



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell-féle hígítási törvény

A Gage-Bidwell-féle hígítási törvény felülvizsgálata az uszodai szűrés hatékonyságával és a *Cryptosporidium* által az uszodai felhasználókra jelentett kockázattal kapcsolatban című tanulmány feldolgozása

A tanulmány szerzői: Lester P. Simmonds, 1 Guy E. Simmonds 1, Martin Wood 1,*, Tim I. Marjoribanks 2 és James E. Amburgey 3

1 Pool Sentry Ltd., Dale Cottage, Stanton Dale, Ashbourne DE6 2BX, Egyesült Királyság; lester@poolsentry.co.uk (L.P.S.); guysimmonds3@hotmail.com (G.E.S.). 2 Építészeti, Építő- és Építőmérnöki Kar, Loughborough Egyetem, Ashby Road, Loughborough LE11 3TU, Egyesült Királyság; t.i.marjoribanks@lboro.ac.uk. 3 Építő- és környezetmérnök, University of North Carolina at Charlotte, 9201 University City Blvd., Charlotte, NC 28223-0001, USA; James.Amburgey@uncc.edu. * Levelezés: martin@poolsentry.co.uk

Publikálva: WATER folyóirat 2021 13. számában, 2021.08.27.-én.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Amiről szó lesz:

1. Medencevíz hígítása vízforgatásos technológiával történő szűréssel
2. A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában
3. Részecske átfordulási idő bevezetése



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Egyszerűsített modell:

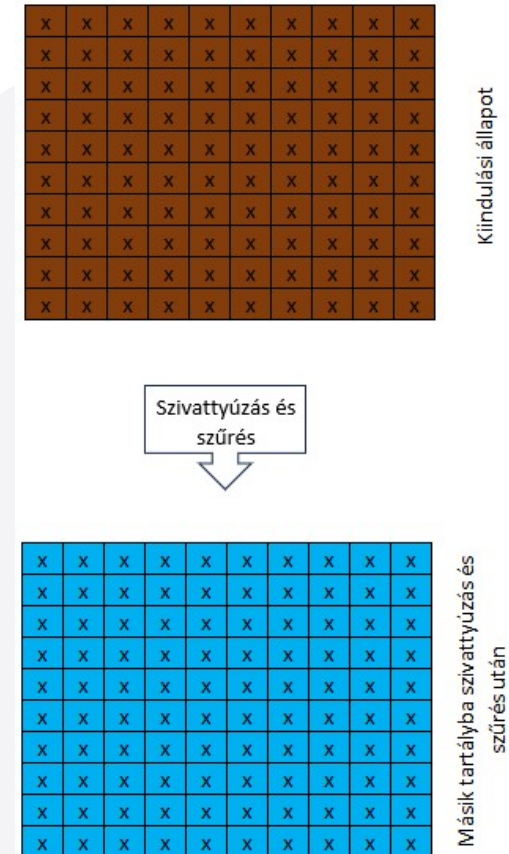
Tegyük fel, hogy egy medencében homogén módon elkeverünk részecskéket. Van képességünk arra, hogy egy szűrő berendezéssel eltávolítsuk ezeket a részecskéket a vízből.

Ha egy másik medencébe átszivattyúzzuk a szűrőn keresztül a vizet, akkor a teljes medence víz átszivattyúzásakor a vízből a részecskéket kiszűrtük és a másik medencébe 1 medence térfogatnyi szivattyúzás után, 100%-ban átszűrt víz került.

Mi történik akkor, ha ugyanabba a medencébe szivattyúzzuk vissza az összes vizet?

A kísérlet megoldásához segítségül hívjuk a Gage-Bidwell-féle hígítási törvényt.

A gondolat kísérlethez feltételezzük, hogy a visszaforgatott szűrt víz homogéne keveredik a medencében és a víz szűrése tökéletes.





A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Empirikus megközelítés:

A Gage-Bidwell-törvény eredetének kulcsa az "egymás utáni hígítással,, kifejezésben rejlik, és az 1926-os tanulmány a következőképpen magyarázza:

"Egy recirkulációs vagy átfolyó medencében, amelyben a szennyezett vagy használt vizet folyamatosan kivonják és friss vagy szűrt vízzel pótolják, a víz tisztítása egymást követő hígítással történik. A medencéből kivett első rész mind szennyezett víz, de a belépő tiszta víznek a medencében maradó szennyezett vízzel való állandó keveredése miatt a kivett víz minden egyes következő része egyre kisebb arányban szennyezett vízből és egyre nagyobb arányban tiszta vízből áll".

American Journal of Public Health folyóiratban jelent meg. Gage-Bidwell Law of Dilution néven vált ismerté. Az eredeti irat csak 625 szóból állt.

4. dia

SO0 Töltő ürítő medencék esetén is használható a törvény.

Székács Orsolya; 2023-11-19T17:55:10.668

SO0 0 78 évvel ezelőtt publikálták az American Journal of Public Health folyóiratban. Gage-Bidwell Law of Dilution néven vált ismerté. Az eredeti irat csak 625 szóból állt.

Székács Orsolya; 2023-11-19T18:01:14.055



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Egyszerűsített modell megalkotása:

A megoldáshoz a medence vizét gondolatban osszuk fel három egyenlő részre. Legyen 3 egységcsomagunk, amelyek mindegyike a medence víztérfogatának 1/3 része.

A három egységcsomag egymást követő szűrése után egy medencetérfogatnyi vizet távolítottunk el és kezeltünk. Amikor egy tiszta vizet tartalmazó tartály visszakerül a medencébe, az azonnal és teljesen elkeveredik a medencében maradt vízzel. Ebben az esetben minden egységcsomag a medence teljes vízmennyiségének 1/3-át távolítja el, és három egység csomag szűrése után egy medence térfogatát távolították el és vezették át a szűrőberendezésen.

x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	z	z	z	z
x	x	x	y	y	y	z	z	z	z
x	x	x	y	y	y	z	z	z	z
x	x	x	y	y	y	z	z	z	xyz



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

C – vel jelöljük a vízben aktuálisan elkevert részecskék koncentrációját.

C_0 -val jelöljük a vízben az elkevert részecskék kezdeti koncentrációját.

Aktuális állapot	Az eltávolított egység csomagok mérete a medence térfogatához képest	A medencében elkevert részecskék aktuális koncentrációja	Szám értékkel kifejezve:
Kiindulási állapot	0	$C = C_0$	0
Az első egységcsomag megsűrítése és vissza vezetése után.	1/3	$C = \left(1 - \frac{1}{3}\right) C_0$	0,667
A második egységcsomag megsűrítése és vissza vezetése után.	2/3	$C = \left(1 - \frac{1}{3}\right) \left(1 - \frac{1}{3}\right) C_0$	0,444
A harmadik egységcsomag megsűrítése és vissza vezetése után.	3/3	$C = \left(1 - \frac{1}{3}\right) \left(1 - \frac{1}{3}\right) \left(1 - \frac{1}{3}\right) C_0$	0,296



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Szennyezőrészecskék mennyisége: 100%

Megszűrött részecskék mennyisége: 0%

x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	xyz

Kiindulási állapot

Szennyezőrészecskék mennyisége: 66,7%

Megszűrött részecskék mennyisége: 33,3%

x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	xyz	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z

Az első egységcsomag megszűrése és vissza vezetése után.

Szennyezőrészecskék mennyisége: 44,4%

Megszűrött részecskék mennyisége: 55,6%

x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	xyz	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z

A második egységcsomag megszűrése és vissza vezetése után.

Szennyezőrészecskék mennyisége: 29,6%

Megszűrött részecskék mennyisége: 70,4%

x	x	x	x	y	y	y	xyz	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	x	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z
x	x	x	y	y	y	y	z	z	z

A harmadik egységcsomag megszűrése és vissza vezetése után.

Diós András okl. gépészmérnök
 Neptun Filter Kft. (www.neptunfilter.hu)
 Tel.: +36-20-340-7191, e-mail: diosandras@neptunfilter.hu

MMK Fürdő és uszoda létesítmények (FUL) Szakosztály
 2023.11.21. őszi szakmai nap
 MMK Budapest, Angyal u. 1-3.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Tehát a három egységcsomag megszűrése után, a medencében még marad 29,6% szennyezett részecske mennyiség az eredeti mennyiséghez képest.

Ha felírjuk általános képlettel a gondolat kísérletünket:

Megfelelően nagy N érték megválasztása esetén az érték a 0,368 értékhez fog közelíteni.

$$C = C_0 \left(1 - \frac{1}{n}\right)^n \Rightarrow 0,368 \Rightarrow \frac{1}{e}$$

(az EULER szám reciproka)

Ha a medence vizét „n” alkalommal medencetérfogatnyi víz mennyiséggel forgatjuk át a szűrőberendezésen, akkor a szűretlen vízben lebegő részecskék aránya csökken.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Hogyan számíthatjuk ki adott számú forgatás után a megszűrt víz arányát?

A hígítási szabály hatással van a vízmennyiség forgatása során megszűrt víz mennyiségre és a kiszűrt részecskék mennyiségére. Ha a megszűrt víz arányát szeretnénk kimutatni, akkor a következő képlet segítségével tudjuk kiszámolni:

SZ_m = a megszűrt víz aránya a víztérfogathoz képest

$$SZ_m = \left(1 - \frac{1}{e}\right)^n$$

$$\text{Példa: } n=2 \text{ esetén } = 1 - \left(\frac{1}{2,71828}\right)^2 = 1 - (0,368)^2 = 0,86896$$



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

n = a medencetérfogat átfogatásának száma	SZ _m = a megszűrt víz aránya a víztérfogathoz képest
1	63,800%
2	86,896%
3	95,256%
4	98,283%
5	99,378%
6	99,775%
7	99,919%
8	99,971%
9	99,989%
10	99,996%
11	99,999%
12	99,999%

$$SZ_m = \left(1 - \frac{1}{e}\right)^n$$



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Az átszűréshez szükséges idő ábrázolása táblázatban, a 4 jellemző medencetípus esetében:

Medence típusa:	Medence felület: {m ² }	Medence mérete: {m ³ }	37-es rendelet szerinti forgatási teljesítmény: {m ³ /h}	99,9%-os (7szeres) átszűréshez szükséges idő {óra}
tanmedence (0,8m)	64	51,2	45	8,0
gyermek- és parancsolómedence (0,35m)	800	280	800	2,5
gyermek- és parancsolómedence (0,25m)	32	8	32	1,8
strand- és úszómedence (25x20m)	500	1100	200	38,5
strand- és úszómedence (50x25m)	1250	2750	500	38,5
strand- és úszómedence (15x10x1,4m)	150	210	60	24,5
meleg vízű ülőmedence (1,25m)	160	200	128	10,9
meleg vízű ülőmedence (0,9m)	160	144	128	7,9
meleg vízű ülőmedence (0,9m)	360	324	288	7,9



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában

A Gage-Bidwell-féle hígítási törvény egyik alkalmazása a Cryptosporidium oociták eltávolításának vizsgálata egy jól kevert medencéből egy véletlen székletürítést (VSZÜ) követően.

Bár a Cryptosporidium abban az időben nem volt ismert veszély a medencékben, a szerzők az 1926-os "Standards for design, construction, equipment and operation" (Tervezési, építési, felszerelési és üzemeltetési szabványok) című munkájukban a Gage-Bidwell-féle hígítási törvényt a víztisztítás szűréssel történő szennyeződés-eltávolításának figyelembevételére alkalmazták.

A Gage és Bidwell összefoglaló szerint "számítással és kísérletekkel könnyen kimutatható, hogy 7 átforgatás szükséges ahhoz, hogy a medence vizében a keringtetés megkezdésekor jelen lévő szennyeződés 99,9%-át eltávolítsuk. Az első fordulat végén a tisztítás körülbelül 63%-os, két fordulat után körülbelül 86%-os, hat fordulat után pedig 99,7%-os lesz. A 99,99%-os tisztaság eléréséhez 10 átforgatásra van szükség".

A jelenlegi (Angol és USA) iránymutatásban egyértelműen szerepel az a következtetés, miszerint hat fordulatra van szükség ahhoz, hogy az VSZÜ-t követően a medencében maradó Cryptosporidium oociták mennyisége elfogadható szintre csökkenjen.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Ebben az összefüggésben a $SZ_m = (1 - \frac{1}{e})^n$ egyenlet segítségével levezethetjük, hogyha a víz 99,7%-át hat fordulat során kezeljük, akkor: 1,5 m³ kezeletlen víz marad egy 500 m³-es medence esetében. (Ha 10⁸ számú oocita került a vízbe, akkor 6 szűrési ciklus után még mindig 300 000 oocita van a vízben.)

A fenti elemzés azonban két feltételezésen alapul:

- a) a medence tökéletesen kevert; és
- b) a szűrők 100%-ban eltávolítják a szennyeződések a szűrőközegeken áthaladó vízből.

A Gage és Bidwell összefoglalója elismerte az utóbbit, és figyelembe vette a 100%-nál kevésbé hatékony szűrés következményeit.

Gage és Bidwell elképzelt gondolatmenetét követve a csökkent szűrési hatékonyság hatását úgy vizsgálhatjuk meg, hogy megismételjük a korábban bemutatott hígítási kísérletet, de ezúttal a medencéből minden egyes hígításkor eltávolított víznek csak egy részét cseréljük tiszta vízre (így a medencéből kivett vízben lévő részecskék bizonyos hányada visszakerül a medencébe).



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Nevezzük az egyes egymást követő egységcsomagokban lévő víznek azt a hányadát, amelyet tiszta vízzel helyettesítünk, E-nek. Ez analóg a szűrő hatékonyságával: az 1 érték 100%-os szűrési hatékonyságot jelent.

Ezért az egyenlet, amely az egy hígítás után a medencében maradó részecske mennyiséget írja le, most a következő egyenletre változik:

$$C = C_0 \left(1 - \frac{E}{N}\right)^N$$

$$E=1, C=C_0(1-1/N)^N \Rightarrow \mathbf{0,368}$$

$$E=0,9, C=C_0(1-0,9/N)^N \Rightarrow \mathbf{0,407}$$

$$E=0,5, C=C_0(1-0,5/N)^N \Rightarrow \mathbf{0,607}$$

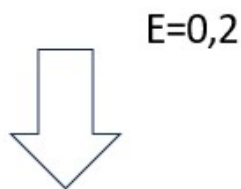
$$E=0,2, C=C_0(1-0,2/N)^N \Rightarrow \mathbf{0,819}$$



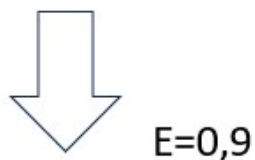
A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Az E=0,2 és E=0,9 tartományban vannak a következő szűrőberendezések:

- Homokszűrő >30m/h szűrési sebességgel, 1 fajta szemcseméret, rosszul beállított vagy hiányzó pelyhesítés.



- Multimédia filter, több rétegű kvarchomok, antracit réteggel <25m/h szűrési sebességgel



- Nyomás alatti perlit szűrő berendezések.

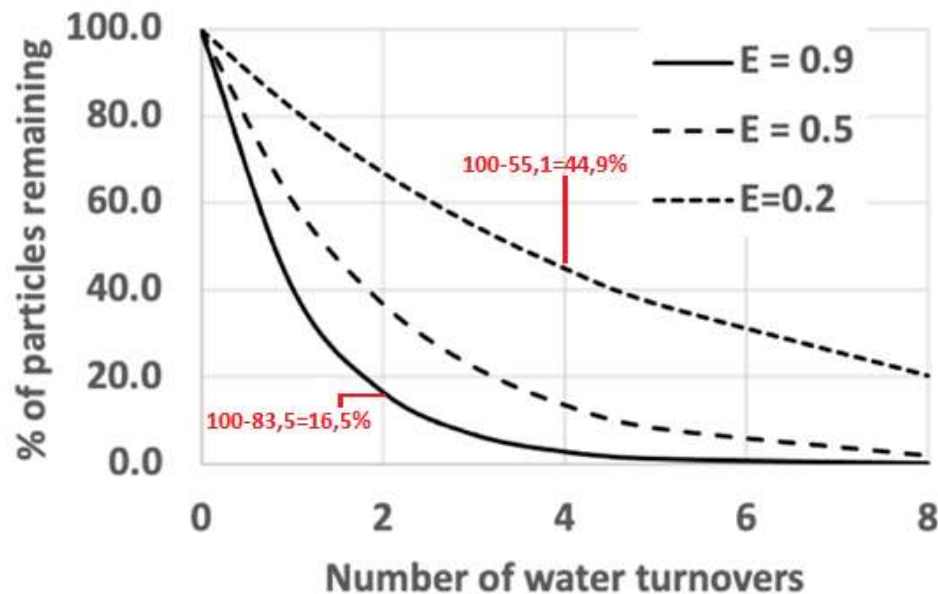
	E=0,2	E=0,5	E=0,9	E=1
Lim E/N	0,819	0,607	0,407	0,368
0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1	18,1%	39,3%	59,3%	63,2%
2	33,0%	63,2%	83,5%	86,5%
3	45,1%	77,7%	93,3%	95,0%
4	55,1%	86,5%	97,3%	98,2%
5	63,2%	91,8%	98,9%	99,3%
6	69,9%	95,0%	99,5%	99,8%
7	75,3%	97,0%	99,8%	99,9%
8	79,8%	98,2%	99,9%	
9	83,5%	98,9%		
10	86,5%	99,3%		
11	88,9%	99,6%		
12	90,9%	99,8%		
13	92,6%	99,8%		
14	93,9%	99,9%		
15	95,0%			
16	95,9%			
17	96,7%			
18	97,3%			
19	97,8%			
20	98,2%			
21	98,5%			
22	98,8%			
23	99,0%			
24	99,2%			
25	99,3%			
26	99,4%			
27	99,5%			
28	99,6%			
29	99,7%			
30	99,8%			
31	99,8%			
32	99,8%			
33	99,9%			

A zavarosság méréséből származó adatokból elkészíthető a szűrőberendezések széles körére az E konstans meghatározása. Jelenleg ez a munka még hátra van.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

A szűrő hatékonyságának (E) hatása a szennyező részecskéknek a medencevízből való eltávolítására (a visszamaradt részecskék százalékában kifejezve) az egymást követő vízforgatási ciklusok után, a Gage-Bidwell-féle hígítási törvény alapján.



Az ábra példákat mutat arra, hogy a részecskék (például a zavarosság vagy a *Cryptosporidium* oociták) tisztításához szükséges idő meghosszabbodik, ha a szűrő hatásfoka nem éri el a 100%-ot. A kiválasztott példák az $E = 0,9$ -tól, amely megfelel a PWTAG (angol előírás) által egy jól kezelt medence esetében feltételezett értéknek, az $E = 0,2$ -ig terjednek, amelyet egy nem hatékony koagulációval rendelkező medence tipikus értékének veszünk.

Az ábrán látható görbék összhangban vannak a Gage és Bidwell összefoglalójában tett megállapítással, miszerint "Ha a szűrők hatékonysága csak 50%, a hatás ugyanaz lesz, mintha a recirkulációs rendszer csak fele akkora lenne". Azonban nagyon kevés tanulmány készült az úszómedencék szűrőinek hatékonyságáról a szennyeződések (részecskék) eltávolítása az üzemelő medencékben témakörben.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Részecske átfordulási idő bevezetése:

Tekintettel arra, hogy a vízforgatási idő és a szűrő hatékonyságának kombinációja fontos szerepet játszik a részecskék medencéből való eltávolításának mértékében, hasznos e két paramétert egyetlen kulcsfontosságú teljesítménymutatóvá kombinálni, amely a szűrőrendszer hatékonyságának átfogó mérőszámát adja. Ezért javasoljuk a "részecskeátfordulási idő" (T_p) kifejezést, megkülönböztetve az egyenlet által megadott vízátfordulási időtől ($T_w = V/Q$):

$$T_p = \frac{V}{QE} = \frac{T_w}{E}$$

ahol V a medence térfogata (m^3), Q a keringési sebesség (m^3/h), és E a vízből egy adott méretosztályba tartozó zavarosság (NTU) vagy részecskék frakcionált eltávolítása a szűrőn való egyszeri áthaladás során.

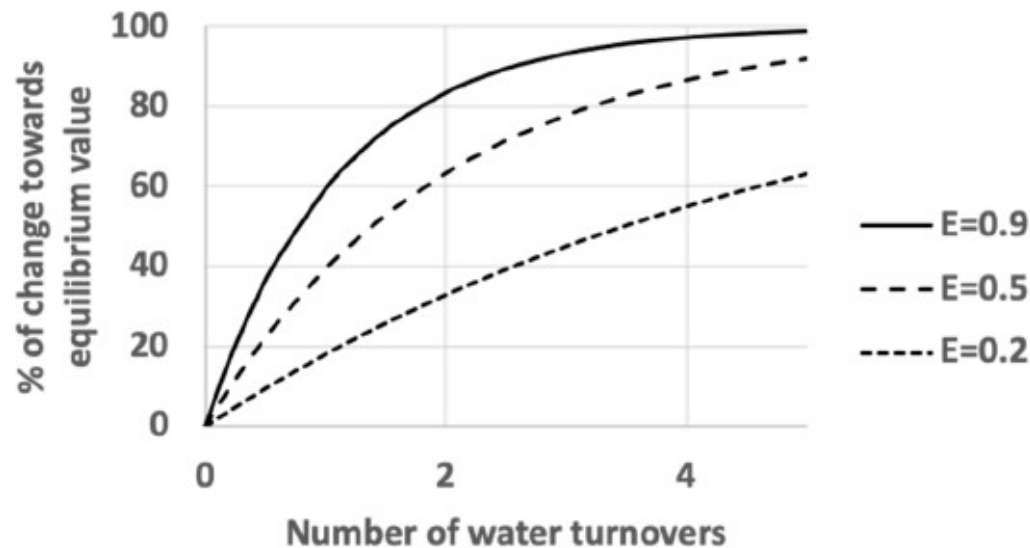
Míg a víz átfordulási ideje (T_w) az az idő, amely alatt egy jól kevert medencében a víz 63,2%-a eltávolodik, addig a részecske-átfordulási idő (T_p) az az idő, amely alatt a részecskék 63,2%-a eltávolodik.

A zavarosság megközelítőleg exponenciálisan csökken, amint a medence bezárul, ahol az exponens a részecske-átfordulási idő.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

A szűrési hatékonyság (E) hatása arra a sebességre, amellyel a zavarosság az egyensúlyhoz közelít a fürdőterhelés változását követően, ahogy a vízátfordulások száma növekszik.



A zavarosság megközelítőleg exponenciálisan csökken, amint a medence bezárul, ahol az exponens a részecske-átfordulási idő.



A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell- féle hígítási törvény

Összegzés:

Az előadásom az eredeti tanulmány alapján rámutatott arra, hogy ideális esetben a medence vizet a szűrés-forgatás során milyen törvényszerűségek szerint tudjuk szűrt vízzel hígítani.

A tanulmány alapján bemutattam azt a megállapítást, hogy a szűrőrendszer hatékonysága milyen hatással van a teljes medencevíz átszűrésére. A gyengébb szűrőberendezések milyen módon nyújtják meg az átszűrés időt.

A tanulmány által bevezetett részecske átfordulási idő bevezetésével megfordult a gondolat menet és érzékelhetővé vált a részecskék kiszűrésnek hatékonysága különböző térfogatú, forgatási teljesítményű, és szűrőrendszer hatékonyságú medencék esetén.

A forgatási teljesítmény meghatározása nem a szabvány vagy a rendelet és nem is egyszerűen a tapasztalat által meghatározott számérték, hanem tudományosan alátámasztott, matematikai formulákkal levezethető, számolható érték, mely függ a szűrőrendszer hatékonyságától.



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

A szűrőhatékonyság szerepe a szennyezőanyagok eltávolításában - Gage-Bidwell-féle hígítási törvény

A Gage-Bidwell-féle hígítási törvény felülvizsgálata az uszodai szűrés hatékonyságával és a Cryptosporidium által az uszodai felhasználókra jelentett kockázattal kapcsolatban című tanulmány feldolgozása

A tanulmány szerzői: Lester P. Simmonds, 1 Guy E. Simmonds 1, Martin Wood 1,*, Tim I. Marjoribanks 2 és James E. Amburgey 3

1 Pool Sentry Ltd., Dale Cottage, Stanton Dale, Ashbourne DE6 2BX, Egyesült Királyság; lester@poolsentry.co.uk (L.P.S.); guysimmonds3@hotmail.com (G.E.S.). 2 Építészeti, Építő- és Építőmérnöki Kar, Loughborough Egyetem, Ashby Road, Loughborough LE11 3TU, Egyesült Királyság; t.i.marjoribanks@lboro.ac.uk. 3 Építő- és környezetmérnök, University of North Carolina at Charlotte, 9201 University City Blvd., Charlotte, NC 28223-0001, USA; James.Amburgey@uncc.edu. * Levelezés: martin@poolsentry.co.uk

Publikálva: WATER folyóirat 2021 13. számában, 2021.08.27.-én.