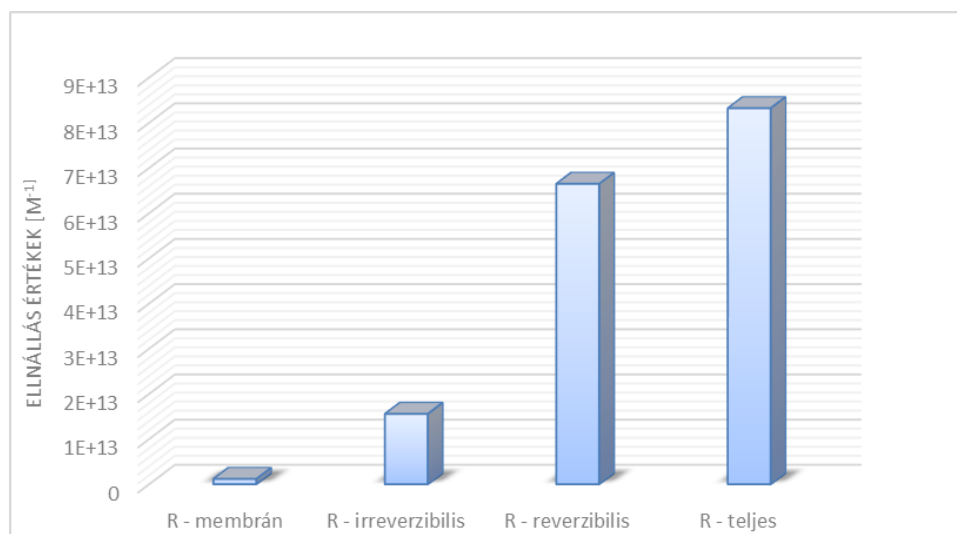
5.12 ábra: Az Ultraszűréssel kezelt minták szeparációs eljárásai

A 5.13. ábrán látható a vibrációs ultraszűréssel (VSEP) végzett szétválasztási művelet fluxus idő diagramja, amit egy tipikus, ultraszűrésekre jellemző hatványfüggvény ír le. A kitevő értéke -0,212, ami egy nem túl jelentős fluxus csökkenésre enged következtetni. A mért értékek és az illesztett függvény determinációs együtthatója 0,9947, ami a mért értékek és a leíró függvény között fennálló kiváló egyezést mutatja.



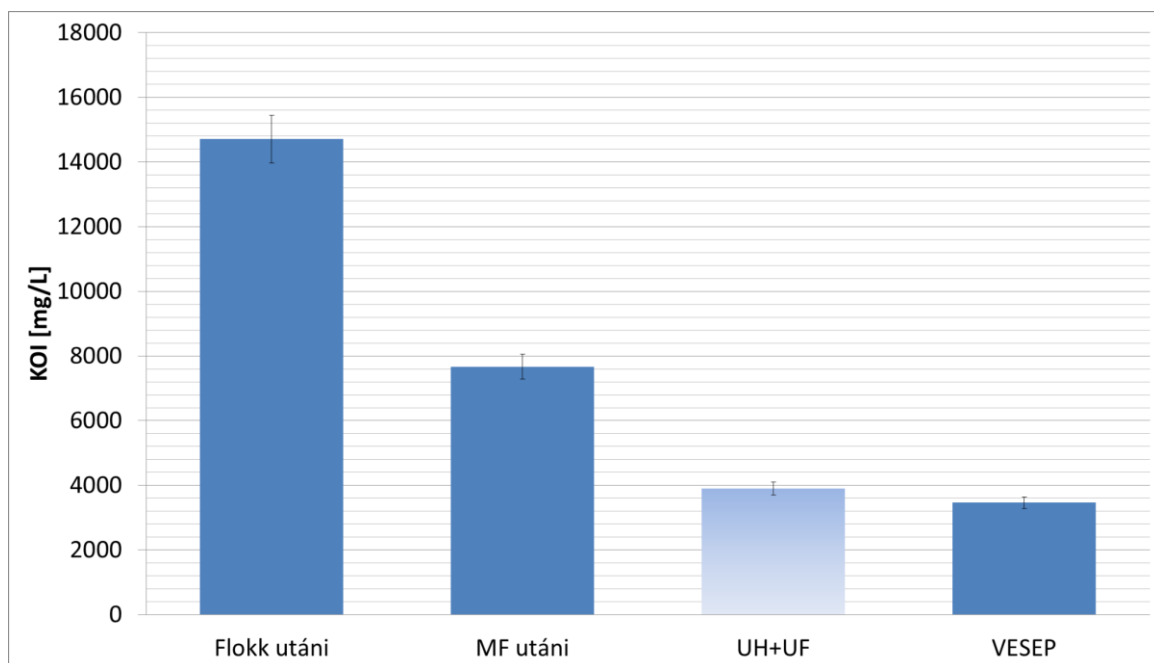
5.13 ábra: Az előkezelt fejőházi szennyvíz minta vibrációs ultraszűrésének fluxus-idő diagramja (0,8 MPa, 200 kDa, PES membrán)

Az szeparáció ellenállás értékeinek alakulásánál (5.14. ábra) látható, hogy a membrán ellenállása elhanyagolhatóan kicsi a műveleti ellenállásokhoz képest, ami a membrán helyes megválasztását jelzi. A reverzibilis és irreverzibilis ellenállások aránya (R_{rev}/R_{irrev}) 4,27 tehát az összes ellenállásból a reverzibilis, vagyis a membrán felszínére lerakódott, mechanikai tisztítással (le mosással) eltávolítható ellenállás négyszerese a pórusok eltömődéséből eredő ellenállásnak, ami működtetési szempontból rendkívül kedvező.



5.14. ábra: A vibrációs ultraszűrés ellenállás értékei

A VSEP szűrésnél a fejőrobotból származó minta KOI értéke átlag 22693 mg/L, ez az érték az előtisztításként alkalmazott flokkulálás során átlag 14713 mg/L-re, mikroszűrés után pedig átlag 7613 mg/L-re csökkent. A vibrációs ultraszűrést követően pedig átlag 3462 mg/L-re változott a permeátum kémiai oxigénigénye. Így tehát az előkezelések és a vibrációs ultraszűrés hatására 85%-kal csökkent a kiindulási szennyvíz KOI értéke, vagyis a kezelési sorozat hatásfoka 85,3 % (5.12 és 5.15. ábra).



5.15. ábra: KOI értékek alakulása a VSEP és UH+UF kezelési sorozatban

Az előkezelésekkel és a vibrációs ultraszűréssel tehát 3462 ± 310 mg/L-re sikerült csökkenteni a KOI-t, ami még ugyan nem éri el a csatornába bocsátható 1500 mg/L-es értéket, de jelentős javulást jelent, és ez a víztisztaság már megfelelő pl. padozat mosáshoz történő alkalmazásra. Az ultraszűrésnél fennmaradó koncentráció a benne lévő szerves anyag tartalom okán alkalmas növényi tápanyag utánpótlásra, és a foszfát és nitrát tartalma sem elhanyagolható (5.11 táblázat). A 5.11 táblázatban a kísérlet betáplálási és koncentráció áramainál mért pH, elektromos konduktivitás (EC), redoxpotenciál (ORP) oldott oxigén (DO), nitrát és foszfát

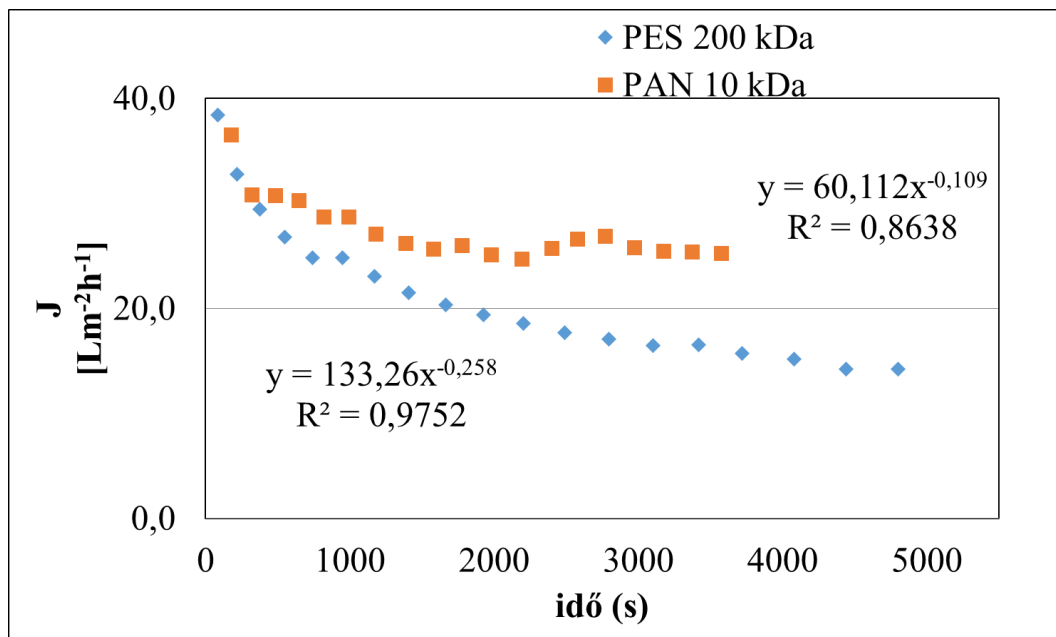
tartalom értékeit mutatom be. Mivel az alkalmazott membrán vágási értéke 200 kDa, ami a nagyméretű szerves molekulák tartományát takarja, ezért nem meglepő a vezetőképesség és az oldott oxigén tartalom egyező értéke. A redoxpotenciál és az ionok növekedése a koncentrátumban a membrán felületén kialakuló réteg adszorpciós hatásának tulajdonítható.

5.11. táblázat: pH, elektromos konduktivitás, redoxpotenciál, oldott oxigén, nitrát és foszfor tartalom értékek

	Betáplálás	Koncentráció
pH	6,371	6,397
EC (mS/cm)	3,47	3,71
ORP (mV)	263,5	245,2
DO (mg/L)	8,41	8,39
NO ₃ ⁻ (mg/L)	72	78
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	51	87,75

5.5.7. Ultrahanggal segített statikus ultraszűrési sorozat

A 200 kDa vágási értékű membránnal, a MILLIPORE berendezéssel is elvégeztem a megfelelően előtisztított (5.9. ábra) fejőrobot szennyvizének szétválasztását. Az így nyert permeátumot pedig egy 10 kDa vágási értékű (PAN-poliakrilnitril) membránra vezetem, a kémiai oxigénigény további csökkentése érdekében. A MILLIPORE berendezés kialakítása lehetővé teszi ultrahang szűrés közbeni szimultán alkalmazását, amitől a fluxus értékek javulását, az ellenállás értékek csökkenését vártam. A szűrési művelet fluxus-idő diagramját a 5.15. ábra mutatja.



5.16. ábra: Fluxus – idő diagram a fejtárházi szennyvíz ultrahang alkalmazása melletti ultraszűrésénél (200 kDa PES membrán, TMP: 0,3 MPa; 10kDa PAN membrán TMP:0,3 MPa, UH teljesítmény: 60%)

Az 5.12 és 5.16 ábrák fluxus értékei alapján kimondható, hogy a vibráció hatása lényegesen jelentősebb, mint az ultrahang hatása azonos vágási értékű és azonos alapanyagú membránnal végzett ultraszűrés esetén. Az azonos membránon és betáplálási áram mellett mért eltömődési indexek, azaz a függvény kitevők (0,258 ill. 0,212) eltérő értékei is ezt támasztják alá.

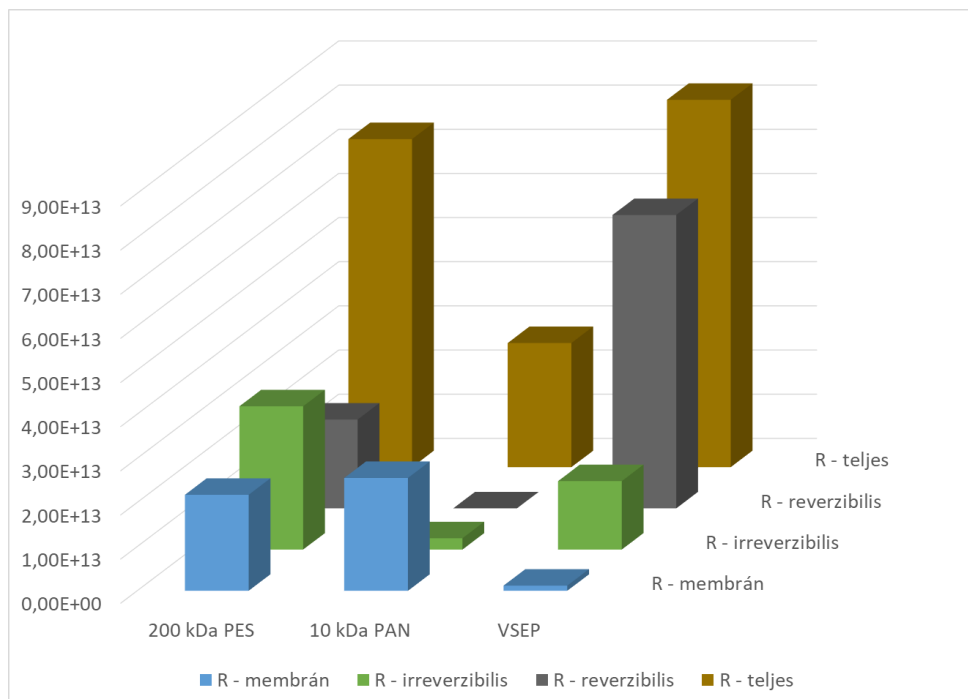
A 10 kDa vágási értékű membrán nagyobb fluxus értéke és kisebb eltömődési indexe az eltérő betáplálási áramnak köszönhető, hiszen a 200 kDa vágási értékű membrán permeátuma szolgált kiindulási áramként. Ebből adódóan az ellenállási értékek is lényegesen kisebbek a 10 kDa –os szűrés során, viszont a két egyforma vágási értékű, és megegyező betáplálási áram alkalmazása során mért ellenállás értékek jó összehasonlítási alapként szolgál a két eltérő - vibráció és ultrahang - szűrési mechanizmusról.

Az ellenállás értékek alapján (5.17. ábra) kitűnik, hogy ugyanannak a membránnak az ellenállása kisebb vibráció esetén, mint az ultrahanggal kísért szeparációnál, hiszen ezt az értéket nem csak magának a membránnak az ellenállása szabja meg, hanem a berendezés hidrodinamikai ellenállása is, tehát a membrán ellenállás megnevezés helyett pontosabb lenne a kiindulási ellenállás megnevezés használata. Az összes/teljes ellenállások közötti csekély

különbség (0,89) nem jelent számottevő eltérést, ami a megegyező betáplálási áram és membrán vágási érték miatt érthető. A reverzibilis és irreverzibilis ellenállások arányának különbözősége azonban jelentős, és jól tükrözi a kétféle szűrési módot.

Amíg az ultrahang alkalmazása mellett a reverzibilis/irreverzibilis ellenállás aránya 0,62, vagyis az irreverzibilis ellenállás értéke a nagyobb, addig vibráció alkalmazásával ez az arány 4,29, tehát a reverzibilis ellenállás értéke négyszerese az irreverzibilis ellenállás értékének. Üzemeltetés szempontjából ez sokkal előnyösebb, hiszen a reverzibilis ellenállás könnyebben, egyszerű mechanikai beavatkozással, mosással megszüntethető, ill. jelentősen csökkenthető, míg az irreverzibilis ellenállás, ami a membrán belsejében, a pórusokban történő lerakódásokból (fouling) adódik, ez viszont még erőteljes beavatkozások ellenére sem eliminálható teljes mértékben.

Az ultrahang által, a membrán felszíne közelében előidézett mikrokavitációk hatására nem csak a membránnal párhuzamos irányba, de a membránra merőlegesen, vagyis a pórusok irányába is nagy erővel áramlanak, lökődnek a lerakódott „részecskék”, esetünkben makromolekulák, ezért lesz ilyen jelentős mértékű az irreverzibilis ellenállás. A vibráció esetében viszont a felületi nyíróerő, ami a membrán vízszintes irányú vibráltatásából származik, csak a részecskék síkbeli elmozdulását eredményezi, ezért nem tapasztalunk jelentős, pórusokba történő behatolási értékeket.



5.17. ábra: Ultrahanggal kísért és vibráltatott ultraszűrés ellenállás értékei

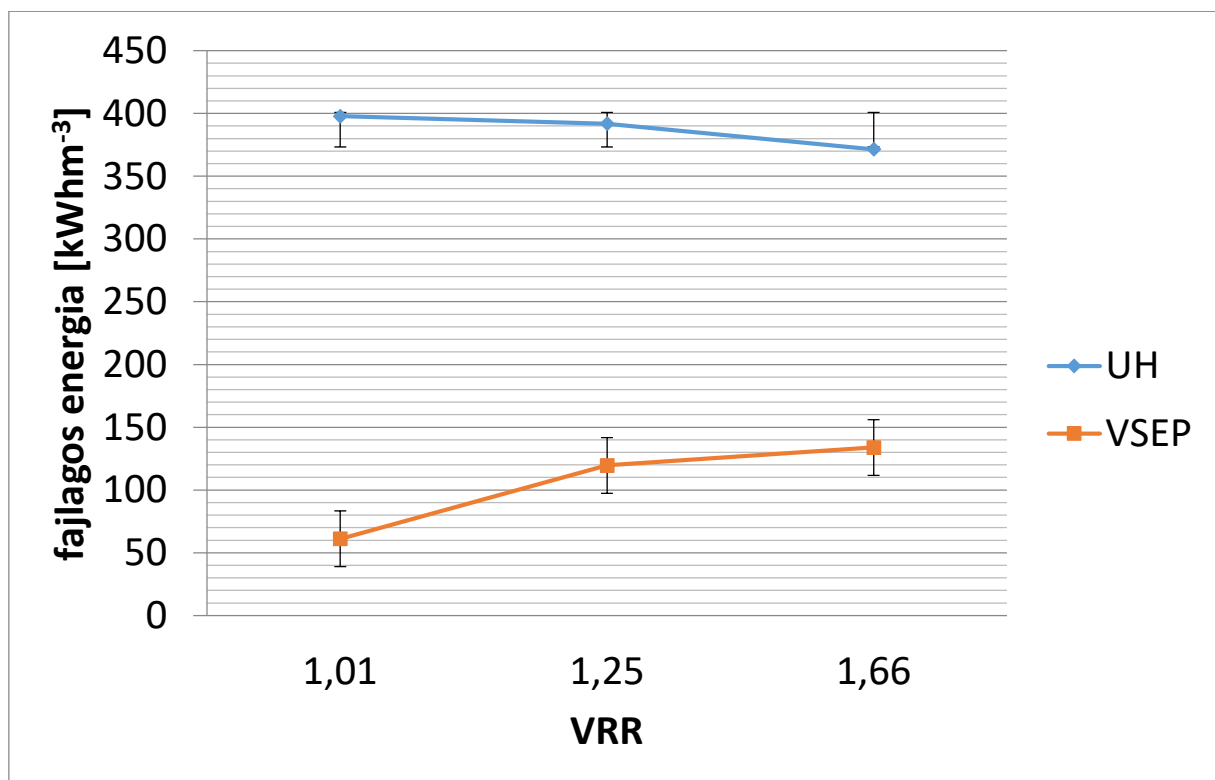
A nyert permeátum 10 kDa vágási értékű membránnal történő tovább-szűrésének fluxus-idő diagramjáról (5.16 ábra) meghatározható eltömődési index értéke, 0,109 is jól mutatja a lényegesebb kevesebb eltömődést okozó összetevők jelenlétét. Ez az ellenállások értékeinél is (5.17. ábra) nyomon követhetően megjelenik. Ebben az esetben viszont szembeűnő, hogy az összes ellenállás mintegy 80 %-t a membrán, vagyis a kezdeti ellenállás érték adja, tehát a 200 kDa –os szűrés permeátumában már nincs jelentős mennyiségű 10 kDa-nál nagyobb méretű molekula, nincs ami a reverzibilis, vagy irreverzibilis ellenállás értékét jelentősen megnövelné. Ha az (5.12. ábra) az egyes művekhez kapcsolt KOI értékeket követjük nyomon, akkor erre az állításra is bizonyítást nyerünk. Az értékek azt mutatják, hogy a jelentős KOI értéket adó komponensek a 10 kDa értékhatár alá esnek, hiszen a 200 kDa permeátum, azaz a kiindulási átlag 3900 mg/L értéket csak átlag 3650 mg/L értékre sikerült lecsökkenteni a 10 kDa szeparációval, ami nem jelent szignifikáns különbséget..

Rendkívül figyelemre méltó azonban, hogy a VSEP üzemmódban alkalmazott, 200 kDa vágási értékű membrán esetében nyert permeátum KOI értéke szignifikánsan alacsonyabb - 3462 mg/L-, mint a statikus, de ultrahanggal segített szeparálásnál – 3900 mg/L, és átlagban még a lényegesebb kisebb vágási értékű (10 kDa) membránnal végzett membrán szűrésnél nyert permeátum kémiai oxigénigény értékénél (3650 mg/L) is.

5.5.8. Vibráció és ultrahang energetikai összehasonlítása

Az 5.13 és 5.16 ábrák alapján a fluxus értékek a vibráció jelentős előnyét mutatja, az azonos membránon, azonos betáplálási áram ellenére. Ezért célszerűnek látszott megvizsgálni, hogy a bevitt energiaérték hogyan alakul a két membrán eltömődést késleltető alkalmazás esetében.

A vibrációt előidéző, alternáló mozgást végző motor energiafelvétele a berendezés paneljáról leolvasható. Az ultrahang keltő berendezés energia felvételét pedig egy elektromos teljesítménymérő készülékkel határoztam meg. Mivel az UH generátor energiafelvétele függ a közeg magasságától, ezért a két betáplálási térfogat végpontnál mért érték átlagával számoltam. A pontosabb összehasonlítás érdekében a berendezéssel elért térfogat csökkentési arány (VRR) függvényében ábrázoltam az egy köbméter permátumra jutó fajlagos energia felvételt – [kWhm⁻³]



5.18 ábra: Az UH és a vibráció fajlagos energiaigénye a térfogatcsökkentés függvényében

Az 5.18. ábrán látszik, hogy a fajlagos energia értékek mintegy négyszeresen nagyobbak az ultrahang esetében a vibrációhoz viszonyítva. Az elemzésből levont másik következtetés az, hogy amíg az ultrahang esetében a térfogat redukció csökkenésével a fajlagos energia csökkenő tendenciát mutat, de ez a csökkenés nem tekinthető szignifikánsnak, addig a vibráció esetében a fajlagos energiaváltozás növekvő, szignifikánsan növekvő tendenciát mutat. Ez magyarázható a membrán felületén felhalmozódó, egyre vastagabb lerakódó réteggel ill. a fokozódó koncentráció polarizációval, amit az ultrahang okozta kavitáció kvázi állandó értéken tart.

5.6. 5 Kezelési eredmények összevetése

Ahhoz, hogy a kezelések eredményeit hatékonyabban elemezhessem, az egyes telepeken végzett kezelések által okozott KOI csökkenések százalékos értékeit, vagyis a kezelési hatásfokot táblázatokban összesítettem. (5.12 -5.14 táblázatok)

5.12.táblázat: HLSz telep mintáinak KOI értékeinek változásai

Kiindulási minta	kiindulási minta KOI mg/L	Kezelés(ek)	kezelési hatásfok [%]
Fejőházi szennyvíz	6790±590	flokkulálás és centrifugálás	36,4
		Flokk+centr+ultraszűrés 200 kDa	42,3
		Flokk+centr+200 kDa +ózon 20 perc	43,6
		Flokk+centr+ 200 kDa +ózon 30 perc + UF 10 kDa	46,1
Fejőberendezés mosóvíze tartályból	590±87	flokkulálás	50,8
		Flokk+ 200 kDa	61,1
		Flokk+ 200 kDa+ 10 kDa	77,5
Tejtank mosóvíze	350±35	flokkulálás	5,7
		Flokk+ 200 kDa	20,3
		Flokk+ 200 kDa + 10 kDa	57,6

Fejőházi gyűjtőakna	4916±710	ózonozás előkezelés 30 min	15,8
		fentonos előkezelés 120 min	7,6

5.13.táblázat: POL telep mintáinak KOI értékeinek változásai

Kiindulási minta	Kiindulási minta KOI [mg/L]	Kezelés(ek)	kezelési hatásfok [%]
Fejőházi szennyvíz	4123±700	ózon 30 min	35,3
Szikkasztó medence	4997±680		30,4
Fejőházi szennyvíz	4123±700	fentonos előkezelés 120 min	40,9
Szikkasztó medence	3853±550		36,4

5.14. táblázat: ROB telep mintáinak KOI értékeinek változásai

Kiindulási minta	Kiindulási minta KOI [mg/L]	Kezelés(ek)	Kezelési hatásfok [%]
Fejőrobot szennyvize	22693±3350	flokkulálás	35,8
		flokkulálás és mikroszűrés	66,7
		flokkulálás és mikroszűrés és VSEP	84,6
		fentonos előkezelés 120 min	40,3
Szikkasztó medence (Hígrágya)	52520±4200	flokkulálás	45,4
		flokkulálás és mikroszűrés	72,2
		flokkulálás és mikroszűrés és centrifugálás	79,5

		flokkulálás és mikroszűrés és centrifugálás és 0.5 μ -os PES membrán és UP100H ultrahang	89,1
--	--	--	------

Az 5.12 – 5.14 táblázatok az egyes telephelyek jellemző szennyvíz mintavételezési helyeiről, különböző módon kezelt mintáinak kiindulási KOI értékeit és a kezelés hatására bekövetkező százalékos KOI csökkenéseket mutatják.

Ezek az adatok kiváló lehetőséget nyújtanak a közel azonosnak számítható szennyező anyaggal terhelt mintavételi helyek, pl. fejtáji szennyvíz, illetve az eltérő kiindulási szennyezőanyag terhelésű, de azonosan kezelt minták esetében a kezelés hatásosságának kimutatására.

Az adatokból látható, hogy a flokkulálás egymagában is jelentősen, a kiindulási KOI értéktől függően mintegy 35-50 %-kal csökkentette a KOI értékét.

A tejtank mosóvizének flokkulálása csupán 6 %-os változást jelentett, hiszen ebben a mintában a mosószerek, detergensek okozzák a nem túl jelentős KOI értéket (%). Ebben az esetben a flokkulálást követő ultraszűrés (200 kDa) sem ad jelentős javulást (20 %), hiszen a mosószer molekulák mérete ezen vágási értékhatár alá esik, ezért is tapasztaltam azt, hogy a 10 kDa vágási értékű membránnal végezve kaptam csak jelentősebb, 57%-os csökkenést a KOI értékekben. A tejtank mosó vizének tisztítása esetén is ugyanez a tendencia figyelhető meg.

A flokkulálás még a kiugróan magas KOI értékű mintáknál is, pl. szikkasztó medence (52 520 mg/L), fejőrobot szennyvize (22 693 mg/L) 35-45 %-os csökkentést jelentett. A flokkulálást követő centrifugálással pedig már nem tudtam jelentős mértékben tovább csökkenteni az KOI értékeket.

Az ózonozás és fentonos eljárás közel hasonló mértékben idéz elő oxidálható szervesanyag csökkentést, mintáktól függően 7 - 40 %-ban. Amennyiben figyelembe vesszük, hogy az ózonozás időtartama fele az alkalmazott fenton reakció idejéhez képest, az ózonozást tekinthetjük célravezetőnek, ám mindkét eljárás nagy bekerülési költséget, vegyszerigényt és berendezésigényt jelent.

Kiemelkedően magas KOI értékű mintákban kimutatható csökkenést a szűrési eljárások okoztak, különösen a vibrációs membránszűrést követően mutattam ki jelentős változást (84%).

6. Összefoglalás

A növénytermesztés és az állattenyésztés termelési kapacitásának növeléséhez alapfeltétel a víz célszerű használata különösen, mivel az édesvíz készleteink kimerülő, véges formában állnak rendelkezésre. A növekvő vízigény, az erőforrás hatékony technológiák alkalmazása és a tisztított víz újra-használatának elfogadása mind-mind döntő tényezővé vált. Az egyes ágazatok vízhasználatának összehasonlítása érdekében alkották meg a vízlábnyom fogalmát, melynek alkalmazásával tisztább képet kapunk a valós vízhasználat és a vízfogyasztás alakulásáról. Az állattenyésztés vízlábnyoma tehát egy olyan átfogó mutató, ami akár egy adott telep szintjén elemzi a kék-, a zöld- és a szürkevíz mennyiségi és minőségi alakulását. A tejelő tehenészetek vízlábnyomának meghatározása egyre több országban kulcsfontosságú ahhoz, hogy fenntartható módon végezhesék a termelést, figyelembe véve annak környezeti, szociális és ökonómia hatásait. A tartási körülmények, a választott fajta, a menedzsment, a fejéstechnológia, a takarmányozás, az itatás és a keletkező szennyvíz tárolási lehetőségei mind-mind befolyásolják egy tejelő szarvasmarha telep vízforgalmát, illetve a keletkező szennyvíz újra hasznosításának lehetőségeit.

A kutatásom során a magyarországi tejtermelő tehenészetekben leginkább elterjedt fejőház típusok vízhasználatának felmérését és a fejés körül keletkező szennyvíz tisztíthatóságát, esetleges újra hasznosítását vizsgáltam. Usva és mtsi (2013) a hagyományos, kötött tartási rendszerben történő vezetékes fejőberendezés, a kötetlen tartási rendszerben lévő fejőház, illetve fejőrobot vízhasználatát vizsgálták, és megállapításaik szerint nincs szignifikáns különbség az eltérő fejéstechnológiák és a takarmányozási gyakorlatok vízfogyasztása között. Ennek alapján arra kerestem választ, hogy az általam vizsgált tehenészetekben van-e szignifikáns eltérés fejőházi/fejési technológiák tekintetében a vízlábnyom, vízhasználat szempontjából. Lehet-e tudományos és a gyakorlatban is hasznosítható adatokkal, információkkal, és javaslatokkal szolgálni a tejtermelő tehenészetek számára a legjelentősebb vízhasználatot igénylő munkafolyamat, a fejés, vízlábnyomának optimalizására.

A tejtermelő szarvasmarha tenyésztésben különböző elrendezésű fejőházakat és eltérő fejési technológiákat alkalmaznak. Dolgozatomban három típust hasonlítottam össze. Választásom a hagyományosnak mondható halszállkás elrendezésű, napi kétszeri fejést és tógymosást

alkalmazó telep (HLSZ) mellett egy még nem túl elterjedt, de egyre inkább előtérbe kerülő fejőrobotos (ROB) technológiára esett. A harmadik telepen a már egyre kevésbé alkalmazott, de Dél-Kelet Magyarországon még jellemző poligon (POL) típusú fejőház van, ahol szemben a HLSZ teleppel naponta háromszor fejnek és nem alkalmaznak vizes tőgyelőkészítést.

Munkám során először a vizsgált telepek kék- és szürkevíz használatának felmérését és az ezekhez társított kék és szürke vízlábnym értékeinek kiszámítását végeztem el.

A vizsgált telepek kék és szürke víz használatának felmérése (az ivóvízszükséglet, valamint a fejőberendezések technológiai és fejéshez kapcsolható vízhasználatának részletes elemzése) RISKÁ telepírányítási szoftver adataiból, illetve a dolgozók, telepvezetők információi, valamint saját méréseim alapján történt. Az ivóvíz fogyasztás kiszámítására Meyer és mtsi (2004) képletét (1) alkalmaztam, a kísérleti telepek kék és szürke vízlábnymainak kiszámítása Mekonnen és Hoekstra (2012) vízlábnym képletével (3) történt. A telepek között az ivóvízfogyasztás összehasonlítása varianciaanalízissel történt. A tényleges, illetve a korrigált tejmenyiség (FPCM) és a kék víz felhasználása közötti összefüggés vizsgálatához regresszió analízist alkalmaztam. A technológiai vízhasználat összehasonlítása a fejésnél mutatkozó vízhasználati kategóriáknál, valamint a kék vízlábnymok összehasonlítása is többmintás t-próba statisztikai elemzéssel történt.

Az állattenyésztés víz fogyasztását meghatározó paraméterek közül elsősorban a fejőházak vízlábnymának meghatározó elemeit határoztam meg, feltételezve, hogy a fejési módszer alapvetően befolyásolja ezt az értéket, valamint annak a kimunkálását is megcéloztam, hogy a vizsgálati telepek különböző fejőházi szennyvíz mintáit milyen kezelésekkkel, milyen hatékonysággal sikerül tisztítani. A flokkulálás, a centrifugálás, a fenton reakción alapuló oxidációs kezelés, és az ózozás mellett mikroszűrést és ultraszűrést is alkalmaztam tisztítási műveletként.

A tehenek napi ivóvíz szükséglete eltért a három telepen. Legnagyobb értéket, 103,4 L/tehen a POL telepen becsültem, ettől a mennyiségtől a HLSZ telep termelő teheneinek ivóvízfogyasztása 15,6 literrel, a ROB telepé 6,3 literrel kevesebb, ezek a különbségek mindhárom tehenészetnél szignifikánsnak bizonyultak ($P < 5\%$). A tejtermelésre vetített fajlagos és normalizált ivóvíz fogyasztás esetében a HLSZ telepen volt a legnagyobb az érték (HLSZfajl = 3,45 Lvíz/Ltej; HLSZnorm = 3,61 Lvíz/LFPCM). A robotfejéses technológia mellett a tejtermelésre vetített ivóvíz fogyasztási adatok 2,70 Lvíz/Ltej és 2,78 Lvíz/LFPCM

szignifikánsan eltértek a HLSZ telepétől. A különbség 0,75 Lvíz/Ltej és 0,83 Lvíz/LFPCM ami $P < 5\%$ szinten szignifikáns. Ugyanez a tendencia volt megfigyelhető a HLSZ és POL állományok tekintetében is (0,62Lvíz/Ltej; 0,52Lvíz/LFPCM). A POL és a ROB telep eredményei között nem volt számottevő, statisztikailag igazolható eltérés (0,13 Lvíz/Ltej; 0,31Lvíz/LFPCM).

A fejéshez köthető napi technológiai vízhasználatot, a telepeken alkalmazott fejőberendezés, a tőgyelőkészítési gyakorlat és a mosási rutin határozta meg. Számításaim szerint a tőgyelőkészítés valamint a padozat és fejőberendezés külső mosásából eredő vízfogyasztás növeli meg elsősorban a technológiai vízhasználatot. A tőgyelőkészítés, tőgytisztítás manuálisan folyóvízzel történt a HLSZ telepen, melynek vízszükséglete 2230 L/nap volt a napi fejésszám és a napi átlagos fejt tehén létszám figyelembevételével. A ROB telepen található fejőrobotok ezt a folyamatot automatikusan végzik, így a napi vízhasználata 2680 L. A POL telepen a tőgyelőkészítés fertőtlenítő kendővel történik, így az nem jár vízszükséglettel. A padozat és fejőberendezés külső mosását mindhárom telepen manuálisan végzik a telepi dolgozók. A HLSZ telepen napi 3800 L a POL telepen 5700 L míg a ROB telepen 10190 L víz szükséges a padozat mosásához. Az egy tehenre számított napi technológiai célra felhasznált víz mennyisége szignifikáns eltérést mutat a telepek között. A HLSZ telepen volt a legnagyobb (34,6 L/nap), majd ezt követte a ROB (19,5 L/nap) és POL (16,7 L/nap) telepek vízhasználata, melyek különbözőségét a tőgymosási gyakorlat okozta elsősorban, hiszen a HLSZ ill. ROB telepeken a napi felhasznált technológiai vízmennyiség 29 il. 26 %-t jelentette, míg a POL telepen ez a mennyiség nem mutatkozik a száraz tőgyelőkészítés okán. Ezek alapján a tőgyelőkészítés és a padozat és fejőberendezésének mosásához használt vízmennyiségek csökkentésével jelentős vízmegtakarítás lenne elérhető.

Egy fejésre vetítve a napi technológiai vízhasználat a HLSZ telepen volt a legtöbb (17,3 L/nap), majd ezt követte a ROB (6,9 L/nap) és a POL (5,5 L/nap) telep. Vízháználat tekintetében Thomson (2018) is arra következtetésre jutott, hogy a robotos fejőberendezés vízhasználata nagyobb, mint a hagyományos rendszereké, melynek okát ő a padozat magasnyomású vízzel történő mosásában látta.

Az egy kilogram tejre vetített értékek esetében a telepek fejéstechnológiai különbségeiből eredő vízfogyasztási eltérések hatványosan csökkennek a termelési szint növekedését szimulálva. Ezek az eredmények is azt igazolják, hogy az intenzív termelés a vízfogyasztás szempontjából

is előnyös, mivel egységnyi tej megtermeléséhez kevesebb tehen szükséges, tehát a fajlagos vízfogyasztás is kedvezőbben alakul.

A teljes kék vízlábnyom értéke telepenként (HLSZ, POL, ROB) szignifikánsan eltér akár éves szinten a tehenek számára (44,66; 43,85; 42,55) , akár a fejések számára (22,33; 14,61; 15,19) vonatkoztatjuk azt.

A HLSZ telepen a teljes szürke vízlábnyom 36 %-a a tőgy előkészítéshez köthető, a ROB telepen pedig 61,9 % (a robot belső mosásával együtt). A padozat és a fejőberendezés külső mosása a teljes szürke vízlábnyomból 61 % volt HLSZ telepen, 96% a POL telepen és 37,8 % a ROB telepen. A szürke vízlábnyom alakulását tehát meghatározza a telepeken alkalmazott fejési módszer, a fejési gyakoriság, tőgyelőkészítés típusa.

A tejtank és fejőberendezések belső mosóvizének tisztító kezelése nem indokolt, mivel ezen szennyvíz szervesanyagtartalmának kémiai oxigénigénye az elérni kívánt kritikus 1000 mg/L-es-csatornába bocsáthatósági érték alatt van, így elsődleges takarítási feladatokra, pl. padozatmosásra történő felhasználása ajánlott.

Mindezeket összevetve kimondható, hogy a három vizsgált telepen vizsgált fejőberendezés közül a poligon elrendezésű fejőház a legjobb a vízhasználati hatékonyság szempontjából a halszállás és robot fejőberendezésekhez viszonyítva. A fejéshez köthető vízhasználat és vízlábnyom alakulása tehát függ a telepeken alkalmazott fejőházi technológiától és a fejés körüli mosási gyakorlattól.

A flokkulációval történő hatékony tisztítást vizsgálták Wolf és mtsi (2015) is telepi szennyvizek esetében, de ők a flokkulálószer optimális dózisának meghatározását tűzték ki célul az öntözővíz-tisztaság eléréséhez. Ezt azonban nem sikerült elérniük, a tisztított vizet szürkevízként ajánlották hasznosítani. Muniz és mtsi (2021) és míg számos kutató Kertész és mtsi(2011), Boguniewicz-Zablocka és mtsi (2019), Chen és mtsi (2018), Hoekstra és Hung (2002) is elsősorban a tejipari szennyvizek flokkulációval történő tisztíthatóságát vizsgálták, nem a fejőházi telepek szennyvizét.

Értekezésemben a fejőházak különböző területein keletkező szennyvizek flokkulációval történő tisztítási hatékonyságát hasonlítottam össze más vízkezelési módszerekkel és megállapítást nyert, hogy mind az ózonos előkezelés önmagában, mind pedig a flokkulálás 39 - 50 %-kal csökkentette a szennyvízminék KOI értékét. A leghatékonyabb kezelési sornak a flokkulálás, mikroszűrés majd ultraszűrés alkalmazása bizonyult, pl. a legnagyobb szerves anyag

tartalommal jellemezhető, a fejőrobotból származó szennyvíz esetében 54 %-kal csökkentette a nyers szennyvíz kémiai oxigénigény értékét.

A kezelési sort követően 200 kDa vágási értékű ultraszűrés további 49%-kal csökkentette a permeátum KOI értékét, amely így már megfelelő lehet technológiai célú előtisztításokhoz. A fejőházi szennyvíz vibrációs ultraszűrése azonos vágási értékű membrán esetében (200 kDa), nagyobb visszatartást eredményez a kémiai oxigénigényre nézve, mint a megegyező vagy akár a kisebb vágási értékű membránnal végzett, ultrahanggal kísért statikus ultraszűrés. Sőt fajlagos energiafogyasztás szempontjából [kWhm^{-3}] a vibráció hatékonyabb, azaz azonos permeátum mennyiséghez kevesebb energiabevitelt igényel az ultrahanggal segített ultraszűrésnél.

7. Új tudományos eredmények

- 1. Méréseim alapján megállapítottam, hogy szignifikáns különbség van a különböző fejési technológiát alkalmazó telepek egy tehenre, ill. egy fejésre jutó napi technológiai vízhasználatában.**

A legalacsonyabb értéket a POL telep adatai mutatták: 0,0167 m³/tehen/nap; 0,0055 m³/fejés/nap, a legmagasabbat pedig a HLSZ telep: 0,0346 m³/tehen/nap; 0,0173 m³/fejés/nap. Legjelentősebb tényező a tőgymosás, melynek használata mellett a technológiai vízszükséglet egy tehenre jutó mennyisége háromszorosa volt a “száraz” előkészítést alkalmazó eljáráshoz képest.

- 2. Igazoltam, hogy az egységnyi tejmennyiség termeléséhez szükséges kékvíz mennyisége között hatványos összefüggés áll fenn. Továbbá bizonyítottam azt is, hogy a telepek esetében a leíró függvények között szignifikáns különbség mutatható ki.**

A regressziós egyenlet állandója, ami azt mutatja meg, hogy 1 kg tej termeléséhez e hány liter kékvíz szükséges, a HLSZ telepen a legnagyobb: 84,0 liter; a ROB telepen 35,6 liter a POL telepen pedig a legkisebb 32,73 liter.

- 3. Bizonyítottam, hogy a tehenek számára vonatkozóan, a különböző fejési technológiát alkalmazó telepek kék vízlábnyom értékei között szignifikáns eltérés van, de nincs szignifikáns különbség a POL és ROB telep kék vízlábnyom értékei között, ha a fejések számára vonatkoztatjuk.**

Ez az érték a ROB telep esetében 42,55 m³/tehen/év, 15,19 m³/fejés/év; a POL telepnél 43,85 m³/tehen/év; 14,61 m³/fejés/év; a HLSZ telepnél 44,66 m³/tehen/év; 22,33 m³/fejés/év

- 4. Meghatároztam, hogy a flokkulálás, ózonozás és Fenton reakción alapuló oxidációs eljárás egyformán hatékony szennyvíztisztítási módszer a fejőházi eredetű szennyvizek esetében a kémiai oxigénigény tekintetében.**

A kiindulási minta szennyezettségétől függően 35-50 %-os hatásfok érhető el mindhárom módszer alkalmazása esetén, közöttük szignifikáns különbség nem mutatható ki.

- 5. A flokkulálás-mikorszűrés és 200 kDa vágási értékű PES membránnal végzett vibrációs ultraszűrés szignifikánsan alacsonyabb kémiai oxigénigény értékű - 3462 mg/L-, permeátumot eredményez, mint a statikus, de ultrahanggal segített szeparálás – 3900 mg/L.**

- 6. Bizonyítottam, hogy a vibrációs ultraszűrés reverzibilis és irreverzibilis ellenállás értékeinek aránya lényegesen meghaladja az ultrahanggal kísért szeparáció arányát.**

Az arány VSEP esetében 4,29, míg UH&UF esetében 0,62, vagyis az egyszerű mechanikai lemosás alkalmazásával a membrán ellenállásának nagyrésze megszüntethető, a kezdeti ellenállás érték visszaállítható. Az azonos membránon és azonos összetételű betáplálási áram mellett mért eltömődési indexek (statikusUF&UH:0,258 ill. VSEP:0,212) eltérő értékei is támasztják ezt, vagyis a kisebb eltömődési index kisebb áramlási ellenállás értéket, vagyis nagyobb fluxus értéket jelez. A 10 kDa vágási értékű membránnál mért nagyobb fluxus érték és kisebb eltömődési index az eltérő összetételű betáplálási áramnak köszönhető, hiszen a 200 kDa vágási értékű membrán permeátuma szolgált a kiindulási áramként.

- 7. Kimutattam, hogy fajlagos energiaráfordítás szempontjából [kWhm⁻³] a vibrációs ultraszűrés hatékonyabb az ultrahanggal segített ultraszűréshez viszonyítva.**

Ennek értelmében az azonos mennyiségű permeátum átáramoltatásához kevesebb energiabevitel szükséges.

8. Köszönetnyilvánítás

Legnagyobb köszönettel témavezetőimnek, prof. Dr. Hodúr Ceciliának és Dr. habil Mikó Editnek tartozom, akik folyamatos szakmai támogatásuk mellett kitartó türelemmel kísérték utamat. Lehetőséget biztosítottak kutató munkám elvégzéséhez mind a tejlő tehenészetek felkeresésénél, mind a laboratóriumi munkámban.

Köszönöm a támogatását az SZTE Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete minden dolgozójának. Külön köszönöm a szakmai támogatást Fazekas Ákosnak, Jákói Zoltánnak, Lemmer Balázsnak és Beszédes Sándornak, akik bevezettek a laboratóriumi mérések izgalmas birodalmába.

Köszönöm a szakmai segítséget a telepvezetőknek Vas Zoltánnak, Szép Dánielnek és Pető Tibornak és a telepi dolgozóknak, hogy megosztották velem tapasztalataikat.

Külön köszönöm Farsang Alexandrának, hogy mindig rendelkezésemre állt az állattenyésztéssel kapcsolatos kérdéseknél.

Nem utolsó sorban hálával tartozom családomnak, testvéremnek és barátoknak a támogatásukért, és a sok szeretetért, amit tőlük kaptam.

Köszönöm az anyagi támogatást a kutatási munkámhoz a Nemzeti Tehetség Program keretében meghirdetésre került „Nemzet Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj” (NTP-NFTÖ-20) pályázatnak, illetve Az Új Nemzeti Kiválóság Programnak.

9. Irodalomjegyzék

1. AccuWeather, 2023, elérhető: <https://www.accuweather.com/>, hozzáférés dátuma: 2023.04.03.
2. Adulkar T. V. és Rathod V. K., 2014, Ultrasound assisted enzymatic pre-treatment of high fat content dairy wastewater, *Ultrason Sonochem*, 21(3),1083-1089, doi: 10.1016/j.ultsonch.2013.11.017. Epub 2013 Dec 7. PMID: 24380806.
3. Aerzen, 2023, The basic processes of waste water treatment, elérhető: <https://www.aerzen.com/applications/water-and-waste-water-treatment/adviser/processes-of-waste-water-treatment.html>, hozzáférés dátuma: 2023.04.03.
4. Agriculture Victoria, 2019, Dairy Shed Water Use in Victoria 2009 Analysis, elérhető: <http://agriculture.vic.gov.au/agriculture/dairy/water-use-in-dairies/dairy-shed-water-use-analysis>, hozzáférés dátuma: 2019.05.19.
5. Agroforum, 2019, Hígrágya a termőföldön – érték, nem teher, elérhető: <https://agroforum.hu/lapszam-cikk/higragya-a-termofoldon-ertek-nem-teher/>, hozzáférés dátuma: 2023.04.03.
6. Ahmad A. L., Che Lah N. F., Ismail S., és Ooi B. S., (2012), Membrane antifouling methods and alternatives: Ultrasound approach, *Separ. & Purification Reviews*, 41(4), 318-346.
7. Aiking H., 2014, Protein production: planet, profit, plus people, *Am. J. Clin. Nutr.*,100, 483-489.
8. Aldaya M. M., Garrido A., Llamas M. R., Varela C., Novo P. és Rodriguez, R., 2008, The water footprint of Spain, *J. Sustain. Water Management*, 3, 15–20.
9. Allan J. A., 1993, Fortunately there are Substitutes for Water Otherwise our Hydro-political Futures would be Impossible, *Priorities for Water Resources Allocation and Management*,13–26.
10. Appuhamy J. A. D. R. N., Judy J. V., Kebreab E. és Kononoff P. J., 2016, Prediction of drinking water intake by dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7191-7205.
11. Boczkaj G. és Fernandes A., 2017, Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review, *Chemical Engineering Journal*, 320, 608-633, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.084>.

12. Boguniewicz-Zablocka J., Klosok-Bazan I. és Naddeo V., 2019, Water quality and resource management in the dairy industry, *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1208-1216.
13. Borsato E., Tarolli P. és Marinello F., 2018, Sustainable patterns of main agricultural products combining different footprint parameters, *J. of Cleaner Production*, 179, 357-367.
14. Britt J. H., Cushman R. A., Dechow C. D., Dobson H., Humblot P., Hutjens M. F., Jones G.A., Mitloehner F. M., Ruegg P. L., Sheldon I. M. és Stevenson J. S., 2021, Review: Perspective on high-performing dairy cows and herds, *Animal*, 1(100298)
15. Bulsink F., Hoekstra A., Booij M. J., 2010, The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 14, 119–128.
16. Cardot V., Le Roux Y. és Jurjanz S., 2008, Drinking Behavior of Lactating Dairy Cows and Prediction of Their Water Intake, *J. Dairy Sci.*, 91, 2257–2264.
17. Castellanos M. T., Cartagena M. C., Requejo M. I., Arce A., Cabello M. J., Ribas F. és Tarquis A.M., 2016, Agronomic concepts in water footprint assessment: a case of study in a fertirrigated melon crop under semiarid conditions, *Agric. Water Manag.* 170, 81–90.
18. Chen Q., Zhao L., Yao L., Chen Q., Ahmad, W., Li Y., és Qin Z., 2018, The application of membrane separation technology in the dairy industry, *Technological Approaches for Novel Applications in Dairy Processing*, 23.
19. EUR-Lex, 2023, elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/HU/legal-content/summary/minimum-requirements-for-water-reuse.html>, hozzáférés dátuma: 2023.07.15.
20. Európai tanács, 2020, elérhető: <https://www.consilium.europa.eu/hu/press/press-releases/2020/04/07/water-reuse-for-agricultural-irrigation-council-adopts-new-rules/>, hozzáférés dátuma: 2021.10.15.
21. Falkenmark M. és Lannerstad M., 2007, Consumptive water use to feed humanity—curing a blind spot, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9, 15–28.
22. FAO, 2012, FAOSTAT databases, elérhető:<http://faostat.fao.org/default.aspx>, hozzáférés dátuma:2018.10.07.
23. FAO, 2012, Milk and dairy products in human nutrition, elérhető: <https://www.fao.org/3/i3396e/i3396e.pdf>, hozzáférés dátuma:2023.04.03.

24. FAO, 2018, Water use of livestock production systems and supply chains, elérhető: <http://www.fao.org/3/I9692EN/i9692en.pdf>, hozzáférés dátuma:2019.03.07.
25. FAO, 2021, Fat-corrected Milk, elérhető: <http://www.fao.org/dairy-production-products/resources/glossary/en/>, hozzáférés dátuma:2021.03.05.
26. Gac A., Chambaut H., Perrot C, Lorilloux A., Mosnier C. és Dollé J. B., 2016, Environmental footprint of milk and meat from the French cattle sector: improvements since 1990 and future trends until 2035, International conference on Life Cycle Assessment of Food 2016, Dublin
27. Galli A., Wiedmann T., Ercin E., Knoblauch D., Ewing B. és Giljum S., 2012, Integrating ecological, carbon and water footprint into a “footprint family” of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet, *Ecol. Indic.* 16, 100–112.
28. Ganju S. és Gogate P. R., 2017, A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents, *Journal of Food Engineering*, 215, 84-96.
29. GIFT, Great Italian Food Trade, 2023, elérhető: <https://www.greatitalianfoodtrade.it/hu/progresso/acque-agricole-e-sicurezza-alimentare-regue-2020-741-labc/>, hozzáférés dátuma: 2023.07.15.
30. Gilmour D., Ryan M., Swann C. és Shambrook D., 2009, The influence of farm size on income, costs and profitability: results from the Dairy Industry Farm Monitor Project 2006-07 to 2010-11, Department of Primary industries Victoria, Melbourne, Australia
31. Glavan M., Pintar M. és Volk, M., 2012, Land use change in a 200-year period and its effect on blue and green water flow in two Slovenian Mediterranean catchments—lessons for the future, *Hydrol. Process.*, <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9540>
32. Gondrexon N., Cheze L., Jin Y., Legay M., Tissot Q., Hengl, N. és Talansier, E., 2015, Intensification of heat and mass transfer by ultrasound: Application to heat exchangers and membrane separation processes, *Ultrasonics sonochemistry*, 25, 40-50.
33. Gough J., Wilson D., Cronin B., Sanchez A., Wilson J., Shirey G., Cahill M. és Carpenter F., 2010, Charting the Course for Sustainability at Aurora Organic Dairy Phase II: Energy , Greenhouse Gas , Nutrient Use , Water Use and Solid Waste Generation Life Cycle Assessment, A Project submitted in partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Science in Natural Resources and Environment The University of Michigan, elérhető:

at:<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/69242/Aurora?sequence=1> ,
hozzáférés dátuma:2018.06.06.

34. Hess T., Chatterton J. és Williams A., 2012, The water footprint of Irish meat and dairy products, Cranfield University, elérhető:
https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/8756/The_Water_Footprint_of_Irish_Meat_and_Dairy_Products-2012.pdf?sequence=3&isAllowed=y,
hozzáférés dátuma:2018.06.19.

35. Hodúr C., Beszédes S., Kertész Sz., László Zs., Horváth Zs. és Szabó G., 2012, A membrán-szeperáció és annak hatékonyságát növelő kombinált eljárások kutatása a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán, Élelmiszer Tudomány Technológia 66(2)

36. Hodúr C., Kertész Sz., Szép A., Keszthelyi-Szabó G. és László Zs., 2013, Modeling of Membrane Separation and Applying Combined Operations at Biosystems, Progress in agricultural engineering sciences, 9(1), 3-25.

37. Hoekstra A. Y. és Chapagain A. K., 2008, Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources, Blackwell Publishing, Oxford, UK

38. Hoekstra A. Y. és Hung P. Q., 2002, A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Water Res, 49, 203-209.

39. Hoekstra A. Y., 2011, How sustainable is Europe's water footprint?, Water Waste water Int., 26, 24–26.

40. Hoekstra A. Y., 2012, The hidden water resource use behind meat and dairy, elérhető:
<https://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2012-Water-Meat-Dairy.pdf> ,
hozzáférés dátuma: 2019.03.06.

41. Hoekstra A. Y., Chapagain A. K., Aldaya M. M., Mekonnen M. M., 2011, The Water Footprint Assessment Manual, elérhető:
https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
hozzáférés dátuma: 2019.03.06.

42. Hoekstra. A. Y. és Chapagain. A. K., 2007, Water footprints of nations – Water use by people as a function of their consumption pattern, Water Resources Management 21, 35–48.

43. Holter J. B. és Urban W. E. Jr., 1992, Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows, J. of Dairy Sci., 75(6):1472-1479

44. Huang J., Xu C. C., Ridoutt B. G., Liu J. J., Zhang H. L., Chen F. és Li Y., 2014, Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China, *J. Clean. Prod.*, 79, 91–97.
45. Husein M. M. és Al-As'ad A., 2015, Effect of coagulant and flocculant addition scheme on the treatment of dairy farm wastewater, *J. Water Reuse Desalin.*, 5(3), 271–281.
46. Húth B., Zubor T., Tóth T. és Holló G., 2019, A tejelő szarvasmarha tenyésztésének és tartásának új kihívásai az automatizált technológiai rendszerek tükrében , *Állattenyésztési Tudományos Nap, "Precíziós gazdálkodás és informatika az állattenyésztésben"*, 237.
47. Ippolito N. M., Zueva S. B., Ferella F., Corradini V., Baturina, E. V. és Vegliò F., 2021, Treatment of waste water from a winery with an advanced oxidation process (AOP), *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2021, 640, 062025.
48. ISO 14046, elérhető: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:en> , hozzáférés dátuma: 2019.03.06.
49. Jákói Z, Hodúr C, László Zs és Beszédes S., 2018, Detection of the efficiency of microwave-oxidation process for meat industry wastewater by dielectric measurement, *Water Sci Technol.*, 78(10):2141-2148.
50. Jaltade A. S., Mokadam A. M. és Gulhane M. L., 2020, Treatment of Dairy Wastewater Using the Fenton's Oxidation Process (FOP). In *Global Challenges in Energy and Environment, Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial, Engineering*, Sivasubramanian, V., Subramanian, S., Eds., Springer, Singapore
51. Jogtár, 2022, elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900006.kvv>, hozzáférés dátuma: 2023.04.03.
52. Jurkovich, V. – Kézér, F.L. – Ruff, F. – Bakony, M. – Kulcsár, M. – Kovács, L. (2017): Heart rate, heart rate variability, faecal glucocorticoid metabolites and avoidance response of dairy cows before and after changeover to an automatic milking system. *Acta Vet. Hung.*, 65. 301-313.
53. Kentish S. és Ashokkumar M., 2010, Ultrasonic membrane processing, *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, 583-598.
54. Kertész S., László Z., Forgács E., Szabó, G. és Hodúr, C., 2011, Dairy Wastewater Purification by Vibratory Shear Enhanced Processing, *Des. Water Treat.*, 35(1–3), 195–201.

55. Khelil-Arfa H., Boudon A., Maxin G. és Faverdin P., 2012, Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions, *Animal*, 6, 1662–1676.
56. Kim S. H. és Min, C. S., 2019, Fouling reduction using the resonance vibration in membrane separation of whole milk, *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 75, 123-129.
57. Krauß M., Drastig K., Prochnow A., Rose-Meierhöfer S. és Kraatz S., 2016, Drinking and cleaning water use in a dairy cow barn, Basel:MDPI, <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w8070302>
58. Krauß M., Kraatz S., Drastig K. és Prochnow A., 2015, The influence of dairy management strategies on water productivity of milk production, *Agric. Water Manag.*, 147, 175–186.
59. Kumar D. M. és Singh O.P., 2005, Virtual Water in Global Food and Water Policy Making: Is There a Need for Rethinking?, *Water Resources Management*, 19, 759-789., DOI: 10.1007/s11269-005-3278-0
60. László Z., Kertész S., Beszédes S., Hovorka H. Z., Szabó G., és Hodúr C., 2009, Effect of preozonation on the filterability of model dairy, *Desalination*, 240, 170-177.
61. LeJeune J. T., Besser. T. E., Merrill N. L., Rice. D. H. és Hancock D. D., 2001, Livestock drinking water microbiology and the fac-tors influencing the quality of drinking water offered to cattle, *J. Dairy Sci.*, 84, 1856.
62. Lemmer B., Jákói Z., Szpisják-Gulyás N., Kertész S., Beszédes S., László Z., és Hodúr C., 2020, The effect of sonication and stirring on ultrafiltration of fermentation broth, *Environment Protection Engineering*, 46(1), 49-62.
63. Li N. N., Fane A. G., Ho W. S. W. és Matsuura T., 2008, *Advanced membrane technology and applications*, A John Wiley & Sons, Inc., Public., ISBN 978-0-471-73167-2
64. Liu J., Yang H. és Savenije H. H. G., 2008, A) China's move to higher-meat diet hits water security, *Nature*, 454, 397.
65. Liu, J. és Savenije, H. H. G., 2008, B) Food consumption patterns and their effect on water requirement in China, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12, 887–898.
66. Looper M. L. és D. N. Waldner, 2002, *Water for Dairy Cattle*, Oklahoma Cooperative Extension Service, ANSI-4275.

67. MASZESZ, 2018, elérhető: <https://maszesz.hu/hireink/aktualis-hirek/rendelet-a-viz-ujra-hasznositasarol-az-europai-unio-uj-szabalyozas-tervezete>, hozzáférés dátuma: 2023.03.14.
68. Mekonnen M. M. és Hoekstra A. Y., 2010, The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Value of Water Res. Rep. Ser. No. 48. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
69. Mekonnen M. M. és Hoekstra A. Y., 2012, A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products, Ecosysts. 15, 401–415. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
70. Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y., 2011a, Value of Water Research Report Series No.50. National Water Footprint Accounts: the Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption, vol. 1. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, 1-50.
71. Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y., 2011b, The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15, 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>.
72. Meyer U., Everinghoff M., Gädeken D. és Flachowsky G., 2004, Investigations on the water intake of lactating dairy cows, Livest. Prod. Sci., 90, 117–121.
73. Mihina S., Lobotka J., 2001, Technical developments in machine milking and their application in Slovak conditions, ICAR Technical Series no. 7, elérhető: https://www.icar.org/Documents/technical_series/ICAR-Technical-Series-no-7-Nitra/Mihina.pdf, hozzáférés dátuma:2023.03.02.
74. Muniz G. L., Pereira M. d. S., Borges A. C., 2021, Dairy Wastewater Treatment with Organic Coagulants: A Comparison of Factorial Designs, Water, 13, 2240. <https://doi.org/10.3390/w13162240>
75. Murphy E., de Boer I. J. M., van Middelaar C. E. és Holden N. M., Water footprinting of dairy farming in Ireland, Journal of Cleaner Production, (2016), elérhető:https://www.researchgate.net/publication/312016454_Water_footprinting_of_dairy_farming_in_Ireland
76. Murphy M. R., Davis C. L. és McCoy G. C., 1983, Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. J Dairy Sci., 66(1), 35-8. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(83)81750-0. PMID: 6300210.

77. National Research Council, 2001, Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001.
78. Neubauer E., 2012, Water Footprint In Hungary, Applied Studies in Agribusiness and Commerce, AGRIMBA, 6(3-4), 1-10.
79. Nitzan R., Bruckental I., Bar S. Z., Maltz E. és Halachmi I., 2006, Stochastic models for simulating parallel, rotary, and side-opening milking parlors, J Dairy Sci., 89(11), 4462-72.
80. NSW, 2014, Water requirements for sheep and cattle, elérhető: https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/96273/Water-requirements-for-sheep-and-cattle.pdf
81. Oliveira B. R., Ribas M. N., Machado F. S., Cavalcanti I. F. L., Winchester C. F. és Morris J. M., 1965, Water intake rates of cattle, Journal of Animal Science, 15, 722-740.
82. Palhares J. C. P. és Pezzopane J. R. M., 2015, Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy prod systems, J. Clean. Prod. 2015, 93, 299–307.
83. Pályázat.gov.hu, 2023, elérhető: <https://www.palyazat.gov.hu/zikop-211-vzikzm-rendszerek-s-zld-kk-infrastruktura#>
84. Pariseau É., Massé D. I., Masse L., Topp E., Burrus V., és Malouin F., 2013, Coagulation–flocculation pre-treatment of surface water used on dairy farms and evaluation of bacterial viability and gene transfer in treatment sludge, Water Qual. Res. J. Can., 48, 111–120. doi: 10.2166/wqrjc.2013.140
85. Park Y. G., 2002, Effect of ozonation for reducing membrane fouling in the UF membrane. Desalination, 147, 43-48.
86. Payen S., Falconer S. és Ledgard S. F., 2018, Water scarcity footprint of dairy milk production in New Zealand – A comparison of methods and spatio-temporal resolution, Science of The Total Environment, 639, 504-515.
87. Peden D., Tadesse G., Misra A.K., Awad A., F., Astatke A., Ayalneh W., Herrero M., Kiwuwa G., Kumsa T., Mati B., Mpairwe D., Wassenaar T. és Yimegnuhal A., 2007, Livestock and water for human development, Comprehensive assessment of water management in agriculture, 485-514., Oxford (UK): Oxford University Press.
88. Petersen J., 2019, Improving the resource efficiency of irrigation using reverse osmosis for the desalination of brackish well water and salty sewage effluents, F & S International Edition for Filtration and Separation Technologies No. 19/2019

89. Pfister S. és Bayer P., 2014, Monthly water stress: Spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production, *J. Clean. Prod.*, 73
90. Rasmussen J. B. és Petersen J., 2004, Electricity and Water Consumption at Milking, *FarmTest Cattle: Aarhus, Denmark*
91. Ridoutt B. G. és Pfister S., (2010), A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity, *Glob Environ Change* 20: 113-120
92. Rockström J. és Gordon L., 2001, Assessment of green water flows to sustain major biomes of the world: Implications for future ecohydrological landscape management, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26(11–12), 843-851.
93. Rockström J., Falkenmark M., Karlberg L., Hoff H., Rost S. és Gerten, D., 2009, Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global change, *Water Resour. Res.*, 45
94. Schroeder, J. W., 2015, Water needs and quality guidelines for dairy cattle, *NDSU and U.S. Department of Agriculture Cooperating: 1-3.*
95. Shiklomanov I. A., 2000, Appraisal and Assessment of World Water Resources, *Water Int.*, 25(1),11–32.
96. Shiklomanov, I. A. és Rodda J. C., 2003, *World water resources at the beginning of the twentyfirst century.* Cambridge: Cambridge University Press.
97. Singh O., Sharma A., Rahul S. és Shah T., 2004, Virtual Water Trade in Dairy Economy Irrigation Water Productivity in Gujarat, *Economic and Political Weekly*, 39. 10.2307/4415345.
98. Slavov A. K., 2017, General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater - A Review, *Food Technol Biotechnol.*, 55(1), 14-28.
99. Sonnenberg A., Chapagain A., Geiger M. és August D., 2009, *The Water Footprint of Germany—Where Does the Water Incorporated in our Food Come From?* WWF Germany, Frankfurt
100. Thomson A., 2019, Water use in the dairy industry – evaluating automatic milking systems in Nova Scotia, elérhető: https://nsfa-fane.ca/wp-content/uploads/2018/03/008_Dal_NSFA-Water-Use-Report-Automatic-Milking-Systems.pdf

101. Tremblay M., Hess J. P., Christenson B. M., McIntyre K. K., Ben Smink A. J., van der Kamp L., de Jong G. és Döpfer D., 2016, Factors associated with increased milk production for automatic milking systems, *J. Dairy Sci.*, 99, 3824–3837.
102. Tuninetti M., Tamea S., Laio F. és Ridolfi L., 2016, To trade or not to trade: link prediction in the virtual water network, *Adv. Water Resour.*, in preparation
103. UNDP: Human Development Report, 2006, *Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*, New York, United Nations Development Programme, 422.
104. UNEP, 2012, *Measuring Water Use in a Green Economy, A Report of the Working Group on Water Efficiency to the International Resource Panel*, McGlade J., Werner B., Young M., Matlock M., Jefferies D., Sonnemann G., Aldaya M., Pfister S., Berger M., Farrell C., Hyde K., Wackernagel M., Hoekstra A., Mathews R., Liu J., Ercin E., Weber J.L., Alfieri A., Martinez-Lagunes R., Edens B., Schulte P., von Wirén-Lehr S. és Gee, D
105. UNIS, 2019, Sustainable development goals, elérhető:http://www.unis.unvienna.org/unis/hu/topics/sustainable_development_goals.html
106. Usva K., Virtanen E. és Hyvärinen H., (2013), Water in an LCA framework – applying the methodology to milk production in Finland, Schenck R., Huizenga D. (Eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014)*, 8-10 October 2014, San Francisco, USA
107. Van Oel P., Mekonnen M. és Hoekstra A., 2009, The external water footprint of the Netherlands: geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecol. Econ.*, 69, 82–92.
108. Vanham D. és Bidoglio G., 2013, A review on the indicator water footprint for the EU28, *Ecological Indicators* 26, 61–75.
109. Veréb G., Sulumán Á., Kovács I., Kertész Sz., Beszédes S., Hodúr C. és László Zs., 2015, Olajszennyezett Vizek Tisztítása Ózonos Előkezeléssel Kombinált Membránszűréssel - Analitikai Problémák, 21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems
110. Verma S., Kampman D. A., van der Zaag P. és Hoekstra A.Y., 2009. Going against the flow: a critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's National River Linking Program, *Phys. Chem. Earth*, 34, 261–269.

111. Vos R. és Giovanni B. L., 2019, Global Trends and Challenges to Food and Agriculture into the 21st Century, Sustainable Food and Agriculture, Academic Press, 11-30.
112. Wackernagel M. és Rees W., (1996), Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Canada
113. Wankhade P., Pandey, H., Singh, M., Tomar A. K. S., Miranda C., Somagond A., Biswal P., Verma M. R., Gaur G. és Dutt, T., 2021, Milking frequency affects consumptive water usage in the parlor, The Pharma Innovation Journal 2021, 10(7), 917-919.
114. Willaarts B. A., Volk M. és Aguilera P. A., 2012, Assessing the ecosystem services supplied by freshwater flows in Mediterranean agroecosystems, Agric. Water Manage, 105, 21–31.
115. Wolf G., Schneider R. M., Bongiovani M. C., Eduardo, Morgan U. és Adriana G. do A., 2015, Application of Coagulation/flocculation Process of Dairy Wastewater from Conventional Treatment Using Natural Coagulant for Reuse, Chemical engineering transactions, 43, 2041-2046.
116. WWF World Wild Fund for Nature, 2010, Water footprint, elérhető:<https://www.wwf.org.uk/search/water%20footprint>, hozzáférés dátuma: 2023.01.23.
117. Zakar M., Veréb G., Hodúr C., Keszthelyi-Szabó G., Lakatos E., és László Zs., 2016, Purification of industrial wastewater with the combination of ozonation and membrane separation, Szeged, Magyarország
118. Zinadini S., Rahimi M., Zinatizadeh A. A., és Mehrabadi Z. S., 2015, High frequency ultrasound-induced sequence batch reactor as a practical solution for high rate wastewater treatment, Journal of Environmental Chemical Engineering, 3(1), 217-226.

10. Publikációs listák

A disszertációban felhasznált közlemények

Hodúr, Cecilia ; **Nagypál, Virág**; Fazekas, Ákos ; Mikó, Edit

Blue and gray water footprint of some Hungarian milking parlors

In: WATER PRACTICE AND TECHNOLOGY 17: 7 pp. 1378-1389., (2022) (IF: 1.03, Q3)

Virág, Nagypál ; Edit, Mikó ; Cecília, Hodúr

Sustainable Water Use Considering Three Hungarian Dairy Farms

In: SUSTAINABILITY 12: 8 Paper: 3145 , 11 p. (2020) (IF: 4.17, Q2)

Nyilvános idéző összesen: 5, Független: 5,

Virág, Nagypál ; Edit, Mikó; Imre, Czupy ; Cecilia, Hodúr

Water footprint: a new approach for a more sustainable future

In: ANALECTA TECHNICA SZEGEDINENSIA 13: 2 pp. 12-20., 9 p. (2019)

Nagypál, Virág ; Ordog, Dorottya; László, Zsuzsanna ; Miko, Edit

Factors affecting water use and water footprint of dairy farms

In: BME Energetikai Szakkollégium (szerk.) 2019 7th International Youth Conference on Energy (IYCE)

Bled, Szlovénia: IEEE (2019) pp. 8138-8143., 6 p.

Nagypál, Virág ; Mikó, Edit ; Hodúr, Cecília

Vízlábnyom: egy új szemlélet

In: Jakab, Gusztáv; Csengeri, Erzsébet (szerk.) XXI. Századi vízgazdálkodás a tudományok metszéspontjában: II. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia

Szarvas, Magyarország: Szent István Egyetem Agrár- és Gazdaságtudományi Kar (2019). pp. 157-164., 8 p.

Virág, Nagypál ; Edit, Mikó ; Cecília, Hodúr

Investigation of water use on dairy farms

In: Tamás, Monostori (szerk.) 17th Wellmann International Scientific Conference: Book of Abstracts: Agriculture Without Borders

Hódmezővásárhely, Magyarország: University of Szeged Faculty of Agriculture (2019) p. 61

Virág, Nagypál; Edit, Mikó; Cecília, Hodúr,

FACTORS INFLUENCING WATER USE OF A DAIRY FARM

In: Abstract Book of 17th INTERNATIONAL SCIENTIFIC DAYS ONLINE CONFERENCE, “Environmental, Economic and Social Challenges after 2020” Gyöngyös, Hungary, June 05, (2020) pp.173.

Egyéb publikációk

Hodúr, Cecilia ; Bellahsen, Naoufal ; Mikó, Edit ; **Nagypál, Virág** ; Šereš, Zita ; Kertész, Szabolcs

The Adsorption of Ammonium Nitrogen from Milking Parlor Wastewater Using Pomegranate Peel Powder for Sustainable Water, Resources, and Waste Management

In: SUSTAINABILITY 12 : 12 Paper: 4880 , 13 p. (2020) (IF: 4.17, Q2)

Nyilvános idéző összesen: 9, Független: 7, Független: 1, Nem jelölt: 1

Tóth, Violetta ; **Nagypál, Virág** ; Gulyás, László ; Mikó, Edit

A tőgygyulladásal kapcsolatos selejtezések vizsgálata egy Dél-Alföldi tejelő tehenészetben

ANIMAL WELFARE ETOLÓGIA ÉS TARTÁSTECHNOLÓGIA / ANIMAL WELFARE ETHOLOGY AND HOUSING SYSTEMS 16 : 1 pp. 79-86. , 8 p. (2020)

Violetta, Tóth ; Edit, Mikó ; Savas, Atasever ; **Virág, Nagypál**

Correlation between somatic cell count and drinking water consumption of a hungarian dairy farm

In: Hasan, Onder; Ugur, Sen (szerk.) Proceedings of the International Congress on Domestic Animal Breeding Genetics and Husbandry 2020 “ICABGEH-20”

Samsun, Törökország: Black Sea Journals (2020) p. 117

Bellahsen, Naoufal ; **Virág, Nagypál** ; Chenar, A. Tahir ; Zita, Seres ; Szabolcs, Kertész ; Cecilia, Hodúr

REMOVAL OF AMMONIUM FROM MILKING PARLOUR WASTEWATER USING POMEGRANATE PEEL

In: Gábor, Rákhely; Cecilia, Hodúr (szerk.) II. Sustainable Raw Materials Conference Book - International Project Week and Scientific Conference

Szeged, Magyarország: University of Szeged (2019) 312 p. pp. 40-46., 7 p.

Edit, Mikóné ; Violetta, Tóth ; Myrtill, Kocsisné Gráff ; **Virág, Nagypál**

Investigation of factors affecting the reproductive performance of dairy cows

In: Tamás, Monostori (szerk.) 17th Wellmann International Scientific Conference: Book of Abstracts : Agriculture Without Borders

Hódmezővásárhely, Magyarország: University of Szeged Faculty of Agriculture (2019) p. 58

Naoufal, Bellahsen ; **Virág, Nagypál** ; Edit, Mikó ; Zita, Seres ; Szabolcs, Kertész ; Cecilia, Hodúr

Removal and recovery of ammonium from milking parlour wastewater using pomegranate peel

In: Senka, Vidović (szerk.) Book of Abstracts of the 1st International Conference on Advanced Production and Processing : (ICAPP2019)

Újvidék, Szerbia : Újvidéki Egyetem, Technológiai Kar (2019) 370 p. p. 258

Naoufal, Bellahsen ; **Virág, Nagypál** ; Edit, Mikó ; Zita, Šereš ; Szabolcs, Kertész ; Cecilia, Hodúr

Adsorption of ammonium from milking parlour wastewater by using pomegranate peel

In: Hungarian, Chemical Society (szerk.) PERMEA 2019 - Membrane Conference of Visegrád Countries - Program and Book of Abstracts

Budapest, Magyarország: Hungarian Chemical Society (2019) p. 45, 1 p.

Naoufal, Bellahsen ; **Virág, Nagypál** ; Edit, Mikó ; Zita, Šereš ; Szabolcs, Kertész ; Cecilia, Hodúr

Adsorption and recovery of ammonium from milking parlour wastewater using pomegranate peel

In: Gábor, Rákhely; Cecília, Hodúr; Balázs, Lemmer; Zoltán, Jákói (szerk.) II. Sustainable Raw Materials International Project Week And Scientific Conference: Book of Abstracts Szeged, Magyarország: University of Szeged (2019) 76 p. p. 13

Violetta, Tóth ; **Virág, Nagypál** ; Ágnes, Süli ; Edit, Mikó

Investigation of culling practices on a dairy farm

In: REVIEW ON AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT 8: 1-2 pp. 96-101., 6 p. (2019)

Violetta, Tóth ; **Virág, Nagypál** ; Ágnes, Süli ; Edit, Mikó

Culling trends on a Hungarian large scale dairy farm

In: LUCRARI STIINTIFICE ZOOTEHNIE SI BIOTEHNOLOGII / SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES (2004-) 52: 2 pp. 117-122., 6 p. (2019)

Violetta, Tóth ; **Virág, Nagypál** ; Ágnes, Süli ; Edit, Mikó

Investigation of culling practices in a dairy farm

In: Tamás, Monostori (szerk.) 17th Wellmann International Scientific Conference: Book of Abstracts: Agriculture Without Borders Hódmezővásárhely, Magyarország: University of Szeged Faculty of Agriculture (2019) p. 78

Mikó, Edit ; **Nagypál, Virág** ; Tóth, Zsanett; Horváth, József

ECONOMIC EFFECTS RELATED TO MASTITIS IN DAIRY COW PRODUCTION

In: LUCRARI STIINTIFICE MANAGEMENT AGRICOL 20: 1 pp. 37-42., 6 p. (2018)

Konferencia előadások

Nagypál, Virág; Fenntartható vízhasználat tejelő tehenészetben- Magyar Tudomány Ünnepe MGK Konferencia- Fiatal kutatók a mezőgazdaság Jövőjéért- Hódmezővásárhely 2018, november 13.

Nagypál, Virág; II. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia, Szarvas: Vízlábnyom: egy új szemlélet, 2019.03.22

Nagypál, Virág; Investigation of water use on dairy farms, 17th Wellmann International Scientific Conference, Hódmezővásárhely, 2019.05.08.

Nagypál, Virág ; Tóth, Violetta, Correlation between somatic cell count and drinking water consumption of a Hungary

International Congress on Domestic Animal

Breeding Genetics and Husbandry (ICABGEH-2020), 12-14 August 2020, İzmir, Turkey.

Nagypál, Virág; Fenntartható vízhasználat tejelő tehenészetben- Magyar Tudomány Ünnepe MGK Konferencia- Fiatal kutatók a mezőgazdaság Jövőjéért- Hódmezővásárhely 2020, november 27.

Nagypál, Virág; Dulovics Junior Szimpózium 2021. Fenntartható vízhasználat tejelő tehenészetben, II. szekció - Fenntartható vízgazdálkodás, A Szekció legjobb előadása