



Karches Tamás

NUMERIKUS ÁRAMLÁSTAN A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN:
REAKTOROK TERVEZÉSE ÉS INTENZIFIKÁLÁSA

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Témavezető:

Dr. Somlyódy László

egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Budapest

2012

BEVEZETÉS ÉS A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A modern kori szennyvíztisztítás gyakorlata során a befogadók terhelésének csökkentése érdekében számos szennyező eltávolítási technológiát dolgoztak ki. Kárpáti (2001) megfogalmazása szerint a szennyvíztisztítás kezdetben sikeres szakmaorientált tevékenység volt különösebb tudományos háttér nélkül. Az elmúlt két - három évtized fejlődésének köszönhetően a tudományos alapok jelentősen megerősödtek, mely lehetővé tette például a hatékony tápanyag-eltávolítást, iszapkezelést és az energiatakarékosságot. Ideális esetben a telepekkel szembeni új elvárások a további fejlődés hajtóerejeként működnek, és hozzájárulnak a jogszabályi háttér átalakulásához is.

A jogszabályok betartása érdekében a jelenlegi gyakorlat általában tapasztalatokon alapuló (empirikus) méretezést követ, melynek során a műtárgyak méreteit az átlagos tartózkodási idő, a felületi terhelés, az iszapkor stb. alapján a biztonság érdekében túlbecsülik és jó esetben a hidraulikai viszonyokat ideális reaktormodellekkel közelítik. A kialakuló áramkép vizsgálata tehát általában nem része a tervezésnek. Ez a szemlélet legtöbbször túlméretezéshez vezet, mely gazdasági szempontból is kedvezőtlen. Ezt felismerve, több iparilag fejlettebb országban egyre nagyobb figyelmet fordítanak az anyagforgalmi alapú modellek alapján történő tervezésre és üzemirányításra.

A jelenlegi tendenciák alapján a határértékek szigorodásával, az energiaárak, és ebből kifolyólag a szennyvíztelepek üzemelési költségeinek növekedésével kell számolnunk. A gazdaságosság érdekében természetesen a technológiai elemek helyigényét és a beruházási költségeket is figyelembe kell vennünk.

A Közép-Kelet Európai régió telepei a gazdaságosságon túl számos problémával néznek szembe (Somlyódy és Patziger, 2012): (i) a vízfogyasztás csökkenése, a csatornahálózati beszívargás és a csapadékvíz elvezetés hiányosságai miatt, a tervezettel szemben gyakori a nagyon híg vagy nagyon sűrű, nyers szennyvíz, (ii) a korábbi hidraulikai túlterhelésből sokfelé alulterhelés lett, emiatt az előülepítők a kívánatosnál több szerves anyagot távolítanak el, ily módon okozva problémákat a későbbi technológiai lépésben megvalósuló nitrogén eltávolítás során, (iii) nem kielégítő a denitrifikáció az alacsony C/N arány, a nem megfelelő iszapkor és a helytelenül kialakított anoxikus medencék miatt, (iv) szerény a P eltávolítás, elsősorban a technológia során alkalmazandó vegyszer bekeverésének hiányosságai miatt, (v) az alulméretezett és rosszul működő utóülepítők, melyek az elfolyó víz minőségét alapvetően befolyásolják. A hiányosságok jelentős része a nem megfelelő anyagforgalom és áramkép kialakulása következtében jelentkezik.

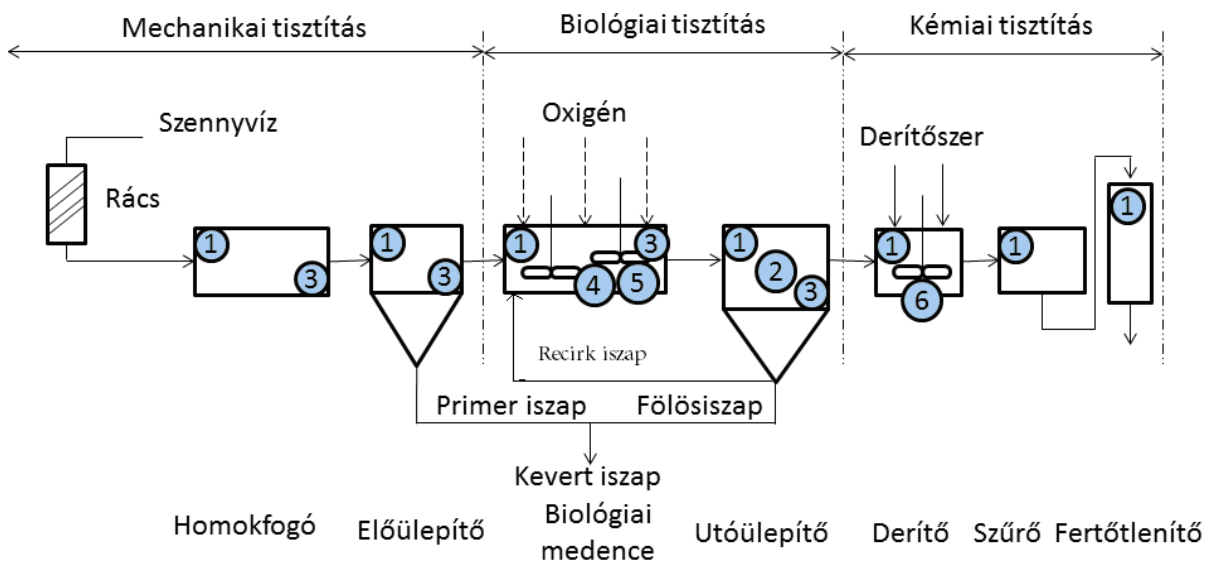
Ezek a problémák arra hívják fel a figyelmet, hogy (i) egyrészt nagyok a tradicionális módon tervezett telepek tartalékai, (ii) számos specifikus probléma és tulajdonság miatt szükség van a meglévő tervezési gyakorlat korszerűsítésére. Ez

utóbbi általában a technológiák reakciókinetikai leírását és a folyamatok optimalizálását jelenti a hatásfok és az üzemviteli tulajdonságok javítása érdekében. Egyúttal megkívánja az áramkép számítását a műtárgyakban célszerűen CFD (Computational Fluid Dynamics - Áramlástan numerikus szimuláció) szoftverek alkalmazásával, melyek segítségével például a kedvezőtlen hatású, nagy tartózkodási idejű holtterek kiküszöbölhetők, továbbá a reakciókinetikai méretezéshez a reaktor-konfigurációk az áramkép alapján kijelölhetők. A korszerű szemlélet eredménye igen szerteágazó lehet. A meglévő telepek esetében ez jelentheti a meglévő tartalékok kihasználását, a hatékony intenzifikálást és az üzemeltetési költségek csökkentését, új telepek esetében pedig a kisebb és olcsóbb műtárgyakat, és a lokális áramlási hatások figyelembe vétele révén a lebontási folyamatok optimalizálását.

Nagy szennyvíztelepek esetében különösen fontos a megfelelő előkészítéssel párosuló korszerű tervezés, hiszen a megtakarítási lehetőségek óriásiak. Ez a folyamat optimálisan a következő lépésekből áll: (i) elő-kísérletek a szennyvízösszetétel meghatározására, (ii) félüzemi kísérletek 1, (iii) tervezés 1, (iv) részleges kivitelezés (pl. egy tisztítási „vonal” megépítése), (v) telepi és félüzemi mérések 2, (vi) áramlási viszonyok elemzését is magában foglaló tervezés 2 és (vii) végső kivitelezés (itt 1 és 2 a sorrendiségre utal).

A bécsi szennyvíztelep megvalósítása kiváló példája a felvázolt, többlépcsős tervezési folyamatnak. Ma a telepen 680 000 m³/nap (száraz idejű) szennyvizet tisztítanak meg (4 millió LE), tápanyag eltávolítással. 15 utóülepítő műtárgyuk átmérője egyenként 64 m, átlagos mélysége 4,2 m, térfogata 13500 m³, melyeket CFD eszközzel terveztek (Kainz, 2008). Ha abból indulunk ki, hogy az utóülepítők a teljes beruházási költségnek körülbelül 10-15 %-át teszik ki, és ezek esetében 20-30 %-os költségmegtakarítást értek el, akkor a 220 millió eurós teljes telepi beruházás esetében 5-10 millió eurót takarítottak meg, oly módon, hogy az új ülepítő jelentősen kedvezőbbben üzemeltethető, mint a hagyományos megoldás esetében (megjegyezzük, hogy a hagyományosan tervezett Csepeli Központi Szennyvíztisztító beruházási költsége mintegy 150 milliárd Ft volt).

A szennyvíztisztítás általános sémájában (1. ábra) bejelöltem a gyakran előforduló intenzifikálási lehetőségeket, mely az áramkép ismeretében elvégezhető. Ezek a következők: 1. A műtárgyak kapacitásának kihasználása 2. Lebegőanyag kimosódásának elkerülése 3. Medencék bevezetésének és elvezetésének optimalizálása 4. Oxigénhiány és berothadás elkerülése 5. Szimultán denitrifikáció megvalósítása, 6. Kémiai foszforkicsapás.



1. ábra: A szennyvíztisztítás általános sémája

AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

Ahogy a bevezetőben is kiderült, a szennyvíztisztító telepek tervezésének és intenzifikálásának a jövőben elengedhetetlen eszköze az áramkép ismerete. A tisztítási technológiákban alkalmazott **műtárgyak hatékonyságát meghatározza a holtterek és rövidzárlatok létrejötte, az áramkép és bio(kémiai) folyamatokkal való kapcsolata és a technológiában rejlő intenzifikálási módok.** Ebből kifolyólag az értekezésemben a következő három témakörrel foglalkozom.

Kiemelt kérdésként kezelem a **holtterek kialakulását a műtárgyakban annak érdekében, hogy azokat a tervezés fázisában** célirányosan megszüntethessük. Ezen belül vizsgálom a hőmérsékleti különbségek, a vízhozam ingadozások és a sűrűségi áramlások holtterekre gyakorolt hatását.

A hidrodinamika és anyagforgalmi modellek összekapcsolásának lehetőségét az egyik legelterjedtebb tápanyag eltávolítási folyamaton, a kémiai foszforeltávolításon keresztül vizsgálom. Az áramkép és az elkeveredés koagulációs-flokkulációs technológiára gyakorolt hatását értékelem.

A szennyvíztisztító telepek iszapvonalának intenzifikálásában rejlő lehetőségek kihasználásával vizsgálom, hogy milyen módon valósítható meg a gravitációnál erősebb erőtér pl. mágneses tér alkalmazásával az iszapkezelés és a technológia alapparamétereinek meghatározása.

AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK ÉS AZ ELVÉGZETT KUTATÓMUNKA RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A leíró egyenletek és megoldásuk

A szennyvíztisztítási folyamatok modellezéséhez a hidrodinamikát és az anyagtranszportot leíró egyenleteket a véges térfogatok módszerével, áramlástanai szoftverek (Fluent 6.3, Ansys CFD, COMSOL) segítségével oldottam meg. Az eredményeket mérésrel és/vagy analitikus közelítő számítások eredményével ellenőriztem.

Az anyagtranszportot jellemző koncentráció, mint skalármennyiség lokális megváltozását a konvektív áramlás, a diffúzió és a reakciókinetika határozza meg:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla(\underline{u} \cdot c) = \nabla D \nabla c + \lambda c, \text{ ahol}$$

c : koncentráció [g/m^3], \underline{u} : áramlási sebesség [m/s], D : turbulens diffúzió [m^2/s], λ : az elsőrendű reakciókinetikát jellemző paraméter [$1/\text{s}$].

Turbulens áramlásoknál az anyagjellemző molekuláris diffúziót felváltja a konvektív áramlásból levezetett, irányfüggő ún. turbulens diffúzió, hiszen ez utóbbi nagyságrendekkel nagyobb, mint a molekuláris diffúzió. Számításához a turbulens viszkozitást (μ_t), a folyadék sűrűségét (ρ) és a Schmidt számot vesszük alapul az alábbi módon:

$$D = \frac{\mu_t}{\rho \cdot Sc}$$

Az anyagtranszport egyenlet egyes tagjainak relatív szerepét a koncentráció megváltozására vizsgálva dimenziótlan számokat vezettem be; a Peclet számot (Pe), mely kifejezi a konvektív és diffúziós transzport arányát és a Damköhler számot (Da), mely a reakciókinetikát viszonyítja a konvektív transzporthoz. Mindkét számot numerikus átfolyási kísérletekből származtattam.

A műtárgyak hidraulikai hatékonysága – holtterek detektálása

A műtárgyakban kialakuló holtterek a főáramlás energiáját felemészítik, a hasznos térfogatot csökkentik és a nagy tartózkodási idő miatt a vízminőség romlását okozhatják. Az elhelyezkedésük áramlástanai numerikus szimulációval becsülhető, majd mérnöki intuíció alapján, a megfelelő beavatkozásokkal a rosszul működő térrészek megszüntethetőek vagy kiterjedésük csökkenthető. A tervezés az empirikus iteráció módszerén alapul, azaz az egymást követő módosítások nagyban függenek az elemző gyakorlati ismereteitől és intuíciójától.

Értekezésemben módszert mutatok be a holtterek és a nagy vízkorral rendelkező térrészek műtárgyon belüli helyzetének meghatározására és javaslatot teszek a megszüntetésükre. Az eljárást ellenőrzöm egy eleveniszapos medencén elvégzett átfolyási kísérlettel, majd hasonlóképpen alkalmazom szennyvíztelepi Dorr-típusú előüleptítőkre, örvénycsapdára és egyéb medencetípusokra és azok kialakítására. Bevezettem egy új mennyiséget, a medencén belüli holttéarányt, mellyel a különböző bemeneti paraméterek (mint vízhozam, geometriai kialakítás) változásainak hatása összehasonlítható. A holttéarány a következőképp számolható:

$$V_d / V = \max \left| F_{ki} - \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N F_i(t) |V_i| \right|, \text{ ahol}$$

V_d : holttér által elfoglalt térrész, V : műtárgy teljes térfogata (i indexszel ellátva az adott cella térfogatát jelenti), $F(t)$: átfolyási görbe, eloszlásfüggvény (ki : kilépő keresztmetszelyben, i : adott cellában), N : háló elemszáma.

Bebizonyítottam, hogy a **szennyvíz anyagi tulajdonságai idealizálhatóak**, vagyis a holtterek kiterjedésének meghatározásakor a tiszta víz tulajdonságaival közelíthetők.

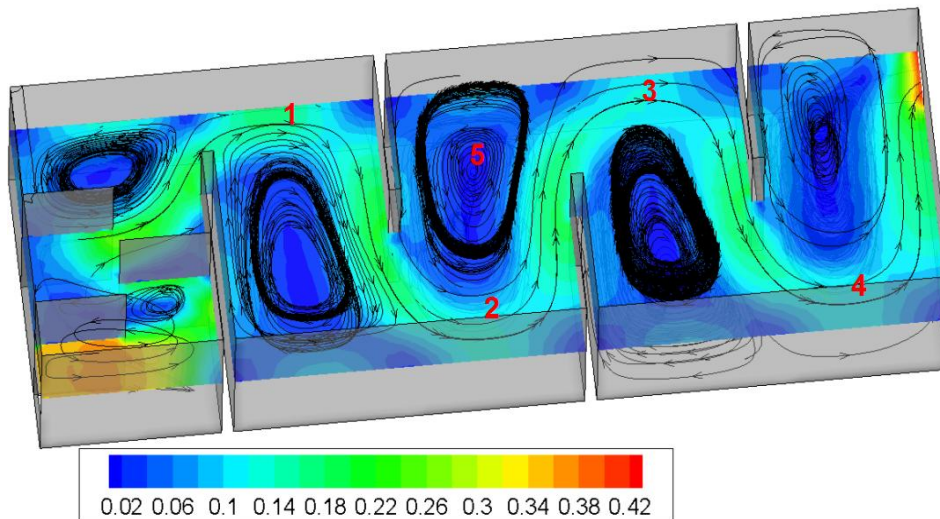
A szennyvíztisztítási gyakorlatban gyakran előfordul, hogy a medencében lévő folyadék hőmérséklete jelentősen eltér a befolyó víz hőmérsékletétől. A kialakuló **hőmérsékletkülönbség** (feltételezve egy téli állapotban előforduló 10 °C-os befolyó és műtárgyan levő hőmérsékletkülönbséget) az átlagos tartózkodási időnél ugyan közel 10 %-os változást idézett elő, azonban a medencében kifejlődő holtterekre nem volt hatással (holttéarány változás <1%). A **bevezetett vízhozam** jelentős (50 %-os) **változtatása sem eredményezett szignifikáns eltérést (1-2 %-os csökkenés) a holttéarány értékében. Az elvételi mód változtatása viszont jelentősnek mutatkozott** (ugyanolyan bevezetés mellett). A holtterek aránya közel a harmadára csökkent.

Flokkulációs technológiák hatásfokának hidrodinamikai alapú közelítése

Az ortokinetikus flokkuláció hatásfoka nagymértékben függ az áramlási viszonyoktól, melyet a jelenlegi tervezési gyakorlat csupán a medencére jellemző, átlagos sebesség gradiens értékében (G szám) határoz meg. CFD-s eszközökkel lehetővé vált a G szám medencén belüli eloszlásának meghatározására, melyhez a vízrészecskék korát és a flokkulációra jellemző kinetikai konstanst (Zhang és mtsai, 2004; van de Ven és Mason, 1977) hozzávéve meghatározható a Damköhler dimenziómentes szám. A Pe és Da számból a Schmoluchovszky (1917) által az **ortokinetikus flokkuláció dinamikáját leíró egyenlet kémiai konverziója meghatározható, ezáltal különböző műtárgy konstrukciók**

összehasonlíthatóak. Az egyenlet megoldásából származtatható az elérhető pehelyméret, melynek leválaszthatóságát az átfolyási vizsgálatnál tárgyalt előülepítőre vizsgáltam.

A 2. ábrán egy terelőfalas labirint típusú flokkulátor látható, melyben nagy holtterek és rövidzár is kialakul. Elméleti tartózkodási idő: 620 s, 1. pontban 88 s, 2. pontban 138 s, 3. pontban 210 s, 4. pontban 310 s, 5. pontban kb. 8000 s, a kilépési szelvényben 380 s a víz kora.



2. ábra: A flokkulátor sebességkontúrja [m/s], és néhány vízrészecske pályája a feltételezett holtterek bemutatása céljából. A számok azokat a pontokat jelentik, ahol a víz elérési idejét meghatározom.

Pelyhes szerkezetű anyagok leválasztása mágneses térrel

A fázisszétválasztáson alapuló technológiákat a szennyvíztisztításban széleskörűen alkalmazzák az oldott és szilárd részecskék elkülönítésére. Az elválasztás hatékonyságát a szilárd fázis sűrűsége (szárazanyag tartalma) és ennek eléréséhez szükséges idő szabja meg. Ebből a szempontból külső térerő alkalmazásával a csupán gravitációs erőn alapuló technológiák javíthatók, azaz állandó mágneses teret létrehozva a mágneses tulajdonságú pelyhek leválaszthatóak. A részecskék mágneses tulajdonságát a rendszerbe adagolt mágneses folyadékok (Fe(0) vagy magnetit diszperzió) biztosítják. A mágneses térerő felhasználhatósága a végső szennyvíztisztítási fázis megfelelő működésének biztonságát is javítja. A mozgási pálya a kialakított mágneses tér függvénye, tehát a részecskék célzottan irányíthatóak a szilárd és folyékony fázis szétválasztásának javára.

Ez a fajta sűrítési eljárás teljesen újnak számít az iszapkezelés területén, ezért célom a jelenség leírása és a technológiai alapparaméterek meghatározása. A kutatás még nincs olyan fázisban, hogy a költségek becsülhetők lehetnének.

Laborkísérletekkel megállapítottam, hogy mágneses tér jelenlétében 5-10 perc alatt elérhető az az iszapszint, melyhez 30 perc alatt jutunk el mágneses tér nélkül. Ennek következménye, hogy a műtárgytérfogatok jelentősen csökkenthetőek, mivel ugyanolyan iszaphozam mellett rövidebb tartózkodási idő biztosítása is elegendő. **Az elérhető szárazanyag-tartalom közel kétszerese a hagyományos, mágneseket nem alkalmazó sűrítési folyamatoknak**, ezáltal az iszapkezelésben jelenleg alkalmazott iszapsűrítők kiválthatóak.

Az iszapok mágneses szeparációját befolyásoló tényezőket három csoportba foglaltam; (i) az iszap ülepedési tulajdonságát kifejező iszapindex, (ii) az alkalmazott mágnesezhető nano vas mennyisége és (iii) a mágneses tér jellege. Kétfaktoros kísérlettervezési módszert alkalmazva a mágneses tér hatása bizonyult a legérzékenyebb paraméternek a leválasztásra nézve, de a nano vas – mágnes kölcsönhatás sem elhanyagolható. Ebből az a következtetés vonható le, hogy e két paraméter mellett az iszap tulajdonsága elhanyagolható.

A numerikus szimulációk célja, hogy a szennyvíztelepi iszapok mágneses térben való leválasztását vizsgáljam, a technológiai alapparamétereket meghatározzam, a tervezéshez szükséges ténylegesen elvégzendő mérések számát csökkentsem és egy jövőbeli alkalmazás kidolgozásához az elméleti alapot megteremtsem. Ehhez egy saját módszert fejlesztettem.

A mágneses tér és a CFD modell összekapcsolása a külső mágneses tulajdonságú részecskékre ható erő által lehetséges, melyhez ismerni kell a részecskék felmágnesezhetőségét és a permanens mágneses teret. A felmágnesezési tulajdonságot a Langevin függvénnyel határoztam meg, ahol a magnetizációs görbe lineáris szakaszának meredeksége adja a mágneses folyadék szuszceptibilitását, mely a Langevin függvény alsó határértéke az alábbi képlet alapján (Rosenweig, 1997):

$$\chi_e = \frac{\pi}{18} \cdot \frac{\mu_0}{k \cdot T} \cdot \psi_v \cdot M_d^2 \cdot d^3, \text{ ahol}$$

χ_e : külső mágneses tér okozta szuszceptibilitás [-], μ_0 : vákuum permeabilitás [H/m], k : Boltzmann állandó [J/K], T : hőmérséklet [K], d : mágnesezhető részecske maximális átmérője [m], M_d : a részecske mágneses dipólus momentuma / a mágneses részecske [A/m].

Ezen képlettel számított szuszceptibilitás értékét módosítja az ún. belső magnetizáció, amely abból adódik, hogy a mágnesezhető részecskék kisméretű mágnesként kezdenek el viselkedni, így módosíthatják a teret. A számításaim során ezt a hatást is figyelembe vettem.

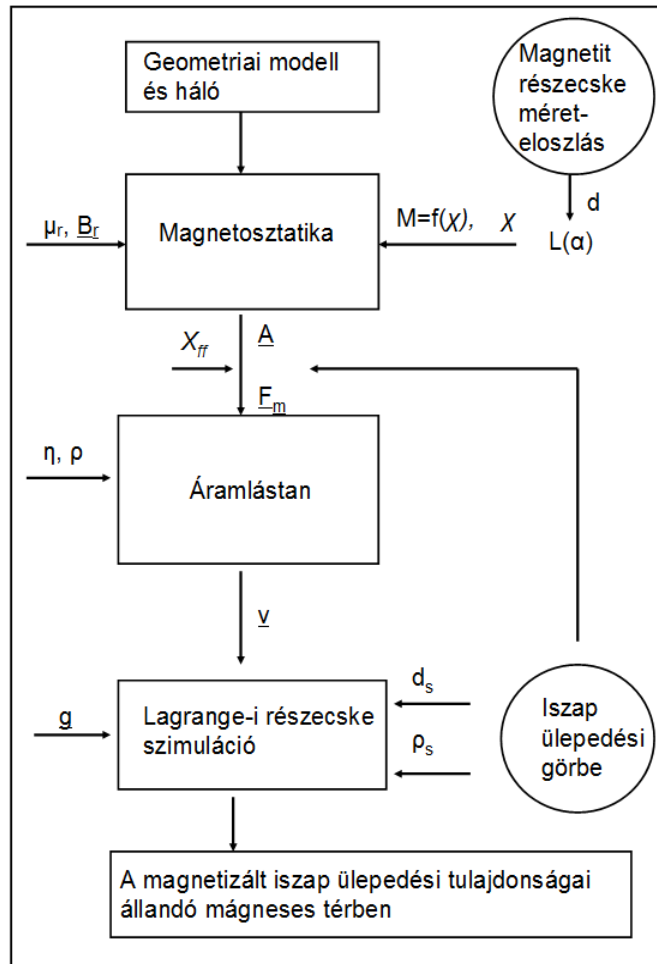
A mágneses térben (\underline{A}) az egység térfogatú részecskékre ható erőt (\underline{F}) az iszaphoz kevert mágneses folyadék térfogatarányának (X_{ff}) figyelembe vételével határoztam meg az alábbi módon:

$$F_x = \frac{\chi}{\mu_0 \mu_r^2} \left(\frac{\partial A_z}{\partial x} \frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial A_z}{\partial y} \frac{\partial^2 A_z}{\partial x \partial y} \right) \cdot X_{ff}$$

$$F_y = \frac{\chi}{\mu_0 \mu_r^2} \left(\frac{\partial A_z}{\partial x} \frac{\partial^2 A_z}{\partial x \partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial y} \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} \right) \cdot X_{ff}.$$

Az áramlástanai szimuláció után az iszaprészecskére felírt erőegyensúly alapján (gravitációs-, felhajtó-, mágneses- és közegellenállási erő) a pelyhek mozgása becsülhető. Az iszaprészecske egyenérték átmérőjéhez az irodalom (Hribersek és mtsai, 2011) alapján becsült értékét vettem fel, mely 0,15-1,77 mm közé esett. Egy iszapminta esetén végeztem mikroszkópos vizsgálatot, melynek eredménye 0,23 mm-s átlagos szemcseátmérő volt. Hribersek és mtsai (2011) szerint az átlagos fölősiszap sűrűsége 1070 kg/m³, melyben a szilárd részecskék 2 μm átmérővel jellemezhetők és sűrűségük az 1400-1600 kg/m³-es tartományba esik. A mérések alapján a szabad ülepedés szakaszában mágneses tér nélkül az ülepedés sebessége 0,057 – 0,073 mm/s volt, mágneses térrel 0,17- 0,24 mm/s. Az ebből számított ülepedési Reynolds-szám maximális értéke 0,4 körüli, ezért lamináris ülepedéssel lehet számolni.

A teljes magnetosztatikai- CFD kapcsolt modell sémáját a következő 3. ábra mutatja:



3. ábra: Magnetosztatika- áramlástani kapcsolt modell. Jelölések: d : mágnesezhető részecske átmérője, χ : mágneses szuszceptibilitás, \underline{B}_r : mágnes remanenciája, μ_r : relatív permeabilitás, L : Langevin függvény, \underline{M} : magnetizáció, \underline{A} : mágneses potenciál, X_{ff} : magnetit diszperzió aránya az iszaphoz viszonyítva, \underline{E}_m : mágneses erő, v : sebesség, g : gravitációs állandó, d_s : az iszapszemcse átmérője, ρ_s iszapsűrűség

A modelleredmények alapján megállapítható, hogy a **mágneses térben történő üledítés és sűrítés** jellege eltér a gravitációs fázisszétválasztás jellegétől. Az előbbit a **részecskékre ható erő nagy térbeli gradiense** jellemzi. Míg a gravitációs erőterben a részecskék kölcsönhatása, addig mágneses térben a mágneses tulajdonságok a meghatározóak, melyet a laboratóriumi kísérletek alapján végzett kísérlettervezés is megerősít.

AZ EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

A következőkben ismertetem az tézisekben megfogalmazott eredményeimet, a tézis végén zárójelben található a hozzájuk kapcsolódó publikáció(i)m.

1. tézis

Numerikus átfolyási kísérletek eredményei alapján megállapítottam, hogy a szennyvíztelepi műtárgyakban létrejövő holtterek kialakulását túlnyomóan a műtárgy geometriája határozza meg: a hőmérséklet és vízhozam változása másodlagos. A holtterarány meghatározására módszert dolgoztam ki, melyet az átlagos és a kilépő szelvényben felvett átfolyási görbéből vezettem le. Igazoltam, hogy a vizsgálatokhoz a közeg idealizálható, azaz szennyvíz helyett modellfolyadéként víz alkalmazható, melyet számos műtárgyra (jól elkevert, kaszkád- és csőreaktor, előülepítő, eleveniszapos medence) mérésrel és számításokkal ellenőriztem. [3,4,10,12]

2. tézis

Megállapítottam, hogy a flokkulátorok hatékonyságának értékeléséhez a Schmoluchovszky-egyenleten alapuló hatékony részecskeütközési valószínűségből levezetett Damköhler szám és a numerikus átfolyási kísérletekből számított Peclet szám ismerete szükséges, mellyel a különböző medence típusokra a pehelynövekedés és leválasztás becsülhető. A módszer figyelembe veszi a tényleges tartózkodási időt és a hidraulikai gradiens értékét. Utóbbit minden szimulációs pontra megadhatjuk, ezzel a lokális jelenségek hatását közvetlenül számíthatjuk. A módszer segítségével fejlesztést hajtottam végre: a labirint keverő medence első terelőfalához merőlegesen terelőlapokat helyeztem, mellyel különösebb energia befektetés nélkül javítható a flokkulátor hatékonysága. [1]

3. tézis

Szennyvíztelepi iszaphoz mágnesezhető vasat (Fe_0 vagy magnetit) keverve és állandó mágneses teret létrehozva, az iszap ülepedési, sűrűsödési tulajdonságai javulnak. Az ülepedési sebesség és az elérhető szárazanyag-tartalom kétháromszorosára nő a hagyományos megoldáshoz képest, oly módon, hogy 1 m^3 iszap kezeléséhez meglehetősen kevés, 50-150 g vasat tartalmazó Fe_0 -t vagy magnetitet kell adagolni. Az iszap ülepedése és sűrűsödése nem függött a laboratóriumi mérések során alkalmazott mágneses folyadékok ($\text{Fe}(0)$ és magnetit) minőségétől, csak a mágnesezhető vas tartalmától. [2,9,11]

4. tézis

Magnetosztatikai – áramlástan kapcsolt modellt hoztam létre a mágneses iszapszemcsék ülepedésének vizsgálatára. A rendszer a mágneses tér hatására létrejövő sebességteret, majd az iszapszemcsékre felírt erőegyensúly alapján, a részecskék pályáját számítja. Megállapítottam, hogy az ülepedés hatékonysága elsősorban az iszap mágneses tulajdonságától függ. A modellrendszer

érvényessége a szabad ülepedési szakaszra terjed ki. A mérési és szimulációs eredmények összhangban állnak egymással. [8,9]

HIVATKOZOTT IRODALOM

Hribersek, M., Zajdela, B., Hribernik, A. and Zadavec, M, Experimental and numerical investigations of sedimentation of porous wastewater sludge flocs, *Water Research*, Vol. 45, pp. 1729-1735, 2011.

Kainz, H., Design and Construction of the WWTP of Vienna, Conference of Vodni Dnevi, Slovenia, 15-16 Oct., 2008.

Kárpáti, Á., A szennyvíztisztítás fejlődése a XX. században - eleveniszapos tisztítás tervezési irányelvei, Ismeretgyűjtemény, Veszprémi Egyetem Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, pp. 106., 2001

Rosenweig, R.E., Ferrohydrodynamics, Dover Publications, Inc. Mineola, New York, 1997.

Somlyódy, L. and Patziger, M., Urban wastewater development in Central and Eastern Europe, *Water Science and Technology*, 2012 publikálásra elfogadva

Schmoluchowsky, M. v., Versuch einer Matematischen Theorie der Koagulationskinetik Kolloide Losungen Zeitschrift, Phys. Chem., 92, pp.129. 1917.

Van de Ven, T.M.G. és Mason, S.G., The Microrheology of Colloidal VII. Orthokinetic Doublet Formation of Spheres. *Colloid and Polymer Sci.*, 255., pp. 46-479., 1977.

Zhang, P., Hahn, H.H., és Hoffmann, E., Study on Flocculation Kinetics of Silica Particle Suspensions, *Chemical Water and Wastewater Treatment VIII*, pp. 277-285., 2004.

KARCHES TAMÁS PUBLIKÁCIÓI (2008-2012)

Idegen nyelvű, referált folyóiratcikkek

1. **Karches T.** (2012) Evaluation of Mixing Efficiency on Coagulation – Flocculation Process in Wastewater Treatment, *Journal of Environmental Science and Engineering A 1*, pp.898-903.
2. **Karches T.** és Buzás K. Modeling of solid-liquid separation using external magnetic field in wastewater treatment, *Periodica Polytechnica*. (elfogadva)
3. **Karches T.** (2012) Detection of dead-zones with analysis of flow pattern in surface water, *Pollack Periodica*, Vol.7., Nr. 2., pp.139-146.

4. **Karches T.** és Buzás K. Investigation of residence time distribution and local mean age of fluid to determine dead-zones in flow field, *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*, (elfogadva)

Magyar nyelvű folyóiratcikkek

5. **Karches T.** (2012) Numerikus hidraulikai modellezés a szennyvíztisztítás szolgálatában, *MASZESZ Hírcsatorna*, jan-febr. pp. 3-7.

6. **Karches T.** (2012) A közutakról lefolyó csapadékvíz-kezelés numerikus modellezése, *Hidrológiai Közlöny*, 92(1) pp. 49-50.

7. Sándor D., Zajzon G., Fülöp R. és **Karches T.** (2011) Az ATV-DVWK-A 131E alapján méretezett szennyvíztisztító telep működésének ellenőrzése a BIOWIN 3.0 használatával, *MASZESZ Hírcsatorna*, nov-dec. pp. 15-20.

Konferencia kiadványok

8. **Karches T.** (2012) Particle separation using high-gradient magnetic field in wastewater treatment, *Proceedings of the Conference on Modelling Fluid Flow*, Budapest, szept. 4-7.

9. **Karches T.** (2012) Model establishment for magnetic separation of flock-size particles in wastewater treatment, *IWA Young Water Professional*, Budapest, júl. 10-13.

10. **Karches T.** és Buzás K. (2011) Methodology to determine residence time distribution and small scale phenomena in settling tanks, *WIT Transactions on Engineering Sciences* 70. pp. 117-126. DOI:10.2495/MPF110101.

11. **Karches T.** és Buzás K. (2011) Pelyhes szerkezetű lebegőanyagok leválasztása mágneses erőterrel mozgatott nano részecskékkel, *Építőmérnöki Kar a Kutatóegyetemért*, Budapest, nov. 25., pp. 103-108. ISBN: 978-963-313-042-1.

12. **Karches T.** és Melicz Z. (2010) Problem detection in a small wastewater treatment tank with the tool of computational fluid dynamics, *9th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, szept. 27-30. 8 p. Paper COM009.

Egyéb tudományos közlemények, kutatási jelentések

13. **Karches T.** (2011) Transzportfolyamatok MSc jegyzet. <http://www.vkkt.bme.hu/tantargy/?tid=33>

14. Somlyódy L., Buzás K., Jászay T., **Karches T.**, Kardos M., Nováky B. és Ujhelyi G. (2011) A Paksi Atomerőmű Zrt. Területén létesítendő új blokkok hűtési lehetőségeinek felülvizsgálata

15. Somlyódy L., Koncsos L., **Karches T.** és Kozma Zs. (2010) A Paksi Atomerőmű hőterheléséhez kapcsolódó üzemviteli rendszer továbbfejlesztése és az elkeveredés javításának vizsgálata

16. Somlyódy L., Koncsos L., **Karches T.**, Kozma Zs. és Nováky B. (2008) A Paksi Atomerőmű hőterhelése: A monitorozás és üzemirányítás fejlesztése
17. **Karches T.** (2011) Nanovassal kezelt szennyvíziszap ülepedési hajlandóságának modellezése állandó mágneses térben (vízépítő szakmérnöki szakdolgozat)
18. **Karches T.** (2009) Tanári kompetenciák fejlesztésének szükségessége a felsőoktatásban az andragógia alapmotívumainak felhasználásával (okl. mérnök-tanár diplomamunka)
19. **Karches T.** (2008) Ülepítő tározók áramlási viszonyainak értékelése numerikus modellezéssel (okl. környezetmérnök diplomamunka)

Karches Tamás
BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.
E-mail: karches@vkkt.bme.hu, Tel: +36305328821

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban köszönetet szeretnék mondani témavezetőmnek, Dr. Somlyódy Lászlónak, aki tapasztalatával nemcsak az értekezés elkészítésében segített, hanem szakmai pályafutásomat egyengette, vadhajtásaimat nyesegette, precizításra, magas színvonalú munkavégzésre sarkallt.

Köszönöm Dr. Buzás Kálmánnak, hogy a holtponatokon átsegített innovatív ötleteivel, Dr. Koncsos Lászlónak, hogy a tanszéki infrastruktúrát biztosította számomra és támogatta a munkámat, Dr. Licskó Istvánnak a kiemelkedő szakmai és baráti segítségét, Dr. Laky Dórának és Dr. Budai Péternek, Dr. Clement Adriennek, Dr. Szilágyi Ferencnek, hogy mindig bíztattak és hasznos tanácsokkal láttak el, Musa Ildikónak, a laboratóriumi mérésekben való segítségért és a BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék valamennyi munkatársának, akik szakmai és/vagy emberi közreműködésével eljuthattam idáig.

Külön köszönetemet fejezem ki Dr. Melicz Zoltánnak, Dr. Dulovics Dezsőnek, Dr. Juhász Endrének és Dr. Patziger Miklósnak a szennyvizes témakör jobb megértéséért.

Köszönöm Dr. Józsa Jánosnak a szakmai segítségét és hogy felkeltette az érdeklődésemet a hidrodinamika iránt és az Áramlástan Tsz.-en Dr. Lajos Tamásnak, Dr. Kristóf Gergelynek, Dr. Rékert Tamásnak és Dr. Lohász Máténak, hogy megismertettek az áramlástan szépségeivel, a numerikus szimulációk fortélyáival és bármikor fordulhattam hozzájuk szakmai kérdésekben.

Kiemelkedő köszönet illeti szüleimet és egykori tanárait, akik megalapozták és segítettek emberi és szakmai fejlődésemet, valamint társamat és barátaimat, akik fontos lelki támogatást adtak a munkához.